اثر موس باوئر

(Moessbauer Effect)

نوشته :

محمدقلی - محمدی

(دانشیار دانشکده فنی)

رودلف موس باوئر[1] فیزیک‌دان جوان آلمانی روش جدیدی درتحقیق برروی پدیده «فلورسانس هسته اتم که بااشعه گاما برانگیخته شده است» عرضه داشت.

این پژوهش ابتدا بوسیله وی در انستیتوی تحقیقات پزشکی ماکس پلانک هایدلبرگ برروی ایریدیوم ۱۹۱ انجام شد و نتیجه آن بسال ۱۹۵۸ در Zeitschrift fuer physik منتشر گردید.

نتایج این بررسی علمی وروشی که‌وی درراه شناخت این پدیده واندازه گیری انرژی جذب شده و یا نشریافته اتخاذ نمود امکانات وسیعی به تحقیقات، درزمینه های مختلف‌فیزیکی بخشید.

استفاده ازاین پدیده درقسمتهای مختلف علوم، درزمانی کوتاه چنان اشاعه یافت که‌آکادمی علوم سوئد جایزه نوبل ۱۹۶۱ رابه‌او اهدا کرد ودانشگاه‌فنی مونیخ نیز کرسی استادی فیزیک‌را دراختیار وی قراردارد.

موس باوئر دراین کشف‌خود اصول فیزیک هسته‌ای وفیزیک جامدات را باهم درنظر گرفت ومورد استفاده قرارداد و بهمین دلیل نتایج حاصله ازپدیده او که ابتدادرحیطه فیزیک‌هسته‌ای کم‌انرژی بود بزودی شامل نسبیت - مغناطیس ، شیمی و حتی بیوفیزیک و متالوژی گردید.

فلورسانس هسته[2] اتم که با اشعه گاما برانگیخته شده و درحال رزنانس برده شده باشد حالت فیزیکی مشابهی است برای پدیده شناخته شده برانگیختن اتم وصدور فوتون از مدارهای الکترونی آن .

۱- Rudolf Moessbauer ۲- Nucleus (Kern)

منظور از پدیدهٔ «فلورسانس درحالت‌رزنانس هسته» تحریک ترازانرژی‌ای درهسته است که‌بوسیله تابش‌اشعه گاما باهمان طول موج ایجاد شده باشد. براثر تابش این اشعه درهستهٔ اتم جذب و نشر انرژی پشت‌سرهم اتفاق میافتد.

کوانتوم های انرژی درنشریاجذب متحمل تلفاتی‌میشوند که‌ناشی از «انرژی تلفاتی‌عکس العمل[1]» میباشد. این انرژی تلفاتی که بشبکه هسته‌ی درحال‌نشر یاجذب وارد میشود بنوبه‌خود باعث‌ایجاداختلاف طول موج نوار جذب ونوار نشرشده و بالنتیجه رزنانس بهم‌خواهد خورد. باید اشاره کرد که درهسته اتم برخلاف تجربیات مربوطبه‌نور، تغییرجای نوار ناشی از «تلفات انرژی‌عکس‌العمل» همیشه بزرگتر از پهنای طبیعی نوار است.

ازآنجاکه میزان «انرژی تلفاتی عکس‌العمل» وقتی که هسته را دردرجه حرارت معمولی تحریک میکنیم، اکثراً باعث میشود که‌حالت‌رزنانس (یعنی‌هم‌پوشی‌نوار نشروجذب) فقط برای کوانتوم های‌معدودی میسر باشد، بنابراین سطح مقطع مؤثر بسیار کوچک‌شده واندازه گیری آن بسیار دشوار میشود.

این پدیده فیزیکی را بابیان شاید ساده‌تری میتوان تعریف کرد:

اندازه گیری فلورسانس هسته‌اتمی که براثرتابش‌اشعه گاما تحریک شده‌باشد درشرایط‌معمولی‌بسیار مشکل است زیراکه کوانتوم های انرژی درنشر وجذب‌خود بعلت دادن «امپولس عکس‌العمل» به هسته ناچار به‌تحمل تلفات عکس‌العمل‌میشوند و بهمین‌علت درنوارنشر ونوارجذب اختلاف فازی پدید میآید که براثر آن حالت تشدید (رزنانس) بهم میخورد.

بطورکلی امروزه روش های فیزیکی متعددی یافت میشود که درآن هستهٔ اتم باتابش‌اشعهٔ گامای صاحب‌طول موج‌مناسبی بحال‌تحریک و رزنانس برده‌شده وسپس انرژی نشر و صادر میکنند. زمان بقاء حالت برانگیختگی‌هسته بسیار کوتاه ودرحدود 10^{-1} ثانیه میباشد.

برای ایجاد حالت تعادل وجبران انرژی تلفاتی عکس‌العمل سه‌طریقه زیر شناخته شده است:

۱- پدید آوردن‌اثر دپلر[2] بکمک حرکت دادن فرستنده اشعه (مولد). براثر آن طول موج انرژی تغییریافته و تغییرجا درمحل‌نوار پدید میآید.

۲- گسترش طیف اشعه نشر وجذب از راه حرارت‌دادن تا بدینوسیله بتوان‌سهلتر حالتی‌را که درآن این‌نوارها یکدیگر را می‌پوشانند، بوجودآورد.

۳- پدیدآوردن حالات یک ودو بوسیلهٔ نشر ویاجذب‌قبلی (مثلاً بوسیله تابش اشعه بتا) پیش از آنکه هستهٔ اتم تحت‌تأثیر اشعه گاما بحالت برانگیختگی برود.

۱- Recoilenergie

۲- Doppler

Malmfors [1] درآزمایش تحقیقی خود نشان داد که میتوان با بالابردن حرارت در موارد مناسبی فلورسانس هسته تحریک شده را اندازه گیری کرد. دراینگونه روشهای اندازه گیری که درآنها تحت حرارت، طیف اشعه گسترده‌شده وبراثرآن خطوط نشر وجذب بهتر یکدیگر را میپوشانند و بنابراین امکان اندازه گیری فلورسانس هسته تحریک‌شده ، داده‌میشود، همیشه آزمایش برروی اشعه پراکنده عملی میگردد . لذا روشن است که هربار بایدکوانتوم های انرژی پراکنده شده در هسته را از «کوانتوم های‌انرژی پراکنده» ناشی از اثر کمپتن (Compton) جداکرد و بنابراین آزمایش باید فقط درمولدهائی محدود شود که اشعه گامای سخت‌تر از اشعه گامای تابش یافته (که مورد آزمایش است) منتشر نمیکنند، تاازاین راه از رویهم‌قرارگرفتن اثر کوانتوم های پراکنده شده درحال تحریک هسته وکوانتوم های پراکنده شده ناشی ازاثر Compton جلوگیری کرد .

بطورکلی اندازه گیری ازطریق متدهای بالا بادشواریهای زیر روبروهستند :

۱- باکم‌شدن انرژی ، جدانگاهداشتن اشعه پراکنده شده ناشی از اثر Compton بااشعه‌پراکنده الاستیک‌بسیاردشوارمیگردد زیرا اختلاف دوانرژی : کوانتوم های نشریافته (پریمر) وکوانتوم های پراکنده شده Compton بسیارکوچک میگردد . بعلاوه قدرت سنجش کنتور سنتیلاسیون برای انرژیهای قلیل بسیار ناچیز میشود . اضافه برآن سطح مقطع موثر برای اشعه پراکنده Rayleigh در انرژیهای کم بسیارافزایش می‌یابد .

۲- سطح مقطع موثر فلورسانس هسته برانگیخته شده بطورعکس متناسب است بازمان بقاء حالت تحریک (τ) ومامیدانیم که درفلورسانس هسته برانگیخته‌شده ، ازکوانتوم های جذب‌شده فقط‌قسمت کوچکی (چنددرصدی) بعنوان کوانتوم های انرژی مجدداً نشریافتهٔ و برای اندازه گیری دراختیارما قرار میگیرد .

موس باوئر دربررسی خودروشی‌را عرضه‌میدارد که باانجام‌آن‌پدیدآمدن «انرژی تلفاتی‌عکس‌العمل» را مانع‌شده و بدینوسیله حالت رزنانس برهم‌نمیخورد .

اولین آزمایش موس‌باوئر برای اندازه گیری زمان بقاء حالت برانگیخته ۱۲۹ keV درایریدیوم ۱۹۱ بود .

