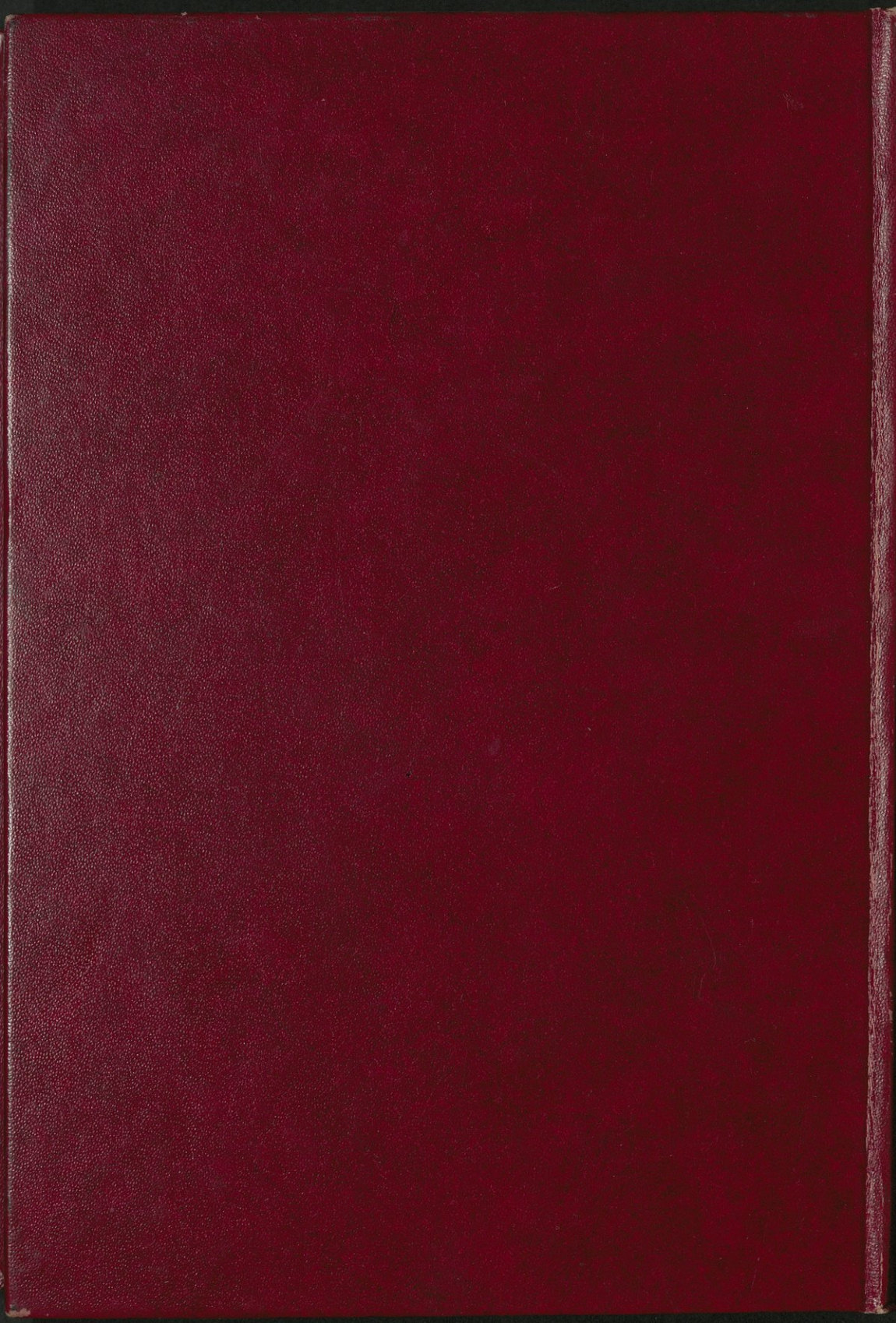




A. U. B. LIBRARY

535: N33hA

v. 2

جانب - جانب

535: N33hA

535
N 33hA
v. 2

DATE DUE

JAFET LIB.

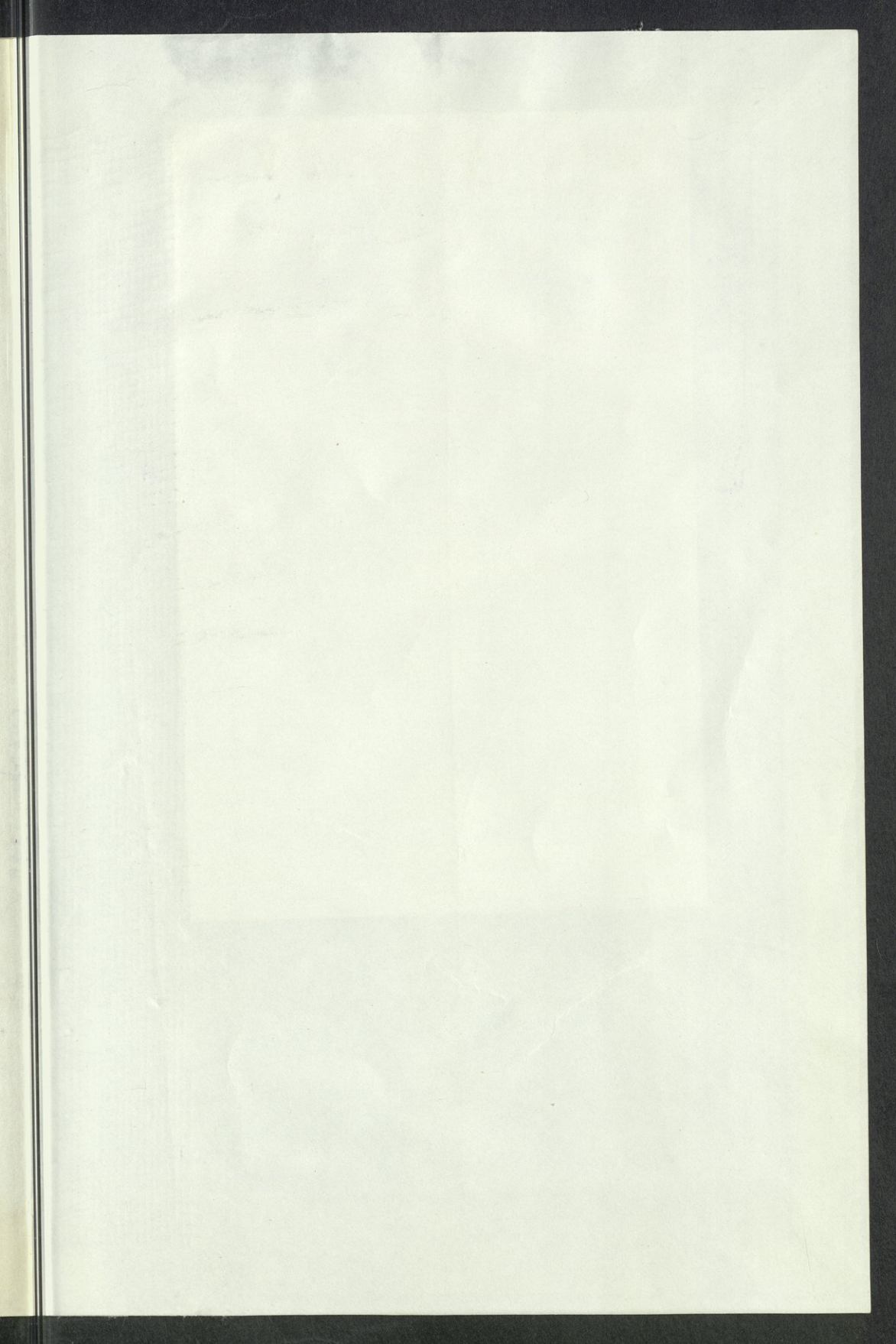
26 JUN 1993

JAFET LIB.

12 JUL 1993

JAFET LIB.

26 JUL 1993



مكتبة دار الفنون
رقم ١٢٣٤

الحسين بن المهدي

بحوث وكشوف البقية

تأليف

مطفي زليف بك

مكتبة دار الفنون

59879

المجلد الثاني

١٩٤٣ - ١٩٦٢

Est. April 1946

535

N33hA

V.2:G1

جامعة فؤاد الأول - كلية الهندسة

المؤلف رقم ٣

٩٤



الحسن بن المبهثر

بحوثه وكشوفه البصرية

تأليف

مصطفى زطيف بك

أستاذ الطبيعة بكلية الهندسة

59879

الجزء الثاني

١٣٦٢ هـ - ١٩٤٣ م

مطبعة الاعتماد بمصر

١٩٤٣

Cat. April 1946



20813

مقدمة الجزء الثاني

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله . وبعد فقد كان للظروف الحاضرة والظروف أخرى طرأت في أثناء الطبع ، أثرها في تأخر صدور هذا الجزء من الكتاب ، وفي صدوره أخيراً على هذه الصفة التي صدر عليها . وإني لا يسعني في هذا المقام إلا أن أنوّه بما أسدى إليّ من المساعدة في إبان إعداد الطبع وفي أثناء طبعه . وإن الوفاء لذكرى المغفور له الأستاذ الهامى الكردانى ليقضى بأن أبدأ بذكره والثناء عليه لمعاونته لى قبيل وفاته الفجائية في إعداد بعض أشكال الباب الخامس ولما أبداه بتلك المناسبة من الملاحظات . وإني أشكر الأستاذ محمد غريب عبد الجليل المدرس بقسم الطبيعة بالكلية على تطوعه بمساعدتي في الإشراف على طبع هذا الجزء ومراجعة مسودات الطبع واستدراك ما وقع من الأخطاء المطبعية . وأشكر الأستاذ حسين زكى المدرس بقسم الطبيعة على مساعدته في إعداد بعض الأشكال . كما أتى أذكر مع الشكر الأستاذ الدكتور محمد رضا مدور مدير مرصد حلوان والدكتور ابراهيم حلمى عبد الرحمن مدرس الفلك بكلية العلوم والأستاذ الدكتور نجيب باخوم الأستاذ المساعد بقسم الرياضة بهذه الكلية لما أبدوه من العناية في المناسبات التي استطلعت فيها آراءهم في بعض ما ورد في هذا الجزء من الكتاب .

أما ما كنت أجده من أعضاء هيئة التدريس بقسم الطبيعة بهذه الكلية وموظفيه جميعاً من الاستعداد عن طيب خاطر لإسداء أية معاونة فله في نفسى أحمد الأثر ؟

محتويات الجزء الثاني

صفحة

..... مقدمة الجزء الثاني ١

الباب الخامس

في

مسألة ابن الهيثم والبحوث الهندسية المتعلقة بها

الفصل الأول

في

المقدمات الهندسية

صفحة	فقرة
٤٨٧	١٣٢ — مسألة ابن الهيثم ولحظة تاريخية عنها
٤٩٢	١٣٣ — مقدمات ابن الهيثم
٤٩٧	١٣٤ — العملية الهندسية الأولى
٥٠٢	١٣٥ — بيان وتعليق على العملية الأولى
٥٠٥	١٣٦ — العملية الهندسية الثانية
٥٠٨	١٣٧ — بيان وتعليق على العملية الثانية
٥١٠	١٣٨ — العملية الهندسية الثالثة
٥١٣	١٣٩ — بيان وتعليق على العملية الثالثة
٥١٥	١٤٠ — العملية الهندسية الرابعة
٥٢١	١٤١ — بيان وتعليق على العملية الرابعة

الفصل الثاني

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المراة الكرية

٥٢٨	١٤٢ — الفكرة الأساسية بمجلة
٥٢٩	١٤٣ — طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية المحدبة
٥٣٣	١٤٤ — طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس أو نقاطه عن الكرية المقعرة

فق، ٥

صفحة

١٤٥ - تطبيق طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرأة الكرية على

جميع الحالات الخاصة ٥٣٥

الفصل الثالث

ف.

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الأسطوانية

١٤٦ - منهاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع ٥٤٣

١٤٧ - تفصيل الحالات الخاصة ٥٢٤

١٤٨ - الطريقة العامة لتعيين نقطة الانعكاس (أو نقاطه) عن المرأة الأسطوانية ٥٤٥

١٤٩ — تحديد النهاية العظمى لعدد نقاط الانعكاس ٥٤٨

الفصل الرابع

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة المخروطية

١٥٠ - منهاج ابن اليمث في معالجة الموضوع ٥٥١

١٥١ - تفصيل الحالات الخاصة ٥٥١

١٥٢ — الحالة العامة وأوضاعها الستة ٥٥٦

١٥٣ - الوضع الأول : النقطتان وضعهما من قاعدة المخروط فما دون المستوى

المار رأسه عمودا على نسخة ٥٥٨

١٥٤ - الوضع الثاني : النقطان في المستوى المار برأس المخروط عموداً على سطحه ٥٦٠

١٥٥ - الوضع الثالث : النقطتان وضعهما من قاعدة المخروط فما يلي المستوى

المار ب' أسه عمودا على سبعة ٥٦٤

١٥٦ - الوضع الرابع : إحدى النقطتين في المستوى المار برأس المخروط عمودا

علم سميته والأخذي فيما دونه من القاعدة ٥١٧

١٥٧ - الوضع الخامس : إحدى النقطتين في المستوى المار برأس المخروط عمودا

عَلَيْهِ سَلَامُهُ وَالْأَخْيَرُ فِيمَا بَلَّغَهُ مِنَ الْقَاعِدَةِ ٥٧

١٥٨ - الوضع السادس : النقطتان عن حنتم المستوى المار برأس المخروط

٥٧٢ عام ١٤٠٤ هـ

١٥٩ — تعيين عدد نقاط الانعكاس عن المآة الخطوط ٥٧٥

١٦٠ - بهان ابن الهيثم في حالة الخبطة المقعدة ... ٥٧٦

١٦١ - بيان وتعليل علم بهان ابن السم في حالة المخوطة المقفلة ... ٥٧٩

- ١٦٢ — برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المحدبة وبيان موضع الخطأ فيه ... ٥٨١ صحيفة
١٦٣ — إصلاح برهان ابن الهيثم ... ٥٨٦

الباب السادس

في

الخيالات التي ترى بالانعكاس

الفصل الأول

في

كيفية إدراك صور المبصرات بالانعكاس وتفصيل أحوال الخيالات

التي ترى في المرايا المستوية

- ١٦٤ — شرح ابن الهيثم كيفية إدراك البصر صور المبصرات بالانعكاس ... ٥٩٠
١٦٥ — القاعدة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين موضع الخيال الذي يرى بالانعكاس
عن المرأة المستوية ... ٥٩٦
١٦٦ — تعيين موضع الخيال الذي يرى في المرأة المستوية بطريقة هندسية ... ٥٩٨
١٦٧ — صفات الخيالات التي ترى في المرايا المستوية ... ٥٩٩
١٦٨ — نظرية ابن الهيثم في أغلاط البصر التي تعرض من أجل الانعكاس وتطبيقها
على الخيالات التي ترى في المرايا المستوية ... ٦٠١

الفصل الثاني

في

تفصيل أحوال الخيالات التي ترى في المرايا الكرية

- ١٦٩ — اعتبارات ابن الهيثم للتحقق من انطباق القاعدة التي تتعين بها مواضع
الخيالات في المرايا المستوية على جميع أنواع المرايا المنحنية ... ٦٠٤
١٧٠ — قصور القاعدة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين مواضع الخيالات ... ٦١٠
١٧١ — رأى ابن الهيثم في مواضع خيالات النقاط التي ترى في المرايا الكرية المحدبة ... ٦١٣
١٧٢ — رأى ابن الهيثم في مواضع خيالات النقاط التي ترى في المرايا الكرية المقعرة ... ٦١٩
١٧٣ — قانون المرايا الكرية كما ينص عليه ابن الهيثم ... ٦٢١
١٧٤ — قانون المرأة التي فصل انعكاسها قطع ناقص ... ٦٢٥
١٧٥ — بحث ابن الهيثم عن خيالات المبصرات التي ترى في المرايا المنحنية ... ٦٢٨
١٧٦ — بحث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في المرايا
الكرية المحدبة ... ٦٣٠

- فقرة
 ١٧٧ — مقدمات ابن الهيثم لبحوثه عن أشكال الخيالات التي ترى في الكرية المحدبة ٦٣٦
 ١٧٨ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات الكرية المحدبة ... ٦٤٣
 ١٧٩ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال الخيالات إذا كان المبصر قوسا من دائرة مركزها مركز المرآة ... ٦٤٣
 ١٨٠ — تعليق على طريقة ابن الهيثم في بحوثه عن أشكال الخيال المقوس ... ٦٤٦
 ١٨١ — بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي يعترض المرآة الكرية المحدبة ولا يلقى أمتداده أو يماس سطحها ... ٦٤٩
 ١٨٢ — بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي يعترض المرآة الكرية المحدبة ويلقى إمتداده سطحها أو يماسه ... ٦٥١
 ١٨٣ — نبذة عامة عن بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات الكرية المحدبة . ٦٥٦
 ١٨٤ — بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات التقديرية التي ترى في المرآة الكرية المقعرة ... ٦٥٨
 ١٨٥ — بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات الحقيقية التي ترى في المرايا الكرية المقعرة ... ٦٦٣
 ١٨٦ — تعليق على بحوث ابن الهيثم عن خيالات الكرية المقعرة .. ٦٦٧
 ١٨٧ — كيف يرى الإنسان صورة وجهه مصغرة منكوسة في مرآة كرية مقعرة ٦٧٠
 ١٨٨ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات المبصرات الممتدة على سمت أحد أقطار المرآة الكرية المقعرة ... ٦٧٢
 ١٨٩ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات المبصرات المعترضه لأحد أقطار المرآة الكرية المقعرة ٦٧٥
 ١٩٠ — كلمة عامة .. ٦٨١

الباب السابع

في

أحكام الانعطاف وما يتعلق بالانعطاف عند السطوح المستوية

الفصل الأول

في

أحكام الانعطاف

- ١٩١ — أحكام الكيف في الانعطاف ... ٦٨٢
 ١٩٢ — آلة الانعطاف التي أعتبر بها ابن الهيثم ٦٨٥
 ١٩٣ — بيان كيفية الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء ... ٦٩٠

صفحة	فقرة
٦٩٣	١٩٤ — الاستدلال على عدم انعطاف الضوء الواقع عمودا على السطح ...
٦٩٧	١٩٥ — بيان كيفية الانعطاف في كل من الوسطين الهواء والزجاج والماء والزجاج
٧٠٣	١٩٦ — الناحية الكمية من بحوث ابن الهيثم العملية عن الانعطاف ...
٧٠٣	١٩٧ — البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء
	١٩٨ — البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند السطح المستوي لكل من الوسطين
٧٠٤	الهواء والزجاج والزجاج والماء ...
	١٩٩ — البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند السطح المنحني لكل من الوسطين
٧٠٦	الهواء والزجاج والزجاج والماء ...
٧٠٩	٢٠٠ — أحكام السك الثمانية في الانعطاف ...
٧١١	٢٠١ — مناقشة أحكام السك الثمانية ...
٧٢١	٢٠٢ — قاعدة قبول العكس ...

الفصل الثاني

في

خيال النقطة المبصرة الذي يرى بالانعطاف

٧٢٣	٢٠٣ — شرح ابن الهيثم كيفية إدراك صور المبصرات بالانعطاف ...
٧٢٧	٢٠٤ — الخيال المرئي بالانعطاف ...
٧٢٩	٢٠٥ — القاعدة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة ...
٧٣٥	٢٠٦ — قصور قاعدة ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة ...
	٢٠٧ — غموض رأى ابن الهيثم في موضع خيال النقطة إذا كان البصر على سمت
٧٣٧	العمود الواقع منها على السطح ...
٧٣٩	٢٠٨ — حكم ابن الهيثم في خيال النقطة المدرك بالانعطاف عند السطح المستوي .

الفصل الثالث

في

خيالات المبصرات المدركة بالانعطاف عند السطح المستوي

٧٤٤	٢٠٩ — مجمل بحوث ابن الهيثم عن أغلاط البصر التي من أجل الانعطاف ...
	٢١٠ — الفكرة الأساسية في بحوث ابن الهيثم عن خيالات المبصرات التي ترى
٧٤٥	بالانعطاف عند السطح المستوي ...
٧٤٦	٢١١ — خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الأول ...
٧٥٢	٢١٢ — خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الثاني ...
	٢١٣ — الاستدلال بالاعتبار على أن المبصر الذي يدرك بالانعطاف من الماء إلى
٧٦٠	الهواء يدرك أعظم ...

الباب الثامن

في

الانعطاف عند السطوح الكرية وما يترتب على الانعطاف من الظواهر الجوية

الفصل الأول

في

الانعطاف عند السطوح الكرية بوجه عام

- ٢١٤ — مجمل بحوث ابن الهيثم عن الانعطاف عند السطوح الكرية ... ٧٦٢
- ٢١٥ — التمهيد الهندسى لبحوث الانعطاف عند السطوح الكرية ٧٦٣
- ٢١٦ — الانعطاف من الأغظ إلى الألف إذا كان تحدب السطح مما يلي مصدر الضوء ... ٧٦٦
- ٢١٧ — الانعطاف من الأغظ إلى الألف إذا كان تقع السطح مما يلي مصدر الضوء ... ٧٧١
- ٢١٨ — الانعطاف من الألف إلى الأغظ عند السطوح الكرية ٧٧٧
- ٢١٩ — المعاني التي يستنبطها ابن الهيثم من بحوثه المذكورة ووجه الخطأ فيها ... ٧٧٩
- ٢٢٠ — إصلاح ابن الهيثم بعض أخطائه وإشارته في المناظر إلى ظاهرة الزينج الكرى ٧٨٢
- ٢٢١ — مقالة ابن الهيثم في الكرة المحرقة ٧٩٠
- ٢٢٢ — بيان كيفية تجمع الأشعة المتوازية بعد نفوذها من كرة من الزجاج ... ٧٩١
- ٢٢٣ — بيان الزينج الكرى الذى يحدث عند نفوذ الأشعة المتوازية من كرة من الزجاج ٧٩٣
- ٢٢٤ — تعيين مواضع نقاط الانعطاف الثوانى ... ٧٩٩
- ٢٢٥ — محاولة ابن الهيثم تعيين البعد البؤرى لكرة من الزجاج ... ٨٠٢
- ٢٢٦ — بيان وتعليق على مقالة ابن الهيثم في الكرة المحرقة ٨٠٨

الفصل الثانى

في

الخيالات التى ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية

- ٢٢٧ — اجتناب ابن الهيثم التوسع في دراسة خيالات المبصرات التى ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية ... ٨١٠
- ٢٢٨ — خيال المبصر الموجود في مشف أغظ من الهواء محدب سطحه الكرى مما يلي البصر ... ٨١٢
- ٢٢٩ — خيال المبصر الموجود من وراء كرة مشفة من مادة أغظ من الهواء . ٨١٧

الفصل الثالث

في

بحوث ابن الهيثم عن الظواهر الجوية المترتبة على انعطاف الضوء

- ٢٣٠ — مجمل ما عني ابن الهيثم ببحثه عن الظواهر الجوية التي تنجم عن انعطاف الضوء ٨٢٣
- ٢٣١ — ذات الحلق ٨٢٤
- ٢٣٢ — الاعتبار بذات الحلق للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية . . . ٨٢٧
- ٢٣٣ — الاعتبار بالقمر للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية . . . ٨٣٢
- ٢٣٤ — مذهب ابن الهيثم في تدرج الهواء من حيث اللطافة ٨٣٦
- ٢٣٥ — تغير مواضع الكواكب في السماء من جراء الانعطاف ٨٣٧
- ٢٣٦ — بحوث ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب ومقاديرها . . . ٨٣٨
- ٢٣٧ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر عند السم ٨٣٩
- ٢٣٨ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر قريبا من الأفق وموازيا له . . . ٨٤١
- ٢٣٩ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر ممتدا في مستوى سم واحد . . . ٨٤٣
- ٢٤٠ — شك على بعض أقوال ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب ومقاديرها ٨٤٥
- ٢٤١ — رأى ابن الهيثم في تأثير الأبخرة الغليظة في إدراك العظم ٨٤٧

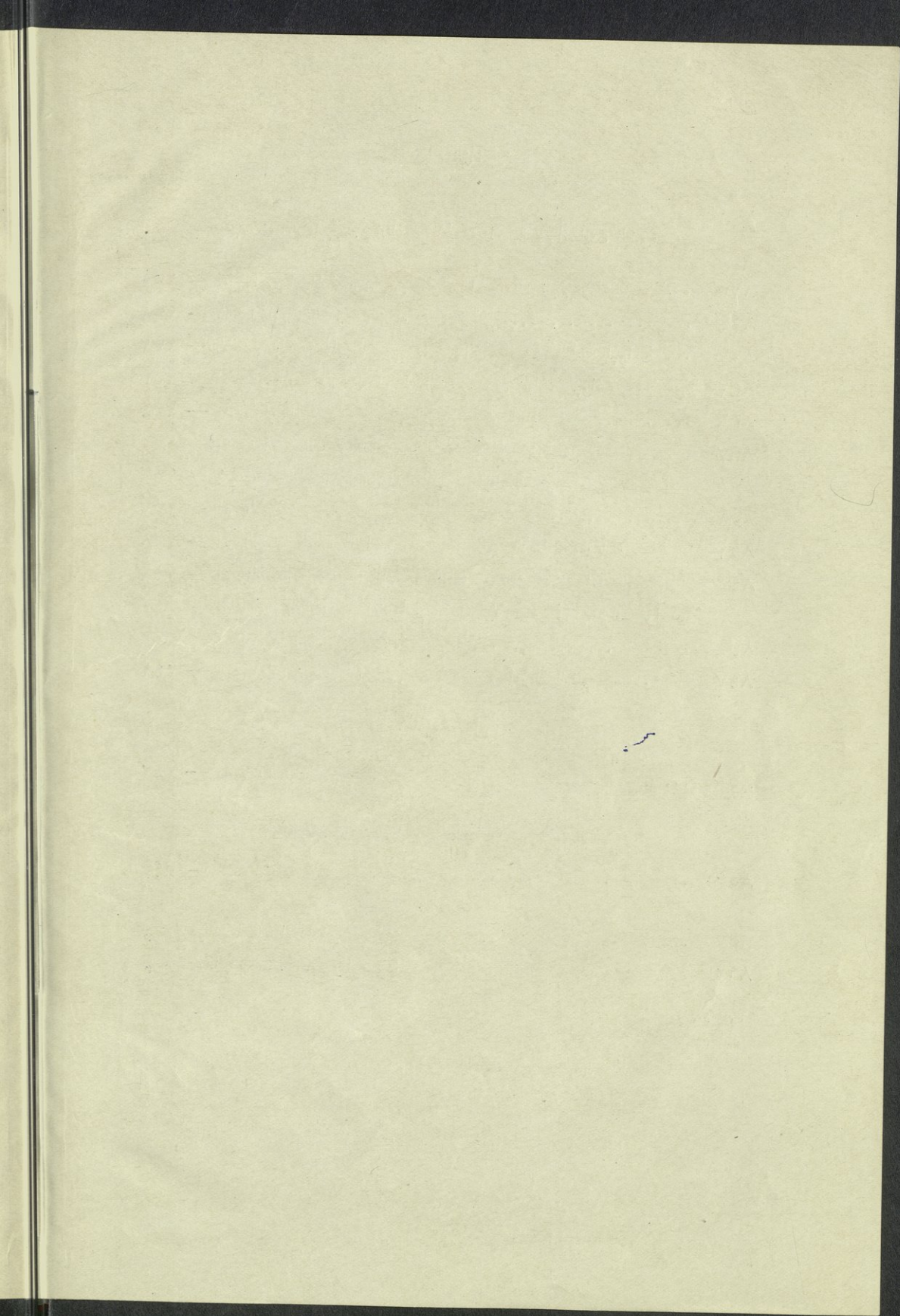
تذييل

- ٢٤٢ — ذات الشعبتين ٨٥٠

خاتمة الكتاب

- ٢٤٣ — كلمة الختام ٨٥٣

- ٨٥٧ فهرس هجائي بأسماء الأعلام
- ٨٦٢ فهرس هجائي بالإصطلاحات والموضوعات



البحا المحيتم

في

مسألة ابن الهيثم والبحوث الهندسية المتعلقة بها

الفصل الأول

في

المقدمات الهندسية

١٣٢ - مسألة ابن الهيثم وطمة ناربخية عنها

إذا فرضت نقطتان حيثما اتفق أمام سطح عاكس، فكيف تُسجَّع على هذا السطح نقطة بحيث يكون الواصل منها إلى إحدى النقطتين المفروضتين بمثابة شعاع ساقط، والواصل منها إلى الأخرى بمثابة شعاع منعكس؟ هذه المسألة عرفت عند أهل أوربا ولا تزال تعرف إلى وقتنا الحاضر « بمسألة الحسن » وكما سبق أن ذكرنا تسمى النقطة المراد تعيينها على السطح العاكس « نقطة الانعكاس » .

والمسألة سهلة بسيطة إذا كان السطح العاكس مستوياً^(١). لأنه إذا أخرج من إحدى النقطتين المفروضتين عمود على السطح كان المستوى الذي يقع فيه هذا العمود والنقطة الثانية هو مستوى الانعكاس. فإذا مد هذا العمود على

(١) ورد شرح ابن الهيثم لهذه الحالة في و (١٧٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر

استقامته إلى نقطة ، بحيث يكون بعدها عن النقطة التي يلقى عليها هذا العمود السطح العاكس كبعد النقطة الأولى عنها ، ثم وصلت تلك النقطة إلى النقطة الثانية المفروضة ، كانت النقطة التي يلقى عليها هذا الواصل السطح العاكس هي نقطة الانعكاس المطلوب تعيينها . والبرهان على ذلك يسير . والمسألة أيضاً سهلة بسيطة إذا كان السطح العاكس كروياً أو أسطوانياً أو مخروطياً في حالات خاصة معينة . ففي حالتى السطح الأسطوانى أو المخروطى إذا كانت النقطتان المفروضتان وسهم الأسطوانية أو سهم المخروطية في مستوى واحد ، كان هذا المستوى هو مستوى الانعكاس وكان الفصل المشترك بينه وبين السطح العاكس خطأ مستقيماً ، وآل الانعكاس إلى ما يشبه الانعكاس عن السطح المستوى . كذلك فإنه من السهل تعيين نقطة الانعكاس عن السطح الكرى المحدب إذا كانت النقطتان المفروضتان على بعد واحد من مركز كرة السطح . ومن السهل أيضاً تعيين نقطة الانعكاس أو بوجه عام نقاطه عن السطح الكرى المقعر إذا كانت النقطتان على قطر واحد من أقطار الكرة أو إذا لم تكونا على قطر واحد كاتنا على بعد واحد من مركز الكرة . وبحوث ابن الهيثم التي بينها فيما سبق^(١) تتضمن طرق تعيين نقطة الانعكاس عن السطح الكرى المقعر في مثل هذه الأحوال الخاصة .

ولكن تزول عن المسألة هذه السيمة من السهولة في أحوال السطوح غير المستوية ، إذا فرضت النقطتان حيثما اتفق في مقابلة جزء منها . وابن الهيثم لم يودع كتابه المناظر حلاً للمسألة في مثل الأحوال الخاصة المذكورة فحسب بل تناول أيضاً بحثها من الناحية العامة ، وأورد لها حلاً عاماً لكل نوع من أنواع المرايا الكرية والاسطوانية والمخروطية المحدبة منها والمقعرة .

وقد عني بعض العلماء بتاريخ نشوء هذا البحث من قبل أن يتناوله ابن الهيثم وعن مبلغ ما يصح نسبته إلى ابن الهيثم من الفضل في ابتكار الحلول التي أوردتها ، وما يصح نسبته إلى المتقدمين من العلماء^(٢) . فموضوع البحث عن نقطة

(١) الفصل الرابع من الباب الرابع من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(٢) Die Alhazensche Spiegel-Aufgabe (1893) : Von P. Bode .

الانعكاس وإن لم يرد البتة في مناظر أوقليدس فقد ورد في كتاب المناظر المنسوب إلى بطليموس . غير أن ما جاء منه في هذا الكتاب وإن أريد منه أن يتناول المرأة الكرية فلم يتجاوز ما يتعلق بالكرية المحدبة بيان أن تعاكس النقطتين عنها لا يكون إلا من نقطة واحدة . أما فيما يختص بالكرية المقعرة فقد تناول البحث بضع حالات خاصة نذكرها فيما يلي :

(أولاً) الحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان على قطر واحد من أقطار المرأة . وروعي فيها وضعان أحدهما الوضع الذي تكون فيه النقطتان على بعد واحد من المركز ، والثاني الوضع الذي تكون فيه النقطتان على بعدين مختلفين من المركز .

(ثانياً) الحالة التي لا تكون فيها النقطتان على قطر واحد من أقطار المرأة وإنما تكونان فيها على بعدين متساويين من المركز . وقد قسم البحث عنها قسمين روعي في أحدهما أن يكون المستقيم الواصل بين النقطتين المتعاكستين واقعاً بين مركز المرأة والجزء العاكس من سطحها وهو القسم الذي يقابل من بحوث ابن الهيثم الانعكاس من قوس القطاع الأول . وفيه تخرج الدائرة المحيطة بالمثلث المكون من مركز المرأة ومن النقطتين المتعاكستين ، فإن قطعت الدائرة محيط دائرة الفصل على نقطتين ، كانت نقطتا التقاطع نقطتي انعكاس ، وكانت أيضاً النقطة التي يليق عليها العمود المنصف للمستقيم الواصل بين النقطتين محيط دائرة الفصل ، نقطة انعكاس أيضاً . فيكون نقاط الانعكاس ثلاثاً . أما إذا لم تقطع الدائرة المحيطة بالمثلث المذكور محيط دائرة الفصل ، كانت نقطة الانعكاس واحدة وهي النقطة التي يليق عليها العمود المنصف للمستقيم الواصل بين النقطتين محيط دائرة الفصل .

وقد حاول بطليموس في هذا المقام أن يبرهن على إمكان تعاكس النقطتين المختلفتي البعد عن المركز من ثلاث نقاط . ولكن كانت غاية ما استطاعه أن يعين القوس التي لا يؤدي فرض الانعكاس من نقطة منها إلى خلف ، أي التي يصح أن تتعاكس النقطتان من نقطة منها . أما كيفية تعيين نقطة الانعكاس بالذات أو إثبات إمكان الانعكاس من ثلاث نقاط فلم يستطع شيئاً منهما .

أما القسم الثاني من البحث فقد روعي فيه أن يكون الخط الواصل بين النقطتين المتعاكستين فيما يلي مركز المرأة من الجزء العاكس من سطحها، وهو يقابل من بحوث ابن الهيثم الانعكاس من قوس القطاع المقابل . وفي هذا الصدد يبين بطليموس فيما يختص بالنقطتين المختلفتي البعد من المركز إمكان تعاكسهما من نقطة من تلك القوس .

تلك هي بالتفصيل الأحوال التي ذكرت في مناظر بطليموس . أما المرايا الأسطوانية والمخروطية فلم يتجاوز ما ورد عنهما غير بضع كلمات اكتفى فيها بذكر تلسم المرايا (١) .

ويتضح من هذا أن بطليموس وإن كان قد سبق ابن الهيثم إلى ذكر بعض الأمور المتعلقة بنقطة الانعكاس عن المرايا الكرية المقعرة فإنه لم يحسن منها إلا معالجة حالتين خاصتين . إحداهما حالة النقطتين اللتين على قطر واحد من أقطار المرأة ، والثانية حالة النقطتين اللتين ليستا على قطر واحد إذا كانتا على بعد واحد من المركز .

وابن الهيثم قد ضمن بحوثه جميع هذه الأمور التي سبقه إليها بطليموس . ولكنه لم يقف عندها بل تناول أيضاً بيان ما عجز عنه بطليموس فيما يتعلق بالنقطتين المختلفتي البعد عن المركز . ثم ابتكر الحلول العامة لتعيين نقطة الانعكاس في أحوال المرايا الكرية والأسطوانية والمخروطية المحدبة منها والمقعرة . فالمسألة بصورتها العامة بقيت مجهولة إلى أن تناولها ابن الهيثم وابتكر لها الحلول التي أوردتها في كتابه المناظر مما سنبينه ونشره فيما بعد . فهي كما يرى «بودا» (٢) حقيقة بأن تنسب إلى ابن الهيثم وتعرف باسمه دون سواه من العلماء السابقين . وبحوث ابن الهيثم في هذا الموضوع قد بلغت الذروة . وهي في نظرنا آية قيمة لما أوتيها هذا الرجل من المواهب الرياضية الممتازة والعقل الناضج والنظر البعيد الثاقب ، وما كان له من سعة الخيلة والكفاية في علم الهندسية . غير أن هذه البحوث كاد الدهر يطويها في زوايا النسيان . فالمسألة

(١) رسالة «بودا» التي أشرنا إليها فيما سبق وهي التي اعتمدنا عليها في هذه البيانات .

(٢) انظر رسالته المشار إليها آنفاً .

وإن ظلت تحمل إلى وقتنا الحاضر اسم «الحسن» فقد تناول دراستها كثيرون من أساطين علماء الغرب من بعد عصر النهضة ، وتقننوا في عرض بعض نواحيها لا سيما ما يتعلق منها بالانعكاس عن سطح المرآة الكرية المقعرة . وعالجوا هذه النواحي بما استنبط بعد ابن الهيثم من أساليب الهندسة التحليلية . فشغلوا بما كتبه « بارو »^(١) وما ذكره في محاضراته عنها ، وما قدمه « كريستيان هويجنز »^(٢) العالم الطبيعي المشهور من بعض الحلول للناحية المذكورة منها ، وبما تبادلته « سلوس » و « هويجنز »^(٣) من الرسائل بشأنها ، وبما كتبه عنها غير هؤلاء من التابعين الذين نهجوا على أساليبهم بما لا يسمح المقام هنا بذكرهم أو بشرح أعمالهم^(٤) ، شغلوا بكل ذلك عن ابن الهيثم نفسه مبتكر هذه المسألة وعن الحلول التي وضعها وكان أول من ابتكرها . حتى آل ذلك إلى أن تناول هذه المسائل بالبحث والدراسة من علماء الجزء الأخير من القرن التاسع عشر من لم يسبق له علم^(٥) بأن المسألة قد ابتكرها العالم العربي القديم في مستهل القرن الحادي عشر .

واتتابت بحوث ابن الهيثم عن هذه المسألة وحلوله التي ابتكرها شكوك . وقد أشرنا إلى بعضها فيما سبق^(٦) . ولا نغالي إذا قلنا إن الحلول التي وضعها وتفصيلات البراهين الهندسية التي ساقها في بحوثه ليست معروفة بجلاء ووضوح . وربما كان السبب في ذلك هو الاعتماد على الترجمة اللاتينية لكتاب المناظر وتعليقات « قتلو » على أعمال ابن الهيثم . وكل ذلك غير خلو من الأغلاط خطاء . ولعل ذلك أيضاً هو السبب في قدح بعض السابقين في بعض

(١) Barrow أستاذ الرياضة الذي تتلمذ عليه « نيوتن » في كمبردج .

(٢) Christian Huygens (١٦٢٩ — ١٦٩٥) .

(٣) A Problem of Alhazen solved : Hugen and Sluse by M. Huygens and M. Slusius. Philosophic Trans. Vol 11 1672-83.

(٤) يوجد مرجع واف للبحوث التي دارت حول مسألة ابن الهيثم في رسالة « H. Baker » المشورة في (The American Journal of Mathematics 1881) وكذلك في رسالة « بودا » المذكورة .

(٥) مثل « Eberhard » في رسالة له نشرت سنة ١٨٧٧ . وقد أشار إلى ذلك « بودا »

(٦) فقرة (١٢٦) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

البراهين الهندسية التي أوردها ابن الهيثم ، « فبارو » يقول عن الحل الذي أورده ابن الهيثم لايجاد نقطة الانعكاس عن سطح الكرية المقعرة إنه « مطول تطويلا شنيعاً »^(١) و « بودا »^(٢) يصف بعض براهين ابن الهيثم بالتعقيد ويقول عن برهانه على تعيين نقطة الانعكاس عن سطح المرآة الأسطوانية المحدبة إنه يشق على الفهم ويعزى ذلك إلى الأخطاء المطبعية في النسخة اللاتينية من ناحية ، وإلى عدم صحة الشكل الوارد فيها من ناحية أخرى . وهو وإن كان قد أورد طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية المحدبة وعن الأسطوانية المحدبة وعن المخروطية المحدبة ، فانه أوردها بإيجاز وأوجز في الوقت نفسه المقدمات الهندسية التي بنى عليها ابن الهيثم بحوثه في كل هذه الأمور ، ولم يورد براهين ابن الهيثم عليها .

وفي نظرنا أن المسألة على الرغم من صعوبتها وتعقدها فقد أحسن ابن الهيثم معالجة النواحي التي تناولها منها . فهو قد تناول دراسة الموضوع على أساس منطقي سليم . فعنى أولاً بوضع بضع نظريات أو بالأحرى عمليات هندسية هي في ذاتها على جانب ليس بالقليل من التعقد وبعد المنال . ذكرها وبين كيفية اجرائها ، ووضع لها البراهين المضبوطة . وذلك كله على أساس هندسي لا عيب فيه . ثم اتخذ هذه العمليات الهندسية مقدمات إلى الحلول التي أرادها لتعيين نقطة الانعكاس . وساق لتلك الحلول بعد ذلك براهينها الهندسية . فيحوته في هذا الأمر يجب أن تراعى كوحدة واحدة تتكون من قسمين أحدهما المقدمات الهندسية والثاني الحلول العامة المبينة على تلك المقدمات . وعلى هذه الصفة يمكن تقدير القيمة الحقيقية لتلك البحوث .

ونبدأ فيما يلي بعرض تلك المقدمات والتعليق عليها بشيء من التفصيل .

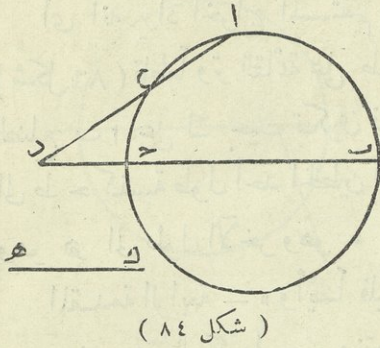
١٣٣ - مقدمات ابن الهيثم

والمقدمات التي عنى ابن الهيثم بوضعها والبرهان عليها ست مقدمات هي

(١) « Horribly prolix Solution » : أنظر رساله « Baker » التي أشرنا إليها .

(٢) في رسالته التي ذكرناها آنفاً .

بحسب ترتيب ورودها في كتابه المناظر وبالصيغة التي صاغها فيها بألفاظه كما يأتي :



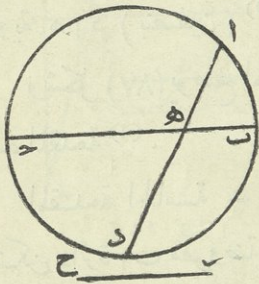
(شكل ١٨٤)

المقدمة الأولى - « اذا كانت

دائرة $ا ب$ - (شكل ١٨٤) معلومة ،
وفيها قطر $ح ب$ ، وقد أخرج $ح ب$
في جهة $ح$ ، وخط $ك ه$ مفروض ،
ونقطة $ا$ مفروضة على محيط الدائرة ،
ونريد أن نخرج من نقطة $ا$ خطاً مثل
 $ا ح د$ حتى يكون الذي يقع منه فيما

بين القطر والدائرة النظير لخط $ح د$ ، مساوياً لخط $ك ه$. » (١)

المقدمة الثانية - « وأيضاً فلتكن دائرة عليها $ا ب ح$ ، وفيها قطر $ب ح$ ،
وعلى محيطها نقطة $ا$ ، وخط $(ح ر)$ (٢) مفروض ، ونريد أن نخرج من
نقطة $ا$ خطاً (يقطع) (٣) قطر $ب ح$ ، وينتهي
إلى الدائرة ، فيكون ما يقع منه فيما بين الدائرة
والقطر مثل خط $ح ر$ » (٤)



(شكل ١٨٥)

أى أنه يراد إخراج خط مثل $ا ه د$
(شكل ١٨٥) يقطع القطر $ب ح$ على $ه$ والمحيط
على $د$ بحيث يكون $ه د$ مساوياً لـ $ح ر$.

المقدمة الثالثة - « وأيضاً (فليكن مثلث $ا ب ح$ قائم الزاوية) (٥) ، زاوية $ب$
منه قائمه ، ونقطة $د$ مفروضة على خط $ب ح$. ونسبة $ه$ إلى $ح$ معلومة ، ونريد

(١) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقات (٢٠٢ - ٢٠٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

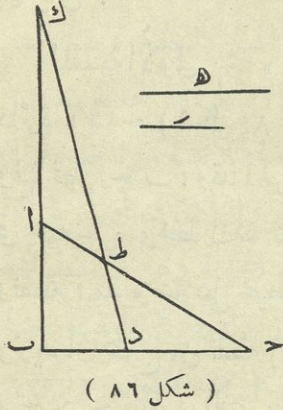
(٢) في الأصل « $ب ح$ » وهو لاشك خطأ من الناسخ .

(٣) في الأصل « يخرج » .

(٤) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقات (٢٠٦ - ٢٠٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٥) الوارد في الأصل « فليكن $ا ب ح$ قابل الزاوية » .

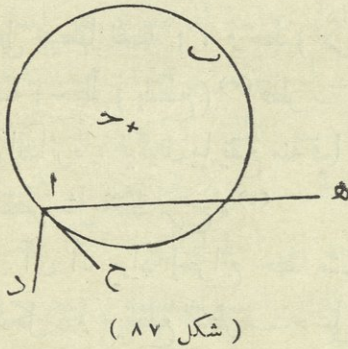
أن نخرج من نقطة د خطاً مثل خط د ط ك ، حتى تكون نسبة ك ط إلى (ط >) (١) كنسبة هـ إلى ر (٢) »



أى أنه يراد اخراج المستقيم د ط ك (شكل ٨٦) قاطعاً وتر القائمة على ط وامتداد الضلع ب ا على ك بحيث تكون نسبة ك ط إلى ط > كنسبة طول أحد الخطين المفروضين وهو هـ الى طول الآخر وهو ر .

المقدمة الرابعة — « وأيضاً فليكن دائرة ا ب مفروضة ومركزها > ، ونقطتا د ، هـ

مفروضتان . ونريد أن نخرج من نقطتي (هـ ٦ د) (٣) خطين مثل خطي هـ ا ، د ا حتى اذا أخرجنا خطاً مماساً



للدائرة مثل خط ا ح ، (قسم) (٤) زاوية هـ ا د (بنصفين) (٥) »

وشكل (٨٧) يوضح المقصود من هذه المقدمة (٦) .

المقدمة الخامسة — « وأيضاً فلتكن دائرة ا ب مفروضة ومركزها

> ، وفيها قطر (كذا) مفروض وهو > ب ، ونقطة هـ مفروضة خارج الدائرة ، ونريد أن نخرج من نقطة هـ خطاً مثل خط د ر (بحيث

(١) الوارد في الأصل « ط » .

(٢) هذه المقدمة والبرهان عليها في و (٢٠٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٣) لم يرد ما بين القوسين في الأصل .

(٤) الوارد في الأصل « فنسبة » وهو خطأ من الناسخ .

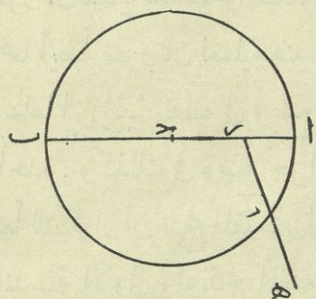
(٥) الوارد في الأصل « ببعضين » .

(٦) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقات (٢٠٩ مكررة — ٢١١) من مخطوط

المقالة الخامسة من المناظر .

يكون د م مثل م ح (١) .»

أى أن الخط المراد اخراجه يلقى محيط الدائرة على د والقطر المفروض على م بحيث يكون د م مساوياً م ح كما هو مبين بشكل (٨٨) (٢) .

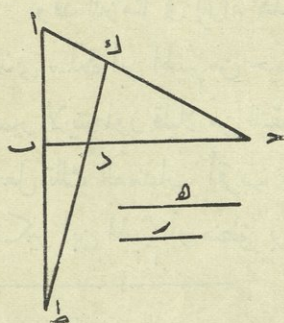


(شكل ٨٨)

المقدمة السادسة - (وأيضاً فليكن مثلث ا ب ح قائم الزاوية ، زاوية (٣) ب منه قائمة ، وقد أخرج ا ب فى جهة ب ، ونقطة د مفروضة على خط (ب ح) (٤) ونسبة ه الى ر معلومة .

ونريد أن نخرج من نقطة د خطاً مثل خط ط ذ ك حتى تكون نسبة ط ك

إلى ك ح كنسبة ه الى ر (٥) .»



(شكل ٨٩)

أى أن الخط المراد اخراجه يلقى الوتر ا ب ح (شكل ٨٩) على نقطة ك وامتداد الضلع ا ب على ط بحيث تكون نسبة ط ك : ك ح

هى النسبة المعلومة .

تلك هى المقدمات الست .

وقد أورد ابن الهيثم حلاً لكل واحدة من هذه المقدمات على حدها

(١) الوارد فى الأصل « مثل و ح » .

(٢) هذه المقدمة والبرهان عليها فى الورقتين (٢١١ ، ٢١٢) من مخطوط المقالة

الخامسة من المناظر .

(٣) الوارد فى الأصل « قائماً لدائرة فزاوية » .

(٤) الوارد فى الأصل « د ح » .

(٥) هذه المقدمة والبرهان عاينها فى ورقتي (٢١٢ ، ٢١٣) من مخطوط الفاتح رقم

(٣٢١٥) . والمصور الذى بين أيدينا لا يشمل ورقة ٢١٣ منه . وقد أتممنا هذا النقص

من مخطوط أيا صوفيا رقم (٢٤٤٨) حيث وردت هذه المقدمة مع البرهان عليها فى ورقة ٤٣٣

منه واستعينا فى ذلك أيضاً بتنقيح الفارسى .

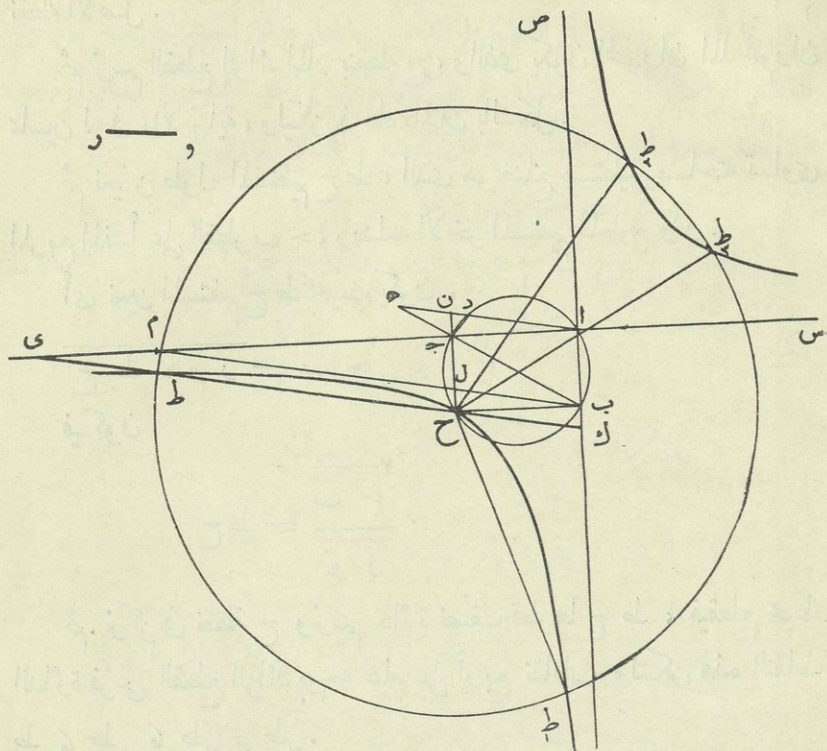
وبرهن على ذلك ببرهان هندسي صحيح يفي بالغرض المطلوب .
ومن الواضح أن المقدمتين الأولى والثانية متشابهتان بل هما في الحقيقة صورتان لعملية هندسية واحدة . وكذلك فإن المقدمتين الثالثة والسادسة متشابهتان وهما أيضاً صورتان لعملية هندسية واحدة . ولما كانت الفكرة الأساسية التي توخاها ابن الهيثم نفسه في وضع حل المقدمتين الأولى والثانية والبرهان عليهما واحدة ، وكذلك في وضع حل المقدمتين الثالثة والسادسة ، وجدنا من الأنسب منعاً للتكرار أن ندمج المقدمتين الأولى والثانية معاً ونعرضهما بعنوان « العملية الهندسية الأولى » وندمج المقدمتين الثالثة والسادسة معاً ونعرضهما بعنوان « العملية الهندسية الثانية » ونجعل من مقدمات ابن الهيثم الست أربع عمليات هندسية تشملها جميعاً .

وقد التزمنا في إيراد هذه العمليات الهندسية فيما يلي ألا نحيد عن النهج الذي سلكه ابن الهيثم من حيث الفرض والعمل والبرهان ، ولكن مع تعديل يسير لا يتجاوز قليلاً من التقديم أو التأخير ، مصحوباً بالشرح والتعليق لكي نجعل تلك العمليات أقرب منا لا مع الحرص على ألا يبدل ذلك كله سياق تفكير ابن الهيثم أو منطق براهينه الهندسية (١) .

(١) لم نلتزم في عرض هذه العمليات الأربع والبراهين عليها بالحروف الرمزية التي استعملها ابن الهيثم في مقدماته الست وفي البرهان عليها . فهو لم يستعمل في المقدمات المتشابهة رموزاً واحدة ، فضلاً عن أن المقالة الخامسة من مخطوط الفاتح وهو في نظرنا المنقول عنه مخطوط « أبا صوفيا » منسوخ بخط غير منقوط وليست البحوث الهندسية الواردة فيه موضحة بأشكال وبه أخطاء كثيرة . منها الخلط بين الحروف المختلفة المرموز بها لنقاط الأشكال الهندسية في العمل الهندسي وفي انبرهان ، كالخلط بين الواو والفاء أو بين الجيم والحاء والحاء أو بين الباء والراء والنون أو غير ذلك من الحروف المتقاربة الرسم التي يصعب التمييز بينها لمن لم تكن منقوطة . ومن تلك الأخطاء الغلط في نسخ بعض الألفاظ وقد ورد في مواضع كثيرة فشلاً يرد « مائل الزاوية » أو « قائماً لدائرة » حيث المقصود « قائم الزاوية » ويرد « فنية زاوية هـ ا هـ ب بعضين » حيث المقصود « قسم زاوية هـ ا د بنصفين » ويرد « وتبين على مثل ر م د ح دائرة » حيث المقصود « وندير على مثل م د ح دائرة » . وإن لم تكن هذه الأخطاء قد تسكررت بهذه الكثرة في تنقيح الفارسي فهو أيضاً لا يخلو من الخطأ وأشكاله بوجه عام ليست مضبوطة . ولارب أن هذه الأخطاء من أخطاء الناسخ وهي من =

١٣٤ - العملية الهندسية الأولى

المعلوم نقطة ١ (شكل ٩٠) على محيط دائرة قطرها h ، ويراد اخراج



(شکل ۹۰)

مستقيم من نقطة α يقطع محيط الدائرة على d ، والقطر $b > c$ ، هو أو امتداده ، على h بحيث يكون $d = h$ يساوي طول مستقيم معلوم هو w ر العمل :

نرسم من γ المستقيم γ موازياً لـ α ، وليقطع محيط الدائرة على نقطة δ ، ونصل $\beta \delta$.

== جراء أكثرها وتكررها تجعل من غير السهل تتبع خطوات البرهان في كثير من المواضع .
لذلك وجدنا من الأليق أن نصوغ هذه العمليات في قالب عصري مألوف ونحررها من مثل
هذه العيوب وقد حرصنا أشد الحرص على ألا نتجاوز الفكر الهندسية التي بنى عليها ابن
الهيثم بحوثه وألا نخرج عن الخطوات التي اتبعها في براهينه .

نمد الضلعين ١ > ١٦ ب على استقامتيهما من الجهتين ، ولتتخذهما محوري
إحداثيات متعامدين هما السيني والصادي على الترتيب ، ونقطة تقاطعهما ١
نقطة الأصل .

ثم نرسم القطع الزائد المار بنقطة ح ، والذي يكون المحوران المذكوران
مماسين له في مالا نهاية ، وليكن فرعاه كالمبين بالشكل .

ثم نعيّن طول المستقيم ح ط ، الذي هو ضلع مستطيل مساحته تساوى
المربع المنشأ على القطر ب ح ، وضلعه الآخر المستقيم المعلوم و ر .

أى نعين المستقيم ح ط بحيث يكون

$$\overline{ح ط} \cdot \overline{و ر} = \overline{ب}^2$$

فيكون

$$\overline{ح ط} = \frac{\overline{ب}^2}{\overline{و ر}}$$

ثم نركز في نقطة ح ونرسم دائرة نصف قطرها ح ط ، فيقطع محيط
الدائرة فرعى القطع الزائد بوجه عام على أربع نقاط ، ولتكن هذه النقاط
ط ١ ، ط ٢ ، ط ٣ ، ط ٤ .

نصل ح ط ١ ، ح ط ٢ ، ح ط ٣ ، ح ط ٤ .

ثم نرسم من نقطة ١ أربعة مستقيمتين توازى هذه المستقيمتين الأربعة
بحيث يقطع كل منهما محيط الدائرة المحيطة بالمثلث ١ ب ح على نقطة ، والقطر
ب ح ، أو امتداده على أخرى .

فيكون كل واحد من هذه المستقيمتين هو المستقيم المطلوب .

البرهان :

(أولاً) ليكن ١ ه المستقيم الموازى للمستقيم ح ط وليقطع امتداد
القطر ب ح على ه ومحيط الدائرة المحيطة بالمثلث ١ ب ح على د .

فيكون المطلوب إثباته أن د ه = و ر

نمد المستقيم ح ط من جهتيه حتى يقطع المحور الصادي على ك ، والسيني

على $ى$. ونرسم $ب م$ موازياً $ك ى$ ، وليقطع $ح$ على $ل$ ، والمحور
السيني على $م$. ونمدح $ح$ على استقامته وليقطع $ا هـ$ على $ن$ ، ونصل $ح د$.
بما أن $ح ط$ وتر في القطع الزائد ومن المعلوم أن الجزء المنفصل من وتر
القطع الزائد ($أو من امتداده$) بين القطع وبين أحد المحورين يساوى الجزء
المنفصل منه ($أو من امتداده$) بين القطع والمحور الثانى، فإن
 $ح ك = ط ى$.

وبما أن $ح ب م ى$ متوازى أضلاع، فإن

$$ب م = ح ى$$

وبما أن $ح ك ب ل$ متوازى أضلاع، فإن

$$ح ك = ب ل$$

$$\therefore ل م = ح ط$$

$$و \triangle ا > ن يشابه \triangle م > ل$$

$$\therefore \frac{ان}{م ل} = \frac{ا > ن}{م > ل} \quad (١)$$

$$و \triangle ا > هـ يشابه \triangle م > ب$$

$$\therefore \frac{ا > هـ}{م > ب} = \frac{ا > ن}{م > ل} \quad (٢)$$

$$\text{ومن (١) و (٢) ينتج أن } \frac{ان}{م ل} = \frac{ا > هـ}{م > ب}$$

$$\text{وبما أن } ل م = ح ط$$

$$\therefore \frac{ان}{ح ط} = \frac{ا > هـ}{م > ب} = \frac{ا > ن}{م > ل}$$

$$\therefore و ر . ا > ن = هـ > ب \quad (٣)$$

ومن السهل إثبات أن $\triangle ا > هـ > د$ يشابه $\triangle هـ ن >$

$$\frac{h}{n} =$$

$$\frac{h}{n}$$

$$(4) \quad \frac{h}{n} = \frac{h}{n} \quad \text{ولكن } \frac{h}{n} = 1 \quad \text{ولكن } \frac{h}{n} = 1$$

$$(5) \quad \frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

$$\frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

وبالتعويض عن $\frac{h}{n}$ من (٤) يتبين أن

$$\frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

$$\frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

$$\frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

وبما أنه قد ثبت في (٣) أن

$$\frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

$$\frac{h}{n} = \frac{h}{n} + \frac{h}{n}$$

(ثانياً) كذلك إذا راعينا الوتر ط ورسمنا من ا المستقيم ا د ه موازياً له قاطعاً محيط الدائرة المحيطة بالمثلث ا ب ح على د وامتداد القطر ح ب (من جهة ب) على ه ، أمكن إثبات أن
 $\frac{h}{n} = \frac{h}{n}$

والمستقيم المرسوم من ب موازياً ح ط يقطع في هذه الحالة المحور السيني على نقطة ولتكن م هي النظرية لنقطة م في الحالة السابقة ، ويقطع امتداد ح ب على نقطة ولتكن ل هي النظرية لنقطة ل في الحالة الأولى ويكون ل م ح ط

ويمكن تتبع مثل خطوات البرهان المذكور في الحالة الأولى مع استبدال ب

بالحرف γ في المواضع التي تقتضيها هذه الحالة ومد γ بدلا من γ حتى يقطع α على β .

(ثالثاً) كذلك إذا راعينا الوتر γ ورسمنا من α المستقيم α موازياً له قاطعاً محيط الدائرة المحيطة بالمثلث α γ على β وقاطعاً القطر β لا امتداده، على α ، أمكن إثبات أن $\alpha = \beta$.

وفي هذه الحالة يقطع الوتر نفسه المحورين. والمستقيم المرسوم من β موازياً γ يقطع المحور السيني على α ويقطع امتداد γ على β ، ويكون $\beta = \gamma$. وامتداد γ يقطع امتداد α (لا α نفسه) على نقطة β .

ويمكن تتبع خطوات البرهان نفسه كما في الحالة الأولى مع ملاحظة أن ما يناظر (٥) من البرهان السابق وهو

$$\alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma \quad \alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma$$

يساوى في هذه الحالة

$$\alpha \cdot (\beta - \gamma) = 0$$

ومنه ينتج أن

$$\alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma \quad \alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma$$

$$\alpha \cdot \beta = \alpha \cdot (\beta + \gamma) \quad \alpha \cdot \beta = \alpha \cdot (\beta + \gamma)$$

$$\alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma \quad \alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma$$

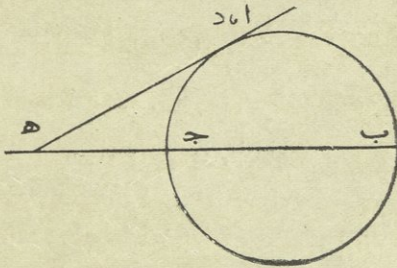
$$\alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma \quad \alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \gamma$$

(رابعاً) كذلك إذا راعينا الوتر γ ، ورسمنا من نقطة α المستقيم α موازياً له قاطعاً محيط الدائرة المحيطة بالمثلث α γ على β وقاطعاً القطر β على α . أمكن أيضاً إثبات أن $\alpha = \beta$.

وكما في (ثالثاً) فإن الوتر ح ط م يقطع المحورين السيني والصادي .
فالمستقيم المرسوم من ب موازياً ح ط م يقطع المحور السيني على نقطة
ولتكن م م ويقطع امتداد ح على نقطة ولتكن ل م . والمستقيم ح
يقطع ا د م (أو امتداده) على نقطة ولتكن ن م . فيمكن تتبع خطوات
البرهان نفسه مع التعديل المبين في (ثالثاً) لإثبات المطلوب .

١٣٥ - بيان ونعني على العملية الأولى

والعملية الأولى التي أوردناها هنا على الصفة المذكورة تشمل ما أورده
ابن الهيثم نفسه في مقدمتيه الأولى والثانية كل منهما على حدها . فهو في المقدمة
الأولى تناول كيفية إخراج المستقيم الذي يقطع محيط الدائرة على نقطة ويقطع
امتداد القطر ب ح من جهة ح على نقطة بحيث يكون الجزء المحصور بين
النقطتين مساوياً الطول المعلوم . فمقدمته الأولى هي الصورة التي أوردناها في



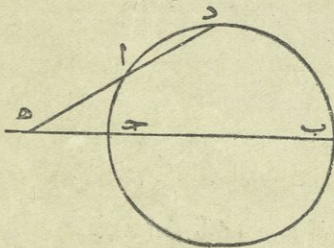
(شكل ٩١)

(أولاً) من هذه العملية . ثم أن

ابن الهيثم تناول في مقدمته الأولى
شرح ثلاث حالات . فالمستقيم المراد
إخراجه قد يكون مماساً للدائرة
المفروضة فتطبق النقطتان ١ و ٢ ،

إحدهما على الأخرى (شكل ٩١)

وقد تقع نقطة د على القوس ١ (شكل ٩٠) حيث يقطع المستقيم ا هـ



(شكل ٩٢)

محيط الدائرة على د ، وقد تقع نقطة د

على القوس ١ ب (شكل ٩٢) فيكون

امتداد هـ ا من جهة ا هو القاطع لمحيط

الدائرة على د . وهذه الحالات الثلاث

هي حالات خاصة تكون بحسب موقع

نقطة ا على محيط الدائرة وبحسب طول

المستقيم المعلوم و ر

وكذلك فإن ما أوردناه في (ثانياً) لا يتجاوز بحال منطوق مقدمته الأولى لأنه يتضمن كيفية إخراج المستقيم الذي يقطع محيط الدائرة على نقطة ويقطع امتداد القطر $ح$ $ب$ من جهة $ب$ على نقطة بحيث يكون الجزء المحصور بين النقطتين مساوياً الطول المعلوم. وابن الهيثم نفسه قد أغفل في مقدماته هذه الحالة مكتفياً بمد القطر $ب$ $ح$ من جهة واحدة هي جهة $ح$.

وابن الهيثم في مقدمته الثانية تناول كيفية إخراج المستقيم الذي يقطع $ب$ $ح$ على نقطة فيما بين طرفيه $ب$ $و$ $ح$ ، ويقطع محيط الدائرة على نقطة، بحيث يكون الجزء المحصور بين النقطتين مساوياً الطول المعلوم. فمقدمته الثانية تشمل ما أوردناه في (ثالثاً) و (رابعاً) من العملية.

وبما أن طول المستقيم $ح$ $ط$ يساوى $\frac{ب}{و}$ فالدائرة التي مركزها $ح$

ونصف قطرها $ح$ $ط$ وإن قطعت الفرع المار بنقطة $ح$ من القطع الزائد، ولنسمه الفرع الأول، على تصاريف الأحوال، أي كان الطول المعلوم $و$ $ر$ ، فإنه يحتل فيها وجوه ثلاثة فيما يتعلق بالفرع الآخر من القطع الزائد، ولنسمه الفرع الثاني، فهي قد تقطعه على نقطتين (شكل ٩٠)، وقد تمسه على نقطة واحدة. وقد تقع دونه لا يصل إليه محيطها. فإن كانت المقدمة الأولى تصح على تصاريف الأحوال فالمقدمة الثانية تحتل ثلاثة وجوه. وابن الهيثم قد ضمن بحوثه بيان ذلك. فإخراج المستقيم المطلوب على الصفة المبينة في المقدمة الثانية قد يكون من المحال عملياً تحقيقه، وذلك إذا تجاوز الطول المعلوم $و$ $ر$

حداً معيناً يجعل الدائرة التي نصف قطرها $ح$ $ط$ (يساوى $\frac{ب}{و}$)

ومركزها $ح$ لا تصل إلى الفرع الثاني للقطع الزائد. وقد يكون من الممكن تحقيقه إذا لم يكن الأمر كذلك. وإذا كان من الممكن تحقيقه فقد يكون إخراج المستقيم ممكناً على صورة واحدة فقط، وذلك إذا كانت الدائرة التي مركزها $ح$ ونصف قطرها $ح$ $ط$ تمس الفرع الثاني من القطع على نقطة واحدة. وقد

يكون إخراج المستقيم ممكناً على صورتين وذلك إذا كانت الدائرة المذكورة تقطع الفرع المذكور على نقطتين . ولا يمكن إخراجه على أكثر من صورتين . وابن الهيثم يحيل على كتاب «أبولونيوس» في المخروطات البحث عن أقصر الخطوط التي تخرج من نقطة ح إلى الفرع الآخر من القطع الزائد^(١) ، ويكتفى بما ذكرناه آنفاً لشرح ما يترتب على ذلك من الأمور المتعلقة بالبحوث التي بناها على مقدمته المذكورة .

ويجدر بنا أن نؤكد هنا مرة أخرى أن النهج الذي نهجناه في عرض العملية الأولى لا يختلف في جوهره عن النهج الذي نهجه ابن الهيثم نفسه في عرض مقدمته الأولى والثانية . ولا يتجاوز التعديل الذي رأينا إدخاله إلا ما ييسر به إدماج المقدمتين في عملية واحدة ، وتبسيط الأشكال الهندسية اللازمة لتوضيح العمل الهندسي والبرهان . فابن الهيثم فيما يختص بهذه الناحية قد عدد الأشكال . بمعنى أنه لم يتخذ نقطة ١ المفروضة على محيط الدائرة نقطة الأصل ولا المستقيمين ١ > ٦ ب بالذات محوري القطع الزائد . بل اتخذ شكلاً آخر جعله على هيئة مستطيل يشابه المستطيل ١ ب ح > (شكل ٩٠) الوارد هنا ورسم من النقطة النظيرة لنقطة ح كما يقول بلفظه «القطع الزائد الذي لا يقع عليه» المستقيمان النظيران للمستقيمين ١ > ٦ ب ، وأحال ذلك على المقالة الثانية من كتاب «أبولونيوس» في المخروطات^(٢) . ثم رسم فيما يتعلق بمقدمته الأولى الوتر النظير للوتر ح ط في الشكل الذي أوردناه ، بحيث تكون نسبة طول الوتر إلى طول المستقيم النظير للمستقيم ب ح كنسبة القطر ب ح المفروض في الدائرة إلى الطول و ر المعلوم . وأحال بيان تساوى جزئى الوتر المحصورين بين محيط القطع وكل من المحورين على كتاب «أبولونيوس» أيضاً^(٣) .

(١) و (٢٠٦) من مخطوط المقالة الخامسة من كتاب المناظر . والوارد في الأصل :

«فهو تبين في الشكل الرابع والثلاثين L (كذا) من مقالة هـ من كتاب أبولونيوس في المخروطات .»

(٢) و (٢٠٣) من مخطوط المقالة الخامسة من كتاب المناظر . والوارد في الأصل : «كما

تبين في شكل د من المقالة الثانية من كتاب أبولونيوس في المخروطات .»

(٣) و (٢٠٣) من مخطوط المقالة الخامسة من كتاب المناظر والوارد في الأصل : «كما تبين

وهو في مقدمته الثانية قد اتخذ أيضاً مستطيلاً شديراً بالمستطيل ١ ب ح > الوارد هنا . ولكنه جعل قطره النظير للقطر ١ ح مساوياً الطول المعلوم . وجعل نصف قطر الدائرة القاطعة للفرع الثاني من القطع وهو النظير للمستقيم ح ط م أو ح ط م مساوياً قطر الدائرة المعلوم ب ح . وابن الهيثم يسمى الفرع الثاني من القطع الزائد القطع المقابل . أما فيما عدا ذلك فإن العناصر الهندسية التي أوردناها هنا هي بالذات ماضمته ابن الهيثم عرض مقدمته الأولى والثانية والبرهان عليهما .

١٣٦ - العملية الهندسية الثانية

المعلوم مثلث ١ ب > (شكل ٩٣) قائم الزاوية في ب ، ونقطة د على الضلع ح ب ، هو امتداده من جهة ب ، ويراد من النقطة د ، إخراج مستقيم يقطع الضلع الثاني ١ ب ، هو أو امتداده ، على نقطة ك ، ويقطع الوتر ١ ح ، هو أو امتداده ، على نقطة ط ، بحيث تكون نسبة

$$\frac{ط ك}{ط ح} = \text{نسبة معلومة ولتكن } \alpha$$

العمل :

نصل ١ د ونعين البعد م ن بحيث يكون

$$\frac{د ١}{م ن} = \text{النسبة المعلوم } \alpha$$

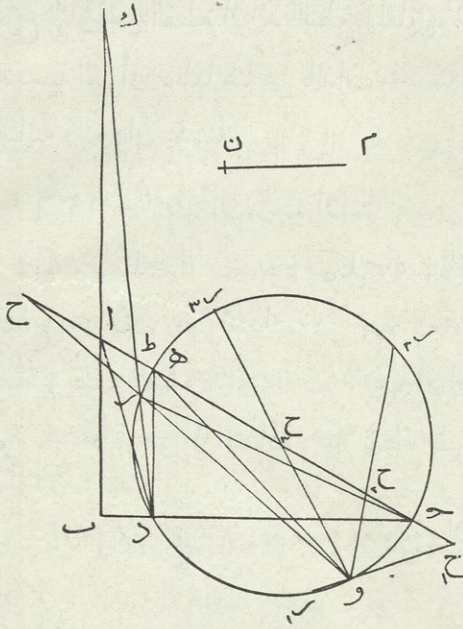
ومر نقطة د نرسم د ه موازياً ١ ب ، قاطعاً ح ١ ، أو امتداده على ه ، ثم نرسم الدائرة المحيطة بالمثلث ه د ح ، ويكون ه ح قطرها . ومن نقطة ه نرسم المستقيم ه و بحيث تكون .

$$د د ه و = د ح ١ د .$$

ونمده حتى يقطع محيط الدائرة على و .

= أيضاً في شكل ح من المقالة المذكورة . ولعل ابن الهيثم كما يستفاد من هذه الأقوال يشير إلى تحرير له لكتاب أبولونيوس في المخروطات .

ثم نخرج من نقطة $و$ المستقيم الذى يقطع محيط الدائرة على نقطة $س$ ،
ويقطع القطر $هـ$ أو امتداده ، على نقطة $ح$ ، ويكون البعد بين هاتين
النقطتين ، $س ح$ ، مساوياً $م ن$.



(شكل ٩٣)

ويتضح من العملية
الأولى أن هذا المستقيم
يمكن إخراجـه على
تصاريف الأحوال أيأ
كان الطول المعلوم $م ن$
على صورتين فيلقى المخرج
على إحدى الصورتين
محيط الدائرة على نقطة
مثل $س$ (شكل ٩٣)
ويلقى امتداد القطر من
أحد طرفيه على نقطة مثل
 $ح$. ويلقى المخرج على

الصورة الأخرى محيط الدائرة على نقطة مثل $س$ ، وامتداد القطر من جهة
الطرف الآخر على نقطة مثل $ح$.

ويتضح أيضاً من العملية الأولى أن المستقيم المطلوب يمكن أيضاً فى بعض
الأحوال إخراجـه بحيث يلقى القطر على نقطة فيما بين طرفيه مثل $س$ أو $ح$ ،
ويلقى المحيط على نقطة مثل $س$ أو $س$ ، ويكون البعد بين النقطتين $س$ و
 $ح$ أو $س$ و $س$ مساوياً البعد المعلوم . وقد يصح إخراجـه فى هذا الوضع
على صورة واحدة فقط .

وإذن فالمستقيم المطلوب إخراجـه يمكن إخراجـه على تصاريف الأحوال

على صورتين ويمكن في بعض الأحوال إخراجه على صورة ثلاثة أيضاً، ويمكن في بعض الأحوال الأخرى إخراجه على صورة ثلاثة ورابعة أيضاً. فإن صح إخراجه على الصور الأربع فلتكن نقاط التقاء هذه المستقيمات الأربعة بمحيط الدائرة هي $م م م م$ (شكل ٩٣).

ثم نصل نقطة $د$ بكل واحدة من هذه النقاط الأربع وتمد الواصل على استقامة حتى يقطع $ا ب$ ، أو امتداده، على نقطة ويقطع $ا ح$ ، أو امتداده على نقطة فيكون هو المستقيم المطلوب إخراجه.

البرهان :

لنأخذ إحدى هذه النقاط الأربع ولتكن $م$ (شكل ٩٣) وليكن المستقيم الخارج من $و$ هو $و م ح$ ، وليقطع $ا ح$ ، أو امتداده، على $ح$. ولنرمز لنقطة تقاطع $د م$ ، أو امتداده $ا ب$ ، أو امتداده بالحرف $ك$ ، ولنقطة تقاطع $د م$ ، أو امتداده $ا ح$ ، أو امتداده بالحرف $ط$ ، ونصل $م ح$.

من السهل إثبات أن

$$\triangle ك ا ط يشابه \triangle ح م ط .$$

$$\therefore \frac{ط ك}{ط ح} = \frac{ط ا}{ط م} .$$

وكذلك يمكن إثبات أن

$$\triangle د ط ا يشابه \triangle ح ط م .$$

$$\therefore \frac{ط ا}{ط م} = \frac{د ا}{ح م} .$$

$$\therefore \frac{ا د}{م ن} =$$

$$\therefore \frac{\text{ط ك}}{\text{ط ح}} = \text{النسبة المعلومة لـ}$$

وبالمثل فيما يختص بكل واحدة من النقاط $\text{م} ، \text{و} ، \text{ز} ، \text{ح} ، \text{ط} ، \text{ك}$.
وكذلك إذا كانت نقطة د واقعة على امتداد ح ب ^(١) .

١٣٧ - بيان ونماذج على العملية الثانية

وهذه العملية على الصفة التي أوردناها هنا تشمل ما أورده ابن الهيثم في مقدمتيه الثالثة والسادسة . فهو في مقدمته الثالثة تناول حالتين إحداهما كيفية إخراج مستقيم من نقطة د على الضلع ب ح فيما بين طرفيه ، بحيث يلقى المستقيم المخرج وتر القائمة ١ ح فيما بين طرفيه ، على نقطة مثل ط ، ويلقى امتداد الضلع ب ١ من جهة ١ على نقطة مثل ك ، وبحيث تكون نسبة ط ك إلى ط ح = النسبة المعلومة ، وذلك كما هو مبين بشكل (٩٣) الوارد هنا .
والأخرى كيفية إخراج مستقيم من نقطة نظيرة لنقطة د في الشكل ولكنها على امتداد ح ب من جهة ب ، وبحيث يتحقق شرط النسبة المذكورة .
وهذه الحالة تتطلب أن يخرج من النقطة النظيرة لنقطة د في الشكل مستقيماً يقطع محيط الدائرة على نقطة نظيرة لنقطة م ، ويقطع امتداد ح ه من جهة ه على نقطة نظيرة لنقطة ح ، ويكون إتمام العمل والبرهان بمثل ما سبق .
وإخراج المستقيم من و (شكل ٩٣) ، أو من النظيرة لها ، يجوز في كل من الحالتين المذكورتين على وجهين اثنين حيث تكون نقطة ح ، أما فيما يلي ه من ح ، أو مثل ح ، فيما يلي ه من ه . ولكن ابن الهيثم راعى أن يكون إخراج القطر ح ه من جهة ه وحدها ، لأنه كما بينا سابقاً قد أغفل ما أوردناه في (ثانياً) من العملية الأولى .

وهو في المقدمة السادسة تناول كيفية إخراج مستقيم من نقطة د على الضلع ب ح فيما بين طرفيه ب و ح بحيث يلقى وتر القائمة فيما بين طرفيه

(١) يتوقف البرهان في جميع الأحوال على تشابه المثلثين ك ا ط ، ح ر ط ، وتشابه المثلثين د ط ا ، ح ط ر . غير أن إثبات التشابه يختلف اختلافاً طفيفاً بحسب اختلاف الأشكال .

إذا ما انطبق المستقيم الخارج على د ه بلغت النسبة ما لا نهاية مرة أخرى ،
 فإذا ما تحدد الوضعان ك ط ، و ك ط ، اللذان تكون فيهما النسبة
 $\frac{ك ط}{ط} \text{ أو } \frac{ك ط}{ط}$ نسبة معلومة ، فإن أى مستقيم يخرج من د مثل
 ك ط ويكون واقعاً بين ك ط ، و ك ط ، تكون فيه نسبة $\frac{ك ط}{ط}$
 أصغر من تلك النسبة المعلومة . وأيضاً فالمستقيم الخارج من د بحيث يكون
 طرفه الواقع على امتداد ب في الجزء الواقع بين ب و ك ، أو فيما يلي
 ك من ب ، تكون فيه النسبة المذكورة أعظم من النسبة المعلومة .

١٣٨ - العملية الهندسية الثالثة

المعلوم دائرة مركزها ح وقطرها ب و نقطة ه مفروضة ، والمطلوب
 اخراج مستقيم من نقطة ه يقطع محيط الدائرة على نقطة د ، والقطر ب
 على نقطة م ، بحيث يكون د م مساوياً ح م (شكل ٥٩) .

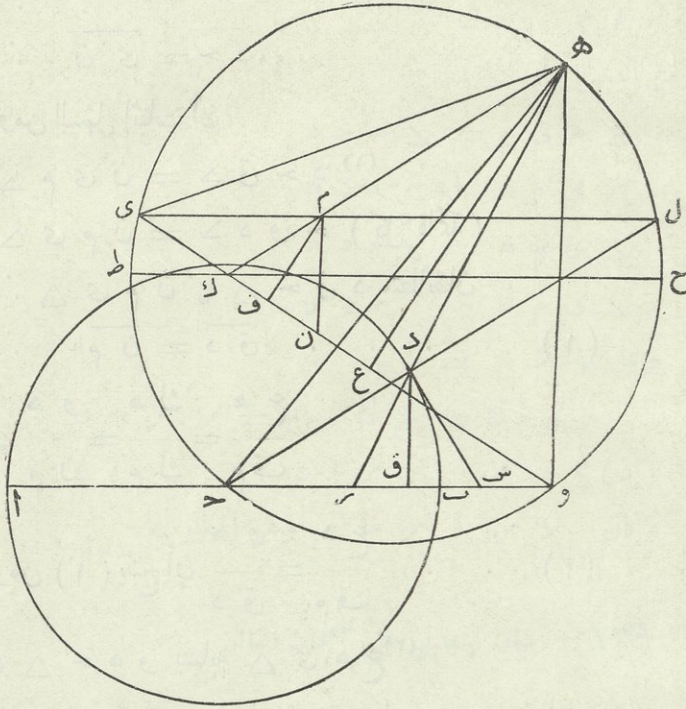
العمل :

نسقط من نقطة ه العمود ه و على القطر ب ، أو امتداده ونرسم
 الدائرة المحيطة بالمثلث ه و ح ، ونرسم فيها ح ط قطراً منصفاً الوتر ه و (فيكون
 عموداً عليه) . ومن نقطة و نخرج المستقيم و ي قاطعاً محيط هذه الدائرة
 على ي ، والقطر ح ط (أو امتداده) على ك بحيث يكون .
 $ك ي = ح ي$.

ثم نرسم من نقطة ي المستقيم ي ل موازياً ط ح بحيث يقطع محيط
 الدائرة المحيطة بالمثلث ه و ح على ل .

نصل ل ح فيقطع هو أو امتداده محيط الدائرة التي مركزها ح على
 نقطة وتسكن د .

نصل ه د فيقطع هو أو امتداده القطر ا ب على نقطة ولتكن م ،
فيكون هو المستقيم المطلوب .



(شكل ٩٥)

البرهان :

نصل ك ه وليقطع هو أو امتداده ي ل ، أو امتداده على م ،
نرسم من نقطة المستقيم م ن موازياً ه و ، وقاطعاً و ي ، أو امتداده
على ن ، ونسقط من المستقيم م ف عموداً على و ي ، ومن نقطة ه ،
المستقيم ه ع عموداً على و ي .

ونسقط من د المستقيم د ق عموداً على القطر ا ب ، ونصل ه ي .

فن السهل إثبات أن

$$ك م = ك ن$$

وما أن دى م ن قائمة ،

يتبين أن نقطة ك منتصف ن ي .

وما أن كى $\frac{1}{4} = 1 \frac{1}{4} = \frac{5}{4}$ د

∴ $\overline{N} = \overline{D}$.

ومن السهل إثبات أن

د م ی ن = د ق ح د (۱)

٦ د ی م ن = د د ق ح (كله قائمه)

∴ $\triangle$ ی م ن و $\triangle$ ح ق د متطابقان

(۱) $\therefore \overline{م ن} = \overline{د ق}$

ه و ه ك ه ع
م ن م ك م ف

ومن (١) ينتج أن $\frac{ه و}{ه ق} = \frac{ه ع}{م ف}$. . . (٢)

۶. Δ - ح ه و یشابه Δ ی ه ع^(۲)

$$(۳) \quad \dots\dots\dots \frac{۵۷}{۹۵} = \frac{۵۷}{۹۵} \therefore$$

وبضرب (٢) في (٣) ينتج أن

(٤) $\frac{ح ه ي ه}{م ف} = \frac{ح ه ي ه}{م ف}$

۶. د ق ح یشابه Δ م ف ی

$\therefore \frac{\text{د ق م ف}}{\text{د ح م ی}} = \dots \dots \dots (۵)$

(١) يختلف السبب بحسب اختلاف الأشكال .

(٢) يختلف السبب بحسب اختلاف الأشكال .

من (٤) ٦ (٥) ينتج أن

$$(٦) \quad \frac{هـ ي}{هـ م} = \frac{هـ د}{هـ م}$$

ومن السهل بيان أن

$$هـ ي م = هـ د هـ$$

$$\therefore \triangle هـ ي م \text{ يشابه } \triangle هـ د هـ$$

$$\therefore هـ د ي م هـ = هـ د هـ$$

$$\therefore هـ د ي م ك = هـ د م$$

$$\text{وبما أن } ك م = ك ي$$

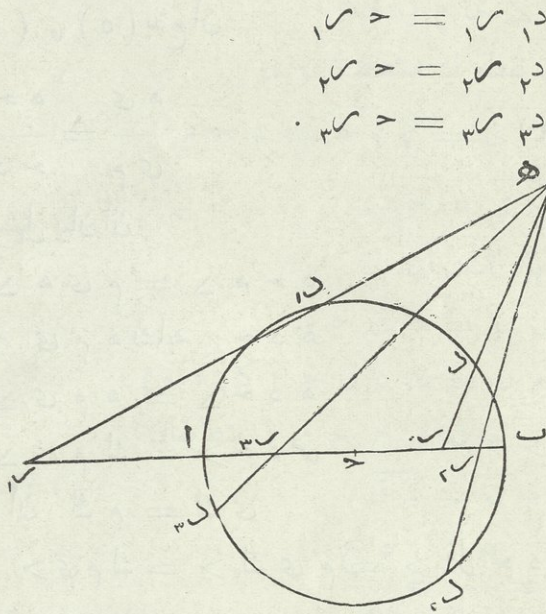
$$\therefore هـ د ي م ك = هـ د ي م = هـ د م$$

$$\text{وإذن } هـ د م = هـ د م$$

$$\text{وإذن } د م = م هـ \text{ وهو المطلوب.}$$

١٣٩ - بيان وتعليق على العملية الثالثة

والفكرة الأساسية في هذه العملية تتوقف على إخراج مستقيم من نقطة و التي هي على محيط الدائرة التي قطرها ح ط بحيث يكون الجزء المحصور منه بين قطرها ح ط ، وبين محيطها ، مساوياً ربع قطر الدائرة المعلومة التي مركزها ح . وهذا المستقيم بوجه عام يمكن إخراجها على أربعة أوضاع . وإن كانت نقطة ه المفروضة خارج الدائرة المعلومة فإن قطر الدائرة المحيطة بثلاث ه ح و ، يكون حتماً أعظم من نصف قطر الدائرة المعلومة . فيكون الجزء المحصور بين قطر الدائرة المحيطة ، وبين محيطها ، من المستقيم الخارج من نقطة و ، أصغر حتماً من نصف قطرها . وإذن يصح إخراج هذا المستقيم على الأوضاع الأربعة فتصح العملية على أربع صور كما هو مبين (بشكل ٩٦) . حيث يمكن بتتبع مثل خطوات العمل نفسها ، ومثل البرهان نفسه ، إثبات المطلوب . أي إثبات أن



(شكل ٩٦)

أما إذا كانت نقطة هـ المفروضة داخل الدائرة المعلومه فإن العملية يحتمل فيها ثلاثة وجوه ، فهي ربما تصحح على أربع صور وربما تصحح على ثلاث فقط وربما تصحح على صورتين فقط .

وفي جميع هذه الأحوال سواء كانت النقطة المفروضة هـ خارج الدائرة أو داخلها فإن المستقيم ل هـ (شكل ٩٥) أو النظير له يلقى محيط الدائرة المفروضة على نقطتين أحدهما فقط هي التي يتعين بها المستقيم هـ د م أو المستقيمت النظيرة له المطلوب تعيينها .

وهذه العملية التي أوردناها هنا تقابل ما أورده ابن الهيثم في مقدمته الخامسة . وهو قد أورد هذه المقدمة على صورة عامة تجعل خطوات العمل والبرهان منطبقة على الأوضاع المختلفة التي يصح أن يخرج عليها المستقيم المطلوب . ولكنه في النص عليها جعل النقطة المفروضة هـ خارج الدائرة ولم يعن في عرض مقدمته والبرهان عليها ، بتناول الأوضاع المختلفة التي يصح عليها إخراج المستقيم المطلوب ، ولا بالإشارة إليها .

ولم يختلف عن ابن الهيثم في عرض هذه العملية هنا إلا في توحيد الشكل .

فانه في الأصل الوارد جعل الدائرة المارة بالنقاط ه و و ه في شكل منفصل عن الدائرة المفروضة، فاتخذ مستقيماً يساوي ه و واخرج الدائرة التي يكون فيها هذا المستقيم وتراً يوتر عند محيطها زاوية تساوي زاوية ه و ه . ثم اخرج فيها القطر المنصف للوتر، وأخرج من النقطة النظيرة لنقطة و المستقيم النظير للمستقيم و ك ي ، الذي يليق هذا القطر على نقطة هي النظيرة لنقطة ك ، ويلقى المحيط على نقطة هي النظيرة لنقطة ي ، بحيث يكون الجزء المحصور بين النقطتين مساوياً لنصف قطر الدائرة المعلومة . ثم اخرج من النقطة النظيرة لنقطة ي المستقيم الموازي للقطر المذكور ، فيحيط هذا المستقيم مع هذا القطر بزاوية هي النظيرة لزاوية ل ي و . فلتعين نقطة د على محيط الدائرة المعلومة يخرج فيها قطر تكون الزاوية المحصورة بينه وبين القطر المفروض فيها مساوية للزاوية المذكورة . ويلاحظ في إجراء العملية على هذه الصفة أن هذا القطر يصح إخراجاً على وضعين بالقياس إلى القطر المفروض . ولكن أحد وضعيه دون الآخر هو الذي يصح في العملية ، فضلاً عن أن النقطة المطلوب تعيينها هي أحد طرفيه دون الآخر في الوضع الذي يصح .

١٤٠ - العملية الهندسية الرابعة

المعلوم دائرة مركزها ح ، ونقطتان ه و د حيثما اتفق ، ويراد إيجاد نقطة ا على محيط الدائرة ، بحيث إذا وصل المستقيمان ه ا و د ا ، أحاط أحدهما مع الآخر بزاوية ، وكانت الزاوية التي يحيط بها أحدهما والمماس من نقطة ا ، مساوية للزاوية التي يحيط بها الآخر وهذا المماس .

العمل :

لتكن نقطة ه (شكل ٩٧) أبعد عن المركز ح من نقطة د .
نصل ه ح و د ح ، ونمد ه ح حتى يليق محيط الدائرة على ب .
ثم نرسم مستقيماً ك ل (شكل ٩٨) حيثما اتفق وننصفه على نقطة ن ، ونقسمه على نقطة م بحيث يكون

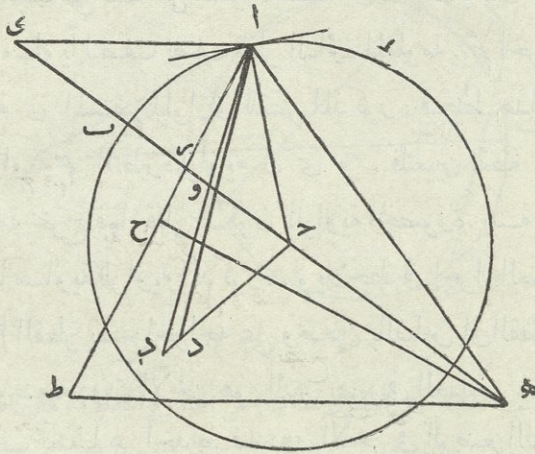
$$\frac{ك م}{م ل} = \frac{د ح}{ه ح}$$

ونرسم من ك المستقيم ك ع بحيث تكون

$$\angle ع ك ل = \angle د ح ب .$$

ولتكن نقطة التقاء هذا المستقيم بالعمود المقام من نقطة ن على ك ل

هى نقطة ع .



(شكل ٩٧)

ثم نخرج من نقطة م ، المستقيم م ق ف قاطعاً ن ع ، أو امتداده ،
على نقطة ف وقاطعاً ك ع ، أو امتداده ، على نقطة ق ، بحيث يكون

$$\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{هـ ح}{ح ب}$$

ثم نخرج من مركز الدائرة ح (شكل ٩٧) نصف القطر ح ١ ،
بحيث تكون .

$$\angle د هـ ١ = \angle ف ق ك$$

وبحيث يكون اتجاه الترتيب الدائرى هـ ١ ح ، عكس اتجاه الترتيب الدائرى

ف ق ك ، فيكون نقطة ١ هى النقطة المطلوبة .

البرهان :

نصل ف ك (شكل ٩٨) ٦ ه ١ (شكل ٩٧) فيما أن $\angle ١ > \angle ٢$

$$\therefore \frac{\angle ١ > \angle ٢}{\angle ١ > \angle ٢} = \frac{\angle ١ > \angle ٢}{\angle ١ > \angle ٢}$$

٦ ه ١ $\angle ١ > \angle ٢$ ف ق ك .

اذن المثلثان ه ١ ٦

ف ق ك متشابهان وزواياهما المتناظرة متساوية .

نخرج من نقطة ١ (شكل

٩٧) المستقيم ا م بحيث تكون

$\angle ١ > \angle ٢ = \angle ٣$ ك م ،

ويكون أيضاً

$\angle ١ > \angle ٢ = \angle ٣$ ف ك م .

(شكل ٩٩)

وليق ا م المستقيم ه ب ، أو امتداده على نقطة م

فتكون ا م ه $\angle ١ > \angle ٢ = \angle ٣$ ف ك م

ويكون المثلثان ا م ه ٦ ك م ف متشابهين .

ثم نخرج ا م إلى ط بحيث يكون

$$\frac{\angle ١ > \angle ٢}{\angle ١ > \angle ٢} = \frac{\angle ١ > \angle ٢}{\angle ١ > \angle ٢} = \frac{\angle ١ > \angle ٢}{\angle ١ > \angle ٢}$$

ونصل ه ط ثم نسقط من ه ، المستقيم ه ح عموداً على ا ط ،

ونخرج من نقطة ا المستقيم ا ب موازياً ه ط ، ونخرجه حتى يلقى ه ب

أو امتداده على نقطة ب ، ونصل ب ل ، فتكون

$\angle ١ > \angle ٢ = \angle ٣$ ح م ن .

وبما أن كلا من الزاويتين اللتين عند ح و ن قائمة ، تكون
 $\angle م ر ه = \angle د م ف$ ن .

ومن تشابه المثلثين ا م ر ه ، ك م ف ينتج أن

$$\frac{ا م}{م ر ه} = \frac{ك م}{م ف}$$

وبما أن

$$\frac{ا م}{م ر ط} = \frac{ك م}{م ل}$$

$$\frac{م ر ط}{م ل} = \frac{م ر ه}{م ف}$$

∴

وبما أن د ه م ر ط = د ف م ل ،

إذن المثلثان م ر ط و م ف ل متشابهان ، وزواياهما المتناظرة متساوية .

$$\therefore \angle م ر ط ه = \angle د م ل ف$$

$$= \angle د م ك ف$$

$$= \angle د م ر ا ه .$$

وأيضاً د ا م ر ط = د ا م ل ه ، أى تساوى د م ر ط ه .

$$\therefore \angle د ا م ر ط = \angle د ا م ل ه ،$$

$$\therefore ا م ر ينصف زاوية ه ا ل$$

$$\therefore \frac{ا م}{ا ه} = \frac{م ر}{م ل} = \frac{م ر}{م ه} = \frac{م ر}{م ف} (١)$$

نخرج من نقطة ا المستقيم ا و ، بحيث تكون الزاوية التي يحيط بها
 ا و ، والمماس للدائرة من نقطة ا ، مساوية الزاوية التي يحيط بها ا ه وذلك
 المماس . ونخرج هذا المستقيم حتى يلقى ه ب ، أو امتداده ، على نقطة و ،
 ويلقى ح د أو امتداده على نقطة وتكن د ، فإن أمكن إثبات أن نقطة
 د تطبق على نقطة د ، ثبت المطلوب .

فالمثلثان $\triangle ABC$ و $\triangle DEF$ متشابهان .

وذلك لأنه إذا كان المستقيم الخارج من M (شكل ٩٨) يلقى امتداد N ع من جهة E على نقطة F ، ويلقى K ع فيما بين طرفيه على نقطة Q كالمبين بالشكل ، يكون على هذا الوضع

$\triangle DEF$ أكبر من $\triangle ABC$ ،

حيث $\triangle DEF$ هي متممة $\triangle ABC$ من قائمتين .

ولكن $\triangle ABC = \triangle DEF$ ، وهي نصف زاوية القطاع الأول على تصارييف الأحوال .

∴ $\triangle DEF$ في الوضع المذكور أعظم من متممة نصف زاوية القطاع الأول من قائمتين .

ولكن $\triangle DEF$ في الوضع المذكور أصغر من قائمتين ، وهي مساوية لزاوية $\angle A$.

∴ نقطة A تقع على قوس القطاع المقابل .

فيكون على هذا الوضع $\angle A$ منصفاً لزاوية $\angle A$ و .

وبما أن $\angle A$ منصف لزاوية $\angle A$ ،

∴ $\angle A = \angle A$ هي نصف الفرق بين الزاويتين $\angle A$ و $\angle A$ و

$$\angle A = \angle A$$

ولكن $\angle A = \angle A$ (عملاً)

$\angle A = \angle A$ في هذا الوضع تساوى $\angle A = \angle A$ و .

∴ $\angle A = \angle A = \angle A$ و $\angle A = \angle A$ و $\angle A = \angle A$ و .

ففي المثلثين $\triangle ABC$ و $\triangle DEF$ و

$\angle A = \angle A$ و في الأول $\angle A = \angle A$ و في الثاني

وزاويتا و فيهما متساويتان ،

وإذن المثلثان متشابهان .

ومثل هذا البرهان يمكن إثبات تشابه المثلثين المذكورين على جميع

الأوضاع التي يمكن فيها من نقطة م (شكل ٩٨) إخراج المستقيم النظير للمستقيم ف ق على النسبة المذكورة^(١).
وينتج من تشابه المثلثين المذكورين أن

$$\frac{أ ي}{أ و} = \frac{أ د}{أ و}$$

$$\frac{أ ي}{أ و} = \frac{أ ي}{أ و} \text{ ولكن } \frac{أ د}{أ و} = \frac{أ د}{أ و}$$

$$\frac{أ و}{أ و} = \frac{أ و}{أ و}$$

$$\frac{أ ي}{أ و} = \frac{أ د}{أ و}$$

$$\frac{أ د}{أ و} = \frac{أ د}{أ و}$$

$$\frac{أ د}{أ و} = \frac{أ د}{أ و} \text{ ولكن كما تبين في (١)}$$

$$\frac{أ د}{أ و} = \frac{أ د}{أ و}$$

$$\frac{أ د}{أ و} = \frac{أ د}{أ و}$$

∴ تنطبق نقطة د على نقطة د

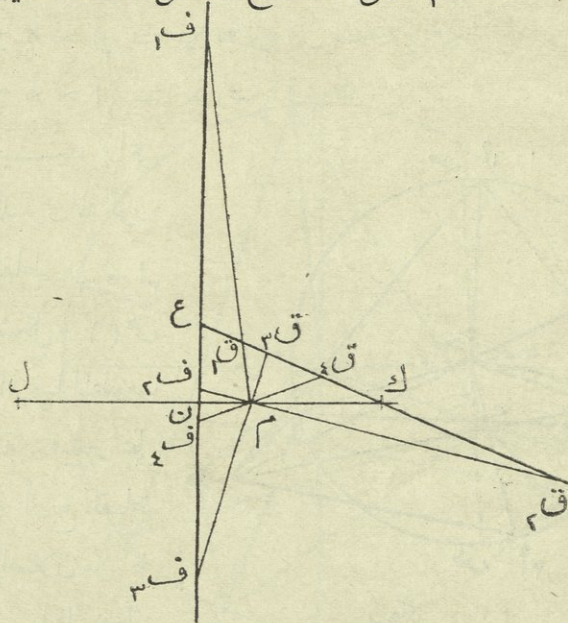
∴ ينطبق أ د على أ د وهو المطلوب

(١) الفكرة الأساسية في تشابه المثلثين واحدة على تصارييف الأحوال وإنما يختلف تطبيقها لإثبات التشابه اختلافا يسيراً بحسب اختلاف الأشكال .

١٤١ - بيان وتعليق على العملية الرابعة

يتبين من العملية الثانية أن المستقيم الخارج من نقطة م (شكل ٩٨) ملاقياً ن ع على نقطه ف و ع ك على نقطة ق بحيث تكون النسبة $\frac{ف ق}{ق ك}$ نسبة معلومة، يمكن إخراجها على تصارييف الأحوال على وضعين اثنين

يلقى في أحدهما امتداد ن ع (شكل ٩٩) على نقطة ف_١، ويقطع ع ك على نقطة ق_١، ويلقى في الآخر ن ع فيما بين طرفيه على النقطة النظرية لنقطة ف_١، ولتكن ف_٢ ويلقى امتداد ع ك على النقطة النظرية لنقطة

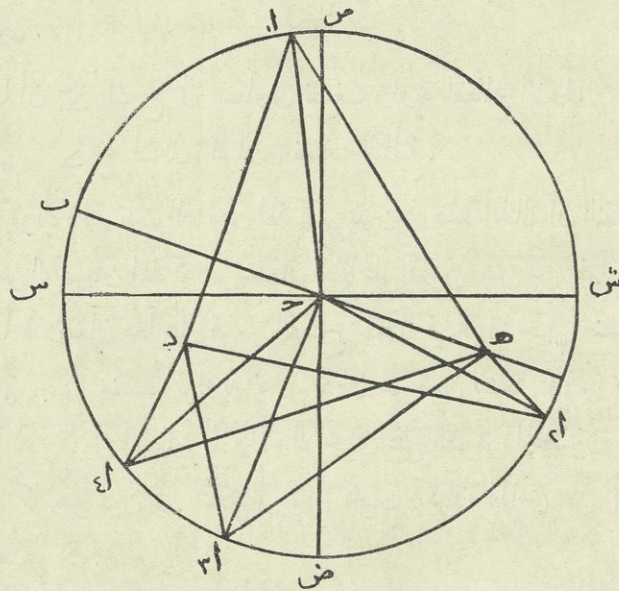


(شكل ٩٩)

ق_١، ولتكن ق_٢. ثم هو يمكن في بعض الأحوال إخراجها على وضع ثالث آخر أو على وضعين ثالث ورابع آخرين، يلتقي فيهما امتداد ع ن من جهة ن، على النقطة النظرية لنقطة ف_١ ولتكن ف_٢، أو ف_٣، ويقطع ع ك فيما بين طرفيه على النقطة النظرية لنقطة ق ولتكن ق_٢ أو ق_٣ وذلك كما هو مبين بشكل (٩٩).

من نصف قطر الدائرة حيث تكون النسبة التي يخرج عليها المخرج وهي
 $\frac{فم ق م}{ق م ك}$ أعظم من الواحد. وإما أن يلقى امتداد ك ع من جهة ع، وذلك
 إذا كان $ح ه$ أصغر من نصف قطر الدائرة حيث تكون النسبة أصغر
 من الواحد.

وعلى الوجه الأول فإن $د فم ق م ك$ أصغر من $د ع ك ن$.
 أى أصغر من نصف التالية ب $ح د$ (شكل ١٠٠). فإذا أخرج القطر
 س ش المنصف للتالية، وكذلك القطر ص ض المنصف لزاوية القطاع،
 وقعت نقطة م على القوس المحصورة بين $ه ح$ ، وبين $ح ش$ ، وهو



(شكل ١٠١)

منصف التالية من جهة ه، وفي هذه الحالة يكون المماس من م م منصفاً
 لزاوية ه م د كما هو مبين بشكل (١٠٠).

وعلى الوجه الثانى أى إن كان $ح ه$ أصغر من نصف قطر الدائرة،
 فالمخرج من م يلقى امتداد ك ع من جهة ع، فإن رمزنا لنقطة الالتقاء
 بالرمز ق م، ولنقطة التقائه بالمستقيم ن ع بالرمز ف م، تكون في هذه الحالة

د فـ قـ ك أصغر من د ك ع ن .

وبما أن زاوية ك ع ن تساوى نصف زاوية القطاع ،

ومع مراعاة الترتيب الدائرى المذكور يتبين أن النقطة ا_١ ، تقع فى هذه الحالة على القوس المحصورة بين هـ ح وبين ح ض ، المنصف لزاوية القطاع الأول ، ويكون نصف القطر المنتهى إليها منصفاً للزاوية هـ ا_١ د كما هو مبين بشكل (١٠١) .

وأيضاً فإنه إذا أمكن من نقطة م إخراج المستقيم على الوضعين الآخرين الثالث والرابع أو على وضع واحد ، فإن د فـ قـ ك (شكل ٩٩) أو ما تناظرها تكون أعظم من د ك ع ن^(١) ، وأصغر من متممة ع ك ن من قائمتين .

وبما أن د ك ع ن تساوى نصف زاوية القطاع الأول

٦ د ع ك ن تساوى نصف التالية ،

فع مراعاة الترتيب الدائرى المذكور يتبين فى هذه الحالة أن النقطتين اللتين تعينان من الوضعين المذكورين تقعان حتماً على قوس ض س فيما بين طرفيها ولكنهما قد تقعان معاً على قوس القطاع الأول فيكون ح ا_١ منصفاً لزاوية هـ ا_١ د ٦ ح ا_١ منصفاً لزاوية هـ ا_١ د كما هو مبين بشكل (١٠١) وقد تقع احدهما على قوس القطاع الأول والأخرى على القوس المحصورة بين ح د ٦ ح س كما هو مبين فى شكل (١٠٠) حيث يكون المماس من ا_١ منصفاً لزاوية هـ ا_١ د .

والبرهان الذى أوردناه فيما سبق ينطبق على جميع هذه الأحوال .

ولكن ابن الهيثم أراد من مقدمته الرابعة حالة واحدة خاصة من الأحوال الممكنة فى هذه العملية وهى الحالة التى يكون فيها المماس للدائرة على النقطة

(١) لعل هذا هو السبب الذى من أجله عنى ابن الهيثم فى الحكم الثانى من أحكام ضعف الانعكاسية (أنظر فقرة ١٢٤ ص ٤٥٦ من الجزء الأول من هذا الكتاب) بنصف زاوية القطاع الأول ، دون العمود الواقع من المركز على الواصل بين النقطتين المتعاكستين .

المطلوب تعيينها منصفاً للزاوية التي يحيط بها الواصلان منها إلى النقطتين ه و د المفروضتين ، وهو يسلك في تعيين هذه النقطة الخطوات نفسها التي أوردناها هنا ، مع التقييد بأن يكون المخرج من نقطة م على الوضع الثاني أى الذى يليق فيه ن ع على نقطة مثل ف م فيما بين طرفيه ويلقى امتداد ع ك على نقطة مثل ق م . وهذا الوضع وإن كان ممكناً على تصاريح الأحوال أيا كانت

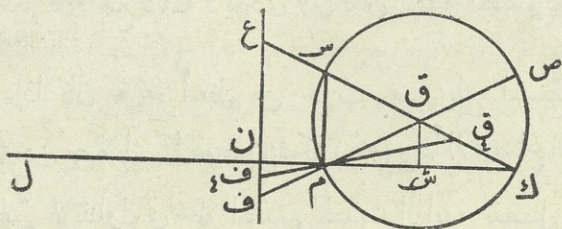
النسبة $\frac{ه ح}{ح ب}$ فانه مع ذلك لا يؤدي إلى تعيين النقطة المقصودة من مقدمته

الرابعة إلا إذا كان ه ح أعظم من ح ب بحيث يلقى المستقيم ف م ق م امتداد ع ك من جهة ك كما هو مبين بشكل (٩٩) وفقاً للأوضاع التي أوصفناها .

