نشریه دانشکد علوم جلد یازدهم شمار ۱ و ۲، بهار و تابستان ۱۳۵۸

اندازه گیری عمر متوسط یك تراز تحریك در ^{16}O بااستفاده از روش جابجائی دپلر

دکتر بیژن رستگار* و فرزانه ابراهیمی فخار**

خلاصه :

عمر متوسط تراز تحریک ۸۸۷۲ kev در ^{16}O ، بااستفاده از روش‌جابجائی دپلر اندازه‌گیری شد برای اینکار واکنش $^{19}F(p,d)^{16}O$ در انرژی رزنانس E_p = ۲۷۶۵ kev استفاده شد . همراه با این اندازه‌گیری، ضرایب توقف دهندگی محیط‌های Ca, Ta و F برای یونهای اکسیژن باانرژی کم‌مورد بررسی قرارگرفت

کلیه آزمایشهائی که در این مقاله ذکر شده‌اند در بخش واندوگراف مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران انجام شده‌اند. نتایج این آزمایشها برای اولین بار درنشریه دانشکده علوم‌دانشگاه تهران انتشار می‌یابند .

مقدمه :

اندازه‌گیری عمر متوسط آن دسته‌از ترازهای‌تحریک‌هسته که باتابش‌پرتوهای الکترومغناطیسی بسوی تراز پایه‌ای انتقال می‌یابند ، اطلاعات وسیع و مفیدی در بار توابع موج ترازهای هسته‌ای فراهم می‌آورد و ازاین‌رو حائز اهمیت بسیاری است چند سالی است که با پیدایش آشکارسازهای نیم‌هادی ژرمانیم - لیتیم ، روش اندازه‌گیری عمر متوسط از راه اندازه‌گیری جابجائی دوپلر بطور وسیع مورد استفاده قرار میگیرد . عمر متوسط بسیاری از ترازهای تحریک هسته‌های مختلف با استفاده ازاین روش، اندازه‌گیری شده‌اند. هرچند این کار ، امروزه تقریباً بصورت کار عادی وروزمرهٔ آزمایشگاههای فیزیک هسته‌ای درآمده است ولی هنوز مشکلاتی در این اندازه‌گیری وجود دارد که از دقت نتایج حاصل می کاهد . درست بهمین خاطر که این روش دائماً در آزمایشگاهها بکار می‌رود ، بررسی مشکلات کار وپیدا کردن راههای بدست آوردن نتایج دقیقتر دارای اهمیت بسیاری است یکی از مشکلات عبارتست از عدم اطلاع دقیق از قدرت

*گروه فیزیک دانشگاه تهران

** مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران

توقف دهندگی موادی که در این نوع آزمایشها بعنوان محیط کاهش دهندهٔ سرعت یونها مورداستفاده قرار می‌گیرد .

قدرت توقف دهندگی هرمحیط مادی از دو نوع برخوردیون ـ الکترون‌ویون اتم نتیجه میشود . خواص کلی این دونوع برخورد توسط پژوهشگران مختلف بررسی شده‌اند ولی هیچ تئوری کاملتر ازتئوری کلی لیندهاردو همکارانش (۱)وبلاوگروند (۲) تاکنون عرضه نشده است. علت این امر در کمبود نتایج بررسی‌های سیستماتیک تجربی است که موجب توقف پیشرفت کار تئوری شده است. نتایجی که بیش از همه مورد احتیاج می‌باشند، نتایجی هستند که امکان مطالعهٔ مستقیم قدرت توقف دهندگی مواد را پا ید می‌آورند. دو دسته اطلاعات موردنیاز هستند . یکی تغییرات قدرت توقف دهندگی محیط‌های مادی مختلف برای یک یون مشخص با سرعت اولیهٔ ثابت ودیگری تغییرات قدرت توقف دهندگی یک‌محیط مادی‌مشخص برای یک یون مشخص با سرعتهای اولیهٔ مختلف به‌هر دونوع این اطلاعات می‌توان از راه اندازه‌گیری عمر متوسط‌تراز تحریک هسته‌هائی که درمحیط مادی موردنظر متوقف‌می‌شوند ، بااستفاده از روش اندازه‌گیری جابجائی دوپلر ، دست یافت .

