

مسئله تنظیم ظریف در کیهان‌شناسی معاصر، مسئله‌ای است که به نظر می‌رسد نیازمند تبیین است. تبیینی که برخی فیزیکدانان سرشناس برای آن ارائه داده‌اند، استفاده از استدلال آنتروپیک مبتنی بر چندجهانی است. در این مقاله پس از معرفی مفهوم چندجهانی، تنظیم ظریف و انواع آن و همچنین اصل و استدلال آنتروپیک، استدلال خواهد شد که به نظر نمی‌رسد تبیین این فیزیکدانان، هدف آنان را که ارائه توضیحی معقول برای تنظیم ظریف است، تأمین کند. در واقع، تبیین آنها مسئله تنظیم ظریف جدیدی را ایجاد می‌کند که یک مرحله پیش از تنظیم ظریف فعلی است. بنابراین خود، نیازمند تبیین است.

■ واژگان کلیدی:

تنظیم ظریف، چندجهانی، اصل آنتروپیک، استدلال آنتروپیک، کیهان‌شناسی

تنظیم ظریف واستدلال آنتروپیک مبتنی بر چندجهانی*

سعید معصومی

استادیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی
s_masoumi@sbu.ac.ir

۱. مقدمه

با بررسی ثوابت طبیعی، قوانین حاکم بر طبیعت و شرایط اولیه، به نظر می‌رسد که نوعی تنظیم ظریف^۱ برای به‌وجود آمدن حیات صورت گرفته است. تنظیم ظریف وضعیتی است که در آن گویی «قوانین، ثوابت و شرایط اولیه به‌گونه‌ای دقیق تنظیم یافته‌اند». ملاحظات فوق منجر به بروز نوعی استدلال و تبیین^۲ و اصولاً گونه‌ای از رویکرد به موضوعات در کیهان‌شناسی (و به‌طور کلی فیزیک نظری) شده که به استدلالات آنروپیک^۳ یا بررسی‌های آنروپیک شهرت یافته است.^۴

1. Fine Tuning
2. Explanation
3. Anthropic Principle

۴. پیش از کوپرنیک آنچه نظام غالب فکری را تشکیل می‌داد، نظام ارسطویی بود. ارسطو تصویری ارگانیکی از جهان داشت و قائل به طبایع موجودات بود «هر شیئی طبیعت، تمایل یا هدف خود را داشت... از آنجایی که طبیعت زمین به‌گونه‌ای بود که به سمت مرکز جهان کشیده می‌شد، نتیجه می‌شد که مرکز زمین خود، باید در مرکز جهان بوده و دارای شکل کروی باشد» (کوشینگ، ۱۹۹۸: ۱۸) در این میان، تغییر اصلی، ظهور هندسه فلکی جدید است که کوپرنیک پایه‌گذار آن بود. البته تاریخچه نظام خورشید مرکزی به عهد یونان باستان بازمی‌گردد و علی‌الظاهر اولین فردی که معتقد به این نظام شد، آریستارخوس است که «به سال ۳۱۰ قبل از میلاد» متولد شده است. (کستلر، ۱۳۷۸: ۴۲) وی معتقد بود که «...خورشید و ثوابت بی حرکت‌اند، لکن زمین به دور خورشید در گرد دایره‌ای می‌چرخد...». (کستلر، ۱۳۷۸: ۴۳؛ به نقل از ارشمیدس)

کوپرنیک اعتقاد بر تمایز اجرام سماوی و زمینی را کنار گذاشت و «اجرام سماوی را با زمین هم‌جنس» می‌پنداشت و قوانین مکانیک یکسانی را برای هر دو قائل بود. (برد، ۱۳۷۸: ۳۲) به این ترتیب ویژگی منحصر به فرد زمین در میان اجرام سماوی از بین رفت.

تغییری که کوپرنیک در دیدگاه رایج نسبت به جایگاه زمین (مکان زیست انسان) ایجاد کرد و بر اثر آن انسان و ویژگی‌هایش در نظریه‌های فیزیکی جدید نقشی نداشتند (یا تقریباً نقشی نداشتند)، منجر به ظهور اصلی شد که در آغاز اکثر تحقیقات علمی به‌عنوان پیش‌فرض یا اصل موضوع پذیرفته می‌شود. این اصل «اصل کوپرنیکی» است که می‌گوید «ما موضع مرجحی را در جهان اشغال نمی‌کنیم». (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۱)

در کیهان‌شناسی اصل کوپرنیکی را «اصل کیهان‌شناختی» می‌نامند. این اصل بیانگر آن است که جهان در همه‌جا یکسان است. البته باید توجه داشت که این اصل در مقیاس بسیار بزرگ به‌کار می‌رود، که در آن، ابعاد در حدود ۱۰^۸ تا ۱۰^۹ سال نوری، به‌عنوان کوچک‌ترین جزء در نظر گرفته می‌شود (همچون نقطه در نظریه مکانیک ذرات). (واینبرگ، ۱۹۷۲: ۴۰۷) «نکته اصلی در اصل کیهان‌شناختی این ادعا است که مشاهدات ما یکتا نیستند، بلکه نوعی‌اند». (بوندی، ۱۹۶۸: ۶۶)

طی دوران جدید، فیزیک همواره خواهان استقلال از ذهن بوده است، اما در دوران معاصر از حدود چهل سال پیش علاقه‌ای در کیهان‌شناسان به‌وجود آمده که پدیده‌هایی را که به‌طور سنتی در حوزه دانش فیزیکی هستند، به مجموعه‌ای از اندیشه‌ها ربط می‌دهند. این مجموعه بر اصل کیهان‌شناختی آنروپیک مبتنی است. (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۱)

نام آنتروپیک را براندون کارتر^۱ بر مجموعه شرایطی نهاد که در آن، گویی نوعی تنظیم ظریف صورت گرفته است.^۲

کوشش‌هایی عمدتاً از جانب فیزیکدانان صورت گرفته، تا با استفاده از اصل آنتروپیک و نوعی استدلال که به استدلال آنتروپیک معروف است و مبتنی بر فرضیه چندجهانی است، مسئله تنظیم ظریف تبیین گردد. در واقع سه نوع رویکرد به مسئله تنظیم ظریف وجود دارد:

۱. رویکرد اول رویکرد کسانی است که اصولاً تبیینی را برای این مسئله لازم نمی‌دانند مانند سوبر و کلی.^۳ (صفایی‌پور و دیگران، ۱۳۹۲)

۲. رویکرد دوم رویکرد کسانی است که این مسئله را نیازمند تبیین می‌دانند و تبیین آنها مبتنی بر وجود طراح و مدبری برای عالم است، مانند کرگ^۴ و کالینز.^۵ (صفایی‌پور و دیگران، ۱۳۹۲)

۳. رویکرد سوم رویکرد کسانی است که این مسئله را نیازمند تبیین می‌دانند، ولی مخالف تبیین گروه دوم هستند و مدعی آنها این است که تبیینی علمی و غیرالهیاتی برای مسئله دارند، که برای تبیین از استدلال آنتروپیک مبتنی بر چندجهانی استفاده می‌کنند، مانند ساسکیند.^۶ (ساسکیند، ۲۰۰۶)

در این مقاله با معرفی انواع چندجهانی، چیستی مفهوم جهان، اصل آنتروپیک ضعیف، اصل آنتروپیک قوی و استدلال آنتروپیک، در پی سنجش این امر هستیم که آیا استدلال آنتروپیک مبتنی بر چندجهانی فیزیکدانان تبیینی قابل قبول از مسئله تنظیم ظریف می‌دهد؟ به عبارت دیگر تمرکز اصلی این مقاله در مورد تبیینی است که رویکرد سوم

1. Brandon Carter

۲. کارتر نظر بوندی را که معتقد بود «تصادف اعداد بزرگ» را باید به‌عنوان شهادی برای معرفی نظریه‌های نامتعارف (مثلاً نظریه‌هایی که در آن قوانین بقا برقرار نیست) در فیزیک نظری تلقی نمود، به دیده قبول نمی‌نگرد و معتقد است که به جای ارائه فیزیکی بیگانه، باید فیزیک نظری متعارف را (در اینجا مهبانگ نسبییتی را) تبیین‌کننده جهان ابتدایی دانست. در نظر او فیزیک و کیهان‌شناسی می‌توانند مشاهدات مربوط به «تصادف اعداد بزرگ» را پیش‌بینی کنند، «اما این پیش‌بینی‌ها نیازمند استفاده از آن چیزی است که می‌توان آن را «اصل آنتروپیک» نامید، تا این نتیجه حاصل شود که آنچه انتظار مشاهده آن را داریم، بالاجبار با شرایط ضروری برای وجود ما، به‌عنوان ناظر، مقید گردد». (لانگر، ۱۹۷۴: ۲۹۱)

3. Sober & Kelly

4. Craig

5. Collins

6. Susskind

ارائه می‌دهد. ملاحظه خواهیم نمود که به نظر نمی‌رسد که این تبیین، پذیرفتنی باشد.

۲. چند جهانی

اعتقاد به وجود جهان‌های متعدد سابقه تاریخی بلندی دارد و می‌توان آن را در بیانات فیلسوفان یونان باستان یافت.^۷

با طرح اندیشه تورم کیهانی در قلمرو کیهان‌شناسی و ظهور مباحثی در حوزه گرانش کوانتومی، علی‌الخصوص نظریه ریسمان، از حدود سی سال پیش، فرضیه و پارادایم چندجهانی با استقبال زیادی مواجه شد. دو دلیل عمده برای این امر می‌توان ذکر کرد: اولین دلیل این است که در هر یک از این حوزه‌ها، مسئله جهان‌های متعدد به‌طور طبیعی ظهور کرد. دلیل دوم، به‌کارگیری ویژگی وجود چندجهانی به عنوان راهکاری برای حل مسئله تنظیم ظریف است.

یکی از مسائل مهم در مواجهه با این فرضیه چیهستی انواع و اقسام چندجهانی‌ها و معین کردن مفهوم جهان است. در این مقاله با استفاده از مفهوم کنش و لاگرانژی، جهان‌ها و انواع چندجهانی معرفی می‌گردد. اما پیش از معرفی انواع چندجهانی و جهان‌ها مناسب است که مراد نگارنده را از مفهوم جهان در این مقاله روشن سازیم:

جهان فیزیکی فضا-زمانی است همبند^۸، که در تمام نقاط آن قوانین، ثابت (پارامترها) و شرایط اولیه یکسان است.

با توجه به تعاریفی که در مورد جهان، از جانب فیزیکدانان، در ادبیات این مبحث وجود دارد، می‌توان مزیت این تعریف را معین نمود. در تعریف تگ مارک در مورد جهان، اگر

۷. از جمله این فیلسوفان آناکسیمندر است که معتقد بود ماده‌المواد نامتعیین که نامتناهی است، «ازلی و بی‌زمان است و تمام جهان‌ها را فراگرفته است.» (کاپلستون، ۱۳۸۸، ج ۱: ۳۴) همچنین اعتقاد اتمیان بر این بود که «از برخورد اتم‌های نامتناهی، که در خلأ در حرکت‌اند، جهان‌های بی‌شمار پدید می‌آیند.» (کاپلستون، ۱۳۸۸، ج ۱: ۱۹۰) در دوران معاصر این اندیشه مجدداً ابتدا در قلمرو نظریه کوانتم و پس از آن در کیهان‌شناسی و گرانش کوانتومی احیاء شده است. فرضیه چندجهانی در قلمرو نظریه کوانتومی ابتدا به‌عنوان تعبیری از مکانیک کوانتومی مطرح گردید و به آن نام تعبیر چندجهانی دادند. این تعبیر را اورت در ۱۹۵۷ مطرح نمود. (اورت، ۱۹۷۵ الف و ۱۹۷۵ ب) تعبیر چندجهانی اورت برای حل مشکل اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی ارائه شد. اجمالاً در تعبیر چندجهانی مکانیک کوانتومی، در هر آزمایش یا تجربه‌ای که در جهان روی می‌دهد، هر رویداد ممکن واقعاً در جهانی رخ می‌دهد، و به‌عبارت دیگر هر نتیجه‌ای با احتمال غیر صفر تحقق پیدا می‌کند. این تعبیر چندان مورد استقبال دانشمندان حوزه مکانیک کوانتومی قرار نگرفت.