وابن الهيثم لا يتناول في حله الهندسى لمقدمته الرابعة تفصيل هذا الأمر ولم يضمه أية إشارة يستفاد منها أنه يفرض إحدى النقطتين ه و د خارج الدائرة ، أو أن بعد إحداها عن المركز أعظم من نصف قطر الدائرة ، والمخطوطات التي صورها بين أيدينا لم توضح فيها الحلول الهندسية للمقدمات جميعاً ومنها المقدمة الرابعة ، بأشكال يصح الرجوع إليها لبيان المقاصد التي أرادها بالضبط . ولكن مقدمته لا تستقيم إلا بفرض أن تكون إحدى النقطتين ه و د خارج الدائرة . وهو لاشك قد أراد ذلك وإن لم ينص عليه صراحة . والشكلان الواردان في التنقيح عن هذه المقدمة وإن كانا بوجه عام غير صحيحين ، وفيهما أغلاط ، فانهما مع ذلك يدلان على أن الفارسي قد حمل أقوال ابن الهيثم على أن تكون إحدى النقطتين خارج الدائرة وإن كان هو نفسه لم يعلق على ذلك في المتن .

وأيضاً فانه إذا صح إخراج المستقيم الذى يليق امتداد ع ن من جهة ن ويلقى ك ع فيما بين طرفيه على النسبة المذكورة فانه يجوز على أحد وضعيه الممكنين أن يقضى هو أيضاً إلى تعيين النقطة التي يريد ابن الهيثم من مقدمته الرابعة . كما هو الحال في وضعه ف ق المبين في شكل (٩٩) حيث تكون د ف ق ك أعظم من زاوية القطاع الأول .

ولزيادة توضيح هذا لتكن نقطة م (شكل ١٠٢) بحيث تقسم ك ل
بنسبة ح د إلى ح ه ، وليكن ع ن العمود المنصف للمستقيم ك ل ،
ولتكن د ع ك ل نصف التالية ، ولنخرج م س موازيا ن ع ، وليلق
ع ك على س ، ولنرسم الدائرة المحيطة بثلاث ك م س كما سبق في العملية
الثانية ، وليكن مركزها ق ، ولنخرج ق م من طرفيه ، وليلق امتداد ع ن
على ف ، ومحيط الدائرة على ص . ولنسقط من ق المستقيم ق ش عموداً



(شکل ۱۰۲)

على ك ل. فيما أن ش منتصف م ك و ن منتصف ك ل ،

يتضح أن $\frac{1}{4} \text{ م ش} = \frac{1}{4} (\text{م} + \text{ك}) - \frac{1}{4} \text{ م ك} = \frac{1}{4} \text{ ل م}$
 6 $\frac{1}{4} \text{ م ك} = \text{ش ك}$

$$\therefore \frac{ن ش}{ش ك} = \frac{ل م}{م ك} = \frac{هـ د}{د ح}$$

وأيضاً $\frac{ن ش}{ش ك} = \frac{ع ق}{ق ك} = \frac{ف ق}{ق ك}$

$$\frac{ح ه}{ح د} = \frac{ف ق}{ق ك} \therefore$$

وتكون $\Delta f q_k = \text{ضعف} \Delta m s_k$

= ضعف Δ ن ع ك

أى أن $\angle ف ق ك =$ زاوية القطاع الأول

ومن هذا يتضح أنه لكي يتحقق وجود النقطة التي يريد بها ابن الهيثم يجب أن يكون وضع المستقيم الخارج من م على النسبة المذكورة فيما سبق كوضع

ف ق (شكل ١٠٢) فيما بين المستقيمين ف ق ٦ ن ك حتى تكون
د ف ق ك أعظم من زاوية القطاع الأول .

$$\text{فيكون نسبة } \frac{\text{ف ق}}{\text{ق ك}} \text{ أعظم من } \frac{\text{ف ق}}{\text{ق ك}}$$

$$\frac{\text{هـ}}{\text{د}} \text{ أى أعظم من } \frac{\text{هـ}}{\text{د}}$$

وبالرمز لنصف قطر الدائرة المفروضة التي مركزها > بالرمز س

$$\text{يكون } \frac{\text{ف ق}}{\text{ق ك}} = \frac{\text{هـ}}{\text{س}} \text{ وأعظم من } \frac{\text{هـ}}{\text{د}}$$

فيكون د > أعظم من س .

ويتبين من هذا أنه إذا صح إخراج المستقيم الذي يليق امتداد ع ن من
جهة ن ويلقى ك ع فيما بين طرفيه على النسبة المذكورة ، فانه لا يؤدي إلى
تعيين النقطة التي يريد بها ابن الهيثم ، إلا إذا كان د > ، أعظم من نصف قطر
الدائرة المفروضة (شكل ١٠٠) .

أما فيما عدا ذلك فالعملية الرابعة التي أوردناها هنا لا تختلف في جوهرها
ولا فيما تتضمنه من العمل الهندسي أو البرهان ، عما أورده ابن الهيثم نفسه في
مقدمته الرابعة . وقد قصدنا من إيرادها على الصورة الواردة هنا الإحاطة
بالوجوه المحتملة التي لم يتناولها هو نفسه بالذكر أو الشرح في بحثه .

الفصل الثاني

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرأة الكرية

١٤٢ - الفكرة الأساسية: مجلة

الفكرة الأساسية التي توخاها ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس أو نقاط الانعكاس عن سطح المرأة الكرية سواء منها المحدبة أو المقعرة لا تتجاوز الفكرة الهندسية التي تنطوي عليها العملية الرابعة على الصورة التي أوردناها بها آنفاً. فإذا فرضنا كرة مركزها h ، وفرضنا نقطتين g و d حيثما اتفق وأخرجنا مستوى النقاط الثلاث h و d و g فإنه يقطع سطح الكرة على عظمة مركزها h ، فإن كانت النقطتان h و d متعاكستين كان هذا المستوى هو مستوى الانعكاس وكانت الدائرة المذكورة فصل الانعكاس. وبما أن العملية الرابعة على الصورة الواردة عليها فيما سبق تفضى على الوجه العام إلى تعيين أربع نقاط على محيط هذه الدائرة يكون فيها جميعاً الزاوية التي يحيط بها المماس على النقطة والواصل منها إلى إحدى النقطتين المفروضتين مساوية الزاوية التي يحيط بها ذلك المماس والواصل منها إلى النقطة الأخرى، فإنه في الأوضاع التي يكون فيها الواصلان عن جنبي نصف القطر المنتهى إلى تلك النقطة، تكون تلك النقطة نقطة انعكاس. وإن كان الواصلان أمام تحديب القوس التي تقع عليها النقطة كان الانعكاس عن الكرية المحدبة، وإن كان الواصلان أمام تقيير القوس التي تقع عليها النقطة كان الانعكاس عن الكرية المقعرة. فالعملية الرابعة تتضمن جميع العناصر التي يريدها ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرأة الكرية. ومسألة ابن الهيثم فيما يختص بالمرأة الكرية تؤول إلى صيرورتها حالة أو بضعة حالات خاصة من تلك العملية.

ونظراً لأن النقاط التي تتعين وفقاً لتلك العملية ليست على تصارييف الأحوال نقاط انعكاس بالمعنى المقصود، فإننا نوثّر أن نسميها بوجه عام «نقاط ابن الهيثم». أما ما يكون منها أوضاعها ملائمة للمعنى المقصود بالانعكاس فنخصصها بتسميتها «نقاط انعكاس». وابن الهيثم في بحثه في هذا الصدد تناول حالتى المرأة الكرية المحدبة والمرأة الكرية المقعرة كلا على حدها ومضى إلى تبيان آرائه في تعيين نقطة الانعكاس على الأوضاع الملائمة لكل منهما، على منوال نبينه فيما يلي.

١٤٣ - طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية المحدبة

وطريقته فيما يتعلق بالكرية المحدبة تتضمن الخطوات التي أوردناها في العملية الرابعة مع التقيد بأن يكون المستقيم المخرج من نقطة م (شكل ٩٩) على الصورة التي يلي فيها امتداد ع ن من جهة ن ويلقى ك ع فيما بين طرفيه. وبما أن هذا المستقيم إذا صح إخراجه على هذه الصورة قد يجوز إخراجه على وضعين مثل ف م ق م و ف م ق م (شكل ٩٩) فابن الهيثم يتخير من هذين الوضعين الوضع ف م ق م الذي تكون فيه زاوية ف م ك ق م أعظم من نظيرتها في الوضع الآخر، ويشترط في الزاوية أن تكون منفرجة، ويمضى إلى إثبات أن النقطة التي تتعين من هذا الوضع هي نقطة الانعكاس المطلوبة. (١) ثم هو يثبت بعد ذلك أنه إذا لم تكن أعظم الزاويتين المذكورتين منفرجة فلا يتأتى الانعكاس. وبرهانه على ذلك برهان الخلف. فهو يفرض أن أعظم الزاويتين ليست منفرجة وأن الانعكاس مع ذلك يصح من نقطة ويبرهن على أن الزاوية الواقعة بين الواصل من هذه النقطة إلى ه والواصل منها إلى المركز تكون حتماً منفرجة، وتساوى إحدى زاويتي ف م ك ق م و ف م ك ق م وبما أن أعظم هاتين الزاويتين ليست منفرجة فهذا محال (٢). ثم هو أثبت بعد ذلك أنه من المحال أن تكون كلتا زاويتي ف م ك ق م و ف م ك ق م

(١) و (٢١٤) — و (٢١٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر

(٢) و (٢١٦) — و (٢١٧) » » » » والعناصر الهندسية في هذه البراهين لا تخرج عما تتضمنه العملية الرابعة على الصورة التي أوردناها فلم نجد لزوماً إلى إثباتها هنا.

منفردتين وإلا استلزم ذلك أن يكون الانعكاس من نقطتين ، وهذا كما قد مر بيانه محال عن سطح الكرية المحدبة (١) .

ويمكن توضيح هذه الأمور على أساس العملية الرابعة على الصفة الآتية :
فما أوردناه في بياننا وتعليقنا على العملية الرابعة يتضح أنه إذا كان

هـ < د < ب

حيث ب نصف قطر الدائرة ، فإن أحد الوضعين الممكنين للمستقيم الخارج من م على النسبة المذكورة وهو الوضع الشبيه بوضع فـ قـ (شكل ٩٩) حيث تكون زاوية فـ كـ قـ أصغر من نظيرتها في الوضع الآخر ، هذا الوضع يؤدي إلى تعيين النقطة التي يكون المماس عندها منصفاً للزاوية التي يحيط بها الواصلان منها إلى النقطتين المفروضتين هـ و د .

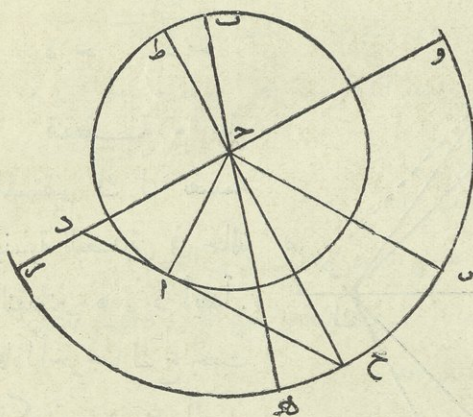
وإمكان تعاكس النقطتين من تحديب الكرية يتطلب أن تكون النقطتان المتعاكستان هـ و د خارج سطحها ، أي أن يكون كل من هـ و د > أعظم من ب . فالنقطة التي يكون عندها المماس منصفاً للزاوية واقعة لا محالة ولكنها ليست تصح أن تكون نقطة انعكاس .

ولكن يبقى بعد ذلك بيان أن الوضع الآخر الذي تخيره ابن الهيثم هو حتماً الوضع الذي يتفق والانعكاس من تحديب الكرية ، أي أنه هو الوضع الذي إذا ما توافرت الشروط اللازمة لكي يصح تعاكس النقطتين المفروضتين عن محدب سطح الكرية ، يؤدي فعلاً إلى تعيين نقطة الانعكاس المطلوبة .

فإمكان انعكاس إحدى نقطتي هـ و د إلى الأخرى من محدب الكرة يوجب أن تكون كلتا النقطتين في مقابلة تحديب جزء من أجزاء محيط دائرة الفصل . وإذن يجب أن يكون المستقيم الواصل بين النقطتين غير قاطع لدائرة الفصل وغير مماس لها .

فلنفرض أن النقطتين المتعاكستين هـ و د (شكل ١٠٣) على بعدين معلومين من المركز ولتكن د أقربهما إليه .

ولنخرج دائرة مركزها C ، ونصف قطرها h . ولنخرج D من طرفيه حتى يلقى محيط هذه الدائرة على AB .



(شکل ۱۰۳)

حيثما اتفق مثل ك ل (شكل ١٠٤) وأقمنا من منتصفه ن المستقيم ن ع عموداً عليه ثم قسمناه على نقطة م بحيث يكون

$$\frac{\text{ح ح}}{\text{د د}} = \frac{\text{ل م}}{\text{م ك}}$$

وأخرجنا من ك المستقيم ك ع ، بحيث تكون د ع ، ك ن نصف
د ط ح د ، ثم أخرجنا من نقطة م المستقيم ف ق بحيث يكون

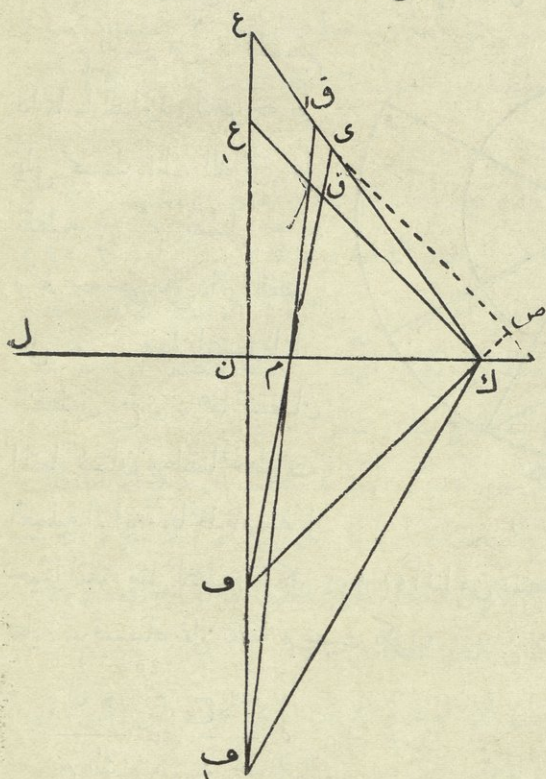
$$\frac{\text{ف ق ح}}{\text{ق ك ح ط}} =$$

على الوضع الذي تخيره ابن الهيثم ،
فما أن

$\triangleright \text{ح } 1 = \triangleright \text{د } 1$ ، تساوی قائمہ ،

فزاوية ف ك ق أيضاً قائمة لأنها تساوى كلا منهما كما يتبين في برهان العملية الرابعة.

فاذا أخذنا نقطة مثل هـ (شكل ١٠٣) على القوس ح م المحصورة بين
ح ٦ ح د وأخرجنا هـ ح حتى يلقى محيط الدائرة على ب فبما أن



شکل (۱۰۴)

الاستقيم ق ك ، ومد ف ك حتى يلقاه وليكن على ص ، اتضح أن

$$\frac{ف\text{ى}}{ص} = \frac{ف\text{ق}}{ق\text{ك}} \text{، ي ك أعظم من ي ص}$$

$$\therefore \frac{ف\text{ى}}{ي\text{ك}} \text{ أصغر من } \frac{ف\text{ق}}{ق\text{ك}} .$$

فالمستقيم الخارج من م على الوضع الآخر المقصود هنا بحيث يلقى امتداد
ع ن على نقطة وتكن ف، ويلقى ع ك على نقطة وتكن ق، بحيث يكون

$$\frac{هـ}{و} = \frac{ف ق}{ق ك}$$

لا بد أن يكون طرفه $ف$ فيما يلي $ف$ من $ن$ ، وطرفه $ق$ فيما بين $ي$ و $ع$ كما اتضح في فقرة (١٣٩).
وإذن تكون

$د$ $ف$ $ك$ $ق$ أعظم من $د$ $ف$ $ك$ $ق$ ، أعظم من قائمة.
فاذا رمزنا للنقطة التي تتعين على محيط الدائرة من هذا الوضع بالحرف $ا$
كانت $د$ $ه$ $ا$ $=$ $د$ $ا$ $د$ $ا$ $>$
وكانت كل من هاتين الزاويتين منفرجة.

وإذن يكون تعاكس النقطتين $ه$ و $د$ من محذب دائرة الفصل.
بمثل هذا يتضح السبب الذي من أجله يتخير ابن الهيثم وضع كبرى
الزاويتين ويشترط فيها أن تكون منفرجة.

وبمثل هذا يتضح أيضاً أنه إذا أخذت نقطة مثل $س$ على قوس $ح$ و
فان النقطة التي تتعين من الوضع المذكور على القوس الواقعة بين $س$ و $ح$
 $د$ تكون نقطة انعكاس كل من نقطتي $س$ و $د$ من مقعر هذه القوس.
ومن هذا يتبين أن النقطتين المعلومتي البعد عن مركز المرآة يجب أن
يكون وضعهما من دائرة الفصل شبيهاً بوضع نقطتي $ه$ و $د$ لكي يصح
تعاكسهما عن محذب السطح أى يجب ألا يقطع الواصل بينهما دائرة الفصل.
أما إذا قطعها كما في الوضع الشبيه بوضع نقطتي $س$ و $د$ فان انعكاس
إحدهما إلى الأخرى يكون من مقعر السطح لا من محدبه.

١٤٤ - طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس او (نقاطه) عن

الكرية المقعرة

يعالج ابن الهيثم حالة المرآة الكرية المقعرة على ضوء البيانات التي أوردناها
في الباب الرابع فيما يتعلق بتعاكس النقطتين عن سطحها، وهي البيانات التي
مهد بها فعلاً إلى ذكر الطرق التي وضعها لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية
المقعرة. وهو يبدأ بذكر طريقته لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية المقعرة
من قوس القطاع المقابل. وذلك على المنوال الذي أوردناه في العملية الرابعة

حيث يكون المستقيم المخرج من نقطة م (شكل ٩٩) في وضعه الأول ف ق . وهو الوضع الذي يصح على تصارييف الأحوال أيأ كانت نسبة ه ح إلى نصف قطر المرآة . وعلى هذه الصفة تتعين نقطة الانعكاس من قوس القطاع المقابل على تصارييف الأحوال . ويلاحظ أن برهانه الهندسى الذى سبق أن أوردناه على أن نقطة الانعكاس من قوس القطاع المقابل نقطة واحدة لا نظير لها يعد مكملاً لبحثه في هذا الصدد ، فتكون النقطة التى تتعين من العملية الرابعة على هذه الصفة هى نقطة الانعكاس الوحيدة من قوس القطاع المقابل .

ثم هو يتناول بعد ذلك كيفية تعيين نقطة الانعكاس من قوس القطاع الأول على أن يكون ضعف الانعكاسية أعظم من التالية . وذلك أيضاً على المنوال الذى أوردناه في العملية الرابعة حيث يكون المستقيم المخرج من نقطة م في الوضعين ف م ق م ٦ ف ق ٦ .

ويلاحظ في هذه الحالة أيضاً أنه لكي يصح أن تكون النقطة التى تتعين من الوضع ف م ق م نقطة انعكاس من مقعر القوس يجب أن يكون الواصل بين النقطتين ه ٦ د قاطعاً محيط دائرة الفصل كما اتضح مما ذكر آنفاً . وأيضاً لكي يصح أن تكون النقطة التى تتعين من الوضع ف ق ٦ نقطة انعكاس يجب أن تكون زاوية ف ق ٦ ك أصغر من زاوية القطاع . وهذا كما تبين يشترط فيه أن يكون البعد الأصغر د ح أصغر من نصف قطر المرآة (انظر شكل ١٠١) .

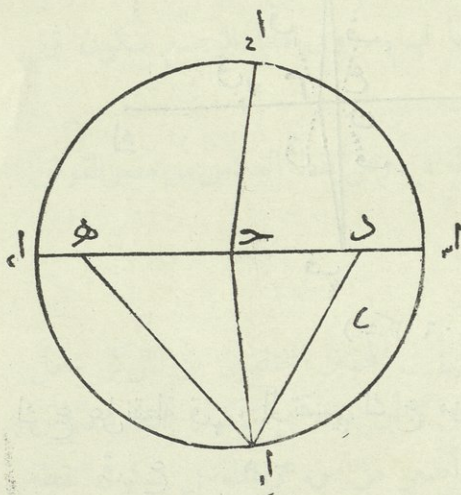
ولو أن ابن الهيثم ذكر طريقة لتعيين نقطة الانعكاس لكل واحدة من الأحوال الثلاث المذكورة ، أى طريقة تعيينها على قوس القطاع المقابل ، وطريقتى تعيين كل من نقطتى الانعكاس من قوس القطاع الأول على أن تكون ضعف الانعكاسية أعظم من التالية ، فإنه لم يذكر طريقة تعيينها على قوس القطاع الأول على أن تكون ضعف الانعكاسية أصغر من التالية ، في حين أن ذلك لا يتجاوز حدود المعانى الهندسية التى تنطوى عليها مقدماته الست . وتتعين هذه النقطة كما اتضح في البيان والتعليق على العملية الرابعة من الوضع النظير

للوضع ف م ق م (شكل ٩٩) من أوضاع المستقيم المخرج من نقطة م ، ويشترط لكي تكون النقطة التي تتعين من هذا الوضع ، نقطة انعكاس ، أن يكون بعد أبعد النقطتين عن المركز أصغر من نصف قطر المرآة . وقد أوضحنا كل ذلك فيما تقدم من البيان والتعليق .

وشكل (١٠١) يوضح الحالة التي يخول فيها وضع النقطتين المتعاكستين ه د من المركز ح ، أن تكون نقاط ابن الهيثم الأربع جميعاً نقاط انعكاس . وفيه أ هي نقطة الانعكاس من قوس القطاع المقابل والنقاط الثلاث الأخرى نقاط الانعكاس من قوس القطاع الأول . ومن هذه النقاط الثلاث نقطة م هي التي عندها ضعف الانعكاسية أصغر من التالية . أما م ١ ٢ فهما اللتان عندهما ضعف الانعكاسية أعظم من التالية .

١٢٥ - تطبيق طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية على جميع الحالات الخاصة

يتبين مما أوردناه آنفاً أن العملية الرابعة التي ذكرناها بأحوالها الأربع الممكنة تتضمن الفكرة الهندسية التي جعلها ابن الهيثم أساساً بني عليه طرقه لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية المحدبة والمقعرة في الأحوال المختلفة .



(شكل ١٠٥)

ومما يجدر ذكره أيضاً أن الحالات الخاصة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان على قطر واحد من أقطار المرآة

وتكون نقطة F منطبقة على نقطتي E و N . ويلاحظ أن Q تقع على امتداد K ن إذا كان $H > A$ أصغر من S ، وتقع على امتداد N ك إذا كان A أكبر ، ويؤدي هذا الوضع إلى تعيين نقطة A (شكل ١٠٥) التي هي أحد طرفي القطر ويلاحظ أن زاوية F Q K تساوى صفراً .

وأيضاً يؤول العمل الهندسي في الوضع الثالث من أوضاع المخرج من M (شكل ١٠٦) وهو أحد الوضعين اللذين يلقي فيهما المستقيم المخرج ، K E بين طرفيه إلى تقسيم K E من الداخل على نقطة Q بحيث يكون

$$\frac{QF}{QK} = \frac{H}{S}$$

وتكون نقطة F منطبقة على نقطتي E و N في هذه الحالة أيضاً . ويفضي هذا الوضع إلى تعيين نقطة A (شكل ١٠٥) التي هي الطرف الآخر للقطر حيث يلاحظ أن زاوية F Q K تساوى قائمتين .

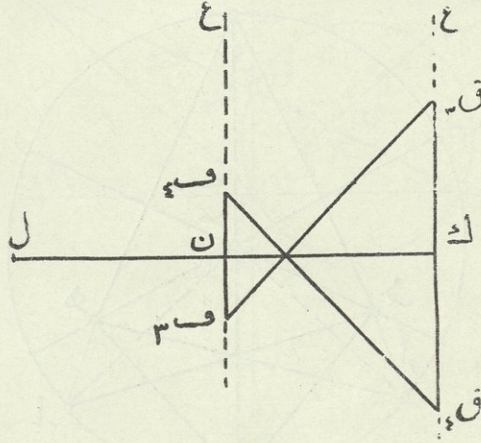
وأيضاً يؤول العمل الهندسي في الوضع الرابع إلى إخراج M F بحيث يكون $\frac{MF}{MK} = \frac{H}{S}$ وبحيث تكون نقطة F على امتداد العمود المنصف من الجهة المضادة للجهة التي عليها F . وفي هذا الوضع تكون Q منطبقة على M .

يفضي هذا الوضع إلى تعيين نقطة A ، وهي نقطة انعكاس من مقعر القوس

$$\text{أي كانت نسبة } \frac{H}{S} .$$

ويلاحظ أن فرض النقطتين في الجهتين المختلفتين من المركز يجعل الانعكاس من محدب القوس غير ممكن كما أن نقطة A تكون نقطة انعكاس من مقعر القوس إذا كان $H > A$ أصغر من S ونقطة A تكون نقطة انعكاس من مقعر القوس إذا كان $D > A$ أصغر من S .

للقطر . وهذه النقطة إما أن تكون نقط انعكاس من محذب القوس وذلك إذا كان $هـ > د > ب$ ، أو نقطة انعكاس من مقعر القوس وذلك إذا كان $ب > هـ > د$. وإما أن تكون النقطة التي يكون المماس عندها منصفاً للزاوية $هـ د$ وذلك إذا كانت $هـ > ب > د$.



(شكل ١٠٨)

وإخراج المستقيم من م على الوضعين الثالث والرابع بحيث يلقى ك ع الممتد من ك إلى ما لانهاية على نقطة لتكن ق_م أو ق_م ويلقى ن ع الممتد أيضاً إلى ما لانهاية على نقطة وتكن ف_م أو ف_م على أن تكون نسبة

$$\frac{ق_م ق_ك}{ف_م ق_ك} = \frac{هـ > ب}{ب > د} = \frac{ف_م ق_م}{ق_م ق_ك}$$

لا يمكن إلا إذا كان $هـ > ب$ أعظم من $ب > د$. وهذان الوضعان يؤديان إلى تعيين النقطتين $ق_م$ و $ف_م$ حيث يكون المماس عند كل منهما منصفاً للزاوية التي يحيط بها الواصلان من $هـ د$ إليها .

وإذا روعيت الحالة التي تكون فيها النقطتان $ق_م$ و $ف_م$ (شكل ١٠٩) على قطرين مختلفين ولكن بعدهما عن المركز واحداً وطبقنا العمل الهندسي الوارد في العملية الرابعة .

على قوس القطاع الأول ، وتكون نقطة انعكاس من مقعر القوس . وتكون على الوجه الثاني نقطة على قوس نصف التالية مما يلي ه . وتكون النقطة التي ينصف المماس عندها الزاوية . أما على الوجه الثالث فتكون طرف نصف القطر المماس بنقطة ه .

(ثالثا) أن المستقيم المخرج من ن ، (شكل ١١٠) يكون في الوضع الثالث منطبقا على ع ن فيلحق ك ع على نقطة ع نفسها ، فيكون طرفه ق_٣ عند ع ويكون طرفه ف_٣ على ع ن أو امتداده من جهة ن بحيث يكون

$$\frac{ق_٣}{ق_٣ ك} = \frac{ه}{ه - ن}$$

وتفرض العملية الى تعيين نقطة مثل ا_٣ (شكل ١٠٩) على قوس القطاع الأول تكون الطرف الآخر للقطر المماس بنقطة ا_٣ على تصاريف الأحوال ، أيا كانت قيمة النسبة المذكورة . ولكنها أما أن تكون نقطة انعكاس من مقعر القوس أو نقطة انعكاس من محدب القوس وذلك بحسب قيمة تلك النسبة .

(رابعا) أن المستقيم المخرج من ن يكون في الوضع الرابع ملاقيا ك ع فيما بين طرفيه على نقطة مثل ق_٤ (شكل ١١٠) ويكون طرفه الآخر ف_٤ منطبقا على نقطة ن نفسها . وتفرض العملية إلى تعيين نقطة مثل ا_٤ (شكل ١٠٩) تكون نقطة انعكاس على قوس القطاع الأول إذا صح اخراج المستقيم على هذا الوضع في الأحوال التي يكون فيها د > أصغر من ن^(١) ، أما في الأحوال التي يكون فيها د > أعظم من ن^ه فتكون تلك النقطة هي التي ينصف عليها المماس الزاوية التي يحيط بها الواصلان منها إلى نقطتي ه و د المفروضتين .

على هذه الصفة يتبين أن العملية الرابعة بصورتها الواردة هنا وهي لا تتجاوز حدود مقدمات ابن الهيثم الست تتضمن حلا عاما لمسألة ابن الهيثم فيما يختص بالمرآة الكرية يشمل حالتى المحدبة والمقعرة وجميع الأحوال الخاصة الممكنة

الفصل الثالث

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرأة الاسطوانية

١٤٦ - مزهاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع

راعى ابن الهيثم المرأة الاسطوانية المحدبة والمرأة الأسطوانية المقعرة كلا منهما على حدها وفصل أمر كل واحدة منهما تفصيلا . وتناول في كل منهما الحالات الخاصة كالحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان واقعتين في مستوى يمر بمحور الاسطوانة حيث يكون فصل الانعكاس (أو كل من فصليه) مستقيما وكالحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان في مستوى عمود على سهم الاسطوانة حيث يكون الفصل محيط دائرة . وعالج أيضاً الحالة العامة التي لا تكون فيها النقطتان في مستوى يمر بسهم الاسطوانة ولا في مستوى عمود على سهمها حيث يكون فصل الانعكاس محيط قطع ناقص . وهو في حالة الاسطوانية المحدبة استدل ببرهان هندسي على أن نقطة الانعكاس نقطة واحدة (١) ثم أورد طريقة تعيينها (٢) . وفي الاسطوانية المقعرة استدل ببرهان هندسي أيضاً على أن نقاط الانعكاس قد يبلغ عددها أربعاً (٣) .

ثم أثبت أن الانعكاس من مقعر سطح الاسطوانة لا يصح من أكثر من أربع نقاط (٤) . وعقب على ذلك بشرح طريقة تعيين نقاط الانعكاس (٥) .

(١) و (٢٣٢) — و (٢٣٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر

(٢) و (٢٣٨) — و (٢٣٩) » » » » »

(٣) و (٣١٣) — و (٣١٨) » » » » »

(٤) و (٣١٨) — و (٣٢١) » » » » »

(٥) و (٣٢١) — و (٣٢٢) » » » » »

ولما كانت البحوث في كل ذلك متشابهة والبراهين الهندسية تكاد تكون واحدة ، وكانت حالة الاسطوانية المقعرة اعم ويصح أن تتضمن حالة الاسطوانية المحدبة ، وأيضا منعنا للاطالة والتكرار رأينا أن نعالج الموضوع بأسلوب عام وأن نقصر في توضيح الفكر الأساسية في جميع هذه البحوث على الاسطوانية المقعرة ، ونكتفي بالإشارة إلى الاسطوانية المحدبة في الأحوال التي يصح فيها أن ينطبق الكلام عليها أيضا .

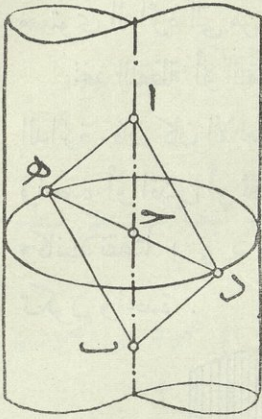
١٤٧ — تفصيل المحاور الخاصة

(أولا) إذا كانت النقطتان المتعاكستان في مستوى يمر بمحور الاسطوانة : نظراً لأن المستوى المار بالمحور عمود على سطح الاسطوانة ، فالمستوى المار بالمحور والذي تقع فيه النقطتان هو مستوى الانعكاس . وهو يقطع سطح الاسطوانة على خط مستقيم يوازي محورها . فيكون هذا المستقيم الفصل المشترك . وإذن يستوى تعاكس النقطتين من سطح الاسطوانة في هذه الحالة وتعاكسهما من سطح المستوية المعتادة .

فان كانت النقطتان المتعاكستان خارج سطح الاسطوانة سواء أكانت المرأة محدبة أم مقعرة أو كانت أحدهما في الخارج والأخرى في الداخل وكانت المرأة مقعرة فان فصل الانعكاس مستقيم واحد . وتكون نقطة الانعكاس واحدة ويمكن تعيينها كما تعين على سطح المرأة المستوية . أما إذا كانت النقطتان في الداخل وكانت المرأة مقعرة فالمستقيمان اللذان يليق عليهما مستوى الانعكاس سطح الاسطوانة يصح أن يكون كلاهما فصل انعكاس فيصح الانعكاس من نقطتين وتعين كل واحدة منهما كما تعين نقطة الانعكاس على سطح المستوية . والحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان واقعتين على محور الاسطوانة في المرأة المقعرة جديدة كما رأى ابن الهيثم بالتوضيح^(١) . فلتكن النقطتان a ، b ، ولننصف البعد بينهما على c ، ولنرسم d $\perp$ ac ه قطرا للمرأة الاسطوانية عمودا على محورها وليقطع سطحها في نقطتي d ، e . فاذا

(١) و (٣١٢) ، و (٣١٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

وصلت المستقيمت ١ د ٦ ا ٦ ب د ٦ ب ه ، أمكن من تطابق
المثلثات إثبات



(شكل ١١١)

أن ١ د ٦ = ٦ د ٦

٦ د ا ٦ = ٦ ه ب .

وبما أن د ه عمود على سطح الاسطوانة
عند د ، وعمود على سطحها عند ه ، تبين
أن كلا من نقطتي د ٦ ه نقطة انعكاس .

وإذا ثبت المحور ١ ب ، ودار المستقيم
د د ، تكون من دوران نقطة د على سطح
الاسطوانة محيط الدائرة التي مركزها د ،

ومستواها عمود على المحور ، فتكون كل نقطة من محيط هذه الدائرة نقطة
الانعكاس .

وإذن يتبين أن النقطتين ١ ٦ ب تتعاكسان عن سطح المرآة الاسطوانية
المقعرة من محيط الدائرة المذكورة .

(ثانيا) إذا كانت النقطتان المتعاكستان في مستوى عمود على محور
الاسطوانة :

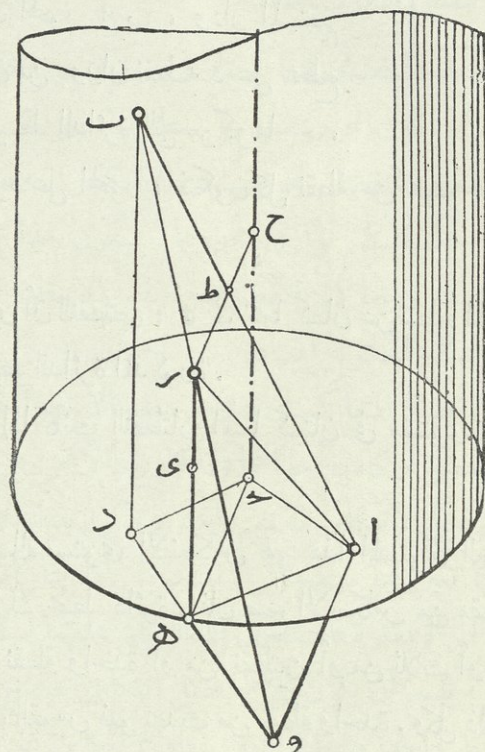
في هذه الحالة مستوى الانعكاس هو هذا المستوى العمود على المحور
والفصل المشترك محيط دائرة . فإن صح الانعكاس من مقعر القوس فهو
يحدث أما من نقطة واحدة أو من نقطتين أو من ثلاث أو من أربع . وأن
صح من محدب القوس فهو يحدث من نقطة واحدة . وكل ذلك كما مر بيانه في
المرآة الكرية .

١٤٨ - الطريقة العامة لتعيين نقطة الانعكاس (أو نقاطه) عن المرآة الاسطوانية

لتكن النقطتان المتعاكستان ١ ٦ ب (شكل ١١٢) حيثما اتفق .
نخرج المستوى العمود على المحور المار بإحدهما ولتكن ١ ، فهو يقطع
سطح الاسطوانة على محيط دائرة وليكن مركزها د . نسقط من النقطة

الأخرى ب العمود ب د على هذا المستوى فتكون النقطتان ١ ٦ د في مستوى الدائرة التي مركزها > .

نجد النقطة أو النقاط التي تتعاكس منها نقطتا ١ ٦ د من محيط هذه الدائرة . فان كان الانعكاس من مقعر القوس فان نقطة الانعكاس قد تكون واحدة أو اثنتين أو ثلاثا أو أربعا . وإن كان الانعكاس من محدب القوس وكانت نقطتا ١ ٦ د في مقابلة السطح المحدب العاكس ، فان نقطة الانعكاس تكون واحدة .



(شكل ١١٢)

ولتكن نقطة الانعكاس أو إحدى نقاط الانعكاس هـ . نصل > هـ ٦ د ١ هـ ، ونرسم من ١ المستقيم ١ و موازيا > هـ ، ونخرج د هـ حتى يقطعه على و .
نخرج من هـ المستقيم هـ ر على سطح الاسطوانة موازيا لمحورها ، ونصل ب و .

فنظر الآن مر ه و ب د متوازيان فالمستقيم مر ه في مستوى و ب د ،
فهو يقطع و ب على نقطة ولتكن مر .
فتكون مر نقطة انعكاس ا و ب إحداهما إلى الأخرى .

البرهان :

نرسم من مر المستقيم مر ح عمودا على المحور فهو أيضا عمود على سطح
الاسطوانة من نقطة مر ، ونصل ا ب و ا مر .

فبما أن ح و مر ه في مستوى واحد و مر ح عمود على المحور
هـ ح عمود عليه أيضا فان مر ح يوازي هـ ح ويوازي و ا .

∴ مر ح يقع في مستوى ب ا و .

∴ ا ب يقطع مر ح وليكن على ط ، وتكون المستقيمتان ا مر

و مر ب و مر ح في مستوى واحد .

وإذن يتحقق الشرط الأول من قانون الانعكاس .

كذلك . نظرا لأن زاوية د ه ح = زاوية ح ه ا و ا يوازي هـ ح

تكون د ه ح = ا ه ح = ا ه و

و د د ه ح = د ه و ا

∴ د ه ا و = ا ه و ا

∴ ا ه = ه و .

وفي المثلثين مر ه ا و مر ه و

زاوية هـ في كل قائمة و مر ه مشترك و ا ه = ه و

إذن المثلثان متطابقان .

∴ مر ا = مر و .

∴ د مر ا و = د مر و ا .

وبما أن ا و يوازي ط مر

يكون د ب مر ط = د مر و ا

و د ط مر ا = د مر و ا

$$\therefore \quad \angle BMR = \angle PMR$$

وإذن يتحقق الشرط الثانى من قانون الانعكاس .

وإذن P تتعاكسان من M عن سطح الاسطوانة .

وبالمثل إذا كانت نقطتا P و D تتعاكسان من محيط الدائرة التى مركزها C من نقطة أخرى أو من نقاط أخرى غير نقطة H .

وعما سبق فى الانعكاس عن سطح المرآة الكرية يتبين أن النقطتين P و D إذا وقعتا خارج محيط الدائرة التى مركزها C وصح تعاكسهما عن محدب جزء من محيطها فانهما لا تتعاكسان من أكثر من نقطة واحدة من محدب محيطها . أما إذا تعاكست النقطتان P و D من مقعر محيط الدائرة فإن تعاكسهما قد يكون من نقطة واحدة أو من اثنتين أو ثلاث أو من أربع .

لذلك يتبين أنه فى حالة المرآة الاسطوانية المحدبة يمكن بمثل العمل السابق تعيين نقطة واحدة تتعاكس منها نقطتان مثل P و B تقعان حيثما اتفق فى مقابلة جزء من سطحها العاكس . أما فى حالة الاسطوانية المقعرة فإن نقاط الانعكاس التى تتعين بمثل ذلك العمل قد تكون اثنتين أو ثلاثاً أو أربعاً وقد تكون واحدة لا يوجد غيرها وذلك على حسب موقع كل من النقطتين P و B .

١٤٩ - تحرير الزهابة العظمى لعدد نقاط الانعكاس

ولكن ابن الهيثم لا يقنع بترك الأمر عند هذا الحد . فإن كانت العملية الهندسية تؤدى إلى تعيين نقطة الانعكاس عن سطح المرآة الاسطوانية فإنه يبقى بعد ذلك إثبات أن انعكاس النقطتين إحداهما إلى الأخرى لا يصح من أكثر من نقطة واحدة عن سطح الاسطوانية المحدبة ، ولا يصح من أكثر من أربع نقاط عن سطح الاسطوانية المقعرة .

والبرهان الذى يسوقه لذلك هو برهان الخلف .

فلنفرض أن هناك نقطة خامسة على الاسطوانية المقعرة مثلاً .

ولتكن ١ ب (شكل ١١٢) النقطتين المتعاكستين ولتكن نقطة د مسقط العمود الواقع من ب على المستوى العمود على المحور والمار بنقطة ١. ولنعين النقاط الأربع التي تتعاكس منها ١ ب عن سطح الاسطوانية المقعرة، فالنقطة الخامسة المفروضة إما أن تقع على المستقيم الموازي لمحور الأسطوانة المار بإحدى نقاط الانعكاس الأربع هذه أو لا تقع.

(أولاً) فإن وقعت على أحدها فلتكن نقطة الانعكاس م والمستقيم الموازي للمحور المار بها م ه وليقطع محيط الدائرة على ه، ولتكن النقطة الخامسة المفروضة أية نقطة مثل ي على م ه ولنرسم م ح عموداً على سطح الأسطوانة فيكون عموداً على المحور ولنصل ب م ه م ١ فنظراً لأن م نقطة انعكاس فإن المستقيمتين ب م ه م ح م ١ تكون في مستوى واحد.

وإذن ١ ب يقطع م ح وليكن على ط
نرسم ١ و موازياً ح ه ونمد د ه حتى يقطعه على و ونمد ب م على استقامته فهو يقطع مستوى الدائرة على نقطة.

وبما أن م ه ١ ح ح متوازيان فإن ه ح م ١ ح في مستوى واحد وكلاهما عمود على خط ح ه فهما متوازيان.
وإذن ١ و يوازي ح م.

∴ ب م يقطع ١ و على نقطة.

وبما أن ب د يوازي م ه فإن ب م ه د يكونان في مستوى واحد
وإذن ب م يقطع د ه على نقطة.

وبما أن ب م يقطع مستوى ١ و د ه على نقطة وهو يقطع كلا منهما، إذن حتماً أن تكون نقطة تقاطع ب م ١ و، ونقطة تقاطع ب م ١ د ه هي نقطة تقاطع ١ و د ه، وهي نقطة و،

فإن كانت نقطة ي أيضاً نقطة انعكاس وم د ب ي على استقامته كان حتماً أن يمر امتداد ب ي بنقطة و أيضاً. وهذا خلف.

وإذن من المحال أن تكون أية نقطة مثل ي على م ه نقطة انعكاس خامسة (ثانياً) وإن كانت نقطة الانعكاس الخامسة المفروضة لا تقع على المستقيم

الموازي لمحور الأسطوانة المار باحدى نقاط الانعكاس الأربعة فلتكن هذه النقطة الخامسة $مر$ وليجر العمل السابق . فيما أنها فرضاً نقطة انعكاس $ا$ $ب$ إحداهما إلى الأخرى فإنه يمكن كما سبق إثبات أن امتداد $ب$ $مر$ يمر بنقطة تقاطع $ا$ و $ب$ $د$ $هـ$ وهى نقطة $و$.

ويكون $مر$ $ح$ موازياً $ا$ و

$$\therefore د مر ا و = د ا مر ح$$

$$ب د مر و ا = د ب مر ح .$$

وبما أن $د ا مر ح = د ب مر ح$ فرضاً

$$\therefore د مر ا و = د مر و ا .$$

$$\therefore مر ا = مر و .$$

وفى المثلثين $مر ا$ $ب$ $مر و$

زاوية $هـ$ فى كل قائمة $ب$ $مر هـ$ مشترك $ب$ $مر ا$ فى الأول يساوى $مر و$ فى الثانى .

$\therefore$ المثلثان متطابقان .

$$\therefore د ا هـ و = د و ا هـ$$

وبما أن $ا$ و $ب$ يوازى $ح$ $هـ$

$$\therefore د ا هـ و = د ب هـ و$$

$$ب د د هـ و = د ب د هـ و ا$$

$$\therefore د ب د هـ و = د ب د هـ و ا$$

وإذن $ا$ $ب$ $د$ تتعاكسان عن محيط الدائرة التى مركزها $ح$ من نقطة $هـ$ وهى فرضاً غير النقاط الأربعة التى يجوز أن تتعاكس منها $ا$ $ب$ $د$. وهذا خلف .

وإذن يكون من المحال أن تتعاكس $ا$ $ب$ $د$ من أكثر من أربع نقاط عن سطح الأسطوانية المقعرة .

وأيضاً بمثل هذا البرهان يمكن إثبات أن النقطتين المتعاكستين عن سطح الأسطوانية المحدبة من المحال أن يتعاكسا من أكثر من نقطة واحدة .

الفصل الرابع

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة المخروطية

١٥٠ - مزهاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع

راعى ابن الهيثم كمعادته المرآة المخروطية المحدبة والمرآة المخروطية المقعرة كلا على حدها . وهو في المخروطية المحدبة تناول إثبات أن نقطة الانعكاس عنها ليست إلا نقطة واحدة^(١) وأورد طريقة لتعيينها مفصلاً ذلك على أوضاع ستة^(٢) . ثم هو في المخروطية المقعرة استدل أيضاً بالبرهان على إمكان الانعكاس من نقطة أو اثنتين أو ثلاث أو أربع وضمن ذلك طريقة في تعيين نقطة الانعكاس^(٣) ، ثم أثبت أن نقاط الانعكاس عن المخروطية المقعرة لا تكون أكثر من أربع نقاط^(٤) . هذا فضلاً عن تفصيل بعض الحالات الخاصة . وقد رأينا هنا أيضاً نظراً لتشابه العناصر الهندسية في تلك البراهين أن تبسط بحوثه على صورة عامة يصح أن تشمل حالتى المخروطية المقعرة والمخروطية المحدبة وأن نشير عند تباین الأحكام إلى ما يخص كلا منهما على حدها .

١٥١ - تفصيل الحالات الخاصة

(أولاً) اذا كانت النقطتان المتعاكستان في مستوى يمر بمحور المخروط . في المرآة المخروطية أيضاً يكون المستوى المار بمحور المخروط والذي تقع عليه النقطتان المتعاكستان هو مستوى الانعكاس ، وهو يقطع سطح المخروط

(١) و (٢٤١) — و (٢٤٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظرة

(٢) و (٢٤٥) — و (٢٥٠) » » » » »

(٣) و (٣٢٤) — و (٣٢٩) » » » » »

(٤) و (٣٢٩) — و (٣٣١) » » » » »

نخرج أى مستوى مار بالمحور قاطعاً سطح المخروط وليقطعه على γ د .
 نسقط من إحدى النقطتين ولتكن ب ، العمود ب د على γ د ،
 وليقطعه على د ، ونمد ب د على استقامته إلى و بحيث يكون ب د مساوياً
 د و ، ونصل ا و ، وليقطع γ د على ه .

ومن نقطة ه فى مستوى γ ب د نرسم ه م عموداً على γ د ، فهو
 يقطع المحور على نقطة ولتكن م .

فمن السهل إثبات أن

$$\gamma ا ه م = \gamma م ه ب .$$

وبما أن ا ه م ب ه م فى مستوى واحد ،

$$\therefore ا ب تتعاكسان من ه .$$

فإن ثبت المحور γ ب ، وأدير المستقيم γ د حوله ، تكون من دوران
 نقطة ه محيط دائرة يكون محيطها هو مقطع المستوى العمود على المحور والمار
 بنقطة ه ب سطح المخروط ، وتكون أية نقطة من محيط هذه الدائرة نقطة
 انعكاس ا ب إحداها إلى الأخرى .

(ثانياً) إذا كانت النقطتان المتعاكستان فى مستوى عمود على المحور (١)
 لتكن النقطتان ا ب (شكل ١١٤) وليكن رأس المخروط γ ، ومحوره
 γ د ، وليقطع المستوى المار بالنقطتين والعمود على المحور ، سطح المخروط
 على محيط دائرة مركزها د .

نجد نقطة مثل و على محيط هذه الدائرة بحيث تنعكس كل من نقطتي
 ا ب منها ونصل د و ا ب ، وليتقاطعا على م . ونصل γ و ،
 ونسقط من م المستقيم م ه عموداً على γ و ، وليقطعه على ه ، فتكون
 ه هى نقطة انعكاس ا ب من سطح المخروط .

البرهان :

من الواضح أن ا ب م ه فى مستوى واحد فيكون ا ه
 ب ه والعمود م ه فى مستوى واحد .

(١) و (٣٢٤) — و (٣٢٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

فإذا رسم ك ل في مستوى ب ي ط موازياً ط ي قاطعاً ب ي على ل، فإن ك ل يوازي و ح، ويكون واقعاً في المستوى المماس لسطح المخروط وهو مستوى ح و ك.

وبما أن مر ه عمود على المستوى المماس ب ي يوازي مر ه، إذن ب ي عمود أيضاً على المستوى المماس.
فإن وصل ل ه فنظراً لأن المستقيم ل ه، واقع في المستوى المماس، فإن ب ي يكون عموداً عليه.
وبما أن ك ل يوازي ط ي و ك منتصف ب ط،
∴ ل منتصف ب ي.

وبما أن ه ل عمود على ب ي، فمن السهل إثبات أن ه ي = ه ب.
فيكون $\frac{ه ا}{ه ب} = \frac{ه ا}{ه ي}$

وبما أن ه و يوازي ي ط،
فيكون $\frac{ه ا}{ه ي} = \frac{ه ا}{و ط}$

وبما أن و مر يوازي ط ب،
فيكون $\frac{ه ا}{و ط} = \frac{ه ا}{مر ب}$
∴ $\frac{ه ا}{ه ب} = \frac{ه ا}{مر ب}$

∴ مر ه منتصف زاوية ا ه ب في المثلث ا ه ب.
فتكون نقطتا ا ب متعاكستين من نقطة ه عن سطح المخروط.
وهذا البرهان عام ينطبق على حالتى المرأة المخروطية المقعرة والمرأة المخروطية المحدبة، غير أن الانعكاس عن المخروطية المحدبة يتطلب أن تكون النقطتان

المتعاكستان ١ ٦ ب خارج سطح المرآة وفي مقابلة جزء من سطحها ، حتى اذا أخرج المستوى العمود على المحور الذى تقع عليه النقطتان ١ ٦ ب وقطع سطح المخروط على محيط دائرة كانت النقطتان ١ ٦ ب خارج هذه الدائرة وفي مقابلة محدبها ، فتكون نقطة و هى نقطة انعكاس كل من ١ ٦ ب إلى الأخرى من محدب الدائرة . وأيضاً فى المخروطية المقعرة يجوز أن تتعاكس نقطتان مثل ١ ٦ ب من أربع نقاط من مقعر محيط الدائرة وبتطبيق العمل المذكور على كل واحدة منها يمكن الحصول على نقاط انعكاس عن سطح المخروطية المقعرة يكون عددها بعدد نقاط الانعكاس عن مقعر محيط الدائرة .

١٥٢ - الحالة العامة وأوضاعها الستة

أشرنا فيما سبق إلى أن ابن الهيثم تناول المرآة المخروطية المحدبة على حدها والمرآة المخروطية المقعرة على حدها ، وهو قد أورد لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المخروطية المحدبة طرقاً مختلفة تختلف تبعاً لاختلاف وضعى النقطتين المتعاكستين من السطح . وهو لأمر ما قصر الطريقة التى أوردتها فى المرآة المخروطية المقعرة ، على وضع واحد من تلك الأوضاع فى حين أن للنقطتين المتعاكستين أوضاعاً يصح أن تتعاكسا فيها عن سطح المخروطية المقعرة غير الوضع الذى أورد له طريقته فى تعيين نقطة الانعكاس .

وسنورد فيما يلى بحوث ابن الهيثم على أسلوب عام بقدر ما تسمح به تلك البحوث وسنشير إلى ما يصح انطباقه على المرآتين المحدبة والمقعرة وما تنفرد به المحدبة دون المقعرة فى المناسبات الخاصة بذلك .

وابن الهيثم قد راعى فى الحالة العامة (وإن كان كلامه فى هذا منصباً على المخروطية المحدبة وحدها) ستة أوضاع ، هى بحسب وضعى النقطتين المفروضتين بالاضافة إلى المستوى العمود على المحور المار برأس المخروط . وهذه الأوضاع الستة هى كما يلى بترتيب ورودها (١) .

(١) وردت تفصيلات هذه الأوضاع مع البراهين عليها من و (٢٤٥) - و (٢٥٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

الوضع الأول — حيث تكون النقطتان المتعاكستان فيما دون هذا المستوى من قاعدة المخروط . وهذا الوضع هو الوضع الوحيد للنقطتين المتعاكستين الذى يورد له طريقة لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المخروطية المقعرة .

الوضع الثانى — حيث تكون النقطتان المتعاكستان على المستوى المذكور . وهذا وضع لا تتعاكس فيه النقطتان عن تغيير سطح المخروط . كما سنبين فيما بعد .

الوضع الثالث — حيث تكون النقطتان المتعاكستان فيما يلى المستوى المذكور من قاعدة المخروط . وهو وضع لا تتعاكس فيه أيضاً النقطتان عن تغيير سطح المخروط .

الوضع الرابع — حيث تكون إحدى النقطتين على المستوى المذكور والأخرى فيما دونه من قاعدة المخروط . وهو وضع يصح فيه تعاكس النقطتين عن تغيير سطح المخروط .

الوضع الخامس — حيث تكون إحدى النقطتين فى المستوى المذكور والأخرى فيما يليه من قاعدة المخروط . وهو وضع لا تتعاكس فيه النقطتان عن تغيير سطح المخروط .

الوضع السادس — حيث تكون النقطتان المتعاكستان على جنبى المستوى المذكور إحداهما فيما دونه من قاعدة المخروط والأخرى فيما يليه من القاعدة . وهو وضع يصح فيه تعاكس النقطتين عن تغيير سطح المخروط .

ابن الهيثم يورد لكل وضع من هذه الأوضاع طريقة لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المخروطية المحدبة . وطريقته للوضع الأول وهو أول ما يتناوله من هذه الأوضاع يعقب عليها ببرهان هندسى مفصل . ولكنه نظراً للشابه خطوات العمل وطريق البرهان فى الأوضاع الأخرى وما أورده عن الوضع الأول ، يوجز بعض الايجاز خطوات العمل وبراهينه الهندسية فيما بعد مكتفياً بالإشارة إلى القياس على ما تقدم .

البرهان :

نصل $ق هـ$ و $هـ ب$. فيتضح (أولاً) أن $ق هـ$ و $هـ ب$ و $هـ ر$ و $هـ ب$ في مستوى واحد .

نرسم من $ب$ المستقيم $ط$ موازياً لـ $د و$. ونمد $ا$ و حتى يقطعه على نقطة ولتكن $ط$.

ونرسم $ب ي$ موازياً لـ $هـ$ ، ونمد $ق هـ$ حتى يقطعه على $ي$.

فمستوى $ب ط ي$ يوازي مستوى $د و هـ$ ، ومستوى $ا ب ط$ قاطع لهما يقطع الأول على $ط ي$ والثاني على $ح و$.
 $\therefore$ $ط ي$ يوازي $ح و$.

نرسم $و ك$ مماساً للدائرة في مسواها أي عموداً على نصف قطرها $د و$ ، وليلق $ب ط$ على $ك$. فبما أن $ب ط$ يوازي $د و$ ، يكون $و ك$ عموداً على $ب ط$.

ومن السهل إثبات أن

$د و ب ط = د و ط ب$ ، أي أن مثلث $و ب ط$ متساوي الساقين .
 $\therefore$ نقطة $ك$ تنصف $ب ط$.

فإذا رسم $ك ل$ موازياً لـ $ط ي$ قاطعاً $ب ي$ على $ل$ ، فإن $ك ل$ يوازي $و هـ$ ، ويكون واقعاً في المستوى المماس لسطح المخروط وهو مستوى $ح و ك$.

وبما أن $مر هـ$ عمود على المستوى المماس $ب ي$ يوازي $مر هـ$ ،
 $\therefore$ $ب ي$ عمود أيضاً على المستوى المماس .

فإن وصل $ل هـ$ فنظراً لأن المستقيم $ل هـ$ ، واقع في المستوى المماس ، فإن $ب ي$ يكون عموداً عليه .

وبما أن $ك ل$ يوازي $ط ي$ ، $ك$ منتصف $ب ط$ ،
 $\therefore$ $ل$ منتصف $ب ي$.

وبما أن $هـ ل$ عمود على $ب ي$ فمن السهل إثبات أن $هـ ي = هـ ب$.

$$\frac{ق هـ}{هـ ب} = \frac{ق هـ}{هـ ي} \quad \text{وإذن}$$

وبما أن هـ م يوازي ي ب ،

$$\begin{array}{c} \text{ق هـ} \\ \text{ق م} \end{array} = \begin{array}{c} \text{هـ ي} \\ \text{م ب} \end{array} \quad \therefore$$

$$\begin{array}{c} \text{ق هـ} \\ \text{ق م} \end{array} = \begin{array}{c} \text{هـ ب} \\ \text{م ب} \end{array} \quad \therefore$$

أي أن زاوية هـ في مثلث ق هـ ب ينصفها هـ ر

$$\text{فتكون } \angle \text{ق هـ ر} = \angle \text{م هـ ر} .$$

وهذا البرهان أيضاً عام ينطبق على حالتى المخروطية المحدبة والمقعرة . فإن كانت المرآة مقعرة وتعاكست ١ ٦ ب من محيط الدائرة التى مركزها د من نقطتين أو ثلاث أو أربع أمكن إيجاد نقطتين أو ثلاث أو أربع (بعدد تلك النقاط) تتعاكس منها النقطتان ق ٦ ب من سطح المخروطية المقعرة .

أما إن كانت المرآة محدبة فإنه فى هذه الحالة تكون نقطتا ب ٦ ق خارج سطح المخروط ، فإذا أجزى المستوى المار بنقطة ب عموداً على المحور ، ومد ح ق على استقامته فهو يقطع المستوى على نقطة مثل ١ ، تكون هى أيضاً خارج محيط الدائرة كما أن نقطة ب خارجها . والنقطتان ١ ٦ ب فى هذه الحالة تتعاكسان من محدب محيط هذه الدائرة من نقطة واحدة . فيؤدى العمل المذكور إلى تعيين نقطة تكون هى نقطة انعكاس كل من ب ٦ ق إحدهما إلى الأخرى من محدب سطح المخروط .

١٥٤ - الوضع الثانى : النقطتان فى المستوى المار برأس المنحروط

عموداً على

لتسكن النقطتان ق ٦ م (شكل ١١٦) ورأس المخروط ح ومحوره ح د .

العمل :

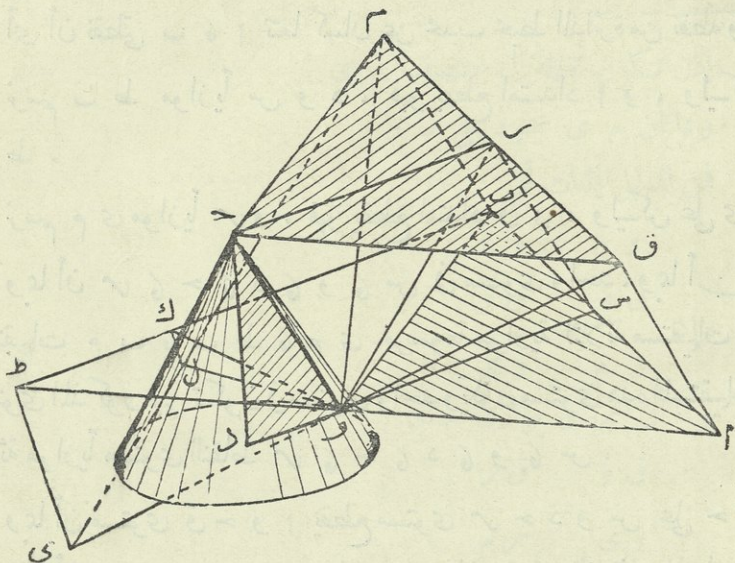
نصل ق ح ٦ م ح ، وتنصف زاوية م ح ق بالمستقيم ح م ر ،

وليقطع ق م على م. ومستوى م > د يقطع سطح المخروط فليقطعه
على > و.

نسقط من m عموداً على h و o ، وليقطعه على o ، فتكون نقطة o هي نقطة الانعكاس المطلوبة .

البرهان :

(أولاً) بما أن النقاط م و س ق على مستقيم واحد فإن وصلت جميعاً بنقطة وكانت المستقيمت م و و س ق في مستوى واحد.



(شکل ۱۱۶)

(ثانياً) نجيز المستوى المار بنقطة و عموداً على محور المخروط فهو يوازي المستوى م ح ق المار برأس المخروط ويقطع سطح المخروط على دائرة .
نرسم م س موازياً ح و ، وليقطع مستوى الدائرة المذكورة على س ، ونصل س و . فمستوى ح م س و يقطع مستوى الدائرة على س و ، ويقطع المستوى الموازي لمستوى الدائرة والمار برأس المخروط على م ح .

إذن مر ح بوازی س و .

وأيضاً امتداد س و يقطع المحور على نقطة ولتكن د ، وتكون هي مركز الدائرة .

نرسم ق ا م ب موازيين ح و ، وقاطعين مستوى الدائرة على نقطتي ا م ب بالترتيب ونصل و ا م و ب .

فيكون و ا موازياً ح ق م د س و ا = د م ح ق .

ويكون و ب موازياً ح م د ب و س = د م ح م .

∴ د ب و س = د س و ا .

أى أن نقطتي ب م ا تتعاكسان عن محب محيط الدائرة من نقطة و .

نرسم ب ط موازياً س و د ، فهو يقطع امتداد ا و ، وليكن على ط .

نرسم م ي موازياً م ر و ، فهو يقطع امتداد ق و ، وليكن على ي .

وبما أن م ر م ح د و م س في مستوى واحد ، وبما أن

المستقيمات م ب م ب ط م ي مرسومة موازية لثلاثة مستقيمات في

المستوى المذكور فهي تكون في مستوى واحد ويكون مستوى هذه المستقيمات

الثلاثة موازياً مستوى النقاط م ر م ح د و م س .

وبما أن مستوى ق ح و ا يقطع مستوى م ر ح د و س على ح و

وبما أن مستوى ق ح و ا يقطع مستوى المستقيمات الثلاثة على ط ي

(وذلك لأن ا و يقطع أحدها على ط م ق و ، يقطع مستقيماً آخر

منها على ي) ، إذن ط ي يوازي ح و .

نرسم في مستوى الدائرة وك مماساً لها عند و ، وليلق ب ط على ك .

فبما أن ب ط يوازي و د ، إذن و ك عمود على ب ط .

وبما أن د ب و س = د س و ا م ب ط يوازي س د

فمن السهل إثبات أن زاوية و ب ط = زاوية و ط ب .

وإذن نقطة ك منتصف ب ط .

رسم ك ل موازيا ط ي ، وليلق م ي على ل .
فالمستقيم ك ل يوازي ح و ، وهو واقع في مستوى ح و ك ،
الذى هو المستوى المماس لسطح المخروط عند و ،

وبما أن م ر و عمود على هذا المستوى
فم ي يوازي م ر و ، إذن م ي عمود أيضا على هذا المستوى ،
فإن وصل ل و كان المستقيم م ي عموداً على ل و .
وبما أن المستقيمت م ب ك ل ط ي متوازية ، ونقطة ك
منتصف ب ط ،

إذن تكون نقطة ل منتصف م ي .
وبما أن م ي عمود على ل و ،

فن السهل إثبات أن

$$م = و \quad و ي$$

$$ق و \quad ق و$$

$$و = م \quad و ي$$

وبما أن م ر و يوازي م ي

$$ق و \quad ق م$$

$$و ي \quad م م$$

$$ق و \quad ق م$$

$$و = م \quad م م$$

$$و = م \quad م م$$

وإذن م ر و ينصف زاوية و في المثلث م و ق .

$$م = م \quad م = م \quad م = م$$

فتكون نقطة و هي نقطة الانعكاس للنقطتين ق و م .

ومن الواضح أن هذا الوضع لا يصح فيه العمل المذكور في الوضع الأول

لتعيين نقطة الانعكاس ، وهذا ما حدا ابن الهيثم إلى التمييز بين الوضعين . ويلاحظ

أن المستوى الذى يتكون من المستقيم ح م ر ومن محور المخروط ، وإن كان

يقطع سطح المخروط على مستقيمين أحدهما γ و δ فإن العمود الواقع من δ على المستقيم الآخر يلقاه خارج سطح المخروط ، أى لا يلقاه على سطح المرآة المخروطية المفروضة ، فلا يمكن أن تكون نقطة الالتقاء فى هذه الحالة نقطة انعكاس .

كذلك يلاحظ أنه إذا أخذت أية نقطة على الجزء المقعر من سطح المخروط الذى فى مقابلة النقطتين وأخرج منها العمود على السطح ، فإنه يلقى المحور على نقطة ، فإن أخرج مستوى المثلث المكون من النقطتين γ و δ ومن تلك النقطة المأخوذة ، فإن هذا المستوى يلقى المحور على نقطة تقع فيما بين نقطة التقاء العمود بالمحور وبين رأس المخروط ، فلا يمكن أن يقع العمود فى مستوى ذلك المثلث ، فيستفى إذن تحقق القانون الأول فى الانعكاس ، فلا يتأتى تعاكس النقطتين فى هذا الوضع عن مقعر سطح المخروط . وإذن يتبين أن هذا الوضع من الأوضاع الخاصة بالمرآة المخروطية المحدبة دون المقعرة . وابن الهيثم محق فى قصر هذا الوضع على المخروطية المحدبة وإغفال الإشارة إليه أو ذكره فى المخروطية المقعرة .

١٥٥ - الوضع الثالث : النقطتان δ و γ من قاعدة المخروط فيما

على المستوى المار برأس عمودا على δ

لتكن النقطتان γ و δ (شكل ١١٧) ، ورأس المخروط γ ، ومحوره δ .

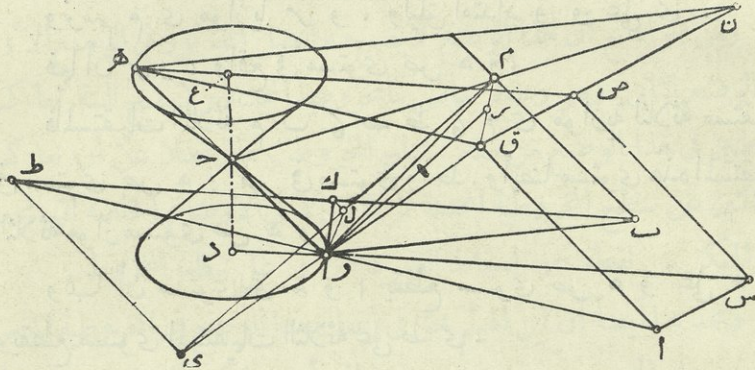
العمل :

نمد محور المخروط δ من جهة γ ونجيز حول إحدى النقطتين ولتكن γ المستوى العمود على امتداد المحور فهو يقطع امتداد سطح المخروط (أى سطح المخروط المقابل) على دائرة وليكن مركزها ϵ .
نصل النقطة δ برأس المخروط γ ، وليلق المستقيم الواصل بينهما هذا المستوى على نقطة η .

فتكون النقطتان γ و δ فى مستوى الدائرة التى مركزها ϵ فتعني

نقطة انعكاس إحداها إلى الأخرى من قوس القطاع المقابل من محيط هذه الدائرة ولتكن نقطة الانعكاس هذه هي ه ، ونصل ه ع ، ونمده حتى يلقى ن ق على ص .

ونصل ه ح ، ونمده على سطح المخروط إلى و .



(شكل ١١٧)

ونصل م ق ، وليلق مستوى ص ه و على نقطة م . ومن هذه النقطة نسقط م و عموداً على ح و ، وليلقه على و . فإن كانت نقطة و واقعة على سطح المرآة المخروطية لا على سطح المخروط المقابل ، كانت نقطة و نقطة الانعكاس المطلوبة . وإلا امتنع انعكاس كل من نقطتي ق و م إلى الأخرى عن سطح المخروطية المفروضة .

البرهان :

(أولاً) المستقيمت الواصلة بين م و م ر ق وبين النقطة و في مستوى واحد .

نخرج المستوى العمود على المحور المار بنقطة و فهو يقطع سطح المخروط على دائرة . نرسم ص س موازياً ح و ، ونمده حتى يلقى هذا المستوى على س ، ونصل س و .

فن السهل كما في الحالة السابقة إثبات أن س و يوازي ص ه ، وأن امتداد س و يقطع محور المخروط على نقطة د تكون هي مركز الدائرة . نرسم ق ا م ب موازيين ح و ، ولأقربين المستوى المذكور على

٦ ب بالترتيب . ونصل و ١ و ٦ و ب .

فن السهل كما في الحالة السابقة إثبات أن

$$\angle ب و س = \angle س و ١$$

ونرسم ب ط موازيا س و د ، وليلق امتداد ١ و على ط .

ونرسم م ي موازيا م ر و ، وليلق امتداد ق و على ي .

فبما أن م ر و ، واقع في مستوى ص ه و ،

فالمستقيمتان الثلاثة م ب ٦ ب ط ٦ م ي موازية لثلاثة مستقيمت

في مستوى ص ه و فهي في مستوى واحد . وأيضا مستوى هذه المستقيمت

الثلاثة مواز مستوى ص ه و .

وبما أن مستوى ق ه و ١ يقطع مستوى ص ه و على ه و ،

ويقطع مستوى المستقيمت الثلاثة على ط ي ،

إذن ه و يوازي ط ي .

نرسم و ك في مستوى الدائرة التي مركزها د مماسا لها عند نقطة و ، وليلق

ب ط على ك .

فيكون و ك عموداً على ب ط .

وكما سبق في الوضع السابق يمكن بسهولة إثبات أن

زاوية و ب ط = زاوية و ط ب .

وتكون نقطة ك منتصف ب ط .

نرسم ك ل موازيا ط ي ، وليلق م ي على ل .

فبمثل البرهان السابق يمكن إثبات أن نقطة ل هي منتصف م ي ، وأن

م ي عمود على ل و .

وإذن و م = و ي

ق و ق و

∴ =

و م و ي

ق و ق و

٦ = و ي م ر

$$\frac{ق}{و} = \frac{ق}{م} \therefore$$

$$\therefore م و م = م و ق$$

فتكون نقطة و هي نقطة الانعكاس للنقطتين ق و م .
ومن الواضح أن هذا الوضع لا يصح فيه العمل المذكور في الوضع الأول
أو الوضع الثاني . وهو وضع خاص بالمخروطية المحدبة ولا يصح البتة تعاكس
النقطتين في هذا الوضع من مقعر سطح المخروط . هذا فضلا عن أن تعاكس
النقطتين عن سطح المخروطية المحدبة لا يتأتى إلا في الأوضاع الخاصة التي تجعل
من الممكن من نقطة م إسقاط العمود م و على سطح المخروط .
ونجد هنا أيضاً أن ابن الهيثم حقق في إغفال هذا الوضع في المخروطية المقعرة
وقصره على المحدبة . وهو يشير فعلاً إلى أن تعاكس النقطتين عن سطح
المخروطية المحدبة موقوف على الشرط المذكور . كما أنه يشير في هذا الوضع
إلى حالة خاصة . فإن النقطتين المقروصتين قد تكونان معاً في المستوى العمودي
على امتداد محور المخروط فتكون نقطة م في الشكل الذي راعيناه واقعة في
مستوى الدائرة التي مركزها ع . والعمل والبرهان في هذه الحالة الخاصة هما
على منوال ما ذكرنا آنفاً ولكنهما أقل تعقداً .

١٥٦ - الوضع الرابع : إحدى النقطتين في المستوى المار برأس المخروط

عموداً على سهم والاخرى فيما دونه من القاعدة

لتكن النقطتان ق و ب (شكل ١١٨) ، ورأس المخروط ح ومحوره
ح د ، ولتكن النقطة ق في المستوى المار بالرأس عموداً على المحور .
العمل :

نخرج المستوى المار بنقطة ب عموداً على المحور فيقطع سطح المخروط
على محيط دائرة وليكن مركزها د .

نسقط من ق العمود ق م على هذا المستوى وليلقه على م . نصل م د ،
ونمده وليلق محيط الدائرة على نقطتي س و ص .

وإذن

$$د ا و ف = د ب و ف .$$

ونرسم من ب المستقيم ب ط يوازي و د ، وليلق امتداد ا و على ط .
ونرسم المستقيم ب ي يوازي مره وليلق امتداد ق ه على ي .
وبتتبع خطوات البرهان الوارد في الوضع الاول يمكن إثبات أن ه هي
نقطة تعاكس ق و ب عن سطح المخروط .
وابن الهيثم يقصر هذا الوضع أيضاً على المخروطية المحدبة والقصر في هذه
الحالة أيضاً ليس صواباً .

وتفصيل الأمر أن ابن الهيثم أغفل الصور المختلفة في هذه الحالة كما أغفل من
قبل تفصيل صور العملية الثالثة . فالمستقيم الخارج من ب قاطعاً محيط الدائرة
على و ، والقطر على ع بحيث يكون ع و = ع د ، يمكن إخراجه كما بيئنا
من قبل على أربع صور ، وإذن تكون للنقطة و بوجه عام أربعة أوضاع على
محيط الدائرة . والمستقيم ق ب الواصل بين النقطتين المتعاكستين يلقي بوجه
عام هو أو امتداده كل واحد من المستويات التي تتكون من المحور > د
ومن المستقيم الواصل بين الرأس > والنقطة و في أوضاعها الممكنة . ولكن
من اللازم لكي يصح الانعكاس توافر الشرطين الآتيين :

(أولاً) أن يلقى المستقيم ق ب نفسه ، لا امتداده ، مستوى أو أكثر من
المستويات المذكورة حتى إذا ما أسقط من النقطة التي يلقيها عليها عمود على
المستقيم ج و ، كانت النقطتان المتعاكستان ق و ب عن جنبي العمود ،
لا في جانب واحد منه .

(ثانياً) أن يلقي العمود المذكور المستقيم ج و على نقطة مثل ه تقع
دون > من قاعدة مخروط المرآة المفروضة لكي يتحقق وجودها على سطح
المخروط المفروض .

فان توافر الشرطان المذكوران جميعاً صح الانعكاس ويكون الانعكاس
عن مقعر سطح المخروط أو عن محدب سطحه ، تبعاً لوضع النقطتين المتعاكستين
بالإضافة إلى الجزء الذي تقع عليه نقطة ه ، من سطح المخروط .

ومن هذا يتبين أن الوضع الرابع الذى نحن بصدده هنا إذا صيغ في هذا القالب العام شمل حالتى المرأة المخروطية المحدبة والمرأة المخروطية المقعرة وأنه ليس خاصاً بالأولى دون الثانية .

١٥٧ - الوضع الخامس : امرى النقطتين فى المستوى المار برأس

المخروط عموداً على سطحه والاخرى فيما يليه من القاعدة

ما أورده ابن الهيثم بحسب ما جاء فى المخطوطات التى اطلعنا على صورها فيما يتعلق بهذا الوضع مقتضب ومضطرب . كل ما جاء فيه ما يأتى :

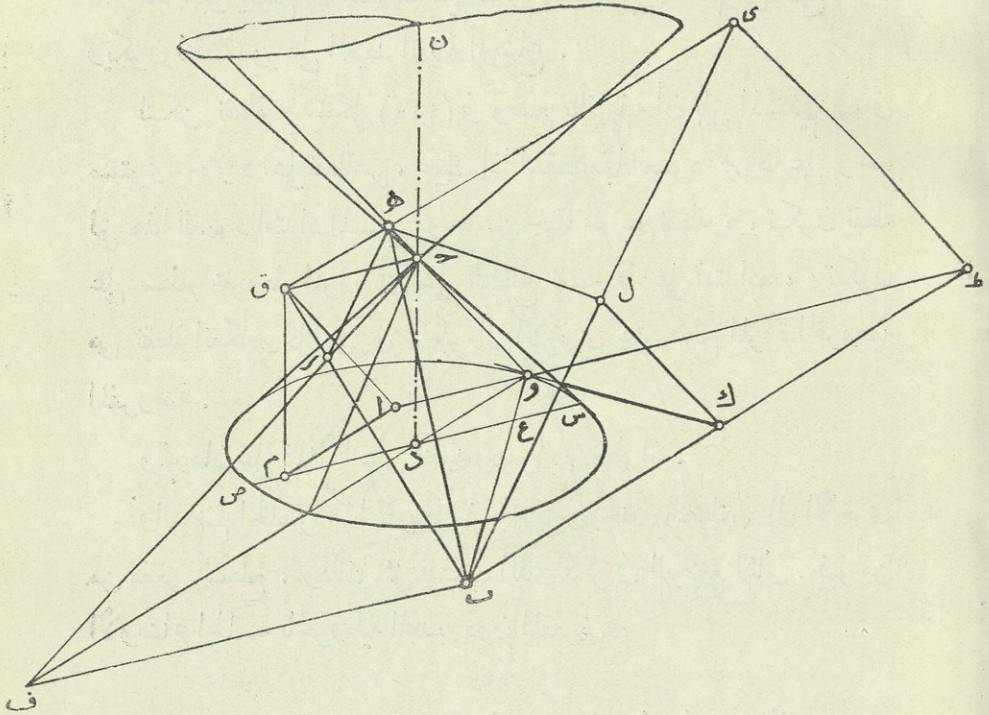
« وإن كانت إحدى النقطتين (أى إحدى النقطتين المتعاكستين) فى سطح م ج ن (يقصد المستوى المار بالرأس عموداً على المحور) والأخرى من وراء هذا السطح أخرجنا المخروط المقابل لمخروط المرأة ، واستخرجنا نقطة الانعكاس التى على هذا المخروط أعنى المقابل . ثم نقلنا نقطة الانعكاس إلى مخروط المرأة كما عملنا فى الشكل الذى قبل هذا الشكل » (١)

وقد أورد كمال الدين الفارسى هذه العبارة بألفاظ لا تختلف اختلافاً محسوساً عن هذه الألفاظ ، وأوردها خلواً من أية إشارة أو تعليق منه .

والوضع الخامس هذا هو فى نظرنا أحد الاحتمالات الممكنة فى الوضع الرابع . فمن الواضح أنه إذا توافر الشرط الأول من الشرطين المذكورين فى ذلك الوضع ولم يتوافر الشرط الثانى بل قطع العمود الواقع من نقطة التقاء المستقيم ق ب بمستوى ج د و ، قطع هذا العمود امتداد المستقيم و ح من جهة الرأس ح فى نقطة مثل ه ، فإن هذه النقطة تكون واقعة على امتداد سطح المخروط من جهة رأسه ، أى تكون واقعة على سطح المخروط المقابل ، وتكون هى نقطة انعكاس كل من ق و ب إلى الأخرى لا عن سطح المخروط الأصلى فى الوضع الرابع بل عن سطح المخروط المقابل

(١) و (٢٤٩) من مخطوط المقالة الخامسة والشكل الذى يشير إليه هو الذى أورده

ويكون وضع النقطتين ق و ب بالنسبة إلى هذا المخروط المقابل هو الوضع الخامس الذي نحن بصدده هنا . ومن البين أن هذا كله لا يتضمنه القول الذي أورده ابن الهيثم بحسب ما جاء في المخطوطات .
ولتفصيل هذا الأمر ليكن رأس مخروط المرأة > (شكل ١١٩) ،



(شكل ١١٩)

ومحوره > ن ، ولتكن النقطتان المتعاكستان ق و ب أولاهما في المستوى
المرار بالرأس > عموداً على المحور > ن ، والثانية فيما يلي الرأس > من
قاعدة المخروط .

العمل :

نمد المحور ن > على استقامته من جهة الرأس إلى د ونجيز من النقطة
ب المستوى العمود على امتداد المحور ، فهو يقطع امتداد سطح المخروط على
محيط دائرة وليكن مركزها د .

نسقط من ق العمود ق م على هذا المستوى ، وليلقه على م ، ونصل م د ، ونمده وليقطع محيط الدائرة على س ٦ ص .

ثم نخرج من ب المستقيم ب ع و ، قاطعا محيط الدائرة على و ، والقطر س ص على ع ، بحيث يكون $وع = ع د$.

فما سبق يتضح أن هذا المستقيم يمكن إخراجہ بوجه عام على أربع صور ويكون لنقطة و على المحيط أربعة أوضاع .

لتكن نقطة و شكل (١١٩) في وضع يتأتى فيه أن يلقى المستقيم ب ق مستوى ح و د على نقطة م ، بحيث إذا اسقط منها العمود م ر ه على و ح ، لقي هذا العمود امتداد المستقيم و ح من جهة ح على نقطة ه ، تكون نقطة على سطح مخروط المرآة أى على السطح نفسه لا على امتداده ، وتكون هى نقطة انعكاس كل من ق ٦ ب إلى الأخرى عن سطح المرآة المخروطية المفروضة .

والبرهان على ذلك كما سبق بنصه ورموزه وخطواته .
والوضع الخامس هذا لا يتأتى فيه انعكاس إحدى النقطتين إلى الأخرى من مقعر السطح ، وذلك لمثل السبب الذى ذكر في الوضع الثانى . فهو من الأوضاع الخاصة بالمخروطية المحدبة دون المقعرة .

١٥٨ - الوضع السادس : النقطتان عن جنبى المستوى المار برأسى

المخروط عمودا على

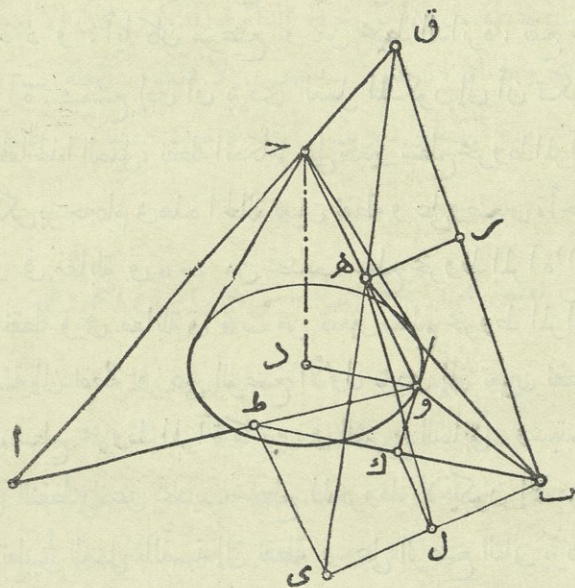
لتكن النقطتان ق ٦ ب (شكل ١٢٠) ورأس المخروط ح ، ومحوره ح د ، ولتكن نقطة ب من جهة القاعدة ، ولتكن نقطة ق خارج سطح المخروط المقابل .

العمل :

نخرج المستوى المار بنقطة ب عموداً على محور المخروط فيقطع سطح المخروط على محيط دائرة وليكن مركزها د .

نصل ق > ، ونمده حتى يلتقي مستوى الدائرة على نقطة ١ تكون خارج الدائرة المذكورة. ثم نعين النقطة و على محيط الدائرة بحيث يكون المماس المرسوم عندها منصفاً لزاوية ١ و ب .

نصل $\rightarrow$ و $\rightarrow$ ق، وليلق المستقيم ب ق مستوى $\rightarrow$ د و على م .
نسقط من نقطة م العمود م ه على $\rightarrow$ و، وليلق $\rightarrow$ و على ه،
فتكون نقطة ه هي نقطة الانعكاس المطلوبة.



(شکل ۱۲۰)

والبرهان على ذلك كالبرهان الوارد في الوضع الأول بنصه وإشاراته وخطواته.
وابن الهيثم يقصر هذا الوضع كما أشرنا آنفا على المرأة المخروطية المحدبة
ولكن القصر في هذه الحالة أيضا ليس صوابا.

فبحسب النص الوارد اتخذت النقطتان المتعاكستان ق ب في وضعين
حيثما اتفق عن جنبي المستوى المار برأس المخروط عموداً على محوره . وعلى
ذلك فنقطة ق قد تكون خارج امتداد سطح مخروط المرأة أى خارج سطح
المخروط المقابل ، وقد تكون داخله . ونقطة ب قد تكون خارج محيط

الدائرة التي يليق عليها المستوى المار بها عموداً على المحور سطح مخروط المرآة ، كما هو مبين بالشكل وقد تكون داخل محيط هذه الدائرة . وتفصيل الأمر بإيجاز كما يأتي :

(أولاً) لتكن نقطة ق خارج سطح المخروط المقابل حيث تقع ا خارج محيط الدائرة المذكورة :

فإن كانت نقطة ب خارج محيط هذه الدائرة أيضاً ، فواضح عندئذ أن المستقيم ق ب الواصل بينهما يقع خارج سطح مخروط المرآة فنقطة التقائه بمستوى ح د و ، أيأ كان موضع و من محيط الدائرة ، تقع خارج سطح مخروط المرآة . فيمتنع إذن أن يؤدي العمل المذكور إلى أن تكون نقطة ه التي تتعين وفقاً لهذا العمل ، نقطة انعكاس على تغيير سطح مخروط المرآة . وواضح أيضاً أنه يمكن بوجه عام في هذه الحالة تعيين نقطة و على وضعين ، أحدهما تكون فيه نقطة و في مقابلة ق ب من تحديد سطح مخروط المرآة ^(١) ، والآخر تكون فيه نقطة و في مقابلة ق ب من تغيير سطح مخروط المرآة . وتطبيق العمل بالنسبة إلى نقطة و على الوضع الأول يؤدي إلى تعيين نقطة انعكاس عن تحديد سطح مخروط المرآة كما تبين في الشرح السابق . وسيتبين فيما يأتي أن تعاكس النقطتين عن تحديد سطح المخروط لا يكون إلا من نقطة واحدة . وتطبيق العمل بالنسبة إلى نقطة و على الوضع الثاني يؤدي إلى تعيين نقطة انعكاس عن تحديد سطح المخروط المقابل ، لا عن تحديد سطح مخروط المرآة نفسه .

أما إن كانت نقطة ب داخل محيط الدائرة المذكورة فإن تعاكس النقطتين عن تحديد سطح مخروط المرآة ينتفي البتة ، حيث نقطة ب في هذا الوضع ليست تقابل جزءاً ما من تحديد السطح . وإن طبق العمل المذكور أدى بوجه عام إلى تعيين نقطة انعكاس عن تغيير سطح المخروط او نقطة انعكاس عن تحديد سطح المخروط المقابل .

(١) انظر فقرة (٨٨) من الجزء الأول من هذا الكتاب

(ثانياً) لتكن نقطة ق داخل سطح المخروط المقابل حيث تقع داخل محيط الدائرة المذكورة :

في هذه الحالة يتمتع الانعكاس عن تقعر سطح مخروط المرآة حيث تقع نقطة ق في مقابلة تحذب كل سطحها .

فان كانت نقطة ب خارج محيط الدائرة ادى العمل بوجه عام الى تعيين نقطة انعكاس عن تحذيب سطح المرآة أو تقعر سطح المخروط المقابل .

أما إن كانت نقطة ب داخل محيط الدائرة المذكورة فان الانعكاس عن تحذيب سطح مخروط المرآة ينتفي البتة حيث لا تكون نقطة ب في مقابلة أى جزء من تحذيب السطح . وينتفي أيضاً وجود نقطة و حيث يتوافر الشرط المطلوب .

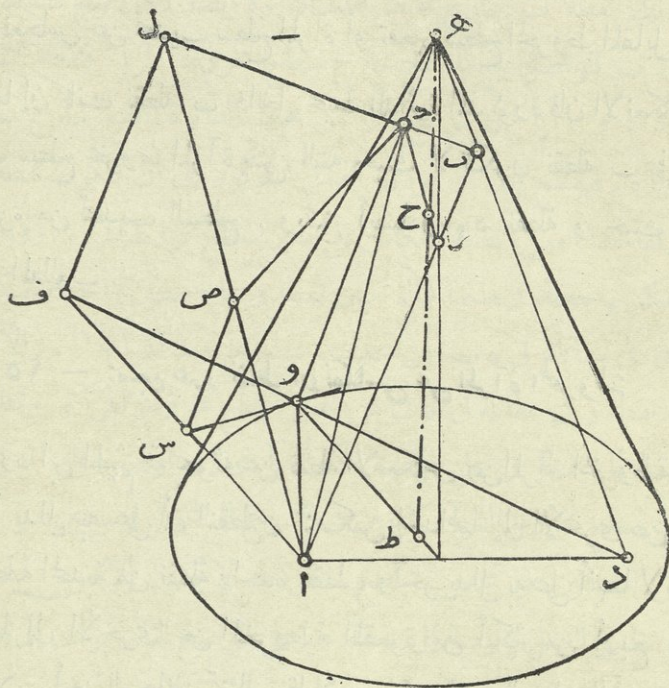
١٥٩ - تعيين عدد نقاط الانعكاس عن المرآة المخروطية

يورد ابن الهيثم في بحوثه عن نقطة الانعكاس عن المرآة المخروطية برهانا هندسياً يدل به على أن النقطتين تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن سطح المخروطية المحدبة من نقطة واحدة فقط ، وآخر يدل به على أنهما لا تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن المخروطية المقعرة من أكثر من أربع نقاط . وتفصيلات أحد البرهانين تختلف قليلاً عن تفصيلات البرهان الآخر .

وبرهانه في حالة المخروطية المقعرة سليم ولكنه خاص بها بل هو خاص ببعض أحوالها ولا يتسنى تعميمه على المحدبة بحيث يشمل الأوضاع المختلفة الستة التي فصلها وبينها فيما سبق . أما برهانه في حالة المخروطية المحدبة فان أحد الأركان التي يقوم عليها بحسب ما هو وارد في صور الأصول التي اطلعنا عليها خطأ ، ويجعل البرهان على صورته الواردة منقوضاً من أساسه . وسنبين ذلك كله بالتفصيل فيما يأتي :

١٦٠ - برهان ابن السريتم في حالة المخروطية المقعرة (١)

لتكن النقطتان المتعاكستان ١ ٦ ب (شكل ١٢١) ورأس المخروط ه
وسهمه ط ولتنعكس إحدى النقطتين إلى الأخرى عن تقعر سطح المخروط
من نقطة ح . نقيم من ح العمود ح ط على سطح المخروط وليلق سهمه على



(شكل ١٢١)

نقطة ح . فيكون ١ > ٦ > ب > ح في مستوى الانعكاس ، وتكون نقطتا
١ ٦ ب في مقابلة جزء من تقعر سطح المخروط . نصل ١ ب فهو يلقى ح
على نقطة وتكن س .

ونظرا لان ١ ٦ ب متعاكستان من تقعر سطح المخروط فانه يمكن
على تصارييف الاحوال أن يخرج من واحدة منهما على الاقل مستوى يقطع

سطح المخروط عموداً على سهمه . فلتكن نقطة α كذلك ولنخرج منها المستوى العمود على سطح المخروط وليلق سطحه على محيط دائرة وليكن مركزها نقطة τ . ثم نصل $ه ب$ وليلق الواصل مستوى الدائرة على نقطة δ . ثم نصل $ه ح$ وليلق الواصل محيط الدائرة على نقطة ω . فتكون نقطتي $\delta \omega$ في مقابلة تقعر القوس المار بنقطة ω . ثم نصل $\delta \omega$ و $\tau \omega$ و $\alpha \omega$ ، ونخرج من α مستقيماً يوازي $ح$ فهو يقع في مستوى الانعكاس وليلق امتداد $ب ح$ على نقطة ولتكن $ل$. وأيضاً نخرج من α مستقيماً يوازي τ وهو يقع في مستوى الدائرة وليلق امتداد $\delta \omega$ على نقطة ولتكن $ف$. فنظراً لأن $\alpha ل$ يوازي $ح$ و $\alpha ف$ يوازي $\tau \omega$ ، فمستوى $\alpha ل ف$ يوازي مستوى $ه و ط$ ، وبما أن نقطتي $ل ف$ واقعتان في مستوى $ه و د$ فمستوى $ه و د$ يليق بمستوى $\alpha ل ف$ على $ل ف$ ، ومستوى $ه و د$ يليق بمستوى $ه و ط$ على $ه و$.

وإذن $ل ف$ يوازي $ه و$.

ثم نخرج من نقطة ω مماساً للدائرة في مستواها فهو عمود على نصف القطر $\tau \omega$. فهو يليق $\alpha ف$ على نقطة ولتكن $س$ ، ويكون $وس$ عموداً على $\alpha ف$.

ومستوى $ه و س$ هو المستوى المماس لسطح المخروط من نقطة الانعكاس $ح$.

فهو عمود على مستوى السقوط $ب ح$ ، وإذن يكون $ح$ عموداً على مستوى $ه و س$. وبما أن $\alpha ل$ يوازي $ح$ ، إذن $\alpha ل$ عمود على مستوى $ه و س$.

فاذا رمزنا لنقطة التقائه بمستوى $ه و س$ بالحرف $ص$ ، ووصلنا $ص س$

كان $ص س$ المستقيم الذي يتقاطع عليه المستويان $ه و س$ و $\alpha ل ف$.

وبما أن $ه و$ هو المستقيم الذي يتقاطع عليه الأول ومستوى $ه و ط$

الموازي للمستوى $\alpha ل ف$ ،

إذن ص س يوازي ه و ،

وإذن تكون المستقيمات الثلاثة ص س و ل ف و ه و متوازية .

وأيضاً فيما أن ص ح في مستوى ه و س و ل ص عمود عليه فإن ا ص عمود على ص ح .

وبما أن نقطة ح هي نقطة انعكاس فرضاً ،

وبما أن مر ح يوازي ا ل عملاً ،

فان $\angle ب ح مر = \angle مر ا = \angle ا ل ا = \angle ا ل ا$.
 $\therefore \angle ح ل = \angle ا$.

وبما أن ح ص عمود على ا ل ،

$\therefore$ نقطة ص هي منتصف ا ل .

وبما أن ص س يوازي ل ف ،

$\therefore$ نقطة س هي منتصف ا ف .

وبما أن و س عمود على ا ف

$\therefore \triangle و ا ف$ متساوي الساقين ،

$\angle و ف ا = \angle ا و ف$.

وبما أن و ط يوازي ا ف .

$\therefore \angle د و ط = \angle ط و ا$.

وإذن تكون نقطتا د و ا متعاكستين من تقعر محيط الدائرة من

نقطة و .

بمثل هذا البرهان استدل ابن الهيثم على أنه إذا صح أن تتعاكس نقطتا ا و ب

من تقعر سطح المخروط من نقطة ح ، وأخرج من إحدى النقطتين ا

المستوى القاطع لسطح المخروط عموداً على سهمه ، ووصل رأس المخروط

ونقطة الانعكاس ولقي الواصل محيط الدائرة التي يقطع عليها هذا المستوى

سطح المخروط على نقطة و ، ثم وصل رأس المخروط بالنقطة الأخرى ب ولقي

الواصل مستوى الدائرة على نقطة د ، فإن النقطتين د ٦ ا تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تغيير محيط الدائرة من نقطة و .

وبما أن نقطتين مثل د ٦ ا في مستوى دائرة مثل الدائرة التي مركزها ط لا تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تغيير محيطها من أكثر من أربع نقاط فإن الهيثم يتخذ هذا الامر وسيلة لاثبات أن النقطتين مثل ا ٦ ب لا تنعكس إحداهما إلى الأخرى من تغيير سطح المخروط من أكثر من أربع نقاط .

والبرهان الذي يسوقه الى ذلك هو برهان الخلف . فلنفرض أن النقطتين ٦ ا ب مثلاً يصح أن تنعكس إحداهما إلى الأخرى من تغيير سطح المخروط من نقطة خامسة . فإذا وصل رأس المخروط بها فالواصل يلتقي محيط الدائرة التي مركزها ط على نقطة تكون هي أيضاً نقطة خامسة تنعكس منها نقطتا د ٦ ا عن تغيير محيط الدائرة . وهذا خلف .

١٦١ - بيانه وتعليق على برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المقعرة

ومن الواضح أن البرهان لا يتم إلا ببيان عدم جواز الانعكاس من نقطة أخرى تقع على أي واحد من المستقيمتين الواصلتين من رأس المخروط ه إلى إحدى نقاط الانعكاس الأربع الممكنة . أي أنه من الواجب اثبات أن أية نقطة أخرى مثل و على ه > (على اعتبار أن نقطة > هي إحدى نقاط الانعكاس) لا يجوز أن تكون هي أيضاً نقطة انعكاس . ولو أن ابن الهيثم لم يتناول هذا الأمر في حالة المخروطية المقعرة ، فإنه تناول نظيره في حالة المخروطية المحدبة كما سنبين بعد . وهو في المقعرة سهل ميسور أيضاً .

غير أن البرهان بحسب الحدود والفروض التي أوردها ابن الهيثم لا ينطبق على جميع أوضاع المخروطية المقعرة ، كما لو كانت إحدى النقطتين ب مثلاً على المستوى المار برأس المخروط عموداً على سهمه أو من فوقه بالنسبة إلى قاعدة المخروط . فعلى الوجه الأول يكون الواصل بين ه ٦ ب موازياً لمستوى الدائرة التي مركزها ط فلا يلقاه على نقطة . ولكن في هذه الحالة إذا أخرج من ب مستقيماً موازياً > و ولقى مستوى الدائرة على د أمكن إثبات أن

نقطتي د ٦ ١ تنعكسان من مقعر المحيط من نقطة و . وعلى الوجه الثاني فلربما
لقي الواصل المستوي على نقطة خارج المحيط بحيث إذا رمز لها بالحرف د ،
وطبق البرهان نفسه أفضى إلى أن المماس من نقطة و ينصف زاوية ١ و د (١) ،
فلا تكون النقطتان ١ ٦ د متعاكستين بالمعنى الخاص بالانعكاس .

وفي هذه الحالة أيضاً إذا أخرج من ب المستقيم الموازي للمستقيم ه ه و
فهو يلقى مستوى الدائرة على نقطة تقع على امتداد د و ، وتكون هذه النقطة
ونقطة ١ منعكستين من مقعر المحيط من نقطة و .

ومن الجائز التعميم فيقال إن مستوى الخطين ه ب ٦ ه و إذا أخرج
لقي مستوى الدائرة على مستقيم د و ، تكون الزاوية التي يحيط بها مع المماس
عند و مساوية للزاوية التي يحيط بها ١ و مع هذا المماس . فإن كان ه ب
يلقي مستوى الدائرة على نقطة د أيأ كان وضعها فإن المستويات الخارجة
تلقى مستوى الدائرة على خطوط مستقيمة تتلاقى جميعها على هذه النقطة . وأمكن
على الوجه العام تعيين أربع نقاط على محيط الدائرة يتوافر فيها شرط العملية
الرابعة بالنسبة الى نقطتي د ٦ ١ . ولكن يبقى بعد ذلك إثبات أن شرط
العملية الرابعة لا يتوافر في أكثر من أربع نقاط لكي يثبت أن الانعكاس
من مقعر سطح المخروط لا يصح من أكثر من أربع نقاط . والبرهان على
ذلك ميسور أيضاً فالعملية الرابعة تنقيد أوضاعها الممكنة بالأوضاع الممكنة
للعلمية الأولى ، والأوضاع الممكنة للعملية الاولى لا تنصح في أكثر من أربعة
أحوال ، لان الدائرة والقطع الزائد لا يتقاطعان على أكثر من أربع نقاط .
أما إذا كان ب ه موازيا لمستوى الدائرة لا يلقاه ، فانه إذا أسقط من
نقطة ب المستقيم ب ق عمودا على مستوى الدائرة ولقيه على نقطة ق ،
ووصل القطر ط ق ثم رسم من ب المستقيم ب د يوازي ه و ، ولقي
سطح الدائرة على د ، أمكن إثبات أن
د و يوازي ط ق .

ويكون وفقاً لبرهان ابن الهيثم

$$\text{د د و ط} = \text{د د و ط}.$$

فيكون المشترك في وضع و أن يكون الخارج من ١ إلى و يليق القطر ط ق على نقطة بعدها عن المركز ط يساوي بعدها عن النقطة و ، وفقاً للمطلوب في العملية الثالثة .

وقد مر أيضاً أن هذه العملية قد تصح على أربعة أوضاع ، وهي أيضاً لسكونها متوقفة على العملية الأولى لا تصح في أكثر من أربعة أوضاع .

ومن الواضح كذلك أن برهان ابن الهيثم عن المخروطية المقعرة يصح تطبيقه على المخروطية المحدبة في بعض أحوالها أيضاً ، كالحالة التي يكون فيها وضع النقطتين المتعاكستين بالنسبة إلى قاعدة المخروط تحت المستوى المار برأسه عموداً على محوره ، حيث إذا طبقنا الرموز نفسها تكون نقطتا د ٦ ١ منعكستين عن محب محيط الدائرة من نقطة و ، وبما أن النقطتين مثل د ٦ ١ لا تنعكسان عن محب محيط الدائرة من أكثر من نقطة واحدة أمكن ببرهان الخلف إثبات أن النقطتين ٦ ١ ب لا تنعكسان من محب سطح المخروطية إلا من نقطة واحدة .

١٦٢ - برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المحدبة وبيان موضع

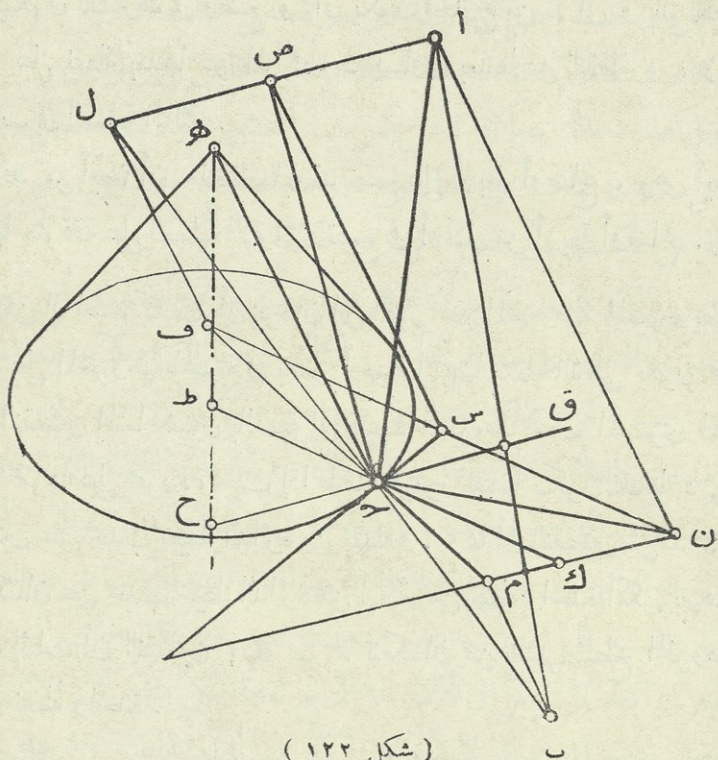
الخطأ فيه

ونورد فيما يلي برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المحدبة مستعملين رموزه وإشاراته التي استعملها هو نفسه . فلتكن النقطتان ٦ ١ ب (شكل ١٢٢) ورأس المخروط ه ، ونقطة الانعكاس ح . ونصل ه ح ثم نخرج من ح المستوى العمود على سهم المخروط وليقطعه على محيط دائرة وليكن مركزها ط . ونخرج من ١ المستقيم ١ ن موازياً ه ح وليلق مستوى الدائرة على نقطة ن . ونخرج من ب المستقيم ب م موازياً ه ح ، وليلق مستوى الدائرة على م .

ثم نصل ن ح م ح ط ح ، ونخرجه إلى ك .

ثم نخرج من ح العمود ح ق على سطح المخروط وليلاق سهمه على

نقطة ح . فيكون ق ح في مستوى ١ > ٦ > ب وهو مستوى الانعكاس .



(شكل ١٢٢)

نخرج من ا المستقيم ا ل موازيا ق ح فيكون ا ل واقعاً في مستوى الانعكاس فهو يلقى امتداد ب ح على نقطة وتكن ل .

نخرج من ن المستقيم ن ف موازيا ك ط فيكون في مستوى الدائرة ويلقى امتداد م ح على نقطة وتكن ف .

وبما أن نقطة ل على امتداد ب ح ، ونقطة ف على امتداد م ح فنخط ل ف واقع في مستوى م ح ب .

وبما أن ب م يوازي هـ فالمستقيم هـ ح واقع أيضاً في مستوى م ح ب .

إذن مستوى م ب ح يقطع مستوى هـ ح (وهو مستوى هـ ح ط بعينه) على خط هـ ح

وبما أن $ا$ ل يوازي $ق ح$ و $ن$ ف يوازي $ك ط$ والمستقيمان
 $ق ح$ و $ك ط$ في مستوى واحد هو مستوى $هـ > ح$ فيكون المستقيمان
 $ا$ ل و $ن$ ف في مستوى واحد يوازي مستوى $هـ > ح$.
 ولكن مستوى $م ب > ح$ يقطع مستوى الخطين $ا$ ل و $ن$ ف على
 ل ف .

وبما أن مستوى $م ب > ح$ يقطع المستوى $هـ > ح$ (الموازي لمستوى
 الخطين $ا$ ل و $ن$ ف) على $هـ > ح$
 ∴ ل ف يوازي $هـ > ح$.

وتكون المستقيمان $ا$ ن و $م$ و $هـ > ح$ و $ل$ ف جميعاً متوازية .
 نخرج من نقطة $ح$ مماساً للدائرة في مستواها فيكون عموداً على $ط$
 وإذن يلقي $ن$ ف عموداً عليه وتكون نقطة الالتقاء $س$.

ويكون مستوى $هـ > ح$ هو المستوى المماس للخروط من نقطة
 الانعكاس ويكون $ح > ق$ عموداً عليه .

وبما أن $ا$ ل يوازي $ق ح$ فيكون $ا$ ل عموداً على مستوى $هـ > ح$ $س$
 ويلقيه على نقطة وتكون نقطة $ص$.

نصل $ص س$ فيكون الواصل هو مستقيم تقاطع مستوى الخطين
 $ا$ ل و $ن$ ف والمستوى $س > هـ$ المماس للخروط .

كما أن المستوى $س > هـ$ المماس للخروط يلقي مستوى $هـ > ح$
 على $هـ > ح$.

وبما أن مستوى $هـ > ح$ يوازي مستوى الخطين $ا$ ل و $ن$ ف ،
 إذن $ص س$ يوازي $هـ > ح$ ، ويوازي $ا$ ن .

وتكون المستقيمان الثلاثة $ا$ ن و $ص س$ و $ل$ ف متوازية وفي مستوى واحد .

$$\text{وإذن } \frac{ا ص}{ص ل} = \frac{ن س}{س ف}$$

وأيضاً فإن

$$د ب > ق = ق > د = د ق > ا = ا > ل = ل > د = د ا > ا$$

وإذن $ج ١ = ج ل$.

وبما أن $ل$ عمود على المستوى $ص س ح$ ، وهو المستوى المماس فهو عمود على $ص ح$.

وإذن تتكون نقطة $ص$ منتصف $ل$.

وإذن $ن س = س ف$.

وبما أن $ح س$ عمود على $ن ف$.

إذن $ح ن = ح ف$ ، $د ح ن ف = د ح ف ن$.

وبما أن $ن ف$ يوازي $ح ط$

$\therefore د م ح ك = د ح ف ن$

$د ك ح ن = د ح ن ف$

$\therefore د م ح ك = د ك ح ن$

فتكون النقطتان $م$ و $ن$ تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تحديد محيط الدائرة من نقطة $ح$.

على هذه الصفة أثبت ابن الهيثم أنه إذا تعا كست نقطتان مثل ١ و $ب$ عن تحديد سطح المخروط من نقطة $ح$ ، وأخرج من $ح$ المستوى القاطع لسطح المخروط عموداً على سهمه . ثم وصل رأس المخروط $هـ$ بنقطة $ح$ ، وأخرج من نقطتي ١ و $ب$ مستقيمان موازيان للمستقيم $هـ ح$ وكانت نقطتي $ن$ و $م$ على الترتيب نقطتي التقاءهما بالمستوى المذكور ، فإن هاتين النقطتين تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تحديد محيط الدائرة التي يقطع عليها المستوى المذكور سطح المخروط .