در آزمایشهائی که موضوع کار پژوهشی حاضر است، پدیدآوردن اطلاعاتی از دستهٔ دوم ، در مورد یون O^{16} که‌هسته آن در تراز تحریک ۸۸۷۲kev قرار دارد موردنظر بود . تاکنون ، عمرمتوسط این تراز تحریک هستهٔ O^{16} ، چندین‌بار واز راههای مختلف اندازگیری شده‌است. بهمین‌جهت وهمچنین به‌علت اینکه عمرمتوسط این تراز بسیار خوب شناخته شده ودر ناحیهٔ 10^{-13} ثانیه قرار دارد که در آن حساسیت روش اندازه‌گیری‌جابجائی اثردوپلر بسیار زیاداست، انتخاب O^{16} را میتوان بهترین انتخاب‌برای بررسی قدرت توقف دهندگی محیط‌های مادی مختلف به‌حساب آورد. تاکنون اندازه‌گیریهای بسیاری نظیر آنچه که درکار پژوهشی حاضر انجام داده‌ایم ، توسط پژوهشگران دیگری بعمل آمده است(۳). ولی همهٔ این اندازه‌گیریها در مورد یونهائی انجام‌گرفته‌اند که سرعت اولیهٔ آنها زیاد بوده است (انرژی جنبشی بیش از ۵۰۰kev) حال آنکه در ناحیهٔ پراهمیت‌سرعتهای کم‌وبسیارکم (انرژی‌جنبشی اولیهٔ کمتر از۲۰۰kev) نتایج تجربی قابل توجهی وجود ندارد وبخصوص در مورد O^{16} تاکنون هیچ آزمایشی انجام نگرفته است در مقالهٔ حاضر نتایج اولین آزمایش از یک سری آزمایشهائی عرضه شده است که جهت بررسی قدرت‌توقف دهندگی مواد مختلف برای یونO^{16} که با سرعت اولیهٔ کم حرکت میکند ، انجام خواهندگرفت . محیط متوقف کنندهٔ موردمطالعه ، Ta (تانتال) بوده است. نتایج مربوط به‌محیط‌های دیگر ، بموقع‌خود وپس از از اتمام آزمایشهای مربوطه وتجزیه وتحلیل نتایج به‌تدریج در مقاله‌های آینده عرضه خواهند شد .

شرایط و روشهای آزمایش :

در این آزمایش ، روش اندازه‌گیری تخفیف جابجائی مرکز ثقل پیک گامای حاصل از انتقال الکترومغناطیسی‌تراز ۸۸۷۲kev به‌تراز ۶۱۳۳kev هستهٔ O^{16} مورد استفاده قرارگرفت. برای تولید هستهٔO^{16} در تراز تحریک ۸۸۷۲kev از واکنش $F^{19}(p,\alpha)O^{16}$ استفاده کردیم . انرژی‌پروتونهای بمباران کننده ۲۷۶۵ kev بود که به یک رزنانس در مقطع موثر واکنش فوق‌الذکر مربوط میباشدهدف تشکیل شده بود از یک لایهٔ بسیار نازک CaF_2 به ضخامت تقریبی ده میکروگرم برسانتیمترمربع که از راه تبخیربر ورقه‌ای از تانتال (Ta) به‌ضخامت یک صدم میلیمتر نشانده بودیم . انتخاب یک هدف بسیارنازک بدین‌علت بود که تاحد امکان، خود هدف نقش کوچکتری در متوقف کردن یونهای اکسیژن داشته‌باشد و نقش عمدهٔ کند کننده برعهدهٔ محمل تانتال قرارگیرد .

ضریب تحفیف $F(\tau)$ ، اثر دوپلر ، باجابجائی ، ΔE، مرکز ثقل پیک‌گامای حاصل از یک انتقال الکترومغناطیسی ، برای یونهائی که باسرعت کم حرکت میکنند و در دو زاویهٔ مختلف اندازه‌گیری در رابطهٔ زیر صدق میکند :

$$F(\tau)=\frac{\Delta E}{E_{\circ}\overline{\beta(O)}\,cos\theta_{1}-cos\theta_{2})}$$