چه به نوعی تفکیک جهان‌ها براساس شرایط اولیه، قوانین و ثوابت عنوان شده است، ولی تعریف مناسبی از اینها ارائه نشده است (کار، ۲۰۰۷: ۱۰۰-۹۹) در این مقاله به صراحت منظور از قانون عنوان شده است: قانون برابر یک لاگرانژی واحد است که با آن می‌توان کنشی ساخت و با این کنش معادلات حرکت، تقارن‌ها، ابعاد فضا-زمانی و غیره معین می‌گردند. پارمترها را نیز به عنوان ثوابت موجود در لاگرانژی‌ها در نظر گرفته‌ایم و شرایط اولیه هم ثوابتی هستند که در معادلات دیفرانسیل حاصل از کنش‌ها وجود دارند. به عنوان مثالی دیگر تعریفی است که بیورکن آورده است. (کار، ۲۰۰۷: ۱۸۲) در این تعریف، متریک، تنها منحصر شده است به متریک فریدمن-رابرتسون-واکر، در صورتی که کاملاً قابل تصور است که جهان‌هایی وجود داشته باشد که چنین متریکی نداشته باشند، حتی می‌توان جهان‌هایی را در نظر گرفت که دارای ابعاد بالاتر از چهار باشند یا اساساً ثابت کیهان‌شناختی در جهانی نباشد. در واقع تعریف بیورکن مربوط به جهان ما یا جهانی بسیار مشابه با جهان ما است. تعریفی که در این مقاله به عنوان تعریف جهان ذکر شد، بسیار کلی‌تر و جامع‌تر از این تعریف است.

به عنوان مثالی دیگر از تعاریفی که فیزیکدانان عنوان کرده‌اند، تعریف ویلچک^۱ را در نظر بگیرید که به صورت زیر است:

«منظور من از جهان، قلمرو پدیده‌های فیزیکی است که وجود دارند یا به طور معقولی می‌توان انتظار داشت که وجود داشته باشند و برای مشاهده انسان در آینده قابل پیش‌بینی در دسترس باشند». (ویلچک، ۲۰۱۳) ملاحظه می‌گردد که در این تعریف نیز حدود و ثغور جهان مبهم است. اینکه آینده قابل پیش‌بینی به چه معنا است، به روشنی مشخص نشده است. همچنین در این تعریف، بسیاری از حوزه‌های جهانی که اکنون فیزیکدانان به عنوان «جهان ما» در نظر می‌گیرند، به جهانی دیگر تعلق می‌یابند. چون در اثر انبساط شتابدار با شتاب مثبت، این حوزه‌ها هرگز قابل مشاهده نخواهند بود. با این توضیحات، به نظر می‌رسد که تعریفی که در این مقاله برای جهان در نظر گرفته شده است، تعریف مناسب و دقیقی باشد.

همان‌طور که ذکر شد ما در بیان انواع چندجهانی و جهان‌ها از مفهوم لاگرانژی استفاده می‌کنیم. در این رویکرد، ما هر لاگرانژی را متناظر با یک نظریه می‌دانیم و هر نظریه معادل یک جهان است؛ یعنی هر لاگرانژی معادل است با یک جهان. لاگرانژی

کمیتی در فیزیک نظری است که می‌توان با آن نظریه‌ای فیزیکی، مانند مکانیک نیوتنی یا نسبیت عام را صورت‌بندی کرد.

هر لاگرانژی، تابعی از درجات آزادی (متغیرها) و ثوابت است. به این ترتیب یک لاگرانژی به دو طریق تغییر می‌کند، یکی تفاوت ثوابت و دیگری تفاوت در درجات آزادی. پس دو نوع چندجهانی از تغییر لاگرانژی حاصل می‌شود: ۱. چندجهانی‌ای که در آن لاگرانژی‌ها از جهت درجات آزادی متفاوت‌اند. در این صورت، می‌گوئیم که قوانین حاکم بر جهان‌های این چندجهانی تفاوت دارند. ۲. چندجهانی‌ای که در آن لاگرانژی‌ها از جهت ثوابت متفاوت‌اند؛ در این حالت، می‌گوئیم قوانین یکسان، ولی ثوابت متفاوت‌اند. بنابراین منظور ما از قانون یک نظریه، وجود یک لاگرانژی خاص است که در آن ثابت‌های موجود در لاگرانژی می‌توانند مقادیر مختلفی به خود بگیرند. نوع دیگری از چندجهانی هم وجود دارد که در آن شرایط اولیه متفاوت است. هر لاگرانژی به همراه کنشی که در آن قرار می‌گیرد، منجر به معادلات حرکت می‌شود و در حالت کلی، دینامیک با معادلات حرکت، که معادلات دیفرانسیلی هستند که برای حل آنها مقادیر اولیه مورد نیاز است، تبیین می‌گردد. این مقادیر اولیه همان شرایط اولیه را معین می‌سازند. به‌عنوان مثال، در نظریه مکانیک کلاسیک معادلات حرکت یک ذره را با یک کنش می‌توان معین نمود.^۱ به‌عنوان مثالی دیگر، مدلی را در نظر بگیرید که در آن دو میدان اسکالر همچون Φ و φ (درجات آزادی) وجود دارد، که دومی میدان هیگز^۲ است. جرم‌های ذرات بنیادی فیزیک ذرات با موضع کمینه پتانسیل مؤثر $V(\varphi)$ معین می‌شود. این دو میدان می‌توانند مقادیر متعددی از حداقل‌های موضعی داشته باشند که اگر بر اثر فرآیند شکستگی خودبه‌خودی تقارن^۳ در بخش‌های مختلف جهان، واجد حداقل‌های متفاوتی شوند، در آن صورت جرم‌های ذرات بنیادی در این بخش‌ها متفاوت خواهند بود. لینده^۴ معتقد است که در این بخش‌ها قوانین نیز متفاوت است. (لینده، ۲۰۰۲) البته باید این نکته را متذکر شویم که در مثال فوق، اینکه اختلاف بین کمینه‌ها پس از شکسته شدن تقارن،

۱. این کنش و معادلات دیفرانسیل حاصل از آن به شکل زیر است:

$$L = \int L(q_i, \dot{q}_i, t) dt$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$$

2. Higgs

3. Spontaneous Symmetry Breaking

4. Linde

منجر به تفاوت میان لاگرانژی‌ها می‌گردد یا نه، بستگی دارد به اینکه ما نظریه را از دیدگاه مقیاس انرژی پایین بنگریم یا مقیاس انرژی بالا. از منظر انرژی پایین یا مقیاس مادون قرمز^۱ ما پس از شکستگی تقارن لاگرانژی‌های متفاوتی داریم، اما از منظر انرژی بالا یا مقیاس فرابنفش^۲ ما لاگرانژی‌های متفاوت نخواهیم داشت.

در رویکرد ما، تنها هنگامی قوانین متفاوت خواهند بود که صورت‌بندی‌ها (یعنی لاگرانژی‌ها) به علت تفاوت در درجات آزادی متفاوت باشند؛ به عبارت دیگر، ساختارهای مبین نظریه مختلف باشند. به عنوان مثال، تفاوت در لاگرانژی، به صورتی که میدان‌های موجود در آن مختلف باشند، قوانین متفاوتی را نتیجه می‌دهد. بنابراین سه نوع چندجهانی داریم:

۱. چندجهانی‌ای که در آن لاگرانژی‌ها به‌طور کلی متفاوت‌اند؛ یعنی هم درجات آزادی و هم ثوابت متفاوت‌اند، این را چندجهانی نوع اول می‌نامیم. مانند مناظر در نظریه ریسمان.

۲. چندجهانی‌هایی که در آنها لاگرانژی به‌لحاظ درجات آزادی یکسان است؛ ولی ثوابت تغییر می‌کند، این را چندجهانی نوع دوم می‌نامیم. چندجهانی حاصل از تورم آشوبناک را می‌توان مثالی برای این نوع دانست (توضیح آن خواهد آمد).

۳. چندجهانی‌هایی که در آنها لاگرانژی یکسان است؛ یعنی هم به‌لحاظ درجات آزادی و هم به‌لحاظ ثابت‌ها با هم برابرند، تنها شرایط اولیه متفاوت است. این را چندجهانی نوع سوم می‌نامیم. مثال این چندجهانی وجود شاخه‌های متعدد در تابع موج در مکانیک کوانتومی است.

باید توجه داشت که می‌توان چندجهانی‌ای را فرض کرد که ترکیبی از این سه حالت در آن وجود داشته باشد. یعنی در میان تعدادی از جهان‌ها قوانین متفاوت باشند و در میان آن عده که قوانین مشترکی دارند، مجموعه‌هایی باشند که در آنها ثوابت و شرایط اولیه متفاوت باشند و در میان جهان‌هایی که قوانین و ثوابت یکسانی دارند، اختلاف جهان‌ها، براساس اختلاف شرایط اولیه باشد.

تقسیم‌بندی دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، این است که جهان‌ها را براساس فرایندهایی رده‌بندی کنیم که این جهان‌ها از آنها پدید آمده‌اند، منظور ما از نوع فرآیندها،

1. IR

2. UV

کوانتومی بودن یا کلاسیک بودن آنها یا شبه کلاسیکی (شبه کوانتومی) بودن آنها است. فرآیندی را کوانتومی می‌نامیم که در آن میدان‌ها به صورت عملگرهایی در فضای هیلبرت تلقی گردند و بین آنها روابط جابجایی اعمال شوند.^۱ برای روشن شدن مفهوم فرآیند شبه کلاسیک، فرض کنید فضایی به صورت مکعبی با ابعادی به طول L داریم، در این صورت $V=L^1L^2...L^d$ ، که در آن d ابعاد فضایی فضا زمان است. اکنون اگر ما این شرط را اضافه کنیم که میدان در جعبه به صورت دوره‌ای تغییر کند، لازمه آن این است که مؤلفه‌های p_i یعنی p_i ها در رابطه زیر صدق کنند:

$$p_i L_i = 2\pi n_i \quad i=1,2,\dots,d$$

به این ترتیب تکانه کوانتومی می‌شود و این فرآیندی شبه کلاسیک است.^۲ در پایان این بخش تعریفی را که از جهان فیزیکی، در این مقاله مد نظر است، ارائه می‌دهیم:

۷۴

۳. تنظیم ظریف، اصل آنتروپیک و استدلال آنتروپیک

اصل آنتروپیک و استدلال آنتروپیک دو مفهوم مهمی هستند که در مباحث چندجهانی مطرح می‌گردند. توسل به این دو مفهوم، به منظور ارائه اصل یا استدلال یا معیاری برای انتخاب جهانی که در آن زندگی می‌کنیم، در بین طیف جهان‌های ممکن یا موجود است. ابتدا باید توجه داشته باشیم که اصل آنتروپیک را از مفاهیم آنتروپومورفیک^۳ یا انسان‌مدارانه که در دیگر حوزه‌های علوم، اعم از فلسفه و جامعه‌شناسی مطرح می‌شوند، بازشناسی کنیم. آنتروپومورفیسم به معنی انسان‌وار دیدن امور است؛ در حالی که در اصل آنتروپیک، در قرائت مدرن و فیزیکی آن، ما شرط تحقق حیات مبتنی بر کربن را به عنوان قید به کار می‌بریم، در اینجا تنها وجود انسان مطرح نیست، بلکه حیات به نحو کلی منظور نظر است. در واقع این نام‌گذاری، که همان‌طور که ذکر شد، نامی است که ابتدا براندون کارتر به کار برد، چندان مناسب نیست و منظور را به طور کامل نمی‌رساند. دو بیان از اصل آنتروپیک را می‌توان از هم متمایز ساخت: اصل آنتروپیک ضعیف

۱. برای بحث بیشتر رک به: پسکین و شرودر (۱۹۹۵) و زی (۲۰۱۰)
 ۲. اگر فرآیندی کوانتومی و شبه کلاسیک نباشد، ما آن را فرآیند کلاسیک می‌نامیم. مثل تمام فرآیندهایی که در نسبیت عام یا نظریه الکترومغناطیس توصیف می‌گردد.

