

آیا مدل تکیونی تبیین خوبی برای پدیده ناموضعی کوانتومی است؟

سجاد مال میر*

علیرضا منصوری**

چکیده

پدیده ناموضعی کوانتومی به معنای وجود ارتباطات علی فوق نوری بین ذرات کوانتومی درهم تنیده است. یکی از راه‌های تبیین چنین پدیده‌ای ارائه مدلی تکیونی است. در این رویکرد ذرات فوق نوری (تکیون‌ها) واسطه ارتباط علی میان نقاط دارای جدایی فضاگون می‌شوند. وجود تکیون‌ها ظاهراً با ساختار فضا-زمانی نسبت خاص سازگار است و شواهد خوبی برای این ادعا وجود دارد. اما مسأله اینجا است که هر مدل تکیونی‌ای نمی‌تواند پدیده ناموضعی را تبیین کند. مدل تکیونی‌ای که بخواهد تبیین درستی از ناموضعی کوانتومی ارائه دهد به دلیل تبصره‌ای بودن و داشتن تعهدات متافیزیکی خارج از عرف هنوز تبیین خوبی نیست اما وجود یک برنامه پژوهشی برای کارهای فیزیکی آینده‌ها و ویژگی‌های مثبت آن است.

کلمات کلیدی: ناموضعی کوانتومی، نسبت خاص، تکیون، چارچوب‌های مرجع، متافیزیک مدل تکیونی.

* دانشجوی دکتری فلسفه علم پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی sajad.malmir@gmail.com

** استادیار و عضو هیأت علمی گروه فلسفه علم پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

a_mansourius@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۸

۱. مقدمه

در نسبیت خاص نقاط فضاگون (Space-like) به نقاطی می‌گویند که برای ارتباط میان آن‌ها به سرعتی بیشتر از سرعت نور نیاز است. برای مثال در همین لحظه خاص من از فضاغور ایستگاه فضایی یا از ناوایی سرکوپه‌مان جدایی فضا-گون دارم؛ یعنی نمی‌توانم هیچ پرتو نوری‌ای به آن‌ها بفرستم و انتظار داشته باشم در همین لحظه آن را دریافت کنند. مقاله ۱۹۶۴ بل (Bell, 1987: Sec2) و آزمایش‌های اسپه (Aspect's experiments) در سال ۱۹۸۲ (Aspect et al, 1982) ما نشان داد که وقایع رخ داده در دو نقطه فضا-زمانی دارای جدایی فضاگون می‌توانند به هم وابسته باشند؛ یعنی دو نقطه فضاگون می‌توانند روی هم تأثیر علی داشته باشد. اگر فرض کنیم ذراتی وجود دارند که مسئول برقراری این ارتباط علی هستند ناچاریم بپذیریم که با سرعتی بیشتر از سرعت نور حرکت می‌کنند. این ذرات فوق نوری را تکیون (Tachyon) می‌نامند. در مورد این تکیون‌ها به دو سؤال باید پاسخ دهیم: «آیا نسبیت خاص اجازه می‌دهد تکیون‌ها وجود داشته باشند؟» و «آیا این تکیون‌ها می‌توانند پدیده رخ داده در آزمایش اسپه را توضیح دهند؟» استدلال‌هایی وجود دارد که با توجه به آن‌ها می‌توان به سؤال اول پاسخ مثبت داد. در مورد سؤال دوم هم یک مدل اولیه وجود دارد که مدالین (Tim Maudlin) آن را ارائه داده است - و ما در اینجا آن را «مدل تکیونی مدالین» می‌نامیم. (Maudlin, 2011: 70) این مدل همان‌طور که خود مدالین هم گفته در تبیین آزمایش اسپه با مسائل جدی‌ای روبه‌رو است. (Ibid: 70-72) ما در این مقاله با بررسی مشکلات مدل تکیونی مدالین - مشکلاتی که خود او هم به آن‌ها اشاره کرده است - تلاش خواهیم کرد مدل را به گونه‌ای تقویت کنیم تا بتواند پدیده ناموضیعت کوانتومی را تبیین کند. به نظر می‌رسد حتی مدل تکمیل‌شده هم با مشکلات جدی‌ای مواجه است و تبیین خوبی از ناموضیعت کوانتومی ارائه نمی‌دهد.

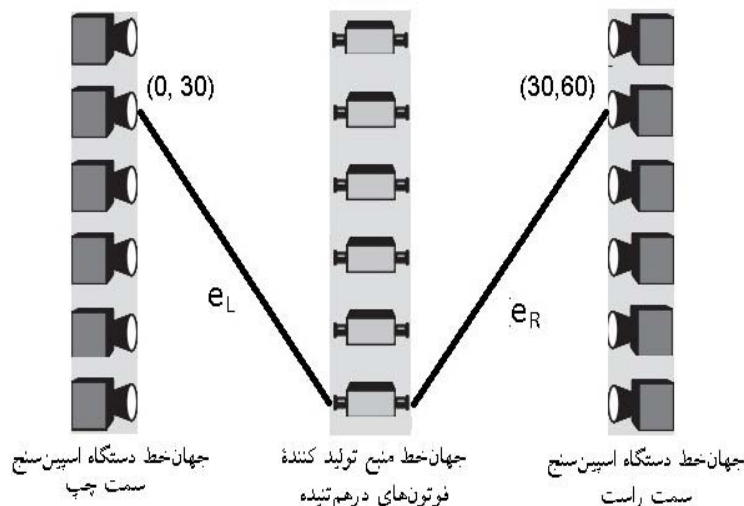
در بخش اول به معنای ناموضیعت و در بخش دوم به سازگاری مدل‌های تکیونی با نسبیت خاص خواهیم پرداخت. با توجه به استدلال‌های موجود در منابع به نظر می‌رسد فرض سازگاری ذرات تکیونی با نسبیت خاص فرض دور از ذهنی نباشد. بخش سوم را به تشریح مدل تکیونی مدالین و ایرادهای وارد بر آن اختصاص می‌دهیم. در بخش چهارم با تقویت مدل تکیونی مدالین تلاش می‌کنیم مشکلات آن را برطرف کرده و به یک تبیین قابل قبول نزدیک شویم. در بخش پایانی هم با بحث در مورد ویژگی‌های یک تبیین فیزیکی

خوب به سؤال اصلی مقاله پاسخ می‌دهیم: آیا مدل تکیونی تبیین خوبی برای پدیده ناموضیعت کوانتومی است؟

۲. آزمایش اسپه و ناموضیعت

یک نظریه موضعی (Local) است وقتی اجازه ارتباط علی بین نقاط فضا-زمانی دارای جدایی فضاگون را ندهد. دو نقطه فضا-زمانی جدایی فضاگون دارند اگر برای ارتباط میان آنها به سرعتی بیشتر از سرعت نور نیاز باشد. بنابراین موضیعت به این معنا است که آثار علی با سرعتی بیش از سرعت نور نمی‌توانند منتقل شوند. بل در مقاله ۱۹۶۴ خود فرض شهودی موضیعت را به چالش کشید. او با فرض موضیعت به نامساوی‌ای رسید که نتایج آماری مکانیک کوانتومی آن را نقض می‌کرد. (Bell, 1987 : Sec2) بعدها این نامساوی در یک سری کارهای آزمایشگاهی، که اسپه و همکارانش انجام دادند، هم رد شد. (Aspect et al, 1982) مجموعه این عوامل معقول بودن فرض موضیعت را تضعیف کرد. ما در این مقاله کاری به صحت استدلال بل و درستی نتایج آزمایش اسپه نداریمو با فرض ناموضیعت کار را جلو می‌بریم. در اینجا صرفاً برای پیش‌برد بحث لازم است درکی از نحوه انجام آزمایش اسپه داشته باشیم.

