

مبانی نسبیت خاص طرح درس

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.

دنای ایشیتین

- Albert Einstein: It is not the result of scientific research that ennobles humans and enriches their nature, but the struggle to understand while performing creative and open-minded intellectual work.

● آلبرت اینشتین: تحقیقات علمی (به خودی خود) باعث نجابت انسان و غنای طبیعتش نمی گردد؛ بلکه این کشاکش و مبارزه برای فهمیدن در حین کار خردمندانه، با ذهن باز و خلاقانه است که باعث والایی انسان می شود.



نسبیت خاص، عام و کیهان شناختی

”مبانی نسبیت خاص” بخش اول از مجموعه ای بزرگتر است که شامل سرفصل های زیر می باشد:



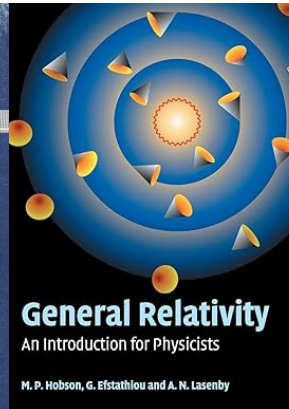
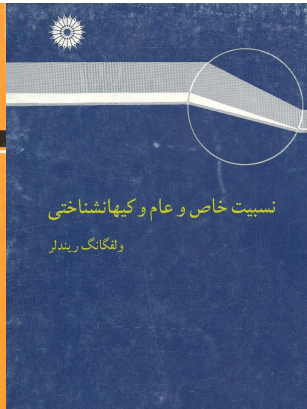
- ۱ مبانی نسبیت خاص
- ۲ سینماتیک و دینامیک نسبیتی
- ۳ فضاها و خمیده و حساب تانسوری
- ۴ الکترو دینامیک نسبیتی
- ۵ مساله اندازه گیری در فضاها و خمیده
- ۶ گرانش و نسبیت عام
- ۷ نسبیت به روش وردشی
- ۸ اختریف یک نسبیتی
- ۹ کیهان شناسی
- ۱۰ ساختار اصل موضوعی گرانش
- ۱۱ پارادوکس های نسبیتی

بیشتر سرفصل های درس نسبیت کارشناسی در دو بخش اول گنجانده شده اند؛ هرچند ما در این درس با بخش های مقدماتی از سرفصل های دیگر هم سر و کار خواهیم داشت.

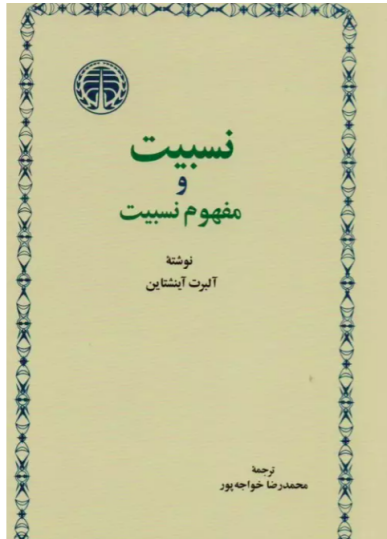
منابع درس

● مهم ترین منابع این درس به شرح زیر هستند. دو منبع اول به فارسی ترجمه شده اند.

- Introduction to Special Relativity; Robert Resnick
- Relativity: Special, General, and Cosmological; Wolfgang Rindler
- General Relativity: An Introduction for Physicists; M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby



منابع درس



کتاب نسبیت ریندلر نوشته یکی از برجسته ترین نسبیت دانان معاصر است و تاکید بسیاری بر درک مفاهیم نسبیت دارد. از طرف دیگر، کتاب نسبیت رزنیک کتابی است که بیشتر سرفصل های این درس را پوشش می دهد و تمرین های بسیار خوبی دارد؛ ولی فرمالیزم آن چندان به روز نیست. کتاب نسبیت عام هابسون و همکاران فرمالیزم ریاضیاتی کاملاً به روزی دارد، نسبیت خاص را به صورت مفصل پوشش داده است و شما را برای بحث های پیشرفته تر (فضاهاى خمیده، نسبیت عام، اخترفیزیک و کیهان شناسی) آماده می کند. علاوه بر این کتاب ها شما می توانید کتاب نسبیت اینشتین (نسبیت و مفهوم آن) را نیز مطالعه کنید. اینشتین در این کتاب شما را به شیواترین و ساده ترین روش با الزامات دیدگاه نسبیتی به فیزیک آشنا می کند.

