فلسفهٔ علم، **پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی**
دوفصل‌نامهٔ علمی ــ پژوهشی، سال هفتم، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، ۱۳۳-۱۵۶

فرااستقرای بدبینانه و واقع‌گرایی ساختاری

سعید معصومی*

چکیده

فرااستقرای بدبینانه مهم‌ترین استدلال علیه واقع‌گرایی علمی است؛ به همین دلیل از وظایف اصلی واقع‌گرایان (احتمالاً مهم‌ترین وظیفهٔ آن‌ها) پاسخ‌دادن به این برهان است. در این مقاله صورت‌بندی‌ای از این برهان ارائه می‌شود و پاسخ‌های مختلف واقع‌گرایان درمورد آن اجمالاً بیان می‌شود. درمیان این پاسخ‌ها، پاسخ واقع‌گرایان ساختاری به‌منزلهٔ پاسخ قابل‌قبول‌تر پذیرفته می‌شود. نکتهٔ مهم درمورد پاسخ واقع‌گرایان به استدلال فرااستقرای بدبینانه این است که واقع‌گرایان ساختاری باید با مطالعهٔ موردبه‌مورد نظریه‌های علمی نشان دهند که ادعای آن‌ها مبنی‌بر حفظ ساختارها محقق شده است.

کلیدواژه‌ها: فرااستقرای بدبینانه، واقع‌گرایی علمی، واقع‌گرایی ساختاری، نسبیت خاص، مکانیک نیوتنی.

۱. مقدمه

فرااستقرای بدبینانه و تعین ناقص دو برهان اصلی علیه واقع‌گرایی علمی‌اند. به‌نظر می‌رسد که یکی از وظایف اصلی واقع‌گرایان علمی پاسخ‌گویی به این دو برهان باشد. از میان این دو برهان، فرااستقرای بدبینانه اهمیت بیش‌تری دارد، زیرا می‌توان فرض کرد که در برهان تعین ناقص بررسی‌های پیشینی به صورت‌بندی برهان علیه واقع‌گرایی علمی منجر می‌شود، درحالی‌که در فرااستقرای بدبینانه به‌نظر می‌رسد که کفایت تجربی واقع‌گرایی علمی با مشکل مواجه می‌شود (Ladyman et al. 2007: 83). درواقع، اغلب چنین فرض شده است که این برهان خطرناک‌ترین (Wray 2010) یا «بزرگ‌ترین چالش یگانه» (Lewis 2001) پیش‌روی

*استادیار پژوهشکدهٔ مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، s_masoumi@sbu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸

واقع‌گرایی علمی است (Worrall 1982: 216; Kitcher 1993: 136; Leplin 1997: 136; Worrall 1989: 99; Papineau 1996; Stanford 2006).

دو مسئله درمورد استنتاج براساس بهترین تبیین و تعین ناقص وجود دارد که ملاحظات درمورد آن‌ها با ملاحظات درمورد فرااستقرای بدبینانه تفاوت دارد:

> نخست این‌که دو مورد اول چالش‌هایی‌اند که علی‌الاصول در هر نوع واقع‌گرایی بـا آن مواجه می‌شویم، زیرا استنتاج‌های ابداکتیو در بسیاری از زمینه‌های استدلال علمی نقشی انکارناپذیر بازی می‌کنند و اگر تعین ناقص مسئله‌ای اصیل باشد، چالش آن را می‌تـوان باتوجه‌به برداشت واقع‌گرایانـه از نظریـه‌هـا یـا ادعاهـای علمـی صـورت‌بنـدی کـرد. ازسوی‌دیگر، فرااستقرای بدبینانه ممکن است درمورد اشکالی از واقع‌گرایی به‌کار نرود؛ این به اختلاف دوم میان این استدلال‌های ضدواقع‌گرایانه مربوط مـی‌شـود. بـا فـرض خصوصیت عمومی ملاحظات استنتاج براساس بهترین تبیین و تعـین نـاقص، مباحـث مربوط به این چالش‌ها تأثیر کمی در تحول واقع‌گرایی، به‌مثابهٔ موضعی فلسفی، داشـته است. اما ازآن‌جاکه میزان نگرانی‌هایی که فرااستقرای بدبینانه ایجاد مـی‌کنـد مـی‌توانـد بسته‌به مشخصات دقیق تعهدات واقع‌گرایانه یـک شـخص تفـاوت کنـد، ایـن امـر و ملاحظات مربوط به آن دارای نقشی قوی در شکل‌دادن به وجهٔ جدید واقع‌گرایی‌انـد (Chakravartty 2007: 28).

در این مقاله تمرکز من بر فرااستقرای بدبینانه است. بعد از ارائهٔ توضیحات بـالا و بیـان اهمیت موضوع، در بخش دوم صورت‌بندی برهان ارائه می‌شود؛ این کار برای ارائـهٔ پاسـخ مناسب ضروری است.

در بخش سوم پاسخ‌های مهم به این برهان بیان می‌شود کـه نهایتـاً پاسـخ واقـع‌گرایـان ساختاری به‌منزلهٔ پاسخ قابل‌قبول‌تر پذیرفته مـی‌شـود. در بخـش چهـارم، برخـی تعـاریف موردنیاز برای بیان رابطهٔ ساختاری میان نظریه‌های علمی ارائه شده است؛ هم‌چنـین رابطـهٔ میان نظریه‌های مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص براساس جبرهای حاکم بر سینماتیک آن‌ها بیان خواهد شد. در بخش پنجم، رابطهٔ ساختاری حفظ ساختار بـرای جبرهـای پایـدارتر و ناپایدارتر نشان داده می‌شود و بخش ششم هم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مباحث خواهد بود.

۲. صورت‌بندی برهان

یکی از مشخصه‌های اساسی موضع واقع‌گرایانهٔ مناسب پاسخ معقولی است که این موضـع به براهین علیه واقع‌گرایی علمی می‌دهد. همان‌طورکه پیش‌ازاین گفته شد، احتمالاً مهم‌ترین

استدلال علیه واقع‌گرایی علمی استدلال فرااستقرای بدبینانه است. بنـابراین، بـرای ارزیـابی پاسخ یا پاسخ‌های واقع‌گرایان به این برهان ابتدا باید صورت‌بنـدی مناسـبی از ایـن برهـان داشته باشیم. در این بخش، صورت‌بندی برهان فرااستقرای بدبینانه را ارائه می‌کنیم.

به‌نظر می‌رسد که مهم‌ترین فرد در ارائهٔ برهان فرااستقرای بدبینانـه لـری لائـودن باشـد. لائودن می‌کوشد که دیدگاه واقع‌گرایانه‌ای را که دارای پنج مشخصهٔ زیر است ابطال کند. او آن را واقع‌گرایی هم‌گرا می‌نامد:

R1: نظریه‌های علمی (حداقل در علوم بالغ) نوعاً به‌طور تقریبی صادق‌اند و نظریه‌هـای جدیدتر از نظریه‌های قدیمی‌تر، در حوزهٔ یک‌سان، به صدق نزدیک‌ترند؛

R2: عبارات مشاهدتی و نظری، در نظریه‌های یک علـم بـالغ، بـه‌صـورت واقعـی ارجاع‌دهنده‌اند (به‌طور تقریبی، متناظر با هویاتی که در بهترین نظریه‌های ما فرض شده است، ذواتی در جهان وجود دارد)؛

R3: نظریه‌های متوالی در هر علم بالغ، بـه‌گونـه‌ای‌انـد کـه روابـط نظـری آن‌هـا و مرجع‌های نظریه‌های پیشین را حفظ می‌کنند؛ یعنی نظریه‌های پیشین به‌صورت مـوارد حدی نظریه‌های بعدی‌اند؛

R4: پذیرش نظریه‌های جدید تبیین‌کنندهٔ این مطلب اسـت و بایـد باشـد کـه چـرا نظریه‌های پیشین به این میزان موفق بوده‌اند (Leplin 1984: 219-220).

درواقع می‌توان گفت آن‌چه لائودن واقع‌گرایی هم‌گرا می‌نامد برنهادهٔ واقع‌گرایـی اسـت که صورت استاندارد آن را می‌توان براساس مؤلفه‌هـای معنـاشـناختی، معرفـت‌شـناختی، و هستی‌شناختی به‌صورت زیر بیان کرد:

واقع‌گرایی علمی دیدگاهی است که براساس آن هویات موجود در نظریه‌هـای علمـی مستقل از ذهن وجود دارند (مؤلفهٔ متافیزیکی)، گزاره‌های بیان‌کنندهٔ نظریه‌هـای علمـی صدق و کذب‌پذیرند (مؤلفهٔ معناشناختی)، و نظریه‌هـای علمـی بـا لغـو موفـق تقریبـاً صادق‌اند (مؤلفهٔ معرفت‌شناختی) (Psillos 1999: xvii).

بر این اساس، واقع‌گرایان برهانی از نوع استدلال براساس بهترین تبیـین صـورت‌بنـدی می‌کنند. بیانی از این برهان به‌قرار زیر است:

R5: فرضیه‌های R1 تا R4 متضمن این مطلب‌اند که نظریه‌های علمی (بالغ) باید موفـق باشند. اگر نگوییم تنها تبیین، حداقل می‌توانیم بگوییم فرضیه‌های فوق بهترین تبیـین را برای موفقیت علم تشکیل می‌دهنـد؛ بنـابراین موفقیـت تجربـی علـم (بـه‌معنـی ارائـهٔ

تبیین‌های تفضیلی و پیش‌بینی دقیق) تأیید تجربی چشم‌گیری برای واقع‌گرایی فراهم می‌آورد (ibid.).

