آموزشی

آزمایشگاه ذهن

«آزمایش فکری» در فیزیک

فهیمه ابراهیمی تیرتاش
دانشجوی دکتری فلسفه علم
کارشناس گروه بررسی محتوای آموزشی اداره کل استان مازندران

چکیده

هدف اصلی این مقاله آشنایی با مفهوم آزمایش فکری و نقش آن در علم فیزیک است. این آزمایش‌ها نه در آزمایشگاه واقعی بلکه در ذهن انجام می‌شود، ولی نکته مهم آن است که این آزمایش‌ها بدون داده‌های تجربی جدید، ما را به شرایط معرفتی جدیدی می‌رساند و می‌تواند نظر ما را در مورد یک نظریه تغییر دهد. در مورد نحوهٔ عملکرد آزمایش‌های فکری دیدگاه‌های متفاوتی وجود دارد. در این نوشته ابتدا نمونه‌هایی از آزمایش‌های فکری ارائه شده، سپس دو دیدگاه مشهور در مورد نحوهٔ عملکرد آن‌ها بیان می‌شود. معلمان عزیز پس از آشنایی با این مفهوم می‌توانند در کلاس درس خود از آن استفاده کنند.

کلیدواژه‌ها: آزمایش، آزمایش فکری، تجربه‌گرایی.

مقدمه

«آزمایش فکری»[1] ابزاری ابتکاری است که نقش مهمی در حوزه‌های مختلف علوم ایفا می‌کند و پیامدهای ارزشمندی به‌بار می‌آورد. این نوع آزمایش در حوزه‌های مختلفی مانند فیزیک، زیست‌شناسی، ریاضیات، فلسفه، تاریخ و جامعه‌شناسی و... کاربرد دارد. مهم‌ترین ویژگی این آزمایش‌ها این است که نیاز به تجربهٔ مستقیم آزمایشگاهی ندارند و بدون هیچ دادهٔ تجربی جدید ما را به شرایط معرفتی تازه‌ای می‌رسانند. معلمان فیزیک می‌توانند از ارائه این مفهوم به‌عنوان روشی برای طرح برخی از آزمایش‌ها در کلاس درس استفاده کنند و بدون نیاز به محیط آزمایشی واقعی دانش‌آموز را در رسیدن به نتیجهٔ مورد نظر یاری کنند، همچنین با این روش می‌توانند قدرت تصورپذیری دانش‌آموز را بالا ببرند.

نخستین‌بار، آزمایش فکری یا به اصطلاح گدانکن[2] توسط ماخ در کتاب دانش مکانیک (Mach 1960) به‌کار گرفته شد، هرچند از این روش در یونان باستان نیز استفاده می‌شده است. در دوران جدیدتر، غنی‌ترین آزمایش‌های فکری توسط گالیله، دکارت، لایب‌نیتس و... مطرح شده

است. امروزه اغراق‌آمیز نیست که بگوییم بخش مهمی از علم جدید بر مبنای شگفت‌انگیز آزمایش‌های فکری استوار است. محل انجام آزمایش‌های فکری در آزمایشگاه واقعی نیست بلکه در ذهن است، زیرا انجام اغلب آن‌ها در آزمایشگاه‌های واقعی امکان‌پذیر نیست. علت این امر می‌تواند به عوامل مختلفی از جمله کمبود یا نبود فناوری مناسب، هزینه‌های بالای انجام آزمایش، غیرممکن بودن اجرای آزمایش از نظر فیزیکی و... برگردد.

