

چند خبر

• درهم تافته گی ی- فتون و اتم - گیر افتاده

از دیدگاه مکانیک کوانتمی، دست گاه ی متشکل از دو ذره ممکن است در حالت ی باشد که اصطلاحاً آن را درهم تافته گی می نامند. اگر دو ذره در هم تافته باشند، سنجیدن یک سنجش پذیر یک ی از آن دو، روی حالت ذره ی دیگر تأثیر می گذارد، حتا اگر آن دو از هم دور باشند. ساده ترین دست گاه ی از این نوع که می توان نام برد، دست گاه ی است متشکل از دو الکترون که اسپین کل - آن 0 باشد. اگر مؤلفه ی z اسپین یک ی از دو الکترون - چنین سیستم ی را بسنجیم، عدد حاصل با احتمال $1/2$ عدد $\hbar/2$ خواهد بود و با احتمال $1/2$ عدد $-\hbar/2$. فرض کنید عدد $\hbar/2$ به دست آمد. در این صورت، مکانیک کوانتمی به ما می گوید که اگر پس از این سنجش، مؤلفه ی z اسپین الکترون - دیگر را بسنجیم، حتماً عدد $-\hbar/2$ به دست می آید، حتا اگر این دو الکترون از هم خیل ی دور باشند! این پیش بینی ی- مکانیک کوانتمی را تجربه تأیید کرده است. تا کنون چندین گروه توانسته اند دست گاه ها ی- درهم تافته ای بسازند و با آن ها آزمایش کنند. در این آزمایش ها همواره دو ذره ی- یک سان، مثلاً دو الکترون، دو فتون، یا دو اتم - یک سان در هم تافته اند. اینک، پژوهش گران ی از دانش گاه میشیگان¹⁾ در گزارش ی که در نیچر²⁾ چاپ شده است، ادعا کرده اند که توانسته اند دو ذره ی- مختلف را در هم بتابند.

در این آزمایش، پژوهش گرها یون کادمیم ($^{111}\text{Cd}^+$) را در میدان الکتریکی ی- یک لیزر گیر انداخته اند؛ و الکترون - لایه ی- آخر کادمیم را در حالت ی برانگیخته قرار داده اند. این اتم بلافاصله با گسیل یک فتون به یک ی از دو حالت کم انرژی تر می رود که آن ها را A و B می نامیم. اسپین الکترون - لایه ی- آخر در حالت A موازی و هم جهت با اسپین هسته ی- کادمیم است، و در حالت B موازی و در خلاف جهت اسپین هسته ی- کادمیم است، که اصطلاحاً می گویند پادموازی است. قطبش فتون گسیل شده، بسته گی به این دارد که حالت نهایی ی- یون کادمیم A است یا B: اگر A باشد، قطبش فتون دایره ای ی- راست گرد است، و اگر B باشد، دایره ای ی- چپ گرد. احتمال این دو گذار مساوی است، و مکانیک کوانتمی پیش بینی می کند که تا پیش از سنجیدن قطبش فتون، اتم در برهم نهی ای از حالت ها ی- A و B است. به بیان دیگر، ”اتم پس از گذار“ و ”فتون حاصل از گذار“ درهم تافته اند!

احمد - شریعتی

¹⁾ University of Michigan, ²⁾ B. B. Blinov, D. L. Moehring, L.-M. Duan, C. Monroe: "Observation of entanglement between a single trapped atom and a single photon";

• کاوه ی- گرانش B پرتاب شد.

اول - اریب‌هشت - امسال از پای‌گاه ی در ساحل - کلیف‌رنیا، یک موشک - دلتا II ی- بوئینگ¹ به فضا پرتاب شد. مأموریت - مهم - این موشک گذاشتن - یک ابزار - آزمایش در مدار ی به دور - زمین است که کاوه ی- گرانش B² نام دارد، و قرار است دو تا از عجیب‌ترین پیش‌بینی‌ها ی- نسبیت - عام - اینشتین را بیازماید. این دو اثریک ی اثر - ژئودتیک و دیگری کشش - چارچوب‌ها ی- لخت نام دارد. اساس - آزمایش این است که ژیرسکوپ ی در ماه‌واره ای به دور - زمین قرار گیرد و امتداد - محور - ژیرسکوپ نسبت به ستاره‌ها ی- دوردست ثبت شود. این آزمایش حدود - چهل سال پیش پیش‌نهاد شد، و تقریباً همان موقع ناسا³ آن را تصویب کرد. اما دو دهه طول کشید تا پژوهش‌گرها ثابت کنند چنین آزمایش ی کار می‌کند، و حدود - دو دهه طول کشید تا ابزار - لازم ساخته شود. هزینه ی- این آزمایش تا کنون 700 M\$ بوده است که 130 M\$ بیش از بودجه ی- پیش‌بینی‌شده بوده. برای - مقایسه، خوب است توجه کنیم که مریخ‌نورد ی که اخیراً بر سطح - مریخ نشست 20 M\$ خرج برداشته بود.

