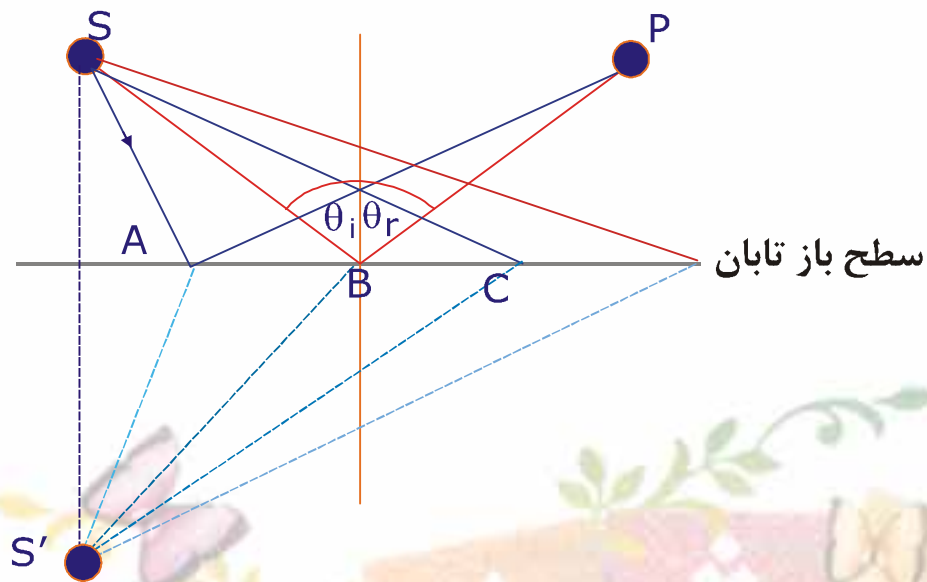


اصل فرما:

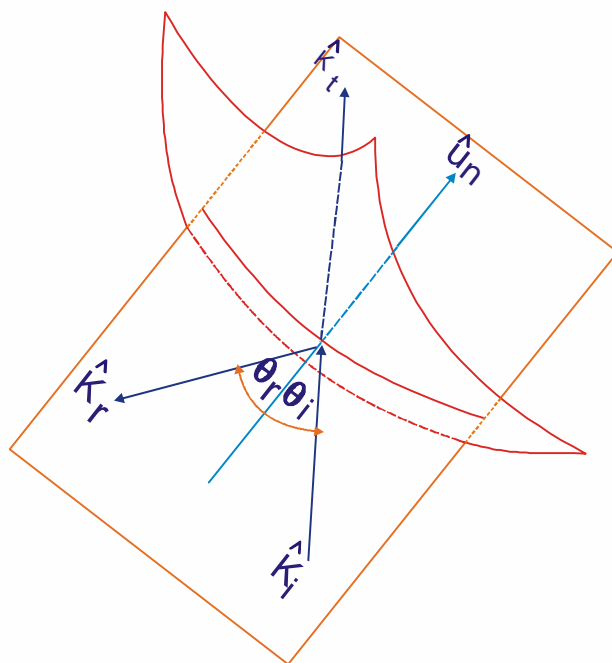
قوانین بازتابش و شکست، و در واقع شیوه کلی انتشار نور را، با هم می‌توان از دیدگاه کاملاً متفاوت و شگفت دیگری که از راهی به نام اصل فرما ارائه شده است، نگریست.

هروی اسکندرانی که در سالهای بین 150 (ق. م) و 250 (ق. م) زندگی می‌کرد، اولین کسی بود که آنچه را تاکنون اصل ووردشی نامیده شده است، بنیاد گذاشت. او در فرمول‌بندی قانون بازتابش خود، ادعا کرد که مسیری که نور عملاً از نقطه‌ای مانند S به نقطه‌ای مانند P ، از راه بازتابش روی سطح می‌پیماید، کوتاهترین راه ممکن است. می‌توان این موضوع را تقریباً به سادگی در شکل (1) مشاهده کرد.



شکل (1)

این شکل چشمه نقطه‌ای S را که تعدادی پرتو می‌گسیلد و سپس آن پرتوها به سوی P «بازتاب» می‌یابند نشان می‌دهد. البته تنها یکی از این مسیرها واقعیت فیزیکی دارد. اگر این پرتوها را به سادگی چنان رسم کنیم که گویی از S' (تصویر S) خارج می‌شوند، هیچیک از فواصل تا P تغییر نخواهند کرد، یعنی $SBP=S'BP$ ، $SAP=S'AP$ و غیره. ولی آشکارا مسیر راست خط $S'BP$ ، مربوط به $q_i = q_r$ ، کوتاهترین راه ممکن است. استدلال مشابهی روشن می‌کند که نقاط S ، B و P باید در صفحه‌ای که قبلاً آن را صفحه فرود نامیدیم قرار بگیرند. (شکل 2)



