

12a. Měření měrného náboje elektronu

Tomáš Jakoubek

Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze

Kroužek: 4, skupina: 5, ZS

Datum měření: 14. 05. 2007

1 Abstrakt

V tomto měření jsme měli určit měrný náboj elektronu e/m pomocí měření v podélném a kolmém magnetickém poli. Pomocí podélného magnetického pole jsme určili měrný náboj elektronu na $e/m = (2,44 \pm 0,03) 10^{11} \text{ Ckg}^{-1}$ a pomocí kolmého magnetického pole $e/m = (1,61 \pm 0,02) 10^{11} \text{ Ckg}^{-1}$.

2 Klíčová slova

Měrný náboj elektronu, Helmholtzovy cívky, katodová trubice Leybold-Heraeus

3 Úvod

3.1 Úkoly

1. Sestavte úlohu pro měření e/m fokuzací podélným magnetickým polem a provedte měření pro čtyři různé hodnoty urychlovacího napětí U v rozmezí 950 – 1250 V. Pomocné napětí na A_1 (Obr. 4) volte 140 V.
2. Změřte měrný náboj elektronu e/m ze zakřivení dráhy elektronů v kolmém magnetickém poli. Měření provedte pro pět dvojic urychlovacího napětí a magnetizačního proudu. Vypočtete příslušné hodnoty měrného náboje a z nich určete střední hodnotu. Doporučené hodnoty U a I jsou: 120 V / 1,5 A; 140 V / 1,5 A; 160 V / 2,0 A; 180 V / 2,0 A; 200 V / 2,0 A.
3. Několikrát pootočte katodovou trubicí sem a tam vůči magnetickému poli a sledujte změnu trajektorie proudu elektronů. Uvidíte, že z kruhového tvaru ($\vec{v} \perp \vec{B}$) přejde na šroubovitý ($\vec{v} \perp \vec{B}$) a nakonec v přímku ($\vec{v} \parallel \vec{B}$). Nakreslete pozorované trajektorie do protokolu. Použijte napětí $U = 150 \text{ V}$ a proud $I = 1,5 \text{ A}$.

3.2 Základní pojmy a vztahy

3.2.1 Měření v podélném magnetickém poli

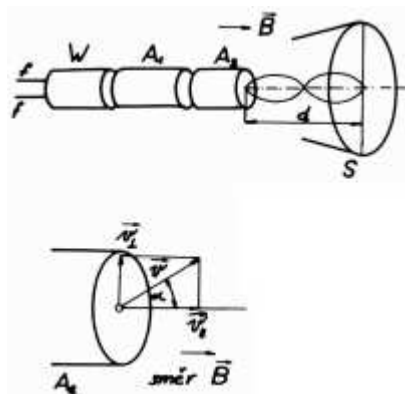
Tato metoda je založena na účincích podélného magnetického pole na divergující svazek elektronů. Pro velikost měrného náboje elektronu platí vztah

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2} \quad (1),$$

kde U je napětí, l vzdálenost stínítka od otvoru v druhé anodě a pro B platí vztah

$$B = \frac{\mu_0 I N}{l'} \quad (2),$$

kde μ_0 je permeabilita vakua, I proud tekoucí cívku, l' délka cívky a N počet závitů.



Obr. 1: Uspořádání elektronově optické soustavy obrazovky a trajektorie elektronů při fokuzaci podélným magnetickým polem; W – Wehneltův válec, A_1 – první anoda, A_2 – druhá anoda, S – stínítko, f – přívody žhavení anody

3.2.2 Měření v kolmém magnetickém poli

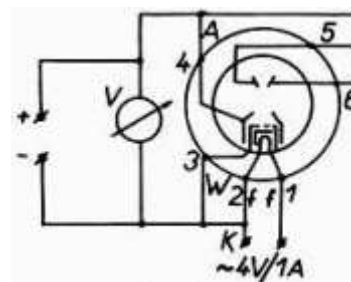
Elektrony emitované rozžhavenou katodou získávají v magnetickém poli kinetickou energii a pohybují se dále po kruhové dráze. Měrný náboj elektronu pak můžeme spočítat pomocí vztahu

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{k^2 I^2 r^2} \quad (3),$$

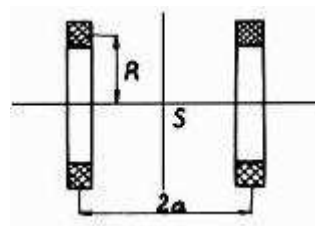
kde U je napětí, I proud, r poloměr kruhu vytvořeného svazkem elektronů a pro k platí vztah

$$k = \frac{\mu_0 N R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \quad (4),$$

kde μ_0 je permeabilita vakua, N počet závitů jedné cívky, R střední poloměr cívek a $2a$ jejich vzdálenost (viz. Obr. 3).



