پژوهش‌های فلسفی

سال ۱۰/ شماره ۱۹/ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

علّیت و پیش‌بینی در کیهان‌شناسی مدرن*

محمود مختاری**

استادیار، دانشگاه شهید بهشتی (نویسندهٔ مسئول)

مهدی گلشنی

استاد، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

کیهان‌شناسی مدرن، علمی متکی بر شواهد تجربی است ولی اصول فلسفی و پیش‌فرض‌های متافیزیکی نقش بسیار مهمی در آن دارند. نظریه نسبیت عام اینشتین که یکی از ابزارهای اصلی کیهان‌شناسی است، یک نظریه فیزیکی موجبیتی است (به جز در تکینگی‌ها) و لذا انتظار می‌رود طبق معادلات میدان اینشتین بتوان تحول بزرگ–مقیاس جهان را پیش‌بینی کرد. اما کشف شتاب مثبت جهان در پایان قرن گذشته نشان داد که موضوع پیش‌بینی آینده جهان، چنان‌که تصور می‌شد، میسر نیست. در این مقاله ضمن بررسی مبانی فلسفی علیّت فیزیکی، موجبیت و پیش‌بینی در نسبیت و کیهان‌شناسی، از این ادعا دفاع می‌شود که پیش‌فرض‌های متافیزیکی کیهان‌شناسان در پیش‌بینی آنها در مورد آینده جهان، شدیداً دخالت دارد.

واژگان کلیدی: موجبیت و پیش‌بینی‌پذیری، مسأله افق، اصل کیهان‌شناختی، اصل انسان–محوری، انرژی تاریک.

* تاریخ وصول: ۹۴/۰۶/۲۰ تأیید نهایی: ۹۴/۱۱/۲۷

** E-mail: ma_mokhtari@sbu.ac.ir

مقدمه

علّیت به عنوان یک اصل فلسفی و ماتقدَم علم و حاکم بر جهان در نظر گرفته می‌شود، اما سؤالی که همچنان در چنین رویکردی نیز مطرح است این است که صورتبندی این اصل جهان‌شمول، در فیزیک چگونه است؟ برخی فلاسفه فیزیک معتقدند چنین نیست که استفاده از ایده‌ها و اصول علّی در فیزیک مدرن، برآمده از اِعمال یک اصل عام علّیت فیزیکی باشد. اصل بقای انرژی، نمونه‌ای از یک اصل واقعی با دامنه جهان‌شمول است که تمام نظریات فیزیکی- کلاسیک، کوانتمی و نسبیتی- باید با آن مطابقت داشته باشند. از طرف دیگر قیود علّیی که ما در فیزیک مدرن می‌یابیم، همگی اساساً به ساختار مخروط نوری نظریه نسبیت خاص ارجاع دارند (Norton, 2005). نسبیت خاص با قیودی که در آن گذاشته می‌شود با علّیت سازگار است. نظریه‌های غیرنسبیتی را نیز همواره می‌توان طوری ساخت که با علّیت سازگار باشند، چنانکه فرمول‌بندی بوهمی نظریه کوانتم شهادت می‌دهد.

تقـدّم علّت بر معلول که در بحث فلسـفی علّیـت مطرح است، تقدم وجودی (existential priority) است و نه زمانی، یعنی تأخیر زمانی بین علّت و معلول شرط نیست و علّیت با پیوندهای همزمان نیز سازگار است. ولی در بین دانشمندان علوم تجربی، تقدم (antecedence) زمانی علّت نسبت به معلول پذیرفته شده است و نظریه نسبیت خاص پیوندهای همزمان را ممنوع کرده است. تقلیل آنی تابع موج در تعبیر سنتی مکانیک کوانتم نیز در واقع نه به عنوان یک فرآیند فیزیکی بلکه پدیده‌ای مربوط به اطلاعات ما تلقّی می‌شود.

در واقع، شاید بتوان گفت که اصل کنش تأخیری، جزء اساسی اصل علّیت فلسفی نیست بلکه صرفاً محدود کنندهٔ علّیت فیزیکی است. یعنی پذیرش آن متضمن اینست که سیستم‌هایی وجود دارند که نمی‌توانند ارتباط علّی با یکدیگر داشته باشند. برخی ارتباط‌های قابل تصور، از نظر فیزیکی غیر ممکن هستند، اما همهٔ زنجیره‌های علّی درون مخروط نوری، حفظ می‌شوند. ویژگی نسبیت اینست که به ما این امکان را می‌دهد که نوعی نظریهٔ علّی زمان بنا کنیم، زیرا ترتیب زمانی رویدادها وابسته به چارچوب مرجع است. از طرف دیگر مطابق همین نظریه، نور (یا هر شیء فیزیکی) نمی‌تواند قبل از اینکه تولید شود به یک نقطهٔ معیّن برسد و ترتیب تولید نورهای متوالی، که از یک منبع می‌آید، نمی‌تواند معکوس شود. بدین ترتیب امکان معکوس زمانی رویدادهایی که ارتباط علّی دارند وجود ندارد و مفاهیم «زودتر» و «دیرتر» نیز تنها برای رویدادهای با ارتباط علّی، معنای مطلق دارد (Bunge, 1979).

اصول علّی فیزیک مدرن، می‌تواند صرفاً بیانی از یک اصل علّی ناشناخته عمیق‌تر باشد که با نظریه نیوتن نیز سازگار است. چنین اصل عمیق‌تری باید محتوایی داشته باشد که در فیزیک مدرن با ایده حدّ بالای سرعت سیگنال‌دهی بیان شود و در عین حال در فیزیک نیوتنی به شکل دیگری بیان شود که هیچ حدّ بالایی وجود نداشته باشد. اما از آنجا که این دو شرط با یکدیگر مغایرند، یافتن اصل مورد نظر غیرمحتمل است. بنابراین یا باید بپذیریم که اصول علّی فیزیک مدرن حاکی از اصل عمیق‌تری نیستند یا اینکه مطابقت با یک اصل علّی هیچ محدودیت واقعی بر روی محتوای یک نظریه قرار نمی‌دهد.

ما در عمل به این خاطر، برچسب علّی را به نظریه‌ای نسبت می‌دهیم که در آن، یک نوع مشایعت با ایده‌ای وسیع‌تر (گرچه مبهم) از علّیت را بیابیم. در فیزیک مدرن، توجیه استفاده از ساختار مخروط نوری برای ارتباطات علّی فضا–زمان، به هیچوجه بر اساس اِعمال یک قید واقعی عام، که برای همه نظریات فیزیکی قابل کاربرد باشد، نیست. به عبارت دیگر، نقض شرط محدودیت سرعت انتشار سیگنال‌ها منجر به هیچ ناسازگاری (incoherence) متافیزیکی نمی‌شود (Norton, 2005).

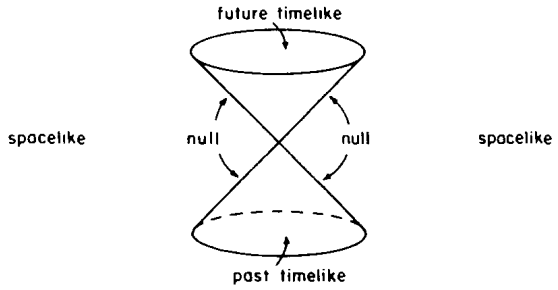
به هر حال در کیهان‌شناسی مدرن، بازسازی پدیدارشناختی متریک فضا–زمان و تحول دینامیکی آن، الزاماً مبتنی بر مشاهدات مخروط نوری گذشته است. ما در واقع فعلاً فقط قادر به آشکارسازی سیگنالهای الکترومغناطیسی هستیم و امواج گرانشی و ... از نظر تکنولوژیک قابل دسترس نیستند.

پیش‌بینی در چارچوب نظریه نسبیت:

در فرمول‌بندی مینکوفسکی از نسبیت خاص، فضای n بعدی و زمان یک بعدی با یکدیگر ترکیب می‌شوند و یک تصویر n+1 بعدی از جهان می‌دهند. اگر فضا را دو بعدی در نظر بگیریم (n=2)، آنگاه یک ساختار سه‌بعدی خواهیم داشت. مخروط نوری در هر نقطه از فضای سه‌بعدی، نشان‌دهنده ارتباطات علّی رویداد واقع در آن (رأس مخروط) با رویدادهای دیگر (نقاط فضا–زمان) است. به علّت سرعت محدود نور (سیگنال علّی)، یک رویداد فقط بر رویدادهایی می‌تواند اثر بگذارد که در درون (یا بر روی) مخروط نوری آینده آن قرار می‌گیرند. یک رویداد هیچگونه ارتباط علّی با رویدادهای نواحی فضاگونه (خارج مخروط نوری) ندارد (شکل ۱). در تبدیلات معروف لورنتس در فضا–زمان مینکوفسکی، مخروط نوری ناورداست و روابط علّی

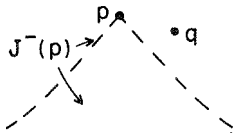
حفظ می‌شود. در واقع، هر نقطه فضا–زمان با مخروط نوری آن مشخص می‌شود و بدین ترتیب ارتباطات علّی رویدادها با توجه به نواحی گذشته و آینده مخروط‌های متقاطع معیّن می‌شوند. اطلاعات ما از ساختار فضا–زمان مبتنی بر مخروط‌های نوری است.