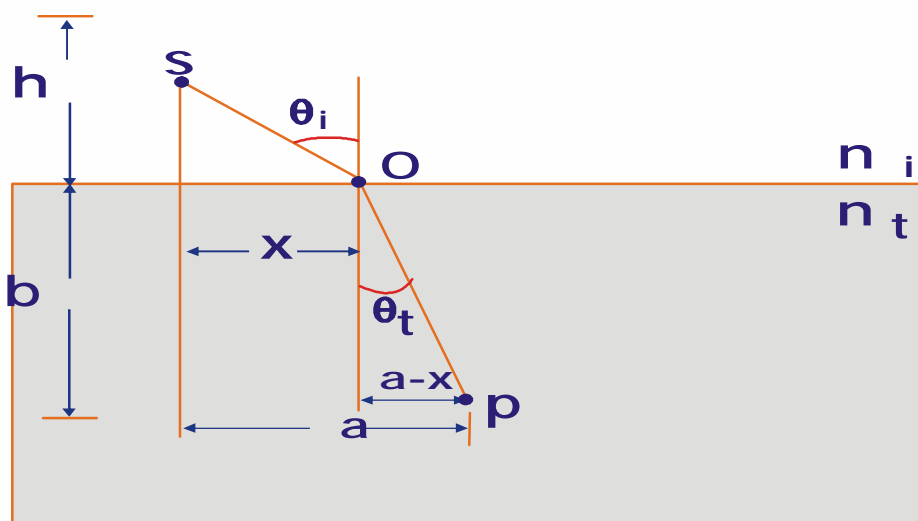
شکل (2)

بیش از 15 قرن مشاهدات کنجکاوانه، «هرو» همچنان بی‌رقیب باقی ماند، تا این که در سال

1657/1036 فرما اصل کمترین زمان مشهور خود را که بازتابش و شکست را در بر می‌گرفت، اعلام کرد.

روشن است که باریکه نوری که یک سطح مشترک را می‌پیماید راه راست و کوتاهترین مسیر راهی است که در کمترین زمان پیموده می‌شود.

به عنوان مثالی از کاربرد این اصل در مبحث شکست، شکل (3) را که در آن زمان t یعنی زمان گذر از S به P را نسبت به متغیر x کمینه‌سازی می‌کنیم، مورد توجه قرار می‌دهیم. به عبارت دیگر، تغییر x باعث جابجایی نقطه O می‌شود و در نتیجه این پرتو از S به P تغییر مکان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت کوتاهترین زمان عبور با مسیر واقعی تطبیق خواهد کرد.



شکل (3) کاربرد اصل فرما در شکست

یعنی:

$$t = \frac{So}{v_i} + \frac{oP}{v_t}$$

یا

$$t = \frac{(h^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}}{v_i} + \frac{[b^2 + (a-x)^2]^{\frac{1}{2}}}{v_t}$$

با کمینه سازی $t(x)$ نسبت به تغییرات x می‌گیریم: $\frac{dt}{dx} = 0$ ، یعنی

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{v_i (h^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{-(a-x)}{v_t [b^2 + (a-x)^2]^{\frac{1}{2}}} = 0$$

با استفاده از شکل (3)، این رابطه را می‌توان به صورت:

$$\frac{\sin \theta_i}{v_i} = \frac{\sin \theta_t}{v_t}$$

نوشت که همان قانون اسنل است. چون $v_i = \frac{c}{n_i}$ و $v_t = \frac{c}{n_t}$ لذا:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_t}{n_i}$$

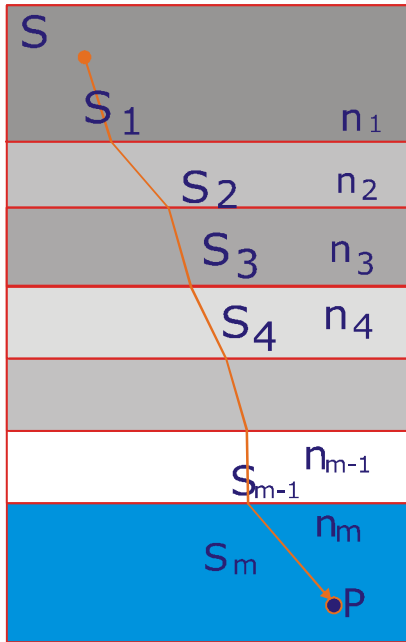
به این ترتیب اگر باریکه نوری در کمترین زمان ممکن از S به سوی P پیشروی کند، باید بر طبق

قانون تجربی شکست رفتار کند.

فرض می‌کنیم، مطابق شکل (4)، ماده‌ای لایه به لایه مرکب از m لایه با ضریب شکستهای مختلف

داشته باشیم.





