

تاریخ علم، دوره ۱۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، ص ۱۵۹-۱۹۰

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور

سهیلا پازری

دکتری تاریخ علم دوره اسلامی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

s_pazari@yahoo.com

(دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۴، پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۹)

چکیده

ابن هیثم در کتاب المناظر ضمن بیان علت بازتاب نور از سطح اجسام صیقلی، این نکته را ذکر می‌کند که دفع یا رانده شدن نور از سطوح تنها به دلیل صیقلی بودن آنهاست و ربطی به سختی اجسام ندارد، به این دلیل که بازتاب نور از سطح اجسام صیقلی نرم از قبیل آب نیز امکان پذیر است. کمال‌الدین فارسی در تنقیح المناظر ایرادی بر این نظر دارد و توجیه ابن هیثم از بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطح اجسام صیقلی نرم را نادرست دانسته و یا به عبارت دیگر توجیه او در بازتاب از سطوح صیقلی سخت را قابل اطلاق بر بازتاب از سطوح صیقلی نرم نمی‌داند. در واقع او در دیدگاهی کلی‌تر تشبیه حرکت نور به حرکت اجسام را اشتباه می‌داند و معتقد است حرکت نور مانند حرکت صوت است. مشابه چنین برخورد نظری، در قرون شانزده و هفده میلادی، در اروپا بین طرفداران نظریه ذره‌ای و موجی نور وجود داشته است. این نوشتار سعی دارد که این چالش نظری را بررسی کند.

کلیدواژه‌ها: ابن هیثم، بازتاب، حرکت اجسام، حرکت اصوات، شکست نور، کمال‌الدین فارسی، نور.

مقدمه

حسن بن هیثم، (حدود ۳۵۴-۴۳۰ق)، سه مقاله از کتاب المناظر، یعنی مقاله‌ها چهار و پنج و شش را به بررسی پدیده بازتاب نور اختصاص داده است. در مقاله چهارم از نظر فیزیکی و در مقاله پنجم از نظر هندسی این پدیده را مورد بررسی قرار می‌دهد و در مقاله ششم نیز به خطاهایی می‌پردازد که در رؤیت از طریق بازتاب رخ می‌دهد. آنچه بر اهمیت این مطالب و همین‌طور بررسی پدیده شکست در مقاله هفتم می‌افزاید، توجه به این نکته است که ابن هیثم با یک پیش‌فرض اساسی، یعنی زائد دانستن فرض پرتو بصری در تبیین رؤیت و جایگزین نمودن آن با پرتو نور، در این مباحث وارد می‌شود. همین پیش‌فرض اساسی است که موجب می‌گردد مطالب مطرح شده در این کتاب، به ویژه مقاله‌ها ذکر شده، از دقت، صحت و عمومیت بیشتری نسبت به کتب نظیر قبل از خود برخوردار باشند. پس از گذشت حدود سه سده از تألیف کتاب المناظر، کمال‌الدین فارسی، (۶۶۵-۷۱۸ق)، این کتاب را مورد بررسی دقیق قرار می‌دهد و چون به ارزش مطالب مطرح شده در کتاب پی می‌برد، همان‌طور که خود در مقدمه تنقیح المناظر می‌گوید، به منظور استفاده بیشتر و بهتر جویندگان علم، بدون حذف نکات مفید کتاب، به مختصر کردن مباحث آن می‌پردازد و با روشی که در کتب هندسه معمول بوده فصل‌های هر مقاله را بر اساس مسائل مطرح شده در آن فصل تقسیم‌بندی می‌کند و آنچه را در این تقسیم‌بندی‌ها نمی‌گنجیده با عناوین مناسب دیگری مشخص می‌کند (کمال‌الدین فارسی، ج ۱، ص ۸-۹)؛ هر جا که نیاز بوده توضیح بیشتری می‌دهد و یا به منظور تفهیم بهتر مطلب به رسم شکل می‌پردازد. کمال‌الدین فارسی ضمن شرح و تکمیل مطالب کتاب در مواردی نیز به نقد آراء ابن هیثم پرداخته است و گاهی نیز از مقام یک شارح یا منتقد فراتر رفته و در تبیین پدیده‌های طبیعی، از قبیل رنگین‌کمان، نظرات جدیدی در علم نورشناسی ارائه می‌دهد که قبل از او وجود نداشته است (همو، ج ۱، ص ۲۴۳-۲۵۸؛ نظیف، «کمال‌الدین الفارسی...»، ص ۲۷۱-۳۰۳).

یکی از مواردی که کمال‌الدین فارسی نظری مخالف ابن هیثم دارد و به نقد او می‌پردازد، نظر ابن هیثم در مورد علت بازتاب از سطوح صیقلی نرم است که در مقاله چهارم المناظر آمده است. مباحث مربوط به نور و پدیده‌های مرتبط با آن از قبیل بازتاب و شکست از موضوعاتی محسوب می‌گردند که قبل از کمال‌الدین فارسی

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۶۱

دانشمندان دیگر نیز آن را بررسی کرده‌اند. اما نکته مهمی که در این بحث وجود دارد و قبل از کمال‌الدین فارسی سابقه نداشته است، توجه و نقد او به نوع تمثیلی است که ابن هیثم در بررسی بازتاب نور به کار برده است. کمال‌الدین فارسی تشبیه حرکت نور به حرکت جسم را نادرست می‌داند و معتقد است که حرکت نور، در برخورد و بازتاب از سطوح صیقلی، مشابه حرکت صوت است. ابن هیثم در بخشی از مقاله چهارم المناظر (۲۰۰۲، ص ۷۷) در باره علت بازتاب چنین می‌گوید:

و اما علت بازتاب نور از جسم صیقلی و عدم بازتاب آن از جسم زبر این است که جسم صیقلی بر خلاف زبر با مدافعه بالایی نور را از خود دور می‌کند، و منظور من از مدافعه این است که به سبب صیقلی بودن از پذیرفتن تأثیر امتناع می‌کند. و در مقاله دوم روشن شد که امتداد نور با حرکتی در نهایت سرعت است، و هنگامی که با جسم صیقلی برخورد می‌کند، جسم با نهایت شدت آن را دفع می‌کند و از نفوذ آن جلوگیری می‌کند، پس از آن [سطح صیقلی] بازتاب می‌یابد. و دلیل اینکه چرا [سطح] صیقلی بر خلاف [سطح] زبر نور را دفع می‌کند، این است که در اجسام زبر منافذ و از هم گسیختگی‌هایی وجود دارد و هنگامی که نور با آنها برخورد می‌کند در منافذ آن داخل می‌شود و تا انتها پیش می‌رود، و بین اجزاء جدا از هم آن فاصله ایجاد می‌شود، پس اجزاء آن پراکنده و متفرق می‌گردند. و جسم صیقلی این چنین نیست و اگر نور با آن برخورد کند در آن منفذی نمی‌یابد، پس آن را دفع می‌کند، و [نور] بازتاب می‌یابد. و این دفع شدن از آن [سطح] به سبب صیقلی بودن است نه سخت بودن، برای اینکه نور می‌تواند از اجسام صیقلی نرم مثل مایعاتی از قبیل آب و غیر آن بازتاب یابد.

کمال‌الدین فارسی (ج ۱، ص ۳۷۴) بر این نظر ایرادی وارد می‌کند و می‌گوید:

و در باره آن [مطلب] نظری وجود دارد، مبنی بر اینکه اگر سطح صیقلی از نفوذ نور جلوگیری می‌کند و سبب بازگشت آن می‌شود، پس چطور [نور] در [برخورد با] اجسامی با شفافیت متفاوت با شفافیتی که در آن قرار گرفته، منعطف می‌گردد؛ و اگر جلوگیری نمی‌کند، پس چرا با وجود آن که در مایعات نفوذ می‌کند از سطوح آنها بازتاب می‌یابد. و درست نیست که گفته شود نور واحد هم نفوذ می‌کند و هم بازتاب دارد، زیرا که در این صورت یکی دو تا می‌شود. و حرکتی که در مورد نور شرح داده شد مانند حرکت اصوات است و

به حرکت اجسام شباهتی ندارد، و چون چنین است پس دفع کردنی که ذکر گردید در آن قابل تصور نیست.

ایراد کمال‌الدین حاوی دو نکته است: اول اینکه شیء واحد نمی‌تواند دو گونه رفتار داشته باشد، بنا بر این نور نمی‌تواند به طور هم‌زمان از یک سطح صیقلی هم بازتاب داشته باشد هم دچار شکست شود، به عبارت دیگر یک سطح واحد نمی‌تواند هم نور را از خود دور سازد و هم آن را از خود عبور دهد. نکته دوم این است که حرکت نور مانند حرکت صوت است و شباهتی به حرکت اجسام ندارد. پس مدافعه‌ای که ذکر گردید دیگر معنایی ندارد.

با توجه به عبارات کمال‌الدین فارسی چنین به نظر می‌رسد که او:

۱. بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطح مایعات را مردود می‌داند. اما این برداشت از نظر او نمی‌تواند درست باشد، چون مشاهدات معمولی و همین طور نکات مطرح شده در مباحث نورشناسی آثار دانشمندان مختلف در آن دوران نشان می‌دهد که بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطح مایعات مسأله‌ای پذیرفته شده بوده است و اختلاف نظر تنها در شیوه تبیین این مسأله است. برای مثال یکی از ایراداتی که طبیعی‌دانان بر نظر ریاضی‌دانان می‌گرفتند، نوع تبیین آنها از پدیده بازتاب و شکست هم‌زمان پرتو بصری از سطوح صیقلی شفاف است (ابن سینا، روانشناسی شفا، ص ۱۵۵-۱۵۷). از طرف دیگر خود کمال‌الدین فارسی در تبیین رنگین کمان از بازتاب و شکست نور در برخورد با کره شیشه‌ای استفاده می‌کند.

۲. نظر ابن هیثم در مورد علت بازتاب از سطوح اجسام صیقلی، یعنی دافعه و امتناع سطح از تأثیرپذیری و استفاده از آن در توجیه بازتاب و شکست هم‌زمان از سطح مایعات را درست نمی‌داند.

۳. ایراد اصلی را در استفاده نادرست ابن هیثم از یک تمثیل مکانیکی، یعنی حرکت گوی و تشبیه حرکت نور به حرکت اجسام، می‌داند و معتقد است که با تشبیه حرکت نور به حرکت صوت اشکال ایجاد شده از بین می‌رود و توجیه بازتاب و شکست نور از سطح مایعات بدون استفاده از خاصیت دافعه سطح امکان‌پذیر می‌گردد.

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۶۳

در این مقاله ابتدا جهت روشن شدن بحث، نکات مطرح شده در عبارت ابن هیثم، با توجه به نظریاتی که او در بخش‌های دیگری از المناظر یا بقیه آثار خود عرضه کرده است، بررسی می‌شود و در ادامه به طور مختصر به شفافیت و علت شکست نور از نظر ابن هیثم نیز پرداخته می‌شود؛ سپس ایرادات کمال‌الدین فارسی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در انتها نگاهی کوتاه به جریانی مشابه بین طرفداران نظریه ذره‌ای و موجی در غرب انداخته می‌شود.

بررسی مفاهیم مطرح شده از دیدگاه ابن هیثم

ابن هیثم در بیان علت بازتاب، از مفاهیمی مانند صیقل (صیقلی بودن)، زبری، مدافعه یا «امتناع از انفعال»، تأثیرپذیری و عدم تأثیرپذیری استفاده می‌کند.