کتاب های بسیار جذاب دیگر درباره نسبیت و کاربردهای آن را می توانید با جستجو در نت یافته و مطالعه کنید.

منابع آنلاین

- تعدادی درسنامه های تصویری نسبیت به زبان فارسی را می توانید به صورت رایگان از نت دریافت کنید.
- نسبیت خاص، شانت باگرام، مرکز آموزش های الکترونیکی شریف
<https://ocw.sharif.ir/course/id/72>
- گرانش و نسبیت عام ۱، رضا منصوری، مرکز آموزش های الکترونیکی شریف
<https://ocw.sharif.ir/course/id/66>
- آموزش نسبیت عام، بهرام مشحون، مکتب خونه
- بهترین درسنامه های تصویری نسبیت به زبان انگلیسی نیز به شرح زیرند:
- Introduction To Special Relativity; Markus Klute
<https://ocw.mit.edu/courses/8-20-introduction-to-special-relativity-j>
- Leonard Susskind's Special Relativity, Find in YouTube
- Understanding Einstein: The Special Theory of Relativity; Larry
Lagerstrom; Stanford Online

ارزشیابی درس



**"I'll give you a hand with your
physics homework - just as soon
as I figure out the microwave"**

• ارزشیابی درس "نسبیت خاص" به صورت زیر است:

• ۱ حل تمرین ها ۱۰ %

• ۲ میانترم اول ۲۰ %

• ۳ میانترم دوم ۲۰ %

• ۴ پایانترم ۵۰ %

• همچنین در صورت تمایل می توانید
با انجام یک پروژه (گزارش و یا محاسبات)
۲ نمره اضافه دریافت نمایید.

• این مجموعه درس به مرور بر روی
کانال های علمستان در آپارات و
یوتیوب بارگذاری خواهد شد.

<https://www.aparat.com/h.shenavar>

<https://www.youtube.com/@elmestan>

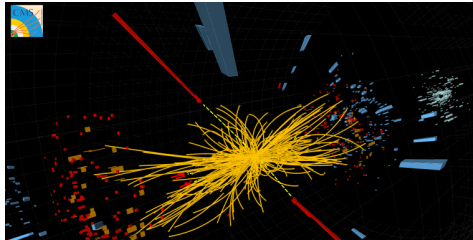
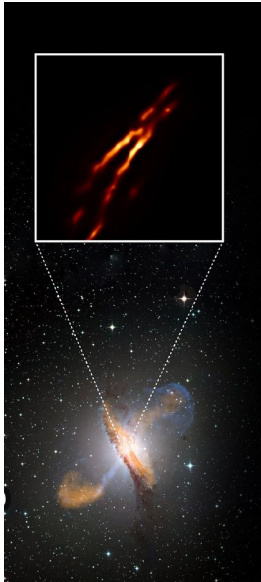
کاربردهای نظریه نسبیت خاص

ما از فرمولبندی نسبیت خاص (SR : Special Relativity) در مواردی استفاده می کنیم که با انرژی های بسیار زیاد، سرعت های نزدیک به سرعت نور و یا ابعاد نجومی سروکار داشته باشیم.

با نگاهی به مسائل فیزیکی می توان دید که شرایط نسبیت خاصی در طیف وسیعی از پدیده ها موجود است. در این بین می توان به پلاسمای نسبیتی، پدیده های مختلف در فیزیک اتمی-مولکولی، فوتونیک، فیزیک ستارگان، ذرات بنیادی و ... اشاره کرد.

