

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه‌ای بر کیهان‌شناسی نوین

مؤلف:

اندر وادیل

مترجمان:

کامبیز خالقی

فرهاد ذکاوت

ویراستاران:

مهران کمرپور

محسن ایرجی

سرشناسه: لیدل، اندرو آر.، ۱۹۶۵ - م. *Liddle, Andrew R.*
 عنوان و نام پدیدآور: مقدمه‌ای بر کیهان‌شناسی نوین / مولف اندرو لیدل؛ مترجمان کامبیز خالقی، فرهاد ذکاوت؛
 ویراستاران مهران کمرپور، محسن ایرجی.
 مشخصات نشر: تهران: دانش‌پژوهان جوان، ۱۳۹۳.
 مشخصات ظاهری: ۲۰۸ ص: مصور، جدول، نمودار.
 فروست: ترجمه: ۶۰۷
 شابک: ۶-۲۴-۰۲۸۸-۶۰۰-۹۷۸-۹۵۰۰۰ ریال
 وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا
 یادداشت: عنوان اصلی: *An introduction to modern cosmology, 2nd ed, c2003*
 عنوان دیگر: آشنایی با کیهان‌شناسی نوین.
 موضوع: کیهان‌شناسی
 شناسه افزوده: خالقی، کامبیز، ۱۳۶۹ - مترجم
 شناسه افزوده: ذکاوت، فرهاد، ۱۳۵۹ - مترجم
 شناسه افزوده: کمرپور، مهران، ۱۳۴۵ - ویراستار
 شناسه افزوده: ایرجی، محسن، ۱۳۵۰ - ویراستار
 بندی کنگره: ۱۲۹۳ ۱۹۳۱۵/۱۹۳۱۵ QB۹۸۱
 ده بندی دیویی: ۵۲۳/۱
 شماره کتابشناسی: ۳۴۶۳۴۶۲

مقدمه‌ای بر کیهان‌شناسی نوین

مؤلف: اندرو لیدل
 مترجمان: کامبیز خالقی - فرهاد ذکاوت
 ویراستاران: مهران کمرپور، محسن ایرجی
 طرح جلد: فاطمه قلی‌نژاد
 چاپ اول: ۹۳
 قطع: وزیری
 تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه
 شابک: ۶-۲۴-۰۲۸۸-۶۰۰-۹۷۸
 قیمت: ۹۵۰۰ تومان



ناشر کتابهای المپیاد

آدرس: میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، خیابان شهید نظری، بین خیابان منیری جاوید و
 ۱۲ فروردین، پلاک ۱۰۵، طبقه ۳، واحد ۱۱ تلفن: ۶۶۴۸۵۲۳۴-۶۶۴۹۸۹۹۸-۶۶۴۹۶۳۶۳
 دورنگار: ۶۶۹۵۳۲۵۰ کدپستی: ۱۳۱۴۶۷۵۹۳۴
www.irolympiad.com

پیشگفتار مؤلف

بدون شک پیشرفت کیهان‌شناسی یکی از پیروزی‌های علم در قرن بیستم شناخته خواهد شد. کیهان‌شناسی در ابتدای کار (به عنوان شاخه‌ای جدا) به سختی جزئی از علم به معنای پژوهشی آن به حساب می‌آمد اما کیهان‌شناسی انفجار بزرگ با توصیف قابل‌پذیرشی از عالم، این جایگاه را بدست آورد. امروزه تلسکوپ‌هایی همچون تلسکوپ فضایی هابل می‌توانند نور کهکشانهای دور دست را دریافت کنند. این نورها به اندازه‌ی سن عالم در سفر بوده‌اند تا به ما برسند. در این سال‌ها میکروموج زمینه‌ی کیهانی که فسیلی از دوره‌های اولیه‌ی شکل‌گیری عالم است، آشکارسازی شد و بررسی ویژگی‌های آن را امکان‌پذیر ساخت. بدین ترتیب فهمیدیم که در زمان شروع گسیل میکروموج زمینه‌ی کیهانی، عالم چگال‌تر و داغ‌تر بود فلذا هم اکنون بدون شک عالم ما در حال انبساط است.