ولأثبت أن انعكاس النقطتين ١ و $ب$ لا يكون عن محدد سطح المخروط إلا من نقطة واحدة فإنه يفرض جواز الانعكاس من نقطة أخرى ويثبت أن الفرض محال . ويراعى في وضع النقطة الأخرى المفروضة حالتين . إحداهما : أن تكون النقطة على المستقيم $هـ ح$ ، ويقول بلفظه (١)

« فإن كانت تلك النقطة (أى نقطة الانعكاس الثانية المفروضة) على

الدائرة التي مركزها ط . وليلق ه و (أو امتداده) محيط هذه الدائرة على نقطة ت ، ولنخرج ب م ١ ٦ ن كما مر آنفاً ولنخرج المستوى العمود على السهم من نقطة الانعكاس الثانية وهي و . وليلق سطح المخروط على محيط الدائرة التي مركزها ث ، ولنسم هذه الدائرة الدائرة التي مركزها ث . وليلق المستقيم ب م مستوى هذه الدائرة على نقطة خ وليلق ١ ن مستواها على نقطة م . ونصل ه خ فيلقى (هو أو امتداده) مستوى الدائرة التي مركزها ط ، على نقطة وتكن ش ، فهي تقع حتماً على المستقيم م ح . كذلك يلقى ه م مستوى الدائرة على نقطة وتكن ي تقع هي الأخرى على المستقيم ن ح .

وتتمة برهان ابن الهيثم بعد هذا مضطرب ورموزه محتلفة بعضها بالآخر لافي المخطوطات فحسب بل وفي التنقيح أيضاً . ولكنه يتضمن من غير شك أنه إذا وصل ه و ، ورمزنا لنقطة تقاطعه ومحيط الدائرة التي مركزها ط بالحرف ت (وهي نقطة أخرى غير ح فرضاً) .

فإن

ط ت يوازي ث و .

ه ي ت يوازي م و .

ه ش ت يوازي خ و .

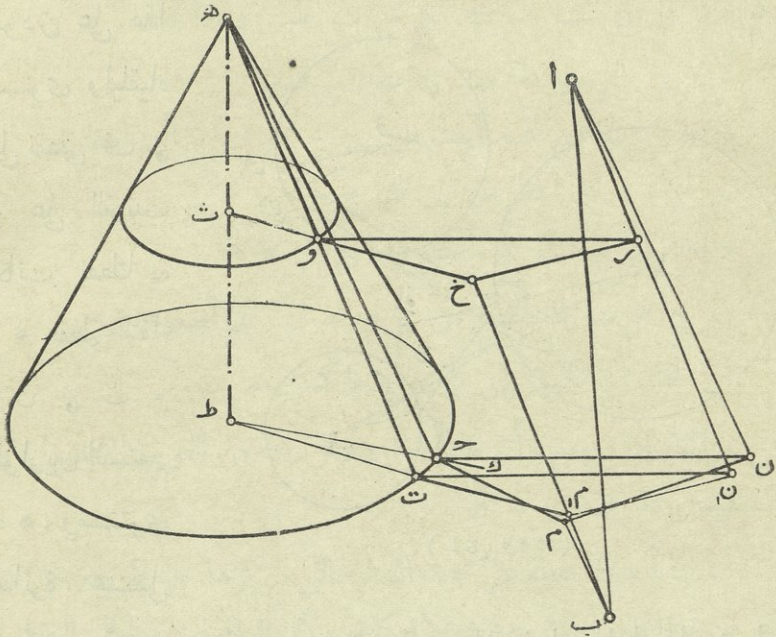
وإن كان هذا صحيحاً فإن النتيجة التي يستخلصها ابن الهيثم من ذلك وهي أن نقطتي ه ي و ش تنعكسان عن محدد محيط الدائرة التي مركزها ط من نقطتي ح و ت ليست صحيحة فلا يقع الخلف الذي يريده .

وذلك واضح لأن نقطتي ش ه ي وإن كانتا تنعكسان من ح لأن ١ ن ب م يوازيان ه ح عملاً ، فإنهما لا تنعكسان من ت لأن المستقيمين المذكورين لا يوازيان ه ت .

١٦٣ — اصلاح برهان ابن الهيثم

ومن الممكن اصلاح الخطأ في برهان ابن الهيثم على المنوال الآتي :

لنخرج من ١ (شكل ١٢٤) المستقيم $١^{(١)}$ موازياً للمستقيم $هـ$ و وليلق
مستوى الدائرة التي مركزها $ث$ على نقطة $س$. ولنخرج $ب$ $خ$ موازياً



(شكل ١٢٤)

له وليلق مستوى هذه الدائرة على نقطة $خ$. فبمثل البرهان الذي أورده ابن الهيثم
تكون نقطتا $س$ و $خ$ منعكستين عن محذب الدائرة من نقطة $و$. فاذا لقي
 ١ $س$ ، أو امتداده مستوى الدائرة التي مركزها $ط$ على $ن$ ، ولقي $ب$ $خ$ ،
أو امتداده مستواها على نقطة ولتكن $م$ ،

فبما أن

$س$ و $يوازي$ $ن$ ، $ت$.

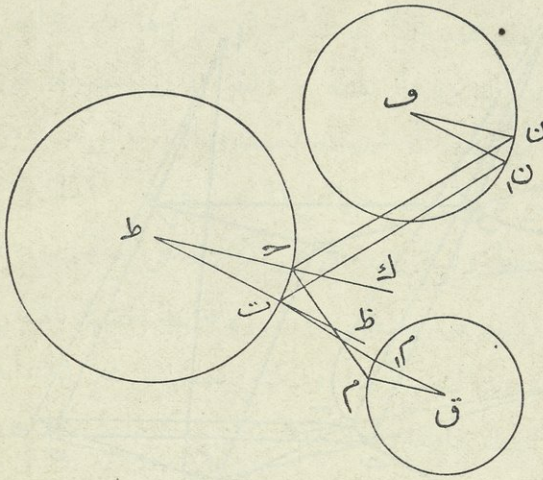
$خ$ و $يوازي$ $م$ ، $ت$.

$ث$ و $يوازي$ $ط$ ، $ت$.

فإن $ن$ ، $م$ ، $ت$ تنعكسان من نقطة $ت$.

(١) نغيرنا في رسم الشكل ان تكون الأوضاع اكفل بوضوحه وليس لاختلاف الأوضاع
بين شكلي (١٢٣) و (١٢٤) اثر ما يتبدل أو يتغير من جرائه البرهان الهندسي .

فاذا فرضنا أن مستوى شكل (١٢٥) يمثل مستوى الدائرة التي مركزها ط ونقطتا $هـ$ $ب$ على محيطها وأسقطنا من نقطتي $ا$ $ب$ (شكل ١٢٤)



(شكل ١٢٥)

عمودين على هذا
المستوى وليلقياه
على نقطتي $ف$ $و$
ق على الترتيب
وكانت نقطتا ن
 $و$ م نقطتي التقاء
١ ن $و$ ب م
الموازيين للمستقيم
ج هـ ، ومستوى
الدائرة ، على

الترتيب ، وأخرجت من كل من نقطتي $ا$ $و$ المستقيمتين الموازيين للمستقيمتين
الواصلتين بين رأس المخروط هـ ونقاط محيط الدائرة التي مركزها ط فانه يتضح
أن الخارجة من $ا$ تنتهي الى محيط دائرة مركزها ف ونصف قطرها ف ن ،
والخارجة من ب تنتهي إلى محيط دائرة مركزها ق ونصف قطرها ق م
ومن السهل اثبات أن أنصاف الأقطار ط $ح$ $و$ ف ن $و$ ق م متوازية .
وتكون نقطتا ن $و$ م كما تبين منعكستين عن محذب الدائرة التي مركزها
ط من نقطة $ح$. فاذا أخرج ط $ح$ إلى ك تكون $د$ ن $ح$ ك =
د م $ح$ ك

كذلك يلقي الخارج من $ا$ موازيا هـ و مستوى الدائرة على نقطة ن
تقع على محيط الدائرة التي مركزها ف ، ويلقى الخارج من ب موازيا
هـ و مستوى الدائرة على م ، على تقع محيط الدائرة التي مركزها ق وتكون
انصاف الأقطار ط ت $و$ ف ن $و$ ق م متوازية .

وتكون نقطتا ن ، و م منعكستين عن محدب قوس الدائرة التي مركزها
 ط من نقطة ت^(١) . فاذا مد ط ت إلى نقطة ظ
 تكون د ن ، ت ظ = د م ، ت ظ ، وهذا محال .
 لأن د ن ، ت ظ = د ت ن ، ف
 د ت ن ، ف أعظم من د ح ن ف ، أى أعظم من
 د ن ح ك ، أى أعظم من د ك ح م .
 وأيضاً د م ، ت ط أعظم من د م ح ط .
 ∴ د م ، ت ظ أصغر من د م ح ك ، أى أصغر من د ن ، ت ظ
 فمن المحال أن تكون ن ، و م متعاكستين من ت .
 وبالمثل إذا روعيت أية نقطة أخرى مثل ت من القوس المحصورة بين
 المستقيمين ط ف ، و ط ق .

أما إذا أخذت نقطة على محيط الدائرة التي مركزها ط لا تقع على هذه
 القوس فمن المحال أيضاً حدوث الانعكاس ، لأن الواصلين منها إلى النقطتين
 النظيرتين لنقطتي ن ، و م يكونان في جنب واحد من نصف القطر المنتهى إليها .

(١) واضح أنه إذا كان نقطتا ١ ، ب (شكل ١٢٨) عن جنب واحدة من دائرة ط فإن
 وضع ١ م من م يكون شبيهاً بوضع ن ١ من ن مثل وضع ت من ح .

البُحْثُ السَّيِّدُ

في

الخيالات التي ترى بالانعكاس

الفصل الأول

في

كيفية إدراك صور المبصرات بالانعكاس
وتفصيل أحوال الخيالات التي ترى في المرايا المستوية

١٦٤ — شرح ابن الهيثم كيفية إدراك البصر صور المبصرات بالانعكاس

يتناول ابن الهيثم شرح كيفية إدراك الصور في المرايا في مقاله الرابعة من كتاب المناظر وهو يسلك في هذا طريقاً يتفق ونظريته العامة في كيفية الابصار. وقد كانت هذه المسألة لا تزال من المسائل الغامضة في عصره، وغموضها إلى ذلك الحين وتضارب الآراء فيها ليدل دلالة واضحة على أن علم الضوء بقي إلى عصر ابن الهيثم على حالته الفطرية الأولى، ويتجلى من هذا بأجلى مظهر كيف استطاع ابن الهيثم أن ينهض بهذا العلم إلى درجة من التقدم والرقى ظلت على ما هي عليه قروناً عدة من بعده .

وهو يستهل بحثه في هذا الموضوع في الفصل الرابع من تلك المقالة، يذكر الاختلاف الذي كان قائماً بين أهل النظر في هذا الامر . فأصحاب التعاليم ذهبوا إلى أن الشعاع يخرج من البصر وينتهي إلى المرأة، فإذا انعكس

عنها وصادف بعد انعكاسه جسماً أدرك البصر هذا الجسم . وذهب بعض الفلاسفة الطبيعيين إلى أن المرأة إذا قابلت مبصراً فإن صورة المبصر تحصل (ولنقل نحن نتطبع فهو أكفل بتوضيح المعنى الذي يقصدونه) على سطح المرأة فيدرك البصر هذه الصورة الحاصلة في السطح كما يدرك المبصرات المقابلة له رأساً « على استقامة » .

وقد كان ابن الهيثم قد فند رأى أصحاب التعاليم في «الشعاع» وأبطل مذهبهم وهو هنا يفند رأى هذا الفريق من الفلاسفة الطبيعيين ويبين قصوره وخطأه . فان كانت الصورة تنطبع على سطح المرأة ويدركها البصر كما يدرك الأشياء بالاستقامة لكانت هذه الصورة ثابتة على السطح ولأدركها البصر من جميع الاوضاع بالاستقامة كما يدرك المبصرات رأساً ، ولكن إذا وضعت مرآة على الأرض مثلاً ونظر الانسان فيها ورأى فيها مبصراً ، كموضع من السقف أو الجدار ، ثم انتقل من موضعه إلى الجهة التي تلي ذلك المبصر ونظر في المرأة فانه لا يرى ذلك المبصر نفسه ، وإنما يرى موضعاً آخر من السقف أو الجدار ، وإن عاد إلى موضعه الاول رأى المبصر الاول ، وإن مال عن موضعه بعض الميل رآه أيضاً ولكن في غير الموضع الأول من المرأة . فان كانت الصورة ثابتة منطبعة على سطح المرأة لادركها الانسان في جميع مواضعه من جميع الجهات إذا كان المبصر والمرآة ثابتين في موضعهما ، ولما غابت عنه أو تغير وضعها بالنسبة إلى سطح المرأة .

وكأن ابن الهيثم يعتذر عن هذا الفريق من الفلاسفة الطبيعيين حين يقول « وإنما يشبهه هذا المعنى إذا أدرك الانسان وجهه في المرأة ، فان الانسان إذا أدرك وجهه في المرأة جوّز أن يكون هناك صورة وجهه ، لأنه إن كانت المرأة موضوعة في الأرض ، ودار الانسان حولها من جهاتها ، فانه يدرك صورة وجهه من جميع الجهات في سطح المرأة ومقابلة لوجهه ، فيظن من يرى أن هذا الادراك يكون لصورة تنطبع في المرأة ، ان صورة وجهه قد حصلت متشكلة في المرأة » (١) .

وهو يبين بطلان الانطباع على المرأة بواسطة آلة الانعكاس (١) أيضاً .
 فاذا سد المعبر أحد ثقب الجهاز بقطعة من الورق فكُتب عليها كلمة كأبجد مثلاً
 واستخدم المرأة المستوية ونظر من الثقب النظير من السطح الخارجي للخشبة
 الحلقيّة إلى سطح المرأة ، رؤيت صورة الكلمة مقلوبة (٢) فيدرك المتبصّر من
 حروفها متياسراً وبالعكس . أما إذا نقل بصره من ذلك الثقب إلى ثقب آخر
 ونظر إلى المرأة فإنه لا يرى الكلمة . فلو كانت صورة الكلمة حاصلة في المرأة
 لادرّكها من جميع الثقوب .

وهو يستشهد بما يشاهد في المرايا المختلفة من انقلاب الصورة ونكوسها
 وتغير شكلها وعظمها على عدم انطباع الصورة على سطح المرأة ويستشهد أيضاً
 بأن الصورة في المرأة المستوية لا يدركها البصر على سطحها وإنما يدركها كأنها
 من وراء المرأة بقدر بعد المبصر من سطحها .

وابن الهيثم يعرض بعد هذا رأيه الخاص في شرح كيفية ادراك الصورة
 بالانعكاس ويعرضه بطريقة طريفة .

فاذا فرضنا أن نقطة مضيئة أ تقابل سطحاً صقيلاً عاكساً ، فإن الضوء منها
 يشرق على جميع نقاط السطح ثم ينعكس على الخطوط التي تخص الانعكاس
 فيتشكل بينها وبين السطح مخروط رأسه النقطة وقاعدته السطح العاكس ،
 وتكون المستقيمت التي يلتئم منها هذا المخروط مسيرات الاشعة الساقطة ، ويلتئم
 من نظائر هذه المستقيمت مخروط ناقص يمتد على سموتها الضوء المنعكس عن
 سطح المرأة .

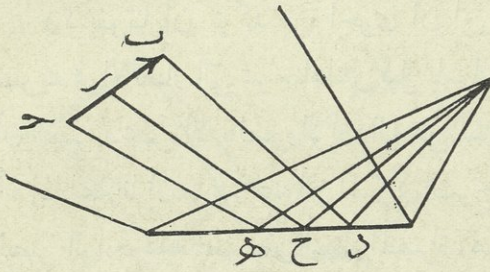
فاذا وقع الضوء المنعكس كله أو بعضه على جسم كشيء مثل ب -
 (شكل ١٢٦) استضاء هذا الجسم بالضوء المنعكس ، ووقع على كل نقطة مثل م
 مثلاً من نقاط سطحه المقابل للمرأة ضوءٌ يصدر في الأصل من النقطة المضيئة
 أ ويمتد على سمت مستقيم معين مثل ا ح وينعكس من نقطة معينة على سطح

(١) انظر فقرتي (٨٤ و ٨٥) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(٢) ويعبر ابن الهيثم بكلمة « مقلوبة » عما نعبّر عنه الآن « بالانقلاب الجانبي »
 (Lateral Inversion) ويعبر بكلمة « منكوسة » عن الحالة التي تكون فيها أسافل الصورة
 صورة لأعلى المبصر وأعلىها صورة لأسافله .

المرآة مثل ح ، على سمت المستقيم ح م ، النظير للاول إلى تلك النقطة م من سطح الجسم ب ح .

فإذا عكس وضع المسألة وفرضنا أن ب ح مبصر ، فإن كل نقطة من سطحه مثل م يشرق منها ضوء . ومن بين هذه الأضواء ضوء يمتد على سمت معين م ح ، إلى سطح المرآة وينعكس على سمت معين ح ١ ، عن سطحها إلى نقطة ١ . فإن كان مركز



(شكل ١٢٦)

البصر عند ١ ، فانه يرد إليه بالانعكاس عن سطح المرآة من كل نقطة من نقاط سطح المبصر المقابل للمرآة وعلى

سمت العمود على سطح البصر شعاع ، فيدرك البصر تلك النقطة من سطح المبصر ، ويدرك سائر النقاط التي يرد منها مثل هذه الأشعة . وليس يكون الإدراك في هذه الحالة إدراكا بالاستقامة (على حسب تعبير ابن الهيثم) ، بل يكون إدراكا بالانعكاس . ويتوهم الانسان كما مر في كيفية إدراك الوضع ان المبصر على سمت الشعاع الوارد إلى البصر .

هذا بإيجاز بمجل الفكرة الأساسية التي تنطوى عليها جميع أقواله في هذا الموضوع . وابن الهيثم أول من اتجه هذا الاتجاه في شرح كيفية إدراك الصور بالانعكاس . وهو عند بيان هذه الفكرة يقول بألفاظه « وهذا المعنى ما انكشف لأحد من متقدمي أصحاب التعاليم ، ولانعرف أحداً ذكر هذا المعنى . ومع ذلك فليس بمناقض لما رآه أصحاب التعاليم في الانعكاس ، لأنهم يعتقدون أن خطوط الشعاع تنعكس عن الأجسام الصقيلة على زوايا متساوية ، وإن إدراك المبصر بالانعكاس يكون من سموت هذه الخطوط ، الا أنهم يعتقدون أن شعاع البصر يخرج على سموت هذه الخطوط وينتهي إلى المبصر وبه يكون إدراك المبصر . وقد بينا أن هذا المعنى عبث وفضل

وأنه ليس يخرج من البصر إلا الخطوط المتوهمة فقط» (١)

ويتضح من قوله هذا أنه قد تعمد قصداً أن يعرض فكرته على الصورة التي عرضها عليها فيبتدىء بفرض أن نقطة ١ نقطة مضئية ، ثم يعكس وضع المسألة فيتمين بجلاء أن فكرته تحقق كل ما يرمى إليه أصحاب التعاليم ، دون التمسك بمذهبهم الذي سبق أن بيّن ما فيه من العبث واللغو .

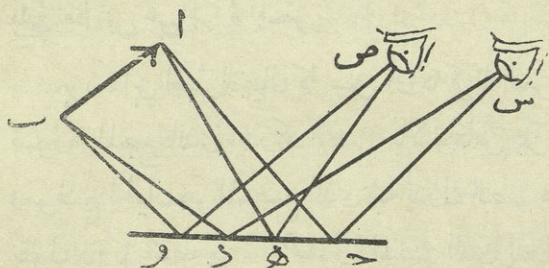
ولا يفوتنا أن نؤكد مرة أخرى أن ابن الهيثم بنى فكرته على أساس نظريته في الابصار التي شرحناها من قبل باسم (٢) وهي التي تقوم على فرض أن البصر لا يحس إلا بالضوء الوارد إليه على سموت الاعمدة . ومن الواضح أنه إذا اعتبرنا أن ما عبر عنه ابن الهيثم في الشرح بالسمت العمودى على سطح البصر الوارد عليه الضوء من النقطة المبصرة ، هو محور مخروط الاشعة الواردة من النقطة المبصرة إلى العين ، فليس ثمة اختلاف بين شرحه المذكور وبين الشرح المعتمد في الوقت الحاضر .

وابن الهيثم يبين في هذا الصدد كيف يمكن أن يدرك البصر من مواضع مختلفة ينظر منها إلى مرآة ثابتة ، صورة مبصر معين مقابل لسطح المرآة ، وكيف يمكن أن تدرك أبصار عدة في مواضع مختلفة في وقت واحد صورته في المرآة . ويتناول وصف كيفية إشراق الضوء من المبصر على سطح المرآة المقابل له حيث يخرج من كل نقطة من المبصر ضوء على شكل مخروط إلى جميع نقاط سطح المرآة المقابل لها . كما أن كل نقطة من سطح المرآة تقابل المبصر يرد إليها ضوء من المبصر جميعه . فإذا قابل المبصر وليكن أ ب (شكل ١٢٧) سطحاً عاكساً

(١) و (٩١) من مخطوط المقالة الرابعة من المناظر . وابن الهيثم يعقب على ذلك بقوله بلفظه « وقد استعملنا رأى أصحاب التعاليم في عدة مواضع من كتبنا التي صنفناها قبل هذا الكتاب ، فليس شيء مما استعملناه من قبل بمناقض لما بينا الآن ، وإن سلكتنا في ذلك طريق أصحاب التعاليم ، إلا أننا لم نستعمل هناك غير أوضاع خطوط الشعاع فقط . وإذا جمع بين ذلك وبين ما بيناه الآن لم يوجد بينهما تناقض ، بل توجد فيما بيناه الآن زيادة توحد تلك المعاني ولا تناقض شيء (كذا) منها » .

(٢) انظر الفصل الأول من الباب الثالث من الجزء الأول من هذا الكتاب .

بحيث يصح أن تمتد منه أضواء على سموت خطوط مستقيمة إلى مواضع مختلفة من السطح، وتنعكس على سموت النظائر متلاقية في نقاط مختلفة مثل س ٦ ص، وكان عند تلك النقاط التي تتلاقى عليها الأشعة المنعكسة أبصار مراكرها تلك النقاط بأعيانها، فإن جميع تلك الأبصار تدرك ذلك المبصر بالانعكاس وتدركه من مواضع مختلفة من سطح المرآة. أو لو انتقل البصر الواحد إلى تلك النقاط مع ثبوت المبصر في مكانه وثبوت المرآة في مكانها، لأدرك من تلك النقاط صورة



(شكل ١٢٧)

المبصر بالانعكاس .
ويعبر ابن الهيثم عادة عن امتداد الضوء من نقاط المبصر المختلفة، بامتداد الصورة كما أشرنا

إلى ذلك من قبل (٢). فيحسب تعبير ابن الهيثم تمتد صورة أ على أ ح ، وتنعكس على ح س ، وتمتد صورة ب على ب د ، وتنعكس على د س وهكذا، وبما أنه يرى للون وجودا مستقلا عن وجود الضوء فلفظ الصورة في أقواله يشمل معنى الضوء ومعنى اللون . لأن اللون في زعمه موجود بذاته وجودا مستقلا عن وجود الضوء ويمتد معه على السموت نفسها التي يمتد عليها الضوء، فهو اذ يقول مثلا « فإن المبصر اذا قابل سطحا صقيلا فان صورة كل نقطة من ذلك المبصر تخرج على شكل مخروط إلى جميع السطح المقابل لتلك النقطة . وكل (نقطة) من السطح الصقيل يخرج اليها صورة جميع السطح المبصر المقابل لتلك النقطة على شكل مخروط . فيلزم من ذلك أن تكون صورة كل نقطة من سطح المبصر في جميع السطح الصقيل إذا كان جميع السطح الصقيل مقابلا لجميع المبصر . ويلزم من ذلك أن يكون في كل نقطة من السطح الصقيل صورة كل نقطة من سطح المبصر المقابل للسطح الصقيل، وأن تنعكس

من كل نقطة من السطح الصقيل صورة كل نقطة من سطح المبصر « (١) — هو اذ يقول هذا يعنى كما بينا من قبل بالصورة الضوء الممتد من النقطة واللون الممتد منها مصاحبا ذلك الضوء، وتحديد معنى الصورة على هذه الصفة لا يجعل في مثل هذه الأقوال وما يشابهها غموضاً أو لبساً .

١٦٥ — الفاعلة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين موضع الخيال الذي يرى

بالأنكاس عن المرآة المستوية

يورد ابن الهيثم للخيال كما سبق أن ذكرنا التعريف الآتي : « الخيال هو صورة المبصر الذي يدركه البصر بالانعكاس عن سطح الجسم الصقيل . وموضع الخيال هو الموضع الذي فيه يدرك البصر هذه الصورة » (٢) . ثم هو يقول « وكل نقطة من صورة المبصر الذي يدرك بالانعكاس فهي خيال النقطة من ذلك المبصر المدرك بالانعكاس النظيرة لتلك النقطة »

وابن الهيثم يفصل خيالات المرايا المختلفة وأنواعها بأسهاب . ولكنه بنى بحوثه في كل ذلك على أساس فكرة معينة طبقها لتعيين موضع الخيال في جميع الاحوال ، وهي أن خيال كل نقطة مدركة من المبصر بالانعكاس هو على ملتقى الشعاع المنعكس إلى البصر أو امتداده والعمود الخارج من تلك النقطة إلى فصل الانعكاس أو امتداده . ويلاحظ أن هذه هي الفكرة نفسها التي طبقها بطليموس من قبل لتعيين موضع الخيال .

وابن الهيثم ينص على هذا المعنى نصاً عاماً يشمل جميع أحوال المرايا . فيقول « وخیال كل نقطة من المبصر الذي يدرك بالانعكاس يكون على النقطة التي عليها يلتقي الخط الذي عليه تنعكس صورة تلك النقطة من المبصر إلى البصر الذي على استقامته يدرك البصر تلك النقطة من المبصر ، والخارج من تلك النقطة من المبصر القائم على الخط المماس للفصل المشترك بين سطح الجسم

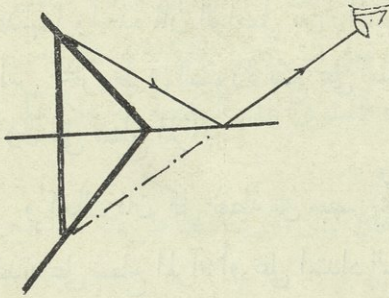
(١) و (٩٢) من مخطوط المقالة الرابعة من المناظر .

(٢) و (١٣٩) ، و (١٤٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

الصقيل الذي هو المرأة وبين السطح الذي فيه يكون الانعكاس أو على ما يتصل بهذا الفصل» (١)

وقد أطلق كمال الدين الفارسي على العمود الخارج من النقطة المبصرة على فصل الانعكاس اسم «خط الخيال»

وابن الهيثم يتوسع في كيفية شرح تحقيق هذه القاعدة بالاعتبار. وستناول في هذا المقام اعتباراته (٢) لبيان صحة هذه القاعدة فيما يختص بالمرآيا المستوية. فإذا وضعت مرآة مستوية واسعة على الأرض بحيث يكون سطحها أفقياً واعتمد عود مستقيم أبيض اللون، ونقط على موضع من العود نقطة بينة قريبة من أحد طرفيه، ثم أقيم العود وطرفه هذا ملاصقاً لسطح المرأة قياماً معتدلاً، ونظر في المرأة رؤيت صورة العود من وراء المرأة، ورؤى العود نفسه خارجها. ويرى الاثنان متصلين على استقامة واحدة. وترى صورة النقطة المرسومة من الصورة المنعكسة على بعد من أصل العود مساو لبعد النقطة المرسومة من أصل العود.



(شكل ١٢٨)

ثم إذا أهمل العود على سطح المرأة (شكل ١٢٨) رؤيت صورته مائلة عليه أيضاً إلى الجهة التي مال إليها العود، وأدرك المعتبر بالحس أن بعد صورة النقطة عن سطح

المرأة كبعدها عنه. وإن أقام في هذه الحالة عوداً آخر مستقيماً لطيفاً وتحري أن يكون عموداً على سطح المرأة وأن يكون طرفه عند النقطة المرسومة على الأول فإن العود الثاني وصورته تظهران على استقامة واحدة، وترى صورة النقطة عند طرف صورة هذا العود الثاني.

بهذه الكيفية يحقق ابن الهيثم أن خيال النقطة المرسومة على العود الأول

(١) و (١٤٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر.

(٢) و (١٤٠) — و (١٤٤) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر.

على اختلاف أوضاعها يكون على العمود الخارج منها على سطح المرآة . وبما أن الصورة التي تدرك بالانعكاس تدرك على سمت الشعاع المنعكس الوارد إلى العين اذن يتبين أن ملتقى المستقيمين العمود ومسير الشعاع المنعكس هو موضع خيال النقطة .

وابن الهيثم يصف اعتبارا آخر لتحقيق هذه القاعدة في المرآة المستوية يعده أعم وأكفل بتحقيقها .

وذلك أن يتخذ مخروط مستدير قائم من الشمع أو غيره وتسوى قاعدته ويجعل على سطح المرآة المستوية بحيث تلتصق قاعدته بالسطح وينظر في المرآة ، فيرى فيها المعتبر صورة مخروط قائم مقابل للاول قاعدتهما واحدة ويدرك بالجلس أن بعد رأس المخروط في الصورة كبعد رأس المخروط الأول عن سطح المرآة وذلك في جميع أوضاع العين . وبما أن كل مخروطين قائمين متقابلين قاعدتهما واحدة فان الواصل بين رأسيهما يمر بمركز القاعدة عمودا عليها ، فرأس المخروط في الصورة يقع على امتداد العمود الواقع من رأس المخروط الأول على سطح المرآة .

وكذلك فان كل نقطة من مبصر يمكن أن تتوهمها رأسا لمخروط تنطبق قاعدته على سطح المرآة أو على امتداد السطح ، فتكون صورة تلك النقطة هي رأس صورة المخروط المتوهم .

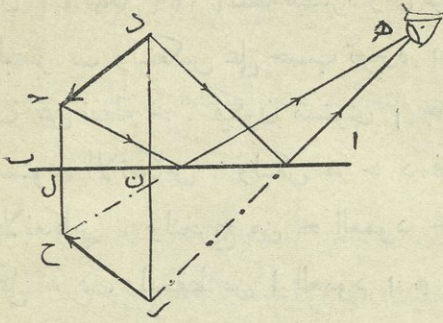
١٦٦ - تعيين موضع الخيال الذي يرى في المرآة المستوية بطريقة هندسية

ثم هو يتناول أيضا في بحوثه تعيين موضع الخيال في المرآة المستوية بطريقة هندسية يسوق لها برهانا هندسيا يثبت به أن بعد خيال النقطة عن سطح المرآة من ورائها كبعد النقطة عن السطح من قدامها (١) .

(١) و (١٧٢) ، و (١٧٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

بالمرايا المستوية على البرهان الذي أوردنا فكرته فيما سبق ويعين به موضع خيال النقطة .

فاذا فرضنا أن مستوى (شكل ١٣٠) يمثل أحد مستويات الانعكاس ،



(شكل ١٣٠)

وكان المبصر ح د وفصل الانعكاس ا ب والبصر عند هـ ، فان خيال كل نقطة من ح د يقع على امتداد العمود الواقع منها على ا ب وعلى بعد من ا ب يساوى بعد النقطة عنه .

ويتضح من هذا أن ترتيب أجزاء الخيال هو ترتيب أجزاء المبصر نفسه وهيئة الخيال كهيئة المبصر . فان كان المبصر ح د مستقيماً كان الخيال ح مر مستقيماً أيضاً . وإن كان المبصر مقوساً وحدبته مماسي السطح العاكس كان الخيال مقوساً أيضاً وحدبته مماسي السطح العاكس وهكذا . ويتضح أيضاً أن عظم الخيال كعظم المبصر بالتام . كل هذا يذكره ابن الهيثم وبينه ^(١) ، بل هو لا يتقيد في الشرح بأن يكون مركز البصر والمبصر في مستوى واحد .

وهو يمتضى بعد ذلك إلى بيان وجه الاختلاف بين المبصر وبين خياله وهو الاختلاف الذي نعبر عنه في كتب الدراسة الابتدائية « بالانقلاب الجانبي » ويشرح ذلك بالتفصيل .

فان كانت المرأة مواجهة للبصر والمبصر مقابل لها غير ملتصق بها كانت أجزاء الخيال المتيامنة صور أجزاء المبصر المتيامنة وبالعكس . أما أجزاء الخيال المتعالية فتكون صور الأجزاء المتعالية من المبصر وأجزاء الخيال المتسافلة فتكون صور الأجزاء المتسافلة من المبصر . ويفصل ^(٢) مثل هذه الأمور في الأوضاع المختلفة بما لا يخرج عن هذا المعنى .

(١) و (١٠) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) (١١) و (١٢) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

١٦٨ - نظرية ابن الهيثم في أغلاط البصر التي تعرض من أجل

الانعكاس وتطبيقها على الخيالات التي ترى في المرايا المستوية

وابن الهيثم يعتبر كل اختلاف بين المبصر وبين خياله الذي يرى بالانعكاس من قبيل أغلاط البصر . وهو يعزى الغلط بوجه عام إلى سببين أساسيين .

فإدراك صورة المبصر بالانعكاس هو إدراك خيال المبصر بالاستقامة . إذن ما يعرض من أغلاط البصر في إدراك المبصر رأساً أو بالاستقامة يعرض أيضاً في إدراك الخيال . فيكون أحد السببين عاماً يعم الإدراك بالاستقامة والإدراك بالانعكاس . ومرجعه خروج الشرائط الثمانية بعضها أو كلها عن عرض الاعتدال (١) .

ولكن من المعلوم أيضاً أن الانعكاس يضعف الضوء ولربما يغير اللون أيضاً ، وهو يجعل كما تبين موضع الخيال غير موضع المبصر ووضعه غير وضع المبصر . وإذن قسمة سبب آخر يخص الانعكاس وحده يؤدي إلى الغلط في إدراك الضوء وإدراك اللون وإدراك الوضع . والغلط في إدراك مثل هذه المعاني قد يؤدي إلى الغلط في إدراك البعد والعظم وما إلى ذلك .

ولا يخفى أن السببين لا يقوم الواحد منهما بذاته مستقلاً عن الآخر . وإذا كان عرض الاعتدال مع الانعكاس أضيق كما هو يتبين فيما يختص بإدراك الضوء مثلاً لأنه يضعف بالانعكاس ، اتضح أن الأغلاط التي تعرض من خروج أحد الشرائط الثمانية عن عرض الاعتدال تكون أكثر مع الانعكاس ، وقد تعرض في أوقات ومواضع قد لا تعرض فيها عند الإدراك بالاستقامة .

وابن الهيثم يطبق هذه النظرية لشرح أمثلة من الأغلاط التي تعرض عند إدراك صور المبصرات بالانعكاس عن المرايا المستوية . ولعل أجدر هذه الأمثلة بالعبارة أن البصر قد يدرك صورة المبصر بالانعكاس عن المرآة المستوية أصغر مما هي عليه على الرغم من أن المبصر وخیاله في ذاتهما متساويان في

(١) أنظر فقرة (٧١) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

العظم . ولا يخفى أن مثل هذا الغلط قد يعرض إذا كان بعد الخيال عن البصر أكبر من بعد المبصر عن البصر . ولكن ابن الهيثم يرى أنه قد يعرض أيضاً على الرغم من أن التفاوت بين البعدين ليس كبيراً يدعو إلى وقوعه .

وتعليقه^(١) لوقوع الغلط في مثل هذه الحالة أن المبصر على استقامة إذا بعد تلبس على البصر معانيه اللطيفة كالنقوش أو التخطيطات التي عليه، وكذلك تلبس وتشبه أجزاءه الصغيرة . وبالعكس إذا التبتس على البصر مثل هذه المعاني اللطيفة تراءى للبصر أن المبصر أبعد . ولما كان الانعكاس في ذاته يضعف الضوء فإن الخيال الذي يرى بالانعكاس تلبس على البصر معانيه اللطيفة على بعد أصغر فيتراءى بعد الخيال من جراء ذلك أعظم مما هو عليه فيقع الغلط في إدراك العظم ويبدو الخيال كأنه أصغر من المبصر .

وقد ينشأ عن الغلط في إدراك البعد بالكيفية المذكورة غلط في إدراك هيئة السطح . أو على الأقل التباس في هيئة السطح ، فيلتبس التقرع والتحدب والشخوص والغوور ولا سيما فيما يتعلق بخيالات المبصرات الغريبة غير المألوفة التي لم تسبق معرفتها .

وابن الهيثم يتناول^(٢) بالشرح مثالا آخر ولعله يريد به تعليل ما التبس على فريق من الفلاسفة حين ذهبوا إلى أن صورة المبصر التي تدرك بالانعكاس تحصل على سطح المرأة أو « تنطبع عليه » ويوضح هذا المثال بتجربة . فإذا وضع الانسان عوداً طويلاً قائماً على سطح الأرض ووضع على الأرض بقرب العود امرأة مستوية مثلاً ، ونظر فيها بحيث رأى وسط الخيال دون طرفيه ، تراءى له كأن الخيال ممتد على سطح المرأة ، وكأن طرفي الجزء الأوسط الذي يراه ، ملتصقان بطرفي المرأة .

وشكل (١٣١) يوضح هذه الحالة فخيال الجزء الأوسط ١ ب من المبصر هو ١ ب . ولكن لما كان البعد بين مبصرين على سمت واحد يميز بالبصر

(١) و (١٣) — و (١٦) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) و (١٦) — و (١٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

الفصل الثاني

في

نفضيل أحوال الخيالات التي ترى في المرايا الكرية

١٦٩ - اعتبارات ابن الهيثم المتخوف من انطباق القاعدة التي تنعكس بها

مواضع الخيالات في المرايا المستوية على خيالات جميع أنواع المرايا المنحنية
وقد تناول ابن الهيثم أيضاً شرح مواضع الخيالات في المرأة الكرية
والأسطوانية والمخروطية المحدبة والمقعرة ، وبني أقواله في هذا الأمر على
القاعدة نفسها ، وابتدأها بتحقيق القاعدة في كل واحدة من هذه المرايا بالاعتبار .
ففي المرأة الكرية المحدبة^(١) وصف الاعتبارين اللذين ذكرهما في المرأة
المستوية وهما الاعتبار بالعود المستقيم والاعتبار بالمخروط . وتضمن شرحه
أن العود إذا أقيم في وسط سطح المرأة عموداً عليه رؤيت صورته بالانعكاس
على استقامة العود أيضاً ، ولكن صورة العود تكون أقصر من العود نفسه .
وكذلك إذا اتخذ مخروط قائم من الشمع مثلاً وقعرت قاعدته بحيث تنطبق
على سطح المرأة وألصقت به بحيث يكون محور المخروط عموداً على السطح
رؤيت صورة المخروط مخروطاً قائماً أيضاً ولكنه أقصر من المخروط الأول
في الارتفاع . واستدل بذلك على صحة القاعدة .

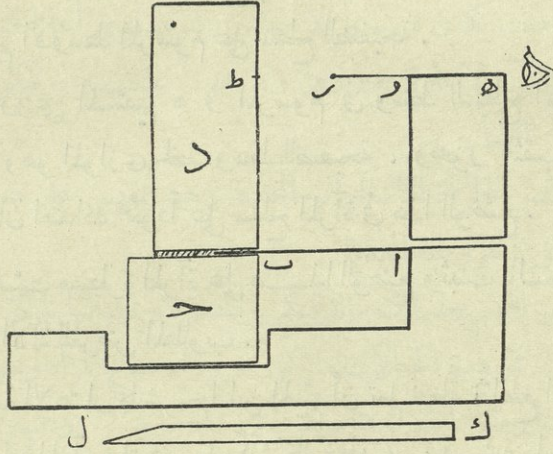
أما في المرأة الأسطوانية المحدبة فقد ذكر أولاً أنه لا يتأتى الاعتبار بمثل
ما ذكر في المرأة المستوية والكرية المحدبة ، لأن صورة العود في هذه الحالة
تكون منحنية غير مستقيمة ولذلك استعان بآلة الانعكاس لهذه الغاية^(٢)

(١) و (١٤٤) - و (١٤٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٤٨) - و (١٥٤) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر . ويرجع القارىء

إلى فقرتي (٨٤) ، (٨٥) في الجزء الأول من هذا الكتاب .

والاعتبار بإيجاز يتلخص في أن توضع المسطرة التي فيها المرآة الأسطوانية المحدبة على الصفيحة النحاسية في الآلة ، بحيث يكون وجهها المثبت فيه المرآة



(شكل ١٣٢)

قائماً على سطح الصفيحة مقابلاً للخشبة الحلقية و ضلع هذا الوجه من قاعدة المسطرة منطبقاً على نهاية الصفيحة النحاسية الذي قاعدة المثلث الصغير في وسطها بحيث تتجاوز المرآة (والمسطرة في هذا الوضع) مستوى نهاية الحلقة من أعلى .

وشكل (١٣٢) مقطع مار بمحور الخشبة الحلقية في وسطها يمثل بالضبط ما يرى إليه ابن الهيثم ، وفيه ا ب يمثل الصفيحة النحاسية في الآلة ومن تحتها في الحفر الموجود في قاعدة الآلة قطعة من لوح متوازي السطحين سمكه كارتفاع الصفيحة عن قاعدة الحفر ، وهذه القطعة مدلول عليها في الشكل بالحرف ح . وفوق سطح هذه القطعة شيء من الشمع يحيط بالمثلث الصغير الموجود في وسط حرف الصفيحة قد سوى سطحه مع سطح الصفيحة . وتقام المسطرة الخشبية المدلول عليها في الشكل بالحرف د التي فيها المرآة فوق هذه الطبقة من الشمع بحيث يكون سطح المرآة مقابلاً لوسط الخشبة الحلقية ويتبين من أبعاد الأجزاء المختلفة التي تتركب منها آلة الانعكاس بحسب ما جاء في

الوصف أن الطرف الأعلى للمرأة يكون في هذا الوضع بارزاً من فوق مستوى نهاية الخشبة من أعلى كما هو مبين بالشكل .

وتتبعاً المسطرة في هذا الوضع بحيث يكون وجهها المثبت فيه المرأة عموداً على المستقيم الأوسط المرسوم على سطح الصفيحة .

فاذا روعي المستقيم هـ و المرسوم في وسط السطح الأعلى للخشبة الحلقية ، وهو الموازي لخط وسط الصفيحة ، ولمحور الثقب الأوسط في الخشبة ، كان امتداده عموداً على سطح المرأة في هذا الوضع .

فاذا هيئت مسطرة المرأة على هذا الوضع وثبتت بالشمع تثبيتاً محكماً تمّ اعداد الآلة للغرض المطلوب .

وكيفية الاعتبار كما شرحها ابن الهيثم أن تعلم نقطة تقاطع امتداد المستقيم هـ و وسط المرأة ولتكن ط (شكل ١٣٢) . ويستعين ابن الهيثم لذلك بمسطرة ك ل (شكل ١٣٢) مسيَّفة حادة يحذف أحد طرفيها على التآريب حتى يصير طرف حدها المسيَّف الذي عند النهاية الحادة ل ، بمنزلة النقطة . فتوضع هذه المسطرة بحيث ينطبق حدها المسيَّف على المستقيم هـ و وتقدم برفق حتى يلقى طرفها الحاد سطح المرأة في النقطة ط المطلوب تعيينها .

ثم يؤتى بارة طويلة دقيقة وتلصق بالشمع على المستقيم هـ و ، ويكون طرفها المدب عند م ، ويغرز فيه جسم صغير أبيض « كالخردلة أو السمسمة » وينظر إلى النقطة ط التي على سطح المرأة من خلف الخشبة بحيث يجعل البصر عند هـ ، ويستر البصر الآخر أو يغمض ، حتى ترى صورة الجسم الصغير في المرأة فتري على امتداد المستقيم هـ و م

وابن الهيثم يتوسع في شرح هذا الاعتبار فيصف ما يشاهد اذا رفع البصر فوق مستوى نهاية الحلقة ، ووجه الى نقطة من سطح المرأة تكون أعلى من نقطة ط . وفي هذه الحالة يكون مستوى الانعكاس ماراً بمحور اسطوانة المرأة ويكون فصل الانعكاس خطاً مستقيماً على سطح المرأة ماراً بنقطة ط موازياً لمحورها . ثم ما يشاهد أيضاً إذا ما نقل البصر (قليلاً) في

سطح مستوى أعلى الحلقة نحو أحد طرفيها حيث يكون مستوى الانعكاس عموداً على محور اسطوانة المرأة وفصل الانعكاس دائرة .

ثم يتناول أيضاً ما يشاهد إذا أميلت المسطرة يمنة أو يسرة وهي في مثل وضعها السابق حيث يكون مستوى الانعكاس وهو مستوى أعلى الخشبة قاطعاً سطح أسطوانة المرأة لا ماراً بمحورها ولا عموداً عليه ، فيكون فصل الانعكاس قطعاً ناقصاً .

هذا فيما يختص بالمرأة الاسطوانية المحدبة وهو يقيس على هذا تحقيق القاعدة فيما يتعلق بالمخروطية المحدبة .

ويتناول ابن الهيثم بعد ذلك حالة الكرية المقعرة ويمهد إليها بذكر المواضع المختلفة لخيالاتها . فمن هذه الخيالات ما يكون من وراء سطح المرأة ومنها ما يكون من قدام سطحها ومنها ما يقول عنه « يكون في سطحها » ^(١) . وجميع الخيالات منها ما يدرك ادراكاً محققاً ومنها ما يكون ادراك البصر له غير محقق . ويقول « ومع ذلك فان كل نقطة يدركها البصر في هذه الحال ادراكاً محققاً فان خيالها يكون في الموضع الذي يلتقي فيه الخط الذي (عليه) تنعكس الصورة إلى البصر والخط الخارج من تلك النقطة المبصرة إلى مركز المرأة » ^(٢)

ويراعى ابن الهيثم في الكرية المقعرة حالتين نوردهما بشيء من التفصيل لأنه قصد من أحدهما أن يكون الخيال خلف سطح المرأة أى أن يكون الخيال بحسب اصطلاحاتنا الحديثة تقديرية وقصد من الأخرى أن يكون الخيال أمام سطح المرأة أى أن يكون حقيقياً .

واعتباره في الحالة الأولى ^(٣) يتلخص في اتخاذ مخروط شبيه بما سبق في حالة المستوية ، وتلصق قاعدته بوسط سطح المرأة المقعرة ، وتكون مساحة قاعدته صغيرة بحيث لا تشغل من سطح المرأة إلا جزءاً صغيراً منه ويكون

(١) و (١٥٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٥٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر . وقد اعتري الأصل شيء من

التعريف صحناه .

(٣) و (١٥٥) — و (١٥٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

ارتفاعه بالقدر المناسب الذي يكون معه رأس المخروط عند مركز المرأة . ثم يرسم على سطح المخروط خط مستقيم يصل من رأسه إلى محيطه قاعدته وينظر إلى خيال الخط بأحد البصرين ، ويشترط ابن الهيثم في وضع البصر شرطاً ينص عليه قائلاً بلفظه « وليتحر (أى المعتبر) أن يكون بعد أحد بصره من الخط المستقيم المتوهم المتصل بسهم المخروط إذا تخيل سهم المخروط ممتداً على استقامة أعظم من نصف قطر كرة المرأة بالقياس إلى الحس » . (١)

ثم هو يصف ما يوجد على زعمه في هذا الاعتبار قائلاً بلفظه « فانه (أى المعتبر) يرى صورة المخروط من وراء المرأة ويجد صورة المخروط صورة قطعة مخروطة دائرتها الصغرى منطبقة على قاعدة المخروط التي في داخل سطح المرأة ويجد سطح المرأة و سطح المخروط متصلان على استقامة (كذا في الأصل) ، ويجد المخروط (و) صورته التي من وراء المرأة كأنهما مخروط واحد متصل ، ويجد الخط المستقيم المخطوط في طول المخروط (و) صورته متصلين على استقامة كأنهما خط واحد » .

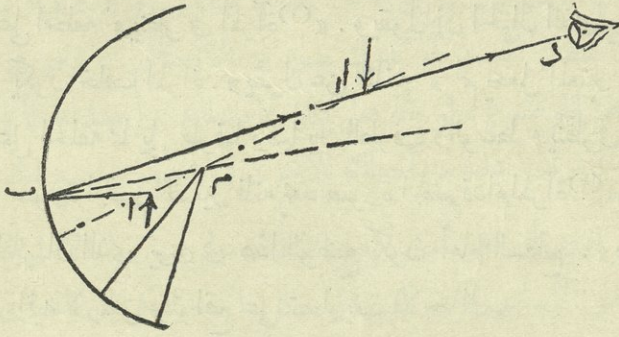
وواضح أن ما يرى من خيال المخروط أشبه بما وصفه أنما يرى إذا أوشك سهم البصر أن يكون عموداً على سطح المرأة بحيث يرى البصر الخيال بحزمة من الأشعة المحورية ولا يكون ذلك في الوضع الذي يئنه . وأيضاً فإن الخيال الذي يرى في تلك الحال وراء سطح المرأة ليس هو خيال الخط (أو المخروط) كله وإنما هو خيال الجزء الواقع منه بين بؤرة المرأة وبين سطحها .

والاعتبار (٢) في حالة الخيال الحقيقي يتلخص في تركيب المخروط المذكور في جانب المرأة لا في وسط سطحها فيكون رأس المخروط عند مركز المرأة . وغرضه من ذلك أن يتعين مركز المرأة للمعتبر تعييناً ملموساً عند الاعتبار . فيجعل المعتبر بصره في موضع أبعد عن سطح المرأة من نصف قطرها ثم يأتي بعود دقيق ويجعل رأسه بين مركز المرأة (أى رأس المخروط) وبين سطحها فيكون مركز المرأة متوسطاً بين البصر وبين رأس العود . ويشترط ابن الهيثم

(١) و (١٥٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٥٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

أن ينظر المعتبر إلى موضع من سطح المرآة يكون المستقيم الممتد منه إلى مركز المرأة متوسطاً بين البصر وبين رأس العود (١). وشكل (١٣٣) يمثل الوضع الذي يريده بحسب الوصف الوارد، فالعين عند د تنظر إلى الموضع من سطح المرآة حيث يكون الواصل منه إلى المركز م متوسطاً بين د ورأس العود ١.



(شكل ١٣٣)

ويقول ابن الهيثم بلفظه « وإذا رأى (أى المعتبر) صورة رأس العود فانه يجدها قدام المرآة ويجدها أقرب إلى البصر من رأس المخروط » ويصف ما يلاحظ في وضع الخيال قائلاً « فانه (أى المعتبر) يجد رأس العود ورأس المخروط وصورة رأس العود على خط واحد مستقيم بالقياس إلى الحس » وهو المقصود من الاعتبار.

وإن كان الوصف هنا يحجز أن يكون رأس العود واقعاً بين البؤرة وبين سطح المرآة ، في حين أن الخيال لا يكون حقيقياً في الموضع الذي ذكره ابن الهيثم إلا إذا كان رأس العود بين مركز المرآة وبين بؤرتها ، فإنه فيما عدا ذلك أتم بما ورد في الاعتبار السابق .

وابن الهيثم يتناول أيضاً تحقيق القاعدة فيما يختص بالأسطوانية المقعرة

(١) لم يورد الفارسي هذا الشرط بالمعنى الذي أراده ابن الهيثم بالضبط وإنما قال « ويتأمل (المعتبر) من سطح المرآة الموضع الذي يكون على استقامة الواصل بين مركزي البصر والمرآة المار برأس العود » (ص ٤٢٨ الجزء الأول من النسخة المطبوعة) . في حين أن الوارد في مخطوطات النساظر « وليكن نظره إلى الموضع من سطح المرآة المحاذي لرأس المخروط الذي يكون الخط المتوهم الممتد بينه وبين رأس المخروط متوسطاً بين البصر وبين رأس العود » .

والمخروطية المقعرة وطريقته مثل ما تقدم في اعتبار خيالات الأسطوانية المحدبة بالاستعانة بآلة الانعكاس . وهو يراعى أيضاً حالتى الخيال وهو خلف المرأة ثم وهو أمامها ، ويقول عن الأولى « ثم يجعل (المعتبر) بصره مقابلاً لوسط المرأة وعند وسط الحلقة (أى الخشبة الحلقيّة) ويرفع البصر على سطح أعلى الحلقة وينظر في المرأة^(١) » . ويقول إن الخيال الذي يرى في هذا الوضع يكون خلف المرأة . ويقول عن الثانية « ثم يجعل المعتبر بصره على سطح أعلى الحلقة مما يلي طرفها وفيما بين الطرفين والوسط وينظر في المرأة إلى أن يرى صورة الجسم الصغير فانه يجد صورة الجسم قدام المرأة^(٢) » . ويذهب إلى أن الخيال الذي يرى في هذا الوضع يكون أمام السطح . وواضح أن ما ذهب إليه لا يتفق والواقع على تصارييف الأحوال .

١٧٠ - قصور القاعدة التي طبعها ابن الهيثم نعيين مواضع الخيالات

ابن الهيثم في هذا الصدد ومثله الفارسي في كل تعليقاته أو استدراكاته على أقوال ابن الهيثم ، كلاهما قد حاد عن الصواب فيما ذهب إليه من أمر تعميم هذه القاعدة لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة .

فالقاعدة وإن كانت صحيحة فيما يتعلق بالسطوح العاكسة المستوية فانه لا يصح تطبيقها على السطوح المنحنية إلا في حالة خاصة وهي حالة الخيال الذي يحدث بانعكاس الضوء من نقاط مساحة صغيرة جداً تحيط بموقع العمود من النقطة المضيئة أو المبصرة على السطح العاكس . ولم يتنبه ابن الهيثم ولا كمال الدين الفارسي إلى هذا الأمر .

والذي يتبين لنا من التحرى والتدقيق في متابعة ابن الهيثم في طرائق تفكيره أن الذي جره إلى الخطأ الذي وقع فيه أمران أحدهما أنه غنى في جل بحوثه عن الخيالات بالناحية الشخصية المتعلقة بالابصار أكثر من عنايته بالناحية

(١) و (١٥٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٥٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

الموضوعية المتعلقة بالضوء في ذاته وانعكاسه أو انعطافه . فهو لا يكاد يذكر مسألة في الانعكاس مثلاً إلا وفي طوايا مخيلته عين إنسان يرد إليها الشعاع المنعكس . ولو أنه وجه جزءاً أكبر من عنايته إلى انعكاس الأشعة التي يصح أن ترد من نقطة مبصرة إلى سطح مرآة ، إلى انعكاسها في ذاتها ، وإلى كيفية توزعها بعضها بالنسبة إلى الآخر بعد الانعكاس ، وتجرد قليلاً من فكرة البصر الذي يبصر المبصر أو يدرك صورته بالانعكاس ، وهو في صدد بحوثه في هذا الموضوع ، لو أنه فعل ذلك لاستطاع درأ هذا الخطأ في تعميم القاعدة ، وما يترتب عليه من أخطائه الأخرى في تحديد مواضع الخيالات .

والأمر الثاني أن نظريته في كيفية الابصار على صورتها الأولى تخفى بين طيات الفرض الأساسي الذي تقوم عليه ، كل ما نبهه الفكر إلى الخطأ في تعميم القاعدة وهذا لاشك مظهر من مظاهر قصور هذه النظرية . فالفرض الأساسي في النظرية أن إدراك البصر لصورة نقطة مبصرة ناشئ عن ورود شعاع خاص من الضوء هو الذي يرد على سمت العمود على سطح البصر ، وهو الذي يؤثر في الجليدية على سمت نفوذه فيها . فهذا التأثير الذي يحدث في الجليدية على سمت معين يؤدي إلى إدراك النقطة المبصرة على امتداد ذلك السمت . وإذا ورد شعاع على سمت آخر عمود على سطح البصر أدى إلى إدراك نقطة مبصرة أخرى على امتداد هذا السمت الثاني . فكأن إدراك النقطة المبصرة يكفى فيه ورود شعاع واحد هو هذا الشعاع الوارد عموداً على سطح البصر أو الذي يمر امتداده بمركز البصر . وهذه الفكرة كما أشرنا مرات عدة صحيحة إذا اعتبرنا هذا الشعاع الذي يعنيه ابن الهيثم محور مخروط الأشعة الواردة إلى العين من النقطة المبصرة . فان إدراك النقطة المبصرة لا يتم إلا بمخروط من الأشعة تكون تلك النقطة رأسه .

اذن لا يكفي لتعيين موضع خيال نقطة مبصرة شعاع منعكس واحد . وابن الهيثم يدرك هذا الأمر ، فهو يحدد النقطة التي هي موضع الخيال بمستقيمين يتقاطعان عندها . وهو مصيب في أن يكون أحدهما شعاعاً منعكساً

وارداً إلى العين ، ولكنه مخطئ عند التعميم في أن يكون الثاني هو العمود الواقع من النقطة المضئية على السطح العاكس .

وإن كانت قاعدته تصح عند الانعكاس عن السطوح المستوية ، فذلك لأن الأشعة المنعكسة في هذه الحالة إذا مدت على استقامتها تتلاقى جميعاً في نقطة واحدة بالذات تقع على ذلك العمود . وقد بين هو نفسه كما ذكرنا آنفاً هذا الأمر ببرهان هندسي وإن كان الوازع له في ذلك استكمال الناحية الشخصية وهي بيان أن الخيال يدرك واحداً بالبحرين ، لا الناحية الموضوعية الخاصة بكيفية توزيع الأشعة المنعكسة نفسها بعضها بالنسبة إلى الآخر .

وسمى العمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح أيّاً كان شكله هو سمى شعاع منعكس يرد من النقطة المبصرة عموداً على السطح وينعكس على السمى نفسه . فالعمود بصفته هذه يصح أن يتخذ أحد شعاعين منعكسين يتعين خيال النقطة عند موضع التقائهما . ولكن يتطلب هذا أن يكون الشعاع المنعكس على سمى هذا العمود والشعاع المنعكس الآخر يردان مع ما بينهما من الأشعة إلى البصر . ونظراً لضيق مخروط الأشعة التي تقع على العين فإن من اللازم ألا تكون نقطة انعكاس الشعاع الثاني بعيدة عن موقع العمود . وإذا التزمنا أن تكون نقطة الانعكاس قريبة جداً من موقع العمود فإن الأشعة المنعكسة على هذه الصفة تكاد جميعاً هي أو امتداداتها تمر بنقطة واحدة تكون هي خيال النقطة المبصرة .

فنقطة تقاطع العمود والشعاع المنعكس لامن أية نقطة من السطح الغير المستوى بل من نقطة قريبة من مسقط العمود تعين موضع الخيال إذا نظر إلى السطح العاكس والبصر على امتداد العمود أو قريباً جداً منه .

وفي هذه الحالة تصح القاعدة إذا طبقت على السطوح المنحنية ويصح تحقيقها عملياً بالتجارب التي وصفها ابن الهيثم إذا روعى أن يوجه البصر عند رؤية الخيال إلى نقاط قريبة جداً من مسقط العمود على سطح المرآة .

أما فيما عدا ذلك فلا تصح القاعدة .

ومما يجدر ذكره في هذا المقام أن ابن الهيثم لم يخف عليه أن إدراك البصر لصورة نقطة مبصرة يكون بورود مخروط من الأشعة من تلك النقطة إلى البصر وقد ذكر هذا الأمر صراحة في تعديل نظريته في الأبصار كما سبق أن بينا من قبل . ولكنه لم يطبق هذه الفكرة في بحوثه عن الخيالات بوجه عام . بل هي لم تطبق لتعيين مواضع الخيالات إلا بعد ابن الهيثم بقرون (١) .

وأيضاً فقد أراد ابن الهيثم أن يدلل ببرهان نظري على صحة القاعدة أى على أن الخيالات تقع دائماً على الأعمدة ، وخصص من مقالته الخامسة مبحثاً (٢) بحث فيه عن علة نظرية تقضى بأن يكون الخيال على العمود . وليست لأقواله في هذا الأمر قيمة علمية خاصة بل هي أدنى إلى أقوال الفلاسفة الأقدمين في العلل الغائية .

١٧١ - رأى ابن الهيثم في مواضع خيالات النقاط التي ترى في المرايا

السكرية المحدبة

بنى ابن الهيثم جميع بحوثه عن مواضع الخيالات على أن نقطة تقاطع الشعاع الوارد إلى العين والعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح ، هي موضع خيال النقطة . فلم تخل أحكامه وأقواله في تفصيل مواضع الخيالات من الخطأ ، ولكن لا شك أن جميع أحكامه إذا جعلناها منصرفة إلى تعيين مواضع تقاطع الأشعة المنعكسة من نقاط السطح المختلفة بالعمود ، دون أن نعني بنقطة التقاطع عناية طبيعية ونحملها المعنى الطبيعي المقصود بالخيال ، بل نظرنا إلى الموضوع نظرة هندسية بحتة ، وجدناها جميعاً أحكاماً صحيحة ووجدنا الطريقة التي نهجها في تفصيل مواضع هذه النقط سليمة وجديرة بالذكر والتقدير .

ففي المرأة السكرية المحدبة إذا فرضنا أن ١ (شكل ١٣٤) مركز البصر و ٦ مركز فصل الانعكاس ، ونقطتي ح و د حيث يلمس المماسان من ١ محيط

(١) الطبعة الثانية من كتاب « La Caille » وعنوانه « Traite' d'optique » كما أشار

إلى ذلك « Bode » ، أى في النصف الثاني من القرن الثامن عشر .

(٢) و (١٦٢) - و (١٦٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

ليقطع المحيط على ل ، ورسمنا من ك ، ك م نظير المستقيم ك ا ، ووصلنا ب ل ، ومددناه على استقامته حتى يقطع ك م على نقطة ن ، اتضح أن المستقيم الواصل بين أية نقطة من الجزء ك ن من المستقيم ك م وبين المركز ب يقطع امتداد ا ك فيما بين ك و ل داخل الدائرة . ولكن المستقيم الواصل بين أية نقطة على الجزء ن م (من المستقيم ك م) وبين المركز يقطع امتداد ا ك ل في نقطة خارج الدائرة . أما الواصل بين ن والمركز فيقطع ك ل على نقطة ل من محيط الدائرة .

ومن هذا يتضح أن العمود الواقع على سطح الكرية المحدبة من أية نقطة مبصرة من الجزء ك ن ، يقطع امتداد الشعاع المنعكس إلى العين في نقطة بين ك و ل داخل المرآة . أما الواقع من أية نقطة مبصرة أبعد من ن فإنه يقطع امتداد المنعكس إلى العين في نقطة على امتداد ا ل خارج سطح المرآة في حين أن العمود الواقع من ن يقطع امتداد المنعكس في نقطة على سطح المرآة .

والفسكرة الهندسية في قسمة القوس عند و بالمستقيم ا و م ، الذي يكون فيه و م مساوياً نصف القطر تتضح إذا رسمنا من و نظير للمستقيم ا ، ورسمنا من المركز ب الموازي له فإن الموازي يمر بنقطة م وهي نهاية الوتر و م وإذن إذا أخرج من أية نقطة من نقاط النظير مستقيم إلى المركز ب كان حتماً أن يقطع هذا المستقيم الوتر و م على نقطة بين طرفيه و و م .

أما إذا أخذنا نقطة مثل ح بين ه و و فإن الموازي من ب المستقيم ح ي يقطع الوتر ح ط على نقطة مثل س . وإذن كان حتماً أنه إذا أخرج من أية نقطة من نقاط ح ي مستقيم إلى المركز ، أن يقطع هذا المستقيم الوتر ح ط في نقطة بين ح و س .

أما إذا روعيت نقطة مثل ك في الجانب الآخر من و فإن الموازي من ب لا يقطع الوتر ك ل نفسه وإنما يقطع امتداده في نقطة مثل ص . وإذن يكون بعض المستقيمات الخارجة من نقاط ك م إلى المركز يقطع الوتر ك ل فيما بين ك و ل ، وبعضها يقطعه فيما وراء ل .

وإذن فالشعاع المنعكس إلى البصر α ، إذا كان واقعا على المرآة موازيا للمستقيم d β فان امتداده يمر بنقطة معينة m .

فاذا راعينا الانعكاس إلى البصر من أية نقطة تقع بين o و h ، فان كلا من زاويتي السقوط والانعكاس تكون أصغر من زاوية سقوط h و أوانعكاسه ، وإذن تكون زاوية ميل الشعاع الساقط بالنسبة إلى المستقيم α β أصغر من زاوية ميل h و بالنسبة إليه ، فلا يقطع الشعاع الساقط المستقيم β d .

وإذن من المحال أن ينعكس إلى البصر α من أية نقطة من نقاط القوس و h شعاع يرد من نقطة مضيئة تكون على إمتداد المستقيم β d .

أما إذا أخذنا نقطة مثل τ بين o و h ، ووصلنا α τ ، ورسمنا النظير τ u ، فان كلا من زاويتي السقوط أو الانعكاس في هذه الحالة تكون أكبر من زاوية السقوط أو الانعكاس للشعاع h و .

فيكون ميل u τ على المستقيم α β أكبر من ميل h و عليه ، فيتقاطع τ u و h d في نقط مثل u .

ومن هذا يتبين أنه يصح أن يرد من أية نقطة من نقاط المستقيم β d شعاع ينعكس من إحدى نقاط o و h ، إلى البصر . وفي هذه الحالة يقطع إمتداد المنعكس إلى العين المستقيم β d على نقطة مثل k بين m و h .

بهذه الكيفية يتبين ابن الهيثم خاصة هامة للنقطة m . وذلك أن أية نقطة مضيئة يمكن أن تكون على المستقيم β d أو إمتداده إذا ورد منها شعاع إلى سطح المرآة وانعكس إلى البصر عند α فان امتداد المنعكس يقطع العمود الواقع من النقطة على السطح (وهو المستقيم d β) على نقطة يتجه أن تكون بين نقطتي h و m ، أي أن حدها الأدنى (كما يقول الفارسي) من المركز هو نقطة m ، وحدها الأقصى (أو الثاني كما يسميه الفارسي) هو h . ويتبين من هذا أنه كلما بعدت النقطة المبصرة ، قربت نقطة التقاطع إلى m ، ولكنها لا تتجاوزها إلى ناحية المركز بحال من الأحوال . كذلك كلما قربت النقطة

إلى سطح المرأة قربت نقطة التقاطع إلى γ حتى إذا وصلت النقطة المبصرة إلى γ كانت نقطة التقاطع النقطة γ نفسها .

وجميع هذه الأقوال صحيحة في ذاتها والمعنى الطبيعي الذي ينطوي عليه هذا التحليل الهندسي يمكن إدراكه إذا تجردنا من الناحية الشخصية فاعقلنا وجود البصر، وعيننا بالنقطة المضيئة التي نفرضها على امتداد γ ، وبالأشعة التي تسقط منها على سطح المرأة وتنعكس عنه ، ثم قصرنا الانعكاس على ما يحدث من النقاط القريبة من نقطة γ فحينئذ يتبين أن نقطة γ هي التي نسميها الآن البؤرة ، وإن النقطة المضيئة الموجودة على المحور γ δ كلها بعدت عن القطب γ ، دنا خيالها من البؤرة γ حقا ، وكلما قربت قرب خيالها من القطب γ حقا ، وإن خيال هذه النقطة يقع دائما أبدا خلف سطح المرأة .

أما إذا روعي قطر من الأقطار غير المنتهية بالقوس المقابلة للبصر ووردت من نقاط على امتداده أشعة تنعكس عن سطح المرأة إلى البصر فإن إمتدادات الأشعة المنعكسة تلتقي القطر على نقاط تكون إما واقعة جميعها خارج سطح كرة المرأة دون أن تقع نقطة منها على سطح المرأة ، وأما واقعة خارج سطح كرة المرأة ونقطة واحدة منها على السطح ، وإما بعضها داخل سطح كرة المرأة ونقطة منها على السطح ، والباقي خارج سطحها . وابن الهيثم يعين أوضاع الأقطار في كل واحد من هذه الأحوال الثلاثة ، بطرق هندسية سليمة ^(١) . ولكنه يعد نقاط الالتقاء المذكورة مواضع الخيالات . ولا نرى لهذا القسم من بحوثه قيمة طبيعية خاصة تدعو إلى تفصيل هذه البحوث وخصوصاً أن العناصر الهندسية في هذه البحوث لا تتجاوز الفكر والمعاني التي يتيسر فيها سبق .

والذي يجدر ذكره فيما يتعلق بهذه البحوث أنه لما كانت نقطة الالتقاء في جميع أحوال المرأة الكرية المحدبة تقع على إمتداد الشعاع المنعكس إلى البصر من خلف نقطة الانعكاس فهو يرى أن خيالات المرأة الكرية المحدبة تبدو

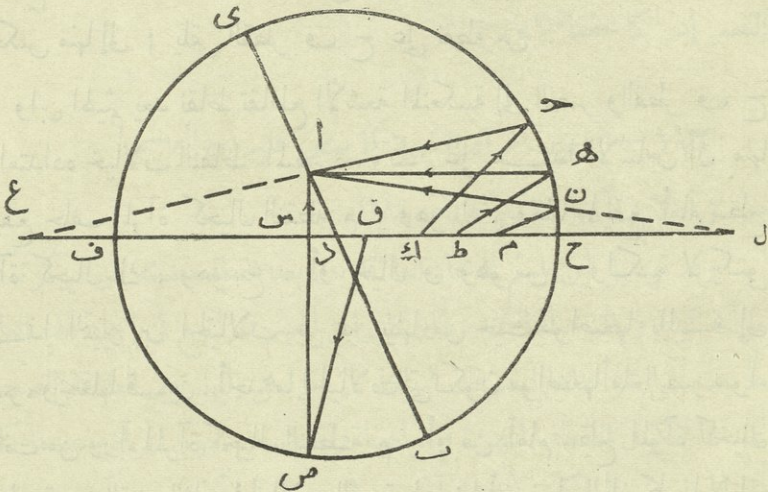
(١) و (١٩٠) — و (١٩٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

للحس وراء سطح المرآة لوقوعها خلف الجزء من السطح الذي ينعكس عنه الضوء الى البصر . وهو في هذا المعنى يقول بلفظه « خيالات جميع ما يدركه البصر في المرآة الكرية المحدبة من المبصرات يكون على التحقيق بعضها من وراء المرآة وبعضها في سطح المرآة وبعضها (قدام) المرآة ، ويكون في الحس جميعا من وراء المرآة ^(١) » .

١٧٢ - رأى ابن الهيثم في مواضع خيالات النقاط التي ترى في

المرايا الكرية المقعرة

لنفرض مركز البصر في نقطة ولتكن ١ وليكن مركز الدائرة التي هي فصل الانعكاس د (شكل ١٣٦) .



(شكل ١٣٦)

نخرج من ١ مستقيما هـ ينتهي الى المحيط وتتحرى أن يكون ١ هـ أعظم من ١ د كما هو مبين بالشكل ونخرج القطر المار بنقطة ١ وليكن ١ ب ثم نرسم القطر ف د ح موازيا ١ هـ ونرسم هـ ط نظيرا للمستقيم هـ ١ وليقطع القطر في نقطة ط . فاذا كانت ط نقطة مبصرة فان

(١) و (١٩٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر والالفاظ الوارد بين القوسين لم يرد في الأصل .

الشعاع الوارد بالانعكاس إلى البصر عند ١ يكون موازيا للقطر ف ح فلا يقطعه .
وإذا أخذنا نقطة مثل ن بين ح و ه ، ورسمنا ن م نظيراً للمستقيم
ن ١ ، اتضح أن ١ ن إذا مد يقطع إمتداد القطر في نقطة مثل ل . فإذا
كانت م نقطة مبصرة تقاطع المنعكس إلى العين والعمود الواقع منها على
السطح وهو القطر في نقطة ل خلف سطح المرآة .

وإذا أخذت نقطة مثل ح بين ه و ي ، ورسم المستقيم ح ك نظيراً
للمستقيم ح ١ قاطعاً القطر ف ح على ك ، وكانت ك نقطة مبصرة ،
فإن الشعاع المنعكس ح ١ يلقي هو نفسه القطر أو امتداده في نقطة مثل ع .
وأيضاً إذا أخرج ١ ص قاطعاً د ف على س ورسم ص ق نظيراً
للمستقيم ص ١ قاطعاً القطر ف ح على ق ، وكانت ق نقطة مبصرة فإن
المنعكس منها إلى ١ يلقي القطر ف ح على نقطة س .

وابن الهيثم يعد نقاط تقاطع الأشعة المنعكسة إلى البصر والقطر ف ح
أو امتداده خيالات النقاط المبصرة . ويثبت على هذا الأساس أن منها
ما يقع خلف المرآة كخيال النقطة م ، وهو ل ، ومنها ما يقع أمام سطح
المرآة كخيال ك ، وهو ع ، أو خيال ق وهو س . ولكنه لا يكتفي
بهذا التمييز بين الخيالات بل يميز بينها من حيث مواضعها بالنسبة إلى
البصر، ويجعلها قسمين . أحدهما الخيالات التي تكون مواضعها أمام البصر سواء
أكانت من وراء المرآة كخيال النقطة م ، أو من أمام سطح المرآة كخيال
النقطة ق . والقسم الثاني الخيالات التي يقول عنها أن خطوط انعكاسها لا تلقى
أعمدها كخيال النقطة ط ، أو التي تكون من وراء البصر كخيال النقطة ك ،
أو التي تكون عند مركز البصر كخيال النقطة ق ، إذا كان البصر عند س . وابن
الهيثم يرى أن البصر يدرك الخيالات جميعاً من سموت الأشعة الواردة إليه
والبصر يدرك جميع هذه الخيالات في مقابلته ولكنه يدرك خيالات القسم
الأول إدراكاً محققاً ويدرك خيالات القسم الثاني إدراكاً غير محقق (١) .

(١) و (٢٥٤) - و (٢٥٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

وابن الهيثم يطبق هذه الفكرة على خيالات المبصرات . فان كانت جميع خيالات نقاط المبصر من القسم الأول إدرك البصر صورته إدراكا محققا . وإن كانت جميعا من القسم الثانى إدرك البصر صورة المبصر إدراكا غير محقق . وإن كان بعضها من الأول والباقي من الثانى إدرك بعض أجزاء المبصر إدراكا محققا وإدرك الباقي إدراكا غير محقق . وهو يرى أيضا أنه إذا كان بعض خيالات نقاط المبصر من وراء المرأة والباقي من أمامها فان صورة المبصر يدركها البصر قاطعة لسطح المرأة . ويصف ابن الهيثم اعتبارات يوضح بها آراءه ، ويحمل آراءه هذه فيقول بلفظة « فالذى يدركه البصر فى هذه المرأة إدراكا محققا هو المبصر الذى يكون جميع خيالاته (أى خيالات جميع نقاط سطحه) من وراء المرأة أو جميع خيالاته فيما بين البصر والمرأة . وما سوى ذلك فليس يدركه البصر إدراكا محققا (١) » .

١٧٣ - قانون المرأة السكرية كما ينص عليه ابن الهيثم

(أولا) المرأة السكرية المحدبة (٢) .

وقد توصل ابن الهيثم لايجاد العلاقة بين بعد نقطة مضيئة عن مركز تكور مرآة كرية وبعد خيالها عنه . وان كان ابن الهيثم قد اتبع فى إيجاد هذه العلاقة طريقته التى شرحناها آنفا فإن النتيجة التى توصل إليها تبين العلاقة الصحيحة عند ما تكون النقطة المبصرة وخيالها واقعين على محور المرأة وعندما يكون اتساع السطح العاكس من المرأة صغيرا .

ففى المرأة المحدبة لنفرض أن ١ (شكل ١٣٧) نقطة مضيئة ولنعتبر مستوى الانعكاس مستوى الورقة وأن م مركز فصل الانعكاس . نصل ١ م وليقطع محيط دائرة الفصل على و . نرسم أ ب ٦ ب ح نظيرين ونمد ح ب ليقطع ١ م على نقطة ه . فتكون ه خيالا لنقطة ١ . نرسم أ ح

(١) و (٢٥٦) ، و (٢٥٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٨١) — و (١٨٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

المبصرة وبين مركز المرأة إلى الخط الذي بين مركز المرأة وبين نقطة الالتقاء التي هي نقطة الخيال كنسبة قسمة الخط الذي بين النقطة المبصرة وبين نقطة الخيال اللذين ينقسمان بالخط المماس لسطح المرأة على نقطة الانعكاس أحدهما إلى الآخر» (١) ويسمى ابن الهيثم في بحوثه التالية النقطة التي ينقسم عليها الواصل من النقطة المبصرة إلى خيالها بالمماس المذكور «طرف المماس» الخارج من نقطة الانعكاس .

ومن السهل من هذا القانون استخلاص العلاقة المعروفة الآن بين بعد النقطة المضئية عن المرأة وبعد خيالها عنها عندما يتكون الخيال من انعكاس الأشعة «المحورية» أي عندما تكون نقطة ب قريبة جدا من نقطة و . في هذه الحالة تكاد تنطبق نقطة د على و فيكون

$$\frac{ا م}{ه م} = \frac{ا و}{و ه}$$

فان رمزنا لبعد النقطة المضئية من و بالحرف س ولبعد خيالها ه عن و بالحرف ص ، ولنصف قطر المرأة بالرمز ب ،

$$\text{اتضح أن } \frac{س}{ص} = \frac{س + ب}{س - ب}$$

$$\text{ومنه } \frac{ا}{ص} = \frac{ا}{س} - \frac{ب}{س}$$

وهي المعادلة الدالة على العلاقة في حالة المرأة المحدبة . ومنها يتبين أنه كلما زاد بعد النقطة المضئية عن المرأة زاد بعد خيالها عن سطح المرأة أو نقص بعده من المركز وهو أمر غنى ابن الهيثم ببيانته أيضا .

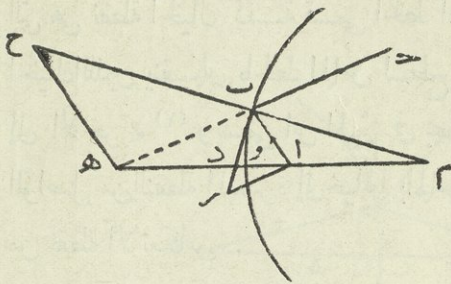
(ثانيا) المرأة الكرية المقعرة

وهو يشبه العلاقة نفسها في حالة المرأة المقعرة (٢)

(١) و (١٨٣) و (١٨٤) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (٢٥٨) — و (٢٦٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

ولنفرض أن ١ نقطة مضيئة م مركز الدائرة التي هي فصل الانعكاس



(شكل ١٣٨)

نصل م ١ وليقطع امتداده

محيط الدائرة على و ونرسم

النظيرين ١ ب و ب ح ،

ونمد ح ب ليقطع امتداد م ١

على ه . فيكون ه خيالا

لنقطة ١ .

نرسم المماس من ب وليقطع م ه على د . ونرسم من نقطة ١ ، ١ م

موازيا ح ب وليقطع المماس على م ر ، ونرسم من نقطة ه المستقيم ه ح

موازيا ١ ب قاطعا امتداد م ب على ح .

فمن السهل بيان أن $\triangle م ب ر = \triangle م ١ د$

$$\therefore م ب = م ١$$

وكذلك $ه ب = ه ح$

$$\therefore \frac{م ب}{ه ب} = \frac{م ١}{ه ح} = \frac{م ١}{ه م}$$

ومن تشابه المثلثين ١ د م و ه د ب ينتج أن

$$\frac{م ١}{ه ب} = \frac{١ د}{ه م}$$

$$\therefore \frac{م ١}{ه م} = \frac{١ د}{ه م}$$

وهو يراعى في حالة المقعرة عدة حالات متبعا وجهة نظره التي اتخذها

متمسكا بها إلى النهاية . فالشعاع ب ح الواصل إلى البصر الذي يفرضه عند ح

ما لم يكن موازيا للمستقيم م و ، وهو المحور في اصطلاحنا ، فإنه يقطعه . ونقطة

التقاطع ه قد تكون خلف سطح المرآة كما هو مبين بالشكل وقد تكون أمامه .

فإن كانت أمام السطح فهو يراعى ثلاث حالات فنقطة التقاطع (أو موضع

الخيال) قد تكون واقعة بين البصر وبين سطح المرآة، أو عند موضع البصر نفسه، أو من خلف البصر، والبرهان الهندسي المذكور ينطبق على جميع هذه الحالات.

وهو ينص على هذه العلاقة قائلاً بلفظه « إن كل نقطة يدركها البصر في مرآة كرية مقعرة إذا لم يكن انعكاس صورتها على خط مواز لقطر المرآة المار بتلك النقطة، فإن نسبة الخط الذي بين النقطة المبصرة وبين مركز المرآة إلى الخط الذي (بين) ^(١) مركز المرآة وبين نقطة الخيال كنسبة الخط الذي بين النقطة المبصرة وبين طرف المماس الخارج من نقطة الانعكاس إلى الخط الذي بين طرف الخط المماس وبين نقطة الخيال على أى وضع كانت نقطة الخيال ^(٢) » وعنى ابن الهيثم كما هي عادته بموضع البصر بالنسبة إلى نقطة التقاطع ولو أنه تحول عن وجهة نظره وعنى بموضع نقطة التقاطع بالنسبة إلى مركز المرآة لا بالنسبة إلى مركز البصر، واحتاط في تطبيق القاعدة التي جعلها أساساً لبحوثه، لاستطاع شرح حالات الخيال في المرآة المقعرة كما نراعيها في الوقت الحاضر، لأنه قد أحاط بجميع الأسباب المؤدية إلى ذلك.

١٧٤ — قانون المرآة التي فصل انعكاسها قطع ناقص

وابن الهيثم قد توصل أيضاً إلى استنباط القانون الذي ينص على العلاقة بين بعد النقطة المضيئة وبعد خيالها الذي يتكون بالانعكاس عن مرآة اهليلجية وقد جاء في صدد بحوثه في المرآة الأسطوانية، ففصول الانعكاس في هذه المرآة (أى مقاطع مستويات الانعكاس بسطحها) قد تكون خطوطاً مستقيمة وفي هذه الحالة يكون خيال النقطة المضيئة الحادث بالانعكاس في مستوى الفصل كخيالها في المرآة المستوية، وقد تكون فصول الانعكاس دوائر فيكون الخيال كالخيال في المرآة الكرية وقد تكون فصول الانعكاس قطعاً ناقصاً

(١) في الأصل « من » .

(٢) و (٢٥٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

كذلك من السهل بيان أن

$$\frac{د ه ل}{ب} = \frac{د ه ب}{ل}$$

$$\therefore \frac{ب ه}{ه ل} = \frac{د ه ل}{ب}$$

$$\frac{ا ب}{م} = \frac{ا ب}{ه ل} = \frac{ا ب}{ب ه} \quad ٦$$

وإذن ينتج أن

$$\frac{د ا}{م} = \frac{ا ب}{ب ه}$$

وينص ابن الهيثم على هذه العلاقة فيقول بلفظه^(١) « وكذلك كل خيال يكون في سطح من سطوح القطوع التي تقع في هذه المرأة تكون نسبة العمود الخارج من النقطة المبصرة القائم على الخط المماس للقطع (وهو العمود ا م في الشكل) الذي فيما بين النقطة المبصرة وبين النقطة التي يلتقي عليها هذا العمود والعمود الخارج من نقطة الانعكاس القائم على السطح المماس لسطح المرأة (وهذا للعمود الثاني هو ح م في الشكل) إلى الخط الذي بين نقطة الالتقاء^(٢) وبين نقطة الخيال) فتكون النسبة التي يقصدها ابن الهيثم هي نسبة

$$\left(\frac{ا م}{م ه} \right) كنسبة قسمة الخط الذي فيما بين النقطة المبصرة وبين نقطة الخيال$$

الذين ينقسمان بالخط المماس لسطح المرأة (على) نقطة الانعكاس .

ويتبين من هذا أن العلاقة المذكورة بين بعد النقطة المضئية وبين بعد خيالها هي عين العلاقة التي استنبطها في المرايا الكرية فنقطة م هي مركز انحناء قوس القطع عند موضع سقوط الأشعة كما أن نقطة م هناك مركز الدائرة التي هي فصل الانعكاس وهذه العلاقة ليست مقصورة على القطع بل تنطبق

(١) و (٢٢٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) في الأصل «الانعكاس» وهو تحريف ، وقد حررنا العبارة من بعض أخطاء أخرى .

أيضاً فى حالة أى منحن آخر وهى تفضى فى جميع الحالات إلى الصورة المألوفة الآن اذا كانت نقطة الانعكاس قريبة من مسقط العمود ، كما تبين فى المرأة السكرية المحدبة .

١٧٥ - بحوث ابن الهيثم عن خيالات المبصرات التى ترى فى المرايا المنحنية
لابن الهيثم بحوث مطولة فى تفصيل خيالات المبصرات فى المرايا السكرية والأسطوانية والمخروطية المحدبة منها والمقعرة يسن فيها من صفات الخيال التى نعى بها فى الوقت الحاضر ثلاثة أمور . أحدها بيان أكان الخيال مساوياً للمبصر أو مصغراً أو مكبراً ، وهو ما يعبر هو عنه بعظم الخيال . وثانيها بيان أكان الخيال معتدلاً أو مقلوباً ، وهو يعبر عن الاعتدال بالاستواء أحياناً وعن الانقلاب بالانتكاس فيقول عن الخيال المعتدل إنه مستوى وعن الخيال المقلوب إنه منكوس . وثالثها بيان أكان خيال المبصر المستوى مستوياً أو مقوساً وبيان أكان خيال المبصر المقوس مقوساً أو مستوياً ، وبيان أكان تحذب القوس فى الخيالات المقوسة بالنسبة إلى البصر بما يلى سطح المرأة أو فى الجانب الآخر منه . وهو قد تناول فى هذا ما يعبر عنه الآن بتشوه الصور . ومثل هذه البحوث التى تتسع إلى هذا الحد وتحيط بشتى هذه الأمور يعرض فيها حتما حالات تكون فيها الخيالات « تقديرية » كما نسميها الآن ، وحالات تكون فيها الخيالات « حقيقية » كما نسميها الآن . وإن كان ابن الهيثم لا ينص صراحة على التمييز بين نوعى الخيال الحقيقى والتقديرى ، فإننا نجد بحوثه تتضمن فعلاً المعنى الذى ينطوى عليه هذا التمييز . ونجدها تمتد إلى أبعد من مجرد تضمن هذا المعنى فهى تشمل تفصيل حالات الخيالات التى نسميها الآن « الحقيقية » وبيان نعمتها من العظم وغيره كما سنبين فيما بعد .

والطريقة التى عالج بها ابن الهيثم هذا الموضوع الذى تتعدد نواحيه وتشعب فروعه على هذه الصفة ، أساسها الفكرة التى تنطوى عليها القاعدة التى طبقها لتعيين خيال النقطة ، وهى كما تبيّن تنص على أن موضع خيال النقطة المبصرة هو النقطة التى يلقى عندها الشعاع المنعكس إلى البصر (أو امتداده) العمود الواقع من تلك النقطة على السطح العاكس . فاذا ماتعنت بهذه الكيفية

خيالات النقاط المختلفة التي يتكون منها المبصر ، تكون من مجموع هذه الخيالات خيال البصر جميعه

وطريقة ابن الهيثم هذه في تعيين خيال المبصر لا تختلف من حيث الجوهر عن الطريقة المتبعة في الوقت الحاضر في كتب الضوء المدرسية ، ولولا أن ابن الهيثم أطلقها أطلاقاً دون أن يراعى في تطبيقها أن تكون نقاط انعكاس الأشعة الواردة من نقاط المبصر المختلفة قريبة جداً من مواقع الأعمدة الخارجة من هذه النقاط على السطح العاكس ، ولولا أنه أيضاً تقيد في بحوثه بالناحية الشخصية . فكان أول ما يعنى به تعيين موضع البصر ، فيفرضه موجوداً في نقطة معينة ، ثم ينتقى من بين الأشعة التي لاحصر لها التي ترد إلى السطح العاكس من كل واحدة من نقاط المبصر الشعاع الذي يمر بعد انعكاسه بالنقطة المفروض فيها مركز البصر ، والنقطة التي يلقي فيها هذا الشعاع أو امتداده العمود الواقع على السطح من النقطة المبصرة التي يرد منها ، عدها على تصارييف الأحوال خيال النقطة المبصرة .

ونحن إذ نعرض لهذا القسم من بحوث ابن الهيثم نجد أنه أولاً تجاوز فيها الحد في تطبيق قاعدته ، وثانياً أنه تكلف فيها لزوم ما لا يلزم ، فقيّد نفسه بقيود كان في غنى عنها . فترتب على ذلك أمران أحدهما أن كثيراً من المعاني الطبيعية التي استخلصها من هذه البحوث إذا أطلقت إطلاقاً على الوجه الذي ذهب إليه صارت غير سليمة ولا صحيحة . والثاني أن البحوث نفسها من الناحية الهندسية صارت معقدة عسيرة ، وفرض البصر في نقطة معينة يتطلب البحث عن النقطة من السطح العاكس التي تتعاكس منها النقطتان النقطة المبصرة ومركز البصر . والبحث عن هذه النقطة من السطح التي هي نقطة الانعكاس عمل كما تبين هو من الناحية الهندسية عسير غير يسير . ثم أن فرض البصر موجوداً في نقطة معينة يعرض فيه حالات تنعكس فيها الأشعة الواردة من نقاط المبصر المختلفة إلى البصر ، وهو في وضعه المفروض ، في مستويات مختلفة ليست متطابقة . وشرح هذه الحالات بالدقة فضلاً عن تصورها ، يتطلب شيئاً غير قليل من الجهد والعناء .

ولكن مع كل ذلك إذا التزمنا في تفسير النتائج التي توصل اليها ابن الهيثم في بحوثه الحدود التي يصح فيها تطبيق قاعدته، واستبعدنا منها الأخطاء التي جره اليها تطبيق القاعدة فيما لا يصح تطبيقها فيه، وهي أخطاء سنجدتها بوجه عام ضيقة محصورة، الفينا قد استطاع في هذه البحوث الوصول إلى كثير من الحقائق المرتبطة بهذا الموضوع، واستطاع شرحها وبيانها، ووجدنا هذه البحوث بوجه عام تتضمن بيانا للكيفية التي بها يدرك البصر وهو في موضع معين صورة المبصر بالانعكاس عن المرايا التي ذكرها. وليست الطريقة التي جرى عليها في هذه البحوث مألوفة الآن، وإذن فإن لها في ذاتها قيمة تعليمية. وهذه البحوث في مجموعها حتى إذا أخذت على علاتها بما فيها من عيب أو نقص أو خطأ، أن هي إلا مرحلة في تاريخ علم الضوء قطع فيها هذا العلم شوطا في سبيل التقدم نحو الكمال، وبرز فيها ابن الهيثم يجاهد متفردا لاستخلاص الحقائق بما يكتشفها من جهالة وغموض جهادا عنيفا شاقا، ولكنه جهاد محمود مبرور لا تخلو قصته من متعة ولذة.

وسندين فيما يلي أمثلة من هذه البحوث وضروبا من الأحكام التي توصل اليها، تكفي للألمام بموقفه في جميع هذه الأمور.

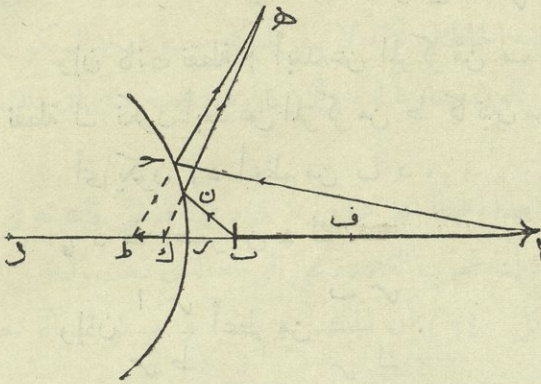
١٧٦ - بحوث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في

المرايا الكسرية المحدبة

(أولا) إذا كان المبصر على استقامة قطر من أقطار المرآة .
يقسم ابن الهيثم بحثه عن عظم خيالات المبصرات في المرايا الكسرية المحدبة قسمين يتناول في أحدهما (١) خيال المبصر إذا كان خطأ مستقيما يمتد على استقامة قطر من أقطار المرآة . وفي هذه الحالة إذا أخرج المستوى الذي يقع فيه المبصر المستقيم ومركز البصر إيا كان موضعه فإنه يقطع كرة المرآة على عظمية .
وليكن ١ ب المستقيم المبصر ٦ هـ مركز البصر ٦ د مركز الدائرة

بحوث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في المرايا الكرية المحدبة ٦٣١

العظيمة ولينعكس الشعاع ١ > من نقطة > إلى ه والشعاع ب ن من نقطة ن إلى ه .



(شكل ١٤٠)

نمد ه > على
استقامة حتى يقطع ١ د
على نقطة ولتكن ط
فتكون ط خيال ١ .
ونمد ه ن على
الاستقامة حتى يقطع ١ د
على نقطة ولتكن ك
فتكون ك خيال ب .

وإذن يكون ط ك خيال المبصر ١ ب .

وابن الهيثم يعضي بعد توضيح هذه الأمور إلى إثبات أن الخيال ط ك أصغر من المبصر ١ ب برهان هندسي، ولكنه يبنى هذا البرهان على قانونه (الذي أوردناه في فقرة ١٧٣) الذي ينص على أن نسبة بعد النقطة المضيئة عن مركز المرآة إلى بعد خيالها عن المركز كنسبة قسمة الواصل بين النقطة وخيالها بالمماس المرسوم عند نقطة الانعكاس . في حين أن اعتبار ط خيالاً للنقطة ١ ك خيالاً للنقطة ب يتطلب أن تكون نقطتا > و ن قريبتين جداً من قطب المرآة . وإذن يمكن اعتبار نسبة بعد النقطة المضيئة عن مركز المرآة إلى بعد خيالها عنه كنسبة قسمة الواصل بين النقطة وخيالها بسطح المرآة . فان أخذنا بهذا الاعتبار ورمزنا لقطب المرآة بالحرف م أصبح البرهان سهلاً وأكثر ملاءمة لما يقتضيه الأمر من ناحيته الطبيعية، وتظل متوافرة فيه جميع العناصر الأساسية في برهان ابن الهيثم الوارد في الأصول، وتوضح بسهولة الفكرة الأساسية فيه .

فما أن ط خيال ١ ، $\therefore \frac{د ١}{د ط} = \frac{١ م}{م ط}$

وبما أن ك خيال ب ، $\therefore \frac{ب د}{ب م} = \frac{د ك}{م ك}$

وإن كانت نقطة ا أبعد عن المركز من ب كما هو مبين في الشكل فإن نقطة ك تكون أبعد عن المركز من ط كما تبين من قبل (١) .
أى يكون ا د أعظم من ب د ،
و د ط أصغر من د ك .

وإذن $\frac{ا م}{م ط} = \frac{ب م}{م ك}$ أعظم من $\frac{ب م}{م ك}$.

نأخذ نقطه مثل ف على ا ب بحيث يكون

$$\frac{ف م}{م ط} = \frac{ب م}{م ك} \quad (١)$$

فالمستقيم ف م أصغر حتما من ا م ويتضح من (١) أن

$$\frac{ب م}{م ك} = \frac{ف م}{م ط} = \frac{ب م - ف م}{م ط - م ك}$$

$$\frac{ب م}{م ك} = \frac{ب م}{م ك} = \frac{ف م}{م ط} \quad \text{ولكن} \quad \frac{ب م}{م ك} = \frac{ب د}{د ك}$$

$$\frac{ف م}{م ط} = \frac{ب د}{د ك}$$

وبما أن ب د أعظم من د ك ،

$\therefore$ ف م أعظم من م ط ك .

وإذن ا ب أعظم كثيرا من ط ك .

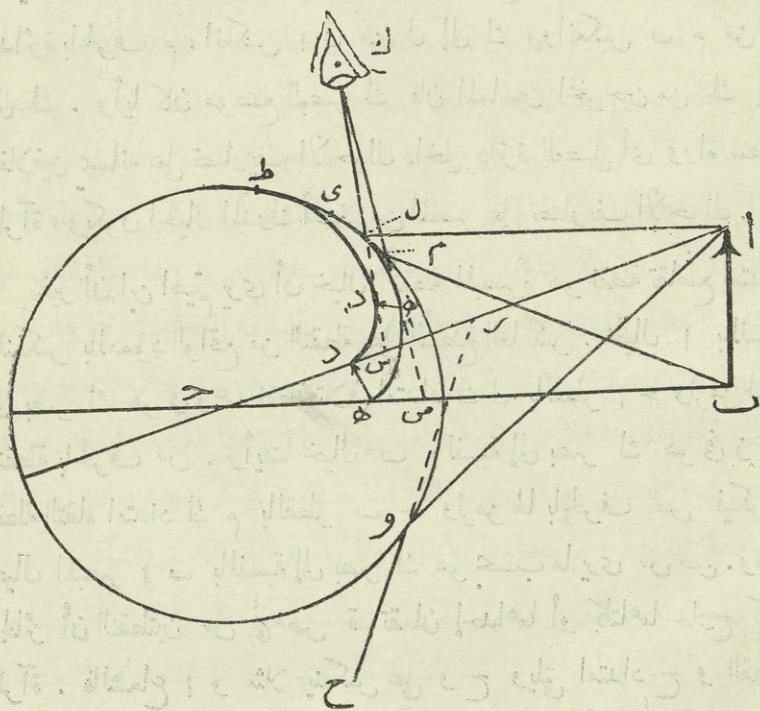
بمثل هذا البرهان أثبت ابن الهيثم أن خيال المبصر في هذه الحالة أصغر من المبصر نفسه .

(١) أنظر فقرة (٩٧) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(ثانياً) إذا كان المبصر يعترض قطر المرأة (١)

حكم ابن الهيثم في هذه الحالة إذا حمل على المعنى الذي يقصده لا يتفق والواقع، وهو أحد أحكامه الخاطئة، لأنه لا ينفي إمكان حدوث خيال يكون أعظم من المبصر نفسه أو يكون مساوياً له، وإن كان هو نفسه يرى أن ذلك لا يكون إلا نادراً.

وابن الهيثم لم يقع في هذا الخطأ اعتباراً وإنما جره إليه منطق قاعدته في تعيين خيال النقطة المبصرة إذا عممت القاعدة على الوجه الذي ذهب إليه .
فإذا فرضنا في (شكل ١٤١) أن الميصر ١ ب ، و مركز المرأة ح



ط د ، نصف الغلاف بالنسبة إلى نقطة ١ والمنحني ى ه ، ه نصف الغلاف بالنسبة إلى نقطة ب ، اتضح أن خيالي نقطتي ١ ٦ ب الحادثين عن انعكاس الأشعة المحورية هما نقطتا د ٦ ه على الترتيب . أما إذا فرض مركز البصر عند ك ورسمنا من نقطة ك المماس ك د ، للغلاف الأول والمماس ك ه ، للثاني كانت نقطتا د ٦ ه ، خيالي ١ ٦ ب (على الترتيب) اللذين يدركهما البصر في هذا الوضع وإذا أغفلنا التقوس الحادث في الخيال كان د ه ، خيال المبصر ١ ب . وإذا رمز لنقطة تقاطع المماس ك د ، بمحيط دائرة الفصل بالحرف ل ، ولنقطة تقاطع المماس ك ه ، بمحيط الدائرة بالحرف م ، انعكس ١ ل من ل إلى ك ، وانعكس ب م من م إلى ك . وأيا كان موضع البصر ك فإن المماسين الخارجين من ك إلى الغلافين مماسانه على تصارييف الأحوال داخل دائرة الفصل أى وراء سطح المرآة ، ويكون الخيال المدرك أصغر من المبصر على تصارييف الأحوال .

غير أن ابن الهيثم يرى أن خيال النقطة المبصرة هو نقطة تقاطع امتداد المنعكس بالعمود الواقع من النقطة على السطح العاكس . فخيال ١ بالنسبة إلى بصر ك هو في زعمه نقطة تلاقي امتداد ك ل بالقطر ١ ح ولرمز لهذه النقطة بالحرف س . وأيضاً خيال ب بالنسبة إلى بصر ك هو في زعمه نقطة التقاء امتداد ك م بالقطر ب ح ولرمز لها بالحرف ص فيكون خيال المبصر ١ ب بالنسبة إلى بصر ك هو بحسب ما يرى س ص . ومن الجائز أن النقطتين س ٦ ص قد تقعان إحداهما أو كليهما خارج كرة المرآة . فالشعاع ١ و مثلاً ينعكس على و ح ويلقى امتداد ح و القطر ١ ح على نقطة م تقع خارج دائرة الفصل ب ، فلا يمكن بادئ ذي بدء (لا سيما إذا تذكرنا أن مستوى انعكاس الضوء من ١ إلى البصر قد لا يكون هو نفسه مستوى انعكاس الضوء من ب إلى البصر) القطع بأن البعد بين النقطتين اللتين يعدهما ابن الهيثم خيالي ١ ٦ ب يكون أصغر من ١ ب نفسه على تصارييف الأحوال .

بحوث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في المرايا السكرية المحدبة ٦٣٥

هذا بيان مبسط للمعنى الذي يريده ابن الهيثم من قوله « فقد يمكن أن يكون خط ١ ب أعظم من خط د ه ، ويمكن أن يكون مساوياً له ويمكن أن يكون أصغر منه ، إلا أن تساوى خطي ١ ب ٦ د ه ، وزيادة د ه على ١ ب قليل نادر » (١) . ولكن يبقى بعد ذلك أن نتساءل هل من الممكن وقوع مثل هذه الأحوال النادرة التي يكون فيها البعد بين النقطتين اللتين يعدهما ابن الهيثم خيالي طرفي المبصر مساوياً لطول المبصر أو أعظم منه .

وابن الهيثم يواجه هذا السؤال ويمضي للإجابة عنه بالإيجاب ، فيثبت بالبرهان الهندسي أنه يحدث فعلاً أن ينعكس من طرفي مبصر لا يمتد على سمت قطر من أقطار المراة شعاعان يكون البعد بين نقطة التقاء امتداد أحدهما بالقطر المار بالطرف الوارد منه هذا الشعاع ، وبين نقطة التقاء امتداد الآخر بالقطر المار بالطرف الوارد منه ، يكون هذا البعد مساوياً للبعد بين طرفي المبصر أو أعظم منه . ويكون في الوقت نفسه الشعاعان المنعكسان ملتقيين في نقطة أمام سطح المراة . وهو في هذا يواجه مشكلة هندسية لم يتعرض لها ، كما يقول هو نفسه ، أحد من قبله ويعالجها ببرهان هندسي لم يسبقه إليه أحد . وبرهان ابن الهيثم طويل ومعقد (٢) وتترى فيه سلسلة خطوات هندسية محكمة التدبير تفضى في النهاية إلى النتيجة المذكورة . ولا نغالي إذا قلنا أن هذا البرهان في مجموعه إذا روعي كعمل هندسي مبتكر ، بعيد المنال لا يطيقه من لا ارتياض له على الأعمال الرياضية المعقدة ولا يقدر على إنجازها إلا واسع الحيلة عميق التفكير .

ولكن ابن الهيثم يريد بهذا البرهان الهندسي معنى طبعياً لا نوافقه عليه ، وهو أن البصر إذا كان مركزه النقطة التي يلتقي عندها الشعاعان المنعكسان

(١) و (٢١) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) و (٢٣) — و (٣٤) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

ويصدر بحثه هذا بقوله « وقد بقي أن نبين أنه قد يمكن أن يدرك البصر في المراة السكرية المحدبة مبصراً يكون قطر خياله مساوياً لقطره ومبصراً يكون قطر خياله أعظم من قطره ولا نعرف احداً من المتقدمين ولا المتأخرين بين هذا المعنى ولا وجدناه في شيء من الكتب ونحن نبينه الآن » و (٢٣) من مخطوط المقالة السادسة .

المذكوران أدرك البصر الخيال مساوياً للبصر أو أعظم منه . لأنه وإن أدرك البصر خيالي طرفي المبصر على امتداد هذين الشعاعين فإن موضع كل من الخيالين ليس نقطة الالتقاء التي يعينها ابن الهيثم وإنما يكون موضعه في هذه الحالة أيضاً داخل كرة المرأة وعلى الغلاف الذي تمسه امتدادات الأشعة المنعكسة فلا يستقيم الحكم الذي قرره بمعناه الطبيعي المقصود . ولذلك ضربنا صفحاً عن ذكر برهانه الهندسي على هذا الأمر وتفصيله في هذا الكتاب .

١٧٧ -- مفرجات ابن الهيثم لجوهر عن أشكال الخيالات التي ترى في

السكرية المحررة

وإن كان ابن الهيثم قد بنى بحوثه عن أشكال خيالات المبصرات في المرايا السكرية المحررة على أساس الفكرة نفسها التي تقدم ذكرها فإنه قد استعان في هذه البحوث ببعض قضايا هندسية عن البرهان عليها أولاً وجعلها توطئة إلى تلك البحوث . وهذه المقدمات أربع منها ثلاث من القضايا الهندسية المألوفة وهي تتعلق بموضوع التقسيم التوافقي ولكنه لا يستعمل في أقواله فيها هذا الاصطلاح ولا الاصطلاحات الأخرى الشائعة الآن « كالخزعة التوافقية » و « القاطع » . وسنكتفي نحن هنا بذكر هذه المقدمات الثلاث دون إيراد براهين ابن الهيثم عليها فهي لا تختلف في جوهرها عن البراهين المألوفة في الوقت الحاضر . ونورد فيما يلي المقدمتين الأولى والثانية منها بالفاظ ابن الهيثم نفسه .

(الأولى) « ان كل خط مستقيم يقسم بثلاثة أقسام حتى تكون نسبة القسم الأول إلى القسم الثاني كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث ، ونخرج من نقطتي القسمة ومن نهاية الخط ثلاثة خطوط تلتقي على نقطة واحدة ، فإن كل خط يخرج من طرف الخط المقسوم يقطع الخطوط الثلاثة وإنه ينقسم بثلاثة أقسام تكون نسبة القسم الأول منها إلى القسم الثاني كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث ^(١) » .

(الثانية) « وأيضاً فإنه يلزم عكس ذلك وهو إنه إذا كان خطان مستقيمان متلاقيان على نقطة، وكان كل واحد من الخطين مقسوماً بثلاثة أقسام وكانت نسبة القسم الأول من أحد الخطين إلى القسم الثاني كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث، وكانت نسبة القسم الأول من الخط الآخر إلى القسم الثاني منه كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث، [وكانت نسبة القسم] ^(١). ولم تكن الخطوط الواصلة بين (نقط) ^(٢) القسمة متوازية، فإن الخطوط الثلاثة الواصلة بين نقط القسمة إذا خرجت على استقامة (التقت) ^(٣) على نقطة واحدة ^(٤) ».

والمقدمة الثالثة تفيد إنه إذا كان خطان مستقيمان متلاقيان على نقطة وكان كل منهما مقسوماً بثلاثة أقسام كما ذكر وكان خطان من الخطوط الثلاثة الواصلة بين نقاط القسمة متوازيين كان الثالث موازياً لهما وكل خط يخرج من نقطة تلاقي المستقيمين ويقطع المستقيمتين الواصلة بين نقاط القسمة فإنه ينقسم ثلاثة أقسام كما ذكر ^(٤).

أما المقدمة الباقية من الأربع فلها صبغة طبيعية. وهو يبدأ بها، في ذكر هذه المقدمات وهي بالفاظه.

« إن كل نقطتين يكون بعدهما عن مركز المرأة الكرية المحدبة متساويين ويكون بعدهما عن مركز البصر مختلفين إذا أدر كهما البصر في هذه المرأة فإن خيال النقطة التي هي أبعد عن مركز البصر يكون أبعد عن مركز المرأة من خيال النقطة التي هي أقرب إلى مركز البصر. وأن النقطة التي هي نهاية المماس من القطر الخارج من مركز المرأة إلى النقطة التي هي أبعد عن مركز البصر، يكون أيضاً أبعد عن مركز المرأة من النقطة التي هي نهاية المماس من القطر الخارج من مركز المرأة إلى النقطة التي هي أقرب إلى مركز البصر، كان مركز البصر في

(١) العبارة التي بين القوسين وردت في الأصل.

