

نشریه دانشکده علوم، جلد دهم، شماره ۱، بهار ۱۳۵۷

## بررسی یک رزنانس در واکنش $O^{16}(p, \alpha_0)F^{19}$

دکتر بیژن رستگار

گروه فیزیک، دانشکده علوم - دانشگاه تهران

**مقدمه** - اندازه‌گیری مستقیم انرژی ذرات خروجی دستگاه‌های شتابدهنده به وسایل اندازه‌گیری بسیار دقیقی نیازمند است که تهیه و کاربرد دائمی آنها در آزمایشگاه‌هایی که از شتابدهنده استفاده می‌کنند معمولاً امکان پذیر نبوده و خالی از اشکال نیست. بهمین جهت برای برآورد انرژی ذرات خروجی شتابدهنده در انرژی‌های پائین غالباً از یک روش مقایسه‌ای استفاده می‌شود، بدین ترتیب که ذرات خروجی از یک میدان مغناطیسی عبور داده می‌شوند که در آن مسیری باشعاع انحناء یگانه طی خواهند کرد این مسیر با قرار دادن روزنه‌ها و شکاف‌های مناسب در سر راه ذرات مشخص می‌شود. در این شرایط انرژی ذراتی که این مسیر را طی می‌کنند متناسب با مجذور اندازه میدان مغناطیسی بوده و بنابراین برای تعیین انرژی ذره کافیت میدان مغناطیسی عامل بر ذرات اندازه‌گیری شود. اینکار بکمک اندازه‌گیری رزنانس مغناطیسی هسته انجام می‌گیرد. رابطه‌ای که میان انرژی ذرات خروجی و فرکانس رزنانس مغناطیسی هسته‌ای وجود دارد بصورت زیر است

$$E = k v^2$$

در این رابطه  $v$  و  $E$  بترتیب عبارتند از فرکانس رزنانس مغناطیسی هسته‌ای و انرژی ذرات خروجی شتابدهنده که توانستند مسیر باشعاع انحناء یگانه را در میدان مغناطیسی طی کنند.  $k$  ضریب ثابتی است که به بار الکتریکی و جرم ذره خروجی و شعاع انحناء مسیر ذره در میدان مغناطیسی بستگی دارد. از آنجا که اندازه‌گیری دقیق شعاع انحناء ذره نیز خود خالی از اشکال نیست. معمولاً در هر شرایط هندسی مشخص مسیر ذره، با اندازه‌گیری فرکانسهای مربوط به چند انرژی مشخص ذرات خروجی، اندازه دقیق ثابت  $k$  بطور تجربی تعیین می‌گردد. انرژی‌هایی که برای ذرات خروجی انتخاب می‌شوند معمولاً مربوط به رزنانس‌های مشخص در بعضی از واکنش‌های هسته‌ای و یا مربوط به انرژی آستانه یک یا چند واکنش هسته‌ای می‌باشند. با اندازه‌گیری چندین رزنانس می‌توان ثابت  $k$  را در حدود دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری و شرایط آزمایشگاهی تعیین نمود. عواملی که در درجه اول بر عدم قطعیت اندازه ثابت  $k$  تأثیر دارند عبارتند از

---

کلیه آزمایش‌هایی که در این مقاله ذکر شده‌اند در بخش واندوگراف مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران انجام شده‌اند. نتایج این آزمایش‌ها برای اولین بار در نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران انتشار می‌یابد.

مشخصات هندسی مسیر ذرات (که بکمک ابعاد روزنه‌ها و شکاف‌هایی تعریف می‌شوند که ذرات از آنها عبور می‌کنند) و عدم قطعیت مربوط به انرژی رزونانس واکنش‌ها که بصورت مرجع مقایسه بکار می‌روند. مسلم است که برحسب نوع آزمایش ودقت اندازه‌گیری مورد نظر، شرایط هندسی و واکنش‌های مناسبی انتخاب می‌گردند.

