

مبانی نسبیت خاص

فرضیه کشش اتری

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.

فرضیه کشش اتری

فرضیه کشش اتری و ایرادات آن



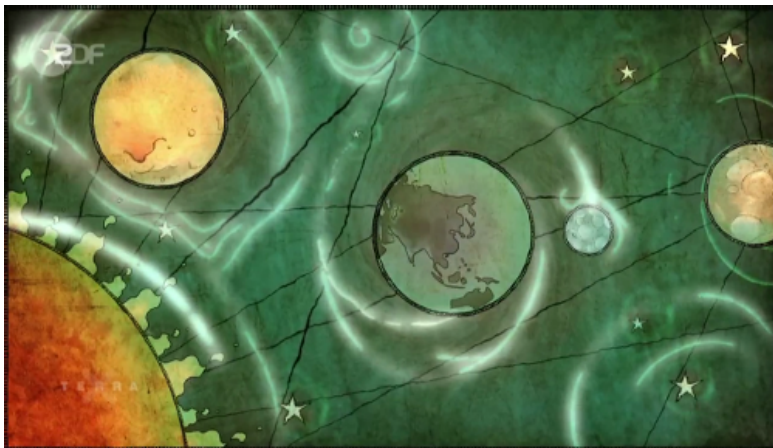
آنچه گذشت: فرضیه انقباض لورنتس - فیتزجرالد

در جلسه قبل با پیشنهاد لورنتس و فیتزجرالد برای انقباض طول در جهت حرکت نسبی اتر آشنا شدیم. این پیشنهاد می توانست نتیجه آزمایش مایکلسون-مورلی را توضیح دهد. همچنین دریافتیم که لورنتس ایده زمان موضعی (که نوعی زمان نسبی بود) را مطرح کرد تا ناوردایی را دوباره به معادله موج برگرداند. با وجودی که فرضیه های لورنتس در نهایت موفق نبودند، تبدیلات لورنتس چارچوب بسیار خوبی را برای شروع کار اینشتین ایجاد کردند.



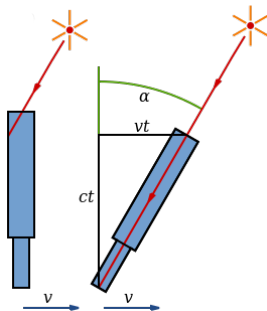
اهداف این جلسه

- در این جلسه می خواهیم با فرضیه کشش اتری و ایرادات آن آشنا شویم. در این فرضیه چنین فرض می شود که چارچوب اتر به تمامی اجسامی که جرم متناهی دارند متصل است؛ در نتیجه همراه با این اجسام کشیده می شود.



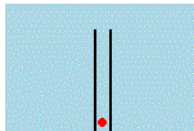
فرضیه کشش اتری

- فرض محوری در مدل کشش اتری این است که چارچوب اتر به تمامی اجسامی که جرم متناهی دارند متصل است و این چارچوب همراه با این اجسام کشیده می شود. در نتیجه، کشش موضعی در اتر، به صورت خود به خود، عدم جابجایی در فریزهای تداخل سنج مایکلسون-مورلی را توضیح می دهد. همچنین، با پذیرش این فرضیه، نیازی به اصلاح در نظریه های مکانیک کلاسیک و الکترومغناطیس احساس نمی شود.
- ولی دو اثر شناخته شده در آن زمان با فرضیه کشش اتری در تضاد بودند: نخست، ابیراهی ستاره ای و دوم، آزمایش فیزو. آزمایش فیزو را بیشتر توضیح داده ایم؛ بنابراین در اینجا بر ابیراهی نور ستارگان تمرکز خواهیم کرد.

