فیزیک در سر میز غذا!

با غذایت بازی نکن، مهمانان را سرگرم کن و آموزش بده

ریک مارشال[1]
ترجمهٔ قاسم خسروبیگی، دبیر فیزیک شهرستان کمیجان

چکیده

میز غذا فرصت مناسبی را برای نشان دادن حدود ۵۰ مفهوم فیزیک (نگاه کنید به پیوست که به‌عنوان مرجع فهرست‌بندی شده است) فراهم می‌آورد. گسترهٔ این موارد از پیش پاافتاده‌ترین حالت تا اساسی‌ترین آن‌ها از جمله پیامدهای گرم شدن کرهٔ زمین همین‌طور برخی از اصول اخترشناسی را در برمی‌گیرد. یکی دو تا از آن‌ها به اضافه‌کردن موهومی چیزهای ساده به میز برای «انجام» نمایش‌ها نیاز دارد که امکان یادآوری نقش آزمایش‌های فکری در توسعهٔ فیزیک را فراهم می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: میزغذا، آزمایش فکری، کنش و واکنش، قانون‌های نیوتون

چیدن میز

اینکه هر چیزی در همان جایی که گذاشته شده است باقی می‌ماند قانون اول نیوتون را نشان می‌دهد. وزن آن‌ها با نیروهای واکنش مربوطه ناشی از میز متوازن می‌شود. نبود نیروی نامتوازن یا برآیند به معنی عدم تغییر در حرکت است، بنابراین همه چیز ساکن می‌ماند. این کنش و واکنش مثالی از قانون سوم نیوتون نیست، زیرا کنش‌ها ناشی از کارد و چنگال و غیره و واکنش‌های مربوط میز همان نوع نیرویی نیستند که لازم دارد.

زوج نیروهای قانون سوم نیوتون وزن هر جسم و نیروهای جاذبهٔ گرانشی مربوط به آن‌ها بر سیارهٔ زمین است.

چاقو

تیغهٔ تیز چاقو بازتاب را نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد که تصویر (مجازی) پشت سطح بازتابنده باشد و در نتیجه نمی‌توان آن را روی یک پرده نشان داد. چرخاندن آرام تیغه نشان می‌دهد که باریکهٔ بازتابیده با سرعت دو برابر چرخش تیغه حرکت و اثر اهرم اپتیکی را نشان می‌دهد.

استفاده از چاقو برای هدفی که طراحی شده است، یعنی بریدن، هم مفهوم فشار و هم اصل یک اهرم را به نمایش می‌گذارد. وقتی غذا را با عمل اره کردن نمی‌برید، چاقو به عنوان اهرم (نوع ۱) عمل می‌کند. نیرو را شخص خورنده به دستهٔ چاقو اعمال می‌کند، واکنش غذای مقاوم بار است، و تکیه‌گاه بین تلاش و بار قرار دارد. این کار با شکل خمیده قسمت تیره بسیاری از چاقو آسان می‌شود. انگشت به سطحی بزرگ‌تر از سطح بین تیغه و غذا فشار می‌آورد. اگر نقطهٔ اتکای مؤثر وسط بار و نیرو بود، نیروی انگشت همان نیرویی بود که به غذا وارد می‌شد، اما فشار وارد بر غذا بزرگ‌تر از چیزی است که انگشت حس می‌کند. نصب در چاقویی که به عنوان اهرم عمل می‌کند. اما اکنون فاصله‌هایی که بار و نیرو به نسبت

از شاخه‌های چنگال می‌توان برای مشاهدهٔ پراش نور استفاده کرد. چنگال را طوری بگیرید که شاخه‌های آن به طرف بالا باشد و آن را از چشمان خود دور کنید

عکس بار به نیروست، به‌طوری که ورودی انرژی (فاصله طی شده در جهت نیرو× نیرو= کار) همان کار خروجی است که اصل پایستگی انرژی ایجاب می‌کند.

