

اندازه گیری واکافتگی برداری A_y برهم کنش $\bar{p}(190 \text{ MeV}) + d \rightarrow p + p + n$

مهدی مشرف^{۱*}، علی اکبر مهمان دوست خواجه داد^۱، محمد اسلامی کلانتری^۲

^۱ دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

^۲ دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک

چکیده:

در این مقاله واکافتگی برداری A_y برهم کنش بریک آپ پروتون-دوترون در یک پیکربندی خاص اندازه گیری و گزارش شده است. پروتون های فرودی با انرژی ۱۹۰ مگا الکترون ولت با قطبش های بالا، پایین و بدون قطبش متناوباً بر هدف دوترونی فرود می آیند. آشکارساز BINA قادر به ثبت جهت حرکت و انرژی پروتون هایی است که در زوایای رو به جلو حرکت می کنند. نتایج اولیه داده گاهی و تحلیل داده ها حاکی از توافق خوب برخی نتایج نظری موجود با نتایج تجربی این مقاله است.

کلید واژه:

Analyzing power- Proton deuteron breakup reaction-BINA - واکافتگی برداری

مقدمه:

برهم کنش بریک آپ پروتون-دوترون به دلیل وجود سه ذره در سمت راست برهم کنش، به نیروهای سه-جسمی هسته ای حساس است. هنگامی که پروتون های فرودی دارای قطبش معینی باشند، مطالعه مشاهده پذیرهای وابسته به اسپین پرتابه، واکافتگی ها (Analyzing powers)، از اهمیت شایانی برخوردار است [۴-۱]. به دلیل وجود سه ذره در سمت راست، سینماتیک برهم کنش بسیار پیچیده می شود. از طرف دیگر آشکارسازی نوترون کاری دشوار و پرهزینه است.

در یک آزمایش پراکندگی ساده که توسط پرتو فرودی و هدف غیر قطبیده انجام می شود، سطح مقطع به زاویه ی قطبی، θ ، و انرژی پرتوی فرودی بستگی دارد. اگر پرتو فرودی قطبیده باشد، سطح مقطع علاوه بر زاویه ی قطبی، θ ، به زاویه ی سمتی، φ ، نیز بستگی دارد. عبارتی کلی برای سطح مقطع واکنش با پرتابه ی با اسپین $\frac{1}{2}$ بصورت زیر است [۵]:

$$I(\xi) = I_0(\xi)[1 + P_x A_x(\xi) + P_y A_y(\xi) + P_z A_z(\xi)] \quad (1)$$

که P_x و P_y و P_z مؤلفه‌های دکارتی قطبش پرتوی فرودی، A_x ، A_y و A_z توابع واکافتگی برداری و ξ نشان‌دهنده‌ی هر مجموعه مناسب از متغیرهای سینماتیکی می‌باشد. معمولاً قطبش پرتوی فرودی را نسبت به محور کوانتش آن با P_z نمایش می‌دهند. بنابراین مؤلفه‌های دکارتی قطبش پرتوی فرودی بصورت زیر قابل بیان است:

$$\begin{aligned} P_x &= -\sin \beta \sin \varphi P_z \\ P_y &= \sin \beta \cos \varphi P_z \\ P_z &= \cos \beta P_z \end{aligned} \quad (2)$$

بنابراین رابطه (۱) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$I(\xi) = I_0(\xi) [1 - \sin \beta \sin \varphi P_z A_x(\xi) + \sin \beta \cos \varphi P_z A_y(\xi) + \cos \beta P_z A_z(\xi)] \quad (3)$$

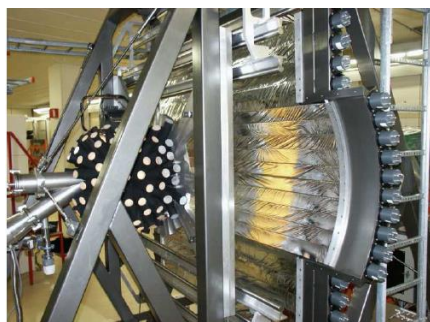
φ زاویه‌ی بین تصویر محور کوانتش اسپین روی صفحه‌ی xy و محور y و β نشان‌دهنده‌ی زاویه‌ی بین محور کوانتش اسپین و امتداد حرکت پرتابه است. در آزمایش مورد نظر این تحقیق، $\beta = 90^\circ$ است. بنابراین رابطه (۳) به صورت زیر تقلیل می‌یابد:

$$I(\xi) = I_0(\xi) [1 - \sin \varphi P_z A_x(\xi) + \cos \varphi P_z A_y(\xi)] \quad (4)$$

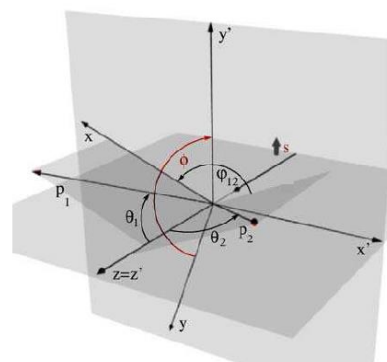
در برهم کنش هسته‌ای پرتابه‌ای با اسپین $\frac{1}{2}$ با هدفی غیر پلاریزه، شروط تقارنی زیر برقرار است [۶]:

$$\begin{aligned} A_x(\xi) &= -A_x(-\xi) \\ A_y(\xi) &= A_y(-\xi) \end{aligned} \quad (5)$$

شکل (۱) دو ذره پراکنده شده در واکنش بریک‌آپ را در یک سیستم راست‌گرد نشان می‌دهد. محور Z در جهت پرتو فرودی است. انرژی ذرات، E_1 و E_2 و زوایای قطبی پراکندگی آنها θ_1 و θ_2 و زاویه‌ی سمتی نسبی بین دو ذره $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_{12}$ است. برای یک سیستم سه ذره‌ای (۲) پروتون p_1 و p_2 و یک نوترون (n)، در حالت کلی ۹ پارامتر مجهول وجود دارد. با توجه به روابط پایستگی تکانه و انرژی، چهار پارامتر معلوم می‌شوند. بنابراین چنانچه پنج متغیر از آن نه متغیر، در حین آزمایش اندازه‌گیری شوند با استفاده از قوانین پایستگی فوق‌الذکر می‌توان چهار متغیر دیگر را بدون هیچ ابهامی تعیین کرد. معمولاً چهار متغیر از این پنج متغیر را به صورت $(\theta_1, \theta_2, \varphi_1, \varphi_2)$ انتخاب می‌کنند و پنجمین متغیر را همبستگی انرژی بین دو پروتون خروجی، S ، در نظر می‌گیرند که توسط یک منحنی سینماتیکی بنام منحنی S نمایش داده می‌شوند.



شکل ۲: تصویری از آشکارساز BINA



شکل ۱: مختصات دو ذره پراکنده شده به جلو در واکنش بریک‌آپ

روش محاسبه واکافتگی برداری:

با استفاده از شروط تقارنی (۵) می توان پیکربندی هایی را انتخاب و تحلیل داده را به گونه ای انجام داد که اثر A_x خستی و بنابراین رابطه (۴) به صورت زیر ساده شود.

$$I(\xi) = I_0(\xi) [1 + \cos \varphi P_2 A_y] \quad (6)$$

اکنون برای اندازه گیری A_y از دو باریکه فرودی با قطبش های بالا (\uparrow) و پایین (\downarrow) استفاده می کنیم. رابطه (۶) برای دو حالت اسپینی باریکه فرودی، به صورت جداگانه بازنویسی شده است.

$$I^{\uparrow}(\xi) = I_0(\xi) [1 + \cos \varphi P_z^{\uparrow} A_y(\xi)] \quad (7)$$

$$I^{\downarrow}(\xi) = I_0(\xi) [1 + \cos \varphi P_z^{\downarrow} A_y(\xi)]$$

از حذف $I_0(\xi)$ در روابط فوق، با کمی عملیات جبری، به رابطه زیر می رسیم.

$$A_y \cos \varphi = \frac{I^{\downarrow}(\xi) - I^{\uparrow}(\xi)}{I^{\uparrow}(\xi) P_z^{\downarrow} - I^{\downarrow}(\xi) P_z^{\uparrow}} \quad (8)$$

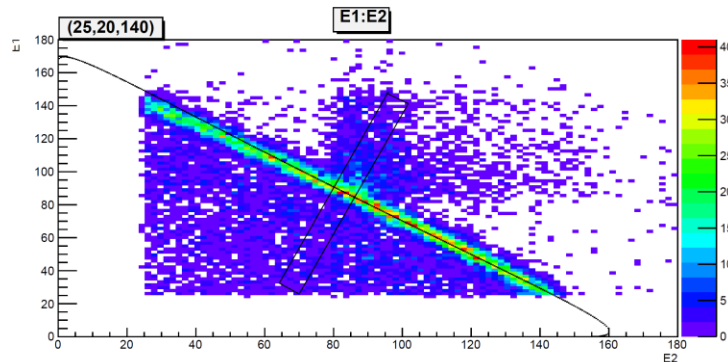
در این رابطه φ زاویه سمتی یکی از پروتون هاست.

چیدمان آزمایش:

نتایج ارائه شده در این مقاله حاصل آزمایش پراکندگی بریک‌آپ پروتون- دوترون در مؤسسه شتاب دهنده‌ی دانشگاه خرونینگن هلند (KVI) است. پروتون های فرودی با انرژی ۱۹۰ مگا الکترون ولت با قطبش های بالا، پایین و بدون قطبش متناوباً بر هدف دوترونی مایع فرود می آیند. آشکارساز^۱ BINA قادر به ثبت جهت حرکت

^۱ Big Instrument for Nuclear-polarization Analysis

و انرژی پروتون‌هایی است که در زوایای رو به جلو حرکت می‌کنند. BINA از دو قسمت اصلی دیواره‌های جلویی و کره عقبی تشکیل شده است. تصویری گویا از BINA در شکل (۲) نشان داده شده است. دیواره جلویی متشکل از دو آرایه سوسوزن پلاستیکی و یک عدد MWPC، قادر به اندازه‌گیری موقعیت مکانی و تشخیص نوع ذره در زوایای پراکندگی قطبی بین ۱۰ تا ۳۵ درجه (و سمتی ۳۶۰ درجه‌ای) و همچنین انرژی ذره است. کره عقبی که تارگت در مرکز آن قرار دارد، متشکل از ۱۴۹ سوسوزن پلاستیکی و تقریباً یک کره کامل است. MWPC جهت اندازه‌گیری مختصات مکانی ذرات باردار خروجی بکار می‌رود. ترکیب سوسوزن-های پلاستیکی نازک و ضخیم جهت تشخیص نوع ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷].

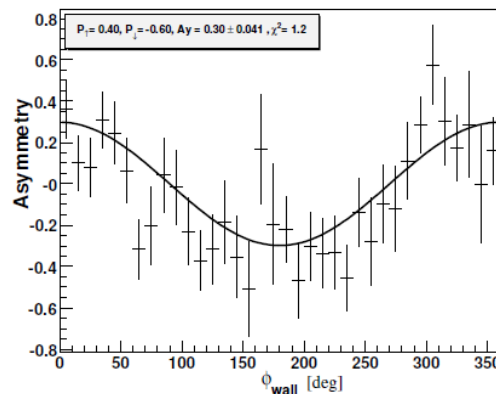


شکل ۳: انرژی دو پروتون پراکنده شده، برحسب یکدیگر رسم شده است. داده‌های متمرکز بیانگر رویدادهای بریک آپ مورد نظر است که همخوانی خوبی با سینماتیک برهم‌کنش (خط تیره) دارد. مستطیل تیره بیانگر یک برش عمود بر منحنی S است.

داده‌کاهی:

به دلیل حجم بالای اطلاعات ثبت شده در خلال آزمایش، برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار Root استفاده شده است. ابتدا اطلاعات QDC آشکارسازهای پلاستیکی دیواره جلویی کالیبره شده و انرژی پروتون‌های خروجی استخراج می‌گردد. به این منظور از شبیه ساز GEANT4 استفاده شده است. به منظور حذف رویدادهای ناخواسته، از شرط زمانی بین مقدار TDC هر کدام از آشکارسازهای پلاستیکی دیواره جلویی نیز استفاده شده است. شکل (۳) انرژی (کالیبره شده) دو پروتون ثبت شده در دیواره جلویی را برحسب یکدیگر نشان می‌دهد. در رسم این شکل از پیکربندی (۱۴۰°, ۲۰°, ۲۵°) استفاده شده است. به این معنی که شرط کرده ایم یکی از دو پروتون در زاویه ۲۰ درجه و دیگری در زاویه ۲۵ درجه پراکنده شده باشد. همچنین زاویه سمتی اولین پروتون بین صفر تا ده درجه و زاویه سمتی دومین پروتون نسبت به اولین پروتون، بین ۱۴۰ الی ۱۵۰ درجه فرض شده است. با انتخاب برش‌های مناسبی عمود بر منحنی S، می‌توان طی انجام برازش، نسبت قله به زمینه را پیدا و تعداد رویدادهای مورد نظر در هر برش (در هر زاویه سمتی خاص) را محاسبه کرد. این عمل

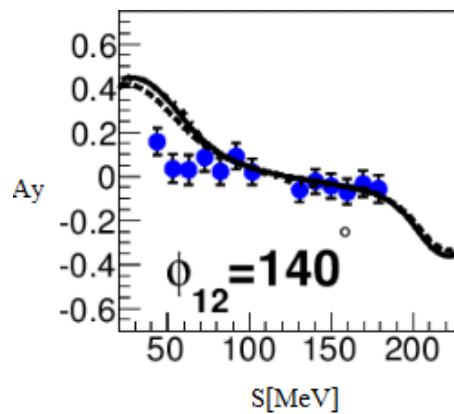
برای حالت های اسپینی متفاوت، جداگانه انجام می شود. سپس سمت راست رابطه (۸) محاسبه می شود. زاویه سمتی پروتونها را ده درجه افزایش داده و عملیات فوق را تکرار می کنیم. نتایج در شکل (۴) رسم شده است. با برآزش یک تابع کسینوسی به داده های این شکل، مقدار A_y برای این برش خاص از منحنی S پیدا می شود. در ادامه برش اختیاری روی منحنی S را جابجا کرده و کلیه مراحل فوق را تکرار می کنیم. داده های اولیه تجربی برای پیکربندی ($25^\circ, 20^\circ, 140^\circ$) در شکل (۵) رسم شده است [۸].



شکل ۴: عدم تقارن در واکنش بریک‌آپ.

نتیجه گیری:

داده های اولیه تجربی برای پیکربندی ($25^\circ, 20^\circ, 140^\circ$) در شکل (۵) رسم شده است. داده های تجربی به همراه خطای آماری در این شکل رسم شده است. خط تیره بیانگر محاسبات نظری گروه بن آلمان بر مبنای پتانسیل نوکلئون-نوکلئون CD-BONN و خط چین همان نتایج بعلاوه اثرات سه جسمی دلتای ایزوبار Δ CD-BONN را نشان می دهد. محاسبات نظری در محدوده بزرگی از منحنی S همخوانی خوبی با نتایج اولیه تجربی دارند. متأسفانه دقت پایین داده های تجربی و کوچکی اثر نیروی سه جسمی در این پیکربندی خاص، مانع از تصمیم گیری دقیق در خصوص میزان اهمیت نیروی سه جسمی در مشاهده پذیر A_y و در پیکربندی فوق الذکر است.



شکل ۵: نتایج اولیه واکافتگی برداری A_y بر حسب S برای پیکربندی $(25^\circ, 20^\circ, 140^\circ)$ رسم شده است.

تقدیر و تشکر:

در پایان لازم می دانیم از کلیه همکاران در مؤسسه شتاب دهنده‌ی دانشگاه خرونینگن هلند به ویژه پروفیسور دکتر ناصر کلانتر نیستانی، دکتر یوهان مسخندورپ و دکتر حسین مردان پور تشکر کنیم. از همکاران نظری گروه بن به واسطه محاسبات نظری صمیمانه متشکریم.

مراجع:

- [۱] K. Ermisch et al., Phys. Rev. C ۷۱, ۰۶۴۰۰۴ (۲۰۰۵)
- [۲] H. Mardanpour et al., Phys. Lett. B (۲۰۱۰)
- [۳] S. Kistryn et al., Phys. Lett. B ۶۴۱, ۲۳ (۲۰۰۶)
- [۴] A. Biegun et al., Acta Phys. Pol. B۳۷۱, ۲۱۳ (۲۰۰۶)
- [۵] G.G. Ohlsen, Rep. Prog. Phys. ۳۵, ۷۱۷ (۱۹۷۲)
- [۶] G.G. Ohlsen, R.E. Brown, F.D. Correll, and R.A. Hardekopf, Nucl. Inst. Meth. ۱۷۹, ۲۸۳ (۱۹۸۱)
- [۷] H.Mardanpour-Mollalar, Ph.D. thesis, KVI, University of Groningen, ۲۰۰۸
- [۸] مشرف، مهدی، واکافتگی های برداری برهم کنش $\bar{p}(190 \text{ MeV}) + d \rightarrow p + p + n$ توسط بینا در انرژی فرودی ۱۹۰ مگا الکترون ولت پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱.