



فیزیک جدید ۱

(رشته فیزیک)

محمود جنوبی دکتر مهدی سودمند

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

یازده	پیشگفتار
۱	فصل اول. مروری بر فیزیک کلاسیک
۱	طرح درس
۲	پیشگفتار
۲	هدف‌ها
۳	۱-۱ مقدمه
۶	۲-۱ مروری بر فیزیک کلاسیک
۶	۱-۲-۱ انرژی جنبشی
۶	۲-۲-۱ تکانه خطی
۷	۳-۲-۱ کار
۷	۴-۲-۱ قوانین پایستگی
۸	۵-۲-۱ برخورد
۸	۶-۲-۱ انرژی پتانسیل
۹	۷-۲-۱ الکتریسیته و مغناطیس: قانون کولن
۱۰	۸-۲-۱ مغناطیس
۱۶	۳-۱ یکاها و ابعاد کمیت‌های فیزیک در فیزیک جدید
۱۶	۱-۳-۱ طول
۱۶	۲-۳-۱ انرژی
۱۷	۳-۳-۱ بار الکتریکی
۱۷	۴-۳-۱ جرم
۱۸	۵-۳-۱ برخی ثابت‌های بنیادی برحسب یکاهای ساده‌تر
۲۰	۴-۱ خلاصه مطالب
۲۱	۵-۱ پاسخ خودآزمایی‌های داخل متن کتاب
۲۲	۶-۱ تمرین‌های مروری
۲۳	۷-۱ پاسخ تمرین‌های مروری
۲۴	۸-۱ مسائل

۲۵	فصل دوم. نظریه نسبیت خاص
۲۵	پیشگفتار
۲۶	هدف‌ها
۲۷	۱-۲ مقدمه
۲۸	۱-۲-۱ تبدیلات گالیله
۳۵	۲-۲ فضای مطلق و اثر
۳۶	۳-۲ آزمایش مایکلسون-مورلی
۴۰	۴-۲ نظریه نسبیت خاص
۴۰	۱-۴-۲ اصول موضوع انیشتین
۴۱	۲-۴-۲ تبدیل لورنتس
۴۲	۳-۴-۲ انقباض طول
۴۵	۴-۴-۲ اتساع زمان
۴۹	۵-۴-۲ تبدیلات سرعت
۵۴	۵-۲ اثر دوپلر نسبیتی
۶۰	۶-۲ نسبیت هم‌زمانی
۶۳	۷-۲ دینامیک نسبیتی
۶۷	۸-۲ رابطه جرم و انرژی
۷۰	۹-۲ رابطه تکانه و انرژی
۷۰	۱۰-۲ یکاهای انرژی و تکانه
۷۵	۱۱-۲ خلاصه مطالب
۷۷	۱۲-۲ پاسخ خودآزمایی‌های متن کتاب
۸۵	۱۳-۲ تمرین‌های مروری
۸۶	۱۴-۲ پاسخ تمرین‌های مروری
۹۱	۱۵-۲ مسائل
۹۵	فصل سوم. خواص ذره‌ای امواج
۹۵	پیشگفتار
۹۵	هدف‌ها
۹۶	۱-۳ مقدمه
۹۷	۲-۳ امواج الکترومغناطیسی
۱۰۰	۳-۳ طیف امواج الکترومغناطیسی
۱۰۳	۴-۳ تابش جسم سیاه
۱۱۱	۵-۳ فرمول تابش پلانک
۱۱۶	۶-۳ فوتون‌ها و اثر فوتوالکتریک
۱۲۲	۷-۳ نظریه کوانتومی انیشتین درباره فوتوالکتریک
۱۲۷	۸-۳ اثر کامپتون
۱۳۵	۹-۳ پرتو x
۱۴۱	۱۰-۳ تولید زوج
۱۴۴	۱۱-۳ پراش پرتو x
۱۴۷	۱۲-۳ خلاصه مطالب
۱۴۸	۱۳-۳ پاسخ خودآزمایی‌های داخل متن کتاب
۱۵۲	۱۴-۳ تمرین‌های مروری

۱۵۵	۳-۱۵ پاسخ تمرین‌های مروری
۱۶۲	۳-۱۶ مسائل
۱۶۵	فصل چهارم. خواص موج گونه ذرات
۱۶۵	پیشگفتار
۱۶۶	هدف‌ها
۱۶۶	۴-۱ مقدمه
۱۶۷	۴-۲ امواج دوبروی
۱۷۷	۴-۳ دوگانگی ذره-موجی
۱۷۸	۴-۴ امواج دوبروی چگونه امواجی هستند؟
۱۷۸	۴-۴-۱ امواج احتمال
۱۸۰	۴-۴-۲ توصیف یک موج
۱۸۲	۴-۴-۳ سرعت فاز و سرعت گروه
۱۸۶	۴-۵ ذره در یک جعبه
۱۹۰	۴-۶ اصل عدم قطعیت
۱۹۴	۴-۶-۱ اچ-بار ($\hbar$)
۱۹۶	۴-۷ خلاصه مطالب
۱۹۷	۴-۸ پاسخ خودآزمایی‌های داخل متن کتاب
۲۰۱	۴-۹ تمرین‌های مروری
۲۰۲	۴-۱۰ پاسخ تمرین‌های مروری
۲۰۸	۴-۱۱ مسائل