چرا بریدن ورقهٔ نازک پنیر از انتهای یک قطعه دشوارتر از بریدن از وسط آن قطعه است؟ در هر دو مورد یک ماده را تا یک عمق می‌بریم. بنابراین باید مربوط به آن باشد که نیروهای وارد بر تیغهٔ چاقو در دو مورد فرق می‌کند. نیروهای وارد به لبهٔ تیز در دو مورد یکسان‌اند، اما برطرف دیگر هنگام بریدن از وسط نیروی اصطکاک بیشتری وارد می‌شود زیرا جدا کردن قطعه پنیر ضخیم‌تر انعطاف‌پذیری کمتری دارد. در این صورت اصطکاک با سطح تماس متناسب است، بنابراین بسیاری از کاردهای پنیر طوری طراحی شده‌اند که روی سطح تیغهٔ منفذهایی داشته باشند. فروشندگان پنیر برای بریدن قطعات بزرگ از سیم‌های پنیر (همه‌اش تیغه و بدون عمق) استفاده می‌کنند.

اگر تیغهٔ چاقو از لبهٔ میز بیرون بزند تیر طره می‌شود. اگر با اعمال نیروی معلوم به دورترین نقطهٔ آن از لبهٔ میز تیغه را منحرف کنیم، اندازه‌گیری‌های ساده تعیین مدول یانگ E (سفتی) مادهٔ تیغه را با استفاده از $E=4WL^3/bd^3y$ امکان‌پذیر می‌سازد که وزن بار = W، طول مؤثر=L، عرض تیغه=b، ضخامت تیغه=d و انحراف انتهای تیغه از امتداد افقی= y. در بسیاری از پل‌ها از تیرطره استفاده می‌شود.

چنگال

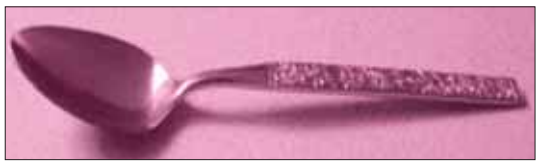
از شاخه‌های چنگال می‌توان برای مشاهدهٔ پراش نور استفاده کرد. چنگال را طوری بگیرید که شاخه‌های آن به طرف بالا باشد و آن را از چشمان خود دور کنید. از بین شاخه‌ها به یک چشمهٔ نور (شاید شمعی روی میز دیگر) نگاه کنید. دستهٔ چنگال را به آرامی بچرخانید که گاف مؤثر بین شاخه‌ها کوچک‌تر شود. به واسطهٔ بر هم نهش ویرانگر امواج نور پراشیده شده، نوارهای تاریک موازی شاخه‌های چنگال ظاهر می‌شوند.

با استفاده از معیار ریلی برای توان تفکیک، می‌توان مقدار تقریبی طول موج نور را با استفاده از توانایی چشم برای تشخیص اجسام نزدیک به هم (شاخه‌های چنگال) به دست آورد. ببینید چقدر دور از چنگال را می‌توانید مشاهده کنید به‌طوری که صرفاً بتوانید تک‌تک شاخه‌ها را از هم تمیز دهید. این آزمایش به یک رستوران یا اتاق غذاخوری وسیع و کاملاً روشن نیاز دارد. فاصلهٔ شاخه‌های چنگال معمولاً ۱۲mm، قطر مردمک چشم ۵mm، و اگر D فاصله تا چنگال وقتی باشد که شاخه‌ها را از هم تمیز می‌دهید (تفکیک شده)، داریم

$$\frac{\text{فاصله شاخه‌ها}}{\text{فاصلهٔ مشاهده D}} = \frac{\text{طول موج نور}}{\text{قطر مردمک}}$$

برای چشم سالم D حدود ۲۰m خواهد بود که طول موج را 5×10^{-7} m (گسترهٔ نور «سفید» طول موج‌های $4/5\times10^{-7}$ تا $7/0\times10^{-7}$ m است.)

قاشق



یک قاشق براق می‌تواند به‌عنوان آینهٔ کوژ و آینه کاو عمل کند (تیغهٔ تخت چاقو را می‌توان به‌عنوان آینهٔ تخت به کاربرد). غیر از مواردی که از فاصلهٔ نزدیک به قاشق نگاه کنید، آینهٔ کاو (دو طرف قاشق به طرف شما خم شده باشد) یک تصویر حقیقی معکوس، و آینه کوژ (دو طرف قاشق از شما دور باشد) یک تصویر مجازی مستقیم (در پشت آینه به‌طوری که نمی‌توانید آن را روی پرده بیندازید) تشکیل می‌دهد. مهمانانی که رانندگی می‌کنند با آینه‌های کوژ آشنا هستند زیرا در دو طرف اتومبیل به کار می‌روند.

قاشق می‌تواند دو نوع تعادل را نشان دهد. قاشق را طوری روی میز بگذارید که پشت آن به طرف بالا باشد. اگر یک گوی کوچک موهومی در بالاترین نقطهٔ آن قرار داشت در وضعیت تعادل ناپایدار می‌بود. زیرا با اندکی اختلال از وضعیت اولیه‌اش دور می‌شد و هرگز به آن باز نمی‌گشت. در صورتی که اگر آن را بچرخانید، گوی قرار گرفته در قاشق در ته آن مستقر می‌شود. با ضربه‌زدن آرام به آن، گوی از وضعیت اولیه‌اش منحرف می‌شود، اما دوباره به آن برمی‌گردد و هنگامی که از نوسان بازایستد به نقطهٔ اولیه‌اش برمی‌گردد، بنابراین وضعیت آن تعادل پایدار نامیده می‌شود. به طور دقیق‌تر در حالت تعادل شبه پایدار است. زیرا با زدن ضربه شدید به آن به‌طوری که از قاشق بیرون جهد، هرگز به حالت اولیه برنمی‌گردد.

حرکت گوی هنگام نوسان در قاشق یک مثال از حرکت یکنواخت فراگیر در سراسر جهان فیزیکی است- هر چیز از

اتم‌ها گرفته تا پل‌های معلق ـ حرکت مشابهی را از خود نشان می‌دهند.

میز تخت، تعادل بی‌تفاوت را نشـان می‌دهد. گوی خیالی ما را می‌توان در هر کجای میز در حال سکون قرار داد. اگر به آن ضربـه بزنید، از محل اولیهٔ خود به محـل دیگری می‌رود و در آنجا ساکن می‌شود. هرگز حول نقطهٔ شروع حرکت خود نوسان نمی‌کند و هرگز شروع به شتاب گرفتن نمی‌کند.

سـه نوع تعادل را بر حسب تغییر انرژی پتانسیلی که هنگام اختلال در دسـتگاه در این مورد گـوی صورت می‌گیرد، بهتر می‌توان توضیح داد، در سر میز غذا تغییرات ممکن در پتانسیل گرانشی بر حسب مکان مورد توجه ماست. وقتی دستگاه آشفته شـود، تعادل پایدار متناظر با محلی اسـت کـه در آن انرژی پتانسیل کمینه است. تعادل ناپایدار نظیر محل انرژی پتانسیل بیشینه است و تعادل بی‌تفاوت متناظر با حالتی است که انرژی پتانسیل ثابت می‌ماند.

متوازن ساختن یک قاشق عمود بر لبهٔ دستهٔ چنگالی که روی پهلویش قرار دارد ایدهٔ مرکز جرم را به نمایش می‌گذارد. بدیهی است که نقطهٔ تعادل در وسط طول قاشق نیست، بلکه نیمی از جرم کل قاشق در یک طرف دستهٔ چنگال و نیم دیگر در طرف دیگر آن است.

پس از متوازن سـاختن، زدن ضربه‌ای کوچک به قاشق مثال دیگری از حرکت هماهنگ را نشان می‌دهد. اصطکاک بین دو جسم در تکیه‌گاه در جلوگیری از سُر خوردن قاشق به روی میز نقش اساسی دارد. وقتی قاشق شروع به حرکت می‌کند، مرکز جرم آن بالا می‌رود و انرژی پتانسیل قاشق افزایش می‌یابد. این معادل بالا رفتن گوی از طرف آشفته نشدهٔ قاشق است.

با ارزیابی خطرات حاصل، قاشق را طوری به هوا پرتاب کنید که نسـبت به مرکـز جرمش بچرخـد. آن را بگیرید. وقتی در هواست چشم به‌طور طبیعی مسیر مرکز جرم را دنبال می‌کند. هنگام استفاده از قانون‌های حرکت برای بررسی مسیر پرتابه، روال استاندارد ترکیب دو مؤلفه است که در این مورد عبارت‌اند از مرکز جرم قاشق و حرکت بخش‌های مختلف قاشق نسبت به مرکز جرم آن، دو مثال متداول این تجزیه در فیزیک رنگ‌هایی اسـت که از اتم‌هـای برانگیخته گسـیل می‌شـود و توضیح کشـندهای اقیانوس. برای اتم‌ها، حرکت نسبت به مرکز جرم انرژی الکترون‌ها و در نتیجه بسامد نور گسیل شده از اتم‌های برانگیخته را تعیین می‌کند. حرکت مرکز جرم به‌صورت انتقال این بسامدها به واسطهٔ اثر دوپلر نمایان می‌شود. برای دستگاه زمین- ماه حرکت مرکز جرم طول سـال را تثبیت می‌کند، در حالی که حرکت زمین و ماه نسـبت به مرکز جرم مشترکشان برای درک اینکه در هر روز دو کشند وجود دارد ضروری است.

