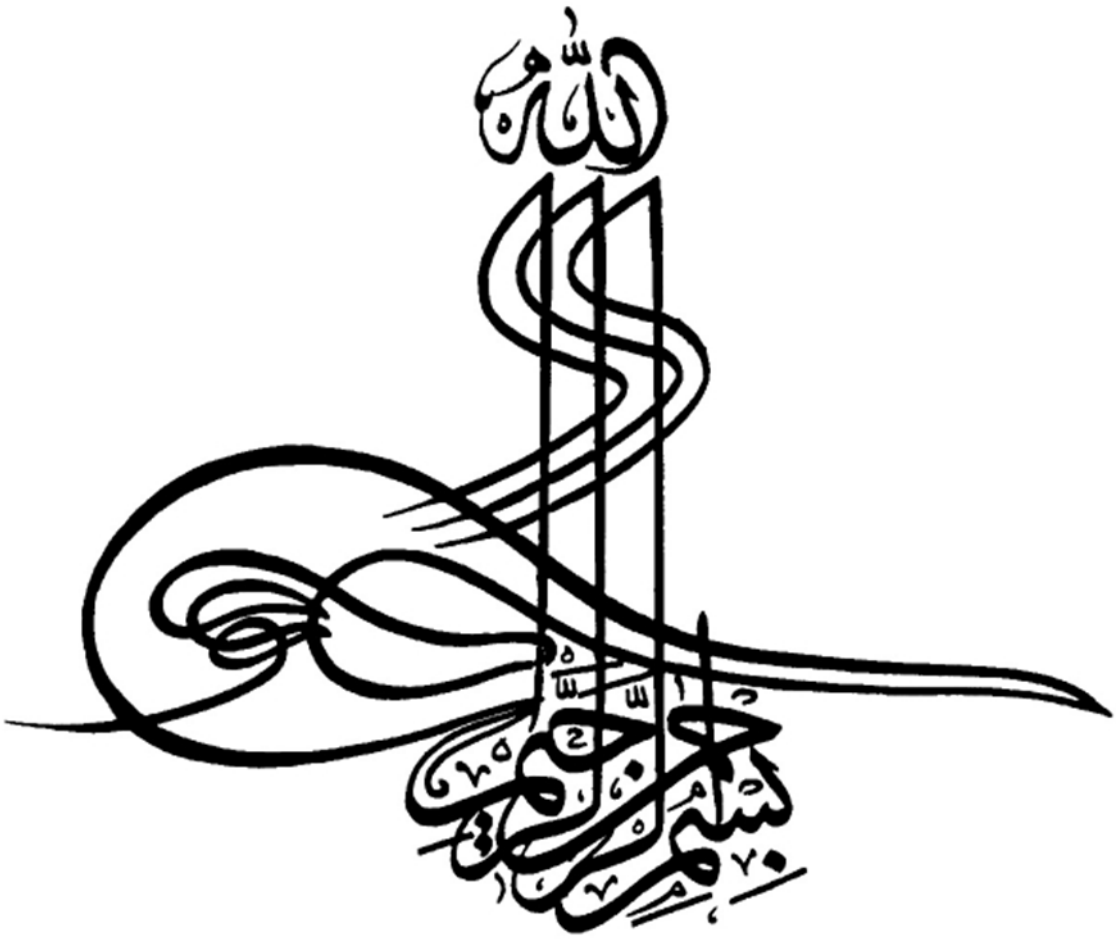
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

باسمه تعالی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب دیدار اسمعیل وندی متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است. دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع ودر فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان مدرک تحصیلی صادر توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه ی حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

دیدار اسمعیل وندی

دانشکده علوم پایه

بررسی خصوصیت یک مدل گرانش با ثابت ساختار ریز متغییر

نگارش

دیدار اسمعیل وندی

استاد راهنما: دکتر یوسف فرزان نهاد

استاد مشاور:دکتر رضا رشیدی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک شاخه گرانش

اسفند ۹۲

شماره: ۸۶۳/۱۴
تاریخ: ۹۳/۳/۱۸
پیوست: .....

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای دیدار اسمعیل وندی رشته فیزیک گرانش تحت عنوان «بررسی خصوصیات یک مدل گرانشی با ثابت ساختار ریز متغیر» در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی برگزار گردید و نتیجه به شرح ذیل می‌باشد.

☒ قبول (با درجه ..... امتیاز ۱۸.) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود

۱. عالی (۲۰-۱۹)
۲. بسیار خوب (۱۸،۹۹-۱۸)
۳. خوب (۱۷،۹۹-۱۶)
۴. قابل قبول (۱۵،۹۹-۱۴)
۵. غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر یوسف فرزان نهاد	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر رضا رشیدی	استادیار	
داور داخلی	دکتر فاطمه احمدی	استادیار	
داور خارجی	دکتر مرتضی محسنی	استاد	
نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر فاطمه احمدی	استادیار	

دکتر ایوب اسماعیل پور
رئیس دانشکده علوم پایه

تهران، لویزان، کد پستی:۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش مخصوص خدایی است که کیهان را طوری پایه گذاری کرد که عظیم ترین دوربین ها از رسیدن به عمق کیهان و کیهانشناسان در درک آن ناتوانند. بی شک دانش و معرفت و رسیدن به جایگاه والای انسانی ارزشمند ترین هدف انسان و تنها تفاوت انسان با دیگر حیوانات است. در این میان نقش اساتید و دانشمندان آگاه از نقش پیامبران کمتر نیست. این جانب بر خود واجب می دانم از کلیه ی عزیزانی که در طی این دو سال مرا تحمل کرده و با روی باز پذیرای کاستی هایم بوده اند تقدیر و تشکر نمایم. به ویژه استاد گرانقدر و فرهیخته جناب آقای دکتر یوسف فرزان نهاد که زحمت استاد راهنمای این پایان نامه را بر عهده داشتند و با راهنمایی های دقیق و بجا مرا یاریگر بودند. همچنین از استاد دکتر رضار رشیدی که زحمت استاد مشاوری را بر عهده داشتند و با صبر و حوصله پاسخگوی مشکلات بوده اند ممنون و سپاسگزارم.

چکیده

ما چگونگی تغییرات زمانی ثابت ساختار ریز در طی مرحله ی اولیه عالم و زمان های پایانی سلطه ی انرژی جنبشی میدان نرده ای، تابش، غبار، خمیدگی و ثابت کیهانشنای را مورد بحث و بررسی قرار می دهیم و نشان می دهیم که در مرحله اولیه خلا تا زمان کنونی ثابت ساختار ریز چگونه تغییر کرده است. در جهانی همانند جهان ما ثابت ساختار ریز در طی عصر تابش ثابت می ماند و در عصر غبار به آرامی و متناسب با یک قاعده ی لگاریتمی با زمان کیهانی افزایش می یابد. اگر عالم پس از آن دارای یک خمیدگی ثابت و منفی و یا دارای یک ثابت کیهانشناسی ثابت و مثبت باشد ثابت ساختار ریز به سرعت به یک مقدار ثابت میل می کند. وجود یک دوره تورم دسیتری یا تورم با قاعده ی توانی باعث می شود تا ثابت ساختار ریز به یک مقدار ثابت برسد..

واژگان کلیدی: ثابت های بنیادی –نظریه های تانسوری-نرده ای-کیهانشناسی-– ثابت ساختار ریز- معادلات اینشتین.

فهرست

فصل اول

مقدمه ای بر تغییر ثابت های بنیادی فیزیک ۱

۱-۱ فرضیه اعداد بزرگ ۲

۱-۲ نظریه ی برنز-دیک ۶

فصل دوم

۲-۱نسبیت عام وکیهانشناسی ۱۰

۲-۲تانسور انرژی- تکانه ۱۳

۲-۳ قانون پایستگی انرژی ۱۶

۲-۴ معادلات اینشتین ۱۷

۲-۵ کیهان شناسی استاندارد ۲۲

فصل سوم

ارائه ی یک مدل گرانشی برای تغییرات ثابت ساختار ریز ۲۹

۳-۱بررسی تغییرات ثابت ساختار ریز ۳۰

۳-۲ عصر سلطه ی غبار: ۳۸

۳-۳ عصر سلطه تابش ۴۲

۳-۴ دوره ی سلطه ی خمیدگی ۴۸

۳-۵عصر ی ثابت سلطه کیهانشناسی ۵۱

۳-۶جهان های تورمی ۵۳

۳-۷ مراحل اولیه ی عالم ۵۵

فصل چهارم

بحث و نتیجه گیری و مشاهدات ۵۸

۴-۱ بحث و بررسی نتایج مراحل پنجگانه ی فصل سوم ۵۹

۴-۲ اثرات تغییرات ثابت ساختار ریز بر پایداری مولکول ها ،اتمها و هسته ها ۶۲

۴-۳ نتایج مشاهدات تلسکوپ VLT برای تغییرات ثابت ساختار ریز ۶۵

۴-۴حدود تغییرات ثابت ساختار ریز با پتانسیل گرانشی در طیف کوتوله های سفید ۶۷

پیوست الف ۷۱

محاسبه ی ضرایب کریستوفل: ۷۱

پیوست ب ۷۷

جدول تغییرات α ۷۴

مراجع و ماخذ ۷۵

فهرست شکل و جدول

شکل۲-۱دسته بندی معادلات فریدمن.....۲۶

شکل ۳-۱نمودار تحول عددی ψ درعصرغبار.....۴۲

شکل۳-۲نمودار تحول عددی ψ در عصر تابش.....۴۸

شکل۳-۳ نمودار تحول عددی ψ در عصر **درخمیدگی**.....۵۱

شکل۳-۴ نمودار تحول عددی ψ در عصر ثابت کیهانشناشی.....۵۲

شکل۴-۱ نمودار تحول عددی α بر جسب زمان کیهانی در عصر غبار.....۶۴

شکل۴-۲ نمودار $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ بر حسب Q_α ۷۰

جدول تغییرات α.....۷۴

فهرست پیوستها

پیوست الف: محاسبه ی ضرایب کریستوفل.....۷۰

پیوست ب: جدول تغییرات α.....۷۴

مقدمه

ثابت های فیزیکی مفاهیم ناشناخته ای برای ما نیستند. در هنگام مطالعه ی قانون های طبیعت ما به اعداد ثابت و بدون یکایی که با این قوانین در ارتباط هستند بر می خوریم. یکی از سوالات مهم که در حوزه ی فیزیک نظری حائز اهمیت می باشد این است که آیا ثابت های بنیادی در مراحل تحول عالم ثابت هستند یا این که در طول تحول عالم تغییر یافته اند. نظریه های مختلفی مانند نظریه ابر ریسمان هستند که این تغییرات را پیش بینی می کنند. بنابراین ارائه ی مدل هایی که این تغییرات را بررسی می کنند در حوزه ی فیزیک نظری حائز اهمیت می باشند. یکی از مسائلی که کیهانشناسان در تلاش های خود برای بررسی نتایج نجومی تغییرات زمانی ثابت ساختار ریز با آن مواجه شده اند عدم وجود یک نظریه دقیق بوده است که مدل های کیهانشناسی در حضور تغییر ثابت ساختار ریز را توضیح دهد. تا همین اواخر امکان تجزیه و تحلیل رفتار تغییر α کیهانی در روشی که بتواند جهان را همانند تغییر ثابت گرانشی G در نظریه برنز- دیک یا بیشتر نظریه های تانسوری- نرده ای در گرانش توضیح دهد وجود نداشته است. [۷]

مشاهدات اخیر انگیزه ای برای تدوین و بررسی جزئیات تغییر ثابت ساختار ریز کیهانی را ایجاد کرده است. مشاهدات چندگانه ای که در نقاط مختلف زمین روی انتقال به سرخ کوازارها انجام شده است. در این مشاهدات برای اولین بار شواهدی ارائه داده است که نشان می دهد ثابت ساختار ریز ممکن است با زمان کیهانی تغییر کند.[۱۵]

در سال ۱۹۹۹ شواهدی از طیف جذبی کوازارها بدست آمد. که نشان می داد ثابت ساختار ریز ممکن است در گذشته مقدار کمتری داشته باشد.[۱۰,۱۳,۱۵,۳۰]

البته این ایده که ثابت ساختار ریز با زمان کیهانی تغییر می کند اولین بار درسال ۱۹۴۸ مطرح شد [۲۷,۲۸,۲۹]. جورج گاموف همانند دیراک که نشان داد ثابت گرانشی با زمان کیهانی رابطه ی عکس دارد و پیشنهاد کرد که تغییر ثابت ساختار ریز با زمان کیهانی به صورت $\alpha \propto (\ln t)^{-1}$ است. [۳۳]

در این نوشتار بار الکتریکی را با یک میدان نرده ای بدون جرم را در نظر می گیریم سپس چگونگی تغییر این میدان نرده ای را در دوره های غبار، تابش،خمیدگی، ثابت کیهانشناسی مورد بحث و بررسی عددی قرار می دهیم. در فصل اول مقدمه ای بر کار هایی که در زمینه ی تغییرات ثابت های مختلف فیزیکی شده است آورده ایم. در فصل دوّم مروری داریم بر نسبیت عام و کیهانشناسی استاندارد، در فصل سوم با توجه به مدل گرانشی ارائه شده معادلات کیهانشناسی مدل را بدست آورده و به بحث و بررسی این معادلات در دوره های مختلف کیهانشناسی پرداخته ایم. در فصل چهارم به بررسی نتایج بدست آمده از مدل و مشاهدات صورت گرفته پرداخته ایم.

فصل اول

مقدمه ای بر تغییر ثابت های بنیادی فیزیک

۱-۱ فرضیه اعداد بزرگ

فیزیک پر از یکاهای مختلف وکمیت های با اندازه های متفاوت است. که بطور تجربی تعیین شده اند بعضی از ثابت ها مانند ثابت گرانشی (G) بار الکترون (e) و غیره در شکل گیری قوانین فیزیک اهمیت خاصی دارند. اندازه ی این اعداد به یکای مورد استفاده بستگی دارد. بدیهی است که خود این اعداد اهمیت خاصی را بیان نمی کنند. اما ترکیب بعضی از این ثابت های فیزیکی یکا ندارند و اهمیت ویژه ای در فیزیک دارند. مانند ترکیب بار الکترون، سرعت نور در خلا و ثابت پلانک که به صورت زیر نوشته می شود[۲۳,۱۷]:

$$\frac{\hbar c}{e^{۲}} = ۱۳۷/۰۳۶۰۲ \qquad ۱-۱$$

در این رابطه $\hbar$ ثابت پلانک، c سرعت نور در خلا و e بار الکتریکی الکترون است. این کمیت در تمام یکاهای فیزیکی مقدار یکسانی دارد، پس بایستی دارای اهمیت ویژه ای باشد. عکس این عدد به ثابت ساختار ریز (α) معروف است. این عدد شدت برهمکنش الکترومغناطیسی نشان می دهد. حال اعداد بدون یکای دیگری را بررسی می کنیم[۲۳,۱۷].

$$F_e = \frac{e^{۲}}{۴\pi\varepsilon_{۰} r^{۲}} \qquad ۲-۱$$

$$F_g = G\frac{m_e m_p}{r^{۲}} \qquad ۳-۱$$

$$N_{۱} = \frac{F_e}{F_g} = \frac{e^{۲}}{۴\pi\varepsilon_{۰} G m_e m_p} \simeq ۱۰^{۴۰} \qquad ۴-۱$$

F_e نیروی الکتریکی بین الکترون و پروتون، F_g نیروی گرانشی بین الکترون و پروتون است. m_e ,m_p به ترتیب جرم پروتون، جرم الکترون G ثابت گرانشی ε_0 گذردهی الکتریکی خلا، r فاصله ی بین الکترون و پروتون است. این ثابت (N_1) شدت نسبی نیروهای الکتریکی و گرانشی بین الکترون و پروتون را بیان می کند و همانند ثابت ساختار ریز بیان کننده یکی دیگر از ویژگی های طبیعت است. عدد بدون بعد دیگری را در نظر می گیریم، این عدد نسبت مقیاس طول مربوط به عالم(R) و طول وابسته به الکترون(r) است [۲۳,۱۷].

$$R = \frac{c}{H_0} \qquad ۵-۱$$

$$r = \frac{e^2}{m_e c^2} \qquad ۶-۱$$

$$N_2 = \frac{R}{r} = \frac{m_e c^3}{e^2 H_0} \simeq 10^{40} \qquad ۷-۱$$

در این رابطه H_0 ثابت هابل است. سومین عدد بزرگ که اهمیت ویژه ای در فیزیک ذرات وکیهانشاسی دارد برابر تعداد نوکلئون های موجود در عالم است. اگر $\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$ چگالی بحرانی باشد تعداد ذرات در کره ای به شعاع $R = \frac{c}{H_0}$ برابر است با [۲۳]:

$$N_3 = \frac{4\pi}{3m_p}\left(\frac{c}{H_0}\right)^3 \frac{3H_0^2}{8\pi G} \simeq 10^{80} \qquad ۸-۱$$

با مقایسه این سه عدد می توانیم بنویسیم:

$$N_1 \simeq N_2 \simeq \sqrt{N_3} \qquad ۹-۱$$

دیراک در سال ۱۹۳۷ بیان کرد [۳۲] که N_2 و N_3 حاوی ثابت هابل هستند. پس اندازه هایی که از این فرمول ها بدست می آید بر حسب زمان کیهانی تغییر می کند. اما N_1 حاوی ثابت هابل

نیست پس تساوی N_1، N_2 و $\sqrt{N_3}$ بایستی تصادفی و مربوط به عصر حاضر باشد، مگر اینکه ثابت N_1 به گونه ای تغییر کند که این تساوی در تمام زمان ها برقرار باشد. این ایجاب می کند که یکی از ثابت های e, m_e, m_p و G در N_1 با زمان کیهانی تغییر کند. این استدلال بعداً به فرضیه ی اعداد بزرگ معروف شد [۳۱,۳۲,۳۳].

برای درک بهتر این فرضیه N_2 را به صورت مقیاس زمانی وابسته به عالم $T = \frac{1}{H_0}$ و زمان لازم برای آنکه نور شعاع الکترون را طی کند $t_e = \frac{e^2}{m_e c^3}$ در نظر می گیریم در فرضیه اعداد بزرگ هر عدد بدون بعد بزرگ در دوره ی کنونی را می توان به صورت $\left(\frac{T_0}{t_e}\right)^k$ بیان کرد که در آن k از مرتبه ی یک است. مساوی قرار دادن N_1 و N_2 با شرط فوق بیان می کند که $\frac{e^2}{G m_e m_p}$ با $(\frac{T_0}{t_e})^1$ تغییر می کند دیراک بین e, m_e, m_p و G تفاوت قائل شد. زیرا گروه اول (e, m_e, m_p) اتمی ولی G به ساختار بزرگ مقیاس عالم مربوط می شود. بنابراین طبق فرض دیراک اگر از یکای اتمی استفاده کنیم کمیت های اتمی ثابت هستند. در این صورت t_e ثابت و $G \sim T^{-1}$ تغییر خواهد کرد یعنی بر حسب یکای اتمی ثابت گرانشی باید بر حسب زمان کیهانی تغییر کند تغییرات زمانی ثابت گرانشی را می توان به صورت زیر نشان داد [۲۳,۱۷]:

$$\frac{\dot{G}}{G} = H \qquad ۱۰-۱$$

بدیهی است که تغییرات پیش بینی شده ثابت گرانشی در فرضیه اعداد بزرگ خلاف نظریه ی نسبیت عام اینشتین است که در آن G ثابت می باشد. پس بایستی معادلات نسبیتی را اصلاح کرد تا بتواند حاوی G متغیر باشد. دیراک دو مقیاس اندازه گیری یکی اتمی و دیگری مقیاس کیهانی که در گرانش

معتبر است، پیشنهاد کرد. اگر سیستم اتمی را انتخاب کنیم m_e, m_p, e ثابت هستند اما در این سیستم G متغییر است. زیرا این کمیت مربوط به فیزیک گرانش است. اما اگر از یکای گرانشی استفاده کنیم G ثابت و کمیت های اتمی متغییر خواهند بود. در فیزیک گرانشی پدیده های گرانشی با معادله ی زیر بیان می شوند[۲۳,۱۷]:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda = k T_{\mu\nu} \qquad 1-11$$

معرفی و بحث در مورد این معادله را به فصل دوم موکول می کنیم. در بیان دیراک می توان این دو یکا را با دو متریک فضا زمان مختلف نوشت. این دو متریک را d_A^2(متریک اتمی) و d_E^2(متریک گرانشی) برای سیستم های اتمی و گرانشی بر می گزینیم. به گفته ی دیراک در این دو متریک $(m_e)_A$، $(m_p)_A$ و G_E ثابت هستند. در حالیکه $(m_e)_E$، $(m_p)_E$ و G_A متغییر هستند. دراینجا E زیروند متریک اینشتین و A زیروند متریک اتمی می باشند. با نگاه به آزمون های نسبیت عام مشخص می شود که جرم جسم گرانشی که در حل شوارتس شیلد وجود دارد بایستی بر حسب یکاهای گرانشی ثابت باشد. این جرم را با M_E نشان می دهیم در هر اندازه گیری که روی زمین انجام می شود از سیستم های اتمی مانند طیف سنج ها و ساعت های اتمی استفاده می شود. قبل از آنکه هر نتیجه ای را تفسیر کنیم باید مطمئن باشیم که تمام کمیت های قابل مشاهده به یکای اتمی تبدیل شده اند. پس بایستی نسبت تبدیل دو یکا $\beta = \frac{ds_E}{ds_A}$ را بدانیم یعنی بدانیم که تبدیل هر کمیت فیزیکی از یک دستگاه به دستگاه دیگر چگونه انجام می شود. اگر فرض کنیم جرم جسم نجومی ما دارای N نوکلئون باشد و جرم هر نوکلئون برابر m_E باشد پس جرم کل جسم نجومی برابر است با[۲۳]:

$$M_E = N m_E \qquad 1-12$$

در این رابطه M_E ثابت ولی m_E متغییر است. بنابراین N تعداد ذرات تشکیل دهنده ی جسم نجومی بایستی قابل تغییر باشد پس بحث دیراک به آفرینش و یا نابودی ذرات در جسم نجومی نیاز دارد.

۱-۲ نظریه ی برنز-دیک

نظزیه ی نسبیت عام یک نظریه تانسوری است به این معنی که تانسور متریک به تنهایی به عنوان یک میدان دینامیکی در معادلات میدان اینشتین ظاهر می شود. در نظریه های نرده ای – تانسوری این نقش بین تانسور متریک و یک میدان نرده ای تقسیم می شود در این گونه نظریه ها هندسه فضا-زمان توسط متریک فضا-زمان و یک میدان نرده ای توصیف می شود مهمترین این نظریه ها نظریه ی است که در در سال ۱۹۶۱ ارائه شد[۲۶]. این نظریه به عنوان تعمیمی بر مبنای اصل ماخ برای نظریه ی نسبیت عام اینشتین است. کنش این نظریه به شکل زیر نوشته می شود[۲].

$$S = \frac{۱}{۱۶\pi}\int d^{۴}x\sqrt{-g}\left[\varphi R - \frac{\omega}{\varphi}g^{\mu\nu}\nabla_{\varphi}\varphi\nabla_{\nu}\varphi - \nu\left(\varphi\right)\right] + S^{(m)} \qquad ۱۳-۱$$

$$S^{m} = \int d^{۴}x\sqrt{-g}L^{m} \qquad ۱۴-۱$$

که در آن $S^{(m)}$ کنش ماده و ω یک پارامتر بدون بعد است. در کنش فوق ماده به طور مستقیم با φ جفت نشده است چون لاگرانژین $L^{(m)}$ مستقل از φ است. اما φ به طور مستقیم با تابع ریچی جفت می شود میدان گرانشی به وسیله ی تانسور $g^{\mu\nu}$ و تابع نرده ای φ توصیف می شود. این و دمای مربوط به سیستم دینامیک سیستم را تشکیل می دهد. تابع $V\left(\phi\right)$ ، تعمیم طبیعی ثابت کیهانشناسی است و ممکن است مقدار ثابت یا یک جمله ی جرمی را تشکیل دهد[۲].

در فیزیک کمیت های دارای بعد در یکاهای مختلف مقادیر متفاوتی دارند بنابراین و با توجه به فرضیه ی اعداد بزرگ مبنایی برای ثابت ماندن جرم ذرات در عالم در حال تحول وجود ندارد. بنابراین

چگونه می توان دو جرم که در نقاط مختلف فضا که درحال تحول هستند را با هم مقایسه کرد. بایستی به دنبال یکای مستقلی باشیم تا بتوانیم افزایش و کاهش جرم را نسبت به آن اندازه گیری کنیم. این یکا را یکای گرانی یعنی جرم پلانک تعریف می کنیم [۲۳].

$$m_p = \left(\frac{\hbar c}{G}\right)^{\frac{1}{2}} = ۲/۱۶ \times ۱۰^{-۸} \qquad ۱۵-۱$$

کمیّت $\chi = m\left(\frac{G}{\hbar c}\right)^{\frac{1}{2}}$ که یک کمیّت بدون یکا است و در تمام یکاهای اندازه گیری دارای مقدار یکسانی است. اگر از یکای اتمی استفاده کنیم تغییر χ تعیین می کند که ثابت گرانشی G در حال تغییر است. این نتیجه گیری است که برنز-دیک در رهیافت به اصل ماخ به آن رسیدند. آنها در پی چارچوبی بودند که در آن ثابت گرانشی ناشی از ساختار عالم باشد بطوریکه G متغییر پیامد یک عالم ماخی متغییر باشد. اگر G به صورت عکس میدان نرده ای تغییر کند یعنی $G \sim \phi^{-۱}$ باشد در این صورت ϕ در یک معادله ی موج نرده ای صدق کند که چشمه ی این موج تمام ماده ی موجود در عالم است [۲۳].

$$\Box\phi = \frac{۸\pi}{(۲\omega + ۳)}T \qquad ۱۶-۱$$

در این رابطه T تریس تانسور انرژی-تکانه، $\Box$ عملگر موج است. آنها به معادله ی موج نرده ای که با چشمه های مادی برای ϕ انتظار می رفت رسیدند.

اگر در معادله ی ۱-۱۶ ثابت جفت شدگی خیلی زیاد شود($\omega \to \infty$) نظریه ی برنز-دیک به نظریه ی نسبیت عام تبدیل می شود. چون این نظریه علاوه بر تنسور $g_{\mu\nu}$ حاوی میدان نرده ای ϕ نیز می باشد به آن نظریه ی نرده ای-تانسوری گرانش می گویند [۲۳].

فصل دوم

نسبیت عام وکیهانشناسی