(٢) الوارد في الأصل « نقطة ».

(٣) الوارد في الأصل « الثقب ».

(٤) و (٣٨) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

(٥) و (٣٩) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

مقدمات ابن الهيثم لبعوثه عن أشكال الخيالات التي ترى في السكينة المحدبة ٦٣٩

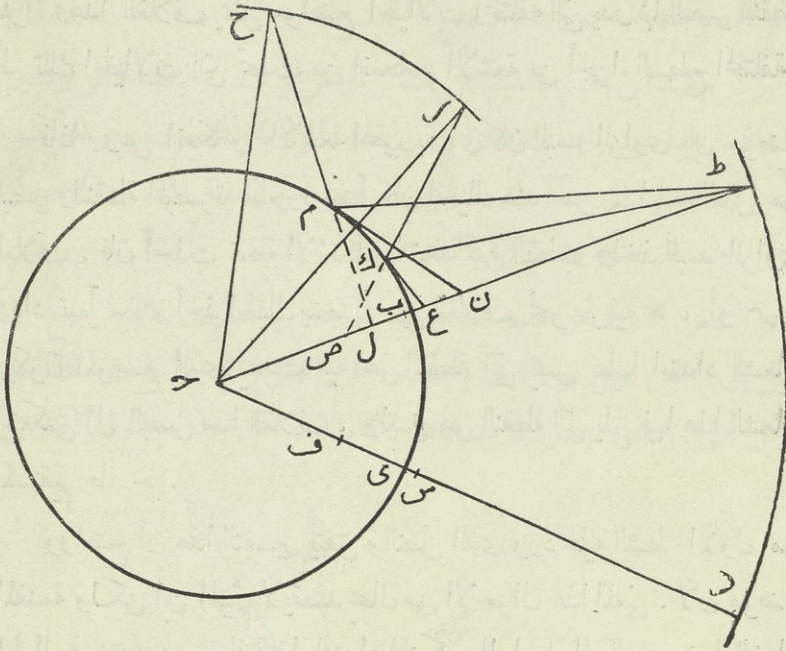
دوران ص د ه سطحاً منحنياً يكون هو الغلاف لجميع الأشعة المنعكسة عن سطح المرأة وهذا الغلاف يمثل مواضع الخيالات المختلفة التي يدركها البصر للنقطة ط تلك الخيالات التي تحدث من انعكاس الأشعة من أجزاء السطح المختلفة .

فإذا روعي انعكاس الأشعة المحورية أى كان البعد الزاوى بين موضع البصر والنقطة المبصرة صغيراً جداً كان الخيال عند ص ، الجزء الناقص من الغلاف . فان أخذت نقطة الانعكاس تبعد عن القطب وأخذ البعد الزاوى يزداد تبعاً لذلك أخذ الخيال يتحرك على الغلاف نحو طرفيه ه ، أو ص ، ويكون الموضع الذي يحدث فيه هو النقطة التي يمس عليها امتداد الشعاع المنعكس الى البصر هذا الغلاف ، وليس هو النقطة التي يلتقي فيها هذا الشعاع المستقيم ط > .

وواضح أن هذا التفسير يتفق والنص الذي ورد عليه الشطر الأول من المقدمة ولكن ابن الهيثم لا يقصد بحال من الأحوال هذا المعنى . لأن موضع الخيال في زعمه هو نقطة التقاء امتداد المنعكس الواصل الى العين وخط الخيال ط > ، والخيال وإن كان يزداد بعداً عن المركز تبعاً لزيادة البعد الزاوى للبصر عن النقطة المبصرة فانه في زعمه لا ينفك ملازماً المستقيم ط > . وبرهان ابن الهيثم على هذا المعنى^(١) جدير بالذكر في ذاته ، لأنه عام غير مقصور على الحالة التي يتغير فيها البعد الزاوى بين مركز البصر والنقطة مع بقاء مركز البصر في مستوى واحد كمستوى شكل (١٤٢) مثلاً . وهو فوق ذلك مرجع يرجع إليه ابن الهيثم في استنباط بعض أحكامه في أشكال الخيال مما سنتناوله بالذكر فيما بعد . ونورد البرهان هنا بشيء من التعديل يجعله أكثر وضوحاً .

فلتكن النقطتان المبصرتان د و ط (شكل ١٤٣) ومركز المرأة > وهما متساويتا البعد عن المركز ، وليقطع مستوى > ط د سطح المرأة على الدائرة المبينة بالشكل ، وليلق > ط محيطها على نقطة ب ، وليكن مركز

البصر في نقطة خارج مستوى الشكل وهي ليست مبينه فيه ولنرمز لها بالحرف هـ .



(شكل ١٤٣)

ولتكن زاوية هـ ط أعظم من زاوية هـ د . نرسم في مستوى الشكل المستقيمين ح هـ ح هـ بحيث يكونان في جهة واحدة من ط هـ وبحيث تكون

$$\angle \text{هـ ط ح} = \angle \text{ط هـ د} ,$$

$$\angle \text{ط هـ ح} = \angle \text{هـ د ح} ,$$

ولنجعل $\angle \text{ح} = \angle \text{هـ} = \angle \text{م}$ ،

ولنعكس النقطتان ط هـ م من ك .

يمكن بمثل البرهان الوارد في فقرة (٩٥) إثبات أن نقطة انعكاس ط إلى ح هي نقطة مثل م بعدها عن ب أعظم من بعد نقطة انعكاس ط إلى م (ولتكن ك) عنها كما هو مبين بالشكل .

نرسم المماس الذي يمس الدائرة على ك ، وليلق ط هـ على ع ، وهي تقع بين ب ط . ونرسم المماس الذي يمس الدائرة على م . فهو يلقي

ط > على نقطة مثل ن تقع بين ع و ط . ويكون > ن أعظم من > ع .
وليقطع امتداد م ر ك المستقيم ط > على ص ، وليقطع امتداد
ح م هذا المستقيم على ل .

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}} \text{ أو } \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}}$$

$$\frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}}$$

$$\text{و} \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} \text{ أو } \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}}$$

وبما أن ط > ع أعظم من ط > ن

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}}$$

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}}$$

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}}$$

$$\text{وبما أن } \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}}$$

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ط} > \text{ع}}$$

فنقطة ل حتما تقع بين نقطتي ص و ن كما هو مبين بالشكل .

ويكون > ل أعظم من > ص .

فاذا توهمت النقطة ه المفروضة خارج مستوى الشكل ، وتوهم المثلث

ه > ط وقوبل بالمثلث ح > ط كان

$$\text{ه} > \text{ط} = \text{ح} > \text{ط} \text{ و } \text{ه} > \text{ط} = \text{ح} > \text{ط} \text{ و } \text{ه} > \text{ط} = \text{ح} > \text{ط}$$

فالمثلثان متطابقان .

ومستوى هـ - ط يلقى كرة المرأة على دائرة عظيمة مركزها > شبيهة بالدائرة المبينة فى الشكل . ويكون وضع النقطتين ط و هـ بالنسبة إليها كوضع النقطتين ط و ح بالنسبة إلى الدائرة المبينة فى الشكل . فتعكس ط إلى هـ من نقطة على محيط تلك الدائرة هى النظيرة لنقطة م التى على محيط المبينة بالشكل . ويكون بعدها عن ب كبعد م عن ب . ويقضى التماثل بأن يكون امتداد الواصل من هـ إلى نقطة الانعكاس من محيط تلك الدائرة يلقى ط - على نقطة ل نفسها ، والمماس يلقاه على نقطة ن نفسها .

كذلك فإن مثلثى هـ - د - م و ط - م - ب متطابقان أيضاً . ومستوى مثلث هـ - د يلقى كرة المرأة على عظيمة مركزها > هى أيضاً ، شبيهة بالدائرة المبينة بالشكل . ويكون وضع النقطتين د و هـ بالنسبة إليها كوضع النقطتين ط و م بالنسبة إلى الدائرة المبينة فى الشكل . فتعكس نقطة د إلى هـ من نقطة على محيطها هى النظيرة لنقطة انعكاس ط إلى م وهى نقطة ك ، التى على محيط المبينة فى الشكل . وإذا رمزنا لنقطة تقاطع د - ح بمحيط الدائرة المبينة فى الشكل بالحرف ي كانت هى نفسها نقطة تقاطع د - ح بمحيط تلك العظيمة ويكون بعد نقطة انعكاس د إلى هـ ، عن نقطة ي كبعد ك عن نقطة ب ، ويقضى التماثل فى هذه الحالة أيضاً بأن يكون امتداد المستقيم الواصل من هـ إلى نقطة الانعكاس ، يلقى - د على نقطة مثل ف يكون بعدها من - مساوياً - ص وأن يكون المماس من نقطة الانعكاس يلقاه على نقطة مثل س يكون بعدها عن - مساوياً - ع .

واذن يثبت أن

- ل أعظم من - ف ،

و - ن أعظم من - س ،

وهو المطلوب .

ولا اعتراض على هذه النتيجة ولا على البرهان المؤدى إليها ويجدر بنا أن نذكر مرة أخرى أن الاعتراض انما يقوم على اعتبار نقطة ل خيال ط

بالنسبة الى البصر الموجود عنده واعتبار نقطة ف خيال د بالنسبة اليه ، لأن ذلك لا يصح إذا كان البعد الزاوى بين البصر وبين كل من النقطتين ط و د كبيراً .

١٧٨ - بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات السكرية المحدبة

ويمضى ابن الهيثم إلى شرح أشكال خيالات المبصرات في حالات وأوضاع مختلفة ، ويخرج من بحوثه بحكم إجمالى يتلخص فى أن خيالات المبصرات المستقيمة فى المرايا السكرية المحدبة مقوسة ، إلا إذا كان المبصر خطاً مستقيماً على امتداد قطر من أقطار المرآة . ولما كانت نتائجها كلها مستنبطة من قاعدته فى تعيين خيال النقطة فليس لها فى الواقع صفة التعميم الذى ذهب إليه . ففى صحيحة على شرط هو أن يقتصر فى مراعاة الانعكاس على الأشعة المحورية . أو بتعبير آخر أن يكون طرفا المبصر قريبين جداً مما نسميه الآن محور المرآة وأن لا يتجاوز اتساع سطح المرآة جزءاً صغيراً من سطح كرة المرآة يحيط بقطبها .

واستقامة الخيال إذا كان المبصر خطاً مستقيماً يمتد على سمت قطر من أقطار المرآة نتيجة تتج راساً من قاعدته إذ أن امتداد القطر هو خط الخيال لجميع نقاط المبصر فيكون الخيال كما اتضح فى فقرة (١٧٦) مستقيماً أصغر من المبصر نفسه .

وهو لبيان تقوس خيالات المبصرات المستقيمة التى تعترض قطر المرآة يتناول بالبحث بضع حالات متتالية ينتقل بتتبعها بعد خطوة إلى الغايات التى يريد بها .

وستتناول فيما يلى بالشرح أهم هذه الحالات والتعليق عليها .

١٧٩ - بحوث ابن الهيثم عن أشكال الخيالات اذا كان المبصر قوساً من

دائرة مركزها مركز المرآة

تتناول هنا بحوث ابن الهيثم عن شكل الخيال إذا كان المبصر قوساً من دائرة

$$\frac{\text{ك} \text{ ح}}{\text{م} \text{ ح}} = \frac{\text{م} \text{ ح}}{\text{ط} \text{ م}} = \frac{\text{ل} \text{ ح}}{\text{ح} \text{ ل}}$$

اتضح أن

ونظراً لأن أنصاف الأقطار متساوية

$$\text{ك} \text{ ح} = \text{م} \text{ ح} = \text{ل} \text{ ح}.$$

وإذن تقع نقاط الخيال ك م ل على قوس من دائرة مركزها ح .

فيكون خيال المبصر ا ه ب قوساً محدبة ك م ل حديتها تلي سطح المرأة .

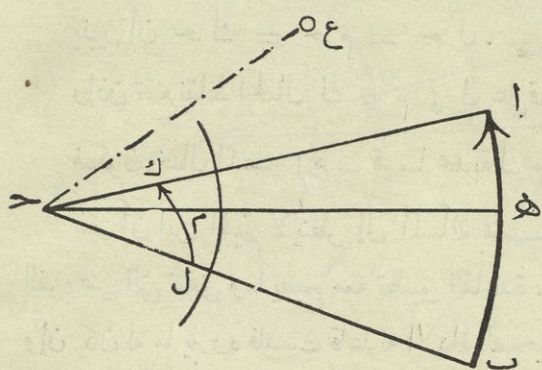
غير أن ابن الهيثم لا ينظر إلى المسألة بمثل هذه السهولة التي تتيحها الفروض التي تتفق وما يصح معه تطبيق القاعدة ، بل نراه يعقد البحث تعقيداً وإن كان له ما يبرره فليست قاعدته الاداة الصحيحة التي تصلح له . فهو على حسب عاداته يفرض البصر موجوداً في نقطة ويجعلها خارج مستوى الشكل ، ولتوهمها عند د . ويصلها بمركز المرأة ويعتبر أولاً الحالة التي يكون فيها الواصل د ح عموداً على مستوى الشكل ففي هذه الحالة تكون الأبعاد الزاوية بين مركز البصر وبين جميع نقاط المبصر واحدة فتكون خيالات هذه النقاط متساوية الأبعاد عن مركز المرأة كما اتضح في المقدمات .

ثم يراعى الحالة التي لا يكون فيها د ح عموداً على مستوى الشكل ، حيث لا تكون الأبعاد الزاوية متساوية ويطلب^(١) في شرحها . وتتلخص الفكرة الأساسية فيما يأتي :

إذا أسقطنا من نقطة د ، المتوهمه عموداً على مستوى الشكل فهو يلقاه في نقطة ولتكن ع شكل (١٤٥) فالزاوية المحصورة بين د ح ع هي أصغر الزوايا المحصورة بين د ح وبين أى مستقيم آخر في مستوى الشكل يخرج من نقطة د .

فاذا فرضنا المبصر ا ه ب في جهة واحدة من ح ع سواء كان ح ع لا يلقى ا ب كما هو مبين بالشكل أو يلقاه على طرفه ا دون أن

يقطعه اتضح أن أصغر نقاط α ب بعداً زاوياً عن δ هي نقطة α ، وأعظمها بعداً زاوياً هي نقطة β ، وأية نقطة مثل γ واقعة بين α و β يكون بعدها الزاوي عن δ ، أكبر كلما كانت أبعد عن α وأقرب إلى β . فإن طبقت مقدمته على الوجه الذي



(شكل ١٤٥)

يقول به كان خيال كل نقطة من α ب بالنسبة إلى البصر الذي مركزه δ واقعاً على الواصل بين النقطة وبين المركز γ وأقرب الخيالات جميعها

إلى المركز خيال α وأبعدها جميعها خيال β و خيال النقطة المتوسطة بين α و β يكون بعده متوسطاً بين هذين البعدين . ومنه يستنبط أن خيال α هـ ب يكون مقوساً كقوس α م ل ولا تكون نقاط الخيال متساوية الأبعاد عن المركز .

أما إن لقي γ ع المبصر α ب فقسمه قسمين فإن خيال كل قسم منهما على حدته يكون محدباً و خيال نقطة القسمة يكون أقرب نقاط الخيال إلى مركز المرآة .

١٨٠ - تعليل على طريقة ابن الهيثم في بحوثه عن أسطال الخيال المقوس

وابن الهيثم في هذا التحليل يحاول أن يتناول البحث في الموضوع على وجه عام أعم من وجهة النظر التي قدمنا بها في صدر الفقرة السابقة ، ولكن الوسيلة التي استعان بها ناقصة لا توصل إلى النتيجة المضبوطة على الوجه الصحيح الكامل . وإن كانت في الوقت نفسه تبين أن القوس α م ل (شكل ١٤٥) التي يعدها خيالاً للقوس α هـ ب ليست قوساً من دائرة وليست نقاطها متساوية الأبعاد عن

مرکز المرأة، أي تبين أن الخيال لا يحتفظ بصورة المبصر على ما هي عليه في الواقع. وابن الهيثم يمس في هذه البحوث موضوع تشوه الخيالات من جراء انعكاس الأشعة من أجزاء من السطح بعيدة عن مواقع الأعمدة الواقعة على السطح من النقاط المبصرة الصادرة منها تلك الأشعة. والأشعة التي من هذا القبيل هي التي يتكون منها ما يعبر عنه الآن بالحزمة غير المحورية. وهي بعد انعكاسها عن السطح الكروي تنعكس على هيئة حزمة «لا نقطية» مهما بلغ من الصغر مساحة الجزء الذي تنعكس عنه. فخيال أية نقطة مضئية يدرك بانعكاس هذه الأشعة غير المحورية لا يكون نقطة. وابن الهيثم لا يراعي علاقة هذا الأمر بالخيال في هذه البحوث ولكنه يعالج فعلاً شرح حالات، الانعكاس فيها هو انعكاس حزم غير محورية. وخاصة اللانقطية فيما ينعكس من الحزم غير المحورية أمر كان ابن الهيثم يعلمه بل هو شرحه وبينه وطبقه وله كل الفضل في كشفه كما أوضحنا من قبل.

ولابن الهيثم في نظرنا بعض العذر في العناية بنقطة التقاء الشعاع المنعكس إلى البصر (أو امتداده) بالقطر المار بالنقطة المبصرة وإن لم يكن محققاً في اعتبار تلك النقطة دائماً موضع الخيال. فمن المعلوم أن الأشعة التي تنعكس على هيئة حزمة لا نقطية عن السطح الكروي تمر هي أو امتداداتها أولاً بخط يسمى الخط البؤري الأول، ثم بخط آخر يقع على سمت القطر المار بالنقطة المبصرة يسمى الخط البؤري الثاني. والشعاع المنعكس الواصل إلى البصر يمثل كما أشرنا من قبل محور مخروط الأشعة التي ترى به العين خيال النقطة. فالنقطة التي يلتقي عندها هذا الشعاع أو امتداده القطر هي موضع النقطة المتوسطة من الخط الثاني. ولما كان مخروط الأشعة التي يقع على العين ضيقاً جداً كان امتداد الخط البؤري على القطر صغيراً جداً. فابن الهيثم إذ يعنى بتعيين هذه النقطة يعنى من وجهة نظرنا الآن لا بتعيين موضع الخيال كما يقول وإنما بتعيين موضع الخط البؤري الثاني. وليس بضاره أننا في دراستنا في الوقت الحاضر نعنى بتعيين بعده عن نقطة الانعكاس من السطح، لأن ذلك أنسب

خيال المبصر المستقيم الذي يعترض الكرية المحدية ولا يلقى امتداده أو يماس سطحها ٦٤٩

وإن كانت من الناحية الوصفية لا تختلف عما يقوله ابن الهيثم فإن هناك في الحقيقة وجوه اختلاف .

أولاً — أن القوس ن ف ق ليست هي القوس ك م ل التي كل نقطة منها هي نقطة التقاء امتداد المنعكس إلى العين بالواصل من المركز إلى النقطة المبصرة كما زعم ابن الهيثم .

ثانياً — أن خيال أية نقطة من المبصر مثل ١ ليست نقطة مفردة مثل ن أو مثل ك كما يزعم ابن الهيثم .

ثالثاً — أن الخيال ن ف ق وإن كان قوساً في مستوى دائرة ١ ه ب فإنه لو كان مركز البصر خارجاً عن مستوى هذه الدائرة فإن خيال كل نقطة من المبصر يمكن اعتباره عند النقطة التي يمس عليها الخارج من مركز البصر السطح الغلافي للأشعة المنعكسة الواردة قبل الانعكاس من تلك النقطة المبصرة . والسطح الغلافي بالنسبة لنقطة ١ مثلاً هو الحادث من دوران قوسها الغلافي المبين في الشكل حول ١ > دورة تامة . وهو بالنسبة لنقطة ه هو الحادث من دوران قوسها الغلافي المبين في الشكل حول ه > دورة تامة .

وهكذا . فنقاط التماس لا تقع في مثل هذه الحالة في مستوى ١ ه ب . في حين أن قوس ك م ل وهي خيال ١ ه ب في زعم ابن الهيثم تقع دائماً في مستوى دائرة ١ ه ب .

هذا بإيجاز بيان للأخطاء التي وقع فيها ومصدرها جميعاً تطبيق قاعدته المحدودة تطبيقاً عاماً .

١٨١ — بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي

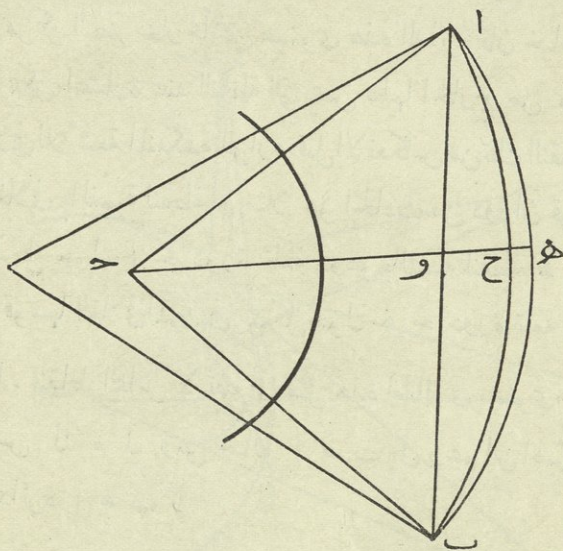
يعترض المرأة الكرية المحدية ولا يلقى امتداده أو يماس سطحها

اتضح مما سبق كيف بين ابن الهيثم أن المبصر إذا كان قوساً من دائرة مركزها مركز المرأة يكون خياله قوساً محدبة حديتها تلي سطح المرأة ، وقد سبق

أيضاً أنه يبيّن أن النقطة المبصرة كلها زادت قرباً إلى سطح المرآة زاد خيالها بعداً عن مركزها .

وهو يستنبط من هاتين القضيتين أشكال خيالات بعض المبصرات الأخرى كالقوس من الدائرة التي يمر مستواها بمركز كرة المرآة ويكون مركزها من وراء مركز الكرة ، أو كالمستقيم الذي يكون طرفاه على بعدين متساويين من مركز المرآة . أو إن لم يكن كذلك لا يلقي امتداده سطح المرآة ولا يماسه . وطريقته في بيان هذه الحالات فكرتها الأساسية واحدة .

فلنفرض المبصر مستقيماً كالمستقيم ١ ب (شكل ١٤٧) واقعاً في مستوى



(شكل ١٤٧)

الشكل ومركز المرآة ج وبعدي طرفي المبصر ١ ب عن المركز متساويين ولنخرج الدائرة التي مركزها ج ونصف قطرها ج ا ، فمحيطها يمر بنقطة ب . فان أخذنا أية نقطة مثل ه على قوسها ١ ب ووصلنا ه ح فانه يلقي أ ب على نقطة وتكن و .

ولما كانت نقطة ه أبعد عن سطح المرآة من و فان خيال نقطة و أبعد عن مركز المرآة من خيال ه . ولما كان خيال القوس ١ ه ب قوساً محدبة

خيال المبصر المستقيم الذي يعترض الكرية المحدبة ويلقى امتداده سطحها أو يماسه ٦٥١

حَدَبُهَا تَلَى سَطْحَ الْمَرَاةِ ، اتَّضَحَ أَنَّ خِيَالَ الْمُسْتَقِيمِ ١ هـ ب قوس محدبة ولكنها أشدَّ تحدباً من خيال ١ هـ ب وحَدَبُهَا أَيْضاً تَلَى سَطْحَ الْمَرَاةِ . وَمِنْهُ يَتَّضِحُ أَيْضاً أَنَّ خِيَالَ الْجُزْءِ ، ١ و ، مِنَ الْمُسْتَقِيمِ ١ ب ، قوس محدبة تلتقي عند أحد طرفيها مع القوس التي هي خيال ١ هـ ، وطرفها الآخر أبعد عن مركز المرأة من خيال هـ .

كذلك إذا فرضنا أن المبصر قوس في مستوى الشكل كقوس ١ ح ب من دائرة مركزها خلف مركز كرة المرأة ، أمكن من مركز الكرة ح إخراج مستقيمين ح ١ ٦ و ح ب متساويين ينتهيان إلى محيطها . فإذا رسمت الدائرة التي مركزها ح ونصف قطرها ج ١ وأخرجنا المستقيم ح ح حتى يقطع محيطها على هـ ، اتضح بالبرهان نفسه أن خيال القوس ١ ح ب تكون قوساً محدبة حَدَبُهَا تَلَى سَطْحَ الْمَرَاةِ ، وتكون أشدَّ تحدباً من خيال ١ هـ ب ولكنها أقلَّ تحدباً من خيال المستقيم ١ و ب .

بمثل هذا البرهان (١) بين ابن الهيثم فعلاً هذه الأمور . والبرهان سليم لا شبهة فيه مادامت مقدمته أو أصله سليماً .

١٨٢ - بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي

يعترض المرأة الكرية المحرّبة ويلقى امتداده سطحها أو يماسه

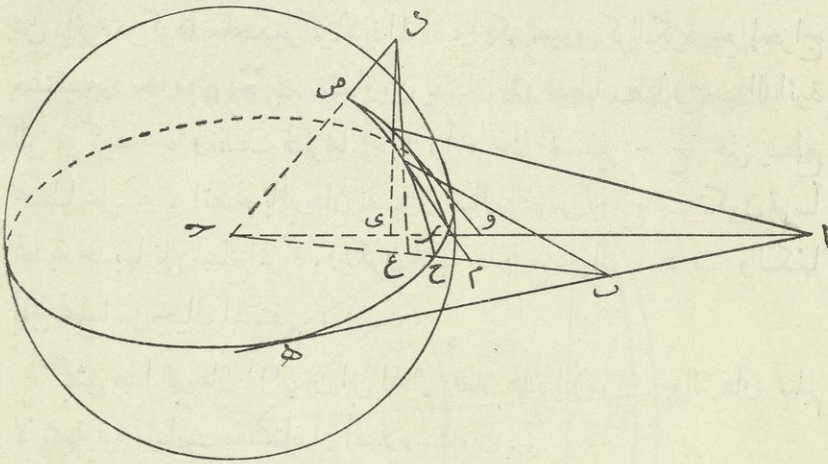
طريقة ابن الهيثم في معالجة هذه الحالة وشرحها (٢) طريقة نعرضها فيما يلي ملتزمين رموزه في البرهان وموضحين ذلك بشكلين لتبيان ما أراد .

فليكن مركز المرأة ح (شكل ١٤٨) وليكن ١ ب جزءاً من المبصر المستقيم وليكن المبصر ممتداً من جهة ب بحيث يلقي سطح المرأة أو يماسه على نقطة هـ . وليكن د مركز البصر . وليلق ١ ح سطح المرأة على م ، وليلق د ح سطحها على ص . فنقطة ١ تنعكس إلى د في مستوى ١ ح د ،

(١) و (٤٥) و (٤٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) و (٤٧) و (٥١) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

ونقطة الانعكاس تكون على محيط الدائرة العظيمة التي يليق عليها هذا المستوى سطح المرآة وتقع على قوس منها طرفاها نقطتا Γ و Δ . والمماس من نقطة الانعكاس للقوس المذكورة في المستوى المذكور يليق Γ على نقطة ولتكن Θ وفيما بين Γ و Δ . وامتداد المنعكس إلى Δ يليق Γ على نقطة ولتكن Σ تكون هي خيال Γ بالنسبة إلى البصر Δ .



(شكل ١٤٨)

وبالمثل إذا رمز لنقطة التقاء Γ بسطح المرآة بالحرف Δ فنقطة Δ تنعكس إلى Δ في مستوى Γ ، وتقع نقطة الانعكاس على القوس Δ من محيط العظيمة التي يليق عليها هذا المستوى سطح المرآة . والمماس لهذه القوس من نقطة الانعكاس في المستوى المذكور يليق Δ على نقطة ولتكن Θ فيما بين Γ و Δ ، كما أن امتداد المنعكس يلقاه على نقطة ولتكن Σ ، تكون هي خيال Γ بالنسبة إلى البصر Δ .

فاذا أخرج مستوى لخطين Γ و Δ فهو يقطع سطح المرآة على عظيمة ولتكن هي الدائرة المبينة بشكل (١٤٩) ، ولتكن نقطة Θ هي نهاية المماس من نقطة انعكاس Δ إلى Δ . فاذا أخرج من نقطة Θ مماساً للدائرة يماسها من جهة Θ على نقطة ولتكن Φ ، فامتداد Φ من جهة Θ يليق

خيال المبصر المستقيم الذى يعترض الكرية المحدبة ويلقى امتداده سطحها أو عيانه ٦٥٣

حتمًا ١ - على نقطة ولتكن س تقع فيما بين ٦١ م . ثم نخرج نصف القطر - ش من جهة ه بحيث تكون

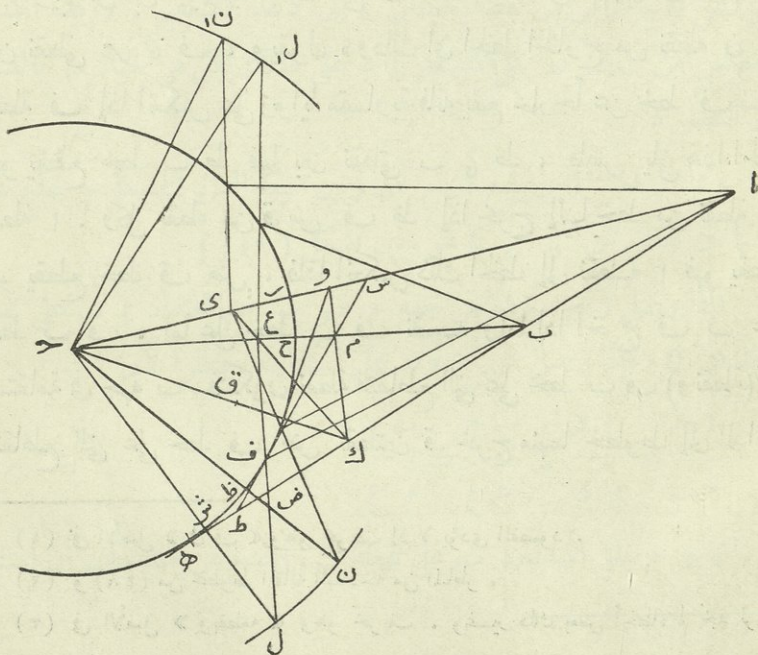
$\triangleright \succ \cup = \text{ش} \succ \cup \triangleright$

ونخرج = ش إلى ل بحيث يكون

$$\cdot \gamma = \gamma$$

فالقوس ح ش من هذه الدائرة تساوى القوس ح ص (شكل ١٤٨)
من العظمة الواقعة فى مستوى ب ح د . ونقطة ل فى مستوى ب ح ل
هى النظيرة لنقطة د فى مستوى ب ح د ، وخط ب ح هو هو فى الحالتين ،
ونقطة م هى النهاية المشتركة للماسين ، فقوس ح ف من دائرة ح ف ش
تساوى القوس المحدودة بنقطة ح من أحد طرفيها ونقطة انعكاس ب إلى د
من طرفها الآخر . وإذن تكون نقطة ف هى نقطة انعكاس ب إلى ل .

وأيضاً فإن الأقواس ص مر (شكل ١٤٨) ٦ مر ح ٦ ح ص
هي أقواس متقاطعة من ثلاث دوائر عظمى في سطح الكرة ، فمجموع طول
أي قوسين منها يكون أعظم من طول الثالثة .



(شکل ۱۴۹)

وبما أن القوس ح ش (شكل ١٤٩) تساوى القوس ح ص (شكل ١٤٨) تكون القوس مر ش (شكل ١٤٩) أعظم من قوس ص مر (شكل ١٤٨) .
 فاذا أخرج نصف القطر > ظ (شكل ١٤٩) من جهة ه أيضاً بحيث تكون

$$\angle ١ > \angle ٢ = \angle ٣ > \angle ٤ ،$$

فإن نقطة ظ تقع حتماً بين نقطتي ح و ش كما هو مبين بشكل (١٤٩) .
 ولنخرج > ظ إلى ن بحيث يكون

$$\angle ن > \angle ل = \angle د > \angle د ،$$

ويقول ابن الهيثم بلفظه « فالدائرة التي تدار على مركز > ويبعد > ل تمر بنقطة ن ويكون خط (ن ف) ^(١) في داخل تلك الدائرة . فخط > ن يقطع خط ل ف ، إذا كانت نقطة ظ فيما بين نقطتي ف و ش . فليقطع خط > ن خط ل ف على نقطة ض » ^(٢) .

ويبرهن ابن الهيثم بعد ذلك على أن نقطة انعكاس ١ إلى ن تقع حتماً بين نقطتي مر و ف ، ويقول « وذلك أن الخط الخارج من نقطة ن إلى نقطة ف إذا انعكس على زوايا متساوية فإنه يقع خارجاً عن خط ف ب ، فهو يقطع خط ب ط فيما بين نقطتي ب و ط ، فليس يلقى هذا الخط نقطة ١ . وكل نقطة من قوس ف ظ إذا خرج إليها خط من نقطة ن فهو يقطع خط ف ض ، فاذا انعكس ذلك الخط إلى نقطة ١ فهو يقطع خط ب ف ، إما على خط ب ف نفسه وإما إذا أخرج ف ب على استقامة في جهة ب . فتكون نقطة التقاطع التي على خط ب ف (ونقطة) ^(٣) التقاطع التي على خط ف ض نقطتين - خرج منهما خطوط إلى الدائرة

(١) في الأصل « ل ف » وهو تحريف إذ لا يؤدي المقصود .

(٢) و (٤٨) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٣) في الأصل « وبقطعه » وهو تحريف . وغير ذلك بعض أخطاء لم نجد لزوماً

للاشارة إليها .

خيال المبصر المستقيم الذى يعترض السكريد المحدبة ويلقى امتداده سطحها أو يماسه ٦٥٥

وانعكست على زوايا متساوية من نقطتين إحداها نقطة ف ، والأخرى النقطة التى فيما بين نقطتي ف ٦ ظ . وهذا محال ، (١) . ويحيل ابن الهيثم بيان المحال إلى حكمه الذى أوردناه فى فقرة (٩٧) من الجزء الأول من هذا الكتاب بعنوان الحكم الثالث ، وإن كان الأليق أن يحال ذلك إلى حكمه الأول الذى بيناه فى فقرة (٩٥) .

وإذن تكون نقطة انعكاس ١ إلى ن نقطة على قوس م ر ف ، وإذن إذا أخرج المماس من نقطة الانعكاس وقع حتماً بين المماس م ف وبين محيط الدائرة .

ونظراً لأن أوضاع النقاط ١ ٦ > ٦ ن من الدائرة العظيمة فى مستوى شكل (١٤٩) هى بالضبط كأوضاع النقاط ١ ٦ > ٦ د من الدائرة العظيمة التى يلقى عليها مستوى ١ > د سطح كرة المرآة ، فنقطة انعكاس ١ إلى ن يكون بعدها من م كبعد نقطة انعكاس ١ إلى د من م ر . وإذن المماس من نقطة انعكاس ١ إلى ن يلقى المستقيم ١ > على النقطة و نفسها التى يلقى عليها المماس من نقطة انعكاس ١ إلى د هذا المستقيم . وأيضاً امتداد المنعكس من ١ إلى ن يلقى المستقيم ١ > على نقطة التى هى خيال ١ بالنسبة إلى البصر د .

وبما أن هذا المماس يقع بين م ف وبين محيط الدائرة فنقطة و هذه تقع حتماً بين نقطتي س ٦ م كما هو مبين بشكل (١٤٩) .

فإذا وصل و م ، ومد من جهة م فهو يلقى حتماً امتداد ١ ب على نقطة ولتكن ك . فإذا وصل ي ع ومد على استقامته ، فنظراً لأن

$$\frac{١ > ١}{٦} = \frac{١ > ١}{٦} \quad \frac{١ > ١}{٦} = \frac{١ > ١}{٦}$$

٦ و م يلقى امتداد ١ ب على نقطة ك ، اتضح من المقدمات أن امتداد

ى ع يمر بنقطة ك نفسها ، أى أن الواصل بين خيالى ١ ٦ ب بالنسبة إلى
بصر د يلقى امتداد ١ ب على النقطة ك .

فإن فرضنا أن ك هى نهاية المستقيم المبصر فإن خيال ك بالنسبة إلى بصر د
يقع حتما بين ك وبين المركز ح على تصارييف الأحوال . فإذا رمزنا لموضع
الخيال بالحرف ق ، يكون خيال المبصر ١ ب ك بالنسبة إلى بصر د ، هو
ى ع ق ، ويكون مقوساً حديثه تلى ١ ب ك ، أى كان موضع ق على
خط ك ح .

ذلك هو بالتفصيل برهان ابن الهيثم على تقوس الخيال فى حالة المبصر
المستقيم المعترض للمرأة الذى يلقى امتداده سطح المرأة أو يماسه .

ولو أن ابن الهيثم نص فى أقواله على أن يخرج الماس من نقطة م
(شكل ١٤٩) إلى جهة ه ، وتخير هذا الوضع ، فإن برهانه فى جوهره
يصح أيضاً على الوضع الآخر الذى يكون الماس فيه خارجاً إلى الجهة الأخرى .
ولعل هذه الطريقة التى عالج بها ابن الهيثم هذا الموضوع من خير الوسائل
التي يتيسر بها شرح انعكاس نقطتين مثل ١ ٦ ب إلى نقطة ثالثة لا تقع فى
المستوى الذى يشمل النقطتين ومركز المرأة بل تكون خارجة عنه .

١٨٣ - نبذة عامة عن بحوث ابن الهيثم عن أساطل خيالات السكرية المحرمة

تخيرنا فيما سبق أمثلة من مباحث ابن الهيثم فى أشكال خيالات المبصرات
فى المرأة السكرية المحدبة كان غرضنا منها أن نوضح الفكر الأساسية التى نهج
عليها فى تلك المباحث ، ونبين بها وجهة نظره ، ونحاول أن نبين الى أى مدى
تتفق وجهة نظره وتتفق النتائج التى توصل اليها ، والمعلومات التى أخذت
تترى وتتراكم من بعده . وقد ضمّمنا تلك الأمثلة أن يكون مركز البصر
خارجاً عن المستوى الذى يشمل المبصر ومركز المرأة لأن ابن الهيثم نفسه
يعد وجود البصر على هذه الصفة هو ما يعرض فعلاً فى أكثر الأحوال
والأوقات ، حتى اذا فرضنا الوضع النادر الذى يتصادف فيه أن يكون مركز
البصر فى ذلك المستوى فإن دوام هذا الوضع وقتاً مقتدرأ ليس كبير الاحتمال .

وعناية ابن الهيثم بالإشارة إلى هذا الأمر (١) تبين الناحية الخاصة من تفكيره تلك الناحية التي تضطره إلى أن يتحرى في بحوثه وفي الموضوعات التي يعالجها ما كان منها مطابقاً للواقع أو ما كان منها يعرض لا في الأحوال النادرة بل في أغلب الأحوال وأكثر الأوقات.

وهو على الرغم من ذلك يتناول أمثلة من هذه الحالات النادرة ويبين كيف يحدث أحياناً ألا يدرك البصر خيال المبصر البتة. وكيف يحدث أن يدرك خيال المبصر وهو خط مستقيم نقطة مفردة، وكيف يحدث أن يدرك خياله مجتمعاً شديد الاجتماع فلا يتميز للبصر، وكيف يحدث أن يدركه محدباً ولكن تحدبه في هذه الحالة يكون أقل من تحدبه إذا كان مركز البصر خارجاً عن المستوى المذكور، وما إلى ذلك.

ولكننا نجد أن مباحثه مقصورة على الحالات التي يكون فيها خيال المبصر بوجه عام محدباً وتحديه يلي سطح المرأة. وسياق بحوثه في هذا الموضوع تدل (وإن لم يكن هو نفسه قد ذكر ذلك أو أشار إليه) على أن الغاية التي يرمى إليها في هذه البحوث هي بيان تقوس خيال المبصر المستقيم. فلم يراع من حالات المبصرات المقوسة إلا الحالات التي تصلح على القدر اللازم لتمهيد السبيل إلى الغاية التي يريد.

وإلا فمن الجائز أن يكون المبصر مثلاً قوساً محدبة حديتها تلي سطح المرأة ويدرك خياله مستقيماً. ومن الجائز أن يكون قوساً مقعرة شديدة التقعر فيدرك خياله قوساً مقعرة تقعرها يلي سطح المرأة لا قوساً محدبة تحدبها يلي سطح المرأة كما في الحالات التي ذكرها. وواضح أنه يمكن على أساس طريقته التي عالج بها الحالات السابقة بيان هذه الحالات وسواها وشرحها جميعاً.

(١) و (٥٥) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

١٨٤ - بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات التقديرية التي ترى في المرأة

الكرية المقعرة

وينهج ابن الهيثم في بحوثه عن عظم خيالات المبصرات التي يدركها البصر في المرأة الكرية المقعرة على المنوال السابق نفسه ، ونجده في هذه البحوث قد استطاع أن يستعرض الموضوع بحيث يلم بنواحيه المختلفة . فتضمنت بحوثه كما أشرنا من قبل الحالات التي يكون فيها الخيال « تقديرية » والحالات التي يكون فيها « حقيقية » والحالات التي يكون فيها مكبراً والحالات التي يكون فيها مصغراً أو مساوياً للبصر نفسه .

ونحن في عرض هذه البحوث هنا نقسمها قسمين نتناول في الأول ما ينطوى منها على معنى الخيال التقديرى وتناول في الثانى ما ينطوى منها على معنى الخيال الحقيقى .

وأول ما يتناوله ابن الهيثم من حالات الكرية المقعرة فى كتاب المناظر الحالة التى يتكون للبصر فيها خيال تقديرى^(١) وبين فى هذه الحالة أن الخيال يكون مكبراً ويكون مستويًا غير منكوس ويعين فعلا الوضع الذى يجب أن يكون فيه المبصر نفسه لكي يتسنى رؤية هذا الخيال .

ويسلك فى بيان هذه الأمور طريقته الخاصة . فلنفرض أن دائرة ب و ح (شكل ١٥٠) عظيمة على كرة المرأة ومركزها نقطة ١ ونصف قطرها ١ و . ننصف ١ و على ع ونرسم دائرة مركزها ١ ، ونصف قطرها ١ ع . ونأخذ أية نقطة مثل ط على و ع ونرسم منها المماسين ط ه و ط م يمسان الدائرة الثانية على ه و م ، ثم نصل ١ ه ، ونخرجه حتى يلقى محيط عظيمة المرأة على ب ، ونصل ١ م ، ونخرجه حتى يلقاه على ج . ونقيم من ط العمود م ط ن على ١ و ، ونرسم من ب المستقيم ب م موازياً ١ و ، وليلق هذا العمود على م ، وكذلك نرسم من ح المستقيم ح ن

(١) و (٩٤) - و (٩٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

موازيا أو، وليلق العمود المذكور على ن فإن أخرج ا م و ط ب التقياء
على ف، وإن أخرج ا ن و ط ح، التقياء على ق والمثلثان ط ه ب
و ط ه ا متطابقان،

فتكون

د ط ب ا

= د ط ا ب

= د م ب ا

فيتضح أن م تنعكس

من ب إلى ط.

وبالمثل ن تنعكس

من ح إلى ط.

فإن كان البصر عند

ط فنظراً لأن ا م ف

هو امتداد قطر المرأة المار

بنقطة م و ب ط هو

شعاع منعكس إلى ط

فنقطة التقاءها وهي ف

(شكل ١٥٠)

تكون وفقاً لقاعدة ابن الهيثم خيال نقطة م.

وبالمثل تكون نقطة ق خيال نقطة ن.

فإن كان م ن مبصراً تكون نقطتا ف و ق خيالي طرفيه م و ن

على الترتيب.

تلك بايجاز فكرة ابن الهيثم.

وهو يعني في شرحه بأمرين أحدهما إثبات أن امتدادى ا م و ب ط ب

يلتقيان فملاً وإن امتدادى ا ن و ط ح يلتقيان فعلاً.

وذلك لأنه إذا رمزنا لنقطة تقاطع ا ب و م ط بالحرف ل اتضح

أن مثلث ل ط ١ قائم الزاوية في ط ، فزاوية ١ ل ط حادة ، فزاوية ب ل ط منفرجة ، فالضلع ب ط في مثلث ب ل ط أعظم من ب ل والضلع ب ل (في مثلث ب ل م القائم الزاوية في م) أعظم من ب م . إذن ب ط أعظم من ب م .

وبما أن ب ط = ١ ط لتطابق المثلثين ب ط هـ ١ ط هـ تبين أن ١ ط أعظم من ب م وإذن ١ م ٦ ط ب إذا أخرجنا حتما يلتقيان . وبالمثل فيما يختص بالمستقيمين ١ ن ٦ ط ح .
والأمر الثاني إثبات أن المستقيم الواصل بين ف ٦ ق يوازي الواصل بين م ٦ ن .

$$\text{وذلك لأن } \frac{\text{ف م}}{\text{ف ١}} = \frac{\text{ب م}}{\text{١ ط}} \text{ و } \frac{\text{ق ن}}{\text{ق ١}} = \frac{\text{ح ن}}{\text{١ ط}} .$$

ومن السهل إثبات أن ب م = ح ن ، فينتج

$$\text{أن } \frac{\text{ف م}}{\text{ف ١}} = \frac{\text{ق ن}}{\text{ق ١}} .$$

وإذن المستقيم الواصل بين ف ٦ ق يوازي الواصل بين م ٦ ن .

ويتضح من ذلك أن $\frac{\text{ف ق}}{\text{م ن}} = \frac{\text{ف ١}}{\text{١ م}}$ ، وبما أن م واقعة بين ١ ٦ ف

يكون البعد بين نقطتي ف ٦ ق أعظم من البعد بين نقطتي م ٦ ن ، ويكون معنى ذلك أن البعد بين طرفي الخيال أعظم من البعد بين طرفي المبصر أى أن الخيال مكبر .

والبرهان لا يخلو من تعقيد وشيء من الالتواء كان من المتيسر تجنبهما سيما وابن الهيثم لا يشترط في وضع نقطة ط إلا أن تكون بين منتصف نصف القطر ١ و ، وبين طرفه و . وهذا وحده لا يكفي للأغراض التي يتوخاها على الصفة التي يريدها ، فإن كان المماسان الخارجان من نقطة ط للدائرة الصغرى يصنعان مع ١ و زاوية أصغر من نصف قائمة فالمستقيمان ب ط ٦ ح ط يلقيان الموازيين من ب ٦ ح على الترتيب خارج محيط دائرة المرآة

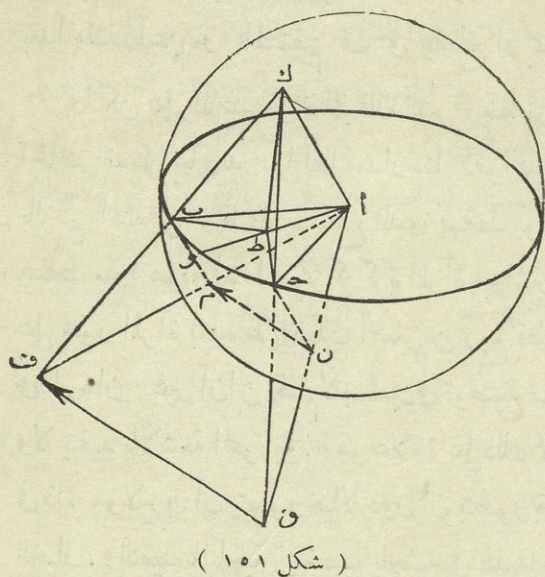
فلا تستقيم الأغراض التي يتوخاها ابن الهيثم . وإن كانت كل من تينك الزاويتين نصف قائمة فالعمود م ط ن يمر بنقطتي ب و ح . وأيضاً فليس شرط أن تكون كل من تينك الزاويتين أعظم من نصف قائمة يكفي وحده لحسابان المستقيم ف ق خيالا للمستقيم م ن لأنه إن كانت النقطتان ب و ح بعيدتين بعداً مقتدرأ عن و فالمستقيم ف ق يقطع أو يماس محيط دائرة المرآة .

ولكن على الرغم من ذلك فإن الشرح يتضمن أموراً لازال في الوقت الحاضر نعمل بها وندرسها لطلبة مدارسنا كقواعد تتبع لتعيين خيال المبصر بالرسم الهندسي . فاتخاذ الشعاع الذي يسقط موازياً للمحور والشعاع الذي يسقط ماراً هو أو امتداده بمركز كرة المرآة ، واشتراط أن يكون موضع المبصر على محور المرآة بعده عن القطب أصغر من ربع قطر المرآة ، كل ذلك متضمن في البرهان . غير أن ابن الهيثم لا يستعين في توضيح تكون الخيال بمعنى البؤرة ، ولا يتقيد بالأشعة المحورية . وهو علاوة على ذلك لا يبحث عن تكون الخيال في ذاته ، ولا يريد أن يتصور خيالا دون أن يتصور قبل ذلك البصر الذي يدرك الخيال ، والتقيد بالناحية الشخصية يلجئه في هذه الحالة إلى أن يعد نقطة ط مركز البصر ، وفرض ط مركزاً للبصر وإن صح نظرياً فهو فرض من الناحية العملية قد لا يتيسر تحقيقه ، إلا إذا أريد من هذه الحالة تبيان الكيفية التي بها يستطيع الناظر في المرآة الكرية المقعرة رؤية صورة وجهه مكبرة غير منكوسة .

ولعل ابن الهيثم وهو رجل يعنى النواحي العملية حق رعايتها لم يقنع في شرحه بالوقوف عند هذا الحد ، فضى يبين أن مثل هذا الخيال المكبر غير المنكوس الذي يدرك خلف السطح الكرى للمرآة يمكن أن يدركه البصر وهو في أوضاع أخرى غير نقطة ط ^(١) . وهو يبنى شرحه هذا الأمر على القروض الأولى التي ذكرها في البرهان السابق ويورد البيان في صيغة موجزة صحيحة تدعو في ذاتها إلى الإعجاب .

(١) و (٩٦) — و (٩٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

فلنفرض مركز المرأة ١ (شكل ١٥١) ونصف قطرها ١ و ، وليكن
 ب و ح قوساً من محيط عظمة على كرة المرأة . ننصف ١ و على ع ،
 و نأخذ نقطة ط على ١ و بحيث يكون ١ ط أعظم من ط و ، ونعيد العمل



السابق لتعيين وضعي

۱۱ ۱۶ ح کامر.

مُنْ نَقِيمُ مِنْ طِ الْعَمُودِ

ط ك علي مستوی

العظيمة (أى مستوى

۱ ب و ح) ، ونجعل

ط ك حيثما تفق، ونصل

١ ك ، ونرسم من ب

المستقيم ب م موازياً

١٠ ك، ونجعله أصغر من

ا ك ، ونخرج ا م ٦

ك ب ، فهما حتما يلتقيان وليكن على ف .

كذلك نرسم من $\rightarrow$ المستقيم $\rightarrow$ ن موازياً $\rightarrow$ ك ونجعل $\rightarrow$ ن مساوياً

ب م ، ونخرج ا ن و ك ه فهما يلتقيان ، وليكن على ق

ففي المثلثين ط ب ك و ط ا ك

ط ب = ط ۱ کا اوضح فی البرهان السابق

ط ك مشترك و زاوية ط في كل قائمة

فالمثلثان متطابقان .

وإذن ك = ب = ك ٦ = د ك ا = د ك ا .

ولكن $\Delta \text{ ك } \alpha = \Delta \text{ م } \beta$ ،

∴ د م ن = د ك ن ا .

وہما فی مستوی واحد ،

. . . نقطة م تنعكس من ب إلى ك .

وإذن تكون نقطة ف وهى نقطة التقاء امتداد المنعكس ب ك وامتداد القطر المار بنقطة م هى على حسب قاعدة ابن الهيثم خيال م ، بالنسبة إلى بصر مركزه ك . وبالمثل يتبين أن نقطة ق خيال ن بالنسبة إلى بصر مركزه ك .

وإذن البصر الموجود عند ك يدرك للبصر الذى طرفاه م و ن خيالا طرفاه ف و ق .

وابن الهيثم يمضى بعد توضيح هذه الأمور لإثبات أن ف ق أعظم من م ن .

وهو يبين أيضا أنه إذا أدير الشكل حول ١ و حدث من دوران ك محيط دائرة نصف قطرها ط ك ، ومستواها عمود على ١ و . وكل نقطة من محيط هذه الدائرة وضعها بالنسبة الى الخط النظير لخط م ن ، كوضع ك بالنسبة إلى خط م ن فى الشكل المرسوم . فإن كان البصر حيث تلك النقطة من محيط الدائرة أدرك خيال النظير لخط م ن تقديريا معتدلا مكبرا كما نقول الآن . ويلاحظ فى هذا البرهان ان تكون الخيال التقديرى ف ق منوط بجعل ب م أصغر من ك ١ فى العمل الهندسى . وأن فصل انعكاس م إلى ك من ب هو محيط العظيمة التى تحدث من التقاء مستوى مثلث ١ ك ب بسطح كرة المرآة . وفصل انعكاس ن إلى ك من ح هو محيط العظيمة التى تحدث من التقاء مستوى ٢ ك ح بسطح كرة المرآة ، ومستويا الانعكاس غير متطابقين .

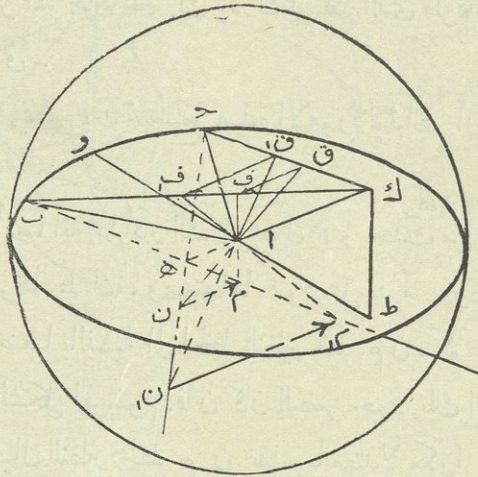
١٨٥ — بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات الحقيقية التى نرى فى المرايا

الكرية المقعرة

ينهج ابن الهيثم فى هذا القسم أيضا من بحوثه طريقة أساسها قاعدته فى تعيين خيال النقطة ولكن الطريقة التى يتبعها ^(١) لبيان أن الخيال قد يكون

مساوياً للبصر وقد يكون مصغراً أو مكبراً تختلف عن الطرق المألوفة في الوقت الحاضر . ووجهة نظره فيها جديرة بالذكر ، ونلخصها فيما يلي :

لنفرض أن ب و ح (شكل ١٥٢) قوس من عظمة على كرة المرآة حيثما اتفق ومركزها ١ . نأخذ نقطة ط على امتداد و ١ ونقيم منها عموداً على مستوى دائرة ب و ح ، ونأخذ عليه نقطة ك حيثما اتفق . نصل



(شكل ١٥٢)

ك ١ ، ونرسم في مستوى الدائرة نصف قطرها ١ ب بحيث تكون زاوية ك ١ ب منفرجة ، ونرسم نصف قطرها ١ ح بحيث تكون $\angle ك ١ ب = \angle ك ١ ح$.

فمن السهل إثبات أن مثلثي ك ١ ب و ك ١ ح متطابقان . فتكون $\angle ك ١ ب = \angle ك ١ ح$ وكلتاهما حادة ، $\angle ك ١ ب = \angle ك ١ ح$.

نخرج ك ١ على استقامته . ونرسم من نقطة ح في مستوى مثلث ك ١ ب المستقيم ح ه بحيث تكون زاوية ١ ح ه مساوية زاوية ك ١ ب . فالمستقيم ح ه يلقى حتماً امتداد ك ١ ، وليلقه على ه ، ونصل ه ب . ففي المثلثين ب ١ ه و ح ١ ه يكون ب ١ ه = ح ١ ه ١ مشترك

٦ د ب ا ه $=$ د > ا ه ، لأن كلا منهما هي الباقية بعد المنفرجة من قائمتين ، فالمثلثان متطابقان .

واذن د ه ب ا $=$ د ه ا .

ومنه يتبين أن المستقيم ا ب ينصف زاوية ه ب ك كما ينصف المستقيم ا > زاوية ه > ك .

واذن يتبين أن ه تنعكس من كل من > ب إلى ك .

نرسم في مستوى ك ب ه المستقيم ا ف عموداً على ا ب ، وليلق ب ك على ف ، وإذا أخرج في جهة ا فهو يلقى ب ه وليكن على م . ونقطة ف هي نقطة التقاء الشعاع الوارد من م بعد انعكاسه من نقطة ب بالقطر المار بنقطة م . فنقطة ف بحسب القاعدة هي خيال م بالنسبة إلى بصرك . كذلك نرسم في مستوى ك > ه المستقيم ا ق عموداً على ا > فهو يلقى > ك وليكن على ق ، وإذا أخرج في جهة ا فهو يلقى > ه وليكن على ن ، وتكون أيضاً نقطة ق خيال ن بالنسبة إلى بصرك .

وابن الهيثم يرى أنه إذا كانت نقطتا م و ن طرفي مبصر ، تكون نقطتا ف و ق طرفي خياله بالنسبة إلى بصرك ، ويلاحظ في هذه الحالة أن موضع الخيال أمام السطح الكرى للبراة لاخلفه ، وإنه اذا كان المبصر م ن معتدلاً (أو مستوياً على حسب تعبير ابن الهيثم) كان الخيال ف ق منكوساً (أو مقلوباً على حسب اصطلاحنا الشائع) .

وفي المثلثين ب ا ف و ب ا م ، ا ب مشترك وزاوية ا في كل قائمة ، وزاويتا ب فيها متساويتان ، فالمثلثان متطابقان .

واذن ا ف $=$ ا م .

وكذلك ا ق $=$ ا ن .

واذن المثلثان ا ف ق و ا م ن متطابقان .

واذن ف ق $=$ م ن ويوازيه .

فالخيال والمبصر متساويان ومتوازيان . أو بالأحرى الواصل بين طرفي المبصر والواصل بين طرفي الخيال كذلك .

وأيضاً يلاحظ أن بعد نقطة م عن ب يساوى بعد ف وهى خيالها
عن ب وبالمثل بعد ن عن ح كبعد ق عن ح .

وواضح أن هذا الذى أراده ابن الهيثم هو تبين الحالة التى يكون فيها بعد
خيال كل من طرفى المبصر عن موضع الانعكاس من سطح المرأة مساوياً
لبعد الطرف نفسه عن ذلك الموضع . وهى الحالة النظرية للحالة التى يكون
فيها المبصر صغيراً واقعاً فى مستوى يمر بمركز المرأة عموداً على محورها
الرئيسى وعن جنبه من المركز وقريباً منه ، فيكون الخيال واقعاً فى المستوى نفسه
عن الجنبه الأخرى من المركز فى وضع يماثل وضع المبصر بالنسبة إلى المحور
الرئيسى ومساوياً للمبصر فى الطول . ويسهل تصور الأمر إذا فرض مبصر
صغير عند مركز تكور المرأة فى وضع متماثل بالنسبة إلى محورها الرئيسى فهو
وصورته فى تلك الحال منطبقان ، ولكن إذا أديرَت المرأة قليلاً مع ثبوت
قطبها وثبوت المبصر فى موضعه بحيث يصنع محورها زاوية صغيرة مع وضعه
الأول انفصل الجسم عن صورته وصار كل منهما عن جنبه من المحور فى
وضعين متماثلين .

هذا هو ما أراد ابن الهيثم تصويره وبيانه .

وابن الهيثم يضى بعد ذلك لبيان كيف يمكن أن يتكون للمبصر خيال
مصغر وكيف يمكن أيضاً أن يتكون له خيال مكبر . وتبين طريقته فى ذلك
من الشكل نفسه . فإذا أخذنا نقطة مثل م على امتداد ب م وأخرى مثل ن
على امتداد ح ن بحيث يكون ب م مساوياً ح ن ، ووصلنا م ١ ومددناه
حتى يلقى ب ك على ف ١ ، ووصلنا ن ١ ومددناه حتى يلقى ح ك على ق ١
فبما أن المستقيم ب ١ ينصف زاوية ف ١ ب م ١ فى مثلث ف ١ ب م ١
ح ١ ب ١ م ١ منفرجة ،

∴ ١ م ١ أعظم من ١ ف ١ .

وبالمثل ١ ن ١ أعظم من ١ ق ١ .

ومن تطابق المثلثين ب ١ م ١ ح ١ ن ١ يتبين أن ١ م ١ = ١ ن ١ .

الذى يدرك هذا الخيال أجاب ابن الهيثم بأن موضع البصر هو نقطة ه . لأن ذلك كفيل بأن يصل إليه شعاع وارد من أحد طرفي المبصر وآخر وارد من طرفه الآخر بعد انعكاسيهما عن سطح المرأة ، وإن كان المبصر ف ق متصلا لوصلت إلى البصر وهو في هذا الوضع أشعة منعكسة واردة من نقاط المبصر المختلفة مترتبة بترتيب تلك النقاط .

وهذا كل ما تتطلبه نظريته في الابصار لشرح كيفية إدراك البصر صورة المبصر بالانعكاس ، بل وينتج من ذلك أن ما يدركه البصر عندئذ تكون أوضاع أجزائه بعضها بالنسبة إلى الآخر على حسب هذه النظرية كأوضاع أجزاء المبصر نفسه فيكون ما يدركه البصر مستويا أو معتدلا لا منكوسا .

ولا يخفى أن البصر الذى مركزه نقطة ه وإن وصل إليه ضوء منعكس وأحس به فانه لا يدرك منه الخيال م ن . ولكي يدركه يجب أن يصل إليه ضوء من الخيال م ن رأسا . ولكي يتم ذلك يجب أن يكون الخيال قدّام البصر ويجب أن يكون وضع البصر بحيث إذا وصل مركزه بنقطتي م 6 ن وأخرج المستقيمان لقياس سطح المرأة العاكس ، فيمكن أن يرد إلى البصر على سمتي هذين المستقيمين ضوء منعكس عن سطح المرأة كان قد ورد إليها قبل ذلك من طرفي المبصر ف ق .

فان تساءلنا أخفيت أمثال هذه الأمور عن ابن الهيثم وهى تكاد تكون من البديهيات فى الوقت الحاضر ، لم نجد من الانصاف الفصل فى ذلك بالايجاب . لأنه يقرر فى مقالته الخامسة من المناظر أنه إذا كانت النقطة التى يلقى عندها الشعاع المنعكس أو امتداده العمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح أو امتداده ، وهى فى زعمه موضع خيال النقطة المبصرة ، إذا كانت من وراء المرأة أو من قدامها فيما بين البصر والمرأة أدرك البصر الخيال إدراكا محققا . أما إذا كانت عند مركز البصر أو من وراء مركز البصر (كما فى الحالة التى بين أيدينا الآن بحسب ما يزعمه) أو كان الشعاع المنعكس موازيا للعمود لا يلقاه فان البصر يدرك الخيال إدراكا غير محقق ، فتشبهه وتلتبس صورة

وقول ابن الهيثم إن البصر وهو عند ه يدرك للبصر ف ق خياله
م ن إدراكا غير محقق . فذاك أسلوبه في التعبير . وقوله إن الخيال الذي
يدرك على هذه الصفة غير المحققة يدركه البصر في مقابلته ، لأن المرئيات تدرك
من سموت خطوط الشعاع كما تبين من قبل ، والاحساس بالضوء أو باللون
الذي لا شك يحدث في هذه الحالة يعزیه البصر إلى مؤثر موجود في المكان
خارج البصر على امتداد الأشعة المنعكسة الواصلة إليه فلا اعتراض عليه .
أما طريقته التي بناها فيما سبق في معالجة الموضوع فقد حداه إليها شدة
عنايته بالناحية الشخصية مع التقيد بنظريته في الأبصار على صورتها الأولى
البسيطة .

ومما تجدر الإشارة إليه في هذا المقام أنه على الرغم من وعورة تلك الطريقة
فانه لم يعجز عن شرح حالة خاصة نوردها فيما يلي من الحالات التي تعرض
في المرايا الكرية المقعرة شرحا قريب الشبه من الشروح المألوفة الآن .

١٨٧ - كيف يرى الإنسان صورة وجهه مصغرة منكوسة في مرآة

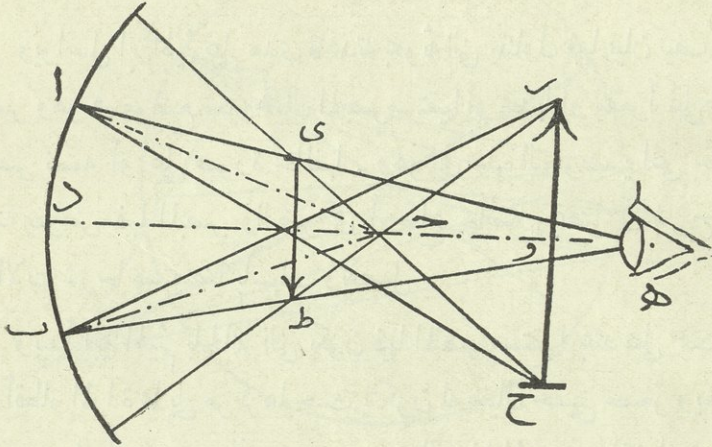
كروية مقعرة

فمن بحوث ابن الهيثم في المرايا الكرية بحث يبين فيه كيف يتأتى أن يرى
الإنسان صورة وجهه مصغرة منكوسة في مرآة كرية مقعرة ، وطريقته في شرح
هذا الأمر كما يأتي (١)

ليكن مركز المرأة > (شكل ١٥٤) ونصف قطرها > د وليكن مركز البصر
في نقطة مثل ه على امتداد > د ، ولناخذ على هذا المستقيم نقطة مثل و قريبة
جدا من ه ، ولنقيم م ر و ح عموداً على ه د ، وليكن مستوى المستقيمين
م ر ح و ه د مستوى الشكل ، وليلق سطح المرأة على عظمة ، ا د ب
قوس من محيطها . نأخذ نقطة على هذه القوس مثل ا ونصل ا ه ا ٦ > د ،
ونرسم ا ح في مستوى الشكل بحيث تكون

$$\angle ا ه ا = \angle ا ح ا$$

وليلق العمود $مر$ و $ح$ على $ح$ ، ونصل $ح$ بمركز المرآة $د$ ونمده حتى يلقي $ا$ ه على نقطة ولتكن $ي$.



(شكل ١٥٤)

فمن الواضح أن $ح$ $ا$ ، يمثل شعاعا يسقط من نقطة $ح$ على سطح المرآة وينعكس من $ا$ إلى البصر $ه$ ، ونقطة $ي$ هي نقطة التقاء الشعاع المنعكس بالقطر المار بنقطة $ح$ ، وإذن تكون $ي$ خيال $ح$.

فاذا جعلنا $و$ $مر$ = $و$ $ح$ و $د$ = $د$ $ا$ ، ووصلنا $ب$ $ه$ ، وأخرجنا $مر$ $ح$ حتى يلقاه على نقطة ولتكن $ط$ ، كان من السهل بيان أن $ط$ خيال $مر$.

وإذن $ط$ $و$ $ي$ طرفا خيال المبصر الذي طرفاه $مر$ $و$ $ح$ بالنسبة إلى بصر $ه$ ، ومن السهل إثبات أن $ط$ $ي$ يوازي $مر$ $ح$ وأصغر منه .

فاذا كان $مر$ $ح$ خطا على وجه الناظر أدرك البصر خياله مصغرا منكوسا . وإذا ثبت المستقيم $ه$ $د$ وأدير الشكل حوله تبين أن كل قطر من أقطار الدائرة التي تحدث من دوران $مر$ $ح$ يدركه البصر $ه$ مصغرا منكوسا .

وابن الهيثم ينص صراحة على أن هذا يحدث كلما كان مركز المرآة متوسطا بين البصر وبين سطحها .

١٨٨ - بحوث ابن الهيثم عن أسطال خيالات المبصرات الممتدة على سمت

أهم أقطار المرأة السكرية المقعرة

ويواصل ابن الهيثم على هدى قاعدته بحوثه التي يتناول فيها بيان كيف يدرك البصر وهو في موضع معين خيال المبصر مستقيماً أو محدباً أو مقعراً على صورة المبصر نفسه أو على صورة تخالفها . وهو في هذه البحوث يراعى حالات معينة يفرض فيها المبصر والبصر في أوضاع خاصة ويمضى في شرح هذه الحالات شرحاً مستفيضاً بأسهاب وتفصيل .

ويبدأ ابن الهيثم بالحالة التي يكون فيها المبصر مستقيماً يمتد على سمت قطر من أقطار المرأة مما يلي مركزها حيث يتكون له خيال حقيقي مصغر ويبين^(١) كيف يدرك البصر وهو في وضع معين خيال هذا المبصر مستقيماً ممتداً على سمت القطر نفسه .

فلتكن الدائرة في شكل (١٥٥) عظيمة على كرة المرأة وليكن ه مركزها وقطرها ا ع ب د ، حيثما اتفق ، ولتكن المرأة بحيث لا تتجاوز العظيمة القوس ب ا د ع . ولنأخذ نقطة مثل م على ب ه ، وأخرى مثل ك على ا ه بحيث يكون ا ك أعظم من ك ه . فاذا أخرج م ك حتى يلتقي محيط الدائرة على ف ورسم ف ح بحيث تكون

$$د م ف ه = د ه ف ح$$

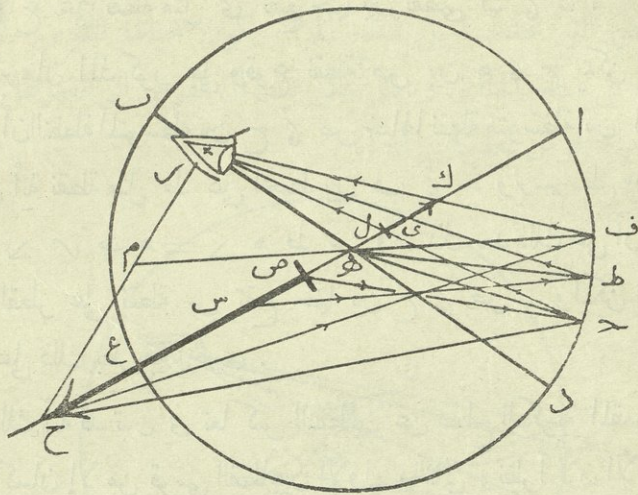
ومد حتى لقي ه ع أو امتداده على نقطة ولتكن ح ، اتضح على حسب القاعدة أن نقطة ك هي خيال ح بالنسبة إلى بصر م . وإذا أخذت أية نقطة مثل ح بين ف د فان م ح يلقى ا ه على نقطة مثل ل بين ك ه ، فاذا رسم ح ص بحيث تكون

$$د م ح ه = د ه ح ص$$

ومد ح ص فانه يلتقي ه ح على نقطة تقع بين ه د ح ، ولتكن

(١) و(١٠٢) — و(١٠٤) من مخطوط من المقالة السادسة من المناظر .

نقطة ص ، وعلى حسب القاعدة تكون نقطة ل خيال ص بالنسبة إلى بصر م .



(شكل ١٥٥)

وابن الهيثم يستدل ببرهان هندسى على أن نقطة ص تقع حتما بين ه و ح ، وذلك بإثبات أن د ه ح أعظم من د ه ح ص ، وبرهانه أنه إذا وصل م ر ح ، وأخرج ف ه حتى يلقاه على نقطة ولتكن م

$$\frac{\text{م ر ف}}{\text{ف ح م}} = \frac{\text{م ر ف}}{\text{ف ح م}}$$

ف م ر ح أعظم من م ر ف و ح أصغر من ف ح

∴ $\frac{\text{م ر ف}}{\text{ف ح م}} > \frac{\text{م ر ف}}{\text{ف ح م}}$ ، فنصف زاوية م ر ح يلقى

م ر ح على نقطة تقع حتما بين م و ح ، ويلقى هذا المنصف ا ح على نقطة تقع حتما بين ه و ح . فيكون نصف زاوية م ر ح أعظم من زاوية م ر ه

وإذن د م ر ح -- د م ر ه أعظم من د م ر ه ،

أى د ه ح أعظم من د م ر ه ، أى أعظم من د ه ح ص . وابن الهيثم بعد ذلك يذكر أن أية نقطة بين ص و ح تنعكس إلى م

من نقطة مثل ط على قوس ف ح ، فالشعاع ط م المنعكس يقطع القطر ا ع على نقطة مثل ي تقع حتما بين نقطتي ك و ل .

والبرهان المذكور على وقوع نقطة ص بين ه و ح يمكن أن يطبق مثله على أن النقطة المتوسطة بين ح و ص خيالها نقطة متوسطة بين ك و ل ، فتفرض أية نقطة مثل ط على المحيط بين ف و ح ويرسم ط س بحيث تكون د م ر ط ه = د ه ط س ويستدل بعد ذلك على أن ط س يقطع القطر على نقطة س تقع حتما بين ح و ص . ولكن ابن الهيثم يبرهن على ذلك بطريقة أخرى .

وذلك أنه قد تبين في تعاكس النقطتين عن سطح الكرية المقعرة أنهما لا تتعاكسان إلا من قوسى القطاعين الأول والثانى ونظراً لأن الأول وهو ب ه ع فى هذه الحالة ليس من المرآة ، اتضح أن أية نقطة على ه ع أو امتداده من جهة ع لا تنعكس إلى م إلا من قوس القطاع ا ه د ولا تنعكس إلا من نقطة واحدة . وابن الهيثم يبرهن بعد ذلك ببرهان الخلف على أن نقطة انعكاس أية نقطة مثل س (بين ص و ح) إلى نقطة م لا تقع على قوس ا ف ولا على قوس ح د فتكون حتما على قوس ف ح فيقطع الواصل بينها وبين م نصف القطر ا ه على نقطة بين ك و ل . وعلى أى الوجهين يتضح أن خيالى طرفى المبصر المستقيم ح ص بالنسبة إلى بصر م هما نقطتا ك و ل على الترتيب .

وابن الهيثم ينتقل من هذه الحالة إلى أخرى^(١) .

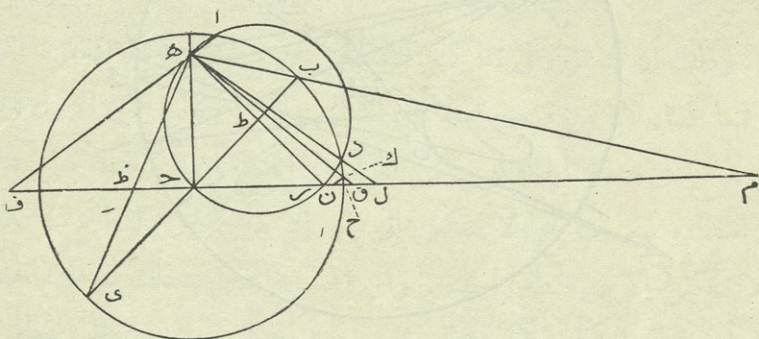
فاذا رسمت قوس مثل ح ن ص (شكل ١٥٦) ، غير قاطعة المستقيم (ح ن)^(٢) وتحدها إلى الجزء العاكس من سطح المرآة وأخذنا نقطة مثل م على خط ص ح ، فمن البين أن م تنعكس من ط فيما بين ف و ح إلى م . فان وصل م ط وقطع القوس ح ن ص على نقطة ن ، فمن الواضح

(١) و (١٠٤) ، و (١٠٥) المقالة السادسة من المناظر .

(٢) كذا فى الأصل والأصوب أن يقال « ف ح » .

وسنكتفي هنا بشرح إحدى هاتين الحالتين^(١) كمثل نوضح به هذه الفكرة الأساسية ونبين به النتائج التي توصل إليها أو أراد أن يبينها ووجهة نظره في كل ذلك .

فلنفرض دائرة مركزها ح (شكل ١٥٧) . وقطرها ب ي ولنأخذ نقطة مثل ط على ح ب بحيث يكون ح ط أعظم من ط ب ، ونرسم دائرة مركزها ط ، ونصف قطرها ط ح ، فهي تقطع الأولى على نقطتين ولتكونا ا د ثم نقيم عند ط عمودا على ح ب ونخرجه من طرفيه حتى يلقى محيط الدائرة الثانية على نقطتين ولتكونا ه و م



(شكل ١٥٧)

فن السهل بيان أن نقطتي ه و م تتعاكسان عن قوس القطاع الأول من نقاط ا ب و د ، وعن قوس القطاع الثاني من نقطة ي . فاذا كانت م نقطة مبصرة حدث لها أربعة خيالات ، إحداها على سمت د ه ، وآخر على سمت ب ه ، وآخر على سمت ا ه ، والرابع على سمت ي ه ، وعلى حسب قاعدة ابن الهيثم يكون مواضع هذه الخيالات حيث يلقى السمت القطر المار بنقطة م . فان رمزنا لنقاط التلاقي بالحروف ل م و ف و ظ بالترتيب ، كانت هذه النقاط في زعم ابن الهيثم الخيالات التي يدركها البصر عند ه لنقطة م . وقد اثبت ابن الهيثم أنه بحسب العمل الهندسي المذكور تكون زاوية

مر ح ه قائمة وإذن ه ب و ح مر يلتقيان إذا إخرجنا الأول من جهة ب والثاني من جهة مر فيكون موضع الخيال م كالمبين بالشكل . واستدل أيضاً على مواضع الخيالات الأخرى ل و ظ و ف .

وقد سبق أن بينا رأيه فيما يدركه البصر إدراكاً محققاً وفيما يدركه إدراكاً غير محقق من هذه الخيالات .

ثم إذا رمزنا لنقطة التقاء ح مر بمحيط الدائرة الأولى بالحرف ح ، وأخذنا نقطة ما مثل ك على قوس د ح ، ووصلنا ه ك ، ورسمنا ك ن بحيث تكون

$$\Delta - \text{ك} \text{ ن} = \Delta - \text{ه} \text{ ك} -$$

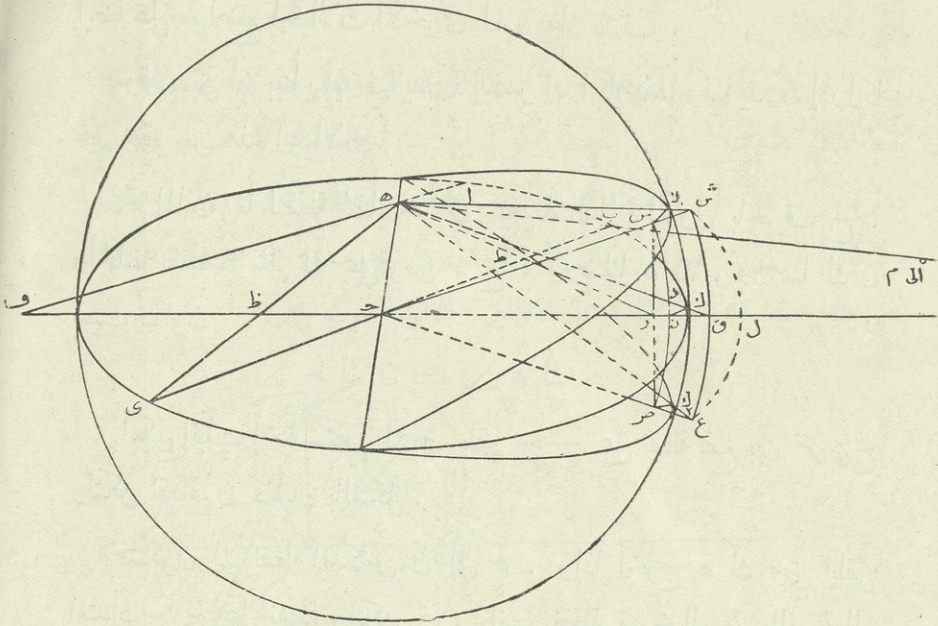
أمكن إثبات أن المستقيم ك ن يلقي ح على نقطة تقع بين مر و ح ولتكن نقطة ن كالمبين بالشكل .

فتكون ك نقطة انعكاس ن إلى ه . وإذا أخرج ه ك حتى يلقي امتداد ح على نقطة ولتكن ق ، كانت نقطة ق خيال ن بالنسبة إلى البصر ه وذلك أيضاً وفقاً للقاعدة .

كل أولئك مقدمات يعنى ابن الهيثم بتوضيحها وبيانها بالتفصيل ويتخذها توطئة إلى تعيين موضع المبصر وشكله وبيان مواضع خيالاته التي يدركها البصر ه وأشكالها . وهو في سلوك هذا السبيل إلى غرضه أمكنه أن يلم بكل الأمور الهندسية المتعلقة بانعكاس الأشعة الصادرة من المبصر عن مواضع مختلفة من السطح الكرى المقعر، ومرورها بعد الانعكاس بنقطة ه . واستطاع سرد عناصر هذه المسألة على صورة سهلة بسيطة ، هي في ذاتها جديرة بالتقدير ، نوردتها فيما يلي بألفاظه مع توضيحها بالرسم .

قال « وتوهم سطحاً خارجاً من خط م ح ف قائماً على سطح دائرة ١ ت د على زوايا قائمة ونخرج من نقطة ر (شكل ١٥٨) خطاً في هذا السطح قائماً على الخط ح ر على زوايا قائمة ، وننفذه في الجهتين . وليكن خط س ر ص . ونجعل نقطة ح مركزاً وندير يبعد ح ن قوساً من دائرة

فهي تقطع ص س على نقطتين فلتقطعه على نقطتي ص ، س ، ولتكن قوس
س ن ص . ونصل خطي > س ، > ص . فهذان الخطان يكونان في



(شكل ١٥٨)

السطح القائم على سطح ا ب > . ونخرج > س ، > ص على استقامة .
ونجعل > مركزاً وندير يبعد > ق قوساً من دائرة . فهذه القوس تقطع
[امتدادى] (١) خطي > س . > ص فلتقطعهما على نقطتي (ش) (٢) ، ع .
فلأن سطح دائرة ا ب ح ي قائم على سطح خطي > ش ، > ع
تكون زاويتا هـ > ش ، هـ > ع قائمتين . فيكون كل واحد من سطحي
هـ > ش ، هـ > ع قائماً على سطح ش > ع . وكل واحد من هذين
السطحين يحدث في المرآة دائرة عظيمة نظيرة لدائرة ا ب ح ي . فالنقطة
النظيرة لنقطة ك (وقد رمزنا لها في الشكل بالرمز ك) من الدائرة التي
يحدثها سطح هـ > س ينعكس منها خطان على زوايا متساوية فيما بين نقطتي
هـ ، س . لأن > س مثل > ن . والنقطة النظيرة لنقطة ك (وهي

(١) ما بين القوسين لم يرد في الأصل .

(٢) في الأصل « س » . وجميع الحروف المرموز بها في هذا البرهان إلا النادر اليسير
وردت في الأصل غير منقوطة وقد أثبتنا جميع الرموز في هذا البرهان على صحتها .

المرموز لها بالرمز ك^١ في الشكل) من الدائرة التي يحدثها سطح هـ ح ع
ينعكس منها خطان على زوايا متساوية فيما بين نقطتي هـ ، ص .

وخطوط ح س ، ح ن ، ح ص متساوية . وخطوط ح ش ،
ح ق ، ح ع متساوية . ونقطة ق هي خيال (لنقطة ن)^(١) ، فنقطة ش
هي خيال نقطة س ونقطة ع هي خيال نقطة ص .

فخيال قوس س ن ص المحذب الذي تحدبيه يلي سطح المرآة هو قوس
ش ق ع المقعر الذي تقعيره يلي البصر . »

ويقول « ونقطة ل هي خيال نقطة ر ، ونقطتا ش ، ع هما خيالا
نقطتي س ، ص فخيال خط س ر ص المستقيم هو خط يمر بنقط
ش ، ل ، ع . والخط الذي يمر بنقط ش ، ل ، ع ، هو خط مقعر
تقعيره يلي البصر^(٢) » .

ولما كان هـ ب ، ح (شكل ١٥٧) يتلاقيان على م ، وابن الهيثم
يعد نقطة م خيال م بالانعكاس عن ب فهو يذهب إلى أن المبصر س ر ص
(شكل ١٥٨) يدرك له أيضا خيال آخر ش م ع . وكذلك يدرك له
خيال ثالث هو ش ف ع ، وخيال رابع هو ع ظ ش . وينص صراحة
على أن الخيالات الأربعة للبصر المستقيم س ر ص التي يدركها البصر هـ
(في زعمه) تكون مقعرة (بالنسبة إلى مركز البصر) ، وهو في نهاية هذا البحث
يلخص النتيجة التي يريد بها حيث يقول « فقد تبين مما بيناه في هذا الشكل أن
الخط المستقيم قد يدركه البصر في المرايا الكرية المقعرة مقعرا ، وأن الخط
المحذب قد يدركه البصر في هذه المرايا مقعرا ، وأن الخط المستقيم قد يكون له
في هذه المرايا عدة صور مقعرة . وذلك ما أردنا أن نبين^(٣) » .

على هذا المنوال نهج ابن الهيثم لبيان تقوس خيال المبصر المستقيم واختلاف

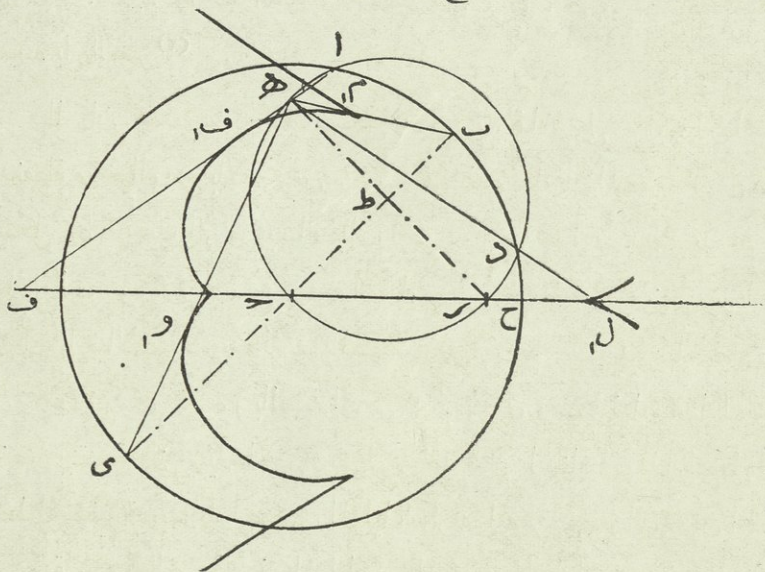
(١) الوارد في الأصل « لنقطتي س ، ب » وهو تحريف .

(٢) و (١٠٦) ، و (١٠٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٣) و (١٠٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

تقوس الخيالات المختلفة التي يمكن إدراكها بانعكاس الضوء من مواضع مختلفة من السطح الكروي للكرة . فان كانت النتائج التي توصل إليها على وجه عام ليست صحيحة ولا تتفق والواقع فان مصدر الخطأ فيها مرجعه هنا أيضا تطبيق قاعدته لتعيين خيال النقطة فمما لا يصح تطبيقها فيه .

ويتضح السبب بالرجوع إلى (شكل ١٥٩) فغلاف الأشعة المنعكسة في مستوى الشكل عن سطح المرآة والواردة من نقطة $\mathcal{M}$ هو كالمبين بالشكل . فإذا كان مركز البصر نقطة $\mathcal{H}$ فيال $\mathcal{M}$ الذي يرى بورود الشعاع المنعكس من نقطة $\mathcal{D}$ يكون عند نقطة تماس $\mathcal{H}$ د والغلاف فهو وضع خيال $\mathcal{M}$ ليس على القطر المار بنقطة $\mathcal{M}$ بالضبط وإنما هو نقطة مثل $\mathcal{L}$ الميمنة بالشكل . وأيضا الخيال الذي يرى بالشعاع المنعكس من $\mathcal{B}$ موضعه نقطة تماس $\mathcal{H}$ ب



(شکل ۱۵۹)

بالغلاف وهي نقطة م . وبالمثل الخيال الذي يرى بالشعاع المنعكس من ا
موضعه ف . والذي يرى الشعاع المنعكس من ي موضعه و .
فلا تكون مواضع الخيالات على القطر المار بنقطة م أو امتداده كما
يزعم ابن الهيثم اللهم إلا خيال نقطة ن لقرب نقطة انعكاسها إلى ه من
القطب ح فهو يكاد لا ينحرف عن القطر المذكور .

١٩٠ - كلمة عامة

وابن الهيثم ينهج على النهج نفسه الذي فصلناه بانتقاء الحالات التي شرحناها فيما سبق ، في تفصيل آرائه في الخيالات التي ترى في المرايا الأسطوانية والمخروطية المحدبة والمقعرة . وهي التي تدور حولها المباحث الباقية التي تتضمنها المقالة السادسة من المناظر . وهذه المباحث بوجه عام لا تخرج عناصرها الأساسية عن حدود الفكر التي بينها فيما قبل فلم نر ضرورة إلى الإطالة في تفصيلها . ولا شك في أن بحوث ابن الهيثم عن الخيالات التي ترى بالانعكاس وإن كان يعيها من الجانب الطبيعي منها تعميم القاعدة التي اتبعها لتعيين موضع خيال النقطة دون قيد أو شرط ، فهي مع ذلك تتضمن العناصر الأساسية اللازمة لعلاج الموضوع في الحالات التي يصح تطبيق القاعدة عليها . ولعلّ أجدد ما في هذه البحوث بالتقدير ناحيتها الهندسية . فهي تتضمن مسائل في الهندسة الفراغية ليس من السهل تصور أشكالها العامة . ولكن ابن الهيثم كما تبين من بحوثه عن خيالات الكرية المحدبة والمقعرة ، سلك في شرحها طريقة ألانت صلابتها ، فاستطاع تبسيطها وشرح المستعصى منها شرحا واضحا وافيا جديرا حقا بالاعجاب والتقدير .

الباب السابع

في

أحكام الانعطاف وما يتعلق بالانعطاف عند السطوح المستوية

الفصل الأول

في

أحكام الانعطاف

١٩١ - أمطام الكيف في الانعطاف

أول ما يعنى ابن الهيثم بالبحث عنه فيما يتعلق بالانعطاف الضوء تحقيق الكيفية التي ينعطف عليها الضوء عند نفوذه من وسط مشف إلى وسط مشف آخر يختلف شفافته عن شفاف الأول . وهو يعتمد في ذلك على التجارب ويستخلص منها أحكاما أسميناها هنا أحكام الكيف في الانعطاف ، هي بمثابة المبادئ الأساسية العامة في الموضوع . وهو يمهّد إليها في موضع من مقالاته السابعة (١) حيث يقول بلفظه :

« فتبين من جميع ما بيناه بالاعتبار والقياس أن كل ضوء في جسم مضى ، ذاتيا كان الضوء أو عرضيا ، قويا كان الضوء أو ضعيفا ، فإن كل نقطة منه (أى من الجسم) يمتد منها ضوء ، في الجسم المشف المماس لها ، على كل خط مستقيم يصح أن يمتد منها ، هواء كان الجسم المماس لها أو ماء أو حجرا مشفا . وإذا صادفت الأضواء الممتدة في الجسم المماس للضوء الذي هو مبدؤها

جسماً مخالف الشفيف لشفيف الجسم الذى هى فيه ، فان ما كان منها على خطوط قائمة على سطح الجسم الثانى امتد على استقامته فى الجسم الثانى ، وما كان منها على خطوط مائلة على سطح الجسم الثانى انعطف فى الجسم الثانى ولم ينفذ على استقامته ، وامتد فى الجسم الثانى على سموت خطوط مستقيمة غير الخطوط الأولى التى كان يمتد عليها فى الجسم الأول .

وابن الهيثم يسمى الزاوية التى يحيط بها امتداد الخط الذى يمتد عليه الضوء فى الجسم الأول والخط الذى يمتد عليه فى الثانى « زاوية الانعطاف » .
ثم هو فى موضع آخر (١) من مقالته السابعة ينص على هذه الأحكام حيث يقول بلفظه :

« إن كل ضوء ينعطف من جسم مشف إلى جسم آخر فان انعطافه أبداً يكون فى السطح القائم على سطح الجسم الثانى على زوايا قائمة »
« وإن كان الجسم الثانى أغلظ من الجسم الأول فان الانعطاف يكون إلى جهة العمود الخارج من موضع الانعطاف ، القائم على سطح الجسم الثانى على زوايا قائمة ، ولا ينتهى إلى العمود . وإن كان الجسم الثانى ألطف من الجسم الأول فان الانعطاف يكون إلى ضد الجهة التى فيها العمود الخارج من موضع الانعطاف القائم على سطح الجسم الثانى على زوايا قائمة ، على اختلاف أشكال سطوح الأجسام المشقة . »

« إن الضوء إذا انعطف من جسم مشف إلى جسم ثان مشف ومن جسم ثان إلى جسم ثالث ، فانه ينعطف أيضاً عند سطح الجسم الثالث إذا كان الجسم الثالث مخالف الشفيف لشفيف الجسم الثانى . وإن كان الجسم الثالث أغلظ من الجسم الثانى كان انعطاف الضوء إلى جهة العمود الخارج من موضع الانعطاف القائم على سطح الجسم الثالث على زوايا قائمة . وإن كان الجسم الثالث ألطف من الجسم الثانى كان انعطاف الضوء إلى ضد الجهة التى فيها العمود وكذلك إن انعطف الضوء إلى جسم رابع وخامس وأكثر من ذلك . »

(١) و (٣٤) ، و (٣٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

وابن الهيثم يلم في هذه الأحكام التي ذكرها بالكيفية التي ينعطف عليها الضوء الماما عاما . ولو أن أكثر هذه الأمور كان معروفا من قبله وذكرها بطليموس في كتابه في المناظر ، فإنه من المتفق عليه بإجماع الآراء أن ابن الهيثم قد زاد على ما كان يعلم السابقون النص الصريح على معنى القانون الذي يعرف الآن بقانون الانكسار الأول وهو الذي ينص على أن الشعاع الساقط والعمود من نقطة السقوط والشعاع المنعطف في مستوى واحد .

وابن الهيثم في النص على هذا المعنى قد أدرك حقا خطورته وأدرك أنه ركن أساسي ، لا تتم بدونه دراسة المسائل الخاصة بالانعطاف .
وشأن هذا القانون لدى ابن الهيثم كشأن القانون النظير له في الانعكاس لديه . فهو قد عنى عناية خاصة بتحقيقه من الناحية العملية ، وجعله أساساً من الأسس التي بنى عليها مباحثه في الانعطاف .

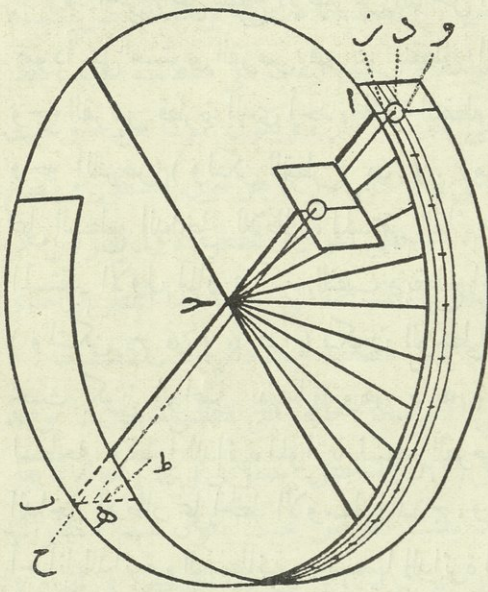
وابن الهيثم في بحوثه في الانعطاف يحتبب^(١) ذكر لفظ الشعاع فيها ، وبالرغم من أنه يتناول في كثير من المناسبات ذكر ما نسميه الآن « زاوية السقوط » فهو لم يطلق عليها اسما معينا . أما فيما يختص « بزاوية الانكسار » فهو يطلق عليها « الباقية » لأنها زيادة زاوية السقوط على زاوية الانعطاف ، وهو أحيانا يعبر عن الشعاع الساقط « بخط الامتداد » إلى موضع الانعطاف أو « خط الاستقامة » ويعبر عن الشعاع المنكسر بخط الامتداد من موضع الانعطاف أو « خط الانعطاف » . والوسط المشف الذي يمتد فيه الضوء يعبر عنه دائماً « بالجسم » . وقد زاد الفارسي على هذا بعض الاصطلاحات فزاوية السقوط يسميها زاوية العطف والوسط الذي يمتد فيه الضوء الساقط يسميه « جسم الضوء » والوسط الثاني الذي ينعطف فيه الضوء يسميه « الجسم المخالف » وكثيراً ما يضيف الجسم إلى البصر أو المبصر فيعني بذلك الجسم الذي يكون البصر أو المبصر فيه ، وهو يسمى المستوى الذي يشمل الشعاع الساقط والعمود من نقطة السقوط والشعاع المنعطف « سطح الانعطاف »

(١) أنظر فقرة (٢٢) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

ويسمى الفصل المشترك بين سطح الانعطاف و سطح المخالف « فصل الانعطاف » .

١٩٢ - آلة الانعطاف التي اعتبر بها ابن الهيثم

وقد حقق ابن الهيثم الأحكام الخمسة التي اجمالناها فيما سبق عمليا . واستعان لذلك بآلة اتخذها عني كعادته عناية تامة بوصف أجزائها وكيفية صنعها وشرح استعمالها للأغراض التي يريد (١) ونسُميها آلة الانعطاف . وهي تتركب من قرص من النحاس (شكل ١٦٠) ذي سمك مقتدر يبلغ قطره



(شكل ١٦٠)

حوالى ٣٤ سنتيمترا ، ويحيط بثلاثة أرباع محيط القرص إطار قائم على مستوى القرص ومصنوع من النحاس وسمكه مقتدر يبلغ عرضه حوالى ٤,٥ من السنتيمترات ، ومرسوم على السطح الأسطوانى لهذا الاطار من الداخل ثلاثة خطوط موازية بالكامل لسطح القرص يبعد الخط الأوسط بمقدار سنتيمتر بالتقريب عن سطح القرص والآخران عن

جانبه يبعد كل منهما عن الأوسط بقدر نصف بعد الأوسط من سطح القرص . وواضح أن هذه الخطوط هي مقاطع ثلاثة مستويات موازية لسطح القرص

(١) يستغرق وصف الجهاز وشرح كيفية استعماله لتحقيق أحكام الكيف جل ماورد من و (٣) إلى و (٣٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر . والصورة الفوتوغرافية التي لدينا من مخطوط مكتبة الفاع بنقصها صورة الورقة الثالثة من هذا المخطوط فأتممنا النص بالرجوع الى مخطوط أيا صوفيا وكتاب التنقيح .

وعلى أبعاد متساوية ، بالسطح الأسطوانى الداخلى للإطار ، ولما كان الإطار مقطوعاً منه ربعه فكل خط منها هو ثلاثة أرباع محيط دائرة .

ويوجد بالإطار على بعد لا يقل عن سنتيمترين من أحد طرفيه ثقب مستدير مركزه (نقطة د بالشكل) على الخط الأوسط ، ونصف قطره مثل بعد الأوسط عن كل من الخطين اللذين عن جنبيه . فمحيط الثقب يسهما على نقطتين (ولتكن النقطتان و و ص) وقد قسم الخط الأوسط أقساماً متساوية ابتداء من مركز الثقب ، كل قسم منها قوس قدرها درجة ، وابن الهيثم يفضل أن تقسم الدرجة أيضاً أجزاءً .

وقد أخرج على سطح الإطار من الداخل المستقيم المار بمركز دائرة الثقب عموداً على مستوى القرص فهو يمر بنقطتي التماس المذكورتين . ورسم على وجه القرص قطره الذى أحد طرفيه النقطة التى يلقى عليها المستقيم المذكور وجه القرص (وليكن القطر ا ب) . ومن الطرف الآخر للقطر أخرج على السطح الداخلى للإطار ، المستقيم القائم على سطح القرص . فهو يوازى المستقيم الأول المار بمركز الثقب ويقطع الخطوط الثلاثة على نقاط ثلاثة (ولتكن ح و ه و ط) تكون الوسطى منها مقابلة بالتام لمركز الثقب بحيث يكون الواصل بينهما (وهو د ه) موازياً لقطر القرص وموازياً لسطحه ، وقطراً للدائرة الموازية لسطح القرص التى تمس السطح الأسطوانى الداخلى للإطار على الخط الأوسط المدرج ، وهى الدائرة التى يسميها ابن الهيثم أحياناً الدائرة « الوسطانية » ونسميها الدائرة الوسطى . ويكون الواصل د ه هو أيضاً سهم الأسطوانة القائمة المتوهمة التى إحدى قاعدتيها دائرة الثقب ، وقاعدتها الأخرى دائرة مثلها مركزها النقطة الوسطى المذكورة (أى نقطة ه) . وتتضمن بعض التجارب التى ذكرها ابن الهيثم واستعان فيها بهذه الآلة أن يكون ربع محيط القرص الحادث من إخراج نصف قطره القائم على القطر المذكور من الجهة التى يحيط بها الإطار مدرجاً أيضاً ، بحيث تكون قوس الزاوية القائمة الحادثة مقسمة تسعة أقسام متساوية وتكون الأقطار الخارجة من كل قسم منها مبينة على وجه القرص . وعلى هذه الصفة تكون الزاوية التى

يحيط بها كل اثنين متجاورين عشر درجات . وتسهيلا للشرح سنسمى فيما يلي القطر الأول المذكور آنفا وهو ١ ب (شكل ١٦٠) القطر الأول للقرص ، أما الأقطار الأخرى المرسومة على سطحه فنسُميها الأقطار المائلة .

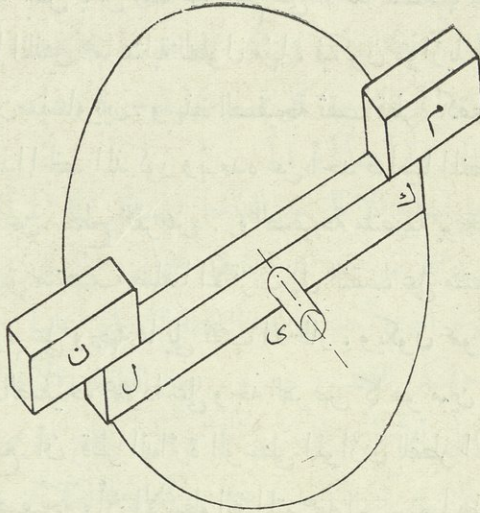
والآلة صفيحة من النحاس مقتدرة السمك مستطيلة الشكل عرضها كعرض الإطار وطولها ليس بأقل منه قد رسم على أحد سطحها خط مستقيم يمر بمنتصف ضلعها اللذين هما بمثابة الطول منها ، فيكون موازيا لعرض الصفيحة ويقسمها قسمين متساويين . وهذه الصفيحة ثقب قطره كقطر ثقب الإطار ومركزه على هذا الخط المذكور وبُعدّه عن أحد ضلعها المنصفين كبعد مركز ثقب الإطار عن سطح القرص . والصفيحة ملتصقة بوجه القرص التصاقا ثابتا بحيث ينطبق منتصف ضلعها الأقرب إلى الثقب على منتصف نصف قطر القرص المرسوم على وجهه مما يلي ثقب الإطار ، ويكون عمودا عليه وبحيث يكون مستوى الصفيحة عمودا على وجه القرص كما هو مبين بالشكل . ويتضح من هذا الوضع أن قطر الدائرة الوسطى الموازي للقطر الأول للقرص يمر بمركز ثقب الصفيحة وأن الاسطوانة المتوهمة التي سهمها هذا القطر وإحدى قاعدتيها محيط دائرة ثقب الإطار يمس سطحها محيط دائرة ثقب الصفيحة .

ولكي يتيسر تهئية الآلة على الأوضاع المختلفة التي تتطلبها التجارب يوجد بظهر القرص كما هو مبين بشكل (١٦١) شخص أسطوانى (ي) طوله لا يقل عن ستة سنتيمترات وهو ملتحم بظهر القرص بحيث يكون سهم اسطوانته عمودا على مستوى القرص ومارا بمركزه . ويركب هذا الشخص فى ثقب فى منتصف قضيب ^(١) من النحاس مقطعه مربع ، طوله كقطر القرص وكل من عرضه وسمكه أربعة سنتيمترات بحيث « يتهدم فيه (أى فى ثقب الساق) الشخص الذى على ظهر الآلة تهندهما مستحكما » .

ومركب على طرفى القضيب عارضان (م ، ن) من جنسه ملتصقان به تبرزان إلى الخارج من الناحيتين كما هو مبين بالشكل ، حتى إذا وضعت

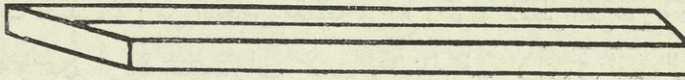
(١) يسمى ابن الهيثم هذا القضيب « مسطرة » ولكننا فضلنا تجنب هذا الاسم منعاً لما قد يحدث بعد من الالتباس .

العارضتان على قائمين راسيين أو على طرف إناء اجوف ارتكزا على القائمين أو على حرف الإناء بحيث يكون مستوى القرص رأسياً وبحيث يتيسر إدارة القرص حول نفسه وهو على هذا الوضع .
وللآلة مسطرة صحيحة من النحاس (شكل ١٦٢) طولها أكبر من نصف



(شكل ١٦١)

قطر القرص وأصغر من ثلاثة أرباع قطره ، وعرضها ضعف قطر كل من الثقبين ، وسمكها مثل قطره ، وأحد طرفيها مدبب بحيث يصنع طول المسطرة مع حدها عند هذا الطرف زاوية حادة كالميلينة بالشكل ، ومرسوم على أحد وجهي المسطرة خط يوازي طولها ويمر بمنتصف عرضها .



(شكل ١٦٢)

وهذه المسطرة يمكن تركيبها على وجه قرص الجهاز إما منبسطة على سطحها الموازي للوجه المرسوم عليه الخط المذكور فيكون هذا الخط في مستوى الدائرة الوسطي وإما قائمة على حدها فيكون في هذه الحالة أيضا في مستوى تلك الدائرة .

تلك هي الآلة التي اعتبر ابن الهيثم بها في بحوثه عن الانعطاف . وقد يكون من المناسب تسهيلا لشرح كيفية استخدامها الأغراض التي أرادها منها ابن الهيثم أن نستعير من الفارسي تسمية الصفيحة ذات الثقب القائمة على وجه القرص « الهدف » ، والمستقيم الواصل بين مركزى الثقبين « خط الثقبين » ، والخط المرسوم على وجه المسطرة « خط المسطرة » .

ويجدر بنا أن نذكر هنا أن ابن الهيثم في وصف هذه الآلة حدد إلا يكون قطر القرص باقل من ثلثي ذراع وأن يكون عرض الأطار أصبعين وقطر كل من الثقبين طول شعيرة^(١) وأن يكون بعد ثقب الأطار عن حرفه أصبعاً وإن يكون طول الشخص الأسطواني بظهر القرص ثلاثة أصابع وأن يكون عرض الساق التي يتهدم في ثقبها الشخص أصبعين وكذلك سمكها . وأن يكون طولها في الأصل ليس بأقل من ذراع . ثم يتهدم الشخص في ثقب في وسطها ويدخل الشخص في الثقب إلى أن ينطبق السطح الخلفي للقرص على سطح الساق ، ثم يقطع ما يفضل من طرفها على قطر القرص وتركب الفضلتان من فوق طرفي ما يبقى من الساق بحيث يكون ما يركب من كل من الفضلتين عليها قدر أصبع واحدة . فيكون نتوء كل من العارضتين بقدر ثلاث أصابع . إما طول المسطرة فيحدد ابن الهيثم إلا يكون أقل من نصف ذراع .

وابن الهيثم يشرح شرحاً مسهباً كيفية استعمال هذه الآلة للتحقق من الأحكام التي ذكرها في الانعطاف وكذلك لتعيين زوايا الانعطاف المختلفة التي تقابل كل منها زاوية سقوط معلومة . وهو يتخذ في جميع التجارب التي يوردها إزاء قائم الحروف ، سطح حرفه الأعلى مستوى أفقي يتسع لدخول آلة الانعطاف فيه « كحوض من حجر أو ما يماثله » بحيث إذا أدخل الجهاز فيه ارتكزت عارضتا الساق الخلفية على حرف الإناء وصار الإناء كالحامل للآلة ، ثم يضع الإناء موضعاً تشرق عليه الشمس ويضع فيه آلة الانعطاف

(١) يلاحظ هنا أنه ينص صراحة على أنه يعني طول شعيرة . وإن كان الأفضل أن يكون القطر أقل من ذلك كعرض شعيرة وهو يساوي ٠,٣٤ من السنتيمتر — انظر رسالة محمود باشا الفلكي في المقاييس والمساكيل المصرية .

على الوضع المذكور ، فيكون مستوى قرص الآلة رأسياً وأكثر من نصفه الأسفل في داخل الإناء . ويدير الآلة حول حرف الإناء ثم يدير القرص حول نفسه إلى أن يحاذي ثقب الإطار جرم الشمس فينفذ ضوءها منه إلى ثقب الهدف ، ويكون سهم الضوء النافذ من الثقبين وهو المستقيم الواصل بين مركزيهما منطبقاً على قطر الدائرة الوسطى ، والضوء الممتد على استقامة هذا المستقيم هو الذي يقابل عندنا ما نسميه الشعاع الساقط وهو الذي يكون مسيره على « خط الثقبين » .

وتجارب ابن الهيثم التي استخدم فيها هذه الآلة متنوعة كثيرة ، جعلها تشمل الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء ومنه إلى الزجاج ومن الزجاج إلى الهواء ومنه إلى الماء ، وراعى فيها الانعطاف عند السطح المستوي وعند السطح الكرى . وسنشرح فيما يلي مباحثه العملية في كل ذلك وما تضمنته من ملاحظات دقيقة وما ورد فيها من وسائل سهلة بسيطة اتخذها زيادة في التحقق من نتائج تلك الاعتبارات . وسنبديء أولاً بذكر ما يتعلق منها بالناحية الوصفية في الانعطاف . ثم نتناول بعد ذلك مباحثه فيما يتعلق بالناحية الكمية .

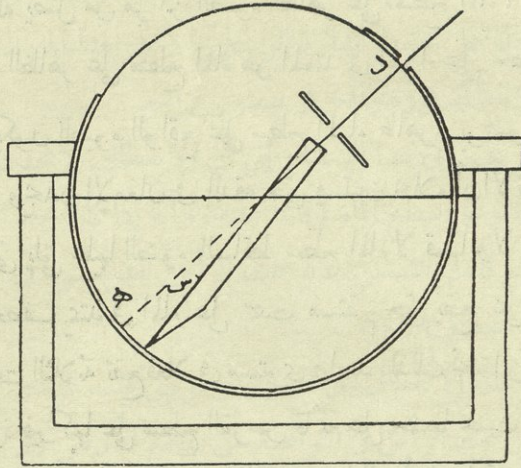
١٩٣ - بيان كيفية الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء

بدأ ابن الهيثم بحوثه العملية بالبحث عن كيفية انعطاف الضوء عند نفوذه من الهواء إلى الماء . وهو في هذه الاعتبارات ^(١) يسكب في الإناء ماءً حتى يصل سطحه إلى مركز القرص بالضبط ويهيئ وضع الآلة حتى ينفذ ضوء الشمس من الثقبين ويقع على سطح الماء فيكون المقطع المار بالدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٢) . ويصف بالدقة ما يشاهد على سطح الماء وعلى باطن الجزء المغمور في الماء من إطار الآلة إذا نظر من الربع الخالي الذي لا يحيط به الإطار .

فوقع الضوء على باطن الإطار من الجزء المغمور منه وإن كان مستديراً (بالنسبة إلى الحس) ومركزه على محيط الدائرة الوسطى فإنه يتجاوز الخطين

(١) و (٨) — و (١٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

المرسومين على باطن الإطار اللذين عن جنبتى محيط هذه الدائرة . وهو قد سبق أن بين في بحوثه عن إمتداد الضوء على سموت الخطوط المستقيمة السبب



(شكل ١٦٣)

في أن ضوء الشمس إذا نفذ من ثقب ضيق نفذ منخرطاً إلى الاتساع (١) . وأيضاً فإن مركز هذا الضوء وإن كان على محيط الدائرة الوسطى فإنه لا يوجد عند طرف قطرها المار بمركزى الثقبين (أى لا يوجد عند نقطة هـ في الشكل) وإنما يوجد منعطفاً إلى جهة العمود المقام من مركز تلك الدائرة على سطح الماء .

ولعل ابن الهيثم يرى أن التجربة إذا اكتفى فيها بما ذكر لا تكون دقيقة فهي لا تدل بالدقة على أن الضوء الممتد على خط الثقبين يلقى سطح الماء على نقطة ثم ينعطف عند هذه النقطة نافذاً في الماء على إمتداد خط مستقيم يكون هو وخط الثقبين والعمود القائم على سطح الماء من تلك النقطة في مستوى واحد . لذلك نجدهم يستعين بخلاصة رقيقة يلصقها بظاهر ثقب الإطار بحيث تكون كالقطر له . فاذا نظر إلى الضوء الذى يرى على سطح الماء ونظر إلى الضوء الذى يرى على باطن الإطار رؤى ظل الخلاصة في كل منهما كالقطر له . » وكذلك إن جعلت الخلاصة

(١) أنظر الباب الأول من الجزء الأول من هذا الكتاب .

نصف قطر فانه (أى المعتبر) يحدد ظلها كذلك فطرف ظلها على مركزى الضوءين . وعلى هذا المنوال يبين أن الضوء الواصل إلى مركز الضوء الظاهر على إطار الآلة يصل من مركز الضوء الظاهر على سطح الماء ، والواصل إلى مركز الضوء الظاهر على سطح الماء هو الممتد فى الهواء على خط الثقبين .

وقد لا يكون الضوء الواقع على سطح الماء ظاهراً بوضوح وقد يجدر زيادة التحقق ويجدر الإمعان فى الدقة حتى يستبين بجلاء أن الانعطاف يحدث عند النقطة التى يلقى عليها الضوء الساقط سطح الماء لا قبلها ولا بعدها ، وأن الضوء متى انعطف يمتد فى الماء على سمت مستقيم حتى يقع على إطار الآلة ، وأن المستقيمات الثلاثة تقع فعلاً فى مستوى واحد . لذلك نجد ابن الهيثم يستعين أيضاً بالمسطرة فيركبها على سطح القرص قائمة على حدها بحيث يكون وجهها الذى عليه الخط منطبقاً على سطح الماء وموجهاً إلى أعلى فيكون خط وجهها وهى على هذا الوضع فى مستوى الدائرة الوسطى . فيرى موقع الضوء على سطح الماء ظاهراً بوضوح على وجه المسطرة ويرى مركزه على خطها . وإذا استعين بالخلاصة كما ذكر آنفاً أمكن التأكد من أن الضوء الممتد على خط الثقبين يقع على سطح الماء عند مركز الضوء الظاهر عليه وأن هذه النقطة فى مستوى الدائرة الوسطى ، بل وأنها هى مركز هذه الدائرة . ثم إذا ركبت المسطرة بعد ذلك منسطة على ظهرها بحيث يكون وجهها فى هذا الوضع فى مستوى الدائرة الوسطى ، وجعلت على القرص بحيث كان حرفها ذو الطرف المدب من وجهها الملتصق بسطح القرص ماراً بمركزه وقرنة المسطرة التى هى الطرف المدب من ضلع وجهها الذى عليه الخط ، عند مركز الضوء الواقع على الإطار (كما هو مبين بشكل ١٦٢) كان هذا الضلع ممتداً على استقامة قطر من أقطار الدائرة الوسطى . فإذا جيء بخلاصة طويلة ودخلت فى الماء وجعل رأسها على نقطة من الضلع المذكور كنقطة س مثلاً ، وحرك على هذا الضلع ، وجد ظل الخلاصة قاطعاً الضوء الواقع على إطار الجهاز ، ووجد رأسه أبداً عند قرنة المسطرة التى هى مركز ذلك الضوء .

وبهذه الكيفية بين ابن الهيثم أن الضوء الذي يمتد على خط الثقبين على استقامة نصف قطر من أقطار الدائرة الوسطى ويقع على سطح الماء عند مركز هذه الدائرة يمتد في الماء على استقامة نصف قطر من أقطارها، فيقع على باطن الإطار عند نقطة على محيط الدائرة الوسطى . وعلى هذا المنوال يوضح أن المستقيمات الثلاثة المذكورة واقعة في مستوى واحد

وابن الهيثم يشير في هذا الاعتبار إلى أن الانعطاف لا يحدث إلا إذا كان خط الثقبين مائلاً على سطح الماء لاقاماً عليه ، وأنه إذا كان خط الثقبين عموداً على سطح الماء وكانت الشمس عند سمت الرأس نفذ الضوء في الماء على سمتة الأول من غير انعطاف .

وينبئ عند بيان الانعطاف في الماء إلى وجوب تجنب الوقت الذي تكون فيه الشمس على سمت الرأس في المواضع من سطح الأرض وفي الأوقات التي يتأتى فيها ذلك ويقول بلفظه « وأكثر المواضع المعمورة من الأرض ليس تمر الشمس بسمت رؤوس من فيها وهذه المواضع يتم فيها هذا الاعتبار في كل وقت (١) » .

ولا يخفى أنه من الميسور أن يهيا الجهاز بحيث يكون خط الثقبين رأسياً فيكون عموداً على سطح الماء ويؤتى بمرآة مستوية مثلاً وتوضع في الوضع المناسب بحيث تنعكس عن سطحها أشعة الشمس وتنفذ من ثقب الجهاز وتقع عمودية على سطح الماء . فيتيسر التحقق من هذا الأمر أيضاً ، غير أنه لم يعن بذلك في اعتباراته الخاصة بالماء .

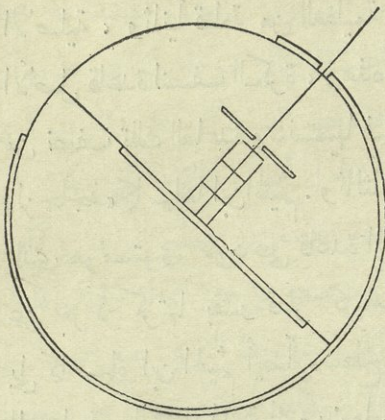
١٩٤ - الاستدلال على عدم انعطاف الضوء الواقع عموداً على السطح

ولعل إغفاله بيان هذا الأمر عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء جعله يعنى عناية خاصة ببيانه عند نفوذ الضوء في الزجاج ، إذ له تجارب عدة يوضح بها هذا الأمر وحده . والذي يجدر ذكره في هذا الصدد أنه إن أراد مثلاً أن يبين أن الضوء إذا وقع عموداً على السطح عند نفوذه من الهواء في الزجاج ،

فانه ينفذ في جسم الزجاج على استقامته الأولى ، إن أراد أن يبين هذا تجنب أن تتضمن التجربة نفوذ الضوء بعد ذلك من الزجاج إلى الهواء ، أو أن يكون لنفوذه من الزجاج إلى الهواء شأن في التدليل . وموقفه هذا جدير بالتقدير . فاذا قيل مثلاً أن الشعاع من الضوء إذا وقع على أحد سطوح قطعة من الزجاج على شكل متوازي مستطيلات عموداً عليه فانه ينفذ من السطح الموازي خارجاً منها على استقامته الأولى فان هذا في نظر ابن الهيثم لا يصح أن يتخذ دليلاً مقنعاً على أن الضوء الواقع عموداً على سطح الزجاج ، امتداده في جرم الزجاج على استقامة إمتداده في الهواء قبل وقوعه على سطح الزجاج أو هو على استقامة إمتداده في الهواء بعد نفوذه من الزجاج . لذلك نجدد يبحث عن الوسيلة لبيان كل واحد من هذين الأمرين على حدته أولاً وليبان أن الأمر كذلك سواء كان سطح الزجاج مستوياً أو مقعراً .

فهو يتخذ فيما يختص بالسطوح المستوية قطعاً مكعبة متساوية من الزجاج (١) ضلع كل منها ضعف قطر الثقب سطوحها مسواة ومجولة ، ويركبا على سطح القرص بين مركزه وبين الهدف مبتدئاً من المركز بحيث تكون متلامسة ويكون القطر الأول للقرص ماراً بمنتصفي ضلعين متوازيين من قاعدة كل منهما وعموداً عليهما ، فيكون خط الثقبين عموداً على سطوحها العمودية على القطر الأول وماراً بمنتصفات هذه السطوح كما هو مبين في شكل (١٦٤) ثم يركب المسطرة على حدها بحيث يكون وجهها الذي عليه الخط ملاصقاً لوجه الزجاج الأولى فيصير خط المسطرة في مستوى الدائرة الوسطى . فعلى هذا الوضع إذا نفذ ضوء الشمس من الثقبين يوجدمركز الضوء الظاهر على وجه المسطرة على خطها . وابن الهيثم هنا أيضاً بخلاصة دقيقة لزيادة التأكد . فاذا وضعت بحيث يكون طرفها على مركز ثقب الاطار رؤى ظل طرفها عند مركز الضوء على وجه المسطرة وعلى خط وجهها . وهو في هذا الموضع يطالب بأن يعين موضع ظل طرف الخلاصة على وجه المسطرة بنقطة تنقط بالسواد ،

ثم تثبت المسطرة على هذا الموضع . فاذا وضعت الخلالة بحيث يكون طرفها



(شكل ١٦٤)

على مركز ثقب الهدف وجد على وجه المسطرة ظل طرفها في موضعه الأول . وكذلك إذا وضع طرف الخلالة على مركز الضوء الظاهر على سطح الزجاج مما يلي الهدف ، أو إذا نقط بالسواد نقطة على مركز هذا الضوء ، وكذلك إذا قلعت الزجاجات مما يلي الهدف واحدة واحدة وأعيدت هذه الاعتبارات في كل حالة .

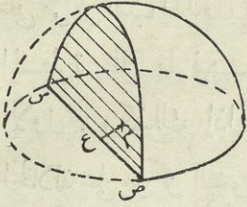
على هذه الصفة وبمثل هذا الترتيب يشرح ابن الهيثم الاعتبار ، ويقول « فيبين من ذلك أن الضوء ينفذ في جسم الزجاج ويمتد في جسم الزجاج من بعد نفوذه على سموت خطوط مستقيمة . ويتبين من ذلك أيضاً أن الضوء المار بمركزي الثقبين قد امتد في جسم الزجاج على استقامة الخط الذي عليه امتد في الهواء قبل نفوذه في الزجاج ، والخط الذي عليه امتد هذا الضوء في الهواء هو عمود على سطح الزجاج المقابل للثقب » (١) .

أما فيما يختص بالسطوح السكرية فهو يتخذ قطعة من البللور (٢) كالمبينة بشكل (١٦٥) مقطوعة من نصف كرة ، نصف قطرها أصغر قليلاً من البعد بين مركز قرص الجهاز وبين الهدف ، بحيث يكون سطح القطع مستوياً عموداً على قاعدة نصف الكرة ، ويبعد عن مركز الكرة بقدر قطر كل من ثقبي الجهاز . فاذا كانت نقطة م (شكل ١٦٥) مركز كرة الزجاج وكان س ص خط تقاطع قاعدة نصف الكرة ومستوى القطع فإن المستقيم م ع الواصل من المركز إلى منتصف س ص يكون عموداً عليه ويكون مساوياً قطر كل

(١) و (١٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (١٨) — و (٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

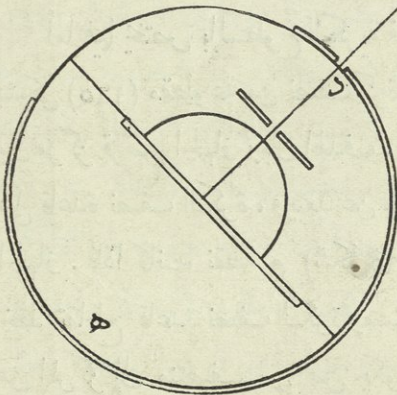
من الثقبين ، وتكون حدود قطعة الزجاج أولاً جزءاً من سطح نصف الكرة الأصلية ، وثانياً قطعة من العظيمة التي كانت في الأصل قاعدة لنصف الكرة ، وهذه القطعة أعظم من نصف تلك القاعدة ونسبها فيما يلي « قاعدة الزجاجاة » كما سماها ابن الهيثم . وثالثاً سطح القـطـع الذي هو مستوى عمود على قاعدة الزجاجاة ويبعد



(شكل ١٦٥)

عن مركز كرتها بقدر قطر كل من الثقبين . ونسبها هذا المستوى فيما يلي كما سماه ابن الهيثم أيضاً « سطح القـطـع » . ونسبها خط تقاطعه وقاعدة الزجاجاة « الفصل المشترك » بينهما .

وتركب هذه الزجاجاة على قرص الجهاز بحيث ينطبق سطح القطع على سطح القرص ويكون الفصل المشترك عموداً على القطر الأول للقرص ، ومتنصفه عند مركز القرص ، وتكون حدة الزجاجاة مما يلي الهدف . فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٦) ويقطع الزجاجاة على نصف دائرة مركزها مركز كرة الزجاجاة وينطبق على مركز الدائرة الوسطى . وعلى هذا الوضع يكون خط الثقبين عموداً على السطح الكرى للزجاجاة ماراً بمركز كرتها . وابن الهيثم يستعين أيضاً بالمسطرة ويركبها قائمة على حدها ووجهها الذي عليه الخط



(شكل ١٦٦)

ملاص لقاعدة الزجاجاة ويعيد اعتباراته بالخلالة ومشاهداته كما في الحالة السابقة مدلاً على أن الضوء الممتد على خط الثقبين يقع على السطح الكرى للزجاجاة عموداً عليه وينفذ في جرمها على استقامته الأولى دون أن ينعطف .

ثم هو يمتضى بعد ذلك لبيان أن الضوء إذا وقع في جرم الزجاج عموداً

على السطح نفذ إلى الهواء على استقامة دون أن ينعطف . وهو يدل على هذا بما يشاهد إذا رفعت المسطرة من وضعها المذكور . فالضوء الممتد على خط الثقبين النافذ في جرم الزجاج يقع على قاعدة الزجاج عموداً عليها فيوجد مركزى الضوء الواقع على باطن الاطار على طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين (أى نقطة ه فى الشكل) . وهو يتناول أيضاً الحالة (١) التى يعكس فيها وضع الزجاج فتوضع بحيث ينطبق سطح القطع على سطح القرص ويكون الفصل المشترك عموداً على القطر الأول ومتصفه على هذا القطر ولكن قاعدة الزجاج مما يلي الهدف . فالضوء الممتد فى الهواء على خط الثقبين يقع عموداً على قاعدة الزجاج فينفذ في جرم الزجاج على استقامة ثم يقع عموداً على سطحها الكرى وينفذ خارجاً منه إلى الهواء . فيوجد مركزى الضوء الواقع على الاطار على طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين .

هذا فيما يتعلق بنفوذ الضوء من الزجاج إلى الهواء . وهو أيضاً يتناول الأمر فيما يتعلق بنفوذ الضوء الخارج من الزجاج منه إلى الماء سواء كان سطح الزجاج الخارج منه الضوء إلى الماء مستوياً أو كريباً . ويدل على ذلك بتركيب الزجاج فى وضعها المذكورين آنفاً كل على حدته . فاذا سكب فى الاناء ماء والزجاج فى الوضع الأول (٣) حتى يتجاوز سطحه مركز القرص قليلاً ، أو سكب فى الاناء ماء والزجاج فى الوضع الثانى (٢) حتى يبلغ سطحه حدبته دون أن يصل إلى موقع الضوء على قاعدتها المستوية ، وجد الأمر كذلك أيضاً .

١٩٥ — بيان كيفية الانعطاف فى كل من الوسطين الهواء والزجاج

والماء والزجاج

وابن الهيثم إذ يفرغ من تحقيق أن الضوء الواقع عموداً على السطح ينفذ فى الوسط الثانى على استقامته دون أن ينعطف يتناول بيان كيفية الانعطاف

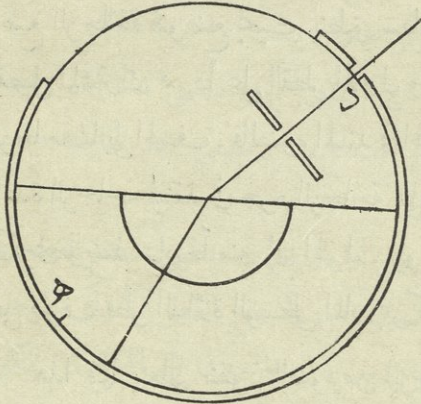
(١) و (٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

عند نفوذ الضوء (أولاً) من الهواء في الزجاج أو من الزجاج في الهواء ،
(ثانياً) من الزجاج في الماء إذا لم يكن وقوعه على السطح الفاصل بين
الوسطين عموداً عليه سواء كان هذا السطح مستوياً أو كريباً .

فلنبحث عن كيفية الانعطاف من الهواء إلى الزجاج عند السطح المستوي^(١)



(شكل ١٦٧)

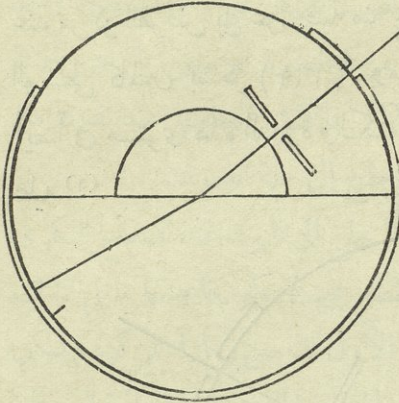
تركب الزجاج بحيث يُطبق
سطح القطع على سطح القرص
وبحيث تكون قاعدتها بما يلي
الهدف ومنتصف الفصل
المشترك على القطر الأول^(٢)
والفصل المشترك يميل عليه
بزواوية ليست قائمة ، فيكون
المقطع المار بمستوى الدائرة
الوسطى كالمبين بشكل (١٦٧)

ففي هذا الوضع يقع الضوء الممتد على خط الثقبين على القاعدة المستوية للزجاجة
ويلقاها على مركز كرة الزجاج ، فيمتد في جرم الزجاج على استقامة نصف
قطر من أقطارها ، فيقع على سطحها الكرى عموداً عليه وينفذ خارجاً إلى الهواء
على استقامة امتداده في جرم الزجاج ، ويقع عند مركز الضوء الظاهر على إطار
الجهاز . وإن كان مركز الضوء الظاهر على إطار الجهاز يوجد في هذا الاعتبار
أيضاً على محيط الدائرة الوسطى فإنه لا يوجد عند طرف قطرها المار بمركز
الثقبين وإنما يوجد منعطفاً نحو العمود المقام من نقطة وقوع الضوء على السطح
المستوى لقاعدة الزجاج عموداً عليه كما هو مبين بالشكل .

(١) و (٢٠) - و (٢٣) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) لم يتقيد ابن الهيثم في وصفه لهذا الاعتبار بأن يكون منتصف الفصل المشترك عند
مركز القرص ولو فعل لكان انصب ، إذ تكون الزاوية التي يوترها البعد بين طرف خط
الثقبين من الدائرة الوسطى وبين مركز الضوء الحاصل على الاطار ، تكون الزاوية التي يوترها
هذا البعد عند مركز الدائرة الوسطى هي زاوية الانعطاف كما هو مبين بالشكل الذي أورده .

وللبحث عن كيفية الانعطاف من الزجاج إلى الهواء عند السطح المستوي تركب الزجاجات بحيث يُطبق سطح القطع على سطح القرص وبحيث تكون



(شكل ١٦٨)

حدبتها مما يلي الهدف^(١). وهو يُحدد في هذا الاعتبار أن يكون منتصف الفصل المشترك عند مركز القرص ولكن الفصل المشترك يميل بزاوية ليست قائمة على القطر الأول للقرص، فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٨)، ويكون مركز الزجاجات عند مركز

الدائرة الوسطى. فالضوء الممتد على خط الثقين يقع عموداً على السطح الكرى للزجاجة فينفذ في جرمها على استقامة حتى يقع على السطح المستوي لقاعدتها عند مركز كرتها، فينفذ خارجاً إلى الهواء ويوجد في هذه الحالة مركز الضوء الظاهر على إطار الجهاز عند محيط الدائرة الوسطى، ولكنه ليس عند طرف قطرها المار بمركز الثقين، وإنما منعطفاً إلى ضد جهة العمود كما هو مبين بالشكل.

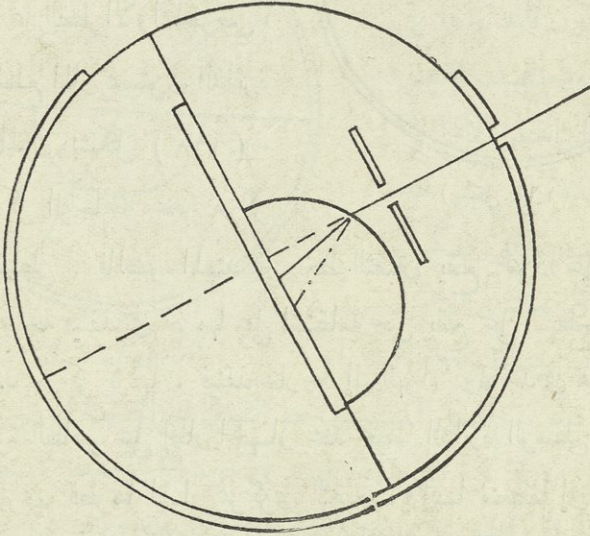
ويستخدم ابن الهيثم هذا الوضع لبيان كيفية انعطاف الضوء من الزجاج إلى الماء عند السطح المستوي^(٢). فإذا سكب في الاناء ماء حتى يبلغ سطحه مركز القرص ثم يتجاوزه قليلاً، فإن انعطاف الضوء الممتد في جرم الزجاج على خط الثقين يحدث عند السطح المستوي الفاصل بين الزجاج والماء. ويوجد أيضاً إلى ضد جهة العمود ولكن مقداره في هذه الحالة يكون أقل مما هو في الحالة السابقة.

وللبحث عن كيفية الانعطاف من الهواء إلى الزجاج عند السطح الكرى

(١) و (٢٣) — و (٢٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

(٢) و (٢٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

يجعل الزجاجة على سطح القطع بحيث تكون حداثتها مما يلي الهدف والفصل المشترك عموداً على القطر الأول للقرص وماراً بمركزه ، ولكن منتصفه ليس عند مركز القرص بل عن جنبه منه بحيث يكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٩) . ومركز كرة الزجاجة يكون في هذا الوضع أيضاً في مستوى هذه الدائرة ولكنه عن جنبه من مركزها فهو غير منطبق عليه (١) .

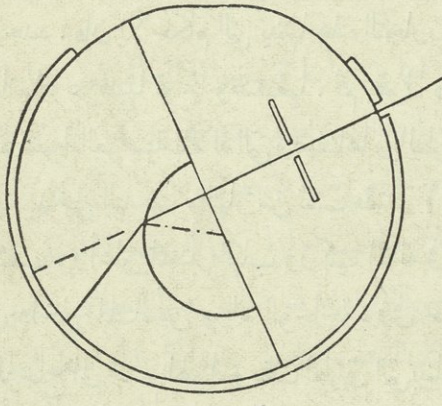


(شكل ١٦٩)

وابن الهيثم يستعين في هذه التجربة بالمسطرة ويركها على حدها بحيث يكاد ينطبق وجهها الذي عليه الخط على قاعدة الزجاجة ويكاد يكون خط وجهها في مستوى الدائرة الوسطى . وقد يكون من الأنسب في هذه الحالة أن يخط على وجه المسطرة خط عمود على خط وجهها يلقاه على نقطة ، فاذا ماركت المسطرة على حدها يلاحظ أن يكون طرف هذا الخط منطبقاً على مركز القرص فتكون النقطة التي يلتقي عليها هذا الخط خط المسطرة عند مركز الدائرة الوسطى بالضبط ، فبتحديد موضع مركز الدائرة الوسطى على هذه الصفة يسهل ادراك الغرض الذي يرمى اليه ابن الهيثم .

فالضوء الممتد على خط الثقبين في هذه الحالة يقع على حدة الزجاج بحيث يحيط مع العمود على السطح (وهو نصف القطر المنتهى إلى نقطة وقوع الضوء) بزاوية ليست قائمة ، فاذا تؤمل الضوء الظاهر على وجه المسطرة وجد مركزه على خط وجهها ولكنه ليس عند مركز الدائرة الوسطى بل عن جنبه منه من الجهة التي فيها مركز كرة الزجاج (١) . فالضوء ينعطف عند نفوذه من الهواء الى الزجاج عند السطح الكرى للزجاج إلى جهة العمود .

وللبحث عن كيفية الانعطف من الزجاج الى الهواء عند السطح الكرى أيضاً يجعل ابن الهيثم الزجاج على سطح القطع بحيث تكون قاعدتها مائلة إلى الهدف ويكون الفصل المشترك عموداً على القطر الأول للقرص وماراً بمركزه ولكنه منتصفه عن جنبه من المركز أيضاً ، فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٧٠) ويكون الضوء الممتد على خط الثقبين نافذاً في جرم الزجاج



(شكل ١٧٠)

على استقامته حتى يلتقي حدة الزجاج حيث يحيط مع نصف قطرها المنتهى إلى نقطة الالتقاء بزاوية ليست قائمة ، فينفذ خارجاً إلى الهواء . ويوجد مركز الضوء الظاهر على إطار الجهاز لا عند طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركز الثقبين بل منعطفاً

إلى الجهة التي فيها مركز كرة الزجاج ، دالا ذلك على أنه ينعطف عند نفوذه

(١) يجعل ابن الهيثم في هذا الاعتبار المسطرة موازية لقاعدة الزجاج وجهها الذي عليه الخط يبعد قليلاً عنها ، ويقول عن الضوء الخارج من السطح المستوي للزجاج « وهذا الضوء عند خروجه من سطح الزجاج المستوي يكون منعطفاً إلا أنه إذا كانت المسطرة الدقيقة قريبة جداً من سطح الزجاج فليس يكون ميل مركز الضوء الذي في المسطرة عن استقامة الخط الذي هو ممتد في جسم الزجاج ميلاً يخفى من أجله انعطاف الضوء في جسم الزجاج أو تخفى جهته » وواضح أنه إن لم تكن المسطرة الدقيقة قريبة جداً من سطح الزجاج ، كما يقول ، فإن الانعطاف عند خروج الضوء من الزجاج إلى الهواء يضاف تأثيره إلى التأثير المقصود في التجربة .

من الزجاج إلى الماء إلى ضد جهة العمود^(١) . ويلاحظ في هذا الوضع أن القوس المحدودة بطرف خط الثقبين ومركز الضوء الواقع على إطار الجهاز لا يتعين بها زاوية الانعطاف .

وابن الهيثم يتناول وصف ما يشاهد في هذه الحالة أيضاً إذا سكب في الاناء ماء بحيث يغمر الزجاج إلى ما فوق موضع الانعطاف دون أن يبلغ سطحه موقع الضوء على قاعدتها المستوية^(٢) .

تلك هي تجارب ابن الهيثم عن كيفية الانعطاف . وقد التزمنا في الشرح هنا أن نورد جميع الآراء التي ضمنها أقواله في هذه التجارب ونلم بجميع المعاني والأغراض التي أرادها دون أن نخرج أو نعيد عن الطريق الذي سلكه إلى ذلك .

وتجارب توضح الأحكام الوصفية التي ذكرها في الانعطاف وهو يشير إلى أن الضوء الذي أجريت عليه هذه التجارب وإن كان ضوء الشمس وحده ، فإن الأحكام التي بينتها هذه التجارب عامة تنطبق على جميع الأضواء ذاتها وعرضها قوتها وضعفها ، ثم يقول « ومع ذلك فإنه قد يمكن أن تعتبر الأضواء العرضية بالآلة التي وصفناها وبالطرق التي شرحناها إذا اعتمد المعبر بيتاً يدخل إليه ضوء النهار من ثقب مقتدر ولا يدخل إليه الضوء إلا من ذلك الثقب ، وأغلق المعبر الباب وركب الآلة في قبالة الثقب وتأمل الضوء الذي في داخل الماء من وراء الزجاج ، وفي حرف الآلة إذا خرج من جسم الزجاج إلى جسم الهواء وسلك الطرق التي بينناها في اعتبار ضوء الشمس الخ^(٣) »

وابن الهيثم بعد كلام له يعود فيتناول^(٤) بالشرح المسهب ما يتعلق من هذه الاعتبارات ببيان أن الشعاع الساقط والشعاع المنعطف والعمود من نقطة الانعطاف يقع جميعها في مستوى واحد وهو القانون الذي يعود إليه الفضل في النص عليه واستيفاء تحقيقه عملياً .

(١) و (٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٢٦) — و (٢٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (٢٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) الفصل الثالث من المقالة السابعة و (٣٢) — و (٣٥) من مخطوط المقالة .

١٩٦ - الناحية الكمية من بحوث ابن الهيثم العملية عن الانعطاف

والناحية الكمية من بحوث ابن الهيثم تشمل قياس زوايا الانعطاف المقابلة لزوايا سقوط معينة عند نفوذ الضوء من الهواء في الماء ومنه في الزجاج وبالعكس ، وعند نفوذه من الزجاج في الماء أيضاً . وقد راعى في الأحوال التي اعتبر فيها بالزجاج الانعطاف عند السطح المستوي وعند السطح الكرى بل وضمن بحوثه اعتبارات في الانعطاف عند السطح الاسطوانى أيضاً .

وبحوثه الكمية هذه لا تختلف من حيث الفكرة الأساسية التي أنبتت عليها عن البحوث الوصفية التوضيحية التي أجملناها فيما سبق . ولكنها تمتاز في أن ابن الهيثم راعى فيها تخير الأوضاع التي كفلت له قياس الزوايا التي أراد قياسها وحاول أن يتخذ قياسها وسيلة إلى كشف العلاقة بين زاوية السقوط وبين زاوية الانعطاف .

ونحن في عرض هذه البحوث فيما يلي رأينا تقسيمها ثلاثة أقسام . نتناول في القسم الأول ما هو خاص منها بالانعطاف الضوء عند نفوذه من الهواء في الماء ، ونتناول في القسم الثاني ما هو خاص منها بالانعطاف الضوء في كل من الوسيطين الهواء والزجاج والزجاج والماء إذا كان السطح الفاصل بين الوسيطين مستوياً ، ونتناول في القسم الثالث ما هو خاص منها بالانعطاف الضوء في كل من الوسيطين المذكورين إذا كان السطح الفاصل بينهما كروياً أو اسطوانياً .

١٩٧ - البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند نفوذ الضوء من

الهواء الى الماء

وتتلخص الطريقة ^(١) التي سلكها في هذه البحوث في أن توضع الآلة في داخل الاناء كما في الاعتبارات الوصفية وأن يسكب الماء في الاناء إلى أن يبلغ سطحه مركز القرص ، ثم أن يهيا القرص في الوضع الذي ينطبق فيه أحد أقطاره المائلة على سطح الماء بالتمام . وقد بدأ بحسب الوصف الوارد بالقطر الذي

(١) و (٣٦) - و (٣٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

يحيط مع القطر الأول من جهة الثقب بزاوية قدرها عشر درجات . وأخذ عدته للأمر وقت طلوع الشمس ووجه الآلة بحيث كان ثقب إطارها نحو الشرق ، حتى إذا ما ارتفعت الشمس فوق الأفق بالقدر المناسب نفذ ضوءها من الثقبين وسقط على سطح الماء ، وكانت زاوية سقوط الضوء الممتد على خط الثقبين ثمانين درجة . ولبت مترقباً يراعى الشمس ، حتى إذا ما نفذ ضوءها من الثقبين عين موضع مركز الضوء الواقع على باطن الإطار من الجزء المغمور منه في الماء . فالقوس التي يحدها مركز هذا الضوء من جهة وطرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركز الثقبين من جهة أخرى ، توتر عند مركز هذه الدائرة زاوية الانعطاف التي تقتضيها زاوية سقوط قدرها ثمانون درجة . ثم أعاد مثل هذا العمل مع جعل قطر القرص الذي يحيط مع قطره الأول بزاوية قدرها عشرون درجة منطبقاً على سطح الماء فأمكنه تعيين زاوية الانعطاف التي تقتضيها زاوية سقوط قدرها سبعون درجة وهكذا .

بهذه الكيفية استطاع ابن الهيثم تعيين مقادير زوايا الانعطاف في الماء التي تقتضيها زوايا سقوط في الهواء جعل مقاديرها تتفاضل بعشر درجات فعشر ، مبتدئاً بزاوية سقوط قدرها ثمانون درجة ومنتهاً بزاوية سقوط قدرها عشر درجات .

وابن الهيثم يعقب على شرحه هذا الأمر قائلاً بلفظه « وإن أحب المعتبر أن يعتبر الزوايا خمسة أجزاء خمسة أجزاء ، فعل ذلك على مثل ما تقدم شرحه . وإن أحب أن يعتبر ما هو أدق من خمسة أجزاء فعل ذلك على الترتيب الذي رتبناه ^(١) » . وأغلب الظن أن ابن الهيثم نفسه كما يستدل مما سيأتى بيانه فيما بعد أكتفى في بحوثه بالاعتبار بالزوايا التي تتفاضل بعشر درجات فعشر .

١٩٨ - المجموع السبعة المتعلقة بالانعطاف عند السطح المستوي لكل

من الوسطين الهواء والزجاج والماء
استعان ابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه بقطعة الزجاج المقطوعة

(١) و (٣٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

من نصف الكرة التي سبق ذكرها في التجارب الوصفية . وطريقته لقياس زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الزجاج^(١) أن تتركب الزجاجة على سطح القطع بحيث تكون قاعدتها مما يلي الهدف ، وبحيث ينطبق الفصل المشترك على القطر الذي يحيط مع القطر الأول للقرص بزاوية قدرها عشر درجات ، وبحيث يكون منتصف الفصل المشترك عند مركز القرص بالضبط ، (انظر شكل ١٦٧) ويُجرى العمل كما في الحالة السابقة . فيتسنى هنا أيضاً تعيين زوايا الانعطاف في الزجاج التي تقتضيها زوايا سقوط في الهواء مقاديرها ثمانون درجة وسبعون الخ .

وطريقته لتعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الهواء^(٢) أن تتركب الزجاجة المذكورة على سطح قطعها بحيث تكون حداثتها مما يلي الهدف والفصل المشترك منطبقاً على قطر من الأقطار المائلة ومنتصفه عند مركز القرص (كما هو مبين بشكل ١٦٨) ويجرى العمل كما مر . فيتسنى تعيين زوايا الانعطاف في الهواء التي تقتضيها زوايا سقوط في الزجاج مقاديرها تلك المقادير المذكورة أيضاً .

وابن الهيثم في الاعتبار بالزجاجة على الوضعين المذكورين يقول « وإذا اعتبر المعبر الزجاج على الوضعين اللذين ذكرناهما تبين له أن مقدار زوايا الانعطاف من الهواء إلى الزجاج ومن الزجاج إلى الهواء تكون أبداً متساوية ، إذا كانت الزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء إلى موضع الانعطاف مع العمود ، في الانعطاف من الهواء إلى الزجاج [مساوية للزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء إلى موضع الانعطاف مع العمود في الانعطاف من الهواء إلى الزجاج]^(٣) مساوية للزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء من موضع الانعطاف مع العمود ، في الانعطاف من الزجاج »^(٤) . ويقصد طبعاً الانعطاف من الزجاج إلى الهواء .

(١) و (٣٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٣٨) — و (٣٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) وردت هذه الجملة في الأصل وهي من أخطاء النسخ .

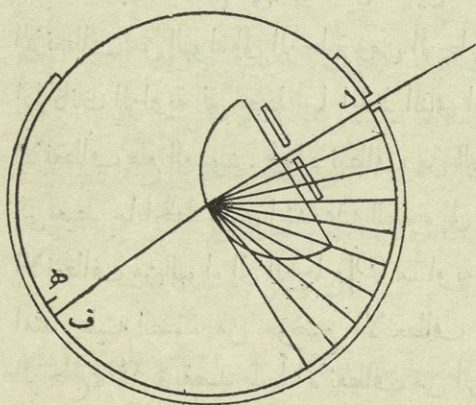
(٤) و (٣٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

والوضع الثاني المذكور للزجاجة يصلح كما يشير ابن الهيثم نفسه في موضع آخر من بحوثه لتعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الماء^(١) ويتسنى ذلك إذا سكب في الإناء ماء والزجاجة مركبة على الوضع المبين حتى يتجاوز سطح الماء مركز القرص قليلا .

١٩٩ - البحوث العلمية المتعلقة بالانطفاف عند السطح المنحني لكل من

الو-طبى الهواء والزجاج والزجاج والطاء

ينوع ابن الهيثم تجاربه في هذا القسم من بحوثه . فلتعيين زوايا الانعطاف
عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الهواء يستعين بالزجاجة المذكورة أيضاً (٢)
ويركها بحيث ينطبق سطح القطع على سطح القرص وبحيث يكون مستوى
قاعدتها مماسياً للهدف ومتتصف الفصل المشترك على أحد أقطار القرص المائلة
مماسياً للهدف (وليكن أولاً القطر الذي يحيط مع القطر الأول بزاوية قدرها
عشر درجات) وبحيث يكون بعد منتصف الفصل المشترك عن مركز القرص
بقدر نصف قطر كرة الزجاج ، ثم يهيا وضع الزجاج بحيث يكون القطر
الأول عموداً على الفصل المشترك . فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة
الوسطى كالمبين بشكل (١٧١) ،



(شکل ۱۷۱)

الوسطى كالمبين بشكل (١٧١)،
ويمر هذا المقطع بمركز كرة
الزجاجة ويلقى سطحها السكري
على نصف دائرة يمر محيطها
بمركز الدائرة الوسطى، ويكون
خط الثقبين عموداً على مستوى
قاعدة الزجاجة . وإذن ينفذ
الضوء الممتد على هذا الخط في
حرم الزجاج على استقامة حتى

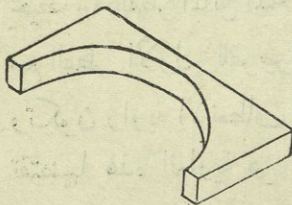
(١) و (٤١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٣٩) - و (٤١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

يلتقي سطحها الكرى عند مركز الدائرة الوسطى ، فتكون زاوية سقوطه عليه مثل الزاوية التي يحيط بها القطر المائل للقرص مع قطره الأول (وهي في هذه الحالة عشر درجات) فينعط الضوء خارجاً إلى الهواء ملازماً المستوى نفسه ويقع على إطار الجهاز . فالقوس المحدودة بطرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين (وهو نقطة هـ في الشكل) ومركز الضوء الواقع على الاطار (وهو نقطة ف في الشكل) توتر زاوية الانعطاف في الهواء التي تقتضيها زاوية السقوط المذكورة . وباعادة هذا العمل على كل واحد من الأقطار المائلة الأخرى تتعين زوايا الانعطاف التي تقتضيها زوايا سقوط مقاديرها ٢٠ و ٣٠ و ٤٠ و ٥٠ و ٦٠ و ٧٠ و ٨٠ درجة .

وكذلك إذا سكب في الاناء ماء حتى يتجاوز سطحه مركز القرص أمكن تعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الماء . وابن الهيثم لا يقنع من البحث بهذه الحالة التي يكون فيها الضوء خارجاً من السطح المحدب للزجاج . لذلك نجده يمتضي إلى قياس زوايا الانعطاف في أحوال يكون خروج الضوء فيها من سطح مقعر لقطعة من الزجاج (١) حتى يلم بحالتي التحديق والتعكير ولا يكون بحثه مقصوراً على الأولى فحسب .

وابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه يتخذ قطعة من الزجاج كالمبين بشكل (١٧٢) يصفها قائلاً بلفظه « فليتخذ (أى المعتبر) زجاجة مقعرة تعكيراً اسطوانياً على مقدار نصف اسطوانة قائمة وليكن شكل جملة الزجاج شكلاً متوازي السطوح يكون طوله يزيد على نصف قطر الزجاج الكرية (أى التي اتخذت في التجارب السابقة) بمقدار شعيرة ويكون عرضها مثل ذلك ويكون سمكها بمقدار ضعف قطر الثقب الذي في حرف



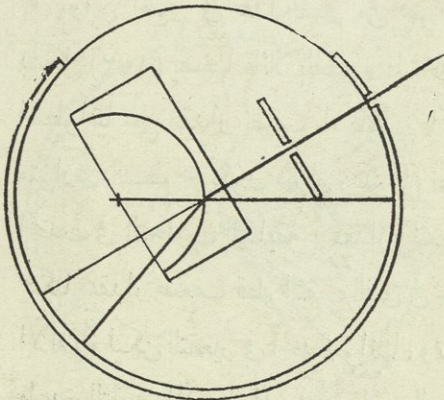
(شكل ١٧٢)

الآلة ، وليكن التعكير في أحد جوانبها ، وتكون قاعدة التعكير الأسطوانى في سطحى الزجاج المربعين ويكون طول الاسطوانة في سمك الزجاج ، وليكن نصف قطر قاعدة الاسطوانة

بمقدار نصف قطر الزجاجة الكرية وليكن ما يفضل من الزجاجة عن جنبتى التعجير متساويين ولتكن نهايات الزجاجة خطوطا مستقيمة فى غاية ما يمكن من الصحة (١) .

ثم هو يقول « وهذه الآلة يمكن عملها على هذه الصفة إذا صبت فى قالب ، فيعمل القالب على الصفة التى حددناها ويذاب الزجاج ويسكب فى القالب فتخرج الزجاجة على الصفة التى شرحناها . »

وابن الهيثم يركب هذه الزجاجة بحيث تنطبق قاعدة التعجير الاسطوانى على سطح القرص ويكون منتصف القطر المار بطرفى الزجاجة ، وهو أيضا مركز القاعدة ، على أحد الأقطار المائلة مما يلى المركز من الهدف ، وعلى بعد من مركز القرص يساوى بالضبط نصف قطر قاعدة الاسطوانة وبحيث يكون قطر القاعدة المار بطرفى الزجاجة عمودا على القطر الأول للقرص . فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٧٣) ويلقى هذا المقطع تعجير الاسطوانة على محيط نصف دائرة يمر بمركز الدائرة الوسطى ، ويبعد مركزه عن مركز الدائرة الوسطى بقدر نصف قطر التعجير الأسطوانى . فى هذا الوضع يقع الضوء الممتد على خط الثقبين عمودا على سطح الزجاجة



(شكل ١٧٣)

المواجهة للهدف فينفذ فيها على استقامة حتى يقع على سطحها الاسطوانى عند مركز الدائرة الوسطى . فتكون زاوية السقوط فى الزجاج مثل الزاوية التى يحيط بها القطر المائل المتخذ ، مع القطر الأول للقرص . وتكون زاوية الانعطاف التى تقتضيها هذه الزاوية هى التى

توترها القوس الواقعة بين طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين

ومركز الضوء الواقع على الإطار كما هو موضح بشكل (١٧٣) .
وباعادة وضع الزجاج في مثل الوضع المذكور بالنسبة إلى كل واحد من
الأقطار المائلة يتيسر تعيين مقادير زوايا الانعطاف في الهواء التي تقتضيها زوايا
سقوط في الزجاج مقاديرها تتفاضل بقدر عشر درجات فعشر كما سبق .
وأیضا إذا سكب في الأناء ماء حتى يتجاوز سطحه مركز القرص دون أن
يلغ موقع الضوء على السطح المواجه للهدف أمكن تعيين زوايا الانعطاف
في الماء التي تقتضيها زوايا السقوط المذكورة في الزجاج .

٢٠٠ - أمطام السكم الثمانية في الانعطاف

يتوصل ابن الهيثم من الاعتبارات المذكورة إلى أحكام كمية في الانعطاف
يحدد بها العلاقة بين زاوية السقوط أو زاوية العطف كما سماها الفارسي ، وبين
زاوية الانعطاف . ولا يخفى أن صنع آلة الانعطاف وتدريبها لقياس الزوايا
واعداد اجزائها الإضافية كقطع الزجاج المختلفة الأشكال بالأبعاد التي يجب
أن تكون عليها وصقل هذه القطع ، كل ذلك وما إليه ليس من الأمور الهيئية ،
فضلا عن أن الاعتبارات على الصفة التي وصفها ابن الهيثم تتطلب إذا أريد
الاعتماد على نتائجها عناية دقيقة وجهدا غير يسير . فبحوثه الكمية من الناحية
العملية لم تكن سهلة هيئية . والذي يدعو إلى التقدير والإعجاب أن الصعوبات
العملية في هذه البحوث لم تعجزه عن المضى فيها ومتابعتها إلى استنباط الأحكام
التي قررها ، والتي نجدها بوجه عام في حدود التجارب التي أجراها والمواد المشقة
التي اعتبر بها ، صحيحة ، أصلح وأتم من الأحكام التي تنسب سواء بحق أو
بغير حق إلى بطليموس ، وينسب غير واحد من المؤرخين فضل إصلاحها إلى
علماء أوروبا في القرن الخامس عشر والسادس عشر مثل كبلر وغيره ممن عنوا
بدراسة علم الضوء والتأليف فيه .

وقد لخص ابن الهيثم النتائج التي استنبطها من اعتباراته المذكورة في الجزء
الآخر من الفصل الثالث من مقالته السابعة في المناظر ونورد فيما يلي هذه
النتائج كما ذكرها بلفظه وقد قسمناها ثمانية أقسام ليسهل تمييز المعاني المختلفة

التي تتضمنها واسميتها أحكام السكم في الانعطاف .

الحكم الأول : « كل زاويتين ^(١) يحيط بكل واحدة منهما الخط الأول الذي امتد عليه الضوء والعمود الخارج من موضع الانعطاف ، القائم على سطح الجسم المشف على زوايا قائمة ، يكونان في جسمين باعياهما مشفين وتكون الزاويتان مختلفتين ، فان زاوية الانعطاف عن الزاوية العظمى منهما تكون أعظم من زاوية الانعطاف عن الزاوية الصغرى » ^(٢) .

الحكم الثاني : « وتكون زيادة زاوية الانعطاف (أى الأولى) على زاوية الانعطاف (أى الثانية) أقل من زيادة الزاوية العظمى التي يحيط بها الخط الأول والعمود ، على الزاوية الصغرى التي يحيط بها الخط الأول والعمود ^(٣) » .
الحكم الثالث : « وتكون نسبة زاوية الانعطاف عن الزاوية العظمى إلى الزاوية العظمى ، أعظم من نسبة زاوية الانعطاف عن الزاوية الصغرى إلى الزاوية الصغرى ^(٤) » .

الحكم الرابع : « ويكون الباقي بعد زاوية الانعطاف من الزاوية العظمى ، أعظم من الباقي بعد زاوية الانعطاف من الزاوية الصغرى ^(٥) » .

الحكم الخامس : « وتوجد ^(٦) زاوية الانعطاف إذا كان الضوء خارجا من الجسم الألف إلى الجسم الأغلظ ، أبدا ، أقل من نصف الزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء إلى موضع الانعطاف والعمود الخارج من موضع الانعطاف ^(٧) » .

الحكم السادس : « وإذا كان الضوء خارجا من الجسم الأغلظ إلى الجسم الألف كانت زاوية الانعطاف (أقل من) نصف مجموع الزاويتين ^(٨) » .

(١) في الأصل « كل زاوية » .

(٢) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) » » » »

(٥) » » » »

(٦) في الأصل « وتعد »

(٧) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٨) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر ، ولم ترد عبارة « أقل من » في الأصل .

الحكم السابع : « إذا كانت زاويتان متساويتان يحيط بكل واحدة منهما الخط الأول الذى امتد عليه الضوء والعمود الخارج من موضع الانعطاف ، أحدهما بين الجسم اللطيف وبين جسم أغلظ منه ، والأخرى بين ذلك الجسم اللطيف بعينه وبين جسم أغلظ من الجسم الغليظ الأول ، فإن زاوية الانعطاف التى فى الجسم الأكثر غلظاً تكون أعظم من زاوية الانعطاف التى فى الجسم الأغلظ الذى هو أقل غلظاً ^(١) » .

الحكم الثامن : « كذلك إن كان الانعطاف من الجسم الأغلظ إلى الجسم اللطيف تكون أبداً زاوية الانعطاف التى من الجسم الأغلظ إلى الجسم اللطيف ، الذى هو أشد لطفاً ، أعظم من زاوية الانعطاف التى من ذلك الجسم الأغلظ بعينه إلى الجسم اللطيف الذى هو أقل لطفاً ^(٢) » .

٢٠١ - مناقشة أحكام الحكم الثمانية

وهذا المجلد الذى عنى ابن الهيثم بذكره يتضمن ثمانية أحكام تبين العلاقة بين مقادير الزوايا المختلفة بعضها ببعض .
فالحكم الأول ينص على أن مقادير زوايا الانعطاف تختلف بحسب مقادير زوايا السقوط لكل وسطين وكلما عظمت زاوية السقوط عظمت زاوية الانعطاف وبالعكس .

والحكم السابع والثامن ينصان على أن زوايا الانعطاف تختلف أيضاً بحسب شفاف الجسم المنعطف فيه الضوء ويحددان كيفية ذلك الاختلاف . فعند نفوذ الضوء من وسط واحد بعينه كالهواء إلى وسط آخر يختلف عنه فى

لا فى مخطوط أيا صوفيا ولا فى مخطوط الفاتح ولعله سهو من الناسخ والا تنافض هذا الحكم والحكم السابق . أما الفارسى فقد أورده بالمعنى الذى أوردها هنا ، كذلك فإن لفظ « مجموع » حرف الى « جموع »

(١) و (٤٤) ، و (٤٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٤٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

الشفيف كالماء ، ومن الأول إلى وسط آخر يختلف شفيفه عن شفيف الثاني كالزجاج ، فانه إذا كانت زاوية السقوط في الحالتين واحدة فزاوية الانعطاف تختلف بحسب « درجة » غلظ الوسط الذي ينعطف فيه الضوء أو « درجة » لطفه . فكلما كان الوسط المنعطف فيه الضوء أشد غلظاً (لو كان أغلظ من الوسط الذي يسقط فيه الضوء) أو أشد لطفاً (لو كان ألطف منه) كانت زاوية الانعطاف أعظم .

والحكم الثاني يقرر أنه إذا زادت زاوية السقوط بمقدار معين زادت زاوية الانعطاف بمقدار أصغر . وهذا الحكم لا يصح على وجه الإطلاق إلا إذا كان الانعطاف من وسط لطيف في وسط غليظ . وقد اعترض الفارسي في التنقيح عليه . ولربما يبدو أول وهلة أن من التعنت القول بأن ابن الهيثم أراد به حكماً عاماً يشمل أيضاً أحوال الانعطاف من الوسط الغليظ في الوسط اللطيف لولا أنه قد طبقه في أحد بحوثه في خيال النقطة التي ترى بالانعطاف من الوسط الغليظ في الوسط اللطيف كما سنبين فيما بعد .

ويتضح حقيقة الأمر فيما يتعلق بهذا الحكم إذا راعينا حالتى الانعطاف من الألف في الأغلظ ومن الأغلظ في الألف كلا على حدها .

فإذا رمز لزاوية السقوط بالحرف θ ولزاوية الانكسار بالحرف ϕ ولمعامل الانكسار بالحرف m فوفقاً لقانون الانكسار على صورته المعروفة الآن يكون

$$m = \frac{\sin \theta}{\sin \phi}$$

وباستعمال رموز التفاضل يكون

$$\frac{d\theta}{d\phi} = \frac{1}{m} \quad \text{أو} \quad \frac{d\theta}{d\phi} = \frac{1}{m} \quad \text{أو} \quad \frac{d\theta}{d\phi} = \frac{1}{m}$$

وأيضاً يكون

$$\frac{\text{ح } ٢ \text{ ح}}{(١ - \text{م}^٢)^{\frac{1}{4}}} - \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} = \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢}$$

ففي حالة الانعطاف من الألف في الأغظ إذا رمز لزاوية الانعطاف الحرف في يكون

$$\text{ف} = \text{و} - \text{م}$$

$$(١) \dots \frac{\text{و}^٢ \text{ ح} - ١}{\text{و}^٢ \text{ ح} - \text{م}^٢} \sqrt{\text{و}^٢ \text{ ح} - ١} = \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} - ١ = \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} \dots$$

$$\frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} - \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} = \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} \quad ٦$$

$$(٢) \dots \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{(١ - \text{م}^٢)^{\frac{1}{4}}} = \frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢ \text{ ح} - \text{م}^٢}$$

ولما كانت قيمة م في هذه الحالة أعظم من الواحد، يتضح من المعادلة (٢) أن المشتقة الثانية لزاوية الانعطاف قيمتها أبداً موجبة . وإذن معدل تغير زاوية الانعطاف بتغير زاوية السقوط يزداد ازدياداً مطرداً تبعاً لزيادة زاوية السقوط . ومن المعادلة (١) يتبين أنه إذا كانت قيمة و صفراً يكون

$$\frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} = ١ - \frac{١}{\text{م}}$$

أي مقداراً موجباً أصغر من الواحد . وإذا كانت و قائمة يكون

$$\frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢} = ١$$

وإذن يتبين أن قيمة $\frac{\text{و}^٢ \text{ ح}}{\text{و}^٢}$ ولو أنها تزداد باطراد تبعاً لزيادة زاوية

السقوط ، فإنها في النهاية التي تبلغ عندها زاوية السقوط قيمة القائمة تؤول إلى الواحد .

فليس يتأتى في حالة الانعطاف من الألف في الأغظ أن تكون تفاضلات زوايا الانعطاف أكبر من تفاضلات زوايا السقوط التي تقتضيها . وإذن يستقيم في هذه الحالة حكم ابن الهيثم .
أما في حالة الانعطاف من الأغظ في الألف ، فإذا رمز لزاوية الانعطاف بالحرف ϕ يكون

$$\phi = \alpha - \beta$$

$$(3) \quad \therefore \frac{\phi}{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha} = 1 - \frac{\sqrt{1 - \frac{\alpha^2}{\beta^2}}}{1 - \frac{\alpha^2}{\beta^2}}$$

$$(4) \quad \frac{\phi}{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha^2}{\beta^2}} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha^2}{\beta^2}}$$

ولما كانت قيمة ϕ في هذه الحالة موجبة وأصغر من الواحد ، وقيمة α لا تتجاوز قيمة الزاوية الحرجة ، أي $\alpha < \alpha_c$ ليست تكون أعظم من α_c ، يتضح في حالة الانعطاف من الأغظ في الألف أيضاً أن معدل تغير زاوية الانعطاف بتغير زاوية السقوط يزداد ازدياداً مطرداً تبعاً لزيادة زاوية السقوط .

ومن المعادلة (3) يتبين أنه إذا كانت قيمة ϕ صفراً يكون

$$(5) \quad \frac{\phi}{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha} = 1 - \frac{1}{\frac{\alpha^2}{\beta^2}} = 1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2}$$

وإذا كانت قيمة ϕ تساوى الزاوية الحرجة أي

$$\phi = \alpha_c$$

يكون

$$\frac{\phi}{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\alpha_c}{\alpha}$$

ويتبين من المعادلة (5) أنه إذا كان

$$م > ١ - م$$

$$م > \frac{١}{٣} \text{ أى}$$

فلا يتأتى البتة أن تكون تفاضلات زوايا الانعطاف أصغر من تفاضلات زوايا السقوط التي تقتضيها، فينتفى إطلاقاً حكم ابن الهيثم عند الانعطاف من الأغظ في الألف .

أما إذا كان

$$م < ١ - م$$

$$م < \frac{١}{٣} \text{ أى}$$

فانه يتضح من المعادلة (٣) أن

$$١ = \frac{و ف}{و و}$$

إذا كان

$$٠.٤ = \frac{١ - ح^٢}{م^٢ - ح^٢}$$

أى إذا كان

$$\frac{١ - م^٢}{٣} \sqrt{\quad} = ح$$

وإذن يتبين عند الانعطاف من الأغظ في الألف أنه إذا كان معامل الانكسار من الأغظ في الألف أعظم من نصف ، وكانت زاوية السقوط في الأغظ أصغر من

$$\left(\frac{١ - م^٢}{٣} \sqrt{\quad} \right)^{١-ح}$$

فان تفاضلات زوايا الانعطاف تكون أصغر من تفاضلات زوايا السقوط .

وفي هذه الحدود يستقيم حكم ابن الهيثم . أما عند الانعطاف من الأغظظ في الألف فيما عدا ذلك فليس يستقيم الحكم .
ولما كانت الأجسام المشفة التي اعتبر بها ابن الهيثم في بحوثه هي الهواء والماء والزجاج ، فإن أحوال الانعطاف من الأغظظ في الألف التي تعرض في هذه التجارب هي الانعطاف من الماء أو الزجاج في الهواء ومن الزجاج في الماء . ومعامل الانكسار من الأغظظ في الألف في جميع هذه الأحوال أكبر من النصف . وإذن فإن الأحوال التي ينتفي فيها الحكم على وجه الإطلاق لا تعرض في حدود التجارب التي أجراها . وإنما تعرض في حدود تلك التجارب الأحوال التي يكون الحكم فيها صحيحاً في حدود معينة لا تتجاوزها زاوية السقوط في الأغظظ . ومن السهل تبيان أن حكم ابن الهيثم يصح عند الانعطاف من الزجاج في الهواء إذا كانت زاوية السقوط في الزجاج أقل من $30,6^\circ$ بالتقريب ويصح عند الانعطاف من الماء في الهواء إذا كانت زاوية السقوط في الماء أقل من $40,2^\circ$ بالتقريب ويصح عند الانعطاف من الزجاج في الماء إذا كانت زاوية السقوط في الزجاج أقل من $58,1^\circ$ بالتقريب . فكان حكم ابن الهيثم يصح في حدود التجارب التي أجراها عند الانعطاف من الأغظظ في الألف في الأحوال التي لا تكون فيها زاوية السقوط في الأغظظ بوجه عام كبيرة .

* * *

والحكم الثالث ينص على أن نسبة زاوية الانعطاف إلى زاوية السقوط لوسطين معينين ليست ثابتة بل تزداد تبعاً لزيادة زاوية السقوط . وقد كان من المتواتر أن بطليموس ذهب إلى القول بثبوت نسبة زاوية الانكسار إلى زاوية السقوط ، وهذا يتضمن ثبوت نسبة زاوية الانعطاف إلى زاوية السقوط ، ومن المعلوم الآن كما قال ابن الهيثم أن هذه النسبة ليست ثابتة ، وأنها تزداد كلما زادت زاوية السقوط ، وإن كان معدل زيادتها ليس هو الآخر ثابتاً كما اتضح مما ذكرناه آنفاً .

* * *

والحكم الرابع معناه أن زاوية الانكسار تزيد تبعاً لزيادة زاوية السقوط . وهذا الحكم لا شبهة فيه . وكان الأولى به من وجهة نظرنا الحديثة أن يسبق أحكامه الأخرى . فالحكم العام الذى يتضمن جميع الأحكام الخاصة بعلاقة زاوية السقوط بزاوية الانعطاف وبزاوية الانكسار هو الذى ينص على العلاقة الصحيحة بين زاويتي السقوط والانكسار أو بين زاويتي العطف والباقية بحسب الاصطلاح القديم . ولكن ابن الهيثم لم يوجه جل عنايته إلى زاوية الانكسار بل وجهها إلى زاوية الانعطاف ، وعنى بأن ينص على العلاقة بين زاويتي السقوط والانعطاف ، فلم يوفق إلى الكشف عن قانون عام يتضمن فى صيغة موجزة بسيطة هذه العلاقة على تصارييف الأحوال . وبما يدل على انصراف ابن الهيثم عن العناية بزاوية الانكسار أن حكمه الرابع هو الوحيد بين أحكامه العدة ، الذى عنى بأن يذكر فيه شيئاً يتعلق بهذه الزاوية .

* * *

والحكم الخامس والسادس ينصان على أن الوسط الثانى إذا كان أغلظ كانت زاوية الانعطاف أبداً أقل من نصف زاوية السقوط . وإذا كان اللطف كانت زاوية الانعطاف أقل من نصف مجموع الزاويتين .
والحكم فى الحقيقة مرتبطان أحدهما بالآخر وما يقال على أحدهما يمس الآخر ولذلك نناقشهما هنا مجتمعين .

وابن الهيثم يطلق حكميه الخامس والسادس إطلاقاً وليس يصح إطلاقهما إطلاقاً عاماً على الصورة التى أرادها .

ولكى يتيسر بسهولة مناقشة هذين الحكمين نرى أن نؤدى المعنى الذى يقصده ابن الهيثم بصورة أخرى . فالحكم الخامس يؤدى إلى القول بأن زاوية الانكسار تكون أعظم من نصف زاوية السقوط إذا كان الانعطاف فى الوسط الأغلظ . وطبقاً للحكم السادس تكون زاوية الانعطاف أصغر من زاوية السقوط إذا كان الانعطاف فى اللطف ، وبما أن زاوية الانكسار فى هذه الحالة هى مجموع زاويتي السقوط والانعطاف فإن حكم ابن الهيثم السادس

معناه كما أشار إلى ذلك الفارسي أن زاوية الانكسار تكون أصغر من ضعف زاوية السقوط اذا كان الانعطاف في الوسط الألف ، ويتفق ومدلول الحكم الخامس كما تقضى بذلك قاعدة قبول العكس .

ونحن إذ نعلم الآن حقيقة الارتباط بين زاوية السقوط وبين زاوية الانكسار نستطيع بسهولة تحديد الحالات التي ينطبق فيها حكما ابن الهيثم ، بل ونستطيع أيضاً معرفة السبب الذي حال دون أن ينتبه ابن الهيثم إلى قصور حكميه عن الإحاطة بجميع الأحوال .

فعلاقة زاوية السقوط بزاوية الانكسار هي وفق المعادلة

$$\text{جا } \theta = \text{م جا } \phi$$

فان كان الانعطاف في الوسط الأغظ فان قيمة م أكبر من الواحد ولكن لا يتحتم من ذلك أن تكون قيمة م أبداً أعظم من $\frac{1}{2}$ ، فهي قد تكون أعظم من $\frac{1}{2}$ ، وقد تساوى $\frac{1}{2}$ ، وقد تكون أصغر من $\frac{1}{2}$ ، وذلك بحسب قيمة م وبحسب قيمة θ أيضاً .

$$\text{وبما أن } \text{م} = \frac{\text{جا } \theta}{\text{جا } \phi}$$

فشرط أن تكون م أعظم من $\frac{1}{2}$ هو أن تكون

$$\text{م أصغر من } \frac{\text{جا } \theta}{\text{جا } \frac{1}{2}}$$

$$\text{أي أن تكون م أصغر من } 2 \text{ جتا } \frac{\theta}{2}$$

وزاوية السقوط عند الانعطاف في الأغظ تختلف قيمتها بين الصفر

$$\text{وبين القائمة . فمقدار } 2 \text{ جتا } \frac{\theta}{2} \text{ يختلف ما بين } 2 \text{ و } 2\sqrt{2}$$

فان كانت قيمة م أقل من $2\sqrt{2}$ توافر الشرط أيأ كانت قيمة زاوية

السقوط ، وإذن في جميع الأحوال التي ينعطف فيها الضوء عند نفوذه من

وسط لطيف إلى وسط غليظ ، ويكون معامل الانكسار أقل من $\bar{27}$ أى أقل من $1,414$ ، بالتقريب ، تكون زاوية الانكسار أعظم من نصف زاوية السقوط ويكون حكماً ابن الهيثم صحيحين .

وإن كانت قيمة m أعظم من 2 ، لا يتوافر الشرط البتة وتكون زاوية الانكسار أبداً أصغر من نصف زاوية السقوط ويكون حكم ابن الهيثم باطلاً على الإطلاق .

أما إن كانت m أصغر من 2 وأعظم من $\bar{27}$ فالشرط يتوافر في حالات معينة ويبتل في حالات أخرى وذلك تبعاً لقيمة زاوية السقوط نفسها . فالشرط المذكور أن يكون

$$2 \text{ جتا } \frac{v}{2} \text{ أعظم من } m .$$

أى أن تكون v أصغر من 2 جتا $1 - \left(\frac{1}{m}\right)$ أى يجب أن تكون زاوية السقوط أصغر من ضعف الزاوية التى جيب تمامها نصف معامل الانكسار . وابن الهيثم في اعتباراته السكينة التى استخرج منها أحكامه اعتبر أولاً بالماء . والمعروف أن معامل انكسار الضوء من الهواء فى الماء يساوى بالتقريب $1,33$ فهو أقل من $\bar{27}$ وإذن ينطبق الشرط اللازم لى تكون زاوية الانكسار فى الماء أعظم من نصف زاوية السقوط فى الهواء أى كانت قيمة زاوية السقوط . ثم هو اعتبر بالزجاج . فإذا فرضنا معامل انكسار الضوء من الهواء فى الزجاج $1,5$ بالتقريب فقيمة m فى هذه الحالة أقل من 2 وأعظم من $\bar{27}$ فالحكم لا ينطبق على هذين الوسيطين على تصارييف الأحوال . فإن كانت زاوية السقوط فى الهواء مساوية

$$2 \text{ جتا } 1 - \left(\frac{2}{3}\right) = 82,8^\circ \text{ بالتقريب ،}$$

أو أعظم من ذلك فزاوية الانكسار فى الزجاج ليست أعظم من نصف زاوية السقوط . وإن كانت زاوية السقوط فى الهواء أصغر من $82,8^\circ$ بالتقريب فإن زاوية الانكسار فى الزجاج أعظم من نصف زاوية السقوط . وابن الهيثم قد أجرى أيضاً تجارب اعتبر فيها بالانعطاف من الماء فى

الزجاج ، فإن معامل انكسار الضوء في هذه الحالة يساوى بالتقريب ١,١٢٥ ، فهو أقل من ٢٧ . واذن فزاوية الانكسار في الزجاج أعظم من نصف زاوية السقوط في الماء أيأ كانت زاوية السقوط في الماء .

ومن هذا يتبين أن حكمى ابن الهيثم فيما يختص بالوسطين الهواء والماء وفيما يختص بالوسطين الماء والزجاج صحيحان أيأ كانت زاوية السقوط ، ولكنهما فيما يختص بالوسطين الهواء والزجاج صحيحان في حدود التجارب التى أجراها . أو بالأحرى في حدود المقادير التى اعتبر بها في تلك التجارب ، لأنه كما سبق أن بينا اعتبر بزوايا سقوط متفاوتة بعشر درجات أى كانت أكبر زاوية سقوط اعتبر بها ثمانين درجة ، فلم تتجاوز زاوية السقوط في تجاربه هذه ، الحد الذى يبطل عنده أن تكون زاوية الانعطاف في الزجاج أصغر من نصف زاوية السقوط في الهواء . أى أن النتائج التى حصل عليها من هذه التجارب متفقة ونتائج التجارب الأخرى . ولو أنه اعتبر فيها بزوايا سقوط تتفاضل بخمس درجات أو أقل لكان في مقدوره أن يتبين أن زاوية الانعطاف في الزجاج إذا كانت زاوية السقوط في الهواء ٨٥ درجة مثلاً ليست بأقل من نصف زاوية السقوط بل بالعكس أعظم . أو لو أنه اعتبر أيضاً بانعطاف الضوء من الهواء في أوساط أغلظ من الزجاج بحيث يكون معامل انكسار الضوء من الهواء فيها أعظم كثيراً مما هو من الهواء في الزجاج المعتاد ، لكان في مقدوره أيضاً أن يتبين أن حكميه السابقين ليسا صحيحين على الإطلاق .

فإن كان الحكمان الخامس والسادس ليسا من الأحكام العامة التى تنطبق على تصارييف الأحوال فإن بحوث ابن الهيثم العملية من حيث أنواع الأجسام المشقة ومن حيث مقادير زوايا السقوط التى اعتبر بها جاءت في حدود الأحوال التى ينطبق عليها الحكمان .

ومن المرجح أن قصور هذين الحكمين قد أخفى عن ابن الهيثم أمراً من أهم أمور الانعطاف . فإن كانت زاوية الانعطاف في الاغلظ أقل أبداً من نصف زاوية السقوط في الالطف فوئدى هذا أن زاوية الانعطاف تقترب قيمتها من

نصف القائمة كلما اقتربت قيمة زاوية السقوط في الألف من القائمة ، فتكون الزاوية التي نسميها الآن الزاوية الحرجة نصف قائمة ، أو بالأحرى لا تتجاوز هذا القدر . ونحن إن لم نجد من أقوال ابن الهيثم قولاً صريحاً يفيد أنه يرى هذا الرأي فإننا لم نجد له أيضاً قولاً يمس معنى الزاوية الحرجة أو ظاهرة الانعكاس الداخلى الكلى المرتبطة بها . وسنرى فيما بعد أن تتالى بعض الآراء وتدرجها في بعض بحوثه ، وإن كانا يُفَضيان في الأحوال المعتادة إلى المساس بمعنى الزاوية الحرجة فإنه لم يتعرض إلى هذا المعنى ولم يُدِل فيه برأى .

٢٠٢ - قاعدة قبول العكس

تلك هي أحكام ابن الهيثم الثمانية كما هو منصوص عنها في المجمل الوارد في ختام الفصل الثالث من مقالته السابعة من كتاب المناظر .

ولابن الهيثم حكم تاسع أورده ضمن أقواله في شرح تجاربه الكمية في انعطاف الضوء من الهواء في الزجاج وانعطافه من الزجاج في الهواء وقد سبق أن ذكرناه بألفاظ ابن الهيثم ^(١) . وهذا الحكم معناه أن الشعاع النافذ من وسط لطيف إلى وسط غليظ إذا نفذ في الوسيطين نفسيهما في الاتجاه المضاد أى من الغليظ إلى اللطيف وكانت زاوية السقوط في الحالة الثانية هي عين زاوية الانكسار في الأولى كانت زاوية انعطافه في الحالتين واحدة ، أو بالأحرى كان خط مسيره فيهما هو هو .

ولكن ابن الهيثم لم يذكر هذا الحكم مرفقاً بأحكامه الثمانية التي فصلناها آنفاً ، وإن هو قد اتخذ في مواضع أخرى من كتابه أساساً بنى عليه شرحه كيفية إدراك المبصرات بالانعطاف .

وقد عني الفارسي بأن يودع هذا الحكم صراحة ضمن أحكام ابن الهيثم الكمية في الانعطاف . والفارسي في هذا الصدد لم يتقيد في عرض هذه الأحكام بألفاظ ابن الهيثم كما هي واردة في أصول المناظر . وإن هو لم يخرج فيها عن المعاني التي قصدها ابن الهيثم نفسه فقد تصرف في عرضها كثيراً وصاغها في

(١) ص (٧٠٥) من هذا الكتاب .

صيغ من عنده تختلف عن صيغها الأصلية . وقد ذكر الفارسي هذا الحكم التاسع في موضعين من كتابه التنقيح أحدهما في صدد أقواله عن أحكام السكم في الانعطاف والآخر في صدد كيفية إدراك المبصرات بالانعطاف ، وصاغه في الموضعين في صيغتين مختلفتين آثرنا أن نوردتهما فيما يلي بالفاظ الفارسي .

ففي الموضع الأول قال « زاوية الانعطاف التي يقتضيها عطفية من جسم أطف في مخالف ، مثل التي يقتضيها عطفية من المخالف في الجسم الأول إذا كانت العطفية في الثاني مثل الباقية في الأول (١) » .

وفي الموضع الثاني قال « إذا كانت نقطتان مضيئتان في الجسمين فان السمتين اللذين يمتد عليهما ضوء الأولى إلى الثانية هما اللذان يمتد عليهما ضوء الثانية إلى الأولى » (٢) .

ولعل النص الثاني أوضح في أداء المعنى وأبين .

وهذا الحكم التاسع صريح في تضمنه معنى القاعدة المعروفة الآن « بقاعدة قبول العكس » فيما يتعلق بالانعطاف . ولا شك في أن ابن الهيثم قد أدرك معنى هذه القاعدة فيما يتعلق بالانعكاس وحسبه تعبيراته الشائعة في مباحث الانعكاس كقوله « النقطتين المتعاكستين » وقوله « النظيرين » . وإن كانت قاعدة قبول العكس فيما يتعلق بالانعكاس يستلزمها قانون الانعكاس بشطريه المعروفين فهي فيما يتعلق بالانعطاف مرتبطة بمعنى « معامل الانكسار » وثبوتها لكل وسطين معينين . وهذان المعنيان مرتبطان بثبوت نسبة جيب زاوية السقوط إلى جيب زاوية الانكسار لكل وسطين ، وثبوت هذه النسبة ظل مجهولا إلى أوائل القرن السابع عشر .

فورود هذا الذي أسميناه الحكم التاسع في كتاب المناظر ، ثبت لابن الهيثم فضل سبق إلى إدراك معنى قاعدة قبول العكس إدراكا تاماً في حالتي الانعكاس والانعطاف . والحكم التاسع هو حكم عام يرتبط به الحكمان الخامس والسادس بحيث إذا صح أحدهما لزم الآخر .

(١) ص (١٣٤) من النسخة المطبوعة من الجزء الثاني من التنقيح .

(٢) ص (١٤٩) من النسخة المطبوعة من الجزء الثاني من التنقيح .

الفصل الثاني

في

خيال النقطة المبصرة الذي يرى بالانعطاف

٢٠٣ - شرح ابن الهيثم كيفية ادراك صور المبصرات بالانعطاف

يتناول ابن الهيثم في مباحثه في الانعطاف شرح كيفية إدراك البصر المبصرات الموجودة في أوساط مشقة كالماء أو الزجاج المخالفة الشفيف للوسط الموجود فيه البصر ، وهو الهواء عادة . وابن الهيثم يستعين في بيان آرائه في هذا الشأن باعتبارات يبين بها أن البصر يرى نقاط المبصر في مثل هذه الأحوال من السموت التي ينعطف عليها الضوء الصادر من تلك النقاط . وأنه إذا كان الضوء الوارد من إحدى نقاط المبصر عموداً على السطح الفاصل بين الوسطين فإن البصر يرى صورة هذه النقطة من سمت هذا العمود .

الاعتبارات التوضيحية :

وابن الهيثم يستعين بآلة الانعطاف التي سبق وصفها في توضيح هذه الأمور عملياً ويرى في هذه الاعتبارات أن يكون ثقباً الآلة ضيقين وأن يوضع بينهما أنبوب دقيق يحرسهم على خط مركزى الثقبين وتركب الآلة في إناء كما سبق وتوضع في موضع مضيء . وهو يعتبر أولاً بالماء وثانياً بالزجاج .

وللاعتبار بالماء^(١) يسكب في الإناء ماء حتى يبلغ سطحه مركز القرص ثم يهبط وضع الآلة حتى يصير القطر الأول للقرص عموداً على سطح الماء فيكون خط الثقبين كذلك ، ثم يؤتى بخلاصة بيضاء تغمر في الماء ويجعل رأسها عند

طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين وينظر إليها من ثقب الاطار بأحدى العينين . فيرى الناظر رأس الخلالة دالاً ذلك على أن البصر يدرك صورة رأس الخلالة فى هذه الحالة على سمت العمود الخارج منه على سطح الماء . وإذا أدير قرص الآلة لكي يصير خط الثقبين مائلاً على سطح الماء وجعل رأس الخلالة عند الموضع نفسه فالناظر لا يرى رأس الخلالة . فاذا حرك رأس الخلالة من مكانه قليلاً قليلاً على محيط الدائرة الوسطى إلى جهة العمود المتوهم الخارج من مركز الوسطى قائماً على سطح الماء فإن الناظر يرى رأس الخلالة إذا بلغ موضعاً معيناً من محيط تلك الدائرة . وقد يتطلب هذا الاعتبار أن يستعين المعبر بشخص آخر يعاونه . وابن الهيثم يذكر أن موضع رأس الخلالة عندما تدرك صورته بالنظر من ثقب الاطار يوجد على محيط الدائرة الوسطى بين طرف قطرها المار بمركزى الثقبين وبين طرف العمود المتوهم المذكور . ولتوكيد الانعطاف عند مركز الدائرة الوسطى يرى ابن الهيثم أن يؤتى بعود متوسط الغلط ويوضع طرفه عند مركز هذه الدائرة فيشاهد أنه يحجب رأس الخلالة إذا نظر إليها من ثقب الاطار وهو فى الموضع المذكور .

أما للاعتبار بالزجاج^(١) فهو يستعين بكثلة الزجاج المقطوعة من نصف الكرة والتي مر ذكرها فيما قبل . فتركب الزجاج على القرص بحيث يطبق سطح القطع على سطح القرص ، وبحيث يكون القطر الأول للقرص ماراً بمنتصف الفصل المشترك عموداً عليه . وذلك فى وضعين أحدهما بحيث تكون قاعدة الزجاج مما يلي الهدف ، وثانيهما بحيث تكون حديتها مما يلي الهدف . فاذا وضع رأس الخلالة فى كل من هذين الوضعين عند طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين يرى الناظر خلال ثقب الاطار رأس الخلالة على سمت هذا القطر . والقطر فى الوضعين عمود على سطحى الزجاج الكرى والمستوى .

كذلك تركب الزجاج بحيث يطبق سطح القطع على سطح القرص وتكون

(١) و (٥٢) — و (٥٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر . (١٠٥) (١)

قاعدتها مما يلي الهدف ومنتصف الفصل المشترك عند مركز القرص ، والفصل المشترك يحيط بزاوية مع القطر الأول ، فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٧) . فإذا وضع رأس الخلالة عند القطر المار بمركزى الثقبين (أى عند هـ فى الشكل المشار إليه) فالناظر خلال الثقب لا يراه . أما إذا حرك رأس الخلالة حول محيط الوسطى نحو العمود المتوهم الخارج من مركز الوسطى عموداً على قاعدة الزجاجة أمكن رؤيته إذا ما بلغ موضعاً معيناً على المحيط ، فينفذ الشعاع الوارد من رأس الخلالة على استقامة إلى مركز الزجاجة ثم ينعطف فى الهواء على سمت خط الثقبين إلى البصر . وفى هذه الحالة أيضاً يذكر ابن الهيثم أن الانعطاف يحدث عند مركز الزجاجة ويمكن التأكد من ذلك بعود يوضع طرفه عند المركز كما سبق فى الاعتبار بالماء .

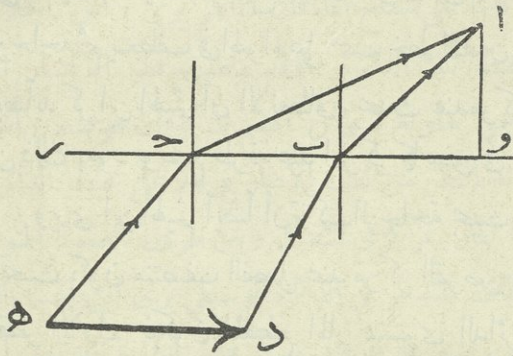
ويرى ابن الهيثم أيضاً أن تركب الزجاجية بحيث تكون حذبتها مما يلي الهدف وبحيث يكون منتصف الفصل عند مركز القرص والفصل يحيط بزواوية مع القطر الأول. فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٨). ففي هذه الحالة يوجد موضع رأس الخلالة عندما تدرك صورته بالنظر خلال ثقب الإطار على محيط الدائرة الوسطى في موضع منعطف إلى خلاف جهة العمود المتوهم الخارج من مركز الزجاجية عموداً على قاعدتها، حيث يقع الشعاع الوارد من رأس الخلالة على قاعدة الزجاجية فينعطف فيها نحو العمود ويمتد على سمت خط الثقبين إلى البصر.

ويكتفى ابن الهيثم من التمهيد العملي بالاعتبارات المذكورة . وقد يبدو أول وهلة أن هذه الاعتبارات من قبيل تحصيل الحاصل . ولكن إذا تذكرنا أن الآراء عن كيفية الإبصار كانت في عصر ابن الهيثم مضطربة مشتبهة ، تتنازعها مذاهب متباينة ، ينقض بعضها الآخر ، تبين أن الاعتماد على التجربة لبيان أن البصر إذا أدرك صورة نقطة في مخالف فانه يدركها فعلا على السميت الذي ينعطف عليه الضوء الوارد منها ، لم يكن عبثاً ، وهو على تقيض من ذلك أمر جاد جدير بالتقدير .

[illegible]

وابن الهيثم يبين (١) كيفية ادراك صورة المبصر بالانعطاف على أساس نظرية الورود ويستعين في ذلك بحكمه التاسع الذي يتضمن معنى قاعدة قبول العكس .

وتتضح الفكرة الأساسية التي بنى عليها ابن الهيثم شرحه إذا فرضنا نقطة مضيئة ولتكن ١ (شكل ١٧٤) ولتكن في وسط مشف من ورائه وسط مشف أغلظ ، وليكن و مر على السطح الفاصل بين الوسطين . فالشعاع الوارد



(شكل ١٧٤)

من ١ إلى نقطة مثل ب على السطح قريبة من مسقط العمود من ١ عليه ينعطف عند ب إلى جهة العمود وليكن على سمت ب د والشعاع الوارد من ١ إلى نقطة

مثل ح أبعد عن مسقط العمود من ب ينعطف عند ح وليكن على استقامة ح هـ . وتكون زاوية انعطاف الثاني أعظم من زاوية انعطاف الأول وفقاً لما تبين من الأحكام ، وهكذا . فيتشكل بين النقطة ١ وبين أى جزء من أجزاء السطح مثل ب ح مخروط من الضوء رأسه نقطة ١ وقاعدته هذا الجزء من السطح ومقطعه بمستوى الشكل المستقيمان ١ ب ٦ ح ، ويسميه الفارسي « مخروط الاستقامة » . ويتشكل من انعطاف الأشعة التي يلتم منها هذا المخروط في الوسط الثاني مخروط ناقص قاعدته العليا الجزء المذكور من السطح ويمتد متسعاً في الوسط الثاني . ومقطعه في مستوى الشكل المستقيمان ب د ٦ ح هـ .

(١) و (٤٥) — و (٥٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر وقد أعاد ابن الهيثم توضيح هذه الفكرة في الفصل السادس من المقالة من و (٩٢) إلى و (٩٥) من المخطوط .

فاذا فرضنا مبصراً في الوسط الثاني محيطه على سطح هذا المخروط الناقص وليكن المبصر د ه ، فطبقاً لقاعدة قبول العكس يتبين أن الشعاع الوارد من د إلى ب ينعطف إلى ا والشعاع الوارد من ه إلى ح ينعطف إلى ا وهكذا . فجميع الأضواء الواردة على سموت المستقيمت التي يلتئم منها المخروط الناقص ينعطف على سموت المستقيمت التي يلتئم منها المخروط الذي رأسه نقطة ا . فان كانت نقطة ا مركز البصر أدرك البصر صورة المبصر ، وأدركه على امتداد المخروط الأخير . وابن الهيثم يحمل هذه الفكرة حيث يقول بلفظه بعد كلام له « فيلزم من هذه الحال أن تكون كل نقطة من الهواء بينها وبين كل مبصر من المبصرات التي في الأجسام المشقة المخالفة الشفيف لشفيف الهواء مخروط منعطف ، رأسه النقطة التي في الهواء وقاعدته ذلك المبصر ، وانعطافه عند سطح الجسم المشف المخالف الشفيف لشفيف الهواء . وكل مبصر في جسم مشف مخالف الشفيف لشفيف الهواء إذا أدركه البصر فانما يدركه من الصورة الممتدة في المخروط المنعطف المجتمعة عند النقطة التي عند مركز البصر . فعلى هذه الصفة يدرك البصر المبصرات بالانعطاف » (١) .

٢٠٢ — الخيال المرئى بالانعطاف

ويتناول ابن الهيثم في بحوثه في الانعطاف بيان كثير من الأمور المرتبطة بالخيالات التي ترى بالانعطاف ، كمواضع هذه الخيالات وصفاتها العامة بالإضافة إلى المبصر . فيتناول مثلاً الوضع ويبحث عما إذا كان الخيال منكوساً أو مستوياً بالنسبة إلى المبصر ، ويتناول العظم فيبحث عما إذا كان مكبراً أو مصغراً ويتناول الشكل فيبحث عما إذا كان مقوساً أو مستقيماً وما إلى ذلك من الأمور التي بحث عن أمثالها في خيالات المرايا .

وهو يستهل هذه البحوث بشرح ما يعنيه بالخيال في هذا الصدد ويورد للخيال تعريفاً فيقول « الخيال هو صورة المبصر الذي يدركه البصر من وراء جسم

(١) و (٩٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

مشف مخالف الشفيف لشفيف الهواء ، إذا كان البصر مائلا عن الأعمدة التي تخرج من ذلك المبصر إلى سطح ذلك الجسم المشف ^(١) . ويزيدها التعريف تفصيلا فيقول « وذلك أن الصورة التي يدركها البصر في الجسم المشف المبصر الذي من وراء ذلك الجسم المشف إذا كان (البصر) ^(٢) مائلا عن الأعمدة الخارجة من ذلك المبصر إلى سطح الجسم المشف ليس هي المبصر نفسه ، لأن البصر إذا كان مائلا عن الأعمدة الخارجة من المبصر إلى سطح الجسم المشف فليس يدرك ذلك المبصر في موضعه ولا على هيئته بل إنما يدركه في غير موضعه وعلى صفة مخالفة لصفته . . ويدركه بالانعطاف وهو مع ذلك يدركه في مقابلته . والصورة التي يدركها البصر للمبصر الذي بهذه الصفة تسمى الخيال » ^(٣)

وهو يدل على ذلك بدليين أحدهما نظري والآخر عملي فيقول بعد ذلك « وهذا المعنى يدرك بالقياس ويدرك بالاعتبار » . ويقصد بالقياس البرهان النظري إذ هو قد بين من قبل أن المبصر الذي يرى من وراء جسم مشف يدرك بالانعطاف ، فهو لا يدرك على سمت خط الضوء الممتد إلى موضع الانعطاف ويخيل للبصر أنه يدرك المبصر على استقامة لأنه لا يحس بأن ادراكه إنما هو بالانعطاف . وإذن فهو يدركه في غير موضعه . ^(٤)

فوضع الخيال ليس هو موضع المبصر . فالخيال شيء متميز عن المبصر ليس هو المبصر بالذات . ذلك هو البرهان النظري .

أما الدليل العملي فالاعتبار . والإعتبار الذي أورده لا يزال هو الذي يدل به في كتب الضوء المدرسية في الوقت الحاضر . وكان معروفاً من قبله ، ذكره بطليموس في مقالاته الخامسة في المناظر وسبقه إلى ذكره « كليمنديس » من قبل ^(٥) . وابن الهيثم يعيده لا على أساس فكرة بطليموس في أن الشعاع

(١) و (٦١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) في الأصل « المبصر » وهو تحريف

(٣) و (٦١) ، و (٦٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) و (٦٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٥) « Cleomedes » انظر في كتاب Histoire Des Sciences Antiquité تأليف

Mieli و Brunet النبذة المنقولة عن كليمنديس من كتابه في الحركة المستديرة للأجرام السماوية .

الذي يبصر به المبصر خارج من البصر ، بل على أساس نظريته في الابصار . والاعتبار ^(١) يتلخص في أنه إذا اتخذ إناء ذو حرف قائم ووضع فيه مبصر « كالحاتم أو البيضة أو ماجرى مجراهما » ووقف المعتبر بحيث يرى المبصر في قرار الاناء ، ثم تأخر قليلا قليلا إلى أن يحتجب المبصر عن بصره بحرف الاناء ، وعند أول ما يستتر المبصر عن بصره يقف في موضعه لا يغيره ، وكان يعاونه شخص آخر فيسكب بعد ذلك في الاناء ماءً برفق لئلا يزاح المبصر عن موضعه في الاناء إلى أن يمتلئ الاناء ، فإن المعتبر « يرى المبصر بعد أن كان لا يراه ويراه في مقابلته » ويقول بعد إيراد هذا الاعتبار « فيتين من هذا الاعتبار أن الصورة التي رآها في الماء للمبصر الذي في الاناء ليس هي في موضع المبصر » وواضح أنها قد ارتفعت عن الموضع الحقيقي للمبصر نفسه فلم يحجبها حرف الاناء عن البصر .

٢٠٥ — القاعدة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة

رأينا عند عرض بحوث ابن الهيثم عن خيالات المرايا أنه بنى تلك البحوث على قاعدة تنص على أن نقطة التقاء الشعاع المنعكس إلى البصر هو أو امتداده بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح الذي يحدث عنده الانعكاس ، هي موضع خيال النقطة . وله في الخيالات التي ترى بالانعطاف قاعدة نظرية لهذه تنص على أن نقطة التقاء الشعاع المنعطف إلى البصر هو أو امتداده بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح الفاصل بين الوسطين هي خيال النقطة . وهو ينص على هذا المعنى حيث يقول بلفظه « فأقول إن خيال كل نقطة يدركها البصر بالانعطاف هي على النقطة التي هي الفصل المشترك بين الخط الذي عليه تصل الصورة إلى البصر ^(٢) (وبين ^(٣) العمود الخارج من تلك النقطة المبصرة القائم على سطح الجسم المشف على زوايا قائمة . ^(٤) »

(١) و (٦٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) ويعني خط الشعاع الممتد من موضع الانعطاف إلى البصر .

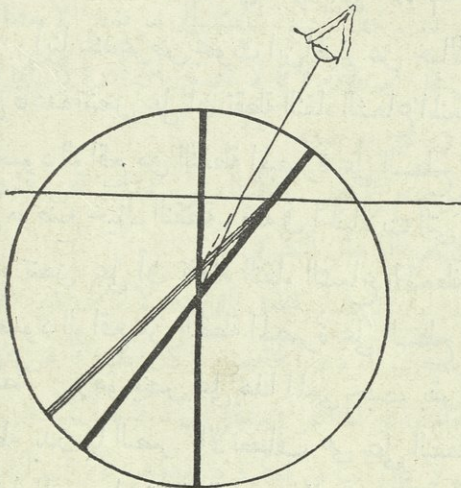
(٣) في الأصل « وهو » .

(٤) و (٦٣) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

وابن الهيثم يدل على صحة هذه القاعدة بالاعتبار ويذكر في ذلك اعتبارين يدلل بالأول على موضع خيال النقطة عند نفوذ الضوء من وسط غليظ إلى وسط لطيف ويدلل بالثاني على موضع خيال النقطة عند نفوذ الضوء من وسط لطيف إلى وسط غليظ .

الاعتبار الأول (١)

والاعتبار الأول يتلخص في أن يؤتى بقرص من الخشب يبلغ قطره نصف متر أو يكون قطره كما يقول هو « ليس بأقل من ذراع » ومرسوم على احد وجهيه أقطار متقاطعة بخطوط غلاظ واضحة . ويغمر القرص في الماء ومستواه رأسى إلى أن يصل مركزه إلى ما تحت سطح الماء دون أن يغمر الماء القرص كله . ويهيا وضعه بحيث يكون أحد أقطاره عموداً على سطح الماء ويكون قطر من الأقطار الأخرى بارزاً جزءاً منه فوق سطح الماء كما هو مبين بشكل (١٧٥) . فاذا نظر المعتبر إلى سطح الماء وتأمل مركز القرص رأى المركز



(شكل ١٧٥)

على استقامة القطر العمود على سطح الماء . وإذا تأمل القطر الآخر وجد الجزء المغمور منه في الماء مستقيماً ، ولكنه لا يرى على سمت الجزء البارز منه . بل يوجد محيطاً معه بزاوية منفرجة مما يلي القطر الأول كما هو مبين بالشكل . وبالمثل لو أعيد

الاعتبار وجعل القطر المائل قائماً والآخر مائلاً وهكذا . وابن الهيثم يستدل من هذا على أمرين .

الأول هو بلفظه « إن كل نقطة من الجزء الذي في داخل الماء من القطر المائل مرتفعة عن موضعها ». وهذا يتبين كما يقول « من انحناء القطر المائل عند سطح الماء (ويعني من ظهوره للبصر كما أنه منكسر) واستقامة ما في داخل الماء من القطر المائل واتصاله » .

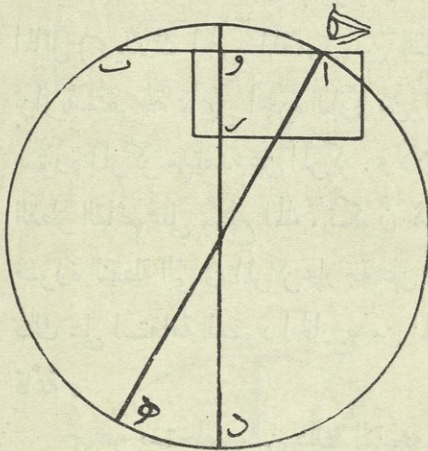
والثاني هو بلفظه « إن صورة النقطة التي هي مركز الدائرة (ويعني القرص) أعنى الصورة التي يدركها البصر ليس هي عند مركز الدائرة ، لأنها لو كانت عند مركز الدائرة لكانت على استقامة القطر المائل لأنها على الحقيقة كذلك . فإذا كان البصر يدرك هذه النقطة خارجة عن استقامة القطر المائل (ويدرك الجزء المغمور من القطر المائل محيطاً مع الجزء البارز منه بزاوية منفرجة مما يلي الجزء البارز من القطر القائم)^(١) فإن النقطة التي هي صورة المركز مرتفعة عن المركز . ولأن البصر يدرك هذه النقطة على استقامة القطر القائم على سطح الماء ، تكون هذه النقطة التي يدركها البصر التي هي صورة النقطة التي في المركز خارجة عن المركز ومرتفعة عن المركز ، وهي مع ذلك على استقامة العمود الخارج من المركز القائم على سطح الماء على زوايا قائمة » .

ثم هو يستخلص من ذلك النتيجة التي يريد بها ويزيدها توضيحاً فيقول « فالنقطة التي يدركها البصر بالانعطاف يدركها في مقابلته ، وعلى استقامة الخط المستقيم الذي عليه ترد الصورة إلى البصر . وهذا المعنى يتبين عند اعتبار إدراك المبصرات بالانعطاف بالآلة التي تقدم شرحها (ويعني آلة الانعطاف) لأنه إذا سد المعتبر الثقب الثاني الذي في الآلة لم يدرك المبصر الذي كان يدركه بالانعطاف ، وإذا سد الثقب الثاني فأنما يكون قد قطع الخط المستقيم المتوهم الخارج من مركز البصر إلى موضع الانعطاف » . ثم يقول إن البصر يدركها على استقامة العمود فهو « يدركها على النقطة التي هي الفصل المشترك بين الخط الذي عليه تصل الصورة إلى البصر وبين العمود الخارج من النقطة المبصرة القائم على سطح الجسم المشف الذي يلي البصر على زوايا قائمة » .

(١) العبارة المحصورة بين القوسين جاءت في الأصل منقوصة مضطربة .

الاعتبار الثاني^(١)

أما الاعتبار الثاني فيتلخص في أن يتخذ المعتبر قرصاً وليكن القرص السابق نفسه ويخط في ظهره وترأً مثل ١ ب (شكل ١٧٦) طوله أصغر من نصف قطر القرص . ثم يرسم على سطح القرص القطر ح د المار بمنتصف الوتر ، فيكون عموداً عليه ، والقطر ١ ه المار بأحد طرفيه ويكون الأول باللون الأبيض والثاني باللون الأحمر . ويأتي بقطعة من الزجاج على شكل متوازي مستطيلات طولها أصغر من طول الوتر وأكبر من نصفه وعرضها وسمكها مثل نصف طولها . وتثبت



(شكل ١٧٦)

الزجاجة على سطح القرص بحيث ينطبق أحد وجوهها المستطيلة عليه، وبحيث ينطبق أيضاً ضلع هذا الوجه الذي هو بمشابة الطول من المستطيل على الوتر ١ ب . ويكون جسم الزجاج مائلياً للمركز . ويكون بروز حرف الزجاج خارج محيط القرص عند طرف القطر المائل أكثر منه مما يلي منتصف

الوتر من الجهة الأخرى كما هو مبين بالشكل^(٢) .

وشرح ابن الهيثم لكيفية الاعتبار يتلخص في أن تجعل إحدى العينين قريبة جداً من الزجاج عند طرف القطر المائل وينظر في سطح الزجاج القاطع لسطح القرص على الوتر ١ ب وتكون العين الأخرى في الجهة التي

(١) و (٦٥) — و (٦٨) من مخطوط المقالة السابعة المناظر .

(٢) يعتمد ابن الهيثم في وصف هذه الأمور على ذكر الأبعاد فقطر القرص ليس بأقل من ذراع وطول الوتر عشر أصابع وطول الزجاج ثمانى أصابع ، وكل من عرضها وسمكها أربع وتواء الزجاج عن طرف القطر المائل أصبعان وعن منتصف الوتر من الجهة الأخرى أصبع واحدة .

فيها جسم الزجاج . ويستمر ما يقابل العين الثانية من سطح الزجاج بقطعة من الورق حتى لا يتسنى رؤية القطر المائل ١ هـ بهذه العين ، ولكن يتسنى بها رؤية القطر ح د العمود على الوتر . وابن الهيثم يرمى من وراء ذلك إلى أربعة أغراض .

(أولاً) أن ترى العين الأولى جزأى القطر المائل ، الجزء الذى تحت الزجاج والجزء الذى خارجها من الجهة الى فيها مركز القرص . ولأنه يفرض العين قريبة جداً من سطح الزجاج تكاد تلتصق به ، فهو يعدها كأنها فى الزجاج ترى الجزء الذى من تحت الزجاج رأساً أو بالاستقامة وترى الجزء الخارج بالانعطاف من الهواء فى الزجاج .

(ثانياً) أن ترى العين الأولى أجزاء القطر القائم الثلاثة . ونظراً لشدة قربها من سطح الزجاج فهو يعدها ترى الجزء و مر الذى من تحت الزجاج رأساً من غير انعطاف كأنها فى الزجاج . وترى الجزء الخارج من جهة المركز وهو مر د بالانعطاف من الهواء فى الزجاج . وترى الجزء و ح الخارج من الجهة الأخرى أى من جهة المحيط رأساً أو بالاستقامة ، ولأنها فى الهواء تنظر إليه فتراه من غير انعطاف .

(ثالثاً) ألا ترى العين الثانية القطر المائل كله أو جزءاً منه .

(رابعاً) أن ترى العين الثانية أجزاء القطر القائم الثلاثة . وهى فى الهواء ليست قريبة جداً من سطح الزجاج . فترى الجزء و ح رأساً من غير انعطاف وترى الجزء و مر الذى من تحت الزجاج بالانعطاف من الزجاج فى الهواء وترى الجزء مر د بالانعطاف من الهواء فى الزجاج ثم من الزجاج فى الهواء فتراه بانعطافين .

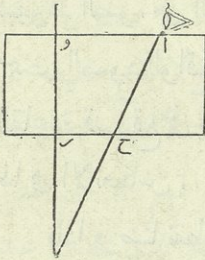
وابن الهيثم يصف ما يشاهد عندئذ . فالقطر العمودى على الوتر يُرى وفقاً لأقواله مستقيماً إذا نظر إليه بالبصرين أحدهما أو كليهما . فهو يقول بلفظه « فالبصران جميعاً يدركان هذا القطر (يعنى القائم) مستقيماً وإن ستر المعتبر بالبصر الآخر ونظر بالبصر الذى يلى الزجاج فانه يدرك القطر القائم مستقيماً .

وإن رفع المعبر بصره من الزجاجة وتأمل القطر القائم من وراء الزجاجة فإنه ،
يدركه مستقيماً مع إدراكه له بالانعطاف . والعلة في ذلك أن كل نقطة من
القطر القائم إذا أدركها البصر بالانعطاف ، فإنه يدركها في غير موضعها إلا
أنه يدركها في موضع هو على استقامة العمود الخارج منها القائم على سطح
الزجاجة » والعمود المذكور هو القطر . أما القطر المائل وهو المقصود خاصة
في الاعتبار ، فإن العين الأولى ترى كلا من جزأيه مستقيماً ولكن يبدو لها
الجزء الخارج من تحت الزجاجة من جهة المركز ، لا على سمت الجزء الذي
من تحتها وإنما محيطاً معه بزواية منفرجة مما يلي الناظر . وإذا تأملت العين نقطة
المركز ظهرت لها على امتداد القطر العمود على الوتر وأبعد من سطح الزجاجة
من موضعها الحقيقي .

ذلك هو اعتبار ابن الهيثم على الصورة التي ذكرها . وما يجدر الإشارة
إليه هنا أنه ليس من المتيسر بادية الأمر تحقيق الأغراض التي يريد ابن الهيثم
من التجربة . إذ الانعكاس الداخلي الكلي عن سطح الزجاجة الملتصق بسطح
القرص يحول دون رؤية جزأى القطرين اللذين من تحت الزجاجة إذا نظر
إليهما بالبصر الأول وهو في الوضع المذكور ، إلا إذا غني بأن يكون التصاق
الزجاجة بسطح القرص أو على الأقل بالقطرين التصاقاً تاماً يتمتع معه وجود
الطبقة الهوائية التي تدعو في مثل هذه الأحوال إلى حدوث هذا الانعكاس .
وما يلفت النظر في هذا الصدد قول ابن الهيثم وهو يصف كيفية إعداد
القرص بعد ذكر رسم القطرين « ويملاء القطر القائم بجسم أبيض ويملاء القطر
الآخر بجسم أحمر ثم تتركب الزجاجة .. » وهو في الاعتبار الأول يرى أن
تخط الأقطار « بالحديد لتزل في جسم الخشب ولتكن الخطوط غلاظاً لتكون
بيّنة وتملاء هذه الخطوط بجسم أبيض وليكن اسفينياً جامعاً معجوناً باللك » . فإن
كان يريد من ملء القطرين في التجربة الثانية أن يملأ الجسم ملون فيه شيء من
الرخاوة كالاسفيناج المعجون بالشمع أو كالشمع الملون باللون الأحمر بحيث
يكون القطران بارزين قليلاً عن مستوى القرص فإن ذلك كفيلاً بأن يكون
التصاق الزجاجة بالجسمين الرخوين المائلين للقطرين التصاقاً تاماً يجعل من

المتيسر رؤية جزأى القطرين اللذين من تحتها من غير أن يحول الانعكاس الكلى دون رؤيتهما .

ومن السهل إعادة هذه التجربة لبيان الغرض الذى يريده ابن الهيثم بشئ من التعديل ، فيخط على أحد وجوه كتلة من الزجاج على شكل متوازى مستطيلات خطان بقلم ملون أحدهما و م (شكل ١٧٧) عمود على حرف طولها والآخر ح مائل عليه كالمبين بالشكل ، وبحيث تكون نقطة ١ على



(شكل ١٧٧)

بعد سنتيمترين أو أكثر قليلا من حرف الزجاج ث م يرسم الشكل الرباعى ١ و م ح بالضبط على قطعة من الورق المقوى ويخرج ضلعه النظير للضلع ح م على استقامة من جهة ح والآخر على استقامة من جهته وتعين نقطة التقاءهما . ثم تثبت الزجاج بحيث يكون

وجهها الذى عليه الخطان منطبقاً على سطح الورقة وكل من خطيها و م ١ ح منطبق على نظيره ، وطرفاهما كذلك بالضبط ، فيكون الخطان المرسومان على الورقة منطبقين على الخطين المخطوطين على سطح الزجاج . فاذا نظر بأحد البصرين وهو قريب جدا من نقطة ١ نحو سطح الزجاج العمود على مستوى الورقة أمكن رؤية جزأى الخط المائل وأجزاء الخط القائم وتيسر التأمل فى أوضاع هذه الأجزاء بعضها بالنسبة إلى الآخر .

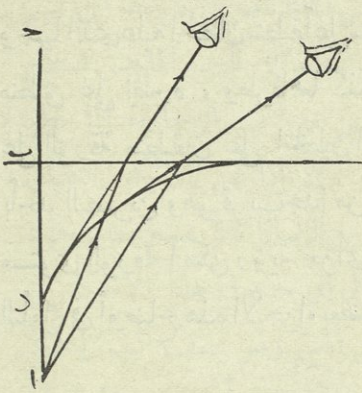
٢٠٦ - فصور قاعدة ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة

يريد ابن الهيثم من مثل هذه الاعتبارات أن يجعل قاعدته لتعيين خيال النقطة حقيقة عملية تؤيدها التجارب أو الاعتبارات وهو يعقب على هذين الاعتبارين بتلخيص موقفه ويقول « فقد تبين من جميع ما بيناه فى هذا الفصل أن كل مبصر يدركه البصر من وراء جسم مشف مخالف الشفاف لشفاف الجسم الذى يلى البصر إذا كان البصر مائلا عن الأعمدة الخارجة من ذلك المبصر القائمة على سطح الجسم المشف الذى يلى البصر ، فان خيال كل نقطة

من ذلك المبصر هي على (الفصل) (١) المشترك بين الخط الذي عليه تصل صورة تلك النقطة إلى البصر وبين العمود الخارج من تلك النقطة القائم على سطح الجسم المشف الذي يلي (البصر) ، كان الجسم المشف الذي يلي البصر أطف من الجسم المشف الذي يلي المبصر (٢) أو كان الجسم المشف الذي يلي البصر أغلظ من الجسم المشف الذي يلي المبصر (٣) .

