

ნაწილაკთა ელექტრული დიპოლური მომენტის კვლევა და ნიკლონ-ნუკლონური დრეკადი გაბნევისა ამპლიტუდის ყოფაქცევის შესწავლა იულიხის COSY ამაჩქარებელზე

მირიან ტაბიძე (თსუ) & ნოდარ ლომიძე (თსუ მეფი)

თანაავტორები: მ.ნიორაძე (თსუ მეფი)
ა.კაჭარავა (თსუ მეფი, IKP, Juelich, Germany)
გ.მაჭარაშვილი (თსუ მეფი, JINR, Dubna, Russia)
დ.ჭილაძე (თსუ მეფი, IKP, Juelich, Germany)
დ.მჭედლიშვილი (თსუ მეფი, IKP, Juelich, Germany)
ზ. ბაღდასარიანი (თსუ დოქტორანტი)



ANKE & JEDI collaborations

ANKE (Apparatus **N**ucleon and **K**aon **E**jectiles)

JEDI (Juelich **E**lectric **D**ipole Moment **I**nvestigation)

BELARUS, BELGIUM, CHINA, **GEORGIA (HEPI TSU, GTU)**, GERMANY, ITALY, POLAND, RUSSIA, SWEDEN, UNITED KINGDOM, USA.

In total 39 institutes, 99 members



კვლევის საგანი

კვლევები მიმდინარეობს თსუ მეფი-ში **ANKE** და **JEDI** საერთაშორისო კოლაბორაციების ფარგლებში რუსთაველის სამეცნიერო ფონდის თანადაფინანსებით

- ნუკლონ-ნუკლონური (NN) დრეკადი გაბნევის ამპლიტუდის ყოფაქცევის შესწავლა (ხელმძღვანელი მ.ტაბიძე)
- ნაწილაკთა ელექტრული დიპოლური (ედმ) მომენტის ძიება (ხელმძღვანელი ნ.ლომიძე)

NN გაბნევა

NN გაბნევის ამპლიტუდის ყოფაქცევის ექსპერიმენტულ კვლევას საშუალო ენერგიებზე მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ბირთვული ძალების ბუნებისა და ზოგადად ძლიერი ურთიერთქმედების შესწავლაში, რადგან ამ ექსპერიმენტულ მონაცემებზეა დაფუძნებული მეზონების დაბადებისა და სხვა ბირთვული რეაქციების აღმწერი მოდელები.

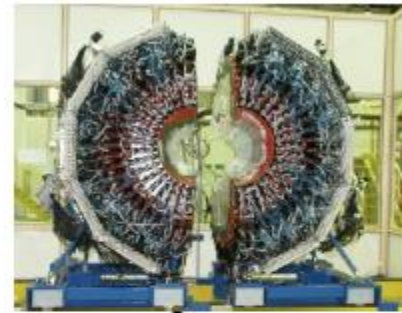
ე.წ. პარციალურ-ტალღური ანალიზი (PVA), რომელიც საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ გაბნევის ამპლიტუდა, საჭიროებს ზუსტად გაზომილ დამზერად სიდიდეთა მაქსიმალურად სრულ კრებულს. იულიხის ANKE/COSY ექსპერიმენტების ძირითადი მიზანს შეადგენს სწორედ მონაცემთა მსოფლიო ბაზის (SAID- ვაშინგტონის ჯგუფი) შევსება.

მოკლედ მოგახსენებთ ერთმაგად პოლარიზებულ pp დრეკადი გაბნევის ექსპერიმენტებში დიფერენციალური კვეთისა და ანალიზირების უნარის გაზომვის წინასწარ შედეგებზე სხვადასხვა ენერგიებზე.

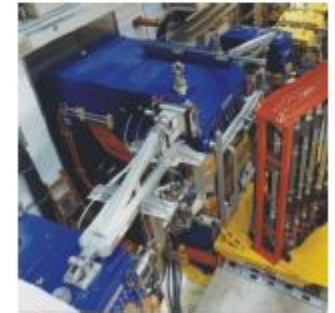
COSY facility



EDDA
polarimeter



WASA



ANKE



TOF

PAX



COSY:

Circumference: 183 m
Beam momentum: 0.3 - 3.7 GeV/c
Electron and stochastic cooling
Polarized proton and deuteron beams

DIFFERENTIAL CROSS SECTION FORM

Spin $\frac{1}{2}$ to spin $\frac{1}{2}$ case:

$$I(\theta, \phi) = I_0(\theta) [1 + p_y A_y(\theta)]$$

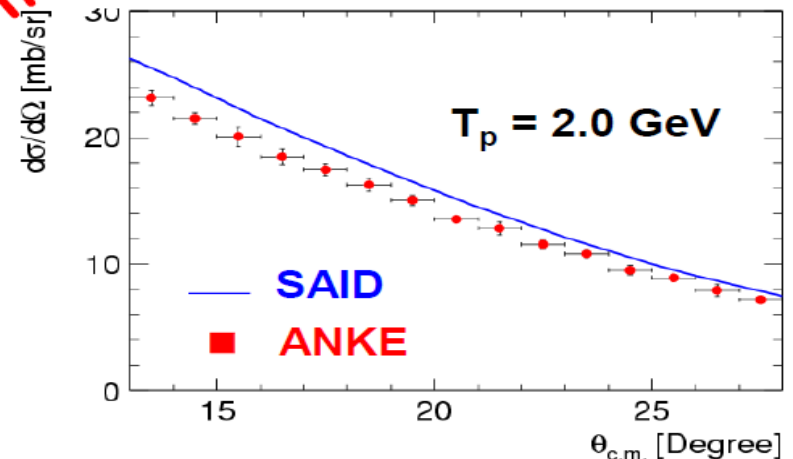
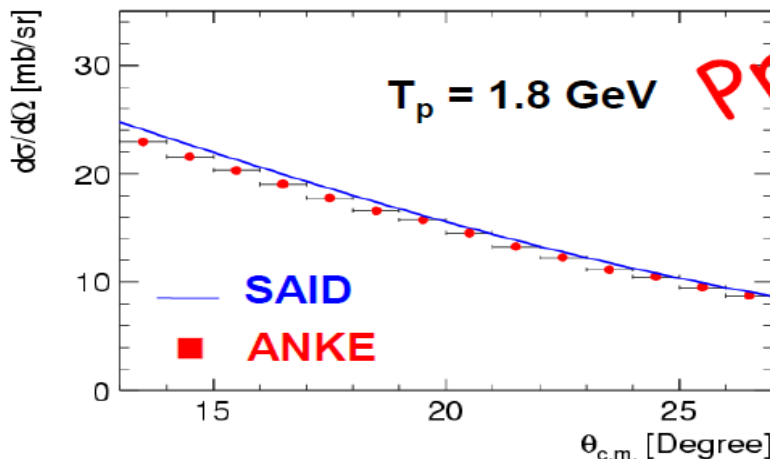
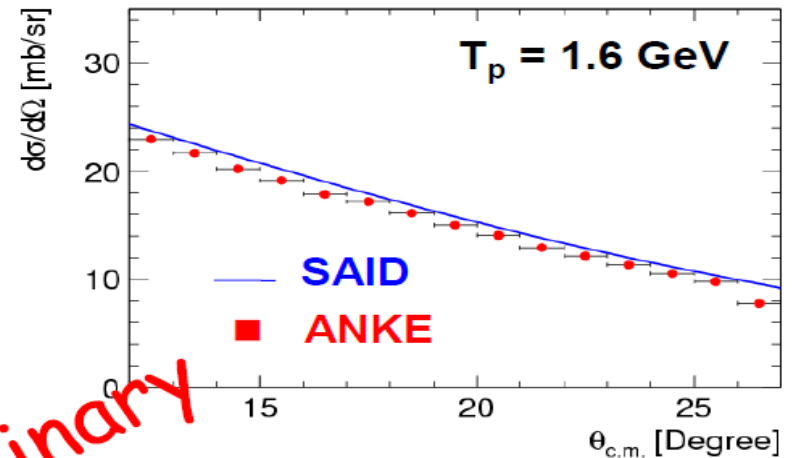
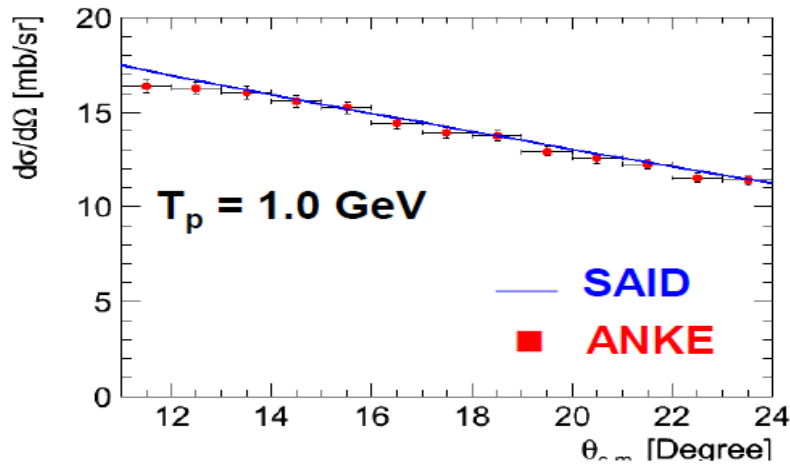
θ / ϕ – Polar/Azimuthal angle of scattered particle