Obr. 2: Schéma katodové trubice Leybold-Heraeus

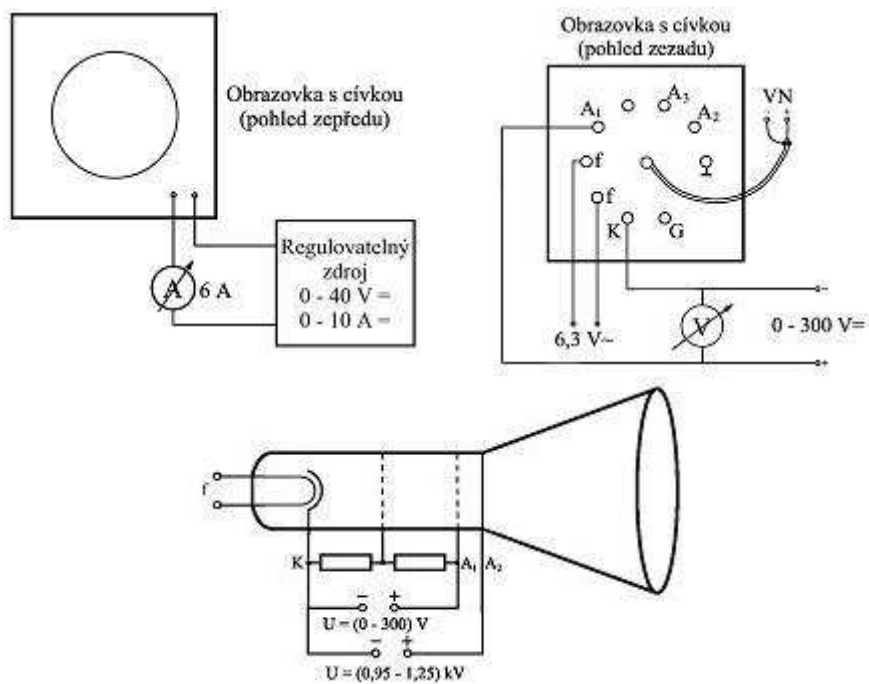


Obr. 3: Geometrie Helmholtzových cívek

4 Experimentální uspořádání

4.1 Měření v podélném magnetickém poli

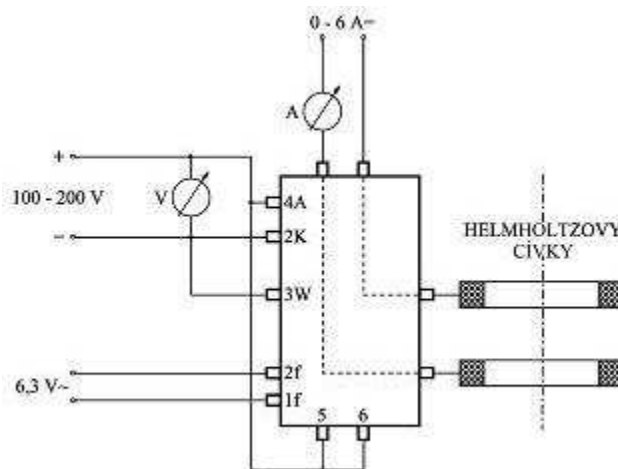
Zapojili jsme aparaturu podle schémat na Obr. 4. Potom jsme pro napětí 140 V proměřili závislost napětí U na proudu I tak, aby byl bod na stínítku vždy co nejostřejší. $N = 174$, $l = 0,249 \text{ m}$ a $l' = 0,381 \text{ m}$.



Obr. 4: Schéma zapojení pro měření v podélném magnetickém poli

4.2 Měření v kolmém magnetickém poli

Zapojili jsme aparaturu podle schématu na Obr. 5. Potom jsme pro několik dvojic napětí U a proudu I změřili průměr kružnice vytvořené svazkem elektronů. $N = 130$, $R = 15 \text{ cm}$ a $2a = 15 \text{ cm}$.



