

مقدمه‌ای بر نسبیت عام

دوره درسی برای دانشجویان کارشناسی فیزیک

کاسیمو بامبی

www.ketab.ir

مترجمین: سالومه خونی‌نی مقدم
(عضو هیأت علمی دانشگاه خوارزمی)
وحید امیرخانی



سرشناسه

عنوان و نام پدیدآور

مشخصات نشر

مشخصات ظاهری

شابک

وحدت فهرست نویسی

پادداشت

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

شناسه افزوده

شناسه افزوده

رده بندی کنگره

رده بندی دیویی

شماره کتابشناسی ملی

اطلاعات رکورد کتابشناسی

بامبی، گوزیمو

Bambi Cosimo

مقدمه‌ای بر نسبیت عام؛ دوره درسی برای دانشجویان کارشناسی فیزیک/ کاسیمو بامبی؛ مترجمین: سالومه خوئینی مقدم، وحید امیرخانی، ویراستار فنی: شیرین جلالی ارکی

تهران: جهان ادیب، ۱۴۰۰

۲۴۸ص: مصور

978-600-5440-54-6

فیزیا

عنوان اصلی: Introduction to General Relativity: A Course for Undergraduate Students of Physics, c2018.

نجوم

Astronomy

فیزیک نجومی

Astrophysics

جاذبه گرانشی

Gravitation

نسبیت عام (فیزیک)

General relativity (Physics)

خوئینی مقدم، سالومه، ۱۳۵۴، مترجم

امیرخانی، وحید، ۱۳۶۷، مترجم

QB۴۲۲

۲۳۵

فیزیا



انتشارات جهان ادیب

مقدمه ای بر نسبیت عام:

دوره درسی برای دانشجویان کارشناسی فیزیک

نویسنده: کاسیمو بامبی

مترجمین: سالومه خوئینی مقدم - وحید امیرخانی

ویراستار فنی: شیرین جلالی ارکی

ناشر: انتشارات جهان ادیب

چاپ: سینا

صحافی: بعثت

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۴۴۰-۵۴-۶

انتشارات جهان ادیب: تهران، خیابان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، کوچه بهشت آئین، پلاک ۱۲، واحد ۱ / تلفن: ۶۶۴۱۲۱۲۶-۲۷

فروشگاه مرکزی: تهران، خیابان انقلاب، فروشگاه کتاب ادیب / تلفن: ۶۶۹۶۸۸۷۱-۷۳

قیمت: ۷۵۰۰۰ تومان

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

پیش‌گفتار

فرمول‌بندی نظریه‌های نسبیت خاص و عام و نظریه مکانیک کوانتومی در نخستین دهه‌های قرن بیستم، نه فقط به دلیل استنباط‌های عمیق فیزیکی بلکه به خاطر روش پژوهش آنها، یک نقطه‌ی عطف در علم هستند. به همین دلیل، دوره‌های درسی نسبیت خاص و عام و مکانیک کوانتومی یک مرحله‌ی مهم برای هر دانشجوی فیزیک به شمار می‌رود. این دوره‌ها، رویکردهای متفاوتی را برای بررسی پدیده‌ها معرفی می‌کنند و دانشجویان برای هضم کردن چنین تغییرات اساسی به زمان نیاز دارند.

در مکانیک نیوتنی و نظریه‌ی الکترودینامیک ماکسول، رویکرد مورد استفاده، کاملاً تجربی و طبیعی است. در ابتدا، با استفاده از مشاهدات، تعداد کمی از قوانین بنیادی را حدس می‌زنیم (مانند قوانین نیوتن) و سپس تمام نظریه را می‌سازیم (مانند مکانیک نیوتنی). در فیزیک جدید که از نسبیت خاص و عام و مکانیک کوانتومی آغاز شد، استفاده از این رویکرد همیشه ممکن نیست. ممکن است ترتیب مشاهدات و فرمول‌بندی نظریه تغییر کند، زیرا امکان دارد که ما به قوانین پایه‌ای حاکم بر یک پدیده فیزیکی دسترسی مستقیم نداشته باشیم. در این حالت، ما می‌توانیم تعدادی از نظریه‌ها را فرمول‌بندی کنیم یا تعدادی جواب حدسی برای توصیف یک پدیده‌ی فیزیکی مشخص در چارچوب یک نظریه‌ی معین البته اگر نظریه‌ای داشته باشیم، معرفی کنیم و سپس پیش‌بینی‌های حاصل از جواب‌های مختلف را بررسی کنیم تا ببینیم کدام‌یک از جواب‌ها البته اگر جوابی وجود داشته باشد، با مشاهدات سازگار است.