در حال حاضر در عصری قرار داریم که با بهبود فناوری‌های رصدی درک ما از کیهان به سرعت از نگاه کیفی به سوی درک کمی‌تر پیش می‌رود. شروع کار پروژه‌ی شبیه‌سازی هزاره (Millennium)، شروعی بر مدل استاندارد کیهان‌شناسی و بهترین توصیف برای عالم بود؛ ولی این مدل‌ها از وجود راز بزرگی خبر می‌دادند و آن چیزی نبود جز انبساط عالم. این مسئله موجب ساخت پاسخ دادن به سؤالاتی از قبیل خصوصیات ماده‌ی تاریک که به نظر می‌رسد ماده‌ی حاکم بر عالم است رهت‌ن کرد. از این رو پروژه‌هایی تعریف شد که در درک و به‌دست آوردن تصویری کلی عالم، به ما کمک کرد.

ادامه‌ی این تلاش‌ها در ساختن بررسی‌های کیهان‌شناسی، درک ما را از عالم پیرامون مان کامل‌تر کرده است. در سال‌های اخیر توجه روز افزونی به تدریس کیهان‌شناسی در دانشگاه‌ها شده است. همیشه و به صورت سنتی کیهان‌شناسی به عنوان یک سرفصل درسی تدریس می‌شد؛ حتی من هم همین کار را در انتهای دوره‌های آموزشی نسبت عام با استنتاج متریک‌های مختلف برای انبساط عالم یادداشت می‌کردم. اما این روش تدریس مانع از دیده شدن زیبایی‌های ذاتی علم کیهان‌شناسی می‌شد که از فیزیک کلاسیک، ترمودینامیک، فیزیک اتمی، گرانش و کاربرد آن‌ها در مقیاس‌های بزرگ سرچشمه می‌گرفت. در واقع، کتاب مقدمه‌ای بر کیهان‌شناسی نوین می‌تواند آوردگاهی با روش متفاوت و به دور از مسائل پیچیده‌ی نسبت عام باشد. در ادامه‌ی کتاب خواهید دید که با کمی خوش‌شانسی و تقلب، معادله‌های درست توصیف‌کننده‌ی عالم را گسترش می‌توانی هم درست مانند آن‌چه از فیزیک نسبتی حاصل می‌شود، بدست می‌آیند. بنابراین به همین روش می‌توانی عمق فحیت‌های کیهان‌شناسی انفجار بزرگ داغ را بررسی کرد و حتی در مورد ایده‌های بیشتری چون کیهان‌شناسی گرمی نیز گفتگو کرد. پیش‌بینی سن عالم، انبساط عالم، تخمین فراوانی عناصر سبکی چون هلیوم، دوتریم و وجود میکروموج زمینه‌ی کیهانی از این دسته هستند.

متن این کتاب نخستین بار در سال ۱۹۹۸ به چاپ رسید و عملاً حاصل پیاده‌سازی یک دوره‌ی سخنرانی کوتاه (حدود ۲۰ سخنرانی) در دانشگاه سایکس بود که برای دانشجویان سال آخر کارشناسی و سال آخر کارشناسی ارشد ارائه شده بود. بنابراین پیش‌نیازهای مطالعه‌ی این کتاب، همان فیزیک متداول دانشگاهی است و بیشتر با تأکید بر مفاهیم فیزیکی - ریاضیاتی تدریس شده در سال‌های اولیه‌ی دانشگاه نگاشته شده است. بعدها و پس از چاپ ویرایش اولیه‌ی این کتاب، به تدریج کیهان‌شناسی پیشرفت کرد و من متوجه شدم که باید موارد زیادی را به محتوای این کتاب اضافه کنم؛ در نتیجه این ویرایش دوم را آماده کردم. به طور خلاصه، تفاوت‌های ویرایش قبلی و این ویرایش،

مطالب بیشتر آن است که به روزتر هستند.