بینیم این همه صرف - وقت و پول برای - آزمودن - چیست؟

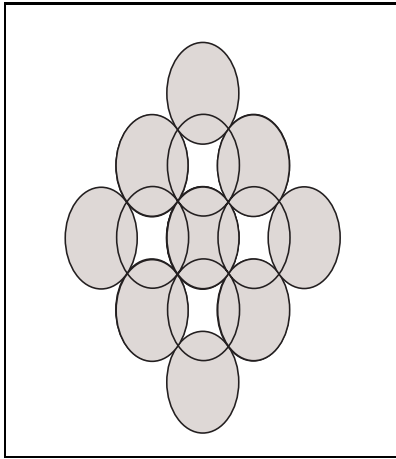
بنا بر قوانین - حرکت - جسم‌ها ی- صلب، اگر به جسم - صلب ی گشت‌آوری وارد نشود، بردار - تکانه ی- زاویه‌ای اش ثابت است. در مورد - کره، بردار - تکانه ی- زاویه‌ای مضرَب - ثابت ی از بردار - سرعت - زاویه‌ای است. پس اگر بتوانید کره ی صلب ی به هم‌راه - خود داشته باشید، و آن را طوری نگه دارید که گشت‌آوری به آن وارد نشود، آن وقت محور - چرخش - کره هم‌واره در راستا ی- ثابت ی می‌ایستد، یعنی هم‌واره به سمت - یک ستاره ی- ثابت - دوردست اشاره می‌کند. چنین وسیله ای ژیرسکوپ نام دارد. اکنون فرض کنید ژیرسکوپ ی را در ماه‌واره ای بگذاریم که دور - زمین می‌گردد. انتظار داریم که امتداد - ژیرسکوپ هم‌واره به سمت - ستاره ای ثابت باشد. اما نسبیت - عام پیش‌بینی می‌کند که چنین نیست! از معادله‌ها ی- حرکت - ژیرسکوپ در اطراف - جسم - سنگین و چرخان ی مثل - زمین، معلوم می‌شود که امتداد - ژیرسکوپ به آرامی (یعنی از مرتبه ی- چند میلی‌ثانیه ی- کمان در سال، که تقریباً 10^{-14} Rads⁻¹ است) پیش‌روی می‌کند.

احمد - شریعتی

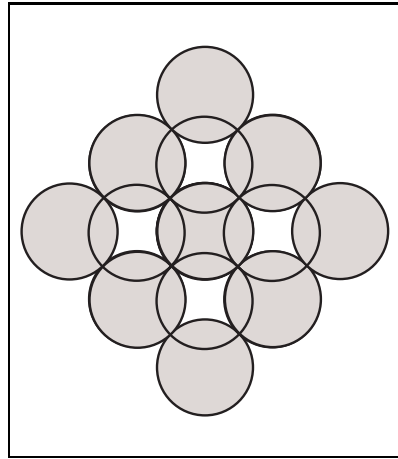
1) Boeing Delta II, 2) Gravity Probe B (GP-B), 3) National Aeronautics and Space Administration (NASA),

• پکش اَبَرچگال از بیضی‌گون‌ها

مسئله ی پکش ذرات هم‌واره مورد توجه ریاضی‌پیشه‌ها و فیزیک‌پیشه‌ها بود. اخیراً این موضوع مورد توجه شیمی‌پیشه‌ها و متخصصین علم مواد نیز قرار گرفته است. کپلر¹ حدود ۴۰۰ سال پیش این سؤال را مطرح کرد که چه طور می‌توان فضا را با تعدادی کره پُر کرد، به طوری که نسبت حجم فضایی اشغال شده توسط کره‌ها به حجم کل، نسبتی که آن را پکش می‌نامند، بیشینه باشد. کپلر آرایش خاصی از چیدن کره‌ها را به عنوان جواب مطرح کرد (شکل ۱ - الف). در این آرایش خاص، پکش