برای مثال، قوانین اول، دوم و سوم نیوتن را می‌توانیم مستقیماً از آزمایش استنتاج کنیم. در عوض، معادلات اینشتین را با اعمال چند الزام “منطقی” به دست می‌آوریم و سپس این معادلات را با مقایسه پیش‌بینی‌های آنها با نتایج تجربی تأیید می‌کنیم. در فیزیک جدید، مرسوم است که نظریه‌پردازها، مدل‌های نظری را بر اساس “حدس‌هایی” (بر گرفته از استدلال‌هایی بدون هر گونه تأیید تجربی) گسترش می‌دهند به این امید که بتوانند پیش‌بینی‌هایی انجام دهند که بعداً آنها را با انجام آزمایش‌هایی بررسی کنند.

در ابتدا، دانشجو ممکن است نسبت به این رویکرد جدید ناامید شود و مطرح شدن فرضیات **موردی**^۱ را درک نکنند. این اتفاق تا اندازه‌ای به این دلیل رخ می‌دهد که ما در یک دوره‌ی درسی تلاش‌های تعداد زیادی از فیزیک‌پیشگان و آزمایش‌های متعدد را به طور مختصر و مفیدی بیان می‌کنیم که سرانجام منجر به شکل‌نهایی نظریه می‌شود، بدون اینکه همه‌ی تلاش‌های ناموفق – اما در عین حال ضروری و مهم – را مطرح کنیم. علاوه بر این، دانشجوهای مختلف، پیش‌زمینه‌های متفاوتی دارند نه فقط به این دلیل که در رشته‌های علمی متفاوتی (مثل فیزیک نظری، فیزیک تجربی، اخترفیزیک و ریاضی فیزیک) تحصیل می‌کنند بلکه به این دلیل که برنامه‌های درسی در دوره‌های کارشناسی در کشورهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد. به علاوه، ممکن است رویکردی که در بعضی از کتاب‌های درسی وجود دارد

مورد علاقه‌ی بعضی از دانشجویها باشد ولی مورد پسند بقیه‌ی دانشجویها که کتاب‌های درسی دیگری را ترجیح می‌دهند، نباشد. این نکته وقتی برای اولین بار نظریه‌های نسبیت خاص و عام و مکانیک کوانتومی را مطالعه می‌کنیم، از این جهت که در آنها مفاهیمی وجود دارد که در ابتدا درک آنها سخت است و همین‌طور ممکن است رویکردهای متفاوت درک آن مفاهیم را ساده‌تر یا سخت‌تر کند، بسیار مهم است.

در این کتاب، نظریه‌های نسبیت خاص و عام را به کمک فرمالیزم لاگرانژی معرفی می‌کنیم. این رهیافت در کتاب معروف لاندائو و لیفشیتز به کار رفته است. در اینجا، سعی کردیم کتابی بنویسیم که در دسترس تعداد دانشجویهای بیشتری قرار بگیرد، با یک مرور سریع از مکانیک نیوتنی شروع می‌کنیم و مثال‌هایی را (امیدوارم روشن کننده مطلب باشند) در نظر می‌گیریم. کتاب درسی حاضر، فضای بسیار زیادی را به کاربردهای فیزیک نجومی اختصاص داده است، آزمون‌های نسبیت خاص، سیاهچاله‌ها، مدل‌های کیهان‌شناسی و امواج گرانشی را در سطح یک درس مقدماتی از نسبیت عام مطرح کرده است. در فصل آخر، دانشجویان می‌توانند یک مرور سریع به مشکلات گرانش اینشتین و خط مشی پژوهش‌های اخیر در فیزیک نظری داشته باشند.

این کتاب درسی از ۱۳ فصل تشکیل شده است و برای تدریس در یک نیمسال (معمولاً بین ۱۳ تا ۱۵ هفته)، هر هفته باید به مطالعه یک فصل اختصاص داده شود. اما دقت کنید که فصل‌های ۹-۱ در یک دوره درسی نسبیت عام و خاص "الزامی" هستند. هر چند فصل‌های ۱۳-۱۰ موضوعاتی را پوشش می‌دهند که اغلب در یک دوره درسی مقدماتی به دانشجویان کارشناسی تدریس نمی‌شوند. تمرین‌ها در انتهای اکثر فصل‌ها مطرح شده است و در پیوست خ به صورت جزئی حل شده‌اند.

