

مبانی نسبیت خاص نظریه های گسلی و پرتابی نور

حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



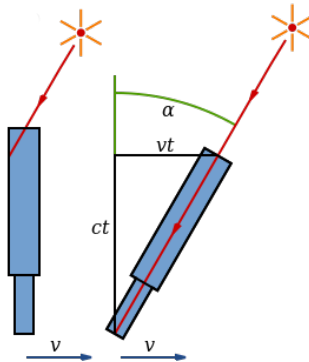
دانشگاه هرمزگان

- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:
h.shenavar@gmail.com
- از همکاران و دانشجویان محترم در دانشگاه هرمزگان، برای همفکری ها، حمایت ها و گوشزد نمودن نکات مفید سپاسگزارم.
- برای ضبط این درس ها از نرم افزار Camtasia استفاده شده است.

- نظریه های گسلی و پرتابی نور
- نظریه های گسلی و پرتابی نور
- مشاهدات و آزمایش ها چه می گویند؟

آنچه گذشت: فرضیه کشش اتری

- در جلسه پیش فهمیدیم که پدیده تثبیت شده ابیراهی ستاره ای را می توان با فرضیه اتر ساکن و همچنین بدون فرضیه اتر توضیح داد. ولی این پدیده را نمی توان با استفاده از فرضیه اتر در حال حرکت (کشش اتری) توضیح داد. بنابراین، باید این فرضیه کشش اتری را، که می تواند آزمایش مایکلسون-مورلی را توضیح دهد، کنار بگذاریم.

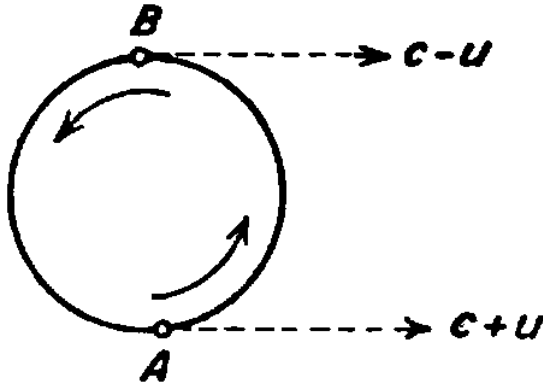


آنچه تاکنون آموخته ایم.

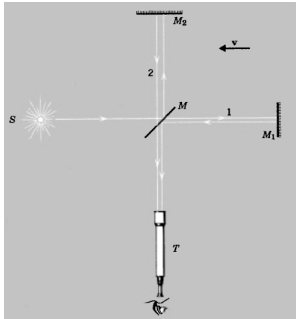
- اگر فرض کنیم که تبدیلات گالیه درست هستند، آنگاه مجبوریم بپذیریم معادلات ماکسول فقط در یک دستگاه مرجع خاص (دستگاه مرجع مطلق متصل به اتر) درست هستند و در دستگاه های دیگر شکل آنها متفاوت است. یعنی اصل نسبیت گالیه درباره قوانین نیوتن صدق می کند ولی برای قوانین ماکسول درست نیست. در نتیجه باید یکی از موارد زیر درست باشد:
- اصل نسبیت درباره مکانیک درست و درباره الکترومغناطیس نادرست است. در نتیجه باید بتوان با آزمایشات الکترومغناطیسی و اپتیکی، اثر چارچوب اتر را به صورت تجربی یافت.
- یک اصل نسبیت ممکن است موجود باشد که تحت آن قوانین مکانیک و الکترومغناطیس هر دو درستند؛ ولی قوانین فعلی الکترومغناطیس ماکسول درست نیستند و باید قوانین درست EM را یافت. البته انحراف از قوانین ماکسول باید به صورت تجربی در آزمایشگاه ها تایید شود.
- یک اصل نسبیت ممکن است موجود باشد که تحت آن قوانین مکانیک و الکترومغناطیس هر دو صادق اند؛ ولی قوانین مکانیک نیوتن درست نیستند و باید قوانین درست مکانیکی را یافت. در این صورت، انحراف از قوانین مکانیک نیوتنی باید به صورت تجربی در آزمایشگاه ها تایید شود.

