فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
سال دوم، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، صص ۹۷-۱۱۶

پیش‌بینی‌ناپذیری سرنوشت جهان تندشونده

محمود مختاری*
مهدی گلشنی**، **صمد خاکشورنیا*****

چکیده

شتاب مثبت انبساط جهان، که در ۱۹۹۸ کشف شد، منجر به یک محدودیت یا افق مشاهدتی موسوم به افق رویداد کیهان‌شناختی می‌شود. به طوری که، مشاهده‌پذیرهای کیهانی در حال خروج تدریجی از افق علّی ما هستند. لارنس کراس، کیهان‌شناس امریکایی، پیش‌بینی می‌کند که کیهان‌شناسان در آیندهٔ دور، بر اساس شواهد آن زمان، معتقد به نظریهٔ جهان استاتیک خواهند شد. در این مقاله با بررسی پیش‌فرض‌های کراس نشان داده می‌شود که پیش‌بینی وی عدم قطعیت بالایی دارد، ضمن این‌که مردود یا مقبول‌بودن یک نظریهٔ علمی در هر زمان، بر اساس شواهد تجربی در دسترس در همان زمان قابل بررسی است و لذا ادعای کراس، قابل مناقشه است. همچنین در این مقاله از این ادعا دفاع می‌شود که جهانِ تندشونده، در عین این‌که تحولی موجبیتی دارد، در چهارچوب کیهان‌شناسی مدرنَ سرنوشتی پیش‌بینی‌ناپذیر دارد، زیرا انرژی تاریک، که عمدتاً مسئول تندشوندگی جهان درنظر گرفته می‌شود، ماهیتی نامعلوم دارد و توصیف آن صرفاً بر اساس یک رابطهٔ پدیدارشناختی موقتی صورت می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: موجبیت، افق کیهان‌شناسی، انرژی تاریک، سرنوشت جهان تندشونده، لارنس کراس.

---

* دکترای فلسفهٔ علم و فنّاوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی (نویسندهٔ مسئول)
mahmoud.mokhtari@gmail.com
** استاد فیزیک و رئیس گروه فلسفهٔ علم، دانشگاه صنعتی شریف
*** دانشیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/٤/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/٦/۱۸

۱. مقدمه

تقابل دو رویکرد تجربه‌گرایانه و واقع‌گرایانه به نظریات علمی و نیز بحث تمایز مشاهده‌پذیرها و مشاهده‌ناپذیرها از مناقشات مهم در فلسفهٔ علم معاصر است. تجربه‌گرایان با استناد به استدلالاتی همچون تعین ناقص[۱]، انتخاب یک نظریه را از نظر معرفت‌شناختی بی‌ارزش تلقی می‌کنند. ون فراسن، فیلسوف امریکایی، بر آن است (Van Fraassen, 1980) که در پذیرش یک نظریه، حداکثر کاری که ما می‌توانیم بکنیم پذیرفتن آن به‌مثابهٔ نظریه‌ای است که «کفایت تجربی» (empricall adequcy) دارد، اما واقع‌گرایان بر آن‌اند که پذیرش یک نظریهٔ موفق باید با این باور یکی انگاشته شود که آن نظریه تقریباً صادق است. می‌توان گفت که متداول‌ترین قاعدهٔ انتخاب بهترین نظریه، استنباط بر اساس بهترین تبیین (Inference to the Best Explanation/ IBE) است. طبق این قاعده، ما در صورتی باید فرضیهٔ H را به جای H′ بپذیریم که H در مقایسه با H′ تبیین بهتری از شواهد E به‌دست بدهد، اما به شرطی H تبیین بهتری است که هم احتمال H بیش‌تر از H′ باشد و هم این‌که H در مقایسه با H′ احتمال بیش‌تری به شواهد E بدهد (Psillos, 1999). وورال که معتقد به واقع‌گرایی ساختاری است یک «نظریهٔ پذیرفته‌شده» را به معنای نظریه‌ای که «فعلاً بهترین نظریهٔ در دسترس است» تلقی می‌کند (Worrall, 2011).

در تجربه‌گرایی ون فراسن، اساساً باورهایی عقلانی تلقی می‌شوند که با چشم غیرمسلح مشاهده شوند، و دست‌یابی معرفتی به هویات مشاهده‌ناپذیر به چالش کشیده می‌شود، اما درمقابل، واقع‌گرایانی همچون گرور ماکسول (Maxwell, 2009) تمایز قاطع بین مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر را رد می‌کنند. ماکسول با دفاع از تغییر مفهوم مشاهده‌پذیری، قائل به این است که درواقع خود نظریهٔ علمی به ما می‌گوید که چه چیز مشاهده‌پذیر است و چه چیز مشاهده‌ناپذیر. لاودن و لپلین (Laudan and Leplin, 1991) نیز تغییر در دامنهٔ مشاهده‌پذیری را مطرح می‌کنند و بر آن‌اند که زبان مشاهده نسبت به زمان، ثابت نیست و دامنهٔ پدیدهٔ مشاهده‌پذیر، همواره با وضعیت معرفت علمی و نیز وسایل تکنولوژیک در دسترس برای مشاهده و آشکارسازی، مشخص می‌شود.

در کیهان‌شناسی مدرن، مشاهده‌ناپذیرها صرفاً ناشی از محدودیت تکنولوژیک نیستند، گرچه محدودیت تکنولوژیک نیز وجود دارد و برخی اشیای کیهانی، که امروزه غیر قابل مشاهده‌اند، با تلسکوپ‌های آینده قابل آشکارسازی خواهند بود، اما اگر هیچ‌گونه محدودیت تکنولوژیکی هم نداشته باشیم با محدودیت سرعت نور مواجهیم و مشاهدات

کنونی ما محدود به فاصله‌ای است که یک سیگنال با سرعت نور، می‌تواند از زمان مهبانگ تاکنون طی کرده باشد (افق ذره[۲]). درواقع ساختار علّی فضا ـ زمان در نظریهٔ نسبیت است که چنین مرزی را برای مشاهده‌پذیری ایجاد می‌کند. اما محدودیت دیگر مشاهده‌پذیری در کیهان‌شناسی ناشی از شتاب مثبت انبساط عالم است. در این‌جا با یک افق رویداد (event horizon) کیهان‌شناختی مواجهیم؛ مشاهده‌پذیرهای کیهانی در حال خروج تدریجی از افق علّی ما هستند. در مدل استاندارد هم‌ساز (standard concordance model) کیهان‌شناسی، گرچه تحول جهان مطابق نظریهٔ نسبیت عام موجبیتی درنظر گرفته می‌شود، از آن‌جا که ماهیت انرژی تاریک، که به منزلهٔ عامل شتاب مثبت جهان درنظر گرفته می‌شود، نامعلوم است لذا هیچ تعینی در دانش ما از سرنوشت عالَم وجود ندارد.

درواقع، موجبیت مستلزم پیش‌بینی‌پذیری نیست و ایدهٔ موجبیت فلسفی اجمالاً حاکی از آن است که هر رویدادی نتیجهٔ ناگزیر علت‌های سابق بر آن است، اما تعریف دقیق و مورد توافقی از موجبیت (به‌ویژه موجبیت علمی) در بین فیزیک‌دانان و فلاسفهٔ علم وجود ندارد. طبق بیان لاپلاسی از موجبیت، حالت فعلی جهان حالت آن را در هر زمان دیگری به صورت منحصر به فرد و کامل تعیین می‌کند. همچنین می‌توان گفت که جهان فقط در صورتی تحت حاکمیت موجبیت است که با داشتن حالت مشخص اشیا در زمان t، نحوهٔ تحول آن‌ها پس از این زمان، با قوانین طبیعت قطعی شود.