اصول روش اندلزه‌گیری موس‌باوئر

موس‌باوئر دراولین آزمایش خود توانست با پائین‌آوردن حرارت(۸۸°K) برخلاف‌نتایج گرفته شده تاآنزمان ، شاخه‌صعودی قابل‌توجهی را برای جذب ، درنقطه رزنانس هسته اتم بدست‌آورد . این آزمایش برروی ایریدیوم ۱۹۱ و در تراز انرژی ۱۲۹ keV آن انجام‌پذیرفت . وی نتایج این تجربه‌را بکمک گسترش

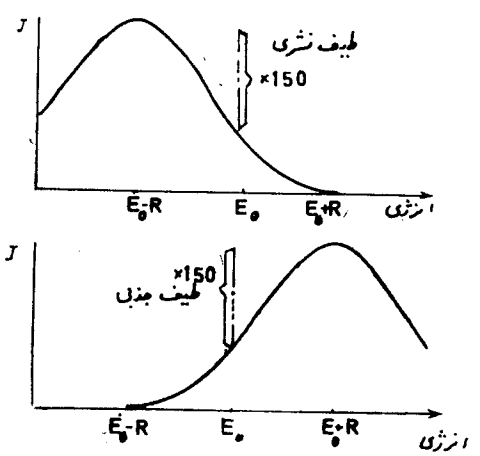
۱- Malmfors K.G, : Beta - and Gammaray Spectroscopy Amsterdam 1955.

وتکمیل یک تئوری کلاسیک از لامب[1] درمورد جذب اشعه ، اثبات کرد واین پدیده‌را ناشی ازگرفتن«انرژی تلفاتی عکس‌العمل» بوسیله تمامی کریستال دانست . پس‌از این آزمایش موس‌باوئر معتقدشد که اگراجسام جامد را مورد تابش اشعه گاما قرار دهیم، بویژه درحوزه اشعه گامای‌نرم و دردرجه حرارت‌های پائین‌تر تغییر صعودی سریع منحنی جذب یا نشر را درنقطه رزنانس هسته اتم ملاحظه خواهیم کرد (شکل ۱) .

نشر یاجذب یک کوانتوم بوسیله هستهٔ اتمی ازیک کریستال معمولاً تغییراتی را درحالت نوسانی شبکه کریستال پدید میآورد، زیرا که این شبکه کریستال امپولس عکس‌العمل را دریافت میدارد . و بعلت پیمانه‌ای (کوانتائی) بودن انرژی داخلی هسته، کریستال میتواند فقط انرژی عکس‌العمل را بازای مقادیر معینی بپذیرد .

باپائین آوردن حرارت احتمال تحریک ترازهای انرژی داخلی هسته کم میشود وبهمین دلیل در مورد اشعه گامای‌نرم برای یک قسمت ازکوانتوم‌های جذب‌شده کریستال درمجموعه «انرژی عکس‌العمل» را می‌پذیرد . در اینجا کوانتوم‌های جذب‌شده ونشریافته بعلت بزرگ بودن جرم کریستال عملاً تلفاتی را متحمل‌نشده وشرائط رزنانسی ایده‌آل محفوظ باقی میماند .

شکل یک، دومنحنی نشر وجذب‌را که موس‌باوئر از راه محاسبه‌بدست‌آورده است‌نشان میدهد .این منحنی برای ترازانرژی keV ۱۲۹ ایریدیوم ۱۹۱ درحرارتی برابر ۸۸°K میباشد .



(شکل ۱) منحنی نشر وجذب‌حالت تحریک تراز انرژی keV ۱۲۹ اپریدیوم ۱۹۱.
درحرارتی برابر $T=۸۸°K$. زمان بقاء حالت تحریک $۱۰^{-۱۰}$ ثانیه است.

ارتفاع منحنی در نقطه رزنانس به نسبت ۱ : ۰٫۵ کوچک شده است ، طیف بدست آمده شامل دو قسمت است .

۱ـ طیف پهن پیوسته که حرارت نرمیک اتمهای در پیوند را درداخل کریستال نشان میدهد .

۱- Lamb

کوانتوم‌های انرژی که دراین حوزه از طیف واقع میشوند بایک تغییر وضعیت حالت نوسانی شبکه کریستال مقابل میباشند .

