

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
ფიზიკის ფაკულტეტის ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის კათედრა

სამაგისტრო ნაშრომი:

**COSY ამაჩქარებლის დეიტრონის ნაკადის  
კოლარიზაციის შესწავლა ANKE სპექტრომეტრის  
გამოყენებით**

**დავით ჭილაძის**

მაგისტრანტი: დავით ჭილაძე

ხელმძღვანელი, თბილისი: პროფ. მ. ნიორაძე

ხელმძღვანელები, იულიხი ა. კაჭარავა, ფ. რატმანი

რეცენზენტი, ლონდონი: პროფ. კ. ვილკინი

ნაშრომი შესრულებულია იულიხის კვლევითი ცენტრის  
ბირთვული ფიზიკის ინსტიტუტში (გერმანია)  
იულიხი 2004 წ.



<b>შესავალი.....</b>	<b>5</b>
ფიზიკური მოტივაცია.....	5
np პროცესის შესწავლა ANKE-ზე.....	5
პოლარიზებული ექსპერიმენტის ტიპები.....	6
<b>პოლარიზაციის პრინციპები.....</b>	<b>7</b>
1/2 სპინი.....	7
ვექტორული პოლარიზაციის გაზომვა.....	8
სპინი 1.....	11
ტენზორული პოლარიზაციის გაზომვა.....	13
<b>ექსპერიმენტი.....</b>	<b>14</b>
COSY ამაჩქარებელი.....	14
ANKE სპექტრომეტრი.....	15
წინა დეტექტორული სისტემა (The forward detector system).....	16
წინა დეტექტორის ფაზური სივრცე (Acceptance).....	17
სილიკონ ტელესკოპი (Silicon-detector telescope).....	18
2003 წლის ნოემბერის მონაცემები.....	18
<b>განათებულობა (Luminosity).....</b>	<b>19</b>
განათებულობის გაზომვა $dp$ დრეკადი რეაქციიდან.....	19
ფაზური სივრცის განსაზღვრა.....	20
<b>პოლარიმეტრია.....</b>	<b>21</b>
EDDA ექსპერიმენტის შედეგები.....	22
$dp \rightarrow dp$ რეაქცია ANKE სპექტრომეტრზე.....	23
$np \rightarrow d\pi^0$ რეაქცია.....	25
$dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ რეაქცია.....	26
$dp \rightarrow (pp)n$ რეაქცია.....	27
<b>დასკვნა.....</b>	<b>29</b>
<b>ლიტერატურა.....</b>	<b>30</b>



# შესავალი

## ფიზიკური მოტივაცია

ურთიერთქმედების ერთ-ერთ უმარტივესი და ფუნდამენტური სახის შესასწავლად, რომელსაც ძლიერი ურთიერთქმედება ქვია, საჭიროა ნუკლონ-ნუკლონური ( $NN$ ) სისტემის შესწავლა. ეს არის ერთ-ერთი ძირითადი ნაბიჯი ბირთვების შესასწავლად, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გავიგოთ თუ რა ხდება ბირთვში და რა ძალები აკავებენ მის შიგნით პროტონებსა და ნეიტრონებს.

$NN$  სისტემის სრული აღწერისათვის საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება პოლარიზებულ ექსპერიმენტებს. ასეთი ექსპერიმენტები  $pp$  სისტემისათვის ჩატარებულია 3 GeV ენერგიაზე, ხოლო  $np$  სისტემა შესწავლილია 800 MeV-მდე.  $np$  რეაქციის სპინური ამპლიტუდების გაზომვა, რაც საკმაოდ მნიშვნელოვანია თეორიისთვის, შესაძლებელია პოლარიზებული დეიტრონის წყალბადზე გაფანტვის ექსპერიმენტში, როცა გაფანტვა მასათა ცენტრის სისტემაში ხდება უკანა ნახევარსფეროში. ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს გადამხტვის რეაქციასთან Charge Exchange Reaction (CE). როდესაც გაფანტვის კუთხე  $\theta$  ახლოს არის ნულთან და ნეიტრონზე გადაცემული ოთხიმპულსი მცირეა  $t \sim 0$ , მაშინ  $dp$  CE რეაქციის კვეთა მთლიანად დამოკიდებულია სპინურ ამპლიტუდებზე. შესაბამისად რეაქციის კვეთისა და ანალიზური უნარის გაზომვით შეიძლება მათი განვსაზღვრა.

## $np$ პროცესის შესწავლა ANKE-ზე

$np$  პროცესის შესწავლა პროგრამას ANKE სპექტრომეტრზე განპირობებულია შემდეგი მიზეზებით:

1. დაწვრილებითი შესწავლა და დრეკადი  $pn$  გაფანტვის მონაცემთა ბაზის შევსება დიდი სიზუსტის ექსპერიმენტების საშუალებით, სადაც შესწავლილი იქნება პოლარიზებული პროტონის პოლარიზებულ დეიტრონზე გაბნევა ( $\vec{p}\vec{d}$ )
2. ელემენტარული  $np$  გაფანტვის პროცესის (CE) სპინური ამპლიტუდების განსაზღვრა პოლარიზებული დეიტრონის პოლარიზებულ სამიზნეზე გაფანტვის პროცესიდან ( $\vec{d}\vec{p}$ )

პროგრამა გაყოფილია ორ ნაწილად:

1. პირველი ნაწილი მოიცავს არაპოლარიზებული და პოლარიზებული დეიტრონის გაფანტვას არაპოლარიზებულ წყალბადის სამიზნეზე. რეაქციის კვეთისა და ანალიზური უნარის (Analysing power) განსაზღვრა საშუალებას მოგვცემს დავითვალოთ ორი ამპლიტუდის აბსოლიტური მნიშვნელობა.
2. პოლარიზებული დეიტრონის პოლარიზებულ წყალბადზე გაფანტვა კი საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ ფაზათა სხვაობა ორ ამპლიტუდას შორის.

ჩვენი პროგრამა მიზნად ისახავს როგორც კვეთის ასევე პოლარიზაციის გაზომვას, ამიტომ ეს ექსპერიმენტი იქნება პირველი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს  $np$  პროცესის სპინური ამპლიტუდები ვიანგარიშოთ LAMPF-ის ენერგიაზე (800 MeV) მაღალი ენერგიებისთვის COSY-ის მაქსიმალურ ენერგიაზე (1150 MeV ნუკლონზე). ANKE სპექტრომეტრი მოიცავს  $\theta_{c.m.} \approx 0^\circ - 30^\circ$  კუთხურ არეს, რომელიც ექსპერიმენტულად ჯერ კიდევ შეუსწავლელია.

პირველი საცდელი ექსპერიმენტი ჩატარდა 2003 წლის ნოემბერში პოლარიზებული დეიტრონის არაპოლარიზებულ წყალბადზე გაფანტვით, სადაც ნაკადის ენერგია იყო  $T_d = 1.2 \text{ GeV}$  ( $p_d = 2.4 \text{ GeV}/c$ ). ექსპერიმენტი მიზნად ისახავდა შეგვესწავლა ANKE

სპექტრომეტრის შესაძლებლობები, ნაკადის პოლარიზაციის განსაზღვრა დამოუკიდებლად, რომელსაც ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს მომავალში პოლარიზებული ექსპერიმენტების ჩატარებისას და შეისაძლებლობას იძლევა შეცვალოს EDDA დეტექტორი, როგორც პოლარიმეტრი, ხანგრძლივი ექსპერიმენტებისას.

რეაქციის დიფერენციალური კვებისა და ანალიზური უნარის გაზომვა საშუალებას მოგვცემს კარგი სიზუსტით აღვადგინოთ ორი სპინური ამპლიტუდა, რათა სერიოზული ცვლილება მოვახდინოთ ნუკლონ-ნუკლონურ მონაცემთა ბაზაზე. ყოველივე ამისთვის საჭიროა ექსპერიმენტი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დიდი სიზუსტით გავზომოთ ნაკადის პოლარიზაცია და განათებულობა (Luminosity).

### პოლარიზებული ექსპერიმენტის ტიპები

ცნობილია შემდეგი ტიპის პოლარიზებული ნუკლონ-ნუკლონური ექსპერიმენტები:

i.  $A(b, \bar{c})D$  პოლარიზებული ექსპერიმენტები;

ii.  $A(\bar{b}, c)D$  Analysing power ექსპერიმენტები;

(i) ტიპის ექსპერიმენტები აპარატურულად ისეა მოწყობილი, რომ საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ გაფანტული ნაწილაკების პოლარიზაცია. ეს ჩვეულებრივ კეთდება გაფანტული ნაწილაკების სხვა სამიზნეზე შემდგომი გაფანტვის ასიმეტრიის შესწავლით.

(ii) ტიპის ექსპერიმენტები ასევე იყენებს 'მარცხენა-მარჯვენა' ასიმეტრიის შესწავლის მეთოდს, ოღონდ ამ შემთხვევაში ცნობილია დამცემი ნაკადის პოლარიზაცია. ადრე იყენებდნენ ორმაგი გაფანტვის მეთოდს. პირველი გაფანტვით იზომებოდა ნაკადის პოლარიზაცია ხოლო მეორე გაფანტვით უკვე შესაძლებელი ხდებოდა რეაქციის Analysing power-ის გაზომვა. მეორადი გაფანტვისას ნაკლებია შემთხვევათა რაოდენობა და დაბალია ენერგეტიკული და კუთხური გარჩევის უნარიანობა, ამიტომ ამ მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ მაღალი კვების მქონე პროცესებისთვის.

პოლარიზებული იონების წყაროს შექმნისა და განვითარების შემდეგ გაადვილდა იმ ექსპერიმენტების ჩატარება, სადაც განისაზღვრება რეაქციის ნალიზური უნარი. მისი გამოყენებით შესაძლებელია ისეთი ექსპერიმენტების ჩატარება სადაც პოლარიზებულია რეაქციაში მონაწილე ორი ნაკადი. ამ ტიპის ექსპერიმენტები შემდეგი სახისაა:

iii.  $A(\bar{b}, \bar{c})D$  polarization – transfer experiments

iv.  $\bar{A}(\bar{b}, c)D$  spin – correlation (initial channel) experiments

v.  $A(b, \bar{c})\bar{D}$  spin – correlation (final channel) experiments

(iii) ტიპის ექსპერიმენტს ხანდახან სამმაგი გაფანტვის ექსპერიმენტსაც ეძახიან, რადგან პოლარიზებული იონების წყაროს გამოგონებამდე ასეთი ექსპერიმენტის ჩასატარებლად საჭირო იყო სამმაგი გაფანტვის შესწავლა. პირველი გაფანტვა საჭირო იყო პოლარიზებული ნაკადის მისაღებად, მეორე ამ პოლარიზაციის გასაზომად და მესამე ანალიზური უნარის განსაზღვრავად. პოლარიზებული იონების წყაროს შექმნის შემდეგ ასეთი ექსპერიმენტების ჩასატარებლად უკვე საკმარისია ორმაგი გაფანტვა.

(iv) ტიპის ექსპერიმენტებში პოლარიზებული ნაკადი ეცემა პოლარიზებულ სამიზნეს. უკვე შექმნილია პოლარიზებული სამიზნეები რომლებიც საშუალებას იძლევა ამ ტიპის ექსპერიმენტების ჩატარებას, რომელიც ასევე ძალიან საინტერესოა ბირთვული ფიზიკის სხვადასხვა საკითხების შესასწავლად.

(v) ტიპის ექსპერიმენტებში საჭიროა ორივე საბოლოო ნაწილაკის ნაკადის პოლარიზაციის გაზომვა, რაც საკმაოდ დიდ სირთულეს წარმოადგენს. ამ სახის ექსპერიმენტები ჯერ არ ჩატარებულა თუ არ ჩავთვლით ნუკლონ-ნუკლონურ გაფანტვას.

დრეკადი გაფანტვის შემთხვევაში, დროის შებრუნებით (v) ტიპის ექსპერიმენტი ემსგავსება (iv) ტიპის ექსპერიმენტს.

ამ ნაშრომში ჩვენ განვიხილავთ (ii) ტიპის ექსპერიმენტს.

