

چندجهانی و آزمون پذیری

سعید معصومی*

مهدی گلشنی**، محمدمهدی شیخ جباری***

چکیده

چندجهانی و استناد به اصل یا استدلال آنتروپیک اخیراً در برخی زمینه‌های فیزیک مطرح شده است. در این مقاله بحث می‌کنیم که سه نوع چندجهانی در صورت‌بندی لاگرانژی سیستم‌های فیزیکی قابل تمیز است و استدلال می‌کنیم که چندجهانی می‌تواند ناشی از اثری کلاسیک باشد؛ چنان‌که در مناظر نظریه ریسمان بروز می‌یابد یا اثری کوانتومی مانند آنچه در مدل تورم آشوبناک دیده می‌شود. سپس با ارائه دو استدلال له چندجهانی، مروری انتقادی بر نظراتی خواهیم داشت که در آن‌ها حکم به ترک معیار آزمون‌پذیری تجربی شده است. نظر ما این است که چنین کاری نوعی نقض غرض است، زیرا فرق فارق علوم تجربی و دیگر معارف بشری، تجربی بودن آن است. بنابراین نظریه چندجهانی باید مکانیزمی آزمون‌پذیر ارائه دهد تا جزو قلمرو علم تجربی تلقی گردد. در این مقاله ما معیاری نیز برای آزمون‌پذیری ارائه می‌دهیم.

کلیدواژه‌ها: چندجهانی، نظریه‌های ریسمان و تورم کیهانی، آزمون‌پذیری، اصل آنتروپیک.

۱. مقدمه

اعتقاد به وجود جهان‌های متعدد سابقه دور و درازی دارد و می‌توان ریشه آن را در

* دانشجوی دکتری فلسفه علم و فناوری، دانشگاه صنعتی شریف masoumisaeed@yahoo.com

** استاد فیزیک دانشگاه صنعتی شریف و پژوهشگاه دانش‌های بنیادی mehdigolshani@yahoo.com

*** استاد فیزیک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی jabbari@theory.ipm.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۷

بیانات فیلسوفان یونان باستان یافت. از جمله این فیلسوفان آناکسیمندر (Anaximander) است که معتقد بود ماده‌ی مواد نامتعیین است؛ وی معتقد بود که این عنصر نامتناهی، «ازلی و بی‌زمان است و تمام جهان‌ها را فراگرفته است» (کاپلستون، ۱۳۸۸: ۱/ ۳۴). همچنین اعتقاد اتمیان بر این بود که «از برخورد اتم‌های نامتناهی که در خلأ در حرکت‌اند، جهان‌های بی‌شمار پدید می‌آیند» (همان: ۱/ ۹۰). در دوران معاصر این اندیشه مجدداً ابتدا در قلمرو نظریه‌ی کوانتوم و پس از آن در کیهان‌شناسی و گرانش کوانتومی احیا شده است. فرضیه‌ی چندجهانی ابتدا در قلمرو نظریه‌ی کوانتوم، به مثابه‌ی تعبیری از مکانیک کوانتومی مطرح شد و به آن نام تعبیر چندجهانی دادند. این تعبیر را اورت (Everett) در ۱۹۵۷ مطرح کرد (Everett, 1957 a; Everett, 1957 b). 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 ممکنى واقعاً در جهانی رخ می‌دهد؛ به عبارت دیگر هر نتیجه‌ای با احتمال غیر صفر تحقق پیدا می‌کند. این تعبیر چندان مورد استقبال دانشمندان حوزه‌ی مکانیک کوانتومی قرار نگرفت.

با طرح اندیشه‌ی تورم کیهانی در قلمرو کیهان‌شناسی و ظهور مباحثی در حوزه‌ی گرانش کوانتومی، خصوصاً نظریه‌ی ریسمان (string theory)، از حدود سی سال پیش، فرضیه و پارادایم چندجهانی با استقبال زیادی مواجه شد. دو علت عمده برای این امر می‌توان ذکر کرد: نخست این که در هریک از این حوزه‌ها، مسئله‌ی جهان‌های متعدد به طور طبیعی ظهور کرد؛ و علت دوم، به کارگیری ویژگی وجود چندجهانی به‌عنوان راهکاری برای حل مسئله تنظیم ظریف بوده است. این موارد نیز در بخش ۲ مختصراً تبیین می‌شود.

در این مقاله پس از توضیح کوتاهی در مورد چندجهانی و انواع مختلف ظهور این مفهوم در فیزیک اخیر در بخش ۲، در بخش ۳ توضیحاتی در مورد مباحث آنتروپیک، اصل آنتروپیک، و استدلال آنتروپیک خواهیم داد، و سپس در بخش ۴ به بررسی و نقد دو استدلال له وجود چندجهانی از استیون واینبرگ (Steven Weinberg) و لئونارد ساسکیند (Leonard Susskind) می‌پردازیم، که در هر دو مورد (مخصوصاً در مورد ساسکیند) به نحوی رأی به کنارگذاشتن معیار آزمون‌پذیری (testability) داده می‌شود. در بخش ۵ جمع‌بندی و نتایج بحث ارائه می‌شود.

۲. فرضیه چندجهانی

۱.۲ مقدمه

ابتدا باید تأکید کنیم که در این مقاله، منظور ما از متافیزیک (مابعدالطبیعه)، متافیزیک به مفهوم ارسطویی آن است: یعنی بحث در مورد احکام کلی هستی.

همچنین دیدگاه ما، دیدگاه واقع‌گرایانه به علم است؛ به این معنا که در این دیدگاه، الف) نظریه‌های علمی بالغ، دارای ارزش صدق و کذب‌اند؛ یعنی هویت مندرج در آن‌ها، لفظاً (literally) صادق یا کاذب‌اند (نظرگاه معناشناختی)؛ ب) نظریه‌های بالغ و موفق، صادق یا به طور تقریبی صادق‌اند (دیدگاه معرفت‌شناختی)؛ ج) هویت مندرج در نظریه‌های علمی مستقل از ما و ذهن ما وجود دارند (دیدگاه متافیزیکی). تقسیم‌بندی ما از واقع‌گرایی علمی مبتنی بر تقسیم‌بندی سیلوس (Psillos) است:

۱. نظرگاه متافیزیکی مبین آن است که جهان دارای ساختار معین و طبیعی مستقل از ذهن است؛

۲. دیدگاه معناشناختی نظریه‌های علمی را در شکل ظاهری آن، به عنوان توصیفاتی که در حیطه مورد نظر، یعنی حوزه مشاهده‌پذیرها و مشاهده‌ناپذیرها دارای ارزش صدق هستند، در نظر می‌گیرد. بنابراین نظریه‌های علمی قابل صدق و کذب‌اند. احکام نظری به اظهاراتی در مورد رفتار مشاهده‌پذیر، قابل تحویل نیستند همچنین آن‌ها صرفاً ابزاری برای برقراری ارتباط میان مشاهده‌پذیرها نیستند. عبارات نظری که در نظریه‌ها یافت می‌شوند دارای مرجع واقعی عرفی هستند. بنابراین اگر نظریه‌های علمی صادق باشند، هویت مشاهده‌ناپذیری که آن‌ها در نظر می‌گیرند (فرض می‌کنند)، جهان را اشغال کرده‌اند؛

۳. موضع معرفتی، نظریه‌های علمی بالغ و موفق در پیش‌بینی را، دارای تأیید خوب و به طور تقریبی در مورد جهان صادق می‌داند، بنابراین هویت مفروض آن نظریه‌ها یا هویتاتی که خیلی شبیه به آن‌ها هستند، واقعاً در طبیعت وجود دارد (Psillos, 1999: xix).

همچنین توجه به این نکته لازم است که واقع‌گرایی متافیزیکی را می‌توان از واقع‌گرایی علمی متمایز ساخت. درحقیقت می‌توان گفت، دو نوع کلی واقع‌گرایی داریم که (به نوعی) در طول هم قرار می‌گیرند و متعلق به دو سطح از بحث‌اند: سطح اول، که ما آن را با عنوان واقع‌گرایی متافیزیکی (یا فلسفی) مشخص می‌کنیم، مبین دیدگاه واقع‌گرایانه در مورد کل عالم هستی است و دقیقاً در مقابل مکتب ایدئالیسم (idealism) قرار می‌گیرد؛ سطح دوم، واقع‌گرایی علمی است که در بالا تعریف کردیم. بحث مبسوط‌تر در این مورد در ضمیمه

یک آمده است. به هر روی، هر دو نوع واقع‌گرایی مطرح‌شده در این‌جا مواضعی فلسفی و خارج از محدوده فیزیک، به عنوان یک علم تجربی، قرار دارند.

همچنین باید توجه داشت که منظور از چندجهانی در این مقاله جهان‌های متعدد مطرح‌شده در برخی نظریه‌های فیزیکی است. به طور کلی سه نوع چندجهانی می‌توان در نظر گرفت: ۱. چندجهانی‌ای که قوانین متفاوتی در جهان‌های آن حاکم‌اند؛ ۲. چندجهانی‌ای که قوانین حاکم بر جهان‌های آن یکسان‌اند، ولی در ثوابت فیزیکی و شرایط اولیه متفاوت‌اند؛ ۳. چندجهانی‌ای که قوانین حاکم بر جهان‌های آن، و ثوابت آن‌ها یکسان هستند، اما پدیدآمدن جهان‌های متعدد و متمایز به علت وجود شرایط اولیه متفاوتی است که این جهان‌ها با آن‌ها آغاز کرده‌اند. باید توجه داشت که می‌توان چندجهانی‌ای را فرض کرد که ترکیبی از این سه حالت در آن وجود دارد؛ یعنی در میان تعدادی از جهان‌ها قوانین متفاوت هستند، و در میان آن عده که قوانین مشترکی دارند، مجموعه‌هایی هستند که در آن‌ها ثوابت و شرایط اولیه متفاوت است و در میان جهان‌هایی که قوانین و ثوابت یکسانی دارند، اختلاف جهان‌ها، بر اساس اختلاف شرایط اولیه است. همچنین برخی معتقدند که با تغییر ثوابت فیزیکی، قوانین فیزیک نیز تغییر می‌کنند؛ زیرا قوانین شامل ثوابت‌اند و در نتیجه با تغییر ثوابت، قوانین هم تغییر خواهند کرد.

