قلمرو علم

درک کیهان

درک کیهان

فیزیک کیهان از
کوازارها تا کوارک‌ها

اندرو نورتون

ترجمه‌ی **محمدجواد کلائی**
(عضو هیات علمی دانشگاه تهران)

انتشارات مازیار

سرشناسه : نورتون، اندرو ج.
Norton, Andrew J.
عنوان و نام پدیدآور : درک کیهان : فیزیک کیهان از کوازارها تا کوارک‌ها/اندرو نورتون؛ ترجمه‌ی محمدجواد کلایی.
مشخصات نشر : تهران: مازیار ، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری : ۳۳۶ ص.: مصور (رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).
فروست : قلمروعلم
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۳۱-۴
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: Understanding the universe : the physics of the cosmos from quasars to quarks, 2021
یادداشت : نمایه.
عنوان دیگر : فیزیک کیهان از کوازارها تا کوارک‌ها.
موضوع : Cosmology
موضوع : کیهان‌شناسی
موضوع : ذره‌های بنیادی
موضوع : Particles (Nuclear physics)
شناسه افزوده : کلائی، محمدجواد، ۱۳۴۶–، مترجم
رده‌بندی کنگره : QB۹۸۱
رده‌بندی دیویی : ۵۲۳/۱
شماره کتابشناسی ملی : ۸۹۵۷۱۴۶

www.mazyarpub.ir
mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱
ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴

درک کیهان

فیزیک کیهان از کوازارها تا کوارک‌ها

اندرو نورتون
ترجمه‌ی دکتر محمدجواد کلائی
(عضو هیات علمی دانشگاه تهران)
ویراستار م. ک
صفحه‌آرایی مروا ک.
چاپ اول ۱۴۰۲
شمارگان ۱۲۰۰
چاپ و صحافی طیف‌نگار
شابک ۴–۳۱–۷۰۶۱–۶۲۲–۹۷۸

مواد اولیه این کتاب به صورت آزاد تهیه شده است.

فهرست مطالب

۱. از کوازارها تا کوارک‌ها **۱۱**

۱.۱ کیهانشناسی و فیزیک ذرات ۱۴

۱.۲ درک اینکه کیهان چگونه کار می‌کند ۱۵

۲. جهان فیزیکی **۱۹**

۲.۱ دنیای اتم‌ها ۱۹

۲.۱.۱ اجزای اتمی ۱۹

۲.۱.۲ مولکول‌ها و حالت‌های ماده ۲۲

۲.۲ جهان در حرکت ۲۳

۲.۲.۱ توصیف حرکت ۲۴

۲.۲.۲ حرکت دایروی ۲۶

۲.۲.۳ قوانین حرکت نیوتون ۲۷

۲.۲.۴ حرکت نسبیتی ۲۹

۲.۳ جهان انرژی ۳۳

۴.۲ جهان نور ۳۶

بخش اول: جهان ریز مقیاس **۴۳**

۳. انرژی کوانتیده **۴۵**

۳.۱ جهان کوانتومی ۴۵

۳.۲ اثرانگشت طیفی هیدروژن ۴۷

۳.۳ انرژی یک اتم ۴۸

۳.۴ سطوح انرژی و انتقال ۵۰

۳.۵ سطوح انرژی اتم هیدروژن ۵۱

۳.۶ حالت‌های کوانتومی و اعداد کوانتومی ۵۵
۳.۷ سطوح انرژی به‌طور عمومی ۵۹
۴. عدم قطعیت کوانتومی **۶۱**
۴.۱ عدم قطعیت واحتمال ۶۲
۴.۲ مدل‌سازی اتم‌ها ۶۴
۴.۳ اصل عدم قطعیت ۶۷
۴.۴ فناوری کوانتومی ۶۹
۵. اتم‌ها **۷۱**
۵.۱ اتم‌ها و یون‌ها با یک الکترون ۷۱
۵.۲ اتم‌ها و یون‌ها با دو الکترون ۷۳
۵.۳ اتم با سه الکترون یا بیشتر ۷۵
۵.۴ جدول تناوبی عناصر ۷۷
۶. هسته **۸۱**
۶.۱ جرم و انرژی ۸۲
۶.۲ واپاشی آلفا ۸۵
۶.۳ واپاشی بتا ۸۶
۶.۴ واپاشی گاما ۸۸
۶.۵ نیمه عمر ۸۹
۶.۶ شکافت هسته‌ای ۹۰
۶.۷ همجوشی هسته‌ای ۹۱
۷. ذرات **۹۵**
۷.۱ لپتون‌ها ۹۵
۷.۲ کوارک‌ها ۹۷
۷.۳ واکنش‌ها با انرژی بالا ۱۰۰
۷.۴ خلاصه‌ای از جهان ریز مقیاس ۱۰۲