۲۱۱	فصل پنجم. مکانیک کوانتوم: معادله شرودینگر
۲۱۱	پیشگفتار
۲۱۲	هدف‌ها
۲۱۴	۵-۱ مقدمه
۲۱۴	۵-۲ تابع موج
۲۱۵	۵-۳ بهنجارش
۲۱۶	۵-۴ معادله شرودینگر
۲۱۷	۵-۴-۱ مشتقات جزئی
۲۲۰	۵-۴-۲ معادله شرودینگر: شکل وابسته به زمان
۲۲۶	۵-۴-۳ مقادیر چشم‌داشتی
۲۲۸	۵-۴-۴ معادله مستقل از زمان شرودینگر
۲۳۰	۵-۵ توابع موج خوش‌رفتار
۲۳۲	۵-۶ کاربردهای معادله شرودینگر
۲۳۲	۵-۶-۱ ذره آزاد
۲۳۳	۵-۶-۲ ذره در جعبه یک‌بعدی
۲۳۶	۵-۷ توابع موج
۲۳۸	۵-۸ ذره در جعبه دوبعدی
۲۴۰	۵-۸-۱ واگنی
۲۴۱	۵-۸-۲ چاه پتانسیل متناهی
۲۴۳	۵-۸-۳ اثر تونل

۲۴۶	۹-۵ نوسانگر هماهنگ ساده
۲۴۹	۱۰-۵ ترازهای انرژی
۲۵۱	۱۱-۵ توابع موج
۲۵۴	۱۲-۵ خلاصه مطالب
۲۵۷	۱۳-۵ پاسخ خودآزمایی‌های داخل متن کتاب
۲۶۱	۱۴-۵ تمرین‌های مروری
۲۶۲	۱۵-۵ پاسخ تمرین‌های مروری
۲۶۹	۱۶-۵ مسائل

۲۷۵	فصل ششم. ساختمان اتم: رادرفورد- بور
۲۷۵	پیشگفتار
۲۷۷	هدف‌ها
۲۷۸	۱-۶ مقدمه
۲۸۲	۲-۶ پراکندگی رادرفورد
۲۸۳	۳-۶ زاویه پراکندگی
۲۸۷	۴-۶ فرمول پراکندگی رادرفورد
۲۹۱	۵-۶ پایداری اتم
۲۹۴	۶-۶ طیف اتمی
۲۹۶	۷-۶ سری‌های طیفی
۳۰۱	۸-۶ اصول موضوع بور
۳۰۲	۹-۶ اتم بور
۳۱۰	۱۰-۶ برانگیختگی
۳۱۲	۱۱-۶ آزمایش فرانک - هرتز
۳۱۴	۱۲-۶ اصل هم‌خوانی
۳۱۶	۱۳-۶ خلاصه مطالب
۳۱۸	۱۴-۶ پاسخ خودآزمایی‌های داخل متن کتاب
۳۲۰	۱۵-۶ تمرین‌های مروری
۳۲۲	۱۶-۶ پاسخ تمرین‌های مروری
۳۲۶	۱۷-۶ مسائل

۳۲۹	فصل هفتم. نظریه کوانتومی اتم هیدروژن
۳۲۹	پیشگفتار
۳۳۰	هدف‌ها
۳۳۱	۱-۷ مقدمه
۳۳۲	۲-۷ معادله شرودینگر برای اتم هیدروژن
۳۳۶	۳-۷ جدا کردن متغیرها
۳۳۸	۴-۷ اعداد کوانتوم
۳۴۲	۱-۴-۷ عدد کوانتوم اصلی
۳۴۳	۲-۴-۷ عدد کوانتوم مداری
۳۴۵	۳-۴-۷ عدد کوانتوم مغناطیسی
۳۴۸	۵-۴-۷ طیف اتمی و قواعد گزینش