برای زدودن این ابهام و تمایز دقیق‌تر بین حالات ۱، ۲، و ۳ که در بالا برشمرده شدند، در این‌جا تعریف و تبیینی از هر یک ارائه می‌دهیم. ما فعلاً یک نظریه را با یک لاگرانژی (lagrangian) مشخص می‌کنیم. هر لاگرانژی چه در دیدگاه دینامیک ذرات و چه در دینامیک میدان، تابعی از درجات آزادی و پارامترها است. در این‌جا منظور از قانون یک نظریه وجود یک لاگرانژی خاص است که در آن پارامترهای موجود در لاگرانژی می‌توانند مقادیر مختلفی به خود بگیرند. در حالت کلی دینامیک با معادلات حرکت، معادلات دیفرانسیلی که برای حل آن‌ها مقادیر اولیه مورد نیاز است، تبیین می‌شود. مثلاً مدلی را در نظر بگیرید که در آن دو میدان اسکالر هم‌چون Φ و ϕ (درجات آزادی) وجود دارد، که دومی میدان هیگز (Higgs) است. جرم‌های ذرات بنیادی، در فیزیک ذرات با موضع کمینه پتانسیل مؤثر $V(\phi)$ معین می‌شود. این دو میدان می‌توانند مقادیر متعددی از حداقل‌های موضعی داشته باشند، که اگر بر اثر فرایند شکست خودبه‌خودی تقارن (spontaneous symmetry breaking) در بخش‌های گوناگون جهان، واجد کمینه‌های متفاوتی شوند، در آن صورت جرم‌های ذرات بنیادی در این بخش‌ها متفاوت خواهند بود.

لينده (Linde) معتقد است در اين بخش‌ها قوانين نيز متفاوت است (Linde, 2002). در رويکرد ما فقط هنگامي قوانين متفاوت خواهند بود که صورت‌بندي‌ها (يعنی لاگرانژی‌ها) متفاوت باشند؛ به عبارت ديگر ساختارهای مابين نظريه مختلف باشند. برای مثال تفاوت در لاگرانژی، به صورتی که میدان‌های موجود در آن متفاوت باشند، قوانين متفاوتی را نتیجه می‌دهد.

مثال نوع اول، جهان‌های حاصل از فرایند فشرده‌سازی در نظریه ريسمان است. مثال نوع دوم از چندجهانی، جهان‌های حاصل از تورم آشوبناک (chaotically) است و همچنین جهان‌های حاصل از اسناد تابع موج به چندجهان، بر اساس معادله ويلر-دوويت، که شامل جهانی است که متریک‌های متفاوتی دارند. مثال نوع سوم، جهان‌های ناشی از تقلیل تابع موج است، که بر اساس تعبیر اورت لحاظ می‌گردد.

۲.۲ چندجهانی تورم آشوبناک

فرضیه چندجهانی در کیهان‌شناسی با مدل‌هایی نظیر تورم آشوبناک لينده مطرح شد. اولین مدل تورمی را گوث (Guth) در ۱۹۸۱ ارائه داد (Guth, 1981) که به آن تورم قدیمی می‌گویند (Linde, 2007). اين مدل، که ابتدا برای توضیح شرایط اولیه نظریه مهبانگ داغ مطرح شده بود (Liddle, 1999)، مبتنی بر ابرسردشدن جهان (supercooling) طی انتقال فازهای کیهان‌شناختی بود. اگرچه اين سناریو موفقیت‌آمیز نبود، تأثیر مهمی در فهم اين مطلب داشت که چگونه تورم می‌تواند مسائل عمده کیهان‌شناختی را حل کند (Linde, 2007). البته باید توجه داشت که بر خلاف تصور عمومی اندیشه محوری تورم، اين که جهان یک دوره انبساط نمایی کوتاه را طی کرده است، متعلق به گوث نیست و به پیش از او باز می‌گردد (Kox and Eisentaedt, 2005: 222).

نظریه تورمی بعدی، که مشکلاتش کم‌تر از نظریه گوث است، نظریه تورمی جدید است که لينده آن را در ۱۹۸۲ ارائه داد (Linde, 1982). اما نظریه تورم آشوبناک، که لينده آن را در ۱۹۸۳ ارائه کرد (Linde, 1983) بهتر از اين دو به مسائل پاسخ داد. در ساده‌ترین مدل نظریه تورمی فرض بر اين است که میدانی اسکالر، چون ϕ با جرم m و پتانسیل $V(\phi) = 1/2m^2\phi^2$ وجود دارد و نوسانات اين میدان در حالت خلأ منجر به بروز تورم می‌گردد. اگر جهان در ابتدا، واجد میدانی اسکالر باشد که به طور آشوبناک توزیع شده باشد، در آن نواحی که میدان کوچک است، تورم صورت نمی‌گیرد. اما در تعدادی از

نواحی که میدان به اندازه کافی بزرگ است، تورم روی می‌دهد و «جزایری همگن از آشفتگی اولیه پدید می‌آید، که هریک بسیار بزرگ‌تر از اندازه بخش قابل مشاهده جهان است» (Carr, 2007: 131). در این جا جا دارد که دو نکته مورد تأکید قرار گیرد: ۱. همان‌طور که ذکر شد، این چندجهانی از نوع دوم است، ولی مدل‌هایی از آن را می‌توان در نظر گرفت که نوع اول را نیز دربر بگیرد. برای مثال در کنش مربوط به تورم آشوبناک جملاتی اضافه می‌کنیم که حاوی میدان‌های جدیدی باشند؛ ۲. این چندجهانی ناشی از اثری کوانتومی است، یعنی افت و خیزهای کوانتومی آن را پدید می‌آورند.

۳.۲ چندجهانی گرانش کوانتومی

حوزه دیگری از فیزیک نظری که در آن موضوع چندجهانی مطرح می‌شود، حوزه گرانش کوانتومی است که شاید موفق‌ترین صورت‌بندی آن در حال حاضر نظریه ریسمان باشد. نظریه ریسمان که ابتدا برای توضیح نیروی هسته‌ای قوی در دهه ۱۹۶۰ میلادی ابداع شد (Becker, Becker, and Schwarz, 2007: xi) اکنون به عنوان گزینه‌ای پرطرفدار جهت نظریه وحدت نیروها (Zwiebach, 2009: 6) و همچنین گرانش کوانتومی مطرح است. این نظریه در فضایی ۱۰ بعدی (و گونه‌ای از آن در فضای ۱۱ بعدی) صورت‌بندی می‌شود. اما از آن‌جا که مشاهدات ما در فضا - زمان چهاربعدی است، باید به نحوی این فضای ۱۰ بعدی (یا ۱۱ بعدی) به فضای چهار بعدی تقلیل یابد. این عمل طی فرایندی به نام فشردگی (compactification) صورت می‌گیرد. اما طرق مقبولی که در آن‌ها فشردگی قابل پذیرش صورت می‌گیرد، از 10^{100} تا 10^{500} است (Douglas, 2003; Douglas, 2004; Ashok and Douglas, 2004).

این عدم قطعیت بزرگ در تعیین تعداد نتایج حاصل از فشردگی‌های مقبول، حاکی از نداشتن شناخت کافی از این نظریه است؛ که با وجود آن، در مورد تعدد بسیار زیاد روش‌های قابل قبول فشردگی، در بین پژوهش‌گران حوزه نظریه ریسمان اتفاق نظر وجود دارد. مجموعه این جواب‌ها یا مجموعه فشردگی‌های ممکن را با عنوان مناظر (landscape) می‌شناسند. این نام‌گذاری از ساسکیند است. در واقع این جواب‌ها متناظر با حالات گوناگون خلأ (vacuum) هستند؛ با تفاوت خلأ میدان‌ها، جهان متناظر آن‌ها، و همچنین متریک آن‌ها متفاوت خواهد بود. بنابراین هریک جهانی مجزا را مشخص خواهد کرد. با انتخاب هر منظر (یا خلأ نظریه) و بسط اختلالی پتانسیل حول آن، یک لاگراتژی (به

معنای یک نظریهٔ مجزا) به دست می‌آید. در حالت کلی، این لاگرانژی‌ها در درجات آزادی و همچنین پارامترها با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین در این جا نیز با مسئلهٔ چندجهانی، البته از نوع اول آن، مواجه‌ایم. باید توجه داشت که جواب‌های حاصل از فشرده‌سازی، جواب‌های کلاسیک هستند، و در این جا الزاماً پدیده‌ای کوانتومی وجود ندارد. خارج از نظریهٔ ریسمان، در رویکرد کانونیک (canonical) به گرانس کوانتومی نیز مفهوم چندجهانی بروز می‌کند. در این رهیافت به هر جهان کوانتومی تابع موجی نسبت داده می‌شود که در معادله‌ای به نام معادلهٔ ویلر-دوویت (Wheeler-DeWitt equation) صدق می‌کند. این تابع موج تابعی از متریک است. این معادله با کوانتومی کردن گرانس و تبدیل میدان متریک و همچنین عملگری دیگر، که تابعی از متریک و انحناهای عرضی (extrinsic curvature) است، به عملگر کوانتومی حاصل می‌شود. بنابراین در این جا نیز با پدیده‌ای کوانتومی مواجه‌ایم. البته همان‌طور که گفتیم، این چندجهانی از نوع دوم است.

