Fyzikálna sekcia prírodovedeckej fakulty Masarykovovej univerzity v Brne

FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

Fyzikálne praktikum 3

Vypracoval: Patrik Žilka **Namerané:** 26. apríla 2011

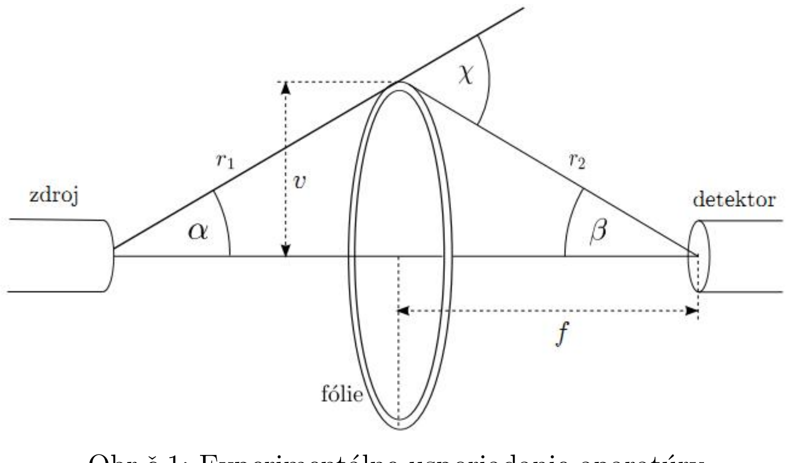
Obor: AF **Ročník:** II **Semester:** IV **Testované:**

Úloha č. **8:** **Rutherfordov experiment**

1. Teória

Hans Geiger a Ernest Marsden pod vedením Ernesta Rutherforda spravili v roku 1909 experiment, v ktorom nechali dopadať zväzok α-častíc na tenučkú zlatú fóliu. Podľa Thomsonovho modelu by sa mali kladne nabité α-častice pri prelete zlatou fóliu mierne odchylovať od svojho pôvodného smeru díky odpudzovaniu kladných nábojov. Avšak podľa experimentu vätšina α-častíc prechádzala fóliou bez toho, že by boli ovplivnené. Na druhej strane sa objavovali častice rozptýlené pod veľkým uhlom. Tento výsledok odôvodňuje Ruthefordov planetárny model atómu, teda malé hmotné jadro s obiehajúcimi elektrónmi a s veľkým priestorom okolo.

Princíp Ruthefordovho experimentu spočíva v meraní rozptylu ľahkých α-častíc na veľmi hmotných atómoch, aký je napríklad zlato. Pokiaľ sa prilietajúca α-častica dostane dostatočne blízko k atómovému jadru, začne byť odpudzována jeho kladným nábojom. V dôsledku tejto sily je priletajúca α-častica odklonená o uhol χ od svojho pôvodného smeru. Veľkosť uhla χ závisí na tom, ako blízko k atómovému jadru α-častica prenikla a na jej počiatočnej rýchlosti.



Obr.č.1: Experimentálne usporiadanie aparatúry.

Usporadanie experimentu v tomto prípade je zobrazené na obrázku č.1. Ak má platiť Ruthefordov popis rozptylu, musí množstvo detekovaných α-častíc za jednotku času n v takto zotavenom experimente a pre dostatočný počet meraní splňovať nasledovnú rovnicu:

$$n = K\frac{\cos\alpha\cos\beta}{r_1^2 r_2^2 \sin^4\frac{\chi}{2}} = Kf(d-f)(v^2+f^2)^{-\frac{3}{2}}(v^2+(d-f)^2)^{-\frac{3}{2}}\sin^{-4}\frac{1}{2}(\arctan\frac{v}{f}+\arctan\frac{v}{d-f}),$$

kde K je konštanta daná experimentálnim usporiadaním a ostatné parametre sú hodnoty dané polohou fólie tak, ako je to na obrázku č.1. V prípade tohto experimentu budeme poznať polomer medzikruží od stredu fólie v, vzdialenosť detektora od zdroja d a bude sa merať vzdialenosť fólie od detektora f.