3. Anthropomorphic

و اصل آنتروپیک قوی. گونه‌ای از اصل آنتروپیک ضعیف را بارو و تیپلر^۱ به صورت زیر عنوان کرده‌اند:

«مقادیر مشاهده شده تمام کمیات فیزیکی و کیهان‌شناختی به طور مساوی محتمل نیستند، بلکه آنها مقادیری می‌گیرند، که محدودند به شرطی که براساس آن، مکان‌هایی وجود داشته باشند که زندگی مبتنی بر کربن بتواند تکامل یابد، به علاوه قیدی که بر طبق آن، جهان باید عمر کافی داشته باشد تا از پیش، این امر را محقق کرده باشد.» (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۱۶)

بیانی از اصل آنتروپیک قوی نیز به صورت زیر است:

«جهان باید واجد خواصی باشد که اجازه دهند، در مرحله‌ای از تاریخ آن، حیات درون جهان بسط یابد.» (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۱۶)

بیانی دیگر را از اصل آنتروپیک ضعیف برنارد کار^۲ آورده است: «در گونه ضعیف اصل آنتروپیک قوانین طبیعت و ثوابت فیزیکی مفروض گرفته می‌شوند و ادعا بر این است که وجود مشاهده‌گر، اثری انتخابی، بر مکان و زمانی دارد که ما در آنها، جهان را مشاهده می‌کنیم. اصل آنتروپیک قوی این را مطرح می‌کند که وجود ناظر قیودی بر خود ثوابت طبیعت اعمال می‌کند.» (کار، ۲۰۰۷: ۳)

با توجه به بیانی که در اصل آنتروپیک ضعیف از بارو و تیپلر نقل شد، این پرسش مطرح می‌گردد که معنای احتمال به کار رفته در این عبارت چیست؟ به نظر می‌رسد که این بیان واجد ناسازگاری است یا حداقل ابهام دارد؛ زیرا احتمال مقادیر کمیاتی که مشاهده شده‌اند، برابر ۱ است. (ماسترین^۳، ۲۰۰۴)

چون احتمال مشاهده مقداری چون X ، از کمیتی چون A ، بنا به تعریف، احتمالی است که ما در صورت انجام مشاهده، مقدار X را به دست می‌آوریم. اما وقتی مشاهده روی داد و مقدار X در آن به دست آمد، دیگر احتمال مقادیر برای کمیت A تثبیت شده و تنها احتمال‌های ۰ و ۱ خواهد داشت، که برای X این مقدار ۱ است.

به نظر می‌رسد که اصل آنتروپیک ضعیف، صرفاً لحاظ کردن این قید است که حیات در جهان وجود دارد و هر نظریه کیهان‌شناسی باید آن را ملحوظ دارد. می‌توان آن را

1. Barrow & Tipler
2. Bernard Carr
3. Mosterin

قید آنتروپیک نیز نامید. برخی آن را صرفاً بیانی دوباره از اصل منطقی وضع مقدم^۱ دانسته‌اند. (ماسترین، ۲۰۰۴) فرض کنید که $A \rightarrow B$ و A به ترتیب این گزاره‌ها باشند: ۱. «اگر نظریه‌ای چون T ، نظریه کیهان‌شناسی معتبری باشد، آنگاه حیات باید به‌عنوان جوابی باشد که قابل استخراج از آن است» و ۲. «نظریه T ، نظریه کیهان‌شناسی معتبری است»، بنابراین از این دو، نتیجه می‌گردد که حیات باید به‌عنوان جوابی مستخرج از T باشد. در واقع گزاره ۱ اصل آنتروپیک ضعیف است. به هر ترتیب بسیاری همچون ارمن^۲ این اصل را همان‌گویی می‌دانند و بعضی دیگر مانند کراف^۳ آن را عبارتی تقریباً بدیهی و کم‌اهمیت^۴ قلمداد می‌کنند. (ارمن، ۱۹۸۷ و کراف، ۲۰۱۰)

به‌نظر می‌رسد، همان‌طور که در ابتدای این بخش عنوان شد، اصل آنتروپیک ضعیف صرفاً بیان قیدی است بدیهی که در هر تبیینی از جهان باید لحاظ شود. ولی شکل قوی آن این وضعیت را ندارد و در واقع یک ادعای غیربدیهی است که مستلزم برهان است. بسیاری از فیزیکدانان نیز، با مطرح کردن نظریه چندجهانی تلاش دارند تا آن را به اصل آنتروپیک ضعیف تبدیل کنند؛ به‌عبارت دیگر، لزوم پذیرش اصل آنتروپیک قوی را انکار کنند و به‌همراه آن وجود تنظیم ظریف را نیز منکر شوند.

در واقع با قبول شرط تنظیم ظریف، یا باید معتقد باشیم که این چیدمان به‌خصوص قوانین، ثوابت و شرایط اولیه، کاملاً تصادفی رخ نموده که اکثر فیزیکدانان آن را نمی‌پذیرند، یا باید قائل باشیم که فاعلی با طرح و تدبیر اینها را چنین کنار هم نشانده است. اما اگر با پیشنهاد فرضیه‌ای همچون چندجهانی، از پذیرش تنظیم ظریف خودداری کنیم، با این قیاس ذو حدین^۵ (دو وجهی) مواجه نخواهیم بود و ملتزم به پذیرش هیچکدام نیستیم. ولی باید توجه داشت که این فرضیه پرسش از مبدأ چند جهان را، که بسیار مهم است، پاسخ نمی‌دهد.

با توجه به مطالب گفته‌شده، می‌توان استدلالات آنتروپیک را این‌گونه تعریف نمود: اینها استدلالاتی هستند که در آنها از شاهد تجربی شکل‌گیری حیات، استفاده می‌گردد؛ به‌عبارت دیگر وجود و تحقق موجودات زنده قیدی است که در تبیین‌ها و پیش‌بینی‌های فیزیکی و کیهان‌شناسی لحاظ می‌گردد و نتیجه‌گیری از این امور مبتنی بر قید فوق‌الذکر است.

1. Modus Ponens
2. Earman
3. Kragh
4. Trivial
5. Dilemma

مثال‌های مختلفی برای تصادف یا انطباق آنتروپیک عنوان شده که اگر به این شکل کنونی نبودند و اندکی تفاوت می‌کردند، حیات به صورت حال حاضر محقق نمی‌گشت. (البته میزان حساسیت این کمیات متفاوت است، برخی همچون ثابت کیهان‌شناختی بسیار حساس‌اند و برخی حساسیت کمتری دارند) در واقع افراد مختلف موارد متفاوتی را به عنوان تصادف‌های آنتروپیک معرفی کرده‌اند؛ مثلاً پل دیویس^۱ موارد زیر را به عنوان تنظیم ظریف آنتروپیک بیان می‌کند:

۱. تولید کربن: «حیات، آن‌گونه که ما می‌شناسیم، مبتنی بر کربن است که در هسته ستارگان از طریق واکنش آلفای سه‌گانه تشکیل می‌شود. این فرآیندی دو مرحله‌ای است که شامل تشکیل Be از دو ذره آلفا^۲ است که به دنبال آن، سومین ذره آلفا از طریق حالتی تشدید^۳ جذب می‌شود. انرژی این حالت تشدید به طور مناسب با انرژی‌های گرمایی نوعی هسته‌های هلیوم در ستارگان سنگین منطبق است، که فراوانی تولید کربن را تضمین می‌کند. در واقع این هم‌رویدادی مهم انرژی‌هایی که ناشی از شاخه‌های کاملاً مجزای فیزیک است، در زمانی که هویل^۴ مسئله ترکیب هسته‌ای^۵ را مطالعه می‌کرد، هنوز شناخته نشده بود. به عوض آن، او استنتاج کرد که با فرض وجود ناظرهای مبتنی بر کربن، چنین مکان‌های مناسب تشدید، باید وجود داشته باشد. تجربیات بعدی نشان داد که او بر جاده صواب است. سوختن پیش‌رونده کربن به اکسیژن، با عدم حضور حالت تشدید مشابه در انرژی‌های قابل مقایسه، محدود می‌گردد. اگر تأثیر متقابل اجرام ذرات، نیروهای قوی و الکترومغناطیسی صرفاً اندکی متفاوت می‌بود، موضع این تشدید جابجا می‌شد، که برای کاهش شگرف تولید کربن کافی است. اگر نیروی قوی ذاتاً ضعیف‌تر بود یا نیروی الکترومغناطیسی ذاتاً قوی‌تر بود، پایداری هسته‌های کربن به خطر می‌افتاد. جنبه نیک‌بختانه بیشتر تولید کربن، شامل نیروی هسته‌ای ضعیف است. کربن در میان محیط بین ستاره‌ای پراکنده شده است که بخشی از آن ناشی از انفجارهای ابرنواختری است که با ضربه‌ای از نوترینوهای^۶ شروع می‌شود که از فروپاشی هسته‌های ستاره‌ای ستارگان سنگین، آزاد شده‌اند. نوترینوها به مواد ستاره‌ای محیطی از طریق نیروی هسته‌ای

1. Davies

2. He^4

3. Resonant

4. Hoyle

5. Nucleosynthesis

6. Neutrinos

ضعیف جفت می‌شوند. اگر نیروی ضعیف، کوچک‌تر بود، این مکانیزم نامؤثر می‌گشت، اگر قوی‌تر بود، نوترینوها در هسته‌های از درون منفجر شونده چگال، گیر می‌افتادند. در هر حالت، کربن حیاتی، محدود به ستارگان می‌شد و برای فرآیند حیات روی سیارات در دسترس قرار نداشت». (دیویس، ۲۰۰۴: ۶-۷)

همچنین دیویس ۲. وجود هیدروژن و آب، ۳. ابعاد فضا، ۴. اختلالات چگالی دوران اولیه عالم و ۵. ثابت کیهان‌شناختی را به‌عنوان دیگر نمونه‌های تنظیم ظریف معرفی می‌کند. (دیویس، ۲۰۰۴)

مارتین ریس^۱ نیز فهرستی از کمیاتی را معرفی می‌کند که گویی تنظیم ظریف یافته‌اند. وی معتقد است که «هدف نظریه‌ها خلاصه کردن ذات قوانین فیزیکی در مجموعه‌ای متحد از معادلات و تعداد کمی از اعداد است.» (ریس، ۲۰۰۰: ۲-۱) در این میان به‌اعتقاد ریس، شش عدد هستند که اهمیت ویژه دارند. (ریس، ۲۰۰۰: ۲)

این شش عدد را ریس به‌صورت زیر خلاصه کرده است:

$$۱. N = \text{نسبت نیروی الکتریکی به گرانشی میان پروتون‌ها} = ۱۰^{۳۶}$$

$$۲. E = \text{انرژی پیوند هسته‌ای به‌عنوان کسری از انرژی جرم سکون} = ۰/۰۰۷$$

$$۳. \Omega = \text{مقدار ماده در جهان در واحد چگالی بحرانی} = ۰/۳$$

$$۴. \Lambda = \text{ثابت کیهان‌شناختی در واحد چگالی بحرانی} = ۰/۷$$

$$۵. Q = \text{دامنه افت و خیزهای چگالی برای ساختارهای کیهانی} = ۱۰^{-۵}$$

$$۶. D = \text{تعداد ابعاد فضایی} = ۳. \text{ (کار، ۲۰۰۷: ۳۸۸)}$$

ریس می‌گوید «من این شش عدد را برجسته کردم؛ زیرا هر کدام از آنها نقشی حیاتی و شاخص در جهان ما بازی می‌کنند و آنها همراه هم چگونگی تحول جهان و چپستی امور بالقوه درونی آن را معین می‌کنند.» (ریس، ۲۰۰۰: ۳۴) در این میان، ما ثابت کیهان‌شناختی را در بخشی جداگانه هم به‌دلیل اینکه بسیار ظریف تنظیم یافته و هم به‌جهت ارتباط آن با انرژی تاریک که مسئله مهمی در کیهان‌شناسی است، تا اندازه‌ای مفصل بررسی می‌کنیم.