۳۵۰	۶-۷ چگالی احتمال الکترون
۳۵۳	۷-۷ احتمال یافتن الکترون
۳۵۶	۸-۷ تغییرات زاویه‌ای چگالی احتمالی
۳۵۸	۹-۷ اثر زمین
۳۶۲	۱۰-۷ انرژی مغناطیسی
۳۶۶	۱۱-۷ اسپین
۳۷۰	۱۲-۷ آزمایش اشترون و گرلاخ
۳۷۳	۱۳-۷ خلاصه مطالب
۳۷۶	۱۴-۷ پاسخ خودآزمایی‌های داخل متن کتاب
۳۸۰	۱۵-۷ تمرین‌های مروری
۳۸۲	۱۶-۷ پاسخ تمرین‌های مروری
۳۸۶	۱۷-۷ مسائل
۳۹۰	خودآزمایی‌های نهایی
۴۳۱	پیوست ۱. معادله شرودینگر
۴۳۵	پیوست ۲. اثر تونل
۴۴۴	پیوست ۳. لیزر
۴۴۷	پیوست ۴. مختصری از زندگی‌نامه دانشمندان فیزیک جهان
۴۵۷	پیوست ۵. مروری بر ریاضیات
۴۶۳	پیوست ۶. جداول
۴۶۹	واژگان انگلیسی به فارسی
۴۷۳	منابع

پیشگفتار

به نام خداوند جان و خرد
کزین برتر اندیشه بر نگذرد

فیزیک جدید در سال ۱۹۰۰ با کشف ماکس پلانک در مورد نقش کوانتش انرژی در تابش جسم سیاه آغاز شد. این نظریه انقلابی بزودی با نظریه انقلابی دیگری توسط آلبرت انیشتین در مورد نسبیت و کوانتوم همراه شد و پایه‌ای برای شاخه‌ای از علم فیزیک به نام فیزیک جدید شد و هنوز هم جنبه‌های اندکی از علم معاصر را می‌یابد که تحت تأثیر فیزیک جدید قرار نگرفته باشد.

این کتاب به عنوان منبع درس ۴ واحدی فیزیک جدید ۱ برای دانشجویان رشته فیزیک تدوین شده است. این دانشجویان قبلاً اصول حساب دیفرانسیل و انتگرال و فیزیک کلاسیک مقدماتی را فرا گرفته‌اند و تا این مقطع با ریاضیات نسبتاً ساده‌ای سروکار داشته‌اند. و ناگهان انتظار می‌رود که به مسائل ویژه که متضمن معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی، جداسازی متغیرها و گروهی از توابع ریاضی خاص بپردازند. لذا سعی شده است که این مطالب به طور مشروح‌تر و با ابهام کمتر و به طور خودآموز که مناسب دانشجویان دانشگاه پیام نور باشد، بیان شود.

با توجه به این که دانشجویان هنوز فیزیک کوانتومی و نسبیت را نیاموخته‌اند کتاب را با مروری بر فیزیک کلاسیک آغاز کرده و سپس با مثال‌های متعدد به مرور نظریه نسبیت خاص می‌پردازیم. سپس خواص ذره‌ای امواج، خواص موج‌گونه ذرات،

مکانیک کوانتوم و معادله شرودینگر و ساختمان اتم پرداخته و این قسمت از فیزیک جدید ۱ را با نظریه کوانتومی اتم هیدروژن به پایان می‌بریم.

در این راه سعی شده است که نحوه بیان مطالب روشن و کم‌ابهام باشد و شکی وجود ندارد که کتاب بدون نقص هم نیست. امید است که همکاران محترم و دانشجویان عزیز ما را از نظرات انتقادی و راهنمایی برای چاپ‌های احتمالی بعدی بی‌بهره نسازند.

در پایان از آقای دکتر علیرضا رازقی‌زاده به خاطر ویرایش کتاب نهایت تشکر را دارم و از سرکار خانم پروا مرادی‌صالح همکار ارجمند در گروه فیزیک که با دقت وافر کتاب را مطالعه و صفحه‌آرایی نموده‌اند تشکر می‌کنم. تلاش‌های فراوان و خستگی‌ناپذیر مدیریت محترم گروه فیزیک و همکاران محترم گروه تدوین و انتشارات دانشگاه پیام‌نور در امر تهیه کتاب‌های خودآموز موجب امتنان و قدردانی است. در نهایت این کتاب را تقدیم می‌کنم به پدرم که اندیشه و رفتار نیک را از او آموختم.

