۲۲۶۹۹

مرکز اتمی دانشگاه تهران

دانشگاه تهران

دانشکده علوم

پایان نامه

برای دریافت درجه فوق لیسانس

در رشته فیزیک

موضوع :

اسپکتروسکپی اشعه گاما بوسیله کنتور سنتیلاسیون

و

شناخت مواد رادیو اکتیو موجود در هوای تهران وراکتور اتمی

براهنمائی :

جناب آقای دکتر اشموری

نگارش

مژگانه ارضی

بهمن ماه ۱۳۴۸

مرکز اسناد علمی
بانک اطلاعاتی
۱۳۲۷

۲۲۶۹

بدینوسیله مراتب سپاسگزاری خود را بحضورجناب آقای دکتراشعری که بازحمـــــات بی شائبه ومداوم خود ، همواره اینجانب رامددکار بوده اندابرازمیدارم وازاینکه راهنمائیهـــای مؤثرشان تسریع درانجام پایان نامه راسبب گردیده است،کمال امتنان رادارم .

امیداست که این ناچیزه اندك تقدیری اززحمات ایشان که اکثراوقات غیراداری وتعطیل خود رانیزدراختیاراینجانب قرارداده اند بشمارآید . موفقیت هرچه بیشتراینگونه استـــادان فداکارو پرتوان،خواست همگان است .

بخاطر کمکهای بیدریغ جناب آقای دکتر قلمسیاه، در زمینه های علمی وفنی تشکر مینمایم .

از اولیاء محترم مرکز اتمی دانشگاه تهران، که اجازه کار در آزمایشگاههای آن
مرکز را بمن داده اند، تشکر مینمایم .

ازکلیه دوستان صمیمی خودکه کمکهایشان درتنظیم این پایان نامه موثرواقع گردیده است،سپاسگزارم .

فهرست مطالب

	صفحه
فصل اول ــ اثر اشعه گاما بر ماده	
مقدمه	
۱ــ اثر فتوالکتریك	۱
۲ــ پخش کمپتون	۳
۳ــ ایجاد جفت الکترون ــ پوزیترون	۵
فصل دوم ــ جواب دتکتور	
۱ــ شکل اسپکتر برحسب انرژی اشعه گاما	۱۱
۲ــ تغییرات توزیع ارتفاع پالس با اندازه دتکتور	۱۷
۳ــ قدرت جداکنندگی دتکتور	۱۹
فصل سوم ــ پدیده‌هائی که در محیط دتکتور بوقوع می پیوندد .	
مقدمه	
۱ــ فرار اشعه X	۲۲
۲ــ پخش بوسیله مواد پیرامون دتکتور	۲۶
الف ــ طیف عقب زده	۲۷
ب ــ اشعه X ایجاد شده در حفاظ	۳۲
۳ــ اثر جذب کننده بتا	۳۳
۴ــ تشعشع نابودی	۳۵
فصل چهارم ــ پدیده‌های مجموع	
۱ــ طیف مجموع همزمان	۳۶
الف ــ اشعه گامای همزمان	۳۶
ب ــ تشعشع نابودی	۳۶