والقاعدة ليست صحيحة على الإطلاق . وهي لا تصح إلا إذا كانت زاوية سقوط الضوء من النقطة المبصرة صغيرة جداً حيث يكون مركز البصر على سمت العمود الواقع منها على السطح أو قريباً جداً منه . وابن الهيثم في تعميم القاعدة قد وقع في مثل الخطأ الذي وقع فيه من قبل في تعميم القاعدة النظرية لها في الانعكاس .

فإذا فرضنا نقطة مضيئة ولتكن ١ (شكل ١٧٨) في وسط غليظ كالزجاج



(شكل ١٧٨)

مثلاً وأخرجنا منها العمود ١ ب على السطح ومددناه على استقامة إلى > فنمعلوم أن امتدادات الأشعة المنعطفة في الهواء إذا روعي ما يقع منها في مستوى الشكل « تغلف » منحنيّاً ذا شطرين يتلاقيان في نقطة مثل د على العمود ١ ب وإذا ثبت ١ ب وأدير الشكل حوله تكون من دوران المنحني

سطح منحن هو الذي تمسه امتدادات جميع الأشعة المنعطفة في الوسط اللطيف وهو السطح الغلافي للأشعة المنعطفة . وهذا السطح يمثل المحل الهندسي لمواضع خيالات نقطة ١ التي يدركها البصر في أوضاعه المختلفة في الوسط اللطيف فكلما بعد البصر عن العمود ١ ب > ، تحرك الخيال على السطح الغلافي

(١) في الأصل « الجسم »

(٢) في الأصل « المبصر »

(٣) و (٦٨) ، و (٦٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

مبتعداً من نقطة د ومقترباً إلى السطح الفاصل بين الوسطين .
ومن الواضح وفقاً لشرط قانون الانكسار الذي ينص على أن الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود من نقطة السقوط في مستوى واحد ، أن امتداد الشعاع المنعطف أيا كان يلقي حتما العمود ب على نقطة . فالبصر يبدو له في أى وضع من أوضاعه أن الضوء يرد اليه على سمت خط مستقيم يلقي العمود المذكور . أى يبدو له كأن خيال النقطة واقع على هذا العمود . ولكن إذا أزيح البصر قليلا عن موضعه في الاتجاه العمود على مستوى الشكل بدا له « اختلاف المنظر » وتبين عندئذ أن خيال النقطة لا يقع حقيقة على العمود ب وإنما هو (في حالة الانعطاف في الوسط الألف) فيما بين العمود وبين البصر . فان عدنا بعد هذا إلى اعتبارى ابن الهيثم ، ورأى البصر أن خيال المركز على امتداد العمود الواقع منه على السطح الذى يحدث عنده الانعطاف ، فان إزاحة البصر قليلا في أحد الجانبين يبين أن ظهور الخيال على هذا العمود لا يعنى وقوعه فعلا عليه . إذ يبدو عندئذ كما أشرنا « اختلاف المنظر » ، ويكون هذا الاختلاف أبين وآكد كلما بعد البصر عن سمت العمود الواقع على السطح ، ولكنه يكاد يزول إذا كان البصر قريباً جداً من سمت هذا العمود ، ويزول قاطبة إذا كان البصر على سمت العمود نفسه .

وما قد سبق أن علقنا به على القاعدة النظرية لهذه في الانعكاس ينطبق في جوهره على هذه القاعدة أيضاً . فالغرض الأساسى في نظرية ابن الهيثم في الابصار وهو أن إدراك البصر لصورة نقطة ناشئ عن ورود شعاع واحد من هذه النقطة هو الوارد على سمت العمود على سطح البصر ، هذا الفرض يخفى كما سبق أن ذكرنا ما ينبه الذهن إلى مصدر الخطأ في تعميم القاعدة .

٢٠٧ - غموض رأى ابن الهيثم في موضع خيال النقطة اذا طاله البصر

على سمت العمود الواقع منها على السطح
وهناك مسألة لم يدل ابن الهيثم فيها برأى واضح ، إذ لم نجد من أقواله في مجموعها ما يصح أن نستخلص له منها قولاً واحداً قاطعاً فيها ، بل إن من بعض

أقواله ما يفيد رأياً معيناً ومن بعضها الآخر ما يفيد نقيض هذا رأى .
وسنكتفى بالإشارة إليها هنا مرجئين العودة إليها كلما عرضت في بحوثه التى
سنتناولها فيما بعد فى مناسباتها .

فتعريف ابن الهيثم للخيال ذلك التعريف الذى نقلناه بلفظه فى مستهل هذا
البحث^(١) يتضمن شرطاً منصوباً عليه بتمام الوضوح هو أن يكون البصر
مائلاً عن العمود الخارج من النقطة المبصرة قائماً على السطح الذى يحدث عنده
الانعطاف .

فهل يريد ابن الهيثم من ذلك أنه إذا كان البصر على سمت العمود حيث
ينفذ الشعاع الوارد إليه من النقطة المبصرة على استقامة من غير انعطاف ،
فليس ما يدركه البصر هو خيال النقطة وإنما هو النقطة نفسها فى موضعها الذى
هى عليه فى الحقيقة ؟ هل يريد أن يقول إن إدراك الموضع فى غير ما هو
عليه يشترط فيه حدوث الانعطاف ، ويبتل إذا ما نفذ الشعاع على استقامة ؟
إن من أقواله ما يفيد هذا المعنى ضمناً وصراحة ومنها ما يفيد الضد من
ذلك . فهو من جهة يكاد فى جميع بحوثه التى يرد فيها ذكر الخيال يشترط
الانعطاف . وهو فى اعتباره الأول الذى يدل به على كيفية الاصدار بالانعطاف
تفيد أقواله إنه إذا وضع رأس الخلالة على طرف قطر الدائرة الوسطى المار
بمركزى الثقبين ونظر اليه من ثقب الاطار ، رؤى رأس الخلالة فى ذلك الموضع .
وهو فى بعض بحوثه عن الخيالات يقول صراحة إن البصر إذا كان على سمت
العمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح أدرك النقطة فى موضعها .^(٢)
وهو فى بعضها الآخر يحتاط للأمر فى تعبيره ، واحتياطه جائز أن يكون تأويله
استمساكاً بهذا رأى^(٣) . وأقواله فى بعضها الآخر يفيد الضد من رأى
المذكور^(٤) . والذى يجعل لهذه المسألة أهميتها فى نظرنا أن الفارسي فى التنقيح

(١) انظر فقرة (٢٠٤) من هذا الكتاب .

(٢) انظر الفقرة التالية من هذا الكتاب .

(٣) انظر فقرة (٢١١) من هذا الكتاب .

(٤) انظر فقرة (٢٢٨) من هذا الكتاب .

يقول بهذا الرأي صراحة (١). فالمسألة لم تكن في عصر ابن الهيثم واضحة جلية بل كان يكتنفها شيء غير قليل من الغموض والابهام. وإذا استشهدنا بالفارسي اتضح أن الآراء حتى في القرنين اللذين يليان عصر ابن الهيثم اتجهت إلى القول بأن موضع خيال النقطة في هذه الحالة هو موضعها الذي هي عليه في الحقيقة.

ولو أننا نرجح على الوجه العائم أن ابن الهيثم ذهب إلى أن موضع خيال النقطة إذا كان مركز البصر على العمود الخارج منها قائماً على السطح هو موضع النقطة نفسها فإن بعض بحوثه في الوقت نفسه يدل سياق التفكير فيها وتدل أيضاً بعض النصوص الواردة فيها على نقيض من هذا الرأي.

٢٠٨ - حكم ابن الهيثم في خيال النقطة المدرك بالانعطاف عند

السطح المستوي

وينبغي ابن الهيثم جميع بحوثه عن الخيالات التي ترى بالانعطاف على أساس قاعدته التي شرحناها آنفاً لتعيين موضع خيال النقطة. وهو يرى من هذه البحوث إلى إقرار أحكام معينة بشأن هذه الخيالات يستنبطها جميعاً براهين هندسية. ومن أحكامه الأساسية أنه لا يدرك للنقطة المبصرة بالانعطاف عند السطح الواحد إلا خيال واحد وهو ينص عليه قائلاً بلفظه «إن كل مبصر يدركه البصر من وراء جسم مشف مخالف الشفيف لشفيف الجسم الذي يلي البصر إذا كان الجسم المشف من الأجسام المألوفة فليس يكون له إلا خيال واحد فقط» (٢) وابن الهيثم يعني بالأجسام المشفة المألوفة السماء والماء والهواء والزجاج والأحجار المشفة، ويذكر أنها إما أن تكون سطوحاً مستوية أو كرية، أو

(١) حاول الفارسي في ذيل التنقيح أن يعزز هذا الرأي بأقوال غامضة ذهب فيها إلى أن حقيقة موضع الخيال هو مركز البصر وقد ذهب أيضاً في بعض بحوثه إلى أن المبصر المستقيم في الجسم الأغظ إذا كان موازياً للسطح ونظر إليه من سمت العمود الواقع من منتصفه قائماً على السطح فإن نقطة المنتصف ترى في موضعها ولكن طرفي المبصر يريان أقرب إلى السطح فيظهر المبصر كخطين يحيطان بزواية منفرجه مما يلي السطح.

(٢) و (٧٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

يكون المألوف منها ذا سطوح مستوية أو كرية . فقله إذن منصب على الانعطاف عند السطوح المستوية أو الكرية . وهو يعيد النص على هذا المعنى بدقة أكبر فيقول « إن كل جسم مشف يكون سطحه المقابل للبصر سطحاً واحداً ويكون السطح المستوى القائم على سطحه إذا قطعه أحدث في سطحه خطاً مستقيماً أو خطاً مستديراً ، فإن كل نقطة يدركها البصر من وراء ذلك الجسم المشف ومن وراء السطح الذى حددناه فليس يكون لها إلا خيال واحد ولا يدركها البصر إلا نقطة واحدة فقط » . (١)

وحكمه هذا يشمل الانعطاف عند السطح المستوى وعند السطح الكرى أيضاً ، ولكننا فى هذا المقام سنقتصر على شقه الخاص بالانعطاف عند السطح المستوى مرجئين الشق الآخر منه إلى ما بعد .

ولاثبات أن خيال النقطة واحد يتناول ابن الهيثم حالتى الانعطاف فى الوسط الألف وفى الوسط الأغظ (٢) . والفكرة التى يقوم عليها البرهان فى الحالتين واحدة وتستبين إذا أوردنا البرهان مع شىء طفيف من التعديل على المنوال الآتى .

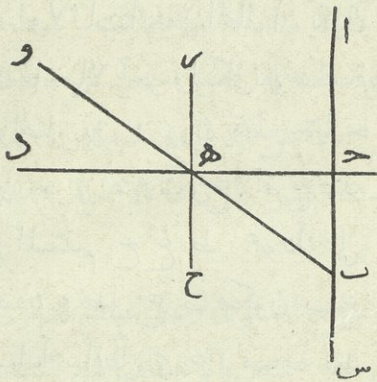
لتكن نقطة ١ (شكل ١٧٩) مركز البصر ولتكن نقطة ب النقطة المبصرة وبما أن الشعاع الساقط والشعاع المنعطف والعمود من نقطة السقوط فى مستوى واحد فليكن هو مستوى الشكل ، وليكن تقاطعه والسطح الفاصل بين الوسطين خط ح د . ولنخرج من ١ عموداً عليه وليلقه على ح ولنمده إلى س ولنفرض أن نقطة ب ليست على امتداد هذا العمود ، ولنخرج منها ب د عموداً على ح د وليلقه على د .

وبما أن الضوء الوارد من ب إلى ١ من المحال أن ينعطف من نقطة من غير خط ح د فلنفرض أنه ينعطف من نقطة ه عليه ، ولنخرج من ه العمود و ه م على ح د . فإن كان الانعطاف فى الوسط الألف فهو إلى ضد جهة العمود من ه . فإذا مُد المنعطف ١ ه فهو يلقى حتماً ب د

(١) و (٧١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٧١) — و (٧٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

ويعالج هذه الحالة أيضاً ببرهان الخلف وهو قد أوردته في صدد الانعطاف في الوسط الأغلظ (١). فلنكن يبرهن على أن الضوء الوارد من ب إلى ا



ينفذ على استقامة العمود ب > ا
يفرض أنه ينعطف من نقطة
ولتكن هـ على ح د ، ولنخرج من
هـ العمود مر هـ ح على ح د ونصل
ب هـ وننفذه إلى و .

فالشعاع ب هـ لا ينفذ على س

استقامة هـ و ، وإنما ينعطف عند هـ

(شكل ١٨٠)

إلى ضد جهة العمود إذا كان الانعطاف في الألفظ وإلى جهة العمود إذا كان الانعطاف في الأغلظ فلا يصل المنعطف في كلتي الحالتين إلى نقطة ا .

فان كانت النقطة المبصرة على العمود الواقع من مركز البصر على السطح فان الشعاع الوارد منها إلى البصر يرد على استقامة هذا العمود .

والذي يجدر الإشارة إليه بصفة خاصة النتيجة التي يقررها ابن الهيثم بشأن خيال النقطة في هذه الحالة لعلاقتها بالغموض الذي يكتشف رأيه الذي بيناه في الفقرة السابقة . فهو يقول بلفظه « فان بصر ا يدرك نقطة ب على استقامة ومن غير انعطاف » ، ويضيف بعد ذلك قوله « فبصر ا يدرك نقطة ب في موضعها وعلى استقامة خط ا > ب » (٣). وقوله هذا صريح الدلالة على ذهابه إلى أن خيال النقطة ينطبق في هذه الحالة على النقطة نفسها . في حين أن الأمر ليس كذلك . فالخيال وإن كان على سمت العمود فعلا ، فهو أقرب إلى السطح إذا كان الانعطاف في الوسط الألفظ ، وأبعد عن السطح إن كان الانعطاف في الوسط الأغلظ . وقاعدة ابن الهيثم هي الوسيلة لتعيين

(١) أورد الفارسي في التنقيح البرهان في الحالتين .

(٢) و (٧١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

موضع الخيال في هذه الحالة . وهذه الحالة بالذات هي الحالة التي يصح فيها تطبيق القاعدة حيث يكون مخروط الأشعة الواردة إلى البصر ضيقاً ومواقع سقوط الأشعة التي يلتئم منها المخروط قريبة جداً من مسقط العمود (أي نقطة γ) فتكاد تكون امتدادات الأشعة المنعطفة متلاقية جميعها على نقطة واحدة من عمود β ، وتكون نسبة بعد نقطة الالتقاء عن γ إلى بعد β عن γ كمعامل انكسار الضوء عند نفوذه من الوسط الموجود فيه النقطة المبصرة إلى الوسط الموجود فيه البصر .

الفصل الثالث

في

خيالات المبصرات المدركة بالانعطاف عند السطح المستوي

٢٠٩ - محل بحث ابن الهيثم عن أغلاط البصر التي من أجل

الانعطاف

تناول ابن الهيثم دراسة خيالات المبصرات التي ترى بالانعطاف بشيء غير قليل من الاسهاب مبيناً وجوه الاختلاف بين الخيال الذي يرى وبين المبصر نفسه، من حيث الموضع ومن حيث العظم ومن حيث التشوه . وهو يعد هذه الاختلافات من أغلاط البصر الناشئة عن الانعطاف في ذاته . فالانعطاف على حسب وجهة نظره شأنه شأن الانعكاس يسبب نوعاً خاصاً من الأغلاط تضاف إلى الأغلاط التي تحدث عند إبطار المبصر بالاستقامة . وهو يعنى بتوضيح هذه الفكرة . فان أدرك البصر مبصراً بالانعطاف فهو يدركه في موضع الخيال وليس موضع الخيال هو موضع المبصر نفسه ، وليس بعده عن البصر هو بعد المبصر نفسه . كما أن نفوذ الضوء خلال الوسط المشف الموجود فيه المبصر قد يغير من لون المبصر نفسه . وأيضاً لما كان البصر يدرك المبصر في موضع الخيال على سمت الشعاع المنعطف إلى مركز البصر فان إدراك المبصر بالانعطاف هو إدراك الخيال بالاستقامة ، فجميع أغلاط الاستقامة تعرض هاهنا أيضاً . ولما كان الانعطاف يضعف الضوء كما يقول ابن الهيثم وخروج الضوء عن عرض الاعتدال من أسباب الغلط ، فأغلاط الاستقامة التي تعرض عند إدراك الخيال تكون أكثر وأشد و«آكد» .

وابن الهيثم يشير أيضاً إلى عوامل أخرى يعرض من أجلها الغلط وهي

يطبق قاعدته في أن خيال النقطة هو نقطة التقاء امتداد الشعاع المنعطف الواصل إلى مركز البصر بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح . وبحوثه من الناحية الهندسية تكاد جميعها تكون صحيحة لا عيب فيها . ولكنها من الناحية الطبيعية ليست سليمة على الإطلاق . لأن نتائجها لا تمثل الواقع بالضبط إلا إذا كانت كل واحدة من نقاط الانعطاف قريبة جداً من مسقط العمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح كما أشرنا إلى ذلك من قبل . وهو قد أغفل ما ينجم عن « الزيغ الكرى » ، في حين أنه تناول في بحوثه حالات يعرض فيها ولا شك هذا الأمر .

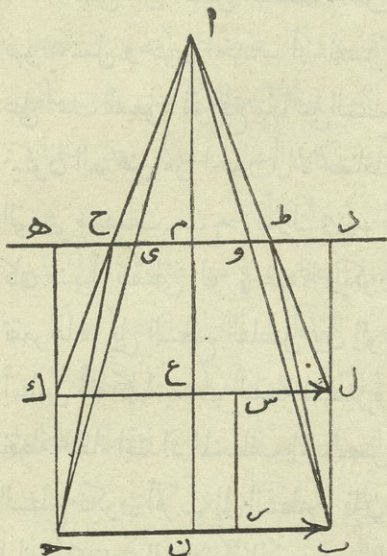
وابن الهيثم في هذه البحوث يتخذ المبصر خطاً مستقيماً أو هو بالأحرى يراعى من المبصر قطراً من أقطاره ، ويبحث عن خيال كل من طرفيه . فيكون خيالا طرفيه نهايتي خيال قطر المبصر . ويبحث عن خيالي طرفيه والبصر في وضعين مختلفين بالنسبة إلى المستوى العمود على السطح الفاصل بين الوسطين والمار بهذا الخط المبصر . وكأنه يقسم بحوثه قسمين أساسيين يتناول في القسم الأول البحث عن الخيال إذا كان مركز البصر واقعاً في هذا المستوى ، ونسمى وضعه في هذه الحالة الوضع الأول . ويتناول في القسم الثاني البحث عن الخيال إذا كان مركز البصر خارجاً عن هذا المستوى ، ونسمى وضعه في هذه الحالة الوضع الثاني . وهو في بحوثه جميعاً يتوخى فروضاً يسهل بها تبسيط الشرح والبرهان كما سيتضح فيما يلي .

٢١١ - خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الأول

الحالة الأولى : المبصر مواز للسطح الفاصل بين الوسطين (١) .
ليكن المبصر ب > (شكل ١٨١) وليكن في وسط أغلظ . وليكن أولاً موازياً للسطح الفاصل بين الوسطين ، ولنخرج من طرفيه ب ٦ > العمودين ب د ٦ > هـ على السطح وليلقياه على نقطتي د ٦ > هـ على الترتيب . وانزع الحالة التي يكون فيها مركز البصر الواقع في هذا المستوى على امتداد العمود المنصف

(١) و (١٠٩) - و (١١١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

المبصر ب > . فلتكن نقطة ن منتصف ب > وليكن ن م العمود الخارج منها على السطح ويلقيه على م وليكن مركز البصر ا على امتداد ن م . تلك هي الفروض الأساسية .



(شكل ١٨١)

فمستوى الانعطاف هو في هذه الحالة مستوى ب د هـ > وفصل الانعطاف هو المستقيم د هـ . فاذا وصل ا ب ا و ا هـ > فهما يلقيان د هـ على نقطتين ولتكونا و و ا على الترتيب . فالشعاع الوارد من ب إلى مركز البصر ينعطف عند نقطة مثل ط على فصل الانعطاف د هـ تقع فيما بين د و و لكي يكون انعطافه من الوسط الأغظ في

الوسط الألف إلى ضد جهة العمود . فامتداد ا ط يلقى العمود ب د على نقطة تقع حتما فيما بين ب و د ولتكن ل ، فتكون هي خيال ب . وقد اتضح مما سبق أنه ليس لنقطة ب خيال غيرها .

وبالمثل الشعاع الوارد من > إلى مركز البصر ينعطف عند نقطة مثل ح تقع على الفصل د هـ فيما بين نقطتي هـ و ا وامتداد ا ح يلقى > هـ على نقطة ولتكن ك تكون هي خيال > . ولا يكون لنقطة > خيال غيرها .

والذي يلاحظ عن هذه الطريقة التي عرض بها ابن الهيثم الموضوع وعن الفروض التي فرضها والترتيب الذي أورد عليه عناصر البرهان ، أنه عاجل الموضوع بمثل الطريقة المتبعة الآن في معالجته ، ولا ينقصه إلا أن يفرض المبصر ب > صغيراً جداً حتى تكون نقطتا د و هـ قريبتين جداً من نقطة م وكذا نقطتا ط و ح فيكون ل ك خيالاً بالمعنى الصحيح للمبصر ب > .

والذي يلاحظ عن النتيجة التي يستنبطها ابن الهيثم من برهانه أنه يصوغها في ألفاظ تنم عن شيء غير قليل من الحيلة والحذر . فهو لا يقول صراحة

ما يفيد أن $ل ك$ خيال للمبصر $ب ح$ ، وإنما يقول « $وخط ل ك$ هو قطر خيال خط $ب ح$ فصورة خط $ب ح$ ترى على خط $ل ك$ » (١)

وليس من السهل استقصاء الغرض الذي يرمى إليه من مثل هذا القول . فهو يحتمل وجهين أحدهما أن نفسر المعنى على أساس قوله إن النقطة التي تبصر على سمت العمود الواقع منها على السطح تبصر بالاستقامة في موضعها الحقيقي (٢) . فيكون الغرض من الحذر والاحتياط أن يأتي قوله متفقاً والقول بأن نقطة $ن$ التي هي منتصف $ب ح$ تدرك في موضعها ، فيكون الخيال ماراً بنقطة $ن$ وإن كان منتهياً بنقطتي $ل و ك$ ، ويكون على هذه الصفة قوساً شديدة التقوس تقعها مما يلي السطح الفاصل بين الوسطين . والوجه الثاني أن نفسر المعنى على أساس أنه كلما بعدت النقطة المبصرة عن العمود الواقع من مركز البصر فإن نقطة اتقاء امتداد المنعطف إلى البصر بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح تكون أقرب إلى السطح . فإن عُدت وفقاً لقاعدته هذه النقطة موضع الخيال كان خيال النقطة الأبعد عن العمود البصري أقرب إلى السطح . فإن كانت $ب$ خيالها $ل$ فنقطة من $ب ح$ فيما بين $ب و ن$ خيالها أبعد قليلاً عن السطح من بعد $ل$ عنه ، وخیال نقطة $ن$ يكون أبعد خيالات نقاط المبصر عن السطح . فيكون الخيال قوساً أيضاً وتقعيرها مما يلي السطح ولكنها ليست شديدة التقوس كما يكون الأمر على الوجه الأول . ولا شك أن لهذا الأمر علاقة بغموض رأى ابن الهيثم بشأن خيال النقطة التي تبصر من سمت العمود الواقع منها على السطح ولا سبيل لنا للبث فيه برأى قاطع .

وابن الهيثم يستنبط من هذا البحث أن المبصر يدرك في هذه الحالة أعظم مما هو عليه في الواقع . فزاوية رؤية الخيال أي الزاوية التي يوترها $ل ك$ عند أعظم من الزاوية التي يوترها $ب ح$ وهي زاوية رؤية المبصر . ومن أجل هذا يدرك الخيال أعظم .

والذي يدعو إلى التقدير أن ابن الهيثم يتناول في هذا الصدد علة أخرى

(١) و (١١١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر فقرة (٢٠٧) من هذا الكتاب .

يعرض من أجلها الغلط لا تتناولها نحن بالذكر في بحوثنا الطبيعية في الوقت الحاضر. فالضوء النافذ من الوسط الموجود فيه المبصر يضعف كما يقول ابن الهيثم من أجل الانعطاف، فصورة المبصر التي يدركها البصر بالانعطاف «أضعف من صورته التي يدركها على استقامة وإذا ضعفت الصورة شبهها البصر بصورة المبصر الذي يرى من بعد أكبر». «فالانعطاف اذن يؤدي إلى ادراك البعد أعظم مما هو عليه في الواقع. فان كان البصر يُقدَّر بعد الخيال أعظم من حقيقته فان ذلك وحده يؤدي إلى إدراكه أعظم.

وإذن يدرك البصر المبصر في هذه الحالة أعظم مما هو عليه في الواقع لا من أجل عظم الزاوية فحسب بل من أجل الغلط في ادراك البعد أيضاً.

وابن الهيثم يمضي إلى استيفاء بحث هذه الحالة في موضع آخر من مقالته^(١)، ويتناول في بحثه بيان مانسميه الآن «تشوه الصورة». فاذا رمزنا لنقطة تقاطع $ا$ والمستقيم الواصل بين نقطتي $ل$ و $ك$ بالحرف $ع$ كانت نقطة $ع$ منتصف $ل ك$. وهو يحتاط هنا أيضاً في التعبير، وبدلاً من أن نجده يقول إن $ل ع$ خيال $ب ن$ نجده يقول «ونقطة $ن$ ترى على نقطة $ع$ خط $ب ن$ يرى على خط $ل ع$.» ويدرك إذن نصف المبصر وهو $ب ن$ أعظم من حقيقته.

كذلك إذا أخذت نقطة مثل $م$ على $ب ن$ وأخرجنا منها عموداً على السطح الفاصل بين الوسطين كان خيالها نقطة مثل $س$ واقعة على هذا العمود (طبقاً لقاعدته) وتكون نقطة $س$ «أما على خط $ل ع$ أو قريبة منه»، ونحن نعلم أنه إذا كانت نقطة $م$ قريبة جداً من $ن$ عد خيالها $س$ واقعاً فعلاً على $ل ع$.

وحيث أن ابن الهيثم يعد نقطة $س$ في حكم الواقعة على خط $ل ع$ يكون $ل س = ب م$.

وهو يمضي بعد ذلك لإثبات غرضه ببرهان القياس المنطقي. فهو يقدم بأن خيال $ب ح$ يرى بالانعطاف أعظم. وخيال النصف $ب ن$ يرى

(١) و (١١٥) و (١١٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

بالانعطاف أعظم أيضاً . وعلة العظم في الرؤية هي الانعطاف فكلما زاد الانعطاف زاد العظم المترتب عليه ، وانعطافات الأضواء الواردة من النقاط البعيدة عن العمود الواقع من مركز البصر على السطح ، أعظم من انعطافات الأضواء الواردة من النقاط القريبة . وإذن العلة التي توجب العظم في إدراك B بالانعطاف أعظم من العلة التي توجب العظم في إدراك A بالانعطاف . وإذن نسبة العظم في إدراك الجزء B من أعظم منها في إدراك الجزء A . تلك وجهة نظره . وتفكيره يؤدي حتماً إلى إقرار تشوّه الصورة التي يدركها البصر ، ولو أنه لا يذكر ذلك صراحة فنتيجة أقواله أن صورة المبصر $B >$ تدرك مكبرة ولكن نسبة التكبير لأجزائه الطرفية أعظم منها لأجزائه المتوسطة .

والغرض الذي يرمى إليه ابن الهيثم من بيانه أن البصر يدرك A من نصف المبصر أعظم ويدرك أيضاً الجزء B من منه أعظم ، أن يتضمن برهانه الأحوال التي لا يكون فيها مركز البصر على العمود الواقع من منتصف المبصر على السطح . فاذا ثبت أن المبصر B من يدركه البصر A مكبراً كان معنى هذا أن المستقيم المبصر إذا كان موازياً للسطح الفاصل بين الوسطين ، وكان مركز البصر واقعاً في المستوى المار به عموداً على السطح ، سواء كان على امتداد العمود الواقع من منتصف المستقيم المبصر على السطح ، أو لم يكن ، فإن البصر يدركه أعظم مما هو عليه في الواقع .

الحالة الثانية : المبصر غير مواز للسطح الفاصل بين الوسطين ^(١) ويتدرج ابن الهيثم من الحالة التي يكون فيها المبصر موازياً للسطح إلى الحالة التي لا يكون فيها المبصر موازياً للسطح . وهو يبدأ البرهان هنا أيضاً بفرض أن البصر على امتداد العمود الواقع على السطح من منتصف المستقيم المبصر . فليكن المبصر $B >$ (شكل ١٨٢) وليكن في وسط أغاظ ولتكن نقطة O ومنتصفه . ولنخرج من نقاط B و O و A الأعمدة B و O و A و M و

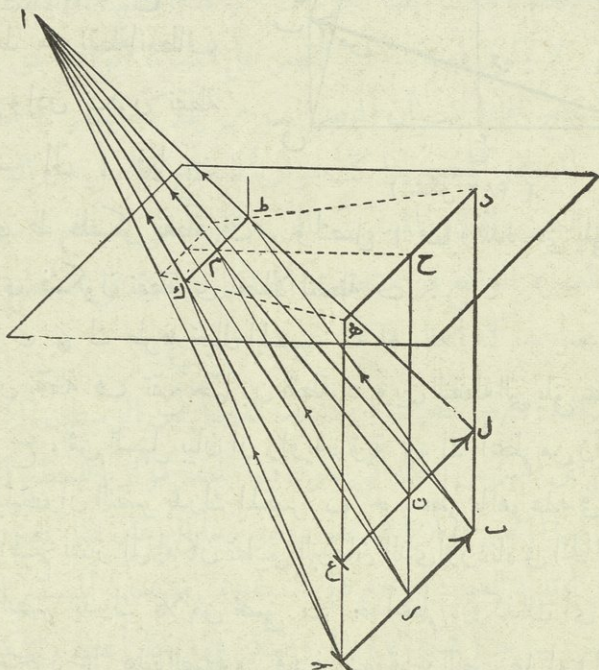
المستقيم ب - أو هو في حكم الموازي. والحقيقة أنهما غير متوازيين كما أشار إلى ذلك الفارسي وبينه في التقيح. ومن الواضح أن اعتبار ابن الهيثم المستقيمين في حكم المتوازيين لا يؤثر في برهان العظم في هذه الحالة.

٢١٢ - خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الثاني

نتناول في هذا القسم بيان بحوث ابن الهيثم عن خيال المبصر المستقيم إذا كان مركز البصر خارجاً عن المستوى المار بالمستقيم المبصر عموداً على السطح الفاصل بين الوسيطين . وابن الهيثم يراعى في هذا القسم من بحوثه أيضاً حالتين يفرض في الأولى منهما المستقيم المبصر موازياً للسطح . وينتقل منها إلى الحالة التي لا يكون فيها كذلك .

الحالة الأولى (١)

ليكن المبصر ب = (شكل ١٨٣) ولنخرج من طرفيه العمودين



(شکل ۱۸۳)

(١) و(١١٣) — و(١١٥) من مخطوط من المقالة السابعة من المناظر.

ب د ٦ هـ على السطح الفاصل بين الوسطين وليلقياه على د ٦ هـ فيكون
 ب هـ فرضاً موازياً د هـ . ولننصف ب هـ على م ولنخرج من
 م عموداً على السطح وليلق د هـ على ح . وابن الهيثم يبتدىء هذه الحالة
 بفرض أن مركز البصر إذا وصل بمنصف المستقيم المبصر كان الواصل
 عموداً على هذا المستقيم .

أى إذا فرضنا مركز البصر نقطة ١ فانه يفرض بادىء ذى بدء أن ١ م
 عمود على ب هـ . ولنفرض أن نقطة ب تنعطف من ط إلى ١ فنقطة
 ط تقع حتماً (وفقاً للحكم الثالث من أحكام السكيف التى أثبتها) فى مستوى
 د ب ١ . فإذا أخرج المنعطف ط ١ فانه يلقى ب د على نقطة ولتكن ل .
 كذلك فنقطة انعطف هـ إلى ١ واقعة فى مستوى هـ ح ١ ولتكن
 نقطة ك وليلق امتداد ١ ك المستقيم هـ على ع .

فيكون ل ٦ ع طرفى خيال المبصر ب هـ .

كذلك فان نقطة انعطف م إلى ١ تقع فى مستوى ح م ١ ، فإذا
 فرضناها نقطة م وأخرجنا ١ م فانه يلقى م ح على نقطة ولتكن ن
 تكون هى خيال م .

ولما كان ابن الهيثم يفرض أن ١ م عمود منصف للمستقيم ب هـ ، يكون
 وضع كل من نقطتي ب ٦ هـ ، بالنسبة إلى ١ واحداً ، وكذلك بعد كل منهما
 عن ١ . وهذا التماثل يقتضى أن يكون وضع كل من نقطتي ط ٦ ك وبعد
 كل منهما من ١ واحداً أيضاً ، وكذلك وضع كل من نقطتي ل ٦ ع وبعدها .
 ومن هذا يستنبط أن ب ل = ح ع .

وإذن ب هـ يوازي ل ع ويساويه .

وأيضاً فان الزاوية التى يحيط بها الشعاع ط ١ والعمود على السطح من
 نقطة ط زاوية حادة (لأنها زاوية الانكسار) وهى تساوى زاوية د ل ١ .

إذن زاوية ١ ل ب منفرجة .

وإذن ١ ب أعظم من ١ ل .

وبالمثل ١ هـ أعظم من ١ ع .

« ولنعد الصورة (أى الشكل السابق) وليكن ب ح غير مواز لخط د ه ، ونخرج ح ف موازياً ل د ه (أى لخط د ه) ، ونصل ا ف ولتكن نقطة ط هي النقطة التي تنعطف منها صورة نقطة ف إلى بصر ا . ولتنعطف صورة نقطة ب إلى بصر ا من نقطة ق . ونصل ا ق وننفذه إلى س . فتكون نقطة س أرفع من نقطة ل ، لأن نقطة ب من وراء خط (ا ف)^(١) ، فخط ا س من وراء خط ا ل ، فنقطة س أرفع من نقطة ل . ونصل س ع ، فيكون س ع قطر خيال ب ح ، ويكون س ع أعظم من ل ع ، ويكون ا س أصغر من ا ل ، وخطا ١ س ، ا ع في سطحين متقاطعين ، وهما سطح ا س ف ، ا ع ح . والفصل المشترك بين هذين السطحين يمر بنقطة ا (وهو العمود ا و الواقع من نقطة ا على السطح الفاصل بين الوسطين) ، والخطان الخارجان من نقطة ا القائم على الفصل المشترك بين هذين السطحين (أى العمودان ا ي و ا م الخارجان من نقطة ا أولهما في المستوى الأول والثاني في المستوى الثاني) أرفع من خطي ا س ، ا ع . فزاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح . وبعدا س ع ، ب ح عن بصر ا ، ليس بينهما اختلاف مؤثر . فخط س ع إما أن يكون موازياً لخط ب ح أو ليس بينه وبين الموازى اختلاف مؤثر في وضعه عند بصر ا .

فزاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح ، ووضع س ع عند بصر ا شبيه بوضع ب ح عند بصر ا ، وليس بين بعدى س ع ، ب ح عن بصر ا اختلاف مؤثر في العظم ، فخط س ع يرى أعظم من خط ب ح كما تبين فيما تقدم . و س ع هو خيال خط ب ح ، فخط ب ح يرى أعظم مما هو . وذلك ما أردنا أن نبيّن .

وهذا الذى أورده ابن الهيثم يتضمن أمرين متتاليين ، أولهما أن الزاوية

(١) في الأصل « ف » ، ولعله يقصد بقوله هنا « إن شيئاً من وراء شيء آخر » أن الأول يبدو للبصر أبعد من الثاني ، فكأن موضعه في الامتداد المكافئ بالنسبة إلى البصر على موضع الثاني .

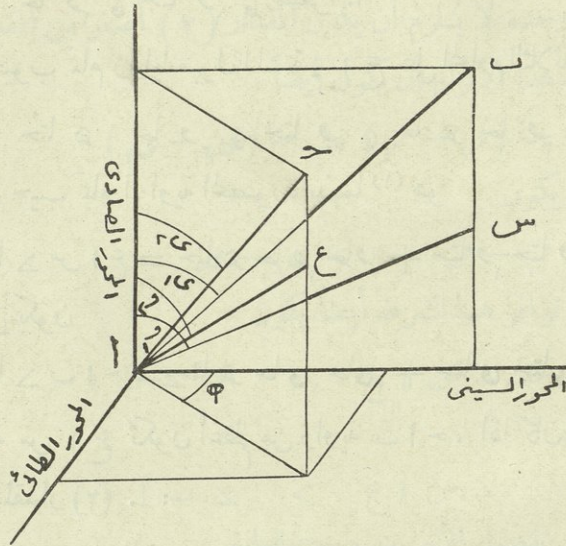
التي يوترها الخيال س ع عند البصر أعظم من الزاوية التي يوترها المبصر ب ح عند البصر ، والثاني فرض أن المبصر وخياله في حكم المتوازيين وأن بعدهما عن البصر في حكم المتساويين . وبما أن المبصر وخياله محدودان بالعمودين ب د و ه القائمين على السطح الفاصل بين الوسطين ، وهما أي المبصر وخياله في حكم المتوازيين فاذن هما أيضاً في حكم المتساويين .

وهذا البرهان قد اعترض عليه الفارسي في التنقيح . قال بلفظه « ليس هذا الاستلزام كلياً (أي استلزام أن زاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح) وذلك أنه إنما يكون عند توازي س ع ، ب ح . يكون س ع حينئذ مثل ب ح س ا أصغر من ب ا و ا أصغر من ا ح ا أصغر من ا ح ا . فاذا توهما أن نقطة ا من مثلثي س ا ع ، ب ا ح ثابتة ، وهما منعطفان بحيث ينطبق ا س على ا ب فاع (أي نخط ا ع) إما أن ينطبق على ا ح ، أو يقع داخلاً ، أو خارجاً . على الأولين (أي إن انطبق أو وقع داخلاً) يكون ب ح أعظم من س ع ، وهو محال . وعلى الثالث تكون زاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح . فان لم يكن س ع موازياً لب ح (أي للمستقيم ب ح) فلا يلزم ذلك مطرداً . »

ويبدو لنا من سياق برهان ابن الهيثم أنه لم يقصد أن يكون برهانه على أن زاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح مبنياً على اعتبار أن س ع و ب ح في حكم المتوازيين المتساويين . بل لعل ابن الهيثم رأى بصفة عامة أن المستويين المتقاطعين مثل ا ي ف و ا م ح و إذا قطعهما مستوى عمود عليهما يلقى الأول على ا ي ، ويلقى الثاني على ا م ، ثم قطعهما مستويان يمران بنقطة ا عن جنبتيه من المستوى العمود عليهما واحدهما يلقى الأول على ا س ويلقى الثاني على ا ع ، والآخر يلقى الأول على ا ب ويلقى الثاني على ا ح ، فانه إذا كانت زاوية ا ي س أصغر من زاوية

ي ١ ب ، أو زاوية س ١ و أكبر من زاوية ب ١ و ، وكانت زاوية م ١ ع أصغر من زاوية م ١ > ، أو زاوية ع ١ و أكبر من زاوية > ١ و ، فإن زاوية س ١ ع تكون أعظم من زاوية ب ١ > .
نقول يبدو لنا أن ابن الهيثم أراد هذا المعنى ولكنه هو أيضاً لا يتردد لزومه على تصارييف الأحوال .

ولسهولة توضيح هذا الأمر نتوهم ثلاثة محاور ديكارتيه متعامدة متلاقية في نقطة ، ولتكن على الترتيب السيني والصادي والطائي ولنرمز لنقطة الأصل بالحرف ١ (شكل ١٨٥) .



(شكل ١٨٥)

ولنتوهم في مستوى المحورين السيني والصادي مستقيماً ١ س يمر بنقطة الأصل وزاوية ميله على المحور الصادي حادة ولتكن ϕ ، ولنتوهم مستقيماً آخر ١ ع يمر بنقطة الأصل خارج مستوى المحورين السيني والصادي بحيث يصنع المستوى الذي يتعين بهذا المستقيم والمحور الصادي (ولنسمه المستوى المائل) ، زاوية قدرها θ مع مستوى المحورين السيني والصادي ، وزاوية ميل هذا المستقيم على المحور الصادي حادة ، ولتكن ψ . والفكرة الواردة في

$$٢ \text{ حتا } \Delta \text{ س } ١ \text{ ع} = (١ + \text{حتا ه}) (\text{حتا و} - \text{و م})$$

$$+ (١ - \text{حتا ه}) (\text{حتا و} + \text{و م}) \dots (٣)$$

$$\text{وبالمثل يكون } ٢ \text{ حتا } \Delta \text{ ب } ١ \text{ ح} =$$

$$= (١ + \text{حتا ه}) (\text{حتا ي} - \text{ي م})$$

$$+ (١ - \text{حتا ه}) (\text{حتا ي} + \text{ي م}) \dots (٤)$$

والذى يقتضيه أمر انعطاف الضوء من الأغظظ إلى الألفظ هو أن يكون

$$\text{و م} < \text{ي م} < \text{و م}$$

أى أن يكون

$$\text{حتا (و م} + \text{و م)} > \text{حتا (ي م} + \text{ي م)}$$

وهذا وحده لا يلزم أن يكون المقدار (٣) أصغر من المقدار (٤)،

ولإنما يتطلب هذا الالتزام أن يكون أيضاً

$$\text{حتا (و م} - \text{و م)} > \text{حتا (ي م} - \text{ي م)}$$

أى أن يكون

$$\text{و م} - \text{و م} < \text{ي م} - \text{ي م}$$

فاذا ما توافر هذا الشرط أيضاً يكون

$$\text{حتا } \Delta \text{ س } ١ \text{ ع} > \text{حتا } \Delta \text{ ب } ١ \text{ ح}$$

ويكون

$$\Delta \text{ س } ١ \text{ ع} < \Delta \text{ ب } ١ \text{ ح}$$

هذا هو تفصيل الأمر من وجهته العامة.

وأيضاً فنظراً لأن انعطاف الضوء من الأغظظ إلى الألفظ يقتضى أن يكون

$$\text{و م} < \text{ي م} < \text{و م}$$

فانه يلزم أن يكون

$$\text{حا و} < \text{حا ي} < \text{حا و}$$

$$\text{و حتا و} > \text{حتا ي} > \text{حتا و}$$

وبما أنه ينتج من (١) و (٢) أن

حنا > ب ١ > - حنا > س ١ ع
 = حناه (حاي حاي - حاو حاو) + (حتاي حاي - حتاو حتاو)
 = (حتاي حتاو - حتاو حتاو) + حناه (حاو حاو - حاو حاو)
 يتضح أنه في الأحوال التي تكون فيها قيمة ه بين القائمة وبين القائمتين حيث يكون

حناه مقدارا يقع بين الصفر وبين ١ ، يكون
 حنا > ب ١ > - حنا > س ١ ع = مقداراً موجباً .
 وإذن يكون

حنا > ب ١ > < حنا > س ١ ع ،
 أي تكون

> س ١ ع < حنا > ب ١ > .
 فإذا عدنا بعد هذا إلى شكل (١٨٤) يتبين مما تقدم أنه إذا كانت الزاوية بين المستويين ١ ي ف و ١ م ح و تقع بين القائمة وبين القائمتين فنظراً لأن خطي ١ س ١ ع كما يقول ابن الهيثم أرفع من خطي ١ ب ١ م ح فإن زاوية س ١ ع تكون كما يقول أعظم من زاوية ب ١ م ح .
 أما في الحالة العامة أي كانت قيمة الزاوية بين المستويين فلا يكفي كون خطي ١ س ١ ع أرفع من خطي ١ ب ١ م ح ، سبباً يوجب أن تكون زاوية س ١ ع أعظم من زاوية ب ١ م ح ، بل يتطلب الأمر أيضاً أن يكون
 د س ١ و - د ع ١ و أعظم من د ب ١ و - د ب ١ و .

٢١٣ - الاستدلال بالاعتبار على أنه المبصر الذي يدرك بالانعطاف من الماء إلى الهواء يدرك أعظم

رأى ابن الهيثم أن زيادة العظم عند إدراك المبصر بالانعطاف من الأغاظ في الألف قد تكون صغيرة تخفى عن الحس ، وقد يكون المبصر كله في الجسم الأغاظ فلا يتيسر للبصر المقابلة بين صورته التي تدرك بالانعطاف وبين صورته التي تدرك بالاستقامة إذا كان المبصر في الهواء ، لكي يقدر الحس على تمييز

التفاوت . فهو عقب بحوته التي يبين بها أن البصر يدرك المبصر بالانعطاف من الأغلاظ في الألفظ عند السطح المستوي وعند السطح الكرى المحذب الذي مركزه من وراء المبصر بالنسبة إلى البصر ، أعظم من حقيقته ، أورد (١) اعتباراً ينصب في الواقع على الانعطاف عند السطح المستوي ، نوره فيما يلي .

وهو يتلخص في أن يؤتى بجسم أبيض غليظ ، اسطوانى الشكل أو على شكل متوازى السطوح ، وتكون له قاعدة مستوية يمكن أن يرتكز عليها . ويغمر الجسم في وسط إناء متسع به ماء بحيث يرتكز قائماً على قاعدة الإناء ، ويكون بعضه في داخل الماء وبعضه خارجاً منه . فإذا تأمله المعتبر رأى الجزء المغمور منه في الماء أغلظ من الجزء الخارج .

ويجدر بنا أن نشير هنا إلى أن ابن الهيثم مهد إلى ذكر هذا الاعتبار بأقوال ذكر فيها أن سطح الماء كرى محدبه يلي البصر ومركز سطح الماء من وراء المبصرات التي يدركها البصر في داخله . فكأنه يُعزى زيادة العظم في هذا الاعتبار إلى الانعطاف عند السطح الكرى المحذب لا عند السطح المستوي . ولنا عودة إلى هذا الأمر فيما بعد .

البَابُ الثَّامِنُ

في

الانعطاف عند السطوح الكرية

وما يترتب على الانعطاف من الظواهر الجوية

الفصل الأول

في

الانعطاف عند السطوح الكرية بوجه عام

٢١٤ - مجل بحوث ابن الهيثم عن الانعطاف عند السطوح الكرية

يرى ابن الهيثم أن النقطة المبصرة التي تدرك بالانعطاف عند السطح المستوي أو عند السطح الكروي لا يكون لها إلا خيال واحد ولا يدركها البصر إلا نقطة واحدة . وقد تناولنا فيما سبق ما يتعلق من بحوثه بالانعطاف عند السطح المستوي ، وسنتناول هنا ما يتعلق منها بالانعطاف عند السطح الكروي . وابن الهيثم في بحوثه الواردة في كتاب المناظر حاول أن يبرهن على أن الانعطاف من النقطة المبصرة إلى النقطة الموجود فيها مركز البصر لا يكون إلا من نقطة واحدة . ولما كان التقاء امتداد المنعطف بالعمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح هو وفقاً لقاعدته موضع الخيال فإن ما يؤول إليه البرهان على أن نقطة الانعطاف واحدة ، هو أن الخيال واحد . فالمعاني الطبيعية التي يستخلصها ابن الهيثم من بحوثه قائمة على أساس القاعدة المذكورة في تعيين

موضع الخيال . وبما يلاحظ في هذا الصدد أن ابن الهيثم حاول الاستدلال على هذه القاعدة باعتباريات قد سبق بيانها اعتبار فيها بالانعطاف عند السطوح المستوية ، لكنه لم يعن على حسب ما يتبين من كتاب المناظر بالاستدلال عليها بمثل هذه الاعتباريات فيما يتعلق بالانعطاف عند السطوح الكرية . وقد تنبه الفارسي إلى هذا وحاول أن يتم في كتابه التنقيح هذا النقص بتجارب ذكرها من عنده .

وبحوث ابن الهيثم الواردة في كتاب المناظر عن الانعطاف عند السطوح الكرية يمكن تقسيمها قسمين أساسيين ، راعى ابن الهيثم في أحدهما انعطاف الضوء من الوسط الأغظ في الوسط الألف إذا كان تحذب السطح مما يلي مصدر الضوء ، وراعى في الثاني انعطافه من الأغظ في الألف أيضاً ولكن إذا كان تقع السطح مما يلي مصدر الضوء ، وهو يستعين بقاعدة قبول العكس في توسيع دائرة النتائج التي توصل إليها من بحوث القسمين . وبما تجدر الإشارة إليه هنا أن ابن الهيثم يسمي السطح الذي يحدث عنده الانعطاف بحسب هيئته بالنسبة إلى النقطة التي يرد إليها الضوء المنعطف ، لا بحسب هيئته بالنسبة إلى النقطة المضئية التي هي مصدر الضوء . ولعل ذلك من جراء انصراف عنايته في موضوعات الانعطاف أيضاً إلى الناحية الشخصية أكثر منه إلى الناحية الموضوعية . فالنقطة التي يرد إليها الضوء يتصورها دائماً مركزاً للبصر فإن كان تحذب السطح مما يليها عده محدباً ، وإن كان تقعره مما يليها عده مقعراً .

وابن الهيثم يقدم لبحوثه هذه بتمهيد هندسى يستعين به في براهينه . نوره أولاً فيما يلي .

٢١٥ - التمهيد الهندسى لبحوث الانعطاف عند السطوح الكرية

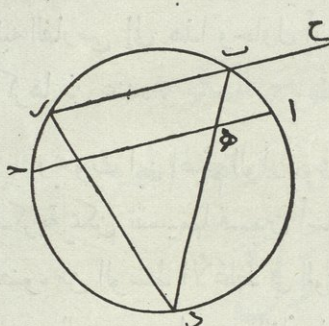
والتمهيد الهندسى يشمل مقدمتين .

المقدمة الأولى هي بلفظه :

« أن كل وترين يتقاطعان في دائرة فإن الزاوية التي عند تقاطعهما مساوية

للزاوية التي عند محيط الدائرة التي توترها القوسان اللذان يفصلهما ذانك
الوتران (١) . »

وابن الهيثم يورد لهذه المقدمة برهاناً يتناول جميع الأحوال المحتملة .
وليكن الوتران ١ ح و ٦ د (شكل ١٨٦) وليتقاطعا على هـ . فالمطلوب



(شكل ١٨٦)

إثباته (أولاً) أن زاوية ١ هـ ب ، أو المقابلة
لها بالرأس تساوى الزاوية المحيطية التي
توترها قوس مساوية لمجموع قوسى
١ ب و ٦ د .

ولاثبات ذلك يخرج ابن الهيثم من
نقطة ب المستقيم ح ب م موازياً
للوتر ١ ح .

فتكون $\angle ١ هـ ب = \angle ١ هـ ب م$ ،
وتساوى الزاوية المحيطية التي توترها قوس م د . وبما أن قوس
م ح تساوى قوس ١ ب ، فقوس م د هـ هى مجموع قوسى ١ ب و
٦ د . وهو المطلوب .

(ثانياً) ان زاوية ١ هـ د أو المقابلة لها بالرأس تساوى الزاوية المحيطية
التي توترها قوس مساوية لمجموع قوسى ١ د و ٦ ب .
ولاثبات ذلك يصل ابن الهيثم م د .

فزاوية ١ هـ د $= \angle ١ هـ د م = \angle ١ هـ د م + \angle ١ د م$.
٦ د ح م د هى المحيطية التي توترها قوس ب ١ د أى القوسان
ب ١ و ٦ د .

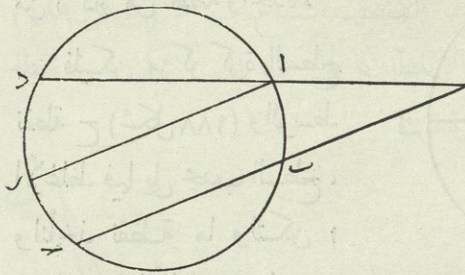
٦ د ب د م هى المحيطية التي توترها قوس ب م ،
أى قوس ب ح - قوس م ح .
وبما أن قوسى ب ١ و ٦ م ح متساويتان ثبت المطلوب .

وابن الهيثم يتناول أيضاً في هذا الصدد الحالة التى يكون فيها المستقيم الخارج من ب موازياً للوتر $ا$ ، مماساً للدائرة غير قاطع لها . ويورد برهاناً يتفق وهذه الحالة وهو سهل بسيط لا ضرورة لذكره .

والمقدمة الثانية هى بلفظه :

« كل خطين يقطعان دائرة ويتقاطعان خارج الدائرة فإن الزاوية التى عند تقاطعهما مساوية للزاوية التى عند محيط الدائرة التى توترها زيادة أعظم القوسين اللذين يفصلهما ذاك الخطان على الآخر ^(١) » .

وليكن الخطان $هـ ا د$ و $هـ ب$ (شكل ١٨٧) وليتقاطعا على $هـ$ فالمطلوب إثباته أن $د هـ > د ب$.



تساوى الزاوية المحيطية التى توترها قوس تساوى الفرق بين قوسى $د ب$ و $د ا$.

وابن الهيثم لاثبات هذا

يخرج من $ا$ المستقيم $ا م$

موازياً $هـ ب$ ، وليقطع محيط الدائرة على $م$.

والبرهان سهل . فزاوية $د هـ > د ا$ = $د ا م$ وهذه هى المحيطية

التي توترها قوس $د م$.

وبما أن قوس $ا ب$ = قوس $م ب$ ، فقوس $د م$ هى زيادة

الكبرى $د م$ على الصغرى $ا ب$ ^(٢) .

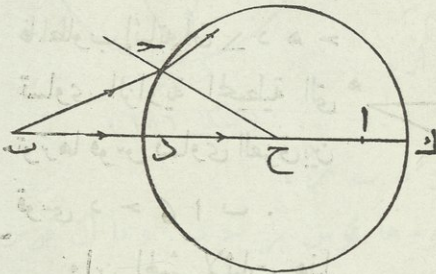
(١) و (٧٦) من المخطوط والوارد فى الأصل « التى يؤثرها زيادة أعظم من القوسين اللذين يفصلهما ذاك الخطان على الآخر » .

(٢) ورد البرهان على هاتين المقدمتين فى الورقات من و (٧٦) — و (٧٨) من المخطوط .

٢١٦ - الانعطاف من الأغظ الى الألف اذا كان تحرب السطح

مما يلي مصدر الضوء

يتناول ابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه ^(١) بيان كيفية انعطاف الأشعة الواردة من نقطة مضيئة في وسط مشف أغظ ، عند نفوذها إلى وسط مشف آخر ألف ، إذا كان السطح الفاصل بين الوسطين كريا حذبه تلى النقطة المضيئة . ويعنى ابن الهيثم في هذه البحوث ببيان هل من الممكن أن ينعطف الشعاع من النقطة المضيئة في الوسط الأول ، إلى نقطة ما في الوسط الثانى ، من أكثر من نقطة واحدة .



(شكل ١٨٨)

فليكن مركز كرة السطح نقطة ح (شكل ١٨٨) والوسط الأغظ فيما يلي محدب السطح ، ولتأخذ نقطة ما ولتكن ١ في الوسط الألف ، ولنخرج

القطر المار بهذه النقطة وليكن ك ح د ، ولتكن النقطة المضيئة نقطة مثل ب فى الأغظ . فنظراً لأن الشعاع الساقط والمنعطف والعمود على السطح من نقطة الانعطاف فى مستوى واحد فمستوى الانعطاف من ب إلى ١ هو المستوى المار بنقطة ب والقطر المخرج ، وهو يلقى السطح الفاصل بين الوسطين على محيط دائرة كالمبين بالشكل .

وشرح ابن الهيثم يشمل تفصيل الحالات المختلفة (أولاً) لنفرض أن نقطة ب المضيئة على امتداد القطر المخرج . فالضوء الوارد منها إلى ١ وهى نقطة على هذا القطر إنما يرد على استقامة هذا القطر دون أن يعانى انعطافاً ما . وبرهانه على ذلك أنه إذا فرض أن الضوء ينعطف من نقطة مثل ح فانعطافه إنما يكون إلى ضد جهة العمود فلا يمكن أن يمر

الشعاع المنعطف بنقطة تقع على القطر المذكور.

(ثانياً) لنفرض أن نقطة ب ليست على القطر الخارج. فنقطة ١ المفروضة على القطر إما أن تكون عند المركز ح أو فيما بين ح و د أو فيما بين ح و ك أو خارج حدود السطح الكروي فيما يلي ك من ح إذا كان الوسط الألف متصلًا ممتدًا في هذه الجهة دون أن ينفصل أو ينقطع بالسطح الكروي.

فإن كانت نقطة ١ عند المركز ح فالواصل من ب إلى ح يكون عموداً على السطح، فيرد الضوء من ب إلى ١ على استقامة هذا العمود ولا ينعطف. وإن كانت ١ فيما بين ح و د فلينعطف الشعاع ب > (شكل ١٨٩) من ح إلى ١. ولنفرض أن الانعطاف من ب إلى ١ ممكن من نقطة أخرى، فهي حتماً على محيط الدائرة.

ولتكن نقطة مثل م في

الوضع المبين (بشكل ١٨٩)

بين نقطتي ح و د، وهو الوضع

الذي تخيره ابن الهيثم فعلاً في

البرهان الوارد.

نخرج ب > حتى يلقى

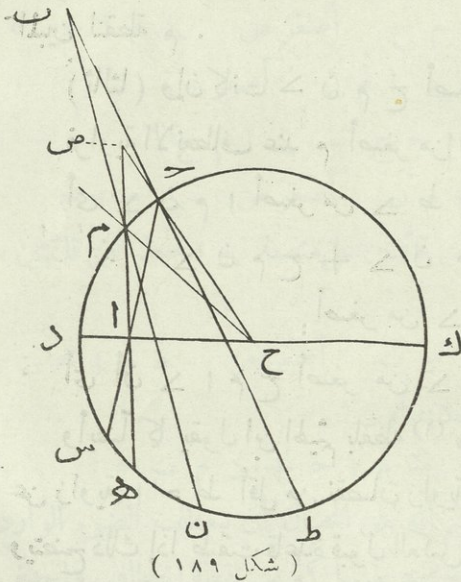
محيط الدائرة على ط > ١

حتى يلقاه على س، وكذلك

ب م > ١ حتى يلقاه على

ن > ه على الترتيب. فنظراً لأن

الانعطاف من الأغلف في



(شكل ١٨٩)

الألف فالمنعطف ينعطف حتماً إلى ضد جهة العمود، فالمستقيم ح ط يقسم

حما زاوية ح > س. وكذلك المستقيم م ن يقسم حما زاوية ح م ه.

وتكون د ط > ح هي المقابلة بالرأس لزاوية السقوط عند ح > و

د ط ح ا هي زاوية الانعطاف . وكذلك د ن م ح هي المقابلة بالرأس لزاوية السقوط عند م و د ن م ا هي زاوية الانعطاف . وابن الهيثم ينظر في زاويتي ن م ح و ط ح . فهما إما أن تكونا متساويتين أو أن تكون الأولى أعظم أو تكون الأولى أصغر . (أولا) فان كانتا متساويتين فزاويتا الانعطاف متساويتان .

$$\therefore \text{د ن م ا} = \text{د ط ح ا} .$$

$$\text{فتكون د ا م ب} = \text{د ا ب} .$$

وهذا خلف .

(ثانيا) وإن كانت د ن م ح أعظم من د ط ح ، فزاوية الانعطاف عند م أعظم من زاوية الانعطاف عند ح . فتممة الأولى من قائمتين أصغر من متممة الثانية من قائمتين . $\therefore$ د ا م ب أصغر من د ا ب . وهذا خلف أيضاً في الوضع الممين لنقطة م .

(ثالثا) وإن كانت د ن م ح أصغر من د ط ح ، فزاوية الانعطاف عند م أصغر من زاوية الانعطاف عند ح . أي د ن م ا أصغر من د ط ح ا . $\therefore$ د ن م ح + د ن م ا أصغر من د ط ح + د ط ح ا .

أي أن د ا م ح أصغر من د ا ب ح . وأيضاً كما يقول ابن الهيثم بلفظه ^(١) « ويكون نقصان زاوية ا م ن عن زاوية ا ح ط أقل من نقصان زاوية ا م ح عن زاوية ا ح ط » ويتضح ذلك إذا طبقت قاعدة قبول العكس مع الحكم الثاني من أحكام الكم في الانعطاف ^(٢) ، حيث يراعى الحكم الثاني حال الانعطاف من الألف إلى الأغظ .

(١) و (٨٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر أيضاً فقرة (٢٠١) من هذا الكتاب .

إذن $\Delta ١ > ح - \Delta ١ م ح$

أعظم من $\Delta ١ > ط - \Delta ١ م ن$.

فاذا رمزنا لنقطة التقاء $١ م ح$ بالحرف ص فزاوية ص في

المثلثين $م ص ح$ و $ص ١ ح$ مشتركة.

$\therefore \Delta ١ > ح - \Delta ١ م ح = \Delta ١ م ح - \Delta ١ م ح >$

ولكن $\Delta ١ م ح$ تساوى المحيطية التي توترها قوس $هـ$ بمجموع قوسى

$م ح$ و $ص ١ ح$.

$١ م ح >$ تساوى المحيطية التي توترها قوس تساوى ضعف قوس $م ح$

$\therefore \Delta ١ م ح - \Delta ١ م ح >$ تساوى المحيطية التي توترها

قوس $س هـ$ - قوس $م ح$.

وهى أصغر حتما من الزاوية التي توترها

قوس $س هـ$ + قوس $م ح$.

$\therefore \Delta ١ > ح - \Delta ١ م ح$ أصغر من $\Delta ١ م ح$.

ولكن $\Delta ١ > ط - \Delta ١ م ن$ أصغر من

$\Delta ١ > ح - \Delta ١ م ح$

$\therefore \Delta ١ > ط - \Delta ١ م ن$ أصغر من $\Delta ١ م ح$.

إذن زيادة متممة $\Delta ١ م ن$ من قائمتين على متممة $\Delta ١ > ط$ من قائمتين،

أصغر من $\Delta ١ م ح$

$\therefore \Delta ١ م ب - \Delta ١ ح ب$ أصغر من $\Delta ١ م ح$.

وهذا خلف لأن الفرق بينهما يساوى

$\Delta ١ م ب + \Delta ١ ح ب >$

هذه الكيفية يثبت ابن الهيثم أنه من المحال أن ينعطف الضوء الوارد

من $ب$ إلى نقطة ١ الواقعة بين $ح$ و $د$ من أكثر من نقطة انعطاف واحدة.

ولكنه أجمل في البرهان أمورا إذا هو كان قد فصلها لأغناه التفصيل عن

متابعة أحوال مواضع نقطة ١ المختلفة المذكورة فيما سبق، وفيما تناوله من

الأحوال الأخرى، وتكرار العناصر الأساسية في البرهان الهندسى المذكور

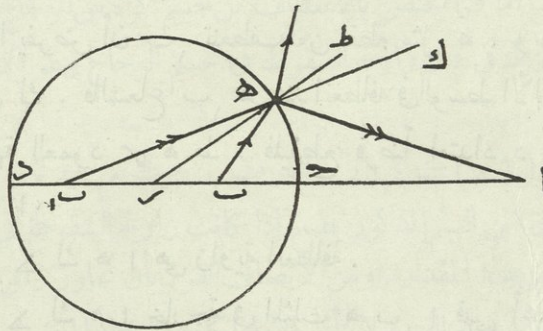
بعد البرهان الذي ذكرناه وهما الحالة التي تكون فيها نقطة $ا$ بين $ح$ و $ك$ ،
والحالة التي تكون فيها على امتداد $ح ك$.

٢١٧ - الانعطاف من الأغظ إلى الألف إذا كان تقع السطح مما

يلي مصدر الضوء

تناول ابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه بيان كيفية انعطاف الأشعة الواردة
من نقطة مضيئة في وسط مشف أغظ عند نفوذها إلى وسط مشف ألف
إذا كان السطح الفاصل بين الوسطين كروياً تقع على النقطة المضيئة. وهو في
هذا القسم من بحوثه أيضاً يرمي إلى إثبات أن الانعطاف لا يمكن أن يكون
من أكثر من نقطة واحدة.

فليكن مركز كرة السطح نقطة $مر$ (شكل ١٩١) والوسط الألف مما



(شكل ١٩١)

يلي محدب السطح. ولتأخذ نقطة ما ولتكن $ا$ في الوسط الألف، ولنخرج
القطر المار بهذه النقطة، وليلق السطح الكروي على النقطتين $ح$ و $د$ ، ولتكن
نقطة $ب$ النقطة المضيئة في الوسط الأغظ. فكما تبين في الحالة السابقة يكون
المستوى الذي يشمل القطر المخرج ونقطة $ب$ أيًا كان موضعها هو مستوى
الانعطاف وهو يلقى كرة السطح على دائرة ولتكن هي المبينة بالشكل.
وابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه أيضاً يفصل الحالات المختلفة بحسب
مواضع نقطة $ب$.

فاذا فرضنا (أولاً) أن النقطة المضيئة $ب$ (شكل ١٩١) على القطر المخرج.

فهي قد تكون عند المركز $مر$ ، وفي هذه الحالة كل شعاع يخرج منها إلى سطح الكرة ينفذ على استقامته من غير انعطاف .

وقد تكون فيما بين $مر$ و $هـ$ وفي هذه الحالة من المحال أن ينعطف الضوء الوارد من $ب$ إلى $ا$ من أية نقطة من محيط الدائرة بل ينفذ من $ب$ إلى $ا$ على استقامة $ب ا$.

ولاثبات هذا يفرض ابن الهيثم أن $ب$ تنعطف من نقطة مثل $هـ$ ويصل $مر هـ$ ويخرجه إلى $ط$. فالشعاع $ب هـ$ عند انعطافه في الوسط الألف ينعطف إلى ضد جهة العمود $مر هـ ط$ فلا يصل إلى نقطة $ا$.

وأيضاً قد تكون النقطة المضئية فيما بين $مر$ و $د$ ، ولتكن النقطة في هذه الحالة $ب$. فمن المحال أيضاً أن ينعطف الضوء الوارد منها من أية نقطة من محيط الدائرة بل ينفذ من $ب$ إلى $ا$ على استقامة . ولاثبات هذا يفرض أن $ب$ تنعطف من نقطة مثل $هـ$ ، ويصل $ب هـ$ ويخرجه إلى $ك$. فالشعاع $ب هـ$ عند انعطافه في الوسط الألف ينعطف إلى ضد جهة العمود $مر هـ ط$. فليقطع فرضاً امتداد $د هـ$ من جهة $هـ$ على نقطة $ا$ ،

فتكون $د ك هـ ا$ هي زاوية انعطافه .

ولكن $د ك هـ ا$ خارجة في المثلث $هـ ب ا$ فهي أعظم من $د هـ ب مر$. وبما أن $ب$ تقع بين $مر$ و $د$ فرضاً ، فإن $مر ب$ أصغر من $مر هـ$ ، وإذن في المثلث $هـ ب ا$ $مر$ تكون

$د هـ ب مر$ أعظم من $د ب هـ مر$.

فتكون $د ك هـ ا$ أعظم من $د ب هـ مر$.

أي إن زاوية الانعطاف في الوسط الألف أعظم من زاوية السقوط في الوسط الأغلاظ . أو بتعبير آخر تكون زاوية الانكسار في الألف وهي زاوية $ط هـ ا$ أعظم من ضعف زاوية السقوط في الأغلاظ وهي $مر هـ ب$. وابن الهيثم يعتبر هذه النتيجة خلفاً وذلك وفقاً لحكمه السادس من أحكام الكم في الانعطاف . وهو يقول بلفظه « فتكون زاوية $ك هـ ا$ هي زاوية

الانعطاف وزاوية ك ه ط هي الزاوية التي يحيط بها الخط الذي عليه امتدت الصورة والعمود الخارج من موضع الانعطاف، فزاوية ك ه ١ أصغر من زاوية ك ه ط « (١).

وإذن يكون من المحال أن تنعطف نقطة ب من أية نقطة من محيط الدائرة إلى نقطة ١ .

ويلاحظ في هذا، أن برهان ابن الهيثم وقد انبنى على الحكم السادس قد بطلت عنه صفة البرهان العام . فهو لا ينطبق إلا في الأحوال التي يصح فيها ذلك الحكم .

فإن راعينا الأجسام التي غنى ابن الهيثم بالاعتبار بها وجدنا البرهان يصح فيما يختص بالانعطاف من جسم كرة من الماء إلى الهواء ، ومن جسم كرة من الزجاج إلى الماء وذلك بلا قيد ولا شرط يتعلقان بقدر زاوية السقوط في الوسط الغليظ . أما فيما يختص بالانعطاف من جسم كرة من الزجاج إلى الهواء فثمة شرط يشترط في قدر زاوية السقوط في جسم الزجاج وهو ألا يتجاوز قدرها المقدار

جنا^١ (١ م) = ٤١,٤° بالتقريب ، حيث م = ٣ .
فكأن برهان ابن الهيثم المذكور يصح إذا كانت زاوية السقوط في جسم كرة الزجاج أصغر من هذا المقدار . ومن الانصاف القول بأن تجاوز زاوية السقوط في كرة من الزجاج هذه القيمة لا يتأتى إلا إذا كانت النقطة المبصرة ب قريبة جدا من نقطة د ، وتكون نقطة ه في هذه الحالة قريبة من نقطة التقاء العمود المقام من المركز على القطر ح د بمحيط الدائرة ، وتكون زاوية الانكسار في هذه الحالة قريبة جداً من القائمة فيكاد يكون الشعاع المنعطف في الهواء موازياً للقطر د ح ، وهو وإن لقيه فانما يلقاه من جهة ١ على نقطة بعيدة جداً من القطب ح (٢) .

(١) و (٨٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .
(٢) إذا فرضنا أن نقطة ب عند د وكانت زاوية السقوط ٤١,٤° فزاوية الانكسار في هذه الحالة ضعف هذه القيمة ومن السهل إثبات أن المنعطف في الهواء يكون موازياً للقطر د ح فلا يلقاه . ومن المعلوم أن الزاوية الحرجة في الزجاج ٤١,٨° بالتقريب وإذا بلغت زاوية السقوط في الزجاج هذه القيمة خرج المنعطف في الهواء على المماس واحاط مع القطر بزاوية قدرها ٦,٤° بالتقريب ولا يخفى أن الحالة الحرجة نفسها لا يعتد بها عملياً . إذن التغير =

نخرج $مره$ إلى $ط$ $مره$ إلى $ل$ $مره$ إلى $ن$.
فن الواضح أن $د$ $مره$ $مره$ $مره$ زاوية سقوط $د$ $ح$ $ه$ $ا$ هي
زاوية الانعطاف التي تقتضيها $د$ $ب$ $مره$ $مره$ تكون هي أيضا زاوية
سقوط $د$ $ن$ $مره$ $ا$ زاوية الانعطاف التي تقتضيها .

$$د ب ه مره = د ح ه ط ،$$

$$د ب م مره = د ن م ل .$$

فابن الهيثم ينظر في زاويتي $ح$ $ه$ $ط$ $د$ $ن$ $م$ $ل$ فهما أما أن تكونا
متساويتين أو تكون الأولى أصغر من الثانية أو تكون الأولى أعظم من الثانية .
فعلى الوجه الأول تكون زاويتا السقوط $ب$ $مره$ $مره$ $د$ $ب$ $مره$ $مره$
متساويتين وإذن تكون زاويتا الانعطاف متساويتين .

وإذن تكون $د$ $ا$ $ه$ $ب$ = $د$ $ا$ $م$ $ب$. وهذا خلف .

وعلى الوجه الثاني تكون زاوية السقوط عند $ه$ أصغر منها عند $م$ فتكون
زاوية الانعطاف $ح$ $ه$ $ا$ أصغر من زاوية الانعطاف $ن$ $م$ $ا$.

فتكون $د$ $ا$ $ه$ $ب$ أعظم من $د$ $ا$ $م$ $ب$. وهذا خلف أيضاً .
فلم يبق إلا الوجه الثالث وهو أن تكون $د$ $ح$ $ه$ $ط$ أعظم من
 $د$ $ن$ $م$ $ل$. ولتخرج $ه$ $ب$ حتى يلقي محيط الدائرة على $ف$ $د$ $ب$
حتى يلقاه على $ع$.

ولنرمز لتقاطع $م$ $ب$ $مره$ $ه$ بالحرف $س$.

ففي المثلثين $م$ $س$ $مره$ $ه$ $ب$ زاوية $س$ في الأول تساوى زاوية $س$
في الثاني (١) ،

$د$ $س$ $ه$ $ب$ في الثاني أعظم من $د$ $س$ $م$ $مره$ في الأول ،
وذلك لأن $د$ $ح$ $ه$ $ط$ أعظم من $د$ $ن$ $م$ $ل$ فرضاً .
∴ $د$ $م$ $مره$ $ه$ أعظم من $د$ $م$ $ب$ $ه$.

(١) جعل ابن الهيثم في هذا الشكل نقطة $م$ فيما بين $ه$ ، $د$ في حين أنه في الشكل النظير
لهذا في الحالة التي راعى فيها أن يكون تقعر السطح مما يلي نقطة $ا$ جعل نقطة $م$ فيما
يلي $ه$ من $د$.

وبما أن $\angle م ر ه ب + \angle م ب ه = \angle م ر ه + \angle م ب ه = \angle م ر ه + \angle م ب ه$
 $\therefore \angle م ر ه ب - \angle م ر م ب = \angle م ر م ب - \angle م ر ه ب$
 ولكن $\angle م ب ه$ تساوى الزاوية المحيطية التى توترها قوسا م ه ع ف
 $\angle م ر م ب ه$ تساوى الزاوية المحيطية التى توترها ضعف قوس م ه
 $\therefore \angle م ر م ب ه - \angle م ب ه = \angle م ب ه$ تساوى الزاوية المحيطية التى توترها
 قوس تساوى $2 م ه - (م ه + ع ف) = م ه - ع ف$
 ومنه ينتج أن

$\angle م ر م ب ه - \angle م ب ه$ أصغر حتما من $\angle م ب ه$
 $\therefore \angle م ر م ب ه - \angle م ر م ب$ أصغر من $\angle م ب ه$
 أى أن زيادة زاوية السقوط عند ه على زاوية السقوط عند م أصغر
 من زاوية م ب ه

وزيادة زاوية الانعطاف التى تقتضيها زاوية السقوط الأولى على زاوية
 الانعطاف التى تقتضيها زاوية السقوط الثانية هى وفقاً للحكم الثانى أقل من
 زيادة زاوية السقوط الأولى على زاوية السقوط الثانية .

إذن تكون $\angle ح ه ا - \angle ن م ا$ أصغر من $\angle م ب ه$
 وإذن $\angle ا م ب - \angle ا ه ب$ أصغر من $\angle م ب ه$
 وهذا خلف لأن

$\angle ا م ب - \angle ا ه ب = \angle م ب ه + \angle م ا ه$
 وبما أن ابن الهيثم يبنى البرهان على أساس حكمه الثانى من أحكام الكم
 فمما اتضح فى فقرة (١٩٨) وبما أن الانعطاف مفروض أنه من الوسط الأغلظ
 فى الوسط الألف يتبين أن الخلف المذكور لا يقع إلا إذا كانت زاوية
 السقوط فى الوسط الأغلظ أقل من

$$\frac{1}{4} \sqrt{1 - 4m^2}$$

أو إن أردنا التعميم فان برهان ابن الهيثم لا ينطبق إلا إذا كانت زاوية
 السقوط صغيرة نسبياً .

٣١٨ - الانعطاف من الألف إلى الأغظ عند السطوح الكرية

وابن الهيثم يستنبط من نتيجة بحثه السابقين ما يحدث إذا كان الانعطاف من الوسط الألف في الوسط الأغظ . فإذا فرض أن انعطاف الضوء الوارد من ب في الأغظ إلى ١ في الألف لا يكون إلا من نقطة واحدة فقاعدة قبول العكس تلزم أن يكون انعطاف الضوء الوارد من ١ في الألف إلى ب في الأغظ لا يكون إلا من نقطة واحدة أيضاً ، وإلا إذا جاز أن يكون من نقطة أخرى فوقاً لقاعدة قبول العكس جاز أن يكون انعطافه من ب في الأغظ إلى ١ في الألف ممكناً أيضاً من هذه النقطة الأخرى (١) .

ويتبين مما سبق أن برهان ابن الهيثم على عدم إمكان انعطاف الضوء الوارد من ب في الأغظ إلى ١ في الألف في الحالة التي يكون فيها تحدب السطح مما يلي مصدر الضوء أي يكون الضوء فيها ساقطاً على السطح المحدب لا يتضمن من أحكام ابن الهيثم في الانعطاف شيئاً مما لم يسلم ابن الهيثم من الخطأ فيه . أما برهانه على عدم إمكان انعطاف الضوء الوارد من ب في الأغظ إلى ١ في الألف إذا كان الضوء ساقطاً على السطح المقعر فليس الأمر فيه كذلك . وخطأه فيه يترتب عليه خطأ في الحكم الذي ينبنى عليه .

ومما يلاحظ في هذا الصدد أنه يمكن بمثل برهان الخلف الذي أورده ابن الهيثم إثبات أن الضوء الوارد من نقطة في وسط ألف إلى نقطة في وسط أغظ إذا كان سقوطه على السطح الكرى المقعر لا ينعطف من أكثر من نقطة واحدة . فهذه القضية التي يمكن أيضاً أن يتوصل إليها بتطبيق قاعدة قبول العكس على نتيجة بحثه عن الانعطاف من الأغظ في الألف إذا كان تحدب السطح إلى مصدر الضوء ، أي على نتيجة بحثه في الحالة التي سلم فيها البرهان من الخطأ ، يمكن إثباتها ببرهان الخلف الذي أورده . في حين أنه إذا طبق البرهان نفسه على الانعطاف من الألف في الأغظ إذا كان سقوط الضوء

(١) و (٨٣) ، و (٨٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر ، وأيضاً و (٩١) .

على السطح الكرى المحذب فانه لا يلزم وقوع الخلف .
ومن المرجح جداً أن ابن الهيثم نفسه قد أدرك أن في الأمر التباساً . فقد
عودنا في بحوثه على أن نجده يطبق البرهان الذي يورده في أمر ما على جميع
الأحوال الممكنة ، ولكنه في هذا الصدد طبق البرهان الذي أوردناه على
الانعطاف من الأغظ في الألف في واجتنبه في حالة الانعطاف من الألف
في الأغظ مستعينا بقاعدة قبول العكس .

وقد تناول ابن الهيثم في كتاب المناظر نفسه بحثاً عن الانعطاف من
الأغظ في الألف في حالة يكون فيها الضوء ساقطاً على السطح الكرى المقعر ،
خرج منه نتيجة تتعارض وقوله باستحالة الانعطاف من أكثر من نقطة
واحدة (١) . وهو في بحثه هذا اعتبر الوسط الأغظ متصلاً من الجهة المقابلة للسطح
الذي يسقط عليه ضوء النقطة المضيئة ، بحيث يتسنى أن يكون بعدها عن قطب
القطعة التي يحدث عندها الانعطاف أعظم من قطر الكرة ، فلعله أراد أن يكون
حكمه باستحالة الانعطاف من الأغظ إلى الألف عند السطح الكرى المقعر
من أكثر من نقطة واحدة ، منصّباً على الحالة التي تكون فيها النقطة المضيئة
في داخل كرة من الوسط الأغظ ، ولكن هذا أيضاً لا يستقيم على تصاريح
الأحوال .

وكذلك فإن مقالته في الكرة المحرقة تتضمن بحثاً عن انعطاف الأشعة
الموازية عند نفوذها في كرة من الزجاج تشير هي أيضاً إلى ما ينقض الحكم
المذكور . ولكننا لم نجد له فيما وقع بين أيدينا عودة إلى بحث هذا الموضوع
على ضوء بحوثه التالية بحثاً يصحح فيها موقفه السابق . (٢)

(١) أنظر فقرة (٢٢٠) من هذا الكتاب .
(٢) لا يخفى أن البحوث العلمية متمسكة متشابكة كثيراً ما يؤدي التالى منها إلى إعادة
النظر في أمور قد سبق بحثها والبت فيها برأى . وإن كنا لا نجد لابن الهيثم عودة إلى
بحث هذا الموضوع فليس ذلك يدل على أنه لم يعد إلى بحثه ، خصوصاً إذا تذكرنا الظروف التي
كان يعمل فيها هو وأمثاله في العصور السابقة من حيث مشقة النسخ وضيق الدائرة التي كانت
تنتشر فيها كتبهم ومخطوطاتهم ثم ضياع كثير منها من بعد ذلك . وقد سبق أن أشرنا إلى مؤلف
له في المناظر سابق لكتابه حذر القارىء من الاعتماد عليه وأيضاً إلى كتب أخرى له تناول
فيها موضوعات من هذا العلم .

٢١٩ - المعاني التي يستنبطها ابن الهيثم من بحوثه المذكورة ووجه

الخطأ فيها

وابن الهيثم يستنبط من بحوثه المذكورة نتائج مختلفة . فاذا ثبت أن نقطة الانعطاف عند نفوذ الضوء الوارد من نقطة ب في وسط إلى نقطة ١ في وسط يختلف شفيفه عن شفيف الأول ، نقطة واحدة ، فليس ينعطف من النقطة المصرة في وسط مشف إلى مركز البصر في وسط مشف آخر إلا شعاع واحد فلا يدرك البصر للنقطة المصرة إلا خيالا واحداً . وهذه النتيجة بحسب ما يتبين مما سبق وبحسب ما سيتبين أيضاً فيما بعد ليست صحيحة على الإطلاق . ومصدر الخطأ فيها أن برهان ابن الهيثم على أن الضوء الوارد من النقطة المصرة في الوسط الأغظ إلى نقطة في الوسط الألف إذا كان تقع السطح الكرى مما يلي مصدر الضوء ينعطف من نقطة واحدة ، ليس برهاناً سليماً لخطأ حكم الانعطاف الذي انبنى عليه البرهان . وابن الهيثم يذكر النتيجة التي يستنبطها من برهانه المذكور قائلاً بلفظه « فليس تنعطف صورة نقطة ب إلى بصر ١ من نقطة غير نقطة هـ (انظر شكل ١٩٢) وذلك ما أردنا أن نبيِّن . وإذا كانت صورة نقطة ب ليس تنعطف إلى بصر ١ إلا من نقطة واحدة فليس يكون لها إلا خيال واحد » (١)

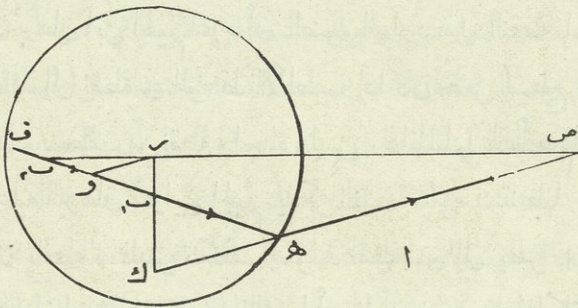
وقد علق الفارسي في كتابه التنقيح على هذا القول وقال « العيان يخالف هذه الدعوى » وبين بالاعتبار كيف يمكن رؤية خيالين لمبصر موجود في كرة من الزجاج . (٢)

(١) و (٨٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) الجزء الثاني من النسخة المطبوعة ص (١٧٢) . ويتلخص اعتبار الفارسي في أن يؤتى بقطعة صغيرة من الورق الأبيض ويرسم على سطحها نقطة مقتدرة الحجم بلون مشرق ، ثم تلصق الورقة بكرة من الزجاج . فاذا نظر إلى النقطة « من وسط القطعة المقابلة » حيث يكون البصر على امتداد الواصل من النقطة إلى مركز الكرة أدرك البصر تلك النقطة . ثم يقول « فاذا أدركها حرك (أى المتغير) الكرة يمنة أو يسرة أو علواً أو سفلاً برفق فيرى النقطة متحركة بحسب ذلك إلى طرف القطعة . فاذا قاربت الطرف ظهرت من نهاية الطرف صورة لتلك النقطة ثانية . وبحسب تلك الحركة تتباعد عن الطرف إلى الأولى فيتقاربان إلى أن يلتقيا ثم =

وأيضاً ابن الهيثم يرى أن نقطة التقاء الشعاع المنعطف بالعمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح هي موضع الخيال . وخطاً تعميم هذا الرأي دون قيد أو شرط يحجره إلى اخطاء أخرى . فهو يراعى المواضع المختلفة التي يلقى فيها المنعطف إلى البصر العمود الخارج من النقطة المبصرة قائماً على السطح ، وينسب إلى اختلاف هذه المواضع بالنسبة إلى مركز البصر معاني طبيعية شبيهة بالمعاني الطبيعية النظيرة لها في الانعكاس عن السطوح المنحنية .

وليبيان هذا^(١) نفرض أن الشعاع ف هـ (شكل ١٩٣) ينعطف من هـ إلى ١ ، وليكن ١ مركز البصر ٢ مركز الكرة .



(شكل ١٩٣)

ولنخرج من المركز م المستقيم م و موازياً ١ هـ وليلق ف هـ على و . فإن كانت النقطة المبصرة ب ، فيما بين هـ و فإن امتداد ١ هـ يلقى الواصل منها إلى المركز (وهو العمود على السطح) على نقطة ك قدام مركز البصر . وهذه النقطة بحسب رأى ابن الهيثم هي خيال النقطة المبصرة . ويرى ابن الهيثم أن البصر يدرك النقطة المبصرة في هذه الحالة ادراكاً بديناً محققاً لأن الخيال أمام البصر .

أما إذا كانت النقطة المبصرة عند و فالمنعطف لا يلقى العمود م و

ينمحقا . وكذلك لو فصل من الكرة قطعة صغيرة جداً بسطح مستو ثم ألصقت الجزاة (أى قطعة الورق) بقاعدة القطعة العظيمة وتجعل النقطة المرسومة قريبة جداً من طرف قاعدة القطعة فإنه يجب الأمر كذلك . والأيّن في الاعتبار أن ترسم النقطة على نفس الكرة والقاعدة .

لأنهما متوازيان. ويفسر ابن الهيثم هذا بأن الخيال لا يكون محدوداً، ويذهب إلى أن البصر يدركه عند موضع الانعطاف.

أما إذا كانت النقطة المبصرة مثل ب بحيث يلقى امتداد ب من امتداد هـ أ على نقطة مثل ص تكون من وراء نقطة أ فابن الهيثم يذهب إلى مثل مذهبه في الانعكاس ويرى أن البصر يدرك المبصر قدامه ولكن الإدراك يكون مشتتاً غير يبين ولا محقق.

إلا أن هذه المعاني كمنظائرها في الانعكاس ليست صحيحة أو هي لا تتفق والواقع من الناحية الطبيعية. والسبب في الحالتين واحد. فابن الهيثم يعتبر موضع الخيال على العمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح عند نقطة التقاء المنعكس إلى البصر أو المنعطف إليه بالعمود المذكور. وليس هذا صحيحاً إلا في الانعكاس عند السطوح المستوية. أما في الانعكاس عن غيرها من السطوح أو في الانعطاف، سواء عند السطوح المستوية أو غير المستوية فلا يصح إلا إذا كانت نقاط السقوط قريبة جداً من مسقط العمود الخارج من مركز البصر قائماً على السطح، وقد سبق بيان ذلك بما فيه الكفاية.

ومما يجدر ذكره في هذا المقام الإشارة إلى خطأ آخر وقع فيه ابن الهيثم في تعيين موضع خيال النقطة إذا كانت النقطة المبصرة على القطر المار بمركز البصر، حيث يرد منها إلى مركز البصر ضوء على امتداد القطر، ينفذ من أحد الواسطين إلى الآخر دون أن يعاني انعطافاً ما. فابن الهيثم لا يكتفي بأن يكون عدم الانعطاف معناه أن البصر يدرك النقطة على سمت هذا القطر، بل يذهب في تأويله إلى أن البصر يدرك النقطة في موضعها الحقيقي على ما هو عليه في الواقع، في حين أنها لا تدرك كذلك إلا إذا كانت عند مركز تكور السطح. وقد أشرنا إلى غموض رأيه في مثل هذا الأمر من قبل.

٢٢٠ - اصلاوح ابن الرزجيم بعصره أخطائه وإسارته في المناظر الى

ظاهرة الزيغ الكرى

راعى ابن الهيثم بوجه عام في بحوثه التى بينهاها فيما سبق عن انعطاف الضوء من الوسط الأغظ في الوسط الألفظ إذا كان تقعر السطح مما يلى النقطة المضئية ، أن تكون النقطة التى هى مصدر الضوء داخل كرة السطح يحيط بها سطح الكرة من جميع الجهات بحيث إذا أخرج مستوى الانعطاف ولقى السطح الكرى على محيط دائرة كانت النقطة المضئية داخل محيط هذه الدائرة التى هى فصل الانعطاف .

ولكنه يتناول بعد تلك البحوث في كتابه المناظر بحثاً لم يتقيد فيه بهذا الأمر^(١) . بل فرض الوسط الأغظ الموجود فيه النقطة المضئية متصلاً ممتداً من الجهة المقابلة للقطعة التى يقع عليها ضوء النقطة بحيث يمكن أن يبلغ بعد النقطة المضئية عن القطعة التى يقع عليها ضوءها أى قدر شتاً من العظم . وهو في هذا البحث يكاد يصلح إصلاحاً جزئياً بعض الخطأ الذى وقع فيه ، فيما يتعلق بقوله بعدم إمكان الانعطاف من أكثر من نقطة . وما يزيد في قيمة هذا البحث الطريقة التى سلكها ابن الهيثم في عرض الموضوع . فقد درس الموضوع في حدود أحكام الانعطاف التى ذكرها ، وهى في مجموعها لم تسلم من الأخطاء ، وهى في مجموعها أيضاً ضيقة مقيّدة للبحث ، ولكنه استطاع أن يضمّن أقواله معانى جديرة بالذكر وكاد يلبس فيها ظاهرة عظيمة الخطورة هى ظاهرة الزيغ في الانعطاف عند السطوح الكرية .

وابن الهيثم وإن كان حقاً يعرض هذه الظاهرة في كتابه المناظر على صورة مبتورة يعوزها الايضاح ، فقد توسع كما سنبين فيما بعد في دراسة ناحية منها توسعاً جديراً بالتقدير والاعجاب .

فلنفرض جسماً مشقاً أحد جوانبه سطح كرى محدب مركزه نقطة من

الابهام مع قليل من الامعان . فهو في حكمه الثالث من أحكام الكم يقرر أن نسبة زاوية الانعطاف إلى زاوية السقوط تزداد كلما كبرت زاوية السقوط . وإذن وفقاً لهذا الحكم فإن نسبة زاوية السقوط إلى زاوية الانعطاف تزداد كلما صغرت زاوية السقوط . فهي أعظم ما يمكن إذا كادت زاوية السقوط أن تؤول إلى العدم . ولكن كيف السبيل إلى تعيين أعظم قيمة تبلغها هذه النسبة والحس لا يدرك الانعطاف ولا يستطيع قياسه عملياً بواسطة جهاز الانعطاف إذا بلغت زاوية السقوط من الصغر حداً كبيراً ؟ ابن الهيثم نفسه يشير إلى السبيل . فلنرى كيف يمكن تعيين هذه النسبة يجب أن يكون الاعتبار بزوايا سقوط ولو أنها صغيرة إلا أنها لا تبلغ من الصغر حداً يخفى الانعطاف نفسه عن الحس .

ويقول « ونجعل زاوية د س ط مثل زاوية ط ه ك . فتكون زاوية س ك ه ضعف زاوية ك ه ط فتكون نسبة زاوية س ه ك إلى زاوية س ك ه هي أعظم نسبة تكون بين الزاوية التي يحيط بها الخط الأول (أى الشعاع الساقط) والعمود وبين زاوية الانعطاف . وخط (ه ك)^(١) يلقى خط ١ د فليقله على نقطة ب . ونخرج من نقطة ه خطاً موازياً لخط س ط فهو يلقى خط د ح خارج الدائرة مما يلي نقطة ح فليقله على نقطة ١ . ونخرج ب ه إلى ل فتكون زاوية ل ه ١ مساوية لزاوية س ك ه . وزاوية ل ه ح مساوية لزاوية س ه ك . فتكون زاوية ل ه ١ هي زاوية الانعطاف التي توجهها زاوية ل ه ح .

فإذا كانت نقطة ب في مبصر من المبصرات وكان الجسم المشف الذي محده يلي نقطة ١ متصلاً ملتصاً من نقطة ه إلى نقطة ب وغير منفصل عند محيط دائرة ح ه د مما يلي نقطة ب ، فإن صورة نقطة ب تمتد على خط ب ه ، وتنعطف على خط ه ١ ، ويدركها بصر ١ من سمت خط ١ ه . وخوى هذا أن يخرج من نقطة ه المفروضة المستقيم ه ط موازياً

(١) الوارد في المخطوط (ه ح) وهو تحريف .

للمحور ويرسم ه ب بحيث تنقسم زاوية س ه ط قسمين هما س ه ب و
ب ه ط بحيث تكون نسبة

$$\frac{س ه ب}{ب ه ط}$$

$$\frac{س ه ب}{ب ه ط}$$

أعظم نسبة تكون لزاوية السقوط إلى زاوية الانعطاف التي تقتضيها .
ثم نخرج من س المستقيم س ط قاطعا ه ط على ط بحيث تكون
ب س ط = ب ه ط .

فان أخرجنا من ه المستقيم ه ا موازيا ط س قاطعا المحور على
نقطة ا ، فان الشعاع الممتد من ب إلى ه ينعطف عند ه على استقامة ا ه .
وبرهانه على ذلك هو مجرد اثبات أن نسبة

$$\frac{ب س ط}{ب ه ط}$$

$$\frac{ب س ط}{ب ه ط}$$

تساوى أعظم نسبة تكون لزاوية سقوط إلى زاوية الانعطاف التي
تقتضيها

وواضح أنه ينقصه أن يشترط فيه أن تكون زاوية السقوط ب ه س
صغيرة جدا بحيث يمكن أن نعد نسبتها إلى زاوية الانعطاف أعظم ما تكون
تلك النسبة للوسطين المفروضين .

وإن لم يكن ابن الهيثم في البرهان الذي أورده قد ذكر هذا الفرض
صراحة فأقوله التي بينا معانيها آنفا تبرر لنا أن نفرضه . فالبرهان على أن
الشعاع ب ه ينعطف عند ه مارا بنقطة ا لا يستقيم إلا بالشرط المذكور
وإلا فغاية ما يؤديه البرهان أن تكون زاوية انعطاف الشعاع الوارد من ب
إلى ه عندخروجه إلى الوسط الثاني أعظم من زاوية ل ه ا حتى تكون نسبة
زاوية سقوطه (وهى ب ه س) إلى زاوية انعطافه أصغر من نسبة زاوية
ب ه س إلى زاوية ل ه ا . وإذن فهو ينعطف ملاقيا المحور على نقطة
ليست هى نقطة ا بالذات وإنما هى نقطة أخرى تقع بين ا و ب . وعلى
كلا الوجهين فان الشعاع ب ه ينعطف عند ه ملاقيا المحور على نقطة .

فان ذهبنا إلى أنها نقطة ١ بالذات كما يريد ابن الهيثم بحسب نص قوله تتطلب ذلك أن تكون زاوية السقوط ب ه م صغيرة جداً تكاد تؤول إلى العدم. وإذن تكون نقطة ه قريبة جداً من نقطة ح التي هي القطب في اصطلاحنا الحديث. بهذه الكيفية يبين ابن الهيثم أن الشعاع ب ه ينعطف عند ه على استقامة ه ١ ماراً بنقطة ١ .

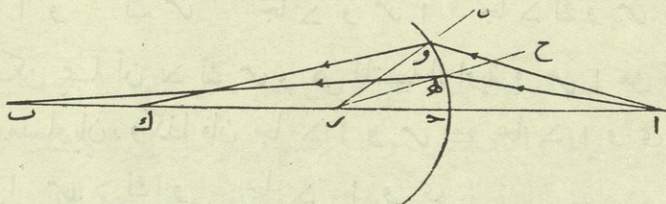
ويلي هذا البيان قوله « وتكون زاوية ل ه ح ونظائرها تنقسم بنسب كثيرة من النسب التي بين زوايا الانعطاف والزوايا التي تحيط بها الأعمدة والخطوط الأولى، التي تحدث بين الجسمين المشفين . فيكون على خط د ب نقط كثيرة تمتد صورها (أي أضواؤها) إلى قوس ح ه ، وتنعطف إلى نقطة ١ (١) » وهو يكتفي في المناظر بذكر هذه الأقوال دون أن يزيدها توضيحاً أو تفصيلاً . ولكنها صريحة في الافادة بأنه إذا كان الشعاع ب ه ينعطف من نقطة مثل ه على قوس ح ه ماراً بنقطة ١ ، فهناك نقاط على المحور أدنى إلى قوس ح ه من نقطة ب ، تنعطف الأشعة الواردة منها من قوس ح ه بحيث تمر بعد انعطافها بنقطة ١ أيضاً . فان استرسلنا قليلا في الشرح وطبقنا قاعدة قبول العكس ، واتخذنا ١ نقطة مضيئة وكان الشعاع الساقط منها على استقامة ا ه ينعطف عند ه ماراً بنقطة ب . فكان ابن الهيثم يريد القول بأن شعاعاً آخر يرد من ا وينعطف من نقطة على قوس ح ه لا يلقي المحور بعد انعطافه على نقطة ب وإنما يلقاه على نقطة أقرب إلى قوس ح ه من نقطة ب نفسها . ولكن قول ابن الهيثم « تمتد صورها إلى قوس ح ه » غامض مبهم لأنه ربما يكون قد أراد أن يكون الانعطاف من نقاط تقع على قوس ح ه فيما بين نقطتي ح ه ، وخصوصاً سنرى فيما بعد أنه قد تناول في موضع آخر من كتاب المناظر بحثاً عن إدراك صورة للبعصر بالانعطاف خلال كرة مشفة أغلظ من الهواء بناء على نتيجة بحثه (٢) هنا ، وقد ورد الشكل الملحق به على ما يتفق وهذا المعنى .

(١) و (٨٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر فقرة (٢٣٦) من هذا الكتاب .

ولكن على الرغم من ذلك فإنه إن تعينت نقطتا ١ و ٦ ب وفقاً للفروض الهندسية التي ذكرناها بحيث ينعطف الشعاع ب ه على استقامة ه ١ فإن نقطة ه تكون قريبة جداً من نقطة ح ، فإن روعى بعد ذلك انعطاف شعاع آخر سواء كان وارداً إلى نقطة ١ أو وارداً من نقطة ١ ، إن روعى انعطافه من نقطة أخرى غير نقطة ه فالسياق يدل على أن المقصود أن تكون نقطة انعطافه فيما يلي ه من ح ، لأن تكون فيما بين ه و ٦ ه .

فاذا كان الأمر كذلك وفرضنا أن الشعاع الساقط من نقطة ١ على امتداد ه ١ (شكل ١٩٥) ينعطف من نقطة ه (القريبة جداً من القطب) على امتداد ه ب بحيث يقطع المحور على ب ، فإن شعاعاً آخر يرد من ١ إلى نقطة



(شكل ١٩٥)

مثل و ، مما يلي ه من ح ، يقطع المحور بعد انعطافه من و على نقطة ليست هي نقطة ب ولكنها أدنى إلى القوس ح ه من ب نفسها ، وفي هذا تصحيح لموقفه فيما يتعلق بأن الانعطاف من نقطة مبصرة في وسط أغلظ عند السطح السكري المقعر لا يكون من أكثر من نقطة واحدة . وفيه فضلاً عن ذلك معنى الزيغ السكري في الحالة التي تكون فيها الأشعة الضوئية صادرة من نقطة مضيئة . وسنرى فيما بعد أن ابن الهيثم قد عالج موضوع الزيغ السكري في حالة الأشعة المتوازية في مقالته عن الكرة المحرقة .

ولا شك أن ابن الهيثم اكتفى في هذا المقام بالإشارة والتلييح دون التفصيل والتوضيح . وهو في نظرنا معذور لأن الوسائل التي بين يديه لا تمكنه من البرهان على المعنى الذي يريده .

ولبيان هذا بشيء من التفصيل لنفرض أن الشعاع ١ و ينعطف عند و

قاطعاً المحور على نقطة ولتكن ك ثم نصل م و ونخرجه إلى ي .
ففي المثلث ا و م

$$\frac{ا م}{ا و} = \frac{جا د ا و م}{جا د و م}$$

وفي المثلث ك و م

$$\frac{ك و}{ك م} = \frac{جا د ك م}{جا د و م}$$

وإذن يكون

$$\frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = \frac{جا د ا و م}{جا د و م} \cdot \frac{جا د ك م}{جا د و م}$$

ولكن بما أن د ك م و هي المتممة الزاوية و م ا من قائمتين
فجيباهما متساويان . وكذا فإن جا د ا و م = جا د ا و ي .

$$\therefore \frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = \frac{جا د ا و ي}{جا د و م}$$

أى يساوى نسبة جيب زاوية السقوط عند و إلى جيب زاوية الانكسار
عند و . وبحسب قانون « سنل » فإن هذه النسبة ثابتة لكل وسطين . فان رمز
لها بالحرف م

$$\therefore \frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = م$$

= مقداراً ثابتاً أينما كانت نقطة الانعطاف و .

$$\therefore \frac{ا م^2}{ا و^2} \cdot \frac{ك و^2}{ك م^2} \text{ يساوى مقداراً ثابتاً} \quad (١)$$

وبالرمز لنصف القطر بالرمز ن يتضح من مثلث ك و م أن

$$ك و^2 = ك م^2 + ن^2 + ن^2 = ك م^2 + ٢ ن^2$$

$$\therefore \frac{\overline{ك و}}{\overline{ك م}} = 1 + \frac{\overline{م و}^2}{\overline{ك م}^2} + \frac{\overline{م و}^2}{\overline{ك م}^2} \text{ جتا } \angle و م ح .$$

$$\therefore \frac{\overline{م و}^2}{\overline{ك م}^2} = \left(1 + \frac{\overline{م و}^2}{\overline{ك م}^2} + \frac{\overline{م و}^2}{\overline{ك م}^2} \text{ جتا } \angle و م ح \right)$$

= مقداراً ثابتاً .

فإذا صغرت نسبة $\overline{م و}^2$ إلى $\overline{ك م}^2$ زاد المقدار المحصور بين القوسين .

ومنه يتبين أنه كلما بعدت نقطة و عن القطب ح وزاد تبعاً لذلك البعد

١ و، كان حتماً أن يقل البعد $\overline{ك م}$ تبعاً لذلك . أى أن الشعاع المنعطف من

النقطة الأ أكثر بعداً عن القطب ح يقطع المحور على نقطة أكثر قرباً إلى

المركز م^(١) .

غير أن مثل هذا البرهان يقوم على قانون «سنل» أى قانون ثبوت نسبة

جيبى زاويتي السقوط والانكسار . وابن الهيثم لم يتوصل إلى الكشف عن

هذا القانون ، وغاية ما أدت إليه تجاربه في الانعطاف وفقاً للحكم الثالث من

أحكام الكم أنه إذا رمز لزاوية السقوط بالحرف و ولزاوية الانعطاف

بالحرف ف فإن نسبة

$$\frac{ف}{و} \text{ تزداد تبعاً لزيادة } و .$$

وبالرمز لزاوية الانكسار بالحرف م فإن $ف = و - م$ ، عند

الانعطاف من الألف في الأغظ .

(١) اقتصرنا هنا على ما يتفق والفروض الهندسية التي اتخذها ابن الهيثم . وإلا فلو كانت

الأشعة الساقطة على السطح المحدب مملومة (في نقطة خلف السطح) بحيث تعد نقطة ا تقديرية

فمن الممكن أن يتشابه المثلثان ١ و ٢ ، و ك فيكون

$$\overline{م و} = \overline{ك م} = \overline{م و}^2$$

وإذن تكون نقطة ك ثابتة لا تتغير بحسب بعد و عن القطب أو قربها منه — أنظر

البصريات ص (٢٣٨) للمؤلف .

وإذن $\frac{v - r}{v}$ تزداد عندئذ تبعاً لزيادة v .

أى $1 - \frac{r}{v}$ تزداد .

∴ $\frac{r}{v}$ تقل .

أو $\frac{v}{r}$ تزداد .

فمعلومات ابن الهيثم عن العلاقة بين زاويتي السقوط والانكسار لا تتجاوز العلم بأن نسبة زاوية السقوط إلى زاوية الانكسار عند الانعطاف من الألف في الأغظ تزداد بحسب زيادة زاوية السقوط ، ولا يستلزم هذا أن تكون نسبة الجيبين ثابتة حتى يمكن إثبات النتيجة المطلوبة ببرهان هندسى سليم .

٢٢١ - مفاتيح ابن الهيثم في الكرة المحرقة

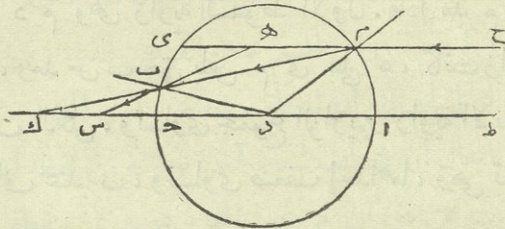
لابن الهيثم بحوث عن كيفية انعطاف أشعة الشمس المتوازية عند نفوذها في كرة من الزجاج ، أوردتها في مقالته في الكرة المحرقة . وهو يتتبع بحث هذا الأمر على أساس أحكامه في الانعطاف التي سبق بيانها . ولكنه إذ يراعى الانعطاف في كرة من الزجاج يستعين أيضا بمعلومات خاصة بانعطاف الضوء من الهواء في الزجاج تشمل مقادير زوايا الانعطاف التي تقتضيها زوايا سقوط معينة . وكما يقول الفارسي في تحرير هذه المقالة فإن ابن الهيثم قد أحال الأمر فيما يتعلق بهذه المقادير على ما بينه بطليموس في المقالة الخامسة من كتابه في المناظر . ومن أهم تلك المعلومات تعيين الحد الأدنى لمقدار زاوية انعطاف الضوء من الهواء في الزجاج بالنسبة إلى زاوية السقوط في الهواء . فأبن الهيثم يقرر في حكمه الخامس أن زاوية انعطاف الضوء من الوسط الألف في الوسط الأغظ أصغر من نصف زاوية السقوط . وقد سبق أن ناقشنا هذا الحكم بما فيه الكفاية .

وهو هنا يضيف إلى هذا أنها في الزجاج أكبر من ربع زاوية السقوط في الهواء . فهو إذن يعد قدر زاوية الانعطاف في الزجاج أكبر من ربع زاوية السقوط في الهواء وأصغر من نصفها . وإن كان من الخطأ تعميم الشطر الثاني فيما يتعلق بهذه القضية ، فالشطر الأول منها صحيح فيما يختص بالأنواع المعتادة من الزجاج التي يتخذ معامل انكسار الضوء فيها حوالى ١,٥ .

وقد تناول ابن الهيثم في هذه المقالة توضيح أمور كثيرة على جانب عظيم من الخطورة والقيمة نفصلها فيما يلي .

٢٢٢ - بيان كيفية تجمع الأشعة المتوازية بعمر نفوذها من كرة من الزجاج

يبدأ ابن الهيثم أولاً بذكر فروضه الأساسية . فليكن مركز الكرة نقطة د (شكل ١٩٦) ١٦ د ح قطراً من أقطارها ولنخرجه من طرفيه إلى ط و ك .



(شكل ١٩٦)

وليكن مركز الشمس على امتداد ١ ط فيكون ط ك ما نسميه المحور في اصطلاحنا الحالي ، ونقطة ١ قطب السطح المواجه للشمس .

وليكن ح م شعاعاً من أشعة الشمس موازياً للمحور يلقى سطح الكرة على نقطة م . فإذا أخرج مستوى ط ك ف ح م فإنه يقطع سطح الكرة على محيط دائرة ولتكن هي المبينة بالشكل . نخرج ح م حتى يلقى محيط الدائرة على ي ونصل د م . فالشعاع ح م ينعطف عند م إلى جهة العمود د م .

ومن السهل بيان أن زاوية السقوط عند م تساوى الزاوية التي توترها عند المركز د قوس ي ح . وهذه القوس توتر عند محيط الدائرة زاوية

تساوى نصف زاوية السقوط . فإن كانت زاوية الانعطاف أصغر من نصف زاوية السقوط فالمنعطف من م يلقى القوسى ح على نقطة فيما بين ي و ح . ولتكن نقطة ب . وإن كانت زاوية الانعطاف أعظم من ربع زاوية السقوط فنقطة ب أقرب إلى ح منها إلى ي .

على هذه الصفة يعين ابن الهيثم أن المنعطف من م يمتد على م ب بحسب الوضع المذكور .