در نسبیت عام (General Theory of Relativity) (GTR)، اطلاعات مخروط نوری توأم با معادلات میدان اینشتین (Einstein Field Equations) (EFE) اصولاً به ما این امکان را می‌دهد که هندسه فضا–زمان را روی و داخل مخروط نوری گذشته خود، (یعنی ناحیه $J^-(p)$ در شکل ۲)، تعیین کنیم و اعتقاد بر این است که:



شکل ۱. مخروط نوری در یک نقطه از فضا–زمان سه بعدی

۱. این، کلِّ آن چیزی است که مشاهده مستقیم و قوانین فیزیک به ما اجازه می‌دهند که بدانیم. شهود یا عرف عام (common sense) بر آن است که مشاهده را به هر معنایی که بگیریم باید دربردارنده یک ارتباط علّی بین مشاهده‌گر و رویداد مشاهده‌شده باشد. بنابراین یک مشاهده‌گر در نقطه p نمی‌تواند دانش مشاهدتی مستقیمی از رویدادی در نقطه q واقع در خارج مخروط نوری گذشته‌اش داشته باشد: $q \notin J^-(p)$.



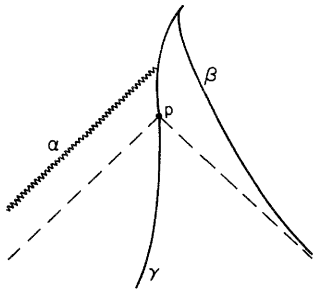
شکل ۲. یک مشاهده‌گر (p) و رویدادی (q) بدون ارتباط علّی با آن

۲. همچنین اگر دانش موثق را محدود به آن چیزی بدانیم که از دانش مشاهدتی مستقیم به علاوه قوانین فیزیک می‌تواند استنباط شود، در اینصورت دانش موثق در نقطه p به رویدادهای رخ‌داده در $q \notin J^-(p)$ تعمیم نمی‌یابد زیرا وضعیت در q بر اساس وضعیت در $J^-(p)$ توسط قوانین، متعیّن نمی‌شود. در واقع، از آنجا که قوانین نسبیتی با کنش از راه دور

ناسازگارند، لذا آنها رویدادهایی را که در نواحی فضاگونه از فضا–زمان اتفاق می‌افتند، مقیّد نمی‌کنند.

البته ممکن است این شهود که ارتباط بین مشاهده‌گر و رویداد یا هرگونه ارتباط قیدی و شبه قانونی بین دو نقطه باید یک ارتباط علّی باشد، مورد مناقشه قرار گیرد، اما در مجموع برای بیشتر موارد، می‌توانیم این عقیده رایج را بپذیریم که محدوده‌های مشاهده‌پذیر در p توسط $J^-(p)$ مشخص می‌شود (Earman, 1995).

با داشتن اطلاعات اولیه برای مجموعه‌ای از معادلات موجبیتی روی یک سطح فضا–زمان S (در یک فضا–زمان علّی اکید) (in a strongly causal space-time) حلّ معادله، به صورت علّی، در محدوده‌ای که دامنه بستگی آینده (future domain of dependence) $D^+(S)$ نامیده می‌شود، دقیقاً معیّن خواهد شد. $D^+(S)$ مجموعه نقاط q در فضا–زمان آینده S است به طوری که هر منحنی غیرفضاگونه غیرقابل بسط (inextensible non space like curve) که از q می‌گذرد، S را قطع می‌کند؛ به عبارت دیگر هیچ تأثیری نمی‌تواند به q برسد مگر اینکه روی S ثبت می‌شود. دامنه بستگی گذشته (past domain of dependence) $D^-(S)$ نیز به طریقی مشابه تعریف می‌شود و دامنه بستگی کل $D(S)$، عبارت است از مجموع دامنه‌های گذشته و آینده؛ که اگر برابر با کل فضا–زمان باشد، S یک سطح کوشی نامیده می‌شود و دانستن شرایط روی S، حلّ معادلات را در کلّ فضا–زمان معیّن خواهد کرد.



شکل ۳. رویدادهای محتمل برای آینده مشاهده‌گر واقع در نقطه p

شکل ۳، نشـان دهندهٔ رویـدادهای محـتمل در آینـده یک مشاهـده‌گر واقع در نقطه p ، از فضا–زمان مینـکوفسکی، است که به نظر می‌رسد آن مشاهده‌گر قادر به پیـش‌بینی آنها نخواهد بود. اما با دیـدگاه ماخی (Machian perspective) می‌توان امکـان وجود فوتـون‌های بدون منبع را، همچون α در شکل، منتفی دانست(شرط تابش زومرفلد (Sommerfeld radiation condition)). در مورد جهان– خط فوتونی با گذشته بی‌انتها (past endless world line)، شبیه βدر شکل، نیز می‌توان استدلال کرد که شتاب کلّ چنین جهان– خطی، از زمان منهای بی‌نهایت تا اکنون، بی‌نهایت است و بنابراین انرژی لازم برای تولید چنین مسیری بی‌نهایت می باشد. پس می‌توان گفت که مکانیسم‌های فیزیکی شناخته شده، پیش‌بینی در فضا–زمان مینکوفسکی را بر هم نخواهند زد. در واقع، با توجه به اینکه هیچ جهان– خطی از فوتون‌ها یا ذرات سنگین وارد $\mathcal{J}^-(p)$ نمی‌شود، با دیدگاه کپرنیکی، این نتیجه در p هم معقول خواهد بود که چنین ذراتی خارج از $\mathcal{J}^-(p)$ نیز وجود ندارند.

اما صرف‌نظر از فضا–زمان مینکوفسکی، پیش‌بینی در فضا–زمان‌های نسبیت عام که افق ذره[1] دارند بسیار سخت‌تر است. به‌علاوه، نوعاً در مدل‌های کیهان‌شناختی با افق ذره ناشی از یک $\mathcal{J}^-$ فضاگونه، شرط تابش زومرفلد نمی‌تواند برآورده شود. نسبیت عام، به عنوان مهمترین ابزار نظری در کیهان‌شناسی مدرن، در صورتی توصیفی موجبیتی بدست می‌دهد که ساختار علّی فضا–زمان، خوش تعـریف باشد، شامل منحنی‌های بستهٔ علّی نباشد و علّیت پایدار (stable causality) را ارضا نماید.

در نسبیت عام، با یک سه‌تایی از اشیای ریاضی <M, g, T> یک مدل از جهان را

مشخص می‌کنیم. M، یا منیفلد پیوسته نوعی از فضا (-زمان) بدون ساختار(unstructured) است که از نقاط مجزا ساخته شده و از همواری یا پیوستگی و بُعد (معمولاً چهار بعدی) برخوردار است، اما دارای ساختار بیشتری، که یک فضا- زمان نیاز دارد، نیست. آنچه که نوعاً از فضا-زمان انتظار می‌رود عبارتست از: تمایز جهت زمانی از جهت‌های فضایی، فاصله‌های خوش‌تعریف بین نقاط مختلف، و نیز یک هندسه معیّن که باعث شود مسیرهای پیوسته معیّنی در M خطوط مستقیم باشند و همه ایـن ساختار اضافی در g قـرار داده شده باشد، که متریک (یا پیوستار) ((metric (or connection) نامیده می‌شود. بنابراین M و g با همدیگر فضا-زمان را نمایش می‌دهند. همچنین T بیانگر محتوای ماده و انرژی توزیع شده در فضا-زمان (البته در صورت وجود) است. در یک فضا-زمان M و g_{ab}، پیش‌بینی موجبیتی متضمن اینست که اگر رویدادها در $p \in M$ از یک حالت در ناحیه $X \subset M$ پیش‌بینی شوند، آنگاه ضروریست که p متعلق به دامنه بستگی آینده $D^+(X)$ باشد. اگر Σ یک سطح کوشی برایM و g_{ab} باشد ،آنگاه $D^+(\Sigma)$ شامل هر نقطه‌ای در فضا- زمان آینده Σ است.

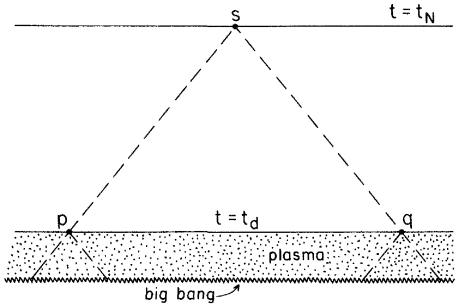
اینشتین ارائه معادلات میدان گرانش را به خاطر تردیدهایی که در باب علیت و موجبیت داشت دو سال به تأخیر انداخت. البته همچنان، تکینگی‌ها بصورت یک نقص در تصویر فضا-زمان هستند و حذف آنها یا توسل به نظریه‌هایی همچون گرانش کوانتمی موجود برای توصیف آن‌ها رضایتبخش نیست (Earman 1995)؛ اما باید توجه داشت که این نواقص یا شکست‌های فضا-زمانی به معنای شکست موجبیت نیست. زیرا «محل» وقوع تکینگی‌ها اساساً حوزهٔ برقراری موجبیت (یا نقض آن) نیست و جایی است که قوانین فیزیک موجّهی در آنجا حاکم نیست.