شکل ۱ - ب

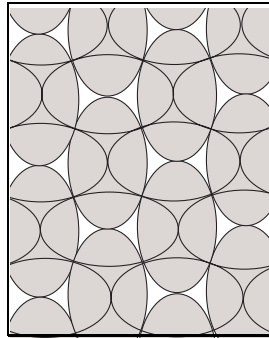


شکل ۱ - الف

اثبات این حدس چند قرن طول کشید و بالاخره توسط هیلز⁽²⁾ همین اواخر اثبات شد. هیلز در هشت مقاله که مرجع [2] اولین آن‌ها بود این حدس را ثابت کرد. در این آرایش هر کره با 12 کره دیگر در تماس است: هر کره در لایه‌ی خود با 4 کره در تماس است، علاوه بر این با 4 کره از لایه‌ی زیری و با 4 کره از لایه‌ی بالایی در تماس است. اگر تعدادی کره را به صورت تصادفی روی هم بریزیم پکش بیشینه حدود 0.68 است.

با تبدیلی خطی می‌توان مسئله‌ی کره‌ها را به مسئله‌ی مشابهی برای بیضی‌گون‌ها تبدیل کرد (شکل ۱ - ب). با یک تبدیل خطی کره به بیضی‌گون تبدیل می‌شود و پکش ناورد می‌ماند. پس اگر بیضی‌گون‌ها را با همان آرایش پکش بیشینه‌ی کره‌ها بچینیم پکش همان 0.74 می‌شود. بدیهی است که در این آرایش محور اصلی تمام بیضی‌گون‌ها موازی است. به عبارت دیگر پکش بیشینه برای بیضی‌گون‌هایی با محورهای اصلی موازی، 0.74 است. تا کنون تصور بر این بوده که پکش بیشینه برای بیضی‌گون همان 0.74 است.

بیضی‌گون‌هایی با نیم‌قطرهای اصلی a, b, c و با نسبت‌های $b/a := \alpha$ و $c/a := \beta$ در نظر بگیرد. گروهی در دانش‌گاه پرینستون⁽³⁾ شبه‌سازی ای را برای تعدادی بیضی‌گون انجام دادند⁽⁴⁾. آن‌ها با کمال تعجب مشاهده کردند که پکش بیشینه‌ی تصادفی بیضی‌گون‌ها برای $\alpha \approx 1.25$ و $\beta \approx 0.8$ ، 0.735 است. این مقدار از پکش بیشینه‌ی تصادفی کره‌ها یعنی 0.68 خیلی بیش‌تر است، و تقریباً برابر با 0.74 است. معنی این نتیجه‌ی عجیب می‌تواند این باشد که شاید بتوان بیضی‌گون‌ها را با آرایش دیگری چید به طوری که پکش این آرایش بیش‌تر از 0.74 باشد. این گروه با آرایشی خاص به پکش 0.77 رسیدند. در این آرایش، که در شکل ۲ نشان داده شده، هر بیضی‌گون با 14 بیضی‌گون دیگر در تماس است: هر بیضی‌گون در لایه‌ی خود با 6 بیضی‌گون در تماس است، علاوه بر این با 4 بیضی‌گون از لایه‌ی زیری و 4 بیضی‌گون از لایه‌ی بالایی در تماس است. در ضمن محورهای اصلی همه‌ی بیضی‌گون‌ها نیز موازی نیستند، و بنا بر این با هیچ تبدیل خطی نمی‌توان این آرایش از بیضی‌گون‌ها را به آرایشی از کره‌ها که پکش بیشینه دارد، تبدیل کرد. اثباتی نیز وجود ندارد که نشان دهد این مقدار پکش بیشینه‌ی



شکل ۲

بیضی‌گون‌ها است. در واقع 0.77، یک حد پایین برای بیشینه‌ی پکشی بیضی‌گون‌ها است. شاید بتوان حدسی مشابه حدسِ کپلر برای پکشی بیشینه‌ی بیضی‌گون‌ها مطرح کرد.

