فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
سال ششم، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، ۱۰۷ – ۱۲۸

آیا مدل تکیونی تبیین خوبی برای پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی است؟

سجاد مال‌میر*

علیرضا منصوری**

چکیده

پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی به معنای وجود ارتباطات علّی فوق نوری بین ذرات کوانتومی درهم‌تنیده است. یکی از راه‌های تبیین چنین پدیده‌ای ارائهٔ مدلی تکیونی است.در اینرویکرد ذرات فوق نوری (تکیون‌ها) واسطهٔ ارتباط علّی میان نقاط دارای جدایی فضاگون می‌شوند. وجود تکیون‌ها ظاهراً با ساختار فضا–زمانی نسبیت خاص سازگار است و شواهد خوبی برای این ادعا وجود دارد.اما مسأله اینجا است که هر مدل تکیونی‌ای نمی‌تواند پدیدهٔ ناموضعیت را تبیین کند. مدل تکیونی‌ای که بخواهد تبیین درستی از ناموضعیت کوانتومی ارائه دهد به دلیل تبصره‌ای بودن و داشتن تعهدات متافیزیکی خارج از عرف هنوز تبیین خوبی نیست اما وجود یک برنامهٔ پژوهشی برای کارهای فیزیکی آیندهاز ویژگی‌های مثبت آن است.

کلمات کلیدی: ناموضعیت کوانتومی، نسبیت خاص، تکیون، چارچوب‌های مرجع، متافیزیک مدل تکیونی.

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

** استادیار وعضو هیأت علمی گروه فلسفهٔ علم پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
a_mansourius@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/٤/۱۱، 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 لحظهٔ خاص من از فضانورد ایستگاه فضایی یا از نانوایی سرکوچه‌مان جدایی فضا–گون دارم؛ یعنی نمی‌توانم هیچ پرتو نوری‌ای به آن‌ها بفرستم و انتظار داشته باشم در همین لحظه آن را دریافت کنند.مقالهٔ ۱۹٦٤ بل (Bell, 1987 : Sec2)و آزمایش‌های اسپه(Aspect's experiments)در سال ۱۹۸۲ Aspect) (et el, 1982به ما نشان داد که وقایع رخ داده در دو نقطهٔ فضا–زمانیِ دارای جداییفضاگون می‌توانند به هم وابسته باشند؛یعنی دو نقطهٔ فضاگون می‌توانند روی هم تأثیر علّی داشته باشد. اگر فرض کنیم ذراتی وجود دارند که مسئول برقراری این ارتباط علّی هستندناچاریم 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 پدیدهٔ 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 اولیهوجود دارد که مادلین (Tim Maudlin)آن را ارائه داده است– وما در اینجا آن را «مدل تکیونی مادلین» می‌نامیم. (Maudlin, 2011: 70)این مدل همان‌طور که خود مادلین هم گفته در تبیین آزمایش اسپه با مسائل جدی‌ای روبه‌رو است. (Ibid: 70-72)ما در این مقاله با بررسی مشکلات مدل تکیونی مادلین– مشکلاتی که خود او هم به آن‌ها اشاره کرده است– تلاش خواهیم کرد مدل را به گونه‌ای تقویت کنیم تا بتواند پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی را تبیین کند. به نظر می‌رسد حتی مدل تکمیل‌شده هم با مشکلات جدی‌ای مواجه است و تبیین خوبی از ناموضعیت کوانتومی ارائه نمی‌دهد.

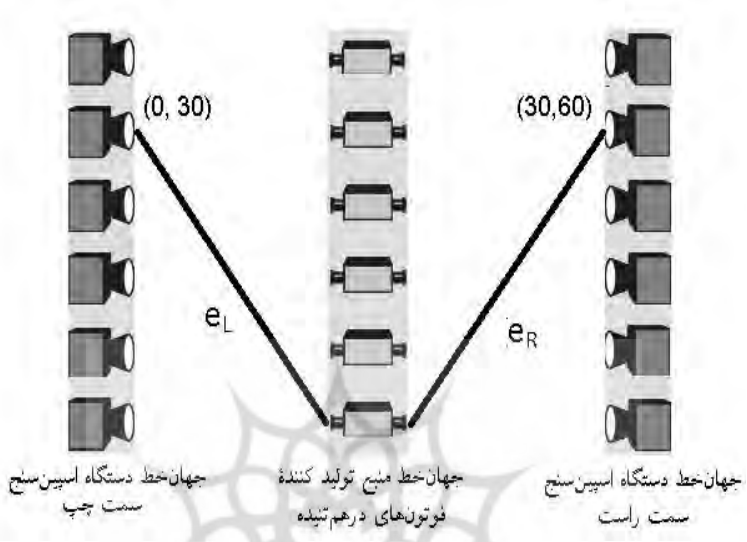
در بخش اول به معنای ناموضعیت و در بخش دوم به سازگاری مدل‌های تکیونی با نسبیت خاص خواهیم پرداخت. با توجه به استدلال‌های موجود در منابع به نظر می‌رسد فرض سازگاری ذرات تکیونی با نسبیت خاص فرض دور از ذهنی نباشد. بخش سوم را به تشریح مدل تکیونی مادلین و ایرادهای وارد بر آن اختصاص می‌دهیم. در بخش چهارم با تقویت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