برهان بهترین تبیینی که واقع‌گرایان معمولاً از آن استفاده می‌کنند برهان «معجزه‌نبودن» نام دارد. این برهان براساس اندیشه‌ای قدیمی است که نام «معجزه‌نبودن» یا «معجزه‌بودن» بعد از بیان پاتنم (Putnam)، مبنی‌براین‌که «واقع‌گرایی تنها فلسفه‌ای است که موفقیت علم را به‌صورت معجزه درنمی‌آورد» (Putnam 1975: 73)، به آن داده شده است (Chakravartty 2017). پیش از ارائهٔ صورت‌بندی دقیق‌تر برهان «معجزه‌نبودن» لازم است که دو نوع توسل به «استدلال براساس بهترین تبیین» را از هم بازشناسیم: توسل موضعی (local) به استدلال براساس بهترین تبیین و توسل کلی (global) به استدلال براساس بهترین تبیین؛ این تمایز را لیدیمن معرفی می‌کند (Ladyman 2002: ch. 7). مطلبی شبیه این را سیلوس (Psillos) نیز بیان کرده است؛ البته وی از اصطلاح استدلال براساس بهترین تبیین مرتبهٔ اول (first order) و استدلال براساس بهترین تبیین مرتبهٔ دوم (second order) استفاده کرده است (Psillos 1999).

> یک دفاع موضعی از واقع‌گرایی به مجموعه‌ای ویژه از واقعیات تجربی و تبیین آن‌ها به‌صورت هویات مشاهده‌ناپذیر ویژه متوسل می‌شود. مخالفان واقع‌گرایی علمی نظیر ون فراسن الزام‌آوربودن دفاع موضعی از واقع‌گرایی را درمورد مشاهده‌ناپذیرهای ویژه رد می‌کنند و استدلال می‌کنند که می‌توان آن‌ها [مشاهده‌پذیرهای ویژه] را در هر مورد به‌صورت عمل‌گرایانه بازتعبیر کرد؛ یعنی به‌مثابهٔ استنتاج به کفایت تجربی تبیین موردبحث، به‌علاوهٔ تعهد به نظریه‌پردازی مداوم با منابع نظریه، در نظر گرفت (van Fraassen 1980). بنابراین بحث به سطح کلی انتقال می‌یابد، جایی که واقع‌گرایان علمی استدلال می‌کنند که فلسفهٔ علم آن‌ها برای توضیح علم و تاریخ موفقیت آن به‌مثابهٔ یک کل لازم است (Ladyman et al. 2007: 69).

به این ترتیب برهان معجزه‌نبودن را، که نوعی استدلال براساس بهترین تبیین است،[۱] می‌توان به‌صورت زیر صورت‌بندی کرد:

۱. نظریه‌های علمی بالغ به‌طور تجربی موفق‌اند (یعنی، هم به‌لحاظ ارائهٔ پیش‌بینی‌های بدیع و هم ازنظر ارائهٔ تبیین موفق‌اند)؛

۲. موفقیت علم تجربی (نظریه‌های علمی) نیازمند تبیین است؛

۳. اگر نظریه‌های علمی صادق نباشند یا تقریباً صادق نباشند، موفقیت تجربی نظریه‌های بالغ چیزی همانند معجزه است؛

۴. آن‌چه ما را از پذیرش معجزه رها می‌سازد قبول صدق آن‌ها یا صدق تقریبی آن‌هاست و این بهترین تبیین موفقیت نظریه‌های علمی است؛

۵. پس نظریه‌های علمی بالغ، که به‌طور تجربی موفق‌اند، صادق‌اند یا تقریباً صادق‌اند.

ملاحظه می‌شود که در این‌جا میان صدق یا صدق تقریبی و موفقیت ارتباط برقرار شده است و درواقع موفقیت نظریه‌های بالغ به‌مثابهٔ توجیه قبول صدق نظریه‌های علمی بالغ در نظر گرفته شده است. هم‌چنین باید توجه داشت که صدق تقریبی مستلزم این است که امر مشترکی در فرایند گذار نظریه‌های علمی باقی بماند؛ بنابراین هویاتی که در موفقیت نظریه‌های علمی مؤثرند دارای مرجع‌اند و مستقل از ما وجود دارند.

لائودن با ارائهٔ موارد متعدد از تاریخ علم می‌کوشد نشان دهد که ارتباطی که بنابر نظر واقع‌گرایان بین موفقیت یک نظریه و صدق آن (صادق‌بودن گزاره‌های آن و ارجاع‌دهنده‌بودن هویات مندرج در نظریه‌های علمی) وجود دارد برقرار نیست. راه‌برد او در این امر ارائهٔ سیاهه‌ای از نظریه‌های علمی است (Laudan 1984: 157) که به‌درستی می‌توان آن‌ها را هم به‌لحاظ تجربی موفق دانست و هم به‌لحاظ عملی مفید تلقی کرد و این سیاهه «به‌طور آزاردهنده‌ای» (adnauseam) می‌تواند توسعه یابد؛ بنابراین «تاریخ علم نمی‌تواند باور واقع‌گرایان را درمورد ارتباط تبیینی میان موفقیت تجربی و صدق موجه سازد» (Psillos 1996).

فرااستقرای بدبینانه را (که استدلال لائودن هم نوعی از آن است) می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

۱. نظریه‌های علمی بسیاری در تاریخ علم وجود داشته‌اند که بالغ و موفق بوده‌اند؛

۲. این نظریه‌ها با نظریه‌هایی که اکنون مقبول جامعهٔ علمی است در صورت‌بندی و در ارائهٔ هویاتی که به جهان اسناد می‌کنند متفاوت‌اند؛

۳. این تفاوت هم در ارائهٔ توصیفات متفاوت برای هویات پیشین است (که در برخی موارد به‌میزانی متفاوت با توصیفات پیشین است که نمی‌توان هردوی آن‌ها را نزدیک به صدق دانست)، هم در انکار هویات موجود در نظریه‌های پیشین است، و هم در پیش‌نهاد هویات جدید؛

۴. اگر نظریه‌ای بالغ و موفق از نظریه‌های پیشین مانند نظریهٔ T هویاتی پیش‌نهاد کرده باشد که یا در نظریهٔ کنونی متناظر با آن (که آن را با ′T مشخص می‌کنیم) انکار شده باشند و یا اکنون توصیفاتی یافته باشند که به‌میزان زیادی متفاوت با توصیفات پیشین‌اند، T و ′T هردو با هم نمی‌توانند صادق باشند یا تقریباً صادق باشند؛

۵. اگر ادعای واقع‌گرایان مبنی‌بر ارتباط موفقیت و صدق، به‌صورتی‌که موفقیت توجیه صدق باشد، صادق باشد، باید T و ′T هردو با هم صادق باشند؛

۶. (۴) و (۵) در تناقض‌اند؛ (۴) کاذب نیست؛ پس (۵) کاذب است.

یعنی ادعای واقع‌گرایان، مبنی‌براین‌که موفقیت توجیه صدق است، کاذب است. اکنون پاسخ‌های مختلف به این استدلال را بیان می‌کنیم، با ذکر این نکته که تمرکز اصلی مقاله بر پاسخ واقع‌گرایان ساختاری است.

۳. پاسخ‌ها

در ادبیات فلسفی واقع‌گرایی علمی دو رویکرد کلی در مواجهه با فرااستقرای بدبینانه وجود دارد. در رویکرد اول خدشه‌ای به اعتبار این استدلال به‌لحاظ صوری وارد نمی‌کنند، بلکه در مقدمات استدلال و مادهٔ آن مناقشه می‌کنند. در این رویکرد، واقع‌گرایی استاندارد دو پاسخ عمده ارائه کرده است که برخی مانند سیلوس این دو پاسخ را با هم ترکیب کرده‌اند تا پاسخی معقول‌تر به برهان فرااستقرای بدبینانه بدهند.

در پاسخ اول (I)، تبیینی از مرجع برای هویات صورت‌بندی می‌شود که در آن مرجع هویات در تغییر نظریه‌های علمی با وجود تغییر مفهوم هم‌چنان باقی می‌ماند. در این‌جا آن‌چه وجود هویات مندرج در نظریه‌های علمی را، در نظریه‌های متوالی، تداوم می‌بخشد مرجعی است که برخی فیلسوفان، ازجمله پاتنم (Putnam)، علاوه‌بر معنا، برای یک مفهوم در نظر می‌گیرند (Esfeld 2006). در این رویکرد آن‌چه پیوستگی میان نظریه‌ها را حفظ می‌کند و عنصری از واقعیت تلقی می‌شود که در نظریه‌های متوالی حفظ شده است مرجع این مفهوم است.

برهانی شبیه این را هاردین و روزنبرگ نیز آورده‌اند. آن‌ها معتقدند که، تاوقتی‌که نظریهٔ ارجاع در فلسفهٔ علم بسط نیافته است، واقع‌گرایان می‌توانند از دیدگاه‌های مختلف و بدیلی که درمورد ارجاع وجود دارد استفاده کنند (Hardin and Rosenberg 1982). آن‌ها این ادعا را مطرح می‌کنند که براساس نظریهٔ علی ارجاع می‌توان عبارت‌هایی را ارجاع‌دهنده دانست که اکنون به‌نظر نمی‌رسد که عبارات ارجاع‌دهنده باشند. برای مثال، اتر اکنون نیز ارجاع‌دهنده است، اما نه به محیطی مادی، بلکه به میدان الکترومغناطیسی ارجاع می‌دهد.

