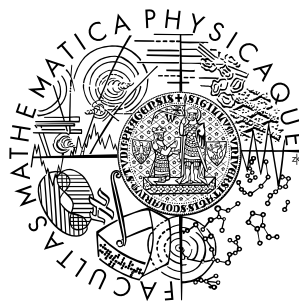


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Martin Kruták

Měření účinných průřezů neutronů v laboratoři VdG urychlovače

Ústav částicové a jaderné fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Zdeněk Doležal, Dr.,

Studijní program: Fyzika, FOF, obecná fyzika

2006

Rád by som poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce Zdeňkovi Doležalovi za všetku pomoc, rady a nápady, ktorými mi pomáhal či už pri vytváraní programu, fyzikálnych výpočtoch, rovnako aj písaní tejto práce, získavaní dát a potrebnej literatúry a za obrovskú trpezlivosť a priateľský prístup.

Moja vďaka smeruje aj Alexovi Tsvetkovovi za výraznú pomoc pri získavaní potrebných dát.

Ďakujem tiež mojim kolegom a priateľom, najmä Andrejovi Krutákovi za výraznú pomoc pri písaní programu a riešení softwarových úskalí a Miroslavovi Hospodárovi za poskytnutie svojho výkonného počítača pri odladovaní programu. Výrazne mi pomohol taktiež kolega Michal Ferov, ktorý mi v teoretickej časti pomáhal overovať správnosť výsledkov a chcem poďakovať takisto aj Branislavovi Dzurňákovi za podporu a záujem zamýšľať sa nad problémami, ktoré sa počas písania práce objavili.

Nakoniec by som rád poďakoval svojej mame a sestrám aj všetkým blízkym, že tolerovali môj stres a psychicky aj materiálne ma podporovali.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne

Martin Kruták

Obsah

1	Úvod	5
2	Experimentálne usporiadanie	6
2.1	Nákres aparatúry	6
2.2	Van de Graafov urýchľovač	7
2.3	Triciový terč $T(d,n)^4\text{He}$ reakcie	8
2.4	Kanál L3	8
2.5	Magnet	8
2.6	Detektor	8
3	Teória	10
3.1	Vstupné parametre, energetické rozdelenie	10
3.2	Odvodenie vzťahov	12
4	Simulácia procesov	15
4.1	Popis funkcie makra, popis dát	15
5	Diskusia výsledkov	17
5.1	Grafické znázornenie a diskusia výsledkov	17
6	Záver	22
	Literatura	23
7	Príloha	24

Název práce: Měření účinných průřezů neutronů v laboratoři VdG urychlovače

Autor: Martin Kruták

Katedra (ústav): Ústav částicové a jaderné fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Zdeněk Doležal, Dr.

e-mail vedoucího: Zdenek.Dolezal@mff.cuni.cz

Abstrakt: V prvej časti (2. kapitola) tejto práce popisujem zostavenie aparatúry pre detekciu α častíc vznikajúcich v reakcii $T(d,n)^4He$. Kinematika deuterónov a α častíc v študovanej časti aparatúry Van de Graafvoho urýchľovača je fyzikálne popísaná v druhej časti práce (3.kapitola). Tieto deje sme sa pokúsili počítačovo nasimulovať pomocou programu ROOT. Bol zostavený simulačný program, ktorý je popísaný v tretej časti práce (4.kapitola). Zároveň je tu popísaný spôsob práce tohto programu a jeho vstup a výstup. V záverečnej časti (5.kapitola) sa venujeme popisu výsledkov simulácie a ich porovnaniu s experimentálnymi výsledkami. Výsledky sú tu taktiegraficky znázornené.

Kľúčová slova: α častice, deuteróny, simulácia,

Title: Neutron cross-section measurement in VdG accelerator laboratory

Author: Martin Kruták

Department: Institute of particle and nuclear physics

Supervisor: RNDr. Zdeněk Doležal, Dr.

Supervisor's e-mail address: Zdenek.Dolezal@mff.cuni.cz

Abstract: In the first part (2nd chapter) of this thesis I describe set up of plant for detection of α particles originating in reaction $T(d,n)^4He$. Kinematics of deuterons and α particles in studied part of plant of Van de Graaf accelerator is physicaly describes in 2nd part of thesis (3rd chapter). We tried to simulate these processes with aplication ROOT. It was made up simulating program, which is described in 3rd part of thesis (4th chapter). In this chapter is described the way of work of this program and his input and output. In the last part (5th chapter) we are describing of results of simulation and comparing with experimental results. Results are also graphically superimposed.

Keywords: α particles, deuterons, simulation

Kapitola 1

Úvod

Jadrov'a fyzika od svojho zrodu pred vyše storočím postúpila už hodne ďaleko a priniesla mnoho úžitku. Aj napriek tomu známy tvar všetkých síl. Najmä silná interakcia aj po päťdesiatich rokoch štúdia odoláva pokusom uspokojivo ju teoreticky vysvetliť a popísať. K vyjasneniu tejto situácie prispieva prispieva svojimi experimentami aj laboratórium VdG urýchľovača a to sadou sadu meraní spinovo-závislých totálnych účinných prierezov np rozptylu. Pri týchto meraniach je dôležité okrem neutrónov detekovať aj α častice vznikajúce zároveň s nimi v reakcii $T(d,n)^4\text{He}$. S detekciou α častíc je však spojených viacero problémov - najmä prítomnosť nežiadúcich deuterónov, ktoré by bolo vhodné nejakým spôsobom potlačiť, čím by sa aj zvýšila presnosť meraní. Táto práca sa snaží dopomôcť riešeniu tohto problému.

Bolo dôležité sa najskôr oboznámiť s experimentálnou situáciou. Preto sa hneď prvá časť venuje popisu aparatury. Popis je zameraný hlavne na časť súvisiacu s detekciou α častíc.

Fyzikálny a teoretický popis tu prebiehajúcich procesov je zhrnutý v druhej časti. Tieto deje sme sa pokúsili softwarovo nasimulovať. Popis programov a ich funkcie je spracovaný v tretej časti.

Posledná časť sa venuje rozboru výsledkov a ich diskusii.

V prílohe je pripojený prepis makier použitých v tejto práci.