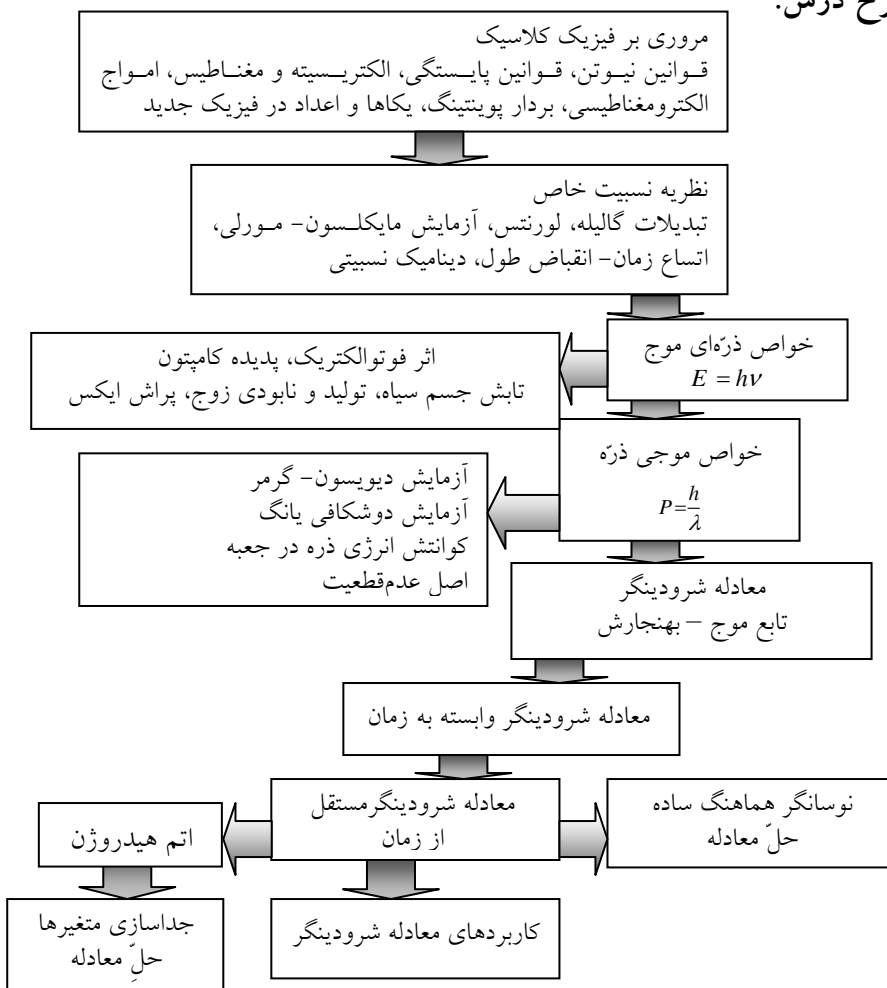
محمود جنوبی، دکتر مهدی سودمند

خرداد ماه ۱۳۸۹

فصل اول

مروری بر فیزیک کلاسیک

طرح درس:



پیشگفتار

فیزیک یک علم بنیادی است که فهم پدیده‌هایی که در جهان روی می‌دهد را تسهیل می‌کند و شالوده آن مشاهدات و اندازه‌گیری‌های چندی است. هدف اصلی روش علمی، توسعه نظریه‌های علمی بر پایه قوانین بنیادی که نتایج آزمایشات را پیشگویی کنند، است. خوشبختانه رفتار بسیاری از دستگاه‌های فیزیکی بر پایه تعداد محدودی از قوانین بنیادی قابل توضیح است. این قوانین به زبان ریاضی، که پلی بین نظریه و آزمایش هستند، بیان می‌شوند.

فیزیک کلاسیک قبل از سال ۱۹۰۰ توسعه یافت و شامل نظریه‌ها، اصول، قوانین و آزمایش‌هایی در سه شاخه مکانیک کلاسیک، ترمودینامیک و الکترومغناطیس بود. فیزیک کلاسیک نیوتنی بیش از دویست سال بدون منازع بود و موفقیت‌های جالب و فراوانی، به‌ویژه در مکانیک آسمانی، کسب کرد که اعتقاد قاطع فیزیکدانان را جزم‌تر کرد. اما با کشف دو نظریه انقلابی در سال‌های اول قرن بیستم، یعنی نظریه کوانتومی و نظریه نسبیت شالوده‌های این جزم‌اندیشی فرو ریخت. این نظریه‌های جدید مفهوم ذره و مفاهیم فضا و زمان از نظر نیوتن را کنار گذاشتند. کشف کوانتش و نسبیت آغاز فیزیک نوین را بشارت داد.

توسعه هر شاخه از فیزیک بر پایه قوانین معینی صورت می‌گیرد. فیزیک کلاسیک بر پایه قوانین نیوتن، که شامل جرم، فضا و زمان مطلق بود توسعه یافت. قوانین نیوتن هر چند که تقریبی‌اند اما تقریب‌های بسیار مفیدی هستند. این قوانین برای بیان حرکت تمام اجسام بزرگ مقیاس (ماکروسکوپی) که در زندگی روزمره با آنها مواجه‌ایم مناسبند. حتی، اگر مدار حرکت الکترون‌ها و سایر ذرات زیر اتمی بزرگ، و سرعت آنها نه خیلی کم و نه خیلی زیاد باشند این قوانین برای توصیف آنها مناسبند. به‌علاوه مفاهیم فیزیک کوانتومی و فیزیک نسبیتی از فیزیک نیوتنی به وام گرفته شده‌اند. از این رو در این فصل مفاهیم بنیادی فیزیک کلاسیک که زمینه‌ای برای توسعه فصل‌های بعدی است را به‌طور اجمالی بررسی می‌کنیم.