۴.۲ شمارا یا ناشمارا بودن جهان‌ها

به طور کلی مانعی وجود ندارد که ما جهان‌هایی به تعداد نامتناهی و حتی نامتناهی شمارش‌ناپذیر داشته باشیم. برخی هم‌چون ویلیام استگر (William Stoeger)، جرج الیس (George Ellis)، و کیرشنر (Kirchner) به تبعیت از هیلبرت (Hilbert) معتقدند که نامتناهی بالفعل ناممکن است (Stoeger, Ellis, and Kirchner, 2008). اما آنچه از نظریه‌های موجود برداشت می‌شود، را می‌توان به این صورت خلاصه کرد: نظریهٔ ریسمان آشکارا تعداد جواب‌های مقبولش (یعنی تعداد کمینه‌های انرژی در مجموعه مناظر نظریه که نسبتاً پایدار باشند) متناهی است؛ پس چندجهانی حاصل از آن نیز متناهی است. اما جهان‌های ناشی از تورم آشوبناک و حاصل از معادلهٔ ویلر-دوویت اصولاً جهان‌های شمارش‌ناپذیرند. زیرا در اولی نواحی پیوسته‌ای وجود دارند که در آن‌ها در هر نقطه امکان تورم وجود دارد، و بنابراین تعدادی ناشمارا جهان پدید می‌آید. همچنین با کنش مربوط به تورم آشوبناک می‌توان جملهٔ مربوط به هر تعداد ممکن از میدان‌ها را اضافه کرد، بدون این‌که تأثیری در جهان ما داشته باشد (Linde, 2002)، در مورد معادلهٔ ویلر-دوویت هم تابع موج، تابعی پیوسته از متریک است، و بنابراین اصولاً می‌توان بی‌نهایت جهان، به ازای هر متریک یک جهان، داشت. البته این فقط به طور بالقوه صادق است؛ ولی برای قول به وجود بالفعل آن‌ها، در دیدگاه واقع‌گرایانه، باید دلیلی مجزا آورده شود.

۳. اصل آنتروپیک و استدلال‌های آنتروپیک

دو مفهوم مهم که در مباحث چندجهانی مطرح می‌شود، اصل آنتروپیک و استدلال آنتروپیک است. 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 (anthropomorphic) یا انسان‌مدارانه، که در دیگر حوزه‌های علوم، اعم از فلسفه و جامعه‌شناسی، مطرح می‌شود، بازشناسی کنیم. آنتروپومورفیسم به معنای انسان‌واردیدن امور است؛ مثلاً اگر خدا را هم‌چون انسان با عواطف و خواست‌ها و اهدافی مانند آدمی در نظر بگیریم، و به عبارت دیگر قیاس به نفس کنیم، در مورد خدا دیدگاهی انسان‌مدارانه خواهیم داشت. 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 این جا فقط وجود انسان مطرح نیست، بلکه حیات به نحو کلی مورد نظر است. در واقع این نام‌گذاری، که آن را برای اولین بار براندون کارتر (Brandon Carter) به کار برد (Longair, 1974: 291)، چندان مناسب نیست و منظور را به طور کامل نمی‌رساند.

دو بیان از اصل آنتروپیک را می‌توان از هم تمیز داد: اصل آنتروپیک ضعیف، و اصل آنتروپیک قوی. در اصل آنتروپیک ضعیف وجود حیات، به مثابه واقعیتهایی است که در جهان محقق شده است و قیدی است که هر نظریه کیهان‌شناسی باید با آن سازگار بوده و آن را تبیین و تضمین کند. در واقع می‌توان گفت که آن نوعی قید بدیهی است. اما اصل آنتروپیک قوی مبین این امر است که قوانین، ثوابت و شرایط اولیه به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که ضرورتاً منجر به حیات، به ویژه وجود انسان، می‌شوند؛ به عبارت دیگر، وجود حیات مستلزم تنظیم ظریف (fine tuning) است. تنظیم ظریف در واقع نوعی وضعیت است؛ وضعیتی که در آن قوانین، ثوابت و شرایط اولیه برای رسیدن به هدفی معین به گونه‌ای دقیق تنظیم شده‌اند.

استدلال آنتروپیک به استدلالی گفته می‌شود که در آن از شرط وجود حیات استفاده می‌گردد، و این استفاده می‌تواند به صورت تبیین این شرط باشد یا استفاده از آن به صورت قیدی باشد که منجر به یک رشته نتایج شود. برای مثال، استفاده از فرضیه چندجهانی برای توضیح چرایی تنظیم ظریف، که در واقع انکار آن را دنبال می‌کنند، استدلالی آنتروپیک است. به این ترتیب مشخص می‌شود که اصل آنتروپیک قوی، که مستلزم تنظیم ظریف

است، می‌تواند با دیدگاه یا ذهنیتی که از استدلال آنتروپیک استفاده می‌کند و در آن از تنظیم ظریف دوری می‌شود، در تعارض قرار گیرد.

در این جا سؤال مهمی مطرح می‌شود: آیا خود استدلال آنتروپیک آزمون‌پذیر است؟ از آنجایی که ما انواع متنوعی از استدلال آنتروپیک می‌توانیم داشته باشیم و این عنوان خیلی کلی است، این سؤال به این صورت مبهم است و قابل پاسخ‌دهی نیست. اما اگر منظور استدلال‌های مبتنی بر چندجهانی باشد، به نظر نمی‌رسد که بتوان آزمونی مستقیم برای آن‌ها در نظر گرفت. اما در صورتی که نتایج یک نظریه آزمون‌پذیر مقبول باشند، آن‌ها می‌توانند به نحوی غیر مستقیم آزمون‌پذیر باشند، یا این‌که به طور غیر مستقیم نتیجه‌ای آزمون‌پذیر از آن‌ها حاصل شود.

نکته دیگر این‌که اصل آنتروپیک و استدلال آنتروپیک، هر دو مبتنی بر مشاهده‌اند. به این معنا که اولی یا قیدی مشاهداتی است (گونه ضعیف آن) یا توضیحی در مورد مشاهده‌ای مهم است (گونه قوی آن) و در هر دو از مشاهده استفاده می‌شود.

۴. استدلال‌هایی له چندجهانی و لزوم بازنگری در روش‌شناسی فیزیک

در سال‌های اخیر استدلال‌هایی مطرح شده که در آن‌ها حکم به تغییر معیار برای پذیرش و محک نظریه‌های علمی شده است. خاستگاه این استدلال‌ها در بحث حاضر، عمدتاً دست‌نیافتن به مؤیدات تجربی مختص نظریه ریسمان و امکان‌پذیر نبودن انجام آزمایش‌هایی (حداقل در آینده قابل پیش‌بینی) برای محک‌زدن پدیده‌های گرانش کوانتومی است، که به علت فقدان انرژی لازم، قابل مشاهده و آزمون مستقیم نیستند، و به طور کلی ناامیدی از مشاهدات تجربی در این حوزه‌ها.

واینبرگ از جمله افرادی است که معتقدند ممکن است اکنون ما در نقطه عطفی از تاریخ فیزیک قرار داشته باشیم که در آن هم‌چون سال ۱۹۰۵، که اینشتین یک اصل تقارن (symmetry principle) را پیشنهاد کرد، ما نیز باید روشی راهنما و جدید در علم ایجاد کنیم که همان استدلال آنتروپیک است (Weinberg, 2005). از نظر او لازم نیست که همه اجزا و پیش‌بینی‌های یک نظریه مشاهده‌پذیر باشند، بلکه آن باید به میزان کافی پیش‌بینی جهت اطمینان‌بخشی ارائه دهد (ibid).

در این جا باید تأکید کنیم که هرچند لازم نیست تمام اجزای یک نظریه مشاهده‌پذیر باشند، این به معنای نفی آزمون‌پذیری نظریه نیست. با آن‌که نمی‌توان روش منحصر به فردی

برای علم معرفی کرد و حداقل برخی از آنچه به عنوان معیارهای پذیرش نظریه‌های علمی بیان می‌شود، تا حدی متحول و پسینی است، اما یک امر برای هر نظریه علمی ضروری است و آن آزمون‌پذیری است، که معیاری پیشینی است. البته باید توجه داشت که معیارهای پذیرش نظریه‌های علمی در یک سطح نیستند؛ برای مثال، معیار زیبایی با معیار محاسبه‌پذیری در یک سطح نیستند. در این میان از دیدگاه ما معیارهایی که از مابقی مهم‌ترند به این قرارند: ۱. آزمون‌پذیری؛ ۲. محاسبه‌پذیری؛ ۳. هم‌خوانی با مشاهده.^۱

همان‌طور که پیش‌تر گفتیم، آزمون‌پذیری شرط لازم یک نظریه علمی است؛ یعنی این اصل که نظریه باید با جهان واقع تماس داشته باشد و جهان در مقابل آن موضع بگیرد. نظریه‌ای که آزمون‌ناپذیر است، محتوای تجربی ندارد و در حوزه فیزیک قرار نمی‌گیرد. منظور ما از آزمون‌پذیری این است که اولاً نظریه خطاپذیر (fallible) باشد؛ یعنی بتوان موارد نقض برای پیش‌بینی‌های مشاهده‌پذیر آن تصور کرد، ثانیاً واجد پیش‌بینی‌های مشاهده‌پذیر باشد، و ثالثاً باید کمیات مشاهده‌ناپذیر نظریه، مشخص باشند. البته لزومی ندارد که تمام اجزا و کمیت‌هایی که در صورت‌بندی و ریاضیات یک نظریه یا مدل فیزیکی ظاهر می‌شوند، مشاهده‌پذیر باشند. مثلاً در نظریه الکترومغناطیس (electromagnetic) میدان پیمانه‌ای A_μ جزو کمیات تعریف‌شده در نظریه است؛ ولی از میان چهار مؤلفه آن، صرفاً دو مؤلفه مشاهده‌پذیرند. این نکته به این صورت مشخص می‌گردد: فقط کمیت‌های پیمانه - ناورد مشاهده‌پذیرند؛ یعنی هر دو میدان A_μ و A'_μ که با تبدیل پیمانه‌ای (gauge transformations)، $A'_\mu = A_\mu + \partial_\mu f$ ، به هم مربوط باشند با هم معادل‌اند. برای مثالی دیگر، در نظریه نسبیت عام، شرط هم‌وردایی عام (generally covariance) یا ناوردایی تحت تبدیلات عمومی مختصات، متضمن این است که تمام کمیت‌های مشاهده‌پذیر فیزیکی ناوردای عام باشند. در این جا فقط شش مؤلفه از ده مؤلفه تانسور متقارن متریک ($g_{\mu\nu} ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$) مشاهده‌پذیرند، و چهار مؤلفه صرفاً با انتخاب پایه و مختصات تعیین می‌شوند. در مثالی دیگر، طبق نظریه اندازه‌گیری مکانیک کوانتومی فقط اندازه (نرم) تابع موج یک سیستم، و نه فاز سراسری آن، مشاهده‌پذیر است.