P_y – beam polarization

A_y – analyzing power of reaction

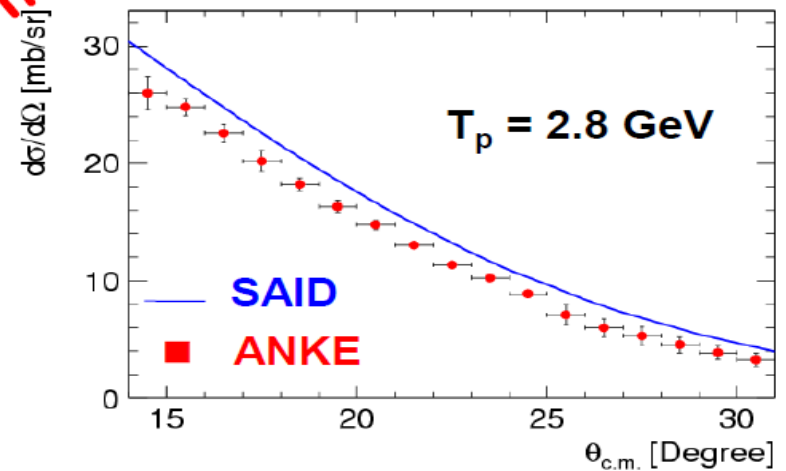
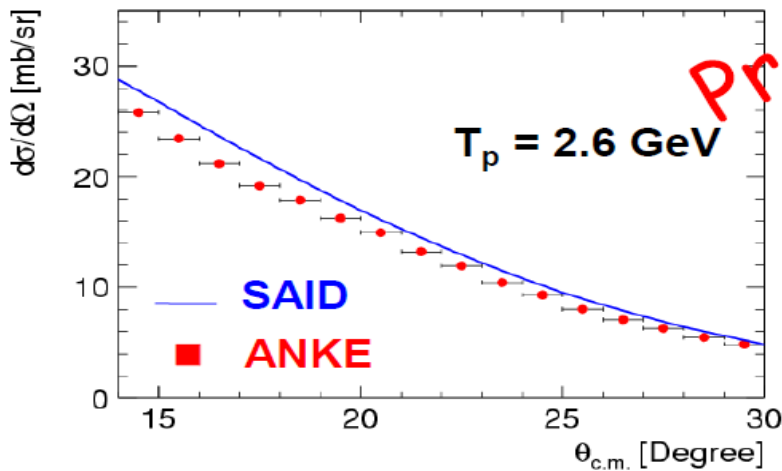
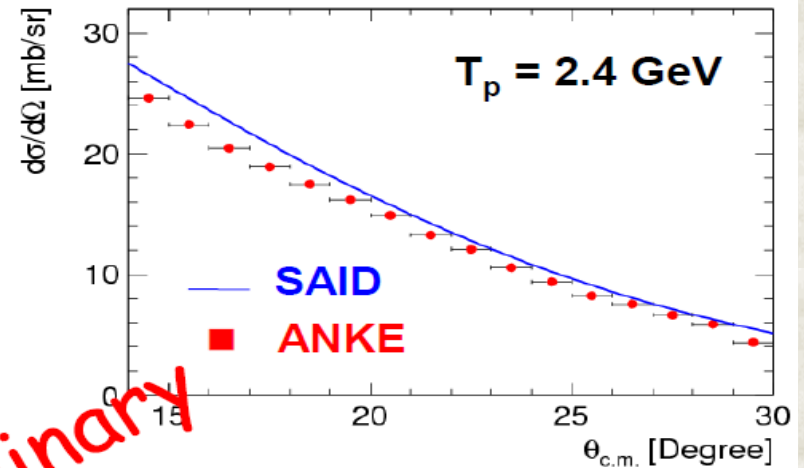
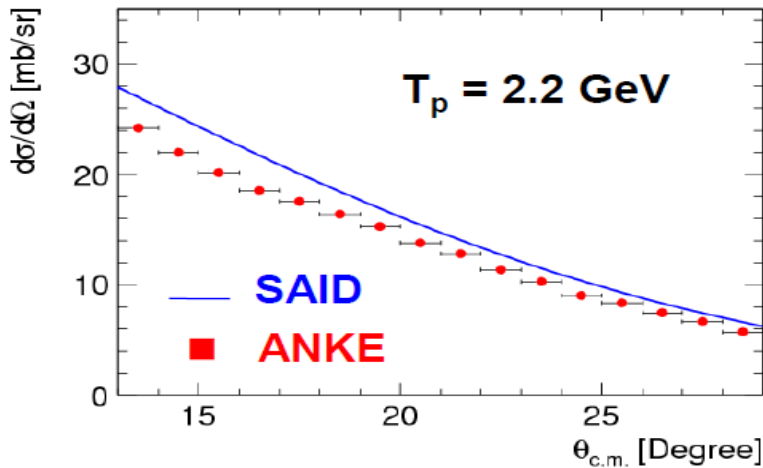
Mean of $\cos(\phi)$ in our case ~ 1 .