سؤال از این‌که آیا جهان ما موجبیتی است؟ درواقع قابل تحلیل به دو مسئله است: ۱. آیا ما در یک جهان موجبیتی زندگی می‌کنیم؟ و ۲. آیا نظریه‌های فیزیک در توصیف جهان موجبیتی هستند؟ سؤال نخست، مسئله‌ای هستی‌شناسانه است که بر اساس اعتقاد به اصل علیت و نیز اصل سنخیت علت و معلول پاسخ مثبتی می‌یابد. در حالی که دومین سؤال، معرفت‌شناسانه است؛ و بدین‌معناست که آیا بر اساس قوانین فیزیک می‌توان وضعیت‌های آینده را دانست؟ طبیعتاً، پاسخ چنین مسئله‌ای در گرو بررسی جامعی از وضعیت موجبیتی نظریه‌های فیزیک است که خارج از هدف و حوصلهٔ این مقاله است. این مقاله عهده‌دار بخش کوچکی از این بحث پردامنه است: پیش‌بینی در یک جهان موجبیتی تندشونده با فرض توصیف موجبیتی آن با نظریهٔ نسبیت عام و در چهارچوب کیهان‌شناسی مدرن.

در بخش بعدی مقاله، ضمن توضیح زمینه‌های فیزیکی بحث، شتاب مثبت انبساط جهان و اهمیت آن در سرنوشت جهان مورد توجه قرار می‌گیرد و در بخش‌های بعدی، آموزهٔ کیهان‌شناس امریکایی، لارنس کراس (Lawrence M. Krauss)، در خصوص آیندهٔ دور

جهان مطرح خواهد شد. کراس پیش‌بینی می‌کند که کیهان‌شناسان در آیندهٔ دور، بر اساس شواهد آن زمان، معتقد به نظریهٔ جهان استاتیک خواهند شد و لذا نمی‌توانند کیهان‌شناسی به معنای امروزی داشته باشند؛ وی بر این اساس ایدهٔ «پایان کیهان‌شناسی» را مطرح می‌کند. در این مقاله نظریهٔ کراس نقد و بررسی می‌شود.

۲. شتاب مثبت انبساط جهان

در سال ۱۹۲۹، کشف هابل نشان داد که جهان در حال انبساط است. آشکارسازی تابش زمینهٔ کیهانی (Cosmic Microwave Background/ CMB) در ۱۹۶۵ تأییدی بر انبساط جهان از یک وضعیت اولیهٔ داغ بود (مهبانگ داغ)، اما نظر کیهان‌شناسان این بود که انبساط جهان، در اثر گرانش جرم‌های کیهانی، در حال کندشدن است. دو گروه کیهان‌شناسی که در نیمهٔ دوم دههٔ ۱۹۹۰ میلادی، به طور مجزا بر روی ابرنواخترهای (Super Nova/ SN) نوع Ia به عنوان شمع‌های استاندارد (standard candles)، کار می‌کردند با ابزارهای جدیدی که در اختیار گرفته بودند این امکان را یافتند که دیاگرام هابل[۳] ابرنواخترها را تا فواصل دورتر از آن‌چه قبلاً ممکن بود مشاهده و بررسی کنند. هر دو گروه دریافتند که ابرنواخترهای دوردست حدود ۰/۲۵ کم‌نورتر از آن‌اند که در یک جهان کندشوندهٔ مادهٔ غالب انتظار می‌رود. بنابراین، آن‌ها نتیجه گرفتند که انبساط جهان، از حدود ۵ بیلیون سال پیش، شروع به افزایش سرعت کرده است (Perlmutter et al., 1999; Riess et al., 1998).

طی دههٔ گذشته، مشاهدهٔ صدها ابرنواختر دیگر نیز در سرخ‌گرایی (redshift) های زیاد کشف فوق را تأیید کرده است، اما هیچ توضیح قاطع و مورد توافق همگان برای منشأ شتاب مثبت کیهانی ارائه نشده است. دربارهٔ انبساط تندشوندهٔ جهان، آن‌چه فیزیک‌دانان فعلاً بر آن توافق دارند این است که اگر سه پیش‌فرض ذیل با هم در یک مدل کیهان‌شناختی وارد شوند، تبیین شتاب مثبت انبساط جهان در آن مدل غیر ممکن خواهد بود:

۱. توصیف جهان با نسبیت عام (General Relativity/ GR)؛

۲. همگنی و همسان‌گردی جهان (در مقیاس‌های بیش از ۱۰۰ Mps)؛ به‌ویژه قابل اِعمال‌بودن متریک[۴] فریدمن ـ رابرتسون ـ واکر (Friedman-Robertson-Walker/ FRW)؛

۳. برقراری شرط قوی انرژی (Strong Energy Condition/ SEC)؛ یعنی این فرض که چگالی ρ و فشار p مادهٔ کیهانی غالب، که ناظرهای همراه آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند در رابطهٔ $\rho + 3p \geq 0$ صدق می‌کنند.

بدین‌ترتیب، توضیح انبساط تندشوندهٔ جهان مستلزم رهاکردن حداقل یکی از سه فرض فوق یعنی حاکمیت GR، اعتبار متریک FRW، یا شرط SEC خواهد بود. حل معمای شتاب مثبت جهان این ظرفیت را دارد که موجب رشد فهم ما از بسیاری از مسائل فیزیک بنیادی شود.

برخی فیزیک‌دانان بر آن‌اند که تندشوندگی کیهانی می‌تواند سرنخی برای فراتررفتن از نسبیت عام باشد، اما هنوز چنین نظریهٔ بدیل منسجمی که با همهٔ داده‌های تجربی نیز سازگار باشد ارائه نشده است. مدل‌هایی بر اساس نقض فرض همگنی جهان ارائه شده است که گرچه از نظر کفایت نتایج مشاهدتی قابل توجه‌اند (Kolb et al., 2006)، از لحاظ مبانی فلسفی و قدرت توضیح‌دهندگی قابل قبول به‌نظر نمی‌رسند. درواقع، ناهمگنی‌ها و اختلالاتی که در این مدل‌ها وارد می‌شوند تحولاتی در فرا ــ افق دارند که از نظر علّی تأثیری در مشاهدات کیهان‌شناختی ما ندارند و لذا بدیهی است که شواهد تجربی یک‌سانی با مدل‌های همگن داشته باشند (Hirata and Seljak, 2005).

رویکرد غالب در تبیین انبساط تندشوندهٔ کیهانی مبتنی‌بر دو فرض اعتبار نسبیت عام و متریک FRW است، یعنی شرط قوی انرژی را کنار می‌گذارند. در چهارچوب متریک FRW و حاکمیت GR، شتاب مثبت انبساط جهان نمی‌تواند با هیچ شکل شناخته‌شده‌ای از ماده یا انرژی، که شرط قوی انرژی را برآورده کند، تبیین شود. لذا منشأ این شتاب، که ناشی از هویتی با فشار منفی است، «انرژی تاریک» نامیده می‌شود، که حاکی از ماهیت نامعلوم آن است. ساده‌ترین گزینه برای انرژی تاریک، از نظر فیزیکی، فرض ثابت کیهان‌شناختی (cosmological constant) لامبدا، Λ، است که مستلزم افزودن جمله‌ای به معادلات نسبیت عام اینشتین است و نظریهٔ حاصل مدل استاندارد هم‌ساز (standard concordance model) کیهان‌شناسی، تحت عنوان «مادهٔ تاریک سرد با لامبدا» (Cold Dark Matter with Lambda/ ΛCDM) نامیده می‌شود.