> اگر مرجع عبارات نظری آن چیزهایی باشند که علل پدیدارهایی‌اند که موجب معرفی این عبارات‌اند، درآن‌صورت، ازآن‌جاکه اکنون باور بر این است که پدیده‌های نوری

> نوسان‌هایی در میدان الکترومغناطیسی است، آن‌چه اکنون عبارت اتر به آن ارجاع می‌دهد میدان الکترومغناطیسی است (Ladyman 2007: 86).

دو اشکال بر این دیدگاه وارد است: ۱. همان‌طورکه لائودن (۱۹۸۴) اشاره کرده است، این تلقی ارجاع عبارات نظری را به امری بی‌اهمیت (trivial) تبدیل می‌کند، زیرا تاآن‌جاکه پدیده‌هایی معرفی یک عبارت را برمی‌انگیزند، آن عبارت به‌طور خودکار و موفق به آن‌چه علت (یا علت‌های) مربوط آن است ارجاع می‌دهد؛ ۲. این نظریه به‌طور افراطی میان آن‌چه نظریه‌پرداز درمورد آن سخن می‌گوید و آن‌چه او تصور می‌کند که درمورد آن سخن می‌گوید گسست ایجاد می‌کند (.ibid).

اما اشکال سومی هم بر این دیدگاه وارد است؛ این اشکال را می‌توان به‌نحو زیر تقریر کرد: اگر تلقی بالا را درمورد تمایز و به‌نوعی برقرارنبودن ارتباط میان توصیفات نظری درمورد یک شیء و مرجع یک شیء بپذیریم، این پرسش پیش می‌آید که چرا باید نظریه‌های کنونی را بپذیریم؟ مسئله این است که نظریه‌های پیشین توصیفاتی درمورد هویاتی که خود پیش‌نهاد کرده بودند یا هویاتی که نظریه‌های پیش از آن‌ها پیش‌نهاد کرده بودند ارائه می‌دادند که در زمان خود موفق بوده‌اند؛ یعنی پیش‌بینی‌ها و تبیین‌های موفقی از این هویات می‌دادند، درحالی‌که اکنون این توصیفات مقبول نیستند. بنابراین، لزومی ندارد که کذب توصیفات کنونی هم در آینده مکشوف نشود (درواقع، در این‌جا نوعی استقرای بدبینانه درمورد توصیفات نظری صورت گرفته است). به‌نظر می‌رسد که هاردین و روزنبرگ این استقرای بدبینانه را درمورد توصیفات نظری بپذیرند و اگر نتیجهٔ این استقرای بدبینانه را درمورد توصیفات نظری بپذیریم این پرسش دوم مطرح می‌شود که اصولاً چرا چنین هویاتی را فرض کرده‌ایم؛ اگر این هویات کاملاً مستقل از توصیفات باشند، توجیهی برای پذیرش این هویات نداریم. در این‌جا توصیفات نظری، که نظریه ارائه می‌دهد، توجیه متافیزیکی برای پذیرش این هویات است و اگر تعهدی به این توصیفات نداشته باشیم، این هویات توجیه متافیزیکی خود را از دست خواهند داد. به‌عبارت‌دیگر، توجیهی برای پذیرش آن‌ها در هستی‌شناسی وجود نخواهد داشت.

پاسخ دوم رویکرد اول به فرااستقرای بدبینانه، که آن را با (II) نشان می‌دهیم، براساس روشی است که در آن باور فقط به بخش‌هایی از نظریه تعلق می‌گیرد که به‌طور اساسی در پیش‌بینی‌های موفق و تبیین‌های موفق دخیل‌اند. دراین‌صورت، آن بخش‌هایی

را که در موفقیت تبیینی و ارائهٔ پیش‌بینی‌های بدیع کارایی ندارند و اجزای بی‌استفاده در نظر گرفته می‌شوند کنار می‌گذاریم و درجایگاه یک واقع‌گرا تعهدی به باور به گزاره‌هایی که مبین وجود آن‌ها هستند نداریم. چاکراوارتی این رویکرد را شک‌گرایی انتخابی (selective scepticism) می‌نامد (Chakravartty 2007: 29). استدلالی مشابه این را سیلوس (Psillos) و برخی فلاسفهٔ دیگر نیز مطرح می‌کنند و در آن موفقیت نظریه‌های پیشین را به عناصری از نظریه نسبت می‌دهند که در نظریه‌های کنونی نیز وجود دارند و ما به آن‌ها باور داریم. سیلوس معتقد است «کافی است تا نشان دهیم که موفقیت نظریه‌های گذشته به آن‌چه ما اکنون باور داریم که به‌طور بنیادین نادرست است بستگی ندارد» (Psillos 1996). به‌عبارت‌دیگر، «کافی است تا نشان دهیم سازوکارهایی که موفقیت نظریه‌های پیشین را تولید کرده است در تصویر علمی کنونی ما باقی مانده است» (ibid.). سیلوس این را «حرکت تقسیم براساس ادله» (divide et impera move) می‌نامد. مطلب بالا «مبتنی‌بر این ادعاست که وقتی یک نظریه کنار گذاشته می‌شود اجزای نظری آن یعنی سازوکارهای نظری و قوانینی که آن نظریه ارائه کرده است نباید به‌طور یک‌پارچه (en bloc) رد شود» (ibid.).

کیچر (Kitcher) دربارهٔ این موضوع مثالی می‌زند از یک تیم بسکتبال که تیم موفقی است. موفقیت این تیم به این معنی نیست که تمام بازیکن‌های تیم قدبلندند و در موفقیت تیم سهیم‌اند. این امکان وجود دارد که بازیکن کوتاه‌قدی هم باشد که در موفقیت تیم سهم چندانی نداشته باشد یا اصلاً سهیم نباشد (Kitcher 1993: 143).

لپلاین (Leplin) و کیچر (و البته خود سیلوس) پیش‌نهادهایی شبیه به این راه‌برد داده‌اند، ولی تفصیلی‌ترین و مؤثرترین بحث متعلق به سیلوس است (Ladyman 2007: 87). او پیش‌نهاد (I) را با (II) ترکیب می‌کند.

> در راه‌برد (I) مقدمهٔ دوم [استدلال لائودن] پذیرفته می‌شود، اما سیلوس اجازه می‌دهد که برخی مواقع این امکان وجود داشته باشد که یک نظریهٔ تقریباً صادق ارجاع ندهد. او سپس استدلال لائودن را می‌شکند، با این استدلال که عبارات نظری که ارجاع نمی‌دهند، مثل کالریک، در بخش‌هایی از نظریه‌ها بودند که شاهد آن زمان آن را حمایت نمی‌کرد، زیرا موفقیت تجربی نظریه‌های کالریک مستقل از هر فرضیه‌ای درمورد ماهیت کالریک بود. عبارات کنارگذاشته‌شده، که در بخش‌هایی از نظریه‌ها استفاده می‌شوند که شاهد آن زمان آن‌ها را حمایت می‌کرد، همواره ارجاع می‌دهند؛ اتر به میدان الکترومغناطیسی ارجاع می‌دهد (ibid.).

مهم‌ترین اشکالی که لیدیمن و راس به دیدگاه سیلوس وارد می‌کنند این است کـه مفهـوم اساسی (essential) که به آن اشاره شد «مبهم‌تر از آن است که تمایزی اصولی میان گرایش‌های معرفتی (epistemic attitude) ما به بخش‌های مختلف نظریه‌ها برقرار سازد» (ibid.).

هم‌چنین، به‌نظر آن‌ها مشکل راهبرد (II) این است که این راهبرد خلـق‌السـاعه (ad hoc) است. «به‌علاوه به‌نظر می‌رسد جداسازی موفقیت تجربی از الزامات هستی‌شناختی مشروح، به‌صورتی‌که نظریه توصیف می‌کرده است، به‌جای‌این‌که از واقع‌گرایـی حمایـت کنـد آن را تضعیف می‌کند» (ibid.). مسئلهٔ دیگری که به آن اشاره می‌کنند این است که طرح سـیلوس واجد این معناست که «فرضیهٔ موردبحث نمی‌تواند با جای‌گزین‌های بـالقوه تبیینـی واجـد انگیزه‌های مستقل و غیرخلق‌الساعه تعویض شود» (ibid.).

اما رویکرد دوم در پاسـخ بـه فرااسـتقرای بدبینانـه رویکـرد فیلسـوفانی چـون لـوئیس (Lewis 2001) و مارک لنگ (Lange 2002) است که استدلال لائـودن را بـه‌لحـاظ صـوری دچار مشکل می‌بینند و آن را نوعی «مغالطهٔ نرخ پایه» (base rate fallacy) می‌دانند.