Kapitola 2

Experimentálne usporiadanie

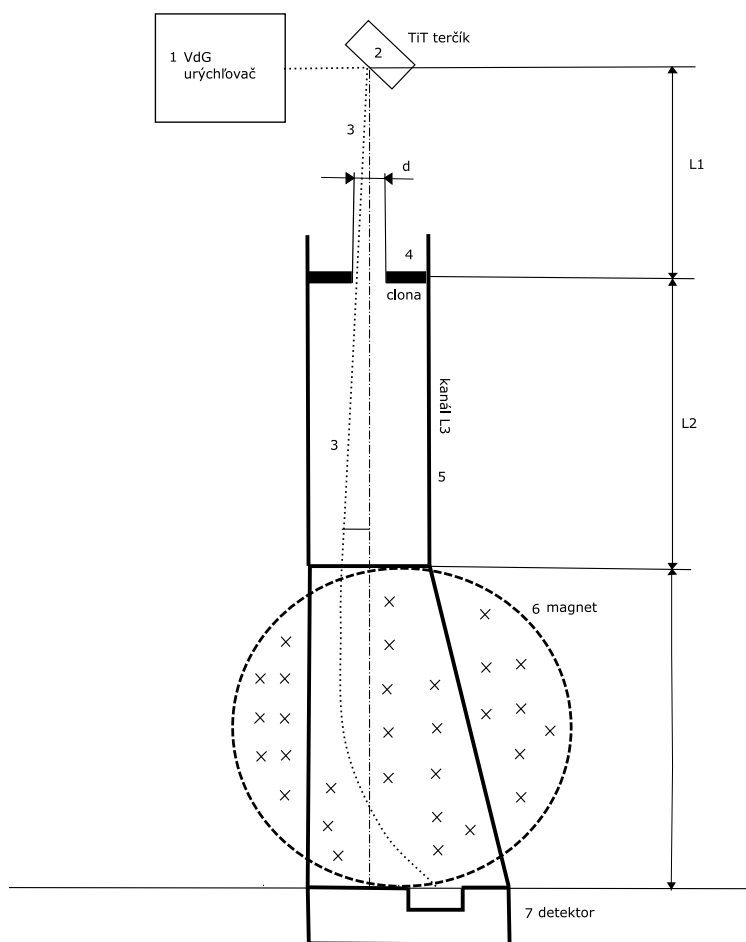
Na úvod popíšeme usporiadanie experimentu a oboznámime sa s jednotlivými aparatúrami a ich časťami.

2.1 Nákres aparatúry

Celá aparatúra je schematicky znázornená na obrázku 2.1. Veľkosti jednotlivých veličín¹ sú v tabuľke 2.1 v závere kapitoly.

1. Van de Graafov urýchľovač
2. Deuterónový zväzok
3. TiT terčik
4. Zväzok α častíc
5. Clony
6. Kanál L3
7. Magnet
8. Detektor

¹označenie jednotlivých veličín z obr. 2.1 a v tabuľke 1 bude platiť aj naďalej



Obrázok 2.1: Nákres experimentu

2.2 Van de Graaff urýchľovač

Primárny zväzok deutónov poskytuje Van de Graaff urýchľovač HV 2500 AN. Je schopný produkovať deutóny s energiou 0,5 až 2,5 MeV [2] (hoci je bežne používané 1,6 – 1,8 MeV [4]) a prúd 0,5 až $100\mu\text{A}$ [2] (väčšinou používaný prúd okolo $1\mu\text{A}$). Zväzok z urýchľovača prechádza iontovodom s veľmi vysokým vákuom (až 10^{-4} Pa). Vákuum je turbomolekulárnou pumpou. Polohu zväzku určujú dva páry slitov (clon)- horizontálne a vertikálne. Sú to elektródy vo zväzku, ktoré z neho zbierajú náboj. Ten sa monitoruje a jeho hodnota sa používaná v stabilizačnom systéme urýchľovača, aby sa

určila správna poloha zväzku. Slity sa musia chladiť destilovanou vodou.[4]

2.3 Tríciový terč $T(d,n)^4He$ reakcie

Na konci nášho experimentálneho kanála ústiaceho z urýchľovača sa nachádza tríciový terč. Je to pevný TiT a je natočený pod uhlom približne 45° . Skladá sa z vrstvičky TiT na molybdénovom podklade. Hrúbka terča je asi $2 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, čo znamená asi $2,5\cdot 10^{16}$ jadier na cm^2 . Podložka má hrúbku 1 mm. Priemer deuterónového zväzku na terči je asi 2 mm. Tríciový terč musí byť chladený vodou.[4].

Neutróny sú produkované v reakcii $T(d,n)^4He$. Neutróny, ktoré nás v ďalších meraniach a experimentoch zaujímajú vylietavajú len v určitom smere, ktorý môžeme vyselektovať nastavením polohy α detektora. Potom iba udalosti, ktoré budú v koincidencii s vybranými α časticami, budeme využívať ďalej.

2.4 Kanál L3

Kanál L3 vedie od priestoru terčička k magnetu. Jeho dĺžka je 19 cm. Na jeho začiatku sa nachádza clona s priemerom 3,2 mm.

2.5 Magnet

Veľký permanentný magnet vytvára za ústím kanála L3 magnetické pole o veľkosti 0,5 T. Pôsobením magnetického poľa sa dráha častíc zakrivuje v závislosti na ich hybnosti, resp. náboji. Jeho úlohou je predovšetkým zamedziť, aby sa k detektoru dostali častice s nízkou energiou - najmä deuteróny. Pomalé častice sú magnetickým poľom úplne odklonené a zväzok zvyšných častíc sa zakriví a rozšíri a dôjde k ich priestorovému rozdeleniu v závislosti na ich energii a náboji.

2.6 Detektor

Jedná sa o polovodičový povrchový bariérový detektor. Bol vyrobený na MFF UK. Jeho priemer je 10 mm.

Tabuľka 2.1: Geometria aparatury a vstupné parametre

vzdialenosť plochy terčika od clony	L1	45 mm
priemer deuterónového zväzku	d	2 mm
priemer clony	D	3,2 mm
vzdialenosť clony od ústia kanála L3	L2	19 cm
dĺžka magnetického poľa	L	10,4 cm
veľkosť magnetického poľa	B	0,5 T

Kapitola 3

Teória

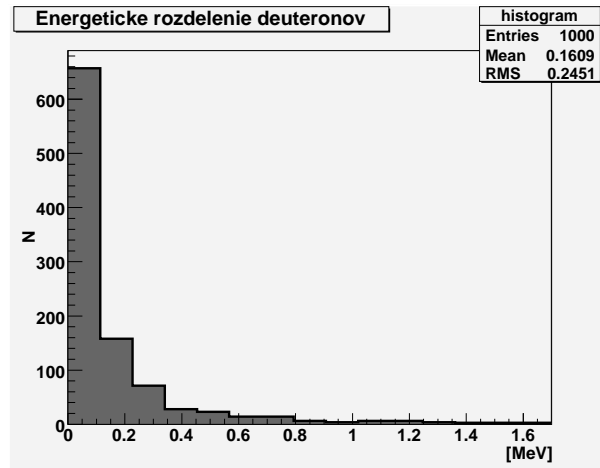
V tejto časti naznačíme teoretické výpočty odvodzujúce formalizmus popisujúci náš problém.