در چهارچوب مدل ΛCDM، تحول موجبیتی جهان با معادلات میدان اینشتین قابل توصیف است، که در یک جهان همگن همسان‌گرد منجر به معادلات فریدمن می‌شوند که در آن‌ها با توجه به اصل کیهان‌شناختی (همگنی و همسان‌گردی جهان) تحول هندسهٔ بزرگ ـ مقیاس جهان، بر حسب یک تابع زمانی همگن از نظر فضایی، یعنی فاکتور مقیاس a(t)، بیان می‌شود. بر اساس این معادلات می‌توان نشان داد که اگر یک چگالی انرژی مثبت، موسوم به ρ_Λ، بر جهان حاکم باشد، یک نقطه که ابتدا در فاصلهٔ

فیزیکی d از مشاهده‌گر است با انبساط جهانی با سرعت هابلی زیر از مشاهده‌گر دور خواهد شد:

$$\dot{d} = \sqrt{\frac{\Lambda}{3}}\, d \qquad (۱)$$

حال اگر در این رابطه سرعت را برابر c قرار دهیم (با $c = 1$)، شعاع افق دوسیتر که ناظرهای همراه آن را با انبساط اندازه‌گیری می‌کنند به‌دست می‌آید، یعنی $R_{de} = \sqrt{3/\Lambda}$، که از خارج آن هیچ اطلاعات جدیدی نمی‌تواند به مشاهده‌گر برسد (Krauss and Starkman, 1999).

۳. سرنوشت جهان تندشونده

بحث دربارهٔ سرنوشت جهان همواره یکی از مباحث فلسفی مطرح بوده است. کیهان‌شناسی مدرن، تا قبل از کشف شتاب مثبت جهان، تعیین سرنوشت جهان را بر اساس هندسهٔ آن ممکن شناخته بود و نظر برخی فیزیک‌دانان این بود که این بحث را از حوزهٔ فلسفه به علم منتقل کرده‌اند. با این حال پس از کشف انبساط تندشوندهٔ جهان و مطرح‌شدن انرژی تاریک، بحث دربارهٔ سرنوشت جهان، شکل و محتوای کاملاً جدیدی به خود گرفته است. درواقع، دیگر چنین نیست که به صرف تعیین انحنای فضا و هندسهٔ بزرگ‌ـ مقیاس جهان بتوان سرنوشت آن را تعیین کرد، بلکه به‌نظر می‌رسد سرنوشت جهان در گرو سرشت انرژی تاریک است که دربارهٔ آن چیزی نمی‌دانیم. این اتفاق به نوعی تکرار وضعیت اواخر قرن نوزدهم است که عده‌ای از فیزیک‌دانان بر آن بودند که فیزیک به انتها رسیده است، ولی تحولات بعدی منجر به انقلابی در فیزیک شد و نشان داد که هنوز در فیزیک بسیاری از چیزها را نمی‌دانیم.

۱.۳ معادلهٔ حالت انرژی تاریک

فیزیک‌دانان برای شناخت انرژی تاریک، بر اساس روش پدیدارشناسانه، و با درنظرگرفتن آن به منزلهٔ یک سیال کامل کیهانی، معادلهٔ حالت انرژی تاریک را به شکل زیر پیشنهاد کرده‌اند:

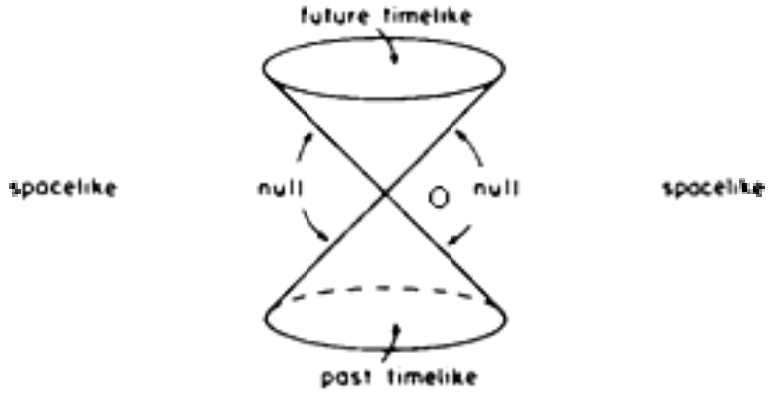
$$W = p/\rho \qquad (۲)$$

که در آن ρ و p، به‌ترتیب چگالی و فشار انرژی تاریک‌اند.

پروژه‌های کیهان‌شناختی زیادی بر اساس روش‌های مشاهدتی متفاوت برای کاوش انرژی تاریک در حال انجام است که هدف نهایی آن‌ها تعیین پارامتر w و تغییرات آن است. شواهد تجربی فعلی به نفع انرژی تاریک با پارامتر معادلهٔ حالت $w \approx -1 \pm$ است، ولی این شواهد با مقادیر دیگر این پارامتر نیز سازگاری دارد؛ $w \approx -1 \pm 0.1$. همچنین علی‌الاصول می‌توان این فرض را که w ثابت است کنار گذاشت و آن را به صورت یک پارامتر تابع زمان درنظر گرفت (Frieman et al., 2008).

۲.۳ افق‌های کیهانی

مطابق نظریهٔ نسبیت، در هر نقطه از فضای سه‌بعدی یک مخروط فرضی می‌توان درنظر گرفت که نشان‌دهندهٔ ارتباطات علّیِ رویداد واقع در آن (رأس مخروط) با رویدادهای دیگر است. به علت سرعت محدود نور، یک رویداد فقط بر رویدادهایی می‌تواند اثر بگذارد که در درون (یا بر روی) مخروط نوری آیندهٔ آن قرار می‌گیرند، ولی هیچ‌گونه ارتباط علّی با رویدادهای نواحی فضاگونه (خارج از مخروط نوری) ندارد (شکل ۱). شهود یا عرف عام (common sense) بر آن است که مشاهده را به هر معنایی که بگیریم باید دربردارندهٔ یک ارتباط علّی بین مشاهده‌گر و رویداد مشاهده‌شده باشد. بنابراین، یک مشاهده‌گر نمی‌تواند دانش مشاهدتی مستقیمی از رویدادی که در یک نقطهٔ واقع در خارج از مخروط نوری گذشته‌اش اتفاق می‌افتد داشته باشد (Earman, 1995).



شکل ۱. مخروط نوری در یک نقطهٔ O از فضا - زمان سه بعدی.

همهٔ رویدادهایی که در زمان کنونی می‌توانیم مشاهده کنیم در مخروط نوری گذشتهٔ ما هستند. همچنین افق ذره، ابعاد جهان مشاهده‌پذیر ما را، در حال حاضر، معین می‌کند. ما نمی‌توانیم از فراسوی افق ذره، نور دریافت کنیم یا به آن‌جا نوری بفرستیم. افق ذرهٔ مؤثر ما تابش کیهانی زمینه در سرخ‌گرایی $z \approx 1100$ است، زیرا نمی‌توانیم فراتر از سطح آخرین پراکندگی (یعنی زمان جدایی فوتون از ماده) را ببینیم.

همچنین برای هر مشاهده‌گر، می‌توان یک افق رویداد آینده درنظر گرفت که عبارت است از مرز بین آن رویدادهایی که درون مخروط نوری گذشتهٔ آن قرار دارند و آن‌هایی که در خارج آن هستند. وجود افق رویداد مستلزم این است که نور در طی عمر جهان فقط کسری از شعاع کیهانی را طی کند. اگر شتاب انبساط جهان مثبت باشد، این شرط برآورده می‌شود. درواقع در همهٔ مدل‌های جهان در حال انبساط با یک ثابت کیهان‌شناختی، شرط مزبور برآورده می‌شود و لذا اکثر مدل‌های کیهان‌شناسی، افق رویداد دارند. کهکشان‌هایی که ما اکنون در سرخ‌گرایی $z \approx 1.8$ مشاهده می‌کنیم در حال عبور از افق رویدادند و نوری که از این پس ساطع می‌کنند هرگز به ما نخواهد رسید و بنابراین آن‌ها دورترین اشیایی‌اند که دربارهٔ حال حاضر آن‌ها اطلاعات دریافت می‌کنیم. نکتهٔ قابل توجه این است که از بین رویدادهای خارج از افق رویداد ما بسیاری در درون افق ذرهٔ ما هستند. درواقع، ما این کهکشان‌های درون افق ذره را، که رویدادهای مزبور در آن‌ها اتفاق می‌افتد، قبل از وقوع آن رویدادها دیده‌ایم، گرچه هرگز آن‌ها را آن‌چنان که اکنون هستند نمی‌بینیم.