اصل علّت مشترک در مسأله افق:

مسأله افق، یکی از مشکلات ناشی از مدل استاندارد کیهان‌شناسی در مقابل علیت و موجبیت است که پس از شواهد تجربی تابش زمینه کیهانی مطرح شد. آنچه که ما در مشاهدات مستقیم کیهان‌شناسی داریم، نه فاصله است، نه ابعاد است و نه سرعت اشیاء، بلکه نوری است که از شیء تا ما حرکت کرده است. طول موج یک فوتون متناسب با فاکتور مقیاس است. لذا گرچه شکل طیف انرژی حفظ می‌شود، کلّ طیف یک جابجایی دارد که سرخگرایی (redshift) نامیده می‌شود. کیهان‌شناسان برای اشاره به موقعیت یک کهکشان نسبت به ما، به جای فاصله،

معمولاً عدد سرخگرایی را بیان می‌کنند که از این رابطه قابل محاسبه است[۲]: $z = \frac{\delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{a(t_2)}{a(t_1)} - 1$، که در آن $a(t)$ فاکتور مقیاس جهان در زمان t است ($a = R/R_0$).

قبل از زمان جدایی ماده و تابش در زمان $(t_d \approx 10^{13}s)$، جهان نسبت به امواج نوری یا رادیویی کدر بوده و بنابراین زمان مهبانگ با چنین ابزاری قابل دیدن نیست. ما فقط تابش زمینه کیهانی (CMB) (cosmic microwave background (CMB) radiation) را – به عنوان اثری از مهبانگ– از زمان جدایی مشاهده می‌کنیم. در جهان تابش غالب اولیه، فوتون‌ها دائماً در حال برهمکنش با الکترون‌ها و هسته‌ها (در فواصل اتمی) بودند و لذا طول پویش آزاد میانگین (mean free path) آن‌ها بسیار کوچک بود. اما پس از زمان بازترکیب، برهمکنش فوتون‌ها با ماده عمدتاً متوقف شد و فوتون‌ها در امتداد ژئودزیک‌ها (geodesics) حرکت کردند و طول پویش آزاد آن‌ها بی‌نهایت شد. بنابراین از آن زمان تاکنون، فوتون‌ها با همان طیف انرژی ولی با کاهش دمای تدریجی در حین انبساط جهان، به حرکت خود ادامه داده‌اند.



شکل ۴. دو نقطه p و q که در زمان جدایی ماده و تابش، بدون ارتباط علّی بوده‌اند.

بیشترین فاصله‌ای که روی آن، فرآیندی که در زمان t_1 شروع شده می‌تواند اثری در زمان t_2 داشته باشد، شعاع افق نامیده می‌شود که در حالت حدّی، که زمان t_1 به تکینگی اولیه نزدیک می‌شود، این طول حاکی از افق علّی است که عبارتست از بیشترین فاصله‌ای که دو نقطه در جهان می‌توانند در ارتباط علّی با یکدیگر باشند. طبق مدل استاندارد کیهانشناسی برای یک جهان فریدمن–رابرتسون–واکر (Friedman-Robertson-Walker) (FRW)، افق زمان جدایی ماده و تابش، امروزه در آسمان، تحت یک زاویه ۱ درجه‌ای دیده می‌شود؛ لذا روی نقشه CMB، دو نقطه که تحت زاویه‌ای بزرگتر از یک درجه دیده می‌شوند از نظر علّی

غیرمرتبط درنظر گرفته می‌شوند. بر این اساس، انتظار بر این است که نواحی مختلف نقشه تابش زمینه کیهانی دمای متـفاوتی داشته باشند . ولی شواهد تجربی متعدد حاکی از آن است که این تابش در جهات مختلف هم‌دماست(با دقت 10^{-5}). عطف این یکنواختی تابش زمینه (CMB) با عدم ارتباط علّی، از نظر فلسفی رضایت‌بخش نیست و پارادوکس یا مسأله افق ذره نامیده می‌شود. پیرو اصل علّت مشترک (PCC) (Principle of Common Cause) رایشنباخ[۳]، طبیعی است که درصدد تبیین علّت مشترک برای همبستگی بین دو رویداد (در نقاط p و q شکل ۴) باشیم ولی در عین حال طبق مدل استاندارد کیهان‌شناسی، آن دو هیچ گذشته علّی مشترکی ندارند. این احتمال منتفی نیست که آشکارسازی امواج گرانشی و نوترینو در آینده، ما را قادر به بررسی زمان‌های قبل از زمان جدایی t_d کند و ممکن است معلوم شـود که شرایط در این زمان‌های اولیه، همگن و همسانگرد بوده است (Earman, 1995). اما دستیابی به یک چنین تبیینی، که خود مستلزم شرایط اولیه ویژه‌ای است، کماکان حاکی از ماهیت فلسفی (و نه فیزیکی) مسأله افق است. یعنی گرچه در اینجا تناقض و ناسازگاری با هیچ آزمایشی وجود ندارد، یک عدم رضایت به‌خاطر لزوم تنظیم دقیق آشکار در شرایط اولیه برای بعضی کیهان-شناسان باقی می ماند. به‌علاوه، بطور کلی مهمترین پیامد وجود افق این است که بسیاری از حدس‌های امروز درباره ساختار فرا- افق (super-horizon) جهان، مثل نظریه تورم آشوبی (chaotic inflationary)، از نظر مشاهدتی آزمون‌پذیر نیستند (Ellis, 2006).

اما اساساً آیا اصل فلسفی علت مشترک، از نظر فیزیکی قابل تحقق است؟ این اصل، بسیار مورد بحث و مناقشه قرار گرفته است؛ گروهی معتقدند که علّیت، همان الزام به علّت مشترک است و مثلاً در حوزه کوانتم مکانیک قائلند که متغیرهای نهانی به‌عنوان یک علّت مشترک عمل می‌کنند و عناصر از پیش موجود واقعیت، نتایج اندازه‌گیری را متعیّن می‌کنند (واقعگرایی موضعی) (Weslake 2006). عده‌ای نیز پایبندی به اصل علّت مشترک را غیرالزامی می‌دانند، چنانکه مثلاً نظریه میدان کوانتمی متضمن نقض چنین قاعده‌ای است و حاکی از وجود همبستگی‌های بین نواحی با فواصل فضاگونه- حتی بدون هیچ گذشته علّی مشترک- است (Earman, 1995). در مورد مسأله افق کیهانی نیز از آنجا که تعبیر اطلاعات تابش زمینه چندان سرراست نیست، و واریانس داده‌ها نیز همواره گریزناپذیر است؛ دقت فیزیکی اندازه‌گیری همدمایی در تابش زمینه کیهانی هر چقدر هم که بالا باشد همواره توأم با یک خطای تجربی است و لذا این داده‌ها فی‌نفسه، به عنوان شرایط تحقق بحث فلسفی علت مشترک، کافی نیست.

مدل تورمی فعلاً به عنوان مقبول‌ترین رویکرد در مقابل مسأله افق مطرح است. البته آزمودن مدل‌های تورمی سخت است، زیرا اکثر جزئیات مرتبط، وقتی تورم پایان می‌یابد از دست می‌روند. از طرفی تورم توسط هیچ مشاهده کیهان‌شناسی ابطال نشده است و هنوز بدیلی وجود ندارد که بتواند به خوبی تورم، همان جنبه‌های جهان ما را توضیح دهد.

ماهیت ناشناخته تورم را می‌توان به معنای ناکامل بودن پیشنهادهای جهان تورمی دانست و لذا مهم‌ترین دلیل فیزیکی اعتقاد به تورم، صرفاً قدرت بالای توضیح‌دهندگی (explanatory power) آن است (Ellis, 2006). مدل تورمی که همگنی تابش زمینه کیهانی را تبیین می‌کند در واقع یک مکانیسم انضمامی برای تحقق اصل فلسفی کیهان‌شناختی است که به نظر می‌رسد مبنای اصلی فیزیکدانان در توجه به مسأله افق است.

اصول فلسفی در کیهان‌شناسی:

اصل علّیت، بصورت یک زیربنای فلسفی مهم در فیزیک و کیهان‌شناسی عمل می‌کند و در واقع تعیین کننده حدود و ساختار نظری است. اما برخی اصول در کیهان‌شناسی نقش تبیینی یافته‌اند و لذا محلّ مناقشه دانشمندان واقع شده‌اند. اصل کیهان‌شناختی (cosmological principle) و اصل انسان–محوری (Anthropic Principle)، چه از نظر مبانی و چه محدوده کاربرد قابل بررسی است.

اصل کیهان‌شناختی:

چنانکه گفته شد شواهد تجربی حاکی از همسان‌گردی تابش زمینه کیهانی در جهان اطراف ماست. همچنین بر اساس اصل کپرنیک –که یک باور فلسفی است– ما در جای ممتازی از جهان زندگی نمی‌کنیم. بنابراین بر اساس این دو فرض می‌توان این نتیجه را — که موسوم به اصل کیهان‌شناختی است– مطرح کرد که جهان در اطراف هر نقطه‌ای همسانگرد است؛ یعنی جهان، همگن نیز هست.

اصل کیهان‌شناختی، پیشفرض اساسی کیهان‌شناسی استاندارد است که مبتنی بر متریک FRW برای یک فضای سه‌بعدی همگن و همسانگرد است. البته وجود یک متریک مناسب و مرجّح که در آن، جهان بصورت همسانگرد نشان داده می‌شود، تناقضی با بیان نظریه نسبیت درباره هم‌ارزی چارچوب‌ها ندارد. هم‌ارزی، در خصوص معادلات درست است و نه جواب‌ها؛ و تقریباً همه جواب‌ها جهان–خط‌ها و سطوح متمایز خود را دارند. به عبارت دیگر، جواب معادلات

نسبت به خود معادلات، از تقارن کمتری برخوردارند و این نمونه‌ای از شکست تقارن است (Ellis, 2006).

اصل کیهـان‌شناختی ما را قادر می‌کند که بر اساس اطلاعاتی که درباره جهان در مخروط نوری گذشته خود داریم، فرض کنیـم شـرایط برای مشاهده‌گرهای دیگر نیز همان‌گونه (much the same) است. اما در بکارگیری این اصل باید محتاط باشیم؛ چرا که اطلاعات مشاهدتی مستقیم ما درباره جهان (و بویژه جهان اولیه که ممکن است FRW نباشد) محدود است. ضمن اینکه اصل کیهان‌شناختی بر یک مبنای فلسفی بنا شده است و انتظار نمی‌رود که به‌طریق تجربی قابل طرد باشد (Ellis, 2009). این اصل، در واقع یک فرض عملی (working assumption) است. این ادعا که مشاهده‌گرهای روی زمین یک موقعیت غیر ممتاز را در جهان به عنوان یک کل، اشغال نمی‌کنند، حاکی از این فرض است که قسمتی از جهان که ما می‌توانیم ببینیم یک نمونه غیرممتاز (fair sample) است و جهان با دانشمندان، جوانمردانه بازی می‌کند. مبنای فلسفی این اصل روش‌شناختی، این فرض کلی‌تر است که جهان، قابل‌شناخت است. اگر این دیدگاه را بپذیریم، در این صورت اصل کیهان‌شناختی، به عنوان یک فرض عملی و روش‌شناختی، صرفاً در محدوده جهان قابل‌دسترس(تحت افق) (sub-horizon) معتبر است و از هیچ اعتبار مطلقی برخوردار نخواهد بود که به ما این امکان را بدهد که آن‌را در فرا– افق به‌کار ببندیم. به‌علاوه، چنین نیست که تمام ساختارهای فیزیکی اطراف ما لزوماً یکسان باشند بلکه این فرض صرفاً مربوط به اثرات فیزیکی مشاهده‌پذیر آن ساختارها، در قوانین و روابط فیزیکی است. به عبارت دیگر، اصل کیهان‌شناختی در ابعاد خاصی از جهان حاکم است و مثلاً چنین نیست که تمام کهکشان‌ها یکسان باشند. البته تغییرات ساختارهای فیزیکی، تا آنجا که یکنواختی نتایج حاصل از مشاهده را تهدید نکند، نادیده گرفته می‌شود.

اصل کیهان‌شناختی دالّ بر یک ارتباط علّی بین تمام اجزای فضا در یک زمان از گذشته جهان است. مطابق نظریه تورمی، نظم فعلی جهان نتیجه‌ای از یک نظم اولیه است و تورم نتیجه شکست تقارن بیشینه اولیه بوده است. به‌عبارت دیگر، انتظام جهان بسیار بیشتر از این بوده است. بنابراین، با توجه به اینکه قوانین و نیروهای حاکم بر جهان اولیه دچار تحول شده‌اند، این سؤال پیش روی قرار می‌گیرد که آیا اجزای جهان در تمام زمان‌ها تحت قوانین فیزیکی یکسانی بوده اند و خواهند بود؟

اگر فرض کنیم که علاوه بر تمام مکان‌ها، در تمام زمان‌ها نیز جهان یکسان است و ما در زمان ویژه‌ای زندگی نمی‌کنیم یک اصل کیهان‌شناختی کامل (Perfect Cosmological Principle) و تمام‌عیار خواهیم داشت.

اصل انسان–محوری:

اصل انسان–محوری یا آنتروپیک نیز در واقع یک اصل فلسفی مبتنی بر اعتقاد به ویژگی مشاهده‌گر انسانی در کیهان‌شناسی است که دو روایت ضعیف و قوی از آن مطرح است:

۱. **اصل آنتروپیک ضعیف:** شگفت‌انگیز نیست که جهان مشاهده شده موافق با وجود حیات است زیرا جهان نمی‌تواند مشاهده شود، مگر اینکه مشاهده‌گرانی در آن وجود داشته باشند. بنابراین شرایط ضروری برای وجود مشاهده‌گران، زمان‌ها و مکان‌هایی را که از آنها جهان می‌تواند مشاهده شود محدود می‌کند.

۲. **اصل آنتروپیک قوی:** ضروری است که حیات هوشمند در جهان وجود داشته باشد؛ وجود حیات برای اینکه یک مدل جهانی معنا بدهد لازم است.

اصل آنتروپیک و بویژه روایت قوی آن، برخاسته از یک دیدگاه متافیزیکی خاص نسبت به انسان است که در عین حال برای توضیح مقادیر خاص بسیاری از ثوابت فیزیکی در کیهان-شناسی مورد استناد قرار می‌گیرد (Ellis, 2006).

از آنجا که توسل به این اصل (بویژه روایت قوی آن)، توضیحی غیرفیزیکی برای پدیده‌ها فراهم می‌کند برخی از کیهان‌شناسان آنرا نمی‌پسندند. همچنین این سؤال مطرح است که آیا به‌کارگیری اصل آنتروپیک، از نظر فلسفی با پیشفرض اصل کیهان‌شناختی ناسازگاری ندارد؟ چرا که مطابق اصل کیهان‌شناختی، ما مشاهده‌گران ویژه‌ای نیستیم، درحالی‌که طبق اصل آنتروپیک، وجود ما برای جهان مشاهده‌پذیر ضروری است یا حداقل شرایط خاصی را می‌طلبد. به عبارت دیگر، طبق اصل کیهان‌شناختی، ممکن بود ما در هر جای دیگری از جهان باشیم، در صورتی که اصل آنتروپیک حاکی از شرایط خاص حیات فعلی ماست.

ماهیت علّی فضا–زمان:

معادلات میدان اینشتین تحول جهان را بصورت موجبیتی بدست می‌دهند. با توجه به اصل کیهان‌شناختی (همگنی و همسان‌گردی جهان) اگر تحول هندسه بزرگ– مقیاس جهان را بر

حسب یک تابع زمانی همگن از نظر فضایی ، یعنی فاکتور مقیاس $a(t)$، پارامتری کنیم، معادلات اینشتین برای این پارامتر در یک جهان FRW، منجر به معادلات فریدمن می‌شود.

اینشتین، ثابت کیهان‌شناختی Λ (لامبدا) را –که دارای واحد عکس مجذور طول (L^{-2}) است– به معادلات میدان گرانشی خود اضافه کرد تا جاذبه ماده را متوازن کند و جهان استاتیک نتیجه شود. متداول است فیزیکدانان برحسب دیدگاهی که نسبت به منشأ لامبدا دارند آنرا در سمت چپ (به عنوان اثر هندسه فضا–زمان) یا در طرف راست (به عنوان پیامد چشمه‌های گرانشی[۴]) معادلات گرانش قرار می‌دهند. البته اینشتین بعد از کشف هابل در خصوص انبساط جهان و غیراستاتیک بودن آن، وارد کردن لامبدا در معادلات را بزرگترین اشتباه خود نامید ولی این صرفاً جنبه تاریخی مسأله است. آنچه از نظر مفهومی برای ما مهم است اینست که اینشتین لامبدا را یک ویژگی از فضا–زمان می‌دانست (و آن را در سمت چپ معادلات خود قرار داد) (Caldwell, 2008). ثابت کیهان‌شناختی لامبدا به خودی خود یا در ترکیب با عبارات دیگر معادلات میدان، بر ساختار متریک فضا–زمان و بدین ترتیب بر رفتار فیزیکی ماده تأثیر می‌گذارد ،و این دقیقاً همان نقشی است که در نسبیت عام بر دوش نیروهای گرانشی گذاشته می‌شود، با این تفاوت که لامبدا وابسته به ماده (به عنوان چشمه) نیست. مطابق نسبیت عام چنین نیست که ساختار فضا–زمان مقدم بر توزیع ماده باشد یا بالعکس، بلکه معادلات معیّن می‌کنند که چه توزیعی از ماده سازگار با چه ساختاری از فضا–زمان است و بالعکس.

با وارد کردن لامبدا در معادلات میدان اینشتین، ناحیه خالی از ماده (که با تانسور T_{ij} صفر نشان داده می‌شود) دارای یک تانسور ریچی (Ricci tensor) R_{ij} غیر صفر خواهد بود و لذا ردّ (trace) این ماتریس که انحنای اسکالر را بدست می‌دهد غیر صفر است: $R = 4\Lambda$. این انحنای ثابت (در غیاب ماده) متضمن یک چگالی انرژی برای فضای خالی است، به این معنا که حتی نواحی خالی نیز شامل مقدار معیّنی انرژی خواهند بود که خود را در انحنا بروز می‌دهند. از آنجا که نسبیت عام یک نظریه غیرخطی است، تأثیر منابع مختلف در میدان بصورت یک جمع ساده نیست و لذا سهم لامبدا نمی‌تواند از سهم ماده جدا شود، اما در عین حال می‌توان گفت لامبدا هر چه که هست مستقل از ماده و حاکی از ویژگی‌های خود فضا–زمان است.

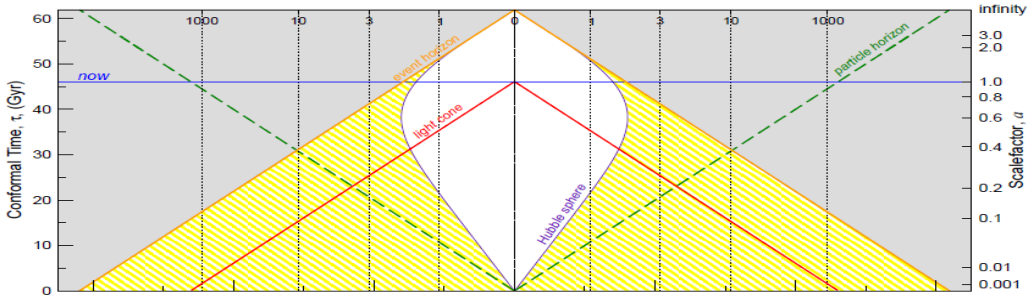
اینشتین که ابتدا معتقد به ایده‌های ماخ بود، آن دیدگاه را در نسبیت عام ناکام یافت و کنار گذاشت. در مقابل، تعبیر لامبدا به‌عنوان اثری از فضا–زمان (و نوشتن آن در سمت چپ معادلات)

را می‌توان به عنوان رویکرد ذات‌گرایانه (Substancialism) وی به ماهیت فضا–زمان تلقی کرد. کشف شتاب مثبت جهان و طرح ثابت کیهان‌شناختی معادلات میدان به عنوان بهترین تبیین ایتن پدیده، تأییدی برای این رویکرد ذات‌گرایانه است. در یک جهان با لامبدای غیر صفر، چنین نیست که فضا–زمان صرفاً رسانه (یا واسطه‌ای) برای علّیت بین اشیاء باشد بلکه *خود فضا–زمان قادر است علّت حرکت در بین اشیاء شود*. لامبدا در واقع یک میدان گرانشی دافعه‌ای (repulsive gravitational field) را توصیف می‌کند که چگالی انرژی آن در یک ناحیه، به هیچوجه وابسته به ماده نیست و صرفاً تابعی از حجم آن ناحیه است.

کیهان‌شناسان در انتهای قرن گذشته کشف کردند که انبساط جهان از حدود ۵ بیلیون سال پیش، شروع به افزایش سرعت کرده است (Riess, 1998) و (Perlmutter, 1999). طی دهه گذشته نیز مشاهدات مختلف، کشف فوق را تأیید کرده است، اما در عین حال هنوز هیچ توضیح قاطع و مورد توافقی، برای منشأ شتاب مثبت کیهانی ارائه نشده است. رویکرد غالب در تبیین انبساط تندشونده کیهانی، مبتنی بر دو فرض نسبیت عام و متریک FRW است و منشأ این شتاب را، «انرژی تاریک» با فشار منفی در نظر می‌گیرد. ساده‌ترین معادل برای انرژی تاریک، فرض ثابت کیهان‌شناختی (cosmological constant) است.

افق محدود علّی:

برای یک مشاهده‌گر با جهان–خط γ، می‌توان گفت افق رویداد آینده، $FEH(\gamma)$ (future event horizon)، عبارت است از مرز بین آن رویدادهایی که درون $J^-(\gamma)$ قرار دارند و آن‌هایی که در خارج آن هستند. همچنین برای این مشاهده‌گر در نقطه p، افق ذره، $PH(\gamma,p)$، عبارت است از مرز بین ذراتی که از طریق سیگنال علّی در آن نقطه می‌توانند دیده شوند و ذراتی که نمی‌توانند دیده شوند (Earman, 1995).



شکل ۵. نمودار فضا–زمان برای یک جهان همگن و همسانگرد

شکل ۵، نمودار فضا–زمان را که با استفاده از فرمالیسم استاندارد نسبیت عام برای یک جهان همگن (homogenous) و همسان‌گرد (isotrop)، مبتنی بر متریک FRW و معادله فریدمن، ترسیم شده است، نشان می‌دهد. محور عمودی سمت چپ زمان همدیس[۵] است. خط عمودی مرکزی جهان–خط ما و خطوط نقطه‌چین عمودی جهان–خط‌های اشیاست. همچنین محور عمودی سمت راست نشان‌دهنده فاکتور مقیاس بهنجار شده $a = R/R_0$ است.

همه رویدادهایی که ما در زمان فعلی مشاهده می‌کنیم در مخروط نوری گذشته ما[۶] هستند، اما آنچه که ابعاد جهان مشاهده‌پذیر ما را نشان می‌دهد افق ذره است. ما نمی‌توانیم از فراسوی افق ذره، نوری دریافت کنیم یا به آنجا نوری بفرستیم. افق ذره مؤثر ما تابش کیهانی زمینه (CMB) در سرخگرایی $z \approx 1100$ است زیرا ما نمی‌توانیم فراتر از سطح آخرین پراکندگی (زمان جدایی تابش و ماده) را ببینیم. خط‌چین مورّب در شکل، نشان‌دهنده فاصله تا افق ذره بصورت تابعی از زمان است[۷]. مخروط نوری گذشته ما در فاصله حدود ۴۶ گیگا سال نوری محور $t=0$ را قطع می‌کند که برابر با فاصله کنونی تا افق ذره است. افق رویداد درصورتی وجود دارد که نور در طی عمر جهان فقط قادر به طی کردن مسافت محدودی باشد. یعنی یا اینکه عمر جهان محدود باشد یا شتاب انبساط آن مثبت باشد، بطوریکه در یک زمان نامحدود، نور مسافت محدودی را طی کند. این شرط اخیر در واقع در تمام مدل‌های جهان در حال انبساط با یک ثابت کیهان‌شناختی، برآورده می‌شود و لذا اکثر مدل‌های کیهان‌شناسی، دارای افق رویداد هستند. افق رویداد کیهان‌شناختی، موقعیتی وابسته به مشاهده‌گر دارد و می‌توان گفت افق رویداد ما عبارتست از مخروط نوری گذشته ما در پایان زمان یا $t=\infty$. کهکشان‌هایی که ما اکنون در سرخ‌گرایی $z \approx 1.8$ مشاهده می‌کنیم در حال عبور از افق رویداد هستند و نوری که پس از این ساطع می‌کنند هرگز به ما نخواهد رسید و بنابراین آن‌ها دورترین اشیایی هستند که ما درباره حال حاضرآنها اطلاعات دریافت خواهیم کرد. نکته قابل توجه اینست که از بین رویدادهای خارج از افق رویداد ما (ناحیه خاکستری)، بسیاری در درون افق ذره ما هستند. در واقع، 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. همچنین همه اشیای خارج از کره هابل[۸] در حال دور شدن با سرعتی بیش از سرعت نور[۹] هستند (Davis, 2003). در یک جهان با شتاب انبساط مثبت، افق‌های کیهانی پیش‌بینی ما را محدود می کنند.

پیش‌بینی تاریک:

پس از کشف انبساط تندشونده جهان و مطرح شدن «انرژی تاریک»، بحث پیش‌بینی در کیهان‌شناسی، شکل کاملاً متفاوتی به خود گرفت. دیگر به صرف تعیین انحنای فضا نمی‌توان آینده را پیش‌بینی کرد بلکه سرنوشت جهان، در گرو شناخت ماهیت انرژی تاریک است. البته فیزیکدانان برای شناخت انرژی تاریک، بر اساس روش پدیدارشناسانه خود، پارامتر معادله حالت انرژی تاریک را پیشنهاد کرده‌اند: $w = p/\rho$ که در آن، ρ و p به‌ترتیب چگالی و فشار انرژی تاریک است.