امیر آقامحمدی

- 1) Kepler; 2) Hales T. C.; An overview of the Kepler conjecture, math.MG/9811071; 3) Princeton University, 4) Donev A., Stillinger F. H., Chaikin P. M., & Torquato S.; Superdense Crystal packing of ellipsoids, cond-mat/0403286, to appear in Physical Review Letters (2004).

• نقض-هم‌پایه‌گی در پراکنده‌گی-الکترون - الکترون

کُرهِای را در نظر بگیرید که حولِ محوری که از مرکزاش می‌گذرد می‌چرخد. اگر به تصویرِ این کُرهِ در یک آینه که با محورِ دورانِ آن موازی‌ست نگاه کنیم، جهتِ دورانِ تصویر را عکسِ جهتِ دورانِ خودِ کُرهِ می‌بینیم؛ مثلاً اگر خودِ کُرهِ راست‌گرد بچرخد تصویراش چپ‌گرد است. اکنون فرض کنید سطحِ این کُرهِ خیس باشد، و به‌خاطرِ دوران‌اش، به اطرافِ خود آب بپاشد. واقعیتِ پیشِ پافتاده این است که جهت و توزیعِ فضاییِ پاشیده‌شدنِ قطره‌هایِ آب در کُرهِ و تصویرِ آن طوری‌ست که اگر از کُرهِ و تصویرِ آن دو فیلم تهیه شود، برایِ بیننده‌ی فیلم‌ها تمایز قائل شدن بینِ وقایعِ اصلی و وقایعِ در آینه غیرِ ممکن است، اگرچه برایِ این‌که همه‌چیزِ بیش‌تر شبیهِ هم شود به‌تراست دست‌گاهی که فیلمِ آینه را پخش می‌کند سروته گذاشته شود. این سروته کردن به این واقعیتِ ساده برمی‌گردد که تبدیلاتِ به اصطلاح «وارونی-فضا» یا «هم‌پایه‌گی» ترکیبی از انعکاس در یک آینه، و دورانِ 180 درجه‌ای حولِ محورِ عمود بر آینه است.

به این تمیزناپذیری بینِ واقعیت و تصویرِ آینه‌ایِ آن، به زبانِ فنی‌تر، ناوردایی تحتِ هم‌پایه‌گی می‌گویند. در مثالی که زدیم، دینامیکِ پاشیده شدنِ آب به اطراف تحتِ هم‌پایه‌گی ناوردا است. برایِ سال‌ها اعتقاد بر این بود که تمامِ نیروهایِ بنیادی طوری هست‌اند که به هم‌پایه‌گی احترام

می‌گذارند، تا این‌که در دهه‌ی پنجاه میلادی اولین نمونه‌ی نقض هم‌پایه‌گی در واپاشی‌های هسته‌ای مشاهده شد. مورد مشخص نقض هم‌پایه‌گی در واپاشی هسته‌ی ^{60}Co است. در واپاشی ^{60}Co دو نوع ذره تولید می‌شود، که یکی از آن‌ها الکترون است. آزمایش‌گرها توزیع فضایی ساطع شدن الکترون را نسبت به جهت گیری اسپین هسته‌ی کبالت اندازه‌گیری کردند، و دیدند که اسپین بیشتر الکترون‌های ساطع شده در خلاف جهت اسپین هسته است. حال اگر این واپاشی در آینه‌ای که موازی راستای اسپین است دیده شود، در حالی که جهت اسپین عوض شده است، جهت حرکت الکترون‌ها مثل دنیای واقعی است، که این یعنی در آینه بیشتر الکترون‌ها در جهت اسپین ساطع می‌شوند (شکل را ببینید). برخلاف آن‌چه در مورد کُرهِی خیس در بالا گفتیم، اکنون اگر از واپاشی ^{60}Co در دنیای واقعی و آن‌چه در آینه می‌گذرد دو فیلم تهیه شود، از روی توزیع فضایی ساطع شدن الکترون‌ها نسبت به اسپین هسته، بیننده به راحتی می‌تواند تشخیص دهد کدام واقعیت و کدام تصویر آینه‌ای واقعیت است.