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

۲. آزمایش اسپه و ناموضعیت

یک نظریه موضعی(Local)است وقتی اجازهٔ ارتباط علّی بین نقاط فضا–زمانیِ دارای جدایی فضاگون را ندهد. دو نقطهٔ فضا–زمانی جدایی فضاگون دارند اگر برای ارتباطِ میان آن‌هابه سرعتی بیشتر از سرعت نور نیاز باشد. بنابراین موضعیت به این معنا است که آثار علّی با سرعتی بیش از سرعت نور نمی‌توانند منتقل شوند. بل در مقالهٔ ۱۹٦٤ خود فرض شهودی موضعیت را به چالش کشید. او با فرض موضعیت 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 el, 1982)مجموعهٔ این عوامل معقول بودن فرض موضعیت را تضعیف کرد.ما در این مقاله کاری به صحت استدلال بل و درستی نتایج آزمایش اسپه نداریمو با فرض ناموضعیت کار را جلو می‌بریم. در اینجاصرفاً برای پیش‌برد بحث لازم است درکی از نحوهٔ 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 ۳۰ یا ٦۰ درجه و دستگاه سمت چپ در زوایای ۰ یا ۳۰ 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 الکترون‌درهم‌تنیده ارتباطاتی وجود دارد. اگر دستگاه‌های سمت راست و چپ در زاویهٔ یکسانی تنظیم شوند (۳۰ درجه) نتایج اندازه‌گیری دو الکترون خلاف هم خواهد بود؛ چیدمان‌های(۳۰-۰)، (۶۰-۰) و (۶۰-۳۰) هم به روابط دیگری می‌انجامد. این روابط را در نامساوی بل جایگذاری کرده ومی‌بینیم که نامساوی برقرار نیست. بنابراین می‌توانیم این‌گونه استدلال کنیم:با فرض موضعیت 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 موضعیت- فرض درستی نیست.این یعنی نتیجهٔ اندازه‌گیری اسپین سمت راست به نتیجهٔ اندازه‌گیری اسپین سمت چپ وابسته است. به عبارت دیگر دو طرف آزمایش اسپه بر هم تأثیر علّی دارند.

این ارتباط علّی از چه طریقی برقرار می‌شود؟ یک تبیین برای این ارتباط فرض ذراتی است که تأثیرات علّی را منتقل می‌کنند. در این تبیین به محض اندازه‌گیری اسپین e_Rو مشخص شدن نتیجهٔ اندازه‌گیری،ذره‌ای به سمت e_Lفرستاده می‌شود. این ذره زاویه‌ای که در آن e_Rاندازه‌گیری شده (۳۰ یا ۶۰ درجه) و نیز نتیجهٔ اندازه‌گیری (۱+ یا ۱-) را به e_Lخبر می‌دهد. به عبارت دقیق‌تر این ذره تأثیرات علّی‌ای که زاویهٔ اندازه‌گیری و نتیجهٔ اندازه‌گیری e_Rبر روی نتیجهٔ 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 نـور داشـته باشـد. در بخش بعد به این سؤال خواهیم پرداخت که آیا فرض وجود چنین ذراتی با نسبیت خـاص سازگار است یا نه.

۳. نسبیت خاص و تکیون‌ها

نسبیت خاص دو اصل اساسی دارد: همهٔ چارچوب‌های لخت معادل هم هسـتند وسـرعت نور در همهٔ چارچوب‌های لختمقدار ثابتc است.از این دو اصل مـی‌تـوان بـه روابطـی در مورد فواصل زمانی، فواصل مکانی، جرم و انرژی در چارچوب‌های متفاوت رسـید.فـرض کنید چارچوب B نسبت به چـارچوب A بـا سـرعت ثابـت v در حرکـت باشـد. اگـر در چارچوب B ذره‌ای ساکن با جرمm_0وجود داشته باشـد (m_0جـرم سـکون ذره اسـت) در چارچوب Aاین ذره با سرعت v حرکت می‌کندو جرم mو انرژی E داردکه از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$m = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} m_0 = \quad m_0 (۱)$$

$$E = mc^2 = \quad m_0 c^2 (۲)$$

بنابراین می‌توان گفت اگر m_0 جرم سکون ذره باشد، جرم (m_0) و انرژی (E) آن وقتـی که سرعت ذره vباشد از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید. روابط بالا بـه مـا مـی‌گویـد بـا افزایش سرعت ذره جرم و انرژی آن افزایش می‌یابد و وقتی سرعت ذره بـه سـرعت نـور (c)برسد انرژی‌اش بینهایت می‌شود.بنابراین می‌توان گفت این ذره نمی‌تواند به سرعت نـور برسد چرا که برای این کار باید بینهایت انرژی صرف کرد. در مورد سرعت‌هـای بیشـتر از سرعت نور هم می‌توان نکتهٔ مشابهی گفت. وقتی که v از سرعت نور بیشتر شـود عبـارت زیر رادیکال در رابطهٔ (۱)منفی شده و عددی مختلط خواهد شد؛ بنابراین جرم و انـرژی این ذره مختلط خواهد شد. مختلط شدن جرم و انـرژی بـه ایـن معنـا اسـت کـه ایـن 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 نسـبیتخاص الـزام داردکـه هـیچ ذرهٔ فـوق‌نـوری‌ای (هـیچ تکیونی) وجود نداشته باشد؟ در نگاه اول پاسخ مثبت است: هر ذرهٔ فوق نوری‌ای بر طبـق

روابط نسبیتی (۱) و (۲) انرژی و جرم مختلط دارد چون Υآن 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 Υتکیون‌ها (ذرات فوق نوری) مختلط بوده و بنابراینمقادیرm و Eدر 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 جرالد 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 Pradox)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 علّی 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 سِرن (CERN)برای یافتن یکی از این ذرات آزمایشی طراحی کردند.این آزمایش البته موفقیت‌آمیز نبود. (Ibid)

به هر حال مسألهٔ 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 اجازهٔ وجود آنها را می‌دهد، می‌توان تکیون‌ها را برای تبیین پدیدهٔ ناموضعیت 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 پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی و نیز فرض امکان استفاده از ذرات تکیونی برای تبیین ناموضعیت، مدل تکیونی پیشنهادی مادلین را ارزیابی می‌کنیم.