لیوان آب

لیـوان آب را در یـک بشقاب کوچک پیش‌دستی بگذارید تا آب اضافی ناشی از نمایش‌هـا در آن جمـع شـود. یک قطعـه یخ به آن اضافه کنید، سپس بشر را تا لبه از آب پر کنید به‌طوری لبریز نشود تا کوژی تا کاوی لبهٔ لیوان را نشان دهد. این دلیـل نیـروی جاذبـه بین مولکول‌ها (آب) است.

قطعهٔ یخ از وسـط آب، که خودش بالاتر از لبهٔ لیوان اسـت، بیـرون می‌زند. یخ آب هم حجمـش را جابه‌جا می‌کند (اصل ارشمیدس)، بنابراین وزن معینی از یخ حجم بیشتری از همان وزن آب را اشـغال می‌کند که شـناوری و چگالی را به نمایش می‌گذارد.

آب مایعی بسـیار غیر عادی (اما نه منحصربه‌فرد) اسـت زیرا هنگام منجمد شدن فشرده‌تر شود و هنگام ذوب شدن منقبض می‌شـود. وقتی قطعه یخ ذوب شـود، آب از لیوان سـرریز نمی‌شود- یخ ذوب شـده حجمی را اشغال می‌کند که یخ قبلاً غوطه‌ور آب چگال‌تر اشـغال کرده بود. بنابراین گرم شـدن سراسری کوه‌های یخ فی‌نفسـه باعث بالا رفتن آب دریاها نخواهد شـد، فقط ذوب‌شدن یخ‌های موجود در خشکی به بالا رفتن مستقیم سطح دریا می‌انجامد. آب دریا نیز بر اثر گرم شدن منبسط می‌شود، و این موضوع بیشترین سـهم را در بالا رفتن فعلی سطح دریاها دارد. رها کردن یخ در حال ذوب و آب درحال گرم شدن باعث لبریز شدن بشر می‌شـود. پیـش از اینکه این اتفاق بیفتد بـه دقت مقداری نمـک اضافه کنید. می‌توان مقداری نمک افزود بدون اینکه آب از لیوان لبریز شـود که نشان می‌دهد در واقع گاف‌هایی بیـن مولکول‌هـای آب وجود دارد که نمـک را در خود جا می‌دهد.

بـا اسـتفاده از دسـتمال سـفر مقـداری آب را بمکید تا موئینگی را نشـان دهید و مقدار بیشـتری آب نمک بدون ریخته شدن آهسته خالی شود، اکنون یک چاقو را در لیوان بگذارید تا اثر شکسـت را در توهم اپتیکی چاقوی خم شده به نمایش بگذارید.

سرانجام، آب را هم بزنید تا گردابی به وجود آید. فرورفتگی ایجاد شـده در آب ناشـی از تأثیر خالـص نیروهای گرانی، کشـش سـطحی و به اصطلاح نیروی مرکزگرای وارد بر آن

متوازن ساختن یک قاشق عمود بر لبهٔ دستهٔ چنگالی که روی پهلویش قرار دارد ایدهٔ مرکز جرم را به نمایش می‌گذارد. بدیهی است که نقطهٔ تعادل در وسط طول قاشق نیست، بلکه نیمی از جرم کل قاشق در یک طرف دستهٔ چنگال و نیم دیگر در طرف دیگر آن است

دو عدسی ساخته شده از لیوان پایه‌دار در یک خط یک تلسکوپ شکستی تشکیل می‌دهند. یک لیوان نقش عدسی شیئی را بازی می‌کند و تصویر جسم دوردست را در صفحهٔ کانونی خود تشکیل می‌دهد

است. مورد اخیر مثالی از نیروهای پنداری است. نیروهای حقیقی همواره به صورت زوج ظاهر می‌شوند.