Obr. 5: Schéma zapojení pro měření v kolmém magnetickém poli

5 Analýza dat

5.1 Měření v podélném magnetickém poli

Z naměřených hodnot (viz. Tab. 1) jsme pomocí vztahů (1) a (2) určili měrný náboj elektronu na $e/m = (2,44 \pm 0,03) 10^{11} \text{ Ckg}^{-1}$.

$U [V]$	950	1050	1150	1250
$I [A]$	3,80	4,10	4,25	4,50
	3,85	4,05	4,25	4,55
	3,85	4,10	4,30	4,55
	3,85	4,10	4,25	4,45
	3,85	4,05	4,30	4,50
	3,80	4,10	4,30	4,50

Tab. 1: Naměřená závislost proudu I na napětí U , podélné magnetické pole

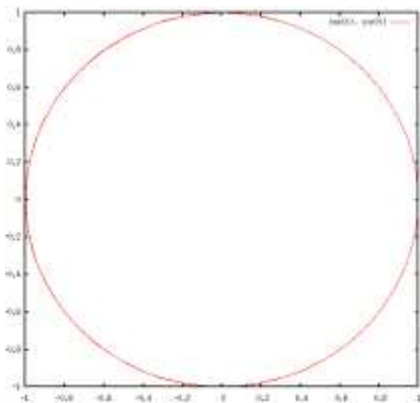
5.2 Měření v kolmém magnetickém poli

Z naměřených hodnot (viz. Tab. 2) jsme pomocí vztahů (3) a (4) určili měrný náboj elektronu na $e/m = (1,61 \pm 0,02) 10^{11} \text{ Ckg}^{-1}$.

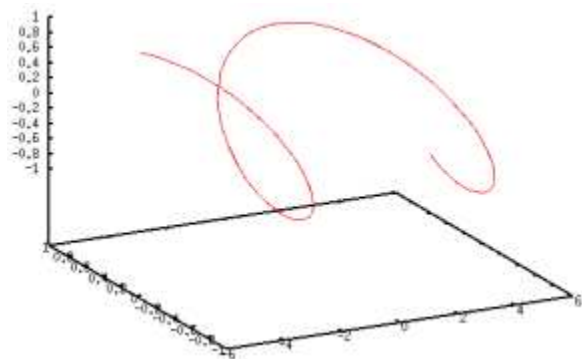
$U [V]$	120	140	160	180	200
$I [A]$	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
$d [mm]$	64,5	71,0	57,5	59,0	65,0
	65,0	70,0	59,0	59,0	64,0
	64,5	71,0	56,5	59,0	63,5

Tab. 2: Naměřená závislost průměru d kružnice tvořené svazkem elektronů na napětí U a proudu I

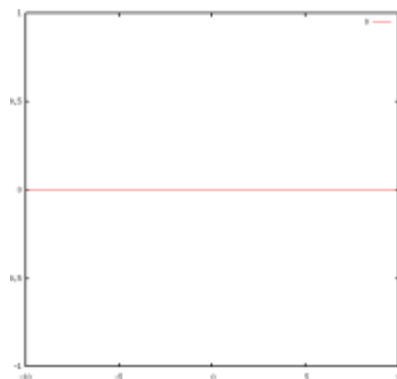
5.3 Kolmé magnetické pole – otáčení katodovou trubicí



Obr. 6: Pro $\vec{v} \perp \vec{B}$ vytváří svazek kružnici



Obr. 7: Pro $\vec{v} \parallel \vec{B}$ vytváří svazek šroubovici



Obr. 8: Pro $\vec{v} \parallel \vec{B}$ vytváří svazek přímku

6 Diskuse

Metoda určování ostroty bodu na stínítku je rozhodně více zatížena subjektivní chybou, než metoda, při níž se měří nějaká vzdálenost. Tomu odpovídají i naše výsledky. Hodnota e/m tabelovaná v [2] je $e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{Ckg}^{-1}$. Pomocí podélného magnetického pole jsme naměřili hodnotu téměř dvakrát větší (relativní chyba 38,6 %). Alespoň v řádu jsme správně. Oproti tomu pomocí kolmého magnetického pole jsme naměřili hodnotu velmi blízkou té tabelované (relativní chyba 8,5 %). Druhou metodu tedy považuji za mnohem přesnější.

7 Závěr

Pomocí podélného magnetického pole jsme určili měrný náboj elektronu na $e/m = (2,44 \pm 0,03) \cdot 10^{11} \text{Ckg}^{-1}$ a pomocí kolmého magnetického pole $e/m = (1,61 \pm 0,02) \cdot 10^{11} \text{Ckg}^{-1}$.

