

MERANIE ABSORPČNÉHO ÚČINNÉHO PRIEREZU RÝCHLYCH DEUTERÓNŮV V JADROVEJ EMULZII

SOŇA KOŽUCHOVÁ,* JOZEF TUČEK,** Košice

Cieľom našej práce bolo určenie strednej voľnej dráhy a tým aj absorpčného účinného prierezu interakcií deuterónov s impulzom 2,45 GeV/c s atómovými jadrami v jadrovej emulzii. Naša pozornosť sa sústreďila na stanovenie relatívneho znečistenia primárneho zväzku deuterónov, ktoré tvorilo 2,5–13 % celkovej intenzity zväzku od stredu zväzku k okrajom. Zistili sme, že častice, ktoré tvoria prímese sú π^+ -mezóny a protóny, zhruba rovnako zastúpené. Po opravách a bez interakcií (0 + 0) a (0 + 1) pre uhly sekundárnej dráhy menšie ako 2,5°, sme dostali pre strednú voľnú dráhu $\langle l_d \rangle = 21,5 \pm 2,2$ cm.

I. ÚVOD

Totálny účinný prierez pre interakciu rýchlej nabitkej častice s atómovými jadrami vo fotografickej emulzii určujeme zmeraním strednej voľnej dráhy častice pre daný typ interakcie. Základnou informáciou, z ktorej vychádzame, je teda počet interakcií, ktoré nájdeme prehladaním emulzií pozdĺž dráh častice primárneho zväzku pri súčasnom meraní celkovej dĺžky prehladnutej pri-
 že interakcie niektorého typu neregistrujeme a ďalej tým, že primárny zväzok obsahuje prímese častíc s iným účinným prierezom. Orientácie meranie ukáza-
 lo, že sť upeň znečistenia nášho zväzku častíc je pomerne vysoký, a preto sme sa zamerali na jeho určenie pomocou ionizačných meraní. Ďalej sme sa mera-
 ním parametra dráhy, obdobeňého počtu δ -elektrónov, pokúsili aspoň orien-
 tačne určiť, akého charakteru sú častice tvoriace prímese.

II. OPIS EXPERIMENTU

Meranie sme robili v bloku emulzií typu NIKFI BR-2 o rozmeroch $10 \times 20 \times 5$ cm³, hrúbka jednej emulznej vrstvy pred vyvolaním je 450 μ .

* Ústav experimentálnej fyziky SAV, KOŠICE, Moyzasova 11.

** Katedra teoretickej fyziky a geofyziky Prírodovedeckej fakulty UPJŠ, KOŠICE, Komenského 14.

Emulzie sme ožiarili na synchrotróne LVE SČJY v Dubne zväzkom deuterónov s impulzom $p_d = 2,45 \text{ GeV}/c$ v smere dlhšej hrany emulzie. Za $2,5 \times 10^4$ častie na cm^2 , pološírka zväzku $\sim 6 \text{ mm}$, čo súhlasí s údajmi asi gistračnej aparatúry sepearátora. Kolmo na zväzok deuterónov sme emulzie ožiarili ešte π^- -mezónmi s impulzom $3,65 \text{ GeV}/c$. Javy sme vyhladávali po stope primárnych dráh na mikroskope MEOPFA so zväšením 10×55 . Uhly medzi primárnymi a sekundárnymi dráhami sme merali goniometrom rozptylu sme merali na mikroskope Zeiss KSM-2 so zväšením $12,5 \times 50$, trónov sme merali metódou opísanou v [1] na mikroskope KSM-2 na dĺžke dráhy $0,5 \text{ cm}$. Ionizáciu sme merali na mikroskope KSM-2 na dĺžke 9×100 . Keďže hustota zrn na 100μ nepresahovala hodnotu 50 , ionizáciu sme merali počítaním medzier medzi zrnami Ag tvoriacimi stopu častice, ktoré prešli vláknovým krížom okulára pri posuve dosky. Minimálna dĺžka merania na jednej dráhe bola $0,5 \text{ cm}$. Štatistická chyba nepresahovala 2% , t. j. menej ako ± 1 zrn. Vzhľadom na možnú deformáciu emulzie a zmeny v ionizácii, nemerali sme v oblastiach, vzdialených menej než 5μ od skla a 10μ od povrchu emulzie.

III. VÝSLEDKY MERANÍ

Z údajov, dosiahnutých spočítaním primárnych dráh v jednotlivých emulziách vrstiev sa dá usúdiť, že zväzok deuterónov je osovo symetrický. Hustota ožiarenia v emulznej vrstve, ktorá prechádza stredom zväzku, má zhruba charakter Gaussovho rozloženia (obr. 1) s pološírkou 6 mm a maximálnym tokom $2,5 \times 10^4$ častie na cm^2 .

Ak vyjdeme z predpokladu, že všetky častice primárneho zväzku majú rovnaký impulz, potom známy rozdiel v rýchlostiach deuterónov a iných ionizačných meraní. Toto meranie sme robili na dvoch doskách. Jedna bola v oblasti stredu zväzku a druhá vo vzdialenejšej oblasti. V prvej doske sme ionizáciu merali na 263 dráhach, celková dĺžka $131,5 \text{ cm}$ a v druhej na 200 dráhach, dĺžky 100 cm . Merané dráhy spĺňali kritéria:

- a) minimálna dĺžka v meranej oblasti $0,5 \text{ cm}$,
 - b) maximálna odchýlka od osi zväzku nepresahovala 3° .
- Relatívny počet dráh, zmeraných v jednotlivých vzdialenostiach od osi zväzku, bol vyšší v oblastiach s menším počtom dráh.

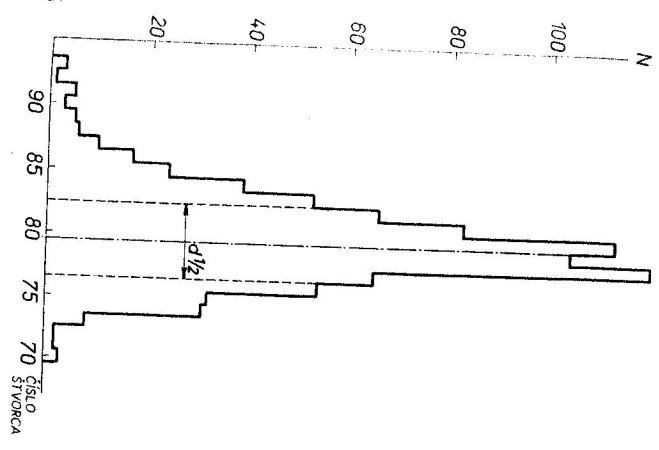
Výsledky ionizačných meraní sú uvedené na obr. 2 a 3. Na obr. 2, 3 sú vo forme histogramu vynesené súhrnne všetky ionizačné merania (vyčárkova-

vaná oblasť) a ďalej po prepočte na relatívnu početnosť meraných dráh v jednotlivých oblastiach zväzku. Vidíme, že zväzok obsahuje častice čo do ionizácie krivkami so strednými hodnotami $I_1 = 28$ a $I_2 = 35$ zrn na 100μ a so stredných predpokladov sme mohli určiť deliacu hranicu medzi prímiesami a primárnymi deuterónmi. V tejto hodnote majú obe rozloženia rovnakú hodnotu a je to súčasne minimum teoretickej krivky:

$$I_0 = \frac{I_1 + I_2}{2} + \frac{\sigma^2}{I_2 - I_1} \ln K, \quad (1)$$

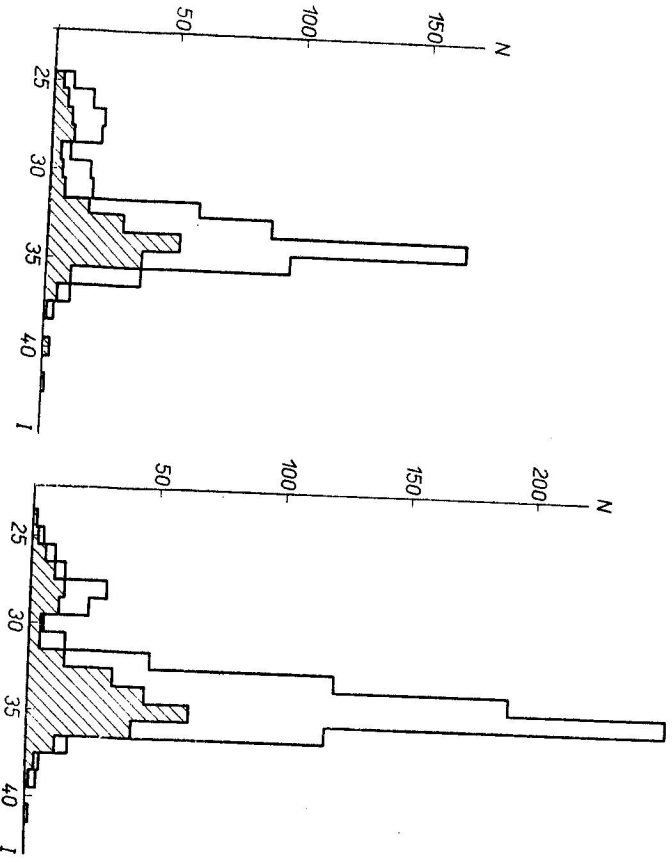
kde K je pomer relatívnych plôch oboch Gaussových rozložení, ocenený podľa výšky maxim oboch experimentálnych kriviek. S prihliadnutím na túto opravu sme volili $I_0 \approx 31$ zrn na 100μ a teda všetky dráhy, ktorých ionizácia bola menšia ako 31 zrn na 100μ , sme brali ako prímies. Informáciu o charaktere dráh tvoriacich prímies nám poskytuje tab. 1.

Dráha 1 patrí deuterónu primárneho zväzku, dráha 2 π^- -mezónu s impulzom $3,65 \text{ GeV}/c$ a teda s rýchlosťou $\beta \approx 1$. Dráhy 3–8 patria nami identifikovaným prímiesam a meranie početností δ -elektrónov naznačuje, že ide o π^+ -mezóny,



Obr. 1. Histogram hustoty primárneho zväzku častice.

ako aj o protóny. Dráhy 9 a 10 sme merali na rovnakej stope pred a po rozpúšťadle na uhľu 22,5 m rad. Merania svedčia o tom, že ide o prípad tzv. strippingu deuteronu a že po rozpúšťadle pokračuje časť v lete ako protón s rovnakou rýchlosťou ako pôvodný deutérón, ale zhruba polovičným impulzom.



Obr. 2. Histogram ionizácie primárnych dráh na doske z konca prehladanej oblasti; □ — pre všetky dráhy, ■ — pre dráhy merané nami.

Obr. 3. Histogram ionizácie primárnych dráh na doske zo stredu zväzku; □ — pre všetky dráhy, ■ — pre dráhy merané nami.

V tab. 2 sú vynesené relatívne znečistenia primárneho zväzku v doske, ktorá je blízka osi zväzku. Vidíme, že znečistenie je hlavne v miestach maximálnej intenzity zväzku, t. j. v okolí jeho osi a smerom k okrajom percento Tieto merania sme robili ešte na doske vzdialenej od osi zväzku a potvrdili náš predpoklad o osovej symetrii zväzku čo do intenzity, ako aj čo do znečistenia prímiesami. Stupeň znečistenia sme mohli interpolovať aj na doskách, na ktorých sme meranie ionizácie nerobili.

Ak poznáme v danej oblasti emulzie relatívnu početnosť deuteronov v primárnom zväzku p_d a taktiež strednú voľnú dráhu častice prímiesi $\langle x_1 \rangle$, potom

zo zmeranej strednej voľnej dráhy častice vo zväzku $\langle x_2 \rangle$ môžeme vypočítať strednú voľnú dráhu deuteronu podľa vzorca

$$\langle x_d \rangle = \frac{(1 - p_d)\langle x_1 \rangle \langle x_2 \rangle}{\langle x_1 \rangle - p_d \langle x_2 \rangle} \quad (2)$$

Hodnota $\langle x_d \rangle$ je ale určená s chybou, ktorá má štatistický charakter a je

Tabuľka 1

Dráha	Ionizácia ($N \times 100 \mu^{-1}$)	$N(\delta)$	$\langle D_s \rangle \times 10^3 \mu$
1	36	25	47 ± 5
2	26	10	26 ± 3
3	28	18	36 ± 5
4	28	22	35 ± 6
5	28	17	66 ± 12
6	27	16	37 ± 7
7	26	10	40 ± 7
8	27	10	48 ± 7
9	25	15	36 ± 7
10	35	17	58 ± 7

Tabuľka 2

x [mm]	2	4	6	8	10	12	celá oblasť
Prímies [%]	3,3	4,4	4,8	5,1	6,1	7,2	10,2

Tabuľka 3

Číslo dosky	p_d	$\langle \omega_2 \rangle$ [cm]	$\langle x_d \rangle$ [cm]
121-56	0,173	25,6	24,4
121-57	0,044	21,3	20,9
121-58	0,088	24,2	23,5
121-59	0,088	21,6	21,5
121-60	0,088	22,5	21,8
121-61	0,088	22,6	21,8
121-62	0,033	20,7	20,4
121-66	0,033	20,5	20,2
121-68	0,044	21,8	21,4

spôsobená tým, že veľičiny p_d a $\langle x_2 \rangle$ sú zatiahnuté chybami meraní. Ak použijeme metódy maxima vierohodnosti a vzorce pre chybu funkcie náhodných premenných „propagation of errors“ [2], dostaneme

$$\langle l_a \rangle = \frac{\langle x_1 \rangle \langle x_2 \rangle}{(\langle x_1 \rangle - p_d \langle x_2 \rangle)^2} \left[\frac{1}{1 - p_d} \left[\frac{\langle x_1^2 \rangle (1 - p_d)}{n} + \frac{(\langle x_2 \rangle - \langle x_1 \rangle)^2}{N} p_d \right]^{1/2} \right], \quad (3)$$

kde n je počet pozorovaných interakcií a N je celkový počet dráh primárneho zväzku v uvažovanej oblasti.

Ak vezmeme hodnoty $\langle x_1 \rangle$ z práce [3] za predpokladu, že ide o protóny a π^+ -mezóny, môžeme výsledky našich meraní zhrnúť do tabuľky 3.

IV. DISKUSIA

Ak vyjdeme z tab. 3 a z údajov o celkovom počte a dĺžke prehliadnutých dráh v jednotlivých doskách, dostaneme strednú hodnotu

$$\langle x_d \rangle = 21,5 \pm 2,2 \text{ cm.}$$

Ak vezmeme do úvahy strednú voľnú dráhu pre protón a neutrón v emulzii 33 cm [3], pričom kinetickú energiu protónu a neutrónu berieme takú, akú majú v našom primárnom deuteroné, môžeme oceniť, do akej miery interagujú tieto častice v deuteroné nezávisle:

$$S = \frac{P(d)}{P(p) + P(n)} = \frac{k \frac{1}{\langle l_d \rangle}}{k \frac{1}{\langle l_p \rangle} + k \frac{1}{\langle l_n \rangle}} = 0,77.$$

Tomuto číslu však nemožno pripisovať veľký význam, keďže naše merania udávajú len hornú medzu strednej voľnej dráhy.

Ak chceme náš údaj pre strednú voľnú dráhu porovnať s meraniami iných autorov, musíme prijať ako východisko predpoklad, potvrdený experimentálne, že totiž účinný prierez interakcie na atómových jadrách s hmotovým číslom bližšie autori práce [4], ktorí pre primárnu kinetickú energiu deuteronu 650 MeV na C^{12} terčí dostali hodnotu 477 ± 18 mb pre totálny účinný prierez a v práci [5] pre energiu 710 MeV dostali 1630 ± 90 mb pre interakciu na Al^{27} . Ak prepočítame tieto údaje pre σ_0 z výrazu $\sigma_A = \sigma_0 A^{2/3}$, dostaneme 91 mb a 181 mb a naše merania dávajú hodnotu 75,6 mb. Porovnávať tieto údaje nie je jednoduché, keďže v prácach [4] a [5] neboli rovnakým spôsobom oprávované elastické rozptyly a neelastické interakcie s jednou nabíton sekundárnou dráhou letačou pod malým uhlom so smerom primárnej dráhy. Vzhľadom na to, že my sme žiadne opravy pre uhly od $0 - 2,5^\circ$ nezavádzali a tieto hodnoty tvoria znatý podiel na elastických interakciách, ako aj na

tzv. stripingu, domnievame sa, že nie sme v rozpore s údajmi z práce [5], aj keď definitívny záver si vyžaduje presnejšie meranie pre oblasť malých uhlov.

V tomto smere naše práce pokračujú.

Na záver chceme poďakovať s. prof. RNDr. J. Dubinskému, vedúcemu KJF, za to, že umožnil robiť experimentálnu časť tejto práce na KJF. Vďaka patrí aj p. Špačekovej a sl. Paňkovej za pomoc pri výpočtoch a kolektívni laborantiek KJF za vyhládávanie javov.

LITERATÚRA

- [1] Šándor L., Tuček J., Fyz. čas. SAV 19 (1969), 139.
 - [2] Hudson D. J., *Statistics*. Geneva 1964, ruský preklad *Статистика для физиков*, Изд. Мир, Москва 1965.
 - [3] Барашенков В. С., *Сечения взаимодействия замедленных частиц*. Издательство Наука, Москва 1966.
 - [4] Dutton L. M. C. et al., *Physics Letters* 16 (1965), 331.
 - [5] Борисов В. С., *Ядерная физика* 7 (1968), 956.
- Došlo 10. 4. 1970

THE TOTAL CROSS SECTION OF FAST DEUTERONS IN NUCLEAR EMULSION

Soňa Kozúchová, Jozef Tuček

Summary

The aim of our work was the determination of the mean free path and thus also the determination of the total cross-section for interactions between deuterons with the momentum of 2.45 GeV/c and the atomic nuclei of photographic emulsion. Our attention was concentrated on the determination of the relative amount of impurities of the primary deuteron beam with 2.5–13 % of the total intensity from the beam axis to the edges. We found that the particles forming impurities are π^+ -mesons and protons, approximately of the same amount. After corrections and without interactions of $(0 + 0)$ and $(0 + 1)$ for angles of the secondary tracks smaller than 2.5° we obtained $\langle l_d \rangle = 21.5 \pm 2.2$ cm for the mean free path.