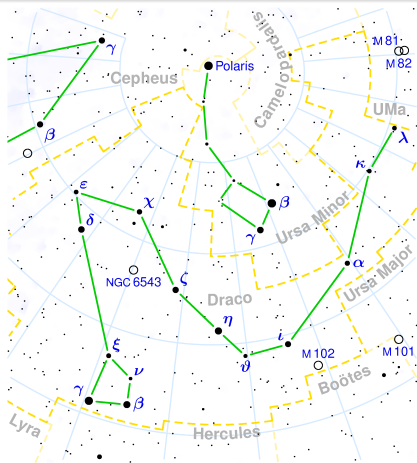


ابیراهی نور ستارگان

- سوال این است که نور ستارگان با فرضیه کشش اتری و بدون آن چطور به ما می رسد؟ برای فهمیدن پاسخ، تصاویر متحرک شماره ۱ را ببینید.
- اگر اتر حامل نور به همراه زمین کشیده شود (فرضیه کشش اتری)، انتظار خواهیم داشت که ستارگان موجود در سمت الراس دقیقاً در سمت الراس دیده شوند.
- اگر اتر حامل نور نسبت به زمین ساکن باشد، آنگاه انتظار خواهیم داشت که تلسکوپ با زاویه کوچکی برابر با $\tan \alpha = v/c$ ستاره موجود در سمت الراس را ببینید. این اثر را ابیراهی ستاره ای (stellar aberration) می نامند که در سال ۱۷۲۷ توسط جیمز بردلی کشف شد. در ادامه این اثر را به صورت مفصل تر بررسی خواهیم کرد.
- جیمز بردلی در واقع به دنبال تایید نظریه خورشید مرکزی از طریق کشف اختلاف منظر ستاره ای بود؛ ولی او اثر دیگری را کشف کرد!



ابیراهی نور ستارگان



جیمز بردلی مشاهده کرد که موقعیت ستاره گامای اژدها در آسمان تا حدودی بستگی به فصل مشاهده آن دارد و موقعیت ظاهری ستاره همیشه اندکی انحراف (به اندازه ۲۰/۵ ثانیه قوسی) نسبت به موقعیت میانگین آن در آسمان دارد. بردلی تشخیص داد که این پدیده به دلیل حرکت دورانی زمین نسبت به خورشید است.

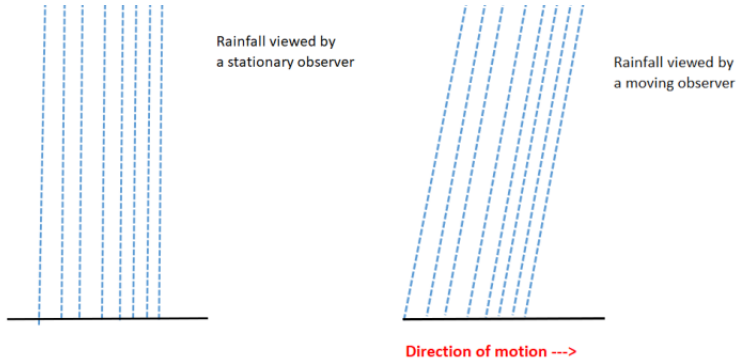
موقعیت ظاهری
ستاره

پدیده ابیراهی
ستاره ای



توضیح بردلی

- در آن زمان، بردلی به خاصیت ذره ای نور اعتقاد داشت. بنابراین توضیح او بر این اساس بود: فرض کنید قطرات باران به صورت عمودی به زمین فرو می افتند. در این صورت، ناظر ساکن نیز باران را به صورت عمودی می بیند. ولی ناظری که در باران می دود، شارش قطرات آب را به صورت مایل خواهد دید.
- بعدها نظریه موجی نور غلبه پیدا کرد. با این وجود توضیح بردلی کم و بیش برقرار باقی ماند.

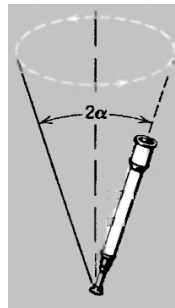
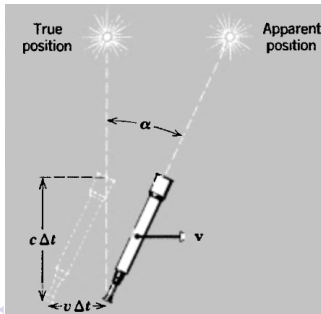


مقدار ابیراهی نور

زاویه ابیراهی نور را می توان به راحتی تعیین کرد. فرض کنید نور وارد تلسکوپ می شود و در طی زمان Δt از عدسی شیئی به عدسی چشمی می رسد. بنابراین، نور در این زمان فاصله $c\Delta t$ یا همان طول تلسکوپ را می پیماید. همچنین، در این زمان زمین و تلسکوپ به اندازه $v\Delta t$ جابجا شده اند (v سرعت زمین در حرکت مداری اش است). در این صورت زاویه α برابر است با

$$\tan \alpha = \frac{v\Delta t}{c\Delta t} = \frac{v}{c} = \frac{30 \text{ km/s}}{300000 \text{ km/s}} = 10^{-4}$$

این مقدار معادل با $20/5$ ثانیه قوسی است (نشان دهید!). قطر ظاهری مخروط تشکیل شده در اثر ابیراهی نیز برابر 41 ثانیه قوسی است که به خوبی با رصدها مطابقت دارد.