8 Reference

- [1] *Měření měrného náboje elektronu* [online]. [cit. 2007-05-20].
<<http://fyzport.fjfi.cvut.cz/Praktika/edm/praktika/praktika.pdf>>.
- [2] BUREŠ, Jiří. *Fyzikální a jiné konstanty* [online]. c2002, [cit. 2007-05-20].
<<http://www.converter.cz/prevody/konstanty.htm>>.

12b. Dosah alfa částic v látce

Tomáš Jakoubek

Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze

Kroužek: 4, skupina: 5, ZS

Datum měření: 14. 05. 2007

1 Abstrakt

V tomto měření jsme se měli seznámit s detekcí alfa částic a jejich vlastnostmi a určit jejich dosah ve vzduchu a oxidu uhličitém pro různé tlaky. Teoreticky předpovězený dolet alfa částic při normálním atmosférickém tlaku je $R_S = 4,08 \text{ cm}$. Z nepřiliš kvalitních naměřených hodnot jsme odhadli střední lineární dosah alfa částic na $R_S = 5,0 \text{ cm}$. Závislost doletu alfa částic na tlaku plynu pro vzduch a pro oxid uhličitý viz. Tab. 2 a Graf. 3.

2 Klíčová slova

Střední lineární dosah, střední hmotnostní dosah, alfa částice, Geigerův vztah

3 Úvod

3.1 Úkoly

1. V domácí přípravě vypočítejte:
 1. Množství ^{241}Am v zářiči užitém v experimentu (z udané aktivity a poločasu rozpadu),
 2. Počet částic, které dopadnou na detektor užitý v experimentu za 1 s, je-li vzdálenost zářič - detektor rovna $l = 2,5 \text{ cm}$,
 3. Střední lineární dosah alfa částic z ^{241}Am ve vzduchu za normálních podmínek ze znalosti jejich počáteční kinetické energie,
 4. Minimální hloubku citlivé oblasti v křemíkovém detektoru, má-li se v ní alfa částice z ^{241}Am zaručeně zastavit.
2. Změřte střední lineární dosah alfa částic vysílaných z ^{241}Am za atmosférického tlaku.
3. Určete dosah alfa částic z ^{241}Am pro několik hodnot tlaku vzduchu menších, než je tlak atmosférický a vypočítejte pro vzduch hmotnostní dosah. Měření provádějte tak, že naleznete vzdálenost zářič - detektor, při které přestane detektor počítat (při pomalém vzdalování zářiče od detektoru), nebo začne počítat (při přibližování).
4. Proveďte stejné měření jako v bodě 3, ale místo vzduchu do trubice napuste oxid uhličitý. Pokuste se měřit při stejných tlacích, jaké jste si zvolili pro vzduch. Vypočítejte hmotnostní dosah pro oxid uhličitý.
5. Ve zhodnocení:
 1. Porovnejte změřený dosah a dosah vypočtený z Geigerova vztahu,
 2. Porovnejte střední lineární dosah alfa částic z ^{241}Am ve vzduchu a oxidu uhličitém a uveďte důvody, proč jsou rozdílné. Výsledky zkuste vysvětlit i kvantitativně,

3. Zjistěte, zda pro rozptyl dosahu alfa částic ve vzduchu platí empirický vzorec $\alpha = 0,015R_S$.

3.2 Základní pojmy a vztahy

Alfa částice jsou jádra atomu ${}^4_2\text{He}$. Při průletu prostředím interagují nejvíce s elektrony látky. Při těchto interakcích se odchyľují o malý úhel od své původní dráhy, protože mají mnohem větší rychlost i hmotnost než elektrony vázané v látce.

Závislost úbytku částic na vzdálenosti

$$-\frac{dN}{dr} = \frac{N_0}{\alpha \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{(r-R_S)^2}{\alpha^2}\right) \quad (1),$$

kde N_0 je počet alfa částic vyslaných zdrojem za určitý časový interval, $\alpha = 0,015R_S$ fluktuační parametr a R_S střední lineární dosah. Dále platí *Geigerův vztah*

$$R_S = 0,318 T_0^{3/2} \quad (2),$$

kde T_0 je počáteční kinetická energie [MeV] a R_S je v centimetrech. Střední hmotnostní dosah