دراین رابطه $\Delta E=E(\theta_{1})-\overline{E(\theta_{2})}$ عبارتست ازتفاوت انرژی متوسط پیک گاما در دو زاویهٔ θ_{2} و θ_{1} ، $E_{\circ}$ عبارتست از انرژی پرتوهای گاما در حالتی که هستهٔ تابش کننده در حالت سکون قرارگرفته باشد. $\overline{\beta(O)}$ عبارتست از نسبت سرعت اولیهٔ متوسط یونهای اکسیژن به‌سرعت نور. ضریب $F(\tau)$ در واقع نسبت سرعت متوسط حرکت یونها درماده ، $\overline{\beta(t)}$ ، و سرعت متوسط حرکت یونها در خلاء ، $\overline{\beta(O)}$ ، میباشد. بعبارت دیگر :

$$F(\tau)=\frac{\overline{\beta(t)}}{\overline{\beta(O)}}=\frac{\Delta E}{\Delta E_{o}}$$

که در آن $\Delta E_{\circ}=E_{\gamma\circ}(\theta_{1})-E_{\gamma\circ}(\theta_{2})$ عبارتست از جابجائی‌دوپلر حاصل‌از یونهائی که‌درخلاء حرکت می کنند .

برای اندازه‌گیری $\overline{\beta(O)}$ از یک هدف CaF_{2} به ضخامت ۱۰ میکروگرم برسانتیمتر مربع که به‌روش تبخیر برروی ورقه‌ای از آلومینیم به‌ضخامت ۱۰۰ میکروگرم برسانتیمتر مربع نشانده‌شده‌بود، استفاده کردیم . این هدف را به‌نوعی در مقابل پروتونها قراردادیم که پروتونها قبل‌از برخورد باهسته‌های ^{19}F ازورقهٔ آلومینیم عبور می کردند (به‌اصطلاح هدف را از پشت‌بمباران می کردیم) . درنتیجه ، هسته‌های اکسیژن حاصل از واکنش که اکثراً بعلت روابط سینماتیک در انرژی پروتونهای تابشی ، بسوی زوایای کوچکتر از نود درجه پرتاب می‌شدند ، فقط می‌توانستند در خلاء حرکت کنند. بدین‌ترتیب با دواندازه‌گیری در زوایای صفر ونوددرجه نسبت به‌محور تابش پروتونها، توانستیم به آسانی ΔE_{o} وسپس $\overline{\beta(O)}$ رابه کمک رابطهٔ زیر بدست بیاوریم :

$$\overline{\beta(O)}=\frac{\Delta E_{o}}{E_{o}(cos\theta_{1}-cos\theta_{2})}$$

برای اندازه‌گیری بیناب پرتوهای‌گامای حاصل از واکنش ، از یک آشکارساز ژرمانیم‌لیتیم $(Ge-Li)$ استفاده کردیم . قدرت جداسازی این آشکارساز برای پرتوگامای ۱۳۳۲kev حاصل از هستهٔ کبالت ۶۰، معادل ۳kev بود. بازدهٔ آشکارسازی نسبت به یک آشکارساز یدورسدیم (NaI) سه اینچ در سه‌اینچ، حدود ۱۸ درصد بود. بطوریکه نسبت پیک‌فتوالکتریک به زمینهٔ کمپتون برابر ۳۰ بود . آشکارساز را در فاصلهٔ ده سانتیمتری از هدف قرار داده بودیم . باین‌ترتیب عدم قطعیت مربوط به‌اندازهٔ زاویه بین محور تابشهای‌گاما وجهت آشکارسازی قابل صرفنظرکردن بود . وسایل الکترنیکی وابسته به‌آشکارسازی‌پرتوهای گاما از نوع وسایل کلاسیکی بودند که همه جا در آشکارسازی مستقیم پرتوهای‌گاما مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای کنترل بازدهٔ تقویت کننده‌ها واحتراز از خطای ناشی از این تغییرات‌در برآورد انرژی دقیق.

پرتوهای‌گاما، در تمامی اندازه‌گیریها ، بیناب‌گامای یک چشمه کبالت ٦٠ را نیز همراه بابیناب پرتوهای گامای حاصل از واکنش ، پس از آشکارسازی در حافظه یک آنالیرز چهارهزارکانالی‌ضبط نمودیم . در شکل (۱)یک بیناب پرتوهای‌گاما نشان داده میشود که به‌ترتیب فوق‌اندازه‌گیری شده است .

