

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 18. května 2018

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 8: Rutherfordův experiment

Úkoly:

1. Sledujte počet zaznamenaných α -částic pro dostatečný počet různých poloh zlaté fólie. Ověřte vztah pro Rutherfordův rozptyl (1).
2. Ověřte, zda počty zaznamenaných α -částic mají Poissonovo rozdělení (2).

1. Úvod

O rozložení hmoty v atomu se toho dříve příliš nevědělo. Velký průlom přinesl objev elektronu, stále se však netušilo jakým způsobem je hmota v atomu uspořádána. Jeden z modelů byl Thomsonův model, který předpokládal, že kladná hmota je v atomu rovnoměrně rozložená a elektrony jsou v ní uloženy podobně jako rozinky v pudingu.

Tuto záhadu se podařilo rozřešit až týmu Ernesta Rutherforda, který nechal α -částicemi ostřelovat velice tenkou zlatou folii. Očekávali, že se téměř všechny α -částice vychýlí o malé úhly. Výsledky však jejich očekávání neodpovídali, většina α -částic buď procházela bez vychýlení a nebo byl úhel jejich vychýlení větší než očekávali. Tento experiment dal za vznik Rutherfordovu planetárnímu modelu atomu, který ve středu atomu předpokládal velice malé kladně nabitě jádro, kolem nějž obíhají elektrony podobně jako planety. Dnes samozřejmě víme, že tomu tak není, neboť by elektrony velice rychle na jádro spadly, pro většinu experimentů a jevů však tento popis bohatě stačil.

Pro ověření Rutherfordova experimentu budeme používat soustavu na obrázku 1. Budeme posouvat zlatou fólií a ověřovat platnost vztahu pro počet detekovaných částic:

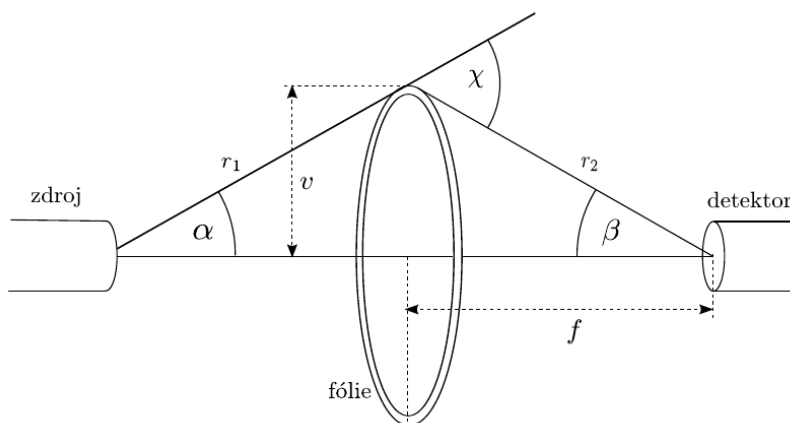
$$n = K \frac{\cos \alpha \cos \beta}{r_1^2 r_2^2 \sin^4 \frac{\chi}{2}} = K \cdot x, \quad (1)$$

téměř všechny veličiny vystupující ve vztahu (1) jsou znázorněny na obrázku 1, konstanta $K = N_0 S_z S_d K_1$ je dána experimentálním uspořádáním. Poloměr zlaté fólie je $v = 2$ cm a vzdálenost detektoru a zdroje α -částic $d = 22.7$ cm.

Rozpad jádra je náhodný proces, nelze přesně předpovědět kdy k němu dojde. Není-li rychlost rozpadu příliš velká, řídí se počet detekovaných částic za jednotku času Poissonovým rozdělením:

$$P(n) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda}, \quad (2)$$

kde $P(n)$ je pravděpodobnost, že za danou jednotku času (nejčastěji 1 minuta) dojde právě k n rozpadům, λ je střední hodnota počtu zaznamenaných částic.



Obrázek 1: Experimentální uspořádání.

Platnost Poissonova rozdělení následně ověříme pomocí χ^2 testu. Pro hodnotu χ^2 platí vztah:

$$\chi^2 = \sum_j \frac{(K_j(n) - N P_j(n))^2}{N P_j(n)}, \quad (3)$$

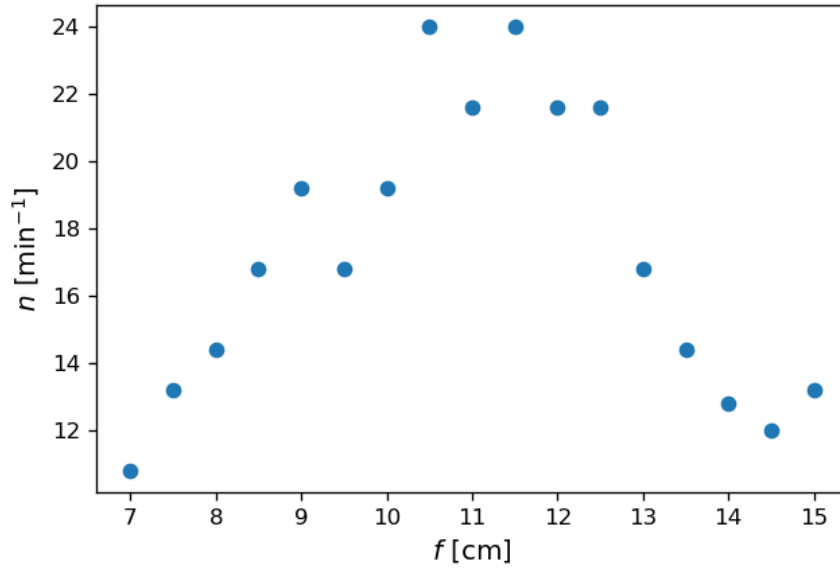
kde N je zvolený počet úseků, na který jsme rozdělily původní časový interval.

2. Měření

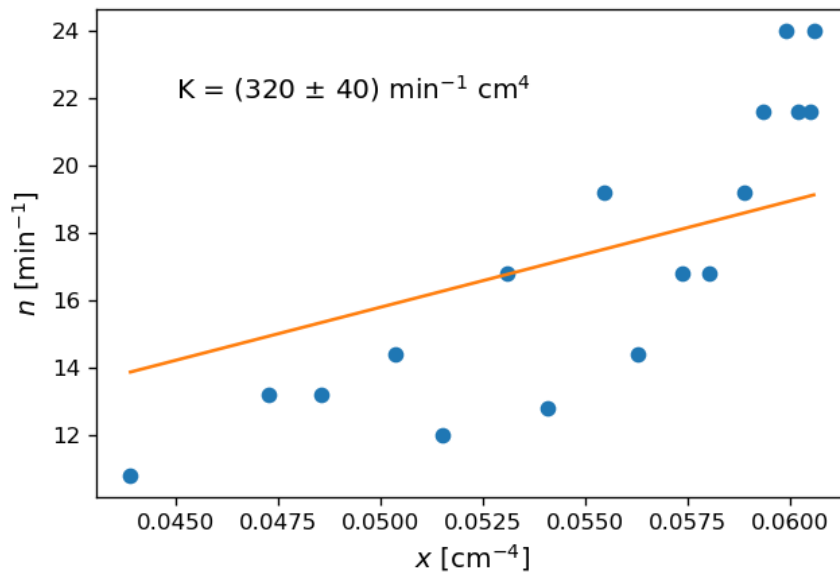
Nejprve tedy ověříme platnost Rutherfordova experimentu. Budeme měnit polohu zlaté fólie a měřit počet zaznamenaných částic. Měřicí časové úseky volíme dostatečně velké (zejména v krajních polohách), aby byl počet zaznamenaných částic nebyl příliš malý a rozptyl hodnot tedy příliš vysoký.

Tabulka 1: Závislost počtu detekovaných částic na poloze fólie a integračním čase.

f [cm]	T [s]	N	x [cm ⁻⁴]	n [min ⁻¹]
7.0	50	9	0.0439	10.8
7.5	50	11	0.0473	13.2
8.0	25	6	0.0504	14.4
8.5	25	7	0.0531	16.8
9.0	25	8	0.0555	19.2
9.5	25	7	0.0574	16.8
10.0	25	8	0.0589	19.2
10.5	25	10	0.0599	24.0
11.0	25	9	0.0605	21.6
11.5	25	10	0.0606	24.0
12.0	25	9	0.0602	21.6
12.5	25	9	0.0594	21.6
13.0	25	7	0.0580	16.8
13.5	25	6	0.0563	14.4
14.0	37	8	0.0541	12.8
14.5	50	10	0.0515	12.0
15.0	50	11	0.0486	13.2



Graf 1: Závislost počtu detekovaných částic za minutu na poloze zlaté fólie.

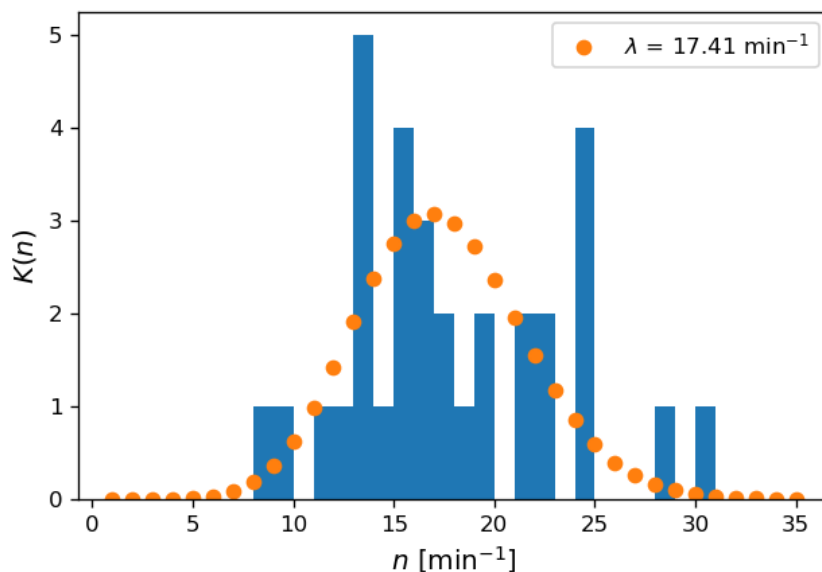


Graf 2: Ověření Rutherfordova vztahu pro popis rozptylu částice.

Z grafu 2 můžeme vidět, že ačkoliv je rozptyl hodnot dost markantní, můžeme tuto závislost prohlásit za lineární. Velký rozptyl hodnot má za následek vysokou relativní nepřesnost při určení směrnice $r(K) = 11\%$.

Nyní provedeme co nejdelší měření v takové poloze zlaté fólie, při které bude počet zaznamenaných částic nejvyšší, tedy $f = 22.7 / 2 \text{ cm} = 11.35 \text{ cm}$. Výsledné měření rozdělíme na menší časové intervaly a zkoumáme platnost Poissonova rozdělení pro počty zaznamenaných částic za daný časový úsek.

Provedl jsem tedy 4 měření po 5 minutách a jednotlivé měření jsem dále rozdělil po jedné minutě. Získal jsem seznam počtu částic zaznamenaných za jednu minutu, z tohoto seznamu jsem udělal histogram a porovnal jsem jej v teoretickou předpověď podle vztahu (2), kde λ jsem určil jako průměr hodnot v seznamu.



Graf 3: Ověření Poissonova rozdělení počtu detekovaných částic za 1 minutu.

Z grafu 3 vidíme, že rozdělení počtu detekovaných částic docela dobře odpovídá Poissonovu rozdělení. Pro potvrzení této hypotézy provedeme χ^2 test.

Tabulka 2: Potvrzení Poissonova rozdělení pomocí χ^2 testu.

n	$K(n)$	$NP(n)$
0-12	3	3.70
12-15	6	7.03
15-18	5	9.03
18-21	2	7.04
21+	8	7.15

Výsledek chí-kvadrát testu je tedy $\chi^2 = 5.791$.

Porovnáním výsledku chí-kvadrát testu s tabelovanou hodnotou vidíme, že pro pět stupňů volnosti a hladinu spolehlivosti 0.05 udává tabulka hodnotu 11.070, teorii tedy zamítnout nemůžeme.

3. Závěr

V první části jsem proměřil závislost rozptylu na poloze zlaté fólie a ověřil jsem Rutherfordův vztah pro počet detekovaných částic. Závislost počtu naměřených částic na x se dá prohlásit za lineární s konstantou úměrnosti $K = (320 \pm 40) \text{ min}^{-1} \text{ cm}^4$.

V další části jsem ověřoval platnost Poissonova rozdělení pro počty detekovaných částic. Naměřené rozdělení docela dobře odpovídá rozdělení Poissonovu, pro kontrolu jsem provedl χ^2 test a zjistil jsem, že pro pět stupňů volnosti a hladinu spolehlivosti 5 % tuto teorii nemůžeme zamítnout.