مثلاً نمی‌توان قانون اول نیوتون را مورد آزمایش قرار داد، زیرا نمی‌توانیم شرایطی را به‌وجود آوریم که بر جسم هیچ نیرویی وارد نشود. با وجود این، آزمایش‌های فکری بی‌شباهت به آزمایش‌های واقعی نیستند. آن‌ها با داشتن شرایط و مقدمات اولیه، نتایج خاصی را پیش‌بینی می‌کنند. آن‌ها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که یا به‌دنبال کشف چگونگی کارکرد جهان هستند و یا نظریه‌های پذیرفته‌شده را ابطال می‌کنند. در این آزمایش‌ها برخلاف آزمایش‌های واقعی، رویدادها در عالم واقعی صورت نمی‌گیرد، بلکه آزمایش در تصور و ذهن اجرا می‌شود. اما نکته مهم این است که نتایج حاصل از آن‌ها مطابق با تجربه است. در اغلب آزمایش‌های فکری ایده‌آل‌سازی صورت می‌گیرد، ولی ایده‌آل‌سازی شرط ضروری آزمایش فکری نیست. ممکن است کسی در مورد چگونگی حرکت جسم بر روی یک سطح بدون اصطکاک تفکر کند ولی این یک آزمایش فکری محسوب نمی‌شود زیرا کار او صرفاً به دلیل ساده‌سازی یک‌سری محاسبه‌های ریاضی است. مهم‌ترین ویژگی آزمایش فکری در آن است که بدون داشتن داده تجربی تازه ما را به شرایط معرفتی جدیدی می‌رساند و می‌تواند نظر ما را در مورد یک نظریه تغییر دهد. ولی چگونه آزمایش فکری قادر است همانند آزمایش واقعی معرفت‌بخش باشد؟ بهترین راه برای شناخت آزمایش‌های فکری آشنایی مستقیم با چند نمونه از آن‌ها در فیزیک است.

به‌منظور ابطال دیدگاه ارسطویی دربارهٔ سقوط آزاد اجسام، گالیله از ما می‌خواهد دو گوی، یکی سبک و دیگری سنگین را تصور کنیم که از بالای برج کج پیزا رها می‌شوند

۱. گالیله، ارسطو و سقوط آزاد اجسام

یکی از مشهورترین و مهم‌ترین آزمایش‌های فکری، آزمایش سقوط آزاد گالیله است. گالیله این آزمایش را در کتاب گفت‌وگو آورده است. به‌منظور ابطال دیدگاه ارسطویی درباره سقوط آزاد اجسام، از ما می‌خواهد دو گوی، یکی سبک و دیگری سنگین را تصور کنیم که از بالای برج کج پیزا رها می‌شوند. طبق دیدگاه ارسطویی، گوی سنگین‌تر، سریع‌تر از گوی سبک‌تر سقوط می‌کند. اگر V_H بیانگر سرعت سقوط گوی سنگین‌تر و V_L بیانگر سرعت سقوط گوی سبک‌تر باشد. داریم: $V_H » V_L$، زیرا از نظر ارسطو سرعت سقوط اجسام به جرم آن‌ها بستگی دارد. گالیله از ما می‌خواهد دو گوی را که توسط نخ سبکی به یکدیگر بسته شده‌اند تصور کنیم. مجموعهٔ دو گوی را رها می‌کنیم. اکنون چه اتفاقی می‌افتد؟ طبق دیدگاه ارسطو به تناقض می‌رسیم. از طرفی، گلوله سبک، حرکت گلوله سنگین را کند می‌کند زیرا سبب کنشی مثل کشیدن می‌شود و جسم سبک برای جسم سنگین در حکم ترمز عمل می‌کند. لذا دو گوی متصل به‌هم بایستی کندتر از گوی سنگین حرکت کند. $V_{L+H} « V_H$ از طرفی دیگر چون وزن دو گوی روی هم، بیشتر از گوی سنگین است، بایستی دستگاه مرکب از دو گوی، سریع‌تر سقوط کند $V_H « V_{L+H}$. بنابراین دستگاه مرکب در آن واحد، هم سریع‌تر و هم کندتر حرکت می‌کند! برای رفع این تناقض باید نتیجه بگیریم که آن‌ها با سرعتی برابر سقوط می‌کنند یعنی سرعت سقوط اجسام مستقل از جرم آن‌ها است. $V_{L+H} = V_L = V_H$

شکل ۱-۱. نمایی از آزمایش فکری گالیله

طـرح این آزمایش در کلاس درس کمک قابل توجهی به دانش‌آموز می‌کند تا دریابد سرعت سقوط اجسام مستقل از جرم آن‌هاست. (Galileo, 1974, p.66)

همان‌طور که ملاحظه می‌شـود این آزمایش با در نظر گرفتن یک نظریـه و تحلیل صرفاً عقلی به نتایج متناقضی می‌رسد و نظریهٔ ارسطو را رد کرده و نظریهٔ دیگری را به‌جای آن می‌نشـاند. در این آزمایش باید وضعیت‌های مختلفی را تصـور کنیم، عملـی را انجام دهیم و آنچـه اتفاق می‌افتد را ببینیـم اگرچه از داده‌های تجربی مسـتقیمی اسـتفاده نکرده‌ایم. نتیجه این آزمایش را می‌توان به‌صورت واقعی در عالم خارج آزمود، هر چند همهٔ آزمایش‌های فکری قابلیت آزمون تجربی ندارند.