3.1 Vstupné parametre, energetické rozdelenie

Detektor zaznamenáva predovšetkým deuteróny, ktoré sa odrazili od terčika a častice α (práve tie sú stredobodom nášho záujmu) vzniknuté reakciou $T(d,n)^4He$. Energiu častíc α pohybujúcich sa smerom od terčika k detektoru budeme značiť T_{α} , v prípade deuterónov to bude T_{deut} .

Najprv sa budeme venovať energetickému rozdeleniu deuterónov. Predpokladáme, že deuteróny dopadajú na terč s energiou približne 1,65 MeV, kde buď zreagujú v reakcii $T(d,n)^4He$ za vzniku α a neutrónu alebo sa môžu rozptýliť, resp. odraziť od jadier Ti v terčíku. Deuterón sa takto môže odraziť viackrát a postupovať viac dovnútra telesa terča a odtiaľ sa po odraze môže znovu vracieť späť. Ionizáciou a nepružnými zrážkami strácajú deuteróny pri svojej ceste značnú časť energie. Preto energia takto odrazených deuterónov závisí predovšetkým na hĺbke do akej sa dostali. Rozdelenie deuterónov opúšťajúcich terč po tomto “odraze” podľa ich energie je na obrázku 3.1.

Rozdelenie α častíc v závislosti na energii bude od predošlého značne odlišné po kvantitatívnej aj kvalitatívnej stránke. Častica α vzniká súčasne s neutrónom v reakcii $T(d,n)^4He$. Energia tejto reakcie je $Q = 17,59 \text{ MeV}$



Obrázok 3.1: Energetické rozdelenie deuterónov

[3]. α častice vznikajúce pri tejto reakcii majú kinetickú energiu

$$T_{\alpha} = -0,2T_{deut} + 3,54 \quad (3.1)$$

kde obidve veličiny sú v MeV[5]. Nie všetky častice však vznikajú na povrchu. Častice vzniknuté hlbšie pod povrchom strácajú podobne ako deuteróny odrazené vnútri terča počas svojej cesty časť energie. Výsledné rozdelenie v závislosti na energii v prípade častíc α budeme uvažovať podľa obrázka 3.2

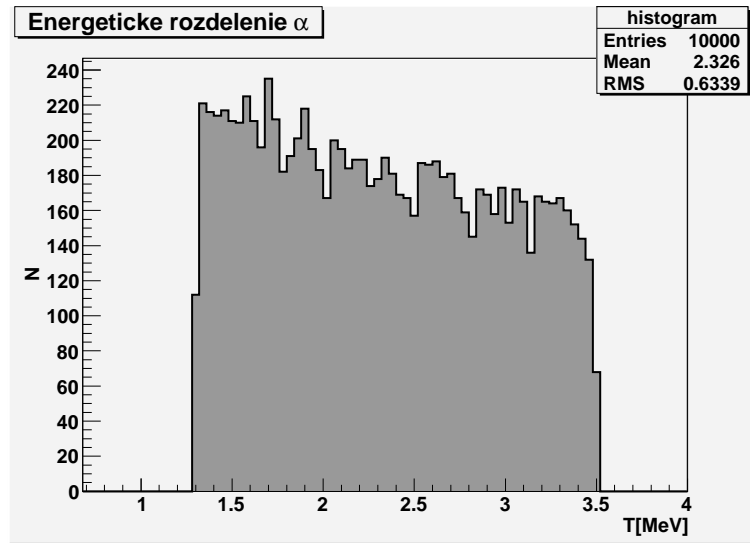
Častice (deuteróny aj α) vstupujú cez clonu do kanála L3 pod určitým uhlom ϑ_0 voči osi kanála. Veľkosť tohto uhla je obmedzená predovšetkým použitou clonou a platí pre ňu

$$\vartheta_{min} \leq \vartheta_0 \leq \vartheta_{max} \quad (3.2)$$

kde

$$\vartheta_{max} = \arctan \left(\frac{D + d}{2.L1} \right) \quad (3.3)$$

$$\vartheta_{min} = -\vartheta_{max} \approx 3,43^\circ \quad (3.4)$$



Obrázok 3.2: Energetické rozdelenie α častíc

3.2 Odvodenie vzťahov

Častice sú emitované z terčička v istej polohe x_0 , ktorá je vo vzdialenosti 0 až $d/2$ od osi. Ústím kanálu L3 budú potom vystupovať vo vzdialenosti

$$x_{00} = x_0 + (L1 + L2) \tan \vartheta_0 \quad (3.5)$$

Po tom ako častice vstúpia do magnetického poľa, začne na ne pôsobiť magnetická sila, ktorá mení smer ich pohybu. Častice sa začnú pohybovať po kružnici. Jej polomer určíme z rovnice

$$|\vec{F}_m| = |\vec{F}_d|, \quad (3.6)$$

kde \vec{F}_m je pôsobiaca magnetická sila a \vec{F}_d je dostredivá sila. Pre F_m platí

$$\vec{F}_m = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}), \quad (3.7)$$

co do veľkosti dáva

$$|\vec{F}_m| = Q \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin \alpha \quad (3.8)$$

kde Q je náboj častice, \vec{v} je jej rýchlosť, \vec{B} je magnetická indukcia poľa magnetu a α je uhol, ktorý zvierajú tieto dva vektory. Keďže sú navzájom

kolmé, potom sa vzťah 3.8 redukuje na tvar

$$|\vec{F}_m| = Q \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \quad (3.9)$$

Pre F_d máme známy vzorec

$$F_d = \frac{m \cdot v^2}{R}, \quad (3.10)$$

kde m je hmotnosť častice, v je veľkosť jej rýchlosti a R je polomer kružnice, po ktorej sa pohybuje. Dosadením 3.7 a 3.10 do 3.6 dostaneme pre R

$$R = \frac{m \cdot |\vec{v}|}{Q \cdot |\vec{B}|} = \frac{|\vec{p}|}{Q \cdot |\vec{B}|} = \frac{\sqrt{2mT}}{Q \cdot |\vec{B}|}, \quad (3.11)$$

kde \vec{p} je hybnosť častice a T je jej kinetická energia.

My ale potrebujeme určiť vzdialenosť dx od osi, v ktorej sa bude nachádzať častica po prechode magnetickým poľom až kým sa nedostane na úroveň detektora. Vzťah pre dx odvodíme z obrázka 3.3.