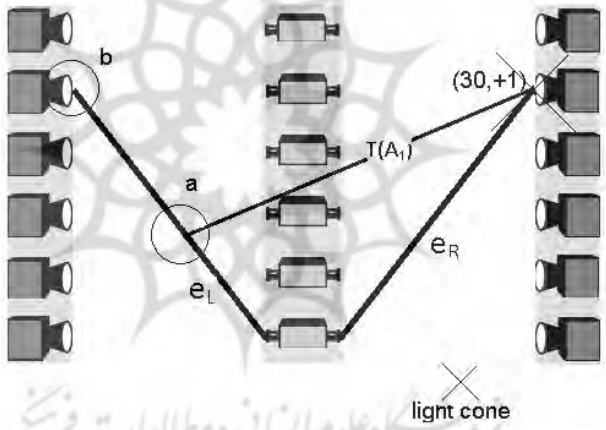
۴. مدل تکیونی مادلین و تبیین آزمایش اسپه

تا اینجای کار فرض گرفتیم که ارتباط علّی فوق نوری بین دو سوی آزمایش اسپه برقرار است و ذرات تکیونی باساختار فضا-زمانی نسبیت خاصسازگار هستند.حال به سؤال اصلی خواهیم پرداخت. آیا تکیون‌ها می‌توانند ارتباط علّی دو سوی آزمایش را تبیین کند؟ پیش از پاسخ به این سؤال به یک مسألهٔ مهم در رابطه با انرژی ذرات درهم‌تنیده‌می‌پردازیم.همانطور که مادلین هم اشاره کرده است(Maudlin, 2011: P65-66)در مکانیک کوانتومیرایج(Standard Quantum Mechanics)تابع موج جفت ذرهٔ درهم‌تنیده مطابق همیلتونی تحول می‌یابدوهمیلتونی هم باانرژی مرتبط است.به محض جدایی دو ذره،همیلتونی برهم‌کنش بین آن‌ها صفر می‌شود وتغییرانرژی جفت درهم‌تنیده موضوعیت ندارد.بنابراین تبادل آثار علّی بین دو ذرهٔ درهم‌تنیدهٔ جدا از هم نباید به تغییر انرژی ذرات بیانجامد. به عبارت دیگر نظریهٔ مکانیک کوانتومی اجازهٔ تبادل انرژی بین دو ذرهٔ درهم‌تنیدهٔ جدا از هم را نمی دهد.با این نکتهٔ مهم که در این مقاله آن را «برهم‌کنش بدون انرژی» می‌نامیم در ادامهٔ کار بیشتر مواجه خواهیم شد. اما به طور مختصر باید گفت،با توجه به این نکته تنها تکیون‌هایی می‌توانند واسطهٔ 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 Tبین دو الکتروندرهم‌تنیدهٔ 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

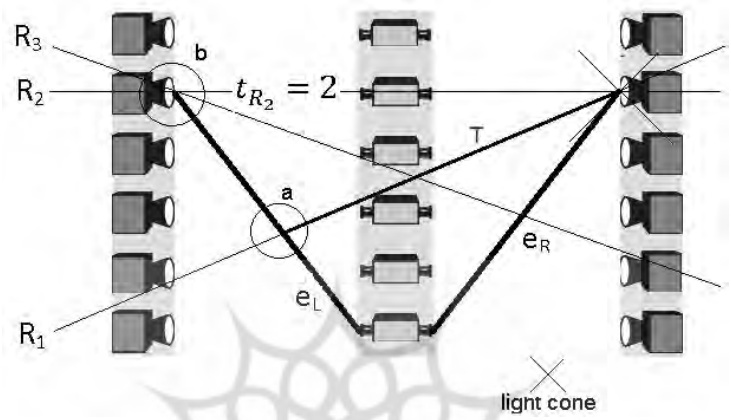
(در منطقهٔa) و باعث می‌شود نتیجهٔ اندازه‌گیری اسپین e_Lدر حین اندازه‌گیری (در منطقـهٔb) با نتیجهٔ سمت راست مرتبط شود.نوع اطلاعاتی که تکیـون منتقـل مـی‌کنـد مـی‌توانـد بـه ویژگی‌های آن مربوط باشد. مثلاً- با ایده گرفتن از پیشنهاد مادلین (Ibid: P71)

فرض می‌گیریماگر اندازه‌گیری اسپین در زاویهٔ ۳۰ درجه نتیجهٔ ۱+ (اسپین بالا) داشـت تکیونی با ویژگی A_1، اگر زاویهٔ اندازه‌گیری ۳۰ درجه و نتیجه۱-(اسپین پایین) بود تکیونی با ویژگی A_2، در حالت ٦۰-بـالا تکیـونی بـا ویژگـی A_3 و در حالـت ٦۰-پـایین تکیـونی بـا ویژگی A_4ارسال شود.ویژگی‌هایتکیون ارسالی به الکترون سمت چپ اجازهٔ انتخاب می‌دهد و مسألهٔ ارتباط دو طرف آزمایش حل می‌شود.



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

از آنجایی که در نسبیت خاص همهٔ چارچوب‌هـای مرجـع لخـت معـادل هـم‌انـد،اگر روایت بالا درست باشد باید بتواند مسألهٔ ارتباط دو سوی آزمایش را از دید همـهٔ نـاظرهـا تبیین کند. مادلین در سه چارچوب متفاوت درستی این تبیین را بررسی می‌کند. (Maudlin, 2011: P70)در چارچوب R_1(در شکل (۳))ابتداe_Rو پس از آن e_Lاندازه‌گیری می‌شـود؛ در موقع اندازه‌گیریe_R،e_L هنوز به دستگاه اندازه‌گیری نرسیده است. به محض اندازه‌گیری e_R تکیونی با سرعت مشخص- که با توجه به نکتهٔ ابتدای این بخش این سرعت باید بی‌نهایت باشد- به سمت e_L رفته و آثار لازم را در منطقهٔ a روی e_L ایجاد می‌کند تـا وقتـی کـه بـه دستگاه اندازه‌گیری رسید (منطقهٔ b) نتیجهٔ اندازگیری با نتیجهٔ e_R مرتبط باشـد.بنـابراین در چارچوبR_1تکیونTمی‌تواند ارتباط لازم را بین دو الکترون ایجاد کند.

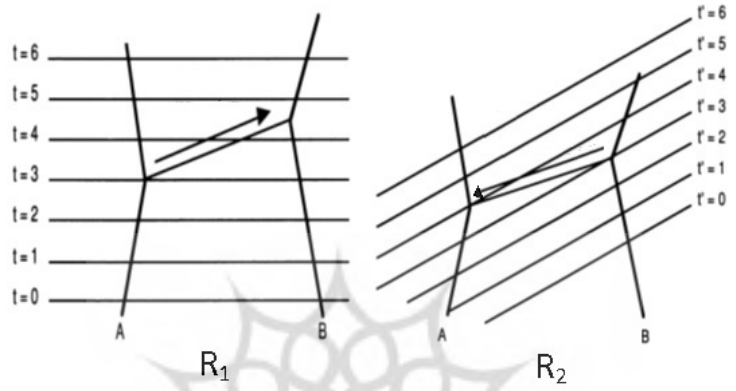


مدل تکیونی مادلین از چاچوب‌های مرجع متفاوت

در چارچوب R_2(در شکل (۳)) دو طرف آزمایش همزمان(مثلاً فرض کنید در لحظهٔ $t_{R_2} = 2$) اندازه‌گیری می‌شوند.در این چارچوب تکیون ارسالی در زمان رو به عقب حرکت کرده و اطلاعاتی به گذشتهٔ e_L (یعنی به منطقهٔ a) می‌دهد تا در آینده (یعنی در منطقهٔ b) نتیجهٔ اندازه‌گیری e_L با e_R مرتبط باشد.در چارچوب R_2اتفاق 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)درچنین 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 نقطهٔ a به نقطهٔ b را معادل انتقال همان تکیون با انرژی مثبت از نقطهٔ b به نقطهٔ a می‌داند. (Girard & Marchildon, 1984)برای مثال در چارچوب مرجع R_1 در شکل (٤) ذرهٔ A تکیونی با انرژی مثبت به سمت ذرهٔ B فرستاده و انرژی‌اش کم می‌شود؛ با رسیدن تکیون انرژی ذرهٔ Bزیاد می‌شود. در چارچوب R_2 ذرهٔ A مقداری انرژی منفی از دست داده و انرژی‌اش افزایش می‌یابد. این تکیون با انرژی منفی به ذرهٔ Bمی‌رسد و انرژی آن را کم می‌کند. حال

با استفاده از اصل بازتعبیر می‌توان توصیف چارچوب مرجع R_2 را تغییر داد: ذرهٔ B تکیونی با انرژی مثبت به سمت ذرهٔ A می‌فرستد؛ انرژی B کاهش و انرژی A افزایش می‌یابد.



شکل (٤) 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 گیرندهٔ تکیون را در بعضی از چارچوب‌ها عوض می‌کند. اما با معرفی اصل بازتعبیر مشکل چارچوب R_2 در شکل ۳حل نمی‌شود.(Maudlin, 2011: P70)با استفاده از این اصل باید گفت در این چارچوبe_L از منطقهٔa تکیونی با انرژی مثبت به سمت الکترون e_Rمی‌فرستد. اما این تکیون به کار ارتباط دو طرف آزمایش اسپه نمی‌آید. اساساً در منطقهٔ aروی e_L اندازه‌گیری‌ای انجام نشده است و بنابراین نمی‌توان انتظار داشت این ذره در مورد زاویهٔ اندازه‌گیری اسپین و نتیجهٔ اندازه‌گیری اطلاعاتی به سمت e_R منتقل کرده و تأثیری روی آن بگذارد.

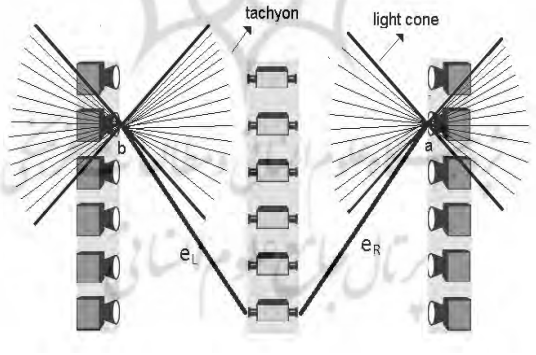
درست آنچه که در مورد چارچوب R_2 شکل ۳ گفتیم در چارچوبR_3هم برقرار است. باز هم تکیون در زمان رو به عقب حرکت کرده است و انرژی‌اش منفی است. بنابراین طبق اصل بازتعبیر باید بگوییم تکیون از نقطهٔ a به محل اندازه‌گیری e_Rفرستاده شده است. اما در این چارچوب e_Lدر منطقهٔ a هنوز اندازه‌گیری نشده و در نتیجه نمی‌تواند تکیون کارآمدی به سمت e_Rبفرستد.

با توجه به آنچه در مورد این سه چارچوب گفته شد مدل تکیونی مادلین- همان‌طور که خودش هم اشاره کرده است- فقط در بعضی از چارچوب‌ها به کار می‌آید و بنابراین در تبیین ناموضعیت کوانتومی- یعنی در تبیین پدیدهٔ روی داده شده در آزمایش اسپه- به کار نمی‌آید. مدل مادلین اگر درست باشد باید در همهٔ چارچوب‌های مرجع لخت مسألهٔ ناموضعیت را حل کند. در بخش بعد تلاش می‌کنیم 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 (ت۱)- رابا 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 می‌توانندوجود داشته باشند بنابراین این قرار باید جدی‌تر شود: بعد از هر اتفاق جدیدیباید به همهٔ 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 ذرهٔ دیگر به همهٔ 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 اتفاق جدید اندازه‌گیری اسپینی خواهد بود.