کیهان‌شناسی سرفصل جالبی برای تدریس است چرا که در علم کیهان‌شناسی هیچ درک آگاهانه‌ای از ساختار بندی بنیان‌ها بی‌چون و چرا وجود نداشته است. ترمودینامیک، الکترومغناطیس و حتی مکانیک کوانتوم و نسبیت عام از ابزار فیزیکی به کار رفته در مطالعات کیهان‌شناسی هستند. اما حتی با این وجود و با توجه به تصویر نه چندان واضحی که ما از عالم پیرمونمان در اختیار داریم بسیاری از جزئیات مبهم و بسیاری از پرسش‌ها بدون پاسخ باقی می‌مانند. هر قدر که درباره‌ی عالمی که در آن زندگی می‌کنیم بیشتر یاد می‌گیریم، دانش قبلی‌مان بیشتر تغییر می‌کند. در طول هر دوره‌ی آموزشی کیهان‌شناسی بیشتر در مورد نتایج جدید حاصل شده بحث می‌شود و کیهان‌شناسان، برداشته‌های جدید خودشان را ارائه می‌دهند. کیهان‌شناسی از جمله سرفصل‌هایی است که مدرس می‌تواند پیش داوری‌های خودش در مورد مشاهدات در حال تغییر را نیز در اختیار دانش‌پژوه قرار دهد. اگر دیدگاه من در مورد هر یک از مباحث مطرح شده در این کتاب تغییر کند مطمئناً جستجوگر گوگل مُج مرا خواهد گرفت پس شما می‌توانید دیدگاه‌های من را به روز شده‌ی مرا در مورد موضوعات این کتاب در صفحه‌ی وبگاه این کتاب بخوانید.

<http://astronomy.susx.ac.uk/andrew1/cosbook.html>

در این صفحه می‌توانید مشاهدات به روز شده و فهرستی از خطاهای این کتاب را که از آن‌ها اطلاع پیدا کرده‌ام، بیابید. اگر مطمئن شوید اشتباهی در کتاب پیدا کرده‌اید که در این فهرست نیست، بسیار خرسند خواهم شد به من اطلاع دهید.

ساختار این کتاب یک ستون اصلی دارد که فصل‌های اصلی آن از ۱ تا ۱۵ هستند که حاصل ارائه‌ی مقدمات کیهان‌شناسی نوین در دانشگاه ساکس است. علاوه بر این فصل‌های اصلی، ۵ فصل نیز در بخش موضوعات پیشرفته اضافه کرده‌ام، که هر کدام پیش از زمان بهترین برای مطالعه‌ی این موضوعات پیشرفته دقیقاً پس از پیش نیازهایی است که در ابتدای هر کدام اشاره کرده‌ام. در این جا باید از استیو ایلس، کوئل هلیپر، لیندا اسمیت برای توضیحات مفصلی که منجر به بهتر شدن این ویرایش نسبت به نسخه‌ی قبلی‌اش شده است سپاسگزاری کنم و همچنین از همه‌ی کسانی که بر ویرایش قبلی نقدهایی داشتند مخصوص میسایل روون، پدی لیهی، و البته تمام کارکنان انتشارات Wiley که در آماده‌سازی این کتاب نقش داشتند. میو کولس و مایکل ترنر و بریان اسمیت، که اجازه‌ی استفاده از سه شکل موجود در کتاب را در اختیار من قرار دادند. جان هنری، مارتین گنتز و فرانز شونک که مجوز استفاده از سه شکل دیگر را فراهم آوردند، و ناسا که دو تصویر را از SkyView برداشته‌ام نیز تشکر می‌کنم.

<http://skyview.gsfc.nasa.gov>

این صفحه بر وبسایت مرکز فضایی گودارد ناسا واقع شده است. برای این که به ریزه چاپ کتاب را کم کنیم مجبور شدیم تصاویر رنگی را به صورت سیاه و سفید منتشر کنیم؛ ولی در سایت کتاب می‌توانید نسخه‌های رنگی آن‌ها را ببینید.