اجسام صیقلی و پدیده بازتاب

به نظر ابن هیثم اجسام یا شفاف هستند یا کدر. اجسام شفاف اجسامی هستند که هم می‌توانند نور را از خود عبور دهند و هم به مقداری در خود ثابت نگهدارند، اما اجسام کدر نمی‌توانند نور را از خود عبور دهند و فقط می‌توانند نور را بپذیرند و در خود ثابت نگهدارند (ابن هیثم، رساله الضوء، ص ۴).^۱ اجسام نورانی هم اجسام کدری هستند که از تمام نقاط خود نور ساطع می‌کنند و این نورها در امتداد خطوط مستقیم در محیط اطراف منتشر می‌گردند. ابن هیثم این مسأله را هم با انجام آزمایش در اتاق تاریک، برای نور خورشید، ماه، کواکب و آتش، و هم از طریق بررسی سایه‌های اجسام اثبات می‌کند (همو، المناظر، ۱۹۸۲، ص ۷۲-۷۵). اجسام نورانی به دو دسته تقسیم می‌شوند: اجسامی که نور خود را از جسم دیگری نمی‌گیرند و خود جسم منبع اصلی انتشار نور است، مانند خورشید، آتش و امثال آن که نور آنها نور ذاتی نامیده می‌شود؛ و اجسامی که نور خود را از جسمی که منبع نور است کسب می‌کنند و خود جسم منبع اصلی انتشار نور نیست، مانند ماه و یا هر جسمی که با نور ذاتی تابیده شده بر آن روشن شود و نور آنها نور عرضی نامیده می‌شود. از نورهای عرضی هم نور دیگری در تمام جهات صادر می‌گردد که ابن هیثم آنها را نورهای ثوانی (دومین)

۱. ابن هیثم در رساله الضوء که آن را بعد از المناظر نوشته است، اجسام طبیعی را به دو دسته شفاف و کثیف (غیرشفاف) تقسیم می‌کند. در عباراتی که از این رساله نقل شد به جای اصطلاح «کثیف» از کدر استفاده شده است. اما باید به این نکته توجه نمود که مفهوم «کثافت» از نظر ابن هیثم معنای وسیع‌تری از «کدورت» دارد و اجسام صیقلی را نیز در بر می‌گیرد. یعنی اجسام کثیف نیز به مانند اجسام شفاف به دو دسته صیقلی و غیر صیقلی، یعنی همان اجسام کدر، تقسیم می‌گردند. اجسام کدر نیز می‌توانند منبع نور اولی یا ثانوی باشند.

می‌نامد. نحوه صدور نورهای ثوانی از نورهای عرضی از طریق بازتاب نیست، بلکه صدور آنها مثل صدور نورهای اولی ذاتی از اجسام ذاتاً نورانی است که نور خود را از اجسام دیگر نمی‌گیرند. ابن هیثم با انجام آزمایش‌هایی نشان می‌دهد که نور ثانی، یعنی نوری که از جسم کدری می‌تابد، بر خلاف نور بازتابیده که تنها در یک راستا منتشر می‌شود، در همه جهات منتشر می‌شود (همان، ص ۱۰۴-۱۰۵).

ابن هیثم ویژگی اجسام صیقلی را که موجب بازتاب از سطح آنهاست، «صقال» (صیقلی بودن) می‌نامد و آن را شدت صافی و همواری سطح جسم می‌داند. همواری سطح جسم طبق تعریف او همان پیوند اجزاء سطح به یکدیگر و ترتیب آنها و کوچکی و کم بودن منافذی است که در سطح جسم وجود دارند. شدت همواری همان کم بودن منافذ و کوچک بودن آنها است که بالاترین حد آن عدم وجود منفذ و جدایی بین اجزاء سطح جسم است. پس صقال همان پیوند اجزاء سطح جسم و کم بودن منافذ و کوچکی آنهاست (همان، ص ۱۷). بنا بر این تعداد و اندازه منافذ می‌تواند نوع جسم صیقلی را مشخص کند، یعنی هر چه این منافذ کمتر و کوچک‌تر باشند جسم صیقلی‌تر و نوری که از آن بازمی‌تابد قوی‌تر است، و اگر هیچ منفذی نداشته باشد و اجزاء آن وضعیت متشابهی داشته باشند، نور بازتاب یافته قوی‌ترین حالت خود را دارد، چون هم با بالاترین مدافعه به عقب رانده می‌شود و هم اجزاء آن به هم متصل هستند (همان، ص ۷۸).

ابن هیثم معتقد است که تمام نورهایی که از سطح صیقلی در محیط اطراف منتشر می‌شوند نور بازتابیده نیستند بلکه از سطح صیقلی نیز، به مانند هر جسم غیر شفاف که با نور عرضی روشن شده باشد، نورهایی می‌توانند منتشر گردند که از نور بازتاب یافته ضعیف‌ترند (همان، ص ۷). چون به نظر ابن هیثم، همان طور که در مورد اجسام شفاف معتقد است، اجسام زیر فلک نمی‌توانند حالت مطلق و ایده‌آلی داشته باشند،^۱ یعنی اگر جسمی شفاف است بدین معنی نیست که اصلاً اجزاء غیر شفاف ندارد، بلکه اجسام شفاف بر اساس میزان اجزاء غیرشفاف خود به انواع مختلفی تقسیم می‌گردند (ابن هیثم، رساله الضوء، ص ۱۰). این اجسام به سبب اجزاء

۱. ابن هیثم، در رساله الضوء (ص ۱۰)، اجسام شفاف را به دو دسته فلکی و زیر فلک تقسیم می‌کند. اجسام شفاف فلکی به دلیل جوهر واحد فقط یک نوعند؛ و اجسام شفاف زیر فلک انواع مختلف دارند، و هر کدام از این انواع نیز دارای شفافیت متفاوتند.

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۶۵

شفافی که دارند نور را از خود عبور می‌دهند، و به سبب اجزاء غیر شفاف خود، مانند اجسام کدر، از خود نور ثانی صادر می‌کنند (همان، ص ۱۱). در مورد اجسام صیقلی نیز همین مسأله وجود دارد، یعنی یک جسم صیقلی اجزاء غیر صیقلی هم دارد، و اجسام صیقلی نیز بر اساس میزان اجزاء غیر صیقلی خود می‌توانند به اقسام مختلفی تقسیم گردند. بنا بر این وقتی نوری بر سطح صیقلی می‌تابد، به سبب اجزاء صیقلی از سطح بازمی‌تابد و به سبب اجزاء غیر صیقلی سطح در آن تثبیت می‌شود و در محیط منتشر می‌گردد. او پس از انجام آزمایش و بررسی دقیق وضعیت نور به این نتیجه می‌رسد که نورهای بازتاب یافته نورهایی هستند که نسبت به سطح صیقلی از «وضعیت خاصی» برخوردارند، یعنی میزان انحراف خطوط فرضی تابش آنها نسبت به سطح با میزان انحراف خطوط بازتاب آنها نسبت به سطح برابر است (المناظر، ۲۰۰۲، ص ۶) و یا مطابق عبارات دقیق‌تری که به صورت نتیجه کلی از آزمایش‌های مربوط بیان می‌کند، بازتاب تمام نورها از انواع سطوح صیقلی یکسان است و این وضعیت یکسان، وضعیتی است که خطوط مستقیم تابش و بازتاب نور و خط عمود بر سطح در نقطه بازتاب با هم در یک سطح قرار دارند، و این سطح بر سطح مماس بر سطح جسم صیقلی عمود است و زاویه‌های بین خطوط تابش و بازتاب با خط عمود نیز با هم برابراند (همان، ص ۱۸). ابن هیثم سپس، همان طور که خودش می‌گوید جهت رسیدن به «یقین»، این موارد را با ساخت ابزارهای دقیقی مورد بررسی بیشتر و عمیق‌تری قرار می‌دهد (همان، ص ۱۹)، و سرانجام چنین نتیجه می‌گیرد:

بنا بر این از تمام آن [آزمایش‌ها] روشن می‌شود که این مفهوم [چگونگی پدیده بازتاب] خاصیت طبیعی لازم برای تمام نورهاست چه کم باشند چه زیاد، ذاتی باشند یا عرضی، قوی باشند یا ضعیف. (همان، ص ۴۹)

ابن هیثم چون این ویژگی، یعنی یکسان بودن پدیده بازتاب را، «خاصیت لازم» برای تمام نورها می‌داند، بنا بر این دایره شمول آن را وسعت می‌دهد و «کوچک‌ترین جزء ممکن نور»^۱ را، که کوچک‌تر از آن نوری نمی‌تواند وجود داشته باشد و همین طور نورهایی با «عرض زیاد»^۲ را نیز دارای این خاصیت می‌داند (المناظر، ۲۰۰۲، ص ۷۶).

۱. اصغر الصغیر من الضوء.

۲. الضوء المقتدر العرض و الفسح العرض.

بعد از بررسی چگونگی بازتاب نور از سطح اجسام صیقلی، ابن هیثم به بحث در باره علت این پدیده می‌پردازد. او دلیل اصلی بازتاب نور را امتناع اجسام صیقلی از پذیرفتن تأثیر می‌داند. به نظر او امتناع جسم صیقلی از پذیرفتن تأثیر نیز ناشی از نیروی بازدارندگی^۱ است که در سطح اجسام صیقلی وجود دارد. هر چه این اجسام صیقلی‌تر باشند، یعنی اجزاء صیقلی آنها بیشتر باشد و منافذ بین آنها کمتر و کوچک‌تر باشند، از نیروی بازدارندگی بیشتری برخوردارند^۲ و نور را بیشتر از خود دور می‌سازند و بالعکس.

تمثیل حرکت اجسام طبیعی

ابن هیثم در بررسی علت بازتاب نور از بعضی اجسام، و عدم بازتاب از بعضی دیگر، از تمثیل مکانیکی حرکت طبیعی و عرضی^۳ اجسام طبیعی در برخورد با اجسام مختلف استفاده می‌کند. به نظر او اگر یک جسم سنگین از مکان مرتفعی به پایین سقوط کرده و در محل سقوط خود با جسم سختی مثل سنگ و آهن برخورد کند، در همان لحظه با حرکتی قوی باز می‌گردد، و اگر با جسم نرمی مثل شن و خاک برخورد کند در آن فرومی‌رود و باز نمی‌گردد، و اگر با جسمی که کمی سخت است مثل گچ و چوب برخورد کند بازگشت ضعیفی خواهد داشت.

همین‌طور اگر سنگ در جهتی پرتاب شود و قبل از اینکه حرکت خود را از دست بدهد با جسم سختی برخورد کند، بازتاب می‌یابد و به عقب بر می‌گردد، و اگر حرکت آن قوی باشد با نیروی زیادی باز می‌گردد، و در صورتی که با جسم نرمی مثل پشم و

۱. قوة الممانعة

۲. به نظر ابن هیثم نیروی بازدارندگی به نیروی حرکت اولیه و امتناع جسم از پذیرفتن تأثیر بستگی دارد (ابن هیثم، همان، ص ۸۲).

۳. حرکت دومی که ابن هیثم در اینجا به آن اشاره می‌کند به دو صورت می‌تواند خوانده شود، اگر منظور حرکتی است که در برابر حرکت طبیعی قرار دارد، و عامل حرکت در خود جسم نیست بلکه بر آن عارض شده است، پس به این اعتبار می‌توان آن را «عرضی» نامید، همان‌طور که صبره نیز در المناظر آن را «حرکت عرضی» دانسته است. اما این تعریف با تعریف ابن سینا از حرکت عرضی تفاوت دارد، چون ابن سینا در دانشنامه علایی حرکت عرضی یا «جنبش بعرض» را در برابر حرکت ذاتی قرار داده و آن را مانند حرکتی می‌داند که به انسان داخل کشتی در حال حرکت عارض می‌گردد و حرکتی که ابن هیثم به آن اشاره می‌کند طبق نظر ابن سینا یک نوع حرکت قسری است، و اگر منظور حرکتی است که در برابر حرکت رو به پایین است، یعنی جسم به موازات افق حرکت می‌کند، و به عامل حرکت کاری ندارد، پس می‌توان آن را «حرکت عرضی» هم نامید، که همان‌طور که اشاره شد یکی از انواع حرکت قسری محسوب می‌شود.