بخش دوم: جهان بزرگ مقیاس ۱۰۵

۸. رصد کیهان ۱۰۷

۸.۱ تلسکوپ‌ها ۱۰۷

۸.۱.۱ تلسکوپ‌های شکستی ۱۰۸

۸.۱.۲ تلسکوپ‌های بازتابی ۱۱۰

۸.۱.۳ ویژگی‌های تلسکوپ‌های نجومی ۱۱۲

۸.۲ آشکارسازهای نجومی ۱۱۳

۸.۲.۱ نورسنجی ۱۱۴

۸.۲.۲ طیف سنجی ۱۱۵

۸.۳ فراتر از نورمرئی ۱۱۹

۸.۳.۱ نجوم رادیویی ۱۱۹

۸.۳.۲ رادیو تلسکوپ‌ها ۱۲۲

۸.۳.۳ تداخل‌سنجی رادیویی ۱۲۳

۸.۴ نجوم در انرژی‌های بالا ۱۲۶

۸.۴.۱ نجوم پرتو ایکس و گاما ۱۲۷

۸.۴.۲ تلسکوپ‌های پرتو ایکس و گاما ۱۲۸

۸.۴.۳ آشکارسازهای فوتون با انرژی بالا ۱۳۰

۸.۵ اخترفیزیک چند رسانه‌ای ۱۳۲

۹. انبساط کیهان ۱۳۳

۹.۱ فاصله تا کهکشان‌ها ۱۳۴

۹.۱.۱ روش‌های هندسی ۱۳۴

۹.۱.۲ شار و درخشندگی ۱۳۶

۹.۱.۳ شمع‌های استاندارد ۱۳۸

۹.۲ سرعت ظاهری کهکشان‌ها ۱۴۱

۹.۳ رابطه هابل ۱۴۴

۹.۴ انبساط فضا ۱۴۶
۹.۵ ایده‌های عجیب و غریب ۱۴۹
۹.۶ سن کیهان ۱۵۳
۱۰. سرد شدن کیهان **۱۵۵**
۱۰.۱ تابش جسم سیاه ۱۵۵
۱۰.۲ زمینه ریزموج کیهانی ۱۵۸
۱۰.۳ انفجار بزرگ ۱۶۱

بخش سوم: فرآیندهای کیهانی **۱۶۳**

۱۱. برهمکنش‌های الکترومغناطیسی **۱۶۷**
۱۱.۱ نیروهای الکتریکی و مغناطیسی ۱۶۷
۱۱.۲ میدان‌های الکترومغناطیسی و تابش ۱۶۹
۱۱.۳ الکترودینامیک کوانتومی ۱۷۲
۱۲. برهمکنش‌های قوی **۱۷۷**
۱۲.۱ کوارک‌ها و گلوئون‌ها ۱۷۷
۱۲.۲ کرومودینامیک کوانتومی ۱۸۱
۱۳. برهمکنش‌های ضعیف **۱۸۵**
۱۳.۱ مقایسه بین برهمکنش‌های بنیادی ۱۸۵
۱۳.۲ بوزون W و Z ۱۸۷
۱۳.۳ بقای نوترون ۱۹۰
۱۴. برهمکنش‌های گرانشی **۱۹۳**
۱۴.۱ مدارها و قوانین کپلر ۱۹۳
۱۴.۲ گرانش نیوتونی ۱۹۵
۱۴.۳ گرانش اینشتینی ۱۹۷
۱۴.۴ آزمون‌های فضا زمان خمیده ۱۹۹
۱۴.۵ تابش گرانشی ۲۰۴