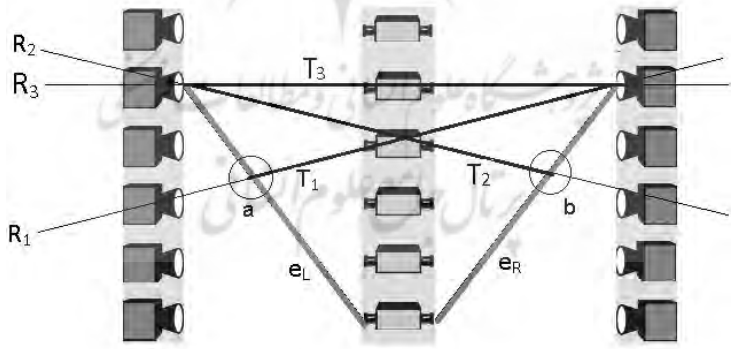


شکل (۵) مدل (ت۱) و آزمایش اسپه

همانطور که در شکل هم مشخص است به نقاط درون مخروط نوریِمحلِ 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 دادوقتی که دو ذرهٔ درهم‌تنیده از هم جدا می‌شوند دیگردرونمخروطنوریهممقرارنمی‌گیرند،مگراینکهموقعیتآن‌هادقیقاًدریکنقطهٔفضا-زمانیخاصبرهممنطبقشودکهدراینصورتهمارتباطدوذرهلزومیندارد. بنابراین نه می‌توان تکیونی

برای گزارش وضعیت 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 دوبعدی 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 (٦) نگاه کنید) در چارچوب R_1تکیون T_1 با سرعت بینهایت و انرژی صفر از سوی e_Rبه سوی e_Lمی‌رود و بدون آنکه مبادلهٔ انرژی‌ای بین دو ذرهٔ درهم‌تنیده روی دهد اطلاعات یکی به دیگری منتقل می‌شود. از دید ناظر چارچوب R_2تکیون T_1به کار نمی‌آید. در این چارچوب تکیون T_1 با انرژی منفی از سوی e_R به سمت e_Lمی‌رود و ناچاریم به اصل بازتعبیر متوسل شویم.وقتی هم اصل بازتعبیر را به کار می‌بریم تکیون T_1که از سوی e_Lبه 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_Lبه 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.

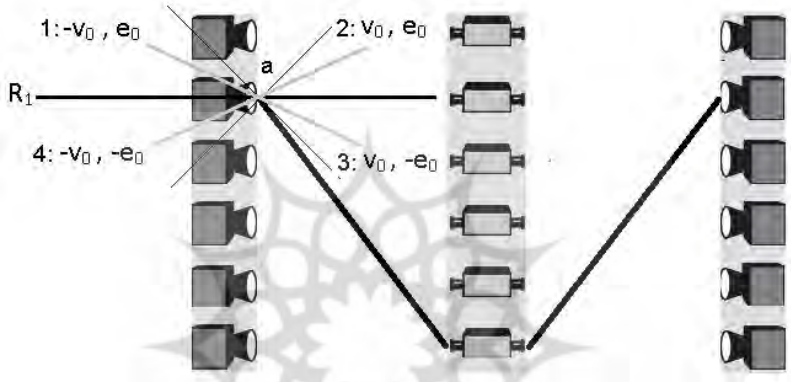


شکل (٦) مدل (ت۱) از سه چارچوب متفاوت

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 کرده‌اند‌در ادامه بیشتر صحبت می‌کنیم.

یکی از مسائلی که مدل تکیونی (ت۱) با آن مواجه است ناپایداری ذرات است. به هر حال در لحظهٔ اندازه‌گیریْهر ذره بینهایت تکیون نشر می‌کندکه هر کدام انرژی مشخصی

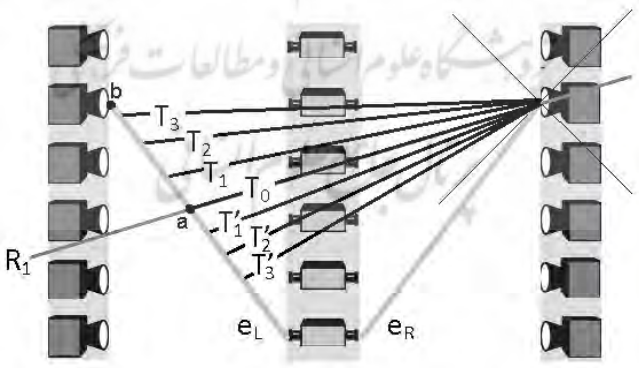
دارند؛ ممکن است انرژی ذرهبه خاطر نشر بینهایتْ تکیون،مثبتِ بینهایت یا منفیِ بی‌نهایت شود. اگر این اتفاق روی دهد سیستم ناپایدار می‌شود. از یک چارچوب خاص (R_1)به ذرهٔ اندازه‌گیری شدهٔ سمت چپ نگاه کردهو در مورد ناپایداری آن بحث می‌کنیم. در شکل (۷) این ذره در فضا–زمان دو بعدی نشان داد شده است.



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

در لحظهٔ اندازگیری تکیونی با سرعت v_0 و انرژی e_0و 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_0و 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_0از دو طرف به نقطهٔ aمی‌رسند. این چهار تکیون انرژی و تکانهٔ ذره را تغییر نمی‌دهند چرا که مجموع تکانه و انرژی آنها روی هم صفر خواهد بود. برای ٤تایی‌های تکیونِدیگر هم اوضاع مشابه است. در نهایت در لحظهٔ اندازه‌گیری بینهایت تکیون ارسال و دریافت می‌شود و انرژی و تکانهٔ 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 ٤تایی‌هایی از تکیون‌ها یافت که مجموع انرژی و تکانهٔ آن‌ها صفر است. جمع همهٔ چهارتایی‌ها هم به تغییر انرژی و تکانهٔ صفر می‌انجامد. بنابراین می‌توان گفت ذرات درهم‌تنیده با وجود انتشار بینهایت تکیون انرژی و تکانه‌شان تغییر نکرده و در پایداری سیستم خللی ایجاد نمی‌شود. T_2 از e_Lبه e_R رفته b ب R_3 ه T_3