Zriedkavé rádioaktívne rozpady jadier je možné opísať Poissonovým rozdelením:

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

kde P(n) je pravdepodobnosť, že dojde k n rozpadom (zachytením n α-častíc) a λ je stredná hodnota počtu zaznamenaných rozpadov behom meriaceho intervalu. Využitie Poissonovho rozdelenia je predovšetkým ako predikcia pravdepodobného počtu javu v nejakom časovom intervale. Avšak tvrdenie, že pre α-rozpad americia ide použiť Poissonovo rozdolenie, je nutné overiť a to napríklad χ^2 (chi kvadrát) testom. Ten sa prevedie tak, že väčší časový interval sa rozdelí na N menších a to tak, aby priemerná hodnota detekcií v menšom intervale bola väčšia ako 5. Taktiež súčet pravdepodobností všetkých možných súm detekcií v menšom časovom intervale sa musí rovnať jednej. Počet nameraných rôznych súm detekcií zmenšený o jeden sa nazýva počet stupňov voľnosti a pravdepodobnosť poslednej možnosti sa dá vyjadriť ako $P_k = 1 - F(k-1)$, kde $F(k)$ je tzv. distribučná funkcia rozdelenia, ktorá vyjadruje pravdepodobnosť k a menej detekcií behom meriaceho intervalu. Hodnotu χ^2 následne vypočítame podľa vzťahu:

$$\chi^2 = \sum_j \frac{(K_j(n) - NP_j(n))^2}{NP_j(n)},$$

kde $K_j(n)$ vyjadruje počet intervalov, u ktorých bolo zaznamenaných n detekcií, N je zvolený počet úsekov a $P_j(n)$ je teoretická hodnota odpovedajúca Poissonovmu rozdeleniu. Výsledkom je číslo, ktoré sa porovnáva s kritickou hodnotou zvolenou podľa počtu volnosti a podľa hladiny spoľahlivosti. Ak je kritická hodnota väčšia, znamená to, že nemôžeme zamietnuť testovanú hypotézu.

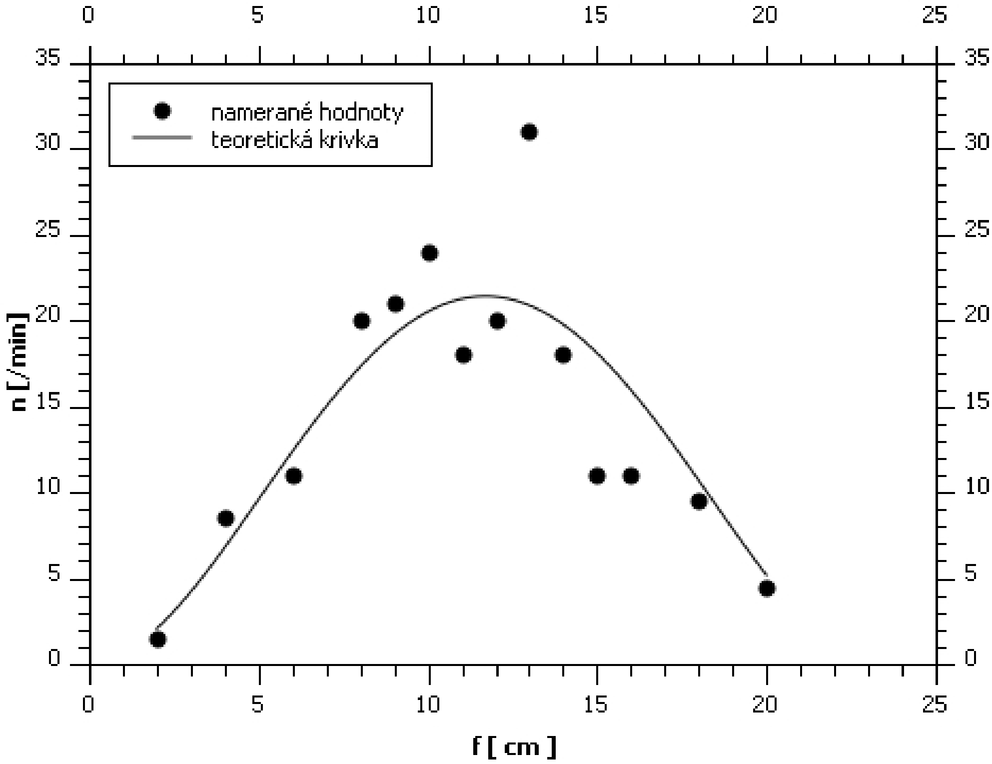
2. Meranie

Použitý zdroj pre α-častice: Americium $^{247}\mathtt{Am}$,
stredný polomer medzikruhu v zlatej fólii: $v = 2$ cm,
vzdialenosť medzi detektorom a zdrojom: $d = (23.40 \pm 0.05)$ cm