۱۴.۶ گرانش کوانتومی ۲۰۷

۱۵. نظریه وحدت‌یافته **۲۰۹**

۱۵.۱ وحدت الکتروضعیف ۲۱۲

۱۵.۲ وحدت بزرگ ۲۱۴

۱۵.۳ ابروحدت: ریسمان‌ها و برین‌ها ۲۱۶

بخش چهارم: کیهان در طول زمان **۲۱۹**

۱۶. تاریخ کیهان **۲۲۱**

۱۶.۱ زمان، فضا، دما و انرژی ۲۲۱

۱۶.۲ کیهان بسیار اولیه ۲۲۳

۱۶.۳ تورم ۲۲۵

۱۶.۴ عصر کوارک_لپتون ۲۲۸

۱۶.۵ عصر هادرون ۲۳۱

۱۶.۶ نوکلئوسنتز اولیه ۲۳۳

۱۶.۷ ساختار در کیهان ۲۳۶

۱۷. کیهان امروز **۲۳۹**

۱۷.۱ ساختار بزرگ مقیاس ۲۳۹

۱۷.۲ کهکشان‌های فعال ۲۴۲

۱۷.۳ راه شیری و کهکشان‌های دیگر ۲۴۷

۱۷.۴ شکل‌گیری ستارگان و سیارات ۲۵۱

۱۷.۵ تحول ستارگان ۲۵۴

۱۷.۵.۱ زندگی در رشته اصلی ۲۵۴

۱۷.۵.۲ تکامل دنباله اصلی ۲۵۸

۱۷.۵.۳ مرگ ستارگان ۲۶۱

۱۷.۵.۴ ستاره‌های دوتایی فشرده برافزایشی ۲۶۶

۱۷.۶ سامانه خورشیدی ۲۶۸

۱۷.۶.۱ خورشید ۲۶۹
۱۷.۶.۲ سیارات زمین‌گون و سیارک‌ها ۲۷۰
۱۷.۶.۳ سیارات غول‌پیکر و قمرهای آن‌ها ۲۷۳
۱۷.۶.۴ حدود بیرونی ۲۷۴
۱۷.۷ سیارات فراخورشیدی و چگونگی پیدا کردن آن‌ها ۲۷۵
۱۷.۷.۱ روش سرعت شعاعی ۲۷۷
۱۷.۷.۲ روش گذر ۲۷۹
۱۷.۷.۳ سیستم‌های فراخورشیدی ۲۸۱
۱۷.۸ حیات در کیهان ۲۸۵
۱۷.۸.۱ معادله دریک ۲۸۵
۱۷.۸.۲ پارادوکس فرمی ۲۸۶
۱۷.۸.۳ اصل آنتروپیک ۲۹۰
۱۸. آینده کیهان **۲۹۳**
۱۸.۱ هندسه فضا ۲۹۳
۱۸.۲ جهان‌های باز و بسته ۲۹۵
۱۸.۳ سرنخی از ابرنواختر ۲۹۸
۱۸.۴ شتاب افزاینده و کاهنده ۳۰۳
۱۸.۵ ماده و انرژی در کیهان ۳۰۴
۱۸.۶ سرنوشت کیهان ۳۰۷
۱۸.۷ زاده شده از آتش: جایگزینی برای انفجار بزرگ ۳۰۹
خلاصه کتاب **۳۱۳**
سپاسگزاری **۳۱۷**
ضمیمه: جدول زمانی برای درک کیهان **۳۱۹**
نمایه **۳۲۷**

۱

از کوازارها تا کوارک‌ها

عنوان این کتاب بسیار بلندپروازانه است، اما قصد ما این است که نشان دهیم چگونه فیزیک به ما اجازه می‌دهد تا نحوه عملکرد کیهان را درک کنیم، از مقیاس بسیار بزرگ کوازارها تا مقیاس بسیارکوچک کوارک‌ها و تمام چیزهای بین آن‌ها. تقریباً طبق تعریف، قوانین فیزیک که در ۴۰۰ سال گذشته کشف شده‌اند به ما اجازه می‌دهد که کیهان را بشناسیم و نحوه عملکرد آن را در همه مقیاس‌ها توضیح دهیم. بنابراین، برای کشف کیهان، داستان کل تاریخ آن را، از پیدایش ۱۴ میلیارد سال پیش تا به امروز را، بیان می‌کنم و کوچک‌ترین اجسام و دورترین ساختارهای تشکیل‌دهنده آن را مورد بررسی قرار می‌دهم. در این راه، با بسیاری از اصول بنیادی فیزیک روبرو می‌شوید و در پایان کتاب با ایده‌های کلیدی دو حوزه خاص از علم، یعنی کیهان‌شناسی و فیزیک ذرات آشنا خواهید شد.

برای تنظیم صحنه و نشان دادن چشم‌انداز برای این سفر باورنکردنی، بهتراست که با نگاه کردن به اندازه‌های مختلف اشیاء و فواصل مختلف از اجسام که کیهان را تشکیل می‌دهند، شروع کنیم. در اصطلاح علمی، این اندازه‌ها و فواصل به‌طور معمول به عنوان مقیاس طول شناخته می‌شوند (شکل ۱.۱). سفر از یک مقیاس طولی بسیار بزرگ به دیگری ممکن است با عبارت «کوازار تا کوارک» خلاصه شود. اگرچه کلمات «کوازار» و «کوارک» در فهرست این کتاب در مجاورت یکدیگر قرار دارند، اما اجرامی که به آن‌ها اشاره می‌کنند تا آنجا که ممکن است از نظر مقیاس‌های طولی کیهانی از هم دور هستند. کوازارها دورترین اجرام نجومی قابل رصد را نشان می‌دهند و تا صد میلیون میلیارد میلیارد متر از ما فاصله دارند. این فاصله ممکن است به صورت ۱۰۰,۰۰۰ ۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ متر نوشته شود یا به‌طور فشرده به عنوان $۱۰^{۲۶}$ متر، که در آن مقدار بالانویس مثبت «۲۶» نشان‌دهنده «تعداد ده‌ها» است که برای به دست آوردن مقدار مشخص شده باید درهم ضرب شوند. در مقابل، کوارک‌ها اجزای اساسی ماده هستند و اندازه آن‌ها

کوچک‌تراز یک دهم میلیاردم میلیاردم متر است. این اندازه ممکن است به عنوان ۰/۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۱ متر یا به صورت فشرده به عنوان $۱۰^{-۱۹}$ متر نوشته شود، در صورتی که این بار مقدار بالانویس منفی «۱۹» نشان‌دهنده «تعداد ده‌ها» ضرب شده در یکدیگر است که باید برای به دست آوردن مقدار مشخص شده، به ۱ تقسیم شود. بنابراین فاصله تا یک اختروش یا کوازار به اندازه، ۴۵ عامل ۱۰ بزرگ‌تر از اندازه یک کوارک است. به عبارت دیگر ۴۵ مرتبه توانی بزرگ‌تراست. این دو مقیاس طولی ــ باعامل یک میلیارد، میلیارد، میلیارد، میلیارد، میلیارد ــ از یکدیگر جدا شده‌اند ــ که به‌طورمناسبی منتهای درک انسان از کیهان را نشان می‌دهند.