ABSOLUTE MEASUREMENT OF DIFFERENTIAL CROSS SECTION



Preliminary

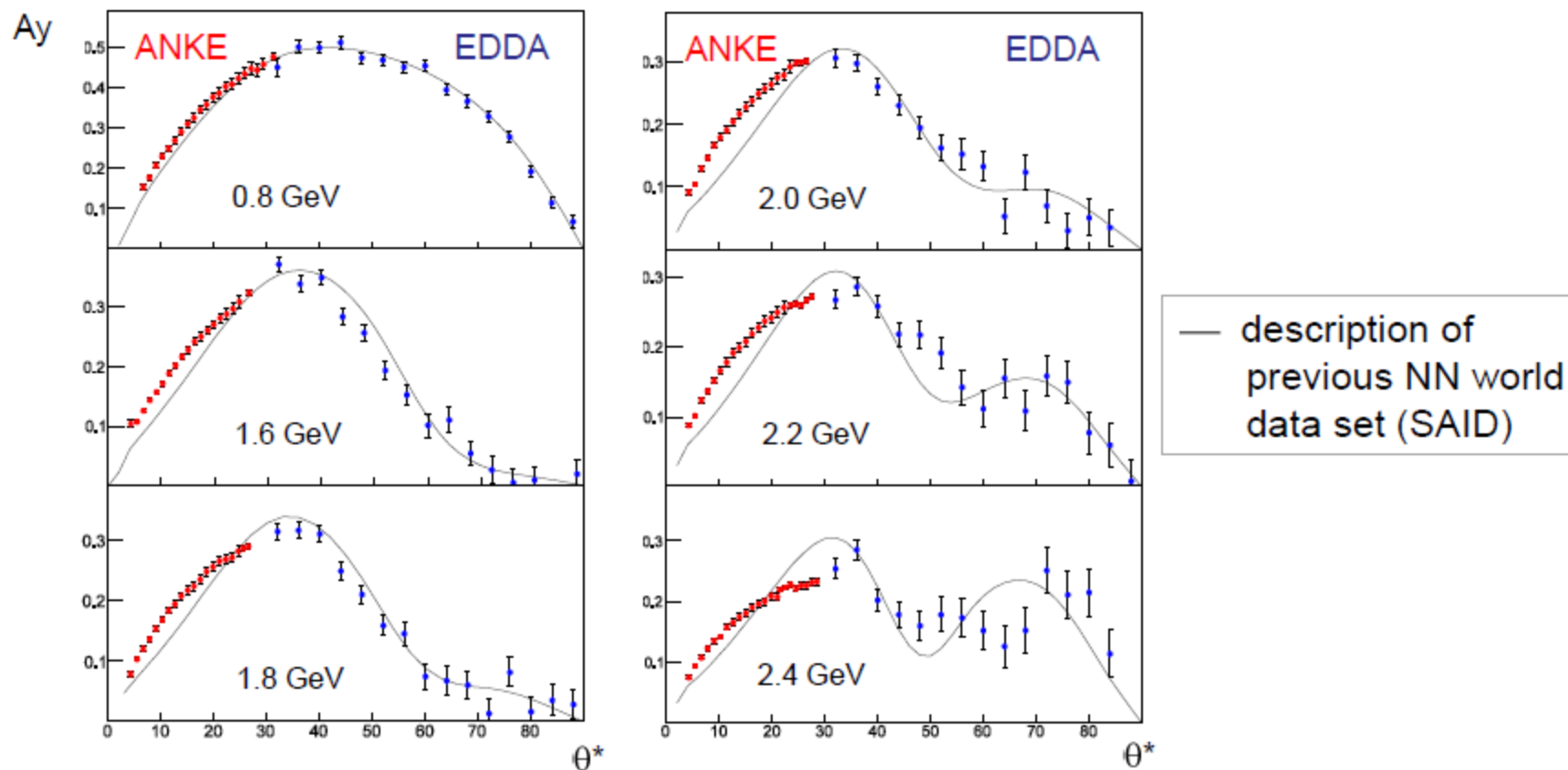
ABSOLUTE MEASUREMENT OF DIFFERENTIAL CROSS SECTION



Preliminary

Nucleon-nucleon (NN) scattering

Single polarized pp elastic: analyzing power A_y



- Recent precision ANKE data: great impact on NN phase shifts
- Fundamental quantities for nuclear physics
- Ongoing: double polarized measurements (np system)

PUBLICATIONS 2013

- D. Mchedlishvili *et al.* Eur. Phys. J. A 49, 49 (2013).
The neutron-proton charge-exchange amplitudes measured in the $dp \rightarrow ppn$ reaction.
- D. Mchedlishvili *et al.* Phys. Lett. B (2013).
Excitation of the $\Delta(1232)$ isobar in deuteron charge exchange on hydrogen at 1.6, 1.8, and 2.3 GeV
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2013.08.018>)
- V. Shmakova, D. Mchedlishvili *et al.* Phys. Lett. B (2013).
First measurements of spin correlations in the $\bar{n}\vec{p} \rightarrow d\pi^0$ reaction.

მასალებზე თსუ-ში დაცულია სადოქტორო დისერტაცია დავით მჭედლიშვილის მიერ (ხელმძღვანელი მირიან ტაბიძე).

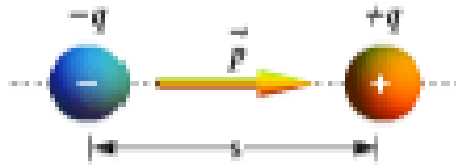
დასკვნა

- დამცემი პროტონის 6 ენერგიაზე დიფერენციალური კვეთა და ანალიზირების უნარები გაზომილია საკმაოდ მაღალი სიზუსტით.
- კვეთის შედეგები არის წინასწარი და საჭიროა შემდგომი ანალიზი სისტემატიკური შეცდომების შესაფასებლად.
- მიღებულმა შედეგებმა შასაძლებელია მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანოს NN პარციალურ-ტალღურ ანალიზში.

ედმ ძიება

მზარდი ინტერესი ფუნდამენტური ნაწილაკების ელექტრული დიპოლური მომენტის (ედმ) ექსპერიმენტული კვლევისადმი გამოწვეულია იმით, რომ მისი არანულოვანი მნიშვნელობა პირდაპირი დადასტურებაა ე.წ. CP-ინვარიანტობის დარღვევისა, რაც თავის მხრივ, ერთერთი აუცილებელი პირობაა დაკვირვებად სამყაროში არსებული ბარიონ-ანტიბარიონული ასიმეტრიის ასახსნელად. მართალია, სტანდარტული მოდელი უშვებს ასეთ დარღვევას, მაგრამ იგი იმდენად მცირეა, რომ საჭიროა დარღვევის ახალი, შედარებით ძლიერი წყაროს ძიება.