۲- یک نوار بسیارقوی با پهنای طبیعی نوارکه حالت گذرای کوانتوم‌هائی را نشان میدهد که بهیچوجه دچار تلفات انرژی نشده‌اند زیرا که « مجموعه کریستال » امپولس عکس العمل راگرفته است . بنابراین این خط درجذب و درنشر بدون تغییر محل درمکان رزنانس واقع‌شده است .

موس‌باوئر در آزمایش‌دومی ، برروی Ir^{191} ، تغییرجا در خطوط (نوارهای) جذب و یا نشر را بدون واردشدن تلفات عکس‌العمل برآنها، باکمک یک‌دستگاه سانتریفوژ عملی‌ساخت . بدینوسیله‌موس‌باوئر حتی توانست باحرکت‌دادن مولد درمقابل‌جذب کننده اشعه ، اثر Doppler را پدید آورده و خطوط (نوار) نشر را بسمت فرکانسهای بالاتر یا پائین‌تر (بابیانی دیگر بسمت انرژی بیشتر یاکمتر) تغییرجا دهد و بدین قسم حالت رزنانس را بهم بزند ونوار فلورسانس هسته درحالت تحریک را بکلی ازبین ببرد . با تغییر محل مولد و یا جذب کننده میتوانیم حتی‌نوار تراز انرژی $keV\ ۱۲۹$ ایریدیوم را بدون انرژی عکس‌العمل‌بدست آوریم وهمانطورکه اشاره شد بادردست‌داشتن پهنای این‌نوارکه همان پهنای طبیعی‌نوار میباشد، زمان‌بقای تراز انرژی $keV\ ۱۲۹$ ایریدیوم ۱۹۱ را معین میکنیم .

موس‌باوئر دراین بررسی خود نیز رابطه لامب[1] درباره سطح‌مقطع موثر برای جذب را :

$$\sigma(E)=\left(\frac{\Gamma^{۲}}{۴}\right)\sigma_{۰}W_{a}(E)$$

اختیارکرد .

دررابطه لامب :

Γ : کل انرژی تراز انرژی درحال رزنانس

E : انرژی‌کوانتوم‌های وارده

$W_a(E)$: شکل وموقعیت نوار انرژی جذب‌شده

و $\sigma_۰$ سطح مقطع موثر بروی حالت رزنانس میباشد .

وی با تکمیل رابطه فوق توانست سطح مقطع موثر را برای مرحله جذب بدست آورد .

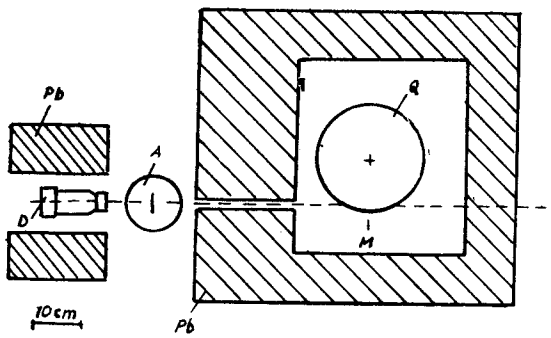
دستگاه آزمایش

(شکل ۲) مایش دستگاهی را میدهدکه موس‌باوئر بکمک آن آزمایش خودرا انجام داد .

دراین دستگاه ، جذب کننده عبارت است ازیک صفحه ۴ر. میلیمتری ایریدیوم و یک صفحه ۴ر. میلیمتری ازپلاتین که هردودارای شعاعی برابر ۳۰ میلیمتر میباشند ، دراین دستگاه جذب اشعه گاما (که

۱- Lamb Jr WE: Phys. Rev 55 190 (1939).

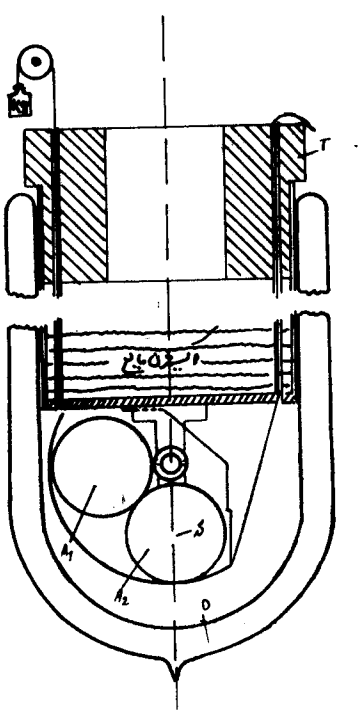
براثر تشعشع بتای اسمیوم «OS_{191}» باانرژی keV ۱۲۹ حادث شده بود) در ایریدیوم ۱۹۱ مورد بررسی واقع شد .



(شکل ۲) دستگاه آزمایش A- کریوستات جذب کننده P- کریوستات بامولد D- کنتور

صفحه ایریدیوم یا جذب کننده «ویک صفحه پلاتین موردمقایسه» هرکدام بنوبه درامتداد شعاع اشعه قرارگرفتند. صفحه جذب کننده ومولدهردو در حرارت اکسیژن‌مایع واقع شده بودند. کنتورسنتیلاسیون بوسیله یک Photozell بنحوی تنظیم شده بود که فقطآن کوانتوم‌های انرژی را بشمارد که ازمولد اشعه در حالتی که‌مولد درموضع معینی واقع شده است، نشر میبابد (شکل ۳) .

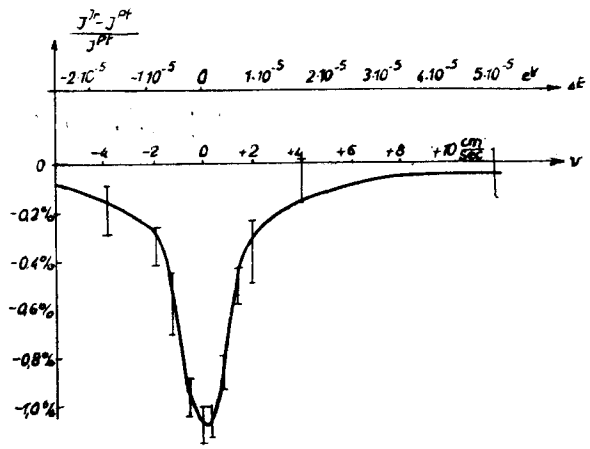
در(شکل ۳) مقطعی ازجذب کننده نشان‌داده‌میشود .



(شکل ۳) کریوستات جذب کننده . بوسیله نخی‌قادریم دوجذب کننده A_1 و A_2 را پشت‌سرهم درمقابل اشعه قراردهیم

(شکل ٤) منحنی شدت نسبی اشعه ، $\left(\frac{I^{Ir}-I^{Pt}}{I^{Pt}}\right)$ راکه بطورمتناوب یکبار پشت یک‌صفحه I_r وباردیگر پشت صفحه پلاتین سنجیده شده است بعنوان تابعی ازسرعت نسبی مولد درقبال جذب کننده نشان می‌دهد .

همانطورکه دربالا خاطرنشان شد بعنوان مولد اشعه، یک مولد اسمیوم ٦٥میلی کوری‌انتخاب شد که طیف اشعه نشر شده آن دارای ترازانرژی keV ١٢٩ ایریدیوم ١٩١ میباشد.



(شکل ٤)

هریک ازنقنط منحنی ده‌بار اندازه‌گیری‌شد و آزمایش در زمانی برابر ١٤ روز انجام گرفت . مقادیر اندازه‌گیری‌شده برای پلاتین بهیچوجه تابعی ازحرکت نسبی مولد نسبت به‌صفحه‌جذب کننده نیست.

برای نشر اشعه ترازانرژی keV ١٢٩ درایریدیوم ١٩١ طی آزمایشی زمان بقاء خصوصی حالت تحریکی برابر $\tau_\gamma=(٣٫٦^{+١٫٣}_{-٠٫٨})\times 10^{-١٠}$ ثانیه اندازه‌گیری شد و با توجه به ضرایب کنورسیون که بوسیله Mitarb و Davis داده شده است ($\alpha=٢٫٤٧$) زمان بقاء حالت برانگیختگی برابر خواهدشد با :

$$\tau=\tau_\gamma(1+\alpha)=(١٫٠^{+٠٫٤}_{-٠٫٢})\times 10^{-١٠}\ \text{sec}$$

بنابراین موس‌باوئر نشان‌داد که این طریقه آزمایش همچنین برای اندازه‌گیری زمان‌بقاء ترازهای انرژی صاحب انرژی بسیارکم‌نیز، کاملاً مناسب میباشند.