بسیاری از فیزیک‌دانان بر اهمیت معیار آزمون‌پذیری تأکید دارند. برای مثال جرج الیس (George Ellis) وقتی معیارهای پذیرش علمی را بیان می‌کند، معیار آزمون‌پذیری را، یک شاخص مهم نظریه علمی می‌داند؛

۱. ساختار رضایت‌بخش: الف) سازگاری درونی؛ ب) سادگی (تیغ اکام)؛ و ج) جاذبه زیبایی‌شناختی (aesthetic) زیبایی (beauty) یا ظرافت (elegance)؛

۲. قدرت تبیین درونی (intrinsic): الف) استحکام منطقی؛ ب) گستره نظریه (توانایی وحدت‌بخشی پدیده‌هایی که از جهات دیگر مجزا هستند؛ و ج) احتمال نظریه یا مدل، با توجه به اندازه‌ای خوش‌تعریف؛

۳. قدرت تبیین بیرونی یا ارتباط (relatedness): الف) ارتباط با بقیه علم؛ ب) قابلیت گسترش (برای فراهم‌آوری مبنایی برای توسعه بیشتر)؛

۴. حمایت شاهدهی و تجربی، از نظر الف) آزمون‌پذیری: توانایی ارائه پیش‌بینی‌های کمی به علاوه پیش‌بینی‌های کیفی، که بتوان آن‌ها را مورد آزمون قرار داد؛ و ب) تأیید (confirmation): میزانی که تا آن حد، نظریه با چنین آزمون‌هایی که انجام گرفته است، حمایت می‌شود.

به طور ویژه این آخرین مورد است که مشخصه یک نظریه علمی است (Ellis, 2006).

همچنین تگ‌مارک (Tegmark, 1998) بر خط‌پذیری و پیش‌بینی‌کنندگی نظریه، و بیورکن (Bjorken) و ویلیام استگر بر آزمون‌پذیری تأکید دارند (Carr, 2007: 188, 450).

آزمون‌پذیری و قدرت پیش‌بینی‌کنندگی بسیار مهم‌اند و همان‌طور که الیس تصریح می‌کند، فرق فارق نظریه‌های علمی با دیگر حوزه‌های نظریه‌پردازی، در همین مطلب است. معیارهای دیگری هم نظیر سادگی، سازگاری، و زیبایی وجود دارد که برخی پیشینی و برخی دیگر پسینی و متحول است و بنا به سلاقی مختلف تفاوت دارند (و البته این مجموعه باز است).

به هر میزان هم که ما در پیشبرد علمی از علوم ناموفق باشیم، کنار گذاشتن معیار آزمون‌پذیری، برای غنای نظریه‌پردازی و توضیح ساختار عالم مادی، نوعی نقض غرض است. ما نمی‌توانیم از تجربی‌بودن (یا آزمون‌پذیری) صرف نظر کنیم و باز معتقد باشیم که در حوزه علوم تجربی کار می‌کنیم. این یک تناقض آشکار است.

در این جا لازم است از خلط مشاهده‌پذیربودن مستقیم، و آزمون‌پذیری پرهیز شود. این مغالطه‌ای است که برخی دچار آن شده‌اند. بعضی معتقدند که قول به آزمون‌پذیری (و بنابراین خط‌پذیری) به معنای مشاهده‌پذیربودن مستقیم است و در نتیجه خواهان کنارگذاشتن این معیار اساسی هستند، و در عوض معیارهای دیگری هم چون تأیید‌پذیری را برگرفته‌اند.

باید توجه داشت که اگر نظریه‌ای آزمون‌ناپذیر باشد، هیچ تجربه و هیچ مشاهده‌ای نه آن

را تأیید می‌کند و نه رد؛ یعنی جهان در قبال نظریه‌های آزمون‌ناپذیر موضعی نمی‌گیرد. نظریه‌های مابعدالطبیعی را در نظر بگیرید، آیا می‌توان تجربه‌ای یافت که آن‌ها را رد کند؟ واقع‌گرایی، ضد واقع‌گرایی، ایدئالیسم، و خودانگاری را با هیچ آزمایشی نمی‌توان ابطال کرد. برای فرد خودانگار، هر دلیلی مبنی بر وجود عالم خارج و مستقل از او بی‌اورد، به‌راحتی و سازگارانه می‌تواند آن‌ها را فقط خیالات و اوهام خود بداند، یعنی نظریه او با هر رویدادی در جهان سازگار است. مشهور است که حاج ملاهادی سبزواری حتی با دیدن دوربین عکاسی، عکاسی را ناممکن خواند، زیرا به گفته او انتقال اعراض محال است. اکنون پرسش این است: آیا مشاهده عکاسی، این فیلسوف مابعدالطبیعی را بر آن می‌داشت که از نظرگاه فلسفی خود دست بشوید؟ به‌هیچ‌وجه؛ زیرا وی به‌سادگی می‌توانست بگوید که عکس عرضی از اعراض نیست و الا انتقال آن محال می‌بود. چنین احکامی صرفاً از منطق و تعاریف نتیجه می‌شوند، بدون نیاز به مراجعه به خارج و مدد جستن از مشاهدات. منطق یا ریاضیات نیز چنین‌اند: آن‌ها صرفاً مبتنی بر اصول خود و اصل امتناع نقیضین، قضایای خود را اثبات می‌کنند و عالم خارج در آن‌ها دخالتی ندارد. به‌طور کلی هر نظام اصل موضوعی (به شرط سازگاری) چنین است. بنابراین، نظریه‌های علمی هم که به‌خودی‌خود مبتنی بر نظام اصل موضوعی اند (حداقل در تقریر معناشناسانه به علم)، واجد قضایایی هستند که بدون توجه به عالم خارج به اثبات می‌رسند. ولی چون ما می‌خواهیم با نظریه‌های علمی جهان را توضیح دهیم، مدل‌های حاصل از یک نظریه را با داده‌ها مقایسه می‌کنیم، و در صورتی که این دو، تا حد دقت داده‌ها، بر هم منطبق بودند، آن نظریه را، تا آن زمان و در آن حد دقت، صادق می‌شماریم.

باید تأکید کرد که همان‌طور که هیچ مشاهده‌ای، گزاره‌های مابعدالطبیعی و به تبع آن‌ها نظریه‌های مابعدالطبیعی را ابطال نمی‌کند، هیچ مشاهده‌ای هم این گزاره‌ها را تأیید نمی‌کند. یعنی، در این‌جا گزاره اثباتاً و نفیاً از عالم خارج (عالم مادی) متأثر نمی‌شود و این‌گونه نیست که اگر به امکان‌نداشتن ابطال آن‌ها فتوا دادیم، به معنای امکان اثبات آن‌ها است. امور تجربی و مشاهداتی به یک نحو با گزاره‌ها و نیز نظریه‌های مابعدالطبیعی ارتباط دارند و آن عین بی‌ارتباطی است. بنابراین تأییدی هم شامل این امور نمی‌شود. نتیجه آن‌که اگر گزاره‌ای تأییدپذیر بود بالضرورة خطاپذیر هم هست و بالعکس.

به این ترتیب گفته برخی، از جمله ساسکیند، که ابطال‌پذیر بودن را گم‌کردن راه می‌دانند (Susskind, 2006: 195)، ناصواب است؛ ساسکیند در جایی به منظور انکار ابطال‌پذیری

(خطاپذیری)، نقل قولی از ریچارد فاینمن (Richard Feynman) در مورد پوپر (Popper) می‌آورد که در آن نظر پوپر «نسبتاً خام و احتمالاً نادرست» خوانده می‌شود (ibid: 192). وی سپس مثال‌هایی از علوم گوناگون می‌آورد که ابتدا بر آن‌ها برچسب غیر علمی زده شده بود، ولی اکنون کاملاً در حوزه تحقیق علمی قرار دارند. از جمله مثال‌های وی نظریه داروین است که قول به علمی نبودن آن به دلیل ابطال‌ناپذیر بودن آن داده بودند، در حالی که اکنون مؤید به شواهد متعدد و قابل اعتنای تجربی است. دیگری از فیزیک است؛ زمانی، برخی نظریه کوارک را ابطال‌ناپذیر می‌دانستند، زیرا کوارک‌ها به طور مجزا از یکدیگر قابل مشاهده نیستند؛ یعنی به طور فردی قابل بررسی نبوده‌اند. اما با آن‌که تاکنون هیچ کوارک مجزایی مشاهده نشده،^۲ کسی در صحت نظریه کوارک تردیدی ندارد (البته تردیدناشتن در نظریه‌های علمی اصولاً توجیه قابل قبولی ندارد، خصوصاً که تاریخ نیز مؤید آن نیست). ساسکیند همچنین به کیهان‌شناسی و نظریه تورم اشاره می‌کند که «برخی مدعی بودند که تورم ابطال‌ناپذیر و در نتیجه غیر علمی است» (ibid: 193). البته منظور وی تلویحاً این است که علی‌رغم ادعای آن افراد، اکنون تورم جزو علم کیهان‌شناسی است. وی نظریه ماتریس S (S-matrix) را نیز مطرح می‌کند که در دهه ۱۹۶۰ مطرح شد؛ در این نظریه ذرات بنیادی چنان کوچک هستند که هر تلاشی برای آشکارساختن ساختار درونی آن‌ها بی‌نتیجه است. پس از نظر او این نظریه، نظریه‌ای ابطال‌ناپذیر است و بنابراین باید طبق معیار برخی غیر علمی باشد، در حالی که امروزه تقریباً همگان بر علمی بودن آن اتفاق نظر دارند (البته باید توجه داشت که امروزه نظریه ماتریس S با یک فرمول‌بندی ریاضی مشابه فرمول‌بندی اولیه ولی با تعبیری متفاوت به کار می‌رود).

آخرین مثال ساسکیند دعوی مشهور میان ماخ (Mach) و بولتسمن (Boltzmann) بر سر نظریه اتمی است؛ ماخ معتقد بود که چون اتم‌ها قابل مشاهده نیستند نظریه مبتنی بر آن‌ها علم واقعی نیست. در مقابل بولتسمن از آن نظریه دفاع می‌کرد. اما نهایتاً مقاله ۱۹۰۵ اینشتین در مورد حرکت براونی (Brownian)، نظریه اتمی را به همگان قبولاند. ساسکیند چنین نتیجه‌گیری می‌کند: «به عقیده من ابطال، گم کردن طریق است، اما تأیید داستان دیگری دارد. ... منظور من از تأیید شاهد مثبت مستقیم برای یک فرضیه است، به جای این‌که عدم شاهد منفی مقصود باشد» (ibid: 195).

وی سپس می‌گوید که برای نظریه تورم ابدی و وجود جهان‌های انبانی (pocket) نمی‌توان با روش‌های معمولی مؤید تجربی یافت؛ وجود افق کیهانی، که ما را از

جهان‌های انبانی دیگر جدا می‌کند،^۳ مانع بنیادین این راه است. او با ابراز ناامیدی از امکان مشاهده و تأیید مستقیم جهان‌های دیگر، خطاپذیری را جزم فلسفی می‌داند، که نقض آن اشکالی ندارد (ibid: 196).

اکنون نظر ساسکیند را در چند بند، بررسی و نقد می‌کنیم:

اول: اگرچه فاینمن فیزیک‌دان بسیار بزرگی است و در آگاهی دقیق و عمیق وی از دانش تجربی هیچ شک و وجود ندارد، سخن وی باید مبتنی بر دلیل باشد، در حالی که این سخن وی بیانی است بدون دلیل. ساسکیند ادله و مصادیق مواردی را که به نظر فاینمن فلاسفه به خطا رفته‌اند، روشن نکرده تا ما قادر باشیم که آن‌ها را ارزیابی کنیم. وی صرفاً اشاره می‌کند که منظور فاینمن پوپر است، ولی این به تنهایی چیزی را مستدل نمی‌کند. در مقابل ساسکیند می‌توان تجلیلی را که اینشتین از پوپر کرده بیان کرد (Vandongen, 2010: 43). مسلماً مقام علمی اینشتین و آگاهی او از ماهیت و چیستی علم از فاینمن کم‌تر نیست. اما به هر حال ملاک باید استدلال باشد نه شخصیت دانشمندان.

دوم: پوپر بدون آگاهی از علم تجربی و بدون اطلاع از پیشرفت‌های صورت‌گرفته در آن نظریه خود را ابراز نکرده، بلکه کاملاً برعکس، تأثیرگذارترین فرد در وی خود اینشتین و نظریه نسبیت عام او بوده است؛ یعنی، این رأی فلسفی او الهام‌گرفته از پیشرفت بنیادین در فیزیک بوده است. پوپر در چندین موضع عنصر کلیدی در فلسفه علم خود را شدیداً متکی بر، یا حتی مستخرج از، فیزیک و روش‌شناسی اینشتین توصیف می‌کند (Kragh, 2012a). او باز در موضعی دیگر خود را وام‌دار اینشتین می‌داند (Popper, 1974: 29). از مباحثات پوپر با اینشتین و گودل (Godel) آشکار می‌گردد که وی آشنایی نیکویی با معادلات اینشتین و جواب‌های گودل از این معادلات داشته است (Kragh, 2012a). مجموع این‌ها نشان می‌دهد، که پوپر با اطلاع از جریان علمی به نظریه‌پردازی در مورد علم پرداخته و به‌هیچ‌وجه از معرفت علمی بی‌بهره نبوده است. به این ترتیب طعنی که در سخنان فاینمن به چشم می‌خورد، و به نظر می‌رسد مد نظر آقای ساسکیند است، موجه نیست.

به علاوه اکنون فلاسفه فیزیک آشنایی بسیار دقیق و مبسوطی با فیزیک دارند و در واقع می‌توان آن‌ها را فیزیک‌دان نیز دانست. همچنین فیزیک‌دانان مشهوری هستند که مقالات مشترکی با فلاسفه در زمینه فلسفه فیزیک دارند و این نشان از آگاهی تفصیلی آن‌ها از جریانات فلسفی حوزه فلسفه فیزیک دارد. از میان این افراد می‌توان کارلو روولی

(Carlo Rovelli)، کریستوفر آیشام (Christopher Isham)، و همچنین تگ‌مارک که از هم‌راهان ساسکیند در نظریه چندجهانی است را نام برد. تگ‌مارک در مقاله «جهان ریاضیاتی» ('mathematical universe') از نظریه واقع‌گرایی ساختاری دفاع می‌کند، که نظریه‌ای مهم و مورد توجه بعضی فلاسفه فعلی است (Tegmark, 2007).

همچنین اخیراً در شماره‌ای از مجله *foundations of physics* که در مورد نظریه ریسمان بود، ساسکیند به همراه دو تن از فلاسفه، نویسندگان سه مقاله از مجموع یازده مقاله آن شماره بودند (Sebastian et al, 2013; Rickles, 2013; Susskind, 2013).

سوم: تمام مثال‌هایی که ساسکیند آورده قابل مناقشه‌اند؛ آزمون‌پذیری یک نظریه، به معنای مشاهده‌پذیربودن همه اجزای آن نظریه نیست، بلکه نظریه باید واجد پیش‌بینی‌های مشاهده‌پذیری باشد که فرض برقرارنبودن آن‌ها نیز امکان‌پذیر باشد.

به نظر می‌رسد ساسکیند دو موضوع را خلط کرده است: ابطال‌پذیربودن گزاره‌های علمی و آموزه ابطال‌گرایی پوپر. اولی همان است که قبلاً به آن اشاره شد و دومی دیدگاهی است فلسفی که عناصر و اجزای مختلفی دارد. آن‌چه مهم است، محتوای تجربی یک نظریه علمی است. به عبارت دیگر علم باید از تجربه درس‌آموزی کند.

در این جا باید یادآور شویم که گزاره‌ای چون P را هنگامی ابطال‌پذیر می‌نامیم که بتواند با استنتاج منطقی (deduction) گزاره‌ای مشاهداتی چون O را از آن به‌دست آورد. در این صورت هرگاه ما در تجربه به جای O، O' را یافتیم، گزاره P ابطال شده است. ظاهراً به نظر می‌رسد که می‌توان این را به نظریه‌ها نیز تعمیم داد: از نظریه‌ای چون T گزاره‌های مشاهداتی فراوانی استنتاج می‌شود. هرگاه گزاره‌ای مشاهداتی چون O' یافت شود که با یکی از این گزاره‌ها در تناقض قرار گیرد، ظاهراً به نظر می‌رسد که به لحاظ منطقی می‌توان گفت نظریه T ابطال شده است. اما این درست نیست. تفاوتی بسیار مهم میان گزاره منفردی چون P و نظریه‌ای چون T وجود دارد. گزاره منفرد P مانند گزاره «تمام کلاغ‌ها سیاهند» نتیجه‌ای مشاهداتی، هم‌چون این نتیجه خواهد داشت: کلاغی که در تهران در روز ۲ اسفند ماه ۱۳۹۱ در مکانی معین مشاهده می‌شود، سیاه خواهد بود، که با این گزاره در تناقض است: کلاغی که در تهران در روز ۲ اسفند ماه ۱۳۹۱ در مکانی معین مشاهده شده، سیاه نیست. در صورت صدق گزاره فوق به‌آسانی می‌توان گفت که گزاره P ابطال شده است، اما در مورد نظریه‌ها چنین حکمی ناصواب است. به طور کلی نظریه‌ها با مجموعه‌ای از گزاره‌ها بیان می‌شوند که متشکل از گزاره‌های بیان‌کننده اصول، شرایط اولیه، و فرضیه‌های

کمکی است. اما اولاً «لازمه باطل شمردن هر دستگاه، پذیرفتن گزاره‌های پایه‌ای نقیض آن دستگاه است، گرچه این شرط لازم است نه کافی. زیرا می‌دانیم که پیشامدهای تک‌افتاده تکرارناپذیر در علم اهمیت ندارد. از این روست که چند گزاره پایه جسته و گریخته در نقض تئوری ما را بر آن نمی‌دارد تا آن را باطل بشماریم و کنار بگذاریم»^۴ (پوپر، ۱۳۸۱: ۱۱۰-۱۱۱). ثانیاً می‌توان دلیل ابطال را شرایط اولیه یا یکی از فرضیه‌های کمکی دانست (تر دوئم - کواین) و هسته مرکزی نظریه را نگاه داشت.

به علاوه، باید توجه داشت که آنچه پوپر می‌گوید جنبه تجویزی دارد؛ یعنی دانشمندان باید در مقام ابطال برآیند، ولی در عمل این چنین نمی‌شود و همان‌طور که لاکاتوش (Lakatos)، کوهن (Kuhn) و دیگران نشان داده‌اند فقط در مواقع بحرانی است که جانشینی نظریه‌ها صورت می‌گیرد و اساساً دانشمندان رویکرد محافظه‌کارانه‌ای به نظریه‌های علمی دارند و تا آنجا که ممکن است از اعلام ابطال نظریه‌ها خودداری می‌کنند، و بلکه به جای نظریه رایج نظریه جدیدی را که موفق‌تر به نظر می‌رسد برمی‌گزینند. به هر حال شرط آزمون‌پذیری پابرجاست و در واقع شرط لازم نظریه‌هاست.

اما پیرامون مثال‌هایی که ساسکیند آورده، نکاتی به اختصار بیان می‌شود. در مورد مثال اول او، مواردی را می‌توان آورد که در صورت تحقق، تکامل می‌تواند به طور موضعی رد شود (Bailey, 2013). البته پوپر نیز که ابتدا معتقد بود نظریه تکامل ابطال‌ناپذیر است، بعداً نظر خود را تغییر داد (Sober, 2008: 130).

در مورد کوارک‌ها، باید تأکید کنیم که به هیچ وجه ضرورتی ندارد که همه اجزای نظریه مستقیماً مشاهده شوند یا مشاهده‌پذیر باشند (هرچند سخن وی که کوارک‌ها هرگز مجزا از یکدیگر مشاهده نمی‌شوند، در مورد کوارک (top) صحیح نیست)، بلکه باید نتیجه مشاهداتی داشته باشند. مثلاً مورد نقض را می‌توان این چنین تصور کرد که اگر در نتایج حاصل از پراکندگی آزمایش‌های الکترون-پروتون، که یکی از مؤیدات تعیین‌کننده وجود کوارک‌ها بود، نتایج آزمایش با پیش‌بینی نظریه سازگار نمی‌شد، این آزمایش‌ها مثال نقضی برای کامل بودن نظریه می‌بودند (Breidenbach, Friedman, and Kendall, 1969).

تورم و تورم آشوبناک نیز دارای پیش‌بینی‌ها یا گزاره‌های مشاهداتی هستند و آزمون‌های مهم برای آن وجود دارد (Ellis, 2008)، هرچند به طور کلی کیهان‌شناسی به لحاظ مشاهده دارای محدودیت‌ها و تنگنانهایی مانند **واریانس کیهانی** (cosmic variance) است که آن را از دیگر حوزه‌های فیزیک متمایز می‌کند. ضمناً باید توجه داشت که غالب

شواهدی که اکنون با تورم قابل توضیح‌اند، با بعضی نظریه‌های دیگر، هم‌چون جهان دوره‌ای، نیز قابل توضیح هستند.

همچنین باید توجه داشت که آن مانع اساسی که ساسکیند در این جا به آن اشاره می‌کند، مبتنی بر نظریه نسبیّت عام و نظریه اندازه‌گیری آن است و ممکن است یک نظریه کامل‌تر از آن، این محدودیت را نداشته باشد.

در مورد نظریه ماتریس S و نظریه اتمی هم تردیدی در آزمون‌پذیر بودن آنها نیست، مثلاً از طریق آزمون‌های متعدد در پراکندگی ذرات، که با نظریه میدان کوانتومی توضیح داده می‌شود. نظریه اتمی، که مکانیک کوانتومی (و همچنین نظریه میدان کوانتومی) آن را توضیح می‌دهد نیز به وضوح آزمون‌پذیر است. برای مثال، اگر مقادیر ویژه مشاهده‌پذیری در آزمایشی مشاهده نشود، این آزمون حداقل حاکی از کامل نبودن نظریه است.

چهارم: از ساسکیند نقل شد که فلاسفه دانش علمی چندان مناسبی ندارند و در نتیجه سخنانشان درباره آن قابل اعتنا نیست. اگر واقعاً چنین باشند، نقصی مهم در کار فلاسفه هست که باید اصلاح کنند. ولی چنان‌که قبلاً گفته شد، این مطلب در مورد فلاسفه فیزیک کنونی و بسیاری از فلاسفه علم گذشته صادق نیست. همچنین این‌که دانشمندان به سخن فیلسوفان اهمیت نمی‌دهند، نه شرط عقل است و نه به مصحلت آنها و علم.

نکته مهم این است که اگر علم تجربی منزلت کنونی را داراست، به علت موفقیت چشم‌گیر عملی آن است که هم پدیده‌ها را توضیح داده و هم پیش‌بینی کرده است و هم پیش‌بینی‌های بدیع و غیر منتظره داشته است. وقتی نظریه کوانتومی به همراه نظریه نسبیّت خاص پیش‌بینی می‌کند که در صورت شکافت هسته‌ای با جرم m انرژی معادل با $E=mc^2$ آزاد می‌شود، و وقتی در عمل چنین چیزی تأیید می‌شود، با توجه به محتوای غیر شهود عرفی این نظریه‌ها، این امر مؤید خوبی برای این نظریه‌ها است.

اگر برخی از دانشمندان یا حتی همه آنها به سخنان فلاسفه توجه نکنند و از این پس معیار آزمون‌پذیری را با معیارهای دیگری هم‌چون سازگاری ریاضی یا زیبایی ریاضی، به عنوان معیارهای پذیرش و تأیید نظریه‌ها، تعویض کنند، پس از چندی این دانشمندان مشغول به تولید نوع جدیدی از ریاضیات خواهند بود و سخنانشان در مورد طبیعت بسان سخنان ریاضی‌دانانی خواهد شد که آشنایی عمیقی با طبیعت ندارند و اعتنای قابل توجهی به نظرات آنها در مورد طبیعت نمی‌شود یا این‌که مابعدالطبیعه جدیدی به وجود

خواهد آمد که احتمالاً واجد غنای ریاضی زیادی است که بسیار جالب و جذاب است، ولی اعتبار آن در مورد طبیعت به‌شدت مورد تردید خواهد بود.

در این سیاق است که ساسکیند نظریه‌های سازگاری چون مکانیک کوانتومی و نسبیّت عام را مطلوب می‌داند (در این جا معیار سازگاری ریاضی در نظر گرفته شده است)، بدون توجه به آزمون‌پذیری آن‌ها (Susskind, 2006: 375). مقصود ساسکیند این است که در آینده قابل پیش‌بینی نتایج و تبعات نظریه ریسمان به محک تجربه نمی‌آید، و ما به ناچار از نظریه ریسمان، در غیاب جانشینی بهتر، و بدون نظر به طبیعت، استفاده می‌کنیم. ولی سخن او در این جا قابل اعتنا نیست.

برخی از کیهان‌شناسان نیمه نخست قرن بیستم نیز به تغییر قواعد و معیارهای ارزیابی نظریه‌ها رأی دادند و از همه مهم‌تر این که معیار آزمون‌پذیری را امری غیر لازم و غیر قابل اعتنا شمردند (Kragh, 2012b). از جمله آن‌ها آرتور ادینگتون (Arthur Eddington) بود که هدف او بازسازی فیزیک پایه و درواقع اتحاد میان مکانیک کوانتومی و کیهان‌شناسی، مبتنی بر چهارچوب واحدی از ریاضیات و معرفت‌شناسی بود (ibid). ادینگتون نظریه خود را مبتنی بر تجربه و مشاهده نمی‌دانست، بلکه آن را معرفت‌شناسانه و قیاسی قلمداد می‌کرد (Eddington, 1936: 3-5). نظریه ادینگتون برخلاف ظاهرش واجد پیش‌بینی‌ها و آزمون‌های دقیقی در مورد ثابت کیهان‌شناختی و ساختار ریز و نسبت میان اجرام پروتون و الکترون بود. اما وقتی معلوم شد که این‌ها با مقادیر حاصل از مشاهده در تعارض‌اند، وی اندازه‌گیری‌ها را نادرست خواند. او مجبور شد چنین کند؛ زیرا نظریه او مبتنی بر احکام ضروری ذهن بود و نمی‌توانست نادرست باشد. درواقع اشکال کار وی این بود که احکام پیشینی را در مورد عالم تجربه، که احکام آن پیشینی است، صادق می‌دانست. البته اغلب فیزیک‌دانان نظریه وی را بر مبنای انتقادات روش‌شناسانه نپذیرفتند (Kragh, 2012b). مورد دیگر همکار ادینگتون در آکسفورد آرتور میلن (Arthur Milne) بود. میلن به نوعی شأنی پیشینی و مستقل از مشاهده برای نظریه خود قائل بود (Milne, 1935: 267). وی بر استدلال ریاضی و آزمون‌های آرمانی تأکید می‌کند، مانند نظر ساسکیند در مورد نظریه ریسمان، که بر سازگاری ریاضی تکیه می‌کند. البته در این جا تفاوتی وجود دارد و آن این‌که به نظر می‌رسد ساسکیند به ناچار چنین رأی را اتخاذ کرده، ولی میلن با مشکلات کم‌تری مواجه بوده است. میلن جایی دیگر قوانین نهایی فیزیک را مبتنی بر استدلال محض می‌داند، که واجد خصوصیت فضایی ریاضی است (Kragh, 2012b).

پنجم: اگرچه ساسکیند و برخی دیگر هم چون برو (Barrau)، با معیار ابطال‌پذیری پوپر مخالف‌اند (Barrau, 2007)، غالب فیزیک‌دانان آزمون‌پذیری را معتبر می‌دانند. مثلاً الیس و اسمولین آزمون‌پذیری را جزو معیارهای اصلی نظریه‌های علمی قلمداد می‌کنند. به این ترتیب انکار اهمیت مشاهده با واقعیت کار خود این فیزیک‌دانان مطابقت ندارد. در واقع هم ساسکیند و هم برو نمی‌توانند مخالف آزمون‌پذیری باشند، زیرا همان‌طور که گفتیم ساسکیند بر تأیید تأکید دارد و تأیید‌پذیری فرع بر آزمون‌پذیری است. برو هم در انتهای همان مقاله (۲۰۰۷) خود می‌گوید که با وجود مشکلات عملی برای آزمون‌پذیری نظریه چندجهانی، آن بالذات آزمون‌ناپذیر نیست؛ یعنی نظریه چندجهانی در قلمرو علم پوپری است (ibid). برخلاف رأی برو و ساسکیند، اسمولین معتقد است نظریه ابطال‌ناپذیر، غیر علمی است (Smolin, 2004).

به نظر می‌رسد که اغلب دانشمندان آزمون‌پذیری را شرطی لازم برای یک نظریه علمی می‌دانند و حداقل می‌توان گفت که دانشمندان نظریه‌ای را که مشاهدات و پیش‌بینی‌های مؤثری از آن استخراج نشود، چندان جدی نمی‌گیرند. فیزیک‌دانان، عمل‌گرایانه رفتار می‌کنند؛ به این معنا که آن‌ها معمولاً نظریه را اصلاح می‌کنند، ولی در موارد بحرانی آن را با نظریه‌ای بدیل (در صورت وجود آن) تعویض می‌کنند (اگر بدیلی نباشد همان نظریه را نگه می‌دارند و تا پیداشدن بدیل با آن کار می‌کنند)، البته همواره ممکن است نظریه قدیمی با اصلاحی مجدداً بازگردد، یعنی نظریه‌ها به طور موضعی رد یا قبول می‌گردند. به عبارت دیگر نظریه‌ها تثبیت (establish) می‌گردند و نه اثبات یا ابطال؛ ولی در تمام این‌ها، داور سرنوشت‌ساز مشاهده و تجربه است. در واقع به نظر نمی‌رسد که نظر ساسکیند موافقان زیادی داشته باشد.

ششم: آخرین موردی که در مورد استدلال ساسکیند باید ذکر شود، این است که اگر علم معیارهای مشخصی نداشته باشد، آن به حوزه‌هایی وارد می‌شود که به نظر نمی‌رسد دیدگاه مبتنی بر علم، در آن‌جا اعتبار قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. ساسکیند با بیان داستانی خیالی، به طور تلویحی این سؤال را مطرح می‌کند که چگونه حیات به نحو کنونی محقق گشته است؟ او دو پاسخ می‌آورد که اولی همان پاسخ خلقت‌گرایان مبنی بر وجود خداوندی است که با غایتی معین جهان را خلق کرده و بنابراین شکل کنونی حیات مطابق نقشه خداست و دومی پاسخ علمی است که همان مجموعه مناظر است که مکانیزمی چون نظریه ریسمان دارد. بحث ما در مورد پاسخ نخست وی است که معتقد است «علم برای این است که از چنین داستان‌هایی جلوگیری کند...» (Susskind, 2006: 197).