$$R_M = \rho R_S \quad (3),$$

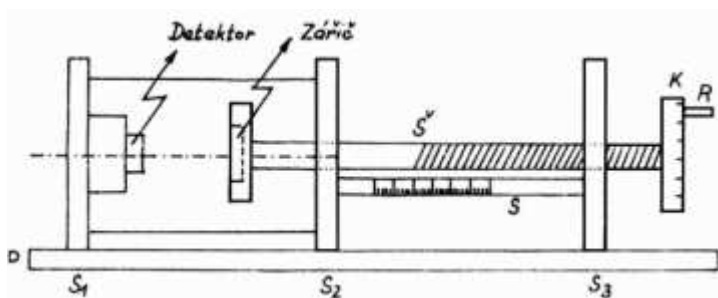
kde ρ je hustota látkového prostředí. Za normálních podmínek platí ve vzduchu vztah

$$R_M \approx 0,6 R_S A^{1/3} \quad (4),$$

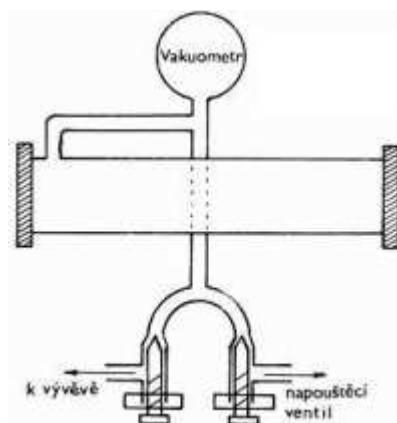
kde A je hmotnostní číslo.

4 Experimentální uspořádání

K měření jsme používali aparaturu, jejíž schéma je na Obr. 1. Nejprve jsme zkalibrovali čítač (nastavili jeho diskriminační hladinu) tak, aby neregistroval částice pozadí. Pak jsme pro různé vzdálenosti, potažmo tlaky a plyny, měnili vzdálenost zářič-detektor a zaznamenávali počet registrovaných částic.