آندرو آر. لیدل

برایتون

فوریه ۲۰۰۳

پیشگفتار مترجمین

قرن بیست و یکم به یقین قرن فیزیک خواهد بود. دهه اول این قرن هرچند با پیش زمینه‌ی پیشرفت‌های ناگهانی قرن بیستم، ولی با نتایجی جدید و در مواردی تأیید کننده‌ی نظریه‌های قبلی در مدل استاندارد ذرات بنیادی و تعدادی از نظریه‌های کیهان‌شناسی همراه بوده است. بیش از چند دهه می‌شود که ذرات بنیادی و کیهان‌شناسی برای توصیف عالم اولیه و کنونی به ضرورت در کنار هم قرار گرفته‌اند. برای خواننده‌ای که در سطح مقدماتی با این دو شاخه‌ی ابعاد بزرگ و کوچک آشنا می‌شود، شاید چندان جالب نباشد که در بخش‌های مختلف این شاخه که در مواردی کاملاً به هم پیوسته‌اند، مدل‌های متنوعی برای توضیح یک پدیده یا توجیه نتایج حاصل از یک مدل یا آزمایش ارائه شوند.

ولی پیش از مطالعات پیشرفته و بسیار خاص یک موضوع، علاقه‌مندان بخصوص دانشجویان دوره کارشناسی، باید مبانی کتاب و این‌های پذیرفته شده را بفهمند و با ساختارهای بزرگ یا کوچک مقیاس آشنا شوند. در این کتاب، اندرو لیدل کریسن و کیهان‌شناس مشهور انگلیسی بیش از اینکه دیدگاه ذراتی داشته باشد، با نگاه نسبیستی به حل معادلات در این بزرگ مقیاس پرداخته و هرچاک لازم دیده از ذرات بنیادی و مبانی ساده آن‌ها نیز بهره گرفته است. توصیفات مربوط به عالم اولیه معروف به کرومودینامیک عالم، و بسیاری موارد دیگر که در کتاب می‌بینید، از این دسته هستند.

در حوزه‌ی کیهان‌شناسی کتاب‌های عددی به زبان انگلیسی و این سال‌ها تعدادی نیز به زبان فارسی تألیف یا ترجمه شده‌اند. در این میان، اندرو لیدل، هیئت علمی و استاد دپارتمان اخترشناسی و فیزیک دانشگاه ساسکس انگلستان، یکی از کتاب‌های آموزشی مقدماتی کیهان‌شناسی را نگاشته است. برای مطالعه‌ی کتاب حاضر به عنوان خودآموز یا کتاب کلاسیک که آن تألیف، دانش مقدماتی در حوزه‌ی فیزیک مدرن، آشنایی با پایه و اساس معادلات دیفرانسیل در حد ساده (و نه معادلات تصحیح الزامی است. در این کتاب با وجود پُررنگ بودن استفاده از فیزیک کلاسیک و نسبیت عام، توضیحات سفاک و توصیفی زیادی در مورد ذرات بنیادی آمده و برای علاقه‌مندی که با ساختارهای اولیه نسبیت عام، حساب تانسوری و معادلات خمش آشنایی دارند روش استخراج معادلات آنیشتاین نیز در پیوست کتاب آورده شده است. این کتاب در سطح جهان به عنوان یکی از بهترین کتاب‌های مقدماتی در حوزه‌ی کیهان‌شناسی مورد توجه قرار گرفته است. با آوری است که اندرو لیدل آثار پژوهشی دیگر نیز در همین حوزه‌ی کیهان‌شناسی نگاشته است. با مراجعه به سایت شخصی ایشان که در مقدمه‌ی کتاب ذکر شده، به موضوعات تحقیقاتی و سرفصل‌های کتاب‌های ایشان دسترسی خواهید داشت.