در کیهان‌شناسی مدرن، برخی اصول که ماهیتی فلسفی دارند برای بسط و تعمیم نتایج جهان مشاهده‌پذیر یا جهان تحت ـ افق (sub-horizon) به کل کیهان استفاده می‌شوند، که مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها اصل کیهان‌شناختی (cosmological principle) است. اصل کیهان‌شناختی پیش‌فرض اساسی کیهان‌شناسی استاندارد است که مبتنی‌بر متریک FRW برای یک فضای سه‌بعدی همگن و همسان‌گرد است. اصل کیهان‌شناختی ما را قادر می‌کند که، بر اساس اطلاعاتی که دربارهٔ جهان در مخروط نوری گذشته خود داریم، فرض کنیم وضعیت برای مشاهده‌گرهای دیگر نیز همان‌گونه (much the same) است، اما در به‌کارگیری این اصل باید محتاط باشیم؛ چراکه اطلاعات مشاهدتی مستقیم ما دربارهٔ جهان، به‌ویژه جهان اولیه که ممکن است همگن و همسان‌گرد نباشد، محدود است. همچنین اصل کیهان‌شناختی بر مبنایی فلسفی بنا شده است و انتظار نمی‌رود که به طریق تجربی قابل طرد باشد (Ellis, 2009).

اصل کیهان‌شناختی درواقع یک فرض عملی (working assumption) است. این ادعا که مشاهده‌گرهای روی زمین موقعیتی ممتاز را در جهان، اشغال نمی‌کنند حاکی از این فرض است که قسمتی از جهان را که می‌توانیم از روی زمین ببینیم نمونه‌ای غیرممتاز (fair sample) است. مبنای فلسفی این اصل روش‌شناختی این فرض کلی‌تر است که جهان قابل شناخت است. اگر این دیدگاه را بپذیریم، آن‌گاه اصل کیهان‌شناختی، به‌مثابهٔ یک فرض عملی و روش‌شناختی، صرفاً در محدودهٔ جهان قابل دسترس یا تحت ــ افق معتبر است و از هیچ اعتبار مطلقی برخوردار نخواهد بود که به ما این امکان را بدهد که آن را در فرا ـ افق به‌کار بندیم. اصل کیهان‌شناختی دال بر یک ارتباط علّی بین همهٔ اجزای فضا در هر زمانی از گذشتهٔ جهان است.

طبق قانون هابل، همهٔ اشیایی که خارج از شعاع $(R = 1/H = a/\dot{a})$ قرار دارند با سرعتی بیش از سرعت نور در حال دورشدن از ما هستند، و از آن‌جا که پیش‌بینی ارتباطات علّی در آیندهٔ جهان تندشونده مرتبط با شعاع هابل است، لازم است تغییر زمانی آن را بدانیم.

تغییرات شعاع هابل در جهان تخت تندشونده با حاکمیت انرژی تاریک، بر حسب پارامتر معادلهٔ حالت انرژی تاریک با استفاده از رابطهٔ ذیل قابل محاسبه است (Lewis and Oirschot, 2012).

$$\dot{R_h} = \frac{2}{3}(1 + w) \qquad (۳)$$

در این رابطه، اگر برای پارامتر معادلهٔ حالت انرژی تاریک داشته باشیم $-1 < w < -1/3$ (اثیر یا شکل مفروض برای انرژی تاریک (quintessence))، در این صورت تغییر زمانی شعاع هابل مثبت است و کرهٔ هابل رشد خواهد کرد (درواقع افزایش a سریع‌تر از $\dot{a}$ است)، تا آن‌جا که این افزایش بیش‌تر از سرعت فرار (V_{rec}) فوتون‌هایی است که بلافاصله پس از کرهٔ هابل قرار دارند $(\dot{R_h} > V_{rec} - c)$. در این حالت فوتون‌ها دیگر در ناحیهٔ فوق نوری نخواهند ماند و به ما نزدیک خواهند شد. بنابراین فوتون‌های نزدیک کرهٔ هابل که به‌آرامی در حال فرار از ما هستند از طریق بسط سریع‌تر کرهٔ هابل، به دام می‌افتند و به ما می‌رسند، گرچه کهکشانی که آن‌ها را ساطع کرده است با سرعتی بیش از سرعت نور در حال دورشدن از ماست.

اما در حالت $w < -1$ (موسوم به انرژی فانتوم (phantom)) شعاع هابل کاهش می‌یابد و

می‌توان انتظار داشت که سرنوشت جهان، گسست بزرگ (big rip) کیهانی باشد، آن‌چه به قیامت (doomsday) تعبیر شده است.

بالاخره برای w = -1 (ثابت کیهان‌شناختی یا انرژی خلأ با چگالی ثابت) شعاع کرهٔ هابل ثابت می‌ماند و منطبق بر افق رویداد دوسیتر است ($R_h = R_{de}$). بدین‌ترتیب در چنین جهانی ما با افق رویداد کیهانی در احاطه‌ایم و رویدادهایی را که در ورای آن اتفاق می‌افتند هرگز نخواهیم دید. درواقع، چنان‌که گفته شد، فقط درصورتی نور کهکشان‌هایی که با سرعت بیش از نور از ما دور می‌شوند ممکن است به ما برسد که شعاع هابل افزایش یابد، در حالی که در جهان با ثابت کیهان‌شناختی غالب، این افزایش متوقف می‌شود (Davis, 2003).

برای پیش‌بینی سرنوشت جهان تندشونده، مدل «مادهٔ تاریک سرد با لامبدا» (ΛCDM)، که ثابت کیهان‌شناسی را ساده‌ترین گزینه برای انرژی تاریک درنظر می‌گیرد، مدل مطرح‌تری است و در این چهارچوب، نظریات کیهان‌شناس امریکایی، لارنس کراس، پیش‌تر و بیش‌تر از دیگران مورد توجه و ارجاع قرار گرفته است. آموزهٔ کراس از نظر مبانی و تبعات فلسفی قابل بحث است. در ادامه نخست، پیش‌بینی او را مطرح می‌کنیم و سپس، آن را بررسی و نقد می‌کنیم.

۴. پیش‌بینی لارنس کراس

تصویر کراس از آیندهٔ دور جهان ما یک جهان ایستاست که در آن، کهکشان ما با کهکشان‌های نزدیک تشکیل یک ابَرخوشهٔ کهکشانی می‌دهد و در یک فضای خالی (void) تنهاست و هیچ‌گونه ارتباطی با بقیهٔ جهان ندارد. از آن‌جا که کهکشان‌های داخل خوشهٔ کهکشانی محلی ما با جاذبهٔ گرانشی متقابلشان به یک‌دیگر مقید شده‌اند، با سرعت انبساط زمینهٔ هابل فرار نخواهند کرد، اما کهکشان‌های دوردست، در زمان محدودی از مرتبهٔ قابل مقایسه با عمر جهان، از افق رویداد و درنتیجه از حوزهٔ ارتباط علّی با ما خارج می‌شوند. بدین‌ترتیب در آیندهٔ دور، هر موجود هوشمندی که روی این کهکشان باقی باشد قادر به دریافت هیچ اطلاعات تجربی جدیدی دربارهٔ وضعیت ساختار بزرگ ــ مقیاس جهان نخواهد بود و بنابراین، علم کیهان‌شناسی تجربی (مطالعهٔ آغاز، تحول، و سرانجام جهان) غیر ممکن خواهد شد.