به همین دلیل، در این‌جا صورت‌بندی دیگری از این برهان را بیان می‌کنیم کـه بـه‌شـکل استقرایی نیست. این صورت‌بندی نشان می‌دهد که حتی اگـر اشـکالات لـوئیس و لنـگ را بپذیریم،[۲] صرفاً به‌روش بالا (رویکرد لوئیس و لنگ) نمی‌توان از واقع‌گرایی درمقابـل برهـان مبتنی‌بر تغییر نظریه (گونهٔ غیراستقرایی آن) دفاع کرد. نسخهٔ غیراستقرایی به‌صورت زیر است:

الف) ارجاع موفق عبارات نظری محـوری نظریـه شـرطی ضـروری بـرای صـدق تقریبی آن است؛

ب) مثال‌هایی از نظریه‌ها وجود دارد که بالغ‌اند و واجد موفقیت پیش‌بینی بدیع (novel predictive success) هستند، اما عبارات نظری آن‌ها ارجاع نمی‌دهند؛

ج) صدق تقریبی و موفقیت ارجاعی عبارات نظری محوری شرطی ضروری برای موفقیت پیش‌بینی بدیع نظریه‌های علمی نیست (Ladyman 2007: 84).

هم‌چنین باید توجه داشت که ممکن است نسخهٔ لائـودن از ایـن برهـان دارای اشـکال باشد، ولی بتوان نسخه‌های دیگری از برهان را صورت‌بندی کرد که در آن‌ها این اشـکالات وجود نداشته باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که گزینهٔ مناسب‌تر ارائهٔ تقریری از واقـع‌گرایـی است که در آن هویات (ساختاری) نظریه‌های پیشین در نظریه‌های بعدی حفظ شود. به این ترتیب، بااین‌که واقع‌گرایان استاندارد (غیرساختارگرا) پاسـخ‌هـایی بـه فرااسـتقرای بدبینانـه داده‌اند، این پاسخ‌ها اشکالاتی دارد که به عمدهٔ آن‌ها اشاره شد.

لازم است تبیینی از تغییر نظریه‌ها ارائه دهیم که در آن اولاً به‌نحوی هویات نظریه‌های پیشین ارجاع دهند و البته این ارجاع به‌صورتی نباشد که هم‌چون تبیین هاردین و روزنبرگ ارجاع را امری بی‌اهمیت کند؛ هم‌چنین هم‌چون مفهوم اساسی سیلوس ابهام نداشته باشد؛ و نهایتاً تبیینی خلق‌الساعه ارائه ندهد. به‌نظر می‌رسد که واقع‌گرایی ساختاری بتواند این موارد را برآورده سازد.

واقع‌گرایان ساختاری معتقدند که آن‌چه موجب تعهد واقع‌گرایانهٔ ما به نظریه‌های علمی می‌شود حفظ ساختارهای مشترک در نظریه‌های متوالی است. «پیوستگی یا انباشت در تغییر [نظریه‌ها] وجود داشته است، اما این پیوستگی به‌شکل صورت یا ساختار بوده است، نه محتوا» (Worrall 1989: 117).

این باوری است که هم واقع‌گرایان ساختاری معرفتی (epistemic structural realism) به آن باور دارند و هم واقع‌گرایان ساختاری هستی‌شناختی (ontic structural realism). به‌طور غیردقیق می‌توان گفت که در واقع‌گرایی ساختاری معرفتی باور بر این است که ما تنها به ساختار جهان معرفت داریم (Worrall 1989)، درحالی‌که در واقع‌گرایی ساختاری هستی‌شناختی باور بر این است که آن‌چه وجود دارد ساختار است (برای ملاحظهٔ چیستی این رویکرد و برخی پاسخ‌ها به اشکالات واردشده به آن بنگرید به French and Ladyman 2011).

می‌توان گفت (به‌طور کلی و نه‌چندان دقیق) ادعای واقع‌گرایان ساختاری این است که نظریه‌های علمی ساختارهای جهان را برای ما بازنمایی می‌کنند و این ساختارها (آن‌چه در بازنمایی ارائه می‌شود) در نظریه‌های متوالی توسعه می‌یابد. به این ترتیب، برای مثال، وقتی نظریه‌ای (بالغ و موفق) هویتی مانند اتر را پیش‌نهاد می‌کند، تعهد واقع‌گرایانه (تعهد معرفتی برای واقع‌گرای ساختاری معرفتی و تعهد معرفتی به‌علاوهٔ تعهد هستی‌شناختی برای واقع‌گرای ساختاری هستی‌شناختی) به ساختاری است که در نظریه از آن به‌عنوان اتر تعبیر می‌شود. این ساختار در نظریه‌های بعدی باقی می‌ماند؛ بنابراین، پس از صورت‌بندی مناسب نظریه‌ها، ساختارهای اصلی نظریه که موجب موفقیت نظریه‌اند مشخص می‌شود و می‌توان نشان دادکه این ساختارها در نظریه‌های بعدی حفظ شده‌اند.

۴. واقع‌گرایی ساختاری

درمورد واقع‌گرایی ساختاری نکتهٔ مهم این است که ساختاری که در تغییر نظریه‌های علمی حفظ می‌شود و باقی می‌ماند چه خصوصیتی دارد. این پرسش را می‌توان هم ازمنظر چیستی نوع خود ساختار مطرح کرد و هم ازمنظر چگونگی بقا و حفظ آن.

ازمنظر چگونگی بقا و حفظ ساختار دو تلقی را می‌توان از هم بازشناخت: نخست تلقی‌ای که در آن باور بر این است که ساختار مشترکی که در گذار از نظریه‌ای به نظریهٔ دیگر باقی می‌ماند در گذار از نظریهٔ کنونی به نظریهٔ بعدی نیز باقی می‌ماند و به‌علاوه ساختار آن توسعه می‌یابد (یا در بدترین حالت ثابت می‌ماند). فرض کنید ساختار A که متعلق به نظریهٔ T_1 است در گذار از نظریهٔ علمی T_1 به T_2 باقی بماند؛ دراین‌صورت، در فرایند پیشرفت علمی که در آن نظریهٔ علمی از T_2 به T_3 تغییر می‌یابد، B در T_3 باقی می‌ماند که A را در بر دارد (A زیرساختاری از آن است) یا حداقل معادل آن است.

می‌توان تلقی دومی هم داشت و آن این‌که خود این ساختار مشترک هم می‌تواند تغییر کند و طی فرایند تحول علمی متحول خواهد بود. به‌نظر نگارنده این قسم دوم قادر نیست که با دلایل واقع‌گرایان برای اتخاذ رویکرد واقع‌گرایانه هم‌ساز شود. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که واقع‌گرای ساختاری باید تلقی اول را بپذیرد (تبیین دقیق چرایی این مطلب خود نیازمند نوشته‌ای جداگانه است که هدف اصلی این مقاله نیست).

اما در حالت اول واقع‌گرایان باید معین کنند که به چه نوع ساختاری متعهد می‌شوند و هم‌چنین باید در نظریه‌های مختلف این ساختار مشترک را معین کنند. بنابراین، پروژهٔ بزرگ واقع‌گرایی ساختاری این است که به‌صورت موردبه‌مورد و با مطالعهٔ موردی نشان دهند که در دو تحول علمی عمده (دو تغییر پارادایم) ساختاری حفظ شده و بر آن افزوده شده است (یا حداقل ثابت مانده است).

برای این‌که این امر به‌درستی تحقق پذیرد اغلب نیاز است که صورت‌بندی مناسبی از نظریهٔ علمی داشته باشیم تا بتوانیم ساختارهای مشابه و یک‌سان نظریه‌های مختلف را با هم مقایسه کنیم؛ زیرا در برخی موارد صورت‌بندی استاندارد نظریه‌های علمی برای روشن‌شدن این موضوع مناسب نیست.

برای مثال، صورت‌بندی معمولی مکانیک نیوتنی در فضای سه‌بعدی اقلیدسی صورت می‌گیرد، که در آن مختصات سه‌بعدی برای بیان مکان این ذرات استفاده می‌شود و سرعت و شتاب (مطلق) آن‌ها هم براساس عمل مشتق‌گیری از توابع مکان نسبت به زمان معین می‌شوند. رفتار دینامیکی ذرات را قوانین نیوتن معین می‌کنند که معادلهٔ حرکت ذرات را نتیجه می‌دهد. این معادلات تنها در چهارچوب‌های لخت صادق‌اند؛ به‌عبارت‌دیگر، قوانین نیوتن در چهارچوب‌های شتاب‌دار صادق نیستند و این معادلات تحت تبدیلات مختصات هموردا (covariance) نیستند. به این ترتیب، این معادلات را نمی‌توان به‌شکل مستقل از مختصات نوشت.