دو الکترون درهم‌تنیده (e_L و e_R) در منبعی تولید شده و از هم جدا می‌شوند. دو دستگاه اسپین‌سنج که هر یک پنج متر از منبع فاصله دارند اسپین آنها را اندازه می‌گیرند. دستگاه سمت راست در زوایای 30° یا 60° درجه و دستگاه سمت چپ در زوایای 0° یا 30° درجه می‌توانند اسپین‌سنجی کنند. انتخاب هر یک از دو زاویه به صورت تصادفی است. (Shimony, 2013) (شکل (۱))



شکل (۱) آزمایش اسپه درفضا-زمان

محاسبات کوانتومی و نیز نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که بین نتایج اسپینی این دو الکترون درهم‌تنیده ارتباطاتی وجود دارد. اگر دستگاه‌های سمت راست و چپ در زاویه یکسانی تنظیم شوند (۳۰ درجه) نتایج اندازه‌گیری دو الکترون خلاف هم خواهد بود؛ چیدمان‌های (۰-۳۰)، (۰-۶۰) و (۳۰-۶۰) هم به روابط دیگری می‌انجامد. این روابط را در نامساوی بل جایگذاری کرده و می‌بینیم که نامساوی برقرار نیست. بنابراین می‌توانیم این گونه استدلال کنیم: با فرض موضیعت به یک نامساوی رسیدیم. نتایج آماری مکانیک کوانتومی و نیز آزمایش‌های انجام شده نامساوی را رد کرد. پس فرضی که نامساوی بر آن مبتنی است - یعنی موضیعت - فرض درستی نیست. این یعنی نتیجه اندازه‌گیری اسپین سمت راست به نتیجه اندازه‌گیری اسپین سمت چپ وابسته است. به عبارت دیگر دو طرف آزمایش اسپه بر هم تأثیر علی دارند.

این ارتباط علی از چه طریقی برقرار می‌شود؟ یک تبیین برای این ارتباط فرض ذراتی است که تأثیرات علی را منتقل می‌کنند. در این تبیین به محض اندازه‌گیری اسپین e_R و مشخص شدن نتیجه اندازه‌گیری، ذره‌ای به سمت e_L فرستاده می‌شود. این ذره زاویه‌ای که در آن اندازه‌گیری شده (۳۰ یا ۶۰ درجه) و نیز نتیجه اندازه‌گیری (۱+ یا ۱-) را به e_L خبر می‌دهد. به عبارت دقیق‌تر این ذره تأثیرات علی‌ای که زاویه اندازه‌گیری و نتیجه اندازه‌گیری e_R بر روی نتیجه اندازه‌گیری e_L دارد را به آن انتقال می‌دهد. چون این ذره بین دو

نقطه با جدایی فضاگون حرکت می‌کند باید سرعتی بیشتر از سرعت نور داشته باشد. در بخش بعد به این سؤال خواهیم پرداخت که آیا فرض وجود چنین ذراتی با نسبیت خاص سازگار است یا نه.

۳. نسبیت خاص و تکیون‌ها

نسبیت خاص دو اصل اساسی دارد: همهٔ چارچوب‌های لخت معادل هم هستند و سرعت نور در همهٔ چارچوب‌های لخت مقدار ثابت c است. از این دو اصل می‌توان به روابطی در مورد فواصل زمانی، فواصل مکانی، جرم و انرژی در چارچوب‌های متفاوت رسید. فرض کنید چارچوب B نسبت به چارچوب A با سرعت ثابت v در حرکت باشد. اگر در چارچوب B ذره‌ای ساکن با جرم m_0 وجود داشته باشد (m_0 جرم سکون ذره است) در چارچوب A این ذره با سرعت v حرکت می‌کند و جرم m و انرژی E دارد که از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$m = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} m_0 = m_0(1)$$

$$E = mc^2 = m_0c^2(2)$$

بنابراین می‌توان گفت اگر m_0 جرم سکون ذره باشد، جرم (m_0) و انرژی (E) آن وقتی که سرعت ذره v باشد از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید. روابط بالا به ما می‌گوید با افزایش سرعت ذره جرم و انرژی آن افزایش می‌یابد و وقتی سرعت ذره به سرعت نور (c) برسد انرژی اش بینهایت می‌شود. بنابراین می‌توان گفت این ذره نمی‌تواند به سرعت نور برسد چرا که برای این کار باید بینهایت انرژی صرف کرد. در مورد سرعت‌های بیشتر از سرعت نور هم می‌توان نکتهٔ مشابهی گفت. وقتی که v از سرعت نور بیشتر شود عبارت زیر رادیکال در رابطه (۱) منفی شده و عددی مختلط خواهد شد؛ بنابراین جرم و انرژی این ذره مختلط خواهد شد. مختلط شدن جرم و انرژی به این معنا است که این ذره نمی‌تواند به سرعتی بیش از سرعت نور برسد. بنابراین روابط نسبیتی یک قید مهم در مورد سرعت ذرات دارد: ذراتی که سرعتی پایین‌تر از سرعت نور دارند نمی‌توانند به سرعت نور و بیش از آن برسند.

آیا این به این معنا است که نسبیت خاص الزام دارد که هیچ ذرهٔ فوق‌نوری‌ای (هیچ تکیونی) وجود نداشته باشد؟ در نگاه اول پاسخ مثبت است: هر ذرهٔ فوق‌نوری‌ای بر طبق

روابط نسبیتی (۱) و (۲) انرژی و جرم مختلط دارد چون γ آن عددی مختلط است. اما اگر فرض کنیم جرم سکون (m_0) تکیون‌ها عددی مختلط باشد می‌توان گفت نظریهٔ نسبیت اجازهٔ وجود تکیون‌ها را می‌دهد. در اینصورت هم m_0 و هم γ تکیون‌ها (ذرات فوق نوری) مختلط بوده و بنابراین مقادیر m و E در روابط بالا حقیقی خواهد بود. در سرعت‌های کمتر از سرعت نور حقیقی است و m_0 مختلط خواهد شد و این یعنی تکیون‌ها نمی‌توانند به زیر سرعت نور برسند. علاوه بر این تکیون‌ها وقتی به سرعت نور می‌رسند انرژی‌شان بینهایت می‌شود و چون دادن انرژی بینهایت به آن‌ها ممکن نیست تکیون‌ها هم نمی‌توانند به سرعت نور برسند. در این صورت قید نسبیت خاص برای سرعت ذرات به این شکل تکمیل می‌شود: ذراتی که سرعتی پایین‌تر از سرعت نور دارند نمی‌توانند به سرعت نور و بیش از آن برسند و ذراتی که سرعتی بیش از سرعت نور دارند (تکیون‌ها) نمی‌توانند به سرعت نور و کمتر از آن برسند.

بنابراین با توجه به اینکه استدلال بالا مبتنی بر متریک خاصی است که نسبیت خاص برای فضا-زمان پیشنهاد می‌دهد، می‌توان گفت ساختار فضا-زمانی نسبیت خاص ظرفیت پذیرش تکیون‌ها را دارد. در واقع بعد از مقالهٔ ۱۹۶۷ جرال د فینبرگ (Gerald Feinberg) به مدت دو دهه بحث بر سر وجود تکیون‌ها داغ بود. (Chodos & I. Hauser, 1985) فینبرگ معتقد بود فرمالیسم میدان‌های کوانتومی نسبیتی اجازهٔ وجود تکیون‌ها را می‌دهد و حالا باید به این سؤال پرداخت که آیا این تکیون‌ها واقعاً در طبیعت وجود دارند و آیا اصلاً می‌توان آنها را در آزمایشگاه شناسایی کرد یا نه؟ (Feinberg, 1967) بعد از این مقاله آنچه بیش همه مورد توجه قرار گرفت پارادوکس‌هایی بود که فرض وجود تکیون‌ها پیش می‌آورد. قدیمی‌ترین این پارادوکس‌ها به «پارادوکس تولمان» (Tolman's Paradox) معروف است و برای گریز از آن «اصل بازتعبیر» (Reinterpretation principle) معرفی شده است. (Girard & Marchildon, 1984) به پارادوکس‌های دیگری هم در مقالات اشاره شده است که پارادوکس تقارن و پارادوکس‌های علی از جملهٔ این‌ها است (Basano, 1980) به هر حال گروهی فکر می‌کنند حل بعضی از این پارادوکس‌ها با فرض چارچوب مرجع مطلق ممکن است و این یعنی نسبیت خاص را باید کنار نهاد. (Girard & Marchildon, 1984) عده‌ای هم معتقدند دلایل و حتی شواهد خوبی بر وجود تکیون‌ها و سازگاری آنها با نسبیت خاص داریم. (Vieira, 2012) حتی مسألهٔ وجود تکیون‌ها آن قدر جدی گرفته شد که در سال ۲۰۱۱ در سرن (CERN) برای یافتن یکی از این ذرات آزمایشی طراحی کردند. این آزمایش البته موفقیت‌آمیز نبود. (Ibid)

