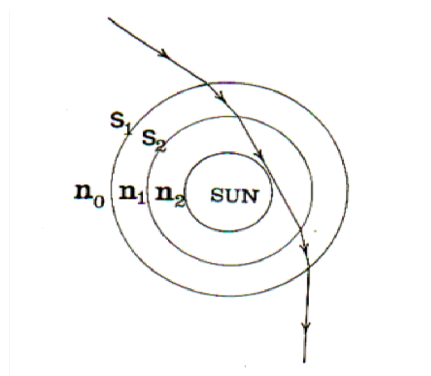


چرا نور ستارگان در عبور از کنار خورشید کج می‌شود؟

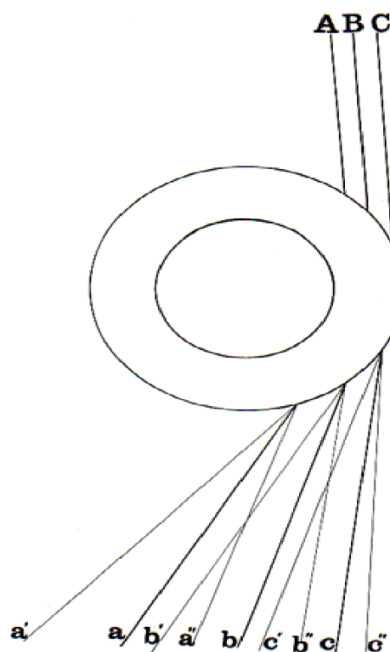
پیش‌بینی و محاسبه‌ی انحراف نور ستارگان به هنگام گذشتن از کنار خورشید یکی از مهمترین کارهای انجام شده توسط نسبیت عمومی است که پس از آن با اندازه‌گیری‌های عملی تأیید شد. آزمایش‌های انجام شده همچنین نشان می‌داد که سرعت پیش‌روی یک موج الکترومغناطیسی گذرنده از کنار خورشید کاهش می‌یابد درحالی‌که نسبیت عمومی هنوز قادر به توجیه آن نبود و حتی مستلزم افزایش و نه کاهش آن بود. بالاخره شاپیرو توانست این تأخیر زمانی را به عنوان نتیجه‌ای از نسبیت عمومی به‌دست آورد.

در این مقاله توجیه اپتیکی دو پدیده‌ی مشاهده شده‌ی فوق را ارائه می‌دهیم. این توجیه به روشی بسیار ساده هر دوی انحراف و کاهش سرعت نور را با هم دربر می‌گیرد. اساس این توجیه در نظر گرفتن خورشید و اتمسفر اطراف آن (که تا محدوده‌ی وسیعی که حتی می‌توان گفت مدار زمین را در بر می‌گیرد گسترده است) به عنوان یک عدسی کروی (گازی) اپتیکی (البته از نوعی که ضریب شکست آن با رفتن به طرف مرکز افزایش می‌یابد) می‌باشد که باعث انحراف نور و نیز کاهش سرعت آن در داخل عدسی می‌گردد.

خورشید، تا ارتفاع زیادی از سطحش، دارای اتمسفری است که همانطور که این ارتفاع افزایش می‌یابد مرتباً رقیق‌تر می‌شود. برای سادگی درک موضوع فرض کنید این جو متشکل از دو لایه با ضرایب شکست n_1 و n_2 ، همچنانکه در شکل زیر نشان داده شده است، باشد به‌گونه‌ای که $n_2 > n_1 > n_0$. طبیعی است که شعاع نور در عبورش از سطح S_1 به طرف داخل شکسته خواهد شد، و در عبور از سطح S_2 مجدداً به طرف داخل شکسته خواهد شد، و این شعاع پس از عبور از فاصله‌ی کمینه‌اش از خورشید، در عبور بعدی‌اش از سطح‌های S_2 و S_1 به طرف خارج شکسته می‌شود. نتیجه‌ی این شکست‌های پیاپی، به علت شکل کروی سطوح، خمش شعاع در عبور از درون اتمسفر خورشید به‌گونه‌ای است که گویا شعاع به‌وسیله‌ی خورشید جذب شده است. واضح است که این مدل ساده بعلاوه پیش‌بینی می‌کند که سرعت پیش‌روی شعاع نور در مجاورت سطح خورشید به علت قرار گرفتن در محیط‌های از لحاظ اپتیکی چگال‌تر کاهش می‌یابد.