مطابق پیش‌بینی کراس، در آیندهٔ دور هرچه زمان می‌گذرد مشاهده‌گران قادر به دیدن

چیزهای کم‌تری خواهند بود. همچنین، هرچه سرعت کهکشان‌های دور به سرعت نور نزدیک می‌شود سرخ‌گرایی نور آن‌ها بیش‌تر می‌شود و نور مرئی آن‌ها به سمت مادون قرمز، میکروویو، امواج رادیویی، و ... می‌رود تا این‌که در حدود دو تریلیون سال بعد، طول موج نور ساطع‌شده از آن‌ها بزرگ‌تر از ابعاد جهان مشاهده‌پذیر می‌شود و پس از آن، دیگر کهکشانی غیر از کهکشان‌های داخل خوشهٔ محلی قابل مشاهده نخواهد بود و گویی بقیهٔ جهان ناپدید می‌شود.

اما آن‌چه کراس دربارهٔ آیندهٔ کیهان‌شناسی مطرح کرده است درواقع مبتنی‌بر دو پیش‌فرض است: یکی وجود حیات هوشمند در آیندهٔ دور، و دیگری عدم بقای شواهد و مدارک فعلی کیهانی در آیندهٔ دور. کراس در عین این‌که تصریح می‌کند خورشید ما فقط تا حدود پنج میلیارد سال دیگر وجود خواهد داشت، به وجود ستارگان رشتهٔ اصلی (‘main sequence’ stars) (که تاریخچهٔ تحولشان مشابه خورشید، ولی عمرشان بسیار بیش‌تر از آن است) اشاره می‌کند و تمدن‌هایی را که روی سیارات حول آن ستارگان وجود خواهند داشت به تصویر می‌کشد، اما آن کیهان‌شناسان به هیچ‌یک از شواهد کیهانی امروزی درخصوص تحول جهان از یک مهبانگ اولیه و نیز شواهد وجود انرژی تاریک، دسترسی نخواهند داشت و بنابراین به اشتباه معتقد به یک جهان ایستا (استاتیک) خواهند شد.

کراس ادعا می‌کند که در آن حالت، همهٔ پایه (pillar) ها و شواهد کیهان‌شناسی مدرن برای حکم به آغاز جهان از یک وضعیت چگال داغ از بین خواهد رفت، زیرا: ۱. شواهد انبساط هابل با ناپدیدشدن کهکشان‌ها در فرا ـ افق قابل ردگیری نخواهد بود؛ ۲. شدت تابش زمینهٔ کیهانی در آیندهٔ دور با افت شدید دما (تا حدود ۱۰۰ برابر) بسیار کم خواهد شد و قابل آشکارسازی نخواهد بود؛ و ۳. تطابق بین فراوانی عناصر سبک (هیدروژن، هلیم، و لیتیوم) در جهان با مقادیر نظری جهان اولیه نیز برهم خواهد خورد، زیرا هلیوم اولیه از هلیوم زیادی که از سوختن هیدروژن در ستارگان به‌وجود آمده است قابل تشخیص نخواهد بود. البته دانشمندان آیندهٔ دور، بر اساس نسبت فعلی تبدیل هیدروژن به هلیوم در جهان، قادر به این استنباط خواهند بود که جهان عمر معینی داشته است و چنین دانشمندانی سن کم‌تر از حدود یک تریلیون سال را برای جهان تخمین خواهند زد، ولی به هیچ‌وجه نمی‌توانند به یک آغاز مهبانگی پی ببرند.

کراس بر آن است که کیهان‌شناسان آیندهٔ دور حتی اگر معادلات اینشتین را به‌مثابهٔ ابزار نظری در دست داشته باشند و به‌کار گیرند، نمی‌توانند به مهبانگ پی ببرند. زیرا

گرچه نسبیت عام و معادلات میدان اینشتین مستلزم یک تکینگی یا مهبانگ اولیه است که لومتر (کشیش بلژیکی) آن را استنتاج کرد، اما استنباط لومتر مبتنی‌بر فرض همگنی فضا (متریک FRW) بود که چنین فرضی برای مشاهده‌گران آیندهٔ دور درست نیست. آن‌ها برای تک سیستم کلان خود، که با یک فضای خالی (و به گمان آن‌ها) ایستا احاطه شده است، یک حل دقیق و بدون تکینگی اولیه خواهند داشت[۵] و لذا از طریق نظری نیز راه به کشف مهبانگ اولیه نخواهند برد (Krauss, 2012).

۵. نقد آموزهٔ پیش‌بینی آیندهٔ دور

کراس پیش‌بینی خود دربارهٔ سرنوشت جهان را بر اساس فرض حاکمیت انرژی خلأ با یک چگالی ثابت (معادل با یک ثابت کیهان‌شناختی) بر جهان و به عبارت دیگر، ثابت فرض‌کردن چگالی انرژی تاریک مطرح می‌کند. او درواقع مقدار پارامتر معادلهٔ حالت انرژی تاریک را $w = -1$ درنظر می‌گیرد. این انتخاب او برای پارامتر معادلهٔ حالت در حالی صورت می‌گیرد که، چنان‌که قبلاً بحث شد، بدیل‌های دیگری نیز برای مقدار w وجود دارد که، ضمن آن‌که با داده‌های موجود سازگارند، منجر به سرنوشت‌های متفاوتی برای جهان می‌شوند.

گرچه شواهد تجربی فعلی از $w = -1$ پشتیبانی می‌کند، ولی این بدان معنا نیست که مشاهدات کیهان‌شناختی به طور سرراست و دقیق این مقدار را تأیید کند، بلکه نتایج همواره از خطاهای تجربی و نیز محدودیت‌های اندازه‌گیری (همچون واریانس کیهانی)[۶] متأثر است. همچنین، شواهد تجربی با مقادیر دیگر این پارامتر نیز سازگار است و نمی‌تواند آن‌ها را رد کند ($w = -1 \pm 0.1$).

صرف تطابق با نتایج تجربی، معیار مجازدانستن هر مقداری از پارامتر حالت نیست، بلکه از نظر فیزیکی نیز باید قابل قبول (physically plausible) باشد. مطابق همین دیدگاه است که برخی فیزیک‌دانان، همچون الیس (G. F. R. Ellis)، گزینهٔ $w < -1$ را، که مربوط به مادهٔ فانتوم با ویژگی‌های عجیبی (همچون انرژی جنبشی منفی) است، غیر قابل قبول می‌دانند. به نظر الیس به جای اکتفاکردن به تطابق‌های پدیدارشناختی آزمایش‌های مستقلی باید تأیید کنند که چنین ماده‌ای وجود دارد یا به صورت نظری نشان داده شود که چنین ویژگی‌هایی موجه است تا بتوان پذیرفت که چنین ماده‌ای غیر فیزیکی نیست (Ellis, 2006)، اما عملاً دیدگاه الیس به‌ندرت رعایت می‌شود و همهٔ مدل‌های مبتنی‌بر انرژی تاریک (فشار منفی) اساساً ناقض شهود فیزیکی‌اند و این رویکردی است که اکثر کیهان‌شناسان با

نقض شرط قوی انرژی (به جای نقض اصل کیهان‌شناختی یا نسبیت عام) پذیرفته‌اند.[۷] به‌نظر می‌رسد کراس نیز مقادیر دیگر پارامتر معادلهٔ حالت را بر اساس دلایلی متفاوت از رویکرد الیس کنار گذاشته باشد؛ وی اساساً در این خصوص استدلال صریحی متکی‌بر شواهد تجربی ارائه نمی‌کند و به‌نظر می‌رسد که سادگی فرض $w = -1$ و باورهای متافیزیکی او باعث توجه خاص او به این فرض شده باشد.[۸]

برخی از کیهان‌شناسان بر اساس شواهد تجربی، مثلاً همان یافته‌های (WMAP Wilkinson Microwave Anisotropy Probe/) که مورد استناد کراس است، به سراغ مقادیر دیگر پارامتر معادلهٔ حالت (w) رفته‌اند و مدل‌های کاملاً متفاوتی ارائه کرده‌اند. یکی از دلایل این دسته از فیزیک‌دانان برای رهاکردن $w = -1$ می‌تواند این باشد که فرض حاکمیت انرژی خلأ با چگالی ثابت منجر به یک انطباق (coincidence) بدون توجیه فیزیکی می‌شود. انطباق بدون توجیه فیزیکی در زمان کنونی کیهان‌شناسی عبارت است از برابربودن چگالی ثابت انرژی تاریک و چگالی جهان که در طی زمان رو به کاهش بوده است.