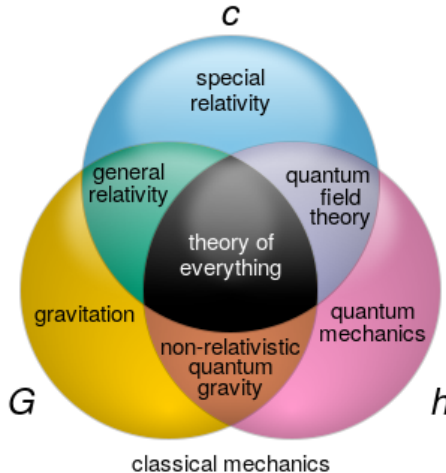
اگر شرایط نسبیت خاص برقرار بوده و سیستم کوانتومی نیز باشد، باید از نظریه های نسبیتی کوانتوم (نظریه میدان کوانتومی) استفاده کنیم.

در هر صورت، دانستن مفاهیم و روش های نسبیت خاص به وضوح اولین گام برای ورود به مسائل نوین فیزیکی است.

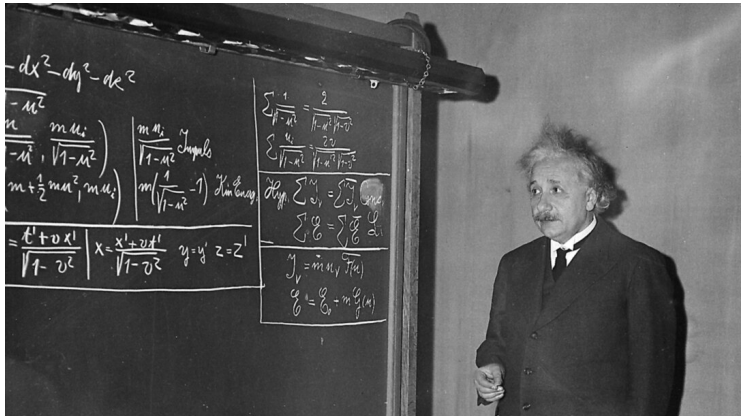


دامنه درستی نظریه های فیزیکی

- طرحی از دامنه درستی نظریه های فیزیکی را می توانید در زیر ببینید. آیا می توانید این طرح را به صورت سه بعدی (با محورهای اندازه، سرعت و شدت میدان) بازنویسی کنید؟



- انگیزه های اینشتین و دیگران برای ابداع و توسعه نسبیت خاص را می توان در دو دسته تجربی و نظری خلاصه کرد. ما در این جلسه و جلسات آینده این انگیزه ها را به صورت خلاصه مطالعه می کنیم. انگیزه های نظری برای توسعه نسبیت خاص را می توان به بهترین وجه در آزمایشات فکری اینشتین ملاحظه کرد.



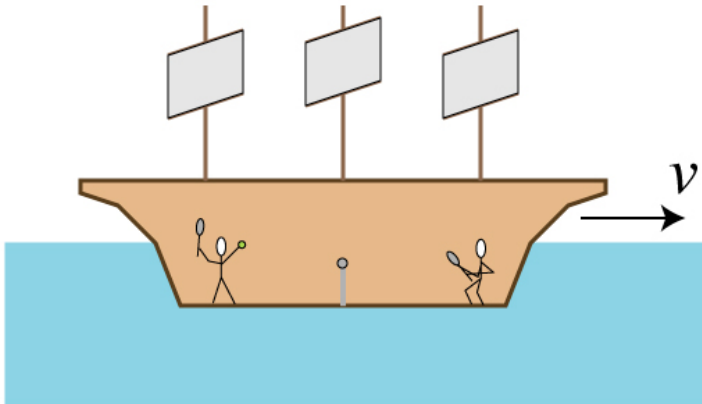
آزمایش فکری



- آزمایش فکری یک استدلال منطقی و یا یک مدل ذهنی است که با طرح شرایطی خاص می خواهد پیامدهای یک نظریه، قانون و یا اصل را نشان داده و یا به چالش بکشد.
- چنین آزمایش هایی از زمان یونان باستان متداول بوده اند. برای یک مورد جذاب در فلسفه مراجعه کنید به "انسان معلق در فضا" که توسط ابن سینا مطرح شده است.
- گالیله نیز در کتاب گفتگو درباره دو علم جدید، از آزمایش های فکری برای توضیح اصول فیزیک بسیار بهره برده است. هرچند، اینشتین استفاده از آزمایش های ذهنی در فیزیک را به اوج خود رساند. در واقع اینشتین با مطرح کردن چنین مدل های ذهنی، دو موضوع نسبیت و کوانتوم را بسیار توسعه داد.

حرکت با سرعت ثابت

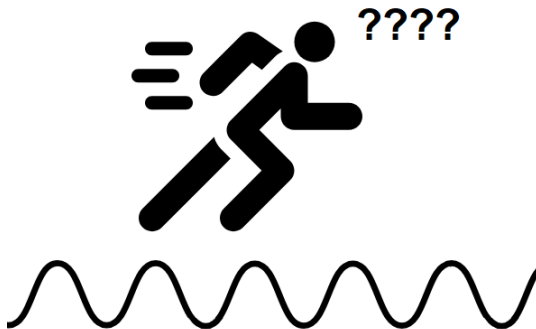
- اگر شما در آزمایشگاهی در بسته قرار داشته باشید و هیچگونه ارتباطی با دنیای اطراف خود نداشته باشید، آیا می توانید به وسیله آزمایش های مکانیکی تعیین کنید که آزمایشگاه در حال سکون است و یا در حرکت یکنواخت می باشد؟ گالیله چنین آزمایشی را به تفصیل در کتابش با عنوان "گفتگو در باب دو نظام عمده عالم" بحث کرده است.



حرکت با سرعت نور

- اگر ما با سرعت نور حرکت کنیم، فیزیک دنیای اطراف خود را چگونه خواهیم دید؟ اینشتین ادعا کرده است که به چنین مساله ای در شانزده سالگی فکر کرده و به نتایج جالبی دست یافته است. مقاله زیر را ببینید.

Norton, John D. (2013). "Chasing the Light: Einstein's Most Famous Thought Experiment"



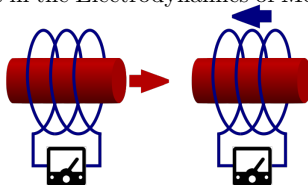
حرکت نسبی آهنربا و سیم پیچ

● حرکت نسبی آهنربا و سیم پیچ را در نظر بگیرید. اگر سرعت حرکت نسبی در این دو مورد یکسان باشد، مقدار قابل مشاهده (اختلاف پتانسیل ایجاد شده) در هر دو مورد برابر خواهد بود. هرچند توصیف فیزیکی این دو وضعیت در الکترومغناطیس ماکسول متفاوت است! ماکسول در مقاله

Clerk Maxwell, James : On Physical Lines of Force (۱۸۶۱)

به این تفاوت اشاره کرده است. اگر آهنربا به سمت سیم پیچ حرکت کند (شکل سمت چپ)، تغییر در میدان مغناطیسی باعث به وجود آمدن نیروی محرکه القایی می شود. ولی اگر سیم پیچ به سمت آهنربا حرکت کند (شکل سمت راست)، میدان مغناطیسی ثابت است؛ ولی برهمکنش نیروی مغناطیسی با حامل های بار (نیروی لورنتس) باعث به وجود آمدن اختلاف پتانسیل می شود. مقاله ۱۹۰۵ اینشتین با بررسی این موضوع شروع می شود.

Norton, John D. "Einstein's Investigations of Galilean Covariant Electrodynamics prior to 1905" (May 2004) and "Einstein's Special Theory of Relativity and the Problems in the Electrodynamics of Moving Bodies that Led him to it" (2014).



نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما به صورت خلاصه درباره تاریخچه نسبیت، پیش زمینه های تجربی و نظری نسبیت، کاربردهای نسبیت و ریاضیات آن تحقیق کنید. به ویژه مناسب است که بتوانید با تحقیق در منابع کتابخانه ای و نت به پرسش های زیر جواب دهید.

- ۱ درباره تبدیلات گالیله تحقیق کنید.
- ۲ درباره نسبیت نیوتنی تحقیق کنید.
- ۳ درباره چارچوب های نسبی، مطلق و مرجع تحقیق کنید.
- ۴ درباره انقباض طول و اتساع زمان تحقیق کنید.
- ۵ درباره اصول موضوعه نسبیت خاص و نسبیت عام تحقیق کنید.
- ۶ درباره اصل هم ارزی اینشتین تحقیق کنید.
- ۷ درباره اصل ماک تحقیق کنید.
- ۸ درباره تفاوت بین جرم لختی و جرم گرانشی تحقیق کنید.

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.



مزه ای از نسبیت

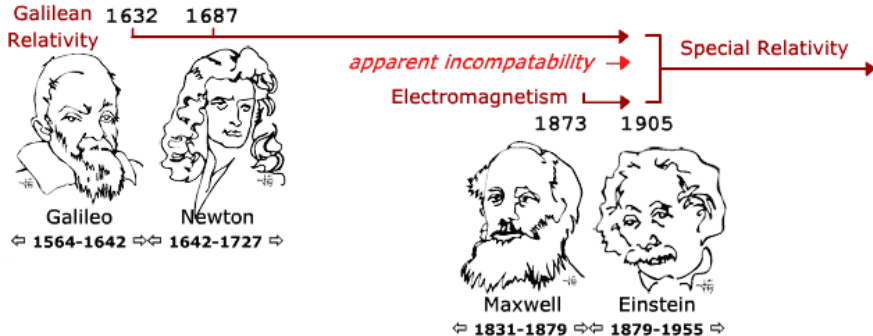
- توجه: برای حل این مساله فقط نیاز به دانسته های خود از فیزیک ۱ دارید:
 خلبانی قرار است که به شرق پرواز کند، از نقطه A به B، و بعد دوباره به غرب و نقطه A بازگردد. سرعت هواپیما نسبت به باد برابر $\vec{v}$ و سرعت باد نسبت به زمین برابر $\vec{u}$ می باشد. فاصله بین نقاط A و B برابر l و سرعت هواپیما نسبت به هوا ثابت است.
- الف) اگر سرعت هوا نسبت به زمین صفر باشد، یعنی $|\vec{u}| = 0$ ، نشان دهید که زمان رفت و برگشت برابر $t_0 = l/v$ می باشد.
- ب) فرض کنید که باد به سمت شرق (و یا غرب) می وزد. نشان دهید که زمان رفت و برگشت برابر

$$t_E = \frac{t_0}{1 - u^2/v^2}$$
- پ) فرض کنید که سرعت باد به سمت شمال و یا جنوب می باشد. نشان دهید که زمان رفت و برگشت برابر است با

$$t_E = \frac{t_0}{\sqrt{1 - u^2/v^2}}$$

مبحث بعدی: تبدیلات گالیه و نسبیت نیوتنی

در درس های بعد خواهیم دید که دو نظریه بنیادین موجود در زمان اینشتین (مکانیک نیوتنی و الکترومغناطیس ماکسول) ناسازگاری های بنیادینی با هم داشتند. اینشتین، برای رفع این ناسازگاری ها، ساختار اصل موضوعی فیزیک را تغییر داد؛ به این معنی که اصل جدیدی را وارد فیزیک کرده و همچنین تعریف جدیدی برای همزمانی ارائه کرد. برای درک این موضوعات در ابتدا به سراغ تبدیلات گالیه و نسبیت نیوتنی می رویم.



مراجع

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

با سپاس از توجه شما