اما اتمسفر خورشیدی چگونه می‌تواند، آنچنانکه مشاهدات نشان می‌دهد، ناپاشنده باشد؟ مطمئناً اگر بتوان عدسی خورشیدی را به عنوان یک عدسی یا منشور کوچک در یک آزمایشگاه اپتیکی در نظر گرفت و اجازه داد که پرتوی باریک از نور غیر تکفام از درون آن (نه به سمت مرکز آن) عبور کند، آنگاه باید انتظار پاشیدگی نور عبور کرده از بین عدسی (خورشیدی) را به‌خاطر شکست آن در عدسی داشته باشیم. اما اینکه به هنگام مشاهده‌ی نور عبوری ستارگان از مجاورت خورشید چنین پاشیدگی‌ای مشاهده نمی‌شود به علت این حقیقت است که این تنها یک پرتو باریک منفرد از نور یک ستاره نیست که به خورشید می‌رسد بلکه پرتوهای بی‌شماری از نور آن موازی با یکدیگر به خورشید می‌رسند. دلیل توازی آنها این است که ستاره بسیار بسیار دور از خورشید است. لذا به‌جای یک پرتو منفرد که می‌تواند از یک عدسی در آزمایشگاهی اپتیکی عبور کند در اینجا با پرتوهای موازی بی‌شماری سروکار داریم. مطابق توجیه مربوط به شکل بالا این پرتوها به هنگام عبور از اتمسفر خورشید (یا به عبارت دیگر به هنگام عبور از مجاورت خورشید) متناسب با فاصله‌های آنها از مرکز خورشید، به جهت‌های مختلف کج می‌شوند. طبیعی است که هر پرتو در عدسی خورشیدی، همزمان با انحرافش، پاشیده نیز می‌شود. پس همچنانکه در شکل زیر نشان داده شده است پس از عبور پرتوها از جو خورشید، دارای پرتوهای بی‌شمار کج‌شده و به انحاء مختلف جهت‌گیری شده‌ای خواهیم بود که هر کدام به‌طور همزمان پاشیده نیز شده‌اند. روشن است که پاشیدگی‌های مختلف پرتوهای منحرف شده‌ی مختلف (مربوط به پرتوهای مجاور یکدیگر موازی اولیه) با یکدیگر آمیخته خواهند شد و در نتیجه یک مشاهده‌گر زمینی هیچ پاشیدگی‌ای را مشاهده نخواهد کرد بلکه فقط انحراف پرتو برای او قابل مشاهده خواهد بود؛ درحقیقت این درست همان دلیل این است که چرا در یک آزمایشگاه اپتیکی پدیده‌ی جدایی طول موج‌های مختلف یک پرتوی به اندازه‌ی کافی کلفت از نور غیر تکفام پس از شکست آن در یک منشور (یا یک لنز کروی) در قسمت میانی پرتو مشاهده نمی‌شود.



به عبارت ساده‌تر، با فرض اینکه در این شکل a, b و c به‌ترتیب پرتوهای میانی بیناب مرئی پاشیدگی‌های مربوط به پرتوهای موازی اولیه A, B و C باشند درحالی‌که a', b' و c' و نیز a, b و c به‌ترتیب پرتوهای کناری بیناب مرئی پاشیدگی‌های مربوط به این پرتوهای موازی اولیه باشند، در صورتی‌که مشاهده‌گر زمینی در امتداد پرتو b قرار گرفته باشد او این پرتوی میانی بیناب مرئی را همراه با پرتوهای کناری بیناب، c' و a' ، که موازی با پرتو b می‌باشند، مشاهده خواهد کرد. چون این پرتوهای موازی (یعنی c, b' و a') به یکدیگر نزدیکند (زیرا مربوط به پرتوهای اولیه‌ی نزدیک به یکدیگر می‌باشند)، او عملاً پاشیدگی را مشاهده نخواهد کرد بلکه فقط انحراف جهت پرتو b نسبت به جهت پرتو اولیه (B) بوسیله‌ی او مشاهده خواهد شد.