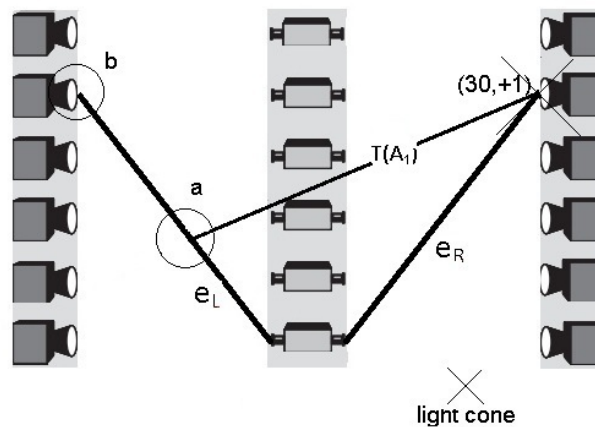
به هر حال مسأله وجود تکیون‌ها و نیز سازگاری آنها با نسبیت خاص هنوز مسأله‌ای باز است. با توجه به اینکه- همانطور که اشاره شد- شواهد و دلایل قابل توجهی داریم که تکیون‌ها وجود دارند و ساختار فضا-زمانی نسبیتی اجازه وجود آنها را می‌دهد، می‌توان تکیون‌ها را برای تبیین پدیده ناموضعی کوانتومی به کار گرفت و در مورد آن بحث کرد. با توجه به آنچه در این بخش و بخش قبلی گفته شد در ادامه با فرض قبول تبعات آزمایش اسپه در مورد پدیده ناموضعی کوانتومی و نیز فرض امکان استفاده از ذرات تکیونی برای تبیین ناموضعی، مدل تکیونی پیشنهادی مادلین را ارزیابی می‌کنیم.

۴. مدل تکیونی مادلین و تبیین آزمایش اسپه

تا اینجا کار فرض گرفتیم که ارتباط علی فوق نوری بین دو سوی آزمایش اسپه برقرار است و ذرات تکیونی با ساختار فضا-زمانی نسبیت خاص سازگار هستند. حال به سؤال اصلی خواهیم پرداخت. آیا تکیون‌ها می‌توانند ارتباط علی دو سوی آزمایش را تبیین کند؟ پیش از پاسخ به این سؤال به یک مسأله مهم در رابطه با انرژی ذرات درهم‌تنیده می‌پردازیم. همانطور که مادلین هم اشاره کرده است (Maudlin, 2011: P65-66) در مکانیک کوانتومیرایج (Standard Quantum Mechanics) تابع موج جفت ذره درهم‌تنیده مطابق همیلتونی تحول می‌یابد و همیلتونی هم با انرژی مرتبط است. به محض جدایی دو ذره، همیلتونی برهم‌کنش بین آنها صفر می‌شود و تغییر انرژی جفت درهم‌تنیده موضوعیت ندارد. بنابراین تبادل آثار علی بین دو ذره درهم‌تنیده جدا از هم نباید به تغییر انرژی ذرات بیانجامد. به عبارت دیگر نظریه مکانیک کوانتومی اجازه تبادل انرژی بین دو ذره درهم‌تنیده جدا از هم را نمی‌دهد. با این نکته مهم که در این مقاله آن را «برهم‌کنش بدون انرژی» می‌نامیم در ادامه کار بیشتر مواجه خواهیم شد. اما به طور مختصر باید گفت، با توجه به این نکته تنها تکیون‌هایی می‌توانند واسطه ارتباط دو الکترون درهم‌تنیده شوند که انرژی‌شان صفر باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مدل تکیونی پیشنهادی ذرات واسطه باید ذراتی با سرعت بی‌نهایت باشند.

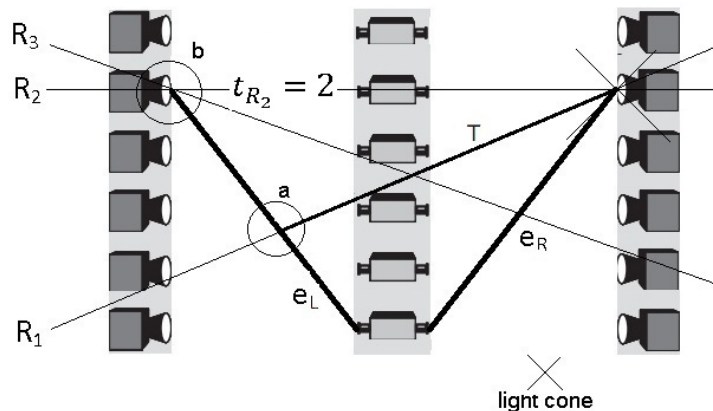
با این مقدمه به توضیح مدل تکیونی مادلین می‌پردازیم. (Maudlin, 2011: P 65-72) در شکل (۲) تبادل تکیون T بین دو الکترون درهم‌تنیده آزمایش اسپه نشان داده شده است. وقتی اسپین الکترون سمت راست (e_R) اندازه‌گیری می‌شود بلافاصله تکیونی به سمت الکترون سمت چپ (e_L) فرستاده می‌شود. این تکیون قبل از اندازه‌گیری اسپین e_L به آن می‌رسد

(در منطقه a) و باعث می شود نتیجه اندازه گیری اسپین e_L در حین اندازه گیری (در منطقه b) با نتیجه سمت راست مرتبط شود. نوع اطلاعاتی که تکیون منتقل می کند می تواند به ویژگی های آن مربوط باشد. مثلاً- با ایده گرفتن از پیشنهاد مادلین (Ibid: P71) فرض می گیریم اگر اندازه گیری اسپین در زاویه 30° درجه نتیجه $+1$ (اسپین بالا) داشت تکیونی با ویژگی A_1 ، اگر زاویه اندازه گیری 30° درجه و نتیجه -1 (اسپین پایین) بود تکیونی با ویژگی A_2 ، در حالت 60° -بالا تکیونی با ویژگی A_3 و در حالت 60° -پایین تکیونی با ویژگی A_4 ارسال شود. ویژگی های تکیون ارسالی به الکترون سمت چپ اجازه انتخاب می دهد و مسأله ارتباط دو طرف آزمایش حل می شود.



شکل (۲) مدل تکیونی مادلین؛ ارتباط میان دو طرف آزمایش اسپه با استفاده از تکیون

از آنجایی که در نسیت خاص همه چارچوب های مرجع لخت معادل هم اند، اگر روایت بالا درست باشد باید بتواند مسأله ارتباط دو سوی آزمایش را از دید همه ناظرها تبیین کند. مادلین در سه چارچوب متفاوت درستی این تبیین را بررسی می کند. (Maudlin, 2011: P70) در چارچوب R_1 (در شکل (۳)) ابتدا e_R و پس از آن e_L اندازه گیری می شود؛ در موقع اندازه گیری e_L, e_R هنوز به دستگاه اندازه گیری نرسیده است. به محض اندازه گیری e_R تکیونی با سرعت مشخص - که با توجه به نکته ابتدای این بخش این سرعت باید بی نهایت باشد- به سمت e_L رفته و آثار لازم را در منطقه a روی e_L ایجاد می کند تا وقتی که به دستگاه اندازه گیری رسید (منطقه b) نتیجه اندازه گیری با نتیجه e_R مرتبط باشد. بنابراین در چارچوب R_1 تکیون T می تواند ارتباط لازم را بین دو الکترون ایجاد کند.