یکی دیگر از مشکلات انتخاب پیش‌فرض $w = -1$، که توجیه نشده است، عبارت است از ناسازگاری مقادیر تجربی برای چگالی انرژی خلأ و مقدار پیش‌بینی‌شده از طریق نظریهٔ میدان‌های کوانتمی که معروف به مشکل ثابت کیهان‌شناختی (the cosmological constant problem) است.

از آن‌جا که برخی کیهان‌شناسان اعتقادی به اصل انسان ـ محوری (anthropic principle) ندارند سعی می‌کنند فرضیات منجر به انطباق‌های بدون توجیه فیزیکی را کنار بگذارند. کراس در عین این‌که اصل انسان ـ محوری را نمی‌پسندد پیش‌فرضی در آموزهٔ خود اتخاذ کرده است که منجر به یک انطباق مضاعف می‌شود. مطابق آموزهٔ کراس، ما در یک دورهٔ ویژه از عمر جهان به‌سر می‌بریم که در آن، مطالعهٔ تجربی تحولات جهان بر اساس شواهد کیهان‌شناختی امکان‌پذیر شده است. این «خاص‌بودن» مشاهده‌گران فعلی برای مطالعهٔ کیهان و نیز پی‌بردن آن‌ها به این ویژه‌بودنشان به‌شدت نیازمند توضیح است. در حالی که در آموزهٔ کراس (دائر بر حاکمیت انرژی خلأ با چگالی ثابت تا آیندهٔ دور) این ویژه‌بودن، بدون توجیه می‌ماند.

برخی مدل‌های رقیب، انرژی تاریک را با تغییرات بسیار کند نسبت به زمان درنظر می‌گیرند به طوری که، از نظر تجربی غیر قابل تمیز از یک ثابت کیهان‌شناختی ($w \approx -1$) است؛ زیرا از آن‌جا که انبساط جهان تا زمان حاضر در این مدل‌ها یک‌سان است و تحول

آیندهٔ جهان در آن‌ها متفاوت است به‌کارگیری داده‌های کنونی برای تعیین این‌که جهان چه آینده‌ای خواهد داشت غیر ممکن است (Astashenok et al., 2012). بنابراین، داده‌ها و اطلاعات فعلی به‌تنهایی برای طرد بدیل‌های دیگر و تعیین مقدار نهایی پارامتر معادلهٔ حالت کافی نیستند و ما با یک تعین ناقص نظریه از طریق تجربه مواجهیم.

اما صرف نظر از بحث مدل‌های رقیب و با فرض این‌که در زمان فعلی مدل $w = -1$ را بپذیریم، نکتهٔ دیگری که در پیش‌بینی کراس مغفول مانده این است که امکان دارد ویژگی‌های انرژی تاریک و درنتیجه رژیم انبساط جهان به‌طور ناگهانی تغییر کند. مدل‌های تورمی حاکی از آن است که در لحظات اولیهٔ مهبانگ شکل متفاوتی از انرژی تاریک حاکم بوده است، به همین ترتیب ممکن است جهان در دورهٔ کنونی، در حالت خلأ کاذب (false vacuum) باشیم و این حالت خلأ ناگهان به یک خلأ واقعی (true vacuum) (یک حالت با انرژی پایین‌تر) واپاشی کند (vacuum decay) (Vaas, 2006).

۶. بررسی نظریهٔ «پایان کیهان‌شناسی»[۹]

مطابق آموزهٔ کراس، مشاهده‌گران در آیندهٔ دور به شواهد مربوط به مهبانگ آغاز جهان هیچ‌گونه دسترسی نخواهند داشت، و لذا کیهان‌شناسی به معنای علمی که امروز می‌شناسیم امکان‌پذیر نخواهد بود. البته زمانی را که کراس برای پایان کیهان‌شناسی مطرح کرده است بسیار دور است و مطمئناً نه‌تنها به‌منزلهٔ موضوعی مربوط به طی زندگی یک انسان مطرح نیست، بلکه فی‌نفسه در مسیر تحقیقات کیهان‌شناسی نیز تأثیری ندارد. با این حال با توجه به این‌که این زمان از مرتبهٔ زمان‌هایی است که در علم کیهان‌شناسی معقول است، اهمیت پیش‌بینی کراس، از نظر فلسفهٔ علم، در این است که این مسئله را پیش روی ما قرار می‌دهد که چگونه و به چه معنایی، پایان یک علم از طریق خود آن معین می‌شود در حالی که اساساً، موضوع هیچ علمی در خود آن علم ثابت نمی‌شود.

کراس در ضمن ادعای خود پذیرفته است که در آیندهٔ دور، جهان قابل شناخت، که موضوع علم کیهان‌شناسی است، وجود خواهد داشت و مشاهده‌گران آینده به رصد کیهانی و نیز نظریه‌پردازی دربارهٔ جهان خواهند پرداخت. همچنین، وی بر آن است که دانشمندان در آیندهٔ دور نیز مطابق روش علمی امروزه عمل می‌کنند و درواقع، به دلیل همین «برآورد بر اساس بهترین مدرک قابل دسترس» به نتیجه‌ای اشتباه می‌رسند (Krauss, 2012: 277). اگر ادعای کراس در خصوص پایان علم کیهان‌شناسی را مبتنی‌بر بحث تمییز علم و معیار

ابطال‌پذیری علم بررسی کنیم، ادعای وی قابل دفاع نخواهد بود؛ چراکه این معیار در خصوص کیهان‌شناسی در آیندهٔ دور نیز قابل اِعمال خواهد بود. ضمن این‌که به‌کارگیری معیار ابطال‌پذیری در کیهان‌شناسی تجربی مبتنی‌بر این انتظار است که با گذشت زمان و ورود کهکشان‌های جدید به افق مشاهده‌پذیر ما مدل‌های نادرست، غربال و نظریات کیهان‌شناختی تصحیح شوند. با این حال با توجه به شتاب مثبت انبساط جهان، از زمان آغاز این تندشوندگی درواقع، شواهد کیهان‌شناسی در حال خروج از افق هستند و هرچه زمان می‌گذرد محتوای آزمون‌پذیر جهان مشاهده‌پذیر کاهش می‌یابد. اما استنباط کیهان‌شناسان در آیندهٔ دور، دربارهٔ ایستابودن جهانشان بر اساس شواهد جهان تحت ـ افق آن‌ها، به صورتی پذیرفتنی جزو کیهان‌شناسی خواهد بود، زیرا واقعیات فرا ـ افق اساساً تحقیق‌پذیر نیستند و نمی‌توانند برای تأیید یا ابطال تجربی نظریه، مورد استناد واقع شوند.

