



دانشکده علوم پایه

آمار برخوردها در میدان های گرانشی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک نجومی
گرایش گرانش

زهرا علایی

استاد راهنما

دکترسید محمد صادقی

تابستان ۹۵

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه

نام دانشکده: دانشکده علوم پایه

نام دانشجو: زهرا علایی

عنوان پایان‌نامه: آمار برخوردها در میدان‌های گرانشی

تاریخ دفاع: تابستان ۹۵

رشته: فیزیک نجومی

گرایش: گرانش

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر سیدمحمد صادقی	دانشیار	دانشگاه تهران مرکزی	
۲	استاد داور	دکتر ...	استادیار	دانشگاه ...	
۳	استاد مدعو خارجی	دکتر ...	استاد	دانشگاه ...	

تأییدی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب زهرا علایی به شماره دانشجویی ۹۳۱۳۴۹۰۰ دانشجوی رشته فیزیک نجومی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: زهرا علایی

تاریخ و امضا:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح

زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ممنوع است.

استاد راهنما: دکترسید محمد صادقی

تاریخ:

امضا:

چکیده

ما در این پژوهش با تکیه بر روش آمار برخورد ها ...

واژگان کلیدی: میدان ،

فهرست مطالب

فهرست تصاویر

فهرست جداول

فهرست الگوریتم‌ها

فصل ۱

کیهان‌شناسی محاسباتی

۱-۱ مقدمه

کیهان کلی‌ترین واژه‌ای است که می‌توانیم به جهان پیرامون مان نسبت دهیم، کیهان عظیم یا جهان پهناور؛ همان جهانی است که انسان و تمامی موجودات ساکن بر روی کره‌ی خاکی ما یعنی زمین، بخش بسیار بسیار کوچکی از آن را تشکیل می‌دهند.

نگرش انسان به کیهان و یا به عبارتی کیهان‌شناسی، همواره به صورت دیدگاهی علمی نظیر آنچه امروز شاهدش هستیم مطرح نبوده است. ذهن بشر از دیرباز درگیر پرسش‌هایی اساسی در رابطه با آنچه در بالای سر خود مشاهده می‌کند بوده و هست؛ و تلاش برای یافتن پاسخی منطقی به آنها، سیر تحول روش‌های علمی و محاسباتی را به همراه داشته است. در این نوشتار ابتدا برآنیم که دوره‌ای هرچند کوتاه بر تاریخچه‌ی کیهان‌شناسی پیش و پس از عصر طلایی علم کیهان‌شناسی داشته باشیم.

در ادامه با معرفی کیهان‌شناسی مدرن به عنوان علمی با زیربنای محاسباتی و آماری به چالش‌های اصلی و اساسی آن نظیر محاسبه‌ی سن عالم؛ اجزاء تشکیل دهنده‌ی کیهان و چگالی جرم و انرژی کیهانی؛ مساحت کیهان و... پرداخته و راهکارهای مورد استفاده‌ی مشهور برای دستیابی به مدل آماری بهینه برای پاسخ به آن چالش‌ها معرفی خواهند شد. در نهایت امر، جهت معرفی دقیق‌تر مدل‌های آماری مطرح به بررسی معادلات جفت شده‌ی (چندگانه) بولتزمن روی خواهیم آورد که پارامترهای تحت بررسی آن ما را به آخرین نتایج برگرفته از داده‌های رصدی و تحلیلی ماهواره‌ی پلانک رهنمون خواهد شد.

۲-۱ تاریخچه

کیهان‌شناسی در گذر زمان: علمی دقیق یا پیش‌گویی کیهان‌شناسی در گذر تاریخ همواره به عنوان یک علم و یا نگرشی مستقل مطرح نبوده است. نگاهی تاریخی به روند پیشرفت این شاخه از علم فیزیک در طول رشد دانش بشری به خوبی این دگرگونی و تحول را از آغازین نظریات کیهان‌شناسی تا به امروز آشکار می‌سازد. اما پیش از آن؛ چند نکته در بررسی تاریخی نظریه‌های کیهان‌شناسی حائز اهمیت است:

● نخست آنکه در دوره‌های نخستین، کیهان‌شناسی آمیخته با تفسیر انسان از جهان یا جهان‌بینی او بوده و همواره نگرش‌های مذهبی، اساطیری و آیینی در بیان ساختار کلی عالم و ویژگی‌های اولیه‌ی آن نقش داشته است.

● دوم آنکه عنوان مشخص و ویژه‌ای به نام کیهان‌شناسی یا فیزیک کیهان در نظریه‌های مربوط به سال‌های پیش از ۱۹۰۰ وجود نداشته و همواره کیهان‌شناسی به عنوان زیرشاخه‌ای از نجوم و ریاضیات که میراث یونانیان باستان است؛ مطرح بوده است.

شاید بتوان گفت قدیمی‌ترین دوره‌ی تفکر و تعمق در چیستی و چونگی کیهان که مربوط به سال‌های ۱۱۰۰ تا ۱۷۰۰ قبل از میلاد مسیح می‌باشد؛ کیهان‌شناسی بابلی است؟؟

در این دوره و دوره‌های بعد تا پیش از نظریه خورشیدمرکزی آستارخوس، پندار منجمان برپایه‌ی زمین مرکزی استوار بود و زمین را معلق در کیهان متصور می‌شدند. و نظریه‌ی فلک‌های دوار و ناحیه‌های مکمل یکدیگر در فضا: همچون زمین، آب، هوا، آتش و اتر؛ رواج داشت.

شاخصه‌هایی چون ایستایی زمین، کیهانی متناهی در مکان و نامتناهی در زمان و یا وجود افلاک سنگی دربرگیرنده‌ی ستارگان در ورای فلک زمین ... از مشخصه‌های آن دوران است؟؟

پس از این دوران و تا پیش از ۱۹۰۰ میلادی؛ یعنی از قرن دوم پس از میلاد تا ۱۷۵۵، با غالب شدن نظریه خورشیدمرکزی و وارد شدن مکانیک به حوزه‌ی نجوم که توصیف حرکت انتقالی زمین و سیارات به دور خورشید یا همان جرم سنگین‌تر را ممکن ساخت؛ درحقیقت تصور زمین مرکزی جای خود را به منظومه‌های ستاره‌ای در کیهان داد، که این آغازی بر کیهان‌شناسی غیرسلسله مراتبی و توصیف ساختار بزرگ مقیاس کیهانی بود.؟؟

شایان ذکر است که در محدوده‌ی قرن‌های نهم و پانزدهم میلادی که معروف به دوران طلایی اسلامی است، شاهد شکوفایی خوب دانشمندان ایرانی - اسلامی در زمینه‌ی نجوم و کیهان‌شناسی هستیم.؟؟

؟؟و همچنین خواجه نصیرالدین طوسی که گواه تجربی بر چرخش زمین به دور محور خویش ارایه می‌کند.؟؟البته

درین بین از گزارش رصد کهکشان آندرومدا و ابر ماژلانی بزرگ توسط عبدالرحمن صوفی در سال ۹۶۴ میلادی، نیز

نمی‌توان گذشت.

در دسته‌بندی روند تاریخی رشد نظریات کیهان‌شناسی می‌توان گفت قرن نوزدهم تیغی جداکننده‌ی نگرش مبتنی بر پیش‌گویی‌های صرفاً نظری با نگرش مبتنی بر استدلال علمی و ریاضیاتی جهت تفسیر مشاهدات رصدی است؛ که درحقیقت با کمک پیشرفت ابزار رصدی و مشاهداتی حاصل شد.

آلبرت اینشتین و نسبیت خاص و عام او در آغاز قرن نوزدهم، نظریات نوینی را مبتنی بر هندسه‌ی فضا-زمان در حوزه‌ی کیهان‌شناسی پی‌ریزی کرد. او نشان داد که چگالی انرژی فضا-زمان را منحرف می‌کند. انبساط کیهان که برخلاف نظریه‌ی کیهان متناهی یونانیان باستان است؛ در این سال‌ها با کمک حل‌های معادله‌ی اینشتین و همچنین پیش‌بینی هابل^۱ از رابطه‌ی خطی انتقال به سرخ و فاصله‌ی کهکشان‌ها؛ به اثبات رسید.

ازجمله رویدادهای مهم این سال‌ها تا پیش از ۱۹۴۸ و پیش‌بینی تابش زمینه‌ی کیهانی^۲، می‌توان به پیشنهاد وجود ماده تاریک در ۱۹۳۳ توسط ژوئیکی^۳ اشاره کرد که البته تا سال ۱۹۷۰ تقریباً نادیده گرفته شد.؟؟
پیش از پرداختن به تابش پس زمینه‌ی کیهانی، که در حقیقت مقدمه‌ای برای شروع کیهان‌شناسی مدرن در آغاز قرن نوزدهم شد؛ بایسته است در پایان این مرور مختصر تاریخی به جمع‌بندی اجمالی نظریات در زمینه‌ی ماهیت کیهان در طول رشد این تئوری‌های کیهان‌شناسی در بستر زمان بپردازیم:

- دوره‌ی سال‌های پیش از میلاد مسیح تا اواخر قرن شانزدهم پس از میلاد را با توجه به نگرش زمین مرکزی آن روزگار
⇐ دوره‌ی زمین مرکزی

- دوران مابین قرن هفدهم تا اوایل قرن نوزدهم میلادی را با توجه به مشاهدات رصدی فراتر از منظومه‌ی شمسی و پذیرفتن سیستم‌های ستاره‌ای در کیهان و همچنین اطلاق مجموعه‌های کهکشانی به آنچه پیش از آن سحابی نامیده می‌شد ⇐ دوره‌ی کهکشانی

- و در نهایت دوران ما که از اوایل قرن نوزدهم تا کنون ادامه دارد و مبتنی بر کیهان‌شناسی محاسباتی برپایه‌ی ابزار رصدی قدرتمند و درحال پیشرفت جهت ارایه‌ی کیهان در قالب یک نقشه‌ی کیهانی درست و دقیق می‌باشد
⇐ دوره‌ی کیهانی
می‌توان نام نهاد.

^۱Edwin Hubble

^۲CMB:cosmic microwave background radiation

^۳Fritz Z

۱-۲-۱ تابش زمینه‌ی کیهانی

کشف ریز موج زمینه‌ای کیهان در واقع دوره‌ی کیهان‌شناسی دقیق را پی‌ریزی کرد؛ که اغلب از آن به کیهان‌شناسی مدرن یاد می‌شود. به لحاظ تاریخی می‌توان گفت کشف تابش زمینه‌ی کیهانی به طور کاملاً تصادفی و در جریان آزمایش دو مهندس به نام‌های پنزیاس^۴ و ویلسون که مشغول ساخت آنتن رادیویی بودند؛ صورت گرفت. اما پیش‌بینی تئوری آن به دهه ۱۹۴۰ برمی‌گردد.

در آن زمان در ادامه‌ی تحقیقات آلفر، بته و ژرژ گاموف در راستای سنتز هسته‌ای اولیه‌ی کیهانی، آلفر و هرمن^۵ نظریه انفجار بزرگ را مطرح کرده بودند (البته این نام بعداً بر آن گزاریده شد) و نشان دادند که اگر عالم از یک انفجار بزرگ اولیه آغاز شده باشد اکنون باید یک تابش زمینه‌ای در همه جای آن داشته باشیم.

این ادعا که از تمام جهات کیهان، دریافت فوتون‌های تابشی اولیه صورت می‌گیرد؛ مبتنی بر اصل کیهان‌شناخت یا همان همسان‌گردی در مقیاس کیهان‌شناسی است. این اصل که از مفاهیم اساسی و اولیه در ورود به کیهان‌شناسی است؛ بیان می‌کند:

«عالم ما در فاصله‌های بیش از $100 \mu pc$ همگن و همسان‌گرد است و هیچ جهت مرجحی در کیهان وجود ندارد».

بر پایه‌ی این اصل است، که می‌توان گفت، سطح آخرین پراکندگی^۶ یعنی آخرین باری که فوتون‌های تابشی از ماده پراکنده شده‌اند؛ یک کره است؛ که ناظر در مرکز آن است و ما می‌توانیم تابش زمینه‌ی کیهانی را از سراسر کیهان رصد کنیم.

جهانی که در پشت این سطح قرار گرفته از دید ما جهان کدری است و اهمیت مطالعه‌ی تابش زمینه‌ی کیهانی نیز در همین نکته نهفته است. به بیان بهتر همانند خورشید که ما تنها قادر به رویت سطح آن هستیم و از طریق مطالعه سطح و تاج خورشیدی به سازوکار مرکزی آن پی می‌بریم؛ با مطالعه‌ی تابش زمینه نیز، اطلاعات فراوانی در رابطه با کیهان در ورای فوتون‌های تابشی آخرین سطح پراکندگی پی خواهیم برد.

اما درک فیزیک تابش زمینه‌ای کیهان، نیازمند تلفیق دانش ذرات بنیادی و گرانش، جهت شناخت ریز موج‌ها و رفتار فوتون‌های تابشی پس از انفجار بزرگ می‌باشد.

تابش زمینه؛ جسم سیاه کلاسیک بر اساس مدل مه‌بانگ، جهان آغازین بسیار داغ و چگال بوده است. این دو ویژگی یعنی چگالی و دمای بالا طی فرآیندهای هسته‌زایی منجر به ساخت عناصر سبک اولیه همچون هیدروژن گشته است. درحقیقت آنچه ما تابش زمینه‌ی کیهان می‌نامیم ناشی از فوتون‌های انرژی آزاد شده، از این فرآیندهای هسته‌ای می‌باشد.

۴

۵

۶ LSS: Last Scattering Surface

این فوتون‌های نخستین در اثر انتقال به سرخ (انبساط کیهانی) از تابش فوتونی γ به تابش ریز موج با دمای $T = 2/7255 \pm 0/0006 K$ مبدل شده است.

تعداد این فوتون‌های نخستین به مراتب بالاتر از دیگر اجزای تشکیل دهنده کیهان و باریون‌ها بوده است.^۷ می‌توان گفت تابش زمینه کامل‌ترین نمونه‌ی تابش جسم سیاه در طبیعت است؟؟ و مطابقت بسیار بالایی با طیف تابش جسم سیاه دارد. دلیل این امر همان تعادل گرمایی یا هم‌دمایی است؛ که درحقیقت هم‌چون کاواک، مثال کلاسیک جسم سیاه، که برخوردهای متعدد تابش فرودی به دیواره‌های جعبه در نهایت منجر به هم‌دمایی داخل جعبه با پرتو فرودی می‌شود؛ در اینجا نیز برهم‌کنش‌های نخستین، که از جنس پراکندگی کامپتون هستند، برخوردهای زیادی را به دنبال خواهد داشت که هم‌دمایی تابش را نتیجه می‌دهد. البته این هم‌دمایی تا محدوده‌ی $10^7 Z \sim$ است!!!! اما این هم‌دمایی در اثر انبساط کیهان نیز از بین نمی‌رود؛ تابع توزیع فوتون‌های تابشی را بر اساس آمار بوز-اینشتین در نظر بگیرید:

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E}{KT}} - 1} \quad (1-1)$$

$$E = h\nu \text{ و } a = -1$$

چگالی فضای فازی که انرژی E دارند. بر اساس اینکه در انتقال به سرخ پس از 10^7 هستیم، پس سازوکارهای خلق و فناء فوتون‌ها در این زمان دیگر مؤثر نیست و تعداد فوتون‌ها ثابت است:

$$n(\nu) = \Lambda \pi \nu^2 f(E)$$

و همچنین بر اساس قضیه‌ی لیوویل که بیان می‌کند، حجم فضای فاز ثابت است؛ یعنی المان حجم تحت تبدیل مختصات ثابت است.

$$d\Omega = d\dot{\Omega}$$

که درحقیقت با توجه به معادله‌ی حرکت

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\{H, \rho\}$$

پس

^۷ در حدود 10^{10} برابر چگالی باریون‌ها

۱-۳ کیهان‌شناسی محاسباتی

همان‌طور که گفته شد، تا پیش از کشف تابش زمینه‌ی کیهانی، از کیهان‌شناسی به عنوان مجموعه‌ای از پیش‌گویی‌های محض تئوری یاد می‌شود؛ این در حالی است که پس از آن با در نظر گرفتن قوانین ترمودینامیکی حاکم بر شرایط تعدلی اولیه

توضیحات: تعریف الزام‌آمار و شبیه‌سازی

یک کیهان بیشتر ...

فراوانی داده‌ها

ماهیت تصادفی

اما پیش از بررسی اهداف و چالش‌های اصلی در کیهان‌شناسی محاسباتی، لازم است مرور مختصری به مدل‌های ساختار کیهانی و توصیف هندسی عالم بپردازیم.

۱-۴ ساختار هندسی عالم

مدل‌های ساختار کیهانی

FRW مدل استاندارد

۱-۵ چالش‌های اصلی در کیهان‌شناسی محاسباتی

سن عالم

از چالش‌های اساسی و مورد علاقه‌ی کیهان‌شناسان، تخمین سن کیهان است. می‌توان گفت که مقدار ثابت کیهان‌شناسی برای سن، تحول و آینده کیهان بسیار مهم و پرمعناست. ثابت کیهان‌شناسی پایین، سن کیهان را بیشتر از آنچه مقدار بالای آن رقم می‌زند؛ بیان خواهد کرد. برای مثال مقدار عددی 100 km/s ؛ برای این ثابت، کیهانی در حدود $6/5$ تا $8/5$ بیلیون سال تخمین می‌زند و این درحالی است که عدد 50 km/s سن عالم را 13 تا $16/5$ بیلیون سال رقم می‌زند. البته توجه داریم که این مقدار تقریبی به سبب مقدار تخمینی چگالی متوسط ماده و کاهش سرعتی که در اثر این تطابق بوجود می‌آید، صورت گرفته است. !!!!

کیهان نخستین

تشکیل ساختار بزرگ مقیاس

یکی از مباحث مهم در کیهان‌شناسی نوین چگونگی تشکیل و تحول ساختارهای کیهانی یا همان ساختارهای بزرگ مقیاس در کیهان است. اگر در دوره‌ی هابلی بخواهیم ساختارهای بنیادی عالم را بررسی کنیم به کهکشان‌ها به عنوان بلوک‌های بنیادی ساختار کیهانی میرسیم که مطالعه فاصله انتقال به سرخ آن‌ها، چگالی موضعی، خوشه‌گی و دیگر خصوصیات دینامیکی و آماری آن‌ها پس از ورود به دوره‌ی نوین علم کیهان‌شناسی همواره چالشی پیش‌رو و حائز اهمیت بوده است. برای نیل به این مقصود یعنی شناخت تشکیل ساختار بزرگ مقیاس کیهانی،...

۱-۶ تحلیل و پردازش داده‌های کیهانی

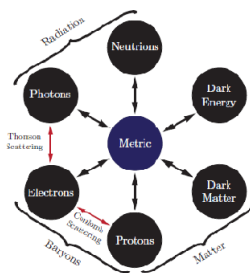
۱-۶-۱ کیهان؛ بزرگ‌ترین آزمایشگاه

داده‌های آماری؛ حاصل ماموریت‌های فضایی و شبیه‌سازی‌های تئوری پرتاب ماهواره‌های فضایی جهت جمع‌آوری داده‌های کیهانی در حوزه‌ی نجوم رادیویی ...

۱-۶-۲ معادلات بولتزمن

پیش از معرفی مجموعه معادلات بولتزمن و بررسی آن‌ها؛ لازم است به این نکته بپردازیم که اساساً چرا در بررسی داده‌های کیهانی از معادلات تحول و یا همان معادلات جفت‌شده‌ی بولتزمن استفاده می‌شود؟ کیهان اولیه بسیار چگال و داغ بوده و همین امر باعث برهم‌کنش بسیار اجزای گوناگون تشکیل دهنده‌ی آن می‌باشد؛ بنابراین فوتون‌ها و باریون‌ها که از اجزای اصلی لحظات آغازین شکل‌گیری جهان‌اند، نیز به شدت باهم برهم‌کنش دارند.

فوتون‌ها تحت تأثیر الکترون‌های آزاد دچار پراکندگی کامپتون بوده و علاوه بر این خود الکترون‌ها با پروتون‌ها نیز برهم‌کنش دارند، که به لحاظ تعداد نقاط و انرژی و ژئودزی مرتباً تغییر و دگرگونی در ذرات اولیه‌ی عالم به وقوع پیوسته است. تمام‌ی این‌ها، هم فوتون‌ها و هم الکترون‌ها، باریون‌ها و... تحت تأثیر گرانش می‌باشند. در دو شکل زیر این ارتباطات به خوبی به نمایش درآمده است:



شکل ۱-۱: ارتباط نیروی گرانش با برهم‌کنش‌های کیهان اولیه

بنابراین تأثیر اختلال‌های متریکی بر فوتون‌ها و برهم‌کنش فوتون‌ها و باریون‌ها؛ از جمله مواردی است که در هنگام بررسی معادلات تحول در نظر گرفته می‌شود. از سویی دیگر، بررسی متریک مختل شده، عناصر تشکیل دهنده‌ی کیهان همچون نوترینو‌ها و ماده تاریک را هم در بر می‌گیرد. و هم چنین نیروی گرانش نیز در تمامی موارد گفته شده موثر است. بر پایه‌ی این نکات اگر خواستار بررسی تحول توزیع ماده و انرژی در ابتدای کیهان، با توجه به مدل‌های ساختار

کیهانی و متریک فضا-زمان در آن ساختار باشیم؛ ناگزیریم که تمامی معادلات گفته شده را در نظر بگیریم. یک روش آماری متداول برای بررسی اثرات تمامی این معادلات جفت شده، استفاده از معادلات بولتزمن است. شکل انتگرال گیری نشده ی آن عبارت است از:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = C[f] \quad (1-2)$$

سمت راست این معادله در برگیرنده ی تمام پارامترهای مورد برهم کنش شامل: توابع پیچیده ای از تابع توزیع های عناصر گوناگون در کیهان یعنی فوتون ها، الکترون ها، پروتون ها، نوترینو ها و ماده تاریک... می باشد؛ که البته این ترم در غیاب برهم کنش صفر خواهد بود.

۱-۶-۳ مساحی آسمان

۱-۶-۴ نتایج پلانک ۲۰۱۵