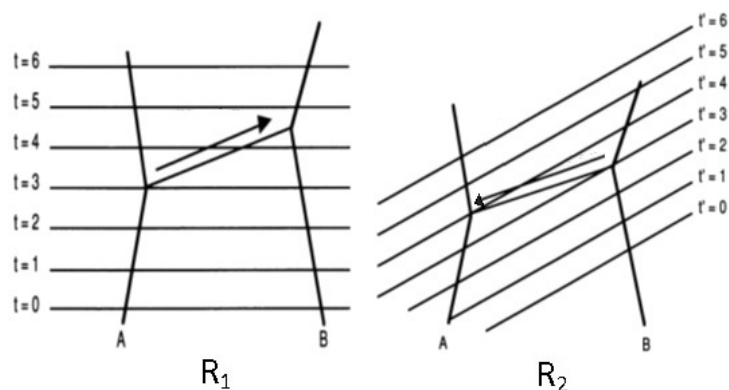


مدل تکیونی مادلین از چارچوب‌های مرجع متفاوت

در چارچوب R_2 (در شکل (۳)) دو طرف آزمایش همزمان (مثلاً فرض کنید در لحظه $t_{R_2} = 2$) اندازه‌گیری می‌شوند. در این چارچوب تکیون ارسالی در زمان رو به عقب حرکت کرده و اطلاعاتی به گذشته e_L (یعنی به منطقه a) می‌دهد تا در آینده (یعنی در منطقه b) نتیجه اندازه‌گیری e_L با e_R مرتبط باشد. در چارچوب R_2 اتفاق عجیبی روی داده است؛ اولاً علیت رو به عقب داریم و ثانیاً چون تکیون در زمان رو به عقب حرکت می‌کند باید برای آن انرژی منفی در نظر بگیریم. (Ibid: P68) مورد اول با شهود سازگار نیست، اما در مورد انرژی منفی اوضاع حتی پیچیده‌تر هم می‌شود. اگر انتشار تکیون با انرژی منفی را مجاز بدانیم یک ذره می‌تواند مدام تکیون‌هایی با انرژی منفی گسیل کرده و انرژی خود را افزایش دهد. (Ibid: P69) در چنین شرایطی سیستم ناپایدار خواهد بود.

برای فرار از این انرژی منفی و تبعات ناخوشایند آن اصل بازتعبیر به کار گرفته می‌شود. (Ibid) در واقع همانطور که در بخش قبل گفته شد استفاده از اصل بازتعبیر برای پرهیز از پارادوکس پیشنهاد شده بود. این اصل انتقال تکیونی با انرژی منفی از نقطه a به نقطه b را معادل انتقال همان تکیون با انرژی مثبت از نقطه b به نقطه a می‌داند. (Girard & Marchildon, 1984) برای مثال در چارچوب مرجع R_1 در شکل (۴) ذره A تکیونی با انرژی مثبت به سمت ذره B فرستاده و انرژی‌اش کم می‌شود؛ با رسیدن تکیون انرژی ذره B زیاد می‌شود. در چارچوب R_2 ذره A مقداری انرژی منفی از دست داده و انرژی‌اش افزایش می‌یابد. این تکیون با انرژی منفی به ذره B می‌رسد و انرژی آن را کم می‌کند. حال

با استفاده از اصل بازتعبیر می توان توصیف چارچوب مرجع R_2 را تغییر داد: ذره B تکیونی با انرژی مثبت به سمت ذره A می فرستد؛ انرژی B کاهش و انرژی A افزایش می یابد.



شکل (۴) اصل بازتعبیر- رد و بدل شدن تکیون از نگاه دو چارچوب مرجع متفاوت

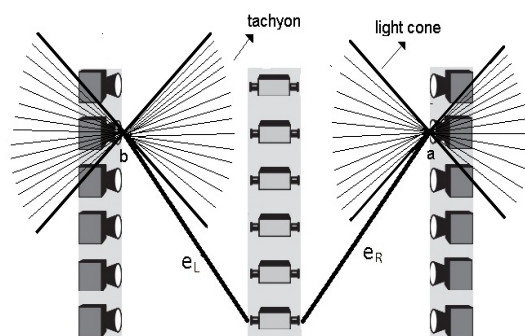
در واقع اصل بازتعبیر به هدف پرهیز از ناپایداری سیستم جای فرستنده و گیرنده تکیون را در بعضی از چارچوب ها عوض می کند. اما با معرفی اصل بازتعبیر مشکل چارچوب R_2 در شکل ۳ حل نمی شود. (Maudlin, 2011: P70) با استفاده از این اصل باید گفت در این چارچوب e_L از منطقه a تکیونی با انرژی مثبت به سمت الکترون e_R می فرستد. اما این تکیون به کار ارتباط دو طرف آزمایش اسپه نمی آید. اساساً در منطقه a روی e_L اندازه گیری ای انجام نشده است و بنابراین نمی توان انتظار داشت این ذره در مورد زاویه اندازه گیری اسپین و نتیجه اندازه گیری اطلاعاتی به سمت e_R منتقل کرده و تأثیری روی آن بگذارد. درست آنچه که در مورد چارچوب R_2 شکل ۳ گفتیم در چارچوب R_3 هم برقرار است. باز هم تکیون در زمان رو به عقب حرکت کرده است و انرژی اش منفی است. بنابراین طبق اصل بازتعبیر باید بگوییم تکیون از نقطه a به محل اندازه گیری e_R فرستاده شده است. اما در این چارچوب e_L در منطقه a هنوز اندازه گیری نشده و در نتیجه نمی تواند تکیون کارآمدی به سمت e_R بفرستد.

با توجه به آنچه در مورد این سه چارچوب گفته شد مدل تکیونی مادلین - همان طور که خودش هم اشاره کرده است - فقط در بعضی از چارچوب ها به کار می آید و بنابراین در تبیین ناموضیعت کوانتومی - یعنی در تبیین پدیده روی داده شده در آزمایش اسپه - به کار نمی آید. مدل مادلین اگر درست باشد باید در همه چارچوب های مرجع لخت مسأله ناموضیعت را حل کند. در بخش بعد تلاش می کنیم برای پرهیز از انتقادات وارد بر مدل

تکیونی مادلین آن را تقویت کنیم. خواهیم دید که مدل‌های تقویت شده اگرچه مشکلات مدل تکیونی مادلین را ندارند اما یکی پس از دیگری با مشکلات جدیدی روبه‌رو می‌شوند.

۵. مدل‌های تکیونی تقویت‌شده

اولین مدل تقویت شده - یعنی (ت ۱) - را با یک تمثیل انسان‌انگارانه شرح می‌دهیم. ذرات درهم‌تنیده با هم قرار می‌گذارند هر اتفاق جدیدی که برایشان روی داد تکیونی به سمت دیگری ارسال کنند. اما ذرات پس از جدایی از هم در هر جایی می‌توانند وجود داشته باشند بنابراین این قرار باید جدی‌تر شود: بعد از هر اتفاق جدیدی باید به همه نقاطی که ممکن است دیگری حضور داشته باشد تکیون بفرستیم. به بیان فیزیکی‌تر ذرات درهم‌تنیده به گونه‌ای رفتار می‌کنند که هرگاه برهم‌کنشی برای یکی از آن‌ها روی می‌دهد تکیونی‌هایی برای ارتباط با ذره دیگر به همه نقاط ممکن ارسال می‌کنند. این ارسال‌ها در مورد آزمایش اسپه و در یک فضا-زمان دو بعدی در شکل (۵) آمده است. در واقع در آزمایش اسپه جدید اندازه‌گیری اسپینی خواهد بود.

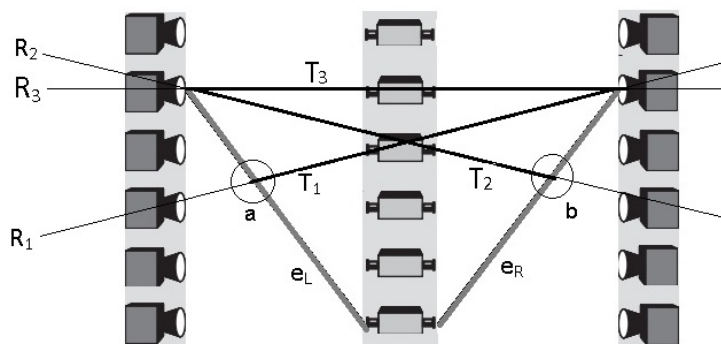


شکل (۵) مدل (ت ۱) و آزمایش اسپه

همانطور که در شکل هم مشخص است به نقاط درون مخروط نوریمحل اندازه‌گیری هیچ تکیونی ارسال نشده است. در واقع به این نقاط اصلاً نمی‌توان تکیون فرستاد، چون سرعت تکیون‌ها باید بیشتر از سرعت نور باشد و اگر ارتباطی لازم باشد ذراتی زیر سرعت نور نیاز است. علاوه بر این می‌توان نشان داد وقتی که دو ذره درهم‌تنیده از هم جدا می‌شوند دیگر درون مخروط نور بهم قرار نمی‌گیرند، مگر اینکه موقعیت آن‌ها دقیقاً در یک نقطه فضا-زمانی خاص برهم‌منطبق شود که در این صورت هم ارتباط دو ذره لزوماً وجود ندارد. بنابراین نه می‌توان تکیونی

برای گزارش وضعیّت به آن نقاط فرستاد و نه لازم است که این کار انجام شود. همانطور که در شکل (۵) مشخص است فرستادن تکیون به همهٔ نقاط ممکن فضا-زمان در یک فضا-زمان دویبعدی به این معنی است که هر ذره در لحظهٔ اندازه‌گیری تکیون‌هایی با انرژی‌های متفاوت- چه انرژی منفی و چه مثبت- هم به سمت راست و هم سمت چپ خود بفرستد.

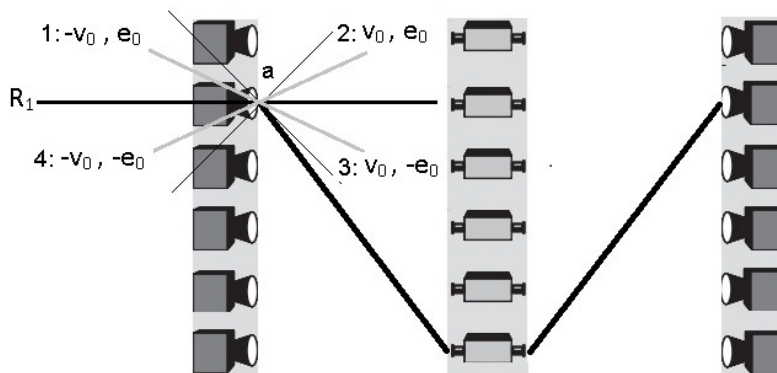
به نظر می‌رسد این راه‌حل مشکل مدل تکیونیِ مادلین را حل می‌کند. از منظر هر چارچوب مرجعی یکی از این بینهایت تکیون‌ها وظیفهٔ ارتباط را بر عهده دارد. (به شکل (۶) نگاه کنید) در چارچوب R_1 تکیون T_1 با سرعت بینهایت و انرژی صفر از سوی e_R به سوی e_L می‌رود و بدون آنکه مبادلهٔ انرژی‌ای بین دو ذرهٔ درهم‌تنیده روی دهد اطلاعات یکی به دیگری منتقل می‌شود. از دید ناظر چارچوب R_2 تکیون T_1 به کار نمی‌آید. در این چارچوب تکیون T_1 با انرژی منفی از سوی e_R به سمت e_L می‌رود و ناچاریم به اصل بازتعبیر متوسل شویم. وقتی هم اصل بازتعبیر را به کار می‌بریم تکیون T_1 که از سوی e_L به سمت e_R می‌رود اطلاعات مفیدی را با خود حمل نمی‌کند. در این چارچوب وظیفهٔ ارتباط میان دو ذره را تکیون T_2 - که از e_L به سمت e_R رفته و در منطقهٔ b به آن می‌رسد- عهده‌دار است. در چارچوب R_3 هم تکیون T_3 (انرژی صفر و سرعت بی‌نهایت) ارتباط را برقرار می‌کند.



شکل (۶) مدل (ت ۱) از سه چارچوب متفاوت

به همین ترتیب در هر چارچوبی یکی از تکیون‌ها به کار می‌آید. در این مورد که در واقع امر کدام تکیون‌ها چنین ارتباطی را برقرار کرده‌اند در ادامه بیشتر صحبت می‌کنیم. یکی از مسائلی که مدل تکیونی (ت ۱) با آن مواجه است ناپایداری ذرات است. به هر حال در لحظهٔ اندازه‌گیری هر ذره بینهایت تکیون نشر می‌کند که هر کدام انرژی مشخصی

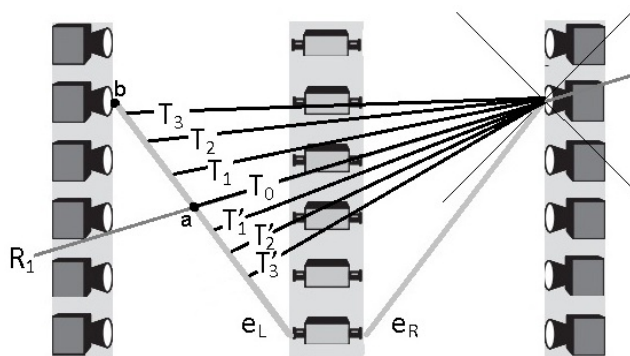
دارند؛ ممکن است انرژی ذره‌به خاطر نشر بینهایت تکیون، مثبت بینهایت یا منفی بی‌نهایت شود. اگر این اتفاق روی دهد سیستم ناپایدار می‌شود. از یک چارچوب خاص (R_1) به ذره اندازه‌گیری شده سمت چپ نگاه کرده‌و در مورد ناپایداری آن بحث می‌کنیم. در شکل (۷) این ذره در فضا-زمان دو بعدی نشان داده شده است.



شکل (۷) انرژی و تکانه تکیون‌های منتشر شده از ذرات در هم تنیده

در لحظه اندازه‌گیری تکیونی با سرعت v_0 و انرژی e_0 و تکیونی با سرعت v_0 و انرژی $-e_0$ به سمت راست فرستاده می‌شود. در جهت مخالف هم همین‌گونه است؛ تکیونی با سرعت $-v_0$ و انرژی e_0 تکیونی با سرعت $-v_0$ و انرژی $-e_0$ به سمت چپ می‌رود. اول از همه باید اصل بازتعبیر را بکار بگیریم. برای پرهیز از انرژی منفی باید بگوییم دو تکیون با انرژی $+e_0$ و سرعت v_0 به دو سمت ارسال می‌شود (تکیون‌های ۱ و ۲) و دو تکیون با انرژی $+e_0$ و سرعت v_0 از دو طرف به نقطه a می‌رسند. این چهار تکیون انرژی و تکانه ذره را تغییر نمی‌دهند چرا که مجموع تکانه و انرژی آنها روی هم صفر خواهد بود. برای Δ تایی‌های تکیون‌یادگر هم اوضاع مشابه است. در نهایت در لحظه اندازه‌گیری بینهایت تکیون ارسال و دریافت می‌شود و انرژی و تکانه ذره هم تغییر نمی‌کند. آنچه در مورد چارچوب R_1 گفته شد در مورد هر چارچوب فرضی دیگری هم برقرار است. در هر چارچوبی می‌توان Δ تایی‌هایی از تکیون‌ها یافت که مجموع انرژی و تکانه آنها صفر است. جمع همه چهارتایی‌ها هم به تغییر انرژی و تکانه صفر می‌انجامد. بنابراین می‌توان گفت ذرات درهم تنیده با وجود انتشار بینهایت تکیون انرژی و تکانه‌شان تغییر نکرده و در پایداری سیستم خللی ایجاد نمی‌شود. T_2 از e_L به e_R رفته b به R_3 و T_3