## პოლარიზაციის პრინციპები

კვანტურ მექანიკაში იმპულსის მომენტის ოპერატორი აკმაყოფილებს შემდეგ განტოლებას:

$$S_j S_k - S_k S_j = \epsilon_{ijk} S_i \quad (1)$$

ესენია სპინის ჰერმიტული ოპერატორები, რომელთა კვადრი 0-ის ტოლია. დეკარტეს კოორდინატთა სისტემაში გვექნება სამი კომპონენტი  $S_x$ ,  $S_y$  და  $S_z$  რომლებიც განსაზღვრავენ ერთ  $\vec{S}$  ვექტორს, რომლის საკუთარი ფუნქციები და საკუთარი მნიშვნელობები მოიცემა შემდეგნაირად

$$\vec{S}^2 |sm\rangle = s(s+1)\hbar^2 |sm\rangle \quad (2)$$

$$S_z |sm\rangle = m\hbar |sm\rangle \quad m = -s, -s+1, \dots, +s \quad (3)$$

$|sm\rangle$  არის  $\vec{S}^2$ -სა და მისი ერთ-ერთი მდგენელის საკუთარი ფუნქცია. შეთანხმებით მიღებულია, რომ ეს იყოს  $z$  მდგენელი. ეს საკუთარი ფუნქცია დამოკიდებულია ორ კვანტურ რიცხვზე: სპინური კვანტური რიცხვი  $s$  და მაგნიტური კვანტური რიცხვი  $m$ , რომელსაც გააჩნია  $(2s+1)$  მნიშვნელობა.

$s = 1/2$  შემთხვევისთვის გვაქვს მაგნიტური კვანტური რიცხვის ორი შესაძლო მნიშვნელობა,  $m = -1/2$  ან  $m = +1/2$ . სპინური ოპერატორები შეიძლება ჩავწეროთ პაულის მატრიცების საშუალებით:

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \hbar \vec{\sigma} \quad (4)$$

სადაც

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \sigma_y &= \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \\ \sigma_z &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

პაულის ეს სამი მატრიცა ერთეულოვან მატრიცასთან ერთად შეადგენს სრულ სისტემას სადაც  $s = 1/2$  და ამ სისტემაში ყველა ჰერმიტული ოპერატორი შეიძლება გამოისახოს, როგორც მათი წრფივი კომბინაცია. სპინური ოპერატორების ასეთი სახით ჩაწერა ძალიან მოსახერხებელია კვანტური მექანიკისთვის.

### 1/2 სპინი

ზემოთ განხილული შემთხვევა შეეხება ნაწილაკს რომლისთვისაც  $\langle S_z \rangle = \pm 1/2 \cdot \hbar$  და  $\langle \sigma_z \rangle = \pm 1$ . მაგრამ თუ გვაქვს არა ერთი ნაწილაკი არამედ ნაწილაკების სისტემა

(მაგალითად ნაკადი) მაშინ ასეთი სისტემის ასეთი სახით აღწერა არ შეიძლება. ამ მიზნით შემოაქვთ სიმკვრივის მატრიცის ცნება:

$$\rho = \sum_{i=1}^n p_i |sm_i\rangle \langle sm_i| \quad (6)$$

სადაც:

$n \equiv$  სუფთა მდგომარეობების რაოდენობა (ამ შემთხვევაში  $n = 2$ )

$p_i \equiv$  სისტემაში  $i$  მდგომარეობის ალბათობა

ასეთი ჩაწერა საშუალებას იძლევა სისტემა აღვწეროთ სამი კომპონენტის საშუალებით  $p_i (i = x, y, z)$ :

$$p_i = \langle \sigma_i \rangle = \text{Trace}(\rho \sigma_i) \quad (7)$$

ესენია პოლარიზაციის ვექტორის კომპონენტებია  $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$ , რომელიც ახასიათებს ნახევარი სპინის მქონე ნაწილაკების სისტემას. აქ ყურადღებით უნდა ვიყოთ რადგან კვანტურ მექანიკაში ვექტორის მოდულთან ერთად მხოლოდ მისი ერთ-ერთი მდგენელი შეიძლება გაიზომოს. შეთანხმების თანახმად ეს არის  $z$  მდგენელი.

$$p_z^* = \langle \sigma_z \rangle = \text{Trace}(\rho \sigma_z) = p_+ \langle +|\sigma_z|+ \rangle + p_- \langle -|\sigma_z|- \rangle = p_+ - p_- \quad (8)$$

როდესაც  $p_z^* = 0$  მაშინ  $p_+ = p_-$  და შესაბამისი  $|1/2, +1/2\rangle$  და  $|1/2, -1/2\rangle$  მდგომარეობების ალბათობები ერთმანეთის ტოლია.  $m = +1/2$  მდგომარეობაში მყოფი ნაწილაკების  $N_+$  რაოდენობა იგივეა რაც  $m = -1/2$  მდგომარეობაში მყოფი ნაწილაკების  $N_-$  რაოდენობა. თუ  $p_+ > p_-$  მაშინ  $|1/2, +1/2\rangle$  მდგომარეობაში ნაწილაკების რაოდენობა მეტია ანუ  $N_+ > N_-$ .

ამრიგად პოლარიზაციას ვზომავთ  $z$  ღერძის გასწვრივ:

$$p_z^* = p_+ - p_- = \frac{N_+}{N_{tot}} - \frac{N_-}{N_{tot}} = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \quad (9)$$

საიდანაც გამოდინარეობს რომ

$$-1 \leq p_z^* \leq +1 \quad (10)$$

თუ ნაკადში ყველა ნაწილაკი იმყოფება  $m = +1/2$  მდგომარეობაში, მაშინ ნაკადის პოლარიზაცია  $p_z^* = 1$ , ან თუ ყველა ნაწილაკი იმყოფება  $m = -1/2$ , პლარიზაცია იქნება  $p_z^* = -1$ .

### ვექტორული პოლარიზაციის გაზომვა

ნაკადის თეორიის კვანტურ-მექანიკური განხილვით, ბირთვული რეაქციის დიფ. კვეთაზე გავლენას ახდენს ნაკადის პოლარიზაციის ხარისხი.

პოლარიზებული ნაკადების თეორიაში, არაპოლარიზებული ნაწილაკების გაფანტვის  $f$  ამპლიტუდის მაგივრად გამოიყენება გადასვლის ანუ  $M$  მატრიცა. რეაქციის კვეთა ნახევარი სპინის მქონე ნაწილაკებისთვის შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{pol} = \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_0 (1 + p_x A_x + p_y A_y + p_z A_z) \quad (11)$$

სადაც  $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_0$  არის არაპოლარიზებული ნაკადის კვება.  $A_i$  არის რეაქციის ანალიზური უნარი “Analysing power” ან “efficiency tensor” (მეორე რიგის). გარდა იმისა რომ  $A_i$  დამოკიდებულია ბირთვულ რეაქციაზე, იგი ასევე დამოკიდებულია ნაკადის ენერგიაზე და დამცემი  $k_{in}$  და გაფანტული ნაწილაკების  $k_{out}$  იმპულსებს შორის კუთხეზე  $\vartheta$ . ანალიზური უნარი შემდეგნაირად განისაზღვრება:

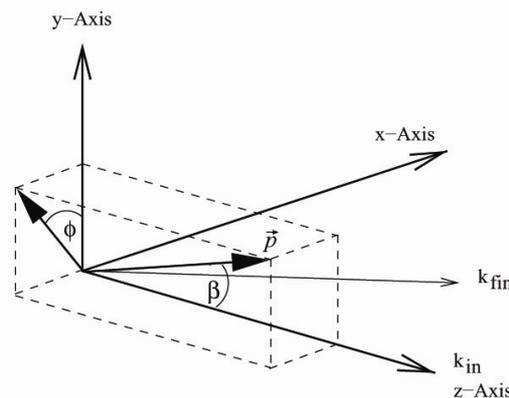
$$A_i = A_i(E, \theta) = \frac{\text{Trace}(M \sigma_i M^*)}{\text{Trace}(M M^*)} \quad \text{სადაც } i = x, y, z. \quad (12)$$

ლუწობის შენახვის გამო რეაქცია მგრძობიარეა მხოლოდ  $A_i$ -ის იმ კომპონენტისადმი, რომელიც კვეთის სიბრტყის მართობულია. მედისონის 1970 წლის შეთანხმების თანახმად, კოორდინატთა სისტემის ღერძები მიმართულია ისე როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე.

$$\vec{z} \parallel \vec{k}_{in} \quad (13)$$

$$\vec{y} \parallel \vec{k}_{in} \times \vec{k}_{out} \quad (14)$$

$$\vec{x} \parallel \vec{y} \times \vec{z} \quad (15)$$



ნახაზი 1. კოორდინატთა ლაბორატორიული სისტემის განსაზღვრა მედისონის შეთანხმების მიხედვით

ამ შეთანხმების მიხედვით ყოველ დეტექტორს გააჩნია საკუთარი ათვლის სისტემა გაფანტული ნაწილაკის იმპულსის  $k_{out}$  მიმართულების მიხედვით. მხოლოდ  $z$  ღერძის მიმართულება რჩება უცვლელი. პოლარიზაციის დაკვანტის ერთეულოვანი ვექტორი აღნიშნულია  $\vec{p}$ -თი და მისი მიმართულება განისაზღვრება  $\beta$  და  $\phi$  კუთხეებით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზზე.  $\beta$  არის კუთხე დაკვანტვის ღერძსა და ნაკადის მიმართულებას შორის, ხოლო  $\phi$  არის კუთხე  $\vec{p}$ -ის  $x, y$  სიბრტყეში გვემილსა და  $y$  ღერძს შორის. ამ აღნიშვნის უპირატესობაა ის რომ,  $x$  და  $z$  ღერძები ყოველთვის გაფანტვის სიბრტყეშია და როგორც უკვე ავლინებთ, მხოლოდ  $A_y \neq 0$ . ამის გათვალისწინებით (11) ფორმულიდან მივიღებთ

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{pol} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)(1 + p_y A_y) = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_0 (1 + p_z^* \sin \beta \cos \phi A_y) \quad (16)$$

სადაც  $p_z^*$  არის ვექტორული პოლარიზაცია  $\vec{p}$  ღერძის გასწვრივ, რომელიც იზომება ექსპერიმენტზე. როდესაც  $\beta = 90^\circ$  და  $\phi = 0^\circ$  პოლარიზაციის ღერძი მიმართულია  $y$  ღერძის გასწვრივ და  $p_y = p_z^* = |\vec{p}|$  ყველა დანარჩენ შემთხვევისთვის უნდა გავითვალისწინოთ ყველა კომპონენტი.

მედისონის შეთანხმების თანახმად, თუ  $\phi = 0^\circ$  მაშინ გაფანტვა გვაქვს მარცხნივ (L) და თუ  $\phi = 180^\circ$  — მარჯვნივ (R). თუ ნაკადსა და გაფანტულ ნაწილაკებს შორის კუთხეა  $\theta$  მაშინ შემთხვევების რაოდენობისთვის მივიღებთ შემდეგ მნიშვნელობებს

$$L_{(\theta,\beta,\phi)} = n N_A \Omega_L \zeta \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{(\theta)} (1 + p_y A_y) \quad (17)$$

$$R_{(\theta,\beta,\phi)} = n N_A \Omega_R \zeta \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{(\theta)} (1 - p_y A_y) \quad (18)$$

$L_{(\theta,\beta,\phi)} \equiv$  მარცხენა დეტექტორში მოხვედრილი ნაწილაკების რაოდენობა;

$R_{(\theta,\beta,\phi)} \equiv$  მარჯვენა დეტექტორში მოხვედრილი ნაწილაკების რაოდენობა;

$n \equiv$  დამცეში ნაწილაკების რაოდენობა;

$N_A \equiv$  ნაწილაკების რაოდენობა სამიზნეში;

$\Omega_i \equiv$  დეტექტორის სივრცული კუთხე;

$\zeta \equiv$  დეტექტორის ეფექტურობა;

$\sigma_0 \equiv$  არაპოლარიზებული ნაკადის კვეთა.