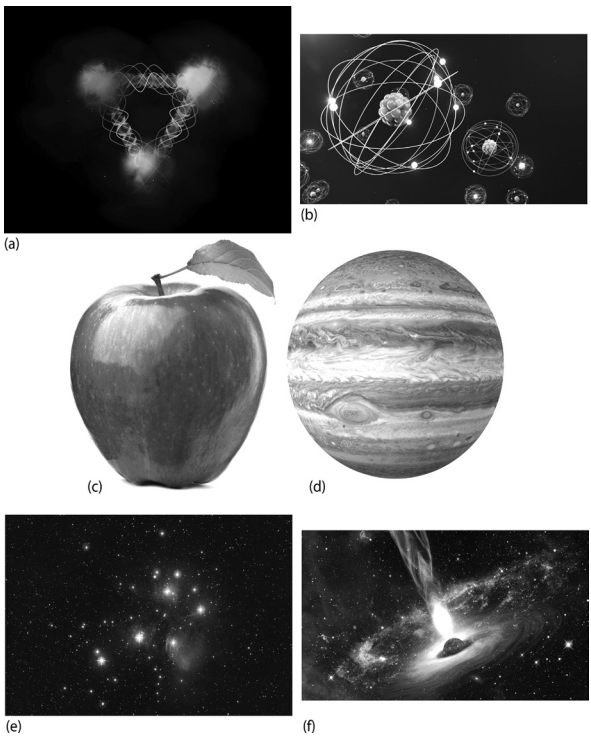
در علم، از پیشوندهایی برای نشان دادن مضرب‌های یک واحد، اغلب برای اجتناب از نوشتن چنین اعداد بزرگ یا کوچک استفاده می‌شود. مواردی که ممکن است قبلاً با آن‌ها آشنایی داشته باشید، عبارتند از: نانو- (n، $۱۰^{-۹}$)، میکرو- (μ، $۱۰^{-۶}$)، میلی- (m، $۱۰^{-۳}$)، کیلو- (k، $۱۰^{۳}$)، مگا- (M، $۱۰^{۶}$) و گیگا- (G، $۱۰^{۹}$). برای مثال ممکن است اینها را در واحدهایی مانند نانومتر (nm)، میکروثانیه (μs)، میلی‌لیتر (ml)، کیلوگرم (kg)، مگا سال (My) و گیگاژول (GJ) دیده باشید.

قبل از شروع کاوش در کیهان، ارزش آن را دارد که لحظه‌ای مکث کنیم و سعی کنیم محدوده وسیع مقیاس‌های طولی را که با عبارت ساده «کوازارها تا کوارک‌ها بیان می‌شود، را درک کنیم. ضریب یک میلیارد ($۱۰^{۹}$)، نه مرتبه توانی را دربر می‌گیرد. از نظراندازه‌هایی که ما می‌توانیم راحت‌تر درک کنیم، این معادل این است که مثلاً از اندازه سیاره زمین (نزدیک‌ترین مرتبه تقریبی آن ۱۰,۰۰۰ کیلومتر یا $۱۰^{۷}$ متر برای قطر است) به اندازه یک تیله (با قطری در حدود ۱۰ میلی‌متر یا $۱۰^{-۲}$ متر) برسیم. اما پنج مرحله از این دست، که هرکدام نیاز به کاهش یک میلیاردی دراندازه دارند، باید اعمال شود، تا از اندازه کوازارها به کوارک‌ها برسیم!

درک کیهان درسراسر این طیف از مقیاس‌های طولی، لزوماً گسترده‌ترین موضوعی است که علم می‌تواند به آن بپردازد. مسائل علمی دیگر، مانند تغییرات آب و هوا یا مهندسی ژنتیک، مطمئناً ارتباط فوری بیشتری با زندگی روزمره دارند، اما وقتی نوبت به سوآلات اساسی مانند سوآلات زیر می‌رسد:

- کیهان در مقیاس‌های کوچک و بزرگ چگونه رفتار می‌کند؟
- کیهان از چه قوانینی پیروی می‌کند؟
- کیهان با گذشت زمان چگونه تغییر می‌کند؟

هیچ کدام دارای دامنه بیشتری نیست. پاسخ به سوآلاتی از این قبیل، درزمینه‌های کیهان‌شناسی و فیزیک ذرات یافت می‌شود. دانشمندانی که در این دو حوزه علمی، ظاهراً نامرتبط با هم کار می‌کنند ــ یعنی یکی در مورد بی‌نهایت بزرگ و دیگری در زمینه‌های غیرقابل تصور کوچک ــ اکنون در تلاش برای توضیح فرآیندهای کیهانی که در طول زمان و فضا رخ می‌دهد با هم همکاری می‌کنند.



شکل ۱.۱ مقیاس‌های طولی در کیهان. کوارک‌ها ($۱۰^{-۱۹}$ متر) یک میلیارد بار کوچک‌تر از اتم‌هایی ($۱۰^{-۱۰}$ متر) است که خود، یک میلیارد بار کوچک‌تر از اندازه یک سیب ($۱۰^{-۱}$ متر) است؛ سیبی که خود یک میلیارد بار کوچک‌تر از سیاره مشتری ($۱۰^{۸}$ متر) است. فاصله تا نزدیکترین ستارگان ($۱۰^{۱۷}$ متر) یک میلیارد برابر بزرگ‌تر از اندازه مشتری است و اختروش‌ها یک میلیارد بار دورتر ($۱۰^{۲۶}$ متر) از ستارگان مجاور قرار دارند.