در حال حاضر و در ایران نیز از این کتاب برای پروژه و تز دانشجویان دوره‌ی کیهان‌شناسی سال آخر کارشناسی و کارشناسی ارشد استفاده می‌شود و در موارد متعدد در این پایان‌نامه‌ها ارجاعات زیادی به آن شده است. لذا مترجمین کتاب بر آن شدند تا کتاب در کنار کتاب‌هایی چون ناریکار و چند کتاب نسبیت عام، سایتید داخلی نگاشته‌اند، به زبان فارسی در اختیار عزیزان علاقمند قرار بگیرد. چاپ فارسی این کتاب با مجوز رسمی انتشارات جان وایلی، پرداخت حق کپی رایت و در نهایت مکاتباتی که با اندرو لیدل انجام شده، در اختیار شما قرار گرفته است. به چند دلیل این مسئله اهمیت فراوان دارد. حضور غیرمستقیم تفکر علمی به صورت مکتوب و نه مجزای جامعه علمی ایران که فقط بخشی از آن چاپ مقالات تخصصی است، یکی از مهمترین این دلایل است! بخش اعظم آن‌چه در ایران مورد توجه قرار نگرفته، مسئله‌ی مهم آموزش در ایران است که نه تنها در داخل کشور باید مورد

توجه قرار بگیرد و ساختارهای آن به درستی چیده شوند، بلکه بخشی از دیدگاه دنیای بین المللی آکادمیک نسبت به آنچه در دنیای آکادمیک ایران می‌گذرد نیز با آگاهی از حضور همین منابع در ایران بدست خواهد آمد.

با توجه به هزینه‌های سرسام آور چاپ در ایران و بخصوص تلاش‌های کسانی که قبل از چاپ کتاب، آن را به صورت کنونی برای شما خواننده گرامی آماده سازی می‌کنند، نباید مورد بی توجهی یا کم لطفی قرار بگیرند. موارد مشکوک و مسائل جانبی در این حوزه نیز بسیار زیاد است، ولی به یقین کتاب از زمانی که با قلم نویسنده یا مترجم، مراحل اولیه را طی می‌کند، بارها و بارها مورد بازخوانی، ویرایش، حتی در موارد معدودی (در ایران) مورد مباحثه قبل از چاپ قرار گرفته تا با کمترین ایرادهای علمی و ادبی در اختیار علاقه‌مندان و دنیای آکادمیک قرار بگیرد. حتی گاهی میزان ویرایش به حد فرسایشی می‌رسد که مترجم و نویسنده قادر به بازخوانی مجدد به معنای چندباره‌ی اثر خود نیستند. ادبیات به تنهایی می‌تواند عامل این ویرایش‌های متعدد باشد. وسواس در ترجمه هیچ‌گاه تمامی ندارد. هرچند با کتاب‌های علمی کم یا اصلاً بکار برده نمی‌شود و در موارد بسیاری با فاجعه‌ی علمی-ادبی در کتاب‌های فارسی شده روبرو هستیم، ولی کتاب‌هایی نظیر کتاب حاضر تا جایی که امکان داشته از طرف مترجمین مورد مباحثه و وسواس علمی و ادبی قرار گرفته و گاه‌آ‌ منجر به بحث‌هایی جدی شده است. امیدواریم نتیجه‌ی حاصل مورد پسند اساتید، دانشجویان و علاقه‌مندان به پژوهش در زمینه کیهان‌شناسی قرار گرفته و مقدمه‌ای برای پژوهش‌های دانشجویان و منبعی مفید و کاربردی باشد [اگر مدعی نباشیم] برای تدریس اساتید در دانشگاه‌ها و دوره‌های مقدماتی کیهان‌شناسی باشد.

در نهایت مترجمین این کتاب دوستدار فنی و ناشر این کتاب به خصوص گروه فنی انتشارات هیمه و پشتیبانی‌های علمی گروه آموزشی المپیادهای علمی ایران (ایریک) و همین‌طور اندرو لیدل، نویسنده کتاب، و انتشارات جان وایلی برای همکاری در چاپ این کتاب به زبان فارسی، بهال تشکر را دارند. در جایگاه ویژه‌ی دیگری نیز تشکر مجزا می‌شود از همکار و دوست ارجمندمان جناب آقای مصطفی پور که زحمت بازخوانی و ویرایش نهایی این کتاب را بر عهده داشتند و با توجه به شناختی که از نزدیک با دکتر اصل در دانشگاه ساسکس به عنوان دانشجوی‌شان داشته‌اند، ظریفی را به ما یادآوری کردند که در فارسی‌سازی هر چه ممکن تر این اثر نقش به سزا و شمر ثمری بازی کرده است. یکی از مهمترین مسائل برای نویسنده و مترجم هراتری، ارتباط با ناشر است؛ بسیار خرسند خواهیم شد با ما از طریق ایمیل در ارتباط باشید.

فرهاد ذکاوت (f.zekavat@iauctb.ac.ir) و کامبیز خالقی (khaleghi.kambiz@yahoo.com)

تهران ۱۳۹۲ خورشیدی

کامبیز خالقی - فرهاد ذکاوت

Persian Translators acknowledge Prof. Andrew Liddle, The Author and John Wiley and Sons publication to make it possible to publish this book in Persian, as one of most interested academic texts on cosmology this subject in Iran.

فهرست مطالب

بخش اول

مباحث عمومی

۱

فصل ۱

تاریخچه مختصر نظریه های کیهان شناسی

۳

فصل ۲

مرور مشاهدات

۵

۶	۱-۲	مرور مشاهدات
۶	۱-۲	ستارگان
۶	۱-۱-۲	پیکشورها
۷	۳-۱-۲	سرعت حلقه
۸	۴-۱-۲	خوشه ها و خوشه های بزرگ و فضای خالی
۹	۵-۱-۲	یکنواختی های بزرگ مقیاس:
۹	۲-۲	در گروه امواج رادیویی دیگر
۱۰	۱-۲-۲	میکروموج ها
۱۰	۲-۲-۲	امواج رادیویی
۱۱	۳-۲-۲	فروسرخ
۱۱	۴-۲-۲	پرتو ایکس
۱۱	۳-۲	همگنی و همسانگردی
۱۲	۴-۲	انبساط عالم
۱۵	۵-۲	ذرات در عالم
۱۵	۱-۵-۲	چه ذراتی وجود دارند؟
۱۷	۲-۵-۲	توزیع های دمایی و طیف جسم سیاه

فصل ۳

گرانش نیوتنی

۲۳

۲۴	۱-۳	معادله فریدمن
۲۷	۲-۳	مفهوم انبساط
۲۷	۳-۳	اجسام سریع تر از نور

۲۸	معادله‌ی شاره	۴-۳
۳۰	معادله‌ی شتاب	۵-۳
۳۰	جرم-انرژی و حذف ضریب c^2	۶-۳

فصل ۴

۳۳	هندسه تخت	۱-۴
۳۴	هندسه کروی	۲-۴
۳۶	هندسه هذلولی	۳-۴
۳۷	الم‌های قابل مشاهده و بی‌نهایت	۴-۴
۳۸	مجا‌برگ کجا روی داده است؟	۵-۴
۳۹	مجا‌بر k	۶-۴

فصل ۵

۴۱	قانون هابل	۱-۵
۴۲	انبساط و انتقال به سر	۲-۵
۴۴	حل معادلات	۳-۵
۴۴	ماده ۱-۳-۵	
۴۶	تابش ۲-۳-۵	
۴۷	ترکیب‌ها ۳-۳-۵	
۴۸	چگالی‌های تعداد ذرات	۴-۵
۴۹	تحول همراه با انحناء	۵-۵

فصل ۶

۵۳	سرعت انبساط هابل H_0	۱-۶
۵۵	پارامتر چگالی Ω_0	۲-۶
۵۷	پارامتر شتاب کاهنده q_0	۳-۶

فصل ۷

۶۱	معرفی Λ	۱-۷
۶۳	توصیف شاره‌ی Λ	۲-۷
۶۴	مدل‌های کیهان‌شناسی با Λ	۳-۷

- ۱-۹ وزن کردن عالم ۷۳
- ۱-۱-۹ شمارش ستارگان ۷۳
- ۲-۱-۹ پیش فرض هسته‌زایی ۷۴
- ۳-۱-۹ منحنی چرخش کهکشان‌ها ۷۵
- ۴-۱-۹ ترکیب خوشه‌ی کهکشان ۷۷
- ۵-۱-۹ حرکت‌های شامه‌ای در عالم ۷۹
- ۶-۱-۹ تشکیل ساختار ۷۹
- ۱-۱-۹ هندسه‌ی عالم و درخشش ابرنواخترها ۸۰
- ۱-۱-۹ ... ۸۰
- ۲-۹ ماده‌ی تاریک چیست؟ ۸۱
- ۳-۹ تحقیقات ماده‌ی تاریک ۸۵

- ۱-۱۰ ویژگی‌های میکروموج زمینه‌ی کیهانی ۸۹
- ۲-۱۰ نسبت فوتون به باریون ۹۱
- ۳-۱۰ منشاء میکروموج زمینه‌ی کیهانی ۹۳
- ۴-۱۰ منشاء میکروموج زمینه‌ی کیهانی (بخش تکمیل و ابزاری) ۹۵

- ۱-۱۲ هیدروژن و هلیوم ۱۰۷
- ۲-۱۲ مقایسه با مشاهدات ۱۱۰
- ۳-۱۲ مقایسه واجفت‌شدگی و هسته‌زایی ۱۱۳

- ۱-۱۳ مشکلات نظریه‌ی انفجار بزرگ داغ ۱۱۵
- ۱-۱-۱۳ مشکل تخت بودن ۱۱۵

۱۱۷	۲-۱-۱۳ مسئله‌ی افق
۱۱۹	۳-۱-۱۳ فراوانی‌های ذره‌ی قدیمی
۱۱۹	۲-۱۳ انبساط تورمی
۱۲۱	۳-۱۳ حل مشکلات انفجار بزرگ
۱۲۱	۱-۳-۱۳ مسئله‌ی تخت بودن
۱۲۲	۲-۳-۱۳ مسئله‌ی افق
۱۲۳	۳-۳-۱۳ فراوانی اثر ذرات
۱۲۳	۴-۱۳ چه مقدار تورم؟
۱۲۴	۵-۱۳ و فیک ذرات

۱۲۹	فصل ۴ تکینگی اولیه
-----	---------------------------

۱۳۳	فصل ۱۵ حل استاندارد کیهان‌شناسی
-----	--

۱۳۷	بخش دوم
-----	----------------

۱۳۹	فصل ۱۶ کیهان‌شناسی سیاهچاله‌ها
-----	---------------------------------------

۱۳۹	۱-۱ متریک فضا-زمان
۱۴۱	۲-۱ معادلات انیشتین
۱۴۲	۳-۱ توپولوژی عالم

۱۴۵	فصل ۱۷ فاصله‌ها و درخشندگی‌ها
-----	--------------------------------------

۱۴۵	۱-۲ انتشار نور با انتقال به سرخ
۱۴۸	۲-۲ عالم قابل مشاهده
۱۴۹	۳-۲ فاصله‌ی درخشندگی
۱۵۳	۴-۲ فاصله‌ی قطر زاویه‌ای
۱۵۵	۵-۲ شمارش منبع

۱۵۹	فصل ۱۸ کیهان‌شناسی نوترینو
-----	-----------------------------------

۱۵۹	۱-۳ حالت بدون جرم
۱۶۱	۲-۳ نوترینوهای سنگین

۱۶۱	نوترینوهای سبک	۱-۲-۳
۱۶۲	نوترینوهای سنگین	۲-۲-۳
۱۶۳	نوترینوها و تشکیل ساختار	۳-۳

۱۶۵	باریون‌زایی	فصل ۱۹
-----	-------------	--------

۱۶۹	ساختارهای عالم	فصل ۲۰
-----	----------------	--------

۱۶۹	ساختارهای مشاهده شده	۱-۵
۱۷۲	بلابرداری گرانشی	۲-۵
۱۷۳	روش‌های ازی کهکشان‌ها	۳-۵
۱۷۶	ناهمسانگردی‌های میکروموج زمینه‌ی کیهانی	۴-۵
۱۷۶	تجارب نوری از ناهمسانگردی‌ها	۴-۵
۱۷۸	مجا‌های C_1	۲-۴-۵
۱۷۹	مشاهدات میکروموج زمینه	۳-۴-۵
۱۸۲	منشأ ساختار	۵-۵
۱۸۵	کتابشناسی	
۱۸۷	پاسخ‌های عددی و راهت‌های مسائل	