პოლარიზაციის გასაზომად არსებობს ორი გზა:

პირველი შემთხვევისთვის შეგვიძლია ნაკადის პოლარიზაცია შევცვალოთ  $180^\circ$ -ით და დავითვალოთ სპინი 'ზევით' და სპინი 'ქვევით' ნაწილაკები, რის შემდეგაც მივიღებთ ასიმეტრიას:

$$\epsilon_1 = \sqrt{\frac{L \uparrow \cdot R \downarrow}{R \uparrow \cdot L \downarrow}} = \frac{1 + p_y A_y}{1 - p_y A_y} \quad (19)$$

პოლარიზაციისთვის გვექნება:

$$p_y = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \cdot \frac{1}{A_y} \quad (20)$$

მეორე შემთხვევისთვის პოლარიზაციის დასათვლელად შეიძლება შევადაროთ პოლარიზებული და არაპოლარიზებული შემთხვევები:

$$\epsilon_2 = \sqrt{\frac{L_{pol} R_{unpol}}{L_{unpol} R_{pol}}} = \sqrt{\frac{1 + p_y A_y}{1 - p_y A_y}} \quad \text{და} \quad p_y = \frac{\epsilon^2 - 1}{\epsilon^2 + 1} \cdot \frac{1}{A_y} \quad (21)$$

პოლარიზაციის ცდომილების დათვლისას ძირითადი წვლილი შეაქვს ანალიზურ უნარს და ასიმეტრიას

$$\Delta p \sim \Delta A \cdot \Delta \epsilon \quad (22)$$

თუ შევადარებთ პირველ და მეორე ხერხს დავინახავთ, რომ მეორე შემთხვევაში ცლომილება უფრო მეტია ვიდრე პირველში

$$\Delta p_{\varepsilon_2} = \sqrt{2} \Delta p_{\varepsilon_1} \quad (23)$$

ფორმულა (20) –ში შევიტანოთ  $L$  და  $R$  და დავთვალოთ ცლომილება, გვექნება:

$$\Delta p \sim \frac{1}{A\sqrt{L+R}} \propto \frac{1}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{t(d\sigma/d\Omega)_0}} \quad (24)$$

სადაც  $t$  არის გაზომვის დრო. თუ გამოვიყვანოთ მარგი ქმედების კოეფიციენტს მივიღებთ:

$$A^2 \cdot \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_0 \quad (25)$$

რაც უფრო დიდია ეს წვერი მით უფრო ნაკლები დროა საჭირო სასურველი ცლომილების მისაღებად. ეს ნიშნავს რომ რეაქციის შერჩევისას ყურადღება უნდა მივაქციოთ ჯერ ანალიზურ უნარს და შემდეგ კვეთას.

## სპინი 1

ერთი სპინის მქონე ნაწილაკებისთვის გვაქვს სამი სუფთა მდგომარეობა (ფორმულა 3.). ანუ  $S_z$  გააჩნია სამი საკუთარი მნიშვნელობა, ესენია:

$$|s=1; m=1\rangle \quad |s=1; m=0\rangle \quad |s=1; m=-1\rangle \quad (26)$$

ამასთან  $\vec{S}$  ოპერატორი წარმოადგენს  $3 \times 3$ -ზე მატრიცას, რომელიც შეიძლება პაულის ოპერატორების მსგავსად ჩავწეროთ:

$$\begin{aligned} S_x &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ S_y &= \frac{i}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ S_z &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (27)$$

ეს სამი მატრიცა ერთეულოვან მატრიცასთან ერთად გვაძლევს ოთხ წრფივად დამოუკიდებელ ჰერმიტულ ოპერატორს. ცხადია რომ  $3 \times 3$ -ზე სივრცის სრულად აღსაწერად საჭიროა ცხრა წრფივად დამოუკიდებელი ჰერმიტული ოპერატორი. თითოეულის კვალი უნდა იყოს 0-ი და ისინი უნდა იყვნენ ერთეულოვანი  $U$  მატრიცის ორთოგონალურები. არსებული მატრიცებიდან შეიძლება შევადგინოთ შემდეგი ჯამი:

$$S_{ij} = \frac{3}{2}(S_i S_j + S_j S_i) - 2U\delta_{ij} \quad (\text{სადაც } i, j = x, y, z.) \quad (28)$$

აქედან ვღებულობთ ექვს მატრიცას, მაგრამ რადგან  $\text{Trace}(S) = 0$ , დაგვრჩება მხოლოდ, ხუთი წრფივად დამოუკიდებელი მატრიცა:

$$p_{ij} = \langle S_{ij} \rangle = \text{Trace}(\rho S_{ij}) \quad (29)$$

$p_{ij}$  ავლნიშნით ზუსტად ისე როგორც ეს გავაკეთეთ  $p_i$ -თვის:

$$p_{zz} = \langle S_{zz} \rangle = \text{Trace}(\rho S_{zz}) \quad (30)$$

ასეთი ნაწილაკებისთვის ვექტორული პოლარიზაცია იგივე ფორმულით განიმარტება, ხოლო ტენზორული პოლარიზაცია შეიზლება ჩაეწეროს, სამივე მდგომარეობის შევსების რიცხვების საშუალებით:

$$p_{zz}^* = \langle S_{zz} \rangle = \text{Trace}(\rho S_{zz}) = p_+ + p_- - 2p_0 \quad (31)$$

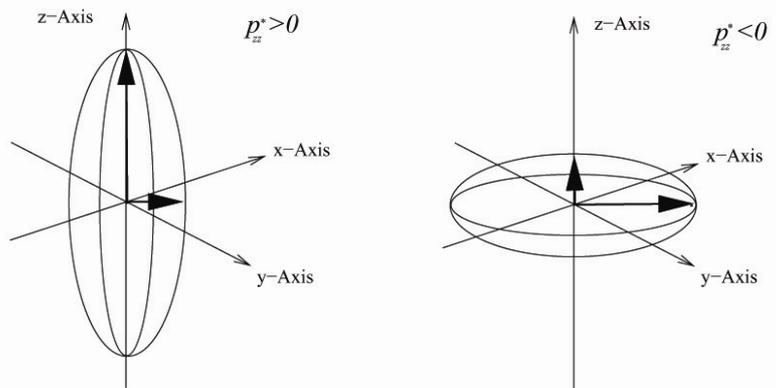
თუ ყველა მდგომარეობა თანაბრად არის შევსებული, ანუ  $p_+ = p_- = p_0 = 1/3$ , მაშინ გვაქვს სრულიად არაპოლარიზებული ნაკადი  $p_{zz}^* = 0$  და  $p_z^* = 0$ . ზოგადად ტენზორული პოლარიზაცია ასე ჩაიწერება:

$$p_{zz}^* = p_+ + p_- - 2p_0 = \frac{N_+ + N_- - 2N_0}{N_{tot}} \quad (32)$$

აქედან გამომდინარეობს რომ

$$-2 \leq p_{zz}^* \leq 1 \quad (33)$$

საილუსტრაციოდ ნახეთ ნახაზი 2. ტენზორული პოლარიზაციის ცოდნა, იძლევა ინფორმაციას  $N_+ + N_-$  და  $N_0$  შორის დამოკიდებულებაზე, ხოლო ვექტორული პოლარიზაცია (დამოკიდებულება  $N_+$ -ს და  $N_-$ -ს შორის) ინტენსივობასთან ერთად ინფორმაციას გვაძლევს სხვადასხვა სპინური მდგომარეობების შევსების შესახებ.



ნახაზი 2. დადებითი და უარყოფითი ტენზორული პოლარიზაცია

### ტენზორული პოლარიზაციის გაზომვა

პირველ ნახაზზე მოცემულ კოორდინატთა სისტემაში, ერთ სპინიანი ნაწილაკების ნაკადის კვეთა შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{pol} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_0 \left(1 + 3/2 \sum_{i=1}^3 p_i A_i + 1/3 \sum_{i,j=1}^3 p_{ij} A_{ij}\right) \quad (34)$$

$p$ -ებით აღნიშნულია ნაკადის პოლარიზაცია, ხოლო  $A$ -ებით რეაქციის ანალიზური უნარი. დამცემ ნაკადს შეიძლება გააჩნდეს ვექტორული პოლარიზაციის სამივე კომპონენტი,  $p_x, p_y, p_z$ , მაგრამ ლუწობის შენახვის გამო რეაქცია მგრძნობიარეა მხოლოდ გაფანტვის სიბრტყის მართობული კომპონენტებისადმი. ტენზორული პოლარიზაციის მდგენელებისთვისაც, ისევ ლუწობის შენახვიდან გამომდინარეობს, რომ მხოლოდ ის კომპონენტია მნიშვნელოვანი, რომელებიც მოცემულია ფორმულაში:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{pol} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_0 \left(1 + \frac{3}{2} p_y A_y + \frac{2}{3} p_{xz} A_{xz} + \frac{1}{6} p_{xx-yy} A_{xx-yy} + \frac{1}{2} p_{zz} A_{zz}\right) \quad (35)$$

ეს სიდიდეები ისეა ნორმალიზებული, რომ ვექტორული კომპონენტები ( $p_x, p_y, p_z$  და  $A_y$ ) შეიძლება იცვლებოდეს  $+1$  დან  $-1$ -მდე, ტენზორული სიდიდეები ( $p_{xy}, p_{yz}, p_{xz}$  და  $A_{xz}$ )  $+3/2$ -დან  $-3/2$ -მდე და დანარჩენები ( $p_{xx}, p_{yy}, p_{zz}, A_{xx}, A_{yy}$  და  $A_{zz}$ )  $+1$ -დან  $-2$ -მდე. დამოკიდებულება დეკარტესა და სფერულ კოორდინატებში გამოსახულ ანალიზურ უნარებს შორის მოიცემა შემდეგი ფორმულებით:

$$\begin{aligned} iT_{11} &= \frac{\sqrt{3}}{2} A_{yy} \\ T_{20} &= \frac{1}{\sqrt{2}} A_{zz} \\ T_{21} &= -\frac{1}{\sqrt{3}} A_{xz} \\ T_{22} &= \frac{1}{2\sqrt{3}} (A_{xx} - A_{yy}) \end{aligned} \quad (36)$$

ხოლო პოლარიზაციის კომპონენტებისთვის, რომელიც მოცემულია პირველ ნახაზზე ნაჩვენებ კოორდინატთა სისტემაში, გვექნება:

$$p_y = p_z^* \sin \beta \cos \phi \quad (37)$$

$$p_{xz} = -3/2 p_{zz}^* \sin \beta \cos \beta \sin \phi \quad (38)$$

$$p_{xx-yy} = -3/2 p_{zz}^* \sin^2 \beta \cos 2\phi \quad (39)$$

$$p_{zz} = 1/2 p_{zz}^* (3 \cos^2 \beta - 1) \quad (40)$$

დეტექტორის მიერ გაზომილი ნაწილაკების რაოდენობა იქნება:

$$N_{(\theta,\beta,\phi)} = n N_A \Omega_N \zeta \sigma_0 \cdot \left( 1 + \frac{3}{2} p_z^* \sin \beta \cos \phi A_y - p_z^* \sin \beta \cos \beta \sin \phi A_{xz} \right) - \frac{1}{4} p_z^* \sin^2 \beta \cos 2\phi A_{xx-yy} + \frac{1}{4} p_z^* (3 \cos^2 \beta - 1) A_{zz} \quad (41)$$

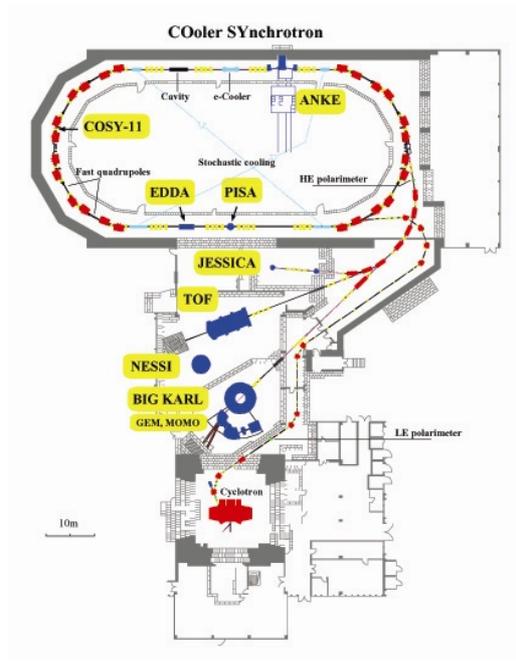
როგორც ვხედავთ, გვაქვს ოთხი უცნობი ცვლადი:  $p_y, p_{xz}, p_{xx-yy}, p_{zz}$  ან  $p_z^*, p_{zz}^*, \beta, \phi$ . მათ გასაზომად საჭიროა ოთხი დამოუკიდებელი დეტექტორი, აქ არ გამოდგება ის გზა რომელიც გამოვიყენეთ ვექტორული პოლარიზაციის გაზომვისას, სპინის  $180^\circ$ -ით შემობრუნება რადგან  $N_+, N_-$  და  $N_0$  ამ შემობრუნებისადმი არაა მგრძობიარე. ერთადერთი გზა, რომელიც გვრჩება ტენზორული პოლარიზაციის გასაზომად, არის პოლარიზებული და არაპოლარიზებული ნაკადების ერთმანეთზე შედარება.

## ექსპერიმენტი

ექსპერიმენტი ჩატარდა ANKE სპექტრომეტრზე იულიხის კვლევითი ცენტრის ამჩქარებელზე (COSY). პოლარიზებული დეიტრონის წყალბადზე გადამუხვტის (Charge Exchange) რეაქციის შესასწავლად ANKE სპექტრომეტრთან ერთად გამოყენებული იყო სილიკონური ტელესკოპი  $pp$  კვაზი-დრეკადი რეაქციის გამოსაყოფად, რომელიც საშუალებას იძლევა გაგვზომოთ ნაკადის პოლარიზაცია და განათებულობა (Luminosity). ANKE სპექტრომეტრი საშუალებას იძლევა დავაფიქსიროთ მცირე კუთხეებზე გაფანტული მაღალი იმპულსის მქონე დამუხტული ნაწილაკები.

## COSY ამჩქარებელი

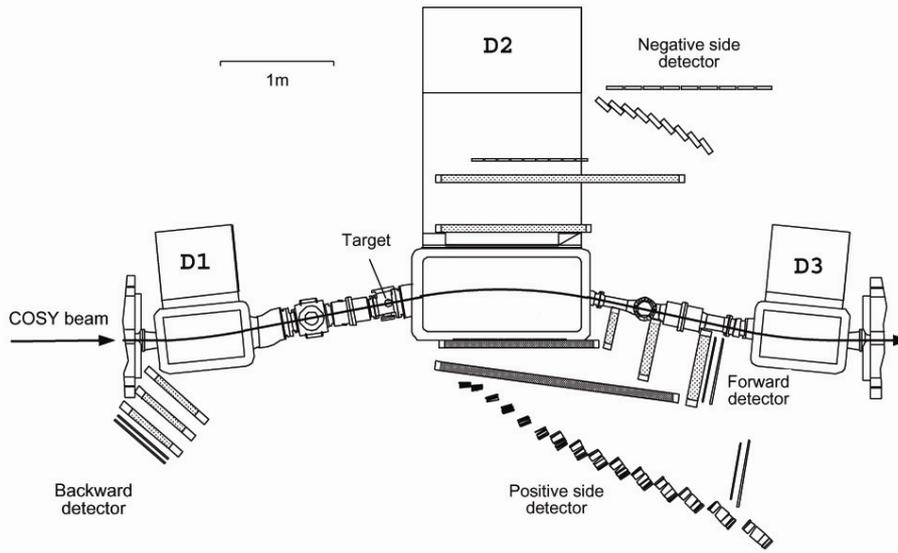
COSY (COoler SYnchrotron) ამჩქარებელი იძლევა მაღალი სიზუსტის  $\Delta p/p = 10^{-4} - 10^{-3}$  პოლარიზებულ და არაპოლარიზებულ პროტონისა და დეიტრონის ნაკადს 300 MeV/c დან 3.7 GeV/c ინტერვალში. ნაკადის "გასაციებლად" გამოიყენება ელექტრონული გაციების მეთოდი (600 MeV/c –მდე) და სტოხასტური გაციების მეთოდი (1.5 GeV/c დან 3.7 GeV/c –მდე). COSY-ის სქემატური ნახაზი მოცემულია მე-3 ნახაზზე. პოლარიზებული ნაკადი მიიღება ბონის, ერლანგენისა და კიოლნის უნივერსიტეტების მიერ დამზადებული პოლარიზებული იონების წყაროს გამოყენებით. წყარო საშუალებას იძლევა მივიღოთ, როგორც მარტო ვექტორულად პოლარიზებული ასევე, ვექტორული და ტენზორული პოლარიზაციის ყველა კომბინაცია. COSY-ის მაგნიტური სისტემა ისეა მოწყობილი, რომ პოლარიზებული ნაკადის ამჩქარებელში შეყვანის შემდეგ, მათი აჩქარების შედეგად დეპოლარიზაციის ეფექტი ძალიან მცირეა. პოლარიზაციის ძირითად გამზომს COSY-ზე წარმოადგენს EDDA დეტექტორი. COSY-ის ნაკადის ნახშირბადის ან  $\text{CH}_2$ -ის სამიზნეზე გაფანტვის შედეგად EDDA დეტექტორი ზომავს ასიმეტრიას, რაც საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ნაკადის პოლარიზაცია. ნაკადის ინტენსიობის და ხარისხის ცვლილება შეიძლება ელექტრონული და სტოხასტური გაციების სისტემების საშუალებით. COSY-ის ნაკადი გამოიყენება ოთხი შიდა (ANKE, COSY-11, EDDA, PISA) და ხუთი გარე (TOF, MOMO, GEM, NESSY და JESSICA) ექსპერიმენტების მიერ.



ნახაზი 3. იულიხის კვლევითი ცენტრის COSY ამაჩქარებელი

### ANKE სპექტრომეტრი

ANKE (“Aparatus for studies of Nucleon and Kaon Ejectiles”) სპექტრომეტრის დეტალური სქემა მოცემულია მე-4 ნახაზზე. დეტექტორის ძირითადი შემადგენელი ნაწილებია: მაგნიტური სისტემა, შიდა სამიზნე და ოთხი დეტექტორული სისტემა: დადებითი და უარყოფითი ნაწილაკებისა და წინ და უკან გაფანტული ნაწილაკების დასაფიქსირებელი მოწყობილობები. დეტექტორის მაგნიტური სისტემა შედგება სამი მაგნიტისგან D1 გადახრის ნაკადს  $\alpha$  კუთხით, D2 მთავარი მაგნიტი ცვლის ნაკადის მიმართულებას  $-2\alpha$  კუთხით და D3 მაგნიტი რომელიც იდენტურია D1 მაგნიტისა და აბრუნებს ნაკადს ძირითად ორბიტაზე. გადახრის კუთხე დამოკიდებულია მაგნიტური ველის მნიშვნელობაზე, რომლის მაქსიმუმიც არის 1.56 T და არაა დამოკიდებული COSY-ის ნაკადის იმპულსზე. ANKE-ზე გამოიყენება სხვადასვა ტიპის სამიზნეები, ”strip target“ (carbon, polyethylen ან სხვა რაიმე მყარი სამიზნე) ასევე ”cluster target“ რომელიც მიიღება წყალბადის ან დეიტერიუმის ნაკადით და კვეთს COSY-ის ნაკადს. მაღალი ინტენსივობისა და განათებულობის (Luminosity) მისაღებად გამოიყენება ”pellet target“. პოლარიზაციულ ექსპერიმენტებისთვის მზადდება ატომური ნაკადის წყარო (Atomic Beam Source).

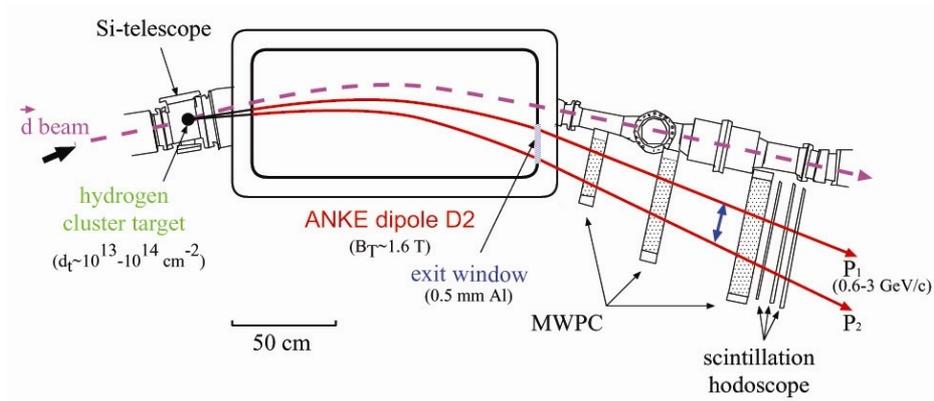


ნახაზი 4. ANKE სპექტრომეტრის სქემატური ნახაზი

უარყოფითი და დადებითი ნაწილაკების დეტექტორების იმპულსური არეა  $0.3 - 0.8$  GeV/c, ხოლო წინა დეტექტორის –  $0.3 - 3.7$  GeV/c. რომელიც გამოიყენება ძალიან ბევრ ექსპერიმენტში.

### წინა დეტექტორული სისტემა (The forward detector system)

წინა დეტექტორული სისტემა მოთავსებულია D2 და D3 დიპოლურ მაგნიტებს შორის. მე-5 ნახაზზე მოცემულია ANKE სპექტრომეტრის ის ნაწილი, რომელიც მნიშვნელოვანია ჩვენი ექსპერიმენტისთვის. დიპოლებს შორის მანძილი 1.6 მ-ია, ხოლო ნაკადის მილსა და გვერდით დეტექტორს შორის 0.7 მ. ეს გარკვეულ პირობებს უყენებს ტრეკულ სისტემას. მან უნდა შეძლოს დროის ერთეულში დიდი რაოდენობის შემთხვევების დაფიქსირება (High counting rate  $>10^5 \text{ s}^{-1}$ ), რადგან იგი მოთავსებულია ნაკადის მილთან ახლოს. საჭიროა მაღალი სივრცული გარჩევისუნარიანობა, რადგან პროპორციული (MWPC) კამერები ახლოს არის ერთმანეთთან. სივრცითი გარჩევისუნარიანობა დაახლოებით 1 მმ-ია რაც იმპულსის აღდგენისას იძლევა 1%-იან ცდომილებას. ეს საშუალებას იძლევა გამოვეყოთ ორ პროტონიანი წყვილები, რომელთა ადგზნების ენერგია  $E_{pp} < 3 \text{ MeV}$ . წინა დეტექტორული სისტემა მოიცავს სამ პროპორციულ კამერას. თითოეული მათგანი შედგება  $X$  და  $Y$  მოდულისაგან. თითოეულ მოდულში გვაქვს მავთულებისა და სტრიპების სიბრტყე.  $X$  მოდულში მავთულები გაჭიმულია ვერტიკალურად ხოლო  $Y$  მოდულში – ჰორიზონტალურად. რაც შეხება სტრიპებს, ისინი დახრილია შესაბამისად  $18^\circ$   $X$  მოდულში და  $-18^\circ$   $Y$  მოდულში. პროპორციული კამერები ჰოდოსკოპებთან ერთად მოთავსებულია საერთო სადგარზე.



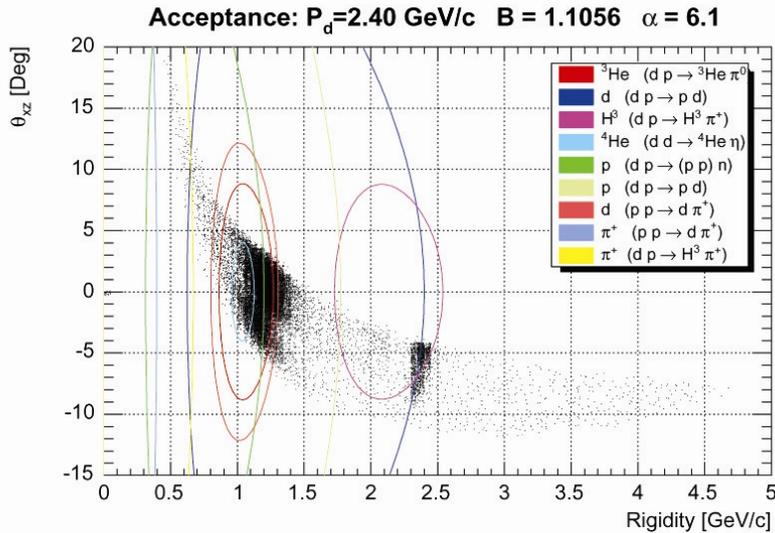
ნახაზი 5. ANKE სპექტრომეტრის ძირითადი ნაწილი, რომელიც მნიშვნელოვანია ექსპერიმენტისთვის

მავეთულების სიბრტყეები კამერებში იძლევიან 6 ნს. ხანგრძლივობის სიგნალებს, ხოლო სტრიპების სიგნალების სიგრძე 30 ნს. მაგრამ ტრეკული სისტემის დროითი გარჩევის უნარიანობა წამკითხველი ელექტრონიკის გამო 50 ნს-ია. ნაწილაკის გავლისას ანთებული მათულების საშუალო მნიშვნელობა ძალიან ახლოა ერთთან, რაც გვაძლევს მაღალი სიზუსტის კოორდინატულ გაზომვების საშუალებას.

ჰოდოსკოპების სისტემა შედგება ორი სიბრტყისგან, რომლებიც შეიცავს შესაბამისად 8 და 9 ვერტიკალურად ორიენტირებულ სცინტილატორებს (4 – 8 სმ. სიგანე, 1.5 – 2 სმ. სისქე). სცინტილატორების ორივე ბოლოზე მოთავსებულია ფოტოგამამრავლებლები, რომელთა საშუალებითაც ხდება ამპლიტუდებისა და დროის ინფორმაციის წაკითხვა. ჰოდოსკოპების სისტემის საშუალებით ხდება ენერგიის დანაკარგის გაზომვა. ასევე შესაძლებელია სხვადასხვა მთვლელებში მოხვედრილი ნაწილაკების ფრენის დროებს შორის სხვაობის გაგება. ენერგიის დანაკარგის სიზუსტე დაახლოებით 10%-ია, ხოლო დროის გარჩევის უნარიანობა 0.5 ნს.

### წინა დეტექტორის ფაზური სივრცე (Acceptance)

ჰორიზონტალური ფაზური სივრცის ის ნაწილი, რომელსაც გადაფარავს ANKE სპექტრომეტრი მოცემულია მე-6 ნახაზზე. მასზე კარგად არი გამოყოფილი  $dp$  დრეკადი რეაქცია, რომელსაც გამოვიყენებთ განათებულობისა (Luminosity) და პოლარიზაციის ( $P_z, P_{zz}$ ) გასაზომად და აგრეთვე დეტექტორის კალიბრებისთვის. ასევე ჩანს  ${}^3\text{He} dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$  რეაქციიდან, რომლისთვისაც ცნობილია რეაქციის ანალიზური უნარი  $T_{20}$  და ასევე გამოვიყენებთ დეიტრონის პოლარიმეტრიისთვის.



ნახაზი 6. ANKE სპექტრომეტრის პორიზონტალური ფაზური სივრცე

$T_{22}$  სიდიდის გასაზომად საჭიროა ნაწილაკების დეტექტირება 0-ისგან განსხვავებულ კუთხეებზე ( $0^\circ$ -ზე ნულის ტოლი ხდება). ამ მიზნისთვის შესაძლებელია D2 მაგნიტის ისე დაყენება, რომ დეტექტორმა გადაფაროს უფრო დიდი კუთხეები.

### სილიკონ ტელესკოპი (Silicon-detector telescope)

სილიკონური ტელესკოპი შედგება სამი სიბრტყისაგან და ჩამაგრებულია სამიზნის ვაკუუმურ კამერაში. ამ შეზღუდულ პირობებში მაქსიმალურად ეფექტური მუშაობისთვის, რათა მოხდეს ტრეკის აღდგენა, ნაწილაკების იდენტიფიკაცია და ენერჯის განსაზღვრა, არჩეულ იქნა სამი სიბრტყიანი დეტექტორი. ნაწილაკთა იდენტიფიკაციისთვის გამოიყენება  $\Delta E/E$  მეთოდი. ეს დეტექტორი შეიქმნა იმ რეაქციების შესასწავლად რომელშიც გამოიყენება ნეიტრონული სამიზნე. მისი ძირითადი დანიშნულებაა დაბალი კინეტიკური ენერჯის მქონე (2 MeV) სპექტატორული პროტონების დაფიქსირება,  $pd$ ,  $dp$  და  $dd$  რეაქციებში. ასევე შესაძლებელია  $dp$  დრეკადი რეაქციის ძალიან კარგი გამოყოფა, რაც საშუალებას იძლევა, ნაკადის განათებულობის და ვექტორული პოლარიზაციის გასაზომად.

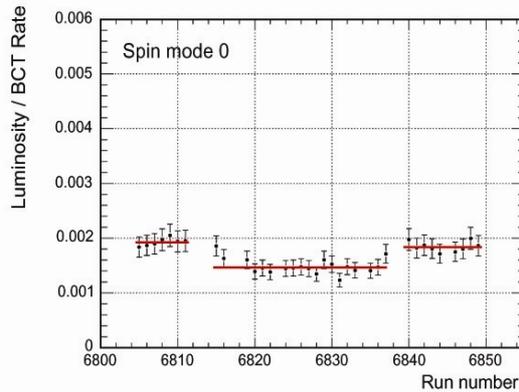
### 2003 წლის ნოემბრის მონაცემები

პირველი მონაცემების აღება მიმდინარეობდა დაახლოებით 60 საათის განმავლობაში, სადაც ხდებოდა ვერტიკალურად პოლარიზებული დეიტრონის წყალბადზე გაფანტვის რეაქციის დაკვირვება.

ექსპერიმენტის ძირითადი ტრიგერი (Tr1) რომელიც აფიქსირებდა ერთ ნაწილაკოვან ტრეკებს, გამოიყენებოდა პროტონების დასაფიქსირებლად. მეორე ტრიგერი (Tr2) მოდიოდა სილიკონ ტელესკოპიდან. მისი საშუალებით საკმაოდ ადვილდება კვაზი დრეკადი  $pp$  რეაქციის გამოყოფა, ვექტორული პოლარიზაციის გასაზომად. სპეციალური ტრიგერი (Tr3) რომელიც დამოკიდებული იყო ჰოდოსკოპში გამოყოფილ ენერჯიაზე და გვეხმარებოდა  $\bar{d}p \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$  რეაქციის ფონიდან გამოსაყოფად. ასევე გამოყენებული იყო Tr4 Scaler შემთხვევების წასაკითხად ყოველ 10 წამში. ყოველი ტრიგერისთვის გარდა Tr4-ისა იწერებოდა სრული ინფორმაცია ყველა დეტექტორიდან.

შემთხვევების რაოდენობის ნორმალიზაციისთვის გამოიყენებოდა BCT (Beam Current Monitor) სიგნალი, რომელიც წამოყვანილ იქნა EDDA დეტექტორული სისტემიდან. მე-7

ნახაზზე ნაჩვენებია L/BCT ფარდობის ყოფაქცევა ექსპერიმენტის განმავლობაში, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას სამიზნის შესახებ.



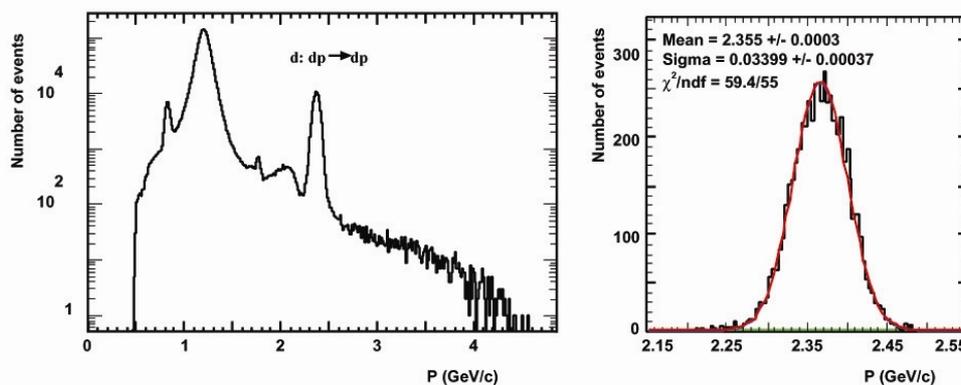
ნახაზი 7. ANKE სამიზნის 'ოსცილაცია' ექსპერიმენტის მიმდინარეობის დროს

## განათმეულობა (Luminosity)

### განათმეულობის გაზომვა $dp$ დრეკადი რეაქციიდან

ნაკადის განათმეულობის (Luminosity) გასაზომად გამოყენებული იყო, არაპოლარიზებული  $dp$  დრეკადი რეაქცია, რომლისთვისაც დიფერენციალური კვეთა ცნობილია Katayama *et al.*[1] მონაცემებიდან. ამ რეაქციას გააჩნია დიდი კვეთა და კარგად არის გამოყოფილი სხვა რეაქციებიდან რაც აადვილებდა მის იდენტიფიკაციას.  $dp$  დრეკადი პროცესის კუთხური არე, რომელიც ჩანს ANKE სპექტრომეტრში არის  $\theta_{lab} = 4^\circ - 10^\circ$ . სიმულაციებისთვის რათა გაგვეკეთებინა ფაზური სივრცის კორექტირება გამოყენებული იყო GEANT პროგრამა. კუთხური არე დავეყავით ერთ გრადუსიან ინტერვალებად და საიმედოობისთვის განათმეულობა განვსაზღვრეთ  $\theta_{lab} = 5.5^\circ - 9^\circ$  ინტერვალში.

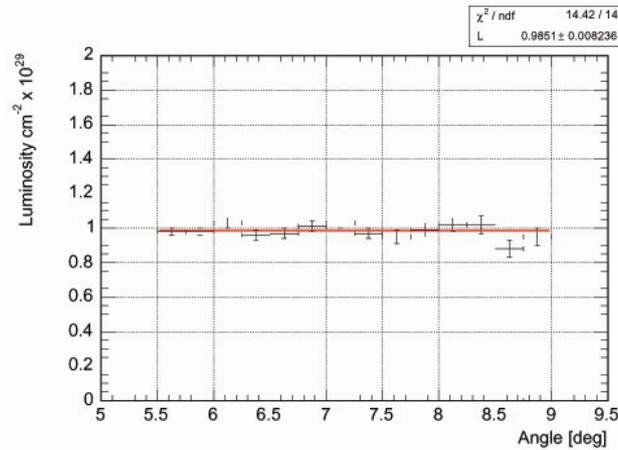
რეაქციის გამოსაყოფად გამოყენებულ იქნა ერთ ტრეკიანი შემთხვევები, რომელშიც კარგად ჩანს  $dp$  დრეკადი პროცესის პიკი. იგი კარგად არის გამოყოფილი სხვა პროცესებისგან რაც ადვილი შესამჩნევია მე-8 ნახაზზე.



ნახაზი 8. ერთტრეკიანი პროცესების იმპულსური განაწილება და  $dp$  დრეკადი პროცესის იდენტიფიკაცია

განათმეულობის განსაზღვრა ასევე შესაძლებელია  $pp$  კვაზი დრეკადი პროცესიდან, რომლისთვისაც საჭიროა სილიკონ ტელესკოპის მონაცემების დამუშავება. ეს მოგვცემს

შედეგის შემოწმების საშუალებას. მე-9 ნახაზზე ნაჩვენებია განათებულობის (Luminosity) კუთხური განაწილებიდან კარგად ჩანს, რომ მას აქვს წრფივი ხასიათი. რაც ამ მონაცემების სისწორის კიდევ ერთი დადასტურებაა.



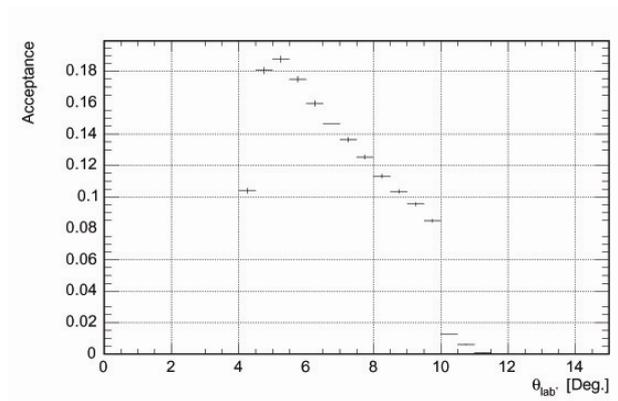
ნახაზი 9. განათებულობის (Luminosity) კუთხური განაწილება

### ფაზური სივრცის განსაზღვრა

ფაზური სივრცის დასათვლელად, როგორც ზემოთ ავლინებულ გამოყენებული იყო GEANT პროგრამა, რომელშიც მოდელირებულია D2 მაგნიტი და წინა დეტექტორული სისტემა (FD).  $dp$  დრეკადი პროცესების შემთხვევების გენერირება ხდებოდა  $\theta_{lab} = 0^\circ - 20^\circ$  და  $\phi = 0^\circ - 180^\circ$  კუთხურ ინტერვალში. თითოეულ შემთხვევაზე დადებული იყო შემდეგი პირობები:

- არცერთი ნაწილაკი არ ხდებოდა D2 მაგნიტის კონსტრუქციულ ნაწილს, განსაკუთრებით მაგნიტის წვეროებს.
- ყველა ნაწილაკი გამოდის სპეციალურ გამოსასვლელ ფანჯარიდან.
- თითოეული ნაწილაკი გადის პროპორციული კამერების მგრძობიარე არეში.
- ნაწილაკები კვეთენ ჰოდოსკოპების პირველ და მეორე სიბრტყეებს.

ამ პირობებით დათვლილი ფაზური სივრცის კუთხური განაწილება მოყვანილია მე-10 ნახაზზე.



ნახაზი 10. ფაზური სივრცის (Acceptance) კუთხური განაწილება

## პოლარიმეტრია

ჩვენს მიერ განხილული ექსპერიმენტი პირველია ANKE-ს ექსპერიმენტებს შორის, რომელშიც გამოყენებული იყო პოლარიზებული დეიტრონების ნაკადი. და როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ მისი ერთ-ერთი ძირითადი მიზანი გახლდათ ნაკადის პოლარიმეტრია. ექსპერიმენტის დროს ჩვენ გამოვიყენეთ ნაკადის ყველა შესაძლო ვექტორული და ტენზორული პოლარიზაცია, რის საშუალებასაც იძლეოდა წყარო, სულ 8 განსხვავებული მოდა. პირველი მოდა (Spin mode 0) იყო სრულიად არაპოლარიზებული, ხოლო დანარჩენი შვიდი ვექტორული და ტენზორული პოლარიზაციის სხვა და სხვა კომბინაცია. ასეთი მეთოდი საშუალებას იძლევა ასიმეტრია (ანუ პოლარიზაცია) გაიზომოს პოლარიზებული და არაპოლარიზებული ნაკადების შედარებით. პირველ ცხრილში მოყვანილია რვავე მოდისთვის დამახასიათებელი სიდიდეები და მათი მნიშვნელობები.

Spin mode	Pattern	$P_z$ ideal	$P_{zz}$ ideal	Intensity $I_0$	1 <sup>st</sup> 6pole	RFT1	2 <sup>nd</sup> 6pole	RFT2	RFT3	$m_l$
0	000	0	0	1	123	123	123	123	123	+1,0, -1
1	001	-2/3	0	1	123	123	123	123	432	-1, -1,0
2	010	+1/3	+1	1	123	123	123	163	163	+1,+1, -1
3	011	-1/3	-1	1	123	123	123	163	452	-1,0,0
4	100	+1/2	-1/2	2/3	123	125	12	12	12	+1,0
5	101	-1	+1	2/3	123	125	12	12	43	-1, -1
6	110	+1	+1	2/3	123	125	12	16	1	+1,+1
7	111	-1/2	-1/2	2/3	123	125	12	16	45	-1,0

ცხრილი 1. დეიტრონის ნაკადის პოლარიზაციის 8 შესაძლო კონფიგურაცია

პოლარიზებული ნაკადის დიფერენციალური კვეთა შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით

$$\frac{d\sigma^\dagger}{d\Omega}(\vartheta, \varphi) = \frac{d\sigma_0}{d\Omega}(\vartheta) \left\{ 1 + \frac{3}{2} P_z A_y(\vartheta) \cos \varphi + \frac{1}{4} P_{zz} [A_{yy}(\vartheta)(1 + \cos 2\varphi) + A_{xx}(\vartheta)(1 - \cos 2\varphi)] \right\} \quad (42)$$

სადაც  $P_z$  და  $P_{zz}$  ნაკადის ვექტორული და ტენზორული პოლარიზაციაა, ხოლო  $A$ -ები რეაქციის ანალიზური უნარი (Analysing power).

## EDDA ექსპერიმენტის შედეგები

ჩვენ ექსპერიმენტამდე ერთი კვირით ადრე, პოლარიზაციული გაზომვები ჩაატარა მეორე ექსპერიმენტმა EDDA. რომელიც პოლარიზაციისთვის იყენებდა  $dp$  დრეკად რეაქციას. მათ მიერ მიღებული შედეგები მოყვანილია მე-2 ცხრილში. მიღებული შედეგებიდან

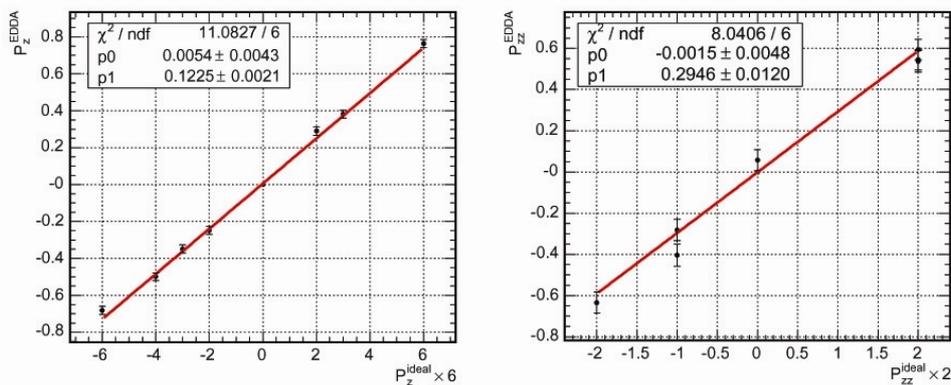
Mode	$P_z^{EDDA}$	$P_z^{ideal}$	$P_{zz}^{EDDA}$	$P_{zz}^{ideal}$
0	$0 \pm 0$	0	$0 \pm 0$	0
1	$-0.499 \pm 0.021$	-2/3	$0.057 \pm 0.051$	0
2	$0.290 \pm 0.023$	+1/3	$0.594 \pm 0.050$	+1
3	$-0.248 \pm 0.021$	-1/3	$-0.634 \pm 0.051$	-1
4	$0.381 \pm 0.021$	+1/2	$-0.282 \pm 0.052$	-1/2
5	$-0.682 \pm 0.022$	-1	$0.537 \pm 0.052$	+1
6	$0.764 \pm 0.022$	+1	$0.545 \pm 0.050$	+1
7	$-0.349 \pm 0.022$	-1/2	$-0.404 \pm 0.0$	-1/2

ცხრილი 2. EDDA ექსპერიმენტის მიერ გაზომილი ვექტორული და ტენზორული პოლარიზაცია

კარგად ჩანს, რომ ექსპერიმენტულად გაზომილი პოლარიზაციის შეფარდება პოლარიზაციის იდეალურ მნიშვნელობასთან (თეორიულად შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობა) ერთი და იგივეა ყველა მოდისთვის. მე-11 ნახაზზე მოცემულია გაზომილი მნიშვნელობების დამოკიდებულება იდეალურ მნიშვნელობაზე, რომელიც დაფიქტირებულია შემდეგი დამოკიდებულებით.

$$P_i = \alpha_i \times P_i^{ideal} \quad (43)$$

რომელიც ვექტორული და ტენზორული პოლარიზაციის კოეფიციენტებისთვის იძლევა შემდეგ მნიშვნელობებს  $\alpha_z^{EDDA} = 0.735 \pm 0.012$  და  $\alpha_{zz}^{EDDA} = 0.589 \pm 0.024$ . აქ შეცდომების განსაზღვრისას გათვალისწინებულია მხოლოდ სტატისტიკური ცდომილება.



ნახაზი 11. 43-ე ფორმულით გაკეთებული ფიტები EDDA ექსპერიმენტის შედეგებზე

### $dp \rightarrow dp$ რეაქცია ANKE სპექტრომეტრზე

ჩვენი ექსპერიმენტში ნაკადის იმპულსი, როგორც ზემოთ ავლინებთ იყო  $p_d = 2400 \text{ MeV}/c$ , რაც ტოლფასია ნაკადის შემდეგი ენერჯის  $T_d = 1170 \text{ MeV}$ . ამ ენერჯებზე  $dp$  დრეკადი რეაქცია პოლარიზებული დეიტრონის ნაკადით შესწავლილია ორი ექსპერიმენტზე (Saturne, Argonne) და საკმაოდ კარგი სიზუსტით არის გაზომილი ანალიზური უნარი. ეს გვაძლევს იმის უფლებას, რომ პოლარიზაციის შესწავლა დავიწყოთ სწორედ  $dp$  დრეკადი რეაქციის გამოყენებით. მე-3 ცხრილში მოყვანილია შემთხვევების საშუალო მნიშვნელობა ყველა სპინ მოდისთვის, რომელიც ნორმალიზებულია BCT სიგნალზე. მთელი კუთხური  $15^\circ < \theta^* < 35^\circ$  არე მასათა ცენტრის სისტემაში დაყოფილია ხუთ ნაწილად. EDDA-სგან განსხვავებით ANKE სპექტრომეტრს არ შეუძლია ყველა შესაძლო  $\phi$  კუთხით გამოფრენილი ნაწილაკების დაფიქსირება, ამიტომ კექტორული და ტენზორული კომპონენტების განსაცალკევებლად მიღებული რიცხვები დავაფიქტირეთ

$$N = N_0 [1 + \beta_z P_z^{ideal} + \beta_{zz} P_{zz}^{ideal}] \quad (44)$$

დამოკიდებულებით, საიდანაც მიღებული  $\beta_z$  და  $\beta_{zz}$  კოეფიციენტები ასევე მოცემულია მე-3 ცხრილში. მიღებული შედეგი კიდევ ერთხელ ადასტურებს EDDA-დან მიღებულ დასკვნას, რომ გაზომილი პოლარიზაცია იდეალური მნიშვნელობის პროპორციულია.

Range	Spin-mode	0	1	2	3	4	5	6	7
15-18°	Experiment	11109	14196	10134	12276	8783	15932	7502	13043
	Error	55	64	53	61	60	82	55	74
	Fit	11208	14061	10228	12187	8844	15935	7375	13124
18-21°	Experiment	10746	14007	9740	11802	8342	15782	7140	12649
	Error	54	64	52	60	58	82	54	72
	Fit	10839	13772	9911	11766	8369	15777	6977	12769
21-24°	Experiment	4221	5509	3852	4502	3129	6486	2828	5025
	Error	34	40	33	37	36	52	34	46
	Fit	4240	5472	3967	4512	3143	6432	2734	4992
24-27°	Experiment	2534	3363	2346	2580	1821	3870	1675	2926
	Error	26	31	26	28	27	40	26	35
	Fit	2513	3266	2400	2625	1816	3906	1647	2946
27-30°	Experiment	1258	1710	1263	1324	928	2001	919	1527
	Error	19	22	19	20	19	29	19	25
	Fit	1297	1673	1271	1323	935	2022	895	1499
30-35°	Experiment	1235	1651	1294	1206	888	1928	914	1398
	Error	18	22	19	19	19	29	19	24
	Fit	1247	1597	1275	1219	883	1976	925	1408

ცხრილი 3. ნორმალიზებული ექსპერიმენტული შემთხვევების რაოდენობები და 44-ე ფორმულით გაკეთებული ფიტის შედეგები სხვა და სხვა კუთხურ ინტერვალში, მასათა ცენტრის სისტემაში

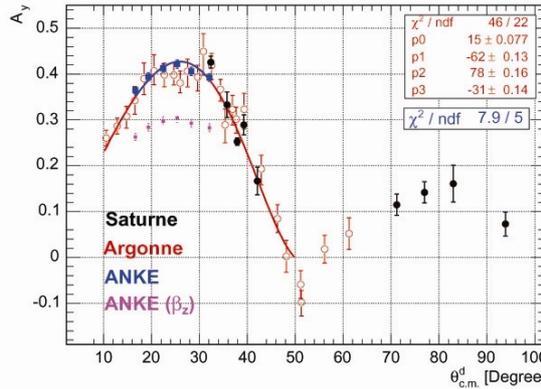
მე-12 ნახაზზე მოცემულია Argonne-ისა და Saturne-ის მიერ გაზომილი ანალიზური უნარი, რომელიც დაფიქტირებულია შემდეგი ფუნქციით:

$$A_y = \sin \theta^* (15.33 - 61.51 \cos \theta^* + 78.45 \cos^2 \theta^* - 30.92 \cos^3 \theta^*) \quad (45)$$

ნახაზზე ასევე ნაჩვენებია ჩვენს მიერ მიღებული  $\beta_z$ -ის მნიშვნელობები. პოლარიზაციის მისაღებად საკმარისია ეს წერტილები დავამთხვიოთ ექსპერიმენტულს  $\beta_z = 3/2 \alpha_z A_y < \cos \phi >$  დამოკიდებულების გათვალისწინებით და მივიღებთ

$$\alpha_z^{ANKE} = 0.73 \pm 0.02 \quad (46)$$

აქ გათვალისწინებულია მხოლოდ სტატისტიკური ცდომილება.



ნახაზი 12. Saturne-ის (●) და Argonne-ის (○) მიერ გაზომილი  $A_y$

სიტუაცია უფრო გართულებულია ტენზორული კომპონენტის განსაზღვრისას, რადგან როგორც ზემოთ ავლინშნეთ ჩვენი სპექტრომეტრს არ შეუძლია ყველა  $\phi$  კუთხით გამოფრენილი ნაწილაკების დაფიქსირება. მე-13 ნახაზზე ნაჩვენებია ამ რეაქციისთვის გაზომილი  $A_{xx}$  და  $A_{yy}$  ანალიზური უნარის ექსპერიმენტული წერტილები, რომლებიც დაფიქსირებულია შემდეგი ფორმულით

$$\begin{aligned} A_{yy} &= -50.51 + 178.6 \cos \theta^* - 203.1 \cos^2 \theta^* + 75.09 \cos^3 \theta^* \\ A_{xx} &= 77.19 - 282.7 \cos \theta^* + 331.5 \cos^2 \theta^* - 126.1 \cos^3 \theta^* \end{aligned} \quad (47)$$

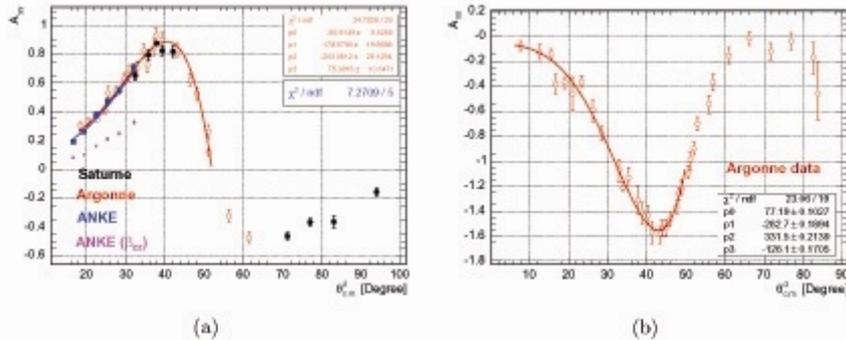
ტენზორული კომპონენტის განსაზღვრისას აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ ის ფაქტი რომ  $\theta^*$ -ს თითოეულ ბინში  $< \cos 2\phi >$ -ს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს. ამ მიზნით ჩვენს მიერ შემოტანილ იქნა  $CF$  (Correction Factor) კოეფიციენტი Argonne-ის მონაცემების გამოყენებით:

$$CF = \frac{2A_{yy}}{A_{yy}(1 + < \cos 2\phi >) + A_{xx}(1 - < \cos 2\phi >)} \quad (48)$$

მისი მნიშვნელობა იცვლება  $CF = 1.04 \div 1.27$  შუალედში. ნახაზზე ასევე ნაჩვენებია ჩვენს მიერ მიღებული  $\beta_{zz}$  და თუ მოვახდენთ ამ წერტილების ექსპერიმენტულ ფიტთან დამთხვევას მივიღებთ ტენზორული პოლარიზაციის კოეფიციენტს

$$\alpha_{zz}^{ANKE} = 0.49 \pm 0.02 \quad (49)$$

აქაც გათვალისწინებულია მხოლოდ სატატისტიკური ცდომილება, სისტემატიკური ცდომილება  $\alpha_{zz}$ -თვის უფრო მეტი იქნება ვიდრე  $\alpha_z$ -თვის, მაგრამ მიუხედავად ყველაფრისა ეს შედეგი 10–15%-ით ემთხვევა EDDA-ს მიერ მიბუღულ შედეგებს.



ნახაზი 13 Saturne-ის (●) და Argonne-ის (○) მიერ გაზომილი  $A_{yy}$  და  $A_{xx}$

### $np \rightarrow d\pi^0$ რეაქცია

ეს რეაქცია დაგვეხმარება ვექტორული პოლარიზაციის გაზომვაში. მისი გამოყოფისთვის ჩვენ ვაფიქსირებდით ორ ტრეკიან შემთხვევებს, რომელშიც ერთი იყო პროტონ-სპექტატორი ნაკადის ნახევარი იმპულსით და მეორე დეიტრონი. ANKE სპექტრომეტრი აფიქსირებს მაღალი  $p_d \approx 1.3 \text{ GeV}/c$  და დაბალი  $p_d \approx 0.8 \text{ GeV}/c$  იმპულსის დეიტრონებს, რომელიც შეესაბამება მასათა ცენტრის სისტემაში წინ და უკან გაფანტვას. ორ განზომილებიან იმპულსურ და ფრენის დროის ნახაზებზე კარგად ჩანს თუ როგორ მოხდა ამ რეაქციის იდენტიფიკაცია.

იზოსპინის შენახვიდან გამომდინარეობს რომ  $np \rightarrow d\pi^0$  და  $pp \rightarrow d\pi^+$  რეაქციის ანალიზური უნარი ერთი და იგივე იყოს. ასე რომ შეგვიძლია  $pp \rightarrow d\pi^+$  რეაქციის ანალიზური უნარის გამოყენება SAID-ის მონაცემთა ბაზიდან, რომელიც საკმაოდ კავი სიზუსტით არის გაზომილი. არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ ჩვენ ვზომავთ დეიტრონის და არა ნეიტრონის პოლარიზაციას.  $P_z^n = (1 - 3/2 P_d) P_z^d$  ეს არის ნუკლონის და ნეიტრონის პოლარიზაციებს შორის დამოკიდებულება, სადაც  $P_d$  არის დეიტრონის  $D$  მდგომარეობაში ყოფნის ალბათობა, რომელიც მით უფრო ნაკლებია, რაც მცირეა  $p_{sp}$  სპექტატორის იმპულსი. ამიტომ ჩვენს მიერ აღებულ იქნა მხოლოდ ის შემთხვევები სადაც სპექტატორის იმპულსი  $p_{sp} < 60 \text{ MeV}/c$ . აქ მოყვანილია მხოლოდ მაღალი იმპულსის დეიტრონების ანალიზი.

Zone	$\langle A_y \rangle$ (SAID)	Polar cut	Azimuthal cut	$\beta_z^{ANKE}$	$\alpha_z^{ANKE}$
1	0.269	$4^\circ < \theta_{lab} < 6^\circ$	none	$0.177 \pm 0.009$	$0.717 \pm 0.024$
2	0.191	$2^\circ < \theta_{lab} < 4^\circ$	$150^\circ <  \phi  < 180^\circ$	$0.130 \pm 0.012$	$0.720 \pm 0.066$
3	0.188	$2^\circ < \theta_{lab} < 4^\circ$	$120^\circ <  \phi  < 150^\circ$	$0.0710 \pm 0.0012$	$0.537 \pm 0.091$
4	0.170	$2^\circ < \theta_{lab} < 4^\circ$	$60^\circ <  \phi  < 120^\circ$	$-0.028 \pm 0.011$	–
5	0.084	$0^\circ < \theta_{lab} < 2^\circ$	none	$0.015 \pm 0.009$	–

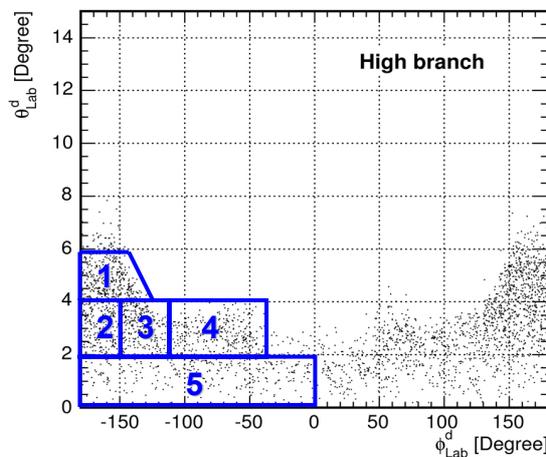
ცხრილი 5. ვექტორული პოლარიზაცია ხუთივე ზონისთვის

ვექტორული პოლარიზაციის გასაზომად მთელი ფაზური მოცულობა დაყვავით ხუთ ნაწილად. მე-5 ცხრილში მოყვანილია ხუთივე ზონა.

ეს რეაქცია რა თქმა უნდა მგრძობიარეა მხოლოდ ვექტორული პოლარიზაციის რადგან ნუკლონს არ გააჩნია ტენზორული პოლარიზაცია (სპინი 1/2). ცხრილში მოყვანილია ხუთივე ზონისთვის გაზომილი ასიმეტრია, მე-14 ნახაზიდან ჩანს, რომ მე-4 და მე-5 ზონებში ასიმეტრია  $\beta_z^{ANKE}$  არ უნდა გქონდეს რაც დასტურდება ჩვენს მიერ მიღებული შედეგებით (ცხრილი 5). მიღებული შედეგების გასაშუალოება ცლომილებების გათვალისწინებით გვაძლევს შემდეგ შედეგს

$$\alpha_z^{ANKE} = 0.70 \pm 0.03 \quad (50)$$

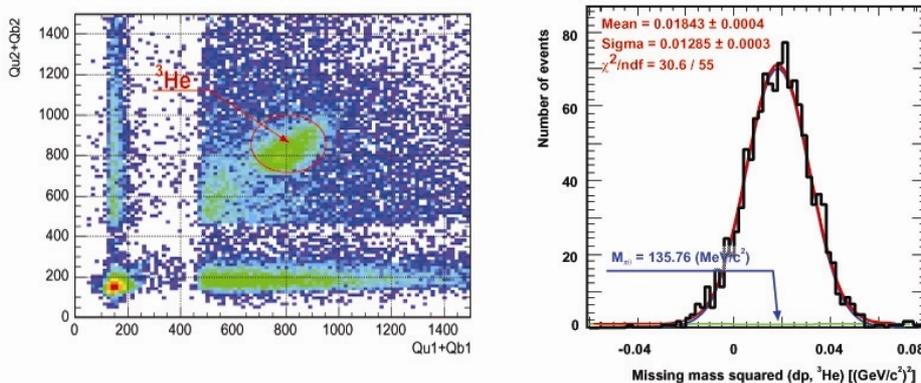
რაც კარგ თანხვედნაშია EDDA-ს მიერ მიღებულ შედეგთან.



ნახაზი 14. გაფანტვის  $\phi$  და  $\theta$  კუთხეების ერთმანეთზე დამოკიდებულება

### $dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ რეაქცია

ტენზორული პოლარიზაციის გაზომვისთვის ჩვენ გამოვიყენეთ  $\vec{dp} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$  რეაქცია. მისი იდენტიფიკაცია, რომლისთვისაც გამოყენებული იყო ერთ ტრეკიანი შემთხვევები მოყვანილია მე-15 ნახაზზე. თუ ჩავთვლით რომ დაფიქსირებული ნაწილაკია  ${}^3\text{He}$  და გარკვეულ პირობებს დავადებთ ჰოდოსკოპებში დაკარგულ ენერგიას აღდგენილი ნაწილაკის მასა, როგორც ნახაზიდან ჩანს ემთხვევა  $\pi^0$ -ის მასას.



ნახაზი 15.  $\vec{dp} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$  რეაქციის იდენტიფიკაცია

ამ რეაქციის ანალიზური უნარი გაზომილია Sacley ექსპერიმენტზე Kerboul *et al.* მიერ  $\theta^* = 0.3^\circ$  -ზე. ამიტომ კუთხური ინტერვალი დაყვავით ორ ნაწილად  $\cos\theta^* < -0.9995$  (ზონა 1) და  $-0.9995 < \cos\theta^* < 0.9995$  (ზონა 2), რომლებიც მოყვანილია მე-6 ცხრილში. როგორც მე-16 ნახაზიდან ჩანს მიღებული რიცხვები  $F_{zz}^{ideal}$ -ის წრფივი ფუნქციაა. ვექტორული კომპონენტის ეფექტის შესასწავლად გამოვიყენეთ ფორმულა 44. -ის ფიტიც რამაც პატარა კუთხეებზე მოგვცა ნული, ხოლო უფრო დიდ კუთხეებზე ნულისგან განსხვავებული სიდიდე, რაც ადასტურებს ჩვენი მონაცემების სისწორეს. პატარა კუთხის მონაცემების გამოყენებით ასიმეტრიისთვის მივიღებთ

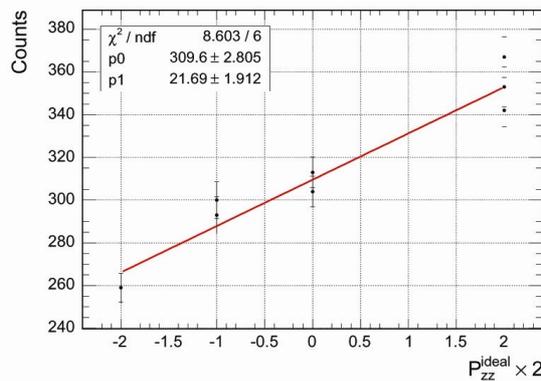
$$\beta_{zz} = 0.136 \pm 0.012 \quad (51)$$

და თუ გამოვიყენებთ Sacley-ზე გაზომილ ანალიზურ უნარს  $A_{yy} = 0.467 \pm 0.011$  პოლარიზაციის კოეფიციენტისთვის მივიღებთ შემდეგს:

	Mode	0	1	2	3	4	5	6	7
1	Expt	313 ± 7	304 ± 7	342 ± 8	259 ± 7	300 ± 9	353 ± 9	367 ± 10	293 ± 9
	Fit	312	307	356	267	294	347	361	287
2	Expt	1040 ± 13	1027 ± 13	1147 ± 14	933 ± 13	1043 ± 16	1180 ± 17	1233 ± 17	1004 ± 16
	Fit	1064	1045	1189	939	1020	1151	1208	992

ცხრილი 6.  $\vec{d}p \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ -ის BCT-ზე ნორმალიზებული შემთხვევები და ფიტის შედეგები

$$\alpha_{zz}^{ANKE} = 0.58 \pm 0.05 \quad (50)$$

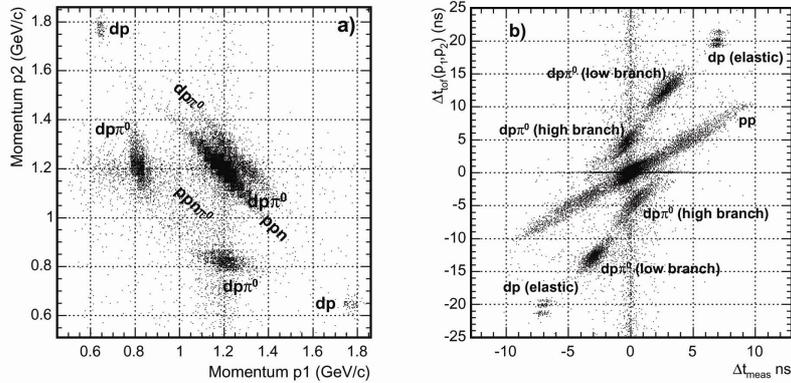


ნახაზი 16. მე-6 ცხრილში მოცემული შედეგების ფიტირება

### $dp \rightarrow (pp)n$ რეაქცია

ამ რეაქციის გამოყენებაც შესაძლებელია პოლარიზაციის გასაზომად. მისი ანალიზური უნარი შეიძლება ავიღოთ Bugg & Wilkin -ის თეორიული დათვლებიდან, რომლებიც ჩვენ ენერგიაზე საკმაოდ კარგად ეთანხმება ექსპერიმენტულ შედეგებს.

რეაქციის იდენტიფიკაციისთვის გამოყენებული იყო ორ ტრეკიანი შემთხვევები. მე-17 ნახაზზე ნაჩვენებია ნაკლები მასის განაწილება იმ დაშვებით, რომ ორივე ნაწილაკი არის პროტონი. როგორც ვხედავთ, შემთხვევების უმეტესობა კონცენტრირებულია ნეიტრონის მასის ირგვლივ. ფრენის დროებს შორის სხვაობაზე გარკვეული პირობის დადებით შესაძლებელია ამ რეაქციის გამოყოფა საკმაოდ დაბალი ფონით.



ნახაზი 17.  $dp \rightarrow (pp)n$  რეაქციის იდენტიფიკაცია

პირობები დადებული იყო ასევე ორ პროტონიანი სისტემის გამოფრენის კუთხეზე  $\theta_{pp} < 0.5^\circ$  და ალფზნების ენერგიაზე  $E_{pp} < 2 \text{ MeV}$ . მხოლოდ ამ პირობების დადებს შემდეგ გვაქვს ჩვენ უფლება გამოვიყენოთ თეორიულად ნაანგარიშები ანალიზური უნარი  $A_{yy} = -0.30 \pm 7\%$ .

Spin mode	0	1	2	3	4	5	6	7
Experiment	$299 \pm 3$	$309 \pm 3$	$277 \pm 3$	$320 \pm 3$	$314 \pm 3$	$279 \pm 3$	$284 \pm 3$	$317 \pm 3$
Fit	303	303	280	324	313	280	280	313

ცხრილი 7.  $dp \rightarrow (pp)n$  რეაქციის ჩო-ზე ნორმალიზებული ანათვლები და მათი ფიტის შედეგები

შემთხვევების ნორმალიზებული რაოდენობა მოცემულია მე-7 ცხრილში. ამ რიცხვების ფიტირების შემდეგ  $\beta_{zz} = -0.072 \pm 0.005$  და პოლარიზაციის კოეფიციენტისთვის მივიღებთ

$$\alpha_{zz}^{ANKE} = 0.48 \pm 0.05 \quad (51)$$

## დასკვნა

ჩვენს მიერ სხვადასხვა რეაქციებში გაზომილი ასიმეტრია, გვაძლევს იმის საშუალებას დავასკვნათ, რომ გაზომილი პოლარიზაციის შეფარდება იდეალურ მნიშვნელობასთან თითოეული სპინური მოდისთვის მუდმივი სიდიდეა. სხვადასხვა სპინური მოდების მიუხედავად, საბოლოო შედეგები შეიძლება ჩავწეროთ  $\alpha_z$  და  $\alpha_{zz}$ -ის საშუალებით. მათი მნიშვნელობები ყველა რეაქციისთვის მოყვანილია მე-8 ცხრილში. სადაც როგორ უკვე ავლინებთ არაა გათვალისწინებული სისტემატიკური ცლომილებები. ვექტორული

$$\alpha_z^{ANKE} = 0.72 \pm 0.02 \quad (52)$$

პოლარიზაციის საშუალო მნიშვნელობა ANKE-თვის. რაც საკმაოდ კარგ თანხმობაშია EDDA-ს მონაცემებთან, რასაც ვერ ვიტყვივით ტენზორულ კომპონენტზე, რომლისთვისაც საშუალო მნიშვნელობა

$$\alpha_{zz}^{ANKE} = 0.52 \pm 0.03 \quad (53)$$

ამ განსხვავებების ერთ-ერთი მიზეზი შეიძლება იყოს ენერჯის სხვაობა (30 MeV) ჩვენ და Argonne-ისა და Saturne-ის  $dp$ -დრეკად რეაქციაში. ასევე უნდა შესწავლილ იქნას ექსპერიმენტის სისტემატიკა, როგორც ANKE ასევე EDDA ექსპერიმენტისთვის.

სილიკონ ტელესკოპის მონაცემების დამუშავების შემდეგ შესაძლებელი გახდება განათებულობისა (Luminosity) და ვექტორული პოლარიზაციის კიდევ ერთხელ გაზომვა  $pp$  კვაზი დრეკადი რეაქციის გამოყენებით.

Reaction	Facility	$\alpha_z$	$\alpha_{zz}$
$\bar{d}p \rightarrow dp$	EDDA	$0.74 \pm 0.01$	$0.59 \pm 0.02$
$\bar{d}p \rightarrow dp$	ANKE	$0.73 \pm 0.02$	$0.49 \pm 0.02$
$\bar{d}p \rightarrow dp$	ANKE	$0.70 \pm 0.03$	—
$\bar{d}p \rightarrow dp$	ANKE	—	$0.58 \pm 0.05$
$\bar{d}p \rightarrow dp$	ANKE	—	$0.48 \pm 0.05$

რაც შეეხება მომავალ გეგმებს, ნათელია რომ 2005 წლისთვის დაგეგმილ ექსპერიმენტში პოლარიზაციის On-line რეჟიმში გასაზომად გამოვიყენებთ  $dp$  დრეკად რეაქციას ზუსტად Argonne-ისა და Saturne-ის ენერჯიებზე.

## ❧❧❧❧❧❧❧❧❧

- [1] C. Kerboul, Phys. Lett. 181B (1986) 28.
- [2] D.V. Bugg and C. Wilkin, Nucl. Phys. A467 (1987) 575.
- [3] A. Kacharava *et al.*, „The polarized charge-exchange reaction”, COSY Proposal #125.
- [3] N. Katayama *et al.* Nucl. Phys. A438 (1985) 685.
- [4] Segikuchi *et al.*, Phys. Rev. C **65** (2002) 034003.
- [5] J. Arvieux *et al.*, Nucl. Phys. A431 (1984) 613.
- [6] J. Arvieux *et al.*, Nucl. Instr. Meth. A273 (1988) 48.
- [7] M. Haji-Saied *et al.*, Phys. Rev. C **36** (1987) 2010.
- [8] V. Franco and R.J. Glauber, Phys. Rev. Lett. **22** (1969) 370.
- [10] SAID database.
- [11] F. Rathman *et al.*, Proc. of the 15<sup>th</sup> Int. Spin Physics Symposium, BNL, New York, 2002, AIP 0-7354-0136-5/03 (2003) 553.
- [12] B. Chiladze *et al.*, Part. Nucl., Lett **4** (2002) 95.
- [13] S. Dymov *et al.*, Part. Nucl., Lett. **2** (2004) 40.
- [14] V. Komarov *et al.*, Phys. Lett. B553 (2003) 179.
- [15] V. Glagolev *et al.*, VII Symposium on Spin Phenomena, Protvino, Sept.86, 1987, p.146 (JINR preprint P1-88-6)