۴. انواع تنظیم‌های ظریف

مسئله تنظیم ظریف، هنگامی پیش می‌آید که ما با امور ممکن و امکانات متعدد مواجه

می‌شویم. چنانچه قوانین طبیعت، ثوابت و شرایط اولیه نتیجه ضروری یک علت یا یک قانون معین بودند دیگر مسئله تنظیم ظریف مطرح نمی‌شد. برای روشن شدن موضوع، لازم است تا تعریف دقیقی از تنظیم ظریف ارائه شود.

با الهام از تعریفی که از فرضیه چندجهانی ارائه کردیم و در آن سه نوع چندجهانی را معرفی نمودیم، تنظیم ظریف را نیز می‌توان به سه دسته عمده تقسیم‌بندی کرد (این تقسیم‌بندی در آثار فلاسفه وجود دارد؛ (به‌عنوان مثال رک به: کریگ و مورلند، ۲۰۰۹: ۲۲۴) که در آن کالینز همین تقسیم‌بندی را ارائه داده است، اما آنچه ما در اینجا آورده‌ایم براساس تعریف مشخص و دقیقی است که از قانون و مفهوم جهان ارائه داده‌ایم):

۱. تنظیم ظریف قوانین طبیعت

۲. تنظیم ظریف ثوابت طبیعت

۳. تنظیم ظریف شرایط اولیه

۴.۱. تنظیم ظریف قوانین طبیعت

منظور از تنظیم ظریف قوانین این است که قوانین طبیعت به‌گونه‌ای هستند که امکان شکل‌گیری حیات مبتنی بر کربن را فراهم می‌کنند. با تعریفی که ما از قوانین طبیعت ارائه دادیم، عبارت فوق به‌صورت زیر می‌شود:

کنشی که معین‌کننده قانون فیزیکی است به‌گونه‌ای است که امکان پدید آمدن حیات را محقق می‌سازد به این صورت که هم ابعاد فضا - زمانی به‌گونه‌ای است که پذیرای حیات است و هم درجات آزادی یا متغیرهای موجود در لاگرانژی به‌نحوی هستند که وجود حیات را ممکن می‌سازند. به‌عنوان مثال فرض کنید که لاگرانژی زیر نمایاننده جهان ما باشد که در آن کهکشان‌ها شکل گرفته‌اند و جهان منبسط‌شونده ما به وجود آمده و سرعت انبساط به‌گونه‌ای است که فرصت تشکیل کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات و موجودات زنده فراهم می‌گردد.

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} (R - 2\Lambda_0)$$

به‌عنوان مثال اگر این لاگرانژی رابطه ساختاری دیگری داشت، این جهان کنونی شکل نمی‌گرفت.

در این میان اگر صرف ساختار ریاضی لاگرانژی را در نظر بگیریم، علی‌الاصول بی‌نهایت لاگرانژی را می‌توان انتخاب کرد که هر یک معین‌کننده یک جهان است. اینکه مفهوم تنظیم ظریف را در این حالت چگونه می‌توان تعریف کرد، به این امر بستگی دارد که ما مکانیزمی برای انتخاب موارد مشخص از میان امکان‌های متعدد، که علی‌الاصول بی‌نهایت هستند، داشته باشیم. اما به‌طور کیفی و شهودی (این مطلب به این معنی است که ما در این مقام چندان دقیق نیستیم) می‌توان گفت که حصول نتیجه‌ای که غایتی مشخص را برآورده می‌کند، نیازمند تبیین است و می‌تواند دلیلی له طرح و تدبیر باشد، در واقع در اینجا آنچه مسئله را نیازمند تبیین می‌کند امری است که جان لسلی^۱ آن را تبیین ترتیب^۲ می‌نامد. (لسلی، ۱۹۸۹: ۱۰ و مانسون^۳، ۲۰۰۳: ۱۶۵-۱۶۱) به‌عنوان مثال فرض کنید که تعدادی زیادی قطعات فلزی، پلیمری و موادی که در ساخت هواپیما به‌کار می‌رود به‌طور خام در جایی باشند و شما یک سیستم انتخاب کاملاً تصادفی داشته باشید که از طریق آن یک رشته ربات قطعاتی را که به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب شده‌اند به‌هم وصل کنند یا می‌توانید فرض کنید که قطعات با یک وسیله خاصی به هوا پرتاب می‌شوند، در این حالت، با اینکه امکان قرارگیری یک قطعه خاص در مکانی مشخص احتمال خیلی پایینی دارد و وقوع یک هیئت مشخص از قرارگیری قطعات احتمال بسیار کمتری دارد، با این حال، حتماً وضعیتی معین رخ خواهد داد و ما می‌توانیم وقوع آن را صرفاً شانس بدانیم، اما اگر قطعات به‌شکلی کنار هم قرار گیرند که هواپیمای کاملاً پیشرفته ظهور یابد، در مورد این ترتیب قرارگیری، که نتیجه آن حصول شیء معینی است که کار مشخصی انجام می‌دهد و برای اینکه بتواند این کار معین را انجام دهد قطعات باید بسیار دقیق و منظم کنار هم قرار گیرند، فرآیند تصادفی فوق تبیین‌گر چرایی تحقق آن نخواهد بود و وقوع چنین امری نشانی از طرح و تدبیر برای رسیدن به غایتی مشخص است.

۴.۲. تنظیم ظریف ثوابت طبیعت

در تنظیم ظریف ثوابت امکان بررسی‌های دقیق‌تری وجود دارد. با وام گرفتن از کالینز تنظیم ظریف ثابت فیزیکی را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

«برای هر ثابت تنظیم ظریف‌یافته مفروضی چون C باید ناحیه مقایسه مقدار C را

1. Leslie
2. Tidy Explanation
3. Manson

معین کنیم. پیشنهاد من این است که ناحیه مقایسه اولیه مجموعه مقادیری است که در آن ما می‌توانیم معین کنیم که آیا این مقادیر پذیرای حیات هستند یا نه؟ من این ناحیه را ناحیه «آشکار شده معرفتی» EI^1 می‌نامم. بنابراین، با فرض اینکه ناحیه EI به‌عنوان ناحیه مقایسه ما است، ما ثابتی چون C را تنظیم ظریف یافته می‌نامیم هرگاه، عرض مقادیر پذیرای حیات برای آن ثابت؛ یعنی W_T در مقایسه با عرض ناحیه EI ؛ یعنی W_R خیلی کوچک باشد». (کریگ و مورلند، ۲۰۰۹: ۲۴۴)

به‌عنوان مثال، اگر در مورد ثابت کیهان‌شناختی این تعریف را به‌کار ببریم چون چگالی انرژی خلأ؛ یعنی $\rho\Lambda$ از صفر تا 10^{120} می‌تواند باشد، تنظیم ظریف 10^{-120} است. البته این محاسبه تنها در صورتی است که ما تمام مقادیر ممکن بین صفر تا 10^{120} را دارای احتمال مساوی بدانیم در صورتی که محاسبه‌ای که در این مقاله انجام شد نشان داد که مقادیر حول و حوش 10^{120} احتمال بسیار بیشتری از مقادیر حول و حوش صفر دارند.

۸۱

۴.۲.۱. مسئله ثابت کیهان‌شناختی^۲

ثابت کیهان‌شناختی را ابتدا اینشتین برای ایستا بودن جهان وارد معادلات خود کرد. معادله اینشتین بدون ثابت کیهان‌شناختی به‌صورت زیر است (کرول^۳، ۲۰۰۰):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} \quad (1)$$

ما در اینجا فرض کرده‌ایم که $\hbar=1$ و $c=1$ است. متریک رابرتسون - واکر به‌صورت زیر است (کرول، ۲۰۰۰):

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t) R_0^2 \left[\frac{dr^2}{1 - Kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right] \quad (2)$$

که در آن $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$ و κ ثابت انحنا است و مقادیر $+$ ، 0 و -1 را داراست. همچنین $a(t) = R(t)/R_0$ عامل مقیاس است. سرخ‌گرایی Z یک شیء هم‌حرکت^۴، وقتی به سمت ما حرکت می‌کند، به عامل مقیاسی که در آن قرار دارد (یعنی a)، بستگی دارد و به قرار زیر است (کرول، ۲۰۰۰):

1. Epistemically Illuminated

۲. مرجع اصلی این زیربخش مقاله کرول (۲۰۰۰) است، که عمدتاً بخش‌های کوچکی از آن ترجمه (تا حدودی آزاد) شده است.

3. Carroll

4. Comoving

$$a = \frac{1}{(1+z)} \quad (۳)$$

تانسور انرژی-مومنتم (با فرض سیال کامل بودن جهان) نیز به صورت زیر است
(کرول، ۲۰۰۰):

$$T_{\mu\nu} = (\rho + p)U_{\mu}U_{\nu} + pg_{\mu\nu} \quad (۴)$$

همچنین معادلات فریدمن با روابط زیر بیان می‌شوند (کرول، ۲۰۰۰):

$$H^2 \equiv \left[\frac{\dot{a}}{a}\right]^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{K}{a^2R_0^2} \quad (۵)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) \quad (۶)$$

اگر در (۵) انحنای فضایی را مثبت بگیریم (یعنی +۱) و چگالی به صورت مناسب تنظیم شود، جهانی ایستا^۱ خواهیم داشت، اما (۶) مستلزم آن است که \ddot{a} در صورتی که p نیز غیرمنفی باشد (که برای اکثر اشکال ماده چنین است و قطعاً برای منابع معمولی همانند ستارگان و گازها نیز به همین صورت است) هرگز صفر نخواهد شد. بنابراین اینشتین اصلاحی به شکل زیر (برای ایستا بودن) ارائه داد (کرول، ۲۰۰۰):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} \quad (۷)$$

که در آن Λ ثابت آزاد جدیدی است که ثابت کیهان‌شناختی لقب گرفت. با این اصلاح معادلات فریدمن به شکل زیر می‌شوند:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} - \frac{K}{a^2R_0^2} \quad (۸)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3} \quad (۹)$$

این معادلات به همراه انحنای فضایی مثبت و تمام ثابت‌های نامنفی ρ ، p و Λ منجر به جهانی ایستا می‌شود. این جواب را «جهان ایستای اینشتین» می‌نامند. (کرول، ۲۰۰۰) هنگامی که هابل به انبساط جهان پی‌برد، دیگر حفظ مدل ایستای اینشتین ضرورتی نداشت، اما نهایتاً این گونه نشد (با اینکه اینشتین Λ را کنار گذاشت) و این بار Λ به

دلیلی دیگر وارد معادلات شد. وقتی به بررسی دیگر عبارات رابطه (۸) می‌پردازیم، باید معلوم گردد که $\Lambda/3$ در مقایسه با آنها کوچک است، تا بتوان آن را در این رابطه لحاظ نکرد. تاکنون این امر محقق نگشته است. ملاحظه خواهیم نمود که دلیل خوبی وجود دارد که Λ را غیر صفر بپنداریم. (کرول، ۲۰۰۰)

میدانی اسکالر چون φ را که دارای انرژی پتانسیل $V(\varphi)$ است در نظر بگیرید. کنش را برای این میدان می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \varphi \partial_\nu \varphi - V(\varphi) \right] \quad (10)$$

در اینجا g دترمینان تانسور متریک $g_{\mu\nu}$ است. تانسور انرژی - مومنتم متناظر با این میدان نیز به صورت زیر است (کرول، ۲۰۰۰):