هدف از انجام آزمایش‌هایی که ذیلا مورد بحث قرار می‌گیرند عبارت بود از بررسی رزونانس در واکنش  $^{16}\text{O}(p, \alpha)^{13}\text{C}$  که توسط پژوهشگران مختلف در انرژی تقریبی  $E = 2/78 \text{ MeV}$  گزارش شده است ولی هیچ اندازه‌گیری دقیقی تا کنون در این مورد انجام نگرفته است. (۱)

بررسی این رزونانس به اندازه‌گیری بازده تولید پرتوهای گاما به انرژی  $2/74 \text{ MeV}$  حاصل از انتقال الکترومغناطیسی هسته  $^{16}\text{O}$  از تراز تحریک  $8/872 \text{ MeV}$  به تراز تحریک  $6/131 \text{ MeV}$  نیاز دارد. از آنجا که پهنای رزونانس مورد نظر بسیار کم بوده و بعلاوه بازده تولید  $^{16}\text{O}$  در تراز تحریک  $8/872 \text{ MeV}$  این هسته نسبت به دیگر ترازهای تحریک آن مقدار ناچیزی است در آزمایش می‌بایست هدف‌های بسیار نازک  $^{16}\text{F}$  بکار رود و بدین ترتیب تعیین انرژی دقیق پرتوهای تابنده برای تسهیل اندازه‌گیری بسیار ضروری می‌بود.