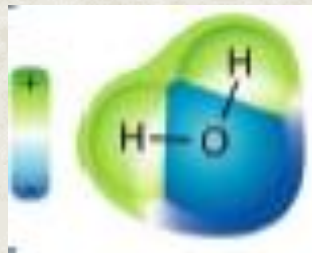
ედმ განმარტება



$$\vec{p} = q \cdot \vec{s}$$

მუხტების სივრცული სეპარაცია იწვევს სისტემის ედმ-ის წარმოქმნას

	Atomic physics
Charges	e
$ r_1 - r_2 $	10^{-8} cm
EDM (naive) exp.	10^{-6} e cm
observed	H ₂ O molecule $4 \cdot 10^{-9}$ e cm



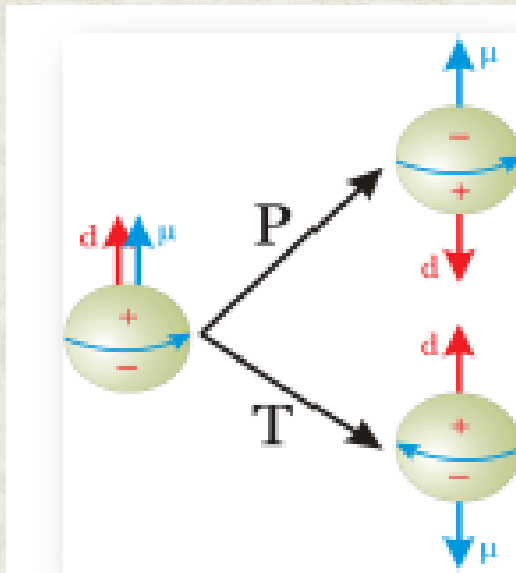
წყლის მოლეკულის ედმ

მოლეკულების ძირითადი მდგომარეობა გადაგვარებულია სივრცული ლუწობის მიხედვით.

ელემენტარული ნაწილაკების ედმ

მოლეკულებს გააჩნიათ „დიდი“ ედმ იმის გამო, რომ მათი ძირითადი მდგომარეობა **გადაგვარებულია** სივრცული ლუწობის მიხედვით

ელემენტარულ ნაწილაკებს (ადრონების ჩათვლით) გააჩნიათ **განსაზღვრული** ლუწობა ამიტომ მათთვის **აკრძალულია** არანულოვანი ედმ-ის არსებობა!!!!



$\vec{\mu}$

მაგნიტური მომენტი ორიენტირებულია სპინის ვექტორის მიხედვით

\vec{d}

ედმ-იც ორიენტირებულია სპინის ვექტორის მიხედვით (ა. სახაროვი)

დასკვნა: არანულოვანი პერმანენტული ედმ არღვევს P, T ე.ი. **CP ინვარიანტობას**

CP დარღვევა და ბარიოგენეზისი

სამყარო შედგება მატერიისაგან (არა ანტიმატერიისაგან):

$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} = 6 \times 10^{-10}$$

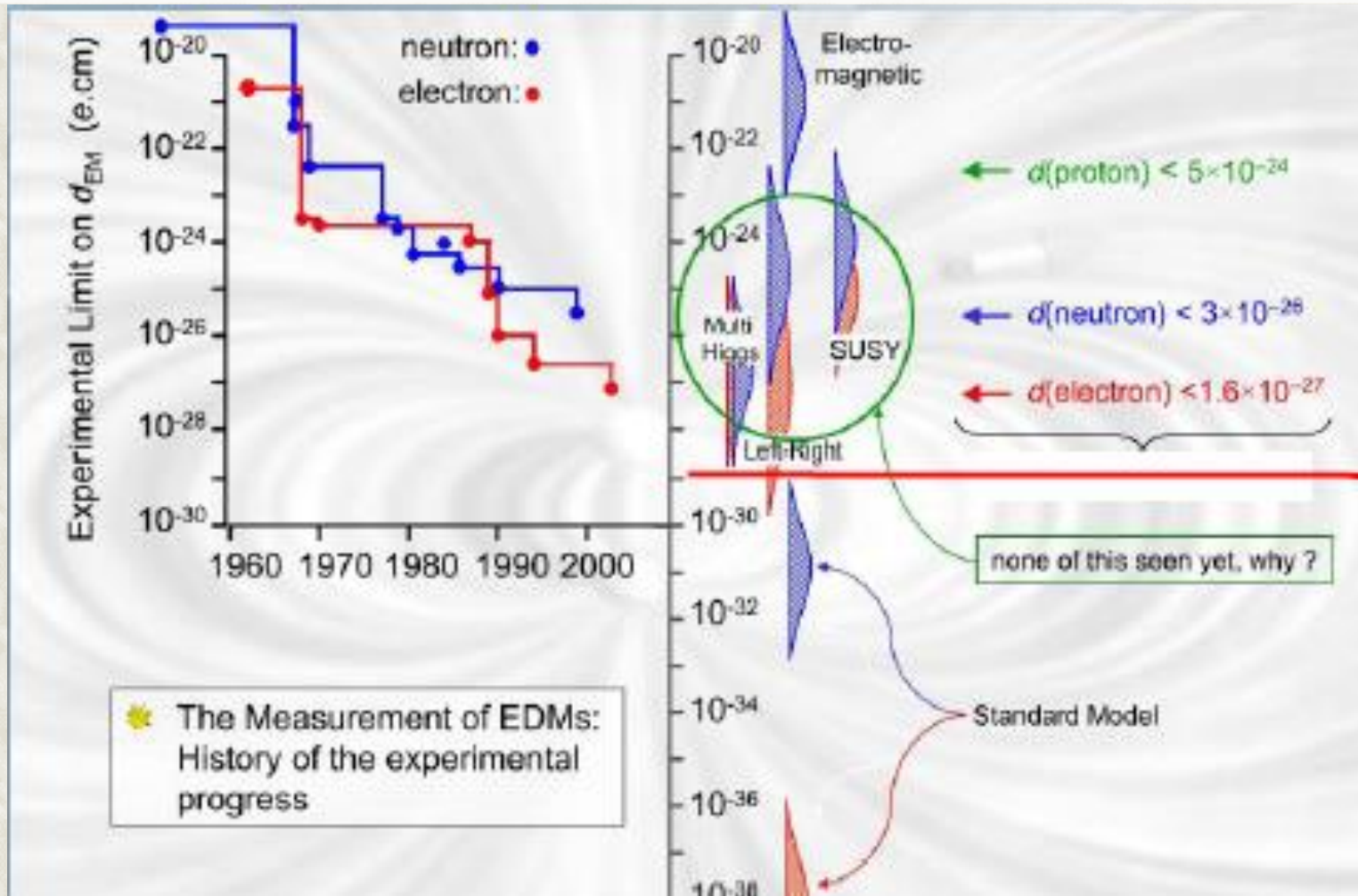
დიდი აფეთქების მომენტში მატერიისა და ანტიმატერიის რაოდენობა თანაბარი უნდა ყოფილიყო. როგორ გაჩნდა მატერიის ნამეტი?

ბარიოგენეზისის ა.სახაროვის პირობები (1967წ.):

1. ბარიონული რიცხვის შენახვის კანონის დარღვევა,
2. C და CP ლუწობის შენახვის კანონის დარღვევა,
3. თერმული წონასწორობის დარღვევა

SM-ში დაშვებულია CP ლუწობის დარღვევა 10^{-18} დონეზე, მაგრამ ეს არაა საკმარისი BG-ს ასახსნელად. ამიტომ საჭიროა დარღვევის ახალი გამოვლინების ძებნა - ედმ „ახალი“ ფიზიკა !!!!!!!

თეორიული წინასწარმეტყველებანი



ექსპერიმენტული სიძნელეები

ედმ-ის კვლევა ჯერჯერობით გულისხმობს მხოლოდ მისი ზედა ზღვარის შეფასებას

$$\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{\mu} \times \vec{B} + \vec{d} \times \vec{E}$$

ველი იწვევს დამუხტული ნაწილაკის აჩქარებას, ამიტომ კვლევა შემოსაზღვრულია ნეიტრალური სისტემებით (ნეიტრონი, ატომები).

ტრადიციული მეთოდი

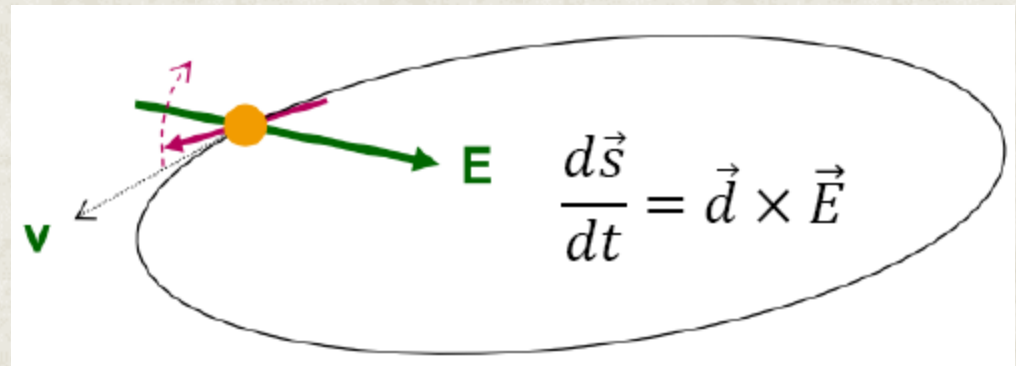
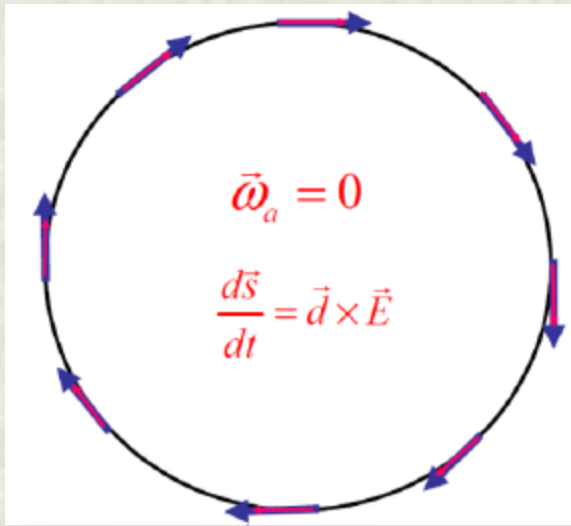


პირდაპირი გაზომვები ელექტრონის ან პროტონისათვის ჯერ არ არსებობს!

დამუხტული ნაწილაკების ედმ-ის გაზომვა დამაგროვებელი რგოლის გამოყენებით

F. J. M. FARLEY, K. JUNGSMANN, J. P. MILLER, W.M. MORSE, Y. F. ORLOV, B. L. ROBERTS, Y. K. SEMERTZIDIS, A. SILENKO, AND E. J. STEPHENSON, **PHYS. REV. LETT.** 93, 052001 (2004).

1. დამუხტული ნაწილაკები მოვათავსოთ **ელექტრულ** დამაგროვებელ რგოლში
2. სპინი მიმართული იყოს სიჩქარის ვექტორის გასწვრივ (და „გავეყინოთ“ **ჰორიზონტალური ბრუნვა**)
3. ვერტიკალური პოლარიზაციის დროზე დამოკიდებულების შესწავლა.



სპინის „გაყინვის“ მეთოდი

სპინის მოძრაობა ელ. და მაგნ. ველეებში აღიწერება **Thomas-BMT განტოლებით**:

$$\frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{s}$$

$$\vec{\Omega} = \frac{e\hbar}{mc} \left[G\vec{B} + \left(G - \frac{1}{\gamma^2 - 1} \right) \vec{v} \times \vec{E} + \frac{1}{2}\eta(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \right]$$

$$\vec{d} = \eta \frac{e\hbar}{2mc} \vec{S}, \quad \vec{\mu} = 2(G + 1) \frac{e\hbar}{2m} \vec{S}, \quad G = \frac{g - 2}{2}$$

არასასურველი წევრების (პრეცესიის) დახშობის 2 ვარიანტი:

- სუფთა ელ. ველის გამოყენება (მუშაობს მხოლოდ $G > 0$ (პროტონი +1.79) შემთხვევაში):

$$G - \frac{1}{\gamma^2 - 1} = 0 \quad 0.7 \text{ გეჰ}$$

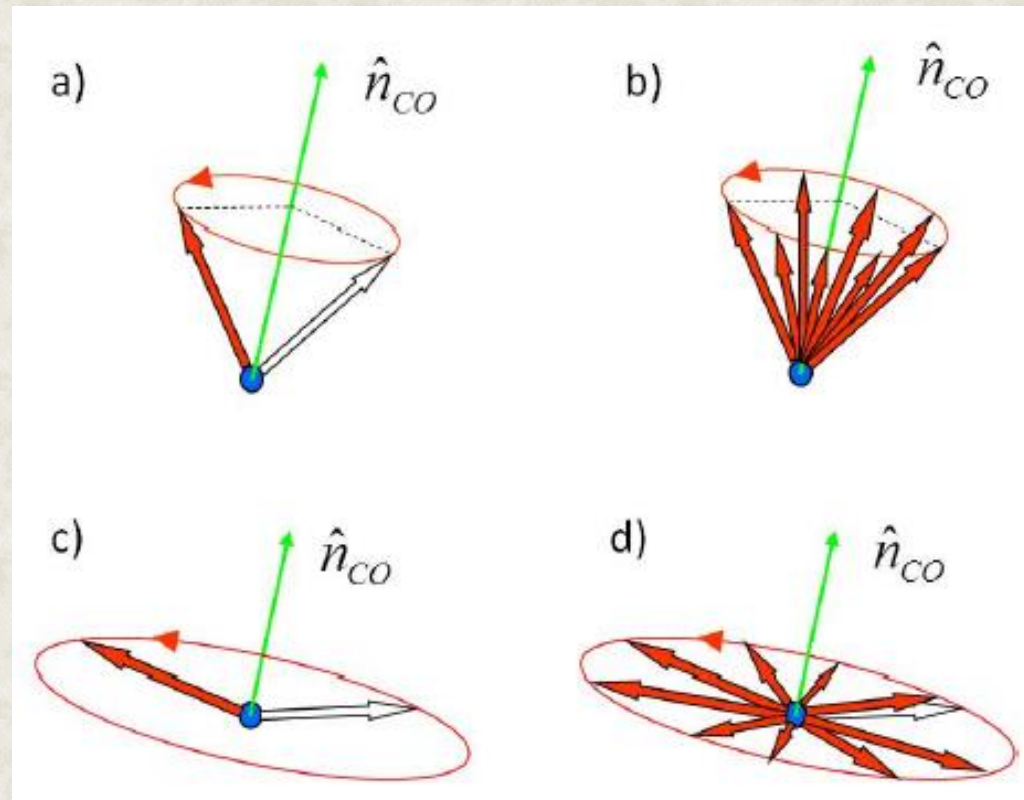
- კომბინირებული ელ. და მაგნ. ველეების გამოყენება (მუშაობს მხოლოდ $G < 0$ (დეიტრონი -0.14) შემთხვევაში):

$$-G\vec{B} + \left(G - \frac{1}{\gamma^2 - 1} \right) \vec{v} \times \vec{E} = 0$$

ექსპერიმენტული მოთხოვნები:

1. მაღალი მგრძობიარობა პოლარიზაციის მიმართ
2. სისტემატური ცდომილებების „მართვა“
3. ნაკადის გრძივი (ჰორიზონტალური) პოლარიზაცია შენარჩუნებული უნდა იქნას მინ. 1000წმ-ის განმავლობაში **{სპინური კოჰერენტულობის დრო}**
4. შენარჩუნებული უნდა იქნას პოლარიზაციის ვექტორის მიმართულება სიჩქარის ვექტორის გასწვრივ („სპინის გაყინვა“).
5. რაც შეიძლება დიდი დაძაბულობის მქონე ელექტრული ველის არსებობა
6. პროტონული ნაკადის პოზიციის მონიტორი < 10 ნმ

სპინური კოჰერენტულობის დრო (SCT)



სპინური დეკოჰერენციის მიზეზები

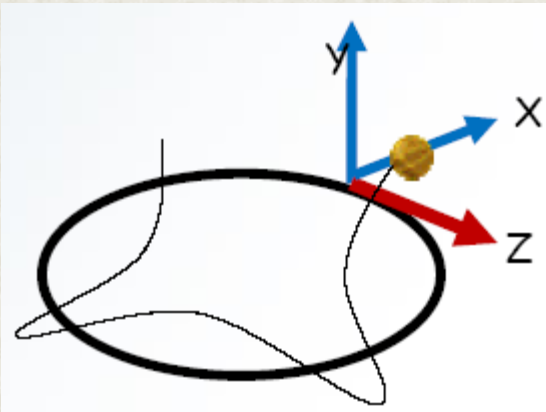
1. გასწვრივი ფაზური სივრცე (სინქროტრონული რხევები):

ნაკადის იმპულსური განშლადობა $\frac{\Delta p}{p} \neq 0 \rightarrow \frac{\Delta v_s}{v_s} \neq 0$

მაგ. $\frac{\Delta p}{p} \approx 10^{-4} \rightarrow \frac{\Delta v_s}{v_s} \approx 2.1 \times 10^{-5} \rightarrow \tau_{pol} = 63msec$

ამოხსნა: ბანჩირებული ნაკადის გამოყენება! P. Benati et al. Phys. Rev. ST, 049901 (2013)

2. განივი ფაზური სივრცე (ბეტატრონული რხევები):



ნაკადის ემიტანსი $\neq 0 \rightarrow$ ორბიტის დაგრძელება

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2}{4} \quad \text{მაგ.} \quad \vartheta = 1mrad \rightarrow \tau_{pol} = 9.9s$$

ამოხსნისათვის მიმდინარეობს კვლევა

სისტემატიკის მნიშვნელოვანი წყარო

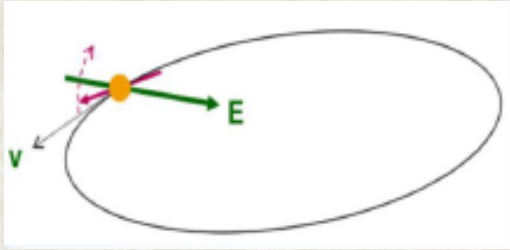
- რადიალური მაგნიტური ველი იწვევს ედმ-ის იმიტაციას:
თუ დავუშვებთ, რომ $d \sim 10^{-29} e \cdot cm$, $E = 10 MV / m$, $\mu B_r \approx dE_r$

ეს შეესაბამება მაგნიტურ ველს
$$B_r = \frac{dE_r}{\mu_N} \approx 3 \cdot 10^{-17} T$$

დედამიწის მაგნიტური ველი: $5 \cdot 10^{-5} T$

- ამოხსნა: გამოვიყენოთ ორი, რგოლში ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრავი ნაკადი (მიღებული შედეგების შედარება)

ედმ ეფექტის დამზერისათვის აუცილებელი დროის შეფასება



პოლარიზაციის ვექტორის ვერტიკალურ სიბრტყეში
მოძრუნების კუთხის მგრძნობიარობა “

$$\vartheta \approx 10^{-6} \text{ rad}$$

$$d \sim 10^{-29} e \cdot \text{cm}$$

$$E \sim 17 \text{ MV} / \text{m}$$

$$\vartheta_{EDM} = \frac{2dE}{\hbar} \sim 5(10^{-9} \text{ rad} / \text{s})t$$

$$1 \text{ turn} \sim 10^{-6} \text{ s}$$

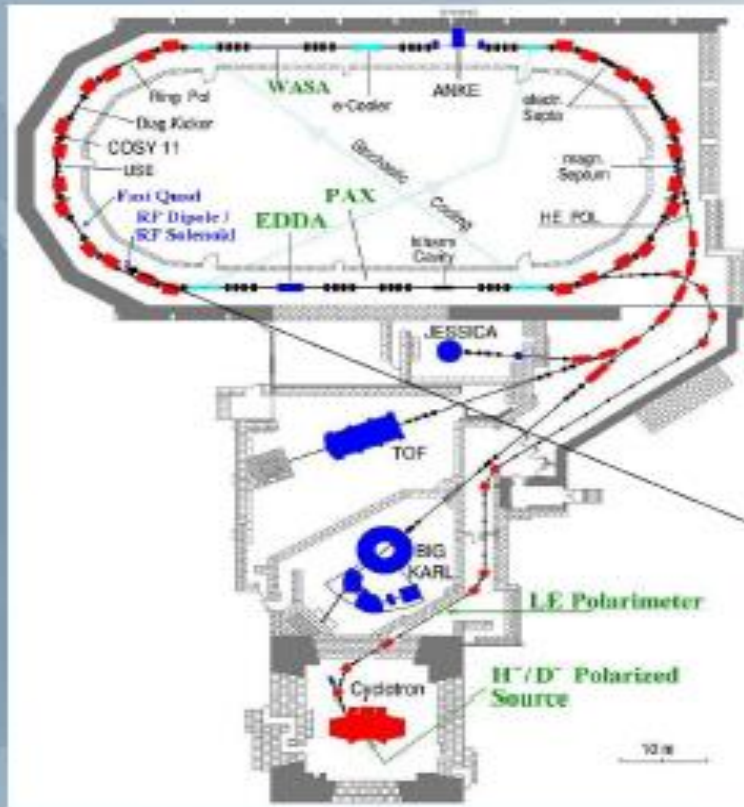
→

$$\vartheta_{EDM} \sim \frac{10^{-15} \text{ rad}}{\text{turn}}$$

10^9 ბრუნვა “ 1000 წმ SCT

COSY სინქროტრონი წინმსწრები ექსპერიმენტებისათვის

COoler SYNchrotron (FZ-Jülich, GERMANY)

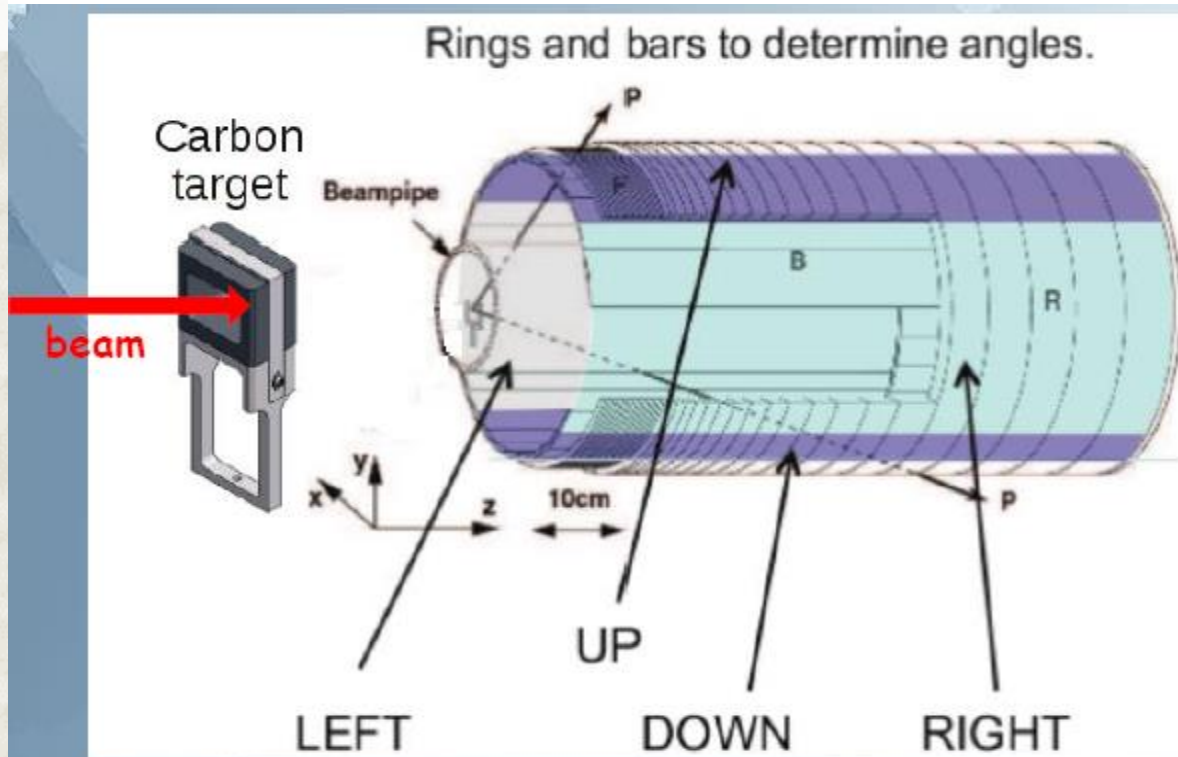


- Momentum: $< 3.7 \text{ GeV}/c$
- Circumference: 183 m
- Polarized proton and deuteron
- Beam polarimeter (EDDA detector)
- Instrumentation available for manipulation of
 - beam size (electron/stochastic cooling, white noise)
 - polarization (RF solenoid)



EDDA სპექტრომეტრი

EXPERIMENT DESIGN FOR DIFFERENTIAL ABUNDANCE ANALYSIS



ASYMMETRIES

$$\epsilon_V = \frac{L - R}{L + R} \propto p_V A_y$$

VERTICAL polarization

Analyzing power

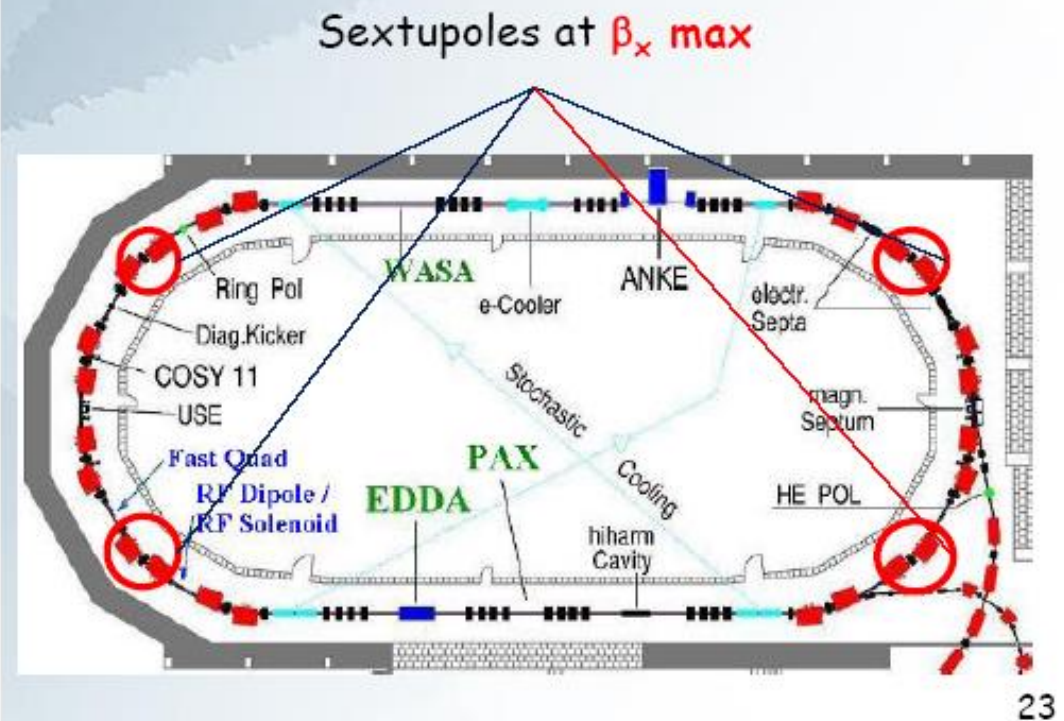
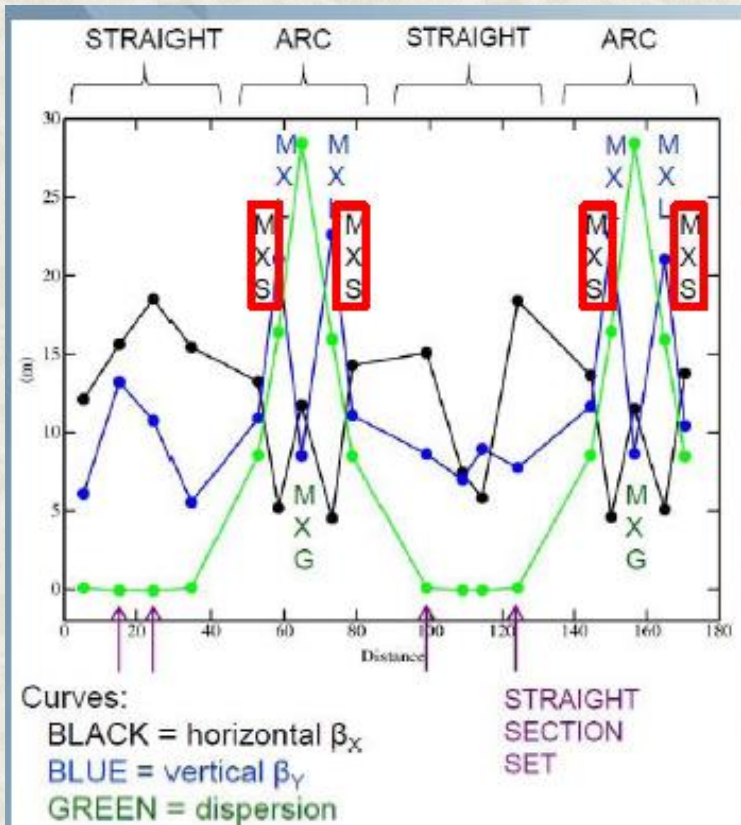
$$\epsilon_H = \frac{U - D}{U + D} \propto p_H A_x$$

HORIZONTAL polarization

Analyzing power

- Beam moves toward thick target → continuous extraction¹⁵
- Elastic scattering (large cross section for d-C)

მიღწეული შედეგები



23

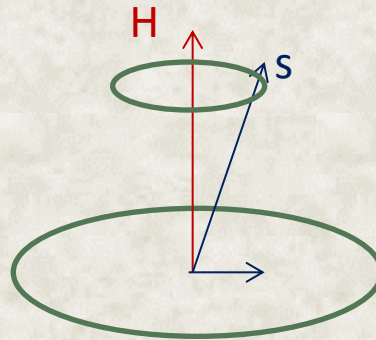
2013 წლის შედეგები

გამოკვლევული იქნა **SCT** და ე.წ. **სპინური რეგულატორი** $v_s = \gamma G$

10^9 deuterons

$p = 0.97 GeV / c$

$v_s = -0.16$



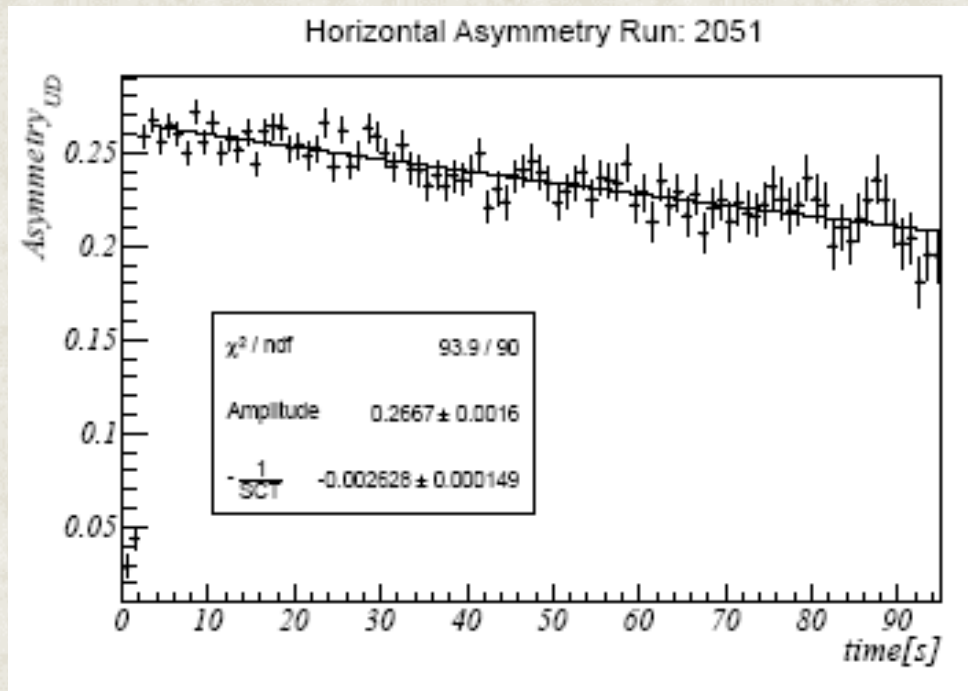
ვერტ. პოლარიზებული ნაკადი **RF** სოლენოიდის დახმარებით გადადის **ჰორ.**

$v_s f_{rev} (f_{rev} \approx 781 kHz)$

ამ სიხშირით იწყებს სპინი ბრუნვას
ჰორიზონტალურ სიბრტყეში

ჰორიზონტალური პოლარიზაციის შემცირება არის SCT-ის საზომი

2013 წლის შედეგები



EDDA

SCT \sim 400 s

$$A_{up,down}(t) = A_0 e^{-t/SCT} \sin(\nu_s f_{rev} t + \phi)$$

დასკვნა

- დღეისათვის არსებული ექსპერიმენტული შესაძლებლობები პრინციპში საშუალებას იძლევა მოხდეს ახალი ფიზიკის ზონდირება ედმ ექსპერიმენტის დახმარებით
- არსებობს ექსპერიმენტული გამოწვევები ედმ ექსპერიმენტის შესასრულებლად დამაგროვებელ რგოლში
- საჭიროა სპინური კოჰერენტულობის (SCT) დროის გაზრდა