۲. اینشتین و پرتو نور

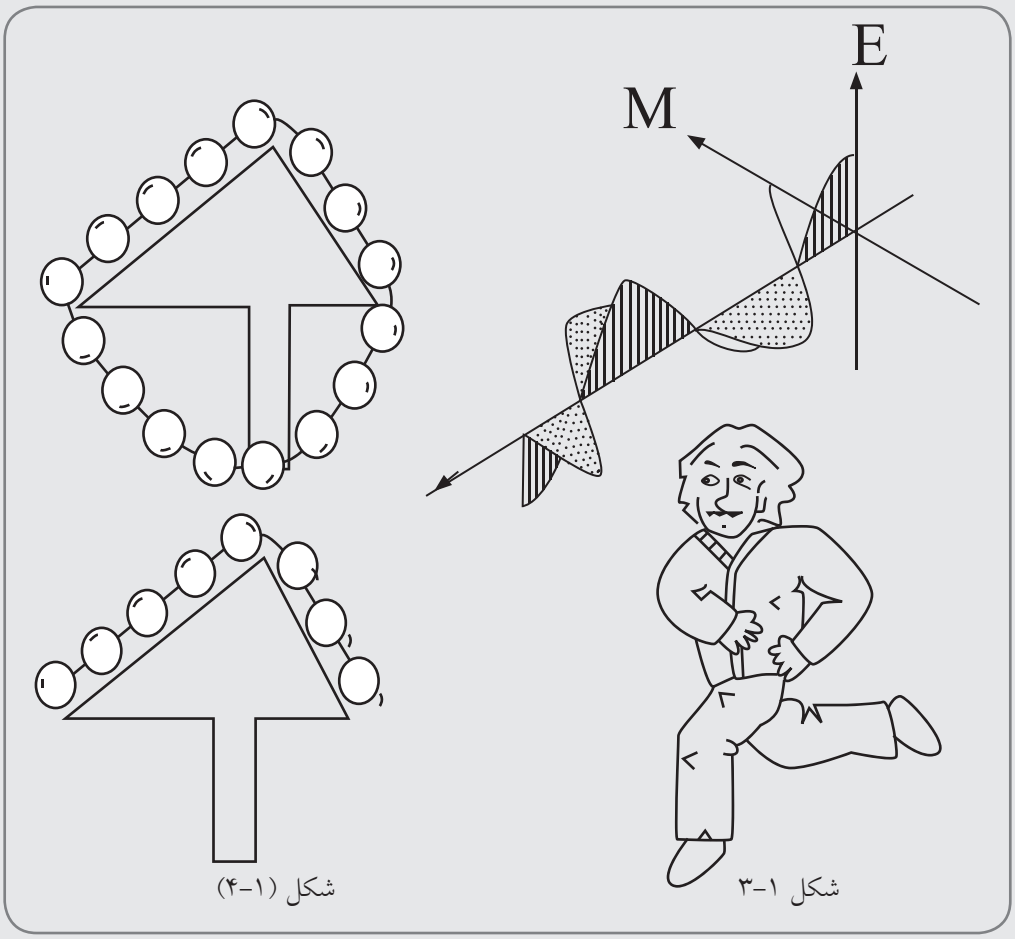
این آزمایش راهگشای اینشتین برای رسیدن به نسبیت خاص بوده اسـت. طبق نظریهٔ الکترومغناطیس ماکسـول، تغییرات میدان الکتریکی مولد میدان مغناطیسی و تغییرات میدان مغناطیسـی مولد میدان الکتریکی است. برآیند این دو میـدان، میدان الکترومغناطیسـی اسـت که حاصل آن انتشـار امواج الکترومغناطیسی با سـرعت c (سرعت نور) است. اگر بتوانیم با سرعت نور بدویم چه اتفاقی می‌افتد؟