لیوان پایه‌دار

وقتی لیوان خالی است به لبهٔ مرطوب آن انگشت بمالید. لیوان شروع به ارتعاش می‌کند. این ارتعاش‌ها تقویت می‌شوند تا دامنهٔ آن‌ها برای شنیده شدن به قدر کافی بزرگ شود. اندازهٔ امواج (طول موج) و نت موسیقایی به inter alia در پیرامون لیوان پایه‌دار بستگی دارد. مالش لبهٔ لیوان هموار یا پیوسته نیست، بلکه حرکت نامنظم موسوم به سریدن- چسبیدن، است. همین حرکت هنگام نواختن سازهای آرشه‌ای رخ می‌دهد و حرکت صخره‌های منشأ زمین‌لرزه نیز هست. نت وقتی تشکیل می‌شود که بسامد حرکت‌های سریدن- چسبیدن با بسامد امواجی که اندازه و شکل لیوان ممکن می‌سازد هماهنگ شود، که به پدیدهٔ تشدید معروف است. ریختن نوشابه در لیوان باعث تغییر نت و چگونگی ارتعاش لیوان می‌شود.

یک لیوان پایه‌دار پر از آب به‌عنوان عدسی کوژ عمل می‌کند. این لیوان تصویری حقیقی تولید می‌کند که می‌توانید محل آن را با یک کارت فنو یا دستمال سفره به عنوان پرده تعیین کنید. محل آن کاملاً نزدیک به لیوان است.

دو عدسی ساخته شده از لیوان پایه‌دار در یک خط یک تلسکوپ شکستی تشکیل می‌دهند. یک لیوان نقش عدسی شیئی را بازی می‌کند و تصویر جسم دوردست را در صفحهٔ کانونی خود تشکیل می‌دهد. اگر این بر صفحهٔ کانونی چشمی منطبق شود یک تصویر مجازی بزرگ شده به‌دست می‌آوریم. این تصویر معکوس نیز هست، اما برای یک تلسکوپ مشکلی به‌وجود نمی‌آورد. تغییر در بزرگ‌نمایی با تغییر فاصلهٔ عدسی‌ها را مشاهده کنید. این کار را با حالتی شروع کنید که فاصلهٔ لیوان‌ها تقریباً برابر قطر آن‌هاست. از این لیوان‌ها برای نشان دادن مکان‌های خورشید، زمین و ماه هنگام خسوف و کسوف استفاده و نشان دهید که اولی هنگام ماه کامل و دومی درست پیش از ماه نو رخ می‌دهد.

فنجان قهوه

راه رفتن با در دست داشتن یک فنجان پر از قهوه امواجی را در سطح مایع به وجود می‌آورد. این مثال دیگری از تشدید است (و شاید الهام‌بخش اختراع نعلبکی باشد؟) در بسیاری از دریاچه‌ها همین نوع حرکت موجی (امواج ایستاده در محفظهٔ بستهٔ آب) وقتی مشاهده می‌شود که اختلاف ناگهانی فشار در دو سر دریاچه به وجود آید و آب را آشفته کند. حرکت رفت و برگشتی قهوه در فنجان دارای یک بسامد طبیعی وابسته به اندازهٔ فنجان است. اندازه‌های معمولی باعث بسامد طبیعی شلپ‌شلپ کردن می‌شود که درست با حرکت پای شخص در هنگام راه رفتن هماهنگ است.

حتی بی‌نظمی‌های مختصر در گام شخص می‌تواند باعث تقویت نوسان‌های شدیدتر شود که احتمال ریختن را زیاد می‌کند.

هم زدن قهوه حباب‌هایی را به‌وجود می‌آورد که در ابتدا در یک تودهٔ چرخان دور هم جمع می‌شوند. اگر آن‌ها در فاصلهٔ ۵mm یا مانند آن از کنار فنجان جمع شوند بلافاصله به یک طرف کشیده می‌شوند که اثرات تقریباً بلند برد کشش سطحی را نشان می‌دهد.

دستمال سفرهٔ کاغذی

گوشه‌های یک دستمال سفرهٔ کاغذی را پاره کنید، آن را به شکل گوی مچاله کنید و پایین بیندازید. سرعت این گلوله به سرعت ثابت می‌شود که باز هم قانون اول نیوتون را به

نمایش می‌گذارد. اکنون وزن آن با کشش هوا متوازن شده است به‌طوری که هیچ نیروی برآیندی بر کاغذ وارد نمی‌شود و تغییری در حرکت آن صورت نمی‌گیرد.