شانگهای، چین

کاسیمو بامبی

آوریل ۲۰۱۸

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱۵	۱	مقدمه
۱۵	۱.۱	اصل نسبیت خاص
۱۷	۲.۱	فضای اقلیدسی
۱۹	۳.۱	اسکالرها، بردارها و تانسورها
۲۲	۴.۱	تبدیل‌های گالیله
۲۵	۵.۱	اصل کمترین کنش
۲۷	۶.۱	ثابت‌های حرکت
۲۸	۷.۱	معادلات ژنودینامیک
۳۱	۸.۱	گرانش نیوتن
۳۳	۹.۱	قوانین کپلر
۳۵	۱۰.۱	معادلات ماکسول
۳۷	۱۱.۱	آزمایش مایکلسون-مورلی
۳۹	۱۲.۱	به سوی نظریه نسبیت خاص
۴۰		مسائل
۴۳	۲	نسبیت خاص
۴۳	۱.۲	اصل نسبیت اینشتین
۴۴	۲.۲	فضای زمان مینکوفسکی
۴۹	۳.۲	تبدیلات لورنتس
۵۲	۴.۲	ویژه‌زمان
۵۴	۵.۲	قوانین تبدیل
۵۸	۶.۲	مثال: میون‌های پرتوی کیهانی
۵۹		مسائل
۶۱	۳	مکانیک نسبیتی
۶۱	۱.۳	کنش برای یک ذره آزاد
۶۳	۲.۳	تکانه و انرژی

۶۶	ذرات بدون جرم	۳.۳
۶۸	برخورد ذرات	۴.۳
۶۹	مثال: برخورد دهنده‌ها در مقابل شتاب دهنده‌ها با هدف ثابت	۵.۳
۷۰	مثال: قطع GZK	۶.۳
۷۲	سیستم‌های چند ذره‌ای	۷.۳
۷۴	فرمالیزم لاگرانژی برای میدان‌ها	۸.۳
۷۶	تانسور انرژی-تکانه	۹.۳
۷۸	مثال‌ها	۱۰.۳
۸۰	مسائل	

۴ الکترومغناطیس

۸۱	کنش	۱.۴
۸۲	حرکت یک ذره‌ی باردار	۲.۴
۸۵	شکل هموردای معادلات ماکسول	۳.۴
۸۷	ناوردای پیمانه‌ای	۴.۴
۹۰	تانسور انرژی-تکانه برای الکترومغناطیسی	۵.۴
۹۱	مثال‌ها	۶.۴
۹۲	مسائل	

۵ هندسه‌ی ریمانی

۹۹	انگیزه‌ها	۱.۵
۹۹	مشتق هموردا	۲.۵
۱۰۱	عبارت‌های مفید	۳.۵
۱۰۹	تانسور ریمان	۴.۵
۱۱۱	مسائل	
۱۱۸	مرجع	

۶ نسبیت عام

۱۱۹	هموردایی عام	۱.۶
۱۱۹	اصل هم‌ارزی اینشتین	۲.۶
۱۲۲	ارتباط با پتانسیل نیوتنی	۳.۶
۱۲۳	چارچوب‌های لخت موضعی	۴.۶

۵.۶	اندازه‌گیری بازه‌های زمانی	۱۲۷
۶.۶	مثال: ماهواره‌های GPS	۱۲۸
۷.۶	پدیده‌های غیر گرانشی در فضا زمان‌های خمیده	۱۳۰
	مسائل	۱۳۳

۷ گرانش اینشتین

۱.۷	معادلات اینشتین	۱۳۵
۲.۷	حد نیوتنی	۱۳۸
۳.۷	کنش هیلبرت-اینشتین	۱۳۹
۴.۷	تانسور انرژی-تکانه‌ی ماده	۱۴۳
۵.۷	شبه تانسور لاندائو-لیفشیتز	۱۴۶
	مسائل	۱۵۰
	مرجع	۱۵۱

۸ فضا زمان شوارتس شیلد

۱.۸	فضا زمان‌های با تقارن کروی	۱۵۳
۲.۸	قضیه‌ی بیرکهوف	۱۵۵
۳.۸	متریک شوارتس شیلد	۱۶۱
۴.۸	حرکت در متریک شوارتس شیلد	۱۶۳
۵.۸	سیاهچاله‌های شوارتس شیلد	۱۶۶
۶.۸	نمودارهای پنروز	۱۶۹
	مسائل	۱۷۲
	مراجع	۱۷۳

۹ آزمون‌های کلاسیک نسبیت عام

۱.۹	انتقال به سرخ گرانشی نور	۱۷۶
۲.۹	حرکت تقدیمی حضیض عطارد	۱۷۸
۳.۹	انحراف نور	۱۸۰
۴.۹	اثر شیپرو	۱۸۴
۵.۹	فرمالیزم پس‌نیوتنی پارامتر بندی شده	۱۸۸
	مراجع	۱۹۰