نتیجه: فرضیه کشش اتری نادرست است!

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 را کنار بگذاریم.

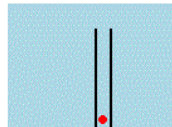
دوباره تصاویر متحرک شماره ۱ را ببینید.

موقعیت ظاهری
ستاره



پدیده ابیراهی
ستاره ای

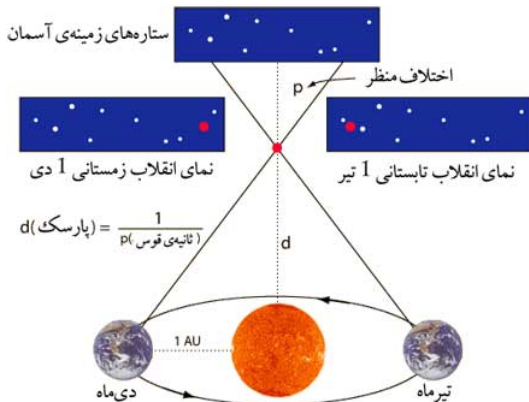
مدار حرکت زمین



اختلاف منظر ستاره‌ای و ابیراهی ستاره‌ای

• لطفا ابیراهی ستاره را از اختلاف منظر ستاره‌ای تفکیک کنید. اختلاف منظر ستاره‌ای، تغییر ظاهری موقعیت هر ستاره نزدیک نسبت به پس زمینه ستارگان دوردست است. برای آشنایی با مفهوم و کاربرد اختلاف منظر ستاره‌ای، به درس "فاصله‌ها در ستاره‌شناسی" مراجعه کنید.

• مقدار ابیراهی به فاصله ستاره ربط ندارد، ولی مقدار اختلاف منظر وابسته به فاصله ستاره‌ها تا زمین است.



نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید مفاهیم مربوط به فرضیه کشش اتری و ایرادات آن را به درستی توضیح دهید. به ویژه انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ دهید:

- ۱ فرضیه کشش اتری چیست؟
- ۲ چگونه نتیجه آزمایش فیزو با فرضیه کشش اتری در تضاد است؟
- ۳ توضیح دهید که چگونه فرضیه کشش اتری نتیجه آزمایش مایکلسون-مورلی را توضیح می دهد.
- ۴ توضیح دهید که چرا ابیراهی نور ستارگان نمی تواند در جهانی با فرضیه کشش اتری اتفاق بیفتد.
- ۵ توضیح دهید که پدیده ابیراهی نور ستارگان چرا اتفاق می افتد؟
- ۶ آیا مقدار ابیراهی ستارگان به فاصله آنها از ما وابسته است؟
- ۷ درباره اختلاف منظر ستاره ای تحقیق کنید.

اگر درباره هر کدام 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.

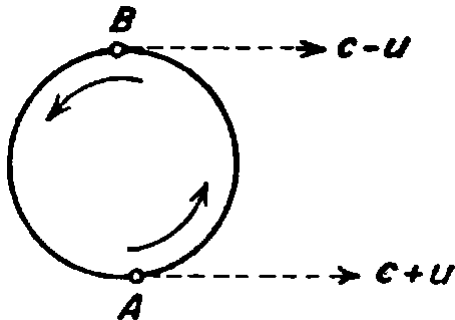


تمرین ها: زمان تحویل ۴ آبان ماه

- تمرین ۱۲ از فصل اول کتاب رزنيک را حل کنید.
- به چه طريق مي توان از مشاهدات ابيراهي براي رد مدل بطلميوسي منظومه شمسي استفاده کرد؟
- سوالات ۱۴ و ۱۵ از فصل اول کتاب رزنيک را پاسخ دهید.

مبحث بعدی: نظریه های گسلی و پرتابی نور

در ادامه با تلاش های برخی دانشمندان برای اصلاح الکترودینامیک ماکسول آشنا خواهیم شد. در چنین نظریه هایی، سرعت امواج نوری به چشمه نور وابسته است و نه به محیط (اتر). همه این تلاش ها سرانجام نتوانست نظریه نسبیت قدیم را نجات دهد و در نتیجه راه برای معرفی نظریه نسبیت خاص باز 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