وعند ب يعانى الشعاع انعطافا ثانيا وهو يخرج إلى الهواء ، ويكون انعطافه هذا إلى ضد جهة العمود . وبما أن

$$\angle م ب د = \angle د ب م ،$$

فزاوية انعطافه الثانى كزاوية انعطافه الأول . فاذا انعطف على ب س كانت الزاوية التى يحيط بها المنعطف وامتداد د ب كالزاوية التى يحيط بها ح م وامتداد د م وهى زاوية السقوط الأول . فاذا مد م ب حتى يلقى المحور على ك ، ومد س ب حتى يلقى م ي على هـ ، كانت زاوية ي هـ س زاوية الانعطاف الكلى ، وتساوى مجموع الزاويتين زاوية الانعطاف عند م وزاوية الانعطاف عند ب ، وتساوى ضعف إحدهما ، وهى تساوى

$$\angle د ب س د .$$

بهذه الكيفية يبين ابن الهيثم أن الشعاع ح م يخرج من الكرة بحيث يلقى المحور على نقطة ، ويعانى عند نفوذه فى الكرة انعطافين متساويين وتكون زاوية انعطافه الكلى ضعف زاوية أحد هذين الانعطافين :

ثم هو يبين أيضاً أنه إذا توهمتا أن مستوى الشكل قد أدير حول المحور ط ك دورة كاملة ، أحدثت كل من نقطى م و ب على سطح الكرة محيط دائرة ، وجميع الأشعة المتوازية التى تلقى الكرة على محيط الدائرة التى تحدث عن دوران نقطة م ، تنعطف داخل الكرة إلى النقاط المقابلة من محيط الدائرة التى تحدث عن دوران نقطة ب ، ثم تنعطف مرة أخرى إلى نقطة س . وبالمثل بالنسبة إلى أى شعاع آخر من أشعة الشمس يسقط موازيا للمحور . وابن الهيثم

ينص على هذه النتيجة فيقول بحسب رواية الفارسي^(١) « كل كرة من الزجاج والبللّور وما أشبههما إذا قوبل بها جرم الشمس فإن شعاعها ينعطف عن محيط دائرة في الكرة إلى نقطة واحدة خارج الكرة على الخط الواصل بين مركزيهما » .

٢٢٣ - بيان الزيف الكرى الذى يحدث عند نفوذ الأشعة المتوازية

من كرة من الزجاج

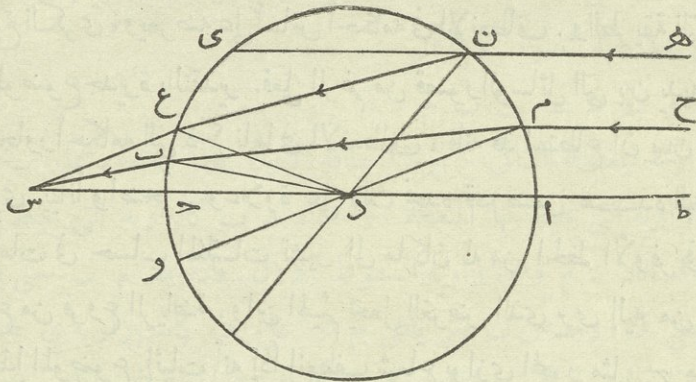
وابن الهيثم بعد إثبات النتيجة التى ذكرناها آنفاً يتناول موضوع « الزيف الكرى » ويعرضه على أساس أحكامه فى الانعطاف . والطريقة التى عالج بها الموضوع جديرة بالتقدير . فعلى الرغم من قصور الوسائل التى بين يديه وهى لا تتجاوز أحكامه التى ذكرناها فى الانعطاف ، فإنه قد استطاع أن يبين الزيف الكرى بياناً واضحاً . وعلاوة على ذلك نجده قد ضمن هذه البحوث معلومات فى حساب المثلاثات تشير إلى ما كان له من الحظ الأوفر فى هذا الفرع من فروع الرياضة . وابن الهيثم يجعل الغرض الذى يرمى إليه من بحوثه فى هذا الموضوع إثبات أنه إذا انعطف شعاع يوازي المحور مثل ح م ماراً بنقطة س فمن المحال أن ينعطف شعاع آخر يوازيه من نقطة ليست على محيط الدائرة التى تحدث عن دوران م حول المحور بحيث يمر بنقطة س ، وإن كان الشعاع الآخر أبعد عن القطب فليس يمر بنقطة فيما يلي نقطة س من الكرة . وليبان طريقة ابن الهيثم للوصول إلى هذه النتيجة ، لنفرض أن ح م (شكل ١٩٧) شعاع يسقط موازياً للمحور ولينعطف على م ب ثم على ب س قاطعاً المحور على نقطة س . ثم لنفرض أن ه ن يوازيه وأبعد عن القطب وينعطف على ن ع داخل الكرة ، فإذا عانى الانعطاف الثانى عند نقطة ع فابن الهيثم يفرض أولاً أنه ينعطف ماراً بنقطة س نفسها ويثبت استحالة هذا الفرض ببرهان الخلف ، ثم يفرض ثانياً أنه ينعطف قاطعاً المحور على نقطة أبعد عن الكرة من نقطة س ويثبت استحالة هذا الفرض ببرهان الخلف أيضاً .

فلنفرض أن الشعاع ن ع ينعطف عند ع ماراً بنقطة س . ولنرمز
لزاوية السقوط عند م بالحرف ν ولزاوية الانعطاف بالحرف ϕ ولزاوية
الانكسار بالحرف r . ولنرمز لنظائر هذه الزوايا عند ن ^(١) بالرموز
 ν_1 ϕ_1 r_1 على الترتيب .

وبما أن ن فيما يلي م من القطب ا تكون .

ν أعظم من ν_1 .

فوفقاً للحكم الثالث من أحكام الانعطاف يكون



(شكل ١٩٧)

$$\frac{\phi_1}{\nu_1} \text{ أعظم من } \frac{\phi}{\nu} .$$

$$\text{وإذن } \frac{\phi_1}{\nu_1} \text{ أعظم من } \frac{\phi_2}{\nu_2} .$$

وإذا كان ضعف زاوية الانعطاف أصغر من زاوية السقوط ، يكون

$$\frac{\phi_2}{\nu_2} \text{ أعظم من } \frac{\phi}{\nu} .$$

$$\text{ولكن } \phi = \nu - r$$

$$\therefore \nu - \phi = r$$

$$\text{بالمثل } \nu_1 - \phi_1 = r_1$$

(١) لم يرمز في الأصل بثتل هذه الرموز فلم يكن من السهل أول وهلة تتبع المعاني المقصودة .

$$\dots \frac{2 \text{ ف}}{2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}} \text{ أعظم من } \frac{2 \text{ ف}}{2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}}$$

فاذا عدنا إلى شكل (١٩٧) وأخرجنا م د حتى يلقى محيط الدائرة على و
يتبين أن :

$$و = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

$$2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

$$\text{فيكون } 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

$$2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} \text{ كما تبين في الفقرة السابقة.}$$

$$\text{وبالمثل } 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

$$2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

$$\text{وإذن } \frac{2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}}{2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}} \text{ أعظم من } \frac{2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}}{2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}}$$

ونظراً لأن زاوية الانعطاف من الهواء في الزجاج يعدها ابن الهيثم أصغر
من نصف زاوية السقوط وأعظم من ربعها، يتضح كما تبين في الفقرة السابقة
أنه إذا مد ه ن حتى يلقى المحيط على ي فإن نقطة ع تقع على قوس ي >
بحيث يكون ي ع أعظم من ع > .

فالزاوية المركزية التي توترها قوس ي ع أعظم من الزاوية المركزية التي
توترها قوس ع > ف قوس ي ع توتر عند المحيط زاوية الانعطاف ف
فهى توتر عند المركز ضعفها. وإذن يكون 2 ف، أعظم من 2 ف ع د > .
أى تكون 2 ف ع س د أعظم من 2 ف ع د > .
وبالمثل تكون 2 ف ب س د أعظم من 2 ف ب د > .

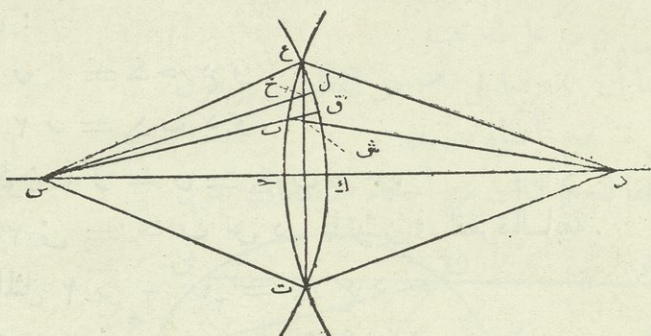
نركز بعد ذلك في نقطة س ونرسم دائرة نصف قطرها س ع ولتقطع
المحور على ك ومحيط الأولى على ت ومنعاً لالتباس الشكل ليسكن ذلك مبيناً
(بشكل ١٩٨) فيما سبق يتبين أن

$$2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

$$2 \text{ ف} - 1 \text{ ف} = 2 \text{ ف} - 1 \text{ ف}$$

وأيضاً

$$\frac{\angle ع د > \angle س د}{\angle ب د > \angle س د} \text{ أعظم من } \frac{\angle ع د > \angle ب د}{\angle ب د > \angle س د}$$



(شكل ١٩٨)

فاذا مد س ب حتى يلتقي محيط الدائرة الجديدة على ق اتضح أن

$$\begin{aligned} & \frac{\text{قوس ع ك}}{\text{قوس ق ك}} \text{ أعظم من } \frac{\text{قوس ع ح}}{\text{قوس ب ح}} \\ & \therefore \frac{\text{قوس ع ك} - \text{قوس ق ك}}{\text{قوس ع ك} + \text{قوس ق ك}} \text{ أعظم من } \frac{\text{قوس ع ح} - \text{قوس ب ح}}{\text{قوس ع ح} + \text{قوس ب ح}} \quad (١) \\ & \therefore \frac{\text{قوس ع ق}}{\text{قوس ق ت}} \text{ أعظم من } \frac{\text{قوس ع ب}}{\text{قوس ب ت}} \end{aligned}$$

فلنأخذ نقطة مثل ل على قوس ع ق فيما بين نقطتي ع ، ق بحيث يكون

$$\frac{\text{قوس ع ل}}{\text{قوس ل ت}} = \frac{\text{قوس ع ب}}{\text{قوس ب ت}}$$

ونصل ع ت وليلق س ل على خ ، ب د على ش ، ونظراً لأن ل فيما بين ع ، ق فان نقطة خ تكون كلمين بالشكل أدنى إلى ع من نقطة ش .

في هذا المقام يستعين ابن الهيثم بنظرية في حساب المثلثات قد ذكرها في

(١) اذا كان $\frac{1}{x} < \frac{1}{y}$ فن السهل اثبات أن $\frac{1}{x} - \frac{1}{y} < \frac{1}{x+y}$ مقدار موجب .

بيان الزرع الكرى الذى يحدث عند نفوذ الأشعة المتوازية من كرة من الزجاج ٧٩٧

صدر مقالته فى الكرة المحرقة مقدمة إلى هذا البحث ، وأحال أمرها على كتاب الله فى خطوط الشعاعات . والنظرية بالنص الذى أورده الفارسى نقلا عن هذا الكتاب هى « إذا فصل من دائرة قوسان مختلفتان وقسم القوسان على نسبة واحدة ، وكان القسم الأعظم من القوس العظمى ليس بأعظم من ربع دائرة ، فإن نسبة جيب القسم الأعظم من القوس الصغرى إلى جيب القسم الأصغر منها ، أعظم من نسبة جيب القسم الأعظم من القوس العظمى إلى جيب القسم الأصغر منها » (١) .

وخلاصة هذه النظرية أنه إذا كانت النسبة بين زاويتين ثابتة فإن نسبة جيب العظمى إلى جيب الصغرى تقل كلما زادت الزاويتان ما دامت العظمى أصغر من قائمة .

فما سبق يتضح أن النسبة بين الزاويتين ل س ت و ل س ع كالنسبة بين الزاويتين ب د ت و ب د ع ، وأن كلا من الزاويتين الأوليين أعظم من نظيرتها من الآخرين ، وأن زاوية ل س ت أعظم من زاوية ل س ع ، وزاوية ل س ت أصغر من قائمة (٢) ، فيكون .

$$\frac{\text{جادل س ت}}{\text{جادل س ع}} \text{ أصغر من } \frac{\text{جادب د ت}}{\text{جادب د ع}} \\ \text{أى أن}$$

$$\frac{\text{ت خ}}{\text{خ ع}} \text{ أصغر من } \frac{\text{ت ش}}{\text{ش ع}} . \\ \text{وهذا خلف .}$$

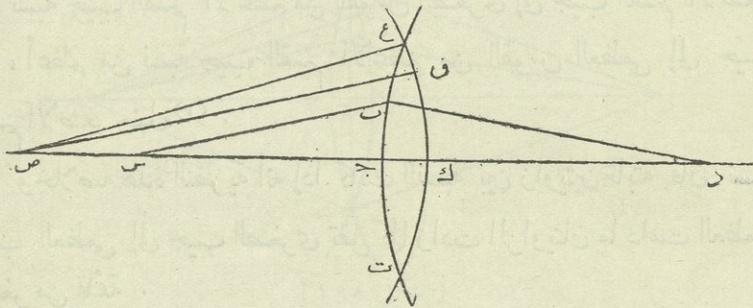
فلا يمكن أن يتلاقى المنعطفان بعد نفوذهما من الكرة على نقطة س .

(١) يذكر الفارسى أنه عثر على كتاب خطوط الشعاعات الذى ألفه ابن الهيثم وأصاب منه هذه النظرية . ثم يقول « ثم لما كانت النسخة سقيمة جداً لم أقدر على حلها فاكثفت بإيراد الدعوى وإن اتفق حلها بعد ، أضيفها محررة إلى هذا المقام إن شاء الله تعالى » ص (٢٨٥) ، ص (٢٨٦) من النسخة المطبوعة من الجزء الثانى . وأشار الفارسى إلى أن التأمل فى جداول الجيوب بين صحة هذه النظرية .

(٢) أضاف الفارسى من عنده بيان هذا .

فلفترض إذن أن المنعطف من ع يلقى المحور على نقطة ولتكن ص
فيما يلي س من ح (شكل ١٩٩) فبمثل البرهان السابق يمكن إثبات أن

$$\frac{\Delta ع ص د}{\Delta ع د ح} \text{ أعظم من } \frac{\Delta ب س د}{\Delta ب د ح}$$



(شكل ١٩٩)

وان $\Delta ع ص د$ أعظم من $\Delta ع د ح$. فاذا أخرج من ص المستقيم
ص ق موازياً لـ س ب قاطعاً محيط الدائرة التي مركزها ص ونصف قطرها
ص ع على ق ، أمكن كما سبق إثبات أن

$$\frac{\text{قوس ع ك}}{\text{قوس ك ق}} \text{ أعظم من } \frac{\text{قوس ع ح}}{\text{قوس ب ح}}$$

وبمثل خطوات البرهان السابق يقع الخلف أيضاً .
فلا يمكن أن ينعطف الشعاع من ع قاطعاً المحور على نقطة أبعد عن الكرة
من نقطة س .

وبما أن الشعاع من ع ينعطف قاطعاً المحور على نقطة ولا يمكن أن تكون
هذه النقطة هي نقطة س نفسها ولا نقطة أبعد من س ، فالنتيجة التي يخرج
بها ابن الهيثم من هذا البحث أن النقطة التي يلقى عندها المنعطف من ع المحور
هي أقرب إلى الكرة من نقطة س ، فهو يثبت بهذا البرهان أن الأشعة المتوازية
التي يلتئم منها سطح اسطوانى سهمه ينطبق على المحور تنفذ من الكرة متجمعة
في نقطة على المحور ، وكلها صغر نصف قطر هذا السطح الأسطوانى بعدت النقطة

التي تتجمع فيها الأشعة عن الكرة، أو كلما عظم نصف قطر هذا السطح الأسطوانى قربت تلك النقطة من الكرة.

ولا شك أن في هذا بياناً شاملاً لظاهرة الزيع الكرى كما نعلمها الآن. وتلك النقطة التي تتجمع فيها الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة نسميها الآن البؤرة، ويعبر عنها ابن الهيثم أحياناً بالنهاية ويطلق الفارسي عليها فعلاً هذا الاسم. فبحوث ابن الهيثم تؤدي صراحة إلى أن بعد تلك النقطة عن الكرة يأخذ في القصر كلما بعدت نقاط سقوط الأشعة المتوازية عن قطب السطح الكرى.

٢٢٤ - تعيين مواضع نقاط الانعطاف الثواني

ولم يقصر ابن الهيثم بحوثه في مقالة الكرة المحرقة على ما ذكر. بل نجده يتناول أيضاً تفصيل أوضاع الأشعة الممتدة بين نقاط الانعطاف داخل الكرة الزجاجية، بعضها بالنسبة إلى الآخر. وهو يحيل على بطليموس في مقالته الخامسة من كتاب المناظر ثلاث مقدمات جعلها أساساً بنى عليه هذا البحث (١).

المقدمة الأولى - إن زاوية السقوط التي قدرها أربعون درجة تقتضى انعطافاً من الهواء في الزجاج قدره خمس عشر درجة.

والثانية - إن زاوية السقوط التي قدرها خمسون درجة تقتضى انعطافاً من الهواء في الزجاج قدره عشرون درجة.

والثالثة - إنه إذا كانت زاوية السقوط أعظم من خمسين درجة وزادت زاوية السقوط بمقدار معين فإن زاوية الانعطاف تزيد بمقدار أعظم من نصف زيادة زاوية السقوط. وينص على هذا المعنى بقوله نقلاً عن الفارسي « إن زيادة الانعطافية على الانعطافية من بعد الخمسين تكون أعظم من نصف تفاضل العطفيتين ».

وقد تبين في صدد أحكام ابن الهيثم السابقة أن زاوية الانعطاف تزداد تبعاً لزيادة زاوية السقوط، ولكن ليس معدل الزيادة ثابتاً بل هو يزداد. فابن الهيثم

(١) أنظر فقرة (١٥) من الجزء الأول من هذا الكتاب.

يجد من مقادير الزوايا التي أوردها بطليموس في كتابه أنه إذا زادت زاوية السقوط في الهواء من ٤٠ درجة إلى الخمسين حيث يكون تفاضل الزاويتين عشر درجات ، تزيد زاوية الانعطاف من خمس عشر درجة إلى العشرين فيكون تفاضل زاويتي الانعطاف خمس درجات أى نصف تفاضل زاويتي السقوط . ولكن إذا كانت زاوية السقوط في الهواء أعظم من خمسين درجة فإن تفاضل زاويتي الانعطاف يكون أعظم من نصف تفاضل زاويتي السقوط . ولا شك أنه فيما دون الأربعين أصغر من النصف ، لا طراد الزيادة بحسب زيادة زاوية السقوط .

وهذه المقدمات يمكن استنباطها من قانون الانكسار على صورته التي نعملها في الوقت الحاضر .

فقد تبين في فقرة (٢٠١) أن

$$\frac{u}{v} = \frac{f}{v} - 1 \quad \sqrt{\frac{1 - \text{جا}^2 u}{1 - \text{جا}^2 v}}$$

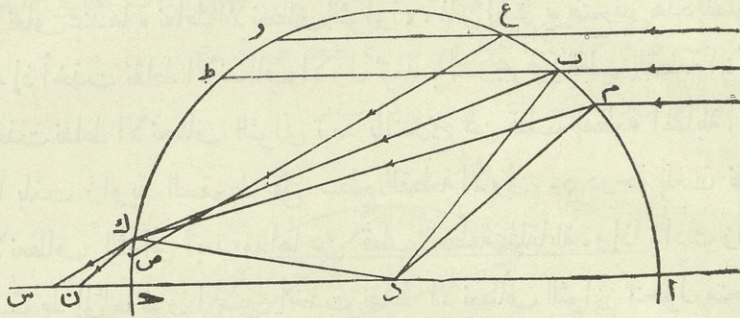
$$\frac{f}{v} = \frac{1}{4} \quad \text{فان جعلنا}$$

$$\frac{1 - \text{جا}^2 u}{1 - \text{جا}^2 v} = \frac{1}{4} \quad \text{يكون}$$

وإذا اعتبرنا معامل الانكسار م مساويا ٤ تبين أن زاوية السقوط التي يكون فيها تفاضل زاوية الانعطاف نصف تفاضل زاوية السقوط هي $\frac{4}{5} \times ٤٩$ درجة بالتقريب .

وعلى حسب المقادير المذكورة يبين ابن الهيثم أنه إذا أخرج نصف القطر د م (شكل ٢٠٠) بحيث تكون د م د ١ = ٤٠° وأخرج نصف القطر د ك بحيث تكون د ك د ح = ١٠ درجات ، فالشعاع الذي يسقط على الكرة موازيا المحور ١ ح ، إذا انعطف من م

يمتد على استقامة م ك داخل الكرة الزجاجية حيث تكون كل من زاويتي د م ك و د ك م مساوية ٤٠ - ١٥ أى ٢٥° .
وأيضاً إذا أخرج نصف القطر د ب بحيث تكون د ب د مساوية



(شكل ٢٠٠)

٥٠° فالشعاع الموازى للمحور المنعطف من ب يمتد على ب ك إلى نقطة ك نفسها، حيث تكون كل من زاويتي د ب ك و د ك ب تساوى ٥٠ - ٢٠ = ٣٠° .

ويلاحظ فى هذه الحالة أن زيادة زاوية الانعطاف عند ب على زاوية الانعطاف عند م تساوى زاوية ب ك م ، وهى المحيطية التى توترها قوس ب م ، وتساوى نصف المركزية التى توترها هذه القوس ، والمركزية هذه هى زيادة زاوية السقوط عند ب على زاوية السقوط عند م .

أما إذا روعى انعطاف شعاع آخر يوازى المحور وزاوية سقوطه أعظم من ٥٠° ، كالشعاع الساقط عند نقطة ع ، وأخرج ع و د ب ط موازيين للمحور ، تكون

$$\text{قوس ب ع} = \text{قوس و ط} .$$

والمحيطية التى توترها قوس ب ع هى نصف تفاضل زاويتي السقوط عند ع و د . فيكون تفاضل زاويتي الانعطاف عند ع و د أعظم من المحيطية التى توترها قوس ب ع ، أو قوس و ط . فالمنعطف من ع لا يلقى محيط الدائرة على ك ولا على نقطة فيما بين ك و د ، بل يلقاه على نقطة مثل ص من تحت نقطة ك .

فاذا سمينا القطعة من سطح الكرة التي تسقط عليها الأشعة المتوازية « القطعة الأولى » ونقاط الانعطاف عندها « نقاط الانعطاف الأول » ، وسمينا القطعة التي تنتهي إليها الأشعة المنعطفة في الكرة « القطعة المقابلة » ونقاط الانعطاف عندها « نقاط الانعطاف الثانى » ، فابن الهيثم يوضح على هذه الصورة أنه إذ أخذت نقاط الانعطاف الأول تبعد بالتدريج عن قطب القطعة الأولى أخذت نقاط الانعطاف الثانى تبعد بالتدريج عن قطب القطعة المقابلة ، حتى إذا بلغت زاوية السقوط على سطح القطعة الأولى ٥٠ درجة بلغت نقاط الانعطاف الثانى أبعد مداها عن قطب القطعة المقابلة ، وإذا زادت زاوية السقوط إلى ما فوق الخمسين أخذت نقاط الانعطاف الثانى تتحول متحركة إلى الاتجاه المضاد .

٢٢٥ - محاولة ابن الهيثم تعيين البعد البؤرى لكرة من الزجاج ويحاول ابن الهيثم فى مقالة الكرة المحرقة تعيين أبعاد النقاط التي على المحور والتي تتجمع فيها الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة . ولما كانت هذه النقاط كما يتضح من بحوثه السابقة لا حصر لعددها وتزداد قربا إلى قطب القطعة المقابلة كلما كان السطح الاسطوانى الذى يلتئم من الأشعة المتوازية الساقطة على الكرة أكثر اتساعا ، فهو يصرف عناية خاصة إلى تعيين موضع تلك النقطة بالنسبة إلى الأشعة التي تكون زوايا سقوطها ٥٠ درجة ، فننعطف انعطافها الثانى من محيط الدائرة التي تحدث عن دوران نقطة ك (شكل ٢٠٠) حول المحور .

فاذا فرضنا أن الشعاع الموازى للمحور يسقط عند ب وزاوية السقوط ٥٠ درجة وكانت نقطة ك نقطة انعطافه الثانى ، وأخرجنا من المركز د (شكل ٢٠١) عموداً على ب ك ، وأخرجناه حتى يلقى امتداد الشعاع الساقط عند ب على نقطة م ، ووصلنا م ك وأخرجناه على استقامته حتى يلقى المحور على ن ، فنظراً لأن مثلث م ب ك متساوى الساقين فزاويته عند ب ٦ ك متساويتان ، وكل منهما تساوى إحدى زاويتي الانعطاف ، فتكون د ط م ك = ٢ د م ب ك = د ك ن ح .

$$6 \text{ ش د} = 6 \text{ جتا د ك د ج} ,$$

$$6 \text{ د ك د} > 10 \text{ درجات} .$$

ومنه يتبين أن

$$6 \text{ ن ش} = 2068 , 2068 \text{ ن}$$

$$6 \text{ ن د} = 1,1916 \text{ ن}$$

$$6 \text{ ن} > 1,1916 \text{ ن} .$$

ويتضح من هذا أن بعد النقطة ن عن قطب القطعة المقابلة ، وإن كان أصغر من خمس نصف قطر الكرة فعلا ، فإنه يساوى خمس نصف قطر الكرة بالتقريب .

وابن الهيثم لا يتتبع بالضبط هذه الخطوات ولكن برهانه لا يختلف في مضمونه عن هذه المعاني ، وقد أورده على صورة أخرى ناهجا على النهج القديم في اصطلاحات حساب المثلثات .

فقد كان المتبع أن يقسم نصف قطر الدائرة ستين جزءاً بالتساوى ، وكان نجيب الزاوية يعرف بنصف وترضعفها مقيساً بتلك الأجزاء . فبحسب هذا الاصطلاح يكون .

$$6 \text{ ش} = 60 \text{ جا } 10^\circ = 10 \frac{1}{4} \text{ من هذه الأجزاء بالتقريب} .$$

وابن الهيثم يعد خط ش > أ أكثر من نصف جزء ، ويستنبط من أن نسبة

$$\frac{ل د}{ك ش} = \frac{د ن}{ن ش}$$

أن طول ن > أقل من ١٢ جزءاً (١) أى أقل من خمس نصف القطر د > . والبرهان في الحقيقة غير مفصل ومقتضب نورده فيما يلي بلفظه نقلا عن

(١) الوارد في الأصل الذى أورده الفارسى (ص ٢٩٦ من الجزء الثانى من النسخة المطبوعة) « فخط ن > أقل من عشرة أجزاء » وصاوبه أقل من ١٢ جزءاً .

التنقيح . قال « ويخرج عمود ك ش عليه (أى على القطر ١ >) فيكون عشرة ونصف تقريبا ، إذ هو جيب ك د > ، ونسبة ل د إلى ك ش كنسبة د ن إلى ن ش ، وخط ش > أ أكثر من نصف جزء ، نقط ن > أقل من عشرة أجزاء (كذا) فهو أقل من سدس ن د . فن > (أى نقط ن >) أقل من خمس د > (١) » .

ويلاحظ أن طول ش > وإن كان أعظم من نصف فهذا وحده لا يكفي لبيان المقصود . وذلك لأنه إذا كان أعظم من نصف فطول د ش يكون أصغر من ٥٩ جزءاً ونصف جزء .

وبما أن

$$\begin{aligned} \frac{ن د}{ن ش} &= \frac{ل د}{ك ش} = \frac{٦٠}{١٠\frac{١}{٢}} \\ \text{اتضح أن} \quad \frac{ن د - ن ش}{ن ش} &= \frac{٤٩\frac{١}{٢}}{١٠\frac{١}{٢}} \\ \text{وإذن} \quad \frac{د ش}{ن ش} &= \frac{٤٩\frac{١}{٢}}{١٠\frac{١}{٢}} \end{aligned}$$

فعلى فرض أن ش > أعظم من نصف جزء فإن د ش يكون أصغر من ٥٩ ½ من هذه الأجزاء .

$$\text{وإذن ن ش أصغر من } \frac{١٠\frac{١}{٢}}{٤٩\frac{١}{٢}} \times ٥٩\frac{١}{٢} .$$

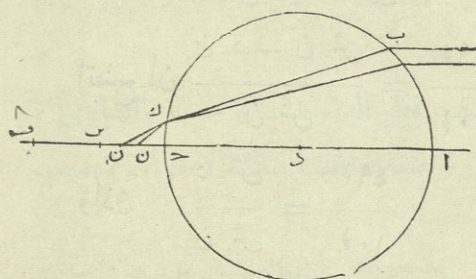
أى أن ن ش أصغر من ١٢ ¼ . ولكن ¼ كسر قيمته هى أيضا أعظم من النصف ، فلا يكون ن > أصغر من ١٢ إلا إذا تبين أن ش > أعظم من قيمة هذا الكسر .

وابن الهيثم وإن لم يوضح هذا فهو الواقع ، كما يتبين بتطبيق نظرية فيثاغورس

مثلاً . ولكن على الرغم من هذا فإن النتيجة التي توصل إليها وسياق التفكير في البرهان الذي أورده جديران بالذكر والتنويه . ولعل الأصل الذي نقل عنه الفارسي لم يسلم من خطأ النسخ ، كما أشار الفارسي فعلاً في موضع آخر من المقالة . ويتضح من هذا أن ابن الهيثم يقدر بعد النقطة التي تتجمع فيها الأشعة المتوازية التي زاوية سقوطها 50° ، عن قطب القطعة المقابلة يساوى بالتقريب خمس نصف قطر الكرة ، وليس هو أكبر من خمس نصف قطرها .

ولكنه لم يقنع بهذا القدر . بل نجده يحاول البرهان على أن إحراق الكرة يكون على ربع القطر من قطب القطعة المقابلة . أى أن المواضع التي يحدث فيها الاحراق من تجمع الأشعة المتوازية الواردة من الشمس تمتد إلى مسافة تبعد عن قطب القطعة المقابلة بقدر ربع قطر الكرة .

فإن كانت نقطة ك (شكل ٢٠٢) هي نقطة الانعطاف الثاني فقد تبين فيما



(شكل ٢٠٢)

سبق أن زاوية ك ن د ونظائرها أعظم من زاوية ك د ن ونظائرها . ويستنبط ابن الهيثم من هذا أن المستقيم ك ن ونظائره أصغر أبداً من نصف القطر د ح . وإذن

ح ن ونظائره أصغر أبداً من نصف قطر الكرة الزجاجية ، فإن أخذنا على امتداد المحور نقطة ث بحيث يكون ح ث مساوياً نصف القطر ، فإن أبعد نقطة تتلاقى عليها الأشعة المتوازية تكون أقرب إلى ح من نقطة ث نفسها . ويتناول بالذكر أيضاً الأشعة المتوازية التي زاوية سقوطها 40° ، فهي تتجمع بعد نفوذها من الكرة على نقطة تكون كما تبين فيما سبق أبعد من نقطة ن ، التي تتجمع فيها الأشعة التي زاوية سقوطها 50° ولزمن لها بالرمز ن . وابن الهيثم لم يقدر البعد ح ن ، ولكن من السهل بيان أنه يساوى بالتقريب $17,14$ من أجزاء الستين التي هي نصف قطر الكرة ، وذلك بحسب البيانات الواردة .

وتتمة برهان ابن الهيثم لاثبات أن الاحراق يكون على ربع القطر ، لا يفي بالمقصود ، ونورده فيما يلي . قال :

« ونصف (ث ح) ^(١) على س ، فالشعاعات المنعطفة إلى س ح أكثر بكثير من المنعطفة إلى س ث و س ح أقرب إلى نقطة الانعطاف من س ث . فالحرارة عند س ح أكثر منها عند (س ث) ^(٢) . فالاحراق إنما يكون على س ح ، الذى هو ربع القطر . وذلك ما أردناه . »

وسياق الأقوال يدل على ثلاثة أمور لعلها تتضمن خلاصة رأى ابن الهيثم فى هذا الموضوع ، هى بايجاز

الأول : أن الأشعة المتوازية التى تسقط على القوس التى تمتد من القطب ١ إلى زاوية قدرها ٤٠° تتلاقى على المحور على نقاط تمتد من نقطة ن إلى ما دون ث من ح . أما الأشعة المتوازية التى تسقط على نقاط مما يلي الأربعين من قوس التسعين فإنها تتلاقى أو بالأحرى يكاد جميعها يتلاقى على المحور فيما بين نقطتي ن ، و ح .

الثانى : أن الاشعاع المتجمع على خط ح ن ، وهو الساقط على قوس طولها يكاد يكون ٥٠° ، أشد من الاشعاع المتجمع على ما يقع بين نقطة ن ، وبين ما دون ث من ح ، وهو الساقط على قوس الأربعين .

الثالث : أن الاحراق الناتج عن تجمع الأشعة التى تسقط على النقاط القريبة من القطب ١ أضعف من الاحراق الناتج عن تجمع الأشعة التى تسقط على النقاط البعيدة ، وذلك فى نظره لأن نقاط التجمع فى الأولى أقرب إلى نقاط الانعطاف ، وإن شئنا قلنا لأن الأشعة الأولى تخترق من كتلة الزجاج سمكا أعظم .

والذى يريد ابن الهيثم أن يستنبطه من هذه الأمور الثلاثة ، أن الاحراق على ح ن ، أشد كثيراً من الاحراق على الجزء من المحصور بين نقطة ن ،

(١) فى الأصل « ن ح » وقد صححه الفارسى وقال فى هذا الصدد « وقد تصفحت نسختين من مقالته هذه فوجدته فيها على ما أوردته ، فأوردت ما وجدته ونهيت على ما فيه الخ » .

(٢) فى النسخة المطبوعة « سى » وهو تحريف .

وبين ما دون نقطة ث من ح ، وهو الجزء الذى ينتهى إليه الاحراق ولا يتجاوزه بحال من الأحوال . وليس تستلزم هذه الأمور الثلاثة النتيجة التى أرادها ابن الهيثم ونص عليها صراحة وهى أن يكون الاحراق على ربع القطر . ولما كانت هذه النتيجة صحيحة فيما يتعلق بالكرة الزجاجية (على فرض أن معامل انكسار الضوء من الهواء فى الزجاج $\frac{4}{3}$) فمن المحتمل أن ابن الهيثم وجد الأمر على هذه الصفة عملياً ، أى أنه قد تبين له بالاعتبار أن أبعد نقطة تتجمع عليها الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة الزجاجية يكون بعدها عن قطب القطعة المقابلة بقدر ربع قطر الكرة . وإن أعوز ابن الهيثم البرهان على هذا الأمر لقصر المعلومات التى كانت فى متناوله فى عصره ، فمن السهل الآن كما هو معلوم البرهان عليه .

٢٢٦ - بيان وتعليق على مقالة ابن الهيثم فى الكرة المحرقة

ابن الهيثم فى بحوثه التى أوردتها فى مقالة الكرة المحرقة راعى انعطاف الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة ، وقد بين بما ليس يدعى إلى الشك الزيف الكرى فيما يختص بهذه الأشعة التى تعانى عند نفوذها انعطافين . والذى تجدر الإشارة إليه هنا أنه وإن لم يبحث بصفة خاصة عن انعطاف الأشعة المتوازية انعطافاً واحداً عند سطح القطعة الأولى إلا بالقدر اللازم للغرض الذى يرمى إليه من بيان تجمع هذه الأشعة بعد انعطافها الثانى ومواضع تجمعها ، فإن هذا القدر وحده فيه الكفاية لبيان كيفية انعطاف الأشعة المتوازية التى تسقط على السطح الكرى المحذب لجسم من الزجاج ، وتشغل نصف سطح كرتة إذا كان ذلك الجسم ممتداً متصلًا دون أن ينقطع أو يفصل بالنصف الآخر من سطح الكرة ، وفيه الكفاية لبيان الزيف الكرى فيما يتعلق بهذه الأشعة أيضاً .

وبحوث ابن الهيثم تدل دلالة واضحة على أن الأشعة المنعطفة انعطافاً واحداً قد تتلاقى . فالشعاع الذى زاوية سقوطه 40° ينعطف فى الزجاج ملاقيًا على ك (انظر شكل ٢٠٠) الشعاع المنعطف الذى زاوية سقوطه 50° . ولا شك أن

الشعاع الذى زاوية سقوطه أعظم من الخمسين ينعطف ملاقياً انعطافات الأشعة التى زاوية سقوطها ٤٠ أو مادون الأربعين فى داخل كرة الزجاج . ولكن التقاء هذه الأشعة المتوازية بعد انعطافها عند السطح المحدب لم يترتب عليه كما أشرنا من قبل أن راجع ابن الهيثم مذهبه الذى ذهب اليه فى كتابه المناظر ، فى أن الانعطاف عند السطح الكرى لا يكون إلا من نقطة واحدة .

وإن كان ابن الهيثم قد بين فى هذا الصدد أن الشعاع الذى نقطة انعطافه الأول مثل النقطة ع (شكل ٢٠٠) وزاوية سقوطه أعظم من ٥٠ درجة يلقى القطعة المقابلة تحت نقطة ك فى الشكل ، إلا أنه لم يشر إلى أن نقطة الالتقاء هذه قد تكون فيما يلى نقطة ح من ك ، بحيث إذا نفذ الشعاع خارجاً من الكرة لا يمر فعلاً بنقطة على المحور وإنما يلقى امتداده المحور على نقطة . وإن رجحنا كما ذكرنا من قبل (١) أن حكمه الخامس من أحكام الكم يجعله يرى أن زاوية الانعطاف فى الأغظ تؤول قيمتها إلى نصف القائمة إذا آلت زاوية السقوط فى الألف إلى القائمة ، صح لنا أن نستنبط أنه يرى أن الشعاع الساقط على الكرة بزواوية سقوط قدرها قائمة ينعطف انعطافه الثانى من مركز القطعة المقابلة .

وثمة أمر آخر يجدر الإشارة إليه هنا . فابن الهيثم راعى فى بحثه هذا الانعطاف فى كرة من الزجاج ، ولكنه فى ختام مقالته حاول التعميم ، قال « فكل كرة من البلور وماشابهه صحيحة الكرية شديدة الشفيف إذا قوبل بها جرم الشمس فانها تحدث إحراقاً فى خلاف جهة الشمس ، عند بُعد من الكرة يكون أقل من ربع القطر (٢) » . ومثل بالقارورة المملوءة بالماء . فإن أراد بذلك أن يكون الإحراق دائماً على بعد يساوى ربع القطر أو أقل منه ، فقد أخطأ . فاحراق القارورة الرقيقة المملوءة بالماء التى مثل بها يكون على بعد يساوى بالتقريب نصف القطر لاربع القطر كما يستفاد من ظاهر قوله .

(١) أنظر فقرة (٢٠١) من هذا الجزء .

(٢) ص (٣٠٢) من الجزء الثانى من النسخة المطبوعة من التنقيح .

الفصل الثاني

في

الخيالات التي ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية

٢٢٧ - اجتناب ابن الهيثم التوسع في دراسة خيالات المبصرات التي

ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية

لم يتوسع ابن الهيثم كثيراً في بحوثه عن الخيالات التي ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية ، وقد سبق أن ذكرنا أنه اكتفى من ذلك بنبد عن أمور يتفق حدوثها في الواقع ، ضارباً صفحاً عن تفصيل أشياء رأى أن الانسان قلما يشاهدها في الحياة . وهو يعيد الإشارة إلى موقفه هذا في هذا القسم من بحوثه أيضاً^(١) وفي أكثر من موضع واحد ، ويضرب لذلك الأمثال . فيمثل بالجسم الكري المشف الغليظ الذي محده يلى البصر إذا كان المبصر من وراء مركز سطحه الكري فيقول « لأن ذلك ليس يكون إلا إذا كان الجسم الكري من الزجاج أو حجراً من الأحجار المشفة وكان ذلك الجسم الكري مصمتاً وكان المبصر في داخله ، أو يكون الجسم الكري قطعة من كرة أعظم من نصف كرة ويكون المبصر ملتصقاً بقاعدته . وهذان الوضعان قل ما يتفقا . فليس الذي بهذه الصفة من المبصرات المألوفة ، فلذلك لا ينبغي أن نشغل بذكر ما يعرض في هذه المبصرات من الأغلاط^(٢) » . ويضرب مثلاً آخر فيقول « وليس في المبصرات المألوفة شيء يدركه البصر من وراء جسم مشف كرى أغلظ من الهواء يكون مقعره يلى البصر . لأن ذلك إن كان من الزجاج أو حجراً من

(١) الفصل السابع من المقالة السابعة وهو آخر فصول كتاب المناظر .

(٢) و (١٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

الأحجار، فيجب أن يكون ذلك قطعة من كرة جوفاء ويكون المبصر في داخل تلك الكرة، أو يكون سطحه الذي من وراء التقعير مستوياً ويكون المبصر ملتصقاً به، وهذان الوضعان لا يوجدان. وإن وجدا فليس يكونان إلا فذاً نادراً. فلا وجه للاشتغال بهما (١).

وإحجام ابن الهيثم عن التوسع في دراسة هذه الأمور وأشباهاها، قد أتاح لمن جاء من بعده من العلماء فرصة البحث في موضوع بكر متسع مثمر، جلب عليهم نفع الكشف عن فعل العدسات واستعمالها في الأغراض المختلفة التي أدت في النهاية إلى اختراع النظارات، التي تصلح بها عيوب العين، وأنواع المناظير المستعملة لرؤية المبصرات البعيدة والمبصرات الصغيرة وما إلى ذلك. وإحجام ابن الهيثم عن التوسع في دراسة هذه الموضوعات، ربما لم يكن سببه الوحيد زهده عن الانصراف إلى أمور ظن أن ليس فيها فائدة ترتجى، ورآها بعيدة عن الاتصال بشؤون الحياة. فربما كان له سبب آخر هو تعقد هذه المسائل عليه وخروجها عن طاقته. ونحن لا نريد هنا أن ننفي نفياً قاطعاً مثل هذه الاحتمالات، وإن كنا نرى حقاً أنه كان في مقدوره بحث كثير من هذه المسائل، كالمثالين اللذين أوردناهما هنا بألفاظه وأشباهاهما، قياساً على المسائل التي تناول بحثها، وبمثل ما اتبعه من طرق البحث فيها.

ومن الانصاف أيضاً أن نقول إن العدسات لم يكن أمرها معروفاً في عصر ابن الهيثم. وإن تبين بالبحث عن الآثار والتنقيب عنها، أن عدسة استكشفت في مقبرة رومانية قديمة أو أن عدسة ثانية أو ثالثة قد وجدتاً إحداها في إنجلترا والأخرى في مدينة «ميمياي» (٢) أو تبين أنه من المحتمل أن الكلدانيين قد كان لهم علم بالعدسات، فليس ذلك يدل على أن العدسات كانت معروفة أو شائعة أو كانت تصنع في عصر ابن الهيثم، ومن الثابت الآن أن العدسات أول ما ورد ذكر استعمالها كمنظارات لإصلاح عيوب العين، كان في العام الأخير من القرن

(١) و (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

(٢) ماك في كتابه The Principles of Physical Optics الفصل الخامس.

الثالث عشر^(١)، أى بعد عصر ابن الهيثم بثلاثة قرون .

وإن كانت الكرات الزجاجية أو الأجسام الزجاجية التي على هيئة قطعة من كرة ذات قاعدة مستوية ، كان أمرها معروفا وقد استخدمت في المدينيات القديمة في أغراض مختلفة ، وتوجد في المتاحف نماذج كثيرة منها ، فتلک هي التي نسج ابن الهيثم بحوثه حولها . فبحوث ابن الهيثم تشمل حالتين الأولى أن يكون المبصر في جسم مشف كرى أغلظ من الهواء سطحه الكرى المحذب مما يلي البصر . والثانية أن يكون المبصر من وراء كرة من جسم مشف أغلظ من الهواء ويكون منفصلا عنها والبصر على امتداد الواصل من المبصر إلى مركز الكرة في الجانب الآخر منها . والقدر الذي أورده من بحوثه في الحالتين لا يستهان به بحال من الأحوال . وفيه المبادئ الأساسية التي يمكن النهج على منوالها لدراسة حالات أخرى . وفضلا عن ذلك فهو في خلال هذه البحوث يشير إجمالاً إلى كيفية دراسة الحالة العامة وسنبين ذلك في موضعه بعد^(٢) .

وقد اتبع ابن الهيثم في بحوثه طريقته المألوفة . فهو يعين خيال كل من طرفي مبصر على حسب قاعدته لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة ، ويستنبط من ذلك ما يريد أن يستنبط من أمور تتعلق بالعظم والهيئة .

٢٢٨ - خيال المبصر الموهود في مشف أغلظ من الهواء محذب سطحه الكرى مما يلي البصر

يتناول ابن الهيثم في هذه الحالة^(٣) تفصيل الأوضاع المختلفة التي يكون عليها المبصر ، على مثل المنوال الذي اتبعه في بحثه عن خيال المبصر الذي يدرك بالانعطاف عند السطح المستوي ، فيفرض المبصر خطأ مستقيماً ، ويفرض مركز السطح الكرى من ورائه بالنسبة إلى البصر ، ويتوهم المستوي الذي يمر به

(١) Geschichte der Optik, Vol. I تأليف Wilde وقد استشهد به ماك في كتابه .

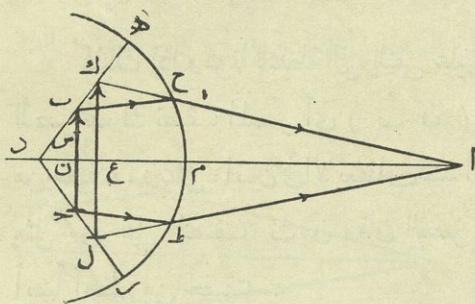
(٢) أنظر ختام الفقرة التالية .

(٣) و ١١٧ — (١٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

خيال المبصر الموجود في مشف أغلاظ من الهواء محدب سطحه الكرى مما يلي البصر ٨١٣

وبمركز السطح الكرى ، ويفرض أولاً مركز البصر واقعاً في هذا المستوى ثم يفرضه بعد ذلك خارجاً عنه .

(أولاً) ليكن مركز البصر في مستوى الخط المبصر ومركز الكرة . ولنفرض أن المبصر هو خط ب ح (شكل ٢٠٣) ومركز الكرة د ،



(شكل ٢٠٣)

ولنخرج مستوى ب ح د فهو

يلقى سطح الجسم المشف على

دائرة ولتكن الميمنة بالشكل .

ولتكن ن منتصف ب ح .

ولنفرض أن الواصل بين د و

ن عمود على ب ح ، ولنفرض

أيضاً أن مركز البصر ا على

امتداد د ن . نصل ا د وليقطع محيط الدائرة على م .

ونخرج د ب و د ح حتى يلقيا المحيط على ه و م على الترتيب .

فالشعاع الوارد من ب إلى ا ينعطف من نقطة من قوس م ه ولتكن

ح ، وانعطفه إلى ضد جهة العمود . فاذا أخرج ا ح فهو يلقى د ه على

نقطة ولتكن ك ، فتكون ك وفقاً للقاعدة خيال ب .

وبالمثل إذا انعطف الشعاع الوارد من ح من نقطة ط من قوس م ر ،

وأخرج ا ط حتى يلقى د م على ل ، كانت نقطة ل خيال ح .

فيكون ك و ل طرفي خيال المبصر ب ح .

ومن التماثل يتضح أن ا ك و ا ل متساويان ، ويتبين أن ك ل أعظم

من ب ح ويوازيه ، وزاوية ك ا ل أعظم من زاوية ب ا ح .

وبما أن زاوية ك ا ل أعظم من زاوية ب ا ح ، ووضع ك ل شبيه

بوضع ب ح ، وليس بين بعدى ب ح و ك ل عن البصر اختلاف يؤثر

في عظم ب ح ، نخط ك ل كما يقول بلفظه « يرى أعظم من خط ب ح و

ك ل هو خيال خط (ب ح) ^(١) . نخط ب ح يرى مقداره أعظم من مقداره

(١) في الأصل « ب د » .

الحقيقي، لأن خياله أعظم منه، ولأن صورته أضعف من صورته الحقيقية^(١)». ويقصد بالضعف ضعف الضوء عند الانعطاف .

ويستنبط ابن الهيثم من هذا أن المبصر يدرك أعظم مما هو عليه للسببين المذكورين في فقرة (٢١١) في الانعطاف عند السطوح المستوية .

كذلك إذا رمزنا للنقطة التي يلتقي عليها د ١ ك ل بالحرف ع، فإن البصر يدرك نصف المبصر أى (ب ن) على ك ع، فيدرك نصفه أعظم من حقيقته، وبمثل ما تبين في الانعطاف عند السطوح المستوية إذا أخذت نقطة مثل س على النصف ب ن، فإن البصر يدرك الجزء ب س من المبصر أيضاً أعظم من حقيقته .

بهذه الكيفية تبين ابن الهيثم أن البصر وهو في مستوى الخط المبصر ومركز الكرة يدرك المبصر أعظم من حقيقته إذا كان الواصل بين مركز الكرة وعموداً على المبصر، سواء مر بمنتصفه كما لو كان المبصر ب ح، أو مر بأحد طرفيه كما لو كان المبصر ب ن، أو قطع امتداد المبصر لا المبصر نفسه كما لو كان المبصر الجزء ب س، أو قياساً على هذا (وإن لم يذكر ذلك ابن الهيثم) إذا لقي الواصل المبصر على نقطة ليست منتصفه كما لو كان المبصر س ح مثلاً .

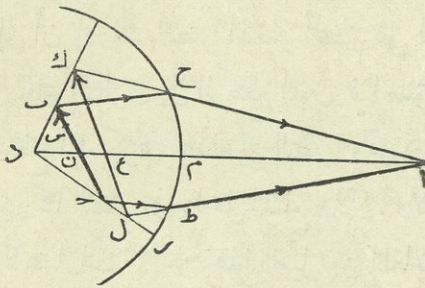
ثم يشرح ابن الهيثم على مثل هذه الطريقة الحالة التي لا يكون فيها الواصل بين د ١ ح عموداً على المبصر أو على امتداده . ويبدأ هنا أيضاً بفرض أن الواصل بين مركز البصر ومركز الكرة يمر بمنتصف المبصر . ففي هذه الحالة أيضاً يكون طرفاً خيال المبصر ب ح نقطتين مثل ك ل (شكل ٢٠٤) . وإن لم يكن ك ل في هذه الحالة موازياً ب ح فهو أعظم منه، وزاوية رؤية ك ل أعظم من زاوية رؤية ب ح، فالبصر ١ يدرك ب ح في هذه الحالة أيضاً أعظم من حقيقته .

خيال المبصر الموجود في مشف أغلط من الهواء محدب سطحه الكرى مما يلي البصر ٨١٥

وبمثل ماتين يوضح ابن الهيثم أنه إذا روعى نصف المبصر أى ب ن ،
أو جزء من نصفه مثل ب س ، فكلاهما يدركه البصر أعظم .

(ثانياً) ليكن مركز البصر خارجاً عن مستوى خط المبصر ومركز المرآة .

وإذا كان البصر ١ خارجاً عن مستوى ب ح د فابن الهيثم يقيس
الأمر على ما قد سبق بيانه في حالة السطح المستوي، وإن كان برهانه الذي



(شكل ٢٠٤)

أورده في تلك الحالة لم يكن

سليماً كما بينا، فهو هنا يشير إلى

الفرق بين الحالتين حيث يقول

« وفي هذا الوضع زيادة على

الوضع الأول (يريد حالة السطح

المستوي) وهو أن ك ل الذي

هو خيال ب ح ، أعظم من ب ح

على الحقيقة ك ع أعظم من ب ن . وهذان الخيالان في الموضع الأول

أعنى إذا كان السطح المشف سطحاً مستوياً مساوياً للمبصرين . فخيال

ك ل وخيال ك ع هما في الزاوية أعظم من المبصرين ، وهما على الحقيقة

أعظم من المبصرين «^(١) في حين أنه في البرهان في حالة السطح المستوي يعد

الواصل بين طرفي الخيال والواصل بين طرفي المبصر في حكم المتساويين .

وبما أن ك ل في هذا الموضع أعظم من ب ح ، وأيضاً زاوية رؤيته

أعظم ، فالبصر يدرك ب ح أعظم .

وابن الهيثم يستنبط من كل ذلك النتيجة التي يريد بها ويقول بلفظه « فيتبين

من جميع ما بيناه في هذا الشكل أن البصر إذا أدرك مبصراً من المبصرات

وكان ذلك المبصر من وراء جسم مشف أغلط من الهواء ، وكان سطح الجسم

المشف كريباً محدباً يلي البصر ، وكان مركز السطح الكرى من وراء المبصر

بالقياس إلى البصر ، فإن البصر يدرك ذلك المبصر أعظم مما هو ، كان البصر

على عمود من الأعمدة الخارجة من (المبصر)^(١) القائمة على السطح السكرى ، أو كان خارجاً عن جميع الأعمدة الخارجة من جميع المبصر القائمة على السطح السكرى ، كان الخط الخارج من مركز البصر إلى وسط المبصر قائماً على المبصر أو كان مائلاً على المبصر . وهذه المعاني هي التي قصدنا لتبيينها في هذا الشكل »^(٢) .

وُسعيد أن ابن الهيثم أورد الاعتبار الذي ذكرناه في فقرة (٢١٠) لبيان إدراك البصر المبصر أعظم من حقيقته عقب بحثه هذا ، وصدره بالإشارة إلى أن إدراك البصر المبصر أعظم على الوجه المذكور ، أى بالانعطاف عند السطح السكرى في الوضع المبين فيما سبق ، يعرض فيما يرى في الماء « لأن سطح الماء كرى محدبه إلى البصر ومركز سطح الماء من وراء المبصرات التي يدركها البصر في داخل الماء »^(٣) . ولا يخفى أن اعتبار سطح الماء كريباً في الاعتبارات التي من هذا القبيل من المغالاة التي لا يعتد بها . ولعل ابن الهيثم يريد أن يتخذ رؤية الأجسام المغمورة في الماء مثلاً عملياً تعرض عليه في الطبيعة الحالة التي بحثها ، ويرر به بحثه الذي أورده في هذا الصدد .

وإن اكتفى ابن الهيثم يبحث هذه الحالة فلم يفتنه في موضع آخر من المناظر^(٤) أن يبين أن المبصر أياً كان موضعه ، إذا أخرجت المستقيمات الواصلة من نقاطه المختلفة إلى المركز حدث منها مخروط رأسه المركز ، أو مخروطان متقابلان رأسهما المركز . فإن اعتبرنا أن موضع خيال النقطة هو نقطة التقاء المنعطف بالعمود ، فخيال المبصر يقع حتماً في حدود أحد هذين المخروطين . فهو قد يكون أعظم من المبصر أو أصغر منه أو مساوياً له ، وذلك بحسب ما إذا كان المبصر في الجسم الأغظ والبصر في الألف أو بالعكس ، وبحسب ما إذا كان السطح الذي يلي المبصر محدباً أو مقعراً ، وبحسب موضع المبصر نفسه من المركز . وبهذه الكيفية يشير ابن الهيثم إجمالاً إلى الطريقة التي يمكن

(١) في الأصل « البصر » .

(٢) و (١٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (١٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) و (٩٥) — و (٩٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

بها البحث عن الأحوال الأخرى التي يدرك فيها المبصر بانعطاف واحد بما لم يتناولوه هو نفسه بالشرح .

٢٢٩ - خيال المبصر الموجود من وراء كرة مشقة من مادة أغلظ

من الهواء

هذه الحالة هي أقرب الحالات التي بحثها ابن الهيثم إلى حالة العدسة المحدبة الوجهين . وهو يقتصر في بحثه على وضع واحد للمبصر هو الوضع الذي تحدث له فيه ما نسميه الآن « صورة تقديرية » . وبحثه في الواقع يتناول انعطاف الأشعة اللامحورية ، التي تسقط لا على امتداد المحور بل بعيداً عنه بالقرب من الحافة ، و يترتب على انعطافها ما ينجم عنه تشوه الصورة .

وابن الهيثم يصدر بحثه هذا بما يبرره ، ويذكر السبب في قصره البحث على الوضع المذكور للمبصر دون غيره من الأوضاع ، ويقول « إلا أنه قد يكون في المبصرات المألوفة ما يرى من وراء جسم مشف كرى أغلظ من الهواء ويكون محدبه يلى البصر إذا كان المبصر من وراء الكرة من البللور أو الزجاج أو ما يجرى مجراهما ، وكان ذلك المبصر في الهواء لا في داخل الكرة . وأوضاع المبصرات التي بهذه الصفة أيضاً كثيرة وكثيرة الفنون ، إلا أن هذه المبصرات قل ما يدركها البصر وإذا أدركها فقل ما يتأملها ويميز اختلاف صورها . فليس في ذكر جميع فنونها كثير حظ . إلا أنا نقتصر على وضع واحد مخصوص من أوضاعها ، وهو أن يكون البصر والمبصر على عمود واحد قائم على سطح الجسم الكرى (١) . »

ولبيان طريقة ابن الهيثم في معالجة هذا الموضوع (٢) لنفرض أن مركز الكرة نقطة ه (شكل ٢٠٥) ولنخرج القطر ب ه د من جهتيه وليلق أحد المستويات المارة به سطح الكرة على الدائرة المبينة بالشكل . فإذا فرضنا أن الجسم المشف الأغلظ متصلًا ممتداً إلى جميع النقاط التي تلى د من المركز ه ،

(١) و (١٢٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (١٢٢) — و (١٢٣) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

غير منقطع بمحيط الدائرة من هذه الجهة ، فان بحث ابن الهيثم الذي أوردناه في فقرة (٢١٧) يدل على أنه إذا أخذت نقطة مثل ط (شكل ٢٠٥) على محيط الدائرة وأجرى العمل الهندسي الوارد فيه ، أمكن الاستدلال على أن شعاعاً يرد من نقطة مثل ل على امتداد القطر يمتد على المستقيم ل ط في مستوى الشكل ، وينعطف عند ط في الوسط الألف إلى ضد جهة العمود . ويلقى امتداد القطر من جهة ب على نقطة وتكن ١ . وبالمثل يمكن الاستدلال أيضاً على أن شعاعاً يرد من نقطة مثل ح أقرب إلى د من النقطة الأولى ل (١) يمتد على المستقيم ح > وينعطف عند > ويلقى القطر المخرج من جهة ب على نقطة ١ نفسها .

فاذا فرضنا الآن أن الوسط المشف الغليظ كرة ، وفصل الانعطاف محيط الدائرة المبين بالشكل ، فمحيط الدائرة يقطع ل ط على نقطة وتكن ن ، ويقطع ح > على نقطة وتكن م . وإذا فرضنا أن شعاعاً يمتد على استقامة ط ن في الكرة الغليظة فهو ينعطف عند ن إلى خلاف جهة العمود ، فيلقى امتداد القطر على نقطة وتكن ع . وبالمثل الشعاع الممتد على استقامة ح م في الكرة إذا انعطف عند م فهو ينعطف إلى ضد جهة العمود ، فيلقى امتداد القطر على نقطة وتكن ك . فاذا فرضنا أن ك ع هو المبصر ، تبين وفقاً لقاعدة قبول العكس أن الشعاع ك م الوارد من أحد طرفيه ينعطف أولاً على امتداد م > ، ثم ثانياً على امتداد ح ١ . والشعاع ع ن الوارد من طرفه الآخر ينعطف أولاً على امتداد ن ط ، ثم ثانياً على امتداد ط ١ . فاذا كانت نقطة ١ مركز البصر فابن الهيثم يستنبط من هذا أن البصر يدرك خيال ك من سمت ١ > ، وخيال ع من سمت ١ ط .

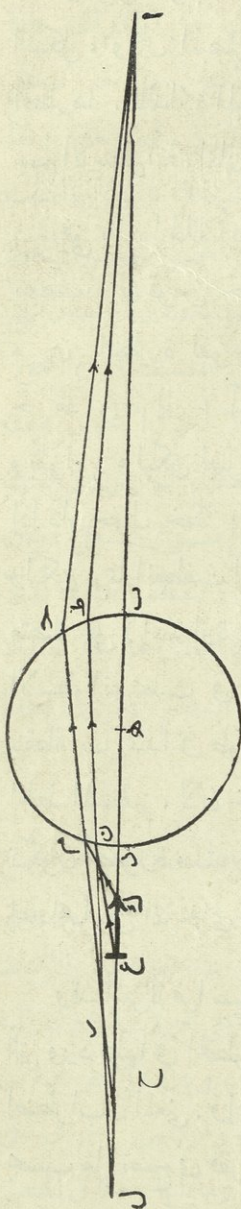
(١) يجدر بنا أن نشير هنا إلى أن نقطتي ل و ح قد أبدل وضع احدهما بوضع الأخرى في الشكل الملحق بهذا البحث على ما هو وارد عليه في المخطوطات وأيضاً في التنقيح ، وهو لا شك خطأ . وقد تنبه الفارسي إلى هذا الأمر . وخطأ الشكل قد يكون من الناسخ . وما يوجد من الأشكال في المخطوطات لا يمكن الاعتماد عليها كثيراً . وفي نظرنا أنه مالم يترتب على الخطأ في الشكل خطأ في منطق البرهان يخل به فمن الانصاف التجاوز عنه .

وبالمثل يدرك خيال أية نقطة من المبصر فيما بين ك و ع من سمت يقع بين سمتي ١ و ٦ ط . فاذا توهمنا أن الشكل قد أدير حول المحور

١ هـ ل ، حدث من دوران ط ح شكل مستدير كالحلقة ، ومن دوران م ن آخر كالحلقة أيضاً ، ويتبين أن الأضواء الواردة من نقاط المبصر ك ع إلى نقاط الشكل الحلقي الثاني تنعطف من نقاط الشكل الحلقي الثاني أولاً ثم من نقاط الشكل الحلقي الأول ثانياً وترد بعد ذلك إلى المبصر ١ .

تلك هي الفكرة الأساسية التي عالج بها ابن الهيثم هذه الحالة . وهو يستنبط من ذلك أن المبصر ١ يدرك المبصر ك ع في هذه الحالة ولكن يدركه على صورة تخالف حقيقته .

وابن الهيثم يذكر في هذا الصدد اعتباراً للتحقق من هذا الأمر عملياً (١) . فاذا أتى بقطعة صغيرة من الشمع « على قدر الحمصة » وجعلت على شكل كرة صغيرة ، وسودت لكي تظهر للمبصر بسهولة ، وغرزت على رأس إبرة ، ثم أتى بكرة من البللور وجعلت كرة الشمع على جانب منها باستواء مركزها ، ثم نظر من الجانب الآخر ببصر واحد ، وجعل المبصر على امتداد الخط الواصل بين مركزي الكرتين ، أمكن بتغيير موضع كرة الشمع بتقديمها نحو الكرة المشقة أو تأخيرها عنها ، الحصول على الموضع المناسب



الذى يدرك البصر فيه صورة كرة الشمع كحلقة مستديرة من السواد .

وهو يذكّر بعد ذلك نبذة قصيرة عما يرى إذا كان الجسم المشف أسطوانى الشكل ، وكان المبصر ك ع ومركز البصر ا على امتداد قطر واحد من أقطارها . فالدائرة المبينة بالشكل تكون مقطع سطحه بالمستوى العمود على سهم الأسطوانة ، المار بالقطر الذى يمتد عليه المبصر ويقع عليه مركز البصر .

ففى هذه الحالة أيضاً يتبين أن الضوء الوارد من ك ع إلى قوس م ن ينعطف إلى قوس ح ط ثم إلى ا . وبالمثل الضوء الوارد إلى القوس م ن ، النظيرة لقوس م ن ينعطف إلى قوس ح ط ، النظيرة لقوس ح ط ، ثم إلى ا أيضاً . فيدرك البصر ا بهذه الكيفية صورتين للمبصر ويقول « ولكن ليس تكون هذه الصورة مستديرة ، لأن شكل ا ح م ك إذا دار حول خط ا ك فليس يمر قوس ح ط بجميع سطح الأسطوانة . ولكن ربما انعطفت الصورة من بعض قطوع الاسطوانة ، إلا أنها لا تكون متصلة على (استدارة)^(١) لأن السطح الذى يخرج من خط ا ك ويمر بسهم الاسطوانة يحدث فى سطح الأسطوانة الذى يلي بصر ا خطاً مستقيماً يمر بنقطة ب ممتداً فى طول الاسطوانة ، ولا تنعطف صورة خط ك ع من ذلك الخط المستقيم ، لأن خط ك ب يكون عموداً على ذلك الخط المستقيم . فليس تكون الصورة مستديرة إذا كان الجسم أسطوانياً ، بل تكون صورتين منعطفة إحداهما عن الأخرى فيرى خط ك ع اثنتين . »^(٢)

وقد أشرنا فيما سبق إلى الخطأ فى الشكل الملحق بهذا البحث على الصورة التى ورد عليها فى المخطوطات ، ولكنه خطأ لم يترتب عليه إخلال فى الشرح أو اضطراب فى المعنى . وإذا تجاوزنا عنه أو صححناه بما يتفق وسياق أقوال ابن الهيثم بحسب ما اتضح فى فقرة (٢١٧) أصبح هذا البحث الذى أوردناه هنا من

(١) فى الأصل « استقامة » .

(٢) و (١٢٤) ، و (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

أعظم بجوئه خطورة وأجلها شأنًا . ولا يقلل من خطره طريقة ابن الهيثم الخاصة في عرضه . ويتضح هذا إذا عدلنا قليلا الفروض التي بنى عليها البحث في حدود المعلومات التي لاشك أنه قد أحاط بها وأدركها حق الإدراك . فإذا سلمنا أن الشعاع ك م (شكل ٢٠٥) ينعطف أولا على م > ثم على ح ١ ، وأن الشعاع ع ن ينعطف على ن ط ثم ط ١ ، فمعنى هذا وفقا لقاعدة قبول العكس أنه إذا كانت ١ نقطة مضيئة فالشعاع ١ ط ينعطف على ط ن ، والشعاع ١ > ينعطف على ح م ، فإذا كان الجسم المشف الأغلظ متصلا ممتدا إلى ما وراء القوس م ن د ، فالشعاعان المنعطفان يلتقيان على نقطة مثل م ر ، ثم ينفرجان ماراً أولها بنقطة ل على مانسميه الآن المحور وماراً ثانيهما بنقطة ح عليه . فإذا أدير الشكل قليلا حول المحور بحيث يحدث من دوران القوس ح ط قطعة صغيرة من السطح الكرى ، ويحدث من دوران م ر قوس صغيرة بمشابة خط قصير عمود على مستوى الشكل ، تبين أن الأشعة الواقعة من ١ على سطح القطعة المذكورة تنعطف مرة أولا بالخط القصير الذي تحدته نقطة م ر ثم بالخط ح ل الذي هو على امتداد المحور . وهذا بإيجاز هو الزيغ الحادث بالانعطاف عند السطح الكرى ، وهذا أيضاً معنى « اللانقطية » .

وليس الأمر مقصوراً على هذا . فالطريقة التي عالج بها ابن الهيثم الموضوع لها في ذاتها قيمتها وخطورتها . إذ يتضح بقليل من التأمل أن ابن الهيثم لكي يبين ما يؤول إليه انعطاف الضوء الوارد من المبصر ك ع عند نفوذه من الوسط الألف في الأغلظ ، ثم من الأغلظ إلى الألف ، راعى أولا ما يؤول إليه انعطاف الضوء الوارد من ك ع إلى السطح الذي يليه ، وبين على طريقته أن الأمر يؤول إلى اعتبار الضوء عند انعطافه الثاني كأنه وارد من ح ل في الجسم الأغلظ ، إذا اعتبرناه متصلا ملتصماً إلى نقطة ل وما يليها . فكان المبصر ك ع الموجود في الجسم الألف قد استبدل به عند مراعاة الانعطاف الثاني مبصر تقديري هو ح ل موجود في الجسم الأغلظ ، وهذه هي الطريقة التي

تتبع في الوقت الحاضر لبحث الموضوعات المشابهة لهذا الموضوع . فعند البحث عن خيال يحدث للمبصر بانعطافين أو أكثر ، يبحث أولاً عن الخيال الذي يحدث له بانعطاف ضوئه عند السطح الأول الواقع عليه الضوء رأساً وهو ينفذ من الوسط الأول إلى الوسط الثاني ، فإذا تعين هذا الخيال أغفل المبصر نفسه وأغفل الوسط الأول وعد الخيال في حكم مبصر جديد حقيقياً كان أو تقديرياً موجوداً في الوسط الثاني ، وبحث عن خياله الذي يحدث بانعطاف الضوء الوارد منه في الواقع أو في التقدير وهو ينفذ عند السطح الثاني من الوسط الثاني إلى الوسط الثالث ، وهكذا بحسب عدد السطوح وعدد الانعطافات .

الفصل الثالث

في

بحوث ابن الهيثم عن الظواهر الجوية المترتبة على انعطاف الضوء

٢٣٠ — مجل ماعنى ابن الهيثم بحوثه عن الظواهر الجوية التى تنجم

عن انعطاف الضوء

عاج ابن الهيثم شرح كثير من الظواهر التى تحدث عن انعطاف الضوء فى الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية ، وهى ظواهر لها علاقة بعلم الفلك والأرصاد الفلكية خاصة . وبحوثه فى الموضوع هى من غير شك من أجل بحوثه العلمية . وقد سلك فى تتبعها سبيلاً جديراً بالإشارة إليه فى هذا المقام . فأول ما أورده فى كتابه المناظر مما يتعلق بهذا الموضوع ، كيفية الاستدلال بالاعتبار على أن الضوء الوارد من الأجرام السماوية يعانى عند نفوذه فى الطبقة الهوائية المحيطة بالأرض انعطافاً . والغرض الذى يرمى إليه من وراء الاعتبار التحقق من حدوث هذا الانعطاف ، والتحقق من الاتجاه الذى ينعطف إليه الضوء ، هل هو إلى جهة العمود ، أو هو إلى ضد جهة العمود ؟ حتى إذا ثبت بالاعتبار أن الانعطاف هو إلى جهة العمود ، استدل من ذلك على أن الضوء الوارد من الأجرام السماوية يرد من وسط أल्प وينعطف فى وسط أغلظ ، فيكون ما يسميه هو « جسم السماء » أشد لطافة وأشد شفيفاً من « جسم الهواء » .

فاذا ما فرغ من هذا البحث استعان بالقياس فى بيان ما يترتب على

حدوث هذا الانعطاف من الأمور التي لها علاقة بالرصد كاختلاف أوضاع الكواكب وأعظامها ، وأبعاد ما بين بعضها والآخر .

وسنوالى فيما يلى بالتفصيل سرد هذه البحوث ومناقشة ماتتضمنه من المعانى

٢٣١ - ذات الحلقى

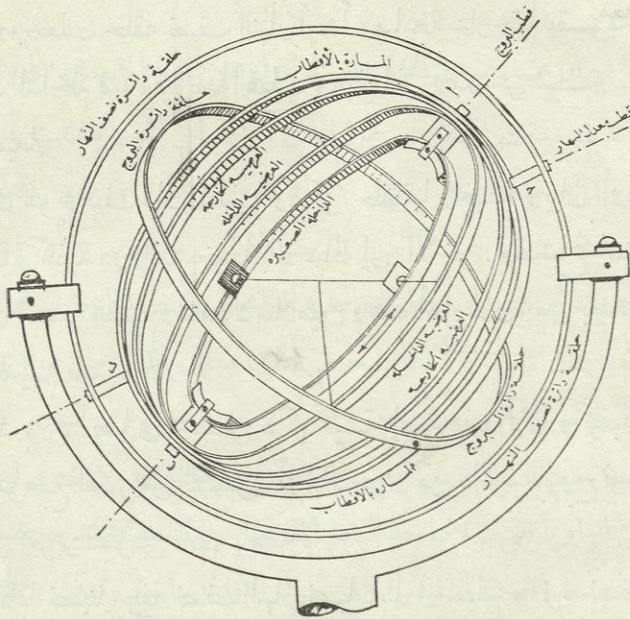
وقد أورد ابن الهيثم لىكى يثبت أن جسم السماء أشد لطافة وشفيفاً من جسم الهواء اعتبارين اثنين . أحدهما وهو الذى نتناوله بالشرح أولاً ، الاعتبار « بذات الحلق » . وابن الهيثم قد ذكر هذا الاعتبار بشئ من الإيجاز ، دون أن يضمه وصف الآلة أو بيان ما تستخدم الآلة من أجله . ونقدم له فيما يلى بذكر هذه الآلة ووصفها على القدر اللازم لتوضيح الاعتبار .

وذات الحلق آلة فلكية قديمة ذكرها بطليموس فى المجسطى ، وهو فى صدد بيان كيفية تعيين موضع القمر بالاضافة إلى دائرة البروج (١) . والآلة بحسب الوصف الوارد فى المجسطى تتركب من حلقات مستديرة بعضها فى داخل بعض ، قابلة للدوران حول محاور مثبتة بكيفية خاصة بحيث تؤدى كل حلقة منها غرضاً خاصاً . ومن حلقاتها ثنتان مثبتتان إحداها بالأخرى تثبيتاً محكماً بحيث يكون مستوى إحداهما عموداً على مستوى الأخرى ، تقوم إحداهما مقام دائرة البروج (انظر شكل ٢٠٦) وهى الدائرة التى يمثل مستواها فلك الأرض حول الشمس ، والتى تدل فى اصطلاح الفلك القديم على مدار الشمس فى البروج ، وهذه الحلقة مقسمة « بأجزاء الدرج وأقسامها ما أمكن » . وتقوم الثانية مقام الدائرة « المارة بالأقطاب » (٢) الأربعة . بحسب التعبير الوارد فى المجسطى . أى أن قطرها ١ ب العمود على مستوى الأولى يمثل محور دائرة البروج ، والقطر حد الذى يحيط مع هذا بزواية قدرها $\frac{1}{4}$ ٢٣ درجة بالتقريب .

(١) المقالة الخامسة من كتاب المجسطى تحرير نصير الدين الطوسى — مخطوط دار الكتب المصرية .

(٢) اللفظ الوارد فى المخطوط فى جميع المواضع « الأقطار » وقد صححناه بما يتفق وانسجام المعنى .

يمثل المحور المار بقطبي العالم . وكانوا يسمونهما أيضاً قطبي معدل النهار ، ويطلقون على المحور المار بهما « محور حركة الكل » . وعند موضعي قطبي دائرة البروج (١ ٦ ب) من المارة بالأقطاب وتدان اسطوانيان ناتئان إلى الخارج وإلى الداخل . مثبت فيهما حلقتان قابلتان للدوران حول السهم المشترك للوطين ، إحداهما تمس كلا من المارة بالأقطاب وحلقة دائرة البروج من



(شكل ٢٠٠)

الخارج أى من محدبتيهما ، وتسمى العرضية الخارجة ، والثانية تمسهما من الداخل ، أى من مقعريهما وتسمى العرضية الداخلة ، وهذه أيضاً مدرجة . وتركب في العرضية الداخلة حلقة أخرى صغيرة بها ثقبان متقاطعان ، يرصد بهما القمر أو الكوكب المعنى به ، وهذه الحلقة الصغيرة لا يخرج بسيطها عن بسيط العرضية الداخلة ، ولكنها قابلة للدوران حول محور مار بالمركز عمود على بسيط الحلقتين ، حتى يتسنى توجيه خط الثقبين بحسب الإرادة .

وأيضاً عند موضعي قطبي حركة الكل (٦ د) وهما قطبا دائرة

معدل النهار من المارة بالأقطاب ، وتدان اسطوانتان ناتئتان إلى الخارج مثبتت فيهما حلقة ، بحيث تكون قابلة للدوران حول السهم المشترك للوتين ، وتحيط بالحلقات جميعاً وتقوم مقام دائرة نصف النهار .

ويقول الطوسي في تحريره للمجسطى « وفي بعض النسخ جعلت العرضيتان معاً داخل البروج ، لتتم دورتهما من غير أن يزاحم إحداهما وتدا قطبي معدل النهار وذلك أصوب » . وقد جعلنا الشكل الموضح لتركيب الآلة على هذه الصفة . ثم قال « وجعلت حلقة نصف النهار أيضاً مضاعفة خارجتها مقسومة بالأجزاء لتتحرك الداخلة فيها ، فيرتفع القطب في كل أفق بقدر عرضه . وصارت الحلق سبعة » (١) .

ذلك هو وصف ذات الحلق وذكر حلقاتها المختلفة وبيان أوضاع هذه الحلقات وكيفية دورانها بعضها بالاضافة إلى الآخر . وقد شاع استعمال ذات الحلق في العصر القديم وعند الاسلاميين وعند أهل أوروبا من بعدهم ، وكانت تعرف لديهم باسم « الارملا » (٢)

وقد ورد أيضاً في المجسطى ذكر كيفية إقامة هذه الآلة وكيفية استعمالها لتعيين موضع القمر من الشمس ، أو بالأحرى من دائرة البروج نوره فيما يلي نقلا عن تحرير الطوسي ، قال بلفظه .

« فإذا نصبنا حلقة نصف النهار نصبا ثابتا في سطح دائرة نصف النهار ، قاطعا سطحها سطح الأفق على قوائم ، مرتفعا أحد قطبي معدل النهار منها عن موازاة سطح الأفق بقدر عرض البقعة ، كان مدار الحلق داخلها حول قطبي معدل النهار شديها بحركة الكل . فلما نصبناها ، فتى تها كون الشمس والقمر معا ظاهرين ، جعلنا العرضية الخارجة قاطعة لفلك البروج على الجزء الذي فيه الشمس في ذلك الوقت ، وأدرنا المارة إلى أن يصير ذلك التقاطع محاذياً للشمس ، فستظل الحلقتان بنفسهما . وإن كان القياس من كوكب غير الشمس

فإلى أن يرى السكوكب في موضعه من حلقة البروج لاصقاً ببسيطها معا، وحينئذ تصير حلقة البروج في سطح دائرة البروج وعلى وضعه. ثم كنا ندير العرضية الداخلة نحو القمر أو غيره بما نريد قياسه، وندير داخلتها الصغيرة نحو القطبين إلى أن يرى القمر بالثقبين معا، فيكون موضع تقاطع هذه العرضية وحلقة البروج من حلقة البروج، موضع القمر في الطول، وما بين وسط الثقبية وحلقة البروج من أجزاء العرضية الداخلة عرض القمر» (١)

٢٣٢ - الاعتبار بذات الحلق المستعمل على الانعطاف في الطبقة الهوائية والاعتبار بذات الحلق للغرض الذي أراده ابن الهيثم يتطلب أن تنصب الآلة نصبها الصحيحة، بحيث يمر امتداد الواصل بين موضعي قطبي معدل النهار من حلقة دائرة نصف النهار بالنجم القطبي، وبحيث يكون بسيط هذه الحلقة رأسياً، ثم يسوى بسيط العرضية الداخلة ببسيط المارة بالأقطاب، فإذا أديرت بعد ذلك المارة بالأقطاب حول قطبي معدل النهار حتى يوازي بسيطها نجما من النجوم الثوابت، وأديرت حلقتها الصغيرة حتى يرى النجم على امتداد خط الثقبين، كانت الزاوية المحصورة بين خط الثقبين وبين محور قطبي معدل النهار، هي الزاوية التي يوترها بعد النجم المذكور عن القطب عند موضع الرصد. ونظرا لانعدام اختلاف المنظر (٢) من جراء البعد الشاسع، تكون تلك الزاوية هي الزاوية التي يوترها بعد النجم عن القطب عند مركز الأرض، أي عند مركز العالم بحسب اصطلاح الفلك القديم.

واعتبار ابن الهيثم يتلخص في تخيير نجم من النجوم الثوابت التي تمر بسمت الرأس أو قريباً جداً منه، وقياس هذه الزاوية والنجم أولاً عند الأفق أو قريباً جداً منه، ثم قياسها ثانياً والنجم عند سمت الرأس أو قريباً جداً منه. ولخطورة هذا الاعتبار نورد فيما يلي ما جاء في وصفه، قال بلفظه.

(١) ص (٤٧) من مخطوط دار الكتب المصرية.

(٢) « اختلاف المنظر » هو الاصطلاح القديم الذي كانوا يطلقونه على الظاهرة التي يدل

عليها الآن لفظ « Parallax ».

« فليعتمد (أى المعتبر) الآلة التى تسمى ذات الحلق وينصبها فى موضع مرتفع من الأرض ، بحيث يظهر منه أفق المشرق وبنصبه ذات الحلق التى تخصها . وهى أن تجعل الحلقة التى فيها التى تقوم مقام دائرة نصف النهار فى سطح دائرة نصف النهار ، ويكون القطب الذى فيها مرتفعاً عن الأرض بقدر ارتفاع قطب العالم عن أفق الموضع الذى تنصب فيه . فإذا كان فى الليل اعتمد كوكبا من الكواكب الثابتة الكبار التى تسمى الرأس فى ذلك الموضع ، أو قريباً جداً من سمت الرأس ، ويراعيه فى وقت طلوعه من أفق المشرق . فإذا طلع الكوكب فليدرك الحلقة من ذات الحلق التى تدور حول قطب معدل النهار إلى أن توازى الكوكب ، ويحقق موضع الكوكب من الحلقة . فيحصل له بذلك بعد الكوكب عن قطب العالم . ثم يراعى الكوكب إلى أن يصير إلى دائرة نصف النهار ، ويحرك الحلقة التى كان حركتها حتى توازى الكوكب . فيحصل له بذلك بعد الكوكب عن قطب العالم عند كونه على سمت الرأس أو قريباً جداً من سمت الرأس . فإذا فعل المعتبر ذلك فإنه يجد بعد الكوكب عن قطب العالم فى وقت طلوعه أقل من بعده عن قطب العالم (عند) كونه على سمت الرأس^(١) .

والنتيجة التى يستنبطها ابن الهيثم من هذه التجربة « أن إدراك البصر للكواكب إنما هو بالانعطاف لآعلى استقامة » . وهو يبين السبب ويقول « وذلك أن الكوكب الثابت يتحرك أبداً على دائرة واحدة من الدوائر الموازية لمعدل النهار وليس يخرج عنها ، ولا يظهر خروجه عنها إلا فى الزمان الطويل . فلو كان (البصر)^(٢) يدرك الكواكب على استقامة لكانت خطوط الشعاع تمتد من البصر إلى الكواكب على استقامة ، وكانت صورة الكواكب تمتد على خطوط الشعاع على استقامة إلى أن تصل إلى البصر . ولو كانت الصورة تمتد من الكواكب إلى (البصر)^(٣) على استقامة لكان البصر يدرك الكوكب فى موضعه . فلو كان

(١) و (٥٦) ، و (٥٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر . ولم يرد اللفظ المحصور بين القوسين فى الأصل .

(٢) الوارد فى الأصل « الذى »

(٣) الوارد فى الأصل « المبصر »

يدرك الكوكب في موضعه لكان يجد بعد الكوكب الثابت عن قطب العالم أبداً في الليلة الواحدة بعداً واحداً لا يتغير . . . فن اختلاف بعد الكوكب الواحد في الليلة الواحدة عن قطب العالم في رأى العين ، يظهر ظهوراً بينا تسقط معه الشبهات ، أن إدراك البصر للكواكب إنما هو بالانعطاف^(١) .

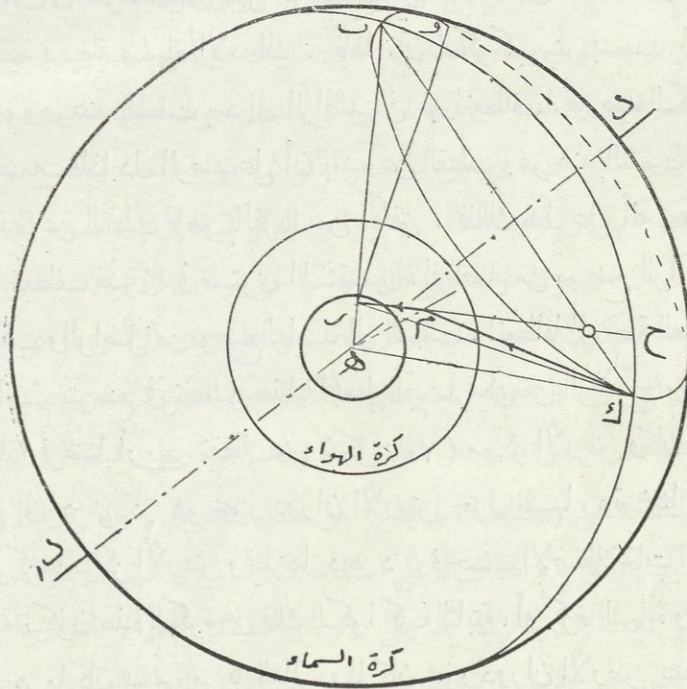
ويعود ابن الهيثم بعد قليل إلى تجربته هذه مرة أخرى ليبين بها أن الانعطاف في الهواء هو من قبيل الانعطاف من الألف في الأغلاظ . والفكرة الأساسية بسيطة وسهلة الإدراك . فإذا كان الكوكب يمر بسمت الرأس فضوؤه وهو عند السمت يرد إلى الراصد من غير انعطاف ، فيرصد الكوكب في موضعه . فإذا دل الرصد على أن بعده عن القطب وهو عند السمت أعظم من بعده عن القطب وهو بالقرب من الأفق ، فذلك يدل على أنه وهو عند الأفق ينعطف ضوؤه في مستوى المستقيمين ، الواصل من موضع الراصد إلى الكوكب والواصل من موضع الراصد إلى السمت ، انعطافاً إلى جهة العمود . وابن الهيثم يتوسع في تفصيل هذا^(٢) على أتم ما يمكن من الوضوح والدقة . فإذا فرضنا أن نقطة هـ (شكل ٢٠٧) مركز الأرض وكان قطرها المخرج إلى د ٦ ، هو محور دوران الأرض حول نفسها ، وتوهما الكرة التي مركزها مركز الأرض وقطرها د هـ ١ ، فيحسب الاصطلاحات الفلكية القديمة تكون هذه الكرة هي فلك الكواكب الثابتة ، أو كرة السماء ، وتكون نقطة هـ ما كان يسمى مركز العالم . ولما كان محور دوران الأرض يشير نحو النجم القطبي فليكن النجم القطبي على امتداد د هـ ، فتكون نقطة د موضع النجم القطبي من كرة السماء ، وتمثل في الشكل ما كان يسمى قطب العالم . والنجوم الثوابت تعد كأنها ثابتة في كرة السماء^(٣) . وتعد كرة السماء كأنها تدور حول القطر د هـ ١ دورة كاملة في اليوم الواحد ، والأرض ساكنة في موضعها وثابتة لا تدور .

(١) و (٥٧) — و (٥٨) . من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٥٩) — و (٦١) . من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) . يجدر بنا الإشارة إلى ما ذكره ابن الهيثم في أقواله السابقة عن تغير أوضاع النجوم الثوابت مع الزمان الطويل ، وهو أمر له خطورته وحقيق بنا أن نؤكد .

فاذا فرضنا أن الموضع من سطح الأرض الذي يرصد منه الكوكب نقطة م فإن هذه النقطة تمثل ما يعبر عنه ابن الهيثم بمركز البصر . والمستوى المار بمحور دوران الأرض ونقطة م هو ما نسميه الآن مستوى الزوال . وهو بحسب اصطلاحات الفلك القديم المستوى المار بمحور دوران ذلك الكوكب الشابت والموضع المفروض على سطح الأرض . وإذا أخرج هذا



(شكل ٢٠٧)

المستوى لقي كرة السماء على محيط دائرة ، هي التي كانت تسمى دائرة نصف النهار . وهو يلقي أيضاً كرة الأرض على دائرة يكون خط الطول للمكان المعين على سطح الأرض نصف محيطها . والمستقيم الواصل من هـ إلى م إذا أخرج وقع سمت الرأس بالنسبة إلى نقطة م على امتداده . وهو يلقي كرة السماء على نقطة ولتكن ب المبينة بالشكل .

وبما أن الضوء الممتد على سمت العمود لا ينعطف ، تبين أن الكوكب إذا كان عند السمت وصل ضوءه إلى م من غير انعطاف ، فيدركه البصر على

امتداد هـ م ، ويدركه في موضعه الحقيقي من كرة السماء ، وتمثل نقطة ب إذن موضعه الحقيقي . فإذا توهمنا الشكل قد أدير دورة كاملة حول د ه د ، حدث من دوران ب في سطح كرة السماء محيط دائرة ، يكون هو في اصطلاح القدماء المدار الحقيقي الذي يدور عليه الكوكب الثابت حول القطب دورته اليومية . وليكن محيط هذه الدائرة و ب ك . وإذا قيس بعد الكوكب الثابت عن قطب العالم والكوكب عند سمت الرأس ، كان هذا البعد هو زاوية ب ه د ، لأن اختلاف المنظر بالنسبة إلى الكوكب الثابت في حكم العدم ، وتكون هذه الزاوية هي المقدار الحقيقي لبعده الزاوي عن القطب أيأ كان موضع الكوكب . والمستوى الذي يمس كرة الأرض عند م هو أفق هذا المكان . وإذا توهمنا هذا المستوى وقد أخرج ، فان محيط دائرة و ب ك يلقاه على نقطتين ولتكونا ك ه و . وتمثل إحدهما ولتكن ك الموضع الحقيقي للكوكب عند شروقه ، وتمثل الأخرى موضعه الحقيقي عند أفوله .

واعتبار ابن الهيثم يدل على أن بعد الكوكب عن القطب والكوكب عند الأفق أو قريباً منه ، أصغر من بعده وهو عند السمت . فالكوكب وموضعه الحقيقي ك لا يدرك عند الاعتبار عند نقطة ك ، نفسها ، بل يدرك في موضع من كرة السماء أقرب إلى القطب د من محيط الدائرة و ب ك . وذلك لأنه لما كان الموضع الحقيقي للكوكب هو نقطة ك والضوء الوارد من ك إلى م إذا انعطف ينعطف في مستوى ب ه ك ، ومستوى ب ه ك يلقى كرة السماء على عزيمة ولتكن ب ح ك كلمين بالشكل ، فإنه إذا كان امتداد الضوء في السماء على سمت ك م ، وانعطافه في كرة الهواء (نحو العمود) على سمت م م ، فان المستقيم م م إذا أخرج لقي كرة السماء على نقطة من قوس ب ح ك ، ولتكن نقطة ح المبينة بالشكل . فلا يرى الكوكب عند موضعه الحقيقي ك وإنما يرى عند ح ، حيث يكون بعده الزاوي عن القطب د بحسب الرؤية أصغر من بعده الزاوي في الواقع . أما إذا كان انعطاف الضوء إلى ضد جهة العمود ، كان البعد الزاوي بحسب الرؤية أعظم . فإذا ثبت الأمر الأول بالاعتبار

يتبين أن انعطاف الضوء من السماء في الهواء هو من قبيل الانعطاف من وسط أليف في وسط أغلظ .

تلك هي الفكرة التي تتضمنها أقوال ابن الهيثم في هذا الشأن . وهو يختم أقواله هذه بقوله « فقد تبين أن ما يوجد بالاعتبار من رؤية الكواكب ، يدل دليلاً برهانياً على أن إدراك البصر للكواكب إنما هو بالانعطاف ، وأن جسم الهواء أغلظ من جسم السماء ، وأن جسم السماء أصفى وأشد شفيفاً من جسم الهواء ، وذلك ما أردنا أن نبين » (١)

٢٣٣ - الاعتبار بالقمر المستدلل على الانعطاف في الطبقة الهوائية

والاعتبار الثاني الذي ذكره ابن الهيثم هو الاعتبار بالقمر . والفكرة الأساسية في هذا الاعتبار أنه إذا حسب بالرجوع إلى التقاويم والجدول الفلكية ارتفاع القمر (أى تمام بعده عن السميت من الزاوية القائمة) في موضع مخصوص من سطح الأرض ، في وقت معلوم من ليلة معلومة ، والقمر قريب من الأفق ، ثم عين ارتفاعه عملياً بواسطة الآلة الفلكية التي تعين بها الارتفاعات ، ولعلها الآلة التي كانت تسمى ذات الشعبتين (٢) ، وذلك في تلك اللحظة نفسها التي حسب ارتفاع القمر فيها ، فإن المقدارين مقدار الارتفاع المحسوب ومقدار الارتفاع المرصود عملياً ، لا يوجدان متساويين . وابن الهيثم في وصف هذا الاعتبار يقول بلفظه « إنه إذا قرئم القمر وحقق موضعه في ساعة قريبة من وقت طلوعه ومن بعد طلوعه ، في ليلة معلومة في موضع معلوم ، وحصل من (ذلك) موضعه عن قطب العالم ، ثم نصبت آلة الساعات في تلك الليلة من قبل طلوع القمر ، وعلقت آلة يعرف بها الارتفاع ، وروغى القمر إلى أن يطلع ، وينتهى الزمان إلى الدقيقة بعينها من الساعة بعينها التي (قوم) لها القمر ، وحرر ارتفاع القمر في ذلك الوقت ، وحصل بعده عن سميت الرأس ، واعتمد أن تكون الآلة التي يوجد بها الارتفاع مقسومة بدقائق وبأدق ما يكون من الأجزاء ، فإنه يوجد بعد القمر عن سميت الرأس في ذلك الوقت

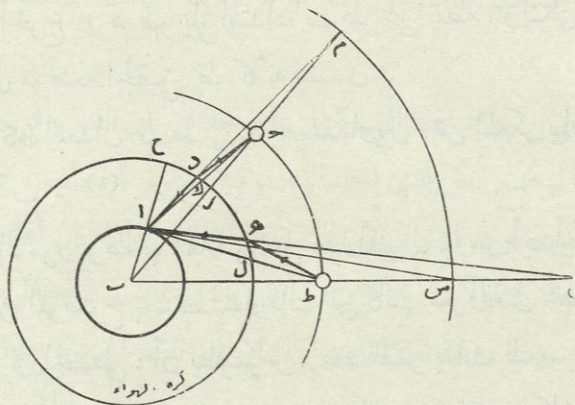
(١) و (٦١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر التذييل على هذا الفصل .

بالآلة، أقل من المقدار الذي حصل من بعده عن سمت الرأس في ذلك الوقت بالحساب^(١)» .

هذا كل ما جاء في وصف ابن الهيثم لهذا الاعتبار . والوصف مقتضب ، ولعل ابن الهيثم لم يرد التعرض إلى مسائل فلكية تتجاوز حدود المقصود من أمر الضوء وانعطافه . وقد تناول الفارسي في التنقيح^(٢) هذه التجربة ببيان مفصل أوضح فيه المسائل المرتبطة بها على منوال جدير بالذكر هنا .

لنفرض أن ب (شكل ٢٠٨) مركز الأرض ٦ ا موضع المعين على



(شکل ۲۰۸)

سطحها وليكن γ مركز القمر وهو أقرب إلى السميت ، وليكن مستوى الشكل مستوى هذه النقاط الثلاث ، وليلق هذا المستوى كرة الأرض على محيط الدائرة المارة نقطة α وكرة الهواء على محيط الدائرة $\beta \gamma \delta \epsilon$. ولنخرج $\beta \alpha$ حتى يلقى هذه الدائرة على γ ، وليلق $\beta \gamma$ $\beta \delta$ $\beta \epsilon$ محيطها على نقطتي $\gamma \delta \epsilon$ على الترتيب . فضوء القمر الواصل من γ إلى α لا يرد على سميت γ . وإن كان الهواء أغلظ فهو ينعطف من نقطة على قوس $\gamma \delta \epsilon$ فيما بين $\gamma \delta \epsilon$ ولتكن نقطة δ ، بحيث يرد الشعاع على امتداد $\delta \epsilon$ فينعطف عند δ على امتداد $\delta \alpha$ إلى جهة العمود ، حيث يكون $\delta \alpha$ في مستوى

(١) و (٥٨) من مخطوط المقالة السابعة واللفظان الواردان بين القوسين لم يردا في الأصل .

(٢) ص (١٥٣) — ص (١٥٥) من الجزء الثاني (من النسخة المطبوعة).

الشكل أيضاً . وإذا أخرج α د فهو يلقي امتداد β γ على نقطة ، ولتكن م . فالبصر عند α يدرك لنقطة γ خيالا عند م . ويبدو القمر الذى موضعه الحقيقى عند γ كأنه عند م .

وبالمثل إذا فرضنا أن القمر فى موضع آخر أقرب إلى الأفق ، وليكن مركزه نقطة ط ، وفرضنا لتبسيط الشكل أن نقطة ط فى مستوى الشكل نفسه ، فالضوء الوارد من ط إلى α ينعطف فى الهواء عند نقطة مثل ه ، فيرد على امتداد ط ه وينعطف على امتداد ه α إلى جهة العمود .

وإذا أخرج α ه فهو يلقي امتداد β ط على نقطة ، ولتكن ن ، فيبدو القمر الذى موضعه الحقيقى ط كأنه عند ن .

وإذا كان البعدان β ط و β γ متساويين ، فمن الممكن بيان أن β ن أعظم من β م (١) .

هذه الأمور يوضحها الفارسى على هذا المنوال . وهو أيضاً يناقش الناحية الفلكية من الموضوع بحسب المعلومات التى كانت معروفة فى عصره . ويبين أن الوارد فى المجسطى ، أن بطليموس رصد القمر بذات الشعبتين فى دائرة نصف النهار ، فوجد تمام ارتفاعه بها ٥٠ درجة ٥٠ دقيقة ، وكان تمام ارتفاعه الحقيقى ٤٩ درجة ٦ و ٣٠ دقيقة . فكانت زاوية اختلاف المنظر درجة وسمع دقائق (٢) .

إلى أن قال « فزاوية α م β هى زاوية اختلاف المنظر المستخرجة من الرصد ، وقد ظنوا أنها α β γ م موضع خيال القمر على ما نبين فى الخاتمة ، وظنوه موضع القمر أعنى α β م بعد خيال القمر وظنوه بعد القمر وهو α γ ، وهو (أى بعد الخيال) أعظم من بعد القمر . ثم استخرجوا بالحساب زاوية α ط β من α β .

(١) يتبين هذا من رسم دقيق . وأيضاً يمكن إثبات أن نقطة التقاء امتداد المنعطف بالعمود إذا كان الانعطاف عند السطح الكرى المحذب من الألفظ فى الأغلاظ يزداد بعدها من السطح كلما زاد بعد نقطة الانعطاف عن القطب .

(٢) وقد ورد هذا أيضاً فى تحرير المجسطى لنصير الدين الطوسى (مخطوط دار الكتب المصرية) ص (٥٣) .

ونرسم على مركز ب في سطح السميتية دائرة م س ، ونخرج ب ط حتى يقطعه على س . ونصل ا س . فلأن زاوية ا ح ب عندهم هي ا م ب في الواقع ، فتكون زاوية ا ط ب المستخرجة منها هي ا س ب فيكون قدر ا ط ب على ما في الجداول أصغر منها في نفسها .

(و) لانا نخرج ا ه حتى يقطع ب س على ن فتكون (ن) أبعد عن المركز من س على مانين في الخاتمة . فأس (أى خط ا س) يقطع دائرة د ه على نقطة أقرب إلى الأفق من ه ٦ ا س هو سمت الكوكب المستخرج بالحساب ، فأه (أى خط ا ه) وهو سمت المرصود أقرب إلى سمت الرأس . »

والفارسي يشير في هذا الصدد إلى ما يوجد لو كان القمر أقرب إلى سمت الرأس من الموضع ح الذى اتخذ الرصد فيه أساساً للحساب ، فيعقب على أقواله المذكورة ويقول « وبمثل ذلك تبين أن القمر إذا كان أقرب إلى سمت الرأس من ح كان الأمر بالخلاف ، أعنى يكون تمام ارتفاعه المرصود أعظم من التمام المحسوب ، وقد استبان من ذلك أن بعد القمر المستخرج بذلك الرصد هو أعظم من بعده في نفسه ، لأن بعده في نفسه ا ح والمرصود ا م ، وإنما هو بعد خيال القمر . فلتعرف ذلك . » (١)

ولكننا لا نرى في هذا ما ينقض النتيجة التي ذكرها ابن الهيثم بلفظه إذا كان أساس الحساب والتقويم هو ما ورد فعلاً في المجسطي ، لأن هذا الأساس هو نتيجة الرصد وتتمام ارتفاع القمر حوالى ٥٠ درجة . وابن الهيثم يريد في الاعتبار تقويم القمر في ساعة بعد طلوعه ولكنها قريبة من وقت طلوعه ، فيكون التقويم حالة كون القمر أقرب إلى الأفق في وضع شبيه بوضع نقطة ط في الشكل ، والأساس الذى انبنى عليه التقويم في الحساب نتيجة الرصد حالة كونه أقرب إلى السميت في وضع شبيه بوضع نقطة ح في الشكل . وتتفق على هذا الوضع الحالة التي يشير إليها الفارسي .

٢٣٤ - مذهب ابن الهيثم في تدرج الهواء من هيبة اللطافة

ابن الهيثم في الاعتبارين اللذين ذكرناهما فيما سبق وأيضا في بحوثه الأخرى عن الانعطاف في الطبقة الهوائية التي سند كرها فيما بعد ، فرض أن كرة الهواء يحدها سطح كرى يفصل بينها وبين بقية السماء يحدث عنده الانعطاف ، ويمتد الضوء بعد حدوث الانعطاف في الطبقة الهوائية على استقامة حتى يصل إلى البصر . ولا كنهه في مستهل بحوثه الأخرى هذه ، ينفي بصريح العبارة وجود مثل هذا السطح الفاصل ، ويدكر أن الهواء يتدرج في اللطافة كلما قرب من السماء . وإن كنا نجد منقاداً إلى حد ما لرأى القائلين بأن وراء كرة الهواء ما كانوا يسمونه « كرة النار » وإن وراء كرة النار كرة السماء ، وأيضا لرأى القائلين بالاستحالة ، فإن ذلك لا يضيره ولا يعيبه فيما أراد من أمر الضوء . وهو يقول بلفظه « وليس في الوجود جسم مشف أطف من الهواء من ورائه مبصرات يدر كها البصر غير جسم السماء وجسم النار ^(١) . وليس (أى جسم النار) يفصل عن جسم الهواء بسطح يفصل إحداهما (كذا) عن الآخر . وإنما الهواء كلما قرب من السماء لطف إلى أن يصير نارا ، فطاقته إنما هي على تدرج من غلظ إلى لطافة لا من فصل محدود ^(٢) » .

فابن الهيثم يبين على هذا النحو رأيه في تدرج الهواء في اللطافة كلما بعد عن سطح الأرض . وإشارته إلى كرة النار في هذه الأحوال لا تفيد أكثر من ذهابه إلى أن الهواء إذا اشتدت لطافته استحال نارا . وقد كان هذا مذهب كثير من القائلين بالعناصر الأربعة ممن تقدمه ومن عاصره وظل شائعا مدى ستة قرون أو أكثر من بعده . وإن أعجبنا بشيء في هذا الصدد ، فعجبنا أن مثل هذه الآراء والمذاهب التي توارثتها الحقوب جيلا بعد جيل لم يعق ابن الهيثم في بحوثه ، ولم يكن له أثر يذكر يحط من المستوى العلوى لهذه البحوث . والقول بتدرج الهواء في اللطافة كلما بعد عن سطح الأرض لم يكن شائعا

(١) الوارد في المخطوط « غير جسم السماء وجسم الماء وجسم النار » وورود جسم الماء في هذا الصدد هو على الأرجح من إخطاء النسخ إن لم يكن من قبيل السهو .
(٢) و (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

معروفا في عصر ابن الهيثم ولا في بضعة القرون التي من بعده . ويدل على ذلك اعتراض الفارسي على ابن الهيثم في قوله بهذا التدرج . فالفارسي من كلام له في هذا الشأن يقول « أما عدم انفصال النار عن الهواء بسطح فاصل فغير معلوم . والتدرج المذكور ، ممنوع لأنه يستلزم كون النار هواءاً حاراً ، وليس ذلك بالمذهب المنصور (١) . »

وابن الهيثم لم يتناول بالتفصيل شرح ما يترتب على هذا التدرج من انحناء الشعاع المار في الطبقة الهوائية ، ونجده قد اقتضب أقواله عنه وختمها بقوله « وجميع الكواكب التي في السماء تمتد صورها في جسم السماء ، وتعطف عند مقعر السماء ، وتمتد في جسم النار وجسم الهواء على استقامة (كذا) ، إلى أن تصل إلى البصر . » وقد انتهز الفارسي ورود قول ابن الهيثم « على استقامة » في هذه الجملة فأقام به حجة على بطلان التدرج الذي يقول به . ولكننا نجد من التعنت أن يقال إن ابن الهيثم يريد من قوله « تعطف عند مقعر السماء » أن يكون الانعطاف خارج كرة الهواء فليس ثمة اختلاف في الشفيف أو في الغلظ يدعو إلى حدوث الانعطاف هناك . ومن التعنت أيضاً أن يحمل قوله « على استقامة » على أنه يريد به معنى يشمل امتداد الضوء في جميع جسم الهواء المتدرج في الغلظ أو في اللطافة . ولعله لا يقصد غير أن الضوء بعد حدوث الانعطاف الذي هو لا بد حادث ، يمتد في الهواء على استقامة ، فإن كان الانعطاف يحدث بعيداً عن سطح الأرض فهو يمتد في الطبقات القريبة من سطح الأرض التي لا يكون فيها بينها تفاوت محسوس في الغلظ أو اللطافة على خطوط مستقيمة .

٢٣٥ - تغير مواضع الكواكب في السماء من وراء الانعطاف :

والاعتباران اللذان ذكرهما ابن الهيثم للتحقق من حدوث الانعطاف في الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية ، وللتحقق من أنه من قبيل الانعطاف من الجسم اللطيف في الجسم الأغلظ ، يستدل منهما أيضاً على أن انعطاف

(١) التفتيح ص (٢١٧) من الجزء الثاني (النسخة المطبوعة) .

(٢) ص (١٢٤) من مخطوط المقالة السابعة .

الضوء في الطبقة الهوائية ينشأ عنه أن كواكب السماء لا تدرك بوجه عام في مواضعها الحقيقية، بل تدرك مزاحة قليلاً عن مواضعها الحقيقية إلى جهة السمات، وكلما كان الكوكب أبعد عن السمات كانت الإزاحة أعظم، وكلما كان أقرب كانت الإزاحة أصغر. وأنه إذا كان الكوكب عند سمت الرأس بالضبط يرد ضوءه على استقامة فلا يعاني انعطافاً، ويبطل ما يترتب على الانعطاف من تغير في الموضع ببطالان الانعطاف نفسه.

وشرح ابن الهيثم للاعتبارين ولاسيما الأول منهما يوضح هذا الأمر بما فيه الكفاية. وابن الهيثم في آخر بحث له أورده في كتاب المناظر يصدر أقواله بذكر مجمل ما يعرض من الأغلاط في إدراك الاجرام السماوية من جراء الانعطاف، ويبدأ بالغلط في إدراك الموضع، ويحيل البيان والشرح على أقواله السابقة، وهي الخاصة بالاعتبارين المشار إليهما هنا ويقول « أما في غير موضعها (أي إدراك الكواكب في غير مواضعها) فن أجل وضع الشعاعات المنعطفة، وهو المعنى الذي ذكرناه من قبل »^(١).

وعلى كل حال، فبحوث ابن الهيثم التي سنبينها فيما يلي تشمل ضمناً بيان هذا الأمر وتفسيره.

٢٣٦ - بحوث ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب

ومقاربرها

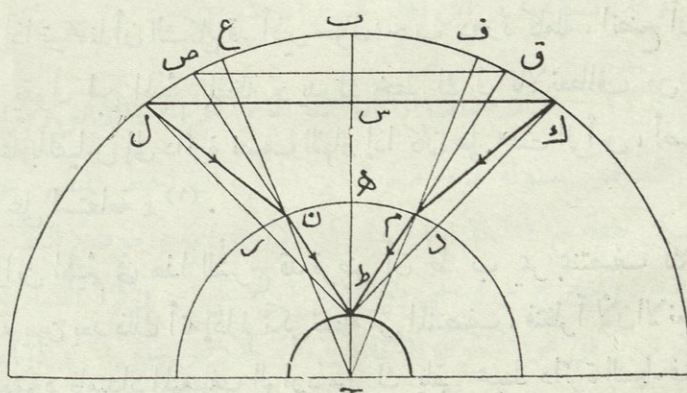
يبين ابن الهيثم بالتفصيل ما يترتب على الانعطاف في الطبقة الهوائية من إدراك العظم على غير حقيقته. ويقول في هذا الصدد « وهذا المعنى (أي الغلط في إدراك العظم) يظهر في الأبعاد التي فيما بين الكواكب ظهوراً أكبر مما يظهر في اعظام الكواكب أنفسها، لأن مقدار الكواكب في رأى العين مقدار صغير، فالتفاوت في اختلاف مقادير مقدار بُعد ما بين الكواكب، بين كون الكواكب في الأفق وبين كونهما في وسط السماء، اختلاف متفاوت، وظاهر للحس ظهوراً بيننا، وخاصة الأبعاد المعترضة »^(٢).