تجزیه و تحلیل ونتیجه :

در بینابهائی که توسط یک آنالیزر چهارهزارکانالی ضبط شده بودند، پس‌ازکم کردن زمینهٔ پرتوهای‌گاما وتعیین مرکز ثقل هریک از پیک‌ها، انرژی مربوط به‌هر پیک را با دقت زیاد محاسبه کردیم: از آنجا که تمامی تقویت کننده‌ها ودستگاههائی که برای تقویت وتجزیهٔ پالس الکتریکی حاصل از آشکار سازی پرتوگاما بکار بردیم از نوع خطی بودند ، لذا رابطه‌ای خطی بین شمارهٔ کانال آنالیرز چند کانالی و انرژی پیک مربوط به‌پرتوگاما وجود دارد . بدینجهت برای تعیین انرژی دقیق پیکهای هر بیناب ، با دانستن انرژی دقیق مربوط به‌چند کانال مشخص وبا استفاده از روش حداقل مربعات،رابطهٔ خطی موجود بین انرژی هرپیک وشمارهٔ کانال مرکز ثقل آن را به‌کمک یک برنامهٔ کامپیوتری محاسبه نمودیم . اینکار امکان میدهد تفاوت انرژی پیکهای‌گامای حاصل از واکنش را در زوایای مختلف وبرای محیط‌های توقف دهندهٔ متفاوت‌که محمل هدفها نیز میباشند ، تعیین‌کنیم . پس‌از تعیین ΔE براحتی می‌توان $F(\tau)$ را نیز معین نمود. درشکل (۲) دوقسمت از بینابهائی را که مربوط به‌اندازه‌گیری جابجائی دوپلر پرتوگامای ۲۷٤۱kev حاصل‌از انتقال الکترومغناطیسی (٦۱۳۳kev ⟵ ۸۸۷۲) در اکسیژن ۱٦ میباشد، نشان داده‌ایم محیط‌کندکننده ، فلز تانتال است. فلشها مشخص‌کنندهٔ مرکز ثقل‌پیکها هستند. بینابهای مشابهی‌نیز برای حرکت یونهای‌اکسیژن در خلاء بدست‌آوردیم . نتایج‌حاصل ازاین اندازه‌گیریها در جدول (۱) آورده شده‌اند.

جدول (۱) : انرژی مربوط به‌جابجائی مرکز ثقل

جابجائی‌دوپلر	محیط‌کندکننده	زوایای اندازه‌گیری انتقال الکترومغناطیسی
٤/۹ ± ۱/۲	تانتال	صفر ونود درجه ۸۸۷۲ - ٦۱۳۳
۱٤/٦۲ ± ٥	خلاء	صفر ونود درجه ۸۸۷۲ - ٦۱۳۳

با استفاده از نتایجی‌که در این جدول آورده شده‌اند ، اندازهٔ $F(\tau)$ مربوط به‌انتقال الکترومغناطیسی مورد مطالعه برابر مقدار زیر برآورد شده است :

$$F(\tau) = ۰/۳٦ \pm ۰/۱۰$$

در محاسبهٔ مربوط به‌تعیین خطا در این آزمایشها ، از روش بیراهی استاندارد استفاده شده است.

با تعیین اندازهٔ تجربی $F(\tau)$ مربوط به تراز kev ۸۸۷۲ اکسیژن شانزده ، می‌توان به‌آسانی عمر متوسط این تراز را مشخص نمود. برای اینکار کافیست با درنظرگرفتن شرایط آزمایش (از قبیل انرژی یونها ، مشخصات محیط مادی‌وغیره .....) منحنی تئوری تغییرات $F(\tau)$ را به‌ازای تغییرات عمر متوسط τ محاسبه کنیم . آنگاه با مقایسهٔ اندازه تجربی $F(\tau)$ و منحنی تئوری می‌توان به‌آسانی عمر متوسط موردنظر را تعیین کرد .

برای محاسبهٔ $F(\tau)$ تئوری ، مطابق تئوری بلاوگروند، ابتدا لازم است ضریب قدرت توقف دهندگی الکترونی ke را در مورد حرکت یونهای اکسیژن در محیط مادی کند کننده تعیین کنیم .این ضریب را معمولا بکمک منحنی‌های تجربی قدرت توقف دهندگی $\frac{dE}{dx}$ که‌توسط مؤلفین برای‌یونهای با انرژیهای مختلف اندازه‌گیری ومحاسبه شده است مشخص می کنند. ما از جدول‌ها ومنحنی‌هائی که توسط نورت کلیف‌وشیلینگ (٤) داده شده است استفاده نمودیم . ولی از آنجا که اطلاعات مورد نیاز درجدول‌ها ومنحنی‌های نورت کلیف‌وشیلینگ، فقط درمورد یونهائی که با انرژی جنبشی بیش از ۲۰۰ kev در حرکتند داده شده است، لذا مقادیری که ما در محاسبات خود مورد استفاده قرار دادیم فقط یک اکسترا پولاسیون از مقادیری هستند که در مقالهٔ این مؤلفین منعکس است . ضرایب ke که بدین‌ترتیب تعیین شده‌اند، در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲) : ضریب قدرت توقف دهندگی الکترنی محیط‌های کند کننده .