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \partial_\mu \Phi \partial_\nu \Phi + \frac{1}{2} (g^{\rho\sigma} \partial_\rho \Phi \partial_\sigma \Phi) g_{\mu\nu} - V(\Phi) g_{\mu\nu} \quad (11)$$

در این نظریه، وضعیتی که پایین‌ترین چگالی انرژی را داراست، برابر است با حالتی که نه سهمی از انرژی جنبشی وجود دارد و نه انرژی پتانسیل؛ یعنی دو جمله اول عبارت (۱۱) صفرند. بنابراین $\partial_\mu \Phi = 0$ و این یعنی، $T_{\mu\nu} = -V(\Phi_0) g_{\mu\nu}$ که در آن Φ_0 مقداری از Φ است که $V(\Phi)$ را حداقل می‌سازد. البته دلیلی وجود ندارد که $V(\Phi_0)$ صفر فرض شود. بنابراین تانسور انرژی - مومنتم خلأ را می‌توان به صورت زیر نوشت (کرول، ۲۰۰۰):

$$T_{\mu\nu}^{\text{vac}} = -\rho_{\text{vac}} g_{\mu\nu} \quad (12)$$

که در این مثال ρ_{vac} با $V(\Phi_0)$ نشان داده می‌شود. به این ترتیب خلأ را می‌توان به عنوان سیالی کامل در (۴) با عبارت زیر لحاظ کرد:

$$p_{\text{vac}} = -\rho_{\text{vac}} \quad (13)$$

اثر یک تانسور انرژی - مومنتم به شکل (۱۲) معادل است با یک ثابت کیهان‌شناختی؛ زیرا در (۷) می‌توان عبارت $\Lambda g_{\mu\nu}$ را به سمت راست برد؛ در این صورت می‌توانیم رابطه‌ای به شکل (۱۴) بنویسیم (کرول، ۲۰۰۰):

$$\rho_{\text{vac}} = \rho_\Lambda = \frac{\Lambda}{8\pi G} \quad (14)$$

این معادل بودن، ریشه برابر قرار دادن ثابت کیهان‌شناختی با انرژی خلأ است.

بنابراین می‌توان این دو عبارت را به‌جای هم به‌کار برد. لازم نیست که ما میدان‌های اسکالر را وارد سازیم تا به انرژی خلاً غیر صفر برسیم. کنش نسبت عام در حضور ثابت کیهان‌شناختی صرف Λ_0 به‌صورت زیر است: (کرول، ۲۰۰۰):

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} (R - 2\Lambda_0) \quad (15)$$

که در آن R ، اسکالر ریچی است. (کرول، ۲۰۰۰)

با اکستریم کردن این کنش به معادله (۷) خواهیم رسید. بنابراین می‌توان ثابت کیهان‌شناختی را صرفاً به‌عنوان عبارت ثابتی در چگالی لاگرانژی نظریه، قلمداد کرد. در واقع عمومی‌ترین کنش هم‌وردایی که ما می‌توانیم از متریک و مشتقات اول و دوم آن بسازیم، عبارت (۱۵) است؛ این نقطه طبیعی شروع نظریه‌ای در مورد گرانش است. به‌طور سنتی ثابت کیهان‌شناختی مؤثر جمع عبارت ثابت کیهان‌شناختی صرف؛ یعنی Λ_0 و انرژی پتانسیل $V(\Phi)$ است که $V(\Phi)$ ممکن است بر اثر عبور جهان از فازهای مختلف، با زمان تغییر کند. (کرول، ۲۰۰۰)

۸۴

مکانیک کوانتومی سهم دیگری بر انرژی خلاً می‌افزاید که ناشی از انرژی‌های نقطه صفر است که همراه با نوسانات خلاًند. در مدل الکتروضعیف واینبرگ - سلام^۱، فازهای شکسته‌شده و شکسته‌نشده تقارن^۲ با اختلاف انرژی پتانسیلی در حدود $M_{EW} \sim 200 \text{ GeV}$ قابل تمایزند. اکنون جهان در حالت شکستگی تقارن است که در دوره دمایی پایین قرار دارد. (کرول، ۲۰۰۰)

باور بر این است که یک فاز عدم شکستگی تقارن در دوران ابتدایی وجود داشته که در آن دما به اندازه کافی بزرگ بوده است. بنابراین ثابت کیهان‌شناختی مؤثر، در دو دوره متفاوت است. اکنون انتظار داریم که سهم ناشی از الکتروضعیف به انرژی خلاً برابر باشد با (کرول، ۲۰۰۰)

$$\rho_{\Lambda}^{EW} \sim (200 \text{ GeV})^4 \sim 3 \times 10^{47} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^3} \quad (16)$$

توجه کنید که در دستگاه واحدهای طبیعی $\hbar = c = 1$ و k برابر یک‌اند.

c سرعت نور، \hbar برابر است با $\frac{h}{2\pi}$ که در آن h ثابت پلانک است و k نیز ثابت بولتسمن است. در این دستگاه از واحدها، روابط زیر برقرار است:

$$M = [\text{زمان}]^{-1} = [\text{طول}]^{-1} = [\text{جرم}] = [\text{انرژی}]$$

1. Weinberg-Salam Electroweak

۲. این مطلب را در انتها توضیح خواهم داد.

به این ترتیب واحد چگالی انرژی برابر می‌شود با $\rho = \frac{E}{V}$

$$\rho = \frac{E}{V} \rightarrow [\rho] = \frac{M}{L^3}; L^{-1} = M \rightarrow [\rho] = M^4$$

بنابراین در حالی که انرژی الکتروضعیف در حالت شکست تقارن 200GeV کمتر از حالت عدم شکستگی تقارن است، این انرژی اکنون بدل به انرژی خلأ یا ثابت کیهان‌شناختی شده است، پس تفاوت انرژی عصر کنونی و عصر اولیه که ناشی از نظریه الکتروضعیف است، در حال حاضر در ثابت کیهان‌شناختی ظاهر می‌شود و چون $\rho \sim M^4$ است (کرول، ۲۰۰۰):

$$\rho^{EW} \sim (M_{EW})^4 \quad (17)$$

به همین ترتیب در برهمکنش قوی، باور بر این است که تقارن کایرال^۱ با مقدار انتظاری غیر صفر کوارک دو خطی $\bar{q}q$ ^۲ (اگر چه این کمیت از فرمیون‌ها ساخته شده ولی کمیتی اسکالر است)، شکسته می‌شود. در اینجا اختلاف انرژی میان فازهای شکسته‌شده تقارن و شکسته‌نشده تقارن از مرتبه مقیاس QCD است؛ یعنی $M \sim O(3\text{GeV})$ بنابراین (براساس استدلالی که در حالت الکتروضعیف بیان کردیم که در اینجا نیز صادق است) داریم (کرول، ۲۰۰۰):

$$\rho_{\Lambda}^{QCD} \sim (0.3\text{GeV})^4 \sim 1/6 \times 10^{36} \text{ erg/cm}^3 \quad (18)$$

مقادیری که در بالا محاسبه گردید با هر تعداد از انتقال‌های فاز ناشناخته در جهان ابتدایی، همچون آنچه که از اتحاد بزرگ حاصل می‌شود که از مرتبه 10^{16}GV است؛ یعنی $M_{GUT} \sim 10^{16}\text{GV}$ جمع می‌گردد. در حالت نوسانات خلأ، ما باید برش خود را انتخاب کنیم؛ زیرا قبل از این برش به نظریه میدان خود اطمینان نداریم. اگر بپذیریم که نظریه میدان کوانتومی تا مقیاس پلانک، قابل اعتماد است؛ یعنی، مقیاسی به صورت $M_{Pl} \sim 10^{18}\text{GeV}$ ^۳ (۸πG)، آنگاه انتظار داریم که سهم آن برابر باشد با (کرول، ۲۰۰۰):

$$\rho_{\Lambda}^{p1} \sim (10^{18}\text{GeV})^4 \sim 10^{110} \text{ erg/cm}^3 \quad (19)$$

اما مشاهدات تجربی که عمدتاً از سرخ‌گرایی ابرنواخترهای نوع Ia نتیجه شده (به‌عنوان مثال مراجعه کنید به (کرول، ۲۰۰۰) و همچنین مراجع (کرول و پرس^۳، ۱۹۹۲) و (ریس

1. Chiral
2. Bilinear
3. Press

و دیگران^۱ (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که ثابت کیهان‌شناختی مثبت و دارای مقدار زیر است:

$$\Omega_{\Lambda} \approx 0.7 \rightarrow \rho_{\Lambda}^{\text{obs}} \leq (10^{-12} \text{Gev})^4 \sim 2 \times 10^{-10} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^3} \quad (20)$$

ملاحظه می‌شود که نسبت (۱۹) به (۲۰) برابر است با 10^{120} و این اختلاف موجود میان نظریه و مشاهده است. هیچ تقارن ویژه‌ای را نمی‌شناسیم که در عین حالی که با سایر قوانین شناخته‌شده فیزیکی سازگار است، منجر به انرژی خلاً صفر گردد. این معما «مشکل ثابت کیهان‌شناختی» در فیزیک است که یکی از مهم‌ترین مسائل حل‌نشده فیزیک بنیادی است. (کرول، ۲۰۰۰) باید توجه داشت که جهانی با ثابت کیهان‌شناختی (۱۹) با شتاب خیلی زیادی انبساط می‌یابد که برای وجود جهانی که ملائم با حیات است (البته حیات، آن‌طور که ما می‌شناسیم)، مناسب نیست. در نظریه‌های ابرمقارن، وجود میدان‌های مختلف تا حدی این مقدار را تعدیل می‌کند و در واقع تا توانی از مرتبه ۶۰ مقدار آن را کاهش می‌دهد. (وایلن کین^۲، ۲۰۰۴)

۸۶

۴.۳. تنظیم ظریف شرایط اولیه

علی‌الاصول می‌توان بی‌نهایت شرایط اولیه را متصور بود. برای اینکه بتوانیم به‌طور کمی احتمال انتخاب یک شرط اولیه را برای یک جهان محاسبه کنیم باید واجد مکانیزمی باشیم تا بتوانیم به شرایط اولیه مختلف احتمال‌های مناسب نسبت دهیم. به‌نظر نمی‌رسد چنین مکانیزمی در دست باشد، بنابراین در اسناد احتمال به شرایط اولیه برای مسائل مختلف باید بیشتر متکی بر شهود خود باشیم. در اینجا هم شاید بتوان گفت که انتخاب تصادفی یک شرط از میان بی‌نهایت شرط مآلاً یک نتیجه خواهد داشت، اما اگر این نتیجه کار خاصی انجام دهد و هدف مشخصی را برآورده کند نیازمند تبیین است. به‌نظر می‌رسد که در تحقق جهان پذیرای حیات چنین چیزی رخ داده است. با این ملاحظات می‌توان نشان داد که شرایط اولیه جهان پذیرای حیات هم بسیار ظریف تنظیم یافته است و از جمله به مسئله تخت بودن^۳، همگنی^۴ و همسانگردی^۵ اشاره کرد. (مانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۸-۱۵۷) البته برای رفع این مسائل بود که مدل تورمی پیشنهاد شد. (مانسون، ۲۰۰۳:

1. Riess
2. Vilenkin
3. Flatness Problem
4. Homogeneity Problem
5. Isotropy Problem

۱۵۸) شاید مهم‌ترین تنظیم ظریف شناخته‌شدهٔ ثوابت، تنظیم ظریف ثابت کیهان‌شناختی باشد که نقشی اساسی در بروز مسئله تنظیم ظریف دارد، از این‌رو این مسئله را کمی با تفصیل بررسی می‌کنیم.