اینشتین در این آزمایش از ما می‌خواهد دریایی از امواج الکترومغناطیسـی را تصور کنیم که یـک پرتو نور، موجی متحرک در این دریای الکترومغناطیسی است. اگر تا آخرین نفس از فاصله‌های دور از دریا بر روی اسکله به سوی ساحل دریا همراه بـا موج بزرگ (موج الکترومغناطیسـی) بدویم (شکل ۱-۳) در صورتی که سرعت ما با سرعت موج یکسان باشد، از نظر ما موج ساکن است. اما پرتو نور چگونه می‌تواند ساکن باشد؟ برای یک موج نور، تغییر ضروری است، زیرا با ثابت بودن میدان الکتریکی یا میدان مغناطیسی، آن‌ها دیگر به هم تبدیل نخواهند شـد و هیچ موج الکترومغناطیسـی وجود نخواهد داشـت. ایـن آزمایش فکری اسـاس نظریهٔ نسبیت است.

۳. زنجیر بی‌حرکت ماخ

زنجیـری را در نظر بگیرید. (به جـای زنجیر می‌توان وزنه‌های متصل به هم را نیز تصور کرد) که روی یک جفت

محل انجام آزمایش‌های فکری در آزمایشگاه واقعی نیست بلکه در ذهن است، زیرا انجام اغلب آن‌ها در آزمایشگاه‌های واقعی امکان‌پذیر نیست



شکل ۱-۳

شکل (۱-۴)

سطح شیب‌دار بدون اصطکاک منشـوری شکل قرار دارند (مطابق شـکل ۱-٤). این زنجیرها چگونه حرکت خواهند کرد؟ شـیب تند سـطح اثر بیشـتری دارد و باعث حرکت زنجیر به سمت پایین می‌شود یا تعداد بیشتر وزنه‌ها (جرم بیشتر) در طرف دیگر؟

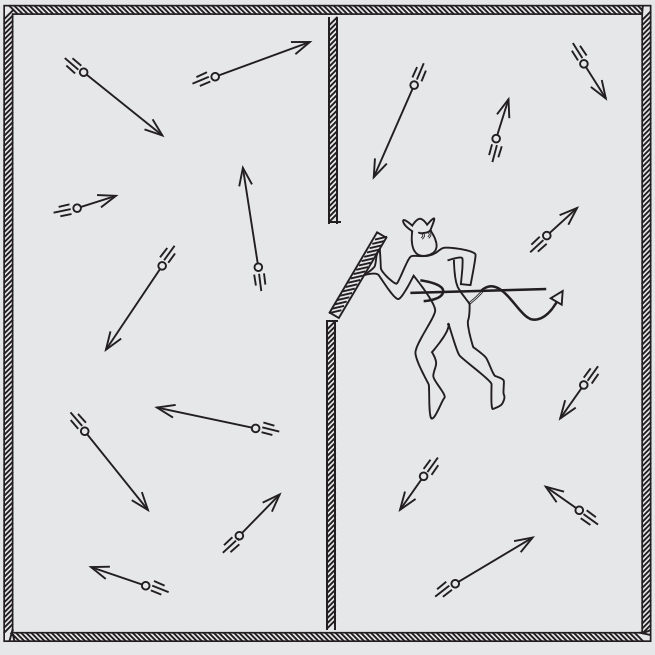
ماخ فکر می‌کرد با افزودن تعدادی وزنه به پایین زنجیر، حلقهٔ بسته‌ای تشـکیل خواهد شد. اگر دستگاه را به حالت تعـادل درآوریـم، زنجیرهـای هیچ‌یک از دو طرف سـطح شـیب‌دار، حرکت نخواهند کرد و دسـتگاه به حال تعادل باقـی خواهد ماند. زیرا در صورت حرکت هر یک از طرفین، ماشینی با حرکت دائمی خواهیم داشت که امری غیرممکن است. دسـتاورد مهم این آزمایش فکری برای علم مکانیک این اسـت که در سطوح شیب‌دار هم ارتفاع، وزنه‌ها با طول سطوح رابطهٔ عکس دارند.