۱.۱ کیهان‌شناسی و فیزیک ذرات

در این کتاب، من فیزیک هر دو را، هم بزرگ و هم بسیار کوچک را بررسی می‌کنم تا شما را در سفری از کوازارها به کوارک‌ها راهنمایی کنم. در طول راه، با بسیاری از اجزای دیگر کیهان روبرو می‌شویم، و شما را با ایده‌های کلیدی فیزیک مدرن، که در قرن گذشته توسعه یافته‌اند، آشنا می‌کنم، که اکنون، پایه‌های اساسی برای درک کیهان را تشکیل می‌دهند.

کیهان‌شناسی شاخه‌ای از علم است که شامل مطالعه کیهان به عنوان یک کل است. ابزارهای تحقیقاتی کیهان‌شناسان، شامل تلسکوپ‌های قدرتمندی است که می‌تواند کهکشان‌ها را تا دورترین نقاط کیهان آشکار کند (شکل ۱.۲). ممکن است عجیب به نظر برسد افرادی که در این زمینه فعالیت دارند، باید کسانی را که روی فیزیک ذرات کار می‌کنند را در شمار نزدیک‌ترین متحدان خود قرار دهند. ابزارهای تحقیق فیزیکدانان ذرات، شامل شتاب‌دهنده‌های غول‌پیکر ذرات است که در آن پرتوهای پرانرژی ذرات زیراتمی به هم کوبیده می‌شوند و این امر امکان بررسی و درک جزئیات واکنش‌های عجیب و غریب را فراهم می‌آورد. اما این، کلید اتحاد این دو موضوع است؛ زیرا تنها درشتاب‌دهنده‌های ذرات است که دانشمندان می‌توانند شرایط پرانرژی را که زمانی در کیهان، دراولین لحظات خلقت وجود داشت، را بازسازی کنند. وقتی فیزیکدانان ذرات این واکنش‌ها را مطالعه می‌کنند، می‌توانند دریچه‌ای از کیهان را در اختیار کیهان‌شناسان قرار دهند، زمانی که کیهان تنها یک هزارم یک میلیاردم ثانیه سن داشته است.

(a) (b)

شکل ۱.۲ a) تلسکوپ‌ها در مایوناکی، هاوایی و (**b**) بخشی از شتاب‌دهنده ذرات در برخورددهنده بزرگ هادرون در سرن، در مرز سوئیس/ فرانسه.

نمونه‌ای از ارتباط متقابل بین این دو حوزه، مطالعه مربوط به ذرات بنیادی موسوم به نوترینوها است که بعداً در این کتاب، به آن‌ها اشاره خواهد شد. چند سال پیش، کیهان‌شناسان با مطالعه واکنش‌هایی که در کیهان اولیه رخ داده بود، اعلام کردند که بیش از سه نوع نوترینو وجود ندارد. اگر مثلاً چهارنوع نوترینو وجود داشته باشد، محاسبات آن‌ها نشان می‌داد که هلیم بیشتری در کیهان از آنچه که در حال حاضر مشاهده می‌شود، می‌بایستی وجود می‌داشت. فیزیکدانان ذرات، با مطالعه واپاشی و انحطاط ذرات عجیب و بیگانه در شتاب‌دهنده‌های پرانرژی، همچنین توانستند تعداد انواع نوترینوها در کیهان را محاسبه کنند. پاسخی که فیزیکدانان ذرات به آن رسیدند نیز سه بود ــ اگر تعداد نوترینوها بیشتر یا کمتر باشد، ذراتی که آن‌ها در حال مطالعه بودند با سرعت متفاوتی محو می‌شدند. بنابراین، بسیار محتمل است که واقعاً فقط سه نوع نوترینو در کیهان وجود داشته باشد ــ چه مسئله در مقیاس بزرگ باشد و چه در مقیاس کوچک.

۱.۲ درک اینکه کیهان چگونه کار می‌کند

سوآلات بزرگی که در ابتدای فصل ۱ ذکر شد اکنون به عنوان موضوعی برای موارد زیر استفاده می‌شود. برای شروع، در فصل ۲ برخی از ایده‌های کلیدی را که پایه‌های فیزیک را تشکیل می‌دهند، به‌طور خلاصه بیان می‌شود. این شامل اطلاعاتی در مورد اتم‌ها، حرکت، انرژی و نور است که برای درک جهان پیرامون ما مهم هستند. مطالب این فصل ابزار شما است برای درک آنچه در ادامه می‌آید، و اهمیت این ابزارها را برای درک کیهان برجسته می‌کند.

در بخش اول کتاب که شامل فصول ۳ تا ۷ است، مباحث ساختار کلی و ترکیب ماده در کوچک‌ترین مقیاس‌ها است. شاخه‌ای از علم که نحوه رفتار کوچک‌ترین ذرات ماده را توصیف می‌کند، فیزیک کوانتومی نامیده می‌شود. برای شروع، دو ویژگی کلیدی فیزیک کوانتومی، که رفتار ماده و انرژی را در یک سطح بنیادی کنترل می‌کنند ــ یعنی انرژی کوانتیده، وموقعیت‌ها وسرعت‌های نامعین ــ بررسی می‌شوند. با جدا کردن اجزای کیهان، ساختار اتم‌ها قبل از نحوه رفتار هسته‌های اتم بررسی می‌شود، و در نهایت به درون پروتون‌ها و نوترون‌ها نگاه می‌کنید تا کوارک‌ها که بلوک‌های ساختمانی اساسی کیهان هستند را کشف کنید. این کاملاً برنامه سفری برای شما به قلب ماده است. شما

در حوزه کوچک و زیراتمی کار خواهید کرد و با ایده‌هایی کنار می‌آیید که در زمینه دنیای روزمره تقریباً غیرقابل باور هستند. بسیاری از مردم با تماشای مناظری مانند مناظرکوهستانی در زمین، یا یک ستاره در حال انفجار در فضای بیرونی، شگفت‌زده می‌شوند. بنابراین خود را برای رویارویی با پدیده‌هایی آماده کنید که بسیار کوچک‌تراز آن هستند که دیده شوند، اما به همان اندازه سرشار از جذابیت و رمز و راز هستند.