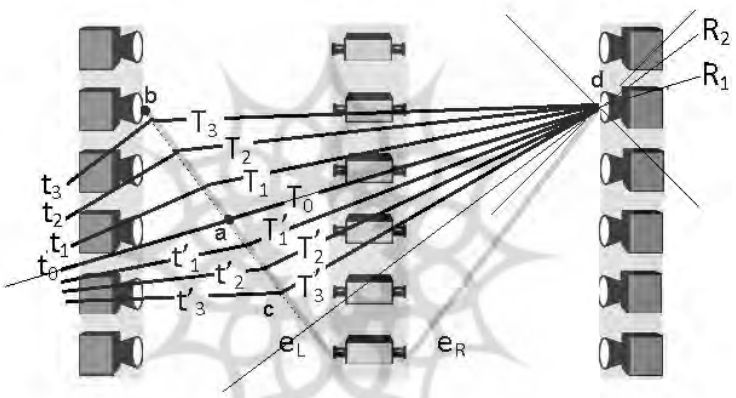
اما این ناپایداری ابعاد جدی‌تری هم دارد. بیایید از چارچوب R_1در شکل (۸)بـه تبـادل نگاه کنیم. همانطور که گفته شد T_0 تکیونی است که در این چارچوب به کار می‌آید. چون انرژیT_0 صفر است بدون تغییر انرژی e_L از سوی e_Rاطلاعات لازم میان دو ذره را مبادلـه می‌کند. اما همانطور که گفته شد در این چـارچوب،e_R(و نیـز e_L) در لحظـهٔ انـدازه‌گیـری بینهایت تکیون منتشر می‌کنند که به غیر یکی هیچ‌کدام به کار نمی‌آیند. یعنی در چـارچوب R_1 تنها تکیونی که اطلاعات درستی منتقل کرده و در عین حال «برهم‌کنش بـدون انـرژی» دارد– نگاه کنید به پاراگراف اول بخش ۳– تکیون T_0 است و تکیون‌هـایی ماننـد T'_1، T'_2، T'_3، T_1، T_2 و T_3 به کار نمی‌آیند. این تکیون‌ها به e_L می‌رسند و انـرژی آن را مـدام تغییـر می‌دهنـد. مـثلاً بینهایـت تکیـون بـا انـرژی منفـی (T'_1، T'_2، T'_3و..)پـیش از نقطـهٔ a بـه e_Lمی‌رسند[1]و در نتیجه انرژی e_Lدر نقطهٔaمنفیِ بی‌نهایت خواهد بود.(در واقع به خاطر اصل بازتعبیر باید آن را اینچنین خوانـد: تـا قبـل از نقطـهٔ a بینهایـت تکیـون بـا انـرژی مثبـت (T'_1، T'_2، T'_3و ماننـد آن) از سـوی e_L بـه سـمت محـل انـدازه‌گیـری e_R گسـیل می‌شود.)انرژی بی‌نهایت در یک سیستم فیزیکی مطلوب ما نیسـت و نظریـه‌ای کـه چنـین نتایجی دارد نباید نظریهٔ درستی باشد. در مورد چارچوب‌های دیگر و نیز در مـورد ذرهٔ e_R هم می‌توان نکتهٔ 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 پیچیده‌تر کنـیم. نـام ایـن مـدل پیچیـده‌تـر را (ت۲) می‌گذاریم. در مدل (ت۲) ذرات درهم‌تنیده در هر لحظه به همهٔ نقاطی از فضـا–زمـان کـه جفت‌شان ممکن است حضور داشته باشد، تکیون فرستاده و گزارش وضعیت می‌دهند. این

حرف به آن معنا است که همهٔ نقاط روی جهان–خط e_R و e_L درست مثل دو نقطهٔ a و bدر شکل (۵) هستند. در این صورت با نگاه به چارچوب R_1 در شکل (۹) می‌توان گفت:به ازایهر تکیونیبا انرژی eو تکانهٔ pکه به نقطهٔ فرضی x روی جهان‌خط e_L وارد (T_0T_1 ،، T_2T_3 و...) یا از آن خارج(T_1، T_2، T_3 و...) می‌شود، تکیونی با انرژی e و تکانهٔ –pوجود دارد که به همان نقطه وارد(t_0، t_1، t_2، t_3 و...) یا از آن خارج (t'_1، t'_2، t'_3و...) می‌شود.



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

مدل (ت۲) با وجود مزیت‌هایی که نسبت به دو مدل قبلی دارد– یعنی حلمشکل ناپایداری و انرژی بینهایت– با مشکلات جدیدی مواجه می‌شود.

یکی از مشکلاتی که این مدل و حتی مدل‌های قبلی با آن مواجه است مسألهٔ تکیون‌های گمراه‌کننده است. فرض کنید زاویهٔ اندازه‌گیری اسپین e_L ۳۰ درجه و نتیجهٔ آن ۱+ باشد. اگر از چارچوب R_2 به تکیونT'_3نگاه کنیم (شکل (۹)) باید بگوییم این تکیون از e_Rبه سمت e_L(نقطهٔ c) فرستاده شده، و اطلاعات (۱+|۳۰) را به آنجا می‌برد؛ تکیونی که ویژگی A_1را دارد.اما از چارچوب R_1 تکیون T'_3– که از e_Lبه سمت e_R می‌رود– اطلاعات خاصی را منتقل نمی‌کند، چون هنوز اندازه‌گیری‌ای روی e_L انجام نشده است.بنابراین در این چارچوب تکیون T'_3تکیونی خنثی و مثلاً با ویژگی Bاست. در واقع با تغییر چارچوب علاوه بر جهت تکیون ارسالی ویژگی آن هم تغییر می‌کند– یعنی در چارچوبی تکیون T'_3 ویژگی A_1و در چارچوب دیگر ویژگی Bدارد. به نظر می‌رسد وابسته به ناظر بودن ویژگی تکیون مطلوب نیست اما گزینهٔ بدیل هم چندان خوشایند نیست. اگر هر دو چارچوب یک