هدف‌ها

پس از مطالعه و فراگیری این فصل باید بتوانید:

- به طور اجمالی فلسفه اصلی فیزیک کلاسیک را بیان کنید.
- انرژی جنبشی و قضیه کار و انرژی جنبشی را بیان کنید.
- قوانین پایستگی انرژی و تکانه خطی را بیان کنید.
- برخورد را تعریف کرده و انواع برخورد و تفاوت آن‌ها را بیان کنید.
- انرژی پتانسیل گرانشی و قانون پایستاری انرژی مکانیکی را توضیح دهید.
- قانون کولن و انرژی پتانسیل الکتریکی را بیان کنید.
- نیروی وارد بر سیم حامل جریان و گشتاور مغناطیسی یک حلقه حامل جریان را بیان کنید.
- میدان مغناطیسی یک حلقه جریان و جهت میدان ناشی از آن را بیان کنید.
- امواج الکترومغناطیسی و مؤلفه‌های آن را توضیح دهید.
- بردار پویتینگ را بیان کنید.
- یکاها و ابعاد کمیت‌های فیزیک در فیزیک جدید را بیان کنید.
- برخی تبدیل‌های مفید از جمله ثابت ساختار ریز و مگنتون بور را بیان کنید.

۱-۱ مقدمه

فلسفه اصلی فیزیک مشاهده پدیده‌های فیزیکی، انجام آزمایشات دقیق و تحلیل موشکافانه نتایج و تدوین قوانینی است که به وسیله آن‌ها بتوان به طور کمی نتایج به دست آمده را درک کرد. هدف عینی این تلاش‌ها در ابداع مفاهیم و اصول جدید، کمک به فهم پدیده‌های طبیعی است. این قوانین روابط معینی بین کمیت‌های مختلف مورد مشاهده برقرار می‌سازند هر چه قانون بنیادی‌تر باشد کاربرد آن عمومی‌تر خواهد بود. صحت این قوانین فیزیکی در پیش‌بینی دقیق نتایج مشاهدات مختلف نهفته است.

در اواخر قرن نوزدهم به نظر می‌رسید که بنای سازه اساسی فیزیک کم و بیش کامل شده است. به عنوان مثال قوانین مکانیک کلاسیک و گرانش که به وسیله اسحاق نیوتن و گالیله بنیان نهاده شده بود پایه محکمی برای دینامیک بود و حرکت‌های پیچیده منظومه خورشیدی با استفاده از قوانین نیوتن در مورد حرکت و با دقت قابل توجهی برحسب جاذبه گرانشی بین خورشید و سیاره‌ها قابل پیش‌بینی بود. این قوانین بعداً به

دانشمندان کمک کردند که سیاره‌های جدید را کشف کرده و سازوکار فیزیکی برای مطالعه منشأ ستارگان و کهکشان‌ها پایه‌ریزی کنند گذشته از این مکانیک کلاسیک در کاربردهای نجومی و توصیف حرکت اجسام نقش مهمی ایفا کرد. مثلاً کلیه ماشین‌های مکانیکی براساس مکانیک کلاسیک استوارند کارهای کولن، آمپر و فاراده به قوانین مربوط به پدیده‌های الکتریسته و مغناطیس انجامید این قوانین با هم به شکل نظریه الکترومغناطیس توسط ماکسول ارائه گردید. این نظریه کلیه پدیده‌های نوری که از وصف نور به شکل موج الکترومغناطیسی حاصل می‌شود را بیان می‌کند.

قوانین ترمودینامیک که به‌وسیله کلاسیوس و کلونین پایه‌ریزی شد انتقال حرارت بین دو جسم را به شکل رضایت بخشی تبیین می‌کرد فهم عمیق‌تر مفاهیم حرارت و دما فقط بعد از بیان مفاهیم اتم‌ها و ملکول‌ها امکان پذیر شد. نظریه انرژی جنبشی گازها و موفقیت‌های آن، فرضیه اتمی را تأیید می‌کرد. پیشرفت‌های بعدی در این زمینه مدیون بولتزمن و گیس است. این حوزه از فیزیک امروز پایه فهم بیشتر دستگاه‌های چند ذره‌ای را تشکیل می‌دهد.

در بین سال‌های ۱۸۹۵ تا ۱۹۰۵ کشفیات جدیدی که بیشتر آن‌ها مربوط به فیزیک ذرات اتمی بود انجام شد، ابعاد اتم ($10^{-10}m$) حتی با به‌کارگیری قوی‌ترین میکروسکوپ‌ها در مشاهدات مستقیم بسیار ضعیف‌اند ولی با انجام آزمایشات دقیق می‌توان ذرات اتمی را مطالعه و مورد تحلیل دقیق قرار داد. معلوم شد که قوانین فیزیک نیوتنی برای فهم نتایج این آزمایشات کافی نیست. کوشش برای تبیین این نتایج به بنیان قوانین فیزیک جدید و مکانیک کوانتوم انجامید.

پیش‌بینی این قوانین با نتایج حاصل از آزمایشات مطابقت داشت و در مورد اجسام ماکروسکوپی، اعمال این قوانین به‌همان نتایج فیزیک کلاسیک می‌انجامد. بنابراین قوانین فیزیک جدید تصویر درستی از پدیده‌های مربوط به اجسام بزرگ (ماکروسکوپی) و کوچک (میکروسکوپی) به‌دست می‌داد و قوانین فیزیک کلاسیک فقط در حد ماکروسکوپی صادق بودند.

هم‌چنین مشخص شد که قوانین نیوتن برای مطالعه ذراتی که با سرعت قابل مقایسه با سرعت نور حرکت می‌کنند درست نیست و به‌جای آن قوانین نسبیت که به‌وسیله آلبرت انیشتین پایه‌ریزی شد به‌درستی ذراتی را که با هر نوع سرعتی حرکت

می‌کنند تبیین می‌کنند و در مورد ذراتی که با سرعت کم حرکت می‌کنند به همان نتایج و قوانین نیوتن می‌انجامد. قوانین فیزیک و نسبیت در این قرن ابداع شد و حوزه مطالعه آن شامل اتم‌ها، مولکول‌ها و کلیه شکل‌های ماده، هسته و ذرات زیر اتمی می‌باشد. به‌طور هم‌زمان قوانین مکانیک کوانتوم آماری که روشی برای فهم دستگاه‌های چند ذره‌ای است پایه‌ریزی شد.

بنابراین در پایان قرن نوزدهم به‌نظر می‌رسید که درک عمیق و منسجمی از طبیعت به‌دست آمده است دینامیک نیوتنی در حوزه خود موفق بود. الکتریسته و مغناطیس بر اثر کارهای ماکسول وحدتی پیدا کرده بود. امواج الکترومغناطیسی که به‌وسیله معادله‌های ماکسول پیش‌بینی شده بود به‌وسیله هرتز کشف و قانون‌های ترمودینامیک و نظریه جنبشی گازها در تشریح گستره وسیعی از پدیده‌ها موفق بود. در دهه‌های بعد قوانین جدید در زمینه نسبیت و نظریه کوانتومی نگرش ما را نسبت به جهان فیزیک تغییر داد که کاربردهای پژوهشی آن‌ها تأثیر عظیمی در زندگی روزمره ما داشته است و سبب رشد فیزیک اتمی، هسته‌ای و حالت جامد شده است.

عنوان فیزیک جدید معمولاً به تحولاتی گفته می‌شود که با نظریه‌های نسبیت، کوانتومی و کاربرد آن‌ها در درک اتم، هسته اتم و ذرات تشکیل دهنده آن، آرایش اتم‌ها در مولکول‌ها و جامدات و در مقیاس کیهانی، منشأ و تحول عالم شروع شد. در این کتاب این موضوعات مورد بررسی قرار می‌گیرد. بعد از مروری کوتاه بر فیزیک کلاسیک با بررسی نظریه نسبیت خاص شروع می‌کنیم. به این علت که کلیه قوانین فیزیک به اندازه‌گیری کمیت‌ها مربوط می‌شود و در نسبیت تشریح می‌شود که چگونه این اندازه‌گیری به ناظر و هم‌چنین حرکت خود شیء بستگی دارد و از نسبیت، مکانیک جدیدی ظاهر می‌شود که نشان‌دهنده روابط نزدیک بین فضا و زمان، جرم و انرژی است. بررسی و درک دنیای میکروسکوپی در داخل اتم مهم‌ترین موضوع مورد مطالعه فیزیک است که بدون آن امکان‌پذیر نیست.

سپس به مرور آزمایش‌هایی که نارسایی مفاهیم کلاسیک ذرات و امواج را نمایان می‌سازد، می‌پردازیم و موفقیت نظریه مکانیک موجی یا کوانتومی را در حل این نارسایی‌ها بیان می‌کنیم و در بقیه کتاب به کاربرد این اصول می‌پردازیم.