آن‌چه به این مطلب اهمیت می‌بخشد این است که معادلات نسبیت عام که در فضا ــ زمان چهاربعدی صورت‌بندی می‌شود این ویژگی را دارند که می‌توان آن‌ها را به‌صورت مستقل از مختصات نوشت؛ یعنی، این معادلات هموردای عام (general covariance) هستند و اعتقاد بر این بوده است که تمایز نسبیت عام با نظریه‌هایی چون مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص در این ویژگی است. به این ترتیب، برای یک واقع‌گرای ساختاری این پرسش مطرح می‌شود که آیا مشخصهٔ ساختارهایی که از مکانیک نیوتنی در نسبیت عام باقی مانده‌اند هموردای عام آن‌هاست؟

کافی است که از صورت‌بندی چهاربعدی این معادلات در فضا ـ زمان چهاربعدی (که آن را با یک منیفلد یا خمینه نشان می‌دهند) استفاده کنیم و معادلات را در فضا ــ زمان چهاربعدی صورت‌بندی کنیم تا معلوم شود که معادلات مکانیک نیوتنی را نیز می‌توان به‌شکل مستقل از مختصات نوشت. درواقع، این امر درمورد تمام نظریه‌های فیزیکی بالغ (مکانیک نیوتنی، الکترومغناطیس ماکسول، نسبیت خاص، و نسبیت عام) صادق است؛ یعنی، می‌توان آن‌ها را، به یک معنا، به‌صورت هموردای عام نوشت و همهٔ این نظریه‌ها به‌طور بی‌اهمیتی واجد نوعی تقارن پیمانه‌ای (gauge symmetry) هستند. در مباحث فلسفی و بنیادین مربوط به نظریه‌های فضا ـ زمانی و به‌ویژه نسبیت عام درمورد این‌که هموردایی عام دقیقاً به چه معناست اختلاف‌نظر زیاد است، بااین‌حال برسر دو موضوع توافق گسترده‌ای وجود دارد: «۱. هموردایی عام نسبیت عام را از نظریه‌های پیش از نسبیت متمایز نمی‌کند، مگراین‌که نظریه‌های پیش از نسبیت عام به‌طریق مناسبی صورت‌بندی شده باشند؛ ۲. هموردایی عام، به‌خودی‌خود، هیچ محتوای فیزیکی‌ای ندارد» (Suarez et al. 2010: 197). به این ترتیب، می‌توان چنین تصور کرد که هر نظریه‌ای که در فرایند تحول علمی شکل خواهد گرفت این نوع تقارن پیمانه‌ای را خواهد داشت و باید بتوان آن را به‌صورت مستقل از مختصات نوشت.

درواقع، این نوع از هموردایی عام یک نوع شرط ساختاری بی‌اهمیت روی معادلات و هم‌چنین مشاهده‌پذیرهایی است که نظریه‌های فیزیکی آن را برآورده می‌کنند (احتمالاً تنها نظریه‌هایی که نتوان صورت‌بندی فضا ـ زمانی برای آن‌ها در نظر گرفت قادر نیستند این شرط را برآورده سازند، مانند فیزیک ارسطویی). دراین‌صورت، برای مثال، برای یافتن تمایز میان نظریه‌های نسبیت عام و مکانیک نیوتنی باید شرطی غیر از این نوع از هموردایی عام برآورده شود، مثلاً شرطی که ارمن (Earman 2006: 4) آن را شرط هموردایی عام جوهری (substantive general covariance) می‌نامد یا این‌که این تمایز با تعریف مفهوم شیء مطلق، که می‌توان آن را رویکرد اندرسون ـ فریدمن نامید (Friedman 1983: 56-61)، مشخص شود.

اگر مفهوم شیء مطلق تعریف شود، می‌توان با معرفی نوعی رابطهٔ هم‌ارزی به‌نام هم‌ارزی D (ibid.: 57-59)، که مشخص‌کنندهٔ اشیای مطلق نظریه است، تمایز نسبیت عام را با نظریه‌های دیگر معین کرد، به این طریق که چون نسبیت عام هیچ شیء مطلقی ندارد (البته در این امر مناقشه شده است، اما فرض کنید که این وضعیت برقرار است)؛ ولی در نظریه‌های دیگر نظیر مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص شیء مطلق وجود دارد؛ مثل متریک مینکوفسکی در نسبیت خاص، نسبیت عام با این نظریه‌ها به این معنی متمایز است و توسعهٔ ساختار درجهت حذف اشیای مطلق پیش رفته است. به این ترتیب، مشخص می‌شود که برای بررسی روابط ساختاری صورت‌بندی مناسب نظریه‌ها بسیار اهمیت دارد.

در ادامهٔ مقاله ابتدا معنای دقیق توسعهٔ یک ساختار را معرفی می‌کنیم؛ سپس مثالی مهم از فیزیک نظری، یعنی رابطهٔ میان فیزیک نیوتنی و نظریهٔ نسبیت خاص، را بررسی می‌کنیم. می‌کوشیم نشان دهیم شروطی که در تعریف توسعهٔ یک ساختار ارائه داده‌ایم در این مورد برقرار است. البته باید توجه داشت که در این‌جا تنها رابطهٔ میان جبرهای نظریه‌ها، که مبین سینماتیک نظریه‌هاست، بررسی خواهد شد و بررسی رابطهٔ میان دینامیک نظریه‌ها مقاله‌ای جداگانه می‌طلبد. هم‌چنین عمدهٔ مطالب به بیان حفظ ساختارها تعلق خواهد داشت. بررسی توسعهٔ ساختارها نیز، که نیازمند بررسی حداقل سه نظریه است، مجال دیگری می‌طلبد.

۱.۴ تعریف توسعه یک ساختار

ساختار $\mathcal{A} = \langle A, R_i \rangle_{i \in I}$ را توسعهٔ ساختار $\mathcal{B} = \langle B, R_j{}' \rangle_{j \in J}$ می‌نامیم، هرگاه شروط زیر برقرار باشد:

۱. تابعی چون $F: B \longrightarrow F(B) \subset A$ وجود داشته باشد که دوسویی باشد؛

۲. به‌ازای هر R_j i، عضو I وجود داشته باشد، به‌طوری‌که تابع زیر یک‌سانی (isomorphism) باشد:[۳]

$$f_j: R_j{}' \longrightarrow f_j(R_j{}') \subset R_i$$

$$f_j((x,y)) = (F(x), F(y))$$

$$\text{soif } (x,y) \in R_j{}' \text{then} (F(x), F(y)) \in R_i$$

برای مثال، در نظریهٔ نسبیت خاص گروه تبدیلاتی که تحت آن‌ها قوانین نظریه صادق‌اند، یعنی گروه تقارنی نظریه (symmetry group) گروه پوانکاره (Poincare group) است. این گروه، که خود یک گروه لی (Lie group) است، دارای یک نمایش یکانی

(unitary representation) است؛ یعنی این گروه را با عمل‌گرهای یکانی که روی فضای هیلبرت حالات سیستم اثر دارند نمایش می‌دهند.[۴] عمل‌گرهای این نمایش را می‌توان به‌صورت بسط مولدهای گروه لی، که خود عمل‌گرهای هرمیتی و یکانی‌اند، به‌صورت زیر نشان داد:[۵]

$$U(I+\omega,\epsilon) = I + \frac{1}{2} i\omega_{\mu\nu} J^{\mu\nu} - i\epsilon_\mu P^\mu + \dots \quad (1)$$

$J^{\mu\nu}$ ها و P^μ ها مولدهای گروه‌اند، که خود عمل‌گرهای هرمیتی و یکانی‌اند. این مولدها روابط جابه‌جایی زیر را برآورده می‌کنند:

$$i[J^{\mu\nu}, J^{\rho\sigma}] = \eta^{\nu\rho} J^{\mu\sigma} - \eta^{\mu\rho} J^{\nu\sigma} - \eta^{\sigma\mu} J^{\rho\nu} + \eta^{\sigma\nu} J^{\rho\mu} \quad (2)$$

$$[P^\mu, J^{\rho\sigma}] = \eta^{\mu\rho} P^\sigma - \eta^{\mu\sigma} P^\rho (3)$$

$$[P^\mu, P^\rho] = 0 \quad (4)$$

این جبر لی گروه پوانکاره است. این جبر را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$[J_i, J_j] = i\epsilon_{ijk} J_k \qquad (6)$$

$$[J_i, K_j] = i\epsilon_{ijk} K_k \qquad (7)$$

$$[K_i, K_j] = -i\epsilon_{ijk} J_k \qquad (8)$$

$$[J_i, P_j] = i\epsilon_{ijk} P_k \qquad (9)$$

$$[K_i, P_j] = iH\delta_{ij} \qquad (10)$$

$$[J_i, H] = [P_i, H] = [H, H] = 0 \qquad (11)$$

$$[K_i, H] = iP_i \qquad (12)$$

با داشتن این روابط، به‌روشی که آن را ادغام اینونو ـ ویگنر (Inonu-Wigner contraction) می‌نامند، نشان می‌دهیم که جبر گالیله‌ای حالت خاصی از جبر پوانکاره است؛ یعنی جبر پوانکاره پایدارشدهٔ (stabilized) جبر گالیله‌ای است. «ادغام» و «تغییرشکل» فرایندهایی عکس یک‌دیگرند؛ در ادغام شما از یک جبر پایدارترشده به جبر ناپایدارتر می‌رسید و در تغییرشکل از جبر ناپایدارتر به جبر پایدارتر می‌رسید.

> به‌طور کلی، یک ساختار ریاضی را به‌ازای رده‌ای از تغییرشکل‌ها (deformations) پایدار (stable) یا صلب می‌گویند، اگر هر تغییرشکلی در این رده به یک ساختار معادل (یک‌ریخت) منتهی شود. اندیشهٔ پایداری ساختارها یک اصل راه‌نما برای آزمون اعتبار یا نیاز برای تعمیم یک نظریهٔ فیزیکی است. یعنی، اگر ساختار ریاضی یک نظریهٔ

داده‌شده پایدار نباشد، درآن‌صورت باید تلاش شود تا آن را تغییرشکل دهند تا در یک ساختار پایدار قرار گیرد (Mendes 1994).