فوت کردن برای خنک کردن غذا یا گرم کردن دست‌ها

اگر غذا داغ باشد می‌توان آن را با فوت کردن خنک کرد. توجه کنید که برای این کار طبعاً لب‌هایتان را جمع می‌کنید و باعث می‌شود که هوای بیرون داده شده منبسط و خنک شود (انبساط بی‌دررو). این برخلاف موردی است که با فوت کردن دست‌هایتان را گرم می‌کنید و لب‌هایتان را بسیار بازتر می‌کنید تا هوای خروجی حتی‌الامکان گرم باشد (انبساط تکدما). در ماشین‌هایی گرمایی این فرایندها را (همراه با روش‌های رسیدن به تراکم) در یک چرخه با هم ترکیب می‌کنند تا تبدیل انرژی گرمایی به مکانیکی صورت گیرد.

شمع

یک شمع سوزان نیز با تبدیل انرژی شیمیایی از طریق انرژی گرمایی به انرژی مکانیکی، به‌صورت یک ماشین بسیار ساده عمل می‌کند. از جریان همرفتی صعودی یک شمع می‌توان برای چرخاندن یک توربین کوچک استفاده کرد (موردی که در کریسمس در برخی تزئینات به کار می‌رود). جریان انرژی باعث به‌وجودآمدن حرکت منظم مولکول‌های هوا می‌شود که برخلاف حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های اطراف در هوای گرم نشده است. به راه انداختن همرفت فرایندی جالب توجه است- شروع ناگهانی حرکت منظم میلیاردها مولکول که در غیر این صورت آشوبناک می‌بود.

شمع فروزان انرژی را در دو بخش (مجاور) طیف الکترومغناطیسی تابش می‌کند. می‌توانیم «گرمای» (فروسرخ) نامرئی را حس کنیم و نور مرئی را ببینیم.

خلال دندان

سرانجام، یک مفهوم فیزیکی اسرارآمیز حاکم بر بخش اعظم فیزیک- تقارن و شکست تقارن است. اگر روی میز خلال دندان وجود دارد یکی از آن‌ها را عمودی بایستانید. البته باید نوک آن را با انگشت نگه دارید تا نیفتد. اما، به‌طور کلی باید بتوان یک خلال دندان کامل را روی یکی از دو انتهایش متوازن ساخت، پس باید مجسم کنید که برای نگه‌داشتن عمودی آن استفاده از انگشت لازم نیست. همهٔ جهت‌های خروجی از خلال دندان هم‌ارزند. فضا همسانگرد و یک وضعیت دارای تقارن کامل است. یک وضعیت تعادل ناپایدار نیز هست. خلال دندان فقط می‌تواند در یک جهت فروافتد، پس اگر فروبیفتد انرژی آن کم و تقارنش شکسته می‌شود. شرایط مشابه در بسیاری از حوزه‌های فیزیک، از رفتار ذرات بنیادی گرفته تا آنچه در مرحلهٔ اول تورمی تحول عالم رخ داده است، همین‌طور در پدیده‌های روزمره مشاهده می‌شود. ساختار آب پیش از منجمد شدن به صورت بلورهای یخ متقارن است. پس از آن مولکول‌های آب نمی‌توانند در هر جهت دلخواه قرار بگیرند. مثال آشنای دیگر شروع همرفت است. حرکت مولکول‌ها پیش از گرم شدن کاتوره‌ای است. در حرکت همرفتی آن‌ها به‌صورت منظم در جهت خاص حرکت می‌کنند. مغناطیسی شدن نیز شکست تقارن را نشان می‌دهد. هنگام آهنربا شدن تکه‌ای ماده مغناطیسی چه اتفاقی می‌افتد؟ قبلاً، اتم‌های مغناطیده در تکه‌ای از آهن سمتگیری خاصی ندارند، اما پس از آن به خط و آهنربا می‌شوند. در واقع، هر تغییری که موجب افزایش نظم در ساختار یا ترتیب شود به هزینهٔ درجه‌ای از تقارن دستگاه است. همه تغییر حالت‌ها (مثلاً، از مایع به جامد: از نامغناطیده به مغناطیده) را می‌توان بر این اساس توصیف کرد و مثال‌های مختلفی از یک واقعیت فیزیکی در نظر گرفت.

سخن آخر

اما، انجام نمایش‌های موفقیت‌آمیز (که تمرین می‌تواند آن‌ها را کامل کند) بسته به نوع حضار یک چیز است و توصیف خوب چه چیزی اتفاق می‌افتد یک چیز دیگر.

پی‌نوشت

1. Rick Marshal

منبع

physics Education, May 2013, pp 390-395