اگر کیهان‌شناسان در آیندهٔ دور به مدارکی که از مشاهده‌گران زمان حاضر باقی می‌ماند دسترسی داشته باشند، در صورتی که نظریه‌های فعلی را مستقیماً بر اساس شواهد خود ارزیابی کنند، این نظریات را رد خواهند کرد؛ اما با فرض جهان موجبیتی این امکان را یافته‌ایم که از روی اوضاع و احوال فعلی و بر اساس قوانین موجبیتی فیزیک به پیش‌بینی آینده بپردازیم، چنین جهانی این امکان را برای دانشمندان آینده نیز فراهم می‌کند که از طریق نظری به پس‌بینی (retrodiction) گذشته بپردازند. به‌علاوه، در آیندهٔ دور محتملاً ابزار تکنولوژیکی پیشرفته‌تر و حتی سطح هوش بالاتری نیز قابل دسترس خواهد بود و کیهان‌شناسان با لحاظ‌کردن تحول شواهد و نظریات می‌توانند درک کنند که شتاب مثبت انبساط کیهانی چگونه به وضعیت ایستای آن‌ها منتهی شده است.

با این اوصاف مشخص نیست که چرا کراس امیدی به دانشمندان آیندهٔ دور ندارد (ibid: 273). این در حالی است علم ما نیز دربارهٔ منشأ و زمان اولیهٔ جهان مستقیماً یا به صورت مشاهده‌ای مستقل از سیستم به‌دست نیامده است، بلکه ما نیز در یک دورهٔ زمانی کوتاه از جهانی با تاریخچه‌ای از رژیم‌های مختلف تحول به نظارهٔ آن نشسته‌ایم و دربارهٔ آغاز و انجام آن نظریه‌پردازی می‌کنیم.

بر اساس آموزهٔ کراس، حداکثر می‌توان ادعا کرد که یافته‌ها و نظریات علمی آیندگان دور، دربارهٔ جهان و آغاز و انجام آن، متفاوت با علم امروز خواهد بود. این واقعیتی است که نه‌تنها در تاریخ علم مسبوق به سابقه است، بلکه در طی همین یک‌صد سال اخیر نیز در کیهان‌شناسی مدرن اتفاق افتاده است. به‌نظر می‌رسد نتیجهٔ منطقی بحث این باشد که وقتی

ما فقط بر اساس داده‌های مشاهدتی در دسترس دربارهٔ جهان قضاوت می‌کنیم، محدودیت‌هایی را که در یک جهان در حال تحول بر ما اِعمال می‌شود وارد قضاوت خود می‌کنیم؛ بنابراین در زمان فعلی نیز ما در یک وضعیت مشابه آیندگان دور هستیم و مؤلفه‌ای (از ماده یا انرژی) که در حال حاضر بر جهان حاکم است بر قضاوت ما اثرگذار است.

آن‌چه را کراس پیش‌بینی کرده است می‌توان به معنای تعیین حدود کیهان‌شناسی مدرن دانست. البته این محدودیت هم نهایتاً، ناشی از محدودبودن سرعت نور است که خود باعث امکان‌پذیرشدن کیهان‌شناسی شده است؛ زیرا اگر سرعت نور محدود نبود هیچ تاریخچه‌ای در خاطرهٔ فضا ـ زمان کیهان ثبت نمی‌شد و هر مشاهده‌گر فقط می‌توانست رویدادهای همان لحظه را ببیند.

۷. نتیجه‌گیری

پیش‌بینی لارنس کراس متکی بر کیهان‌شناسی مدرن و اصول (آشکار و پنهان) مفروض در آن است. تا آن‌جا که شواهد تجربی برای یک جهان تخت اجازه می‌دهد و نیز با فرض برقراری نظریهٔ نسبیت عام و متریک FRW برای فضا ـ زمان، پذیرش ساده‌ترین گزینه برای انرژی تاریک یعنی ثابت کیهان‌شناختی، به شرط برقراری همهٔ این شرایط تا آیندهٔ دور، پیش‌بینی کراس را نتیجه می‌دهد.

مرز $w = -1$ که در دو طرف خود دو سرنوشت کاملاً متفاوت از جهان را تصویر می‌کند بسیار شکننده است. از یک طرف این مقدار برای پارامتر معادلهٔ حالت انرژی تاریک مبنای نظری دارد و برآمده از معادلات میدان اینشتین است، زیرا از رابطهٔ ۳ برای تغییرات شعاع هابل به‌دست می‌آید که آن رابطه نیز مبتنی‌بر معادلات فریدمن است. اما از طرف دیگر، شواهد تجربی نیز با مقدار این پارامتر سازگاری دارند و هیچ مشاهده‌ای آن را نقض نکرده است. تلاش‌های کیهان‌شناسان در جهت اندازه‌گیری تجربی این پارامتر نیز حاکی از کاهش در خطای اندازه‌گیری این عدد است و نه انحراف از مقدار اصلی آن. این وضعیت یادآور وضعیت مشابه دربارهٔ مسئلهٔ تخت‌بودن جهان و پارامتر $\Omega = 1$ است که در مدل استاندارد کیهان‌شناسی پاسخی برای آن وجود نداشت تا آن‌که مدل تورمی توجیهی برای آن فراهم کرد. پارامتر معادلهٔ حالت نیز بسیار نیازمند توجیه است.

بدین‌ترتیب به‌ناچار، هدف مهم و مسیر آیندهٔ کیهان‌شناسی فیزیکی (و درواقع کل فیزیک) عبارت خواهد بود از تلاش برای پرداختن به نظریات مبنایی و توجه به ماهیت

پشت‌پردهٔ روابط ریاضی از قبیل ماهیت تورم، مادهٔ تاریک، و انرژی تاریک. بنابراین تا وقتی‌که این مهم به انجام نرسد شناخت کیهان‌شناسی از جهان کامل نیست و به‌ویژه سرنوشت آیندهٔ دور نیز نامعلوم خواهد بود.

با اعتقاد به یک جهان موجبیتی، و بر اساس معادلات میدان اینشتین، گرچه به‌نظر می‌رسد پیش‌بینی آیندهٔ جهان بر اساس شرایط معلوم فعلی امکان‌پذیر است، اما همان‌گونه که همهٔ پیش‌بینی‌های موجبیتی با معادله یا معادلات قیدی حاکم بر تحول سیستم محدود می‌شوند پیش‌بینی آیندهٔ جهان نیز مقید به اعتبار معادلهٔ حالت انرژی تاریک است.

بخشی از عدم قطعیت‌ها ناشی از محدودیت‌های تکنولوژیکی بشر است؛ مثلاً، می‌توانیم امیدوار باشیم که در آینده با رصد نوترینو و امواج گرانشی اطلاعاتی دربارهٔ ماده‌ای که بین افق مرئی و افق ذره قرار گرفته است به‌دست بیاوریم و تا حدودی به زمان کیهانی قبل از جدایی ماده و تابش دسترسی پیدا کنیم، اما هیچ اطلاعات تجربی قابل تکیه‌ای دربارهٔ آن‌چه خارج افق ذره است نمی‌توانیم به‌دست بیاوریم. همچنین، افق رویداد محدودیتی قطعی در جهان ماست. در عین حال، اگر انبساط تندشوندهٔ جهان متوقف شود یا رژیم حاکم بر آن طوری تغییر کند که شعاع هابل گسترش یابد، در آن صورت می‌توان سرنوشت متفاوتی را انتظار داشت.

آن‌چه از انبساط تندشوندهٔ جهان بر اساس فیزیک امروز می‌دانیم این است که چیزی موجب این شتاب است که دربارهٔ چیستی آن دانش چندانی نداریم و لذا آن را انرژی تاریک نامیده‌ایم. شناخت ما از تحول بزرگ ـ مقیاس جهان و انبساط تندشوندهٔ آن مبتنی‌بر یک سری روابط و معادلات پدیدارشناختی است در حالی که، سرنوشت جهان وابسته به معادلات ما نیست، بلکه وابسته به یک ماهیت ناشناخته است. بنابراین بدون یک نظریهٔ کامل دربارهٔ انرژی تاریک نمی‌توان اطمینان داشت که اندازه‌گیری چگالی و تغییر زمانی آن در یک بازهٔ محدود ما را قادر به پیش‌بینی قطعی سرنوشت جهان بکند.