Z obrázka 3.3 vidíme, že

$$dx = d - c, \quad (3.12)$$

kde

$$d = R \cdot \cos \vartheta_0. \quad (3.13)$$

c určíme pomocou Pytagorovej vety (viď obr.3.3):

$$R^2 = b^2 + c^2 \quad (3.14)$$

a teda

$$c = \sqrt{R^2 - b^2}, \quad (3.15)$$

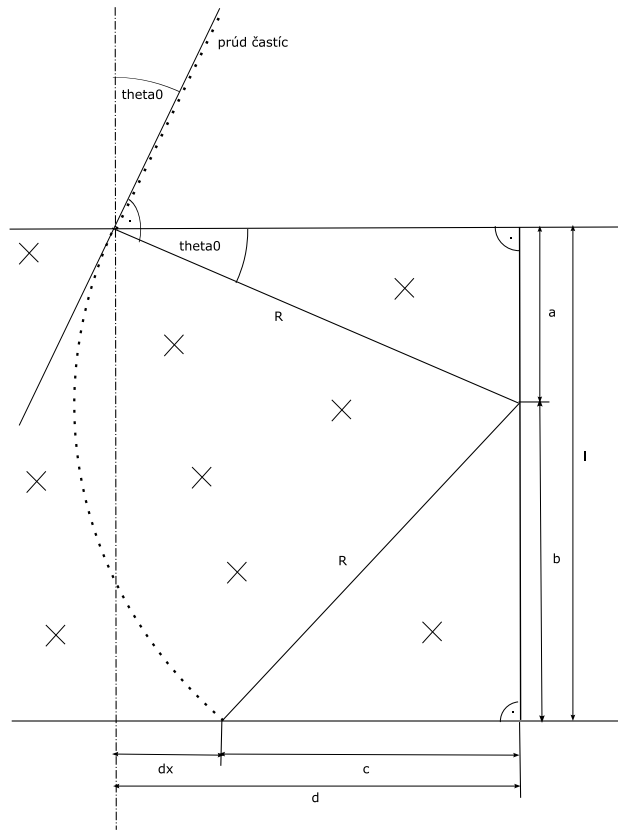
kde pre b platí

$$b = l - a = l - R \cdot \sin \vartheta_0. \quad (3.16)$$

Dosadením 3.13 a 3.15 do 3.12 dostávame

$$dx = R \cdot \cos \vartheta_0 - \sqrt{R^2 - [l - R \cdot \sin \vartheta_0]^2}. \quad (3.17)$$

Toto ale platí presne jedine v prípade, že častica prechádza ústím kanála $L3$ práve jeho osou. Treba ešte uvažovať korekcie, keď častica vystupuje mimo



Obrázok 3.3: Pohyb častice v magnetickom poli

tejto osi. Preto k dx musíme ešte pripočítať vzdialenosť x_0 z 3.5. Výsledný vzťah potom bude mať nasledovný tvar:

$$dx = x_0 + (L_1 + L_2) \tan \vartheta_0 + R \cdot \cos \vartheta_0 - \sqrt{R^2 - [l - R \cdot \sin \vartheta_0]^2}, \quad (3.18)$$

kde R závisí podľa vzťahu 3.11 na druhu častice (deuterón alebo α) a jej kinetickej energii.

$$dx = x_0 + (L_1 + L_2) \tan \vartheta_0 + \frac{\sqrt{2mT}}{Q \cdot |\vec{B}|} \cdot \cos \vartheta_0 - \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2mT}}{Q \cdot |\vec{B}|}\right)^2 - \left[l - \frac{\sqrt{2mT}}{Q \cdot |\vec{B}|} \cdot \sin \vartheta_0\right]^2} \quad (3.19)$$

Kapitola 4

Simulácia procesov

Procesy popísané v kapitole 3 sme sa pokúsili nasimulovať pomocou programu ROOT. Pri vytváraní simulácie sme vychádzali z užívateľskej príručky ROOT[1]

4.1 Popis funkcie makra, popis dát

Cela simulácia je rozdelená do troch súborov, z ktorých prvý `alfa.h` je hlavičkový a obsahuje predovšetkým deklarácie a definície premenných a funkcií, ktoré budú využívané v ďalších výpočtoch. Zároveň sú tu uvedené aj "jednotky", v ktorých sú hodnoty premenných reprezentujúcich veličiny uvádzané.

Program `generator.cpp` slúži na generovanie súborov častíc (α a deuterónov). Častice sú generované tak, aby ich rozdelenie podľa energie zodpovedalo rozdeleniam naznačeným na obrázkoch 3.1 a 3.2. Počet častíc jednotlivých typov je rozdielny - je možné ho zadať premennými `NumberofD` pre deuteróny a `NumberofA` pre α častice. Pre každú z nich je z náhodne vygenerovaných parametrov ϑ_0 , T (T_{alfa} alebo T_{deut}) a x_0 spočítaná vzdialenosť dx podľa vzorca 3.19. Informácia sa potom ukladá do n-tuplu `separ`. `separ` má teda tieto premenné:

- **part** - určuje typ častice, je rovná 1 pre deuteróny a 2 pre α častice
- **En** - určuje energiu častice v MeV
- **theta0** - určuje uhol ϑ_0 pohybu častice voči osi kanála L3
- **x0** - poloha v častice voči osi kanála L3 v momente, keď opúšťa terčik

- **pos** - poloha častice voči osi kanála L3 v rovine detektora (dx)

Po nabraní dát sa ntuple uloží so súboru `separ.root`.

Spracovanie nasimulovaných dát prebieha v programe `ntuple.cpp`. Tu sa vytvoria a z ntuplu `separ` naplnia viaceré histogramy, pomocou ktorých môžeme ďalej skúmať nasimulované dáta. Sú to tieto histogramy:

- **h_theta** - zobrazuje rozdelenie v závislosti na uhle ϑ_0
- **h_T_d** - rozdelenie deuterónov v závislosti na na ich energii
- **h_T_a** - rozdelenie α častíc v závislosti na ich energii
- **h_T_total** - energetické rozdelenie všetkých častíc (aj deuteróny aj α)
- **h_x_d** - rozdelenie deuterónov v závislosti na ich polohe dx
- **h_x_a** - rozdelenie častíc α v závislosti polohe dx
- **h_x_1** - rozdelenie všetkých častíc (aj deuteróny aj α) podľa ich polohy dx
- **h2Enpos** - dvojrozmerný histogram zobrazujúci závislosť počtu častíc na ich energii a polohe dx .