ke	محیط کند کننده	یون متحرک
۱/۰۳	Ta	^{16}O
۰/۱٦۷	F	^{16}O
۰/۲٤۳	Ca	^{16}O

با استفاده ازاین مقادیر keوبکمک یک برنامهٔ کامپیوتر، مقادیر $F(\tau)$ تئوری را برحسب τ تعیین‌نمودیم. از آنجا که انرژی یونهای اکسیژن مقدار ناچیزی بوده وتوقف یونها در محیط (CaF_2) احتمالا قابل صرفنظر کردن نمیبود، بدینجهت در محاسبه $F(\tau)$، فرض کردیم که هدف از چهار لایهٔ نازک CaF_2 هریک به ضخامت ۲/۵ میکروگرم برسانتیمتر مربع تشکیل شده است. بدین‌ترتیب در مورد یونهائی که در لایه‌های سطحی تولید شده‌اند، اندازهٔ $F(\tau)$ بادرنظرگرفتن دو محیط توقف دهندهٔ CaF_2 و Ta محاسبه شده ودر مورد یونهائی که در لایهٔ عمقی (لایه‌ای که بلافاصله قبل از محیط تانتال قرار دارد) تشکیل شده‌اند، تنها یک محیط توقف دهنده تانتال درنظرگرفته شد . اندازهٔ نهائی $F(\tau)$ برابر با مقدار متوسط چهارضریب $F(\tau)$ که بدین‌ترتیب بدست آمد، برآورد شده است.

در شکل (۳) مقایسهٔ اندازه تجربی $F(\tau)$ ومنحنی تئوری نشان داده شده است.

عمر متوسط تراز تحریک ۸۸۷۲kev اکسیژن شانزده که از مقایسهٔ اندازه تجربی $F(\tau)$ و منحنی تئوری بدست می‌آید، برابر است با :