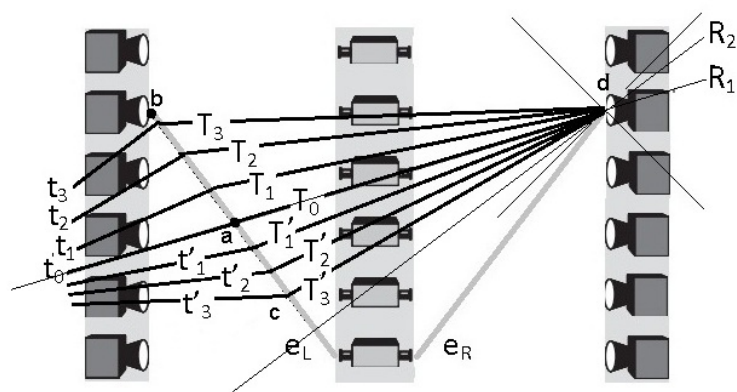
اما این ناپایداری ابعاد جدی تری هم دارد. بیایید از چارچوب R_1 در شکل (۸) به تبادل نگاه کنیم. همانطور که گفته شد T_0 تکیونی است که در این چارچوب به کار می آید. چون انرژی T_0 صفر است بدون تغییر انرژی e_L از سوی e_R اطلاعات لازم میان دو ذره را مبادله می کند. اما همانطور که گفته شد در این چارچوب، e_R (و نیز e_L) در لحظه اندازه گیری بینهایت تکیون منتشر می کنند که به غیر یکی هیچ کدام به کار نمی آیند. یعنی در چارچوب R_1 تنها تکیونی که اطلاعات درستی منتقل کرده و در عین حال «برهم کنش بدون انرژی» دارد- نگاه کنید به پاراگراف اول بخش ۳- تکیون T_0 است و تکیون هایی مانند $T'_1, T'_2, T'_3, T_1, T_2, T_3$ به کار نمی آیند. این تکیون ها به e_L می رسند و انرژی آن را مدام تغییر می دهند. مثلاً بینهایت تکیون با انرژی منفی (T'_1, T'_2, T'_3 و...) پیش از نقطه a به e_L می رسند و در نتیجه انرژی e_L در نقطه a منفی بی نهایت خواهد بود. (در واقع به خاطر اصل بازتعبیر باید آن را اینچنین خواند: تا قبل از نقطه a بینهایت تکیون با انرژی مثبت (T'_1, T'_2, T'_3 و) مانند آن) از سوی e_L به سمت محل اندازه گیری e_R گسیل می شود.) انرژی بی نهایت در یک سیستم فیزیکی مطلوب ما نیست و نظریه ای که چنین نتایجی دارد نباید نظریه درستی باشد. در مورد چارچوب های دیگر و نیز در مورد ذره e_R هم می توان نکته مشابهی گفت؛ جاهایی انرژی مثبت بینهایت شده و سیستم ناپایدار خواهد بود و جاهای هم منفی بینهایت شده که باز هم مطلوب نیست.



شکل (۸) ناپایداری سیستم

برای حل این مشکل باید مدل را پیچیده تر کنیم. نام این مدل پیچیده تر را (ت ۲) می گذاریم. در مدل (ت ۲) ذرات درهم تنیده در هر لحظه به همه نقاطی از فضا-زمان که جفت شان ممکن است حضور داشته باشد، تکیون فرستاده و گزارش وضعیت می دهند. این

حرف به آن معنا است که همه نقاط روی جهان خط e_L و e_R درست مثل دو نقطه a و b در شکل (۵) هستند. در این صورت با نگاه به چارچوب R_1 در شکل (۹) می توان گفت: به ازای هر تکینیا انرژی e و تکانه p که به نقطه فرضی x روی جهان خط e_L وارد (T_0T_1 ، T_2T_3 و...) یا از آن خارج (T_1 ، T_2 ، T_3 و...) می شود، تکینونی با انرژی e و تکانه $-p$ وجود دارد که به همان نقطه وارد (t_0 ، t_1 ، t_2 ، t_3 و...) یا از آن خارج (t'_1 ، t'_2 ، t'_3 و...) می شود.



شکل (۹) مدل تکینونی (۲) معضل ناپایداری را ندارد

مدل (ت ۲) با وجود مزیت هایی که نسبت به دو مدل قبلی دارد- یعنی حل مشکل ناپایداری و انرژی بینهایت- با مشکلات جدیدی مواجه می شود. یکی از مشکلاتی که این مدل و حتی مدل های قبلی با آن مواجه است مسأله تکینون های گمراه کننده است. فرض کنید زاویه اندازه گیری اسپین e_L 30° درجه و نتیجه آن $+1$ باشد. اگر از چارچوب R_2 به تکینون T'_3 نگاه کنیم (شکل (۹)) باید بگوییم این تکینون از e_R به سمت e_L (نقطه c) فرستاده شده، و اطلاعات $(+1|30)$ را به آنجا می برد؛ تکینونی که ویژگی A_1 را دارد. اما از چارچوب R_1 تکینون T'_3 - که از e_L به سمت e_R می رود- اطلاعات خاصی را منتقل نمی کند، چون هنوز اندازه گیری ای روی e_L انجام نشده است. بنابراین در این چارچوب تکینون T'_3 تکینونی خنثی و مثلاً با ویژگی B است. در واقع با تغییر چارچوب علاوه بر جهت تکینون ارسالی ویژگی آن هم تغییر می کند- یعنی در چارچوبی تکینون T'_3 ویژگی A_1 او در چارچوب دیگر ویژگی B دارد. به نظر می رسد وابسته به ناظر بودن ویژگی تکینون مطلوب نیست اما گزینه بدیل هم چندان خوشایند نیست. اگر هر دو چارچوب یک

۱۲۲ آیا مدل تکیونی تبیین خوبی برای پدیده ناموضعی کوانتومی است؟

ویژگی برای تکیون T'_3 فائل شوند تکیون ارسالی از نقطه c به d تکیونی گمراه کننده خواهد بود. در حین اندازه گیری e_R تکیون T'_3 با ویژگی A_1 به نقطه b می رسد. e_R با وجود تکیون ورودی تصور می کند روی e_L در زاویه 30° درجه اندازه گیری ای انجام و نتیجه $+1$ حاصل شده است. بنابراین نتیجه می گیرد در حین اسپین سنجی 30° درجه در نقطه d باید نتیجه -1 بگیرد. بنابراین تکیون T'_3 در این چارچوب گمراه کننده خواهد بود. اگر تکیون T'_3 ویژگی B داشته باشد هم مشکل مشابهی در چارچوب R_1 روی می دهد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در چارچوب R_1 نتیجه اسپین سنجی $e_R +1$ و در چارچوب $R_2 -1$ خواهد بود.

مشکل دیگر این مدل تکیون های بدون منبع است. به شکل (۹) نگاه کنید. طبق اصل بازتعبیر تکیون T'_3 از نقطه ای خارج از c به e_L رسیده است. به عبارت دیگر این تکیون از سوی e_L گسیل نشده است. اگر اینگونه است فرستنده باید e_R باشد. اما مسیر حرکت e_R به ما می گوید چنین چیزی ممکن نیست. در واقع این مشکل کم و بیش برای مدل (ت ۱) هم برقرار است. حل این مسأله احتمالاً باز هم نیازمند تقویت مدل تکیونی است. می توانیم فرض کنیم که ذره ای دیگر این تکیون را ارسال کرده است. در واقع در مدل جدید که آن را (ت ۳) می نامیم هر ذره ای در هر لحظه به همه نقاط فضا-زمان تکیون می فرستد و دریافت می کند تا وضعیت خود را به آنها اطلاع دهد و از وضعیت آنها مطلع شود. اما این ذرات قرار است چه چیزی را گزارش دهند؟ چند نوع تکیون و با چه ویژگی هایی باید فرض کرد؟ چرا شواهد این نوع ارتباط فوق نوری فقط در مورد ذرات درهم تنیده وجود دارد؟ این مدل باید به همه این سؤال ها پاسخ دهد تا بتوان آن را یک تبیین از پدیده ناموضعی کوانتومی دانست.

۶. آیا مدل تکیونی مدل موفق است؟

آیا مدل تکیونی - با همه حک و اصلاح هایی که در آن شد و در بخش قبل دیدیم - مدل موفق برای تبیین پدیده ناموضعی کوانتومی است؟ برای پاسخ به این سؤال ابتدا باید درکی از موفقیت یک نظریه فیزیکی داشته باشیم. به نظر می رسد یک نظریه علاوه بر تبیین پدیده مورد بحث باید شرایط دیگری را هم برآورده کند تا بتوان آن را موفق دانست. یک نظریه فیزیکی موفق باید با نظریات کلان فیزیک - مثل نسبیت خاص، مکانیک کوانتومی، نسبیت عام - و نیز اصول پذیرفته شده این علم - مثل اصول پایستگی و مانند آن - سازگار باشد. این نکته به خصوص در مورد نظریاتی که فقط قرار است یک یا چند پدیده خاص و

موضعی را توضیح بدهند صدق می‌کند. نکته دیگر در مورد یک نظریه خوب شهودپذیر بودن است. البته اشکالی ندارد که یک نظریه نتایج متافیزیکی جدید و حتی شهودگریزی داشته باشد منتها به شرطی که ویژگی‌های مثبت دیگری هم داشته باشد. بسیاری از نظریات خوب فیزیکی مثل نسبیت خاص، نسبیت عام، مکانیک کوانتومی و... وقتی مطرح شدند بسیار خلاف شهود بودند منتهی به این دلیل پذیرفته شدند که پیش‌بینی‌های بدیعی داشتند، آزمون‌پذیر بودند و آنگونه که لاکاتوس می‌گوید (Lakatos 1978: Sec1) یک برنامه پژوهشی به دانشمندان معرفی می‌کردند. نکته دیگر در مورد یک نظریه موفق به صرفه بودن آن است؛ به این معنی که هویت‌های زیادی را جعل نکند، اصول متعدد نداشته باشد و با تعداد کم اصول و هویت بتواند پدیده‌های زیادی را تبیین و پیش‌بینی کند. در ادامه بررسی خواهیم کرد که آیا مدل تکیونی چنین شرایطی را برآورده می‌کند یا نه.

۱.۶ مدل تکیونی تقویت شده و نسبیت خاص

همان‌طور که گفته شد استدلال‌های خوبی وجود دارد که تکیون‌ها با ساختار فضا-زمانی نسبیت خاص سازگارند. البته وجود تکیون‌ها می‌تواند پارادوکس‌هایی ایجاد کند و بحث‌های زیادی هم در مورد آن‌ها شکل گرفته است. ما در این جا وارد بحث پارادوکس‌ها نشدیم اما می‌دانیم به یک‌باره نمی‌توانند فرض وجود تکیون‌ها را نامعقول کند. در واقع بحث سازگاری تکیون‌ها با نسبیت خاص آن قدر جدی گرفته شده است که بعضی از فیزیک‌دانان به فکر طراحی آزمایش‌هایی برای آشکارسازی آن‌ها بیفتند.

۲.۶ مکانیک کوانتومی رایج و نسبت آن با مدل تکیونی

در مدل تکیونی تقویت شده در هر لحظه - و بنابراین پیش از اندازه‌گیری نیز - میان ذرات درهم‌تنیده ارتباطات تکیونی وجود دارد. بنابراین باید بگوییم ذرات درهم‌تنیده پیش از اندازه‌گیری هم باید در فضا-زمان وجود داشته باشند. مکانیک کوانتومی رایج البته در این مورد مبهم است: می‌توان فرض کرد تا قبل از اندازه‌گیری هیچ آثاری از تابع موج در فضا-زمان نیست یا اینکه هست ولی ذراتی با حالت نامعین داریم. مورد اخیر با مدل تکیونی سازگار است.

نکته دیگر در مورد ارتباطات تکیونی میان جفت درهم‌تنیده این است که این ارتباطات نیابتی به گونه‌ای باشند که موجب انتقال انرژی بین دو ذره شوند. در مدل (ت ۳) فرض

گرفتیم که هر ذره در هر لحظه به بقیه جهان تکیون می‌فرستد تا وضعیت خود را گزارش دهد؛ در این ارسال‌ها در مجموع هیچ انرژی‌ای رد و بدل نمی‌شود- انرژی کسب شده و از دست داده شده با هم موازنه دارند- و ارتباطات ذرات جهان از طریق تکیون‌ها موجب تغییر انرژی یک ناحیه فضا-زمانی نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفت مدل تکیونی تقویت شده اصل برهم‌کنش بدون انرژی را رعایت می‌کند و با مکانیک کوانتومی تضادی ندارد.

۳.۶ برنامه‌های پژوهشی پیش روی مدل

(الف) همانطور که در بخش قبل اشاره شد برای حل مسأله تکیون‌های بدون منبع ناچار شدیم مدل را تقویت کنیم و به مدل (ت ۳) رسیدیم؛ فرض گرفتیم ذرات درهم‌تنیده در هر لحظه (یا بهتر بگوییم در هر نقطه فضا-زمان که باشند) به همه نقاط ممکن فضا-زمان تکیون می‌فرستند تا به جفت‌شان اطلاعات لازم را بدهند. این یعنی هر کدام از ذرات جهان در هر لحظه باید به بقیه نقاط فضا-زمان تکیون بفرستند (از بقیه نقاط تکیون بگیرند) تا در مورد وضعیت خود به جهان اطلاعات بدهند (از جهان اطلاعات بگیرند). البته هنوز سؤالات زیادی در مورد مدل (ت ۳) وجود دارد که باید به آن پاسخ داد؛ در پایان بخش قبل به آن‌ها اشاره شد.

(ب) تفاوت دیدگاه چارچوب‌ها مرجع: دیدیم که تبدلات تکیونی فراوانی بین جفت درهم‌تنیده وجود دارد و همه چارچوب‌ها بر آن صحنه می‌گذارند. اما تفاوت در این است که در هر چارچوبی یکی از تکیون‌ها به کار ارتباط ذرات درهم‌تنیده می‌آید؛ معنای این حرف چیست؟ آیا باید گفت چون مدل (ت ۳) در هر چارچوبی به یکی از تکیون‌ها نقش می‌دهد، کارایی ندارد؟ آیا اجازه نداریم بگوییم به خاطر اینکه هر چارچوبی یکی از تکیون‌های را مسئول ارتباط ذرات درهم‌تنیده می‌داند بنابراین همه تکیون‌ها- و نه یکیه تنهایی- مسئول ارتباط است؟ پاسخ ما به سؤال اخیر مثبت است و استدلال نیز در واقع چند تمثیل متفاوت برای شهودپذیر کردن این مدعا است. این ماجرا مشابه وقتی است که دو ناظر از دو چشم‌انداز متفاوت به قاب عکسی نگاه می‌کنند و دو تصویر متفاوت می‌بینند. قاب عکس طوری ساخته شده که از چشم‌اندازی گل است و از چشم‌اندازی بلبل. ظاهراً قاب عکس هر دو است و هر ناظری قسمتی از آن را می‌بیند. اگر این مشابهت درست باشد در اینجا هم باید بگوییم مجموع همه تکیون‌های ارسالی استکهدرات درهم‌تنیده را مرتبط می‌کند. در واقع در نسبت خاص با موارد اینچنینی زیاد مواجه می‌شویم. اینکه ناظرهای

مختلف به یک ذره انرژی‌های متفاوتی نسبت می‌دهند به این معنی نیست که انرژی پدیده‌ای فیزیکی نیست و نباید از آن صحبت کرد. در مورد تکیون‌ها هم همین‌طور است. اینکه ناظرهای مختلف تکیون‌های متفاوتی را مسئول ارتباط ذرات درهم‌تنیده می‌دانند به این معنی نیست که تکیون اصلاً واسطه ارتباط نیست.

(ب) آنچه در بخش قبل در مورد تکیون‌های گمراه‌کننده گفته شد یکی از مشکلات جدی مدل (ت ۳) است. در واقع ما با یک دوراهی مواجه هستیم. یا باید قبول کنیم ذرات درهم‌تنیده بدون هیچ دلیلی به جفت خود تکیون‌هایی می‌فرستند که حاوی اطلاعات غلط است، یا باید بپذیریم ویژگی ذرات هم می‌تواند به چارچوب‌های مرجع وابسته باشد. شق اول این دوراهی پذیرفتنی نیست. پذیرش این شق یعنی کنار نهادن اصل علیت. همه عللی که باعث می‌شود e_L تکیونی با ویژگی B از نقطه c به d ارسال کند فراهم است اما به جای آن تکیونی با ویژگی A_1 ارسال می‌شود. (به تکیون T'_3 از چارچوب R_1 شکل (۹) نگاه کنید؛ در بخش قبل مفصلاً به آن پرداخته شده است.) کنار نهادن اصل علیت در این مثال با آنچه که ظاهراً در تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی روی می‌دهد متفاوت است. در آنجا شرایط اولیه و قوانین شرایط نهایی را با احتمال بالا معین می‌کند و در درصد پائینی از موارد گویی قوانین طبیعت به ذره مورد بررسی حق انتخاب می‌دهد. در اینجا ما قانون را می‌دانیم و بعد می‌بینیم همین قانون به وضوح نقض می‌شود. به علاوه اگر قرار باشد تکیون $(A_1) T'_3$ جدی گرفته شود نتیجه اندازه‌گیری e_R در چارچوب R_1 باید ۱- باشد (و در چارچوب $R_2 (+)$ که به وضوح خلاف آن را در آزمایشگاه می‌بینیم).