Tabuľka č.1: Počet detekcií α-častíc N v časovom intervale T a v danej vzdialenosti fólii od detektora f. Číslo n vyjadruje počet detekcií za jednu minútu:

f [cm]	N [j]	T [s]	n [j/min]
2	3	120	1,5
4	17	120	8,5
6	22	120	11
8	40	120	20
9	21	60	21
10	48	120	24
11	18	60	18
12	20	60	20
13	31	60	31
14	18	60	18
15	11	60	11
16	11	60	11
18	19	120	9,5
20	9	120	4,5

Graf č.1: Závislosť počtu zachytených častic za minútu od vzdialenosti fólie od detektora



Tabuľka č.2: Počet detekovaných α-častíc v jednotlivých 15-sekundových úsekoch označených poradovým číslom n:

n	N [j]	n	N [j]	n	N [j]	n	N [j]
1	3	21	9	41	2	61	6
2	6	22	7	42	3	62	6
3	4	23	4	43	7	63	6
4	11	24	3	44	4	64	6
5	3	25	8	45	4	65	8
6	1	26	3	46	6	66	3
7	13	27	3	47	5	67	7
8	12	28	11	48	8	68	8
9	5	29	3	49	8	69	9
10	3	30	6	50	2	70	8
11	8	31	7	51	8	71	4
12	3	32	11	52	6	72	7
13	5	33	9	53	0	73	9
14	6	34	5	54	6	74	8
15	7	35	4	55	1	75	10
16	4	36	6	56	4	76	2
17	5	37	4	57	8	77	3
18	7	38	5	58	9	78	5
19	2	39	4	59	5	79	8
20	4	40	3	60	3	80	6

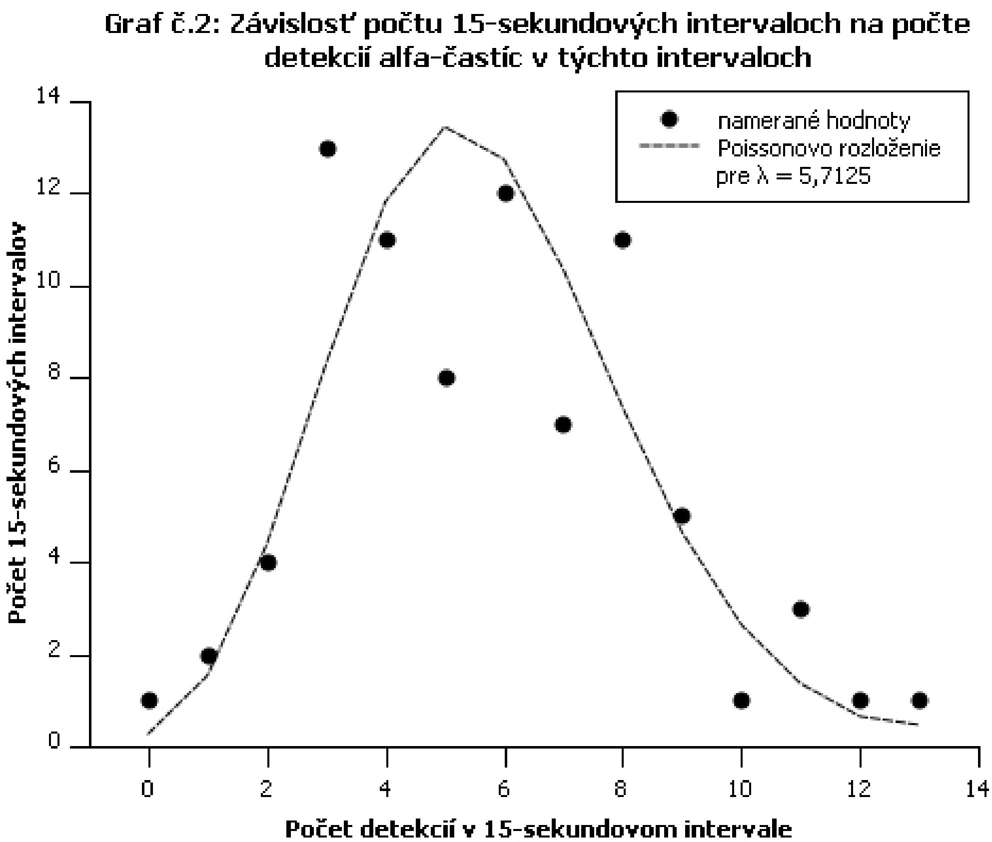
Stredná hodnota zaznamenaných rozpadov behom 20 minút: λ =5,7125 častíc za 15 sekúnd