در روابط جابه‌جایی، اگر ثابت ساختاری صفر شود، نشانهٔ ناپایداری جبر است و در تغییرشکل تلاش می‌شود این ثوابت ساختارها را به ثوابت غیرصفر تبدیل کنند. برای مثال، در جبر گالیله‌ای که در زیر آورده شده است، ثابت ساختار در رابطهٔ (۱۶) صفر است که می‌توان با فرایند تغییرشکل آن را به‌صورت رابطهٔ (۸) درآورد که ثابت ساختار غیرصفر دارد. به این معنا می‌توان ملاحظه کرد که برخی روابط ساختاری که در جبر گالیله‌ای وجود دارد در جبر پوانکاره حفظ شده است، مثل روابط (۱۴) و (۱۵). این‌ها ساختارهایی را معین می‌کنند که از نظریهٔ پیشین (مکانیک نیوتنی) در نظریهٔ بعدی (نسبیت خاص) حفظ شده‌اند و بنابر آن‌چه پیش‌ازاین گفتیم در نظریه‌ای که بعد از نسبیت خاص موردقبول واقع می‌شود هم باید حفظ شوند.

اگر بخواهیم با فرایند ادغام از جبر پوانکاره جبر گالیله‌ای را نتیجه بگیریم، می‌توانیم نشان دهیم که روابط (۶) و (۷) به همان شکل باقی می‌مانند؛ ولی درمورد روابط بعدی با درنظرگرفتن این‌که برای سیستمی از ذرات با جرم نوعی m و سرعت نوعی v عمل‌گرهای اندازهٔ حرکت و اندازهٔ حرکت زاویه‌ای از مرتبه‌های $J \sim 1$ و $P \sim mv$ هستند و هم‌چنین این‌که عمل‌گر انرژی هم به‌صورت $H = M + W$ است که در آن M نشان‌دهندهٔ انرژی جرمی و W نشان‌دهندهٔ انرژی غیرجرمی (جنبشی و پتانسیل) است که مرتبه‌های آن‌ها هم به‌صورت زیر است:

$$M \sim m \quad (13) \quad \text{و} \quad W \sim mv^2$$

می‌توان به روابط زیر رسید.

اگر $v \ll 1$ باشد، آن‌گاه

$$[J_i, J_j] = i\epsilon_{ijk}J_k \qquad (14)$$

$$[J_i, K_j] = i\epsilon_{ijk}K_k \qquad (15)$$

$$[K_i, K_j] = 0 \qquad (16)$$

$$[J_i, P_j] = i\epsilon_{ijk}P_k \qquad (17)$$

$$[K_i, P_j] = iM\delta_{ij} \qquad (18)$$

$$[J_i, W] = [P_i, W] = 0 \qquad (19)$$

$$[J_i, M] = [P_i, M] = [K_i, W] = [W, M] = 0 \qquad (20)$$

$$[K_i, W] = iP_i \qquad (21)$$

برای مثال، رابطهٔ (10) را در نظر بگیرید. دراین‌صورت داریم:

$$[K_i, P_j] = iH\delta_{ij} = i(M + W)\delta_{ij}$$

با درنظرگرفتن $v \ll 1$، نتیجه خواهد شد که $mv^2 \ll m$؛ بنابراین $W \ll M$؛ پس

$$(M + W) \approx M \Longrightarrow [K_i, P_j] = iM\delta_{ij}$$

ازطرف‌دیگر، از رابطهٔ (11) داریم:

$$[J_i, H] = [J_i, M] + [J_i, W] = 0$$

اما $M = MI$؛ بنابراین با J_i جابه‌جا می‌شود؛ پس $[J_i, M] = 0$ و این یعنی:

$$[J_i, H] = [J_i, W] = 0$$

به همین ترتیب، می‌توان نشان داد که سایر روابط بالا هم از جبر پوانکاره برای حالت حدی ذکرشده قابل‌استخراج است و جبر گالیله‌ای نتیجه خواهد شد. اما این روش دقیقی برای بیان رابطهٔ ساختاری جبر گالیله‌ای با جبر پوانکاره نیست. در بخش پنجم به‌طور دقیق نشان می‌دهیم که چگونه زیرساختاری[۶] ازجبری چون L_1 (مثلاً جبر گالیله‌ای) در ساختار جبر لی دیگری چون L_2 (مثلاً جبر پوانکاره) حفظ می‌شود، به این معنی که جبر لی L_2 پایدارشدهٔ (stabilized) جبر L_1 است.

۵. رابطهٔ ساختاری جبرهای لی پایدارتر و ناپایدارتر

تعریف ۱:[۷] یک جبر لی حقیقی یا مختلط با بعد متناهی چون L فضایی برداری حقیقی یا مختلط است، به‌هم‌راه نگاشتی چون $[\,,]$ از $L \times L$ به L که دارای خواص زیر باشد:

۱. $[\,,]$ دوخطی (bilinear) باشد؛
۲. $[\,,]$ پادمتقارن است؛ یعنی به‌ازای I و J عضو L باشد، آن‌گاه $[I\,, J] = -[J\,, I]$؛
۳. تساوی ژاکوبی برقرار باشد:

$$[I\,, [J\,, K]] + [K\,, [I\,, J]] + [J\,, [K\,, I]] = 0$$

تعریف ۲: یک زیرجبر از جبر لی حقیقی یا مختلطی چون L زیرفضایی چون H از L است، به‌طوری‌که به‌ازای هر I_1 و I_2 که عضو H باشند رابطهٔ $[I_1\,, I_2] \in H$ برقرار باشد.

پس اگر ما نشان دهیم که جبر لی نظریه‌ای چون T زیرجبری از جبر لی نظریهٔ بعدی چون T' است، درواقع حفظ ساختار نظریهٔ پیشین را در نظریهٔ جدید نشان داده‌ایم؛ زیرا به‌روشنی می‌توان، طبق تعریفی که در بالا ارائه شد، نشان داد که ساختار نظریهٔ بعدی توسعهٔ ساختار نظریهٔ پیشین است.

اکنون روشی را بیان می‌کنیم که در آن از جبر لی پایدارتر می‌توان جبر لی ناپایدارتر را به‌دست آورد. نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان ساختاری مشترک بین دو جبر یافت. این کار را به‌روش ادغام اینونو ـ ویگنر انجام می‌دهیم (Inonu and Wigner 1953). باید توجه داشت، همان‌طورکه پیش‌ازاین گفتیم، در فرایند ادغام یا فرایند معکوس آن تغییرشکل (deformation) فضای برداری تغییر نمی‌کند؛ یعنی تعداد مولدها ثابت می‌ماند و این به‌معنی آن است که پایه ثابت است و به‌عنوان ساختار فضای برداری هر دو جبر یک ساختار دارند و این خود یک نوع حفظ ساختار است.

چون ما در این‌جا با گروه‌های لی سروکار داریم، هر عضو گروه را می‌توان برحسب پارامترهای گروه نوشت؛ یعنی اگر $I \epsilon L$ باشد، آن‌گاه:

$$I = g(a^1, \dots, a^n)$$

که در آن a^i پارامترهای گروه لی هستند.

فرض کنید که $I_i \in L$ و $I_j \in L$؛ بنابراین $[I_i, I_j] \in L$ و این یعنی:

$$[I_i, I_j] = C_{ij}^k I_k \quad (22).$$

دراین‌صورت، تابع F را به‌صورت زیر در نظر بگیرید:

$$F: L \longrightarrow L$$

$$J_\mu \equiv F(I_i) = \sum_i I_i U_\mu^i \ ; \ U_\mu^i = u_\mu^i + \epsilon w_\mu^i , \ \ 0 < \epsilon < \epsilon_0 \ \ (23)$$

ماتریس‌های u و w را می‌توان به‌شکل نرمال نوشت. یعنی، اگر ماتریس‌های تبدیل α و β باشند، به‌شکل $\beta u \alpha^{-1}$ و $\beta w \alpha^{-1}$ نوشته می‌شوند. واضح است که این تابع خطی است، زیرا:

$$F(\alpha I_i + \beta I_i') = \sum_i (\alpha I_i + \beta I_i') U_\mu^i = \alpha \sum_i I_i U_\mu^i + \beta \sum_i I_i' U_\mu^i = \alpha F(I_i) + \beta F(I_i')$$

که تبدیل متناظر آن برای پارامترهای گروه به‌صورت زیر است:

$$a^i = \sum_i U_\mu^i \, b^\mu$$

در اینجا، ماتریس‌های u و w به‌صورت زیرند:

$$u = \begin{pmatrix} \mathcal{I} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{و} \; w = \begin{pmatrix} v & 0 \\ 0 & \mathcal{I} \end{pmatrix}$$

که در آن $\mathcal{I}$ ماتریس واحد است.[۸]

فرض کنید که رتبهٔ (rank) ماتریس u_ν^i، r باشد. دراین‌صورت L را می‌توان با تبدیل بالا به‌صورت جمع مستقیم دو زیرجبر L' و بعدی L'' به‌صورت زیر نوشت:

$$L = L' \oplus L''$$

$$J_\mu = \sum_i I_i U_\mu^i = I_i \begin{pmatrix} \mathcal{I} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_\mu^i + I_i \begin{pmatrix} v & 0 \\ 0 & \mathcal{I} \end{pmatrix}_\mu^i$$

$$I_i = \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix}_i \Rightarrow J_\mu = \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} \mathcal{I} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_\mu^i + \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} v & 0 \\ 0 & \mathcal{I} \end{pmatrix}_\mu^i$$
$$= \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathcal{I}_\mu^i & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \epsilon \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \mathcal{I}_\mu^i \end{pmatrix}$$
$$= \begin{pmatrix} I_{1i}\mathcal{I}_\mu^i & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon I_{1i} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \epsilon I_{2i}\mathcal{I}_\mu^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1\mu} + \epsilon I_{1i} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \epsilon I_{2\mu} \end{pmatrix}$$
$$= \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & J_{2\mu} \end{pmatrix}$$

در ماتریس $\begin{pmatrix} I_{1\mu} + \epsilon I_{1i} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \epsilon I_{2\mu} \end{pmatrix}$ قسمت بلوک قطری بالا، یعنی $I_{1i}\mathcal{I}_\mu^i + \epsilon I_{1i} v_\mu^i$، دارای r مولد است و بقیهٔ ماتریس‌ها در جمع‌بندی i، که از ۱ تا n است، صفرند. به همین ترتیب قسمت بلوک قطری پایین، یعنی $\epsilon I_{2\mu}$، دارای n-r مولد در جمع‌بندی است و بقیهٔ ماتریس‌ها در این جمع‌بندی صفر است. یعنی در اینجا شاهد جمع مستقیم ماتریس‌ها هستیم. پس دو جبر مجزا داریم، یکی با r مولد و دیگری با n-r مولد. بنابراین می‌توانیم براساس این دو مجموعه‌مولد رابطهٔ تبدیل (23) را به‌صورت زیر بنویسیم:

$$J_{1\mu} = I_{1\mu} + \epsilon \sum_{\upsilon=1}^{r} v_{\nu\mu} I_{1\nu} \quad ; (\mu = 1,2,\dots,r) \quad (24)$$

$$J_{2\mu} = \epsilon I_{2\mu} \qquad ; (\mu = 1,2,\dots,n-r) \quad (25)$$

دراین‌صورت (22) را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$[I_{\alpha\mu}, I_{\beta\nu}] = \sum_{k=1}^{r} C_{\alpha\mu,\beta\mu}^{1k} I_{1k} + \sum_{k=1}^{n-r} C_{\alpha\mu,\beta\mu}^{2k} I_{2k} \quad (26)$$

که در آن α و β اندیس‌هایی‌اند که مقادیرشان یا ۱ است یا ۲.

بنابراین،

$$[J_{1\mu}, J_{1\nu}] = [I_{1\mu}, I_{1\nu}] + \epsilon(v_{\mu\mu'}\delta_{\nu\nu'} + v_{\nu\nu'}\delta_{\mu\mu'} + v_{\mu\mu'}v_{\nu\nu'})[I_{1\mu'}, I_{1\nu'}] \quad (27)$$

از رابطهٔ (26) می‌توانیم جملات سمت راست رابطهٔ بالا را به‌دست آوریم:

$$[I_{1\mu}, I_{1\nu}] = \sum_{k=1}^{r} C_{1\mu,1\nu}^{1k} I_{1k} + \sum_{k=1}^{n-r} C_{1\mu,1\nu}^{2k} I_{2k}$$

اما از رابطهٔ (24) و (25) داریم:

$$I_{1k} = J_{1k} - \epsilon \sum_{\upsilon=1}^{r} v_{\nu k} I_{1\nu} \text{ و } I_{2k} = \frac{J_{2k}}{\epsilon}$$

درنتیجه:

$$[I_{1\mu}, I_{1\nu}] = \sum_{k=1}^{r} C_{1\mu,1\nu}^{1k} (J_{1k} - \epsilon \sum_{\upsilon=1}^{r} v_{\nu k} I_{1\nu}) + \sum_{k=1}^{n-r} C_{1\mu,1\nu}^{2k} \frac{J_{2k}}{\epsilon}$$

به این ترتیب، رابطهٔ (27) به‌صورت زیر می‌شود:

$$[J_{1\mu}, J_{1\nu}] = \sum_{k=1}^{r} C_{1\mu,1\nu}^{1k} J_{1k} - \epsilon \sum_{k=1}^{r} C_{1\mu,1\nu}^{1k} \sum_{\upsilon=1}^{r} v_{\nu k} I_{1\nu} + \sum_{k=1}^{n-r} C_{1\mu,1\nu}^{2k} \frac{J_{2k}}{\epsilon} + \epsilon(v_{\mu\mu'}\delta_{\nu\nu'} + v_{\nu\nu'}\delta_{\mu\mu'} + v_{\mu\mu'}v_{\nu\nu'})[I_{1\mu'}, I_{1\nu'}]$$

اما اگر از عبارت بالا، وقتی ϵ به صفر میل می‌کند، حد بگیریم، جملات دوم و چهارم سمت راست آن صفر می‌شوند و برای این‌که این عبارت حد داشته باشد باید ثابت‌های ساختار در جمله سوم، یعنی، $C_{1\mu,1\mu}^{2k}$ها، همگی صفر شوند. بنابراین:

$$[J_{1\mu}, J_{1\nu}] = \sum_{k=1}^{r} C_{1\mu,1\nu}^{1k} J_{1k} \quad (28) \quad , \qquad C_{1\mu,1\nu}^{2k} = 0 \quad (29)$$

اگر این‌گونه باشد، ثابت‌های ساختار $c_{\alpha\mu,\beta\nu}^{\gamma k}$ به مقادیر متناهی میل خواهند کرد (Inonu and Wigner 1953).

پس:

$$c_{1\mu,1\nu}^{1k} = C_{1\mu,1\nu}^{1k} \ , \ c_{1\mu,1\nu}^{1k} = C_{1\mu,1\nu}^{1k} = 0 \ , c_{1\mu,2\nu}^{2k} = C_{1\mu,2\nu}^{2k}$$

$$c_{2\mu,2\nu}^{1k} = c_{2\mu,2\nu}^{2k} = 0 \quad , \quad c_{1\mu,2\nu}^{1k} = 0$$

به این ترتیب، وقتی $\epsilon \longrightarrow 0$ تابع F، که تابعی خطی است و با رابطهٔ (23) تعریف شده است، جبر $L = L'\oplus L''$ را به جبر L' تبدیل می‌کند که در آن رابطهٔ جابه‌جایی (22) به (28) تبدیل می‌شود و بعد جبر هم r است؛ یعنی این یک هم‌سانی است که بین جبر L و جبر L' است؛ زیرا:

$$F([I_i , I_j]) = F(C_{ij}^k I_k) = C_{ij}^k F(I_k) = C_{ij}^k J_k = C_{ij}^k \begin{pmatrix} J_{1k} & 0 \\ 0 & J_{2k} = \epsilon I_{2k} \end{pmatrix}$$

که وقتی $\epsilon \longrightarrow 0$ عبارت بالا برابر می‌شود با:

$$\lim_{\epsilon\longrightarrow 0} F([I_i , I_j]) = \lim_{\epsilon\longrightarrow 0} C_{ij}^k \begin{pmatrix} J_{1k} & 0 \\ 0 & J_{2k} = \epsilon I_{2k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{ij}^k J_{1k} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (30)$$

ازطرف‌دیگر:

$$([F(I_i) , F(I_j)\ ]) = ([J_\mu , J_\nu]) = \left[\begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & J_{2\mu} \end{pmatrix} , \begin{pmatrix} J_{1\nu} & 0 \\ 0 & J_{2\nu} \end{pmatrix}\right]$$

پس:

$$\begin{aligned} \lim_{\epsilon\longrightarrow 0}([F(I_i)\ \ , F(I_j)\ ]) &= \left(\left[\lim_{\epsilon\longrightarrow 0} F(I_i)\ \ , \lim_{\epsilon\longrightarrow 0} F(I_j)\ \right]\right) \\ &= \lim_{\epsilon\longrightarrow 0}\begin{pmatrix} [J_{1\mu} , J_{1\nu}] & 0 \\ 0 & [\epsilon I_{2\mu}, \epsilon I_{2\nu}] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [J_{1\mu} , J_{1\nu}] & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} C_{1\mu,1\nu}^{1k} J_{1k} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (31) \end{aligned}$$

می‌توان نشان دادکه به‌ازای J_{1k} که در آن $k = (1, \ldots , r)$ است، $C_{ij}^k = C_{1\mu,1\nu}^{1k}$، این تساوی را می‌توان به‌طریق زیر نشان داد (توجه کنید که در این‌جا اگر جمع‌بندی روی اندیسی لزوماً تا n نباشد، حد جمع‌بندی به‌طور صریح نشان داده خواهد شد؛ پس اگر حد جمع‌بندی عنوان نشود، به‌معنی آن است که حد جمع n است.

$$\begin{aligned} [I_i , I_j] &= \left[\begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix}_i , \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix}_j\right] = \left[\begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} I_{1j} & 0 \\ 0 & I_{2j} \end{pmatrix}\right] = \begin{pmatrix} [I_{1i}, I_{1j}] & 0 \\ 0 & [I_{2i}, I_{2j}] \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^{r} C_{1i,1j}^{1k} I_{1k} & 0 \\ 0 & \sum_{k=1}^{n-r} C_{1i,1j}^{2k} I_{2k} \end{pmatrix} = C_{ij}^k \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix}_k = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^{r} C_{ij}^k I_{1k} & 0 \\ 0 & \sum_{k=1}^{n-r} C_{ij}^k I_{2k} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

پس: $C_{1i,1j}^{1k} = C_{ij}^k$ که در آن $k = (1, \ldots , r)$.