پی‌نوشت

۱. تعین ناقص (underdetermination) یعنی این ادعا که دو نظریه که از نظر مشاهدتی غیر قابل تمیزند از نظر معرفت‌شناختی نیز هم‌ارزند.

۲. افق ذره (particle horizon)، در هر زمان و برای هر مشاهده‌گر، مرز بین هویات مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر برای اوست.

۳. دیاگرام هابل نشان‌دهندهٔ رابطهٔ بین اندازهٔ یک شمع استاندارد یا فاصلهٔ آن از ما با سرخ‌گرایی آن است (Linder, 2008).

٤. در نسبیت عام، هر مدل از جهان با یک منیفلد M، یک متریک g، و یک تانسور تکانه ـ انرژی T نشان داده می‌شود. منیفلد شامل نقاط و بُعد فضا ــ زمان است ولی تمایز جهت زمانی از جهت‌های فضایی، فاصله‌های خوش‌تعریف بین نقاط، و نیز یک هندسهٔ معین که مسیرها را مشخص می‌کند همه در متریک مندرج است.

۵. اگر نسبیت عام چنین حلی نداشته باشد، قادر به توصیف اشیایی منزوی همچون ستارگان نوترونی یا سیاه‌چاله‌ها نیست.

٦. واریانس کیهانی (cosmic variance) یک عدم قطعیت اجتناب‌ناپذیر و یک موضوع کلیدی در تحلیل مشاهدات کیهان‌شناختی بزرگ ـ مقیاس همچون ناهمسان‌گردی در اشعهٔ کیهانی زمینه (CMB) است. نظریهٔ تشکیل ساختار در جهان اولیه فقط پیش‌بینی‌های آماری می‌کند و نمی‌تواند ساختارهای خاصی را که واقعاً تشکیل خواهند شد پیش‌بینی کند لذا در تحلیل شواهد کیهان‌شناسی جهان ما را با یک آنسامبل نظری از جهان‌ها مقایسه می‌کنند و یک واریانس بین آن‌چه در جهان واقعی اندازه‌گیری می‌شود و ویژگی‌های انتظاری بر مبنای آنسامبل مدل‌ها بیان می‌کنند. اگر این واریانس کوچک باشد، انحراف از مقادیر انتظاری را یک انحراف آماری و بدون اهمیت فیزیکی تلقی می‌کنند که نیازی به تبیین و توضیح بیش‌تر ندارد. اما اگر این واریانس بزرگ باشد، نیاز به تبیین دارد. بر این اساس همواره در تحلیل شواهد کیهانی مباحث و مناقشاتی صورت می‌گیرد که درواقع، ناشی از این واقعیت است که ما فقط یک جهان داریم و در مقیاس‌های زاویه‌ای بزرگ فقط چند اندازه‌گیری محدودْ قابل انجام است در مقیاس‌های زاویه‌ای کوچک می‌توان اندازه‌گیری‌های زیادی کرد و لذا این عدم قطعیت خیلی کوچک می‌شود (Ellis, 2006).

۷. شاید بتوان با وفاداری به دیدگاه الیس، به نوعی، از فیزیکی‌بودن فشار منفی انرژی تاریک سخن گفت، زیرا اثر کازیمیر تأییدی بر فشار منفی خلأ است.

۸. سرنوشتی را که کراس برای آیندهٔ جهان پیش‌بینی کرده است می‌توان تحت شرط $-1 \leq w < -1/3$ (و نه لزوماً $w = -1$) مطرح کرد (Dong-Li et al., 2012). درواقع گرچه شعاع هابل رشد خواهد کرد، ولی سرعت رشد آن کم‌تر از سرعت انبساط جهان است و لذا نهایتاً کهکشان‌ها از کرهٔ هابل (بخش قابل رؤیت جهان) خارج خواهند شد.

۹. عنوان مقالهٔ کراس (The End of Cosmology) در مجلهٔ *Scientific American* که برای مخاطب عام ارائه داده است (Krauss and Scherrer, 2008 a). مقالهٔ تخصصی وی در (Krauss and Scherrer, 2007) و (Krauss and Scherrer, 2008 b) منتشر شده است.

منابع

Astashenok, Artyom V. et al. (2012). 'Scalar Dark Energy Models Mimicking Lambda-CDM with Arbitrary Future Evolution', http://arxiv.org/abs/1203.1976v1.

Davis, T. M. (2003). 'Fundamental Aspects of the Expansion of the Universe and Cosmic Horizons', Ph.D. Thesis in the University of New South Wales, Sydney.

Dong-Li et al. (2012). 'Dark Energy and Fate of the Universe', http://arxiv.org/abs/1202.4060v1.

Earman (1995). *Bangs Crunches Whimpers and Shrieks, Singularities and Acausalities in Relativistic Spacetimes*, New York: Oxford.

Ellis, George F. L. (2006). 'Issues in the Philosophy of Cosmology', http://arxiv.org/abs/astro-ph/0602280v2.

Ellis, George F. L. (2009). 'Relativistic Cosmology', *General Relativity and Gravitation*, Vol. 41.

Frieman et al. (2008), 'Dark Energy and the Accelerating Universe', http://arxiv.org/abs/0803.0982v1.

Hirata, Christopher M. and Uros Seljak (2005). 'Can Superhorizon Cosmological Perturbations Explain the Acceleration of the Universe?', http://arxiv.org/abs/astro-ph/0503582v1.

Kolb et al. (2006). 'On Cosmic Acceleration Without Dark Energy', http://lanl.arxiv.org/abs/astro-ph/0506534v2.

Krauss, Lawrence M. (2012). *A Universe from Nothing*, New York: Free Press.

Krauss, L. M. and R. J. Scherrer (2008 a). 'The End of Cosmology', *Scientific American*, www.SciAm.com.

Krauss, L. M. and R. J. Scherrer (2008 b). 'The Return of a Static Universe and the End of Cosmology', *Modern Physics*, Vol. 17, No. 3 & 4.

Krauss, L. M. and R. J. Scherrer (2007). 'The Return of a Static Universe and the End of Cosmology', *General Relativity and Gravitation*, Vol. 39.

Krauss, L. M. and Glenn D. Starkman (1999). 'Life, the Universe, and Nothing, Life and Death in an Ever-Expanding Universe', http://arxiv.org/abs/astro-ph/9902189v1.

Laudan, L. and J. Leplin (1991). 'Empirical Equivalence and Underdetermination', *The Journal of Philosophy*, Vol. 88.

Lewis and Oirschot (2012). 'How Does the Hubble Sphere Limit Our View of the Universe?', http://arxiv.org/astro-ph/1203.0032v1.

Linder, Eric V. (2008). 'Mapping the Cosmological Expansion', http://arxiv.org/abs/0801.2968v2.

Maxwell, G. (2009). 'The Ontological Status of Theoretical Entities', in *Philosophy of Science*, McGrew et al. (eds.), UK: Blackwell Ltd.

Perlmutter, S. et al. (1999). 'Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae', *Astrophysical Journal*, Vol. 517, No. 2.

Psillos, S. (1999). *Scientific Realism, How Science Tracks Truth*, London: Routledge.

Riess, A. G. et al. (1998). ‘Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant’, *Astronomical Journal*, Vol. 116, No. 3.

Vaas, Rüdiger (2006). ‘Dark Energy and Life's Ultimate Future’, in *The Future of Life and the Future of Our Civilization*, Vladimir Burdyuzha (ed.), Dordrecht: Springer.

Van Fraassen, B. C. (1980). *The Scientific Image*, Oxford: Clarendon Press.

Worrall, J. (2011). ‘Underdetermination, Realism and Empirical Equivalence’, *Synthese*, Vol. 180.