Zároveň s histogramami sú v tomto programe vytvorené aj štyri grafy, z ktorých druhý a tretí (s názvami *Nalfa* a *Ndeut*) zobrazujú v podstate rovnaké závislosti ako histogramy *h_T_a* a *h_T_d*, kde body predstavujú počet prvkov v každom bine daného histogramu. Príslušné chyby boli brané ako $\sigma = \sqrt{N}$, kde N je výška binu.

V ďalších dvoch grafoch sú vynesené závislosti funkcií $f(i) = \frac{N_\alpha}{N_\alpha + N_{deut}}$ a $g(i) = \frac{N_\alpha}{N_{deut}}$, kde i je poradie binu v histograme *h_x_a* resp. *h_x_d*, N_α je výška binu i v *h_x_a*, N_{deut} je výška binu i v *h_x_d*.

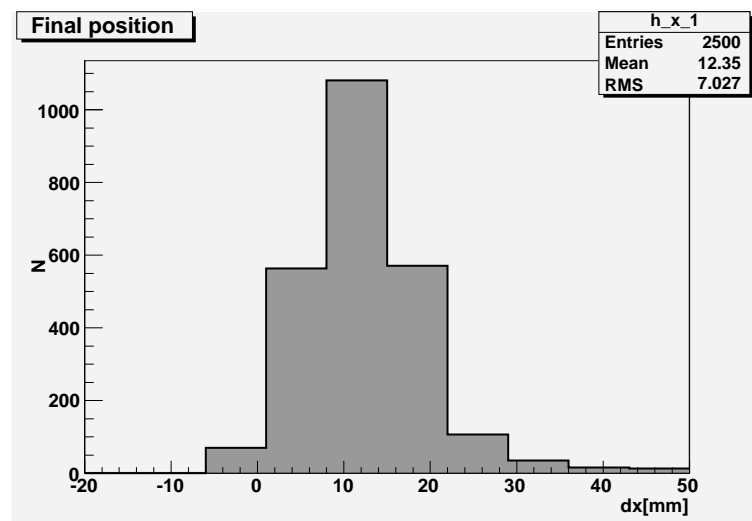
Histogramy a grafy sú znázornené v kapitole 5.

Kapitola 5

Diskusia výsledkov

5.1 Grafické znázornenie a diskusia výsledkov

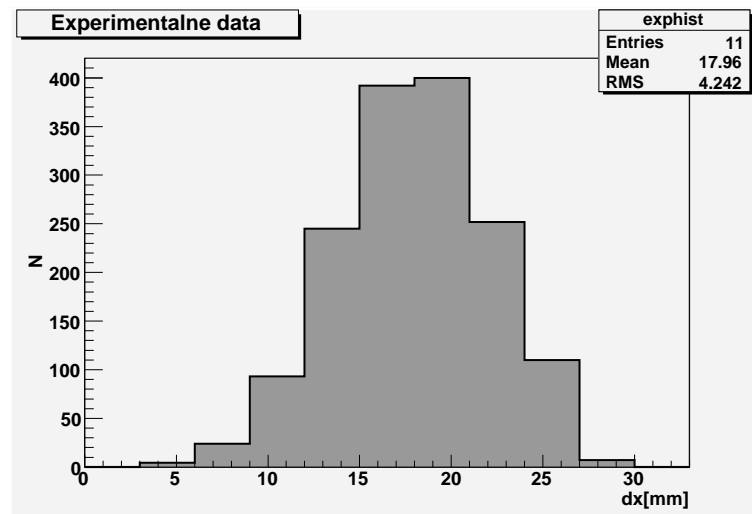
Simulácia prebehla pre počty častíc $\text{NumberofD} = 1500$, $\text{NumberofA} = 1000$. Výsledný histogram rozdelenia oboch typov častíc podľa ich výslednej polohy dx je na obrázku 5.1.



Obrázok 5.1: Rozdelenie častíc pre $B = 0,5$ T, $0,4$ MeV

Kôli kontrole sme tento histogram porovnali s nameranými dátami z Van

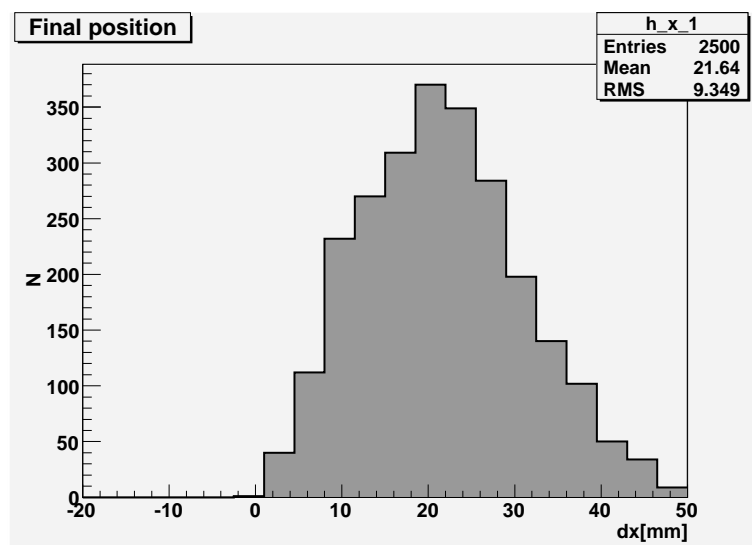
de Graafovho urýchľovača¹. Sú znázornené na obrázku 5.2.



Obrázok 5.2: Experimentálne výsledky

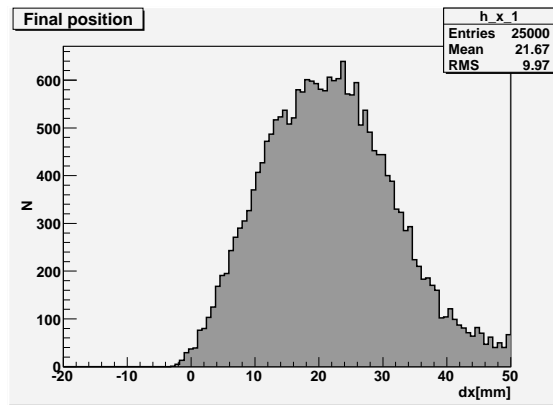
Je vidieť, že poloha "peakov" sa líši a rovnako je to aj s ich šírkou. Usúdili sme, že to môže byť spôsobené najmä nevhodnou aproximáciou veľkosti magnetického poľa. Veľkosť poľa bola zmeraná v strede magnetu. Pri výpočtoch predpokladáme, že magnetické pole medzi oboma hlavicami je homogénne, čo ale v skutočnosti nie je pravda. Navyše predpokladáme, že na časticu toto pole pôsobí iba v úseku medzi ústím kanála L3 a detektorom a nezasahuje až do kanála L3. Veľkosť magnetického poľa bola preto odhadnutá na $B = 0.75$ T a vzdialenosť l sa predĺžila o 2 cm na úkor vzdialenosti L2. Nasledujúce obrázky ukazujú výsledok pre tieto hodnoty, ktorý sa viac približuje experimentálnej skutočnosti.