۲ــ طیف مجموع تصادفی ۳۱

فصل پنجم ــ تحلیل کمی طیف های گاما

۱ــ بهره آشکارسازی ۴۱

۲ــ بهره پیک فتوالکتریک ۴۳

الف ــ نسبت پیک به مجموع ۵۰

ب ــ تعیین میزان مطلق تشعشع ۵۳

فصل ششم ــ موارد استعمال اسپکترسکپی اشعه گاما

۱ــ وسائل آزمایش ۵۶

الف ــ مولتی کانال ۵۶

ب ــ حفاظ ۵۷

ج ــ دتکتور ۵۸

د ــ پمپ ۵۸

۲ــ تعیین انرژی یک پیک ۵۹

۳ــ تعیین نیمه عمر ۵۹

فصل هفتم ــ شناخت مواد رادیواکتیو هوای آزاد وهوای داخل راکتور اتمی

۱ــ مطالعه طیف زمینه ۶۴

۲ــ تهیه نمونه ۶۴

۳ــ مطالعه طیف انرژی مواد رادیواکتیو هوای آزاد ۶۷

۴ــ مطالعه طیف انرژی مواد رادیواکتیو هوای داخل راکتور ۶۷

۵ــ نتایج ۷۵

ضمیمه ۷۸

مراجعه ۸۵

فصل اول ــ اثراشعه گامابرماده

Interaction of Gamma Rays with Matter

مقدمه : برای شناخت جواب دکتور سنتیلاسیون ، بایستی اثراشعه گامابرماده را دانست . پدیده های گوناگونی در ماده بوقوع می پیوندد ، تا اینکه یک پالس در خروجی دکتور ایجاد شود البته بایستی مهمترین این پدیده ها را در نظرگرفته ، مطالعه نمود . سه پدیده مهم که هرسه تابع پیوسته ای از انرژی فوتون اولیه میباشند ، وجود دارد . در هریک از آنها تمام ویا قسمتی از انرژی فوتون در یک برخورد با ماده بآن داده میشود . این سه عبارتند از :

۱ــ اثرفوتوالکتریک .

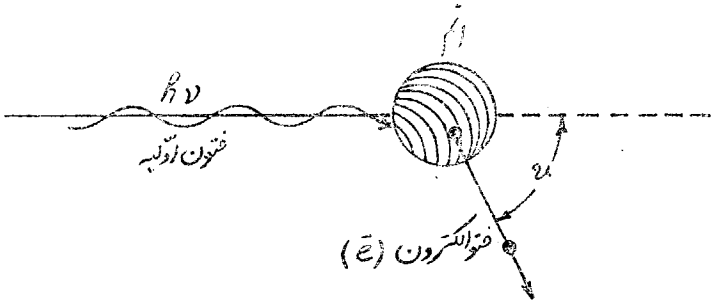
۲ــ پخش کمپتون بوسیله الکترونهای موجود در اتم .

۳ــ ایجاد جفت الکترون ــ پوزیترون در میدان الکتروستاتیک اتم .

در قسمتهای زیر مورد جواب بدهیم در دکتور سنتیلاسیون بحث میشود .

۱ــ اثرفوتوالکتریک :

در این پدیده که در انرژی های کم غالبا راندمان زیادی دارد ، تمام انرژی فوتون اولیه بوسیله الکترون وابسته باتم ماده جذب میشود والکترون با انرژی سینتیک $T = h\nu - W_0$ به بیرون پرتاب میگردد . W_0 مقداری از انرژی فوتون اولیه است که صرف جدا کردن الکترون از مدار مربوط میشود (انرژی بستگی) . البته مقداری از انرژی فوتون بوسیله هسته گرفته میشود که در مقابل انرژی های مذکور قابل صرفنظر کردن است .



شکل ۱ــ شمای اثرفوتوالکتریک .

اگر انرژی فوتون از انرژی بستگی مدار K بیشتر باشد، پدیده با الکترونهای آن مدار صورت میگیرد. در اثر این عمل جای یك الکترون در مدار K خالی شده و بالنتیجه اشعه X و یا الکترون اوژه ایجاد میشود. (تجربه وتئوری ثابت میکند که ۸۰٪ جذب بطریق فتوالکتریك در مدار K صورت میگیرد). این وقایع در زمانی کمتر از زمان وابسته عملیات سنتیلاتور (time - dependent) اتفاق می‌افتد. بدین طریق اشعه X حاصل از پدیده اولیه، بوسیله فتوالکتریك ثانوی جذب شده و بالنتیجه تمام انرژی فوتون اولیه در تکتور جذب میشود. مشخصه مهم اثر فوتوالکتریك در تکتور سنتیلاسیون بصورت زیر تعبیر میشود :

هرگاه فتونهای تك انرژی پدیده فتوالکتریك ایجاد نمایند، یك توزیع تك انرژی الکترونها در داخل حجم تکتور ایجاد مینمایند واگر تنها از دست دادن انرژی فوتون فقط بصورت اثر فوتوالکتریك میبود، جواب در تکتور یا تحلیل کمی فتوالکترونها بسادگی انجام میگرفت.