۵. تنظیم ظریف ناشی از فرآیندهای تولید جهان

یک مورد دیگر هم وجود دارد که در آن تنظیم ظریف می‌تواند تشدید شود و آن در نظر گرفتن جهان براساس فرآیندهایی است که جهان براساس آن شکل گرفته؛ یعنی اینکه آیا جهان مد نظر، جهانی کوانتومی است یا کلاسیکی است یا شبه کلاسیکی است. برای وجود نوع مشخصی از جهان پذیرای حیات که ما می‌شناسیم حتماً باید جهان کوانتومی باشد. به این ترتیب با اضافه کردن این سه قید به مجموعه لاگرانژی‌های ممکن انتخاب بین این سه احتمال را باز هم کاهش می‌دهد.

۶. تنظیم ظریف و انواع استدلال‌های آنتروپیک

با مسئله تنظیم ظریف دو نوع مواجهه عمده شده است. عده‌ای با روشی همانند هیوم به‌نوعی در انکار نظم برآمده‌اند و اصولاً مسئله را منکر شده و نیازی به تبیین نمی‌بینند و عده‌ای با قبول مسئله راه‌حل جایگزینی انتخاب کرده‌اند که مهم‌ترین جایگزین توسل به فرضیه چندجهانی است. هدف این مقاله بررسی استدلال گروه اول نیست؛ اما گروه دوم یعنی کسانی که تبیین‌خواه بودن «تنظیم ظریف» را می‌پذیرند، با یک قیاس ذوحدین مواجه‌اند. به این ترتیب، کسانی که خواهان تبیین مسئله تنظیم ظریف با فرضیه چندجهانی هستند، باید هر یک از این تنظیم‌های ظریف احتمالی را تبیین کنند.

در استدلال آنتروپیک باید به یک تمایز توجه داشت. وجود حیات شرط یا قیدی است که هر توضیح مناسب فیزیکی باید آن را در خود جای دهد. تبیین‌هایی که با این قید مهم ناسازگار باشند، دارای کفایت تجربی نیستند.

برخی استدلال‌ها شرط آنتروپیک را در خود منظور می‌کنند و پدیدارها را توضیح می‌دهند؛ همانند استدلالی که در بخش بعد در مورد تصادف برابری $N(t)$ و a_G^{-2} ، که در حال حاضر در جهان برقرار است، عنوان کرده‌ایم. ما این تصادف و انطباق را صرفاً با این استدلال توجیه کرده‌ایم که کاملاً معتبر است.

اما نوع دیگری از استدلال آنتروپیک وجود دارد که فراتر از قید آنتروپیک می‌رود و

به اصطلاح منتج نیست؛ یعنی نتیجه از مقدمات حاصل نمی‌شود. این استدلال‌ها می‌توانند نقش تبیینی داشته باشند و به نحوی مورد پذیرش واقع گردند. برای اینکه این نوع دوم از استدلال‌ها را مقبول بدانیم، باید علاوه بر قدرت تبیینی مسئله مورد نظر، شواهدی مستقل هم برای هویت مندرج در این تبیین موجود باشد. علاوه بر آن تبیینی را تبیین خوب می‌نامیم که قادر به وحدت‌بخشی اجزای مختلفی از نظریه‌های علمی باشد. البته اگر فرضیه‌ای که در تبیین علمی به کار می‌رود دارای تأییدات مشاهده‌تی خوبی باشد ما معمولاً آن را تبیین قابل قبولی می‌دانیم.

به‌عنوان مثال همان‌طور که ملاحظه کردیم، گویی ثابت کیهان‌شناختی، تنظیم ظریف شده است. برخی فیزیکدانان همچون ساسکیند (۲۰۰۶) برای توضیح این تنظیم ظریف به نظریه چندجهانی متوسل شده‌اند؛ به این صورت که وقتی ما تعداد بسیار زیادی جهان داریم (شاید بی‌نهایت) که هر یک واجد مقداری برای ثابت کیهان‌شناختی جهان خود است، در آن صورت یکی از این جهان‌ها، جهان ما است که دارای این مقدار خاص است و چون تنها در چنین جهان‌هایی، ناظرانی (همچون انسان) به وجود می‌آیند، حیات در آن رخ داده و به این ترتیب توضیحی طبیعی برای تنظیم ظریف یافت می‌گردد. ولی نکته مسئله در این است که تنظیم ظریف ثابت کیهان‌شناختی به هیچ روی تعدد جهان‌ها را نتیجه نمی‌دهد؛ به عبارت دیگر، این استدلال منتج نیست. البته فرض وجود جهان‌های متعدد می‌تواند تنظیم ظریف را توضیح دهد؛ به این معنی که با فرض وجود مقادیر گسترده‌ای از ثابت‌های فیزیکی که هر یک متعلق به جهانی است، مجموعه‌ای ویژه از آنکه برای حیات مناسب است در جهان ما وجود دارد و در عین حال هر مجموعه‌ای از ثابت‌ها که جهانی را نشان می‌دهد نیز، موجود است که به دلیل عدم برقراری شرایط لازم برای ظهور حیات در این جهان‌ها، زندگی در آن محقق نشده است. با فرض اینکه هر مجموعه از ثابت‌ها وجود دارد (احتمالاً هر مجموعه ممکن از آنها؛ یعنی بی‌نهایت جهان؛ این حدافل مطابق برخی قرائت‌ها از نظریه چندجهانی است)، یک یا چند مجموعه یا رده‌ای از مجموعه‌های فوق برای حیات مناسب خواهد بود. که در آنها موجودات زنده پدید آمده‌اند، پس اینکه چرا حیات در جهان ما به وجود آمده توضیح واضحی دارد: این مجموعه که در جهان ما وجود دارد مناسب حیات است و چون دیگر ما انتخابی از ثابت‌ها را نداریم؛ زیرا هر مجموعه از ثابت‌ها وجود دارد، دیگر این پرسش معنی ندارد که چرا این ثابت‌ها هستند به عوض اینکه ثابت‌های دیگر باشند، ثابت‌های دیگر نیز وجود دارند

و واجد جهانی مخصوص به خود هستند. به این ترتیب مسئله تصادف و هم رویدادی^۱ و احتمال وقوع با هم ثابت‌هایی مشخص، از بین می‌رود.

باید توجه داشت که اگر چه پاسخ فوق، مسئله تصادف و احتمال کم آن را برطرف می‌کند، ولی مسئله‌ای جدید رخ می‌نماید و آن این است: این جهان‌ها تحت چه مکانیزی پدید آمده‌اند؟ به نظر نمی‌رسد پاسخ به این پرسش از پرسش مربوط به چرایی تصادف آسان‌تر باشد؛ بلکه به نظر می‌رسد با فرجه شدن هستی‌شناسی، پاسخ به پرسش منشأ (علی) جهان بسیار دشوارتر خواهد شد. در واقع این تبیین، تبیینی تبصره‌ای^۲ است. این تبیین برای حل یک مسئله، عالم فیزیکی را بسیار بسیار بزرگ می‌کند و هویات بسیاری (در واقع بی‌نهایت هویت را فرض می‌گیرد) برای آن لحاظ می‌کند بدون اینکه دلیل یا شاهدهی مستقل از مسئله تبیین خواه^۳ برای فرض وجود چنین هستی‌شناسی در اختیار باشد. چنین تبیینی با اصل امساک^۴ در تعارض آشکار است و تیغ اوکام^۵ آن را منع می‌کند. بنابراین این استدلال، هم منتج نیست و اگر هم آن را مفروض بگیریم پرسش یا پرسش‌های معضلی پدید می‌آورد همچنین شواهد تجربی له آن چندان قابل اندازه‌گیری نیستند. بنابراین، این استدلال آنتروپیک، تبیینی مقبول ارائه نمی‌دهد. در هر صورت برای وجود چندجهانی باید مکانیزی پیشنهاد شود؛ مثل آنچه در «مناظر» نظریه ریسمان وجود دارد.

دومین مورد استفاده از استدلال آنتروپیک مبتنی بر فرضیه چندجهانی‌ای است که از یک نظریه موفق و مقبول علمی ناشی شده باشد. این چندجهانی می‌تواند تبیین قابل قبولی برای مسئله تنظیم ظریف باشد. در واقع برای ارائه تبیینی قابل قبول برای مسئله تنظیم ظریف باید مکانیزی ارائه گردد که با شواهد علمی مورد تأیید قرار گیرد. در واقع این نوعی استدلال آنتروپیک است. اما سؤال اصلی این است که آیا این استدلال آنتروپیک قابل قبولی است؟ برای روشن شدن این امر ابتدا استدلال آنتروپیک را که به نظر قابل قبول می‌رسد بیان می‌کنیم و در ادامه استدلال آنتروپیک مدافعان نظریه چندجهانی را عنوان می‌کنیم و نشان می‌دهیم که به نظر نمی‌رسد که این استدلال در هدفی که دارد، یعنی تبیین مسئله تنظیم ظریف موفق باشد.^۶

1. Coincidence
2. Ad Hoc
3. Explanandum
4. Parsimony
5. Occam's Razor

۶. همچنین برای ملاحظه مباحثی در مورد مطالب این بخش، رک به: مانسون، ۲۰۰۳ و کار، ۲۰۰۷.

برای ملاحظه نوع مقبول و موفق استدلال آنتروپیک، زمان عمر ستاره‌ای دنباله اصلی را به روش تیپلر^۱ محاسبه می‌نماییم و آن را با عمر جهان مقایسه می‌کنیم، سپس قید حاصل از این روش را بر عمر جهان، معین می‌سازیم. (تیپلر، ۱۹۸۸)

پیش از آن دو مفهوم را معرفی می‌کنیم:

۱. درخشش^۲: درخشش مطلق یک ستاره، برابر است با مقدار انرژی درخشانی که در واحد زمان تابش می‌گردد. (راس^۳، ۲۰۰۳: ۹)

۲. ستارگان دنباله اصلی^۴: این اجسام، ستارگانی هستند که در آنها، میان دمای سطحی یا رنگ و درخشش مطلق، رابطه‌ای وجود دارد که رابطه هر تراسپرانگ - راسل^۵ نامیده می‌شود. (راس، ۲۰۰۳: ۴۳)

درخشش ستاره‌های سنگین نوعاً درخشش ادینگتون است:

$$L_E = \frac{4\pi G M m_p c}{\sigma_T}$$

که در آن M جرم ستاره، m_p جرم پروتون و σ_T سطح مقطع تامسون است. بنابراین اگر η کسری از جرم ستاره باشد، که از طریق احتراق هسته‌ای آزاد می‌شود، t_s (زمان عمر

ستارگان دنباله اصلی) تقریباً برابر است با (تیپلر، ۱۹۸۸):

$$t_s \cong \eta \frac{Mc^2}{L_E} = \frac{\eta Mc^2 \sigma_T}{4\pi G M m_p c} = \eta \left(\frac{a_e}{a_G}\right) \left(\frac{m_p}{m_e}\right)^2 t_p = [\eta (a_e^2 \left(\frac{m_p}{m_e}\right)^2)] a_G^{-1} t_p$$

که در اینجا $10^{-39} \approx \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \equiv a_G$ مقیاس زمانی نوعی برهمکنش قوی است، a_e ثابت ساختار ریز است که برابر است با $\frac{1}{137} = \frac{e^2}{\hbar c}$ و کمیت داخل کروشه از مرتبه ۱ است، بنابراین (تیپلر، ۱۹۸۸):

$$t_s \approx a_G^{-1} t_p \approx 10^{10} \text{ years}$$

عمر جهان نمی‌تواند خیلی بیشتر از این مقدار باشد؛ زیرا در این صورت، قبل از تشکیل ستارگان جدید، گازهای موجود در فضای میان ستارگان مصرف می‌شد و ستارگانی از

1. Tipler
2. Luminosity
3. Ross
4. Main-Sequence Stars
5. Hertzsprung-Russell

نوع خورشید پدید نمی‌آمد. در واقع بعد از 10^{12} سال ستاره‌ای از نوع خورشید تشکیل نمی‌شود و قبل از 10^8 سال نیز چنین ستارگانی به وجود نمی‌آیند. (تپلر، ۱۹۸۸) ملاحظه می‌شود که بررسی‌های آنتروپیک نشان می‌دهد که عمر جهان باید در محدوده 10^8 تا 10^{12} سال باشد؛ زیرا در غیر این صورت حیات تشکیل نمی‌شد. وجود ستارگانی از نوع خورشید برای شکل‌گیری حیاتی که ما می‌شناسیم ضروری است. این نوع از حیات، مبتنی بر کربن است و کربن براساس جوش هسته‌ای^۱ هلیوم^۲ داخل ستارگان تشکیل می‌گردد. این فرآیند چند میلیارد سال طول می‌کشد (البته برای ستارگان بزرگ چند میلیون سال طول می‌کشد)، که بعد از این زمان ستاره، به ابرنواختر^۳ تبدیل می‌شود. فرآیند انفجار ستاره و تبدیل آن به ابرنواختر، عناصر جدیداً تشکیل شده را به فضا پرتاب می‌کند که نهایتاً آنها می‌توانند به سیاره، تبدیل شوند که در آن، حیات امکان شکل‌گیری می‌یابد. (ماسترین، ۲۰۰۴) ملاحظه می‌گردد که ما بازه زمانی وسیعی داریم و به این دلیل است که لازم نیست ثابت گرانش (آنچنان که دیراک معتقد بود) تغییر کند.