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۶۷

پنبه برخورد کند در آن فرو می‌رود و یا به پایین سقوط می‌کند، و اگر با جسمی که تا حدی سخت است برخورد کند بازگشت ضعیفی دارد. بنا بر این از این مشاهدات روشن می‌شود که اجسام سخت اجسام متحرک را به شدت از خود می‌رانند و آنها را به همان جهتی که از آن حرکت کرده اند باز می‌گردانند. به نظر ابن هیثم همان طور که یک جسم ثقیل متحرک در برخورد با اجسام مختلف رفتارهای مختلفی دارد، و جسم هر چه سخت‌تر باشد جسم متحرک را با نیروی بیشتری از خود دور می‌کند، در مورد نور نیز همین حالت وجود دارد و هر چه سطح جسم صیقلی‌تر باشد، یعنی اجزاء صیقلی آن بیشتر و پیوسته‌تر باشند، نور را با نیروی بیشتری از خود دور می‌کند (ابن هیثم، المناظر، ۲۰۰۲، ص ۷۸-۷۹).

ابن هیثم در بررسی علت بازتاب نور در یک سطح و جهت معین نیز از تشبیه نور به اجسام سنگین و حرکات طبیعی و عرضی آنها استفاده می‌کند (همان، ص ۸۰). در آزمایش حرکت طبیعی، آزمایشگر جسمی از جنس آهن یا مس یا امثال آن را انتخاب می‌کند که وزنی بیشتر از چهار گرم (مثقال واحد) نداشته باشد. این جسم باید به شکل کره‌ای با سطح صاف باشد تا در یک نقطه با جسم مورد نظر برخورد نماید، بعد آینه‌ای از جنس آهن را روی زمین و هم سطح افق قرار می‌دهد و به ارتفاع حدود ۱۰ تا ۱۴ متر (عشرین ذراعاً) و یا بیشتر از سطح زمین می‌رود، چون هر چه فاصله بیشتر شود به سبب افزایش نیروی محرک آزمایش بهتر و روشن‌تر است. سپس کره را رها می‌کند به طوری که در محل آینه سقوط کند و آن را در هنگام برخورد با آینه مورد بررسی دقیق قرار می‌دهد. آزمایشگر مشاهده می‌کند که کره در همان لحظه به طرف بالا برمی‌گردد و بعد به طرف پایین سقوط می‌کند. و اگر از فاصله کمتری برخورد کند فاصله بازگشت آن هم کمتر است. پس نتیجه می‌گیرد که بازگشت کره بر حسب نیروی حرکت آن است، برای اینکه اگر مسافتی که جسم سقوط کننده طی می‌کند طولانی‌تر باشد، حرکت آن قوی‌تر و سریع‌تر می‌شود و حرکت بازگشتی به حرکتی بستگی دارد که جسم سنگین هنگام پایین آمدن از بلندی آن را کسب می‌کند و ربطی به حرکت طبیعی رو به پایین آن ندارد. اگر این مسأله با کره‌ای با وزن بیشتر از چهار گرم بررسی شود فاصله آن باید بیشتر شود چون در این حالت حرکت اکتسابی هم به مقدار مسافت بستگی دارد و هم به میزان سنگینی کره (ابن هیثم، المناظر، ۲۰۰۲، ص ۸۱).

اما در حرکت عرضی آزمایشگر آینه را، در ارتفاع حدود صد و شصت سانتیمتری و قائم بر زمین، روی دیوار می‌گذارد و سطح آن را موازی با سطح دیوار قرار می‌دهد. سپس پرتاب کننده در برابر آینه می‌ایستد و جهت پرتاب را مستقیم و موازی سطح زمین تعیین می‌کند و کره را با نیروی زیادی پرتاب می‌کند. سپس کره را در محل رسیدن آن به آینه بررسی می‌کند، او مشاهده می‌کند که کره روی همان عمود قائم بر سطح آینه باز می‌گردد و بازگشت آن در مقداری از مسیر به موازات افق است، اما پس از زمان اندکی به طرف پایین سقوط می‌کند و هر چه قدرت پرتاب بیشتر باشد بازگشت کره قوی‌تر است. در مرحله بعد آزمایشگر از برابر آینه کنار می‌رود و کره را برای بار دوم پرتاب می‌کند، و دقت می‌کند تا حرکت آن در راستای خط مایل بر سطح آینه و موازی با افق باشد. سپس کره را در محل برخورد با آینه مورد بررسی دقیق قرار می‌دهد، آزمایشگر مشاهده می‌کند که کره در جهت مخالف با جهتی که پرتاب کننده ایستاده بازتاب می‌کند، و بازگشت آن موازی با افق و مایل بر سطح آینه است. این میل مشابه میل خط پرتاب در محل برخورد با آینه است و از نظر حسی قابل درک است و کره، به سبب نیروی طبیعی که آن را به طرف پایین حرکت می‌دهد، پس از زمان اندکی به پایین سقوط می‌کند و هر چه نیروی پرتاب قوی‌تر باشد بازگشت کره قوی‌تر است. اگر با جسمی غیر از آینه مثل چوب و مانند آن که کمی نرم است آزمایش نماید، مشاهده می‌کند که کره با نیرویی کمتر از نیروی اول باز می‌گردد.

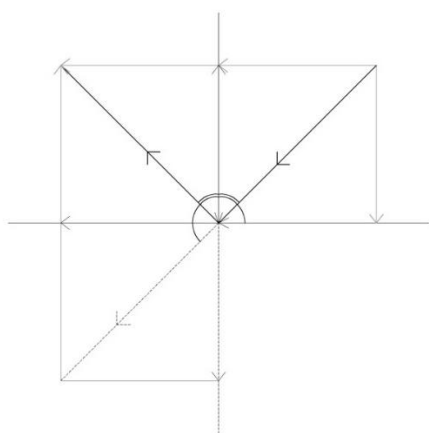
بنا بر این از این آزمایش روشن می‌شود متحرکی که بر راستای مستقیم حرکت می‌کند اگر با مانعی برخورد کند، که از حرکت آن به طرف جلو ممانعت نماید، به عقب بر می‌گردد، و نیروی بازگشت آن به نیروی حرکت اولیه و قدرت مانع و عدم تأثیر پذیری آن بستگی دارد، و وضعیت مسیری که در بازگشت در آن حرکت می‌کند به وضعیت مسیری بستگی دارد که اول در آن حرکت کرده است.

پس هنگامی که نور با جسمی صیقلی برخورد می‌کند، به سبب حرکت آن و بازدارندگی سطح صیقلی، از آن بازتاب می‌کند و نیروی بازگشت آن بالاترین مقدار را دارد، به این دلیل که نیروی حرکت اول آن بالاترین میزان را دارد و نیروی بازدارندگی جسم صیقلی هم در بالاترین حد ممکن آن است. اینکه چرا در لحظه برخورد با مانع باز می‌گردد، به این دلیل است که حرکت بازگشت را در هنگام برخورد از بازدارندگی سطح کسب می‌کند، چون نیروی حرکت بازگشت در لحظه برخورد فقط تابع نیروی

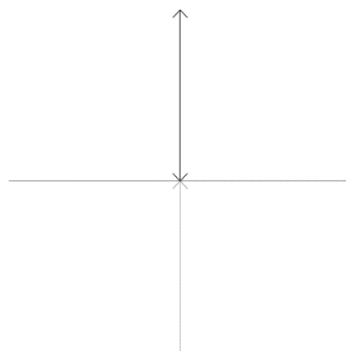
ابن هیثم، کمال الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۶۹

بازدارندگی سطح است، هر چه بازدارندگی قوی تر باشد بازگشت قوی تر است (ابن هیثم، المناظر، ۲۰۰۲، ص ۸۲).

ابن هیثم جهت حرکت متحرک را، که می تواند جسم سنگین و یا نور باشد، این طور توجیه می کند که اگر متحرک روی خط عمود بر سطح با مانع برخورد کند بازدارندگی سطح، که بالاترین میزان را دارد، و حرکت جسم متقابل بوده و متحرک در همان امتداد عمود بر سطح باز می گردد (شکل ۱).



شکل ۲



شکل ۱

اگر متحرک روی خط مایل بر سطح مانع حرکت کند، بازدارندگی سطح که در این شرایط بالاترین میزان خود را ندارد،^۱ و حرکت متحرک متقابل نیستند و متحرک روی خطی حرکت می کند که بین عمود وارد بر سطح مانع در نقطه برخورد و عمود وارد بر این عمود است و عمود دوم در سطح عمود اول و خط حرکت اول متحرک قرار دارد. حالا اگر فرض کنیم این متحرک از محل برخورد با مانع با همان حرکت در جسم آن نفوذ نماید، در سطحی امتداد می یابد که خط عمود بر مانع و خط حرکت اول متحرک در آن قرار دارند و حرکت آن بین عمود امتداد یافته در مانع و عمود وارد

۱. این مسأله نشان می دهد که از نظر ابن هیثم بازدارندگی سطح در برابر اجسام متحرک علاوه بر ویژگی های خود سطح، به زاویه برخورد جسم نیز بستگی دارد.

بر این عمود در سطح حرکت است. پس در این حالت اندازه حرکت^۱ متحرک روی جسم مانع، ترکیبی از دو حرکت است، یک حرکت در جهت عمود امتداد یافته در جسم مانع، و حرکت دیگر در جهتی که عمود وارد بر عمود اول در آن امتداد می‌یابد و این امتداد در سطح حرکت است. (شکل ۲) پس حرکت ایجاد شده پس از برخورد ترکیبی از حرکت روی عمود وارد بر مانع در جهت خارج و حرکت روی عمود وارد بر این عمود است که در جهت حرکت امتداد یافته است. بنا بر این خط حرکت بازتاب بین همان دو عمود است و فاصله آن از عمود دوم مانند فاصله خط حرکت متحرک از آن عمود در صورت نفوذ در جسم مانع است. در نتیجه تمام خطوط حرکت و مؤلفه‌های آنها در یک سطح قرار می‌گیرند و این سطح عمود بر سطح صاف مماس بر سطح مانع یا همان سطح صیقلی است، به این دلیل که سطح مماس همان سطحی است که عمود دوم در آن امتداد یافته است. و چون فاصله خط بازتاب از عمود دوم با فاصله امتداد خط حرکت اول در جسم مانع از این عمود برابر است و این زاویه نیز با زاویه بین خط تابش و مؤلفه افقی امتداد حرکت برابر است، پس فاصله خط بازتاب از عمود اول وارد بر سطح مانع نیز با فاصله خط حرکت اول متحرک، یا همان خط تابش، از این عمود مساوی است (ابن هیثم، المناظر، ۲۰۰۲، ص ۸۳-۸۵).

ابن هیثم در ضمن اینکه حرکت نور را به حرکت اجسام تشبیه می‌کند، به بیان اختلاف بین آنها نیز می‌پردازد و به این مطلب اشاره می‌کند که وضعیت نور بعد از بازتاب مانند وضعیت اجسام سنگین نیست، برای اینکه جسم سنگین هنگامی که با مانعی برخورد می‌کند به سبب بازدارندگی سطح، بازتاب می‌یابد و در امتداد مستقیم حرکت می‌کند اما در جسم سنگین نیروی ثقلی وجود دارد که آن را به طرف پایین حرکت می‌دهد، پس در آن وضعیت ثابت نمی‌ماند و سنگینی موجب می‌شود که به طرف پایین منحرف شود. بنا بر این حرکت آن بعد از بازتاب مرکب از دو حرکت

۱. ابن هیثم در المناظر از واژه «اعتماد» استفاده کرده است که مفهوم آن زیاد روشن نیست و در متن معادلی برای آن در نظر گرفته نشده است. استفاده از این مفهوم به متکلمان متقدم معتزلی بر می‌گردد، آنها در تعریف حرکت از مفهوم «اعتماد» استفاده می‌کردند. این مفهوم نظیر مفهوم «میل» در نظر فلاسفه است. برخلاف میل که نیرویی درون ماندگار در جسم است، اعتماد عرضی است که هر لحظه نو می‌شود (معصومی همدانی، ص ۳۴۶). مصطفی نظیف معادل جدید «اعتماد» را «کمیه التحرك» می‌داند که همان اندازه حرکت است («مصطلحات علم الطبيعة»، ص ۱۴۴).