مقطع موثر جذب فتوالکتریك :

برای انرژی‌های زیاد تا اندازه ای که بتوان سرعت فتوالکترون را غیرنسبی فرض کرد و با در نظرگرفتن تقریب برن، برای مقطع موثر پدیده برای قشر K فرمول زیر بدست میآید :

$$\sigma_K = 4\sqrt{2}\ \varphi_0 \frac{Z}{137^2}\left(\frac{mc^2}{h\nu}\right)^{\frac{7}{2}} \qquad (1)$$

$$\varphi_0 = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{mc^2}\right)^2 = 6.651 \times 10^{-25} \quad cm^2$$

در فرمول فوق $h\nu$ انرژی فوتون اولیه، mc^2 انرژی معادل جرم الکترون و Z عدد اتمی ماده جذب کننده است. φ_0 واحد مناسب برای سنجش مقطع موثر در واقع مقطع موثر پخش فوتون با انرژی کم بوسیله الکترون آزاد در حالت سکون را بدست میدهد (پخش تمسون).

برای انرژی‌های نسبی و با در نظرگرفتن تقریب برن، سوتر Sauter فرمول زیر را پیشنهاد نمود :

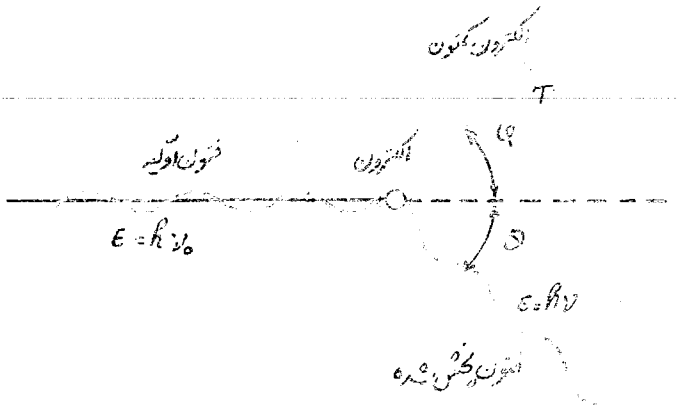
$$\sigma_K = \frac{۴}{۳} \times \frac{Z^۵}{۱۳۷^۴} \times \frac{(\gamma+۱)^{\frac{۳}{۲}}}{(\gamma-۱)^{\frac{۵}{۲}}} \times \left[\frac{۴}{۳} + \frac{\gamma(\gamma-۲)}{\gamma+۱} \left(۱ - \frac{۱}{۲\gamma\sqrt{\gamma^۲-۱}} \right) + \log \frac{\gamma+\sqrt{\gamma^۲-۱}}{\gamma-\sqrt{\gamma^۲-۱}} \right]$$

$$\gamma = \frac{۱}{\sqrt{۱-\frac{v^۲}{c^۲}}} = \frac{h\nu + mc^۲}{mc^۲}$$

v سرعت و $mc^۲\gamma$ یعنی $h\nu + mc^۲$ انرژی کل الکترون است . تجزیه‌وتحلیل (۲) در انرژی‌های مختلف اطلاعات کافی در مورد مقطع موثر براتم مدار K رابدست میدهد[۱].

۲ــ پخش کمپتون :

در پخش کمپتون فتون اولیه بوسیله الکترونها منحرف شده و انرژی آن کم کاهش می یابد . در این نحل پخش با الکترونهای آزاد صورت میگیرد و انرژی فتون اولیه بین فتون ثانوی و الکترون تقسیم میشود .