Obr. 1: Schéma aparatury pro měření dosahu alfa částic



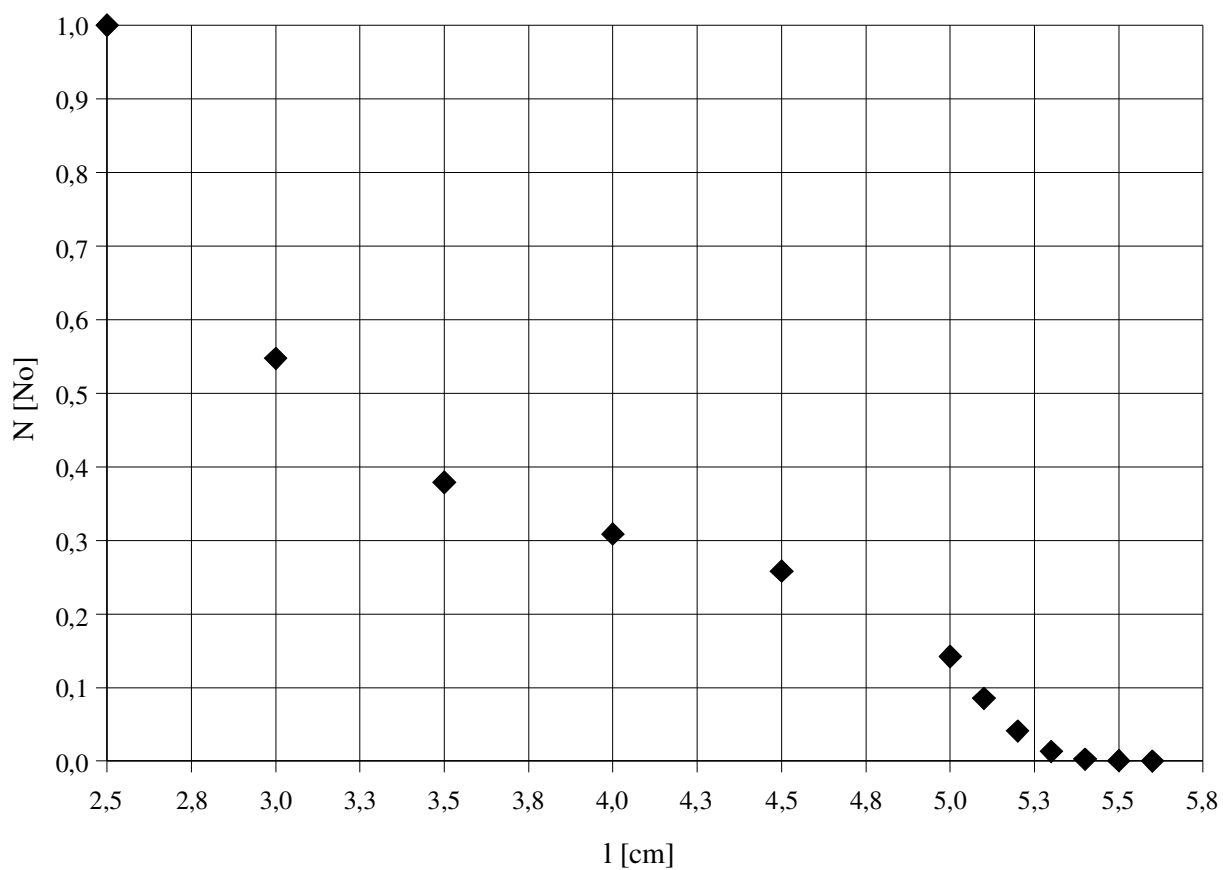
Obr. 2: Schéma vakuové části aparatury

5 Analýza dat

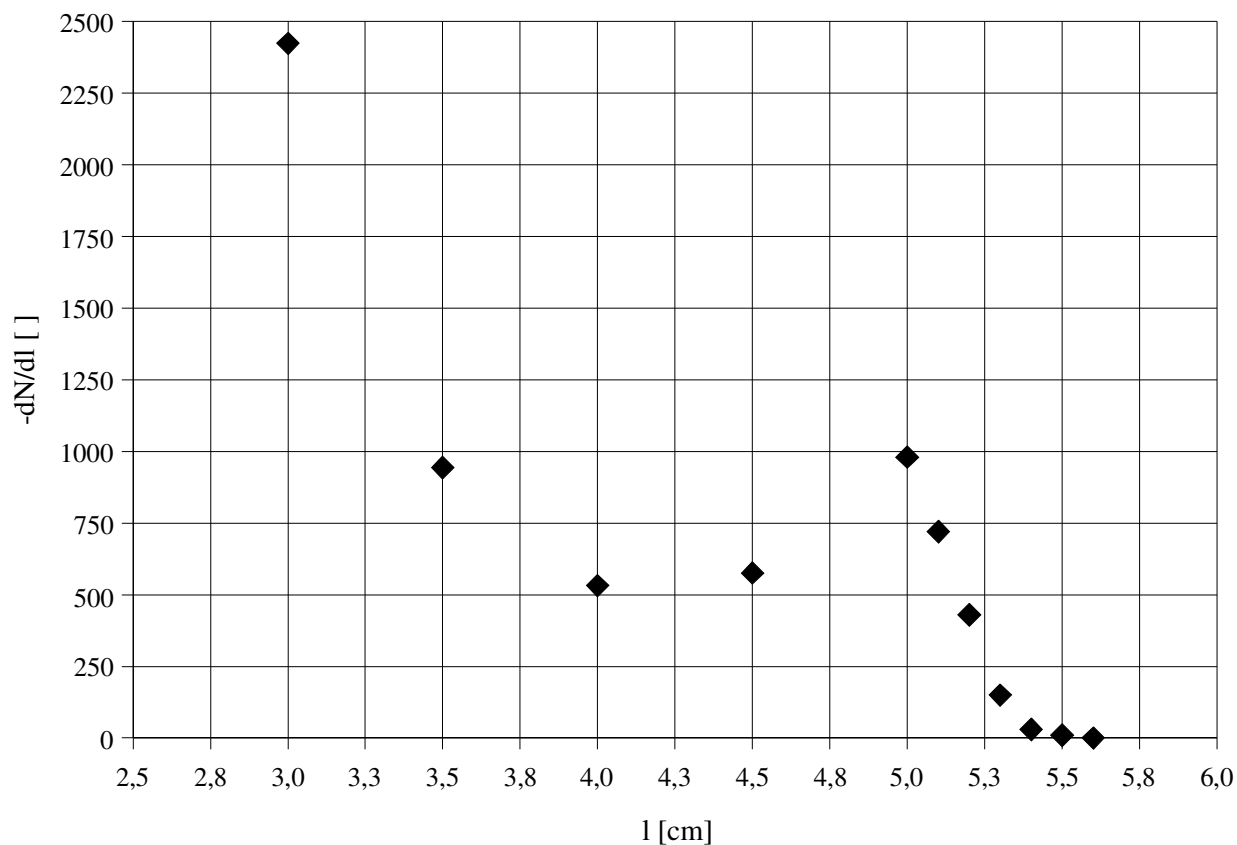
Naměřená závislost počtu detekovaných částic na vzdálenosti zářič-detektor za tlaku $p = 988 \text{ hPa}$ viz. Tab. 1 a Graf. 1.

l [mm]	N []
25	6477
30	2470
35	1258
40	786
45	520
50	232
51	134
52	62
53	19
54	4
55	1

Tab. 1: Závislost počtu detekovaných částic na vzdálenosti



Graf. 1: Závislost počtu částic na vzdálenosti zářič-detektor



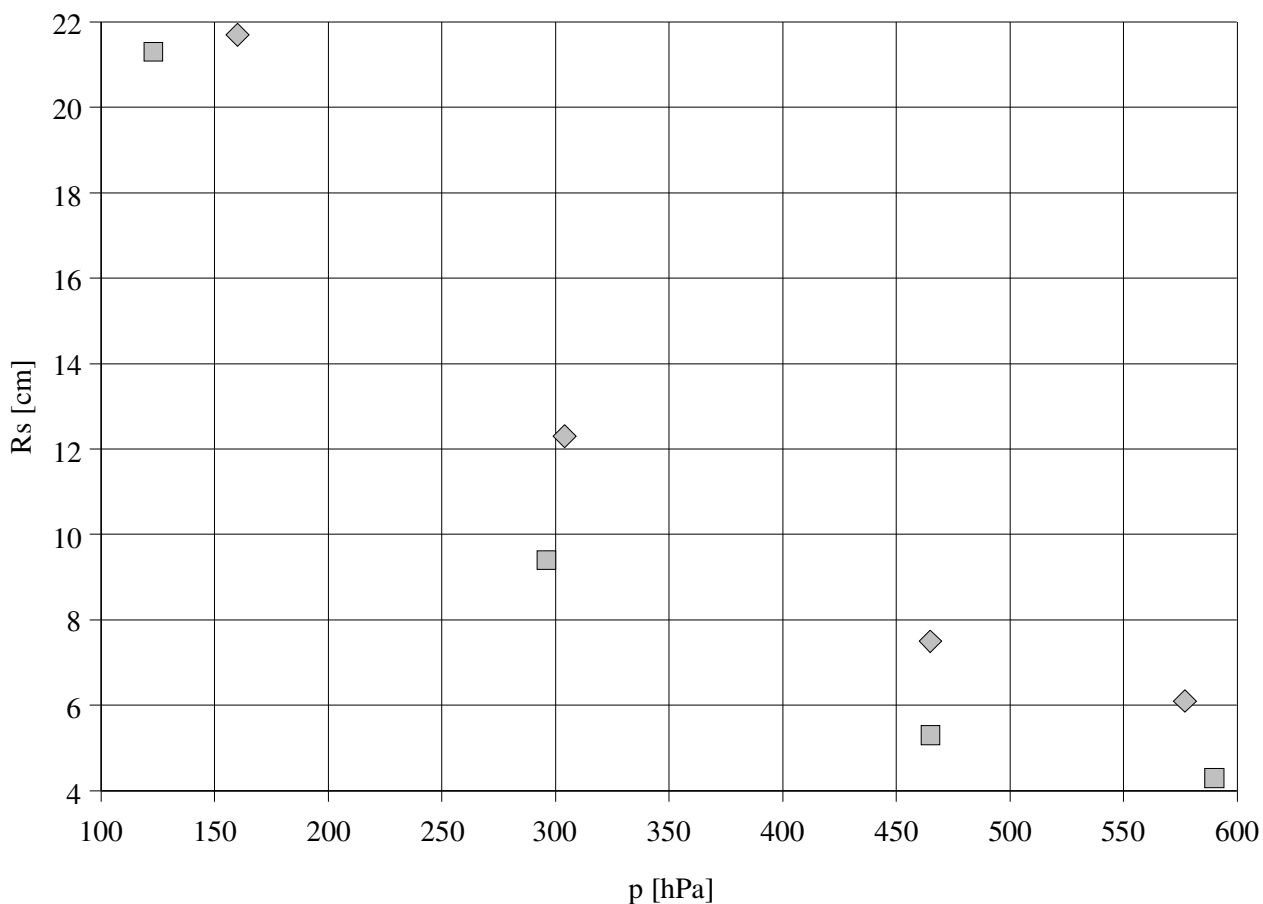
Graf. 2: Závislost $-dN/dl$ na vzdálenosti zářič-detektor

Z Graf. 2 bysme měli být schopni určit maximum funkce – v našem případě by to šlo pouze při odmyslení si vysokých hodnot kolem $l = 3 \text{ cm}$... potom by $R_S = 5,0 \text{ cm}$.