شکل (4) انتشار یک پرتو از یک ماده چند لایه‌ای

در این صورت، زمان عبور از S تا P برابر خواهد بود با:

$$t = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \dots + \frac{s_m}{v_m}$$

یا

$$t = \sum_{i=1}^m \frac{s_i}{v_i}$$

که در آن، s_i و v_i به ترتیب طول مسیر و سرعت متناظر با i امین لایه هستند. بنابراین

$$t = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^m n_i s_i$$

که در آن عبارت مجموع یعنی $\sum_{i=1}^m n_i s_i$ را طول راه نوری ($O.P.L$) که توسط پرتو نور پیموده

شده است، می‌نامند. آشکار است که برای محیطی ناهمگن در آن n تابع مکان است، مجموع باید به

انتگرال تبدیل شود.

$$(O.P.L) = \int_S^P n(s) ds$$

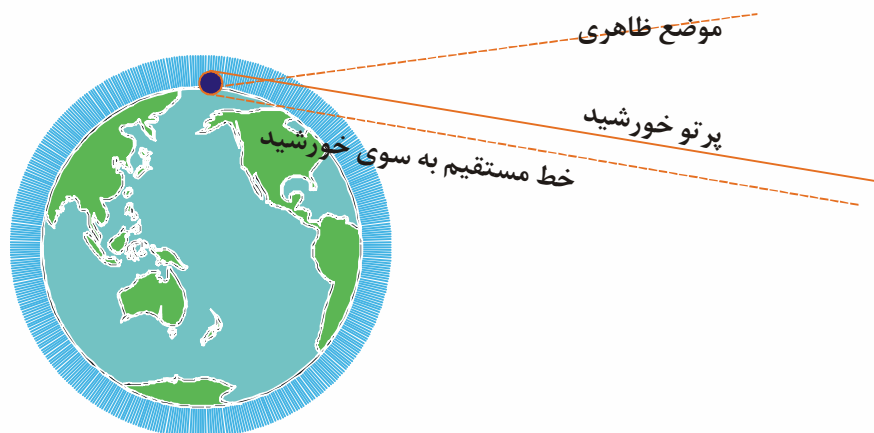
از آنجا که $t = \frac{(O.P.L)}{C}$ ، می‌توانیم اصل فرما را دوباره چنین بیان کنیم: نور در هنگام گذر از

نقطه S به نقطه P ، مسیری را می‌پیماید که کوتاهترین راه نوری است. بنابراین، وقتی که پرتوهای نور

خورشید از میان جو ناهمگن زمین عبور می‌کنند، همانطور که در شکل (5) نشان داده شده است، خم

می‌شوند تا در هنگام گذشتن از نواحی پائینتر و چگالترا هر چه زودتر خم شوند و در نتیجه طول راه

نوری $(O.P.L)$ را کمینه سازند.

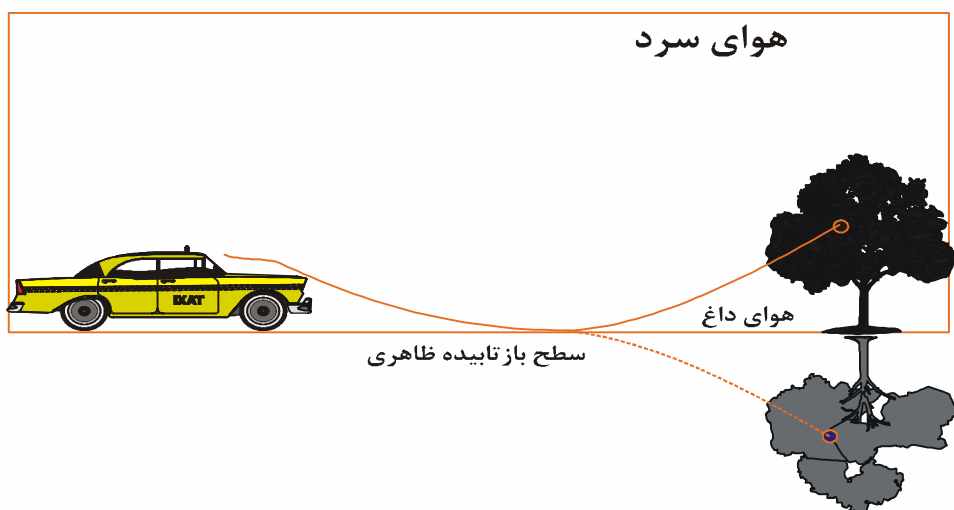


شکل (5)

بنابراین، می‌توان خورشید را حتی بعد از این که از زیر افق گذشته باشد دید. به همین طریق، اگر

همچنان که در شکل (6) نشان داده شده است، تحت زاویه خراشان به جاده‌ای نگریسته شود، به نظر

می‌رسد که محیط اطراف را بازتابانیده است، چنانکه گویی جاده را لایه‌ای از آب پوشانده است.



شکل (6) خم شدن پرتوها در هنگام گذشتن از محیطهای ناهمگن

هوای نزدیک به سطح جاده گرمتر و کم چگالتتر از هوایی است که بالاتر از آن قرار دارد. پرتوها به سوی بالا خم شده و از کوتاهترین راه نوری می گذرند و با انجام این کار، چنان به نظر یک ناظر می رسد که گویی از سطحی آینه‌ای بازتابیده‌اند.

این پدیده را به ویژه در بزرگراههای جدید و طویل می توان دید. چون پرتوها خیلی به کندی خم می شوند، تنها شرط لازم این است که با زاویه‌ای تقریباً خراشان به جاده نگاه کنیم.