پیش‌بینی آینده جهان تندشونده مرتبط با شعاع هابل است، و تغییر زمانی این شعاع بر حسب پارامتر معادله حالت انرژی تاریک با استفاده از رابطه $\dot{R}_h = \frac{2}{3}(1 + w)$ به دست می‌آید (Lewis and Oirschot, 2012). بدین ترتیب بر حسب مقادیر مختلف w، شعاع هابل می‌تواند کاهش یا افزایش و یا توقف داشته باشد.

همچنین نمی‌توان به‌سادگی فرض کرد که ویژگی انرژی تاریک تغییر ناگهانی نیز نخواهد داشت و رژیم انبساط جهان همواره همین خواهد بود، چنانکه مدل‌های تورمی حاکی از آنست که این امر در جهان ما سابقه‌دار است. در لحظات اولیه مهبانگ، شکل متفاوتی از انرژی تاریک حاکم بوده و بعد از پایان تورم، معادله حالت دیگری حاکم شده است و ممکن است که معادله حالت انرژی تاریک ناگهان (در مقیاس کیهان‌شناختی) دوباره تغییر کند و منجر به یک رویداد با نتایجی شود که پارامتری کردن یا پیش‌بینی آن بی‌نهایت مشکل است.

به علاوه، مدل‌های انرژی تاریک متغیر، با تغییرات بسیار کند نسبت به زمان، اساساً از نظر تجربی غیر قابل تمییز از یک ثابت کیهان‌شناختی ($w \approx -1$) هستند. زیرا از آنجا که انبساط جهان تا زمان حاضر، در این مدل‌ها یکسان است و تحول آینده جهان در آن‌ها متفاوت است؛ بکارگیری داده‌های کنونی برای تعیین اینکه جهان چه آینده‌ای خواهد داشت غیرممکن است (Caldwell, 2008). بنابراین، داده‌ها و اطلاعات فعلی موجود به تنهایی برای طرد بدیل‌های دیگر و تعیین نهایی پارامتر معادله حالت کافی نیستند و ما با یک تعیّن ناقص (under determination) نظریه توسط تجربه مواجهیم.

بخشی از عدم قطعیت کیهان‌شناختی ناشی از محدودیت‌های تکنولوژیکی بشر است، اما هیچ اطلاعات تجربی قابل اعتمادی درباره آنچه خارج از افق ذره است نمی‌توانیم بدست بیاوریم.

همچنین افق رویداد، یک محدودیت قطعی در جهان ماست، اما در عین حال اگر انبساط تندشونده جهان متوقف شود یا رژیم حاکم بر آن طوری تغییر کند که شعاع هابل گسترش یابد، در آنصورت نیز می‌توان سرنوشت متفاوتی داشت. در واقع، شناخت ما از تحول بزرگ- مقیاس جهان و انبساط تندشونده آن، صرفاً بر اساس یک سری روابط و معادلات پدیدارشناختی استوار است، در حالیکه سرنوشت جهان وابسته به معادلات ما نیست بلکه وابسته به آن هویتی است که رژیم تحولاتِ جهان را تعیین می‌کند. بنابراین بدون یک نظریه کامل درباره انرژی تاریک و ماهیت آن نمی‌توان اطمینان داشت که اندازه‌گیری چگالی و تغییر زمانی آن در یک بازه زمانی محدود، ما را قادر به پیش‌بینی قطعی سرنوشت جهان بکند. چنانکه الیس تأکید می‌کند:

> *عدم قطعیت نهایی (*Ultimate uncertainty*)، یک جنبه کلیدی از کیهان‌شناسی است. کشف علمی می‌تواند چیزهای زیادی درباره جهان به ما بگوید اما نه درباره ماهیت نهایی آن، یا حتی چیز زیادی درباره برخی از ویژگی‌های عمده هندسی و فیزیکی آن. بخشی از این عدم قطعیت ممکن است مرتفع شود ، اما بیشتر آن باقی خواهد ماند. نظریه کیهان‌شناسی باید به این عدم قطعیت اعتراف کند* (Ellis, 2006).

پیش‌بینی فراعلمی:

چنانکه دیدیم در کیهان‌شناسی، هیچ قطعیتی در خصوص پیش‌بینی آینده وجود ندارد و حتی با فرض پذیرش انرژی تاریک برای توضیح شتاب مثبت جهان، امکان‌های مختلف برای پارامتر معادله حالت آن وجود دارد. علیرغم این واقعیت، برخی از دانشمندان، همچون کیهان‌شناس آمریکایی لارنس کراس، با انتخاب یکی از امکان‌ها، چنان به پیش‌بینی آینده و نیز نتیجه‌گیری‌های غیرفیزیکی از پیش‌بینی خود می‌پردازند که گویی از سرنوشتی محتوم سخن می‌گویند. کراس بر اساس نسبیت عام و فرض یک جهان تخت، متریک FRW برای فضا- زمان، و پذیرش ساده‌ترین گزینه برای انرژی تاریک یعنی ثابت کیهان‌شناختی، دست به پیش‌بینی آینده دور جهان می‌زند: یک جهان ایستا که در آن، کهکشان ما با کهکشان‌های نزدیک تشکیل یک ابَرخوشه کهکشانی داده و در یک فضای خالی(void) تنهاست و هیچگونه ارتباطی با بقیه جهان ندارد.

کراس تا قبل از مقاله‌ای که در سال ۲۰۰۷ ارائه کرد (Krauss and Scherrer, 2007)،

بحث خود را بصورت یک وضعیت محتمل و یک امکان در بین گزینه‌های ممکن دیگر مطرح می‌کرد و اذعان داشت که هیچ مجموعه مشاهدات کیهان‌شناختی (مهم نیست که چقدر دقیق باشد) وجود ندارد که ما بتوانیم انجام دهیم و بصورت بدون ابهام به ما اجازه دهد که تعیین کنیم سرنوشت نهایی جـهان چه خواهـد بود . وی در آن موقع تصریح داشت که معادله حالت جهان می‌تواند تغییر کند و ممکن اسـت ما هرگز مطمئن نباشیم که تحول دینامیکی استنباط شده فعلی، بطور نامحدود بتواند در آینده برون‌یابی شود (Krauss and Turner, 1999)، (Krauss, 2001) و (Krauss, 2003). کراس در مقالات ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ ، حتی یک اصل عدم قطعیت کیهانی (A Cosmic Uncertainty Principle) را صریحاً مطرح می‌کرد، در صورتی که در نوشته‌های متأخرش، بویژه برای مخاطبین غیرمتخصص، همچون مقاله ۲۰۰۸ در مجله *Scientific American* (Krauss and Scherrer, 2008) و نیز کتاب اخیرش (Krauss, 2012) – کـه در فصـل هـفتـم آن تحـت عنـوان «آینـده تیـره‌بـخت مـا» (Our Miserable Future) آخرین نظریاتش را درباره سرنوشت جهان ارائه کرده است– حداکثر بصورت اشاره‌وار از این مسأله عبور می‌کند و سرنوشت جهان را چنان پیش‌بینی می‌کند که گویی پارامتر معادله حالت انرژی تاریک، با قطعیت تعیین شده است ($w= -1$). وی در فصل پنجم همان کتاب، تحت عنوان «جهان فراری» (The Runaway Universe)، گزارش مفصّلی از کشف شتاب مثبت جهان و انرژی تاریک ارائه کرده است و دلیل اصلی اعتقاد محکم خود به ثابت بودن انرژی تاریک (یا حاکمیت یک ثابت کیهان‌شناسی) را شواهد تجربی ۲۰۰۶ ماهواره ویلکینسون (WMAP) (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) بیان می‌کند:

> *برآورد عمر جهان ما در ۲۰۰۶ بسیار اصلاح شد، وقتی که اندازه‌گیری‌های دقیق جدیدی از تابش زمینه کیهانی با استفاده از ماهواره WMAP به مشاهده‌گران اجازه داد که به‌دقت، زمانِ پس از مهبانگ را اندازه‌گیری کنند. حالا ما عمر جهان را تا چهار رقم معنادار می‌دانیم. جهان، ۱۳/۷۲ میلیارد ساله است. اما حالا که ما این‌را داریم، می‌توانیم تصدیق کنیم که راهی وجود ندارد که جهانی با نرخ انبساط اندازه‌گیری شده امروزی، می‌توانست اینقدر سالخورده باشد– بدون انرژی تاریک و بویژه انرژی تاریکی که اساساً شبیه انرژی نشان داده شده توسط یک ثابت کیهان‌شناسی رفـتار می‌کرد. به عبارت دیگر، شبیه*

انرژیی که به نظر می‌رسد در طی زمان، ثابت می‌ماند (Krauss, 2012: 216).

وی همچنین سعی می‌کند دلیل دیگری نیز اقامه کند:

در پیشرفت علمی بعدی، مشاهده‌گران قادر شدند که به دقت اندازه‌گیری کنند که چگونه ماده، در شکل کهکشان‌ها، در طی زمان کیهانی گردهم آمده است. نتیجه، بستگی به نرخ انبساط جهان دارد، زیرا نیروی جاذبه‌ای که کهکشان‌ها را به سمت یکدیگر می‌کشد باید با انبساط کیهانی که ماده را عقب می‌راند رقابت کند. هرچه مقدار انرژی فضای خالی بیشتر باشد، زودتر بر انرژی جهان حاکم خواهد شد و نهایتاً نرخ فزاینده انبساط، زودتر رمبش گرانشی ماده را ، حتی در مقیاس‌های بزرگتر، متوقف خواهد کرد. بنابراین مشاهده‌گران با اندازه‌گیری گردهم‌آیی گرانشی، قادر شده‌اند یکبار دیگر تصدیق کنند که تنها جهان تختی که سازگار با ساختار بزرگ- مقیاس مشاهده شده در جهان است، جهانی است با تقریباً ۷۰ درصد انرژی تاریک ، و یکبار دیگر انرژی تاریک کم و بیش شبیه انرژی نشان داده شده توسط یک ثابت کیهان‌شناختی رفتار می‌کند (Krauss, 2012: 217-218).

اما همچنانکه دیده می‌شود کراس استدلال قاطعی که صرفاً متکی بر شواهد تجربی باشد ارائه نمی‌کند و در واقع، علاوه بر سادگی فرض $w = -1$، باورهای متافیزیکی و پس‌زمینه‌های غیرعلمی او نیز در توجه خاص به این فرض دخیل است. چرا که بعضی کیهان‌شناسان دیگر، با اطلاع از همین یافته‌های WMAP مدل‌های کاملاً متفاوتی ارائه کرده‌اند.

کراس با ارجاع به تصویری که از جهان ترسیم کرده است معتقد است جهان از «هیچ‌چیز» (nothing) به‌وجود آمده و به هیچ‌چیز منتهی خواهد شد و هدفی در آن نهفته نیست، و صریحاً ویژه بودن انسان (به معنای فلسفی آن) در جهان را انکار می‌کند:

*درک فعلی ما از گذشته و آینده جهان، این‌را پذیرفتنی‌تر می‌کند که بدون نیاز به هیچ راهنمایی الوهی (*divine guidance*)، «چیزی» می‌تواند از هیچ‌چیز، بیرون بیاید. ما به زندگی‌هایی معنی‌دار در جهانی ادامه می‌دهیم که محتملاً بدون هدف به‌وجود می‌آید و بدون هدف از وجود محو می‌شود، مطمئناً بدون اینکه ما در مرکز آن باشیم.... این سؤال که چرا به‌جای هیچ‌چیز، چیزی*

وجود دارد؟[۱۰] هیچ اهمیت و عمقی ندارد ... و دلالت بر این توقّع خودخواهانه ما دارد که «چیزی» در جهان مداومت کند تا اینکه جهان تا نقطه وجود ما پیشرفت کند ، به طوری که ما نقطه اوج خلقت باشیم. ... اگر ما در جهانی زندگی می‌کنیم که تحت حاکمیت انرژی هیچ‌چیز است، چنانکه من توصیف کرده‌ام، در حقیقت، آینده تیره است. آسمان‌ها سرد و تاریک و خالی خواهند شد. جهان تحت حاکمیت انرژی فضای خالی، بدترین جهان از بین تمام جهان ها برای آینده زندگی است. هر تمدنی در چنان جهانی در نهایت، از فقدان انرژی برای حیات، محو خواهد شد (Krauss, 2012: 333-401).

اما اصولاً اعتقاد به هدف‌دار بودن خلقت جهان و نیز جایگاه ویژه انسان در آن، موضوعاتی متافیزیکی است که پذیرش یا رد آن بر اساس شواهد تجربی امکان‌پذیر نیست. نتایج کراس نیز، که وی سعی دارد بر اساس کشف انرژی تاریک و نیز پیش‌بینی خود از سرنوشت جهان بنا کند، در واقع باورهایی است که به‌هیچوجه نتیجه منطقی بحث او درباره سرنوشت فیزیکی جهان نیست. بلکه به‌نظر می‌رسد نظر او در مسأله سرنوشت جهان، که مورد اختلاف کیهان-شناسان است، متأثر از باورهای متافیزیکی وی باشد.

آنچه که کراس درباره آینده کیهان‌شناسی مطرح کرده است در واقع مبتنی بر دو پیشفرض است: ۱- وجود حیات هوشمند در آینده دور، ۲- عدم وجود شواهد و مدارک فعلی کیهانی. وی در عین اینکه تصریح دارد که خورشید ما فقط تا حدود ۵ میلیارد سال دیگر وجود خواهد داشت، به وجود ستارگان رشته اصلی (“main sequence” stars) (که تاریخچه تحولشان مشابه خورشید ولی عمرشان بسیار بیشتر از آن است) اشاره می‌کند و تمدن‌ها و کیهان‌شناسانی را که بر 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 و نیز شواهد وجود انرژی تاریک دسترسی نخواهند داشت و بنابراین به اشتباه معتقد به یک جهان ایستا خواهند شد.

در جهان کراس، اصل کیهان‌شناختی به روایت فعلی به‌هیچوجه قابل دفاع نخواهد بود. در اولین قدم، آینده تصویر شده توسط کراس منجر به نقض همگنی زمانی جهان می‌شود. ما در دوره ویژه‌ای از عمر جهان زندگی می‌کنیم، و اطلاعاتی که ما از جهان داریم در طی زمان (در

مقیاس کیهانی)، رو به کاهش است. کهکشان‌هایی نقشه جهان ما را تشکیل می‌دهند که برخی از آنها نزدیک افق ما و در حال خروج از آن هستند و بنابراین در آینده دور، از چنین کهکشان‌هایی هیچ اطلاعی دریافت نخواهیم کرد و لذا اگر نقشه‌ای را که از جهان داریم روزآمد کنیم به‌تدریج خلوت و خلوت‌تر می شود. بدین ترتیب نقض همگنی زمانی نشان می‌دهد که اصل کیهان‌شناختی کامل (قوی)، یعنی همسانی بزرگ- مقیاس جهان در تمام مکان‌ها و زمان‌ها، برقرار نیست. اما آیا چنین تصویری، می‌تواند حاکی از جایگاه ویژه ما در جهان باشد و نقش اصل انسان-محوری را تقویت کند؟

کراس به‌هیچوجه معتقد به چنین اصلی به عنوان یک دیدگاه متافیزیکی نیست. وی یکی از مخالفان به‌کارگیری اصل انسان- محوری قوی و نیز توسل به هدفمندی خلقت، در استدلالات کیهان‌شناسی است. وی این نوع استدلال فیزیکدانان معتقد به یک طرّاح متعالی را در مقابل استناد علمی به شواهد تجربی قرار می‌دهد و نکوهش می‌کند. او گرچه طبق پیش‌بینی خود، معتقد است تکیه کیهان‌شناسان آینده دور بر بهترین ابزار تجربی نیز مانع از اشتباه آنها در مورد واقعیت جهان نخواهد شد، اما آنها را به فیزیکدانان معتقد به خدا ترجیح می‌دهد:

> *ممکن است کسی از بهترین ابزار مشاهدتی و نظری در اختیارش استفاده کند و با این حال، به تصویر کاملاً غلطی از جهان بزرگ- مقیاس برسد. ولی با این وجود، گرچه داده‌های ناکامل می‌تواند منجر به یک تصویر غلط شود، این خیلی متفاوت از تصویر (غلط) بدست آمده توسط کسانی است که می‌خواهند از داده‌های تجربی چشم پوشی کنند تا تصویری از خلقت ابداع کنند که در تناقض با شواهد واقعیت است، یا آنهایی که در عوض داده‌های تجربی، وجود چیزی را لازم می‌دانند که برای آن هیچ شواهد قابل مشاهده وجود ندارد (همچون موجود هوشمند الوهی) (*divine intelligence*) تا دیدگاهشان از خلقت را با تعصب‌های پیشین خود وفق دهند. دانشمندان آینده حداقل، برآوردهایشان را بر اساس بهترین مدرک قابل دسترس برای آنها مبتنی خواهند کرد. این به رسمیت شناختنِ کاری است که همه ما می‌کنیم، یا حداقل آنگونه که دانشمندان می‌کنند. شواهد جدید ممکن است موجب شود ما تصویر زیربنایی خود از واقعیت را تغییر دهیم* (Krauss, 2012: 276-277).