$$\tau=\left(۱۷۵\ ^{+۱۱۵}_{-\ ۷۵}\right)\text{f.s.}$$

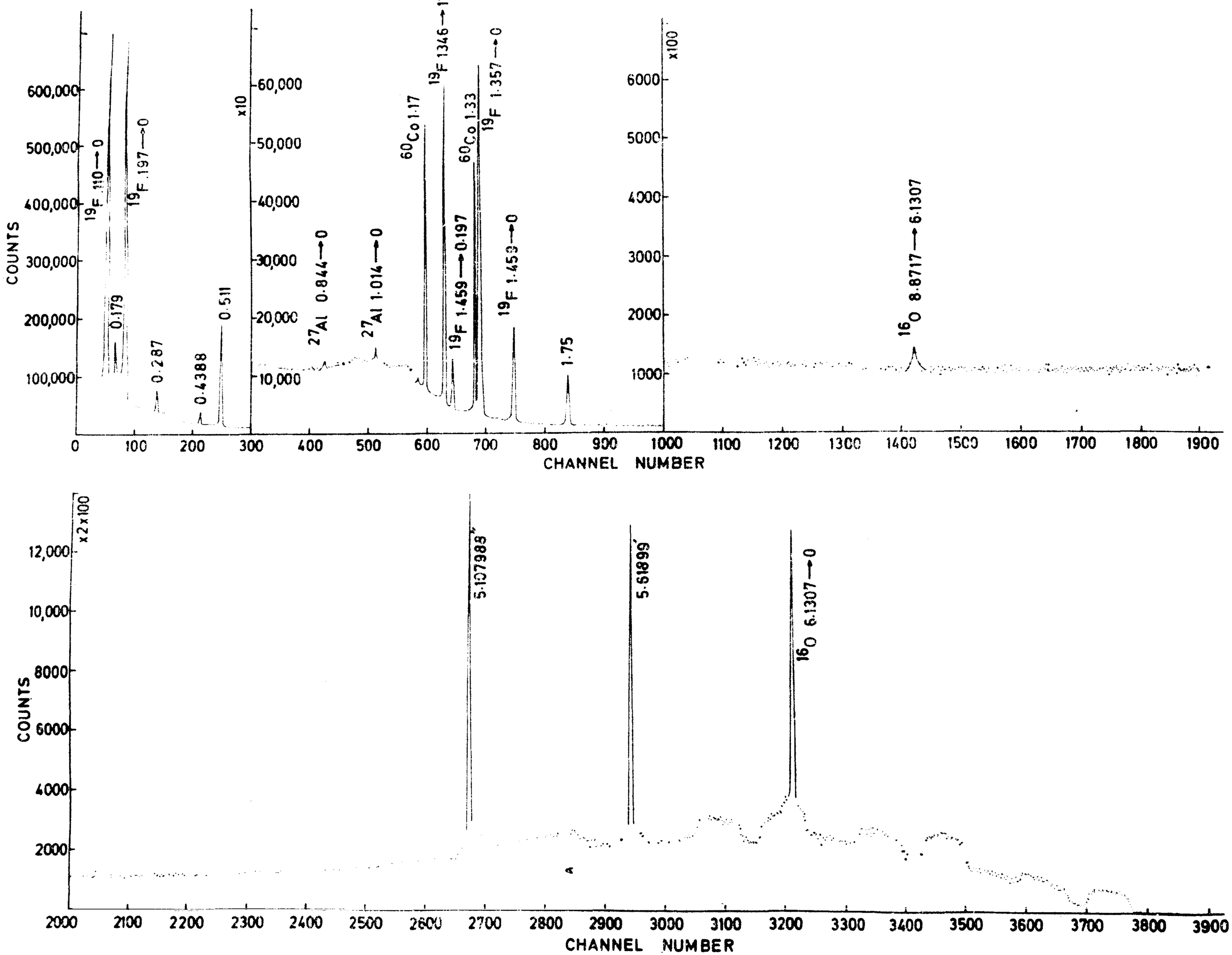
در محاسبهٔ بیراهی مربوط به τ ، خطائی برابر با ۲۵ درصد برروی ضخامت هدف وخطائی برابر با ۲۰ درصد دربرآورد اندازهٔ ke گنجانیده شده است‌عمر متوسطی که توسط پژوهشگران دیگر (۳) براههای مختلف اندازه‌گیری شده است برابرست با :