این که روش علمی رایج ماده‌انگاران و مستقل از عالم مجردات است، سخن درستی است؛ ولی این به معنای آن نیست که چون علم فقط در حوزه عالم مادی به پژوهش می‌پردازد، یگانه قلمرو وجود نیز عالم مادی است. این کاملاً مغالطه‌آمیز است. حوزه کار روش علمی فقط جهان طبیعی و مادی است و علم در مورد عالم مجردات غیر مادی اصولاً ساکت است و آن نه نظری له و نه نظری علیه مجردات می‌تواند ارائه دهد. پس وقتی ساسکیند ادعا می‌کند که فرض وجود طراح برای عالم به لحاظ عقلانی ناموجه است (ibid: 42)، او وارد حوزه‌ای از معرفت شده است که علم تجربی قادر به داوری در مورد آن نیست. ساسکیند می‌پرسد:

چه کسی طراح را طراحی کرده و با چه مکانیزمی طراح در هدایت تکامل آن مداخله می‌کند؟ آیا طراح قوانین فیزیک را برای انجام اهداف خود نقض می‌کند، و آیا طراح معروض قوانین مکانیک کوانتومی واقع می‌گردد؟ (ibid).

درواقع به نظر وی این سؤالات بی‌پاسخ است و چنین نظریه‌ای ناموجه است و نظریه موجه همان نظریه چندجهانی است که حیات را نیز توضیح می‌دهد. ولی به نظر نمی‌رسد قول به بی‌نهایت جهان یا تعداد زیادی جهان پاسخی در مورد لزوم یا وجود طراح داشته باشد. در هر صورت این مباحث از حوزه علم خارج است و قضاوت و داوری در مورد آن باید در فلسفه صورت بگیرد؛ رد و اثبات وجود خدا هر دو خارج از حوزه ابطال پذیرها (به معنای علمی کلمه) است. دلایل له وجود خدا با هیچ برهان علمی قابل ابطال نیست و همچنین است دلایل علیه وجود خدا. روش‌های تجربی هم برای فرضیه یا نظریه طراح یا منشأ عالم وجود دارد، البته غیر از تجربه متداول و رایج در علم؛ منظور تجربه دینی است که اصولاً مقوله‌ای است متفاوت از تجربه در حوزه علم تجربی.

البته فرض وجود خدا با وجود چندجهان نیز به‌خوبی سازگار است، چنان‌که بسیاری، از جمله جرج الیس، آن را متذکر شده‌اند. اگر به لحاظ فلسفی چنین نتیجه شود که جهان بدون خدا محال است، یا لازمه یک جهان وجود خداست، به‌وضوح چندجهان نیز بدون خدا قابل قبول نخواهد بود. در هر صورت، بحث در مورد چیستی و چگونگی مبدأ عالم بحثی فلسفی و غیر علمی است؛ یعنی چه قائل به وجود خدا باشیم و چه منکر وجود خدا، باید به طریق فلسفی استدلال کنیم. افرادی که ادعا می‌کنند به لحاظ علمی توضیحی برای مبدأ عالم یافته‌اند آشکارا دچار مغالطه‌اند؛ زیرا حوزه‌ای که به ادعای آن‌ها منشأ عالم را توضیح می‌دهد، از این کار عاجز است. هیچ

مشاهده و تجربه‌ای (البته غیر از تجربه دینی) نه با فرض وجود خدا در تعارض قرار می‌گیرد و نه با فرض عدم خدا.

۵. نتیجه‌گیری

سه حوزه از نظریه‌ها داریم: علی‌الاصول آزمون‌ناپذیر، آزمون‌پذیر، و نامعین به لحاظ آزمون‌پذیری. حوزه سوم جایی است که می‌تواند تحت شرایطی به غنای علمی ما بیفزاید (در ضمیمه این سه حوزه به صورت احتمالاتی توضیح داده شده‌اند).

برای این که نظریه چندجهانی در قلمرو دانش تجربی قرار گیرد، باید از حوزه نامعین آزمون‌پذیری خارج شود؛ یعنی مکانیزی قابل آزمون ارائه دهد، به این معنا که تمام پیش‌بینی‌های آن (در مورد کمیات مشاهده‌پذیر) باید علی‌الاصول آزمون‌پذیر باشند.

همچنین ملاحظه کردیم که سه نوع چندجهانی داریم که بسته به متفاوت بودن قوانین، پارامترها، و شرایط اولیه متفاوت خواهند بود. همچنین استدلال آنروپیک و اصل آنروپیک را بررسی کردیم و تمایز آن‌ها را ذکر کردیم. بعد از آن استدلال کردیم که صرف نداشتن یک نظریه کیهان‌شناسی که واجد پیش‌بینی‌های مشاهداتی آزمون‌پذیر و موفق باشد و در عین حال قادر به توضیح تنظیم ظریف، نحوه شکل‌گیری جهان و چگونگی به‌وجود آمدن و تحول جهان‌های دیگر نیز باشد، دلیلی بر تغییر معیار اساسی علم، یعنی آزمون‌پذیری، نیست. در مورد منشأ عالم نیز ملاحظه شد که استدلال ساسکیند به وراى حوزه مجاز علم تجربی می‌رود. بنابراین استدلال او مغالطه‌آمیز است. همچنین بیان گردید که اگر یک جهان به لحاظ فلسفی نیازمند خالق باشد، به طریق اولی چندجهان نیز محتاج خالق خواهد بود.

ضمیمه ۱. واقع‌گرایی متافیزیکی و واقع‌گرایی علمی

واقع‌گرایی متافیزیکی دیدگاهی است که در آن عالم خارج مستقل از ما و هر موجود مدرک دیگری، وجود دارد و ما قادر به شناخت (اعم از شناخت متافیزیکی و علمی) آن هستیم (جهان، مستقل از تصورات ما یا هر موجود دیگری وجود دارد). از سوی دیگر در مقابل آن رویکرد ایدئالیستی قرار دارد؛ فیلسوف ایدئالیست عالم هستی را صرفاً متشکل از ارواح یا تصورات می‌داند و به وجودی مستقل از آن‌ها معتقد نیست. همچنین در این سطح می‌توانیم موضعی شکاکانه و لادری‌گرایانه داشته باشیم که ما آن را ضد واقع‌گرایی متافیزیکی

می‌نامیم. در این جا، دو دیدگاه در مقابل واقع‌گرایی متافیزیکی وجود دارد: ۱. غیر واقع‌گرایی (non-realism)؛ و ۲. ضد واقع‌گرایی (anti-realism). غیر واقع‌گرایی مفهومی است درست در مقابل واقع‌گرایی، که به استقلال واقعیات مادی یا هویت مشاهده‌پذیر از آدمی یا موجودات مدرک قائل نیست، مانند ایدئالیسم بارکلی. ضد واقع‌گرایی در مورد عالم خارج یا هویت مشاهده‌پذیر موضعی شکاکانه و لادری‌گرایانه اتخاذ می‌کند یا آن را بی‌معنا قلمداد می‌کند. یعنی نه نفیاً نه اثباتاً در مورد عالم خارج سخن نمی‌گوید، مانند دیدگاه پوزیتیویست‌های منطقی.

اما در سطح دوم صرف نظر از این که در سطح اول چه موضعی اتخاذ شده است، می‌توان واقع‌گرایی علمی را در مقابل ضد واقع‌گرایی بررسی کرد. بدین ترتیب حتی در صورتی که در سطح اول مانند موضع کانت به نوعی ایدئالیسم مبتنی بر وابستگی جهان تجربه (جهان فنومن یا پدیدار) به دستگاه شناختی موجود مدرک، قائل باشیم می‌توان در سطح دوم، به واقع‌گرایی علمی معتقد بود. در واقع، در این سیاق، دعوای اصلی واقع‌گرایان و ضد واقع‌گرایان (حداقل تجربه‌گرایان) در مورد واقعیت خارجی داشتن اجسام مشاهده‌پذیر یا به عبارت بهتر هویت مشاهده‌پذیر معمولی مانند میز و صندلی نیست، بلکه اختلاف در وجود واقعی عبارات نظری و مرجع داشتن آن‌هاست. این نکته را هم باید در نظر داشت که واقع‌گرایی علمی هم یک موضع‌گیری فلسفی است. البته در صورتی که در سطح اول، یعنی سطح متافیزیکی، رویکردی غیر از واقع‌گرایی اتخاذ کنیم، مثلاً رویکرد ایدئالیستی را بپذیریم، در سطح دوم نمی‌توان به مؤلفه متافیزیکی در تعریف واقع‌گرایی علمی باور داشت. در واقع، این دو متناقض‌اند. اما به دو مؤلفه دیگر، یعنی مؤلفه معناساختی و مؤلفه معرفتی، می‌توان باور داشت. به این ترتیب، کسی که این رویکرد را اتخاذ می‌کند، به لحاظ هستی‌شناختی غیر واقع‌گرای علمی است، ولی به لحاظ معرفت‌شناختی و معناساختی واقع‌گرای علمی است.

ضمیمه ۲. تبیین احتمالی از خط‌پذیری

توضیح زیر در این جا به کار می‌آید و بهتر از رأی ساسکیند در مسئله چندجهانی مشکل‌گشا است. به طور کلی نسبت یک نظریه با شواهد تجربی به سه صورت می‌تواند باشد: اول حالتی است که در آن نظریه رابطه‌ای با شواهد تجربی ندارد، یعنی نظریه آزمون‌ناپذیر است؛ در این صورت می‌توان با بیانی احتمالاتی این مسئله را به شکل زیر آورد:

$$(\forall E)(P(H|E)=0) \quad (1) \quad \text{یا} \quad (\forall E)P(H|E)=1 \quad (2) \quad \text{یا} \quad \begin{cases} P(H|E)=P(H) & (1-3) \\ P(E|H)=P(E) & (2-3) \end{cases}$$

$P(H|E)$ به احتمال پسینی H به شرط E مشهور است و $P(E|H)$ درست‌نمایی نام دارد (گیلیز، ۱۳۸۶: ۵۱). معنای عبارات فوق این است که یا نظریه واجد صدق منطقی است یا واجد تناقض است یا احتمال آن با هر شاهدهی یکسان است، یعنی H و E از یکدیگر مستقل‌اند.

در حساب احتمالات دو رویداد مستقل با (4) و احتمال A به شرط برقراری B با (5) بیان می‌شود (Bertsekas and Tsitsiklis, 2000: 32-33):

$$P(A \cap B) = P(A)P(B) \quad (4)$$

$$P(A|B) = P(A \cap B) / P(B) \quad (5)$$

(البته H رویداد نیست، ولی می‌توان مجموعه‌ای از رویدادها را معادل آن فرض کرد). در واقع روابط (1)، (2)، و (3) از (4) و (5) حاصل می‌شوند:

$$P(E|H) = P(E \cap H) / P(H) = P(E)P(H) / P(H) = P(E)$$

$$P(H|E) = P(E \cap H) / P(E) = P(E)P(H) / P(E) = P(H)$$

همچنین است برای فرضیه همان‌گویانه $P(H) = 1$ (tautological)؛ زیرا H به ازای مجموعه تمام رویدادها صادق است؛ و چون $P(H)$ برابر تقسیم تابع اندازه مجموعه تمام رویدادهایی است که به ازای آن‌ها H صادق است بر تابع اندازه مجموعه تمام رویدادها، $P(H) = 1$ خواهد شد. پس (2) نیز از (4) و (5) حاصل می‌گردد. همین مطلب برای (۱) نیز برقرار است.

حالت بعدی وقتی است که $(\exists E)$ ($0 < P(E|H) < 1$) (و البته $0 < P(H|E) < 1$) باشد، که در این صورت نظریه H آزمون‌پذیر است. و حالت سوم وقتی است که $(\exists E)P(E|H)$ (و همچنین $(\exists E)P(H|E)$) نامعین باشد، یعنی نتوانیم نسبت شواهد و فرضیه را مشخص سازیم. در این صورت با نظریه‌ای مواجه‌ایم که شاید روزی به حوزه امور آزمون‌پذیر (قلمرو علم) وارد شود و آن وقتی است که مکانیزمی برای تعیین $P(E|H)$ به دست آوریم. برای مثال می‌توان گفت، پیش از نظریه ریسمان مکانیزمی قابل اعتماد برای چندجهانی وجود نداشت؛ ولی نظریه ریسمان این مکانیزم را تا حدی فراهم آورد.

پی‌نوشت

۱. بحث تفصیلی و تبیینی این مفاهیم و بررسی آن‌ها با سایر معیارها در این حوزه، در نوشتاری دیگر ارائه خواهد شد.
۲. البته این جمله دقیق نیست. زیرا کوارک‌های سنگین و به‌ویژه کوارک تاپ در شتاب‌دهنده‌ها مشاهده شده - مستقیم شده‌اند.
۳. باید توجه داشت که این جمله، خود مبتنی بر صحت نظریه نسبیت در ابعاد بسیار بزرگ است.
۴. این‌که چه آزمایش‌ها یا «مشاهداتی» معیار مورد نظر ما را در آزمون‌پذیری تأمین می‌کنند، جای بحث بسیار دارد. معیارهایی که برای آزمایش‌ها معمولاً استفاده می‌شوند، شامل تکرارپذیری در زمان و در مکان‌های متفاوت است. در مورد «مشاهدات کیهان‌شناسی» درست است که خود پدیده یا اتفاق تکرار نمی‌شود، اما مشاهده ما تکرارپذیر در زمان است. مثلاً انتظار داریم که مشاهدات کیهان‌شناختی، در مورد تابش زمینه کیهانی، در طول چهل سال گذشته یا صد سال آینده نتایج مشابه (تا حد دقت مشاهدات) به‌دست دهند. در مورد تکرارپذیری در مکان برای این‌گونه مشاهدات متأسفانه امکان عملی این‌که ما مثلاً در کوه‌کشان دیگری بتوانیم این مشاهده را تکرار کنیم، وجود ندارد؛ هرچند علی‌الاصول ممکن باشد. در این‌گونه موارد در کیهان‌شناسی «فرض» بر این است که نتایج یک‌سان (تا حد خطای آماری) به‌دست می‌آید. این نکته در کیهان‌شناسی با «واریانس کیهانی» بیان می‌شود و خطای ناشی از آن را در نتایج مشاهدات اعمال می‌کنند.

منابع

- پوپر، کارل (۱۳۸۱). *منطق اکتشاف علمی*، ترجمه سیدحسین کامالی، تهران: علمی و فرهنگی.
- کاپلستون، فردریک (۱۳۸۸). *تاریخ فلسفه، یونان و روم*، ترجمه سیدجلال‌الدین مجتوی، ج ۱، تهران: علمی و فرهنگی.
- گیلیز، دانلد (۱۳۸۶). *نظریه‌های فلسفی احتمال*، ترجمه محمدرضا مشکانی، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.
- Ashok, K. Sujay, and Douglas, R. Michael (2004). 'Counting Flux Vacua', arXiv.org, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0307049v3.pdf>.
- Bailey, H. David (2013). 'Is Evolution Falsifiable?', In *Science Meets Religion*, <http://www.sciencemeetsreligion.org/evolution/falsifiable.php>.
- Barrau, Aurélien (2007). 'Physics in the Multiverse', LPAC, <http://lpsc.in2p3.fr/barrau/aurelien/CCDecMULTIV.pdf>.
- Becker, K. Becker, M., and Schwarz, J. H. (2007). *String Theory and M-Theory*, Cambridge: Cambridge University Press.

- Bertsekas, P. Dimitri, and Tsitsiklis, N. John (2000). *Introduction to Probability*, Lecture Notes, M.I.T.
- Breidenbach, M., Friedman, J. I., and Kendall, H. W. (1969). 'Observed Behavior of Hihly Inelastic Electron-Proton Scattering', SLAC- PUB- 650.
- Carr, Bernard (2007). *Universe or Multiverse*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Douglas, R. Michael (2003). 'The Statistics of String/M Theory Vacua', arXiv.org, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0303194v4.pdf>.
- Douglas, R. Michael (2004). 'Statistical Analysis of the Supersymmetry Breaking Scale', arXiv.org, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0405279v4.pdf>.
- Eddington, S. Arthur (1936). *Relativity Theory of Protons and Electrons*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Ellis, F. R. George (2006). 'Issues in the Philosophy of Cosmology', arXiv.org, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0602280v2.pdf>.
- Everett, H. (1957a). *On the Foundations of Quantum Mechanics*, Ph.D. Thesis, Princeton University, Department of Physics.
- Everett, H. (1957b). 'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics', *Reviews of Modern Physics*, Vol. 29.
- Guth, H. Alan (1981). 'The Inflationary Universe, A Possible Solution To The Horizon And Flatness Problems', *Phys. Rev. D* 23, 347.
- Kox, J. A., and Eisenstaedt, Jean (2005). *The Universe of General Relativity*, Center for Einstein Studies, Boston: Boston University Press.
- Kragh, Helge (2012a). The Most Philosophically of all the Sciences, *Karl Popper and Physical Cosmology*, PhilSci Archive, <http://philsci-archive.pitt.edu/9062/>.
- Kragh, Helge (2012b). 'Testability and Epistemic Shifts in Modern Cosmology', <http://philsci-archive.pitt.edu/9294/>.
- Liddle, R. Andrew (1999). 'An Introduction to Cosmological inflation', arXiv.org, <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9901124v1.pdf>.
- Linde, D. Andrew (1982). 'A New Inflationary Universe Scenario, A Possible Solution Of The Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy, and Primordial Monopole Problems', *Phys. Lett. B* 108, 389.
- Linde, D. Andrew (1983). 'Chaotic Inflation', *Phys. Lett. B* 129, 177.
- Linde, D. Andrew (2002). 'Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle', arXiv.org, <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0211048v2.pdf>.
- Longair, S. Malcolm (1974). *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Dordrecht and Boston: D. Reidel Publishing.
- Milne, E. Arthur (1935). *Relativity, Gravitation, and World Structure*, Oxford: Clarendon Press.
- Popper, Karl (1974). 'Autobiography', In *The Philosophy of Karl Popper*, Paul A. Schilpp (ed.), La Salle, IL: Open Court Publishing House.
- Psillos, S. (1999). *Scientific Realism, How Science Tracks Truth*, London and New York: Routledge.

- Rickles, Dean (2013). 'Mirror Symmetry and Other Miracles in Superstring Theory', *Foundation of Physics*, Vol. 43, Issue 1.
- Sebastian, de Haro, Dieks, Dennis, 't Hooft, Gerard, and Verlinde, Erik (2013). *Foundation of Physics*, Vol. 43, Issue 1.
- Smolin, Lee (2004). 'Scientific Alternatives to the Anthropic Principle', arXiv: hep, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0407213v3.pdf>.
- Sober, Elliott (2008). *Evidence and Evolution, The Logic Behind the Science*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Stoeger, W. R., Ellis, G. F. R., and Kirchner, U. (2008). 'Multiverses and Cosmology, Philosophical Issues', In: arXiv:hep, <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0407329v2.pdf>.
- Susskind, Leonard (2006). *The Cosmic Landscape, String Theory and Illusion of Intelligent Design*, New York: Brown and Co.
- Susskind, Leonard (2013). 'String Theory', *Foundation of Physics*, Vol. 43, Issue 1.
- Tegmark, Max (1998). 'Is the Theory of Everything' Merely the Ultimate Ensemble Theory?', arXiv.org, <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704009v2.pdf>.
- Tegmark, Max (2007). 'The Mathematical Universe', arXiv: hep, <http://arxiv.org/pdf/0704.0646v2.pdf>.
- Van Dongen, Jeroen (2010). *Einstein's Unification*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Weinberg, Steven (2005). 'Living in the Multiverse', arXiv:hep, <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0511037v1.pdf>.
- Zwiebach, Barton (2009). *A First Course in String Theory*, Cambridge: Cambridge University Press.