¹meranie z 19.10.1988 pri 0,4 MeV, zdroj: Z. Doležal, súkromná informácia

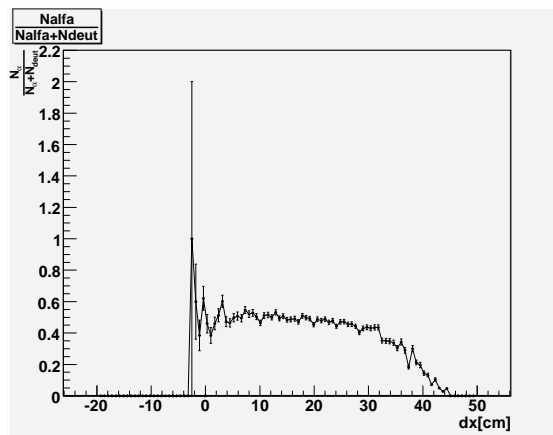


Obrázok 5.3: Rozdelenie častíc pre upravené hodnoty $B = 0,75$ T, $0,4$ MeV

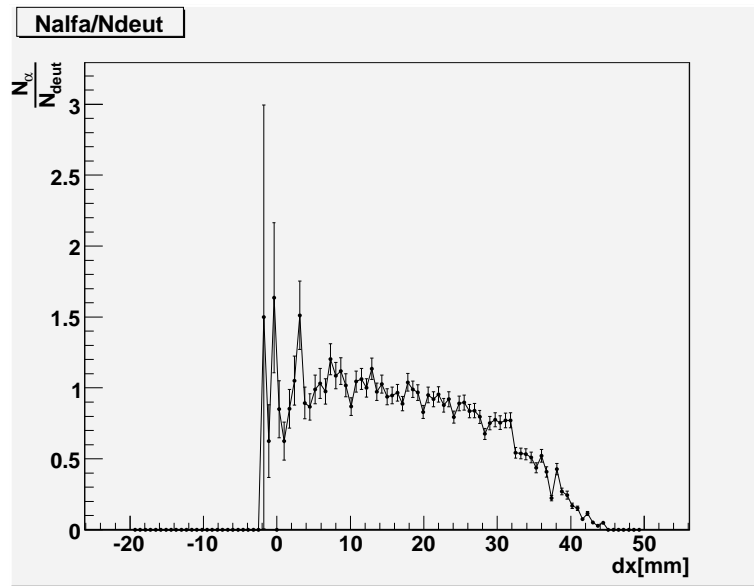
S týmito novými vstupnými parametrami sme vytvorili histogramy a grafy spomenuté v kapitole 4 tentokrát pre . Nepoužili sme ale tentokrát energetické spektrum z obr. 3.1, pretože do oblasti "peaku" by prispieval iba malý zlomok deuterónov s vyššími energiami. Aby sme získali rozumné výsledky museli by sme vykonať výpočet pre veľmi veľké množstvo deuterónov. Tento výpočet by bol ale príliš časovo a hlavne hardwarovo náročný. Preto bolo spektrum z obr.3.1 nahradené rovnomerným rozdelením z intervalu 0 a ž 1.7 MeV.



Obrázok 5.4: Rozdelenie častíc ($B = 0,75 \text{ T}$, $T_{\text{deut}} = 1,7 \text{ MeV}$)



Obrázok 5.5: Graf funkcie $\frac{N_{\alpha}}{N_{\text{deut}}+N_{\alpha}}$



Obrázok 5.6: Graf funkcie $\frac{N_\alpha}{N_{deut}}$

Grafy 5.5 a 5.6 majú význam najmä pri plánovaní usporiadania experimentu. Detektor je pri meraniach značne "zahlcovaný" deuterónmi na úkor α častíc, ktoré sú pre nás podstatné. Preto je dôležité nájsť pre dané nastavenie takú polohu detektora aby boli hodnoty zlomkov $\frac{N_\alpha}{N_{deut}}$, resp. $\frac{N_\alpha}{N_{deut}+N_\alpha}$ pokiaľ možno najvyššie. Z grafov je vidno, že pre najväčšie hodnoty máme ale na okraji zväzku, kde je nízka intenzita, čo vysvetľuje aj veľké chyby merania. Preto je treba pre usporiadanie merania a vyhodnocovanie výsledkov zvážiť aj tieto faktory. Ako najlepšie sa zdá použiť polohu 8-10 mm, kde je pri veľkej intenzite percento α častíc najvyššie. Obecne ale platí, že pomer $\frac{N_\alpha}{N_{deut}}$ nie je v dominantnej oblasti zväzku na polohe príliš závislý.

Kapitola 6

Záver

V kapitole 2 oboznamuje so súčasnou experimentálnou situáciou v laboratóriu VdG.

Bolo potrebné odvodiť vzťahy pre kinematiku častíc pre náš experiment, čo je rozobrané v kapitole 3. Na ich základe bol zostavený simulačný program. Popisu jeho funkcie a vstupných a výstupných parametrov sa venuje kapitola 4.

V záverečnej kapitole sa práca venuje rozboru výsledkov a diskusii nad nimi.

Môj prínos bol vo vytvorení simulačného programu a grafov, s ktorými je možné ľahšie zvážiť postup a nastavenie zariadení pri ďalších meraniach. Vďaka tomu môžu byť merania presnejšie a ich príprava môže časovo menej náročná.

Literatura

- [1] <http://root.cern.ch/root/doc/RootDoc.html>
- [2] <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/iso-8859-2/VDG/vdg.html>
- [3] http://www.tunl.duke.edu/nucldata/HTML/A=5/05He_1966.shtml
- [4] Papírník P., Diplomová práce *Studium málonukleónových systémů pomocí neutron - deuteronového rozptylu v laboratořích Van de Graafova urychlovače*, Praha, 2004.
- [5] Z. Doležal, Measurement of spin-dependent total cross-section differences DST and DSL in np scattering at 16 MeV, disertací práce, UK MFF, 1997.