Závislost doletu alfa částic na tlaku plynu pro vzduch a pro oxid uhličitý viz. Tab. 2 a Graf. 3.

<i>Vzduch</i>		<i>Oxid uhličitý</i>	
<i>p [hPa]</i>	<i>l [cm]</i>	<i>p [hPa]</i>	<i>l [cm]</i>
160	21,7	123	21,3
304	12,3	296	9,4
465	7,5	465	5,3
577	6,1	590	4,3

Tab. 2: Dosah alfa částic ve vzduchu a v oxidu uhličitém pro různé hodnoty tlaku



Graf. 3: Závislost doletu alfa částic na tlaku plynu pro vzduch (◆) a pro oxid uhličitý (■)

6 Diskuse

Největším problémem bylo posouvání detektoru, mechanismus už nefunguje tak, jak má. Nicméně tento problémek nevysvětluje podivné hodnoty v oblasti kolem $l = 3 \text{ cm}$. Jak v Graf. 1, tak v Graf. 2 jsou příliš vysoko, závislost by takovýto průběh mít neměla. Tudíž se ani střední dosah alfa částic příliš neshoduje s teoretickou předpovědí. Alespoň závislost doletu alfa částic na tlaku plynu má očekávaný průběh – menší tlak, méně překážek v cestě. Z Graf. 3 je vidět, že vzduch je pro alfa částice lépe prostupný než oxid uhličitý. Molekuly vzduchu jsou pravděpodobně lehčí, než molekuly oxidu uhličitého, tudíž alfa částice méně zbrzdí.

7 Závěr

Teoreticky předpovězený dolet alfa částic při normálním atmosférickém tlaku je $R_s = 4,08 \text{ cm}$. Z nepříliš kvalitních naměřených hodnot jsme odhadli střední lineární dosah alfa částic na $R_s = 5,0 \text{ cm}$. Závislost doletu alfa částic na tlaku plynu pro vzduch a pro oxid uhličitý viz. Tab. 2 a Graf. 3.

8 Reference

- [1] *Dosah alfa částic v látce* [online]. [cit. 2007-05-16].
<http://fyzport.fjfi.cvut.cz/Praktika/DosahAlfa/praktika/praktika.pdf>.

9 Přílohy

9.1 Množství ^{241}Am v zářiči užitém v experimentu

Počet částic, které se rozpadají, je $N = \frac{N_0}{2^{t/T}}$, kde N_0 je počáteční množství částic a T poločas

rozpadu. Aktivita je definována jako $A = -\frac{dN}{dt}$, proto $A = \frac{N_0 \ln 2}{2^{t/T} T}$, odkud při $t = 0$ plyne

$$N_0 = \frac{AT}{\ln 2} = 2,36 \cdot 10^{14}.$$

9.2 Počet částic, které dopadnou na detektor

Počet částic je $n = A \frac{\Omega l}{4\pi}$, kde $\Omega \simeq \frac{S_d}{l^2} = \frac{\pi r^2}{l^2}$ je prostorový úhel. $A = 11,38 \text{ kBq}$,

$r = 2,5 \text{ mm}$, $l = 2,5 \text{ cm}$. Počet částic za sekundu je pak tedy $n = 28,45$.

9.3 Lineární dosah alfa částic z ^{241}Am ve vzduchu za normálních podmínek

Geigerův vztah $R_s = 0,318 T_0^{3/2}$ (2), kde $T_0 = 5,48 \text{ MeV}$. Potom je $R_s = 4,08 \text{ cm}$.

9.4 Minimální hloubka v citlivé oblasti křemíkového detektoru

Vzdálenost atomů je $d = N^{-1/3}$. V 1 m^3 křemíku o hustotě $\rho = 2330 \text{ kgm}^{-3}$ je $N = \frac{10^3 \rho N_a}{A_r}$

atomů, kde $A_r = 280,86 \text{ g mol}^{-1}$ je relativní atomová hmotnost. Odtud $d = \frac{1}{10} \sqrt[3]{\frac{A_r}{\rho N_a}}$. Hloubka

citlivé oblasti je $h = d \frac{T_0}{E}$, kde $E = 3,62 \text{ eV}$ je výstupní práce křemíku. Potom $h = 0,3 \text{ mm}$.