اهداف این جلسه

- در این جلسه می خواهیم با نظریه های گسیلی و پرتابی نور آشنا شویم. در چنین نظریه هایی، فرض می شود که سرعت امواج نوری به چشمه نور وابسته است و نه به محیط (اثر). در این صورت نتیجه آزمایش مایکلسون-مورلی به صورت خود به خود توجیه خواهد شد. سپس به طور خلاصه با آزمایش ها و مشاهداتی که نظریه های گسیلی و پرتابی نور را نقض می کنند، آشنا خواهیم شد.

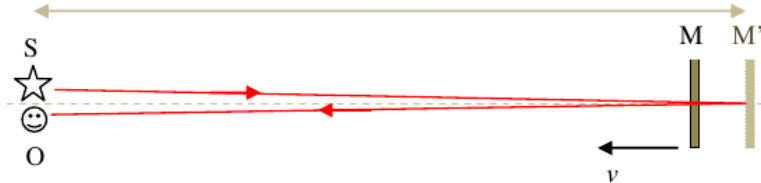


انواع نظریه های نور



نظریه های مورد نظر ما در این فرض اشتراک دارند که سرعت نور نسبت به چشمه برابر با c است و این سرعت ربطی به حرکت محیط حامل نور ندارد. با توجه به فرض اخیر، نتیجه آزمایش مایکلسون-مورلی خود به خود توجیه خواهد شد (چرا؟!).

البته این نظریه ها درباره سرعت نور پس از بازتاب از یک آینه متحرک اختلاف نظر دارند. ویرایش اولیه نظریه چشمه ای بر این فرض استوار است که پس از بازتاب نور از آینه، سرعت نور نسبت به منبع برابر با c باقی خواهد ماند. نظریه پرتابی فرض می کند که سرعت نور نسبت به آینه برابر با c خواهد بود و ویرایش های جدیدتر نظریه چشمه ای سرعت نور نسبت به تصویر چشمه در آینه را برابر با c فرض می کنند.



والتر ریتز و تلاش برای اصلاح الکترودینامیک



همزمان با اینشتین، و حتی پیش از او، افراد زیادی برای حل مشکل ناهمخوانی الکترودینامیک و نسبیت نیوتنی تلاش کردند. در این بین (بدون رعایت تقدم زمانی) می توان به تلاش های وویت، هویساید، تامسون، لارمور، هانری پوانکاره، لورنتس، فریتز، مینکووسکی و ... اشاره کرد. این افراد هر کدام به روش های کاملاً متفاوتی سعی در حل مشکل داشتند و سرانجام، اینشتین توانست این تلاش ها را در نظریه نسبیت خاص (و بعداً نسبیت عام) خود جمع آوری کرده و در یک ساختار درست و منطقی قرار دهد.

در این جلسه با تلاش های والتر ریتز در این زمینه آشنا خواهیم شد. ریتز در زوریک هم شاگرد اینشتین بود و تلاش می کرد تناقضات موجود را با اصلاح الکترودینامیک ماکسول برطرف کند. مدل ریتز از الکترودینامیک را نظریه پرتابی نور می نامد که همچنان در گرانش و الکترودینامیک مورد بحث است!

نظریه پرتابی ریتز

- نظریه پرتابی ریتز (Ritz ballistic theory) بر اساس اعمال یک سری تبدیلات خاص بر الکترودینامیک به دست می آید و نیروی بین دو بار متحرک با فاصله r ، سرعت نسبی v و شتاب نسبی a را به صورت زیر به دست می دهد.

$$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left[\left[1 + \frac{3-k}{4} \left(\frac{v}{c} \right)^2 - \frac{3(1-k)}{4} \left(\frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}}{c^2} \right)^2 - \frac{r}{2c^2} (\mathbf{a} \cdot \mathbf{r}) \right] \frac{\mathbf{r}}{r} - \frac{k+1}{2c^2} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}) \mathbf{v} - \frac{r}{c^2} (\mathbf{a}) \right]$$