ویژگی برای تکیون T'_3 قائل شوند تکیون ارسالی از نقطهٔ cبه d تکیونی گمراه‌کننده خواهد بود. در حین اندازه‌گیری e_Rتکیون T'_3 با ویژگی A_1 به نقطهٔ bمی‌رسد. e_R با وجود تکیون ورودی تصور می‌کند روی e_L در زاویهٔ ۳۰ درجه اندازه‌گیری‌ای انجام و نتیجهٔ ۱+ حاصل شده است. بنابراین نتیجه می‌گیرد در حین اسپین‌سنجیِ ۳۰ درجه در نقطهٔd باید نتیجهٔ ۱− بگیرد. بنابراین تکیون T'_3 در این چارچوب گمراه‌کننده خواهد بود. اگر تکیون T'_3ویژگی B داشته باشد هم مشکل مشابهی در چارچوب R_1روی می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در چارچوب R_1 نتیجهٔ اسپین‌سنجی e_R ۱+ و در چارچوب $R_2$۱− خواهد بود.

مشکل دیگر این مدلتکیون‌های بدون منبع است. به شکل (۹) نگاه کنید. طبق اصل بازتعبیر تکیون t'_3از نقطه‌ای 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_Rباشد. اما مسیر حرکت e_Rبه ما می‌گوید چنین چیزی ممکن نیست. در واقع این مشکل کم و بیش برای مدل (ت۱) هم برقرار است. حل این مسأله احتمالاً باز هم نیازمند تقویت مدل تکیونی است. می‌توانیم فرض کنیم که ذره‌ای دیگر این تکیون را ارسال کرده است. در واقع در مدل جدید که آن را (ت۳) می‌نامیم هر ذره‌ای در هر لحظه به همهٔ نقاط فضا-زمان تکیون می فرستد و دریافت می‌کند 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 ویژگی‌هایی باید فرض کرد؟ چرا شواهد این نوع ارتباط فوق نوری فقط در مورد ذرات درهم‌تنیده وجود دارد؟ این مدل باید به همهٔ این سؤال ها پاسخ دهد تا بتوان آن را یک تبیین از پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی دانست.

۶. آیا مدل تکیونی مدل موفقی است؟

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

موضعی را توضیح بدهند صدق می‌کند. نکتهٔ دیگر در مورد یک نظریهٔ 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 لاکاتوش می‌گوید (Lakatos 1978: Sec1)یک برنامهٔ پژوهشی به دانشمندان معرفی می‌کردند. نکتهٔ دیگر در مورد یک نظریهٔ موفق به‌صرفه بودن آن است؛ به این معنی که هویت‌های زیادی را جعل نکند، اصول متعدد نداشته باشد و با تعداد کم اصول و هویات بتواند پدیده‌های زیادی را تبیین و پیش‌بینی کند.در ادامه بررسی خواهیم کرد که آیا مدل تکیونی چنین شرایطی را برآورده می‌کند یا نه.

۱.٦ 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 این‌جا وارد بحث پارادوکس‌ها نشدیم اما می‌دانیم به یک‌باره نمی‌توانند فرض وجود تکیون‌ها را نامعقول کند. در واقع بحث سازگاری تکیون‌ها با نسبیت خاص آن‌قدر جدی گرفته شده است که بعضی از فیزیک‌دانان به فکر طراحی آزمایش‌هایی برای آشکارسازی آن‌ها بیفتند.

۲.٦ مکانیک کوانتومی رایج و نسبت آن با مدل تکیونی

در مدل تکیونی تقویت شدهدر 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.

نکتهٔ دیگر در مورد ارتباطات تکیونی میان جفت درهم‌تنیده این است که این ارتباطات نبایستی به گونه‌ای باشند که موجب انتقال انرژی بین دو ذره شوند. در مدل (ت۳) فرض

گرفتیم که هر ذره در هر لحظه به بقیهٔ جهان تکیون می‌فرستد تا وضعیت خـود را گـزارش 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 ذارت جهان از طریـق تکیـون‌هـا موجـب تغییر انرژی یک ناحیهٔ فضا-زمانی نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفـت مـدل تکیـونی تقویـت شده اصل برهم‌کنش بدون انرژی را رعایت می‌کند و با مکانیک کوانتومی تضادی ندارد.

۳.٦ برنامه‌های پژوهشی پیش روی مدل

(الف)همانطور که در بخش قبل اشاره شد برای حل مسألهٔ تکیون‌هـای بـدون منبـع ناچـار شدیم مدل را تقویت کنیم و به مدل (ت۳) رسیدیم؛ فرض گرفتیم ذرات درهم‌تنیده در هر لحظه (یا بهتر بگوییم در هر نقطهٔ فضا-زمان که باشند) به همـهٔ نقـاط ممکـن فضـا-زمـان تکیون می‌فرستند تا به جفت‌شان اطلاعات لازم را بدهند. این یعنی هر کدام از ذرات جهان در هر لحظه باید به بقیهٔ نقاط فضا-زمان تکیون بفرستند (از بقیهٔ نقاط تکیون بگیرند) تـا در مورد وضعیت خود به جهان اطلاعات بدهند (از جهان اطلاعات بگیرند.)البته هنوز سؤالات زیادی در مورد مدل (ت۳) وجود داردکه باید به آن پاسخ داد؛ در پایان بخش قبل به آن‌ها اشاره شد.