٤. شیطانک ماکسول

طـرح ایـن آزمایـش در کلاس درس در مبحـث ترمودینامیـک کمـک می‌کنـد تا مفهـوم آمـاری بودن قانون‌های ترمودینامیکی را راحت‌تر آموزش دهیم. ماکسول به کمک ایـن آزمایش قطعیتی را کـه در مورد قانون‌های ترمودینامیکی وجود داشت به چالش کشید و تصور کاهش آنتروپی را ممکن ساخت. تا آن زمان در ترمودینامیک، گرما به‌خودی خود (بدون انجام کار خارجی)، از جسـم گرم‌تر به سردتر منتقل نمی‌شد. ماکسـول پیشنهاد کرد دو محفظهٔ مجـزا از هم را در نظر بگیرید که توسـط دریچه باریکی به هم متصل هسـتند. فرض کنید شیطانک لاغر هوشمندی، نگهبان این دریچه است. یکی از این دو محفظه با هوای گرم و دیگری با هوای سرد پر شده است. اگرچه سرعت متوسط مولکول‌های گاز گرم بیشـتر از سـرعت متوسـط گاز سرد اسـت، ولی مولکول‌ها با سـرعت‌های مختلف در هر مخزن توزیع شده‌اند. این شیطانک تنها اجازه می‌دهد مولکول‌هایی با سـرعت و انرژی بیشتر از محفظهٔ سرد وارد محفظهٔ گرم و مولکول‌هایی با سرعت و انرژی کمتر، از محفظهٔ گرم وارد محفظهٔ سرد شوند. لذا بدون انجام کار، دمای محفظهٔ سرد، کم و دمای محفظهٔ گرم، زیاد می‌شـود و این نتیجه خلاف قانون دوم ترمودینامیک و کاهش آنتروپی است و بی‌نظمی دستگاه می‌تواند بدون مداخله از خارج کاهش یابد.

نتیجـه‌ای که از این آزمایش‌هـای فکری خوب گرفته می‌شـود این اسـت که قانون دوم ترمودینامیک هنوز هم قادر اسـت پدیده‌های جهان را توصیف کند ولی این قانون، قانونی با احتمال زیاد اسـت نه یک ضـرورت منطقی و ما در قوانین ترمودینامیک، باید از روش‌های آماری اسـتفاده کنیـم. در مثال بالا به دلیل احتمال آماری کاهش آنتروپی رخ می‌دهد.

در نمونه‌هـای آزمایش فکری که مطرح شـد (برای آشنایی با انواع بیشتری از آزمایش‌های فکری در فیزیک (۲۸ آزمایش فکـری) به کتاب مارتیـن کوهن[۳] مراجعه کنید که مشـخصات آن در فهرسـت منابع آمده اسـت)



شکل ۱-۵

دیدیم که این آزمایش‌ها قادرند بدون بهره‌گیری از دادهٔ تجربی جدید، ما را به شرایط معرفتی تازه‌ای رهنمون سازند. آزمایش‌های فکری چگونه این کار را انجام می‌دهند؟ صاحب‌نظران بسیاری روی این مسئله کار کرده‌اند. یکی از این افراد نورتون[4] است. از نظر او آزمایش‌های فکری این کار را از طریق استدلال انجام می‌دهند. به نظر نورتون ما در حین خواندن متن یک آزمایش فکری استدلالی را در ذهن انجام می‌دهیم، هر چند خودمان متوجه آن نباشیم. قدرت و توان‌شناختی این آزمایش‌ها دقیقاً در همین استدلال پنهانی است که صورت می‌گیرد. آزمایش‌های فکری در علم صرفاً استدلال تصویری هستند. آن‌ها استدلال‌های معمولی هستند که به‌صورت داستان یا روایتی تغییر شکل داده‌اند (Norton, 2004a, p.1139). لذا از نظر شناختی کاری بیش از استدلال انجام نمی‌دهند.

نورتون علت طرح چنین ادعایی را به این دلیل می‌داند که همهٔ آزمایش‌های فکری می‌توانند به‌صورت استدلال‌هایی با مقدمات تصریحی یا تلویحی بازسازی شوند. کار یا عملی که آزمایش فکری انجام می‌دهد، توسط استدلال صورت می‌گیرد، ولو این استدلال تصریحی نباشد (Norton, 2004b,p.50). حال دیدگاه نورتون را در مورد آزمایش فکری سقوط آزاد گالیله به‌کار می‌بریم و آن را به‌صورت استدلالی بازنویسی می‌کنیم تا منظور او را بهتر دریابیم.