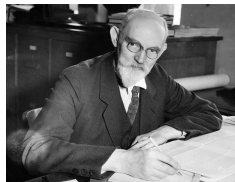
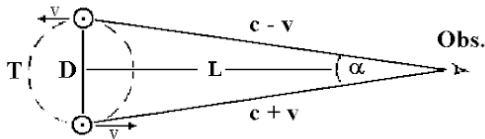
- در اینجا ضریب k به صورتی انتخاب می شود که با قانون نیروی آمپر همخوانی داشته باشیم.
- ما وارد جزییات ریاضیاتی این نظریه نخواهیم شد؛ هرچند برای درک بهتر این نظریه می توانید به صفحه ویکی Ritz ballistic theory و یا ترجمه انگلیسی اثر ریتز به آدرس <http://www.shadetreephysics.com/crit/1908a.htm> مراجعه کنید.

- به هر حال، همه نظریه های گسلی و پرتابی نور با دو آزمایش در تضاد هستند: نخست: رصدهای دسیته (Willem de Sitter) از ستارگان دوتایی (مزدوج) و آزمایش مایکلسون-مورلی با چشمه نور فرازمینی. این مشاهدات را در ادامه بررسی خواهیم کرد.

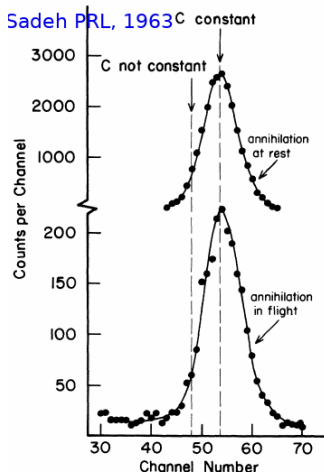
رصد دسیته از ستاره دوتایی

فرض کنید که سرعت نور به چشمه وابستگی دارد. در این صورت دسیته استدلال کرد که اثر چنین فرضی باید در حرکت ستارگان دوتایی مشاهده شود. اگر مدار این ستارگان دایروی باشد، آنگاه بنا به قضیه جمع سرعت ها، سرعت نور ستاره وقتی به ما نزدیک می شود برابر با $c + v_s$ و وقتی از ما دور می شود برابر با $c - v_s$ می باشد. در اینجا v_s مولفه سرعت چشمه نور (ستاره) نسبت به ناظر در امتداد خط واصل چشمه-ناظر است. تصاویر متحرک را ببینید.

در این صورت زمان رسیدن نور به زمین وقتی ستاره به ما نزدیک می شود ($t_1 = \frac{r}{c+v_s}$) کمتر از زمان رسیدن نور ستاره دورشونده از زمین ($t_2 = \frac{r}{c-v_s}$) است. می توان نشان داد که در این صورت، مدار دایره ای ستارگان دوتایی دیگر دایروی به نظر نخواهد رسید و خروج از مرکزی غیر صفر برای مدار مشاهده خواهد شد. هرچند مشاهدات دسیته نشان می دهند که مدار ستارگان دوتایی هم مرکز هستند.



تایید تجربی ثبات سرعت نور



بررسی های مدرن تر فرض می کنند که سرعت نور به صورت $c + k v_s$ تغییر می کنند و با استفاده از آزمایش ها، حد بالایی برای پارامتر k تعیین می کنند. رصدهای دسپته نشان داد که مقدار k نمی تواند بزرگتر از 2×10^{-3} باشد و این عملاً به عنوان رد نظریه پرتابی ریتز در نظر گرفته شد.

بعدها سرعت تابش الکترومغناطیسی ناشی از نابودی پوزیترون های در حال حرکت نیز اندازه گیری شد و اثری از تغییر در سرعت نور دیده نشد. نمودار روبرو را ببینید.

همچنین، واپاشی مزون های بسیار سریع ($v_s = 0.99975 c$) در سرن نشان داد که مقدار پارامتر k در حدود $k = (-3 \pm 13) \times 10^{-5}$ می باشد. این نتیجه را مقاله زیر گزارش داده است:

Test of the second postulate of special relativity
in the GeV region

تایید تجربی ثبات سرعت نور

پژوهش زیر در سال ۱۹۷۷ مقدار $k < 2 \times 10^{-9}$ را یافته است.

VOLUME 39, NUMBER 17

PHYSICAL REVIEW LETTERS

24 OCTOBER 1977

Is the Speed of Light Independent of the Velocity of the Source?

Kenneth Brecher

*Department of Physics and Center for Space Research, Massachusetts Institute of Technology,
Cambridge, Massachusetts 02139*

(Received 9 June 1977)

Recent observations of regularly pulsating x-ray sources in binary star systems are analyzed in the framework of the "emission" theory of light. Assuming that light emitted by a source moving at velocity v with respect to an observer has a speed $c' = c + kv$ in the observer's rest frame, we find that the arrival time of pulses from the binary x-ray sources implies $k < 2 \times 10^{-9}$. This appears to be the most direct and sensitive demonstration that the speed of light is independent of the velocity of the source.

جدیدترین پژوهش ها در این زمینه نیز ثبات سرعت نور را تایید می کنند.

doi:10.1038/nature08574

nature

LETTERS

A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects

روش علمی

- در بررسی مدل هایی که تلاش در اصلاح الکترودینامیک دارند، منطق روش علمی به خوبی خود را نشان می دهد. در این وضعیت، شواهد تجربی و نظری درستی نظریه های موجود (مکانیک کلاسیک و تبدیلات گالیه) را زیر سوال برده اند. البته ما به سرعت این نظریه ها را کنار نمی نهیم؛ بلکه
- تلاش می کنیم با اصلاح فرض های موجود در نظریه ها آنها را تا حد امکان حفظ کنیم.
- یکی از فرض ها، فرض استقلال سرعت نور از چشمه است (فرض های دیگر هم داریم).
- فرض می کنیم سرعت نور به صورت $c + k v_s$ به چشمه وابسته باشد (امکان های دیگر هم موجودند!).
- مقدار پارامتر k را با استفاده از مشاهدات و آزمایش ها تعیین می کنیم.
- آیا مقدار به دست آمده برای k با آزمایش ها و مدل های دیگر در توافق است؟ اگر نه، فرض وابستگی سرعت نور به سرعت چشمه را کنار می گذاریم و به سراغ فرض دیگری می رویم.
- اگر مقدار به دست آمده برای k با داده ها و مدل های موجود در توافق باشد، باید آن را جدی بگیریم و مدل را توسعه دهیم.

آزمایش مایکلسون-مورلی با منبع نور فرازمینی

- بعدها توماشک و میلر از منابع نور فرازمینی استفاده کرده و نظریه های گسلی نور را آزمودند. منبع نور آزمایش توماشک یک ستاره و منبع نور آزمایش میلر خورشید بود. انتظار این است که اگر سرعت چشمه روی سرعت نور موثر باشد، تغییرات پیچیده ای در فریزهای آزمایش مایکلسون مورلی مشاهده کنیم. ولی چنین چیزی مشاهده نشد!



Winter solstice



Summer solstice

نتیجه تاکنون

- تاکنون دیده ایم که مدل های اتری قابل دفاع نیستند. همچنین، مدل هایی که برای اصلاح الکترودینامیک ماکسول معرفی شده اند نیز با تجربه در تضاد هستند. به ویژه معلوم شد که سرعت امواج الکترومغناطیسی در تمام دستگاه های لخت یکسان است؛ یعنی سرعت نور از حرکت نسبی ناظر و چشمه نور مستقل است.
- در نتیجه باید به دنبال اصل نسبیتی باشیم که برای مکانیک و الکترودینامیک (هر دو) صادق باشد. همچنین باید ثبات سرعت نور را به عنوان یک اصل محوری بپذیریم؛ بنابراین باید تبدیلات گالیه را کنار بگذاریم زیرا این تبدیلات با ثبات سرعت نور در تضاد هستند.

مکانیک نیوتنی

اصل نسبیت
تحت تبدیلات گالیهالکترومغناطیس
ماکسول

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید مفاهیم مربوط به نظریه های گسیلی و پرتابی نور و ایرادات آن ها را به درستی توضیح دهید. به ویژه انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ دهید:

- ۱ فرض مشترک در نظریه های گسیلی نور چیست؟
 - ۲ اختلاف نظریه های گسیلی درباره سرعت بازتاب نور از آینه در چیست؟
 - ۳ منظور از ستاره دوتایی چیست؟ درباره ستارگان دوتایی تحقیق کنید.
 - ۴ رصدهای دسیته از ستارگان دوتایی چطور نظریه پرتابی ریتز را رد می کند؟
 - ۵ درباره آزمایش های مدرن ثبات سرعت نور تحقیق کنید.
 - ۶ توضیح دهید که چطور آزمایش مایکلسون-مورلی بامنع نور فرازمینی نظریه های گسیلی نور را نقض می کند.
- اگر درباره هرکدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراموش نکنیم که بهترین راه برای درک و ”درونی سازی“ مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوالات زیر محک زده و تقویت کنید.

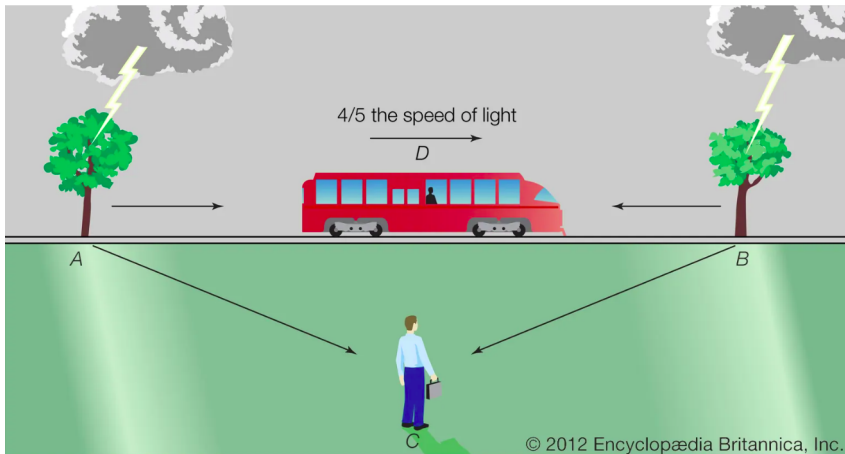


تمرین ها: زمان تحویل ۴ آبان ماه

- کدامیک از آزمایش ها و رصدهای مورد اشاره در این درس در زمان چاپ مقاله ۱۹۰۵ اینشتین در دسترس نبودند؟
- مسائل ۱۴ و ۱۵ از فصل اول از کتاب رزینیک را حل کنید.

مبحث بعدی: نظریه نسبیت خاص اینشتین

در جلسه بعد اصول نسبیت خاص اینشتین (اصل نسبیت، اصل ثبات سرعت نور و تغییر در مفهوم همزمانی) را توضیح خواهیم داد. همچنین، در جلسات بعد با نتایج این نظریه آشنا خواهیم شد.



مراجع

- ➊ Introduction to Special Relativity; Robert Resnick
- ➋ Relativity: Special, General, and Cosmological; Wolfgang Rindler
- ➌ General Relativity: An Introduction for Physicists; M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby
- ➍ Introduction To Special Relativity; Markus Klute
<https://ocw.mit.edu/courses/8-20-introduction-to-special-relativity-january-ia>
- ➎ Leonard Susskind's Special Relativity, Find in YouTube

با سپاس از توجه شما