Kapitola 7

Príloha

alfa.h

```
"const Double_t l=10.4e-2;          //dlzka mag.pola[m] const
Double_t B=1.5*0.5;                //magneticke pole[T] const Double_t
M_u=1.67e-27;                      //atomova hm.jedontka [u] const Double_t
Q_e=1.602e-19;                    //elementarny nabo[C] const Double_t d=2e-3;
//priemer tercika[m] const Double_t L1=45e-3;
//vzdialenost plochy tercika od clony[m] const Double_t L2=19e-2;
//vzdialenost clony od ustia kanala [m] const Double_t D=3.2e-3;
//priemer clony[m] const Double_t MeV=1.602e-13; const Double_t
NumberofBinsE = 100; //pocet binov u rozdeleni energii const
Double_t NumberofBinsX = 100; //pocet binov u rozdeleni pozic
const Double_t NumberofD = 1500; const Double_t NumberofA = 1000;
//pocet alef const Double_t Emin = 0; //minimalna
energia[MeV] const Double_t Emax = 4; //maximalna
energia[MeV] const Double_t xmin = -20; //minimalna
pozice[m] const Double_t xmax = 50; //maximalna
pozice[m] const Double_t det = 8e-3; //sirka
detektora[m]
```

```
int Nbinsd = 18; int part; Double_t p = 0;
```

```
double frac(double citatel, double menovatel){
    if (menovatel==0) {return 0;}
    else {return citatel/menovatel;}
```



```
}
```

generator.cpp

```
#include "alfa.h"

void generator(){ gRandom -> SetSeed(); TFile *sfile = new
TFile("separ.root","RECREATE","separ ntuple");

Double_t N_deut[] =
{100.000,25.000,11.111,6.250,4.000,2.778,
2.041,1.562,1.235,1.000,0.826,0.694,0.592,0.510,0.444,0.391,0.346,0.000};
Double_t N_alfa[] = {213,195,182,169,158,149};

//Creating histograms
pomhTd = new TH1F("h_T_d","Energy of deuterons",18,0,0.4);
pomhTa1 = new TH1F("h_T_a","Energy of alfa",40,0,4); pomhtotal
= new TH1F("h_total","Energy of particles",100,0,5);

//Creating functions
TF1 *pomf = new TF1("pomf","[0]*x+[1]",1.3,3.5);
pomf->SetParameter(0,-32.62327); pomf->SetParameter(1,249.43787);

//Creating ntuple
/*ntuple v ktorom sa uklada energia,pozice,uhol a druh castice
part==1 => deuteron, part==2 => alfa*/ separ = new
TNtuple("separ","separ","part:En:theta0:x0:pos");

for ( Int_t i=0; i<Nbinsd+1; i++) {
    pomhTd->SetBinContent(i+1,N_deut[i]);
}
printf("OK");

for ( Int_t i=14;i<33;i++){
    pomhTa1->SetBinContent(i,pomf.Eval(i/10));
}
```

```

for ( Int_t i=0; i<NumberofD;i++){

    //Generating random deuterons
    T_deut=(pomhTd->GetRandom())*MeV;
    x0=gRandom->Uniform(-d/2,d/2);
    thetamin=atan((-D/2-x0)/L1);
    thetamax=atan((D/2-x0)/L1);
    theta0=gRandom->Uniform(thetamin,thetamax);

    p_deut=sqrt(2*2*M_u*T_deut);
    R_deut=p_deut/(Q_e*B);

    dx_d = x0 + (L1+L2)*tan(theta0)+ R_deut*cos(theta0)
    - sqrt(R_deut*R_deut
    - (1 + R_deut*sin(theta0))*(1 + R_deut*sin(theta0)));

    //Filling ntuple
    part=1;
    separ->Fill(part,T_deut/MeV,theta0,x0,dx_d/0.001);

}

```

```

for ( Int_t i=0; i<NumberofA;i++){

    //Generating random alpha
    T_alfa= (pomf->GetRandom())*MeV;
    x0=gRandom->Uniform(-d/2,d/2);
    thetamin=atan((-D/2-x0)/L1);
    thetamax=atan((D/2-x0)/L1);
    theta0=gRandom->Uniform(thetamin,thetamax);

```

```

p_alfa=sqrt(2*4*M_u*T_alfa);
R_alfa=p_alfa/(2*Q_e*B);

dx_a = x0 + (L1+L2)*tan(theta0)+ R_alfa*cos(theta0)
- sqrt(R_alfa*R_alfa
- (1 + R_alfa*sin(theta0))*(1 + R_alfa*sin(theta0)));

//Filling ntuple
part=2;
separ->Fill(part,T_alfa/MeV,theta0,x0,dx_a/0.001);
}
printf("ok2\n");

sfile->Write(); sfile->Close();

```

ntuple.cpp

```

#include "alfa.h"

void ntuple(){

TFile *sfile = new
TFile("d:/work/bakalarka/simulace/separ04.root","READ","sfile");

//Creating histograms
h_theta = new
TH1F("h_theta","Angle",NumberofBinsE,
-atan((D+d)/(2*L1))-0.02,atan((D+d)/(2*L1))+0.02);
h_T_d = new TH1F("h_T_d","Energy of
deuterons",NumberofBinsE,Emin,Emax);//0.2+(NRGmax_d)/MeV); h_T_a
= new TH1F("h_T_a","Energy of alfa",NumberofBinsE,Emin,Emax);
hisotgram = new TH1F("histogram","Energeticke rozdelenie
#alpha",NumberofBinsE,Emin,Emax); h_T_total = new
TH1F("h_T_total","Energetic spectrum",NumberofBinsE,Emin,Emax);

```

```

h_x_1 = new TH1F("h_x_1","Final
position",NumberofBinsX,xmin,xmax); h_x_a = new
TH1F("h_x_a","Alpha position",NumberofBinsX,xmin,xmax); h_x_d =
new TH1F("h_x_d","Deuteron position",NumberofBinsX,xmin,xmax);
TH2F *h2Enpos = new TH2F("h2Enpos","Final
position",100,xmin,xmax,100,Emin,Emax);

//Setting style
h_theta->SetMarkerStyle(21); h_theta->SetMarkerSize(0.7);
h_theta->SetXTitle("radians"); h_theta->SetFillColor(28);

h_T_d->SetFillColor(16); h_T_d->SetXTitle("[MeV]");

h_T_a->SetFillColor(42); h_T_a->SetXTitle("[MeV]");

h_T_total->SetFillColor(8); h_T_total->SetXTitle("[MeV]");

h_x_1->SetFillColor(5); h_x_1->SetXTitle("[mm]");
h_x_1->SetFillStyle(3002); h_x_1->SetMarkerStyle(21);
h_x_1->SetMarkerSize(0.5);

h_x_a->SetFillColor(2); h_x_a->SetXTitle("[mm]");
h_x_a->SetFillStyle(3002); h_x_a->SetLineStyle(2);
h_x_a->SetLineWidth(2); h_x_a->SetLineColor(2);

h_x_d->SetFillColor(4); h_x_d->SetXTitle("[cm]");
h_x_d->SetFillStyle(3002); h_x_d->SetLineStyle(2);
h_x_d->SetLineWidth(2); h_x_d->SetLineColor(4);

h2Enpos->GetXaxis()->SetTitle("En [MeV]");
h2Enpos->GetYaxis()->SetTitle("pos [mm]");

printf("OK\n");
//Filling histograms
separ -> Draw("theta0>>+h_theta"); separ->Draw("En>>+h_T_a",
"part==2"); separ->Draw("En>>+histogram", "part==2");
separ->Draw("En>>+h_T_d", "part==1");