(١) و (١٢٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .
(٢) و (١٢٦) ، و (١٢٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

لذلك تدور بحوثه حول بيان التفاوت التي يظهر في البعد بين نقطتين . فإذا فرضنا أنهما كوكبان في السماء كان القول منصبا على البعد بينهما . وإن فرضنا أنهما طرفا قطر من أقطار كوكب من الكواكب ، التي يدرك البصر لها عظما ، كالكوكب السيارة أو كالنيرين الشمس والقمر ، كان القول منصبا على عظم الكوكب في اتجاه القطر . ففي هذه البحوث يفرض ابن الهيثم خطا مبصرا محدودا بنقطتين ، ويتناول شرح كيفية إدراك البصر لهذا المبصر وهو في ثلاثة أوضاع . أولها عند ما يكون الخط المبصر عند السم ، وثانيها عندما يكون الخط المبصر يوازي الأفق وعلى الأفق أو بالقرب منه ، وثالثها عندما يكون الخط المبصر منتصبا في السماء في مستوى من المستويات المارة بالسم . وفيما يلي تبيان هذه الأمور .

٢٣٧ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر عند السم^(١)

يبدأ ابن الهيثم كعادته بسرد فروضه الأساسية ويتدرج منها إلى بيان ما يريد . فلتكن نقطة ح شكل (٢٠٩) مركز الأرض و ط موضع البصر أو مكان الرصد من سطح الأرض . فإن كان الخط المبصر وليكن ك ل عند



(شكل ٢٠٩)

السم ، فخط ح ط إذا أخرج يلقاه ، فيكون هو والخط المبصر في مستوى واحد ، وليكن هذا المستوى مستوى الشكل . ولتكن الدوائر الثلاث الميمنة هي التي يلقى عليها هذا المستوى كرة الأرض وكرة الهواء وكرة السماء . ولنخرج

(١) و (١٢٢) — و (١٢٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر (٨٠) .

ح ط حتى يلتقي محيط دائرة الهواء على ه ومحيط دائرة السماء على ب .
وليلق ح ب المستقيم الواصل بين ك و ل على س . وابن الهيثم يفرض
أولاً أن نقطة س منتصف ك ل .

فاذا وصلنا ط ك و ط ل فهما يقطعان دائرة الهواء على نقطتين
ولتكونا د و ه على الترتيب . وبما أن الانعطاف من قبيل الانعطاف من
الألطف في الأغلظ ، تبين أن انعطاف الشعاع الوارد من ك إلى ط يكون
من نقطة فيما بين د و ه ولتكن م . وبالمثل الشعاع الوارد من ل إلى ط
ينعطف من نقطة فيما بين م و ه ولتكن ن . فاذا أخرج ط م و ط ن
حتى يلقيا محيط دائرة السماء على ق و ص على الترتيب ، كانت ق حتماً بين
ك و ب ، وكانت ص حتماً بين ل و ب . وإذن يدرك البصر ط النقطتين
ك و ل عند ق و ص على الترتيب . فتكون زاوية ق ط ص أصغر
من زاوية ك ط ل .

إذن البعد ق ص يوتر عند البصر ط زاوية أصغر مما يوترها البعد
ك ل ، وإذن البصر ط يدرك البعد ك ل أصغر مما هو عليه في الواقع .
وإذا توهمنا أن الشكل قد أدير حول ح ب دورة كاملة ، اتضح أن بصر
ط كما يقول ابن الهيثم بلفظه « يدرك خط ك ل بالانعطاف من جميع
أوضاعه بالقياس إلى دائرة نصف النهار إذا كان على سمت الرأس ، أصغر مما
يدركه على استقامة » (١) .

وابن الهيثم في هذا الشرح قد فرض أن ط ب يمر بمنتصف ك ل ،
ولكنه يبين بعد ذلك أنه إذا لم تكن نقطة س المنتصف ، فنظراً لأن الانعطاف
نحو العمود فامتداد المنعطف الوارد من ك يلتقي محيط دائرة السماء فيما بين
ك و ب ، وامتداد المنعطف الوارد من ل يلقيه أيضاً فيما بين ل و ب ،
وإن لم تكن نقطتا الالتقاء في هذه الحالة في وضعين متماثلين بالنسبة إلى نقطة
ب ، فإن زاوية الرؤية بالانعطاف تكون أيضاً أصغر من زاوية الرؤية

بالاستقامة . فلا يغير هذا الوضع من النتيجة المذكورة مادام خط السميت يلقى المستقيم الواصل بين طرفي المبصر فيما بين هذين الطرفين .

وبما يجدر بنا ذكره في هذا الصدد ، أن شرح ابن الهيثم يتناول أيضاً علاقة هذا الأمر بإدراك البعد . فهو قد بيّن في بحوثه عن إدراك المعاني المبصرة ، أن إدراك العظم لا يتم بإدراك الزاوية وحدها بل يتطلب أيضاً إدراك البعد^(١) . ولذلك نجد أنه بعد أن بيّن أن زاوية ق ط ص أصغر من زاوية ك ط ل يقول « وبُعد ك ل عن البصر بعد متفاوت في العظم ، فليس يتحقق البصر مقداره . فبصر ط يحس على بُعد خط ك ل كما بينا ذلك في المقالة الثانية من هذا الكتاب . ولا فرق بين حدسه على بعد ك ل عند إدراكه بالانعطاف وبين حدسه على بعده عند إدراكه على استقامة ، لأنه إذا أدركه بالانعطاف فهو يظن أنه يدركه على استقامة . فبصر ط يدرك خط ك ل بالانعطاف من زاوية أصغر من الزاوية التي يدركها على استقامة ، وبالقياص إلى البعد نفسه الذي يقيسه إليه لو أدركه على استقامة . والبصر يدرك مقدار العظم من مقدار الزاوية بقياسها إلى البعد^(٢) » .

وبهذه الكيفية يتم ابن الهيثم شرح الموضوع .

٢٣٨ - أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر قريباً من الأفق وموازي له^(٣)

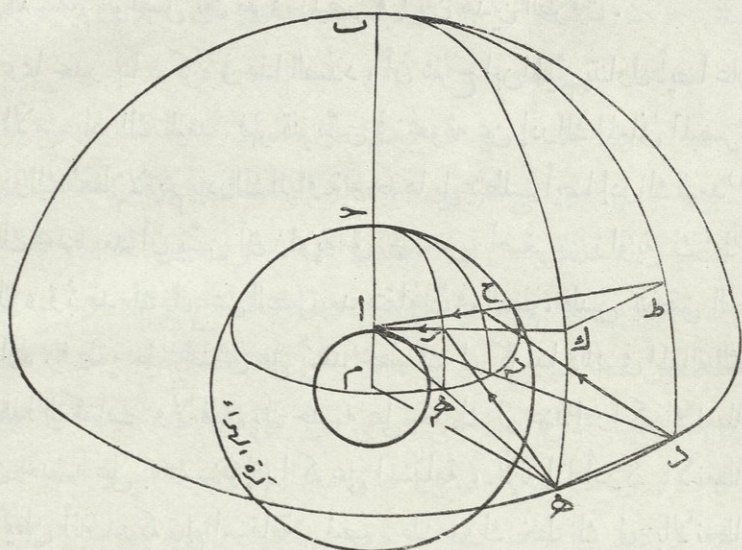
لنفرض لسهولة شرح فكرة ابن الهيثم ، أن الخط المبصر عند الأفق ولتكن نقطة م (شكل ٢١٠) مركز الأرض ٦ م موضع البصر أو مكان الرصد . ولنخرج م ١ حتى يلقى كرة الهواء على ح و كرة السماء على ب . فمستوى الأفق هو المستوى الذي يمس كرة الأرض على ١ ، وإذا أخرج يلقى كرة الهواء على محيط دائرة مركزها ١ ، ويلقى كرة السماء على محيط دائرة أوسع مركزها ١ أيضاً . وليكن طرفا المبصر نقطتي د ٦ هـ على محيط الثانية ،

(١) انظر فقرة (٦٥) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(٢) و (٢٢٨) من مخطوط المقالة السابقة من المناظر .

(٣) و (١٢٩) - و (١٣٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

ومستوى السميت المار بأحد طرفيه ه ه وهو مستوى الخطين م ب م ٦ م ه



(شكل ٢١٠)

يلقى كرة السماء على محيط دائرة عظيمة ، يكون ب ه قوساً منه تنتهى عند الأفق بنقطة ه ، ويلقى كرة الهواء على محيط دائرة عظيمة يكون ح ه قوساً منه تنتهى عند الأفق بنقطة ولتكن ه . وتكون نقاط ا ٦ ه ٦ ه على مستقيم واحد . وبما أن الضوء الوارد من ه إلى ا لا يرد على امتداد المستقيم ه ا وإنما ينعطف انعطافاً من قبيل الانعطاف من الألف في الأغلف ، بحيث يكون الشعاع الساقط والعمود والشعاع المنعطف في مستوى واحد ، يتبين أن انعطاف الضوء الوارد من ه إلى ا يقع في مستوى ب م ه ، ويكون من نقطة على قوس ح ه مرفعة عن نقطة ه ، فلتكن هذه النقطة م . فاذا وصل ا م ٦ م ه كان الشعاع الوارد على امتداد ه م منعطفاً عند م على امتداد م ا . فاذا أخرج ا م على استقامة فهو يلقى قوس ب ه على نقطة ولتكن ك ، وتكون هي الموضع الذى تدرك منه نقطة ه .

وبالمثل فإن الشعاع الوارد من د إلى ا ينعطف في مستوى ب م د من نقطة ولتكن ح على قوس ح د من محيط الدائرة التى يلقى عليها هذا

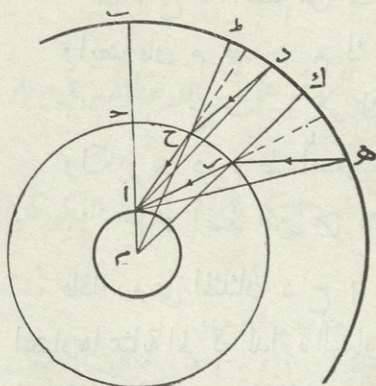
المستوى كرة الهواء . وإذا أخرج $ا$ ح لقي محيط الدائرة التي يلقي عليها هذا المستوى كرة السماء على نقطة ولتكن $ط$ ، تكون هي الموضع الذي تدرك منه نقطة $د$.

بهذه الكيفية يبين ابن الهيثم أن البعد $د ه$ يدركه البصر كأنه $ط ك$ ، وأن التماثل يقتضى أن يكون $ط ك$ موازياً $د ه$ ، وإذن يكون $ط ك$ أصغر من $د ه$. وبما أنه ليس بين بعد كل من $د ه$ من $ا$ ، وبين بعد كل من $ط ه$ من $ا$ ، اختلاف محسوس في نظر العين ، فابن الهيثم يستنبط من هذا أن زاوية رؤية $ط ك$ تكون أصغر من زاوية رؤية $د ه$. فيدرك البعد بين طرفي المبصر أصغر من حقيقته .

وشرح ابن الهيثم سليم وجميع الفسكرك التي يتضمنها الشرح مضبوطة صحيحة . وإنما يلاحظ أن غاية ما يبلغه الارتفاع من جراء الانعطاف لا يتجاوز ٣٥ دقيقة ، فالتفاوت بين $د ه$ وبين $ط ك$ مقدار صغير يغفل أمره في العادة .

٢٣٩ - أثر الانعطاف إذا كان المبصر ممتداً في مستوى سمت واحد^(١)

في هذه الحالة يفرض ابن الهيثم المبصر في مستوى يمر بالسمت أو كما يقول هو بلفظه « في دائرة واحدة من الدائرة السميتية » ، وليكن كما مر نقطة $م$ (شكل ٢١٠) مركز الأرض $ا$ موضع الراصد وليكن مستوى الشكل هو مستوى السميت المار بالمبصر $د ه$ ، ولتكن الدوائر المبيّنة هي التي يلقي عليها هذا المستوى كرة الأرض وكرة الهواء وكرة السماء على الترتيب .



(شكل ٢١٠)

ولنخرج $م ا$ حتى يلقي محيط دائرة الهواء على $ح$ ومحيط دائرة السماء

على ب . وليكن الطرف د البصر أقرب إلى السميت .
ففى هذه الحالة مستوى انعطاف الضوء الوارد من ه إلى ا هو مستوى
انعطاف الضوء الوارد من د إلى ا ، وهو مستوى الشكل .

وابن الهيثم يشير إلى أن الضوء الوارد من د إلى ا ينعطف من نقطة
مثل ح على دائرة الهواء أرفع من خط ا د . وبالمثل ينعطف الضوء
الوارد من ه إلى ا من نقطة مثل م أرفع من ا ه .

وابن الهيثم يجعل نقطة ح أرفع من نقطة م أى أقرب إلى السميت من
نقطة م . ومن السهل الاستدلال على هذا ببرهان الخلف .

فاذا أخرجنا م ح حتى يلقى محيط دائرة السماء على ط ، وأخرجنا م م
حتى يلقاه على ك ، تبين أن زاوية ا ح م وهى زاوية انكسار الشعاع الوارد
من د أصغر من زاوية ا م م وهى زاوية انكسار الشعاع الوارد من ه .
وإذن تكون زاوية سقوط الأول أصغر من زاوية سقوط الثانى .

وأیضا تكون زاوية انعطاف الأول أصغر من زاوية انعطاف الثانى .
وهما حادثان ، فتكون متممة الأولى من قائمتين أعظم من متممة الثانية من
قائمتين ، والمتممتان منفرجتان . إذن

$$\angle ا ح د \text{ أعظم من } \angle ا م ه .$$

$$\text{وأیضا فان } \angle م ط = \angle م ك ، \angle م ح = \angle م م .$$

$$\therefore \angle ح ط = \angle م ك .$$

ولكن $\angle د ح ط$ أصغر من $\angle د م ك$ كما تبين آنفا .

$\therefore \angle ح د أصغر من م ه$ ، نظراً لأن الدائرتين متحدتا المركز .

فاذا روعى المثلثان د ح ا و د م ا فنظراً لأن نقطة ا يمكن
اعتبارها بمشابة المركز لدائرة السماء لامكان اعتبار ا كأنها مركز العالم ، يعد
ابن الهيثم ا د و ا ه فى المثلثين متساويان . وبما أن زاوية ح فى الأول أعظم

شك على بعض أقوال ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب ومقاديرها ٨٤٥

من زاوية α في الثاني يستنبط ابن الهيثم من ذلك أن الدائرة التي تحيط بمثلث α ح د تكون أعظم من الدائرة التي تحيط بمثلث α م ه . وبما أن الوتر α ح في الدائرة الأعظم أقصر من الوتر α م في الدائرة الأصغر ، فهو يستبطن أن الزاوية المحيطية التي يوترها الوتر الأصغر في الدائرة الأعظم تكون أصغر من الزاوية المحيطية التي يوترها الوتر الأعظم في الدائرة الأصغر فتكون α ح د أصغر من α م ه (١) .

فاذا أضيف إلى كل من الزاويتين زاوية α م ، تبين أن α ح د + α م د أصغر من α م ه + α م د . أي أن α ح د أصغر من α م د ه .

فتكون زاوية الرؤية بالانعطاف أصغر من الزاوية التي يوترها α ه نفسه عند البصر . وابن الهيثم يضمن برهانه إنقاص زاوية α م من كل من الزاويتين . لأن نقطتي α ه قد تكونان متقاربتين قريباً يصير فيه خط α د من تحت نقطة α لا من فوقها كما هو وارد في الشكل .

ويقول في ختام هذا البحث « وهذا البرهان بعينه يلزم ، إذا كانت دائرة α د ه هي دائرة نصف النهار . فقطر الكوكب المنتصب وبعدهما بين كل كوكبين إذا كان البعد بين الكوكبين منتصباً ، يدرکہما البصر من جميع أقطار السماء بالانعطاف أصغر مما يدرکہما لو أدركهما على استقامة . وذلك ما أردنا أن نبيِّن » (٢) .

٢٤٠ - شك على بعض أقوال ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد

الكواكب ومقاديرها

يتضح مما سبق أن ابن الهيثم يبيِّن أن البعد بين الكوكبين (أوقطر الكوكب

(١) ذلك هو البرهان الذي أورده ابن الهيثم .

وكما يرى الفارسي فإن من السهل بيان هذه النتيجة بطريقة أخرى .

فبما أن نقطة α يمكن اعتبارها مركز العالم فالضلعان α د ، α ه في المثلثين المذكورين متساويان . وكذلك الضلعان α ح ، α م متساويان . ولكن α ح أصغر من α م فتكون

زاوية α د أصغر من زاوية α م ه .

(٢) و (١٣١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

المرصود) سواء كان عند السميت ، أو كان موازيا للأفق وقریباً منه ، أو كان منتصباً في أحد المستويات المارة بالسميت ، فإنه يدرك في جميع هذه الأوضاع أصغر من حقيقته . وهو في ختام هذا القسم من بحوثه يستنبط النتيجة العامة . وهي أن أبعاد ما بين الكواكب يدركها البصر كيف كانت أوضاعها من السماء أصغر مما هي عليه في الواقع . ولا اعتراض لنا على ما سبق بيانه ولا على البرهان عليه ولا على هذه النتيجة العامة ، لولا أن برهان ابن الهيثم على هذا الأمر الأخير مبني على أن الكواكب في السماء تدرك أبداً مستديرة . فابن الهيثم يقول بلفظه « وكل كوكب في السماء يدركه البصر مستديراً . وإذا كان يدركه مستديراً فهو يدرك أقطاره متساوية . وإذا كان قد تبين أن كل واحد من قطريه المعترض والمنصب ، يدركه البصر أصغر مما يدركه لو أدركه على استقامة ، فكل واحد من أقطاره المائلة إليه ، يدرك البصر مقداره أصغر من مقداره لو أدركه على استقامة . وإذا كان ذلك كذلك ، فأبعاد ما بين الكواكب أيضاً يدرك البصر مقاديرها في جميع المواضع من السماء على جميع أوضاعها ، أصغر من مقاديرها لو أدركها على استقامة (١) » .

والقول بأن الكواكب تدرك مستديرة متساوية الأقطار أيأ كانت مواضعها من السماء أمر فيه نظر . وهو يخالف الواقع المشاهد من أمر النيرين الشمس والقمر ، إذا كانا عند الأفق أو قريبين منه . فكل منهما يدرك عندئذ كالأهليلج ، الذي قطره الموازي للأفق أطول من قطره العمود عليه . وعلة ذلك أن القطر الموازي للأفق وإن كان القياس النظري يدل على أنه يدرك من جراء الانعطاف أصغر مما هو عليه في الواقع ، فإن التفاوت فيه بين العظم المدرك وبين العظم على ما هو عليه ، كما سبق أن ذكرنا ، صغير جداً هو في حكم العدم بالنسبة إلى الحس . وليس الأمر كذلك فيما يتعلق بالقطر العمود على الأفق . ولذلك يظهر النير المستدير وهو عند الأفق أو قريباً منه متفطحاً عند طرفي قطره الرأسى ، منبججاً في اتجاه قطره الأفقى . وإن كان هذا الأمر لا يظهر للبصر

ظهوراً بيننا إلا في الاجرام السماوية التي تبصر من زوايا مقتدرة كالشمس والقمر ، عند كونهما عند الأفق أو قريباً منه ، فإنه لا يتفق وإطلاق القول بأن « كل كوكب في السماء يدركه البصر مستديراً » .

ونحن لم نجد فيما اطلعنا عليه من بحوث ابن الهيثم ، بحثاً تناول فيه شرح ما يترتب على التفاوت بين الاختلاف الحادث في الأبعاد الأفقية وبين الاختلاف الحادث في الأبعاد السموية من النتائج . هذا فضلاً عن أن قوله الذي رويناه فيما سبق (فقرة ٢٣٦) وفيه يقرر أن الاختلاف من جراء الانعطاف ، في البعد بين كوكبين يظهر ظهوراً بيناً في الأبعاد المعترضة خاصة ، يشير الشك والالتباس .

٢٤١ - رأى ابن الهيثم في تأثير الأبخرة الغليظة في إدراك العظم

بيّن ابن الهيثم بالكيفية التي فصلناها فيما سبق أن انعطاف الضوء الوارد من الكواكب في الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية يترتب عليه بوجه عام إدراك الأبعاد التي بين الكواكب ، أو أعظام الكواكب نفسها ، أصغر مما هي عليه في الواقع . وهو في ختام بحوثه عما يترتب على الانعطاف من الخطأ في إدراك هذه الأمور ^(١) يشير أيضاً إلى أن انعطاف الضوء النافذ خلال طبقة من بخار غليظ أو هواء غليظ ، قد يعرض وجودها في الجو كثيراً أو قليلاً ، يترتب عليه هو أيضاً خطأ في إدراك العظم . وهو يرى أن مثل هذه الأبخرة الغليظة كثيراً ما توجد عند الأفق دون أن تتصل إلى وسط السماء ، ولذلك فإن التفاوت في العظم حالة كون الكوكب أو البعد بين الكوكبين عند الأفق أو قريباً منه ، وهذه الأبخرة موجودة ، وحالة كونه في وسط السماء وهذه الأبخرة ليست موجودة ، يظهر واضحاً للحس . فإذا فرضنا وجود مثل هذه الأبخرة الغليظة بالقرب من الأفق ، فضوء الكواكب وهي بالقرب من الأفق لا يعاني الانعطاف الذي روعى في البحوث السابقة من جسم السماء الألف إلى طبقة الهواء الأغظ فحسب ، بل يعاني أيضاً عند نفوذه خلال هذه الأبخرة الغليظة انعطافاً

(١) آخر بحوث كتاب المناظر و (١٣٨) ، و (١٣٩) من مخطوط المقالة السابعة .

من الهواء الألف إلى البخار الأغظ ، ثم انعطافاً آخر من البخار الأغظ إلى الهواء الألف قبل وصوله إلى البصر .

وابن الهيثم يرى أن الانعطاف في مثل هذه الأبخرة الغليظة يؤدي إلى خطأ في إدراك العظم هو إدراكه أعظم من حقيقته .

وكما بين الفارسي في تعليقه على هذا الأمر إذا فرضنا مثلاً أن طبقة البخار الغليظ المتوهم ، محدودة بسطحين في حكم المتوازيين ، فمن السهل بيان أن الانعطاف من الهواء إلى البخار الغليظ ثم من البخار الغليظ إلى الهواء مرة أخرى ، يؤدي إلى إدراك المبصر أعظم مما هو عليه في الواقع ، ولا يتطلب هذا البيان من المعاني والأصول شيئاً جديداً لم تتضمنه بحوث ابن الهيثم السابقة .

وإذا كان الأمر كذلك وقع تفاوت في الاختلاف بين عظم المبصر وهو يرى على الأفق أو قريباً منه ، وهذه العلة موجودة ، وبين عظمه هو نفسه وهو يرى في وسط السماء وهذه العلة قد زالت .

وابن الهيثم لم يتوسع في شرح ما يحدث من التأثير إذا أبصر مبصر في الهواء خلال طبقة مشفة أغظ من الهواء (كلوح سميك من الزجاج) تحول بينه وبين البصر . ولكنه ألم في أقواله التي أوردها في هذا الصدد بالفكرة الأساسية التي فحواها باصطلاحنا الحديث ، أن الصورة التي تحدث بالانعطاف الأول من الألف إلى الأغظ تعد بمنزلة مصر في الأغظ تحدث له صورة بانعطاف ثان من الأغظ إلى الألف . وهو في بيان ما يريد يقول « وذلك أن الموضع من مقعر السماء الذي ينعطف منه صورة الكوكب إلى البصر ، (تحصل) ^(١) فيه صورة الكوكب (و) تمتد منه الصورة من ذلك الموضع إلى البصر على خطوط مستقيمة إذا لم يكن في الأفق بخار غليظ . فإذا كان في الأفق بخار غليظ امتدت هذه الصورة إلى سطح البخار الغليظ الذي يلي السماء ، فتحصل صورة الكوكب في سطح البخار الذي يلي السماء ، فيدرك البصر هذه الصورة كما يدرك المبصرات التي تكون في البخار . وهو أن تمتد هذه الصورة في البخار الغليظ على خطوط مستقيمة ، ثم تنعطف عند البخار الذي يلي البصر

(١) في الأصل « حصل »

ويكون انعطافها إلى خلاف جهة العمود القائم على سطح البخار الذي هو سطح مستو، لأن الهواء الذي يلي البصر أطف من البخار الغليظ، فيلزم من ذلك أن ترى الصورة أعظم مما كانت ترى على استقامة. وهذا المعنى قد تبين في الشكل الأول من هذا الفصل وهو إذا كان الجسم الألف يلى البصر وكان الجسم الأغظ يلى المبصر وكان سطح الجسم الأغظ مسطحاً، فتكون الصورة التي تحصل في سطح البخار الذي يلي السماء هي المبصر والجسم الذي فيه هذه الصور هو البخار الغليظ. والهواء الذي فيه البصر أطف من البخار الغليظ. (٢)

وابن الهيثم بعد وجود مثل هذه الطبقة الغليظة علة «عارضة» يترتب عليها إدراك المبصر في السماء وهو عند الأفق أو قريباً منه أعظم من حقيقته، ويميز بينها وبين العلة الأخرى التي سبق بيانها في أغلاط البصر، وهي التي يتسبب عنها إدراك المبصر في السماء وهو عند الأفق أو قريباً منه، أعظم منه وهو في وسط السماء، ويسمى العلة «اللازمة الدائمة» إذ لا ارتباط لها بوجود مثل هذه الأبخرة الغليظة المتوهمه، بل ولا ارتباط لها بالانعطاف البتة.

فإن كانت الكواكب والأجرام السماوية تدرك وهي عند الأفق أو قريباً منه أعظم مما هي في وسط السماء أو بالقرب منه بسبب العلة الدائمة التي سبق بيانها فانه «إذا عرض في الآفاق بخار غليظ» وجدت علة أخرى هي هذه العلة العارضة، وينجم عنها أيضاً إدراك المبصر وهو عند الأفق أعظم من حقيقته. فيترتب على اجتماع العلتين أن يزيد العظم زيادة تجعله أبيض وآكد للبصر.

تلك هي نظريته

ولا اعتراض على ذلك في حدود الفروض المذكورة. ولكن من الواضح أنه إذا كان ابن الهيثم يريد بالأبخرة الغليظة بخار الماء، فبخار الماء من حيث الشفيف أطف من الهواء لا أغظ، وإن كان التفاوت بينهما صغيراً يصبح إغفاله. وإذا كان يريد بالأبخرة الغليظة ما هو من قبيل السحب أو الضباب أو البلورات الثلجية، فليس الحال فيها حال الجسم المشف المتصل المتجانس الأجزاء الذي ينعطف الضوء عند نفوذه فيها على المنوال المقصود فيما نحن بصدد.

تذييل

٢٤٢ - ذات السبعين

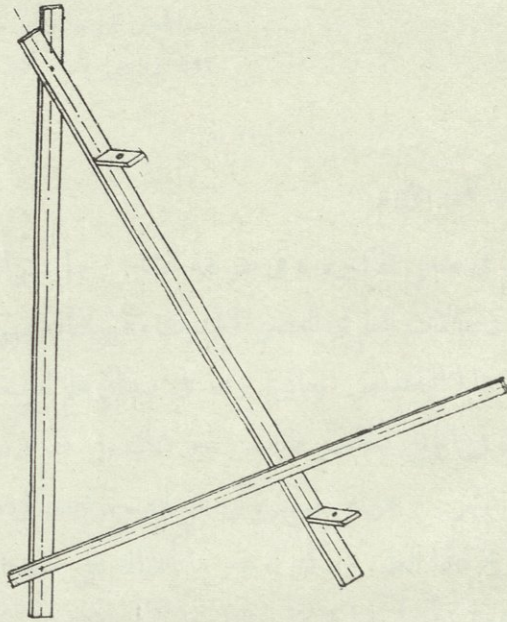
هي آلة لرصد الارتفاع ذكرها بطليموس في صدد أقواله عن القمر، قال (١) « عملنا مسطرتين متوازتي السطوح في غاية الاستواء لا ينقص طول كل واحدة منهما عن أربعة أذرع ليتها قسمته إلى صغار الأجزاء، وجعلنا لهما ثخنًا صالحًا كيلا يلتويان لطولهما، ثم سمننا في وسط سطحهما خطين مستقيمين، وربكنا على طرفي احدهما شطيتين متساويتين ومتوازيتين، فهما ثقبان للارتفاع يمر الخط بوسطهما. وجعلنا التي تلي البصر منهما أضيق والتي تلي القمر أوسع، بحيث يرى تمام الجرم منهما. ثم ثقبنا طرفي المسطرتين في جهة أوسع الثقبين، وربكناهما كالفرجار لمحور يمر مركزه بالخطين. وفصلنا من الخطين أكبر مقدارين متساويين يمكن أن يقع على المسطرتين، يتحد مبدؤهما عند مركز المحور، ونجعل لنهايتيهما علامتين. وقسمنا خط التي ليست عليها شطيتا الارتفاع بستين جزءاً وبأجزاءها ما أمكن. وربكنا هذه المسطرة في قاعدة، في سطح نصف النهار، بحيث تنتصب عموداً قائماً على سطح الأفق باستواء، ويكون موضع التركيب محاذياً لسمت الرأس، وتدور ذات شطيتي الارتفاع في المحور مما يلي الشمال، فتبعد وتقرب من المنتصبة من غير أن تخرج عن سطح دائرة نصف النهار، وبغير اضطراب والتواء. وربكنا في طرفي المنتصبة من خلفها أيضاً شطيتين متساويتين على خط مستقيم مواز لحدى سطحها، ليتها بتعليق الساقول من الشطية العليا إلى السفلى امتحان قيامها على سطح الأفق. وعملنا مسطرة ثالثة مستوية أدق من الأوليين، وأطول منهما، بقدر يمكن أن يوترهما عند إحاطتهما بزاوية قائمة، وربكناها مع المنتصبة بمسار دقيق يمر بطرف الخط المقسوم عند القاعدة، أعني عند موضع العلامة، وبأحد طرفيها، بحيث تكون هذه الثالثة أيضاً سلسلة الدوران في ذلك المسار، يعرف بها قدر البعد بين العلامتين عند مفارقة ذات شطيتي الارتفاع للمنتصبة.

فاذا وافى القمر دائرة نصف النهار، أدركنا ذات شطيتي الارتفاع إلى أن

(١) عن تحرير المجسطي لنصير الدين الطوسي : ص (٥٣) من مخطوط دار السكتب المصرية

يرى تمام الجرم من ثقبتيهما، وحر كنا الثالثة إلى أن تماسها عند موضع العلامة، ثم جعلنا على موضع الماسة من الثالثة علامة، فيكون ما بين العلامتين من الثالثة وتراً لتمام ارتفاع القمر، أعني بعده عن سمت الرأس بحسب الرؤية، وعرفنا قدره بتطبيقه على الخط المقسوم من المسطرة المنتصبة، ثم قوَّسناه في جدول الأوتار ليحصل لنا تمام الارتفاع المرئى .

وشكل (٢١٣) يبين بياناً تخطيطياً تركيب هذه الآلة بحسب الوصف الوارد . ويعقب بطليموس على هذا الوصف بقوله :



(شكل ٢١٣)

«وينبغي أن تجعل هذه الأرض عند كون القمر عند أحد المنقلين، ليكون دائرة نصف النهار التي هي دائرة الارتفاع حينئذ هي أيضاً دائرة العرض ودائرة الميل معاً، لكونها المارة بالأقطار (كذا) فيكون عرض البلد ميل درجة القمر حينئذ، وعرضه تمام ارتفاعه، أعني الحقيقي والمرئى، من دائرة واحدة، ويكون معرفة ما نطلبه من ذلك بسهولة .»

ويلاحظ أن الاعتبار بالقمـر الذي يريده ابن الهيثم للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية، يتطلب شيئاً من التعديل في نصبة الآلة، إذ لا يصح فيه أن تكون المسطرة ذات شظيقي الارتفاع قابلة للدوران حول محور الفرجار في مستوى دائرة نصف النهار فقط، بل يلزم فيه أن تكون هذه المسطرة قابلة للدوران حول محور رأسي يمر بمحور الفرجار، بحيث يتسنى توجيهها إلى القمر في الوقت الذي يقوم فيه عند الاعتبار.

خاتمة الكتاب

رب مبت فر صار بالعلم هيا ومبفى فر مات جهه وغبيا
فانفخوا العلم كى نالوا فلودا لا نعدوا البقاء فى الجهرل سبيا

البيتان « تمثل بهما ابن الهيثم فى رسالته
التي أوردها ابن أبي أصيبعة فى عيون
الأنباء ، نقلا من مقالة بخط ابن الهيثم
نفسه » . وهما لابي القاسم بن الوزير
ابن الحسن على بن عيسى . وكان فيلسوفا
قالهما ووصى بأن يكتبها على قبره .

٢٤٣ - كلمة الختام

ابن الهيثم فى منحه تفكيره وفى طريقة بحثه ، رجل تتوافر فيه الصفات
التي تتوافر فى رجال العلم فى العصر الحديث . فهو عالم بمعنى « سيانست »
بكل ما يؤديه هذا اللفظ من المعانى . وهو فى ميدان علم الطبيعة أن لم يكن من
طراز المحدثين فى الجيل الحاضر فانه من غير شك من طراز علماء الطبيعة فى
القرن التاسع عشر . وبحوثه المبتكرة فى علم الضوء تجعله فى مقدمة الأعلام
الأفذاذ فى تاريخ هذا العلم . ولكن له غير ما أضافه على صفحات هذا العلم من
الصفحات المجيدة ، أثرا عاما عميقا ، جعل علم الضوء يتخذ صبغة جديدة وينشأ
نشأة أخرى غير نشأته الأولى . وهذا التأثير العام الذى أحدثه ابن الهيثم فى
علم الضوء ويتغلغل إلى الأساس ذاته الذى يقوم عليه هذا العلم جدير بالتقدير ،
ولم ينل على ما نعلم ما هو أهله من العناية والأهتمام .

وأثر ابن الهيثم العام فى علم الضوء نظيره فى تاريخ العلم أثر « نيوتن » العام
فى علم الميكانيكا . فان قيل إن بعض بحوث ابن الهيثم قد سبقه إليها بعض
المتقدمين ، إذ سبقه « أوقليدس » مثلا إلى أحدث شطرى قانون الانعكاس ، وسبقه

« بطليموس » إلى دراسة الانعطاف ، وسبقه آخرون إلى بيان كيفية الإحراق في المرايا المحرقة أو الكرات المحرقة وما إلى ذلك ، فإن « نيوتن » أيضا قد سبقه « غاليليه » إلى قانون القصور الذاتي الذي تشيع الآن نسبته إلى « نيوتن » ، وسبقه « هويجنز » و « ستيفنوس » وغيرهما إلى كثير من الفكر الأساسية التي يقوم عليها علم الميكانيكا . ولكن من غير شك قد كانت الأصول الأولية في علم الميكانيكا قبل « نيوتن » مفككة مبعثرة ، يشوبها غموض كبير ، ولم تكن قد نضجت معانيها نضجا تاما . فجاء « نيوتن » وإدرك حقائق الأمور ، وأضاف من عنده إلى ما كان معروفا من قبل ما أضاف ، وربط كل ذلك بعضه ببعض حتى آلت صيرورتها على يديه إلى وحدة شاملة ، هي الأساس الذي قام عليه علم الميكانيكا من بعده

وبالمثل كانت المعلومات في علم الضوء من قبل ابن الهيثم لارابط يربطها ولا سلك ينظمها . بل من الفكر الأولية البسيطة في علم الضوء ، ما لم يكن قد تكون بعد في الأذهان ، حتى الفكرة الأولية البسيطة « إن للضوء وجودا في ذاته » لم تكن من الأمور المسلم بها . و « أوقلبدس » و « بطليموس » وغيرهما من سبقوا ابن الهيثم إلى شيء من بحوثه ، لم يتخذوا في بحوثهم الوجهة الصحيحة ، وصاغوها في قالب منكوس غير مستقيم . فهم جميعا كانوا متفقين في أن الإبصار هو بخروج شعاع من البصر إلى المبصر . فالذي ينعكس بحيث تكون زاوية السقوط فيه مساوية زاوية الانعكاس ، هو هذا الشعاع . والذي ينعطف في الماء مثلا إلى جهة العمود هو هذا الشعاع . فهذا الذي يخرج من البصر ويقع على السطح العاكس فينعكس ، أو يقع على سطح الماء فينعطف ، إذا هو بعد انعكاسه ، أو إذا هو بعد انعطافه ، وقع على مبصر ، أدرك البصر هذا المبصر بالانعكاس أو بالانعطاف . فإن كان هذا هو مذهبهم ، أليس إذن من الأصول الأولية التي نعلها الآن أمورا مسلما بها في علم الضوء ، ما لم يدركه هؤلاء المتقدمون على حقيقته ؟

جاء ابن الهيثم فأعاد من جديد البحث عن كل ذلك ، مبتدئا بالمبادئ

الأولى . فهل الأضواء جميعا سواء منها المشرق من الأجسام المضئية بذاتها أو المشرق من الأجسام المستضئية بغيرها ، تمتد في الجسم المشف الواحد على سموت الخطوط المستقيمة ؟ وإن كان الأمر كذلك ، هل من سبيل إلى القول بأن الإبصار يكون بورود الضوء المشرق من المبصر إلى البصر ؟ وإن قيل هذا فإن الضوء الوارد من المبصر إلى البصر يرد من كل نقطة من المبصر إلى جميع سطح البصر ، فكيف يتسنى للبصر أن يدرك المبصر باجزائه المختلفة وألوانه ونقوشه وتخطيطاته ، على ما هو عليه في الواقع ، إدراكا يتيّنا دون أن يختلط كل ذلك بعضه ببعض ؟ وكيف يتسنى إدراك المبصرات المختلفة معا ، دون أن تختلط صورها أو تشبهه ؟ ثم كيف يتسنى للبصر أن يدرك المبصر في مكانه خارج البصر ، وعلى وضعه ؟ بل كيف يتسنى له أن يدرك منه عظمه وشكله وتجسمه وما إلى ذلك ؟ وكيف يعرض ما يعرض أحيانا كثيرة من الغلط في إدراك هذه الأمور ؟

ثم هل الأضواء جميعا تنعكس على صفة واحدة ؟ وإن كان الأمر كذلك فما هي هذه الصفة العامة التي تنعكس عليها الأضواء ؟ وبعد ، فهل من سبيل إلى القول بأن إدراك المبصر بالانعكاس هو بورود الضوء الصادر منه إلى العين بعد إنعكاسه ؟ وإن كان الأمر كذلك فأين يكون موضع الخيال الذي يرى وما هي صفاته ؟

ثم هل الأضواء جميعا تنعطف على كيفية واحدة ، وما هي هذه الكيفية ؟ وبعد فهل من سبيل هنا أيضا إلى القول بأن إدراك المبصر بالانعطاف هو بورود الضوء الصادر منه إلى العين بعد انعطافه ؟ وإن كان الأمر كذلك فأين يكون موضع الخيال وما هي صفاته ؟

تلك بايجاز رؤوس الموضوعات التي عاجلها ابن الهيثم ، وهذا هو سياق تفكيره فيها . ليكن أن ابن الهيثم قد استفاد بمعلومات من تقدموه ، وبيحوث من تقدموه ، فقد استفاد حتما ، طوعا أو كرها . ولكنه أعاد البحث عن كل هذه الأمور من جديد ، ونظر فيها جميعا نظرا جديدا ، لم يسبقه إليه أحد من

قبله . واتجه في هذا النظر وجهة جديدة لم يُؤولها أحد من المتقدمين . وأصلح الأخطاء ، وأتمّ النقص ، وابتكر المستحدث من المباحث ، وأضاف الجديد من البكشوف ، وسبق في غير قليل من ذلك الأجيال والعصور . واستوفى البحث إجمالاً وتفصيلاً . وسلك في البحث سبيلاً تتوافر فيها خصائص طرق البحث العلمي ، مع ما في هذه الطرق من قصور ومع ما فيها من ميزات . واستطاع أن يؤلف من كل ذلك وحدة مرتبطة الأجزاء ، على قدر ما كان يمكن أن ترتبط به أجزاءؤها في عصره . إن وجدنا فيها نقصاً أو عيباً ، فتلك سنة الله في المباحث العلمية . وهو فيها لم يبدع ولم يبتكر فحسب . بل هو أيضاً أقام بها الأسس التي انبنى عليها صرح علم الضوء من بعده .

ذلكم هو نبأ ابن الهيثم ، وهو ما أردت أن يكون كتابي هذا تبياناً له وتفصيلاً .

وإني في ختام هذا الكتاب ، أحمد الله وأشكر نعمته علىّ بما نلت من شرف إهدائه إلى مقام حضرة صاحب الجلالة مولانا فاروق الأول ملك مصر ، أيده الله وأعزه ، وبما أصبت من كريم عطف جلالته علىّ ورضاه السامى عن هذا العمل . ونعم ذلك جزاء المخلصين . +

فهرس هجائى

بأسماء الأعلام الذين ورد ذكرهم فى الكتاب

الرفام تشير الى الصفحات

أيقور: ٥٤	(١)
ألايقوريون: ٨٣، ٥٥	بن أبى أصبغة: ٢٠، ١٩، ١١، ٨،
أرسطو: ١٢، ١٣، ٢٤، ٢٥، ٢٦،	٨٥٣، ٢٥، ٢٤، ٢٣
٥٣، ٥٤، ٥٦، ٧٠، ٧٢، ٧٣،	ابن أبى صادق: ٢٠٦
٧٤، ٧٧، ٨٠، ٨٣، ٢٦٩	ابن خلدون: ٨
أرشميدس: ١٢، ١٤، ٧٤، ٤٧٦	ابن سينا: ٢٢، ٣٨، ٣٩، ٥٢، ٥٤،
أفلاطون: ٢٤، ٥٢، ٥٣، ٥٤	٨٣، ٨٤، ٨٥، ٩٧، ٩٨، ١٠٣،
الأفلاطونيون: ٢٤، ٥٢، ٥٣، ٥٤	٢٠٦، ١٣١
إمبدقليس (Empedocles): ٥١، ٥٢	ابن قف المسيحى: ٢٠٦
أنثيميوس (Anthemios): ٧٥،	ابن القفطى: ٨، ١٦، ١٧، ١٨،
٤٧٦	١٩، ٢٠، ٥٩، ٧٧
الأنصارى (شمس الدين بن صاعد):	ابن النفيس القرشى: ٢٠٦
١٦، ٨	ابن هبل شمس الدين: ٢٠٦
أوقليدس: ٩، ١٢، ١٤، ٥٩، ٦٤،	ابن يونس: ١٧
٧٦، ٧٧، ٩٦، ٢٧٢، ٣٤٤،	إبرهارد (Eberhard): ٤٩١
٤٨٩، ٨٥٣	أبو الحسن بن العباس: ١٣
إيباشيا (Hypatia): ٥٩	أبو الحسن الطبرى: ٢٠٦
إيرون (Heron): ٧٥، ٧٦، ٧٧	أبو هاشم (رئيس المعتزلة): ١٤
(ب)	إبرخس: ١٧٤
بارو (Barrow): ٤٩١، ٤٩٢	أبولونيوس: ١٢، ٢٢، ٤٢٤، ٤٧٧،
	٥٠٤، ٥٠٥

(ت)

التهانوفى : ١٠٣

(ث)

ثابت بن قرة : ١١

ثاؤون (Theon) : ٥٩ ، ٦١

ثورندايك (Thorndyke) : ٦٣ ،

٦٤ ، ٧٦

(ج)

جابر بن حيان : ١١

جالينوس (Galen) : ١٢ ، ١٣ ، ٢٠٦

جورجى زيدان : ٣

(ح)

الحاكم بأمر الله الفاطمى : ١٧ ، ١٨ ،

١٩

الحسن بن شاكر : ٦٠ ، ٦١ ، ٦٢

حنين بن إسحاق : ١١ ، ٧٧ ، ٩٤

(خ)

الخازن — الخازنى : ٣ ، ٥

الخوارزمى

— عبد الله الكاتب : ١٣١

— محمد بن موسى : ١١

(د)

دراپر (Draper) : ٣

باكر (Baker) : ٤٩١ ، ٤٩٢

باكون (Bacon)

— روجر (Roger) : ٢٠٣

— فرنسيس (Francis) : ٢٩ ،

٣٠ ، ٣١ — ٣٤

البتانى (محمد بن جابر الحرانى) : ١١

براقيه (Bravais) : ٤٨٤

بروكلمن (Brocklemane) : ٤

برونيه (Brunet) : ٥٩ ، ٦١ ، ٦٤ ،

٦٥ ، ٦٦ ، ٦٨ ، ٦٩ ، ٧١ ، ٧٢ ،

٧٣ ، ٧٤ ، ٧٦ ، ٧٢٨

بطليموس : ١ ، ١٢ ، ٣٦ ، ٤٤ ، ٦٣ ،

٦٤ ، ٦٦ ، ٦٧ ، ٦٨ ، ٦٩ ، ٧٥ ،

١٧٤ ، ١٩٩ ، ٢٩٨ ، ٣٤٤ ، ٣٩٣ ،

٣٩٧ ، ٤٨٩ ، ٤٩٠ ، ٧٠٩ ، ٧١٦ ،

٧٢٨ ، ٧٩٩ ، ٨٢٤ ، ٨٣٤ ، ٨٥٠ ،

٨٥٤

بنو شاكر : ١١

بودا (Bode) : ٢ ، ٦٧ ، ٦٨ ، ٤٦٩ ،

٤٧٠ ، ٤٨٨ ، ٤٩١ ، ٤٩٢ ، ٦١٣

بوجيه (Bouget) : ١٣٧

البوزجاني (أبو الوفا) : ١١

البيهق : ١٦ ، ١٨ ، ٢١ ، ٢٣ ، ٣٦

پرستون (Preston) : ٥٢ ، ٥٣

پرستلى (Priestley) : ٢ ، ٣

شون (Schone) : ٧٦
 الشيرازى (قطب الدين) : ٩، ٨،
 ٤٢٩، ٢٢، ٢١، ١٠

(ص)

صارتون (Sarton) : ٧٦، ٧٥، ٧٤
 الصوفى (عبد الرحمن) : ١١

(ط)

الطوسى (نصير الدين) : ٩، ١٠، ٦٠،
 ٦١، ٦٢، ٩٨، ١٣١، ٨٢٤،
 ٨٢٦، ٨٣٤، ٨٥٠

(ع)

علم الدين قيصر : ١٩
 على بن العباس : ٢٠٦

(غ)

غاليليه (Galilie) : ١٥١، ٨٥٤
 غاوس (Gauss) : ٢٢٢
 الغزالى : ٣٥، ١١٣، ١٣١
 غوفى (Govi) : ٧١

(ف)

الفارابى : ١١
 الفارسى (كمال الدين) : ٤، ٥، ٨
 ٢١، ٢٢، ٨٢، ٩٣، ٩٧، ١١٠،
 ١١١، ١١٢، ١١٣، ١٢٠، ١٣٦

دلاپورتا (Della Porta) : ٢، ١٨٠،
 ٢٠٣

دميانوس (Damianus) : ٧٦، ١١٨
 ديكارت (Descartes) : ٩٤، ١١٨

١٢٤

ديوقليس (Diocles) : ٧٥

(ر)

الرازى

— أبو بكر : ١١، ٧٧، ٢٠٦

— نضر الدين : ١٣١، ٢٠٦

رزز (Risner) : ١، ٣، ٢١٠

الرواقيون : ٥٥، ٨٣

(ز)

زينون الستيومى : ٥٥

(س)

سر كيس : ٤

سلامة بن رحمون : ٢١

سلوس (Sluse) : ٤٩١

سمث (Smith) : ٦٣

سنل (Snell) : ٧٨٩ ✓

سهل بن بشر : ١١

(ش)

الشهرستانى : ٥٢، ٥٥

كبلر (Kepler) : ٣ ، ١١٨ ، ٢٢٢ ،

٧٠٩ ، ٢٣٩

كرتشر (Kircher) : ١٧٦

كرنكو : ١٧٤

كرو (Crew) : ٣

كلفن (Kelvin) : ٤٦ ، ٥٠

كليوميدس (Cleomedes) : ٧٤ ،

٧٢٨

الكندى : ١١

كوپرنيكوس (Copernicus) : ٣٦

(ل)

لا كاي (La Caille) : ٦١٣

لامبير (Lambert) : ١٧٧

لستنچ (Listing) : ٢٢٤

ليبنز (Leibnitz) : ١٢٤

ليناردو دافنشي (Leonardo da Vinci)

٢٠٣ ، ١٧٦ : (Vinci)

(م)

مالك (Mallik) : ٥٥

ماك (Mach) : ٣٦ ، ٦٥ ، ٧٦ ، ٨٨ ،

٩٤ ، ١١٧ ، ١٧٦ ، ١٧٧ ، ٢٢٢ ،

٨١٢ ، ٨١١

مايرهوف (Meyerhof) : ٧٧ ، ٢٠٦

المبشر بن فاتك (أبو الوفاء) : ٢٠

١٤٤ ، ١٥٢ ، ١٧٤ ، ١٧٥ ، ١٨١ ،

١٨٧ ، ٢٠٦ ، ٢٠٧ ، ٢٠٨ ، ٢٢٢ ،

٢٣٧ ، ٢٦٧ ، ٢٦٩ ، ٣١١ ، ٣٣٠ ،

٣٣٨ ، ٣٤٣ ، ٣٥٨ ، ٣٧٢ ، ٣٧٤ ،

٤٢٢ ، ٤٢٤ ، ٤٢٨ ، ٤٢٩ ، ٤٣٠ ،

٤٥١ ، ٤٦٤ ، ٥٢٥ ، ٥٩٧ ، ٦٠٩ ،

٦١٧ ، ٦٨٤ ، ٦٨٩ ، ٧٠٩ ، ٧١١ ،

٧١٢ ، ٧٢٢ ، ٧٢٦ ، ٧٣٩ ، ٧٤٢ ،

٧٥٦ ، ٧٦٣ ، ٧٧٩ ، ٧٩٣ ، ٧٩٧ ،

٧٩٩ ، ٨١٨ ، ٨٣٣

الفرغانى (احمد بن كثير) : ١١

فرما (Fermat) : ٧٦

الفلكى (محمود) : ٣٤٦

فيثاغورس (Pythagoras) : ٥١

فيتلو (Vitelo) : ٢ ، ١ ، ٢٠٣ ، ٤٦٩ ،

٤٩١

فيدمان (Wiedemann) : ٢ ، ٤ ،

١٧٥ ، ١٥٨ ، ٤١٠ ،

فيلد (Wilde) : ٨١٢

(ق)

قسطن بن لوقا : ٧٧

القفطى : انظر ابن القفطى

(ك)

كارل بيرسون (Karl Pearson) : ٣٦

هويجنز (Huygens) : ١٦٨ ، ٤٩١ ،

٨٥٤

هيج (Heiberg) : ٥٩ ، ٦١

(و)

والاس (W. Wallace) : ٥٢ ، ٥٣ ،

٥٤

وودورث (Woodworth) : ٢٨٦

(ى)

يحيى النحوى : ١٣

يعقوب بن إسحاق الكندى : ٦٢ ،

٧٧

ينج (Young) : ٤٨٤

يوسف الفاسى الإسرائيلى : ٢٠

مريوط (Marriotte) : ٤٨٤

مكسول (C. Maxwell) : ٥٠

معشر البلخى : ١١

مورولىكوس (Maurolycus) :

٢٢٢ ، ٢٠٣

مونتوكلا (Montucla) : ٣

ميلي (Mieli) : انظر « برونيه »

(ن)

نيوتن (Newton) : ١٠٥ ، ٥١ ، ٥٠ ،

١٠٦ ، ١٢١ ، ١٢٩ ، ١٣٥ ، ١٣٦ ،

١٤٥ ، ١٤٧ ، ٤٨٤ ، ٨٥٤

(ه)

الهازن (Alhazen) : ١ ، ٢ ، ٤ ، ٥

هلمهولتز (Helmholtz) : ٢٢٢

فهرس هجائي

بالإصطلاحات والموضوعات الواردة في الكتاب

الار فام تير الى الصفحات

الآثير : ٧٣

الاحتياال : ٤١٦

الاحراق : ٤١٠ — ٤١٢ ، ٨٠٦ ،

٨٠٧ ، ٨٠٨ ، ٨٠٩

الاحساس : انظر « الحس »

الاحساس المجرد : ٢٧٧ ، انظر أيضاً

« الادراك »

الاحساس

انتقال الاحساس : ٢٢٥ — ٢٣٣ ،

٢٩٩

أحكام : انظر « حكم »

الاختلاف : ٢٤٠

اختلاف المناظر : انظر « علم »

اختلاف المنظر : ٧٣٧ ، ٨٢٧ ، ٨٣٤

إدراك

إدراك البعد : انظر « البعد — إدراكه »

إدراك التجسيم : انظر « التجسيم — إدراكه »

(١)

الإبصار

خط الابصار : ٢٣٣

لوحة الابصار : ٣٠٤

كيفية الابصار عند أصحاب التعاليم :

٣٢ ، ٧٩ ، ٨٣ ، ٩٣ — ٩٧ ،

٥٩٠

كيفية الابصار عند الفلاسفة : ٣٢ ،

٧٩ ، ٨٣ ، ٩٣ ، ٩٧ — ٩٩ ،

٥٩١

نظرية الابصار عند ابن الهيثم : ٣٥ ، ٩ ،

٢١٦ — ٢٣٩

نظريات الابصار في الفلسفة اليونانية :

٥١ — ٥٥

أبعاد ما بين الكواكب

أثر الانعطاف فيها : ٨٣٨ — ٨٤٥

أبو قلمون : ١١٢ ، ١١٣

الأرملا (Armillar) : ٨٢٦

الاتصال : ٢٤٠

الاتصال

مذهب الاتصال : ١٤٧

إدراك

إدراك الجهة: انظر «الجهة — إدراكها»
إدراك الحسن: انظر «الحسن — إدراكه»
إدراك الشفيف: انظر «الشفيف — إدراكه» .

إدراك الشكل: انظر «الشكل — إدراكه» .

إدراك الصور بالانعطاف: ٧٢٣ — ٧٢٧

إدراك الصور بالانعكاس: ٥٩٠ — ٥٩٦
إدراك الضوء واللون: ٢٥١ — ٢٥٤
إدراك الظلمة: انظر «الظلمة — إدراكها»
إدراك العدد: انظر «العدد — إدراكه»
إدراك العظم: انظر «العظم — إدراكه»
إدراك الكثافة: انظر «الكثافة — إدراكها» .

إدراك ماهيات الأشياء — كيفيته: ٢٩٠ — ٢٩٦

إدراك ماهيات الأشياء — الغلط فيه: ٣١٦ — ٣١٧

إدراك ماهية الضوء واللون: ٢٥٣ — ٢٥٤

إدراك المبصر واحداً: ٢٩٨، ٦٥ — ٣٠٦

إدراك المعنويات: ٢٤٦

إدراك الهوية: ٢٩٤

الإدراك

الإدراك الحسى: ٢٤٨

الإدراك البين: ٣٠٧ — ٣١٠

الإدراك المحقق: ٢٩٧، ٢٦٥

الإدراك المحقق وغير المحقق للخيال:

٦٢٠، ٦٦٨، ٦٢١، ٦٧٠

الإدراك المظنون: ٢٦٥

الإدراك

الإدراك بالبديهة: ٢٧٧ — ٢٨٢

الإدراك بالبديهة مع تقدم المعرفة: ٢٧٩

الإدراك بالبصر: ٢٤٩، ٢٥٠، ٢٧٦ — ٢٩٨

الإدراك بالتأمل: ٢٧٧ — ٢٨٢

الإدراك بالتأمل مع تقدم المعرفة: ٢٧٩

الإدراك بالحس المجرد: ٢٤١، ٢٤٧، ٢٥٣

الإدراك بالقياس والتمييز: ٢٤٢ — ٢٥٠

الإدراك بمجرد البديهة: ٢٧٨

الإدراك بمجرد التأمل: ٢٧٩

الإدراك بالمعرفة: ٢٤٢ — ٢٥٠، ٢٩٢ — ٢٩٧

الإدراك

زمان الإدراك: انظر «زمان»

الإرتداد

معامل الارتداد: ١٢٦

الإستضاء

شدة الاستضاءة: ١٧٦ — ١٧٨

الإستطارة

ظاهرة الاستطارة: ٩٢

الإستقراء: ٣٠، ٣١، ٣٢ — ٤٣

الإشراق الكرى: ١٦٧، ١٦٩

الإضاءة: ٣١٣

الأمارة

تعريف الأمارة : ٢٩٣

أنالوجي : ٣١—٤٩

انعطاف الأشعة المتوازية : ٧٩٠ ،

٧٩٣ — ٧٩١

الانعطاف

الانعطاف عند السطح الاسطواني :

٧٠٣ ، ٧٠٧ — ٧٠٩

الانعطاف عند السطح الكروي : ٦٩٩

— ٧٠٢ ، ٧٠٣ ، ٧٠٦ — ٧٠٧

الانعطاف عند السطح المستوي : ٩٨ —

— ٦٩٩ ، ٧٠٣ ، ٧٠٤ — ٧٠٦

الانعطاف في الطبقة الهوائية : ٨٢٣ —

٨٤٧

الانعطاف

آلة الانعطاف : ٦٨٥ — ٦٩٠ ، ٧٢٣

أثر الانعطاف في مواضع الكواكب

وأبعادها : ٨٣٨ — ٨٤٧

أحكام الانعطاف : انظر « حكم » .

بحوث الانعطاف (الكمية) : ٧٠٣ ،

٧٠٣ — ٧٠٩

خط الانعطاف : انظر « خط » .

خيالات الانعطاف : انظر « خيال » .

زاوية الانعطاف : ٦٨٣

سطح الانعطاف : انظر « سطح » .

عدم الانعطاف : ٦٩٣ — ٦٩٧

علة الانعطاف : ١٣٩ ، ١٤٣

كيفية الانعطاف : ٦٨٢ — ٦٨٥ ،

٦٩٠ — ٦٩٣ ، ٦٩٧ — ٧٠٢

نظرية الانعطاف : انظر « نظرية » .

الإعتبار

خطر الاعتبار في بحوث ابن الهيثم :

٤٣ — ٤٧

الإعتدال

عرض الاعتدال : ٣١٢

الإعتماد

١٢٨ — ١٣٠

أغلاط البصر : انظر « البصر —

أغلاطه » .

أغلاط البصر

أقسام أغلاط البصر : ٣١٤

علة أغلاط البصر : ٣١١ — ٣١٤

الأغلاط

الأغلاط في القياس : ٣١٨ — ٣٢

الأغلاط في مجرد الحس : ٣١٤ — ٣١٦

الأغلاط في المعرفة : ٣١٦ — ٣١٧

ألوان التقايع : انظر « التقايع »

الألوان : انظر « لون » و « اللون » .

الألوان

اختلاف الألوان — السبب فيه : ١٠٩ ،

١١٠

امتداد الألوان : ١٠٧ ، ١٠٨ ، ١٠٩

امتزاج الألوان : ١١٤ — ١١٧

صور الألوان : انظر « الصورة »

الأمارة : ٢٤٢ ، ٢٩٢ — ٢٩٧ ، انظر

أيضاً « الادراك بالمعرفة » .

انعكاس

انعكاس الأشعة المتوازية : ٤٠٢ —

٤٧٩ ، ٤٠٧

انعكاس ضوء الشمس عن القمر :

٣٩١ — ٤٠١

انعكاس النقطتين : انظر « تعاكس »

الانعكاس

الانعكاس الداخلي السكلي : ٧٢١

الانعكاس المنتظم وغير المنتظم : ٩٨

الانعكاس عن سطح الكرية المحدبة :

٣٨١ — ٤٠١

الانعكاس عن سطح الكرية المقعرة :

٤٠٢ — ٤٧٤

الانعكاس عن سطح مدور القطع المكافئ :

٤٧٥ — ٤٧٩

الانعكاس

آلة الانعكاس : ٣٤٦ ، ٤٧ ، ٤٥ —

٦٠٤ ، ٣٦٠

أحكام الانعكاس : انظر « حكم »

تمام الانعكاس — عدمه : ٣٤٢ ، ٣٤١

حالات الانعكاس — استقراؤها :

٣٦٣ — ٣٦٠

خط الانعكاس : انظر « خط »

خيالات الانعكاس : انظر « خيال »

سطح الانعكاس : انظر « سطح »

فصل الانعكاس : ٣٤٥

كيفية الانعكاس : ٣٣٩ — ٣٦٣

نظرية الانعكاس : انظر « نظرية »

نقطة الانعكاس : انظر « نقطة »

الانعكاسية

انظر « ضعف الانعكاسية »

الانكسار

زاوية الانكسار : ٦٨٤

الانتباه : ٢٧٩

الانتزاع : ٢٨٥

انفعال : ١٢٦

الأوپيقي : انظر « علم »

الائتلاف : ٢٧٦ ، ٢٧٥

الآين : ٢٥٩

(ب)

الباقية : ٦٨٤

بحوث ابن الهيثم

ذووعها عند الاسلاميين : ٨ — ١٠

طريقته فيها : ٢٩ — ٣٧

بديهيات : ٢٤٥

البصر : انظر « العين »

البصر

إحساس البصر — جنسه : ٢٢٧ ،

٢٢٨ ، ٢٣٠

البصر

إحساس البصر بالضوء واللون :

٢٥٦ ، ٢٥٥

إدراك البصر — كلفيته: ٢٣٥ — ٢٣٩

أغلاط البصر: ٣١١ — ٣٨٨ ،

٦٠١ — ٦٠٢ ، ٧٤٤ — ٧٤٥

تكيف البصر: ٢٦٤

حدة البصر: ٢٦١ ، ٢٢٣

خواص البصر: ٢٥٤ — ٢٥٧

كل البصر: ٢٥٦

محور البصر: ٢٣٣

مركز البصر: ١٠٠ ، ٢٢٥ ، ٢٣٣

انبساط الأثر في البصر: ٣٣٧ — ٣٣٨

البعد: ٢٤٠

البعد في ذاته: ٢٥٨

البعد

البعد المسرف: ٢٦٠

البعد المعتدل: ٢٦٠ ، ٢٦٤ ، ٢٦٥

البعد البؤري: ٨٠٢ — ٨٠٨

البعد

إدراك البعد — كلفيته: ٢٥٨ — ٢٦٦

إدراك البعد — الغلط فيه: ٣١٩ ،

٣٢٠ ، ٣٢٢

البقعة الصفراء: ٢٢٤

بؤرة الشعور: ٢٨٥

البؤرة: ٤٠٨ ، ٤٧٦ ، ٤٧٧ ،

٦١٨ ، ٧٩٩

البيضية: ٢٠٨ ، ٢٢٨

(ت)

التأمل: ٢٨٣ — ٢٨٧

التأمل الحسى والعقلى: ٢٨٣

التأمل

زمان التأمل: « انظر زمان »

التالية: ٤٥١

التجسم: ٢٤٠

التجسم

إدراك التجسم — الغلط فيه: ٣١٩

إدراك التجسم — كلفيته: ٢٧٠

التحديد: ٢٦٨ ، ٢٦٩

المتحرك: انظر « حركة »

التذكر: ٢٤٨ ، ٢٤٩

ترجمة ابن الهيثم: ١٠ — ٢٣

التشابه: ٢٤٠

تعاكس النقطتين عن الكرية المقعرة

٤٢٠ — ٤٢٤ ، ٤٢٩ — ٤٥١ ،

٤٧١ — ٤٧٤

الجسم المخالف : ٦٨٤

الجليدية : ٢٠٦ ، ٢٠٧ ، ٢٠٨ ،

٢٠٩ ، ٢١٥ ، ٢١٨ ، ٢٢٥ ،

٢٢٨ — ٢٣٣

الجليدية

احساس الجليدية بالضوء :

٢١٨ — ٢٢١ ، ٢٢٦

شفيف الجليدية : ٢٢٩

الجهة : ٢٦٦ — ٢٦٧

(ح)

الحاس الأخير : ٢٢٧ ، ٢٢٨ ،

٢٣٠ ، ٢٣١ وما يليها

الحرس : ٢٦٥

حرارة نارية : ٧٩

الحركة : ٢٤٠ ، ٢٦٩

الحركة

الطبيعية والعرضية : ١٢١

الحركة

تحليل الحركة وتركيبها : ١٣٠ ،

١٤٨

طاقة الحركة : ١٢٤

كمية الحركة أو التحرك : ١٢٤

قوة الحركة : ١٢٣ ، ١٢٤ ،

١٤٨

تعاليم

أحباب التعاليم : ٣٢ ، ٥٧ ، ٩٠ ،

٣٩١ ، ٥٩٤ ، انظر أيضا « الإبصار »

التفرق : ٢٤٠

التقازيح : ٥٦ ، ١١٢ ، ١١٣ ، ١١٤ ،

١١٧ ، ١١٨ ، ٤٢٥

التقسيم التوافق : ٧٣٦

تلخيص المحصل (كتاب) : ٩

التلون : ١١٨

التشيل : انظر « أنالوجي »

التمويه

فن التمويه والتضليل : ٣١٧

التميين : ٢٤٢ ، انظر أيضا « الادراك »

التناسب : ٢٧٥ ، ٢٧٦

التنبه : ٢٧٩

تنقيح المناظر (كتاب) : ٤

(ج)

الجامع الأزهر : ٢٠

خسوف القمر : ٧٤ ، ١٧٥

الخشونة : ٢٤٠

خط

خط الاستقامة : ٣٤٥ ، ٦٨٤

خط الامتداد : ٣٤٥ ، ٦٨٤

خط الانعطاف : ٦٨٤

خط الانعكاس : ٣٤٥

خط الخيال : ٥٩٧

خط القوة وخطوطها : ٢٣٢

الخط البؤرى : ٦٤٧

خيال وخيالات

خيال النقطة المبصرة : ٢٣٨

خيالات الانعطاف عند السطوح الكرية :

٨١٠ — ٨٢٢

خيالات الانعطاف عند السطوح المستوية :

٧٤٥ — ٧٦١

خيالات الانعكاس عن المرايا الكرية :

٦٠٤ — ٦٨١

خيالات الانعكاس عن المرايا المستوية :

٥٩٠ — ٦٠٣

خيالات الانعكاس عن المرايا المنحنية :

٦٢٨ — ٦٣٠

الخيال : ٥٩٦ ، ٧٢٧ — ٧٢٨

الخيال

الخيال التقديرى : ٦٢٨ ، ٦٥٨

الخيال الحقيقى : ٦٢٨ ، ٦٦٣

الحزمة الضوئية : ١٠١

الحس

مجرد الحس — الغلط فيه : ٣١٤ — ٣١٦

الحسن : ٢٤٠

الحسن

إدراكه : ٢٧٤ — ٢٧٦

حكم وأحكام

حكم ابن الهيثم فى اشراق الأضواء :

١٦٦ — ١٦٩

حكم ابن الهيثم فى الانعكاس : ٣٤٣ —

٣٤٦

أحكام ابن الهيثم فى نقطة الانعكاس عن

الكرية المحدبة : ٣٨٣ — ٣٩١

أحكام ابن الهيثم فى ضعف الانعكاسية :

٤٥١ — ٤٦٧

أحكام بطليموس فى الانعطاف : ٦٧

أحكام بطليموس فى الانعكاس : ٦٦

أحكام الحكم فى الانعطاف : ٧٠٩ —

٧١١ ، ٧٢١

أحكام السكيف فى الانعطاف : ٦٨٢ —

٦٨٥

الحكمة

دار الحكمة : ١٧

الحلق : انظر ذات الحلق

(خ)

الحزنة المظلمة ذات الثقب : ١٨٠ —

٢٠٤

الخيال

- موضع الخيال في الكرية المقعرة :
٦١٩ — ٦٢١
موضع الخيال في المرآة المستوية :
٥٩٧ ، ٥٩٨ ، ٥٩٩

(د)

الدوامة

- الاعتبار بالدوامة : ١١٤ ، ٢٥٤ ،
٢٩٦

ديوپطريقى : ٥٧

(ذ)

ذات الحلق : ٨٢٤ — ٨٢٧

ذات الشعبتين : ٨٣٢ ، ٨٥٠ — ٨٥١

الذخيرة البصرية (كتاب) : ١ — ٤ ،
٤٩٦ ، ٢٤٠

الذكر : ٢٤٨

(ر)

الروح الباصر : ٥٢ ، ٢٥٢

(ز)

زمان

زمان الادراك : ٢٩٤ — ٢٩٧
زمان انتقال الضوء : انظر « الضوء »
زمان التأمل : ٢٨٦

الزيف : ٤٠٢ ، ٤١٠ — ٤١٢ ، ٧٨٢ ،
٧٩٣ — ٧٩٩ ، ٨٠٨ ، ٨٢١

الخيال

- الخيال المستقيم : ٦٤٣ ، ٦٥٧
الخيال المصغر : ٦٦٦ ، ٦٧٠ —
٦٧٢ ، ٦٧١
الخيال الكبير : ٦٦٦

الخيال

- انعكاس الخيال : ٦٦٥ ، ٦٧٠
انقلاب الخيال : ٦٠٠
تشوه الخيال : ٧٤٩ — ٧٥٠
تعدد الخيال : ٦٧٩ ، ٧٣٩ ، ٧٤٣ ،
٧٧٩ ، ٧٦٢
تقوس الخيال : ٦٤٣ ، ٦٤٥ ، ٦٤٦ ،
٦٥١ ، ٦٥٦ ، ٦٥٧ ، ٦٧٩
شكل الخيال (في الكرية المحدبة) :
٦٣٦ ، ٦٤٣ — ٦٥٨
شكل الخيال (في الكرية المقعرة) :
٦٧٢ — ٦٨٠
صفات الخيال (في المرآة المستوية) :
٥٩٩ — ٦٠٠
عظم الخيال (في الانعطاف عند السطح
الكرى) : ٨١٣ ، ٨١٤ ،
٨١٥ ، ٨١٦
عظم الخيال (في الانعطاف عند السطح
المستوى) : ٧٤٨ ، ٧٤٩ ،
٧٥١ ، ٧٥٤ ، ٧٥٥ ، ٧٦٠ —
٧٦١ ، ٨١٤ ، ٨١٥ ، ٨١٦
عظم الخيال (في الانعكاس عن الكرية
المحدبة) : ٦٣٠ — ٦٣٦
عظم الخيال (في الانعكاس عن الكرية
المقعرة) : ٦٥٨ — ٦٦٧
موضع الخيال — قاعدة تعيينه : انظر « قاعدة »
موضع الخيال الحادث بالانعطاف :
٧٣٥ — ٧٣٩ ، ٧٨١
موضع الخيال في الكرية المحدبة :
٦١٣ — ٦١٩

الشعاع

الشعاع الساقط : ٣٤٥

الشعاع الشمسي : ٤١٠

الشعاع المنعكس : ٣٤٥

الشعاع

أصحاب الشعاع : ٩٩ ، ٩٣ ، ٥٥

أنظر أيضا «التعاليم — أصحابها»

خطوط الشعاع : ١٠٠

زاوية الشعاع : ٩

سهم الشعاع : أنظر « سهم »

مخروط الشعاع : ٢٣٤ ، ٢٣٥ ، ١٠٠

مخروط الشعاع — سهمه : ٢٢٥

الشعبتان : أنظر « ذات الشعبتين »

الشعور

بؤرة الشعور : أنظر « بؤرة الشعور »

الشفق : ٩٠

الشفيف : ٨١ ، ٨٧ ، ٩٢ ، ١٣٧ —

١٤٣ ، ٢٤٠

الشفيف

إدراك الشفيف — كلفيته : ٢٤١

إدراك الشفيف — الغلط فيه : ٣١٩

الشكل : ٢٤٠

الشكل

إدراك الشكل — كلفيته : ٢٧١

إدراك الشكل — الغلط فيه : ٣٢٠

(س)

سرعة الضوء : أنظر « الضوء — سرعته »

السرعة

تحليل السرعة وتركيبها : ١٤٥ ، ١٣٠

سطح

سطح الانعطاف : ٦٨٤

سطح الانعكاس : ٣٤٥

السكون : ٢٤٠

سهم

سهم الشعاع : ١٠٠

سهم المخروط المتوهم : ٢٣٣

سهم المرأة : ٤٠٢

سينوغرافيا : ٥٧

(ش)

الشيخ : ٩٨ ، ٨٨ ، ٨٤ ، ٨٣ ، ٥٤

الشبكة : ٢٠٩ ، ٢٢٥ ، أنظر أيضا

« العين »

الشحمة البيضاء : ٢٠٦

الشعاع : ٥٢ ، ٥٣ ، ٥٥ ، ٥٩

١٠٢ — ٩٩ ، ٩٧ ، ٩٥ ، ٩٤ ، ٦٠

(ض)

ضعف الانعكاسية : ٤٥١

ضعف الانعكاسية

أحكام ضعف الانعكاسية : انظر « حكم »

ضوء

ضوء الشمس — انعكاسه عن القمر :

٣٩١ — ٤٠١

ضوء الصباح : ٩٠ ، ٩١ ، ٩٢ ،

١٥٨ — ١٦٠ ، انظر أيضاً

« الفجر »

ضوء العشي : ٩٢

ضوء القمر — الاعتبار به : ١٥٦ — ١٥٨

ضوء القمر — ماهيته : ٩٠ ، ٣٩١ ومايلها

ضوء الكواكب : ١٥١

الضوء : ٢٤٠

الضوء المستطير : ٩٣

الضوء

إدراك الضوء — كيفيته : ٢٥١ — ٢٥٤

إدراك الضوء — الغلط فيه : ٣١٥

إشراق الضوء — كيفيته : ١٦٦ — ١٦٩

إشراق الضوء — إشراقاً كرياً : ١٦٧ ،

١٦٩

اعتبار الضوء كماً : ١٧٧

امتداد الضوء على السموت المستقيمة :

١٤٩ — ٢٠٤

انخراط الضوء في الثقوب : ١٥٢ ، ١٦٤

تثبيت الضوء : ٨٧ ، ٨٨ ، ٨٩

تشبث الضوء : ١٠٥

تعريف الضوء : ٧٨ — ٨٦

توزع الضوء في الاطلال : ١٧٦ — ١٨٠

شك وشكوك

شك على أقوال ابن الهيثم في أثر الانعطف

في أبعاد الكواكب ومقاديرها :

٨٤٥ — ٨٤٧

شكوك على أحكام ضعف الانعكاسية :

٤٦٧ — ٤٧١

شكوك على مسألة ابن الهيثم : ٤٩١ ، ٤٩٢

(ص)

الصباح : انظر « الفجر »

الصقال : ١٣٣ ، ١٣٥

صورة وصور

صورة كسوف الشمس : انظر « الخزانة

المظلمة ذات الثقب » .

صورة المبصر في البصر : ٢٢٠ ،

٢٢٢ ، ٢٢٨

صورة المبصر في البصر — تأديها فيه :

٢٢٥ — ٢٣٣

صورة هلال القمر : انظر « الخزانة

المظلمة ذات الثقب » .

صور الأضواء والألوان : انظر « الصورة »

الصورة : ١٠٣ — ١٠٥

الصورة

الصورة الجزئية أو الشخصية : ٢٨٧

الصورة العقلية أو الذهنية : ٢٨٧ —

٢٩٢

الصورة الكلية أو النوعية : ٢٨٧

الظل

الظل المحض : ١٧٢ ، ١٧٣

الظل الممازج للضوء : ١٧٣

الظل

شبه الظل : ١٧٠

طول الظل — حسابه : ١٧٣

الظلمة : أنظر الظل

الظلمة : ٢٤٠

الظلمة

ادراك الظلمة : ٢٥٧

(ع)

العدد : ٢٤٠

العدد

ادراك العدد : ٢٨٦

العدسات : ٧٤٥ ، ٨١١ ، ٨١٧

العصبة

العصبة البصرية : ٢٠٦ ، ٢٠٩ ،

٢١٤ ، ٢٣٠

العصبة المشتركة : ٢٢٧ ، ٢٢٨ ، ٣٠٤

العصى : انظر « القضبان »

العطفية : ٦٨٤

العظم : ٢٤٠

العظم

ادراك العظم — كيفيته : ٢٧١ — ٢٧٤

الضوء

توزع الضوء في صورة الخزانة المظلمة :

انظر « الخزانة »

جسم الضوء : ٦٨٤

سرعة الضوء : ١١٨ — ١٢٠ ،

١٣٥ ، ١٣٧ ، ١٣٨ ، ١٣٩

صورة الضوء أو الأضواء : أنظر

« الصورة »

ضعف الضوء بسبب البعد : ١٦٩

علم الضوء : أنظر « علم »

وجود الضوء في داته : ٨٥ ، ٨٢ ، ٢٦

الأضواء

الأضواء الذاتية : ٨٦ — ٨٧

الأضواء الذاتية — خواصها :

١٥٠ — ١٥٤

الأضواء الذاتية — اعتبارات فيها :

١٥٤ — ١٥٦ ، ١٦٠ — ١٦٥

الأضواء العرضية أو الثواني :

٨٦ — ٨٨ ، ٩٠

الأضواء العرضية — اعتبارات فيها :

١٥٤ — ١٦٥

الأضواء العرضية — انعطافها : ٧٠٢

الأضواء العرضية — انعكاسها :

٢٣٤ — ٢٤١

الأضواء المنعكسة : ٨٨ ، ٩٠ ، ١٦٦

الأضواء النافذة : ١٦٦

(ظ)

الظل : ٢٤٠

الظل والاضلال : ١٧٠ — ١٨٠

الظل والاضلال

تجارب فيها : ١٧٣

الظل

الظل الهندسى : ١٧١

(ف)

الفتومترية : ١٧٦ ، ١٧٧

الفجر : انظر « ضوء الصباح »

الفجر

ضوء الفجر : ١٦٥

نظرية ابن الهيثم فيه : ٩٠ — ٩٣

فصل

فصل الانعطاف : ٦٨٥

فصل الانعكاس : ٣٤٥

الفصل المشترك : ٣٤٥

الفلاسفة الطبيعيون : ٣٢

انظر أيضاً « الابصار — كيفيته
عند الفلاسفة »

فلسفة

فلسفة ابن الهيثم : ٢٣ — ٥٠

الفلسفة

الفلسفة الهندية : ٥٥

الفلسفة اليونانية — نظريات الأبصار

فيها : ٥١ — ٥٥

الفلك

جسم الفلك : ٧٣

كرة الفلك : ٧٣

ادراك العظم — الغلط فيه :

٣٢٢ — ٣٧٧ ، ٨٤٧ — ٨٤٩

علم

علم اختلاف المناظر : ٥٧

علم الأوبتيقي : ٢ ، ٥٧ ، ٥٨

علم الضوء عند الاسلاميين : ٧٧

علم الضوء في العصر الاسكندري :

٥٦ — ٧٦

علم المناظر : ٥٧ ، ٥٨

علم المنظور : ٥٧

العلم

العلم التعليمي : ٣٨ ، ٣٩ ، ٤٠

العلم الطبيعي : ٣٨ ، ٣٩ ، ٤٠

علوم أول : انظر بديهيات

العكس

قبول العكس : ٧٢

قبول العكس — قاعدته : انظر « قاعدة »

العينية : ٢٠٦ ، ٢٠٧ ، ٢٠٩ ، ٢١٠ ، ٢٣٣

العين : ٢٠٥ — ٢١٦ ، انظر أيضاً « البصر »

العين المبسطة : ٢٢٤ ، ٢٧٢

(غ)

غلاف

غلاف الأشعة المنعطفة : ٧٣٦

غلاف الأشعة المنعكسة : ٦٣٩ ، ٦٤٨ ، ٦٨٠

غلط : انظر « أغلاط »

قطاع

القطاع الأول : ٤٣٠

القطاع المقابل : ٤٣٠

القطع الزائد : ٥٠٤ ، ٤٩٨

القطوع المخروطية

استخراجها بالآلة : ٤٧٩

القمر

الاعتبار بالقمر : ٨٣٢ — ٨٣٥ ، ٨٥٢

القوة : ١٤٨

القوة

القوة الباصرة : ٨٠

القوة المميزة : ٢٤٢

القوة النورية : ٨٠

قوس قزح : ٤٢٨ — ٤٢٥ ، ٥٦ ، ٤٠

القياس : ٢٧ ، ٣٠ ، ٣١ ، ٣٣ ، ٤٨ ،

٢٤٢ — ٢٥٠

القياس — الغلط فيه : ٣١٨ — ٣٣٣

(ك)

كتب ابن الهيثم

كتاب الأصول الهندسية والعددية : ١٤

كتاب الجامع في أصول الحساب : ١٤

كتاب خطوط الشعاعات : ٧٩٧

(ق)

قاطوپطريق : ٥٧ ، ٧٥ ، ٧٦

قاعدة

قاعدة أقصر الأوقات : ٧٦ ، ١٤٤

قاعدة تعيين موضع الخيال في الانعطاف :

٧٢٩ — ٧٣٥ ، ٧٣٧

قاعدة تعيين موضع الخيال في الانعكاس :

٥٩٦ — ٥٩٨ ، ٦٠٤ ، ٦١٣

قاعدة قبول العكس : ٧٢ ، ٧٢١ —

٧٢٢ ، ٧٦٣ ، ٧٧٧

قانون : انظر « حكم وأحكام »

قانون

قانون الانكسار (الأول) : ٦٨٤

قانون المراة السكرية المحدبة :

٦٢١ — ٦٢٣

قانون المراة السكرية المقعرة :

٦٢٣ — ٦٢٥

قانون المراة التي فصلها قطع ناقص :

٦٢٥ — ٦٢٨

القبح : ٢٤٠

القزحية : ١٠٠ ، ٢١٥

قسط الاعتماد : انظر الاعتماد

القصور الذاتي : ١٤٧ ، ١٤٨

القضبان : ٢٥٥

(م)

المادة : ١٠٣

الماهية

ادراك الماهية — كيفيته: ٢٩٤ — ٢٩٦

ادراك الماهية — الغلط فيه :

٣١٦ — ٣١٧

المثل الميكانيكية

أصحاب المثل الميكانيكية : ٥٠

المجازية : ١٣٦

المجسطى : ٦٣ ، ١٧٤ ، ١٩٩ ،

٨٢٤ ، ٨٣٤ ، ٨٥٠

المحجر

ثقب المحجر : ٢٠٧

مخروط

مخروط الاستقامة : ٧٢٦

مخروط الشعاع : انظر « الشعاع »

المخروطات : ٢٥٥

المدافعة : ١٣٢ ، ١٣٦ ، ١٤٥

المرآة : انظر « الانعكاس »

المرآة

المرآة الحلقيّة اللامّة : ٤٠٨ — ٤١٠

كتب ابن الهيثم

كتاب الرد على أبي الحسن : ١٣

كتاب الرد على يحيى النحوى : ١٣

كتاب علم عقود الأبنية : ١٦

كتاب المساحة : ١٦

الكشافة : ٨١ ، ٨٧ ، ٩٢

الكشافة

إدراك الكثافة — كيفيته : ٢٤٢

إدراك الكثافة — الغلط فيه : ٣١٩

الكواكب

إدراك الكواكب عند الأفق أعظم :

٣٣٣ — ٣٣٧

أضواء الكواكب : انظر « ضوء

الكواكب »

(ل)

اللاأدرية : ٢٧

لون

لون الجسم : ١١١

لون المضيء بذاته : ١١٣

اللون : ١٠٥ — ١١٨ ، ٢٤٠ ،

انظر أيضا « الألوان » و « التباين »

اللون الحادث بالانعكاس : ١١٢ ، ١١١

اللون الحادث بالامتصاص : ١١٧

اللون

إدراك اللون — كيفيته : ٢٥١ — ٢٥٤

إدراك اللون — الغلط فيه : ٣١٥

إسفار اللون أو قوة اللون : ١١٥

وجود اللون في ذاته : ١٠٦ — ١١١

المعرفة : ٢٧ ، انظر « الادراك بالمعرفة »

المعرفة

الغلط في المعرفة : ٣١٦ — ٣١٧

المقابلة : ٦٦٠

مقالات ابن الهيثم

مقالة الاثرين قوس قزح والهالة :

٤٠ ، ٤١ ، ١٠٠ ، ٤٢٥ —

٤٢٩ ، ٤٨٠ ، ٤٨٥

مقالة اجراءات الحفور والأبنية : ١٥

مقالة استخراج سمت القبلة : ١٥

مقالة استخراج ما بين بلدين : ١٥

مقالة أضواء السكاك : ١٥١

مقالة الاظلال : ١٧٠ — ١٨٠

مقالة أن البرهان واحد : ١٤

مقالة برهان الشكل الذي قدمه أرشميدس

في قسمة الزاوية ثلثة أقسام : ١٤

مقالة تباين مذهب الجبريين والمنجمين : ١٤

مقالة تفضيل الاهواز على بغداد : ١٥

مقالة الرد على أبي هاشم رئيس المعتزلة : ١٤

مقالة صورة الكسوف : ١٨١ — ٢٠٤

مقالة ضوء القمر : ٢٢ ، ٤٢ ، ٨١ ،

٩٠ ، ١٥٦ ، ٢٠١ ، ٣٨٣ ،

٣٨٧ ، ٣٩٠ ،

٣٩١ — ٤٠١

مقالة الضوء : ٧٩ ، ٨١ ، ٨٢

مقالة المرأة المحرقة بالدائرة .

٤٠٢ — ٤٢٠

مقالة المرأة المحرقة بالقطوع : ٢٢ ،

٤٧٥ — ٤٧٩

مقالة الكرة المحرقة : ٧٧٨ ، ٧٩٠

٨٠٩ —

مقالات كتاب المناظر : ٥ — ٨

المرأة

المرأة المحرقة المركبة : ٤١٥ — ٤١٨

المرأة المحرقة في نقطتين : ٤١٦ — ٤١٧

المرأة المخروطية — أوضاعها الستة :

٥٥٦ — ٥٧٥

المراويات : ٥٧

المرايا السبع : ٣٥٠

المرايا السبع

تعين أجزائها المقابلة : ٣٦٦ — ٣٧٠

تعين النظر فيها : ٣٧٠ — ٣٨٠

المرايا المحرقة : ٨ ، ٤٠٢ ، ٤١٢ —

٤٢١ ، ٤٧٥

مسألة ابن الهيثم : ٤٨٧ — ٤٩٢

المسائل العددية (كتاب) : ٣

المسموعات : ٢٦٧

المشاهدة : ٢٨٠

المعاني الجزئية : ٢٤٠

المعاني المبصرة : ٢٦ ، ٢٤٠ ، ٢٥١

المعاني الميكانيكية

في نظريتي الانعكاس والانعطاف :

١٤٧ — ١٤٨

المقدمات الهندسية

لبحوث أشكال خيالات الكرية المحدبة :

٦٤٣ — ٦٣٦

لبحوث الانعطاف عند السطوح الكرية :

٧٦٥ — ٧٦٣

لتعيين نقطة الانعكاس : ٤٩٢ — ٤٩٦ ،

٤٩٧ — ٥٢٧

المقياس

المقياس الادراكي : ٣٣١

المقياس المطلق : ٣٣١

الملاسة : ١٣٣

الممانعة : ١٢٤ — ١٢٧ ، ١٣٨ — ١٤٣

الممانعة الغلظية : ١٤٥

الميل (بمعنى الاعتماد) : انظر الاعتماد

الميل : (بمعنى الاعتماد)

الميل الطبيعي : ١٣١

الميل القسرى : ١٣١

الميل

ادراك الميل : ٢٦٨ ، ٢٦٩

(ن)

النار الالهية : ٥٢

النظير : ٣٦٤ — ٣٦٦ ، ٣٧٠ — ٣٧١

٣٨٠

نقطة الانعكاس : ٣٨١ ، ٣٨٢ ،

٣٨٧ ، ٥٢٨

نقطة الانعكاس

طريقة تعيينها

في حالات خاصة من المرايا المختلفة :

٤٨٨ ، ٥٣٥ — ٥٤٢ ، ٥٤٤ —

٥٤٥ ، ٥٥١ — ٥٥٦

في المرآة الأسطوانية : ٥٤٣ — ٥٤٨

في المرآة الكرية المحدبة : ٥٢٩ — ٥٣٣

في المرآة الكرية المقعرة : ٥٣٣ — ٥٤٣

في المرآة المخروطية : ٥٥١ — ٥٨٩

في المرآة المستوية : ٤٨٧ — ٤٨٨

نقاط الانعكاس

عددها

في المرآة الأسطوانية المحدبة : ٥٤٣ ،

٥٤٨ ، ٥٥٠

في المرآة الأسطوانية المقعرة : ٥٤٣ ،

٥٤٨ — ٥٥٠

في المرآة الكرية المحدبة : ٣٨٣ — ٣٨٥

في المرآة الكرية المقعرة : ٤٣٥ —

٤٣٦ ، ٤٦٨

في المرآة المخروطية المحدبة : ٥٥١ ،

٥٥٥ ، ٥٨١ — ٥٨٩

في المرآة المخروطية المقعرة : ٥٥١ ،

٥٥٥ ، ٥٧٦ — ٥٨١

نظريات ابن الهيثم

نظريته في الابصار : ٢١٦ — ٢٣٣ ،

٢٣٣ — ٢٣٩

نظريته في الادراك : ٢٤١ — ٢٤٩

نظريته في الادراك بالبصر :

٢٤٩ — ٢٥١ ، ٥٩٠ — ٥٩٦ ،

٧٢٣ — ٧٢٧

نظريات ابن الهيثم

نظريته في اغلاط البصر: ٣١١ — ٣١٤ ،

٦٠١ — ٦٠٣ ، ٧٤٤ — ٧٤٥

نظريته في الانعطاف: ١٣٧ — ١٤٧

نظريته في الانعكاس: ١٢١ ، ٨٩ —

١٣٧

نظريته في ضوء القمر: ٩٠ ، ٣٩١

نظريته في الفجر: ٩٠ — ٩٣

نظريته في قوس قزح: ٤٠ — ٤٢ ،

٤٢٥ — ٤٢٩

نظريته في اللون: ١٠٥ — ١١٨

نظريته في الحالة: ٤٠ ، ٤٨٠ — ٤٨٢

النظرية العلمية

رأى ابن الهيثم فيها: ٣٥ ، ٣٦ ،

٣٧ — ٤٣

(و)

الورود

نظرية الورود: ٧٥٧ ، ٢٦٧ ، ٩٧ ، ٥٤

الوضع: ٢٤٠

الوضع

ادراك الوضع — كفيته: ٢٦٦ — ٢٦٩

ادراك الوضع — الخلط فيه: ٣١٩ ، ٣٢٠

الوميض: ٢٥٧

(هـ)

الحالة: ٤ ، ٥٦ ، ٤٨٠ — ٢٨٥

هندسة الاضاءة: ٣١٣

الهواء

تدرجه في اللطافة: ٨٣٦ — ٨٣٧

الهوية

ادراك الهوية: ٢٩٤

الهيولى: ١٠٣

Handwritten text on the left side, top section.

Handwritten text on the left side, middle section, consisting of several lines.

Handwritten text on the left side, bottom section.

Handwritten text on the left side, bottom section, continuing the previous line.

(1)

Handwritten text on the left side, bottom section.

Handwritten text on the left side, bottom section, continuing the previous line.

Handwritten text on the right side, top section.

Handwritten text on the right side, top section.

Handwritten text on the right side, top section.

Handwritten text on the right side, top section.

Handwritten text on the right side, middle section.

(4)

Handwritten text on the right side, middle section.

Handwritten text on the right side, middle section.

Handwritten text on the right side, middle section.

Handwritten text on the right side, middle section.

Handwritten text on the right side, middle section.

Handwritten text on the right side, middle section.

Handwritten text on the right side, middle section.

استدراك

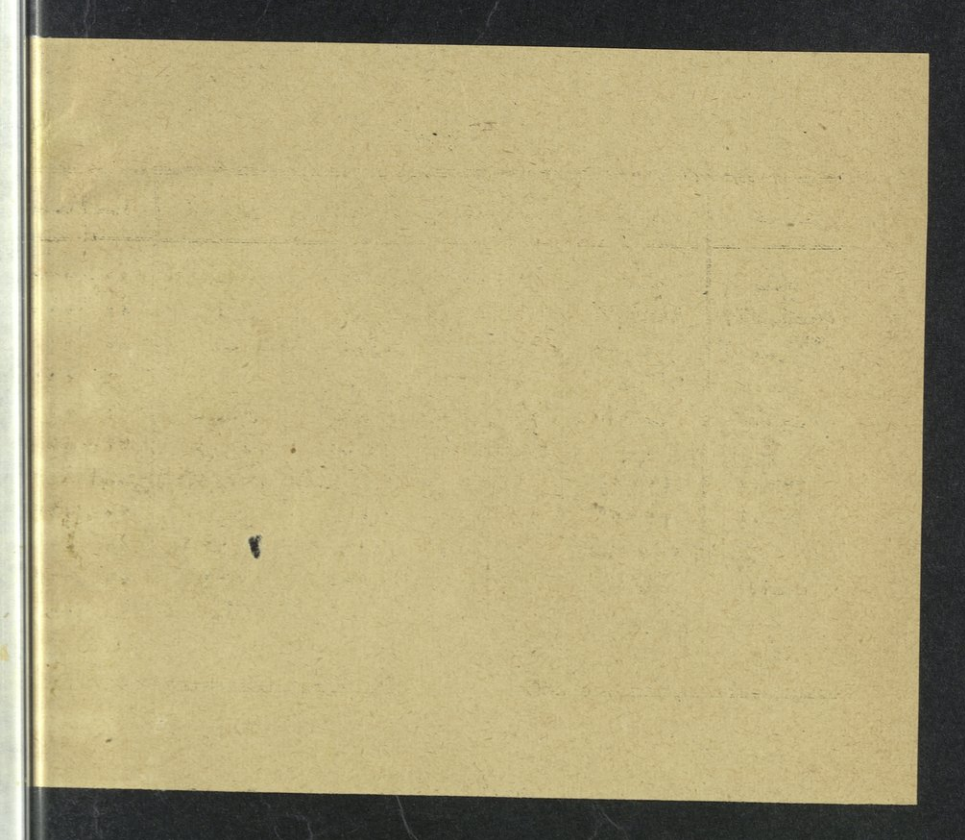
صفحة	سطر	الوارد	الصواب	صفحة	سطر	الوارد	الصواب
٤٩١	٢٣	Huygens	Huygens	٧٢١	٢	فأئمة	فأئمة
٥٠٤	٢٣	L	L	٧٢٩	٧	بعدن	بعدن
٥٥٧	١٨	تغير	تغير	٧٣١	عنوان الصفحة	التعيين	التعيين
٥٥٩	١٠	مسواها	مسواها	٧٣٤	٢١	لتنزل	لتنزل
٥٧٥	٦	انعكاس	انعكاس	٧٣٧	١٧	سبق	سبق
٥٧٩	١	لواصل	لواصل	٧٤٢	٦	✓ هـ ح	✓ هـ ح
٥٨٧	١٢	تخيرنا	تخيرنا	٧٥٣	٩	فإذا	فإذا
٥٩٠	٥	ابن الهيثم	ابن الهيثم	٧٦٠	١٣، ٤	بين	بين
٦١١	١٠	بذبه	بذبه	٧٧٩	٢٧	يلتقيا	يلتقيا
٦٢٧	١٢	العمود	العمود	٧٨٦	١٦	فكان	فكان
٦٢٩	٢	البصر	البصر	٧٩٦	١٤	ا	ا
٦٦١	٢	بنقطي	بنقطي	٨٠٥	١٩	المنقيح من المطبوعة	المنقيح من المطبوعة
٦٧٠	١٣	منكوسة	منكوسة	٨٠٦	الشكل	ب	ب
٦٧٥	١٣	النقطتين	النقطتين	٨٠٧	٥	اكتر	اكتر
٦٨٧	٢٦	يحدث	يحدث	٨١١	٢٥	Optics	Optics
٦٨٩	٢	المناسب	المناسب	٨٣٧	٢١	والاعتباران	والاعتباران
٦٩٠	٣	لاطار	لاطار				
٦٩٥	١٢	للزجاج	للزجاج				

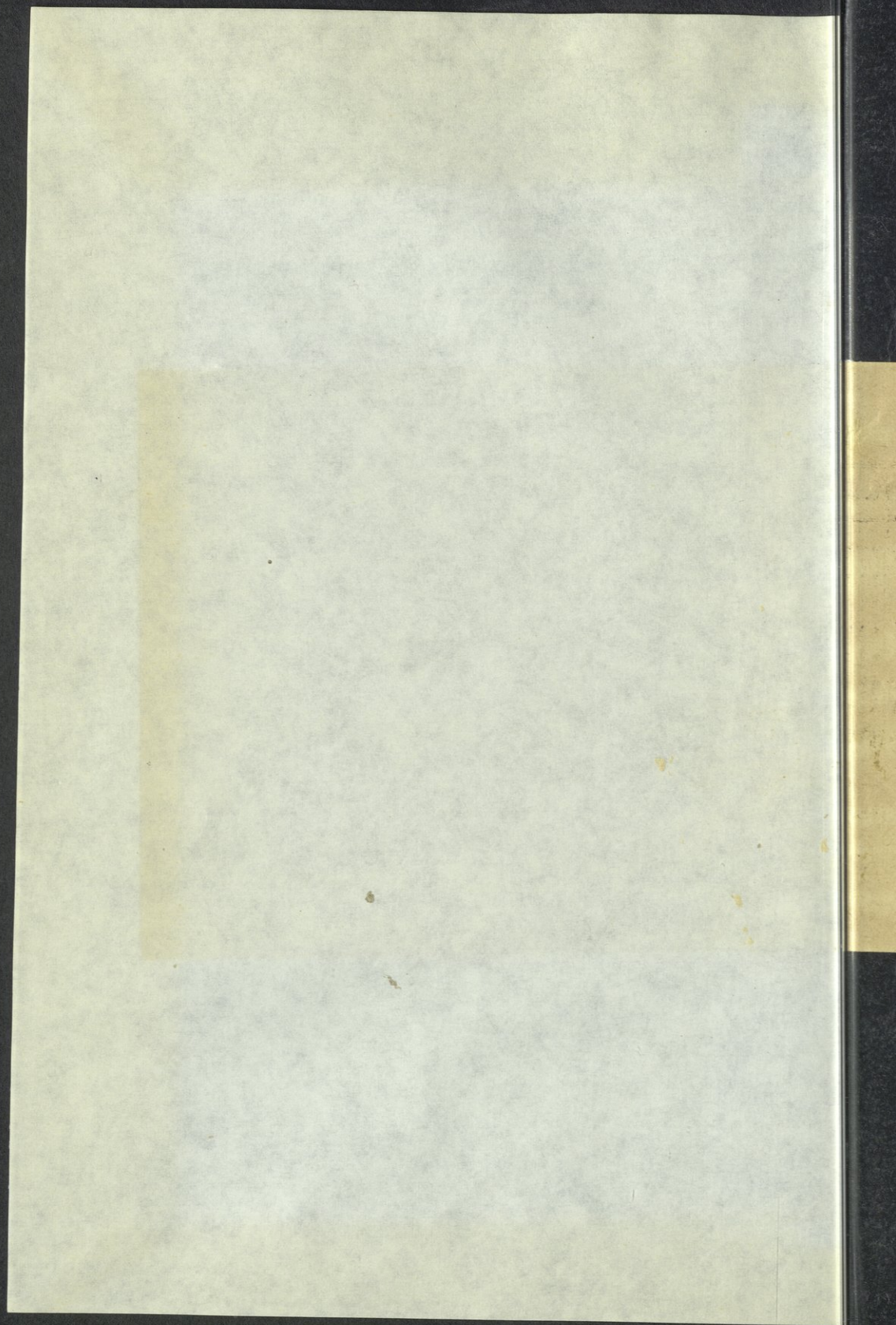
This image shows a blank, aged, cream-colored page, likely an endpaper or flyleaf of a book. The paper has a slightly textured appearance with some minor discoloration and a small tear near the top left corner. The binding edge on the left is visible, showing stitching and a dark cover material. There is no text or other markings on the page.

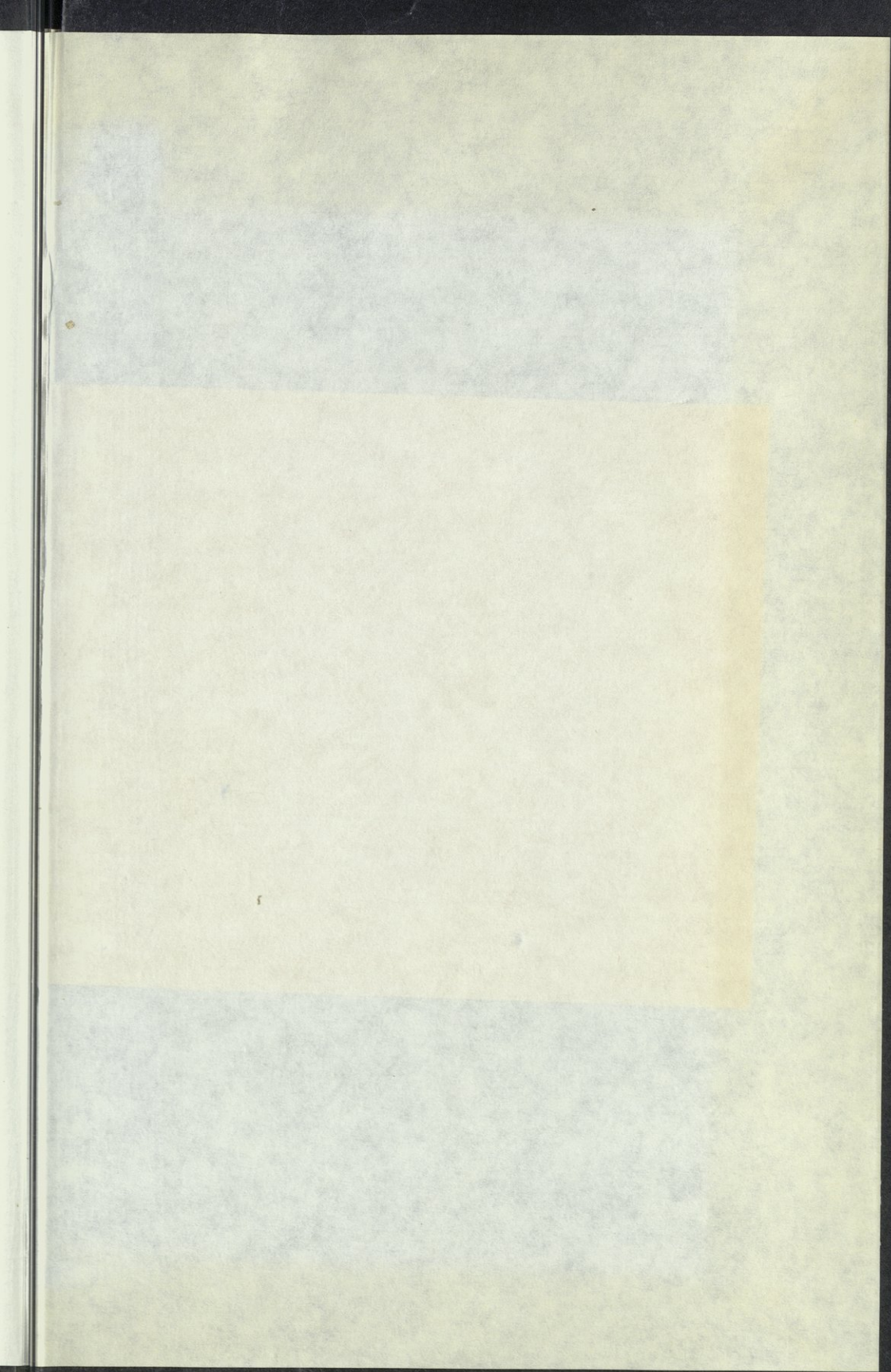
تصويب

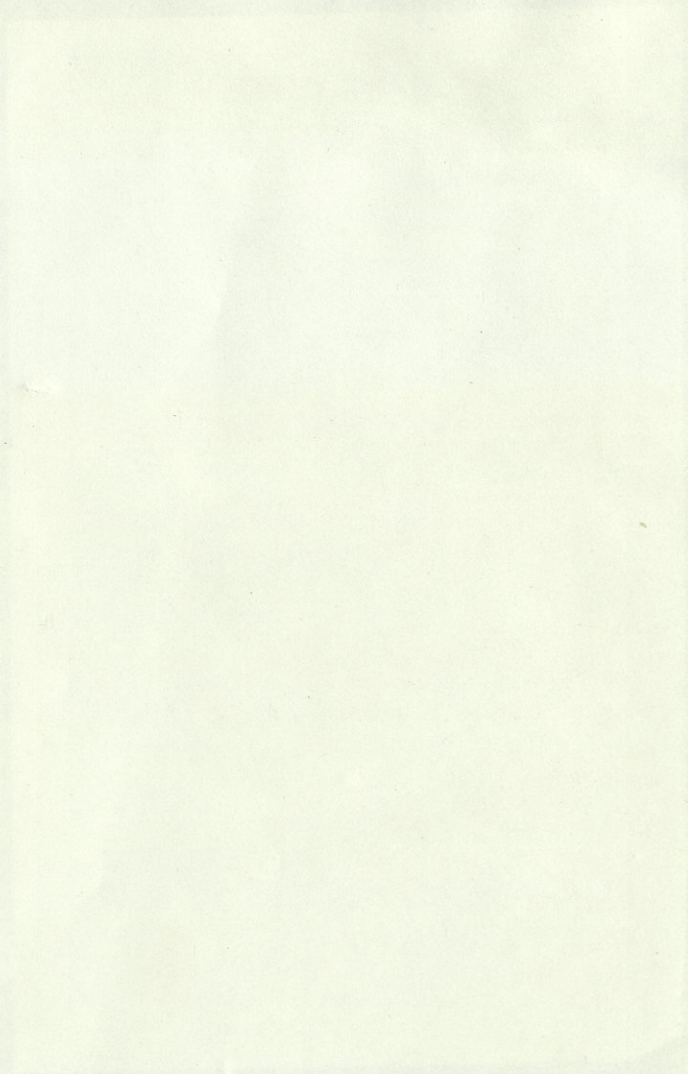
الصفحة	سطر	الوارد	الصواب	صفحة	سطر	الوارد	الصواب
٥٠٠	١٠	امتداده	أو امتداده	٧١٦	٢٣	انتضج	يتضج
٥٠٠	١٧	ومر	ومن	٧٢٨	الهامش	Autiquité	(Antiquité)
٥١	٥	نقطة	نقطة م	٧٣٦	٣	(البصر)	(البصر) (٢)
٥١	٦	من	من م	٧٣٦	٤	المبصر (٢)	المبصر
٥٨٥	٤	تسكون	تسكون	٧٥٨	١٠	الترتيب	بالترتيب
٥٨٨	٢٣	على تقع	تقع على	٧٧٤	الهامش	$\frac{9}{1}$	$\frac{10}{9}$
٥٨٩	الهامش	(شكل ١٢٨)	(شكل ١٢٤)	٨١٨	٢	(٢١٧)	(٢٢٠)
٦٣٥	١٥	ولرمز	ولرمز	٨٣٠	٢٢	(٢١٧)	(٢٢٠)
٦٩٠	٢٠	(١٦٢)	(١٦٣)	٨٢٥	٦	(شكل ٢٠٥)	(شكل ٢٠٦)
٦٩٢	٢١	١٦٢	١٦٣	٨٥١	١٠	بالأقطار	بالأقطاب
٧١٢	٢١	م	م	٨٥١	١٠	ميل	وميل
				٨٥١	١١	تمام	وتمام

الحسن بن الهيثم جزء (٢)









DATE DUE



A. U. B. LIBRARY

535:N33hA:v.2:c.1

نظيف، مصطفى

الحسين بن الهيثم. بحوثه وكشوفه البصر

AMERICAN UNIVERSITY OF BEIRUT LIBRARIES



01026041

AMERICAN
UNIVERSITY OF
BEIRUT