بخش دوم کتاب که شامل فصول ۸ تا ۱۰ است به علم کیهان‌شناسی می‌پردازد و ویژگی‌های کلی کیهان را در بزرگ‌ترین مقیاس‌ها بررسی می‌کند. پس از بررسی چگونگی رصد اخترشناسان با استفاده از تلسکوپ‌هایی که در سراسر طیف الکترومغناطیسی کار می‌کنند، خواهید دید که مشاهدات اخترشناسی‌ها کلید درک کیهان دوردست را دراختیار دارند ــ که به معنای دور بودن در زمان و مکان است. متوجه خواهید شد که کیهان ساکن نیست: درگذشته با حال متفاوت بوده ودرآینده نیز دوباره متفاوت خواهد بود. درک این تکامل اساساً بردو مدرک متکی است: اول، شواهدی مبنی بر انبساط کیهان و دوم، شواهدی مبنی بر اینکه کیهان در حال سرد شدن است. هر یک از اینها به نوبه خود برای تکمیل تصویر رفتار در مقیاس بزرگ کیهان در نظر گرفته می‌شود. بار دیگر، شما با مفاهیمی سر و کارخواهید داشت که کاملاً خارج از مفاهیم روزمره هستند.

در هر تلاشی برای ترسیم تاریخ تحول کیهان باید قوانینی را در نظر بگیرید که بر تمام فرآیندهای فیزیکی حاکم است. بنابراین، بخش سوم کتاب، شامل فصول ۱۱ تا ۱۵، شامل گزارش‌هایی از ویژگی‌های متمایز چهارنوع برهمکنش ماده و تابش است: نیروهای الکترومغناطیسی، قوی، ضعیف و نیروی گرانشی. خواهید دید که این چهار برهمکنش زیربنای همه فرآیندها، در همه مقیاس‌ها، در همه جای کیهان هستند. سپس این سوآل مطرح می‌شود که آیا این چهار برهمکنش واقعاً متمایز هستند یا اینکه ممکن است نظریه‌های جامع‌تر و بهتری وجود داشته باشد که برخی از این چهار برهمکنش را متحد می‌کند.

با گردآوری اطلاعات فصل‌های قبلی، بخش پایانی کتاب، شامل فصل‌های ۱۶ تا ۱۸، با ارائه تاریخچه کیهان از انفجار بزرگ تا به امروز آغاز می‌شود.

سپس کهکشان‌ها، ستارگان، و سیاراتی را که امروزه در کیهان مشاهده می‌شوند، بررسی می‌شود و در نهایت به این می‌پردازد که چه آینده‌ای در انتظار کیهان[۱] خواهد بود.

برخی از ایده‌های مطرح شده در این کتاب، ممکن است دیدگاهی که شما در حال حاضر نسبت به جهان دارید را به چالش بکشد، و در طول تاریخ، وجود چنین چالش‌هایی یکی از نشانه‌های پیشرفت علمی بوده است. جدای از هیجان فکری موضوعات در کیهان‌شناسی و فیزیک ذرات، آن‌ها راهی را نشان می‌دهند که در آن، دانشمندان به‌طور مستمر در تلاش هستند تا مرزهای دانش را به عقب برانند، و از آنچه درآزمایشگاه می‌توان اندازه‌گیری کرد، به قلمروهایی که مطالعه مستقیم آن‌ها، غیرممکن است، تعمیم داد. با این حال، مهم است که توجه داشته باشیم که با این وجود، این موضوعات، مربوط به زندگی روزمره نیزهستند ــ برای مثال، اگر علم بنیادی فیزیک کوانتومی نبود، عصر تکنولوژیک کنونی نمی‌توانست به وجود بیاید. همچنین در صفحات بعدی با ایده‌های نسبتاً عجیبی روبرو خواهید شد. اینها شامل ذراتی است که از هیچ پدیدار می‌شوند، امواج گرانشی که در سراسر کیهان نفوذ کرده‌اند، و نظریه قابل توجهی در مورد فضا زمان ۱۱ بعدی! همزمان با شروع سفر به مرزهای فیزیک و کاوش در فرآیندهایی که به ما امکان می‌دهد کیهان را درک کنیم. برای برخی تمرینات ذهنی آماده شوید.

۱. جهان هستی و گیتی هم رایج است. ناشر

۲

جهان فیزیکی

فیزیک، علمی است که قوانینی را برای درک کیهان ارائه می‌دهد و بسیاری از ایده‌های اساسی فیزیک، احتمالاً برای اکثر مردم آشنا هستند، خواه متوجه باشند یا نباشند. این فصل مفاهیم اتم‌ها، حرکت، انرژی و نور را به شما یادآوری می‌کند (یا شما را با آن‌ها آشنا می‌کند) که اساسی است برای درک آنچه در ادامه کتاب آمده.

۲.۱ دنیای اتم‌ها

همه چیز روی زمین از اتم تشکیل شده است و حدود ۹۰ نوع مختلف اتم وجود دارد که به‌طور طبیعی در جهان وجود دارند. ماده‌ای که از یک نوع اتم ساخته شده است به عنوان عنصر شناخته می‌شود. فراوان‌ترین عناصر موجود در کیهان آن‌هایی هستند که از دو اتم ساده تشکیل شده‌اند: هیدروژن و هلیم. بعداً در این کتاب، خواهید دید که این عناصر از انفجار بزرگ در چند دقیقه اول پس از شروع کیهان پدیدار شدند. در اینجا روی زمین، مقادیر قابل توجهی از عناصر دیگر نیز وجود دارد، به ویژه: کربن، نیتروژن، اکسیژن، سدیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیکون، گوگرد، کلسیم و آهن. بعداً خواهید دید که این عناصر از فرآیندهای رخ داده در درون ستارگانی به وجود آمده است که مدت‌ها قبل از شکل‌گیری زمین، زندگی کرده و مرده‌اند.

۲.۱.۱ اجزای اتمی

هر اتمی که باشد، هر کدام ویژگی‌های مشترک خاصی دارند. هر کدام شامل یک هسته مرکزی است که دارای بار الکتریکی مثبت و همچنین حامل بیشتر جرم اتم است. هسته توسط یک یا چند الکترون با بار منفی، احاطه شده است (نماد e −)، که هر یک جرم بسیار کمتری از هسته دارند. هسته‌ی اتم است که نوع عنصر را تعیین می‌کند. ساده‌ترین اتم‌ها، اتم‌های عنصر هیدروژن، دارای هسته‌ای هستند که فقط از یک پروتون منفرد (نماد p) تشکیل شده است.

ساده‌ترین اتم بعدی، هلیم، دو پروتون در هسته خود دارد. لیتیم دارای سه پروتون است؛ بریلیوم دارای چهارتا است؛ بور دارای پنج‌تا است؛ کربن شش‌تا دارد؛ و به همین ترتیب، تا اورانیوم با ۹۲ پروتون. تعداد پروتون‌های هسته یک اتم به عنوان عدد اتمی آن شناخته می‌شود (که با نماد Z نشان داده می‌شود). همان‌طور که می‌دانید، عناصر خواص شیمیایی بسیار متفاوتی دارند. بعداً در این کتاب خواهید دید که چرا چنین است. بار الکتریکی یک پروتون دارای مقدار عددی در حدود $+1/6 \times 10^{-19}$ کولن (که در آن واحد بار الکتریکی نماد C است) می‌باشد. بار الکتریکی الکترون دقیقا همانند یک پروتون است، اما به جای مثبت منفی است، بنابراین مقدار آن $-1/6 \times 10^{-19}$ کولن است.

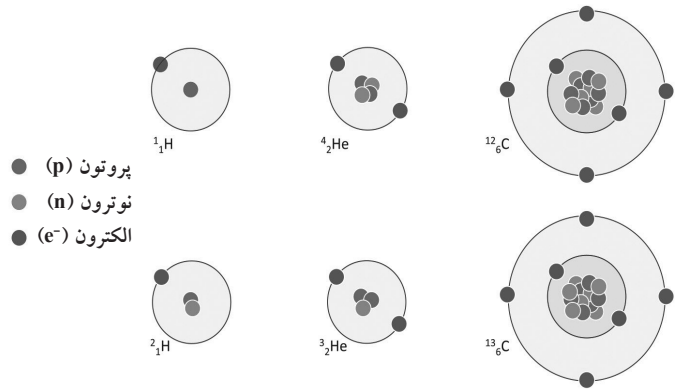
اجزای دیگر هسته اتمی نوترون‌ها هستند (نماد N) ؛ آن‌ها جرم مشابه به پروتون‌ها دارند، اما بار الکتریکی آن‌ها صفر است. اتم‌های معمول هیدروژن، هیچ نوترونی در هسته خود ندارند، اگرچه شکلی از هیدروژن وجود دارد — که به عنوان دوتریوم شناخته شده — که نوترون دارد. هسته اتم دوتریوم متشکل از پروتون و نوترون است. این هنوز عنصر هیدروژن (زیرا شامل یک پروتون) است، اما به لطف نوترون اضافی، شکل «سنگین» هیدروژن است. گفته می‌شود دوتریوم یک ایزوتوپ هیدروژن است. به‌طورمشابه، اتم‌های طبیعی هلیم، حاوی دو نوترون درون هسته اش است، همراه با دو پروتون؛ اما یک ایزوتوپ «سبک» هلیم، که به عنوان هلیم ۳ شناخته شده، شامل تنها یک نوترون است (شکل ۲.۱). تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های ترکیبی در هسته اتم، عدد جرمی (با نماد A) اتم است. بنابراین ایزوتوپ‌ها، فرم‌های همان عنصر با عدد جرمی متفاوت را نشان می‌دهند. هسته ایزوتوپ خاص به عنوان یک نوکلئید شناخته می‌شود. ایزوتوپ‌های هر عنصر اتمی، ممکن است با یک نماد نشان داده شوند. از حروف برای نشان دادن نام خود عنصر و از دو عدد برای نشان دادن عدد اتمی (پایین) و عدد جرمی (بالا) استفاده می‌شود.