```

```

separ->Draw("En>>+h_T_total"); separ->Draw("pos>>+h_x_1");
separ->Draw("pos>>+h_x_a", "part==2"); separ->Draw("pos>>+h_x_d",
"part==1"); separ->Draw("En:pos>>+h2Enpos");

//Drawing histograms
/*TCanvas *c3 = new TCanvas("c3","histograms",800,600);
   c3 -> SetGrid();
   //c3->Divide(2,3);

   //c3->cd(1);
TCanvas *c6 = new TCanvas("c6","histograms",800,600);
   histogram->Draw();*/

TCanvas *c7 = new TCanvas("c7","histograms",800,600);
   //c3->cd(2);
   h_T_d->Draw();

TCanvas *c8 = new TCanvas("c8","histograms",800,600);
   //c3->cd(3);
   h_x_a->Draw();

TCanvas *c9 = new TCanvas("c9","histograms",800,600);
   //c3->cd(4);
   h_x_d->Draw();

TCanvas *c10 = new TCanvas("c10","histograms",800,600);
   //c3->cd(5);
   h_x_1->Draw();

TCanvas *c11 = new TCanvas("c11","histograms",800,600);
   //c3->cd(6);
   h_x_1->Draw();
   h_x_a->Draw("SAME");
   h_x_d->Draw("SAME");

Double_t k = (xmax-xmin)/NumberofBinsX;
//FILE *log;
//log = fopen("log.dat","w");

```

```

//fprintf(log,"Nalfa\t\t Ndeut\t\t eNalfa\t\t eNdeut\t\t ey\t\t eY\n");

Double_t Nalfa[201],Ndeut[201]; Double_t Y[201],y[201]; Double_t
x[201]; Double_t ex[201],eY[201],ey[201],eNalfa[201],eNdeut[201];

for (Int_t i=1; i<NumberofBinsX; i++){
    Nalfa[i] = h_x_a->GetBinContent(i);
    Ndeut[i] = h_x_d->GetBinContent(i);

    //printf("Nalfa=%f \t Ndeut=%f \n ",Nalfa[i],Ndeut[i]);

    Y[i]=frac(Nalfa[i],Ndeut[i]+Nalfa[i]);
    //((Ndeut[i]+Nalfa[i])==0) ? (Y[i]=0):(Y[i] =
    Nalfa[i]/(Ndeut[i]+Nalfa[i]));

    //printf("Y=%f \n",Y[i]);
    y[i]=frac(Nalfa[i],Ndeut[i]);
    //(Ndeut[i]==0) ? (y[i]=Nalfa[i]):(y[i]= Nalfa[i]/Ndeut[i]);

    x[i] = k*i+xmin;
    ex[i] = 4e-3;
    eNalfa[i] = sqrt(Nalfa[i]);
    eNdeut[i] = sqrt(Ndeut[i]);
    /*if (Ndeut[i]==0){
        (ey[i]=eNalfa[i]);
    }
    else{
        if (Nalfa[i]==0) {ey[i]=0;}
        else {ey[i]=y[i]*
            (eNalfa[i]/Nalfa[i]+eNdeut[i]/Ndeut[i]);};
    };*/
    //printf("ey=%f\n",ey[i]);*/

    /*if ((Nalfa[i]+Ndeut[i])==0){
        eY[i]=0;
    }
    else{
        eY[i]=

```

```

        (eNalfa[i]+Nalfa[i]*
         (eNdeut[i]+eNalfa[i]))/((Nalfa[i]+Ndeut[i])*(Nalfa[i]+Ndeut[i])));
    };*/
    //printf("eY=%f\n",eY[i]);
    ey[i] = frac(eNalfa[i]+Nalfa[i]*eNdeut[i],Ndeut[i]*Ndeut[i]);
    eY[i] =
    frac(eNalfa[i]+Nalfa[i]*eNdeut[i],
        (Nalfa[i]+Ndeut[i])*(Nalfa[i]+Ndeut[i]));
}

TGraphErrors *gr1 = new TGraphErrors (100,x,Y,ex,eY);
    gr1->GetXaxis()->SetTitle("x[cm]");
    gr1 -> SetMarkerStyle(20);
    gr1 -> SetMarkerSize(0.5);
    gr1 -> SetTitle("#frac{Nalfa}{Nalfa+Ndeut}");

TGraphErrors *gr2 = new TGraphErrors (100,x,Nalfa,ex,eNalfa);
    gr2 -> SetMarkerStyle(20);
    gr2 -> SetMarkerSize(0.5);
    gr2 -> SetTitle("Nalfa");

TGraphErrors *gr3 = new TGraphErrors (100,x,Ndeut,ex,eNdeut);
    gr3 -> SetMarkerStyle(20);
    gr3 -> SetMarkerSize(0.5);
    gr3 -> SetTitle("Ndeut");

TGraphErrors *gr4 = new TGraphErrors (100,x,y,ex,ey);
    gr4 -> SetMarkerStyle(20);
    gr4 -> SetMarkerSize(0.5);
    gr4 -> SetTitle("Nalfa/Ndeut");

TCanvas *c2 = new TCanvas("c2","funkce Nalfa",1000,800);
gr1->Draw("ALP");

TCanvas *c3 = new TCanvas("c3","funkce Nalfa",1000,800);
    gr2 -> Draw("ALP");

```

```

TCanvas *c4 = new TCanvas("c4","funkce Nalfa",1000,800);
gr3 -> Draw("ALP");

TCanvas *c5 = new TCanvas("c5","funkce Nalfa",1000,800);
gr4 -> Draw("ALP");

/*c2 -> SetGrid();
c2 -> Divide(2,2);

c2 -> cd(1);
gr1 -> Draw("ALP");

c2 -> cd(2);
gr2 -> Draw("ALP");

c2 -> cd (3);
gr3 -> Draw("ALP");

c2 -> cd(4);
gr4 -> Draw("ALP");

c2 -> Modified();
c2 -> Update();*/
}

```