(ب) تفاوت دیدگاه چارچوب‌ها مرجع: دیدیم که تبادلات تکیونی فراوانی بـین جفـت درهم تنیده وجود دارد و همهٔ چارچوب‌ها بر آن صحه می‌گذارند. اما تفاوت در این اسـت که در هر چارچوبی یکی از تکیون‌ها به کار ارتباط ذرات درهم‌تنیده مـی‌آیـد؛ معنـای ایـن حرف چیست؟ آیا باید گفت چون مدل (ت۳) در هر چارچوبی به یکی از تکیون‌ها نقـش می‌دهد، کارایی ندارد؟ آیا اجازه نداریم بگـوییم بـه خـاطر اینکـه هـر چـارچوبی یکـی از تکیون‌های را مسئول ارتباط ذرات درهم‌تنیده می‌داند بنابراین همهٔ تکیون‌هـا- و نـه یکیبـه تنهایی- مسئول ارتباط است؟ پاسخ ما به سؤال اخیر مثبت اسـت و اسـتدلال نیـز در واقـع 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 متفـاوت مـی‌بیننـد. قاب عکس طوری ساخته شده که از چشم‌اندازی گل است و از چشم اندازی بلبل. ظـاهراً قاب عکس هر دو است و هر ناظری قسمتی از آن را می‌بیند. اگر این مشابهت درست باشد در اینجا هم باید بگوییم مجموع همهٔ تکیون‌های ارسالی استکهذرات درهم‌تنیـده را مـرتبط می‌کند.در واقع در نسبیت خاص با موارد اینچنینی زیاد مواجه مـی‌شـویم. اینکـه ناظرهـای

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 واسطهٔ ارتباط نیست.

(ب) آنچه در بخش قبل در مورد تکیون‌های گمراه‌کننده گفته شد یکی از مشکلات جدی مدل (ت۳) 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. همهٔ عللی که باعث می‌شود e_Lتکیونی با ویژگی B از نقطهٔ c به d ارسال کند فراهم است اما به جای آن تکیونی با ویژگی A_1 ارسال می‌شود. (به تکیون T'_3از 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 پایینی از موارد گویی قوانین طبیعت به ذرهٔ 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 $T'_3(A1)$جدی گرفته شود نتیجهٔ اندازه‌گیری e_Rدر چارچوب R_1 باید ۱-باشد (و در چارچوب R_2 ۱+) که به وضوح خلاف آن را در آزمایشگاه میبینیم.

شق دوم اگرچه که چندان شهودپسند نیست اما تالی فاسد کمتری دارد: بعضی هویات 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_1به سمت شمال حرکت می‌کند. این الکترون بنا بر قاعدهٔ 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 تبادلات تکیونی بهره ببرد 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 همهٔ 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.

نکتهٔ دیگر این است که برای تبیین مسألهٔ ناموضعیت کوانتومی مجبور شدیم‌بینهایت تکیون جعل کنیم. چنین فرضی از جهت متافیزیکی به صرفه نیست به خصوص که فرض وجود بینهایت تکیون هنوزنه به کار تبیین سایر پدیدارها می‌آید و نه پیش‌بینیِ بدیعی فراهم می‌کند. در واقع فرض تکیون‌ها تا اینجای کار به این معنا است که محیطی مثل اتر داریم که تأثیرات فوق نوری از طریق آن انجام می‌شود. این‌که این محیط اترگونه چه ویژگی‌هایی دارد و چطور می‌توان آن را کشف و آشکار کرد مشخص نیست. مشکل ناموضعیت با فرض وجود چیزهایی که باعث این تأثیرات ناموضعی می‌شودحل شده است و در مورد این چیزها هم حرفی نزده‌ایم. با این راه حل اساساً مسأله حل نشده است بلکهآن را با یک مسألهٔ 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 ذرهٔ 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 نقطهٔ قوت آنها است،اما وقتی این نقطهٔ قوت یک ابرتکیونی مرموز و ناشناخته– درست مثل اتر– باشد ما تنهایک ارتباط مرموز را با یک ابر تکیونی مرموز که همهٔ جهان در آن شناور است تبیین کرده‌ایم.

البته این همهٔ ماجرا نیست. درست است که مدل تکیونی تقویت شده یک مدل متافیزیکی ابتدایی است و هنوز از جهت فیزیکی مدل کاملی نیست، منتها نکتهٔ مثبت در مورد آن این است که یک برنامهٔ پژوهشی پیش روی فیزیک‌دانان قرار می‌دهد. می‌دانیم مدل فیزیکی مطرح شده هر چه که باشد باید ارتباط میان همهٔ ذرات جهان را بپذیرد و تغییر ویژگی‌ها نسبت به چارچوب در آن گنجانده شود. با این توضیحات مدل تکیونی هنوز کامل نیست و بنابراین موفق نشده پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی را تبیین کند.

۷. نتیجه‌گیری

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 ناموضعیت کوانتومی ارائه می‌دهد. مدل اشیاء و انواع طبیعی متعددی را جعل می‌کند، ویژگی‌های فیزیکی و نیز جهت حرکت تکیون‌ها را به چارچوب وابسته می‌کند و ارتباط تنگاتنگ ذرات جهان با هم را الزام می‌آورد.به علاوه در این مدل در هر چارچوبی یکی از تکیون‌ها ارتباط جفت ذرهٔ درهم تنیده را برقرار می‌کند ولی برای حفظ سازگاری مجبوریم فرض کنیم مجموع تکیون‌ها با هم مسئول برقراری ارتباط هستند. به هر حال با اینکه مدل تکیونی تقویت شده هنوز ناکامل و تبصره‌ای است و تبیین خوبی از پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی نیست، اما داشتن یک برنامهٔ پژوهشی می‌تواند نقطهٔ قوت آن باشد.

پی‌نوشت

۱در واقع به خاطر اصل بازتعبیر باید آن را اینچنین خواند: تا قبل از نقطهٔ a بینهایت تکیون با انرژی مثبت (T’1، T’2، T’3و مانند آن) از سوی eL به سمت محل اندازه‌گیری eR گسیل می‌شود.

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 Unspeakable in Quantum Mechanics. Cambridge: Cambridge University Press.

Chodos. Alan & I. Hauser. Avi, (1985). the Neutrino as a Tachyon. Physics Letters, valume 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/>.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی