

عدم تقارن ترمودینامیکی زمان و فرضیه گذشته برای کیهان اولیه

نرگس فتمحلیان*

علیرضا منصوری**

چکیده

بر اساس تجربه‌ی روزمره و فهم متعارف به نظر می‌رسد تفاوتی بین گذشته و آینده وجود دارد که آن را «پیکان زمان» می‌نامیم. تبیین‌های متفاوتی برای پیکان زمان ارائه شده که یکی از آن‌ها پیکان ترمودینامیکی است. اما قوانین بنیادی فیزیک، به ویژه قوانین نیوتن و مکانیک آماری - که انتظار می‌رود تبیین‌گر قوانین پدیدارشناختی ترمودینامیک باشند - عدم تقارنی را نشان نمی‌دهند. بولتزمن کوشید عدم تقارن ترمودینامیکی را با پیشنهاد «فرضیه‌ی گذشته» برای کیهان اولیه توضیح دهد. طبق این فرضیه کیهان اولیه در شرایط اولیه‌ی بسیار خاصی بوده است. اما این پیشنهاد با نقدهای بسیاری روبرو شد. در مقاله‌ی حاضر ضمن بیان ابعاد فلسفی و بنیادی مسأله‌ی «پیکان زمان» در ارتباط با نظریه «فرضیه گذشته» استدلال می‌کنیم با فرض بنیادی بودن «پیکان زمان»، فرضیه‌ی گذشته به تنهایی برای تبیین آن کفایت نمی‌کند و نیاز به تبیین بنیادی تری وجود دارد که ممکن است نگرش ما را نسبت به ساختار فضا-زمان عوض کند.

کلیدواژه‌ها: فلسفه فیزیک، پیکان ترمودینامیکی زمان، فرضیه گذشته، کیهان اولیه، ساختار فضا-زمان.

* استادیار فیزیک، دانشگاه پیام نور، nargesfathalian@yahoo.com

** دانشیار گروه فلسفه علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، a_mansourius@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵

۱. مقدمه

هزاران تجربه‌ی روزمره مانند فرآیند آب شدن یخ در فضای آزاد وجود دارد که مفهوم «قبل از» و «بعد از» را می‌سازند و جهت یا پیکان زمان را به ما گوشزد می‌کنند. شاید یکی از مهم‌ترین مثال‌ها، حافظه خودمان باشد. ما در ذهن‌مان به مجموعه‌ای از رویدادها دسترسی داریم که آن‌را گذشته می‌نامیم. ولی به نظر می‌رسد هیچ‌یک از ما نمی‌توانیم مجموعه‌ای از رویدادهایی را که آینده می‌نامیم به خاطر آوریم. پس به‌طور شهودی تفاوت بزرگی بین گذشته و آینده وجود دارد. اگر فرض کنیم که این تفاوت ساخته‌ی ذهن ما نیست باید منشأ جهت زمان مشخص شود. در یک تقسیم‌بندی سه منشأ پیشنهاد شده‌است: پیکان روان-شناختی^۱، پیکان علی^۲، و آنچه که ما پیکان فیزیکی می‌نامیم. پیکان فیزیکی خود می‌تواند شامل پیکان کیهان‌شناختی، پیکان تابش (در الکترودینامیک)، پیکان ترمودینامیکی و پیکان کوانتوم مکانیکی زمان باشد^۳. عموماً اعتقاد بر این است که ریشه‌ی همه‌ی پیکان‌های زمان به جز پیکان کیهان‌شناختی در پیکان ترمودینامیکی است و پیکان ترمودینامیکی باید تبیین‌گر آن‌ها باشد^۴. پیکان کیهان‌شناختی نیز در رابطه‌ی تنگاتنگی با پیکان ترمودینامیکی قرار دارد. به این معنی که انبساط کیهان می‌تواند علت افزایش آنتروپی باشد. ما نیز در این میان به سراغ پیکان ترمودینامیکی زمان می‌رویم که از همه ملموس‌تر است و در زندگی روزمره نیز آنرا حس می‌کنیم.

مسئله «پیکان زمان» هم دارای ابعاد فلسفی و هم فیزیکی است. در عین حال هم مسئله و هم پاسخ‌های طرح شده به آن به گونه‌ای نیست که بتوان این ابعاد فلسفی و فیزیکی را به‌سادگی از هم جدا کرد. آن‌ها در ضمن استدلال‌ها و انتخاب مسیر نظریه‌پردازی‌ها وجود دارند و در هم تنیده‌اند. ابعاد فلسفی این بحث از اینکه خود زمان، یا جهت‌مندی آن را واقعی در نظر بگیریم یا اینکه اساساً نیازی به تبیین «پیکان زمان» وجود داشته باشد یا خیر، شروع و منجر به اتخاذ تصمیم در خصوص مسیر نظریه‌پردازی‌ها می‌شود، و تا گام‌های جزئی‌تر در هر مسیر ادامه می‌یابد: مثلاً بحث‌های مفهومی و فلسفی در خصوص قابلیت انتساب آنتروپی به کل جهان، نسبت آن با آنتروپی اجزاء، قانون‌وار بودن و بررسی وضعیت و صورت‌بندی معتبر فرضیه گذشته در چارچوب نسبیت عام. برخی از این موارد هر چند به نظر مباحثی کاملاً فیزیکی به نظر می‌رسند، اما در حین نظرورزی‌ها مشخص می‌شود که تا چه حد متکی به فرض‌های ضمنی فلسفی‌اند.

در این مقاله ابتدا پیکان ترمودینامیکی زمان را معرفی می‌کنیم و سپس از بین رویکردهای موجود برای تبیین پیکان ترمودینامیکی زمان، «فرضیه گذشته» را به‌عنوان شرطی مرزی بر روی کیهان اولیه بررسی می‌کنیم و نقد و نظرات زرملو، لوشمیت، پوانکاره، شرودینگر، پنروز، گلدشتاین، آلبرت، کلندر، گرین، ارمن، دیویس و رایشنباخ را در این باره مطرح می‌کنیم و در پایان پیشنهاد پژوهشی خود را ارائه می‌کنیم.

۲. عدم تقارن و پیکان ترمودینامیکی زمان

اگر شهود ما از جهت‌داری زمان درست باشد و اگر فرض کنیم مدل‌های فیزیکی قرار است دست‌کم به طور تقریبی ویژگی‌های اساسی طبیعت را توضیح دهند آن‌وقت انتظار داریم ریشه‌های این عدم تقارن زمانی را در مدل‌های بنیادین فیزیک بیابیم یا دست‌کم برخی ساختارهای نامتقارن زمانی باید به عنوان ویژگی‌های اساسی مدل‌های رایج فیزیکی شناخته‌شوند.

قانون دوم ترمودینامیک که به‌وضوح دارای عدم تقارن زمانی است با بیان کلوین چنین است: هیچ فرآیند ترمودینامیکی وجود ندارد که تنها اثر آن این باشد که گرمایی که از منبعی در دمای ثابت خارج شده را به‌طور کامل به کار تبدیل کند و طبق بیان کلاوژیوس هیچ فرآیند ترمودینامیکی وجود ندارد که تنها اثر آن خروج مقداری گرما (Q) از مخزن سردتر و تحویل آن به مخزن گرم‌تر باشد (ونکاتارامن ص ۲۲ و یوفینک ص ۲۵). بیان کلاوژیوس به وضوح رفتار ضد ترمودینامیکی را حذف می‌کند. یک میله سرد نمی‌تواند (بدون وقوع هیچ چیز دیگر) به میله گرم گرما بدهد.^۵

وقتی قوانین ترمودینامیک صورت‌بندی شد، کلاوژیوس قانون دوم را دایر بر اینکه انتقال گرما یک فرآیند جهت‌دار است متضمن نوعی برگشت‌ناپذیری این فرآیند دانست و پس از آن تلاش کرد آن را به عنوان یک مشخصه بنیادی جهان طبیعی معرفی کند. مسئله برگشت‌ناپذیری توجه زیادی را به خود جلب کرد. تامسون معتقد بود که این قانون همان‌طور که کتاب مقدس بر گذرا بودن جهان اشاره دارد، نشان می‌دهد که پس از یک دوره زمانی زمین به صورت تدریجی سرد می‌شود و برای سکونت انسان نامناسب خواهد بود. هلمهولتز نیز استدلال مشابهی داشت. او معتقد بود تمام انرژی خورشید در نهایت به صورت گرما تلف می‌شود و جهان از آن به بعد محکوم به یک حالت ثبات ابدی خواهد بود. کلاوژیوس نیز نتیجه کیهان‌شناختی قانون دوم ترمودینامیک را «مرگ گرمایی» جهان

می دانست. گروهی دیگر که چندان بدبین نبودند این ایده را طرح کردند که چنین نتیجه بدبینانه‌ای الزام‌آور نیست و ممکن است جهان دارای کرانه‌ای باشد که در آن کرانه انرژی تلف شده دوباره بازیافت شود. البته این اندیشه‌ها در بین فیزیکدانان قرن نوزدهم با اندیشه‌های کلامی و دینی نیز پیوند داشت و در این سنت بی سابقه نبود (هارمن، ۱۹۸۲، فصل ۳).

امروزه یک فرآیند برگشت‌پذیر ترمودینامیکی به فرآیندی گفته می‌شود که چنان آهسته و به کندی صورت می‌گیرد که در آن سیستم همواره در حالت تعادل باقی می‌ماند. آنتروپی در یک فرآیند برگشت‌پذیر به مسیر طی شده (در منحنی فشار-حجم) بستگی ندارد و همواره اختلاف آنتروپی بین ابتدا و انتهای مسیر ثابت است. همچنین تغییر آنتروپی کل در مسیر رفت و برگشت برای یک فرآیند برگشت‌پذیر صفر است. اما برای فرآیند برگشت-ناپذیر آنتروپی خالص تغییر می‌کند. از این رو تغییر آنتروپی صفر نیست بلکه مقداری مثبت است. به این ترتیب آنتروپی یک سیستم ترمودینامیکی با طی مسیر برگشت‌ناپذیر افزایش می‌یابد. بر این اساس اگر یک سیستم ترمودینامیکی گازی در نظر بگیریم که دماهای قسمت‌های مختلف‌اش متفاوت است واضح است که این سیستم در وضعیت تعادلی نیست؛ گرما از نواحی گرم‌تر به نواحی سردتر منتقل می‌شود تا زمانی که کل سیستم هم‌دما بشود. در آن زمان سیستم در تعادل ترمودینامیکی خواهد بود و در طی این فرآیند به سمت تعادل، آنتروپی افزایش می‌یابد و در حالت تعادل به بیشینه‌ی خود می‌رسد. اگر بتوانیم جهان را نیز با سیستم بسته‌ای تقریباً بزنیم که قسمت‌های مختلف آن دماهای مختلفی دارند انتظار داریم آنتروپی جهان نیز مانند سیستم گازی مذکور افزایش یابد (ونکاتارامن^۷، ۱۹۹۷، ص ۲۸-۳۶). پیکان ترمودینامیکی وابسته به رفتار آنتروپی در سیستم‌های بسته است که طبق قانون دوم ترمودینامیک با زمان افزایش می‌یابد. آنتروپی معیاری از مقدار بی‌نظمی در یک سیستم فیزیکی است. به طوری که سیستم با آنتروپی بالا از سیستم با آنتروپی پایین بی‌نظم‌تر است. در سیستم‌های فیزیکی با اجزای زیاد تحول طبیعی به سمت بی‌نظمی بیشتر است

بی‌نظمی در مقایسه با نظم از راه‌های (شیوه‌های) بسیار بیشتری می‌تواند تحقق یابد. به عبارت دیگر سیستم‌های فیزیکی تمایل دارند به سمت حالت‌هایی با آنتروپی بالاتر تحول یابند. دقت کنیم که در واقع قانون آنتروپی یک قانون قطعی نیست؛ یعنی ممکن است یک سیستم از حالت آنتروپی بیشتر به حالت آنتروپی کمتر برود، ولی احتمالش کم است. در واقع

عدم تقارن ترمودینامیکی زمان و فرضیه گذشته برای کیهان اولیه ۱۷۵

می توان گفت بر اساس قانون دوم، افزایش آنتروپی فقط یک احتمال آماری است و نه یک واقعیت اجتناب ناپذیر طبیعی^۸ (یعنی احتمال آن بسیار اندک است ولی ممنوع نیست) (گرین، ۲۰۰۴، صفحات ۱۴۳-۱۷۷).

قوانین ترمودینامیک قوانینی پدیدارشناسانه اند^۹ و ایده آل این است که بتوان این قوانین را با قوانین بنیادی تری توضیح داد و تبیین کرد. به این معنا که عدم تقارن زمانی حاکم بر جهان بزرگ مقیاس را بر حسب قوانین جهان کوچک مقیاس توضیح دهیم. اما مشکل اینجاست که این قوانین به نظر متقارن می رسند، زیرا آن ها نسبت به معکوس کردن زمان ناوردا هستند^{۱۰} و تفاوتی بین گذشته و آینده نمی گذارند. پس این عدم تقارن ترمودینامیکی از کجا می آید؟ سؤال این است که اگر قوانین فیزیک به این امر اجازه می دهند و این قوانین با هر دو فرآیند به طور برابر رفتار می کنند چرا یکی اتفاق می افتد و دیگری نه؟ اگر برای قوانین فیزیک هر دو جهت گیری زمان متقارن است چرا خود تجربیات نامتقارن اند؟ جهت گیری تجربی و مشاهده شده از زمان از کجا می آید؟ تقارن وارونی زمان درباره خود زمان نیست که معکوس یا خلاف جهت شود. بلکه منظور این است که آیا رویدادهایی که در زمان اتفاق می افتند و در یک جهت زمانی ویژه روی می دهند ممکن است در ترتیب معکوس نیز روی دهند یا نه؛ لذا عبارت دقیق تر می تواند برگشت پذیری رویداد یا برگشت پذیری فرآیند یا برگشت-پذیری ترتیب رویداد باشد (گرین، ۲۰۰۴، صفحه ۱۴۶).

۳. فرضیه ی گذشته برای کیهان اولیه

کلاوزیوس پس از ارائه بیان آنتروپی قانون دوم دایر بر این که آنتروپی یک سیستم بسته همواره افزایش می یابد، آن را به کل جهان تعمیم داد و ادعا کرد که انرژی کل جهان ثابت است و آنتروپی کل جهان به سمت مقداری بیشینه میل می کند. این تعمیم نقطه ورود مباحث کیهان شناختی به این موضوع بود که مناقشات و بحث های زیادی را تا به امروز برانگیخته است (رک به مقاله مفصل یوفینک، ۲۰۰۱).

برای پاسخ به مسأله ی عدم تقارن ترمودینامیکی زمان، یک فرض کیهان شناختی این ادعا است که در گذشته ی بسیار دور آنتروپی بسیار کمتر بوده است. بولتزمن، اینشتین، فاینمن، شرودینگر و بسیاری از دیگر فیزیکدانان معاصر معتقدند (چنانچه ریشه پیکان زمان را پیکان ترمودینامیکی بدانیم) این فرضیه با توجه به قوانین نامتقارن زمانی ضروری است. بولتزمن شرط آنتروپی اندک اولیه را به این شکل توضیح داد که جهانی که مشاهده می کنیم یک

افت و خیز آماری طبیعی به دور از تعادل، در جهان بسیار بزرگ‌تر بوده است. در واقع این فرض کیهان‌شناختی را داریم که در آغاز، جهان در ناحیه باریکی از فضای فاز اولیه بوده که آنتروپی بسیار پایینی داشته است، و به همین دلیل است که حالت‌های پیشین نسبت به حالت‌های فعلی آنتروپی بیشتری ندارند (کلندر، ۲۰۱۱).

فرضیه گذشته که نخستین بار توسط آلبرت نام‌گذاری شده با تقریر خودش چنین است: عدم تقارن مشاهده شده در مکانیک آماری - به ویژه تمایل آنتروپی برای افزایش و نه کاهش - می‌تواند از فیزیک کوچک مقیاس که تقارن زمانی دارد به دست آید، به شرط این که فرض کنیم آنتروپی جهان اولیه در مقایسه با آنتروپی جهان فعلی بسیار کوچک است. از این دید پایین‌ترین جایگاه آنتروپی کیهان اولیه و انفجار بزرگ است و جهت زمان ناشی از پیکان آنتروپی است.^{۱۱} از ایده فرضیه گذشته بولتزمن تقریرهای مختلفی ارائه شده است. تقریر آلبرت (۲۰۰۳) از آن رایحه‌ای نوکانتی دارد؛ به این معنا که آنرا شرطی ضروری برای امکان دانش ما از گذشته (حافظه) می‌داند. اما پنروز (۱۹۷۹، ۱۹۸۹، ۲۰۰۴) تلقی‌ای قانون‌مند از این فرضیه دارد؛^{۱۲} برخی هم (مانند پرایس ۲۰۰۴ و کلندر ۲۰۰۴) معتقدند که این فرضیه بر واقعیت‌های احتمالی (غیر) قابل توضیح متکی است. از نظر ارمن آنچه در فلسفه علم درباره فرضیه گذشته رایج است یک جزم است؛ تعصبی بدبینانه است که درست تعریف نشده است (ارمن، ۲۰۰۶). از نظر برخی خیلی عجیب است که مثلاً بگوئیم گازها همواره به این دلیل در حجمی که در دسترس‌شان قرار می‌گیرد منبسط شوند که شرایط اولیه جهان یک حالت خاصی داشته است. عجیب بودن این حرف در اینجاست که رویدادهایی چون انبساط همیشگی گازها دلیل مشترکی داشته باشد، خصوصاً که آن دلیل مشترک (آنتروپی اندک اولیه) هم خودش بسیار نامحتمل است! در قسمت‌های بعد به این انتقادات و امثال آن خواهیم پرداخت.

۴. بحث‌ها و انتقادات پیرامون فرضیه گذشته

۱.۴ نقدهای زرمولو و لوشمیت به بولتزمن بر اساس قضیه پوانکاره

به‌طور تاریخی درباره قانون دوم بحث‌های جالبی بین بولتزمن و معاصرانش^{۱۳} در گرفت. نقد برگشت‌پذیری (reversibility objection) لوشمیت و نقد برگشتی (recurrence objection) زرمولو از اینجا برخاستند. بولتزمن ابتدا یک نظریه به اسم نظریه H ارائه کرد که بر اساس آن

آنتروپی باید همیشه افزایش یابد. زرمولو (۱۸۹۶) و لوشمیت (۱۸۷۶/۱۸۷۷) آنرا نقد کردند. نقد آن‌ها بر این اساس بود که اگر دینامیک مکانیک کلاسیک را اصل بگیریم، غیرممکن است که هیچ تابعی (از جمله آنتروپی) از حالت کلاسیک به‌طور یکنواخت افزایش یابد. لوشمیت روی ناوردایی نسبت به وارونی زمان دینامیک کلاسیک تمرکز کرد و زرمولو روی ویژگی بازگشتی آن.

طبق قضیه پوانکاره (Poincaré) هر سیستم کلاسیکی که به ناحیه‌ی منتهای فضای فازش محدود شده‌است (هر سیستم کلاسیکی که می‌تواند در یک جعبه باشد و یک انرژی کل منتهای و تعریف‌شده‌ی معین دارد) در طولانی مدت، همواره به شرایط اولیه‌اش (یا به نزدیک آن) برمی‌گردد. پس تمام فرآیندهای برگشت‌ناپذیری که درون حجم‌های منتهای و منزوی از فضای فاز اتفاق می‌افتند، سرانجام با احتمال یک معکوس می‌شوند. از این‌رو به‌طور ناگزیری از قوانین نیوتنی حرکت و فرض آماری^{۱۴} به‌دست می‌آید که (الف) احتمال افزایش یا کاهش آنتروپی هر سیستم ترمودینامیکی در هر حالت بزرگ‌مقیاس برابر است؛ (ب) در تاریخ کل هر سیستم ترمودینامیکی منفرد - که برای همیشه ایزوله و محدود به ناحیه‌ی منتهای ویژه از فضای فاز است - تعداد قسمت‌هایی که آنتروپی آن‌ها افزایش می‌یابد و تعداد قسمت‌هایی که آنتروپی آن‌ها کاهش می‌یابد با احتمال یک، برابر خواهد بود^{۱۵}. اما به نظر می‌رسد این نتیجه با نظرات بولتزمن و گیس در تضاد باشد. زیرا طبق نظر ایشان قوانین نیوتنی حرکت و فرض آماری مستلزم آن است که اکثریت قاطع مسیرهایی که از هر حالت بزرگ‌مقیاس خاص با آنتروپی غیربیشینه عبور می‌کنند - آنتروپی‌شان به سمت آینده افزایش یابد، که (به‌طور دقیق‌تر) اندازه، یا اندازه‌ی استاندارد مسیرهایی عبوری از هر حالت بزرگ‌مقیاس خاص که آنتروپی‌شان به سمت آینده افزایش می‌یابد به‌طور قاطعی بزرگ‌تر از اندازه‌ی استاندارد آن‌هایی است که افزایش نمی‌یابد (آلبرت، ۲۰۰۳، ص ۷۱-۸۱).

ایراد زرمولو و لوشمیت در واقع چنین است: با توجه به ناوردایی قوانین حرکت نسبت به وارونی زمان و فرض آماری چنین به‌نظر می‌رسد که از نظر آماری، فرایندهای کاهش آنتروپی به همان اندازه فرایندهای افزایش آنتروپی طبیعی، آشنا و متداول باشد (آلبرت، ۲۰۱۰، ص ۷۱-۷۲).

پاسخ بولتزمن به نقدهای طرح شده این بود که قضیه‌ی پوانکاره از نظر او نیز درست است، اما نحوه‌ی استفاده زرمولو از آن برای نظریه‌ی گرما درست نیست. طبیعت منحنی H

(آنتروپی بر حسب زمان) که می‌تواند از نظریه‌ی جنبشی استنتاج شود به شکلی است که اگر یک حالت اولیه به مقدار قابل ملاحظه‌ای از توزیع ماکسول عدول کند با احتمال بسیار زیاد به سمت آن توزیع برمی‌گردد و در زمان بسیار طولانی تنها به مقداری بسیار اندک از آن منحرف می‌شود. گرچه اگر کسی به اندازه‌ی کافی طولانی صبر کند سرانجام حالت اولیه دوباره اتفاق می‌افتد اما زمان لازم برای رویداد مجدد حالت اولیه آنقدر طولانی است که امکان مشاهده‌ی مجدد آن وجود ندارد. بولتزمن در توضیح خود از استدلالی که ماکسول در خصوص آزمایش شیطانک ماکسول^{۱۶} ارایه کرده بود نیز بهره برد. بولتزمن گفت، برخلاف اظهارات زرمولو، معدود حالت‌های اولیه‌ای که از توزیع ماکسول عدول می‌کنند، به لحاظ عددی بسیار کمتر از آنهایی هستند که به این توزیع میل می‌کنند. بولتزمن از این واقعیت برای تبیین فرایندهای برگشت‌ناپذیر بر اساس نظریه‌ی جنبشی استفاده کرد (بولتزمن، ۱۸۹۶) و به نتیجه‌ای رسید که ماکسول چندین سال قبلش در توضیح آزمایش فکری شیطانک ماکسول ارایه کرده بود:

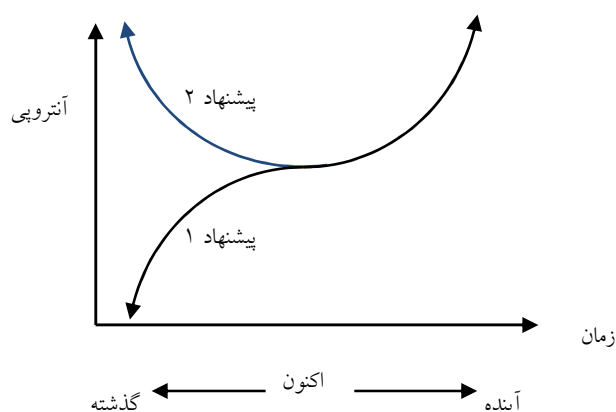
قضیه‌ی کمینه (قضیه‌ی H) مانند قانون دوم ترمودینامیک تنها نظریه‌ای احتمالاتی است. قانون دوم هرگز نمی‌تواند تنها به وسیله‌ی معادلات دینامیکی اثبات شود (بولتزمن، ۱۸۹۵، ص ۴۱۴).

بولتزمن در پاسخ زرمولو این‌طور استدلال کرد که طبق دیدگاه جنبشی-مولکولی قانون دوم ترمودینامیک یک نظریه‌ی کاملاً احتمالاتی است. درست است که در حالت احتمالاتی رویدادهای نادر هم رخ می‌دهد؛ اما در این‌جا از این‌که ما هرگز حالت استثنایی را مشاهده نمی‌کنیم نمی‌توان نتیجه گرفت که نظریه‌ی آماری ما غلط است، زیرا بر اساس همین نظریه‌ی آماری می‌توان گفت وقتی تعداد مولکول‌ها زیاد باشد، احتمال یک استثنا به طور عملی صفر است (بولتزمن، ۱۸۹۶).

این نقدها و پاسخ‌های بولتزمن منجر به تلاش برای ارایه‌ی تفسیری «تیبیکال» (typical) از برگشت‌ناپذیری شد.

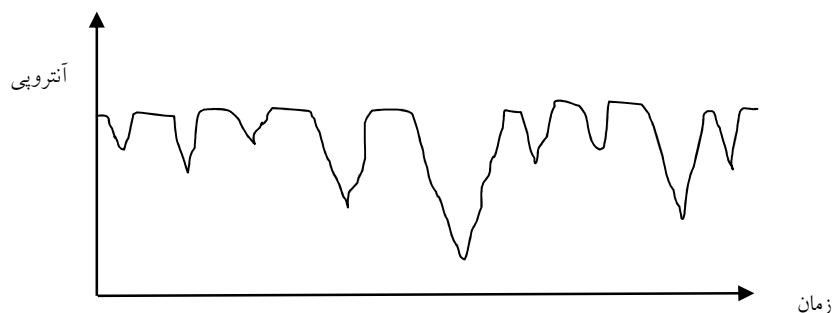
گلدشتاین تیبیکال بودن (typicality) را چنین تعریف می‌کند: بر طبق سناریوی بولتزمن، اکثریت قاطع نقاط فاز، آن‌چنان‌که با حجم فضای فاز نسبی اندازه‌گیری می‌شوند، در حالت-بزرگ مقیاس اولیه کیهان (برای زمان‌های معقول که در مقیاس سن فعلی کیهان خیلی بزرگ نباشند) به شکلی تحول می‌یابند که آنتروپی زیرسیستم‌های آن‌ها رو به افزایش باشد و رفتار برگشت‌ناپذیر بروز دهند. نقاطی که چنین رفتاری دارند را نقاط تیبیکال فضای فاز می‌نامیم

و انتظار داریم که این رفتار در جهان ما غالب باشد. این رفتاری است که به طور «تیبیکال» اتفاق می‌افتد نه آن‌که به طور «اجتناب‌ناپذیری» باید اتفاق بیافتد (گلدشتاین، ۲۰۰۱). آلبرت نیز معتقد است دستاورد بولتزمن و گیس (در فرضیه‌ی گذشته) آن است که باعث شود رفتار تیبیکال موجه به نظر برسد.



شکل ۱: معمولاً گفته می‌شود قانون دوم ترمودینامیک به طور ضمنی بیان می‌کند که آنتروپی به سمت آینده‌ی هر لحظه‌ی مفروض افزایش می‌یابد (منحنی پیشنهاد ۱). اما از آنجا که قوانین طبیعت به سمت جلو و عقب در زمان یکسان رفتار می‌کنند، قانون دوم در واقع بیان می‌کند که آنتروپی به دو سوی آینده و گذشته‌ی یک لحظه‌ی مفروض افزایش می‌یابد (منحنی پیشنهاد ۲) (شکل ۶.۳ ص ۱۶۶ گرین، ۲۰۰۴).

یکی از انتقاداتی که به فرضیه گذشته وارد شده است این است که معنای انتساب آنتروپی به کل جهان روشن نیست. بحث‌هایی وجود دارد از قبیل اینکه آیا قانون دوم برای کل جهان صادق است یا تنها برای قسمتی و زیرمجموعه‌ای از آن؟ یعنی آیا آنتروپی کل جهان در حال افزایش است، یا تنها قسمتی از آن؟ (یوفینک، ۲۰۰۱) برخی از فلاسفه و فیزیک‌دانان، خصوصاً آن‌ها که دیدگاهی عملیات‌گرایانه (operationalism) دارند، با نسبت دادن آنتروپی به کل جهان مخالفند (کلندر، ۲۰۱۱).



شکل ۲: طرح‌واره‌ای از آنتروپی کل جهان در طول زمان. این طرح نشان می‌دهد که جهان در بیشتر زمان‌ها در حالت بی‌نظمی کامل / آنتروپی بالا بوده‌است و هراز گاهی افت و خیزهایی را با حالت‌هایی شامل درجاتی از نظم و آنتروپی پایین تجربه می‌کرده‌است (گرین، ۲۰۰۴، فصل ۶)

با این وجود چنانچه بتوانیم به کل جهان آنتروپی نسبت دهیم، بولتزمن معتقد است که در آن صورت آنتروپی اولیه بسیار پایین خواهد بود. همان‌طور که در قسمت «تفسیر تپیکال از بازگشت‌ناپذیری» توضیح دادیم تنها در حالتی که آنتروپی در گذشته اندک باشد با امکان حافظه همخوانی دارد.

ایراد دیگری در اینجا وارد شده است: اکنون که به جهان نگاه می‌کنیم مقدار زیادی نظم فیزیکی و ساختار شیمیایی و سازمان بیولوژیک می‌بینیم. اگرچه جهان می‌توانست یک آشفته‌ی بی‌نظم باشد ولی نیست؛ پس نظم از کجا می‌آید؟ به شدت نامحتمل است که جهان فعلی از جهانی با نظم بیشتر (آنتروپی کمتر و لذا بسیار نامحتمل‌تر) به جهان فعلی رسیده باشد. به علاوه چون کیهان دارای اجزاء بسیاری است، مقیاس بی‌نظمی نسبت به سیستم‌های ترمودینامیکی دیگر بزرگ‌تر است. پس این بسیار محتمل‌تر است که همه‌ی جهانی که می‌بینیم، از افت‌وخیزهای آماری نادری ناشی شده باشد که از چینی کاملاً بی‌نظم با آنتروپی بالا که محتمل‌تر است، نشئت گرفته باشد. ولی در نظر بولتزمن اگر به اندازه‌ی کافی منتظر بمانیم - تقریباً به اندازه ابدیت - سرانجام جهان در بین تمامی حالت‌های ممکن‌اش به حالت فعلی می‌رسد. اما اگر قرار بود آنتروپی به سمت گذشته و آینده زیاد شود، آن‌وقت به حافظه هم نمی‌شد اعتماد کرد، چون حافظه هم در زمان‌های قبل‌تر بی‌نظم بوده است و به این اعتبار قابل اعتماد نیست. از طرفی ثبت و تحلیل کلیه‌ی آزمایش‌ها به حافظه وابسته است؛ و اگر نتوان به حافظه اعتماد کرد، پس به آزمایش‌ها هم نمی‌توان

اعتماد کرد! در این صورت فرایند صورت‌بندی همه قوانین از جمله آنتروپی زیر سوال می‌رود! پس با پذیرفتن این نتیجه که جهانی که می‌شناسیم یک افت‌وخیز نادر ولی به لحاظ آماری محتمل از پیکربندی‌ای بی‌نظم است به این باتلاق می‌افتیم که همه‌ی فهم‌مان، از جمله همین استدلال زنجیره‌ای که ما را به این توضیح عجیب رسانده است نامعتبر است. چه ایده یا مفهومی به غیر از آنتروپی و تقارن زمانی قوانین طبیعت مورد نیاز است تا بتوانیم دوباره به حافظه‌مان اعتماد کنیم؟ آیا ممکن است آنتروپی را در آینده بیشتر و در گذشته کمتر در نظر بگیریم؟ بله ممکن است. ولی تنها به شرطی که همه‌چیز در ابتدا بسیار ویژه باشد (گرین، ۲۰۰۴).

۲.۴ نقد زیرمجموعه بر فرضیه‌ی گذشته

فرضیه‌ی گذشته با نقدهای متفاوتی روبرو است. یک انتقاد قدیمی را می‌توان نگرانی زیرمجموعه نامید. این با فرضیه‌ی گذشته سازگار است که هیچ یک از زیرمجموعه‌های روی زمین هرگز به طور دائم رفتار نامتقارن ترمودینامیکی نشان نمی‌دهد. حتی با فرض درست بودن فرضیه‌ی گذشته، دقیقاً چگونه افزایش آنتروپی جهانی موجب افزایش آنتروپی محلی در میان زیرمجموعه‌ها می‌شود؟ از کجا معلوم که پیکان آنتروپی در زیرمجموعه‌ها به جای افزایش رو به کاهش نباشد؟ چرا باید پیکان ترمودینامیکی زمان جهانشمول (universal) و در همه‌جا به همان شکل باشد؟ اینکه بپذیریم پیکان آنتروپی برای حالت کل جهان به این شکل بوده که در جهان اولیه مقدار آن بسیار پایین بوده و سپس رو به افزایش بوده‌است، چگونه به این منجر شده‌است که این پیکان بدون استثنای خاصی در تک تک زیرمجموعه‌های جهان نیز به همان شکل برقرار است؟

کوپرواسر و همکاران (۲۰۱۰) با کمک شبیه‌سازی عددی (نقشه‌ی نانواپی (baker's map) می‌کوشند با کمک فیزیک آماری به این انتقاد پاسخ دهند. آن‌ها دو زیرمجموعه را با پیکان‌های متضاد اولیه در نظر می‌گیرند و نشان می‌دهند اندرکنش بین آن دو، پیکربندی را به لحاظ مکانیکی ناپایدار می‌سازد و آن را به سمت یک مجموعه با جهتی جهانشمول برای پیکان زمان سوق می‌دهد (کوپرواسر و همکاران، ۲۰۱۰). اگرچه این روش که با شبیه‌سازی به دنبال پاسخ به نقد زیرمجموعه‌ها و بررسی ارتباط آن‌ها با کلان‌مجموعه بوده‌اند جالب است اما به نظر می‌رسد صرف دو زیرمجموعه برای پاسخ به این مشکل کافی نباشد و برای نشان‌دادن تاثیر پیکان کلان‌مجموعه بر روی زیرمجموعه‌ها، به شبیه‌سازی با زیرمجموعه-

های بیشتری نیاز است. به علاوه ماهیت بزرگ‌مقیاس و آشوبناک سیستم‌ها نیز باید در نظر گرفته شود که به لحاظ آماری و ریاضیاتی کار را دشوارتر می‌کند.