بنابراین یک اتم هیدروژن معمولی با H_1^1 و یک اتم ایزوتوپ سنگین‌تر، دوتریوم، با H_1^2 نشان داده می‌شود. هلیم معمولی H_2^4 و هلیم سبک H_2^3 است. سایر اتم‌های آشنا که قبلاً ذکر شدند، دارای نمادهایی به شرح زیر هستند: کربن (C)، نیتروژن (N)، اکسیژن (O)، سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیکون

(Si)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca) و آهن (Fe).

گاهی اوقات، پروتون‌ها و نوترون‌ها در مجموع به عنوان نوکلئون شناخته می‌شوند، زیرا هر دو نوع ذره در داخل هسته یک اتم، یافت می‌شوند. به‌طور مشابه، الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها اغلب به دلایل آشکار، ذرات زیراتمی نامیده می‌شوند.

اتم‌های عادی از نظر الکتریکی خنثی هستند، بنابراین بار الکتریکی مثبت هسته دقیقاً با بار الکتریکی منفی الکترون‌های اطراف آن متوازن می‌شود. از آنجایی که هرالکترون حامل بار الکتریکی برابر و مخالف بار الکتریکی هر پروتون است، تعداد الکترون‌های یک اتم خنثی دقیقاً با تعداد پروتون‌های هسته آن برابر است. اگر یک یا چند الکترون از یک اتم خنثی جدا یا به آن اضافه شود، یک یون باردار الکتریکی، تشکیل می‌شود. در یون‌های مثبت، الکترون‌هایی از اتم خنثی جدا شده است، در حالی که در یون‌های منفی، الکترون‌هایی به اتم خنثی اضافه شده‌اند.



شکل ۲.۱ اتم‌ها و ایزوتوپ‌های هیدروژن، هلیم و کربن.

شیمیدانان این فرض را مناسب می‌دانند که الکترون‌های یک اتم در مجموعه‌ای از پوسته‌ها و زیر پوسته‌هایی متحدالمرکز اطراف هسته قرار گرفته‌اند. در حالی که این توصیف، برای توضیح اینکه چرا اتم‌های خاص به روش‌های خاصی با اتم‌های دیگر برهمکنش می‌کنند کمک می‌کند، اما این

مدلی است که فقط تا حدی، رفتار اتم‌ها را توضیح می‌دهد. ممکن است از خود بپرسید چرا الکترون‌ها خود را به این ترتیب چیدمان می‌کنند؟ در فصل‌های بعدی خواهید دید که چگونه تصویر پوسته ظاهر می‌شود.

سرانجام، اندازه اتم‌ها و هسته‌ها را درنظربگیرید. در حالی که اندازه هسته اتم معمولی، حدود یک صدم میلیاردم میلی‌متر ($۱۰^{-۱۴}$ متر) است، اندازه خود اتم با اندازه ناحیه اشغال شده توسط الکترون‌هایی که هسته را احاطه کرده‌اند، تعیین می‌شود. اندازه کلی یک اتم، ده هزار برابر بزرگ‌تر از هسته است، یعنی حدود یک دهم میلیونیم میلی‌متر ($۱۰^{-۱۰}$ متر). برای مقایسه، اگر یک اتم تا اندازه ۴۰ کیلومتر قطر داشته باشد (این تقریباً به اندازه بزرگراه M25 در اطراف لندن است)، هسته آن تنها ۴ متر عرض دارد (که تقریباً طول یک تاکسی درمرکز شهراست). یک قیاس دیگر که ممکن است ترجیح دهید، تجسم کردن یک کک در وسط ورزشگاه ومبلی، درمقایسه با اندازه کل ورزشگاه است. درهرصورت، بهترین تصویر از یک اتم، فضایی است که عمدتاً خالی است، اما حاوی یک هسته مرکزی کوچک (هسته) است که توسط ابر وسیعی از الکترون احاطه شده است.

شاید برای شما این سوآل پیش آمده باشد که اگر بیشتر فضای اتم‌ها خالی هستند، چرا به‌طور معمول از یکدیگر عبور نمی‌کنند؟ وقتی سیبی روی میز قرار می‌گیرد، چه اتفاقی می‌افتد که اتم‌های سیب را به راحتی از اتم‌های روی میز عبور نمی‌دهند و چرا از تمام این فضای خالی استفاده نمی‌کنند تا به سادگی از کنار یکدیگر عبور کنند؟ پاسخ این است که سیب و میز با نیروی الکتریکی دافعه بین الکترون‌ها در اتم‌های تشکیل‌دهنده خود از هم جدا شده‌اند، در مورد چنین نیروهای الکتریکی در فصل ۱۱ بیشتر خواهید خواند.

۲.۱.۲ مولکول‌ها و حالت‌های ماده

اتم‌ها ممکن است با یکدیگر و با اتم‌های مختلف ترکیب شوند، و مولکول‌هایی را تشکیل دهند. نمونه‌هایی که در زمینه‌های مختلف نجومی یافت می‌شود، شامل مونوکسید کربن (CO)، دی اکسید کربن (CO_2)، آب (H_2O)، ازون (O_3)، آمونیاک (NH_3) و متان (CH_4) است. در هر مورد، عدد پاینویس، تعداد اتم‌های نوع معینی از مولکول را نشان می‌دهد؛ اگر هیچ عددی نشان داده نشود، دلالت بر این