مقدمه (۱)- دو گوی یکی سبک و دیگری سنگین به یکدیگر متصل شده‌اند.

مقدمه (۲)- اگر سرعت سقوط یک جسم متناسب با جرم آن باشد در این صورت باید مجموعه دو گوی هم با سرعت کمتر و هم با سرعت بیشتر از یک گوی سقوط کنند.

مقدمه (۳)- مجموعه دو گوی با سرعت کمتر یا بیشتر سقوط نمی‌کنند.

نتیجه- سرعت اجسام در حال سقوط متناسب با جرم آن‌ها نیست.

یکی از منتقدان اصلی دیدگاه نورتون، براون[5] است که رویکردی پیشینی و افلاطونی به آزمایش‌های فکری دارد. به اعتقاد براون آزمایش‌های فکری به‌ویژه در حوزهٔ علوم به آزمایشگر اجازه می‌دهند با چشم عقل و بدون اتکا به تجربهٔ حسی با کمک شهود افلاطونی نظیر آن‌چه افلاطون یا گودل ذکر می‌کنند به کشف قانون‌های طبیعت نائل شوند. او این کار را با افلاطون‌گرایی در ریاضیات آغاز کرده، سپس قوانین طبیعی را نیز افلاطونی شمرده و ادعا می‌کند به کمک آزمایش‌های فکری قادریم این قانون‌ها را به‌دست آوریم. رویکردهای دیگری چون مدل‌های ذهنی و... در مورد نحوه کارکرد آزمایش‌های فکری مطرح است ولی آنچه اهمیت دارد این است که این آزمایش‌ها کمک شایان توجهی به علم کرده‌اند و نمی‌توان نقش مؤثر آن‌ها را در علم نادیده گرفت. از نظر نگارنده نیز معلمان می‌توانند این آزمایش‌ها را در کلاس‌های درس بدون نیاز به هیچ ابزار سخت‌افزاری ارائه کنند و نقش مؤثر این آزمایش‌ها را در امر آموزش علم نیز شاهد باشند.

پی‌نوشت

1. thought experiment
2. Gedanken
3. Martin cohen
4. John Norton
5. James Robert Brown

منابع

1. Brown, J. R, 1991, *Laboratory of the Mind:* Thought Experiments in the Natural Sciences, Lodon: Routledge.

۲. Brown, J. R, ۲۰۰۴a "Why Thought Experiments Transcend Experience," in C. Hitchcock (ed.), Contemporary Debates in the philosophy of Science, Malden, MA: Blackwell, pp. ۴۳-۲۳.

۳. Brown, J. R, ۲۰۰۴b, "Peeking into Plato's Heaven." Philosophy of Science, vol. ۱۱۳۸-۱۱۲۶ ,۷۱.

۴. Cohen, M., ۲۰۰۵, Wittgenstein's Beetle and Other Classic Thought Experiments, Oxford: Blackwell.

۵. Galileo, ({۱۹۷۴ {۱۶۳۸), two. new sciences. translated from the drake. madison: university of Wisconsin.

۶. Norton, J., (۱۹۹۱). "Thought Experiments in Einstein's Work", in Horowitz and Massey., ,۱۹۹۱ ۱۴۸-۱۲۹.

۷. Norton, J., ۲۰۰۴a, "On Thought Experiments: Is There More to the Argument?" Proceedings of the ۲۰۰۲ Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Philosophy of Science, ۱۱۵۱-۱۱۳۹ :۷۱.

۸. Norton, J., ۲۰۰۴b, "Why Thought Experiments Do Not Transcend Empiricism", in Christopher Hitchcock (ed.) Contemporary Debates in the Philosophy of Science. Oxford: Blackwell, p. ۶۶-۴۴.

● **توجه:** آزمایش های فکری مشهوری چون EPR، سطل نیوتون، گربهٔ شرودینگر و... در فیزیک مطرح شده‌اند، اما چون به مباحث فیزیک دبیرستان ارتباط مستقیمی ندارند بیان نشده‌اند.