دیراک فرض کرده بود که عمر جهان به صورت انتخابی تصادفی، از گستره بسیار زیادی از انتخاب‌های ممکن است، در صورتی که دیکی بیان می‌دارد که چنین نیست، بلکه آن را وجود فیزیکدانان محدود کرده است. (بتینی^۴، ۲۰۰۴)

اکنون کمی این موضوع را باز کنیم تا درک آن بهتر میسر گردد.^۵ همان‌گونه که گفته شد، $a_G \equiv \frac{Gm_p}{\hbar c} \approx 10^{-39}$ است، از طرف دیگر (با فرض برابری تقریبی اجرام پروتون و نوترون) تعداد کل نوکلئون‌های جهان (که در واقع می‌توان جرم آنها را با تقریب خوبی برابر جرم جهان دانست) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$N(t) \equiv \frac{M_u}{m_p} = \frac{4\pi\rho_u(ct)^3}{3m_p} \approx \frac{c^3 t}{Gm_p} \approx 10^{78} \left(\frac{t}{10^{10} \text{ years}} \right)$$

که در آن M_u و ρ_u به ترتیب جرم و چگالی جهان‌اند و m_p جرم پروتون است. ملاحظه می‌کنید که $N(t)$ تابع زمان عمر جهان است، ولی a_G مستقل از زمان است. اکنون اگر عمر جهان یعنی t را بر 10^{10} بگیریم (همان‌طور که پیش از این محاسبه کردیم) $N(t) \approx 10^{78}$

1. Nuclear Fusion
2. Helium
3. Supernova
4. Bettini

۵. این توضیحات مبتنی بر کتاب بارو و تپلر (۱۹۸۶) است.

می‌شود. اما مقدار a_G برابر 10^{-39} است. بنابراین:

$$N(t_0) \approx a_G^{-2} \quad (t_0 \text{ عمر کنونی جهان است})$$

در واقع «دیراک چنین می‌پنداشت که بسیار ناممکن است که این دو کمیت صرفاً واجد اندازه‌های بدون بعدی باشند که هر دو بسیار بزرگ‌تر از یک بوده و با این حال مستقل از هم باشند. در عوض، باید میان آنها تساوی تقریبی به صورت $N(t) \approx a_G^{-2}$ برقرار باشد». (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۲۰)

چون $N(t)$ وابسته به زمان است، ولی a_G مستقل از زمان، این تساوی تنها در صورتی همواره برقرار است که a_G وابسته به زمان باشد. $N(t)$ نمی‌تواند مستقل از زمان نباشد چون $\rho_u \approx (Gt^2)^{-1}$ است (البته می‌توان اشکال را ناشی از این فرض نیز دانست، ولی هزینه آن برای دیراک، بیشتر از متغیر فرض کردن a_G بود). در این صورت باید یکی از ثوابت به کار رفته در آن ثابت نباشد دیراک پیشنهاد کرد، آن ثابتی که در واقع متغیر است، G است که با زمان تغییر می‌کند. اما اگر از اصل آنتروپیک ضعیف^۱ استفاده کنیم، این امر لازم نمی‌آید. رابطه $N \approx a_G^{-2}$ که اکنون برقرار است، شرطی لازم برای وجود ما است؛ زیرا قبل از تشکیل ستارگان یا بعد از نابودی آنها مشاهده‌گری نیست که بتواند به نظاره پدیدارها بپردازد. بیشترین احتمال برای تحقق مشاهده، زمانی نزدیک به $t_0 \approx \left(\frac{Gm_p^2}{\hbar c}\right) \frac{\hbar c}{m_p c} \approx 10^{10} \text{ years}$ است که نشان‌دهنده عمر جهان است. (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۲۱)

۹۲

بنابراین اگر فرض کنیم δ فرضیه دیراک و γ فرضیه مخالف آن؛ یعنی متغیر نبودن ثابت نیوتن G باشد و همچنین E مشاهده‌ای باشد که مبین تصادف برابری $N(t)$ و a_G^{-2} است، آنگاه $P_S(E/\gamma) \leq 1$. در اینجا $P_B(E/\gamma)$ احتمال پیش‌بینی وقوع E به شرط γ است، اضافه کردن قید آنتروپیک این احتمال را به یک نزدیک می‌سازد؛ یعنی $P_S(E/\gamma \& A) \approx I$ که در آن A به معنای قید آنتروپیک است. (بارو و تیپلر، ۱۹۸۶: ۲۱)

نوعی دیگر از استدلال آنتروپیک وجود دارد که واضعان آن، بر این عقیده‌اند که می‌توان به این طریق، فرضیه چندجهانی را مورد آزمون قرار داد. در این رویکرد، این‌گونه فرض می‌شود که اگر جهان ما بیش از آنچه لازم است^۲، به‌طور ظریف تنظیم یافته باشد، فرضیه چندجهانی رد می‌شود و اگر چنین نبود و به‌میزان نوعی تنظیم ظریف یافته بود، این

1. Weak Anthropic Principle

۲. البته اینکه «بیش از اندازه تنظیم ظریف شدن» به چه معنا است، موضوعی است که جای بحث دارد.

فرضیه، تأیید می‌گردد. کمیتی که در اینجا به کار رفته ثابت کیهان‌شناختی بوده است. (کار، ۲۰۰۷: ۴۰۳) این استدلال را می‌توان به صورت زیر بیان کرد (کار، ۲۰۰۷: ۴۰۳):

مقدمه ۱: نظریه میدان کوانتومی مستلزم این است که Λ خیلی بزرگ باشد.

مقدمه ۲: تشکیل کهکشان‌ها که لازمه وجود ما است، نیازمند این است که Λ به میزان کافی کوچک باشد.

مقدمه ۳: احتمال اینکه جهانی واجد Λ ی کوچکی باشد (احتمال پیشینی آن) در میان مجموعه جهان‌ها بسیار پایین است، ولی اگر ما شرط وجود حیات را به آن اضافه کنیم، بزرگ می‌شود.

مقدمه ۴: ما انتظار نداریم که جهانی که اجازه تشکیل حیات را می‌دهد، خیلی بیش از میزان لازم تنظیم یافته باشد.

مقدمه ۵: داده‌های کنونی نشان می‌دهد که Λ خیلی پایین‌تر از مقدار آستانه برای حیات (یعنی مقداری که بالاتر از آن حیات شکل نمی‌گیرد) نیست.

نتیجه: توضیح تنظیم ظریف، با فرضیه چندجهانی موجه است.

استدلال فوق به این صورتی که در اینجا آورده شده است، به هیچ‌وجه منتج نیست و واجد نقصان است. من می‌کوشم با اضافه کردن مقدمات و توضیحاتی آن را قابل قبول سازم. ابتدا ملاحظه می‌کنیم، که مقدمات ۱ و ۲ با هم در تعارض‌اند. مقدمه ۳ به نحوی تلاش برای حل این تعارض است. در واقع این استدلال تنها مبتنی بر مقدمات ۴ و ۵ است، اکنون باید بپرسیم، چرا سه مقدمه اول عنوان شده است. پاسخ آن را می‌توان در وایلن‌کین (۱۹۹۵) و واینبرگ^۱ (۲۰۰۰) یافت. در استدلال فوق تلویحاً این مطلب وجود دارد که برای Λ یک تابع توزیعی چون $f(\Lambda)$ وجود دارد که توزیع آن به‌ازای مقادیر زیاد Λ بزرگ است و به‌ازای مقادیر کم Λ که مناسب حیات‌اند، کوچک است. به این ترتیب، مقدمات ۱، ۲ و ۳ در واقع مبین فرض وجود چندجهانی‌اند که در آن، توزیع به‌طور طبیعی در Λ های بالا است، ولی Λ ی پایین هم واجد توزیع است؛ یعنی جایی در چندجهانی محقق می‌گردد، هر چند نسبت آن به جهان‌های واجد Λ ی بزرگ خیلی کمتر است. مقدمه ۳ این مطلب را عنوان می‌کند که اگر به‌طور تصادفی جهان‌ها را انتخاب کنیم، احتمال رسیدن به جهانی با Λ ی کوچک بسیار کم است، ولی وقتی این شرط را اضافه کنیم، انتخاب از میان جهان‌هایی صورت می‌گیرد که واجد حیات‌اند. در این حالت، احتمال

حصول Λ ای کوچک، بسیار بالا خواهد بود. در واقع مقدمات ۱، ۲ و ۳ تبیین چگونگی توضیح تنظیم ظریف با فرضیه چندجهانی است. در مقدمات ۴ و ۵ این تبیین را مورد آزمون قرار می‌دهیم. در استدلال واینبرگ و وایلن کین^۱ از اصل میانگی^۲ استفاده شده است. این اصل روشی است که گارریگا^۳ و وایلن کین ارائه داده‌اند و می‌گویند که «تمدن ما در میان مجموعه تمدن‌ها در جهان، تمدنی معمولی است» (اسمولین^۴، ۲۰۰۴) در این استدلال یک معادله اساسی وجود دارد که به صورت زیر است:

$$dP(\rho v) = P_x(\rho v) N(\rho v) d\rho v$$

در اینجا $dP(\rho v)$ احتمال این است که حیات هوشمند به‌ازای یک انرژی خلأ (یعنی یک ثابت کیهان‌شناختی) میان ρv و $\rho v + d\rho v$ رخ دهد و $P_x(\rho v)$ احتمالی پیشینی است که چگالی انرژی خلأ در این حوزه باشد و $N(\rho v)$ ، کسری از باریون‌ها است که به کهکشان‌ها منتهی می‌شود. فرض احتمال یکنواخت مستلزم این است که $P_x(\rho v)$ در حوزه‌ای که $N(\rho v)$ صفر نیست، تقریباً ثابت باشد. نشان داده شده است که تحت برخی فرض‌های فیزیکی ۵٪ تا ۱۲٪ جهان‌ها دارای ثوابت کیهان‌شناختی کوچک‌تر از جهان ما خواهند بود. این درصدها را در حد قابل انتظار تلقی کرده‌اند، بنابراین فرضیه چندجهانی ابطال نمی‌شود. (کار، ۲۰۰۷: ۴۰۴)

باید توجه داشت که براساس این تحلیل اگر جهان‌های واجد ثوابت کیهان‌شناختی کوچک‌تر از جهان ما؛ به‌عنوان مثال ۰/۰۱٪ تا ۰/۰۰۵٪ بودند، احتمالاً باید فرضیه چندجهانی ابطال می‌شد (هرچند ابهامی در حدود این مقادیر و منقح نبودن مرز تنظیم ظریف بیش از حد، وجود دارد).