۱-۲-۱ مروری بر فیزیک کلاسیک

بیشتر تجارب روزانه با اشیایی که با سرعت خیلی کمتر از سرعت نور حرکت می‌کنند سروکار دارد. مکانیک نیوتنی و نظریه‌هایی ابتدایی درباره فضا و زمان، حرکت این اجسام را به خوبی بیان می‌کنند و این نوع مکانیک به خوبی بسیاری از پدیده‌ها را توضیح می‌دهد و اگر چه مکانیک نیوتنی از عهده توضیح رفتار و دینامیک ذرات در سرعت‌های کم بر می‌آید ولی وقتی که سرعت ذره به سرعت نور نزدیک می‌شود ناتوان است. مکانیک نیوتنی غلط نیست بلکه ناقص است و حالت حدی‌ای از مکانیک نسبیتی که در فصل آینده به آن می‌پردازیم است.

این مکانیک با مکانیک نیوتنی تفاوتی بارز دارد ولی با وجود این هنوز هم به مکانیک نیوتنی نیازمندیم در این جا مفاهیمی از مکانیک نیوتنی را که ممکن است به آن‌ها نیاز داشته باشیم بررسی می‌کنیم.

۱-۲-۱ انرژی جنبشی

انرژی جنبشی، K ، ذره‌ای به جرم m که با سرعت V حرکت می‌کند برابر است با:

$$K = \frac{1}{2} m V^2 \quad (1-1)$$

انرژی جنبشی یک کمیت نرده‌ای است و کار انجام شده به وسیله نیروی ثابت F برای جابه‌جا کردن ذره برابر با تغییر انرژی جنبشی ذره است (قضیه کار و انرژی جنبشی):
 «کار برآیند نیروهای وارد بر یک جسم برابر است با تغییرات انرژی جنبشی جسم است»

$$W = \Delta K = K_f - K_i = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 \quad (2-1)$$

۱-۲-۲ تکانه خطی

تکانه خطی این ذره، P ، برابر است با:

$$P = mV \quad , \quad K = \frac{P^2}{2m} \quad (3-1)$$

۱-۲-۳ کار

کاری که به وسیله نیروی متغیر F برای جابه‌جا کردن ذره از موقعیت r_1 به موقعیت r_2 صرف می‌شود از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} \quad (۱-۴)$$

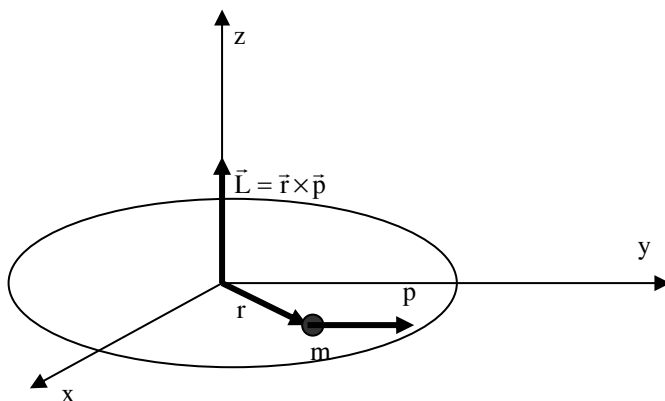
۱-۲-۴ قوانین پایستگی

الف) پایستگی انرژی - انرژی یک دستگاه منزوی (که به آن نیروی خارجی خالصی وارد نمی‌شود) ثابت می‌ماند.

ب) پایستگی تکانه خطی - تکانه خطی یک دستگاه منزوی ثابت می‌ماند.

ج) تکانه زاویه‌ای - تکانه زاویه‌ای L ذره نسبت به مبدأ O برابر با حاصل ضرب برداری بردار موقعیت ذره در تکانه خطی ذره شکل (۱-۱).

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (۱-۵)$$



شکل ۱-۱. قوانین پایستگی

و گشتاور وارد بر یک ذره برابر با آهنگ زمانی تکانه زاویه‌ای است.

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (۱-۶)$$

اگر گشتاور خارجی بر سیستم وارد نشود تکانه زاویه‌ای کل یک سیستم ثابت می‌ماند.

۱-۲-۵ برخورد

هنگام برخورد دو ذره، نیروی ضربه خیلی بزرگتر از هر نیروی خارجی وارد بر آنها می‌باشد.

۱- برخورد ناکشسان است در صورتی که تکانه پایستار ولی انرژی جنبشی ناپایستار بماند.

۲- برخورد کاملاً ناکشسان است اگر دو جسم بعد از برخورد به هم بچسبند و سرعت یکسان پیدا کنند.

۳- برخورد کشسان است اگر تکانه و انرژی جنبشی سیستم پایستار بماند.

۱-۲-۶ انرژی پتانسیل

۱- اگر کار انجام شده بر ذره برای جابه‌جا کردن آن بین دو نقطه مستقل از مسیر ذره باشد نیرو پایستار است و کار این نیرو در مسیر بسته صفر است.

۲- نیروی ناپایستار: به‌طور عمومی اگر کار نیروی وارد بر ذره بین دو نقطه، بستگی به مسیر طی شده داشته باشد نیروی ناپایستار است.

کار انجام شده به‌وسیله نیروی پایستار برابر با منهای تغییر انرژی پتانسیل وابسته به این نیرو است:

$$\Delta u = u_f - u_i = - \int_{S_i}^{S_f} F_S ds \quad (7-1)$$

قانون پایستگی انرژی مکانیکی بیان می‌کند که انرژی مکانیکی کل یک سیستم ثابت می‌ماند اگر فقط نیرویی که کار انجام می‌دهد نیروی پایستار باشد.

$$E = K + U \quad (8-1)$$

$$E_f = E_i \Rightarrow \frac{1}{2}mv_f^2 + u_f = \frac{1}{2}mv_i^2 + u_i = \text{const}$$

انرژی ذخیره شده در یک فنر:

$$U = \frac{1}{2} kx^2$$

انرژی پتانسیل گرانشی:

$$U = mgh$$

۷-۲-۱ الکتریسته و مغناطیس: قانون کولن

۱- دو نوع بار الکتریکی در طبیعت وجود دارد. بارهای هم‌نام همدیگر را دفع و بارهای غیرهم‌نام همدیگر را جذب می‌کنند.

۲- بار الکتریکی کوانتیده است.

۳- بار الکتریکی پایسته است.

نیروی بین دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که به فاصله r از هم قرار دارند برابر است با:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (9-1)$$

که K ثابت کولن است و در دستگاه SI برابر است با:

$$K = 8.9875 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$

$$\approx 9.0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$

این ثابت را می‌توان به صورت $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ نیز نوشت که ϵ_0 ضریب گذردهی

فضای آزاد نامیده می‌شود:

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$$

جهت نیروی F در راستای خطی است که دو ذره را به هم وصل می‌کند.

اختلاف پتانسیل الکتریکی $V_B - V_A$ بین دو نقطه برابر با کاری است که باید انجام دهیم تا واحد بار الکتریکی را بدون تغییر انرژی جنبشی از نقطه A به نقطه B انتقال دهیم.

$$dW = F dr = qE dr$$

$$dU = -q \cdot E dr$$

$$\Delta U = U_B - U_A = -q \int_A^B E \cdot dr$$

$$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q} = - \int_A^B E \cdot dr$$

در دستگاه SI واحد پتانسیل ژول بر کولن است:

$$1V = 1 \frac{J}{C}$$

انرژی پتانسیل دو ذره متناظر است با:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} \quad (10-1)$$

انرژی پتانسیل را با اختلاف پتانسیل اشتباه نکنید. عموماً در فیزیک اتمی و هسته‌ای به جای ژول (J) به عنوان یکای انرژی پتانسیل الکتریکی یا کار نیروی الکتریکی، از یکای الکترون ولت (eV) استفاده می‌شود. یک الکترون ولت کاری است که در میدان الکتریکی برای انتقال یک الکترون در اختلاف پتانسیل یک ولت انجام می‌شود.

$$\Delta U = q \times \Delta V = (1.6 \times 10^{-19} C)(V) = 1.6 \times 10^{-19} J$$

۸-۲-۱ مغناطیس

نیروی مغناطیسی که بر بار q که با سرعت v در میدان مغناطیسی خارجی B حرکت می‌کند وارد می‌شود برابر است با:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (11-1)$$

این نیرو در جهت عمود بر بردار سرعت ذره و میدان خارجی مغناطیسی است. در دستگاه SI واحد میدان مغناطیسی B وبر بر مترمربع $\left(\frac{Wb}{m^2}\right)$ است که تسلا (T) نامیده می‌شود. نیروی وارد بر سیمی به طول L که حامل جریان I است اگر در میدان خارجی B قرار داده شود برابر است با:

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B} \quad (12-1)$$

گشتاور مغناطیسی یک حلقه حامل جریان i برابر است با:

$$\mu = i A \quad (13-1)$$

یکای μ ، $(A.m^2)$ است. در رابطه (13-1) مساحت حلقه است. وقتی این حلقه جریان در میدان مغناطیسی خارجی B قرار داده شود گشتاور τ بر آن وارد می‌شود:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (14-1)$$

میدان مغناطیسی در مرکز یک حلقه با جریان الکتریکی i و شعاع r برابر است با:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2r} \quad (15-1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N.s^2}{c^2}$$

جهت میدان از قاعده دست راست به دست می‌آید اگر انگشتان خمیده دست در جهت جریان باشد انگشت شست در جهت میدان خواهد بود. میدان مغناطیسی یک سیم مستقیم حامل جریان در فاصله a از سیم برابر است با:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} \quad (16-1)$$