$$\tau=۱۸۰\pm۱٦\ \text{f.s.}$$

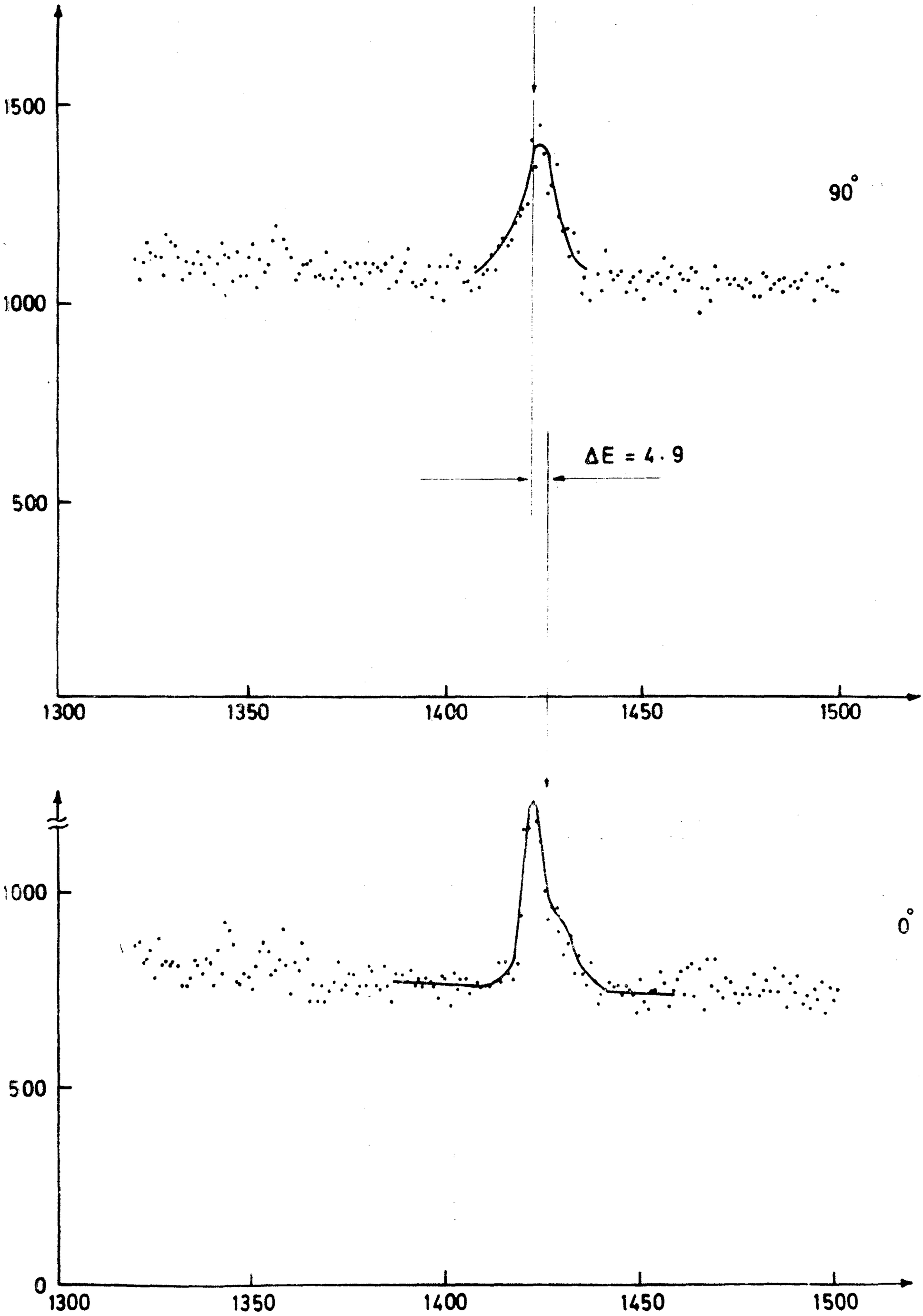
ملاحظه می‌شود که نتایج تجربی حاصل از آزمایشهای ما در حدود خطاهای تجربی، در انطباق کامل با نتایج پژوهشگران دیگر است. این امر نشان میدهد که اندازهٔ ضرایب توقف دهندگی که در محاسبات خود بکارگرفته‌ایم صحیح ، است .

اندازه‌گیری تغییرات ضریب قدرت توقف دهندگی ke فلزات وشبه فلزات مختلف برای یونهای اکسیژن شانزده ،که با انرژی متوسط۲۰۰ kev حرکت می‌کنند، برنامهٔ جالبی است که راه را برای تفسیر تئوری تغییرات نامنظم ضریب ke برحسب عدد اتمی Z عناصرمختلف(٥) می‌گشاید . این ضریب‌را می‌توان با مطالعهٔ شکل پیک‌گامای تابش شده که در اثر تضعیف پدیدهٔ دپلر در مواد مختلف ، شکلهای ویژه‌ای بخود می‌گیرد نیز برآورد نمود. مطالعه حاضر اولین قدم در این راه بود که باموفقیت برداشته شد.

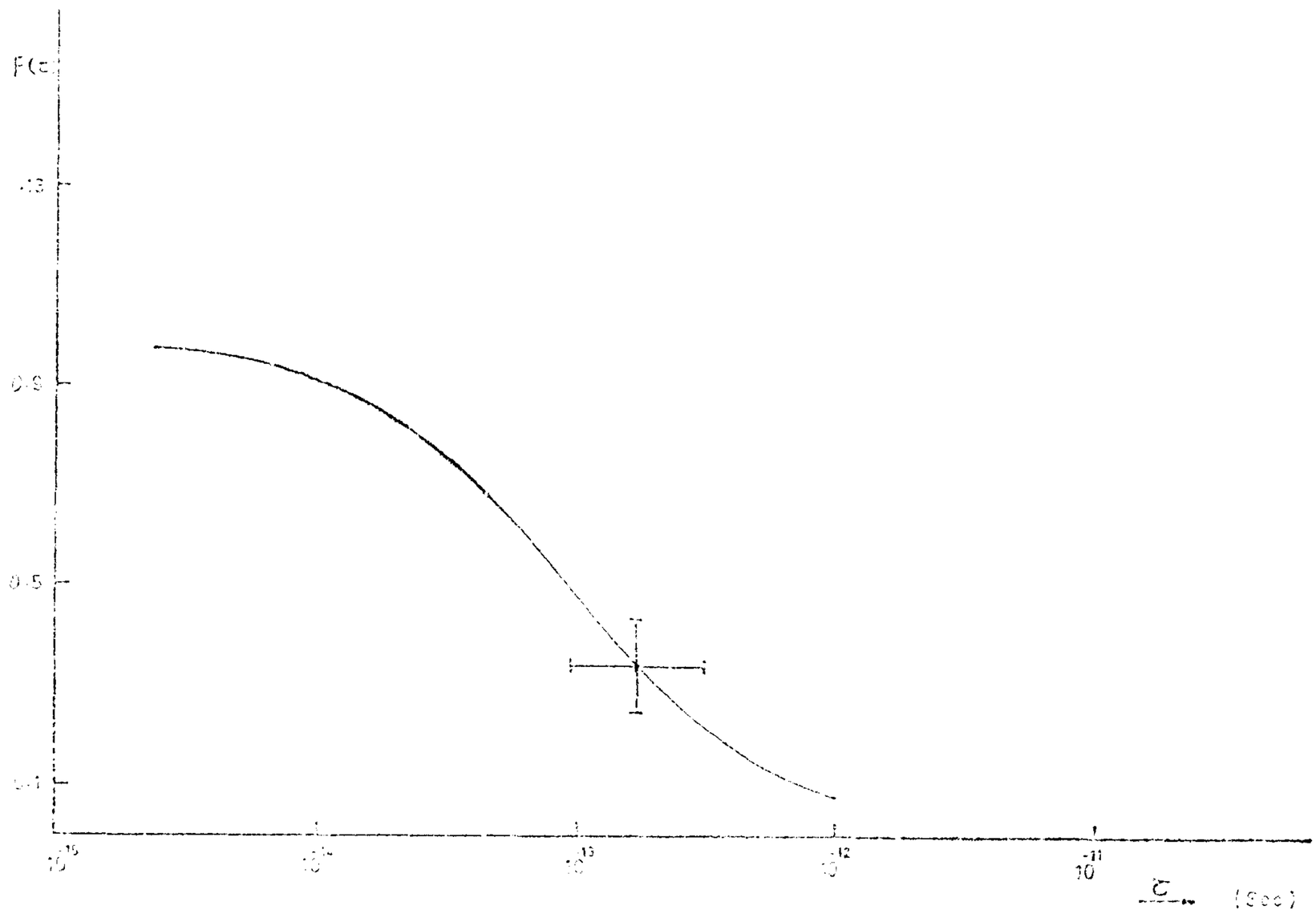
نویسندگان مقالهٔ حاضر صمیمانه سپاسگزار همکاریهای بخش فیزیک‌هسته‌ای و واندوگراف مرکز تحقیقات هسته‌ای وبخصوص از سرپرست این بخشها آقای دکتر سیوشانسی می‌باشند که بی‌دریغ تمامی امکانات لازم را برای انجام موفقیت‌آمیز کارهای پژوهشی در اختیار پژوهشگران گذارده‌اند .



شکل (۱) بیتاب گامل پرتوهای گاما سریع مربوط به‌واکنش $^{19}F(p,\alpha-\gamma)^{16}O$
$E_p = 1/770$ Mev



شکل (۲) جابجائی حاصل ازاثر دپلر مربوط به گامای (Mev) ۲/۷٤۱



شکل (۳) مقایسه اندازه تجربی $F(\tau)$ با منحنی تئوری

References

1- J. LINDHARD, M. SHARFF and H.E. SCHIOTT, Danske Videnskab. Selskab; Mat. - Fys. Medd. 33, n 14 (1963).

2- A.E. BLAUGRUND, Nucl. Phys. 88 (1961) 501.

3- F. AJZENBERG - SELOVE Nucl. Phys. A 190 (1972) 1.

4- L.C. NORTHCLIFFE and R.F. SCHILING, Nuclear Data Tables, A7 (1970) pages 233 - 463 .

5- C. BROUDE, P. ENGELSTEIN, M. POPP and P.N. TANDOM, Phys. Lett. 39B (1972) 185.