شق دوم اگرچه که چندان شهودپسند نیست اما تالی فاسد کمتری دارد: بعضی هویت وجود دارند که از چارچوب‌های متفاوت ویژگی‌های متفاوتی دارند. در واقع مواردی از ویژگی‌های متفاوت یک ذره نسبت به ناظرهای متفاوت وجود دارد و تکیون T'_3 اولین آن‌ها نیست. الکترونی را در نظر بگیرید که نسبت به چارچوب O_1 به سمت شمال حرکت می‌کند. این الکترون بنا بر قاعده دست راست میدان مغناطیسی‌ای اطراف خود ایجاد می‌کند که جهت آن به سمت جنوب است. پس اسپین این الکترون رو به سمت جنوب است. حال چارچوب دیگری را در نظر بگیرید که در آن همان الکترون به سمت جنوب در حرکت است. با استدلالی مشابه اسپین الکترون در این چارچوب به سمت شمال خواهد بود. بنابراین ویژگی اسپینی چنین الکترونی برای هر ناظری به شکلی است. وقتی یک مورد

از این دست سراغ داریم می‌توانیم بگوییم متفاوت بودن ویژگی تکیون T'_3 (A_1 یا B) نسبت به چارچوب‌های متفاوت ممکن است. بنابراین شق دوم قابل قبول‌تر است. هر مدل فیزیکی‌ای که قرار باشد از تبدلات تکیونی بهره‌بردار باید به نکات اشاره شده در این بخش (و به خصوص موارد الف)، (ب)، و (ج)) توجه کند. مدل باید سازوکاری معرفی کند که تغییر ویژگی‌های تکیون نسبت به چارچوب‌های متفاوت را تبیین کند. یعنی لازم است یک قانون برای تحول تکیون‌ها معرفی شود که در همه چارچوب‌ها برقرار است. این ویژگی یا قانون مستقل از چارچوب می‌بایست بگوید: (۱) چرا در یک چارچوب یکی از تکیون‌ها مسئول برقراری ارتباط جفت درهم‌تنیده معرفی می‌شود و در چارچوب دیگر تکیونی دیگر و (۲) چرا تغییر چارچوب‌ها موجب تغییر ویژگی تکیون‌ها می‌شود. بنابراین مدل تکیونی تقویت شده هنوز- و تا وقتی که در مورد ماهیت تکیون‌ها فهم درستی پیدا نکنیم- از جهت فیزیکی کامل نیست.

نکته دیگر این است که برای تبیین مسأله ناموضعی کوانتومی مجبور شدیم بنهایت تکیون جعل کنیم. چنین فرضی از جهت متافیزیکی به صرفه نیست به خصوص که فرض وجود بنهایت تکیون هنوز به کار تبیین سایر پدیده‌ها می‌آید و نه پیش‌بینی بدیعی فراهم می‌کند. در واقع فرض تکیون‌ها تا اینجا کار به این معنا است که محیطی مثل اتر داریم که تأثیرات فوق نوری از طریق آن انجام می‌شود. این که این محیط اترگونه چه ویژگی‌هایی دارد و چگونه می‌توان آن را کشف و آشکار کرد مشخص نیست. مشکل ناموضعی با فرض وجود چیزهایی که باعث این تأثیرات ناموضعی می‌شود حل شده است و در مورد این چیزها هم حرفی نزده‌ایم. با این راه حل اساساً مسأله حل نشده است بلکه آن را با یک مسأله عجیب و غریب‌تر جایگزین کرده‌ایم. می‌توان از تبیین‌هایی تا این حد مرموز بهره گرفت بدون آنکه نیازی باشد پای ابرتکیونی را به میان بیاوریم. مثلاً می‌توان گفت تابع موج ذرات درهم‌تنیده اساساً جدایی‌ناپذیر است و به همین خاطر است که دو ذره درهم‌تنیده هر چقدر هم که از هم دور شوند بر هم تأثیر می‌گذارند. تنها تفاوت در این است که در تبیین تکیونی ما از ذراتی حرف می‌زنیم که این تأثیرات را منتقل می‌کنند. این ذرات مسیر حرکت مشخصی دارند و این نقطه قوت آنها است، اما وقتی این نقطه قوت یک ابرتکیونی مرموز و ناشناخته- درست مثل اتر- باشد ما تنها یک ارتباط مرموز را با یک ابرتکیونی مرموز که همه جهان در آن شناور است تبیین کرده‌ایم.

البته این همه ماجرا نیست. درست است که مدل تکیونی تقویت شده یک مدل متافیزیکی ابتدایی است و هنوز از جهت فیزیکی مدل کاملی نیست، متتها نکته مثبت در مورد آن این است که یک برنامه پژوهشی پیش روی فیزیکدانان قرار می دهد. می دانیم مدل فیزیکی مطرح شده هر چه که باشد باید ارتباط میان همه ذرات جهان را بپذیرد و تغییر ویژگی ها نسبت به چارچوب در آن گنجانده شود. با این توضیحات مدل تکیونی هنوز کامل نیست و بنابراین موفق نشده پدیده ناموضعی کوانتومی را تبیین کند.

۷. نتیجه گیری

در این مقاله با طرح مشکلات مدل تکیونی مادلین آن را در چند مرحله تقویت کردیم. نشان دادیم که مدل تقویت شده تبیینی - هر چند هنوز ناکامل - از ناموضعی کوانتومی ارائه می دهد. مدل اشیاء و انواع طبیعی متعددی را جعل می کند، ویژگی های فیزیکی و نیز جهت حرکت تکیون ها را به چارچوب وابسته می کند و ارتباط تنگاتنگ ذرات جهان با هم را الزام می آورد. به علاوه در این مدل در هر چارچوبی یکی از تکیون ها ارتباط جفت ذره درهم تینده را برقرار می کند ولی برای حفظ سازگاری مجبوریم فرض کنیم مجموع تکیون ها با هم مسئول برقراری ارتباط هستند. به هر حال با اینکه مدل تکیونی تقویت شده هنوز ناکامل و تبصره ای است و تبیین خوبی از پدیده ناموضعی کوانتومی نیست، اما داشتن یک برنامه پژوهشی می تواند نقطه قوت آن باشد.

پی نوشت

۱ در واقع به خاطر اصل باز تعبیر باید آن را اینچنین خواند: تا قبل از نقطه a بینهایت تکیون با انرژی مثبت (T^1, T^2, T^3 و مانند آن) از سوی eL به سمت محل اندازه گیری eR گسیل می شود.

منابع

- Aspect, A., Dalibard, J., and Roger, G. (1982). Experimental Tests of Bell's Inequalities Using Time-varying Analyzers. *Physical Review Letters*, 49, 1804-7.
- Basano, L. (1980). Farewell to tachyons?. *Foundations of Physics* 10 (11-12):937-948.
- Bell, J. S. (1987). *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Chodos, Alan & I. Hauser. Avi, (1985). the Neutrino as a Tachyon. Physics Letters, volume 150B, number 6.
- Feinberg, G. (1967). Possibility of Faster-than-Light Particles. Physical Review, 159, 1089–105.
- Girard, Réjean & Marchildon, Louis (1984). Are tachyon causal paradoxes solved?, Foundations of Physics 14 (6):535-548.
- Lakatos, Imre (1978). The Methodology of Scientific Research Programmes. Cambridge University Press.
- Maudlin, Tim, (2011). Quantum Non-Locality and Relativity, Metaphysical Intimations of Modern Physics. Third Edition. Blackwell.
- Recami, Erasmo (1978). How to recover causality in special relativity for tachyons. Foundations of Physics 8 (5-6):329-340.
- Ricardo S. Vieira (2012). An Introduction to the Theory of Tachyons. Arshiv.org
- Shimony, Abner (2013). Bell's Theorem. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2013/entries/bell-theorem/>.