۳.۴ موضع شرویدینگر درباره‌ی فرضیه‌ی گذشته

شرویدینگر در رابطه با فرضیه‌ی گذشته موضع دیگری دارد. او می‌گوید همه‌ی آنچه که برای فهم فرضیه‌ی گذشته باید به حساب آوریم این است که همچنان که زمان به جلو می‌رود آنروپی هرگز (به طور خود به خود) کاهش نمی‌یابد. همه‌ی آنچه که موجب اختلافات شده معنای «زمان به جلو می‌رود» است. این از دیدگاه اساسی بولتزمن و گیبس که تقارن نسبت به وارونی زمان را کاملاً قبول دارند نشأت گرفته است. طبق دیدگاه آنان اگر در یک لحظه‌ی مفروض، دو سیستم جداگانه در حالت بزرگ‌مقیاس با آنروپی غیربیشینه باشند و توزیع احتمال روی حالت‌های کوچک مقیاسی که با آن حالت‌های بزرگ‌مقیاس منطبق‌اند، مقدار یکنواخت استاندارد در نظر گرفته شود، آن‌گاه بسیار محتمل است که آنروپی هر دو سیستم به سمت گذشته افزایش یابد یعنی بسیار محتمل است که آنروپی آن‌ها به طور موازی تحول یابد. این دو سیستم مورد بحث می‌تواند هر حالت بزرگ‌مقیاسی باشد؛ برای مثال یکی می‌تواند سیستم تحت مطالعه باشد و دیگری باقی جهان. درحالی‌که از نظر شرویدینگر «جهتی که زمان به سمت جلو می‌رود» چیزی نیست به جز «جهتی که آنروپی بخش اعظم جهان، جهتی که آنروپی سیستم مرجع طبیعی، افزایش می‌یابد». از این رو شرویدینگر معتقد است که در اینجا از اول مسأله‌ای وجود نداشته که قابل بحث باشد. به این معنا که جهت زمان از اساس با افزایش آنروپی تعریف می‌شود. در واقع از نظر شرویدینگر «زمان به جلو می‌رود» چیزی جز «آنروپی افزایش می‌یابد» نیست و مشکلاتی که پیش آمده از این فرض ناشی شده که می‌توان، مستقل از این‌که آنروپی کاهش یا افزایش یابد، زمان را به عقب برگرداند. از طرفی آلبرت (۲۰۰۳) معتقد است کاری که شرویدینگر انجام می‌دهد حذف مسأله‌ی گذشته با حذف خود گذشته است، درحالی‌که آلبرت معتقد است باید گذشته را واقعی در نظر بگیریم (آلبرت، ۲۰۰۳، ۸۷-۸۹).

۴.۴ نقد ارمن بر فرضیه‌ی گذشته بر اساس گرانش

اما گرانش چه تاثیری در فرضیه‌ی گذشته دارد؟ پاول دیویس (Paul Davies) می‌گوید منشأ برگشت‌ناپذیری ترمودینامیکی در جهان واقع سرانجام به گرانش بر می‌گردد. آلبرت می-گوید اگر منظور دیویس آن است که طبیعت آن حالت‌های بزرگ‌مقیاس در جهان که آنتروپی آن‌ها به‌طور ویژه بالا یا پایین است بیشتر تحت تاثیر وجود گرانش است، حق با اوست. برای مثال در نظر بگیریم که ستاره‌ها چطور به وجود می‌آیند. آنچه اتفاق می‌افتد این است که یک ابر غبار پراکنده‌ی اولیه - تحت تاثیر گرانش خودش - متراکم می‌شود و این تراکم به لحاظ ترمودینامیکی یک فرآیند برگشت‌ناپذیر است پس باید آنتروپی حالت متراکم بالاتر از آنتروپی حالت پراکنده باشد. پس به نظر می‌رسد چنین باشد که ذرات غبار همان‌طور که به سمت یکدیگر سقوط می‌کنند، مقدار زیادی تکانه در راستاهای مختلف داشته‌باشند. به‌طوری‌که حالت متراکم پراکنده‌ترین حالت در فضای μ ^{۱۷} باشد. اما هر چیزی بیشتر از این از نظر آلبرت پوچ است، اعم از اینکه اثر گرانش - کمابیش مستقل از ماهیت حالت کوچک‌مقیاس اولیه‌ی جهان - علت افزایش آنتروپی باشد، یا اینکه اگر جاذبه ناگهان دافعه شود آنتروپی جهان ناگهان کاهش یابد (آلبرت، ۲۰۰۳، ص ۹۰).

ارمن در این میان مخالف به‌کارگیری شرایط مرزی نامتقارن زمانی برای حل مسأله‌ی یکان ترمودینامیکی زمان نیست، اما با این حال منتقد فرضیه‌ی گذشته است و آن‌را حتی آن‌قدر منسجم نمی‌داند که بتوانیم درباره‌ی غلط بودن آن قضاوت کنیم. مشکل اصلی او با فرضیه‌ی گذشته این است که وقتی خود-گرانشی^{۱۸} وارد می‌شود مشکل‌ساز می‌شود و نمی‌توانیم آن را به زبان نسبیّت‌عام بیان کنیم.

ارمن انکار نمی‌کند که اگر برخی عدم‌تقارن‌های زمانی مشاهده‌شده نتیجه‌ی قوانین فیزیک نباشند، منشأ آن‌ها را باید کماکان در شرایط مرزی / اولیه جست. او همچنین می-پذیرد که معنایی از «آنتروپی» وجود دارد که طبق آن جهان اولیه در حالت آنتروپی پایین بوده‌است. اما به نظر او کیهان‌شناسی‌های منتج از نظریه‌ی نسبیّت‌عام نمی‌تواند توضیح درست و مناسبی برای این فرض ارائه کند که چرا آنتروپی بولتزمانی جهان اولیه باید مقداری اندک باشد. حتی اگر فرض کنیم چنین هم باشد، باز هم صرفاً فرض این مقدار پایین، به تنهایی، برای توضیح انواع عدم تقارن‌های آنتروپیک مشاهده‌شده‌ی کنونی کافی نیست؛ مثلاً این فرض پاسخ‌گوی عدم تقارن معرفت‌شناسانه و هستی‌شناسانه بین گذشته و آینده نیست.

به اعتقاد ارمن حتی اگر یک آنتروپی بولتزمنی خوش تعریف برای جهان وجود داشته باشد که سهم گرانش را در آنتروپی در نظر بگیرد و مقدار این آنتروپی نیز برای حالت اولیه کیهان بسیار اندک باشد باز هم مشکل حل نمی‌شود. با توجه به اینکه مقدار کنونی آنتروپی (با عنایت به نظم فوق العاده جهان) کم است، تضمینی نیست که افزایش آنتروپی از گذشته دور تا حال به صورت «تکنوا» افزایش یافته باشد. اگر داستان طرفداران فرضیه‌ی گذشته درست بود آن وقت هرچقدر آنتروپی حالت «اولیه» پایین‌تر باشد بهتر است. راه اینکه آنرا کمتر کنیم این است که حالت را یک‌ریخت (uniform) در نظر بگیریم. اما با یک حالت اولیه کاملاً یک‌ریخت تشکیل ساختار اتفاق نمی‌افتد و زیرمجموعه‌هایی نخواهند بود که ترمودینامیک-آماری به شکل شناخته شده‌اش در آنها عمل کند.

مادلین (۲۰۱۵) نیز در فصل آخر کتابش جهت زمان را منوط به بازنگری بُعد و توپولوژی زمان می‌داند. درک اولیه‌ی ما از ساختار زمانی عالم با زمان مطلق نیوتنی سازگاری دارد به این معنی که در هر لحظه‌ی مفروض کل عالم در یک حالت است و حالت آن در زمان‌های بعدی منحصراً با توجه به حالت‌اش در زمان‌های قبل مشخص می‌شود. در حالی که در نسبیت عام قضیه متفاوت است، زیرا دیگر هیچ هم‌زمانی مطلق وجود ندارد؛ هیچ لحظه‌ای در سرتاسر همه‌ی فضا گسترش نمی‌یابد. بلکه ساختار رویدادهای خاص فضا-زمان ساختار زمان را تعیین می‌کند (مادلین، ۲۰۱۵).

آنتروپی بولتزمن یک کمیت جهانی (global) است که حالت بزرگ‌مقیاس سیستم را مشخص می‌کند؛ در اینجا سیستم، کل جهان است. اینکه مقدار این کمیت اندک است قید بسیار کوچکی را روی حالت زیرمجموعه‌هایی که به دنبال توضیح رفتار آنها هستیم، می‌گذارد. اگر هم آنتروپی بولتزمنی حالت اولیه‌ی جهان، به دلیل سهم گرانش اندک باشد، در این صورت وضعیت بدتر هم هست، چرا که سهم مذکور به نوع مجموعه‌های مورد نظر ما ربطی ندارد؛ به فاصله این اجزاء ربط دارد و از آنجا که مقیاس طول سیستم‌های ترمودینامیکی تپیکالی که برای ما جالب‌اند کمتر از «طول جینز»^{۱۹} است خودگرانشی در آنها اهمیتی ندارد.^{۲۰} برای مثال برای هر جعبه‌ی نرمال گاز مفروض در تجربیات آزمایشگاهی، خود فشار گاز کافی است تا مولکول‌های گاز را از فروپاشی گرانشی بازدارد.

۵. جهان اولیه با آنتروپی کم: فرضیه یا واقعیت؟

از دیدگاه معرفت‌شناسانه نیز نگاهی به این بحث بیندازیم. حالت بزرگ‌مقیاس فعلی جهان (از دیدگاه بولتزمن و گیس) با انتظارات ما از آینده سازگار است، و باید با دانش ما درباره گذشته نیز سازگار باشد. مشکل با حالت مذکور این است که همراه با قوانین حرکت (که تقارن وارونی زمانی دارند) مستلزم آن خواهد بود که من و شما در گذشته مسن‌تر بوده- باشیم و ساختمانی که در آن زندگی می‌کنیم در گذشته فرسوده‌تر از اکنون‌اش باشد و ظرف یخی که نیمه‌اش آب‌شده و اکنون روبروی من است در گذشته بیشتر ذوب شده باشد و در کل آنتروپی جهان در گذشته بسیار بیشتر از اکنون باشد. نتیجه این می‌شود که گویی درباره- ی هر چیز که به طور شهودی درباره‌ رویدادهای جهان که مطمئن هستیم کاملاً اشتباه می- کنیم. اگر کسی بپرسد که این اطمینان از کجا می‌آید، احتمالاً پاسخ می‌دهیم که مدرک آن- قدر فراوان و آشنا و غیرقابل بحث است که حتی سخت است بدانیم از کجا باید شروع کنیم: می‌توانیم عکس نشان دهیم یا نوار ضبط‌شده پخش کنیم یا به ردپاها اشاره کنیم یا سوابق فسیلی استخراج کنیم یا در روزنامه‌ها بگردیم یا حافظه‌مان را مورد بررسی قرار دهیم یا هرکاری شبیه به این‌ها؛ چیزهایی که مانند نفس کشیدن طبیعی هستند و آن‌قدر به آن‌ها خو گرفته‌ایم که می‌توانیم زندگی‌مان را سر آن‌ها شرط‌بندی کنیم. اما مشکلی وجود دارد. هر یک از مدرکی که نشان دهیم، همه بخشی از همان حالت بزرگ‌مقیاس فعلی جهان است. از این رو هر ذره از این مدرک همیشه در حال حاضر به طور خودکار در توزیع احتمال فضای فاز جهان در نظر گرفته شده‌است و به همین خاطر نمی‌تواند مستند باشد. توزیع احتمال مذکور دقیقاً نوعی از توزیع است که بر اساس آن بسیار نامحتمل است هریک از چیزهایی که به طور عادی به عنوان مدرکی برای حمایت به کار می‌بریم واقعاً درست باشد. طبق این توزیع عکسی که اکنون از کودکی‌مان در دست داریم، قبلاً زردتر و فرسوده‌تر بوده‌است و زمانی بسیار دور به طور خودبه‌خودی و کاملاً تصادفی از یک مشت کاغذ و محلول و غبار شکل گرفته‌است و تقریباً به طور قطع هرگز هیچ‌کس در جهان نبوده که شبیه این عکس باشد. با مفروض گرفتن حالت بزرگ‌مقیاس جهان در حال حاضر و با این فرض که توزیع احتمال حول حالت‌های کوچک مقیاسی که به کار می‌بریم باید روی تمامیت ناحیه‌ای از فضای فاز که با آن حالت بزرگ‌مقیاس فعلی سازگار است، یکنواخت باشد و با فرض دیدگاه بولتزمن و گیس درباره‌ی قوانین حرکت، بسیار محتمل‌تر است که

همه‌ی عکس‌ها و کتاب‌هایی که می‌توانند به عنوان مدرک به کار روند، در این اتاق طی تصادف به وجود آمده باشند.

برای مثال فرض کنیم به طور اتفاقی چکمه‌ای مندرس را از زیر خاک در آورده‌ایم که حرف N روی آن درج شده‌است. اگر توزیع احتمال حول حالات کوچک‌مقیاس که ما برای استنتاج درباره‌ی جهان به کار می‌بریم روی آن نواحی‌ای از فضای فاز جهان یکنواخت باشد که با هر آنچه تاکنون قادر به مشاهده‌ی مستقیم بوده‌ایم سازگار باشند در آن صورت احتمال اینکه اگر قدری آن طرف‌تر را حفاری کنیم چکمه‌ی مشابه دیگری را پیدا کنیم بسیار اندک است. اما اگر توزیعی که به کار می‌بریم حول آن نواحی‌ای از فضای فاز جهان یکنواخت باشد که هم با هر آنچه تاکنون قادر به مشاهده‌ی مستقیم بوده‌ایم سازگار باشند، هم با اینکه در ابتدا جهان با یک انفجار بزرگ شروع شده باشد، آن‌گاه احتمالاً چکمه‌ی اول مدرکی به‌شمار می‌رود برای این گزاره که زمانی شخصی مانند ناپلئون وجود داشته است و احتمال اینکه اگر قدری آن طرف‌تر را حفاری کنیم، چکمه‌ی مشابه دیگری را پیدا کنیم بسیار قابل توجه است. تجربه‌ی ما امر می‌کند که پیش‌بینی دوم به واقعیت نزدیک‌تر است.

۶. بحث و بررسی

آنچه هنوز جای بحث دارد این است که آیا امکان کاهش آنتروپی به جای افزایش آن - در یک سیستم/فرآیند - تفاوت میان گذشته و آینده را موجه می‌کند؟ نکته اینجاست که به آنکه می‌دانیم امکان کاهش آنتروپی در یک فرآیند برگشت‌ناپذیر نزدیک به صفر است، اما حتی اگر این احتمال اندک روی دهد و آنتروپی کاهش یابد باز هم پیکان زمان معکوس نشده - است و تفاوت گذشته و آینده به کلی از بین نرفته‌است؛ بلکه صرفاً فرآیندی با احتمال کم رخ داده‌است که باز هم در جهت زمان است. در واقع در نهایت شکستن یک تخم‌مرغ جبران شده‌است اما نه برگشت زمان به گذشته. در آن صورت من به‌خاطر خواهم آورد که اجزای تخم‌مرغی که شکسته بود به همدیگر وصل شدند! نه اینکه تخم‌مرغ اصلاً نشکست. به‌عبارتی معکوس شدن زمان به معنای معکوس شدن بی‌نهایت رخداد است که وقوع معکوس هر کدام از آن‌ها بسیار نامحتمل است. اگر کسی بخواهد صبح فردا به طور تصادفی و طبیعی در صبح امروز بیدار شود، علی‌رغم کلی فرآیند تصادفی معکوس که باید در جهان رخ دهد، باید در بدن و ذهن او نیز فرآیندهای معکوس بی‌شماری رخ دهد. پیکان زمان به نظر خیلی گسترده‌تر از آن است که با وقوع یک امر با احتمال اندک (تحول فرآیند

ترمودینامیکی یک تک سیستم به سمت کاهش آنتروپی) به طور کامل منحل شود. به صرف رویداد یک فرآیند کم محتمل در جهت زمانی ای که مورد انتظار نیست مثل جمع شدن تمام مولکول‌های هوای اتاق در یک گوشه، تفاوت گذشته و آینده از بین نمی‌رود.

شاید برای آن که این تمایز برجسته، کم‌رنگ یا ناپدید شود می‌بایست در جهانی زندگی می‌کردیم که در آن آنتروپی به‌طور تصادفی گاهی افزایش و گاهی کاهش می‌یافت؛ به‌طوری که تمایز آشکاری در وزن رخدادها با آنتروپی افزایشی و رخدادهایی با آنتروپی کاهش‌ی نمی‌دیدیم. در آن صورت نیازی به توجیه عدم تقارن ترمودینامیکی نداشتیم چرا که اصلاً وجود نداشت. اما چنین جهانی چگونه می‌بود؟ بدون قابلیت پیش‌بینی رویدادها. جهانی که در آن ظرف حاوی قالب یخ و آب بر حسب تصادف یا آب می‌شد یا به طور کامل یخ می‌بست. در این جهان فرضی، تمایز آشکاری بین آینده و گذشته‌ی رویدادها وجود ندارد. اما سوالی که باقی می‌ماند این است که آیا در چنین جهان فرضی ای زمان نمی‌گذرد؟ به‌نظر می‌رسد در آن صورت دست کم شاخص ترمودینامیکی ای برای پاسخ این سوال نداشتیم. آیا این تصویر با جهانی با قوانین بنیادین متقارن زمانی بیشتر سازگار نیست؟ جهانی که در آن پیکان آنتروپی به‌طور تصادفی در زیر سیستم‌هایش بالا و پایین می‌شود.

در این صورت آنچه گرین در محور افقی شکل ۲ برای توضیح ایده‌ی بولتزمن -نظریه- ی جهان‌های تولید شونده و نابودشونده- در نظر می‌گیرد در واقع یک زمان شماتیک است نه آنچه که ما «زمان» می‌نامیم. چرا که در این شکل پیکان آنتروپی جهان بارها تغییر جهت داده‌است پس زمانی برای اندازه‌گیری یا حتی برای فرض کردن وجود ندارد، دست کم نه به معنای ترمودینامیکی. مگر آن که گذر زمان را به چیز دیگری وابسته بدانیم.

اما بدون توسل به این ایده‌ی بولتزمن یعنی فرضیه‌ی گذشته- که هنوز با نقد زیرمجموعه‌ها روبرو است و نیازمند به این توضیح که چرا پیکان آنتروپی زیرسیستم‌ها با پیکان آنتروپی کل جهان، هم‌جهت است- چگونه می‌توانیم وجود پیکان ترمودینامیکی زمان را توجیه کنیم؟ نظریه دینامیک نیوتنی در تعمیم به مقیاس بزرگ با مشکل مواجه است چرا که الگوریتم‌های یکسانی را برای استنتاج گذشته و آینده پیشنهاد می‌دهد.

اما آیا فرض یک کیهان متفاوت نمی‌تواند مشکل عدم تقارن بزرگ مقیاس را حل کند؟ مثلاً یک هندسه‌ی نامتقارن فضایی که اثراتش در ابعاد کوچک مقیاس دیده نمی‌شود اما در ابعاد بزرگ مقیاس مشخص می‌شود. به همین دلیل تعمیم روابط کلاسیک کوچک مقیاس به روابط بزرگ مقیاس با مشکل مواجه می‌شود. به عبارتی مسأله این است که شاید توپولوژی ای

که برای کیهان در ابعاد کوچک مقیاس در نظر می‌گیریم و آنرا به بزرگ مقیاس تعمیم می‌دهیم درست نباشد. آیا یک توپولوژی متفاوت کیهانی می‌تواند جایگزین شرط مرزی اولیه (فرضیه‌ی گذشته) شود؟ آیا به دست آوردن هندسه‌ی دقیق‌تر کیهان با کمک گرانش می‌تواند مساله پیکان ترمودینامیکی زمان را حل کند؟ اگر هندسه‌ی کیهان یکنواخت نباشد به نظر می‌رسد ممکن است تفاوت بنیادینی بین گذشته و آینده وجود داشته باشد.^{۲۱}

پی‌نوشت‌ها

۱. پیکان روان‌شناختی به این واقعیت معطوف است که ما همواره گذشته را به یاد می‌آوریم و آینده را انتظار می‌کشیم. میان جهت روان‌شناختی زندگی ما و پیکان زمان به طور کامل همبستگی وجود دارد. اما اگر پیکان زمان را پدیده‌ای واقعی بدانیم، نمی‌توان آنرا بر اساس پیکان روان‌شناختی تبیین کرد. چرا که اگر پیکان روان‌شناختی را پایه‌ی تبیین قرار دهیم جهت‌داری زمان امری ذهنی خواهد بود. پس پیکان روان‌شناختی نمی‌تواند تبیین پایه‌ای برای علت جهت‌داری زمان باشد.

۲. لایب‌نیتس نخستین کسی بود که گفت پیکان زمان را باید برحسب علت فهمید. او جهت زمان را صرفاً به عنوان «ترتیب امور غیر همزمان» توصیف می‌کرد و آنرا فی‌نفسه امری واقعی نمی‌دانست. طبق نظر او آنچه واقعیت دارد رابطه‌ی علی است و رابطه تقدم/تاخر صرفاً شیوه‌ی فهم یا باز نمود ما از جهت پیکان علی است (باردون، ۲۰۱۳).

۳. پیکان زمان کیهان‌شناسی به طور ساده برای مختصات کیهانی و بر حسب تحول و انبساط سه بعدی جهان تعریف می‌شود که واضح‌ترین نتیجه‌ی آن بسط بی‌وقفه‌ی کیهان است. پیکان تابش، مربوط به مساله‌ی جواب‌های تاخیری و جلوافتاده‌ی معادلات ماکسول در الکترودینامیک است که تصاویر آینه‌ای زمانی یکدیگر هستند و هیچ‌کدام به عنوان جواب فیزیکی ترجیح داده نمی‌شوند. اما به نظر می‌رسد در طبیعت تنها جواب‌های تاخیری مشاهده می‌شوند و توضیح منشأ آن در فیزیک دشوار است. در توضیح پیکان کوانتوم مکانیکی زمان، باید توجه کنیم که طبق تفسیر و فرمالیسم رایج، تقلیل تابع موج به لحاظ زمانی نامتقارن است (احتمالاً بهترین تلاش‌های انجام‌شده حول این موضوعات را می‌توان در کارهای رایشنباخ ۱۹۵۶، اسکالر ۱۹۸۵، هارویخ ۱۹۸۷، مادلین ۲۰۱۲، باردون ۲۰۱۳ و آلبرت ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ دید).

۴. معمولاً شأن قوانین کلاسیک ترمودینامیک در فیزیک نسبت به قوانین دیگر اساسی‌تر در نظر گرفته می‌شود. در واقع این قوانین شرایط مرزی را برای هر مدل میکروسکوپی فراهم می‌کنند و مستقل از هر مدلی اعتبار اولیه و اساسی دارند. در واقع قوانین ترمودینامیک کلاسیک

صورت‌بندی فرض‌های معمول و عرفی دربارهٔ تجارب روزمرهٔ ماست؛ آنها اثبات نمی‌شوند بلکه بیان تجارب روزمرهٔ ما دربارهٔ چگونگی ارتباط تغییرات مادی و تابشی سیستم با دما هستند. برای نمونه پلانک هنگامی که در سال ۱۹۰۰ روی توضیح تابش جسم سیاه کار می‌کرد تأکید کرد: « دو قانون ترمودینامیک از نظر من در هر شرایطی باید حفظ شود؛ من حاضرم التزامم به سایر قوانین فیزیک را پای آن‌ها قربانی کنم» البته باید بین این مسئله و مسئلهٔ تبیین و تفسیر قوانین ترمودینامیکی بر حسب ساخت مدل‌های میکروسکوپی تفاوت گذاشت (لانگر ۲۰۰۳، ۲۰۰۳-۲۰۴). در بحث پیکان زمان نیز وضعیت به همین شکل است. برخی ریشه‌ی پیکان‌های زمانی دیگر را نیز در پیکان ترمودینامیکی می‌جویند. کلندر ۲۰۱۱ در مقاله خود تلویحاً به این قضیه اشاره می‌کند. برای مثال اینشتین ریشه‌ی پیکان تابشی را پیکان ترمودینامیکی می‌دانسته است. درباره‌ی پیکان‌های دیگر نیز دقت در این نکات مساله را روشن‌تر می‌کند: اگر جهت‌مندی زمان را پدیده‌ای واقعی و نه صرفاً ذهنی-روانی بدانیم باید ریشه‌ی پیکان روان‌شناختی را در باقی پیکان‌های زمان بجویم. درباره‌ی پیکان علی نیز که لایب‌نیتس آن‌را ریشه پیکان زمان می‌داند، باردون در فصل پنجم «تاریخچه فلسفه زمان» بحث می‌کند که هرگونه تعریفی از علیت دوری است و متضمن زمان است بنابراین پیکان علی نمی‌تواند ریشه پیکان زمان باشد. بررسی پیکان مکانیک کوانتومی نیز به بحث‌های علیت باز می‌گردد که از این رو مجدداً نمی‌تواند ریشه‌ی پیکان زمان واقع شود.

۵. البته کلاوزیوس اولین بار این‌را به عنوان یک امر بدیهی و نه یک قانون بیان می‌کند. به علاوه یوفینک (۲۰۰۱) بیان کلاوزیوس را نامفهوم می‌داند. برای بحث بیشتر در این مورد به مقاله مذکور مراجعه کنید.

۶. البته اینکه چنین فرآیندی شدنی است یا نه قابل بحث است. نگاه کنید به مقاله Uffink (۲۰۰۱) ص ۱۵.

7. Venkataraman

۸. البته باید توجه داشت که به لحاظ تاریخی رسیدن به این تفسیر پس از بحث‌های زیادی صورت گرفته‌است که در بخش «نقد‌های زرم‌لو و لوشمیت» به قسمتی از آن اشاره خواهد شد.

۹. منظور از قوانین پدیدارشناسانه این است که این قوانین در واقع صورت‌بندی فرضیات معمول و عرفی ما از تجارب روزمره‌اند. قوانین ترمودینامیک کلاسیک و قوانینی مانند قانون عمومی گازهای ایده‌ال در شمار این قوانین قرار دارند. این قوانین معمولاً قابل اثبات نیستند و فرضیات یا حدس‌هایی هستند که تاکنون با تجارب روزمره همخوانی داشته‌اند. بین این قوانین و ساخت مدل‌های اتمی و میکروسکوپی که قرار است این قوانین را توضیح دهد باید تفاوت گذاشت.

10. Time reversal invariant

به طور ساده یک نظریه ناوردای زمانی است اگر قوانین نسبت به تغییر جهت زمان بی تفاوت باشند.

۱۱. دقت کنیم که مکانیک کلاسیک با فرضیهی آینده نیز سازگار است: این فرض که آنتروپی در آیندهی دور بسیار کم است. محدودیت «دور» ضروری است چرا که اگر آیندهی نزدیک دارای آنتروپی کم بود، انتظار رفتار ترمودینامیکی متفاوتی داشتیم. برای فرض دو شرط مرزی زمانی نگاه کنید به: Cocks 1967, Price 1996, and Schulman 1997.

۱۲. پروز ریشهی فرضیهی گذشته را در قوانین گرانشی حاکم بر کیهان‌شناسی می‌داند: یک سیستم حاوی اجسام گرانشی که به طور یکنواخت پخش شده‌اند، آنتروپی کمی را نشان می‌دهد (مگر اینکه سرعت اجسام خیلی زیاد باشد و/یا اجسام خیلی کوچک باشند و/یا خیلی پراکنده باشند که در این حالت‌ها نقش گرانش چندان مهم نیست)، در مقابل آنتروپی بالا مربوط به حالتی است که اجسام گرانشی با هم توده ساخته‌اند (پروز، ۲۰۰۴، ص ۷۰۶). برای اطلاع بیشتر از دیدگاه او نگاه کنید به پروز، ۲۰۰۴، صفحات ۶۹۰ تا ۷۳۰.

۱۳. مانند Edward Culverwell و Johann Loschmidt, Ernst Zermelo.

۱۴. فرض آماری در نظر آلبرت بدین معنی است که پدیدارها و قوانین پدیدارشناسانه و بزرگ-مقیاس (مانند قوانین ترمودینامیک) را با نظریه‌ی آماری سطوح پایین‌تر (مانند نظریه‌ی جنبشی گازها) توضیح دهیم.

۱۵. باید توجه داشت که گزاره اول، درباره‌ی یک تک سیستم است، ولی دومی سیستمی را افراز کرده و درباره‌ی احتمال افزایش یا کاهش آنتروپی هر زیرسیستم از یک سیستم منفرد است؛ در واقع، در دومی تک سیستم‌ها با هم تعامل ترمودینامیکی دارند (تک سیستم‌ها ایزوله نیستند)

۱۶. اگر افزایش دایمی آنتروپی جهان را بپذیریم ناچاریم بپذیریم در طولانی مدت جهان به سمت بی‌نظمی کامل پیش می‌رود. ماکسول برای آنکه در این قانون خللی ایجاد کند آزمایشی ذهنی را مطرح کرد (۱۸۶۷) که بعدها به آزمایش شیطانی ماکسول معروف شد. دو محفظه‌ی جدا از هم را در نظر بگیرید که با دریچه باریکی به هم متصل‌اند. یکی با هوای سرد و دیگری با هوای گرم پر شده‌است. فرض کنید شیطانی کوچک، نگهبان این دریچه است. اگرچه سرعت متوسط مولکول‌ها برای گاز گرم بیشتر از گاز سرد است، ولی مولکول‌ها با سرعت‌های مختلف در هر مخزن توزیع شده‌اند. شیطانی فقط اجازه می‌دهد مولکول‌هایی با سرعت و انرژی بیشتر از محفظه سرد وارد محفظه گرم و مولکول‌هایی با سرعت و انرژی کمتر از محفظه گرم وارد محفظه سرد شوند. لذا بدون انجام کار محفظه سرد سردتر و محفظه گرم گرم‌تر می‌شود و این نتیجه خلاف قانون دوم ترمودینامیک و کاهش آنتروپی است.

۱۷. N نقطه در فضای ۶ بعدی می‌تواند حالات دینامیکی کامل N سیستم ذرات را تعیین کند. N تا مسیر، حرکات همه‌ی ذرات را مشخص می‌کند. در اینجا پیامد تعیین‌گرایی کلاسیک آن است که هیچ دو مجموعه‌ی کامل متمایزی

عدم تقارن ترمودینامیکی زمان و فرضیه گذشته برای کیهان اولیه ۱۹۱

از مسیرهای N هرگز در هیچ لحظه‌ای به هم برخورد نمی‌کنند. چنین فضایی را فضای μ گویند. برای سیستم‌های ذرات منفرد فضای فاز و فضای μ منطبق می‌شوند.

۱۸. خودگرانشی (self-gravitation) فرآیندی است که توسط آن اجزای یک بدنه‌ی بزرگ (مانند ستاره یا کهکشان یا خوشه‌ی ستاره‌ای) توسط ترکیب گرانش اجزایش کنار یکدیگر نگه داشته می‌شوند.

۱۹. طول جینز (Jeans Length) برابر $\sqrt{\frac{k_B T}{G \rho}}$ است که در آن k_B ثابت بولتزمن، T دمای کلون، G ثابت گرانش، m جرم ذرات و ρ چگالی سیال است. برای طول‌های بزرگ‌تر از طول جینز، گرانش غلبه می‌کند و در طول‌های کمتر از آن فشار غالب است.

۲۰. وینزبرگ (۲۰۰۴) بحث کرده‌است که آنتروپی اندکی که برای جهان اولیه فرض می‌کنیم هیچ قید موثری روی حالت کوچک‌مقیاس یک سیستم ترمودینامیکی نسبتاً کوچک و ایزوله نمی‌گذارد چرا که اندرکنش‌های گذشته‌ی این سیستم با باقی جهان به طور موثری این حالت کوچک‌مقیاس را تصادفی می‌کند. چون پس از حالت‌بزرگ‌مقیاس آنتروپی اندک جهان اولیه، حالت‌های آنتروپی بسیاری وجود دارد تا به حالت کوچک‌مقیاس نهایی مورد بحث در سیستم کوچک برسد.

۲۱. این موضوع یعنی بررسی وابستگی توپولوژی زمان و جهت آن توسط مادالین (۲۰۱۵) نیز در فصل آخر کتابش پیشنهاد شده‌است. مادالین پس از نقد فضا-زمان نیوتنی مثال‌هایی از توپولوژی‌های متفاوتی می‌زند که می‌توانند جهت زمان را توضیح دهند. همچنین مادالین در بحث نسبت متناهی فضا-زمان است و بر این باور است که زمان به دلیل جهت داشتن از اساس با مکان متفاوت است و آنچه که ما در پروژه‌های آتی فیزیک به آن نیاز داریم دقیقاً برعکس نظریه نسبیت، زمان‌مند کردن مکان است.

کتاب‌نامه

باردون، آدریان. (۲۰۱۳)، تاریخچه فلسفه زمان، ترجمه حسن امیری‌آرا (۱۳۹۵)، نشر کرگدن.

Albert, D., Z. (2003). Time and Chance, Harvard University Press.

Boltzmann, L. (1895). On certain questions of the theory of gases. Nature, 51, 413–415.

Boltzmann, L. (1896). Reply to Zermelo's Remarks on the Theory of Heat, In S. G. Brush and N. S. Hall, The Kinetic Theory of Gases, Imperial College Press, 2003, 392.

Callender, C. (2004). There is no puzzle about the low-entropy past. In C. Hitchcock (Ed.), Contemporary debates in philosophy of science (pp. 240–255). London: Blackwell.

Callender, C. (2009). The past hypothesis meets gravity. In G. Ernst and A. Hutteman (Eds.), Time, Chance and Reduction: Philosophical Aspects of Statistical Mechanics, Cambridge.

Cambridge University Press. Available online at <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00004261>.

- Callender, C. (2011). Thermodynamic Asymmetry in Time, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/time-thermo/>>.
- Cocke, W.J. (1967). Statistical time symmetry and two-time boundary conditions in physics and cosmology, *Physical Review*, 160(5): 1165–70. doi:10.1103/PhysRev.160.1165.
- Durr, D., & Teufel, S. (2009). *Bohmian Mechanics*. London New York: Springer.
- Earman, J. (2006). The past hypothesis: Not even false, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 37, P399-430.
- Goldstein, S. (2001). Boltzmann's approach to statistical mechanics, in J. Bricmont; D. Durr; M. Galavotti; F. Petruccione & N. Zanghi, ed., In: *Chance in Physics: Foundations and Perspectives*, Springer, Berlin, p. 39.
- Greene, B. (2004). *The Fabric of the Cosmos* space, time, and the texture of reality, New York :Alfred A. Knopf .
- Harman, P. M. (1982). *Energy, Force, and Matter: The Conceptual Development of: Nineteenth-Century Physics*, Cambridge University Press.
- Kupervasser, O., Nikolic, H., Zlatic, V. (2010), The universal arrow of time, arXiv:1011.4173v1.
- Lebowitz, J. (2007). From time-symmetric microscopic dynamics to time asymmetric macroscopic behavior: An overview. Available online at <http://arxiv.org/abs/0709.0724>.
- Longair, M. (2003). *Theoretical Concepts in Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Loschmidt, J. (1876/1877). Über die zustand des wärmeleichgewichtes eines systems von körpern mit rücksicht auf die schwerkraft, *Wiener Berichte*, 73: 128, 366 (1876); 75: 287; 76: 209 (1877).
- Maudlin, T. (2012). *Philosophy of Physics: Space and Time*. Princeton University Press.
- Penrose, R. (1979). Singularities and time asymmetry. In S. W. Hawking & W. Israel (Eds.), *General Relativity: An Einstein Centenary* (pp. 581–638). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor's New Mind: Concerning computers, minds, and the laws of physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, R. (2004). *The Road to Reality: A complete guide to the laws of the universe*. London: Jonathan Cape.
- Price, H. (1996). *Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time*, New York: Oxford University Press.
- Price, H. (2004). On the origins of the arrow of time: Why there is still a puzzle about the low-entropy past. In Christopher Hitchcock (ed.), *Contemporary Debates in Philosophy of Science*. Blackwell. pp. 219—239.
- Schulman, L.S. (1997). *Time's Arrows and Quantum Measurement*, New York: Cambridge University Press.

عدم تقارن ترمودینامیکی زمان و فرضیه گذشته برای کیهان اولیه ۱۹۳

Uffink, J. (2001). Bluff your way in the second law of thermodynamics, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 32(3): 305–394.

Venkataraman, G., *A Hot Story*, 1997, Third Ed., University Press (INDIA).

Wallace, D. (2010). Gravity, entropy, and cosmology: in search of clarity, in *British Journal for the Philosophy of Science*. [arXiv:0907.0659v1](https://arxiv.org/abs/0907.0659v1)