شکل ۲ــ شمای پخش کمپتون

قوانین حفظ مانی بقاء انرژی و اندازه حرکت برای مقادیر معینی برای انرژی الکترون و فتون بدست میدهد . یک فتون با فرکانس ν در برخورد با الکترون در حالت سکون ، یک فتون در جهت θ و یک الکترون با انرژی سینتیک T در جهت φ ایجاد مینماید . فرمولهای زیر نشان دهنده روابط بین کمیتهای فوق میباشند :

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{mc^2}(1 - \cos\theta)} \qquad (۳)$$

$$T = E_0 - \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{mc^2}(1 - \cos\theta)} = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)$$

$$= E_0 - E = mc^2 \frac{2E_0^2 \cos^2\varphi}{(E_0 + mc^2)^2 - E_0^2 \cos^2\varphi} \qquad (۴)$$

$$tg\,\varphi = \frac{E \sin\theta}{E_0 - E\cos\theta} = \frac{mc^2}{mc^2 + E_0} \cot g \frac{\theta}{2} \qquad (۵)$$

در فرمولهای بالا $E_0 = h\nu_0$ و $E = h\nu$ انرژی فتونهای اولیه وپخش شده و v سرعت الکترون پخش شده میباشد . از معادلات بالا نتیجه میشود که انرژی الکترون پخش شده دارای طیفی از انرژی $T = 0$ در $\theta = 0$ (یعنی $h\nu = h\nu_0$) تا انرژی ماکزیمم $T_{max} = \frac{E_0}{E_0 + \frac{mc^2}{2}} E_0$ بازای $\theta = 180$ (یعنی $h\nu_{min} = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{2h\nu_0}{mc^2}}$) میباشد . T_{max} قدری از انرژی فتون اولیه کمتراست . با در نظر گرفتن فرمول :

$$h\nu_{min} = \frac{h\nu_0}{1 + 2h\nu_0} = \frac{mc^2}{\frac{1}{h\nu_0} + 2} \qquad (۶)$$

دیده میشود که همواره $h\nu_{min} < \frac{mc^2}{2} = 0.255\ Mev$ میباشد . یعنی انرژی فتون پخش شده دارای تغییراتی است که از انرژی فتون اولیه شروع شده تا می نیمی که از $\frac{mc^2}{2}$ کمترمیباشد ادامه می یابد . یك مطلب مهم آن است که در فرمول $tg\varphi$ (فرمول ۵) طرف راست رابطه هیچوقت منفی نمیگردد . زیرا ازطرفی حداکثر θ برابر 180° است ودرنتیجه $\frac{\theta}{2}$ از 90° تجاوز نمیکند تانژانت آن همیشه مثبت است . ازطرف دیگرکسرطرف راست رابطه هم مثبت میباشد . پس زاویه φ همیشه بین صفرو 90° درجه بوده وبالنتیجه امتداد حرکت الکترون نمیتواند زاویه ای بیشتراز 90° درجه با فتون اولیه بسازد .

مقطع موثرکلی در پخش کمتون :

مقطع موثرپخش کمتون ، اولین بار بوسیله کلین Klein ونیشینا Nishina

بیان شده است . ما فقط نتایج حاصل رایادآوری میکنیم . طریق محاسبه ومراحل مختلف بدست آوردن فرمول‌را میتوان در مقاله افراد فوق و Tamm وکتاب Heitler مطالعه نمود .

نتایج حاصل در فرمول زیر خلاصه میشود :

$$\frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{3}{8\gamma}\left\{\left[1-\frac{2(\gamma+1)}{\gamma^2}\right]\log(2\gamma+1)+\frac{1}{2}+\frac{4}{\gamma}-\frac{1}{2(2\gamma+1)^2}\right\} \qquad (7)$$

$$\varphi_0 = \frac{8\pi}{3}r_0^2 = 6{,}651\times 10^{-25} \quad cm^2 \qquad \gamma = \frac{E_0}{mc^2}$$

برای γ های کم $\gamma \ll 1$

$$\varphi = \varphi_0\left(1-2\gamma+\frac{26}{5}\gamma^2+\cdots\cdots\cdots\cdots\right)$$

در حالت نسبی بودن سرعت یعنی $\gamma \gg 1$ داریم :

$$\varphi = \varphi_0 \times \frac{3}{8}\times\frac{mc^2}{E_0}\left(\log\frac{2E_0}{mc^2}+\frac{1}{2}\right) \qquad (8)$$

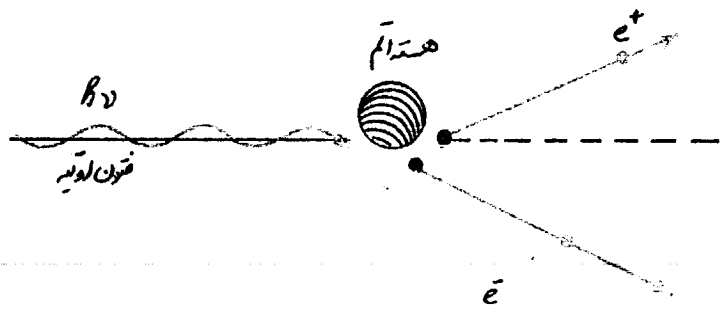
بنابراین مقطع موثر پدیده کمتون بطور یکنواخت با اضافه شدن انرژی ذره اولیه کاهش میابد .

۳ـ ایجاد جفت الکترون ـ پوزیترون :

در انرژی های تقریبا زیاد ، اثر جذب بوسیله فتوالکتریک وکمتون ناچیز بوده وپدیده دیگری بنام ایجاد جفت بوقوع می پیوندد . در این پدیده یک اشعه گاما با انرژی تقریبا زیاد در میدان الکتروستاتیک هسته بصورت جفت الکترون وپوزیترون ظاهر میشود . یکی از این جفت دارای بار منفی ودیگری دارای بار مثبت میباشد . انرژی کلی برابر $h\nu = E_+ + E_-$ ومجموع انرژی سینتیک آنها برابر با T است که از رابطه زیر بدست میآید :

$$T = h\nu - 2m_0c^2 \qquad (9)$$

پس هنگامی پدیده جفت داریم که انرژی اشعه گاما از $2m_0c^2 = 1{,}02$ Mev بیشتر باشد . این پدیده در میدان کولمبی هسته (ویا الکترونها) انجام میشود ، فتون اولیه از بین رفته وانرژی آن تبدیل بجرم الکترونها و انرژی جنبشی آنها میگردد .



شکل ۳ ــ شمای ایجاد جفت الکترون ــ پوزیترون

برای نشان دادن اینکه حتما حضورمیدان کولمبی لازم بوده وبدید مد ربك فضـــای آزاد بوقوع نمی پیوندد ، ساده ترین راه مقایسه دو نتیجه ای است که از دوقانون بقاء انـرژی ــ جرم و اندازه حرکت بدست میآید . رابطه انشتیـن برای انرژی کلی یك ذرهبصـــــورت زیـر است :

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

که در آن E انرژی کلی ، m_0 جرم درحال سکون و p اندازه حرکت ذره است . c سرعت سیرنورمیباشد .

بنابر بقاء انرژی:

$$h\nu = E_+ + E_- = \sqrt{m^2c^4 + p_+^2 c^2} + \sqrt{m^2c^4 + p_-^2 c^2}$$

خواهیم یافت :

$$\frac{h\nu}{c} > p_+ + p_- \qquad (10)$$

وبنابر بقاء اندازه حرکت ،

$$\frac{h\nu}{c}\vec{n} = \vec{p}_+ + \vec{p}_-$$

خواهیم یافت :

$$\frac{h\nu}{c} < p_+ + p_- \qquad (11)$$

($\vec{n}$ بردار یکـه در امتداد مسیرفتون اولیه میباشد) .

دیده میشود که در رابطه کاملا متضاد بوده ولی النتیجه فرض ایجاد جفت در فضای آزاد نادرست میباشد . اثر هسته، گرفتن یک مقدار از اندازه حرکت میباشد .

مقطع موثر پدیده ایجاد جفت :

بعد از محاسبه مقطع موثر جزئی و انتگرال گیری در روی کلیه انرژی‌های جنبشی ممکن پوزیترون در فرمول زیر بدست آمده است :

— برای حالت نسبی که در آن $mc^2 \ll h\nu \ll 137\, mc^2 Z^{-\frac{1}{3}}$ باشد و با فرض اینکه از اثر پوشش الکترونهای اتم (screening) صرفنظر شود ، مقطع موثر کلی ایجاد جفت از رابطه زیر بدست میآید :

$$\phi_{pair} = \bar{\varphi} \left(\frac{28}{9} \log \frac{h\nu}{mc^2} - \frac{218}{27} \right) Z^2 \qquad (12)$$

— در حالتی که اثر پوشش کامل باشد یعنی $h\nu \gg 137\, mc^2 Z^{-\frac{1}{3}}$ ، تساوی زیر برقرار است :

$$\varphi_{pair} = \bar{\varphi} \left[\frac{28}{9} \log (184 Z^{-\frac{1}{3}}) - \frac{2}{27} \right] Z^2$$

که در آن $\varphi_0 = \frac{1}{137} \left(\frac{e^2}{m_0 c^2} \right)^2 = 5180 \times 10^{-28}$ $cm^2/nucleus$

اگر تعداد اتمهای ماده در یک سانتی متر مکعب باشد ضریب جذب خطی برابر است با

$$\tau_{pair} = N \varphi_{pair} \qquad cm^{-1}$$

ایجاد جفت در میدان کولمبی یک الکترون :

اولین بار در سال ۱۹۳۴ Perrin دریافت که ایجاد جفت در مجاورت الکترون نیز امکان دارد . انرژی آستانه برای وقوع این چنین پدیده $4m_0c^2 = 2{,}04$ Mev میباشد نسبت مقطع موثر پدیده در میدان کولمبی الکترون و هسته از رابطه زیر بدست میآید :

$$\frac{\varphi \text{ میدان کولمبی الکترون}}{\varphi \text{ میدان کولمبی هسته}} = \frac{1}{cZ}$$

Z عدد اتمی ماده و ضریب c تابع نزولی از انرژی اشعه گاما بوده و در $h\nu \to \infty$ برابر یک میشود .

اثر پدیده در اسپکتر:

نظر باینکه پوزیترون ناپایدار است ، زمانی که در مجاورت میدان یک الکترون انرژی جنبشی خود را از دست داد ، با آن نابود شده و دو فتون هریک با انرژی معادل ۰٫۵۱۱ Mev ایجاد مینماید . انرژی جنبشی از دست رفته در داخل تکتور بعد از ایجاد جفت برابر $E_\gamma - 1,02$ Mev میباشد . همانگونه که بعداً توضیح داده خواهد شد احتمال دارد یک یا هر دو شعاع گامای ایجاد شده ، بوسیله فتوالکتریک ویا کمتون آشکار شود . این وقایع متوالی در طیف گامای پرانرژی یعنی در توزیع انرژی الکترونهای مربوط به پدیده جفت پیچیدگی ایجاد میکند .

ضریب جذب کلی :

احتمال کلی برای آشکار سازی اشعه گاما (ضریب جذب کلی) برابر فرمول زیر خواهد بود :

$$\tau = \tau_{ph.} + \tau_{Cam} + \tau_{pair}$$

ضریب جذب کلی برای $NaI(Tl)$ و راندمان هریک از پدیده ها در شکل (٤) نشان داده شده است . از این منحنی همچنین میتوان نسبت ضریب جذب کلی و هریک از پدیده ها را در انرژی های مختلف ، گاما بدست آورد .

این منحنی براساس اطلاعاتی که Gladys White Grodstein (۴) منتشر کرده بدست آمده است . در ناحیه انرژی تا چند صد Kev پدیده فتوالکتریک و در انرژی های بالاتر پدیده کمتون و در انرژی های خیلی بالا پدیده ایجاد جفت اهمیت زیادتری دارند .

مقدمه فوق در بحث جواب در تکتور $NaI(Tl)$ مورد استفاده قرار خواهد گرفت . شمای اثرات مهم اشعه گاما برمادده در شکل صفحه بعد (شکل ۵) نشان داده شده است .