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۷۱

است، یکی حرکتی که بازتاب موجب آن است و دیگری حرکت ثقل است. اگر حرکت بازتاب از حرکت ثقل قوی‌تر باشد، در همان مسیر بازتاب حرکت می‌کند تا اینکه این نیرو ضعیف می‌شود و به طرف پایین منحرف می‌گردد و اگر در آغاز بازگشت حرکت ثقل قوی‌تر باشد، روی خطی غیر از خط بازتاب حرکت می‌کند.

اما در نور نیرویی وجود ندارد که آن را به جهت خاصی حرکت دهد، بلکه ویژگی نور این است که در تمام جهاتی که راهی به آن می‌یابد، در صورتی که در جسم شفاف باشند، به طور مستقیم حرکت می‌کند. پس اگر به سبب نیروی اکتسابی که در آن حاصل شده بازتاب یابد و در مسیر مستقیمی که بازتاب ایجاد می‌نماید حرکت کند، به سبب عدم وجود عاملی که از ادامه سیر آن در راستای مذکور جلوگیری نماید، در همان مسیر بازتاب به حرکت خود ادامه می‌دهد (همان، ص ۸۵).

اجسام زبر

ابن هیثم اجسام زبر را اجسامی می‌داند که وضعیت اجزاء سطح آنها با هم فرق دارد، یعنی بعضی از اجزاء سطح برجسته و بعضی فرو رفته‌اند و زمانی که نوری بر آنها می‌تابد سایه اجزاء برآمده بر اجزاء فرو رفته می‌افتد. پس نوری که در برآمدگی‌های سطح است از نوری که در بعضی از فرورفتگی‌هاست قوی‌تر است و چشم از اختلاف صورت نوری که در سطح دیدنی است به زبری سطح جسم پی می‌برد (ابن هیثم، المناظر، ۱۹۸۲، ص ۳۰۳). ابن هیثم بعد از عبارتی که در باره علت بازتاب از او نقل گردید. در آنجا علت عدم راندن یا دفع نور توسط جسم زبر را وجود منافذ و از هم گسیختگی‌های آن می‌داند که موجب نفوذ نور در جسم می‌گردد، این نکته را متذکر می‌گردد که گاهی نور از بعضی اجسام زبر بازتاب می‌یابد اما بعد از بازتاب دیده نمی‌شود. ابن هیثم علت آن را وجود اجزاء کوچک صیقلی می‌داند که جدای از هم و در وضعیت‌های مختلف در بعضی از اجسام زبر وجود دارند. بنا بر این وقتی نور با این اجسام برخورد می‌کند، اجزائی از آن که با منافذ برخورد می‌کنند در آنها نفوذ می‌کنند و اجزائی از نور که با اجزاء صیقلی برخورد می‌کنند از آنها بازتاب می‌یابند، اما به دلیل اینکه اجزاء صیقلی جسم زبر جدا از هم هستند و وضعیت متفاوتی نسبت به هم دارند بعد از بازتاب متفرق و پراکنده می‌گردند و دیده نمی‌شوند. ابن هیثم سپس می‌گوید که نورهای بازتاب یافته از اجسام زبر فقط در شرایطی دیده می‌شوند که اجزاء صیقلی بیشتر از اجزاء خشن و وضعیت آنها متشابه یا تقریباً متشابه باشد و

گسستگی بین آنها نیز بسیار کم باشد. البته در این صورت دیگر جسم از اجسام صیقلی به شمار می‌آید (ابن هیثم، المناظر، ۲۰۰۲، ص ۷۷-۷۸).

از عباراتی که در بالا نقل شد می‌توان نتیجه گرفت که از نظر ابن هیثم، سطوح کاملاً صیقلی که هیچ منفذ و اجزاء غیر صیقلی ندارند و سطوح کاملاً زبر که هیچ جزء صیقلی در آنها نیست، که البته به نظر او در زیر فلک وجود ندارند و در اینجا به عنوان یک فرض مطرح شده‌اند، در دو سر طیفی قرار می‌گیرند که سایر اجسام صیقلی و زبر، به نسبت تعداد و اندازه منافذ و اجزاء صیقلی و خشن خود و وضعیت قرار گرفتن آنها نسبت به یکدیگر، مکان‌های مختلفی را در این طیف اشغال می‌کنند. چنانکه کمال‌الدین فارسی (ج ۱، ص ۳۷۵) نیز صیقلی بودن و زبری را از الفاظ مُشکک می‌داند. استدلالی مشابه را می‌توان در مورد اجسام سخت و نرم (صَلْب و لَيِّن) نیز صادق دانست، یعنی اجسام نرم با توجه به نوع آنها از قدری صلابت برخوردارند و اجسام سخت نیز بر اساس میزان سختی آنها مقادیر متفاوتی نرمی در خود دارند.

شفافیت و پدیده شکست

ابن هیثم جسمی را شفاف می‌داند که علاوه بر توانایی پذیرش نور، که هر جسم غیر شفاف نیز از آن برخوردار است، قابلیت دیگری نیز دارد که به واسطه آن می‌تواند نور را از خود عبور دهد (رسالة الضوء، ص ۴). بر این اساس حتی جسم شفاف مثل هوا نیز، که نور در تمام اجزاء آن نفوذ می‌کند، از اندکی اجزاء غیر شفاف و یا به تعبیر ابن هیثم «غلظت» برخوردار است. بنا بر این هنگامی که نور به هوا می‌تابد، به سبب شفافیت آن در هوا نفوذ می‌کند، و به سبب اجزاء غیر شفاف آن به مقدار کمی در آن ثابت می‌ماند (ابن هیثم، المناظر، ۱۹۸۲، ص ۹۳). پس اجسام شفاف و غیر شفاف نیز بر اساس میزان اجزاء شفاف و غیر شفاف خود می‌توانند به اقسام مختلفی تقسیم گردند.^۱ بنا بر این وقتی نور از هوا که شفاف رقیقی است به آب که شفاف غلیظتری است، یعنی اجزاء غیر شفاف بیشتری دارد، وارد می‌شود، به سبب شفافیت آب در آن نفوذ می‌کند و به سبب اجزاء غیر شفاف که دارد به مقدار کمی در آن ثابت می‌ماند و بخشی از آن نیز به دلیل صیقلی بودن سطح آب در وضعیتی خاص از آن بازتاب

۱. ابن هیثم در رسالة الضوء (ص ۱۰) اجسام شفاف زیر فلک قمر را به سه دسته تقسیم می‌کند: ۱- هوا ۲- آب و رطوبات شفاف مثل لایه‌های چشم و مانند آن ۳- سنگ‌های شفاف مثل شیشه، بلور و جواهر شفاف.

می‌یابد. اجزاء غیر شفاف آب موجب مقاومت در برابر حرکت نور می‌گردند و سرعت آن را تغییر می‌دهند، و نور با تغییر سرعت شکسته می‌شود، یعنی از مسیر اصلی خود منحرف می‌گردد. برای توجیه این رفتار نور، ابن هیثم دو نکته یا اصل را مطرح می‌کند. نکته اول این است که اشیاء متحرک طبیعی که در خط مستقیم حرکت می‌کنند و در طی حرکت خود در جسم دیگری نفوذ می‌نمایند، ساده‌ترین مسیر نفوذ برای آنها مسیری است که عمود بر سطح جسم است (کمال‌الدین فارسی، ج ۲، ص ۱۳۰). ابن هیثم با ذکر دو مثال مکانیکی این اصل را اثبات می‌کند. در مثال اول فردی در برابر یک شکاف بزرگ که با یک صفحه چوبی نازک پوشانده شده می‌ایستد و کره‌ای از جنس آهن را، در جهت عمود بر سطح پوشاننده شکاف، به طرف آن پرتاب می‌کند. اگر این حرکت با نیروی زیاد بوده و صفحه پوشاننده نیز نازک باشد، کره صفحه را پاره می‌کند و از شکاف عبور می‌کند. در صورتی که کره را با همان نیرو و در جهت مایل نسبت به سطح پوشاننده پرتاب کند، کره بر سطح صفحه می‌لغزد و تنها جهت حرکت آن تغییر می‌کند. مثال دوم شمشیری است که اگر در سطح قائم با آن بر یک چوب ضربه محکمی وارد کنیم، آن چوب شکسته می‌شود، و اگر از جهت مایل بر چوب ضربه وارد کنیم، تأثیر آن بر چوب کم خواهد بود.^۱ ابن هیثم با ذکر اینکه موارد مشابه زیادی نیز در تأیید این مطلب وجود دارد به این نتیجه می‌رسد که حرکت در جهت عمود ساده‌ترین و قوی‌ترین حرکت است و حرکت در جهات مایلی که نزدیک‌تر به عمود قرار دارند آسان‌تر از مواردی است که دورتر از عمود هستند. او سپس این اصل را قابل اطلاق بر حرکت نور می‌داند^۲ و چنین نتیجه می‌گیرد که اگر نفوذ نور از یک محیط شفاف به محیطی با شفافیت کمتر در امتداد عمود بر سطح باشد، به سبب نیروی بالایی که دارد، پرتو نور شکسته نمی‌شود و در همان مسیر اولیه خود به حرکت ادامه می‌دهد و اگر در امتداد مایل به محیط دوم نفوذ کند به سبب ضعیف بودن به جهتی متمایل می‌گردد که حرکت در آن آسان‌تر باشد و چون

۱. کمال‌الدین فارسی (ص ۱۳۱) گفتار ابن هیثم را در اینجا «خطابی و تمثیلی» می‌داند و بر مثال ابن هیثم ایراد وارد می‌کند.

۲. ابن هیثم عبور نور از لایه‌های چشمی را نیز با توجه به همین اصل تبیین می‌کند. او معتقد است که پرتوهایی که عمود بر کره چشم هستند، تصاویر دقیق‌تر و واضح‌تری را منتقل می‌کنند.

حرکت در مسیر عمود و مسیرهایی که نزدیک به آن قرار دارند آسان‌تر است پس به خط عمود نزدیک می‌شود (کمال‌الدین فارسی، ج ۲، ص ۱۳۰).^۱

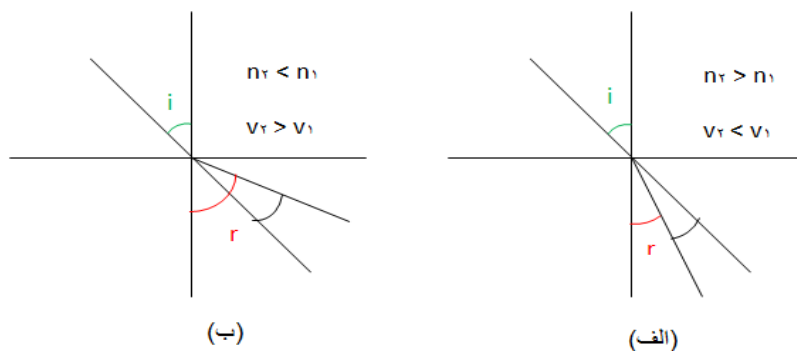
نکته دیگری که ابن هیثم در توجیه جهت و درجه شکست مطرح می‌کند این است که اگر امتداد نور در جهت مایل بر سطح شکست باشد، این حرکت ترکیبی از دو جزء حرکتی عمود بر هم است (همانجا). حرکت در جهت عمود ساده‌ترین و قوی‌ترین حرکات است، بنا بر این در این جهت نمی‌توان مقاومتی را تصور کرد که تغییرات آن بتواند تعیین‌کننده جهت پرتو شکست باشد، پس فقط تغییرات مقاومت در امتداد افقی جهت پرتو شکست را مشخص می‌کند. حال باید دید که جهت مؤلفه افقی یا به تعبیر ابن هیثم عمود دوم چگونه می‌تواند جهت پرتو شکست را تعیین کند. در صورتی که پرتو نور از یک محیط با شفافیت بیشتر وارد محیطی با شفافیت کمتر شود، نیروی مقاوم در جهت افقی افزایش می‌یابد و این افزایش مقاومت سرعت نور را کم می‌کند و موجب ضعیف‌تر شدن آن می‌گردد، این ضعف سبب نزدیکی پرتو نور به مسیری می‌شود که حرکت و نفوذ در آن آسان‌تر است. پرتو شکست از یک طرف به سبب مقاومت محیط دوم نمی‌تواند در مسیر اولیه خود به حرکت ادامه دهد و از طرف دیگر، بنا بر تعبیر ابن هیثم، به علت «عدم ابطال میل به جهت عمود»^۲ دوم، حرکت در جهت عمود بر سطح شفاف نیز برای او ممکن نیست. بنا بر این پرتو شکست به خط عمود نزدیک می‌شود، اما کاملاً در جهت آن قرار نمی‌گیرد و به جهتی ما بین عمود و امتداد پرتو تابش متمایل می‌گردد (کمال‌الدین فارسی، ج ۲، ص ۱۳۰؛ شکل ۳-الف). اما در صورتی که پرتو نور از محیطی با شفافیت کمتر به محیطی با شفافیت بیشتر نفوذ کند، در این حالت به سبب کم شدن غلظت و یا اجزاء غیر شفاف، مقاومت وارد بر پرتو نور در جهت افقی در محیط دوم کمتر می‌گردد، بنا بر این حرکت نور در امتداد افقی قوی‌تر و سریع‌تر شده و در خلاف جهت عمود شکسته یا منعطف می‌گردد و از خط عمود دور می‌شود (کمال‌الدین فارسی، ج ۱، ص ۱۳۲؛ شکل ۳-ب).

۱. این مسأله‌ای را که ابن هیثم مطرح می‌کند، یعنی انتخاب مسیری که حرکت در آن آسان‌تر است، با قانون فرما یعنی انتخاب مسیری که زمان کمتری برای رسیدن به مقصد صرف می‌نماید قابل مقایسه دانسته‌اند (از جمله، نظیف، «کمال‌الدین الفارسی...»، ص ۲۷۵؛ مصطفوی، ص ۱۹۰).

۲... أن یميل إلى الجهة الأسهل وهي لما لم تكن الجهة التي إليها الحركة أولاً لمكان للممانعة ولا جهة العمود على سطح الشف لعدم بطلان الميل إلى جهة العمود....

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۷۵

ابن هیثم با انجام آزمایش‌هایی حرکت نور را در محیط‌هایی با شفافیت‌های متفاوت مورد بررسی قرار می‌دهد و بر آن اساس اندازه زاویه انعطاف^۱ یا میزان شکست نور در محیط‌های مختلف، را با اندازه زاویه عطف^۲ یا همان زاویه تابش، مرتبط می‌داند (کمال‌الدین فارسی، ج ۲، ص ۱۳۳). به نظر او هر چه محیط غلیظتر باشد زاویه انعطاف در جهت عمود بزرگ‌تر است. بنا بر این در صورت ثابت بودن زاویه تابش زاویه انعطاف به نسبت میزان غلظت یا شفافیت محیط دوم مقادیر متفاوتی می‌پذیرد و می‌تواند کیفیت جسم شفاف را مشخص کند (ابن هیثم، رساله الضوء، ص ۱۵).



شکل ۳

با توجه به مطالبی که نقل شد شاید بتوان چنین نتیجه گرفت که ابن هیثم در تبیین رفتار نور در برخورد با سطوح صیقلی شفاف، علاوه بر نوع ساختار جسم، اندازه زاویه برخورد نور را نیز تعیین کننده می‌داند. بنا بر این در شرایطی که نور با یک سطح صیقلی شفاف مثل آب برخورد می‌کند، اگر زاویه تابش قائمه باشد، یعنی پرتو نور عمود بر سطح شفاف باشد، بالاترین میزان نیرو را داشته و در همان امتداد وارد جسم شفاف دوم می‌شود و اگر زاویه تابش صفر باشد یعنی پرتو موازی سطح باشد اصلاً برخوردی وجود ندارد و اگر اندازه زاویه تابش بین این دو حد باشد، یعنی پرتو مایل

۱. زاویه بین شعاع شکست و امتداد مستقیم شعاع تابش در محیط دوم.

۲. کمال‌الدین فارسی زاویه بین پرتو نور و عمود خارج از محل انعطاف و یا همان زاویه تابش را «زاویه عطف» می‌نامد.

بر سطح باشد، پرتو نور وارد محیط شفاف دیگر می‌شود و از مسیر خود منحرف گشته و به جهتی بین دو مؤلفه حرکت متمایل می‌شود. در این شرایط اگر فرض کنیم که پرتو نور با زاویه‌ای که مختص بازتاب است با سطح برخورد کند، در این صورت وارد محیط شفاف دوم نمی‌شود و با زاویه‌ای مساوی از سطح بین آن دو بازتاب می‌یابد.

با توجه به موارد و نکاتی که از نظرات ابن هیثم ذکر گردید، می‌توان دریافت که مسأله بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطوح صیقلی نرم مانند آب در چارچوب مفهومی ابن هیثم کاملاً توجیه‌پذیر است. به نظر ابن هیثم معانی و مفاهیمی که در اجسام طبیعی وجود دارند هیچ کدام مطلق نیستند. به طور مثال اگر جسمی شفاف است به این معنا نیست که اصلاً اجزاء غیر شفاف ندارد و یا اگر جسمی صیقلی است هیچ منفذی بین اجزاء آن وجود ندارد، بلکه اجسام شفاف بر اساس میزان اجزاء شفاف و یا غیر شفاف، و اجسام صیقلی بر اساس میزان اجزاء صیقلی و یا منافذ موجود در آنها می‌توانند انواع متفاوتی داشته باشند. بنا بر این سطوح اجسام صیقلی متفاوت و یا حتی اجزاء مختلف یک سطح صیقلی واحد نیز بر اساس تعداد اجزاء صیقلی و میزان به هم پیوستگی و منافذ بین آنها می‌توانند از خاصیت تدافعی متفاوتی برخوردار باشند و با نیروی متفاوتی نور را از خور دور سازند. پس هنگام برخورد نور با سطح آب، اجزائی از آن که با اجزاء صیقلی برخورد می‌کنند، از سطح دور می‌شوند و اجزائی از آن که با منافذ موجود در سطح آب برخورد می‌کنند به داخل آب نفوذ می‌کنند. بنا بر این در اینجا نور در برخورد با یک جسم واحد رفتاری دو گانه ندارد، بلکه در برخورد با اجزاء متفاوتی از یک جسم واحد که ویژگی‌های متفاوتی دارند رفتاری دوگانه از خود نشان می‌دهد.

بررسی ایرادات کمال‌الدین فارسی

ایراداتی که کمال‌الدین فارسی، در مورد بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطوح صیقلی نرم بر نظر ابن هیثم وارد می‌نماید حاوی دو نکته است. نکته اول این است که اگر بپذیریم جسم صیقلی از نفوذ نور جلوگیری می‌کند و آن را دور می‌سازد پس نور دیگر نمی‌تواند در آن نفوذ کند و اگر جلوگیری نمی‌کند پس در صورت نفوذ در آن دیگر منعکس نمی‌گردد و نمی‌توان گفت که نور واحد هم منعکس و هم شکسته می‌شود چون یکی دوتا می‌شود و این امر محال است. با توجه به نظراتی که از ابن هیثم نقل شد مشخص گردید که این ایراد وارد نیست، چون همان طور که گفته شد،

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۷۷

نور در برخورد با یک سطح با ویژگی واحد رفتاری دو گانه ندارد، بلکه در برخورد با اجزاء متفاوت سطح رفتاری متفاوت دارد.

اما نکته دوم این است که کمال‌الدین فارسی استفاده ابن هیثم از تمثیل حرکت مکانیکی اجسام جهت تبیین پدیده‌های نوری را کار نادرستی می‌داند و معتقد است که با تشبیه حرکت نور به حرکت اجسام و استفاده از خاصیت تدافعی نمی‌توان بازتاب و شکست هم‌زمان از سطح مایعات و یا بازتاب از سطوح سخت و نرم را به طور یکسان تبیین نمود، بلکه با تشبیه آن به حرکت اصوات این مسأله بدون استفاده از خاصیت تدافعی اجسام توجیه می‌شود.

برای روشن شدن این نکته نخست باید پیشینه شناخت حرکت صوت و تشبیه حرکت نور به حرکت اجسام و یا حرکت اصوات در زمان کمال‌الدین فارسی مورد بررسی قرار گیرد، و بعد به چگونگی توجیه بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطوح صیقلی نرم، در صورت تشبیه حرکت نور به صوت، پرداخته شود.

پیشینه شناخت حرکت صوت

افلاطون (۳۴۷-۴۲۷ ق.م)، در تیمائوس صدا را لرزش و تکانی می‌داند که از هوا ناشی می‌شود و از گوش‌ها به مغز و خون منتقل می‌شود و از این طریق به روح می‌رسد (ص ۱۰۸). ارسطو (۳۲۲-۳۸۴ ق.م) در کتاب در باره نفس علت ایجاد صوت را تکان معرفی می‌کند و لازمه ایجاد آن را وجود تکان در دو جسم کوبنده و کوفته (قارع و مقروع) بر ضد همدیگر و بر ضد هوا می‌داند. یعنی با تکان دو جسم بر ضد یکدیگر و انتقال این تکان به هوا که مجرای حرکت است صوت ایجاد می‌شود. اما تکان در هر دو جسمی را ایجاد کننده صوت نمی‌داند و بین اجسام مختلف در تولید صوت تفاوت قائل است. به نظر او جسمی دارای صداست یا قابلیت ایجاد صدا را دارد که بتواند توده‌ای از هوا را که تا گوش امتداد دارد به حرکت درآورد. و اگر این هوای خارجی به صورت یک جرم متصل و واحد به حرکت درآید، این حرکت به توده‌ای از هوا که در داخل گوش است منتقل می‌شود و آن را به حرکت در می‌آورد. ارسطو در جای دیگری به این نکته اشاره می‌کند که مانند گوی‌هایی که اگر با قدرت با سطح همواری برخورد کنند باز می‌جهند، هوا نیز از جسم کوفته مسطح باز می‌جهد و به صورت توده واحدی به تموج در می‌آید. ارسطو در مورد بازتاب صوت نیز می‌گوید که اگر هوایی در داخل یک فرورفتگی جمع شده باشد، هوای دیگری را که از یک شیء

صدادار تکانی پذیرفته است مانند یک گوی باز می گرداند. ارسطو صوت را، از جهت اینکه همیشه دارای بازتاب است، به نور تشبیه می کند. بدین معنی که صوت و نور همیشه بازتاب می کنند، اما بازتاب آنها همیشه قابل درک نیست (ارسطو، ص ۱۳۵-۱۴۵).

ابونصر فارابی (۳۳۹-۲۶۰ق) در کتاب موسیقی کبیر، در بحث از مبادی طبیعی صنعت موسیقی به موضوع صوت و طریقه پیدایش آن می پردازد. به نظر او صوت بر اثر حرکت جسم کوبنده به سوی جسم مقاوم دیگر و فشرده شدن هوای بین آن دو جسم و خروج شدید آن ایجاد می شود، حتی هوا و آب نیز اگر در برابر جسم کوبنده مقاومت کنند و شکافته نگردند می توانند ایجاد صوت نمایند. هوایی که از بین دو جسم بیرون می جهد جزء هوای پس از خود را مثل خود به حرکت در می آورد و صوت جزء اول به آن می رسد، جزء دوم نیز جزء سوم را به حرکت در می آورد و این حرکت به همین صورت تا جزء آخر هوا که در صماخ گوش است امتداد می یابد. هوای داخل گوش نیز اندامی را که دارای نیروی شنوایی است متأثر می کند و صوت ادراک می گردد (فارابی، موسیقی کبیر، ص ۱۰۴-۱۰۵). نظر فارابی در باره انتشار صوت با نظر ارسطو تفاوت دارد. ارسطو معتقد است که هوا به صورت توده واحدی به تموج در می آید و صوت را به گوش می رساند، اما فارابی معتقد است که حرکت از هر جزئی به جزء دیگر هوا منتقل می شود. نظر فارابی در مورد انتقال صوت بین متفکران دوره اسلامی بیشتر از نظر ارسطو مورد پذیرش قرار گرفت و چنانکه خواهیم دید نظر کمال الدین فارسی در امتداد نور نیز مشابه نظر فارابی در امتداد صوت است.

ابن سینا (۴۲۸-۳۷۰ق) با نظری که نور را متشکل از اجسام ریزی می داند مخالف است و در شفا با ارائه دلایلی به رد آن می پردازد (روانشناسی شفا، ص ۹۹-۱۰۳). او به تبع این نظر هر تبیینی در مورد پدیده های نوری از قبیل بازتاب، شکست و انتشار نور را، که مستلزم حرکت نور و در اصل جسم فرض نمودن نور است، اشتباه می داند. ابن سینا معتقد است که استفاده ما از الفاظی چون بازتاب و سرازیر شدن و داخل و خارج شدن نور استفاده ای مجازی است و هیچ کدام از این الفاظ در حقیقت درست نیستند و نور دفعتاً و در زمانی غیر محسوس در جسم مقابل ایجاد می شود (همان، ص ۱۰۱) و «شأن جسم» این است که اگر صیقلی باشد و روشن شود و جسم دیگری با آن روبه رو گردد، آن جسم دوم بدون انتقال نور جسم اول به آن روشن

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۷۹

می‌شود (همان، ص ۱۰۲). ابن سینا در دانشنامه علایی بازتاب از سطح آب را به این صورت می‌داند که اگر منبع نورانی در برابر سطحی هموار چون سطح آب قرار گیرد و در میان آنها جسم شفافی باشد، این جسم نورانی در سطح آب اثر کرده و آن را روشن می‌سازد و این سطح روشن جسم دیگر را روشن می‌کند (ابن سینا، طبیعیات دانشنامه علایی، ص ۴۸). پس در اینجا نیز با انعکاس به معنی واقعی آن روبه‌رو نیستیم.

در یکی از آثار منسوب به ابن سینا، یعنی کتاب قراضه طبیعیات^۱، نظرات دقیق و کاملی در باره صوت و پدیده‌های مرتبط با آن وجود دارد که با دیدگاه‌های جدید در باره صوت بسیار همخوانی دارند (رحیمی، سراسر مقاله). ابن سینا در بیان علت صوت اول به نظری اشاره می‌کند که کوفتن هوا را عامل ایجاد صوت ذکر می‌کند و بعد از آن به نظر خود، که تقریباً همان نظر ارسطوست، می‌پردازد و علت ایجاد صوت را کوبیدن جسمی بر جسم دیگر می‌داند به طوری که آن جسم در ذات خود (در جای خود) متحرک می‌گردد (قراضه طبیعیات، ص ۸۷).^۲ این کوبیدن و کندن دو جسم به شدتی است که هوای بین آن دو فشرده شده و مانند هوایی که با شدت از فضای تنگی خارج می‌شود بیرون می‌جهد و این بیرون جهیدن به شدتی است که ایجاد موج می‌نماید، یا اینکه بر اثر حرکت تند یک جسم که هوا را می‌شکافد، هوا با شتاب زیادی به حرکت در آمده و در آن موج ایجاد می‌شود. این موج در سطوحی کروی انتشار می‌یابد، که هر چه پیش می‌رود بزرگ‌تر می‌شوند،^۳ تا اینکه به هوای راکد داخل گوش که در سوراخ کوچکی زیر پرده صماخ است می‌رسد. در آن هوا نیز موج

۱. در انتساب کتاب قراضه طبیعیات به ابن سینا، از آنجا که در بعضی از مباحث از جمله بینایی حاوی نظراتی است که با دیدگاه ارائه شده ابن سینا در سایر کتب او - مانند شفا، دانشنامه علایی، نجات و...- در این زمینه متفاوت است، شک و تردید وجود دارد. به گفته مرحوم غلامحسین صدیقی در مقدمه این کتاب، ناسخ یکی از نسخه‌های مورد استفاده او در این انتساب شک داشته و قطب‌الدین شیرازی نیز در التحفة السعدیة کتاب قراضه طبیعیات را، بدون ذکر نام نویسنده آن، جزء منابع خود ذکر می‌کند.

۲. ابن سینا در بخش دیگری از قراضه طبیعیات می‌گوید جسم کوفته شده متحرک می‌گردد و حرکت آن مانند حرکت نیزه‌ای است که اگر آن را تکان بدهی به پیش و پس می‌رود و یا به تعبیر ابن سینا «حرکتی کند از پس یکدیگر». این عبارت نشان‌گر این است که ابن سینا حرکت ارتعاشی را می‌شناخته است (ابن سینا، همان، ص ۸۹).

۳. عبارت ابن سینا در قراضه طبیعیات چنین است: «مانند این است که هوا از فضای تنگی بیرون می‌جهد و هوای دیگری را می‌کوبد و صورت جسمی کروی از آن ایجاد می‌شود که هر چه زمان می‌گذرد بزرگ‌تر می‌شود» (همان، ص ۸۸).

ایجاد می‌شود و این موج موجب تحریک عصب شنوایی می‌گردد (ابن سینا، طبیعیات دانشنامه علائی، ص ۸۶). مادامی که این حرکت وجود دارد صدا وجود دارد و با قطع شدن آن صدا قطع می‌شود (همو، قراضه طبیعیات، ص ۸۸).

ابن سینا موج ایجاد شده در هوا را به امواج دایره‌ای شکلی تشبیه می‌کند که بر اثر انداختن سنگ در آب به وجود می‌آیند تنها با این تفاوت که امواج صوتی انتشار کروی دارند و امواج ایجاد شده در آب انتشار کروی ندارند و در سطح منتشر می‌شوند. ابن سینا بازتاب صوت در کوه را نیز به برخورد امواج ایجاد شده در آب با دیواره حوض و برگشت آن تشبیه می‌کند و این پدیده را مشابه بازتاب «شعاع بصر»^۱ و نور آفتاب در برخورد با جسم صیقلی می‌داند (قراضه طبیعیات، ص ۱۰۴).

ابن سینا در شفا در بخش مربوط به صوت به مطلبی اشاره می‌کند که شاید بتواند در روشن شدن نظر کمال‌الدین فارسی در مورد چگونگی تبیین پدیده بازتاب در صورت تشبیه حرکت نور به صوت، که در بخش‌های بعدی به آن اشاره می‌گردد، مورد استفاده قرار گیرد.

ابن سینا ضمن بیان علت صوت به این مسأله می‌پردازد که هنگام برخورد جسم اول به دوم هوای بین آن دو جسم بسیار فشرده می‌شود و هرچه این دو جسم سخت‌تر باشند بر شدت این فشردگی افزوده می‌شود. ابن سینا علاوه بر سختی جسم، صاف بودن سطح آن را نیز در فشرده شدن هوا مؤثر می‌داند، به این دلیل که هوا در منافذ سطح صاف فرو نمی‌رود و کاملاً فشرده می‌شود. این مسأله حتی در اجسام نرم نیز وجود دارد و این جسم با «مقاومتی» که در برابر «حرکات تند و سریع» از خود نشان می‌دهد به فشرده شدن هوا کمک می‌کند و هوای فشرده شده از برابر آن کنار نمی‌رود و در برابر جسم اول مقاومت می‌کند. ابن سینا این مقاومت را عامل اصلی فشرده شدن هوا می‌داند (روانشناسی شفا، ص ۹۰-۹۱). در بیان پدیده بازتاب صوت و برخورد امواج صوتی با مانع نیز ابن سینا بر این نظر است که تموج عامل صوت، که بسیار سریع است اما اصطکاک شدیدی ندارد (همان، ص ۹۲)، توسط هوای فشرده بین موج صوتی و مانع، به عقب رانده می‌شود، مانند کره‌ای که به دیوار می‌خورد و

۱. یکی از مواردی که در انتساب قراضه طبیعیات به ابن سینا ایجاد تردید می‌کند نظرات او در مورد بینایی و از جمله همین مفهوم شعاع بصر است، چون ابن سینا در شفا دلایل زیادی در رد آن آورده است.

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۸۱

برمی‌گردد. ابن سینا بازگشت صوت را صدا می‌نامد و به مانند ارسطو معتقد است که هر صوتی صدایی دارد اما شنیده نمی‌شود همان طور که هر نوری بازتابی دارد اما دیده نمی‌شود (همان، ص ۹۱-۹۲).

با توجه به نظراتی که آمد مشخص می‌شود که مسأله صوت و حرکت موجی، عوامل به وجود آورنده آن و پدیده‌های مرتبطی چون بازتاب صوت از دیرباز شناخته بوده است. در مواردی نیز صوت به نور تشبیه شده است، اما تنها ابن سیناست که بازتاب صوت، برگشت امواج آب بر اثر برخورد با دیواره حوض، بازتاب شعاع بصر و بازتاب نور از سطح صیقلی را مشابه هم می‌داند. اما این نظر نیز، که از کتاب قراضه طبیعیات نقل شده است، به مانند بقیه نظرات ابن سینا در مبحث نور که در این کتاب آمده است، با سایر کتب ابن سینا مانند شفا و دانشنامه علایی هم‌خوانی ندارد. همان طور که قبلاً گفته شد، ابن سینا در شفا با رد فرض مادی بودن نور، هر تبیینی از پدیده‌های نوری را که مستلزم حرکت نور و جسم دانستن نور است اشتباه می‌داند. بنا بر این به نظر می‌آید چنین تشبیهی نمی‌تواند جایگاهی در نظرات ابن سینا داشته باشد. با این وجود حتی اگر این نظر با نظرات ابن سینا در کتب دیگر او هم‌خوانی نداشته باشد، اما با سایر مباحث مربوط به نور در همین کتاب هم‌خوانی دارد و باید مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر اگر در انتساب این نظرات و یا حتی کل کتاب قراضه طبیعیات به ابن سینا شکی وجود داشته باشد، چنانکه مصحح کتاب نیز در مقدمه خود به طور مفصل به آن پرداخته است (ص ۴-۷)، اما در نهایت این نظرات را می‌توان منسوب به فردی دانست که در همان دوران می‌زیسته است و در مورد صوت اطلاعات نسبتاً دقیقی دارد و در نظریه رویت نیز به خروج پرتو بصری از چشم معتقد است و پدیده بازتاب پرتو نور و پرتو بصری را مانند بازتاب صوت و برگشت امواج آب در اثر برخورد با مانع، امری واقعی می‌داند. از آنجایی که قطب‌الدین شیرازی، استاد کمال‌الدین فارسی، در شرح کلیات ابن سینا از کتاب قراضه طبیعیات، بدون ذکر نام مؤلف آن، به عنوان یکی از منابع خود نام می‌برد، در نتیجه این احتمال هم می‌تواند وجود داشته باشد که کمال‌الدین فارسی تشبیه حرکت نور به صوت را از آن کتاب اخذ کرده باشد.

توجیه بازتاب و شکست هم‌زمان نوراز سطوح صیقلی نرم با فرض حرکت موجی^۱ کمال‌الدین فارسی در تنقیح المناظر ضمن مقایسه حواس مختلف مطلبی نیز در باره صوت دارد. او صوت را کیفیتی می‌داند که با ایجاد یک تغییر کیفی در سطح گوش میانی (طبله) و رفتن صورت نوعی آن به مغز توسط حس شنوایی ادراک می‌گردد (کمال‌الدین فارسی، ج ۱، ص ۹۳-۹۴). کمال‌الدین فارسی به مانند ابن هیثم (نک: المناظر، ۱۹۸۲، ص ۱۱۱)، انتشار نور در اجسام شفاف متصل به منبع نور را انتشاری کروی می‌داند^۲ یعنی بر این نظر است که نور از هر نقطه جسم نورانی در امتداد خطوط مستقیم و در سطوحی کروی در تمام جهات منتشر می‌گردد. کمال‌الدین امتداد نور را به این صورت می‌داند که در جزئی از محیط شفاف که مجاور منبع نور است، نوری شبیه به منبع نور دیده می‌شود و در جزئی که بلافاصله پس از آن قرار دارد نوری مشابه نور جزء اول مشاهده می‌شود، یعنی هر جزئی برای جزء بعدی به مانند یک منبع نور عمل می‌کند، و به همین ترتیب نورگسترش پیدا می‌کند تا اینکه ضعیف می‌شود و از بین می‌رود،^۳ و یا در یک جسم غیر شفاف ثابت می‌گردد.

ه - و چگونگی نفوذ نور در [جسم] شفاف مجاور به جسم نورانی به این صورت است که نور از هر نقطه جسم نورانی در امتداد خطوط مستقیم و امتدادی کروی در تمام جهات منتشر می‌شود. می‌گوییم و منظور از امتداد این است که در جزئی که در نزدیکی جسم نورانی است، نوری ایجاد می‌شود که مشابه نور جسم نورانی است و در جزء بعدی نوری شبیه آنچه در جزء اول است ایجاد می‌شود و به همین ترتیب پیش می‌رود تا اینکه از بین می‌رود و یا در یک جسم غیر شفاف ثابت می‌گردد. (کمال‌الدین فارسی، ج ۲، ص ۴۰۲).

۱. منظور از حرکت موجی نور در این مقاله، حرکتی مشابه صوت و حرکت امواج آب است، و با تعبیر حرکت موجی در دوران ما تفاوت دارد.

۲. کلام ابن هیثم چنین است: «فقد تبین من جمیع ما شرحناه و بیناه بالاستقراء والاعتبار أن إشراق جمیع الأضواء إنما هو علی سموت خطوط مستقیمة فقط وأن کل نقطة من کل جسم مضيء ذاتياً كان الضوء الذی فیہ أو عرضياً فإن الضوء الذی فیها یشرق منه ضوء علی کل خط مستقیم یصح أن یتوهم ممتداً منها فی الجسم المشف المتصل بها. فیلزم من ذلك أن یکون الضوء یشرق من کل نقطة من کل جسم مضيء فی الجسم المشف المتصل بها إشراقاً کریاً.»

۳. یعنی سطوح کروی انتشار امواج هر چه بزرگ‌تر می‌شوند انرژی در سطح بزرگ‌تری پخش می‌شود و موج ضعیف‌تر می‌شود.

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۸۳

در این حالت چون انتشار نور در تمام جهات یکسان و دارای توالی است پس فرض می‌گردد که نور در سطوحی کروی، که به نحو مقارنی منبع نور را در بر گرفته‌اند، منتشر می‌شود. بنا بر این با توجه به عبارت کمال‌الدین در مورد امتداد می‌توان هر یک از سطوح کروی را متشکل از اجزائی با ویژگی‌های یکسان دانست. توضیح کمال‌الدین در مورد مفهوم امتداد نور به تعبیر امتداد حرکت موجی صوت در نظرات ذکر شده بسیار نزدیک است، چون موج ایجاد کننده صوت نیز از جزئی به جزء دیگر هوا، در تمام جهات و در سطوحی کروی، از منبع صوت در محیط اطراف امتداد می‌یابد و حرکت آن با سکون‌ها و برخوردهای متوالی همراه است.

در بخشی از کتاب تنقیح المناظر، ضمن بحث در باره چگونگی ایجاد رنگ‌ها، سفیدتر دیده شدن ابر در فاصله زیاد نسبت به فاصله نزدیک به عملکرد صوت تشبیه شده است، یعنی همان طور که در فاصله نزدیک رنگ صور دیدنی‌های خلال ابر مانع دیدن رنگ اجزاء ابر می‌گردد و در فاصله زیاد این مسأله وجود ندارد، صدای طبلی هم که در مکان شلوغی مثل بازار زده می‌شود، از راه دور و در شرایطی که شنونده دور از ازدحام است، واضح‌تر از زمانی به گوش می‌رسد که فاصله نزدیک است و شنونده در مکانی پر سر و صدا واقع شده است (کمال‌الدین فارسی، ج ۲، ص ۳۳۶).

غیر از مطلبی که در مورد انتشار نور بیان شد، و می‌توان گفت که انتشار نور را مشابه انتشار صوت توجیه می‌کند و همین طور تشبیه ادراک نور به صوت در شرایط خاص، در کتاب تنقیح المناظر هیچ اشاره مستقیمی به حرکت موجی نور و چگونگی تبیین دو پدیده بازتاب و شکست با توجه به مدل موجی وجود ندارد. در بین پیشینیان و معاصرین کمال‌الدین فارسی نیز موردی مشاهده نشده است. بنا بر این اگر چه دانسته‌های کمال‌الدین فارسی در مورد صوت و حرکت موجی آن برگرفته از نظرات پیشینیان است، اما ترجیح نظر موجی در توجیه پدیده‌هایی چون بازتاب و شکست امری است که توسط خود او مطرح می‌گردد. با این وجود شاید به سبب کم اهمیت بودن مسأله در نظر کمال‌الدین فارسی در جای دیگری به آن پرداخته نمی‌شود و در حد یک نقد بر نظر ابن هیثم باقی می‌ماند.^۱ نقدی که به نظر می‌آید تنها به دنبال رفع

۱. کمال‌الدین فارسی در فصل چهارم ذیل کتاب تنقیح المناظر، که «تحریر» رساله ابن هیثم در باره هاله و رنگین کمان است، رنگ‌های رنگین کمان را حاصل شکست یا بازتاب و یا ترکیبی از آن دو می‌داند و بعد به این مسأله اشاره می‌کند که وقتی دو نور تا حدی که نزدیک به اتصال است به هم نزدیک می‌گردند. رنگ آبی ایجاد می‌شود

یک تناقض ظاهری در گفتار ابن هیثم است و نمی‌خواهد که یک نظریه را با نظریه دیگری در باره طبیعت نور جایگزین سازد. با توجه به آشنایی کمال‌الدین فارسی با نظرات ابن سینا، شاید بتوان پدیده‌های بازتاب و شکست نور را طبق نظر کمال‌الدین فارسی با تشبیه حرکت نور به حرکت صوت و با استفاده از مطالبی که قبلاً در مورد برخورد و بازتاب امواج صوتی از شفا نقل گردید، به این صورت توجیه کرد:

۱. هیچ سطح صیقلی و یا زیر کاملی وجود ندارد و هر همواری با اندکی زبری و هر زبری با اندکی همواری همراه است. بنا بر این سطح صیقلی جسمی چون آب نیز از اجزاء صیقلی و منافذی بین آنها تشکیل شده است.

۲. سطوح صیقلی در برابر برخورد اجسامی که با سرعت زیاد در حرکت هستند از خود مقاومت نشان می‌دهند و این مقاومت فقط در اجسام صیقلی سخت نیست، بلکه سطوح صیقلی نرم چون آب نیز در برابر برخورد اجسامی با سرعت زیاد مقاومت می‌کنند.

۳. مقاومت سطح موجب می‌گردد که هوای بین سطح صیقلی و جسم برخورد کننده فشرده شود و این هوای فشرده از برابر سطح کنار نمی‌رود و جسم متحرک سریع را به عقب برمی‌گرداند.

۴. فرض می‌شود که سطح صیقلی، سطح آب و جسم متحرک سریع نور است، نور به شکل یک موج و در سطوحی کروی در محیط امتداد می‌یابد، این سطوح کروی از اجزائی تشکیل شده‌اند و هنگام برخورد نور با سطح آب اجزائی از آن که با اجزاء صیقلی سطح برخورد می‌کنند، به علت مقاومت اجزاء صیقلی و فشرده شدن هوای مجاور آن و راه نیافتن به جایی، به عقب باز می‌گردند و اجزائی که با منافذ سطح برخورد می‌کنند، به علت عدم مقاومت سطح در آب نفوذ می‌کنند. بر این اساس دیگر لزومی در استفاده از

که به تدریج به زرد و قرمز تغییر پیدا می‌کند. همین طور رنگ‌هایی را که در پر پرندگان و بعضی از اعضاء حیوانات و یا مژه و موی ابرو و... مشاهده می‌شود مشابه همان رنگ‌های رنگین کمان می‌داند. تمام مواردی که کمال‌الدین به آنها اشاره می‌کند، پدیده‌هایی هستند که با حرکت موجی تبیین می‌گردند، اما کمال‌الدین آنها را از این دیدگاه مورد بررسی قرار نمی‌دهد. در قرون ۱۶ و ۱۷ میلادی همین موارد موجب تأیید و ترجیح نظریه موجی بر نظر ذره‌ای شد (کمال‌الدین فارسی، تنقیح المناظر، ج ۲، ص ۳۳۷-۳۳۹؛ نظیف، «کمال‌الدین الفارسی...»، سراسر مقاله).

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۸۵

خاصیت تدافعی سطح وجود ندارد و آنچه تعیین کننده است سرعت زیاد نور و مقاومت هوای فشرده در برابر آن است.

بررسی نظرات دانشمندان غربی در جریانی مشابه در غرب

نتایج علمی مشابه در نورشناسی، از قبیل تبیین صحیح و هم‌زمان رنگین کمان توسط کمال‌الدین فارسی و معاصر غربی او یعنی دیتریش دو فرایبرگ (۱۳۱۰م) و همین طور مباحث تقریباً مشابه در مورد پدیده‌های ثابت نور مانند بازتاب و شکست، شاید بتواند نشانگر نوعی هم‌ترازی علمی بین شرق و غرب آن زمان باشد. بنا بر این همان طور که بررسی نقاط مشترک می‌تواند در ریشه‌یابی و کشف حلقه‌های مفقوده تاریخ علم در غرب مفید باشد، این احتمال نیز وجود دارد که بررسی نظرات دانشمندان آن دوران در غرب به روشن شدن نکات مبهمی از آثار دانشمندان شرقی کمک نماید. البته در این بررسی‌ها نباید از این نکته غافل ماند که تنها مشابهت‌های ظاهری و داشتن مسائل و دغدغه‌های مشترک نبود که جریان علمی را در غرب به پیش می‌برد. دانشمندان بزرگ قرن هفدهم مثل دکارت، هویگنس و نیوتن، در بسیاری از مسائل نورشناسی، از قبیل شکست نور، درست از جایی آغاز کردند که ابن هیثم و پیروان قرون میانه‌ای او یعنی فرایبرگ و ویتلو به پایان رسانده بودند (برنال، ص ۳۳۸)، اما فضایی که ابن هیثم و قرن‌ها بعد کمال‌الدین فارسی در آن به سر می‌بردند هیچ نسبتی با فلسفه مکانیکی حاکم در سده هفدهم نداشت. این جریان فلسفی نظرات مربوط به نور را کاملاً تحت تأثیر خود قرار داد و به برداشت‌هایی مکانیکی از نور انجامید که قابلیت تبیین پدیده‌های نوری را در چارچوب فکری مربوطه داشته باشند.

رنه دکارت (۱۶۵۰-۱۵۹۶م) ضمن تأثیر پذیرفتن از دانشمندان قرون میانه، با رویکردی مکانیستی که با دیدگاه فلسفی مورد قبول او همخوانی دارد پدیده‌های نوری را تبیین می‌کند. به طور مثال نظرات او در باره شکست نور، در جایی که حرکت نور را به حرکت یک توپ تنیس تشبیه می‌کند و یا تحلیل حرکت نوری که مایل بر سطح است به دو مؤلفه عمود برهم بسیار با نظرات ابن هیثم مشابه است (شکل ۴)، اما از آنجایی که دکارت یک فیلسوف نظام‌مند است و معتقد است که پدیده‌ها باید در چارچوبی تفسیر گردند که مبتنی بر اصول پذیرفته شده فلسفه طبیعی مورد نظر او باشند، در تعیین جهت شکست نور در محیطی با غلظت بیشتر به این نتیجه می‌رسد که محیط غلیظتر در مقابل حرکت نور مقاومت کمتری دارد، پس حرکت نور در

آن آسان‌تر و سریع‌تر است (لیندبرگ،^۱ ص ۳۵)، چرا که به نظر او انتقال نور در یک فضای یکپارچه مادی صورت می‌گیرد، پس هرچه اجسام فشرده‌تر و فاصله بین آنها کمتر باشد عبور نور آسان‌تر است. این نظر نتیجه مستقیم بینش فلسفی خاص دکارت یعنی همان نگاه مکانیکی به عالم است که تمام پدیده‌های طبیعی را متشکل از ذرات مادی متحرک می‌داند (هیفر،^۲ ص ۱۵).

کریستیان هویگنس (۱۶۹۵-۱۶۲۹م)، یکی از دانشمندانی است که نظرات او در نورشناسی، به ویژه در مورد موضوع این مقاله شباهت زیادی با نظر کمال‌الدین فارسی دارد. او نیز به مانند کمال‌الدین فارسی نظریه ذره‌ای و استفاده از تمثیل حرکت اجسام را در تبیین پدیده‌های نوری مختلف، از جمله بازتاب و شکست هم‌زمان از سطوح شفاف و تعیین جهت انتشار نور در محیط‌هایی با شفافیت‌های متفاوت، ناکارآمد می‌دانست و معتقد بود که با تشبیه نور به صوت و استفاده از مدل موجی تبیین عام‌تری از پدیده‌های نوری می‌توان ارائه داد. هویگنس به سبب ایرادات مهمی که در نظریه ذره‌ای می‌دید به این نتیجه رسید که نور نمی‌تواند ذره‌ای باشد و از آنجا که نور پدیده‌ای مکانیکی است پس باید حرکتی مانند حرکت امواج صوتی داشته باشد که از طریق یک محیط انتقال می‌یابد. او این حرکت را مشابه حرکت امواج آب دانست که بر اثر افتادن سنگ در آب ایجاد شده و از مرکز خود به سراسر حوض پخش می‌شوند. در این حرکت خود آب از مرکز به اطراف نمی‌رود بلکه آشفتگی و تلاطم از ذرات آب یکی پس از دیگری می‌گذرد و به اطراف می‌رود. محیط یا رسانه حاملی که هویگنس برای امواج نوری در نظر گرفت همان اتر بود. اتر به نظر او یک محیط پیوسته و مایع سبکی بود که همه جا حتی در خلأ و بین مولکول‌های ماده نیز وجود داشت و با این فرضیه به این نتیجه رسید که سرعت نور در محیط غلیظ‌تر کمتر از محیط رقیق‌تر است.

هویگنس با طرح مفهوم جبهه موج نشان داد که حرکت موجی با انتشار نور در خط مستقیم نیز سازگار است، به این صورت که جبهه موج مؤثر فقط در امتداد خطوط مستقیمی تشکیل می‌شود که از منبع نور بر می‌آیند. به نظر او وقتی تلاطمی، که بر اثر حرکت سریع ذرات یک جسم نورانی ایجاد شده است، در اتر منتشر می‌شود، هر

1. Lindberg
2. Heeffer

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور / ۱۸۷

ذره اتر روی هر سطح موج به نوبه خود مرکز موجک‌های کروی ثانویه‌ای می‌شود که از همین مرکز به اطراف منتشر می‌شوند و سطح موج بعدی صفحه‌ای مماس بر این موجک‌هاست. این امواج کوچک هنگامی به صورت نور قابل ادراک هستند که تعدادی موج کوچک ترکیب شوند و همدیگر را تقویت کنند و شدت و نیروی حرکت آنها برای تشکیل نور کفایت کند. هویگنس محل این تقویت‌ها را جبهه موج نامید و نشان داد جبهه موج که از بی‌نهایت موج کوچک تشکیل شده و از نقطه نورانی پخش می‌شود، کره‌ای است که آن نقطه مرکز آن است (ووستنفال، ص ۸۹-۹۰).

این تعبیر به مفهومی که کمال‌الدین فارسی از امتداد ارائه داد و در بالا به آن اشاره شد، بسیار نزدیک است. کمال‌الدین فارسی نیز معتقد بود نور از منبع به جزء مجاور و از آنجا به جزء بعدی منتقل می‌شود و هر جزء به مانند منبعی برای جزء بعدی است. او نیز به مانند هویگنس به انتشار کروی نور قائل بود. بنا بر این اجزاء نورانی سطوح کروی کمال‌الدین فارسی را شاید بتوان با موج‌های کوچک جبهه موج هویگنس قابل قیاس دانست (مصطفوی، ص ۱۹۶-۱۹۷). نظریه موجی هویگنس پدیده‌هایی مانند بازتاب و شکست، و همین طور سایر پدیده‌هایی را که در نظریه ذره‌ای قابل بررسی نبودند توانست تبیین کند اما به علت حاکمیت نظریه نیوتن در آن زمان زیاد مورد توجه قرار نگرفت.

نتیجه

۱. نظر ابن هیثم، در تبیین بازتاب و شکست هم‌زمان نور از سطوح صیقلی نرم، در چارچوب مفهومی خود او قابل توجیه است و تناقضی در آن وجود ندارد.
۲. مردود دانستن تشبیه حرکت نور به حرکت جسم و ترجیح تشابه حرکت نور به حرکت صوت قبل از کمال‌الدین فارسی سابقه‌ای ندارد.
۳. کمال‌الدین فارسی، غیر از مورد ذکر شده، در جای دیگری از تنقیح المناظر به بحث طبیعت موجی داشتن نور نمی‌پردازد، که می‌تواند نشانگر بی‌اهمیت بودن این مسأله در نظر او باشد، به طوری که حتی هنگام اشاره به پدیده‌هایی چون «رسیدن نورها به یکدیگر» (همان مفهوم امروزی تداخل) و یا نوارهای رنگی مشاهده شده در پرزهای پارچه، پر پرندگان، بعضی از اعضاء حیوانات و... نیز، که همگی با رویکرد موجی نور قابل تبیین هستند، به این مسأله توجهی نشان نمی‌دهد. بنا بر این شاید بتوان این طور برداشت کرد که بحث از ماهیت نور، به‌ویژه در مورد موضوع این مقاله، برای کمال‌الدین فارسی چندان مورد توجه نبوده است و او در نقد خود به دنبال جایگزین ساختن نظریه ابن هیثم با نظریه‌ای دیگر در ماهیت نور نبوده است، بلکه آنچه برای او اهمیت داشته، متناقض به نظر رسیدن تبیین ابن هیثم از نظر استدلالی، و ارائه راه حلی برای رفع این تناقض بوده است.
۴. در نظرات ابن هیثم و کمال‌الدین فارسی، رابطه‌ای از نوع رابطه بین نظرات نورشناسی و فلسفه مکانیکی قرن هفدهم و تبعیت از نظام خاص فلسفی مشاهده نمی‌شود. ابن هیثم در هیچ جایی از المناظر و یا دیگر آثار خود از «اجسام ریز» (اجسام صغار) به عنوان ذرات تشکیل دهنده نور صحبت نمی‌کند، بلکه به جای آن از «اجزاء ریز» (اجزاء صغار) نور و یا تعبیراتی چون «کوچک ترین جزء ممکن نور» (اصغر الصغیر من الضوء) استفاده می‌کند. بنا بر این اگر هم در تفسیر پدیده‌هایی مانند بازتاب و شکست نور از تمثیل مکانیکی حرکت کره استفاده می‌کند، همان طور که خودش می‌گوید، به دلیل این است که کره در یک نقطه با سطح برخورد می‌کند و این مسأله هیچ ربطی به نظر ابن هیثم در باره ماهیت نور ندارد. به عبارت دیگر استفاده از تمثیل حرکت کره به‌تنهایی نه نشان دهنده این است که نور از ذرات تشکیل شده

ابن هیثم، کمال‌الدین فارسی و مسأله حرکت موجی نور/ ۱۸۹

است و نه ردی بر طبیعت موجی آن است و به نظر نمی‌آید که ابن هیثم هدفی جز نزدیک نمودن اذهان به شناخت پدیده مورد نظر یا ایجاد مبنای درستی برای استفاده از استدلال‌های هندسی در مقاله پنجم المناظر داشته باشد. موارد مشابهی نیز در ارسطو و به تبع او ابن سینا وجود دارد. همان طور که قبلاً اشاره شد آنها حرکت موجی صوت را می‌شناختند، با این حال ارسطو در کتاب در باره نفس، ضمن بحث در بار قدرت شنیدن و صوت، بازتاب صوت را به بازگشت گوی تشبیه می‌کند (ص ۱۳۷) و باز در جایی دیگر صدا را حرکتی از شیء می‌داند که می‌تواند، مانند گوی‌هایی که اگر محکم بر روی سطح هموار زده شوند باز می‌جهند، به حرکت در آید (همان، ص ۱۴۱). ابن سینا نیز در شفا برخورد و بازگشت صوت را همانند برخورد کره با دیوار و بازگشت آن می‌داند (روانشناسی شفا، ص ۹۲). در حقیقت می‌توان گفت استفاده از تمثیل در تبیین پدیده‌های طبیعی به معنی همانندی کامل دو پدیده نیست.

منابع

- ابن هیثم. (۱۹۸۳م). کتاب المناظر، المقالات ۱-۲-۳. حققها و راجعها علی الترجمة اللاتينية عبدالحمید صبره، کویت: المجلس الوطنی للثقافة والفنون والآداب.
- _____. (۲۰۰۲م). کتاب المناظر، المقالتان الرابعة و الخامسة، حققهما و قدم لهما عبدالحمید صبره، کویت: المجلس الوطنی للثقافة والفنون والآداب.
- _____. (۱۳۰۷ق). رسالة الضوء. حیدرآباد دکن: دائرة المعارف العثمانية.
- ابن سینا. (۱۳۴۸ش). روانشناسی شفا. ترجمه اکبر داناسرشت، تهران: چاپخانه بانک بازرگانی.
- _____. (۱۳۸۴ش). قراضه طبیعیات. با مقدمه و حواشی و تصحیح غلامحسین صدیقی، تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
- _____. (۱۳۸۳ش). طبیعیات دانشنامه علایی. با مقدمه و حواشی و تصحیح سید محمد مشکوة، تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
- افلاطون. (۱۳۸۰ش). تیمائوس. ترجمه محمد حسن لطفی، تهران: شرکت سهامی انتشارات خوارزمی.
- ارسطو. (۱۳۶۶ش). در باره نفس. ترجمه و تحشیه علیمراد داودی، تهران: حکمت.
- رحیمی، غلامحسین. (بهار و تابستان ۱۳۹۱ش).، پدیده انتشار صوت در قراضه طبیعیات، فصلنامه علمی-پژوهشی حکمت سینوی شماره ۴۷.
- فارابی، ابونصر محمد بن محمد. (۱۳۷۵ش). موسیقی کبیر. ترجمه آذرتاش آذرنوش، تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی.
- کمال‌الدین فارسی. (۱۳۴۸ق). تنقیح المناظر لذوی الأبصار و البصائر. حیدرآباد دکن: دائرة المعارف العثمانية
- مصطفوی، جلال. (۱۳۳۶ش). اطلاعات خواجه نصیرالدین طوسی در مبحث نور. یادنامه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- معصومی همدانی، حسین. (۱۳۹۱ش). «حرکت». دایرةالمعارف بزرگ اسلامی، ج ۲، تهران. نظیف، مصطفی. (دیسمبر ۱۹۸۵م). کمال‌الدین الفارسی و بعض بحوثه فی علم الضوء. رسالة العلم، (۴) ۲۵.
- _____. (سبتمبر ۱۹۵۳م). مصطلحات علم الطبيعة. رسالة العلم، (۳) ۲۰.
- وستنفال، ریچارد. (۱۳۸۷ش). تاریخ پیدایش علم جدید. ترجمه عبدالحسین آذرننگ و رضا رضایی، تهران: نشر نی.

Lindberg, D. (1983). The Cause of Refraction in Medieval Optics. *Studies in the History of Medieval Optics*, reprinted by Variorum, London.

Heffer, A. *Descartes' Theory of Explanation in Natural Philosophy*. The Case of Refraction: <http://www.docstoc.com>.