وجود حیات هوشمند در آینده دور، پیشفرض کراس است و بحث او بدون وجود مشاهده‌گران کیهانی قابل ارائه نیست (اصل ضعیف آنتروپیک)، اما توجه به دیدگاه کراس نشان می‌دهد که چنین نیست که وی چیزی به عنوان اصل فلسفی انسان–محوری را بپذیرد، بلکه او صرفاً از پیش‌بینی یک علم تجربی سخن می‌گوید که، بر اساس کشف انرژی تاریک، حاکی از اینست که ما در زمان ویژه‌ای زندگی می‌کنیم. از نظر کراس، آنچه که فلسفه و نتایج فلسفی تلقی می‌شود باید مبتنی بر دانش تجربی باشد:

> *کشف اینکه فضای خالی انرژی دارد، شروع یک بازنگری فکری در بین بسیاری از فیزیکدانان بود درباره آنچه که در طبیعت لازم است و آنچه ممکن است اتفاقی باشد. کاتالیزور این تغییر (*gestalt*) جدید، این استدلال است که انرژی تاریک، امروز قابل اندازه‌گیری است، زیرا «اکنون» تنها زمانی در تاریخ جهان است که در آن انرژی فضای خالی، قابل مقایسه با چگالی انرژی ماده است. چرا ما باید در چنین زمان «ویژه»ای در تاریخ جهان زندگی کنیم؟ در حقیقت، این مخالف با هر چیزی است که از زمان کپرنیک مشخصه علم بوده است (اصل کپرنیک) ... اگر ما می‌خواهیم نتایج فلسفی درباره وجود خودمان، اهمیت خودمان و اهمیت جهان ترسیم کنیم، نتایج ما باید مبتنی بر دانش تجربی باشد* (Krauss, 2012: 284-285).

البته شاید وی برخلاف ملحدینی همچون ریچارد داوکینز[۱۱]، در پی معارضه علنی با اعتقاد به خدا نباشد:

> *علم، چنانکه استیون واینبرگ (*Steven Weinberg*) تأکید کرده است اعتقاد به خدا را غیرممکن نمی‌کند بلکه بی‌اعتقادی به خدا را ممکن می‌کند. بدون علم هر چیزی یک معجزه است. با علم، این امکان باقی می‌ماند که هیچ‌چیز معجزه نباشد. در این وضعیت، اعتقاد دینی کمتر و کمتر لازم می‌شود و همچنین کمتر و کمتر مرتبط* (Krauss, 2012: 409).

اما چنانکه از نقل قول فوق نیز مشهود است، او اکیداً پیرو علم است و در دو راهی شواهد تجربی در مقابل باورهای متافیزیکی قطعاً معتقد به اصالت تجربه است.

بحث و نتیجه‌گیری

کیهان‌شناسی مدرن، اصولاً علمی تجربی مبتنی بر یافته‌های مشاهدتی است، اما اصول فلسفی مهمی همچون اصل علیت، اصل کیهان‌شناختی و گاهی اصل انسان- محوری، در آن نقش غیرقابل انکاری دارند. این دو وجه تجربی و فلسفی، در کیهان‌شناسی بصورت مکملّ (و نه معارض) یکدیگر، عمل می‌کنند. هر گونه تلاش در جهت پیشرفت تجربی کیهان‌شناسی، می‌تواند به فهم بهتر مفاهیم و مبانی فلسفی آن کمک کند و بدفهمی‌های فلسفی دانشمندان را تصحیح کند، ولی اساساً علم تجربی نمی‌تواند بصورت پسینی، اصول پیشینی فلسفی در خود را تغییر دهد. همچنین استنباط نتایج متافیزیکی از داده‌های مشاهدتی، گرچه بسیار وسوسه‌انگیز است اما نباید ما را از این نکته غافل کند که چنین نتایجی در واقع، ریشه در همان باورهای پیشینی ما دارند و نه در داده‌های خام.

پیش‌بینی‌های کیهان‌شناسی، متکی بر اصول آشکار و پنهان مفروض در آنست و تا آنجا که شواهد تجربی موجود و نیز پیش‌فرض‌های نظری (همچون نظریه نسبیت و متریک FRW برای فضا-زمان، و...) اجازه می‌دهند، این پیش‌بینی‌ها بصورت مشروط و مقیدّ، معتبرند. اما در جهان ما، اساساً بدون یک نظریه کامل درباره انرژی تاریک و ماهیت آن نمی‌توان اطمینان داشت که اندازه‌گیری‌های فعلی در یک بازه محدود، ما را قادر به پیش‌بینی قطعی آینده بکند.

پی‌نوشت‌ها

۱. افق ذره (particle horizon) برای هر مشاهده‌گر عبارت است از مرز بین ذراتی که از طریق سیگنال علّی در آن نقطه می‌توانند دیده شوند، و ذراتی که نمی‌توانند دیده شوند (Earman, 1995).

۲. در کیهان‌شناسی متداول، سرخ‌گرایی را ناشی از انبساط جهان می‌گیرند ولی برخی کیهان‌شناسان (همچون الیس) معتقدند که سرخ‌گرای منشأهای دیگری هم دارد: اثر داپلر منبع، اثر داپلر مشاهده کننده، گرانش منبع و گرانش مشاهده کننده.

۳. رایشنباخ تعریف احتمالاتی صوری این اصل را این‌گونه بیان کرده که اگر وقوع همزمان دو رویداد A و B با تکرار بیشتری نسبت به وقوع مستقل آن‌ها باشد(رابطه ۱) در اینصورت یک علّت مشترک C برای این رویدادها وجود دارد که رابطه‌های ۲ تا ۵ زیر را برآورده می‌کند: (Weslake 2006)

(1) P(A&B) > P(A)×P(B)

(2) P(A&B|C) = P(A|C)×P(B|C)

(3) P(A&B|¬C) = P(A|¬C)×P(B|¬C)

(4) P(A|C) > P(A|¬C)

(5) P(B|C) > P(B|¬C)

۴. مثلاً فیزیکدان معروف روسی، زلدوویچ (Zeldovich)، لامبدا را در سمت راست معادلات قرار داد و معتقد بود که منشأ لامبدا همچون خود گرانش، در ویژگی‌های کوانتمی ذرات و میدان‌هاست (Zeldovich, 1967).

۵. تبدیل همدیسِ (conformal transformation) زمان، $\tau = \int dt/R(t)$، برای تبدیل زمان بی‌نهایت فیزیکی t به یک زمان محدود τ، با استفاده از فاکتور مقیاس $R(t)$، به‌کار می‌رود (Davis, 2003).

۶. مخروط نوری، در نمودار رنگی، به رنگ قرمز دیده می‌شود.

۷. افق ذره، در نمودار رنگی، به رنگ سبز نمایش داده شده است.

۸. کره هابل، در نمودار رنگی، بنفش رنگ است.

۹. در اینجا حرکت با سرعت بیش از نور تضادّی با نظریه نسبیت ندارد زیرا این حرکت در چارچوب اینرسی مشاهده‌گر نیست و همچنان هیچ مشاهده‌گری نمی‌بیند که چیزی بر نور سبقت بگیرد. در واقع نسبیت خاص به ما می‌گوید که هیچ چیز نمی‌تواند در فضا[1] سریعتر از نور حرکت کند، اما خود فضا می‌تواند (حداقل در نسبیت عام) هر چه می‌خواهد بکند (Krauss, 2012).

10. *Why there is something rather than nothing?*

۱۱. ریچارد داوکینز (Richard Dawkins)، زیست‌شناس معروف، که در الحاد خود، رویکردی ستیزه‌گر با دین و خدا دارد.

منابع

Astashenok et al. (2012), "Scalar dark energy models mimicking lambda-CDM with arbitrary future evolution", http://arxiv.org/abs/1203.1976v1.

Bunge, Mario (1979), *Causality and Modern Science.* New York: Dover Publications.

Caldwell, Robert (2008), "Cosmological constant," in Access Science, http://www.accessscience.com

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.

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

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

Ellis (2009), "Relativistic Cosmology", *General Relativity and Gravitation*, 41:581–660

Krauss (2012), *A Universe from Nothing*, Simon & Schuster Free Press eBooks (http://simonandschuster.com), A Division of Simon & Schuster, Inc., New York.

Krauss (2001), "Cosmology as Seen From Venice", http://arxiv.org/abs/astro-ph/0106149v1.

Krauss (2003), "the State of the Universe", http://arxiv.org/abs/astro-ph/0301012v2.

Krauss and Scherrer (2008), "The End of Cosmology", *Scientific American*, www.SciAm.com.

Krauss and Scherrer (2007), "The Return of a Static Universe and the End of Cosmology", *General Relativity and Gravitation*, 39:1545–1550.

Krauss and Turner (1999), "Geometry and Destiny, http://arxiv.org/abs/astro-ph/9904020v1.

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

Norton (2005), "Do the Causal Principles of Modern Physics Contradict Causal Anti-Fundamentalism", www.pitt.edu/~jdnorton.

Perlmutter S., Aldering G., Goldhaber G. (1999), Ap. J., 517, 565.

Riess A. G., et al. (1998), AJ, 116, 100.

Weslake (2006), "Common Causes and The Direction of Causation", http://www.usyd.edu.au/time/weslake/

Zeldovich, Y. B. (1967), "The cosmological constant and the theory of elementary particles" *JETP Lett.*, 6: 316–317.