به این ترتیب، از (30) و (31) نتیجه می‌شود:

$$\lim_{\epsilon\to 0} F([I_i , I_j]) = \left(\left[\lim_{\epsilon\to 0} F(I_i)\ , \lim_{\epsilon\to 0} F(I_j)\right]\right)$$

پس $\phi(I_i) = \lim_{\epsilon\to 0} F(I_i)$ هم‌سانی از L به L'[9] است. اکنون تابعی از $L' \approx \lim_{\epsilon\to 0} F(L)$[10] به L تعریف می‌کنیم، به‌صورت $\psi(L') \to L'$ که یک‌سانی باشد.

$$\psi(J_{1\mu}) = \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

واضح است که این تابع یک‌به‌یک است، زیرا:

$$\text{if}\, \psi(J_{1\mu}) = \psi(J_{1\nu})\, \text{then} \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_{1\nu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow J_{1\mu} = J_{1\nu}$$

توجه به یک نکتهٔ مهم در این‌جا ضروری است و آن این‌که به این معنا جبر L توسعهٔ جبر L' است و این ساختار باید در نظریه‌های متوالی حفظ شود.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله راه‌حل‌های مختلف به فرااستقرای بدبینانه را (به‌طور اجمال) بررسی کردیم. باتوجه‌به پاسخ‌های مختلف واقع‌گرایان ساختاری به‌نظر می‌رسد که بهترین گزینه برای دفاع از واقع‌گرایی علمی و ارائهٔ تبیین معقول از نظریه‌های علمی واقع‌گرایی ساختاری باشد. نکتهٔ مهمی که درمورد این دیدگاه وجود دارد این است که ادعای واقع‌گرایی علمی ساختاری خود می‌تواند در معرض آزمون قرار گیرد، به این صورت که در حوزه‌های مختلف علمی (مثل فیزیک، بیولوژی، شیمی، و ...) نظریه‌های علمی بالغ و موفق متوالی را با یک‌دیگر قیاس کنیم و ببینیم آیا اولاً در گذار از نظریهٔ علمی T_1 به T_2 ساختاری چون A باقی می‌ماند؟ و ثانیاً در گذار از T_2 به T_3 ساختاری چون B در T_3 وجود خواهد داشت که A را در بر داشته باشد یا حداقل معادل آن باشد؟ در این مقاله، عمدتاً، سعی شد درمورد مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص شرط اول این آزمون بررسی شود و معلوم شود که آیا این وضعیت برقرار است؟ دیدیم که پاسخ این پرسش مثبت است. البته استخراج روابط جزئی‌تر میان مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص (چه ازمنظر گروه‌های تقارنی آن‌ها و چه به‌لحاظ ساختار هندسی آن‌ها) و مقایسهٔ بین سه نظریهٔ متوالی مکانیک نیوتنی، نسبیت خاص، و نسبیت عام مجالی بسیار بیش‌ازاین می‌طلبد که در مقالاتی جداگانه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

پی‌نوشت‌ها

۱. توسل کلی به استنتاج براساس بهترین تبیین است.

۲. برای مثال، ساتسی (Saatsi) در مقالهٔ (2005) خود می‌کوشد تا شأن استقرای بدبینانه را با یادآوری هدف اصلی این استدلال دوباره بنا نهد تا به این طریق برنامهٔ واقع‌گرایان را مبنی‌بر تضعیف مقدمات استدلال فرااستقرای بدبینانه موجه سازد (Saatsi 2005).

۳. البته روش‌های دیگری هم وجود دارد که بتوان از توسعهٔ یک ساختار استفاده کرد (که به این روش نزدیک‌اند)، مثل روش داکوستا (Da Costa) و فرنچ (French) در استفاده از ساختارهای جزئی (partial structure) یا روشی که ردهد برای تعریف تغییر ساختارها براساس پارامتری پیوسته معرفی کرده است (Redhead 2001: 86) و اصلاحی که وتسیس در آن با اضافه‌کردن پارمترهای به‌طور جزئی ناپیوسته اعمال کرده است (Votsis 2011: 105-117).

۴. درواقع به‌زبان نظریهٔ گروها یک نمایش یکانی تابعی است از گروهی چون G به مجموعهٔ عمل‌گرهای یکانی فضای هیلبرتی چون $\mathcal{H}$ که به‌صورت زیر است:

$$G \to \mathfrak{U}(\mathcal{H})$$
$$g \mapsto U$$
$$h(g) = U_g$$
$$h(g_1 g_2) = U_{g_1} U_{g_2}$$

۵. مرجع مطالب این بخش: Weinberg 1996.

۶. باید توجه داشت که زیرساختار می‌تواند با خود ساختار مساوی نیز باشد.

۷. بنگرید به Hall 2015: 49.

۸. درادامه از قاعدهٔ اینشتاین پیروی می‌کنیم؛ یعنی روی اندیس‌های تکراری جمع‌بندی صورت می‌گیرد.

۹. برای نشان‌دادن هم‌سانی‌بودن یک شرط دیگر هم لازم است و آن این‌که نشان دهیم این تابع خطی است که ابتدا این کار را انجام دادیم.

۱۰. ≈ به‌معنی یک‌سان‌بودن دو مجموعه است.

کتاب‌نامه

Chakravartty, A. (2007), *A Metaphysics for Scientific Realism*, Cambridge: Cambridge University Press.

Chakravartty, A. (2017), "Scientific Realism", <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-realism>.

Earman, J. (2006), "The Implications of General Covariance for the Ontology and Ideology of Spacetime", in: Dieks (2006), *The Ontology of Spacetime*, vol. 1, Amsterdam: Elsevier.

Esfeld, M. (2006), "Scientific Realism and the History of Science", in: *The Controversial Relationships between Science and Philosophy: a Critical Assessment*, Gennaro Auletta (ed.), Libreria EditriceVaticana.

French, S. and J. Ladyman (2011), "In Defence of Ontic Structural Realism", in: A. Bokulich and P. Bokulich (eds.), *Scientific Structuralism*, Dordrecht: Springer.

Friedman, M. (1983), *Foundations of Spacetime Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*, Princeton: Princeton University Press.

Hall, B. (2015), *Lie Groups, Lie Algebras, and Representations; an Elementary Introduction*, Dordrecht: Springer.

Hardin, C. L. and A. Rosenberg (1982), "In Defence of Convergent Realism", *Philosophy of Science*, vol. 49.

Inonu, E. and E. P. Wigner (1953), "On the Contraction of Groups and Their Representations", *Proc. Natl. Acad. Scie. (U.S.A.)*, vol. 39.

Kitcher, P. (1993), *Advancement of Science: Science without Legend, Objectivity without Illuosions*, Oxford: Oxford University Press.

Ladyman, J. et al. (2007), *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*, Oxford: Oxford University Press.

Lange, M. (2002), "Baseball, Pessimistic Inductions and the Turnover Tallacy", *Analysis*, vol. 62, no. 4.

Laudan, L. (1984), "Discussion: Realism without the Real", *Philosophy of Science*, vol. 51.

Leplin, J. (1997), *A Novel Defense of Scientific Realism*, Oxford: Oxford University Press.

Leplin, J. (1984), *Scientific Realism*, Berkley, Los Angeles, London: University of California Press.

Lewis, P. J. (2001), "Why the Pessimistic Induction Is a Fallacy", *Synthese*, vol. 129.

Mendes. R.Vilela. (1994), "Deformations, Stable Theories and Fundamental Constants", *Phys. A. Math*, Gen. 27.

Papineau, D. (1996), "Introduction", in: D. Papineau (ed.), *The Philosophy of Science*, Oxford: Oxford University Press.

Psillos, S. (1996), "On van Fraassen's Critique of Abductive Reasoning", *Philosophical Quarterly*, vol. 46, no. 182.

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

Putnam, H. (1975), *Mathematics, Matter, and Method*, Cambridge: Cambridge University Press.

Redhead, Michael L.G. (2001), "The Intelligibility of the Universe", in: A. O'Hear (ed.) *Philosophy at the New Millennium*, Cambridge: Cambridge University Press.

Saatsi, J.T. (2005), "On the Pessimistic Induction and Two Fallacies", *Philosophy of Science*, vol. 72, no. 5.

Stanford, P. K. (2006), *Exceeding Our Grasp: Alternatives*, Oxford: Oxford University Press.

Suarez, M., M. Dorato, and M. Redei (eds.) (2010), *EPSA Philosophical Issues in the Sciences: Launch of the European Philosophy of Science Association*, vol. 2, Dordrecht: Springer.

Votsis, I. (2011), "Structural Realism: Continuity and Its Limits", in: A. Bokulich and P. Bokulich (eds), *Scientific Structuralism*, Boston Studies in the Philosophy of Science. Dordrecht: Springer.

Weinberg, S. (1996), *The Quantum Field Theory*, vol. 1, *Foundations*, Cambridge: Cambridge University Press.

Worrall, J. (1982), "Scientific Realism and Scientific Change", *Philosophical Quarterly*, vol. 32.

Worrall, J. (1989), "Structural Realism: The Best of Both Worlds", *Dialéctica*, vol. 43, no. 1-2.

Wray, B. (2013), "Success and Truth in the Realism/ Anti-realism Debate", *Synthese*, vol. 190, issue 9.