این استدلال اشکالات مهمی دارد، همان‌طور که الیس ذکر می‌کند «مجموعه معقول دیگری از فرض‌های فیزیکی را در نظر بگیرید که به ۰/۰۱٪ یا ۰/۰۰۱٪ منجر شود؛ به‌عنوان مثال، این امر می‌تواند با مجاز دانستن تغییر ثابت‌هایی دیگر به همراه Λ روی دهد.» (کار، ۲۰۰۷: ۴۰۴) مسئله اصلی این است که مقدار پیشینی $P_x(\rho v)$ از کجا می‌آید، «در زمینه‌ای که ما از پیش می‌دانیم که احتمالات بسیار کوچکی وجود دارد ما می‌توانیم این آستانه را براساس سبلقه انتخاب کنیم؛ تمام نکته استدلال در توجیه

1. Vilenkin
2. Mediocrity
3. Garriga
4. Smolin

مقداری برای $P_x(\rho_V)$ است، که با توانی به بزرگی ۱۲۰ از مقدار حداکثر خود تفاوت دارد. به علاوه، اصل میانگی می‌تواند صادق یا کاذب باشد؛ پذیرش آن یک پیش‌فرض فلسفی است. فرض‌های فیزیکی به کار رفته در این محاسبات ویژه ممکن است معقول باشند، ولی آنها به‌طور علمی اثبات نشده‌اند». (کار، ۲۰۰۷: ۴۰۴)

به‌نظر می‌رسد که گزینه‌های مهم برای تبیین تنظیم ظریف در فیزیک مدل تورم آشوبناک، مناظر نظریه ریسمان و چندجهانی حاصل از معادله ویلر دوویت است. در اینجا بررسی تفصیلی این سه نظریه یا مدل به‌لحاظ تنظیم ظریف ممکن نیست تنها این نکته را یادآور می‌شوم که هر سه این موارد مستلزم نوعی تنظیم ظریف هستند؛ یعنی با پیشنهاد این مکانیزم‌ها تنها تنظیم ظریف یک سطح بالاتر رفته است. به‌عنوان مثال؛ برای تحقق تورم لاگرانژی‌های خاصی لازم است، همچنین در این لاگرانژی‌ها ثوابت خاصی هستند و یک رشته شرایط اولیه مورد نیاز است، نهایتاً باید فرآیند تشکیل جهان‌ها، فرآیند کوانتومی باشد. بنابراین هر چهار مورد از موارد تنظیم ظریف به یک سطح بالاتر رفته و خود نیازمند تبیین است.

بنابراین به‌نظر نمی‌رسد طراحان استدلال آنتروپیک مبتنی بر نظریه چندجهانی تبیین مناسبی برای مسئله تنظیم ظریف یافته باشند آنها صرفاً سطح تنظیم ظریف را تغییر داده‌اند، ولی مسئله کماکان باقی است. آنچه تنظیم ظریف را به‌طور کامل برطرف می‌سازد پیشنهاد مکانیزمی است که:

اولاً، یک قانون واحد و کلی را معین کند که جایگزین‌های آن یا غیرممکن باشند یا غیرمحمتمل باشند که به این ترتیب، تنظیم ظریف قوانین منتفی گردد. یا صرفاً چند قانون محدود برای تبیین جهان معین گردد که نهایتاً انتخاب از میان آنها واجد احتمال بسیار ضعیفی نباشد. این مسئله بنا بر تعریف ما از قانون به این صورت می‌شود که یک لاگرانژی باشد که یا جایگزینی برای آن متصور نباشد و یا احتمال حاکم بودن جایگزین‌های آن در یک جهان فرضی پایین باشد و یا تعداد کمی لاگرانژی وجود داشته باشد که احتمال وقوع هر یک و تشکیل یک جهان، پایین نباشد. علاوه بر اینها لاگرانژی مخصوص جهان ما باید پذیرای حیات باشد یعنی به‌گونه‌ای باشد که حیات را ممکن سازد.

ثانیاً، ثوابت موجود در آن قانون یا قوانین معدود جایگزین کاملاً معین گردند یا حداقل با احتمال بالایی مشخص شود که چه نوع ثوابتی را می‌توان برای آنها لحاظ کرد. با تعریف ما لاگرانژی یا لاگرانژی‌ها باید به‌گونه‌ای باشند که یا تنها یک تعداد ثابت معین داشته

باشند یا تعداد معدودی ثابت جایگزین با احتمال‌های بالا وجود داشته باشد و وجود ثوابت دیگر احتمال پایینی داشته باشند تا مسئله تنظیم ظریف رخ ندهد.

ثالثاً، شرایط اولیه باید به گونه‌ای باشد که یا تنها یک رشته معین از شرایط اولیه مورد قبول باشد و دیگر شرایط اولیه به طریقی غیرقابل قبول باشد و یا یک رشته محدودی از شرایط اولیه واجد احتمال بالایی باشند و شرایط اولیه دیگر احتمال پایینی داشته باشند. همچنین باید میدان‌های این لاگرانژی‌ها شرط کوانتیزاسیون را برآورده سازند و احتمال کوانتومی شدن آنها هم بالا باشد. در واقع این خود سؤال مهمی است که آیا احتمال تحقق کلاسیکی یک لاگرانژی با احتمال تحقق کوانتومی آن برابر است؟ این احتمال می‌تواند مهم باشد.

به نظر نمی‌رسد که هیچ‌یک از شرایط فوق در مورد نظریه‌های فیزیکی فوق؛ یعنی نظریه ریسمان، مدل تورم آشوبناک و چندجهانی حاصل از معادله ویلر دوویت برقرار باشد، به این ترتیب به نظر نمی‌رسد که پیشنهاد چندجهانی، تاکنون در تبیین کامل مسئله تنظیم ظریف موفق بوده باشد.

۶. نتیجه‌گیری

ما در این مقاله ابتدا، مفهوم جهان، چندجهانی و تقسیم‌بندی جهان‌ها را ارائه دادیم. پس از آن به معرفی مفهوم تنظیم ظریف پرداختیم و انواع تنظیم‌های ظریف را که براساس قوانین، ثوابت، شرایط اولیه و فرآیندهای تولید جهان بود، معرفی نمودیم. همچنین اصول آنتروپیک ضعیف و قوی و استدلال آنتروپیک را تعریف نمودیم و در مورد دو نوع استدلال آنتروپیک موفق و استدلال آنتروپیک ناموفق توضیح دادیم. در ادامه بیان داشتیم که استدلال آنتروپیک باید از یک مکانیزم معینی نتیجه شود که خود مکانیزم قابل قبول باشد و به‌علاوه استدلال آنتروپیک در تبیین مسئله مورد نظر؛ یعنی تنظیم ظریف هم کامیاب باشد. نهایتاً استدلال شد که هیچ‌یک از استدلال‌های آنتروپیک مبتنی بر چندجهانی، که مکانیزم آنها در فیزیک نظری است، تاکنون قادر به ارائه تبیین قابل قبولی از مسئله تنظیم ظریف نبوده‌اند.

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری نویسنده با عنوان «نقد و بررسی صورت‌بندهای مختلف نظریه چندجهانی» است.

منابع

۱. برد، ادوین آرثر. (۱۳۷۸). *مبادی مابعدالطبیعی علوم نوین*. عبدالکریم سروش. چاپ سوم. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.
۲. صفایی‌پور، حامد؛ سیدمحمدعلی حجّتی؛ ابراهیم آزادگان و لطف‌الله نبوی. (۱۳۹۲). اصل آنتروپیک و نقش آن در برهان تنظیم ظریف کیهانی بررسی و نقد دیدگاه‌ها. پژوهش‌های علم و دین. پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی. سال چهارم. شماره ۲.
۳. کاپلستون، فردریک. (۱۳۸۸). *تاریخ فلسفه: یونان و روم*. سیدجلال‌الدین مجتبی. جلد ۱. چاپ هشتم. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.
۴. کستلر، آرتور. (۱۳۸۷). *خوابگردها*. منوچهر روحانی. چاپ سوم. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.

5. Barrow, J. D. & J. Tipler Frank. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press.
6. Bettini, S. (2004). *Anthropic Reasoning in Cosmology: A Historical Perspective*. *Arxiv.org*. <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0410/0410144.pdf>.
7. Bondi, H. (1968). *Cosmology*. Second Edition. London: The Syndics of the Cambridge University Press.
8. Carr, B. (Ed.). (2007). *Universe or Multiverse*. Cambridge: Cambridge University Press.
9. Carroll, S. M. & W. H. Press. (1992). The Cosmological Constant. *Annu, Rev, Astron, Astrophys*. 30: 499-542.
10. Carroll, S. M. (2000). *The Cosmological Constant*. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0004075v2.pdf>
11. Craig, W. L. & J. P. Moreland. (Eds.). (2009). *The Blackwe Companion To Natural Theology*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
12. Cushing, J. T. (1998). *Philosophical Concepts in Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
13. Davies, P. C. W. (2004). *Multiverse Cosmological Models*. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0403/0403047.pdf>.
14. Earman, J. (1987). The SAP also Rises: A Critical Examination of the Anthropic Principle. *American Philosophical Quarterly*. 24: 307-317.
15. Everett, H. (1957a). *On the Foundations of Quantum Mechanics*. Ph.D. Thesis, Princeton University. Department of Physics.
16. Everett, H. (1957b). Relative State' Formulation of Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*. 29: 454-462. Reprinted in Wheeler and Zurek 1983: 315-323.
17. Kragh, H. (2010). When Is a Prediction Anthropic? Fred Hoyle and the 7.65 MeV Carbon Resonance. *PhilSci Archive*. <http://philsci-archive.pitt.edu/5332/1/3alphaphil.pdf>.
18. Leslie, J. (1989). *Universes*. London: Routledge.
19. Linde, A. D. (2002). *Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle*. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0211048v2.pdf>.
20. Longair, S. M. (1974). *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*. Dordrecht and Boston: D. Reidel Publishing.
21. Manson, N. (Ed.). (2003). *God and Design The Teleological Argument and Modern Sci-*

- ence. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
22. Mosterin, J. (2004). *Anthropic Explanations in Cosmology*. Philsci-archive. pitt. edu.
 23. Peskin, M. E. & D. V. Schroeder. (1995). *An Introduction to Quantum Field Theory, Readin*. Massachusetts: Adison Wesley.
 24. Rees, Martin (2000). *Just Six Numbers*. New York: Weidenfeld & Nicolson.
 25. Riess, A. G.; A. V. Filippenko; P. Challis; A. Clocchiattia; A. Diercks; P. M. Garnavich; R. L. Gilliland; C. J. Hogan; S. Jha; R. P. Kirshner; B. Leibundgut; M. M. Phillips; D. Reiss; B. P. Schmidt; R. A. Schommer; R. C. Smith; J. Spyromilio; C. Stubbs; N. B. Suntzeff. & J. Tonry (1998). Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *arxiv:hep*. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9805201>.
 26. Ross, M. (2003). *Introduction to Cosmology*. Third Edition. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
 27. Smolin, L. (2004). Scientific Alternatives to the Anthropic Principle. *arxiv:hep*. <http://arxiv.org/abs/hep-th/0407213v3.pdf>.
 28. Susskind, L. (2006). *The Cosmic Landscape: String Theory and Illusion of Intelligent Design*, Little, Brown and Co. New York.
 29. Tipler, F. J. (1988). The Anthropic Principle: A Primer for Philosophers. *PSA*. Volume 2. pp. 27-48.
 30. Vilenkin, A. (1995). Quantum Cosmology and the Constants of Nature. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9512031v1.pdf>.
 31. Vilenkin, A. (2004). Anthropic Predictions: the Case of the Cosmological Constant. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0407586v1.pdf>.
 32. Weinberg, S. (1972). *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory Of Relativity*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
 33. Weinberg, S. (2000). The Cosmological Constant Problems. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0005265v1.pdf>.
 34. Wilczek, F. (2013). Multiversality. *arxiv.org*. <http://arxiv.org/abs/1307.7376v1.pdf>
 35. Zee, A. (2010). *Quantum Field Theory in a Nutshell*. Second Edition. Princeton: Princeton University Press.