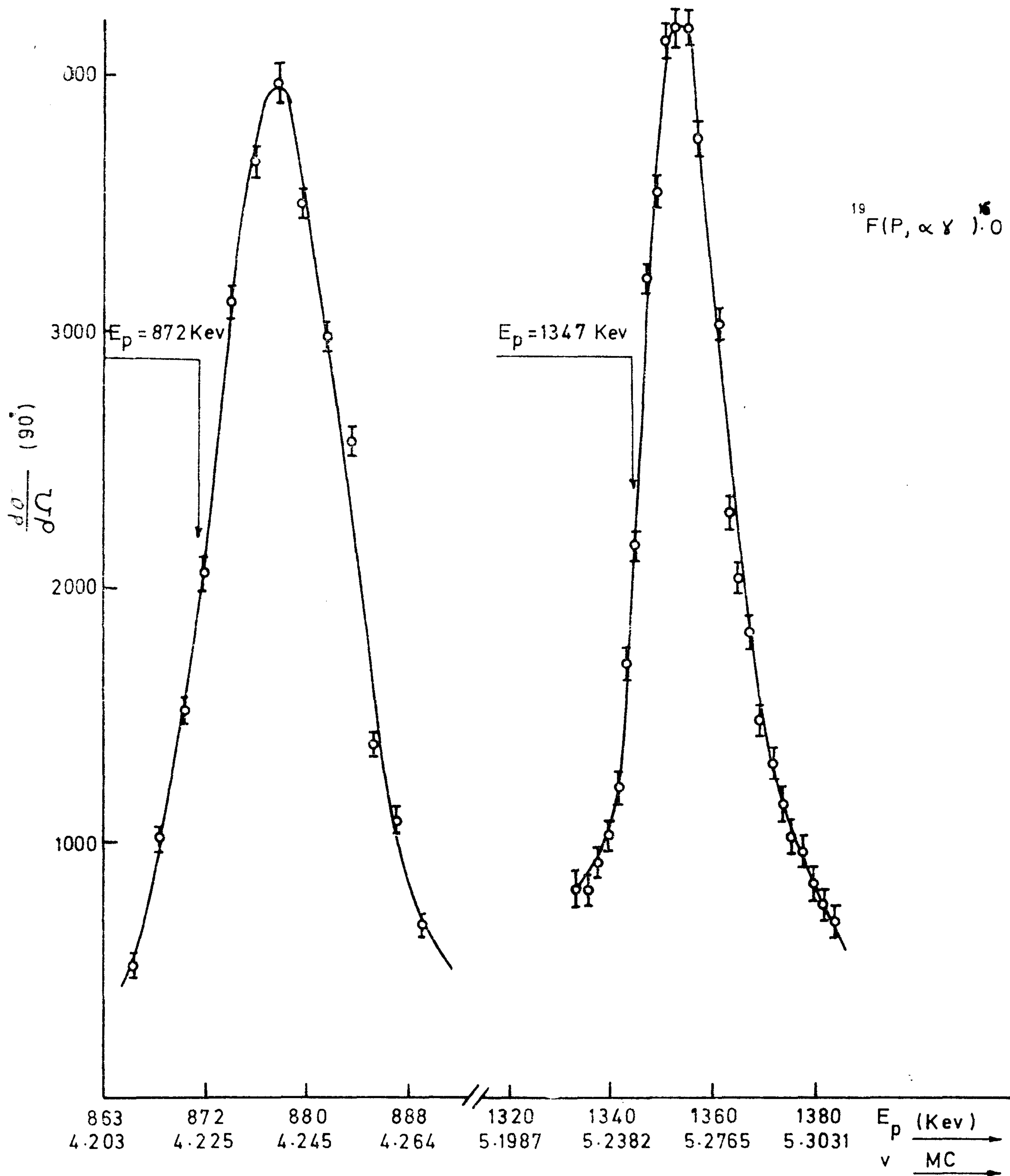
### چگونگی انجام آزمایش

این آزمایش‌ها به کمک دستگاه شتاب‌دهنده و اندوگراف  $3 \text{ MV}$  مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران انجام گرفته است. پرتوهای خروجی از دستگاه شتاب‌دهنده پس از عبور از فضای مابین دو قطب یک آهن‌ربای الکتریکی به اندازه  $10$  درجه از مسیر اولیه خود منحرف می‌گردیدند. یک شکاف به گشودگی یک میلی‌متر در قسمت خروجی دو قطب آهن‌ربا و در فاصله یک و نیم متری از آن برای تعیین شعاع انحنائی مشخص در مسیر ذرات خروجی قرار داده شده بود. برای تعریف محور ذرات خروجی، از مجموعه‌ای شامل دو روزنه در  $\text{Ta}$  هر یک به گشودگی یک میلی‌متر استفاده می‌شد. ذراتی که در این مسیر جاری می‌شدند سرانجام وارد اتاقک آزمایشی می‌گردیدند که محمل آن نسبت به محور ذرات در یک زاویه  $5^\circ$  درجه قرار داشت. این محمل به یک وسیله خنک کننده مجهز بود که از تبخیر هدف در اثر گرمای حاصل از دست دادن انرژی ذرات تابنده در هدف پیشگیری می‌نمود. واکنش‌هایی که به عنوان مرجع مقایسه در اندازه‌گیری ضریب  $k$  بکار رفتند عبارت بودند از واکنش  $^{16}\text{O}(p, \alpha)^{13}\text{C}$  و واکنش  $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$  هدف فلئور تشکیل شده بود از لایه نازکی از  $\text{CaF}_2$  به ضخامت تقریبی  $10$  میکروگرم برسانتی متر مربع که به روش تبخیر برورقه‌ای از  $\text{Ta}$  به ضخامت یکدهم میلی‌متر نشانده شده بود. هدف آلومینیم عبارت بود از لایه نازکی از  $\text{Al}$  به درجه خلوص  $99/999$  درصد و به ضخامت  $5$  میکروگرم برسانتی متر مربع که آنهم از راه تبخیر برورقه‌ای از  $\text{Ta}$  به ضخامت یکدهم میلی‌متر نشانده شده بود.

در واکنش  $^{16}\text{O}(p, \alpha)^{13}\text{C}$  رزونانس‌های مربوط به  $E_p = 782 \text{ keV}$  و  $E_p = 1347 \text{ keV}$  بعنوان مرجع مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. در این واکنش رزونانس‌ها به ترازهای تحریک  $13/673 \text{ MeV}$  ( $J^\pi = 2^-$ ) و  $14/124 \text{ MeV}$  ( $J^\pi = 7^-$ ) در هسته مرکب  $^{13}\text{C}$  تعلق می‌گیرند که بترتیب دارای پهنای رزونانس (در دستگاه مختصات آزمایشگاه)  $4/7 \pm 0/2 \text{ keV}$  و  $4/9 \pm 0/7 \text{ keV}$  میباشند. (۲)

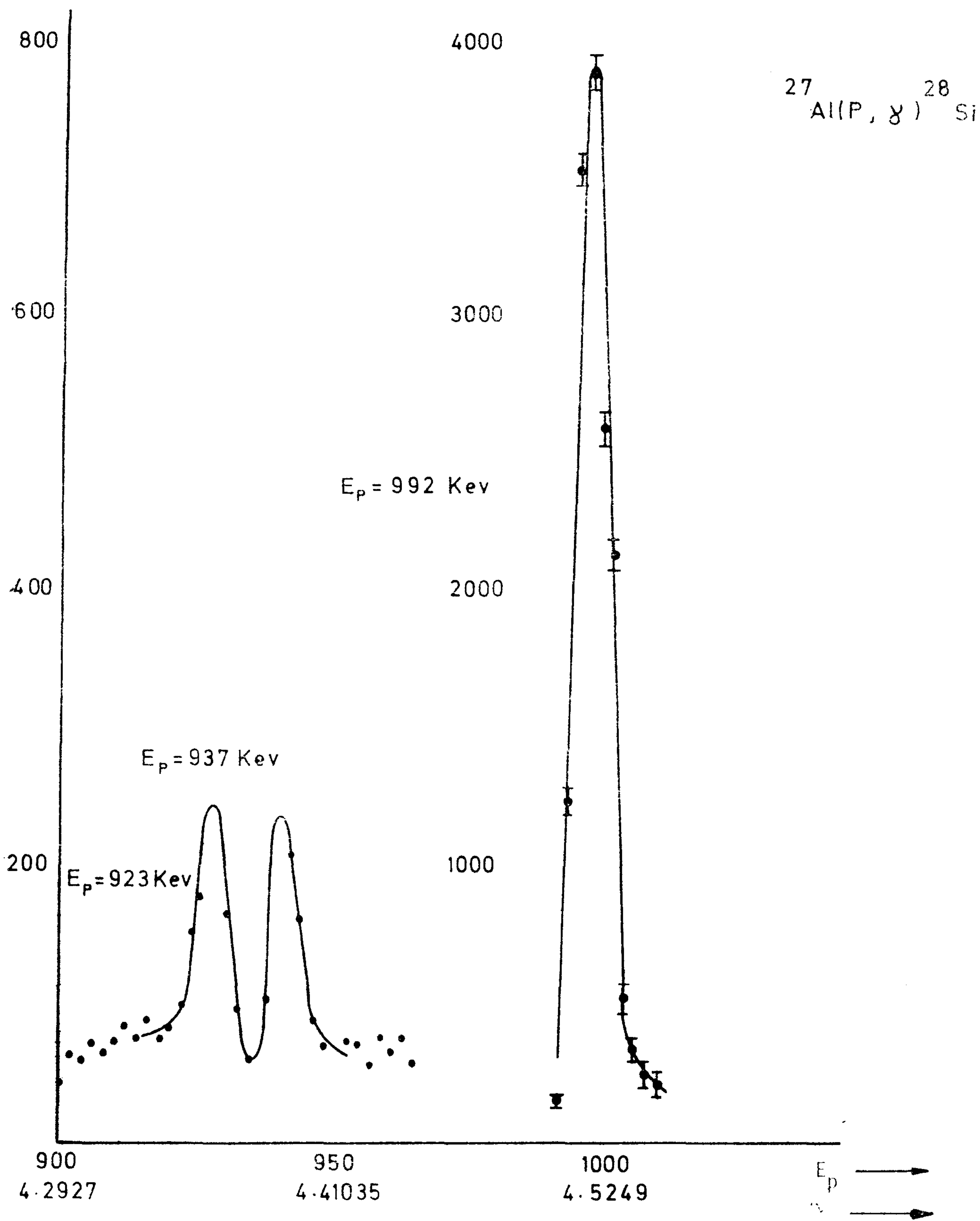
در واکنش  $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$  رزونانس مربوط به انرژی  $E_p = 992 \text{ keV}$  که به تراز تحریک  $12/040 \text{ MeV}$  ( $J^\pi = 3^+$ ) در  $^{28}\text{Si}$  با پهنای رزونانس  $100 \text{ eV}$  تعلق دارد مورد استفاده قرار گرفت. (۳ و ۴).

بازده واکنش‌ها به کمک اندازه‌گیری پرتوهای گاما حاصل از انتقال الکترومغناطیسی هسته‌های  $^{28}\text{Si}$  و  $^{16}\text{O}$  بسوی حالت پایه‌ای بررسی شدند. برای اینکار از یک آشکار ساز نیمه هادی  $\text{Ge-Li}$  که در زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور تابش ذرات قرار داده بودیم استفاده می‌شد. پالسهای حاصل از این آشکار ساز پس از تقویت و عبور از پنجره یک آنالیزر یک کانالی به کمک یک دستگاه شمارنده، شمارش می‌شد. از طرف دیگر بکمک یک دستگاه آنالیزر چندین کانالی، جابجاشدن احتمالی پنجره‌ها، بطور دائم کنترل می‌گردید.

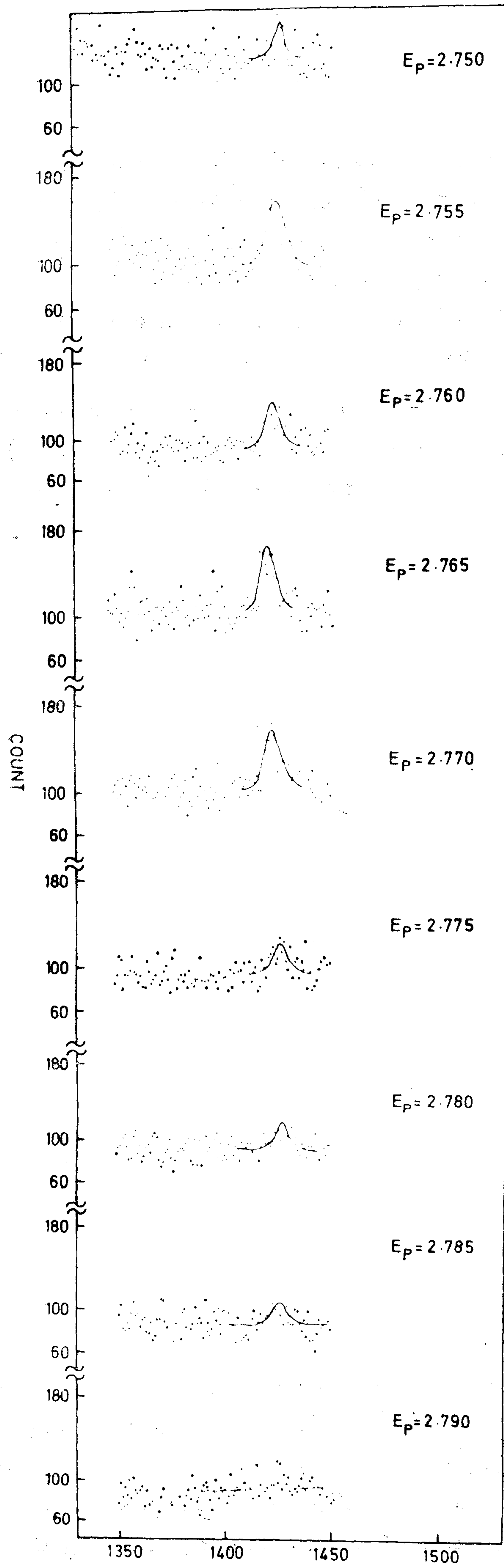


شکل ۱

برای اندازه‌گیری رزنانس‌های واکنش  $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$  پنجره‌ای بر روی پالسهای مربوط به پرتوهای گامای حاصل از بمباران هدف قرار دادیم بطوریکه تماسی پرتوهای گاما به انرژی کمتر از  $4\text{ MeV}$  و همچنین بخش قابل توجهی از زمینه حاصل از پدیده کمپتون در بیناب اندازه‌گیری شده حذف می‌گردیدند. بدین ترتیب پرتوهای گامای حاصله از واکنش  $^{19}\text{F}(p, p')$  و یا واکنشهای مزاحم دیگر در اندازه‌گیری رزنانسهای مربوط به واکنش مورد نظر ما که پرتوهای گاما به انرژی بیش از  $7\text{ MeV}$  تولید می‌کند تأثیری نمی‌توانستند داشته باشند. در شکل (۱) تغییرات مقطع مؤثر واکنش  $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$  در حوالی انرژیهای  $E_p = 872\text{ keV}$  و  $E_p = 923\text{ keV}$  نشان داده شده‌اند.



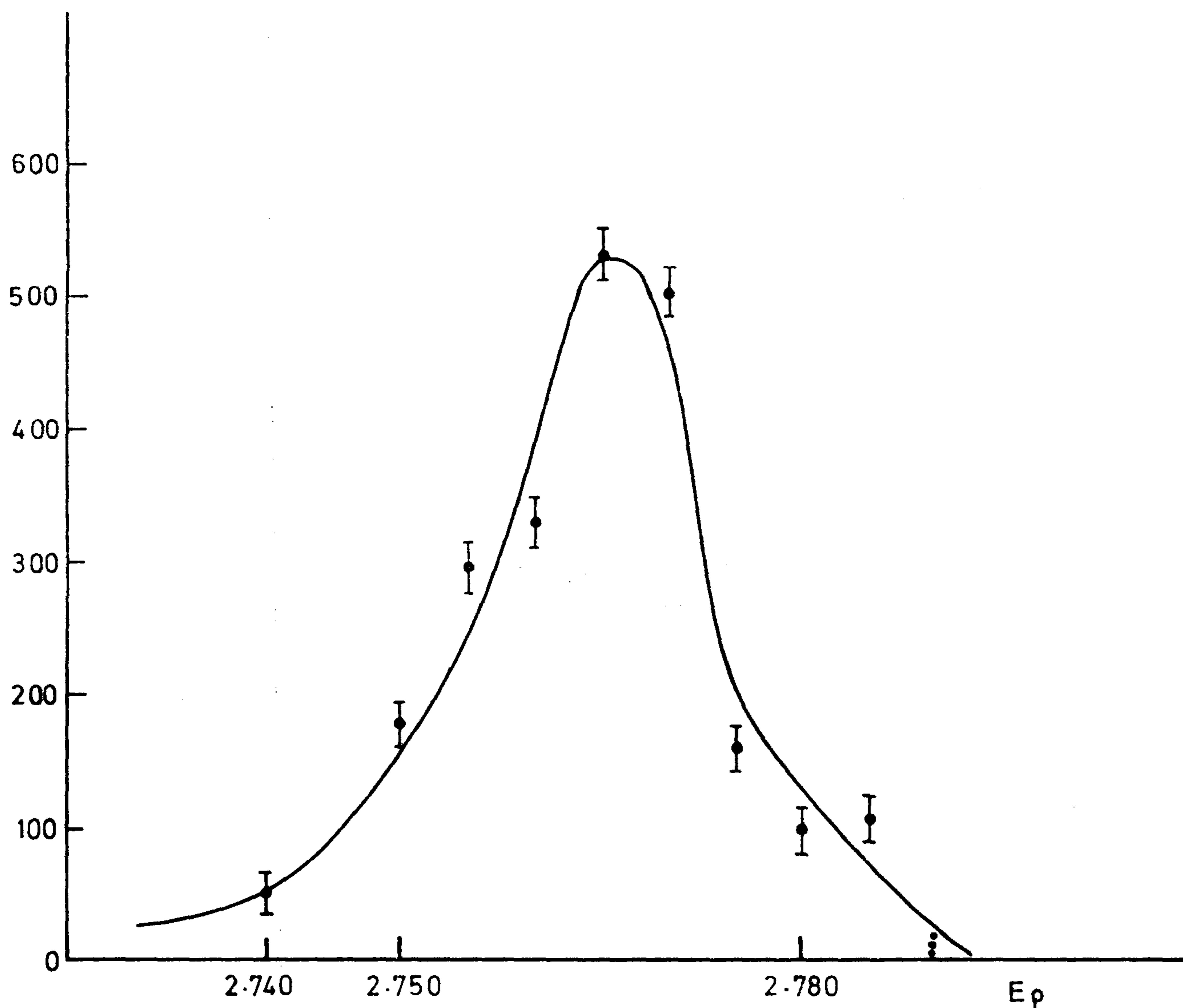
شکل ۲



شکل ۳

در اندازه‌گیری رزنانس واکنش  $^{28}\text{Si}(p-\gamma)^{27}\text{Al}$  با قرار دادن یک پنجره بر روی پالسهائی که از آشکارساز بدست می‌آید، پرتوهای گاما به انرژی کمتر از  $8\text{MeV}$  را حذف کردیم. از آنجا که شدیدترین پرتوهای گامای حاصل از  $^{28}\text{Si}$  در انرژی رزنانس  $E_p = 992\text{keV}$  دارای انرژی بیش از  $8\text{MeV}$  می‌باشند، قرار دادن این پنجره، اندازه‌گیری بازده واکنش را از تأثیر پرتوهای گامای مربوط به واکنشهای  $^{27}\text{Al}(p,p')^{27}\text{Al}$  و  $^{24}\text{Mg}(p,\alpha)^{20}\text{Ne}$  مصون نگاهمیداشت. در شکل (۲) تغییرات مقطع مؤثر واکنش  $^{28}\text{Si}(p-\gamma)^{27}\text{Al}$  در حوالی انرژی رزنانس  $E_p = 992\text{keV}$  مشاهده می‌گردد

**نتایج حاصل و بررسی آنها -** بیناب پرتوگاما مربوط به انتقالهای الکترومغناطیسی در  $^{16}\text{O}$  که بکسک واکنش  $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{F}$  تولید می‌گردد در شکل (۳) مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل دیده میشود خط فتوالکتریک مربوط به پرتوگاما به انرژی  $E = 2/41\text{MeV}$  که اندازه‌گیری آن در این



شکل ۴

آزمایش مورد نظرمان بوده است، در زمینه‌ای از پرتوهای گامای مربوط به پدیده کومپتون حاصل از پرتوهای گاما با انرژی زیاد قرار دارد. از آنجا که این زمینه را نمی‌توان حذف کرد، استفاده از روشی که برای اندازه‌گیریهای قبلی مورد استفاده قرار گرفته بود غیرممکن است. به همین جهت اندازه‌گیری رزنانس مربوط به این پرتوگاما بکمک یک دستگاه آنالیزر چهارهزارکانالی، در هر اندازه‌گیری یک بیناب کامل پرتوهای گاما را ضبط کرده و سپس با استفاده از یک روش تحلیلی برای هر بیناب بطور جداگانه شدت زمینه را در ناحیه مربوط به خط

گامای مورد نظر برآورد نمودیم و بدین ترتیب توانستیم شدت این خط فتوالکتریک را به ازای انرژیهای مختلف ذرات تابنده با دقت محاسبه کرده و از آن چگونگی تغییرات مقطع مؤثر واکنش را نتیجه بگیریم. در شکل (۴) تغییرات مقطع مؤثر واکنش  $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{12}\text{C}$  در حوالی انرژی  $E_p = 2/\sqrt{60} \text{ MeV}$  نشان داده شده است. در این شکل مقادیر انرژی ذرات تابنده که در بالای مقادیر مربوط به اندازه فرکانس رزنانس مغناطیسی هسته ای ملاحظه می گردند، با استفاده از اندازه ضریب  $k = 48/842 \pm 0.02$  محاسبه شده اند که از راه اندازه گیری رزنانس شناخته شده ای که فوقاً مورد بحث قرار گرفتند تعیین گردیده بود انرژی پروتونهای تابنده برای تولید این رزنانس برابر با  $E_p = 2/\sqrt{60} \pm 0.02 \text{ MeV}$  تعیین شده است. این نتیجه در محدوده خطاهای مربوط به اندازه گیری در تطابق کامل با نتایجی است که توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده بود.

#### REFERENCES

- 1 - F.HAAS - Centre de Recherches Nucléaires de Strasbourg.  
23, rue de Loess. 67 - Strasbourg-Cronembourg  
(France) (Private Communication)
- 2 - AJZENBERG-SELOVZ, Nucl.Phys. A 190 ( 1972) page 1.
- 3 - P.M. ENDT and C.VAN DER LEUN, Nucl.Phys. A 214 (1973)  
page 1.
- 4 - J.B.MARION, Reviews of Modern Physics. Vol.38 No.4  
Oct.1966.