در مدل استاندارد نیروهای بنیادی، شکست هم‌پایه‌گی جزء جدایی‌ناپذیر واپاشی‌های ضعیف هسته‌ای است. در برخورد دو الکترون یا یک الکترون و یک پوزیترون، هم نیروی الکترومغناطیسی و هم نیروی ضعیف هسته‌ای سهم دارند، و البته سهم نیروی هسته‌ای ضعیف بسیار کم‌تر است. (نیروی قوی هسته‌ای و نیروی گرانش در این برخوردها سهم‌های کم‌تری دارند.)

به دلیل نقض هم‌پایه‌گی در برهم‌کنش‌های هسته‌ای ضعیف، مانند آن‌چه در واپاشی ^{60}Co ذکر شد، انتظار بر این است که توزیع فضایی ذرات پراکنده نامتقارن باشد. البته چون در پراکنده‌گی الکترون (یا الکترون - پوزیترون) عامل اصلی نیروی الکترومغناطیسی است که هم‌پایه‌گی را نقض نمی‌کند، و نیروی ضعیف، که ناقص هم‌پایه‌گی است کوچک‌تر است، عدم تقارن بسیار کوچک است - بسته به انرژی و تکانه‌ی انتقال یافته در برخورد، چیزی در حد 10^{-7} تا 10^{-6} . برآورد آشکارسازی این عدم تقارن بسیار کوچک می‌تواند شاهدهی بردستی مدل استاندارد باشد.

تاکنون مهم‌ترین و دقیق‌ترین آزمایش‌ها مربوط به پراکنده‌گی الکترون - پوزیترون در لپ⁽¹⁾ در آزمایش‌گاه سِرِن⁽²⁾ بوده است که مقدار عدم تقارن را در انتقال تکانه‌های زیاد و حول وحوش جرم Z^0 ، یعنی حدود $90 \text{ GeV}/c^2$ اندازه گرفته است.

اخیراً آزمایش‌گرهای آمریکایی توانسته‌اند عدم تقارن را برای پراکنده‌گی الکترون - الکترون، که به پراکنده‌گی مُلر⁽³⁾ معروف است، و از آن مهم‌تر در انتقال تکانه‌های کم، حدود $0.2 \text{ GeV}/c$ ، با دقت خیلی خوب اندازه‌گیری کنند⁽⁴⁾. در واقع چیزی که این آزمایش‌گرها توانسته‌اند اندازه‌گیری کنند، تفاوت مقدار پراکنده‌گی الکترون‌های چپ‌دست و راست‌دست است. این آزمایش توسط تیم E158 از آزمایش‌گاه سُلک⁽⁵⁾ در دانش‌گاه ستنفورد⁽⁶⁾ انجام شده است⁽⁷⁾. در این آزمایش باریکه‌هایی از الکترون‌های چپ‌دست و راست‌دست با انرژی 48 GeV به یک مخزن حاوی هیدروژن مایع، که البته مقدار زیادی الکترون هم دارد، تابانده شده است. از آن‌جا که پراکنده‌گی الکترون‌های تابیده شده با

الکترون‌های در مخزن، به خاطر بقای بار الکتریکی، فقط با تبادل ذره‌ی خنثای Z^0 انجام می‌شود، این آزمایش در واقع آزمونی برای به اصطلاح جریان خنثای نیروی ضعیف به شمار می‌رود. نتیجه‌ی اعلام‌شده برای عدم تقارن 1.75×10^{-7} گزارش شده، که در محدوده‌ی خطاهای قابل انتظار با نظریه سازگاری دارد. این دقیق‌ترین آزمایش در نوع خود است، و تیم آزمایش‌گر تصمیم دارد تا خطا را به 10^{-8} کاهش دهد. با چنین نتایجی می‌توان مدل استاندارد ذرات را در بخش نیروی هسته‌ای ضعیف، برای اولین بار در حد نمودارهای فاینمن حلقه‌دار و در انتقال تکانه‌های کوچک محک زد. برای فهمیدن فیزیک ذرات بنیادی در ماورای مدل استاندارد انجام چنین آزمایش‌هایی ضروری به نظر می‌رسد.

- 1) LEP (Large Electron-Positron Collider),
- 2) CERN (Conseil Européen pour Recherches Nucléaires),
- 3) Møller,
- 4) P. L. Anthony, et al., "Observation Of Parity Nonconservation In Møller Scattering," Physical Review Letters, vol. 92 (2004) 181602.
- 5) SLAC (Stanford Linear Accelerator),
- 6) Stanford University,
- 7) <http://www.slac.stanford.edu/exp/e158/>