Tabuľka č.3: Počty 15-sekundových intervalov $K(n)$ podľa daného počtu detekovaných α-častíc n a ich pravdepodobnosť $P(n)$:

n	$K(n)$ [j]	$P(n)$ [%]	χ^2_n
0-2	7	7,75	0,10
3	13	10,39	2,65
4	11	14,77	0,06
5	8	16,80	2,20
6	12	15,93	0,04
7	7	12,94	1,09
8	11	9,20	1,80
9+	11	12,22	0,15

Výsledná hodnota χ^2 testu z 15-sekundových intervalov: $\chi^2 = 8{,}09$

Kritická hodnota pre stupeň voľnosti 7 a hladinu spoľahlivosti 0,05 je 14,07.

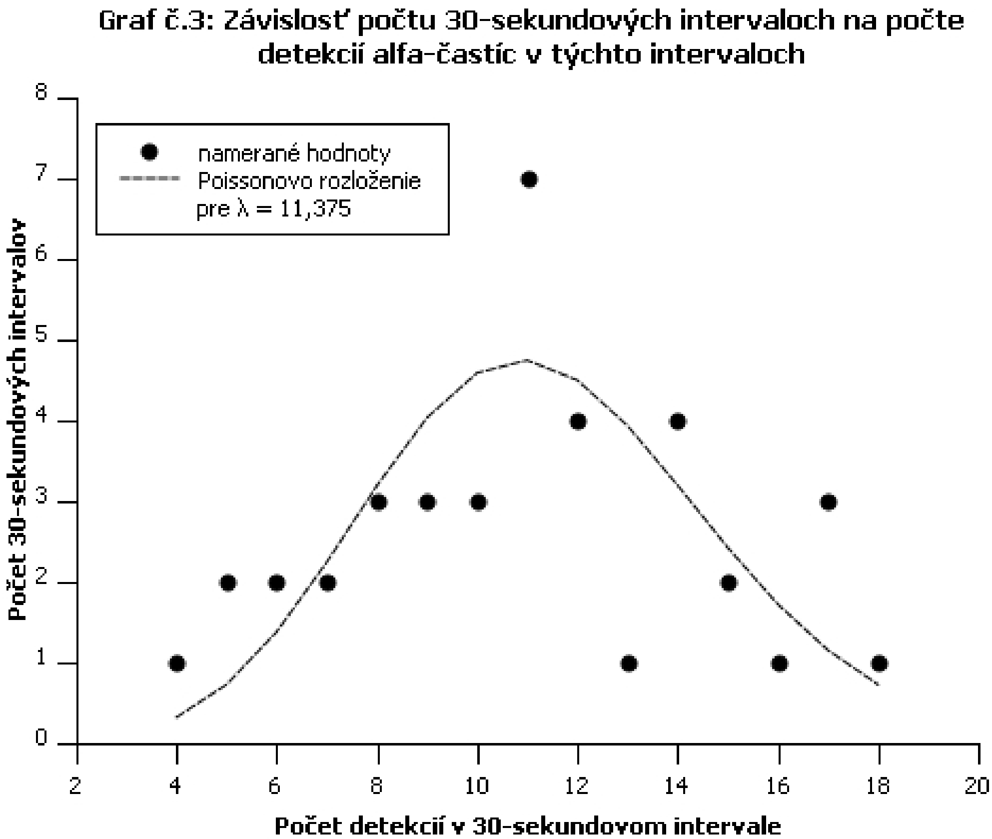


Tabuľka č.4: Počty 30-sekundových intervalov $K(n)$ podľa daného počtu detekovaných α-častíc n a ich pravdepodobnosť $P(n)$:

n	$K(n)$ [j]	$P(n)$ [%]	χ^2_n
0-8	10	19,66	0,58
9-10	6	21,56	0,80
11-12	11	23,11	0,33
13-14	5	17,83	0,64
15+	8	17,82	0,11

Výsledná hodnota χ^2 testu z 30-sekundových intervalov: $\chi^2 = 2{,}46$

Kritická hodnota pre stupeň voľnosti 4 a hladinu spoľahlivosti 0,05 je 9,48.



3. Záver

Z grafov je vidieť a aj z χ^2 testu vyplíva, že α-častice môžu mať Poissonovo rozloženie, kedže výsledné χ^2 hodnoty sú menšie ako kritické. Z grafu č.1 je tiež vidieť, že namerané hodnoty približne sedia k teoretickej krivke a tým sa dá podporiť Ruthefordov planetárny model.