

Úloha III.E ... Vzdálené laboratoře

7 bodů; průměr 4,96; řešilo 27 studentů

Na adresách <https://bit.ly/2HsaCaC> a <https://bit.ly/33aoVIF> máte přístup ke dvěma vzdáleně řízeným experimentům prováděným na stejném zařízení. Prvním je detekce částic radioaktivního záření v závislosti na vzdálenosti vzorku od detektoru (stínění vzduchem) a druhým je detekce při konstantní vzdálenosti, ale se stíněním rozdílně tlustými destičkami různých materiálů.

Detektor snímá částice vždy po určitý čas a měření opakuje, protože pro každý časový interval vzorek vyzáří různý počet částic. Vyberte si jeden z experimentů a po přečtení všech informačních textů proměřte vzorek ve všech nabízených délkách, či stíněních.

V teoretické části vašeho řešení popište experiment, jak mu rozumíte a především dobře svými slovy popište vaše experimentální uspořádání i zdroj záření. Údaje použijte na určení průměrného průběhu množství zachycených částic za daný interval v závislosti na vzdálenosti či stínění a nezapomeňte přiložit graf a tabulku hodnot (zprůměrovaných z opakovaných měření za několik intervalů – počet intervalů si sami určete). (Úlohu nemusíte zpracovávat podle pokynů na dané webové stránce v sekci Zpracování / Zpracování naměřených dat, ale jen dle pokynů zde.) Vysvětlete svými slovy, proč jsou hodnoty takové, jaké jsou.

Upozornění: Experiment je veřejný, a proto není dobrý nápad se k němu dostat na poslední chvíli! Pokud jej někdo používá, ovládání je pro ostatní uživatele zablokováno nejdéle na 20 minut. V takovém případě musíte přijít později, proto doporučujeme úlohu zpracovat s předstihem (blokování může být ale způsobeno i tím, že jste otevřeli oba zmíněné odkazy naráz). Pokud něco nefunguje, kontaktujte nás rovnou na vyfuk@vyfuk.mff.cuni.cz či tel. číslo +420 728 060 232.

Teorie

V mnoha látkách dochází časem k rozpadu atomů – jádro atomu se změní na jiné, anebo, v případě těch těžkých, se dokonce může rozdělit na dvě nová menší. Jelikož takováto jádra mají méně energie než atom původní, zbylou energii vyzáří obvykle v podobě nějaké částice. Tomuto procesu říkáme jaderný rozpad a látku, které jím prochází, pak nazýváme radioaktivní.

Podle druhu vyzářené částice rozlišujeme několik základních typů záření:

- Alfa záření – α částice, neboli jádra helia ${}^4_2\text{He}$
- Beta záření – β^- částice, neboli elektrony e^- ; β^+ částice, neboli pozitrony¹ e^+
- Gamma záření – γ částice, neboli fotony

Tyto částice mají různou velikost i energii, tedy je lze různě dobře „zastavit“ (neboli odstínit) různými materiály o různé tloušťce. Právě toto je základem našeho experimentu. Podle popisu experimentálního uspořádání, který můžeme najít na odkázaných stránkách, máme k dispozici zdroj záření gamma – nejhůře odstínitelného záření², pro jehož stínění se používají materiály s vysokou hustotou, například olovo. Uvnitř zdroje je trocha americia s atomovým číslem 241, značeno ${}^{241}\text{Am}$, které má podle našich stránek „deklarovanou aktivitu“ 200 kBq (200 ki-

¹Pozitrony mají stejnou hmotnost i ostatní vlastnosti jako elektrony, ale kladný náboj.

²Pro představu k odstínění záření alfa stačí i list papíru, proto alfa zářiče potkáme například v některých detektorech kouře. Kouř mezi zářičem a detektorem odstíní záření, tedy vzduchu v měřicí komůrce detektoru poklesne vodivost, kterou detektor měří, takže se spustí poplach.

lobecquerelů), což znamená, že se v něm každou sekundu rozpadá zhruba 200 tisíc atomů americia-241 na atomy jiných prvků.³

Dále zde najdeme dva Geiger-Müllerovy detektory. První připevněný na polohovacím zařízení měří radioaktivní částice ze záříče. Kromě těchto ovšem zachytí i částice z přirozeně radioaktivního pozadí, proto máme ještě druhý detektor, který měří aktivitu pozadí, abychom mohli od naměřených částic odečíst přibližný počet částic, které nebyly z měřeného zdroje.

Měření provádí stroj, je tedy zbaveno faktoru lidské chyby, což jej dělá velmi přesným. Stále je ovšem zatíženo chybou. Tentokrát má na chybu největší vliv samotný zdroj záření, protože nevyzáří v daném intervalu vždy stejně částic. Je to jako loterie – rozdáme padesát tisíc, ale můžeme je rozdat padesáti lidem po tisícovce (zdroj vyzáří jednu částici každých x sekund), nebo jednomu dáme celou částku (zdroj vyzáří deset částic najednou, ale kolem této události je dlouho klid). Silně záleží na tom, do které chvíle se zrovna trefíme, proto nemůžeme vždy stejný počet částic, tedy je potřeba měření opakovat. Krom opakování jej ale můžeme zpřesnit i měřením na největším časovém intervalu 60 s.

Stínění vzdáleností od záříče V této variantě experimentu (dostupné pod prvním odkazem v zadání) nemáme (krom vzduchu) žádné stínění a měříme závislost počtu zachycených částic ionizujícího (radioaktivního) záření na vzdálenosti od zdroje.

Ionizující záření γ je záření jako každé jiné (jen na specifických vlnových délkách), tedy nebude překvapením, že by se mělo chovat jako všechna ostatní záření a jeho intenzita by měla klesat s druhou mocninou vzdálenosti. Počet naměřených částic po odečtení pozadí by tedy měl taktéž klesat s druhou mocninou vzdálenosti

$$N = N_n - N_p = \frac{a}{d^2},$$

kde N je počet detekovaných částic ze zdroje, N_n je počet částic naměřených (včetně pozadí), N_p je počet částic pozadí, d je vzdálenost a a je nějaká konstanta, jejíž hodnota je závislá na vlastnostech zdroje, zejména jeho aktivitě, tedy tomu, kolik částic v nějakém časovém intervalu vyzáří, jakého druhu tyto částice jsou, jakou mají energii apod.

Stínění různými materiály V této variantě (druhý odkaz) se detektor nachází vždy ve stejné vzdálenosti od záříče. Pro stínění máme k dispozici různé materiály o různých tloušťkách.

Částice záření jsou brzděny nárazy do atomů těchto materiálů. Čím je tedy materiál tlustší, tím více vrstvami atomů musí částice záření projít, tedy má větší šanci, že cestou narazí, a tak by materiál o větší tloušťce měl stínit lépe. Těžké kovy mají současně atomy o větším poloměru, s čímž opět částicím záření roste pravděpodobnost, že budou materiálem pohlceny. Měli bychom tedy naměřit méně částic s větší tloušťkou materiálu, což nám potvrdí měděné plíšky, a současně olovo, jakožto nejtěžší z kovů, by mělo stínit nejlépe, vzduch naopak nejhůře. Z periodické tabulky prvků pak vyčteme, že nejhůře by měl stínit hliník, následuje železo, pak měď a nakonec olovo (za předpokladu, že všechny materiály mají stejnou tloušťku, což v tomto experimentu splňují).

Tento experiment ukazuje rovnou dva jevy – závislost naměřeného počtu částic na tloušťce materiálu a na druhu materiálu. Výsledky měření tohoto experimentu proto shrneme pro každou popisovanou závislost zvlášť, aby byl výsledek lépe vidět.

³V praxi je aktivita vždy menší, protože vzorek stárne a jak jádra původního druhu ubývají, zpomaluje se také přeměna v celém vzorku a aktivita klesá. U americia to však nevedí, protože většina vzorků v laboratořích může být stará nejvýše pár desítek let, a ²⁴¹Am má přitom poločas přeměny více než 400 let.

Měření

Měříme, jak je zmíněno výše, na časovém intervalu $t = 60\text{ s}$ pro všechna měření všech experimentů. Dále pak měření pro vyšší přesnost desetkrát opakujeme. V tabulkách níže jsou zaznamenány průměrné hodnoty ze všech deseti měření pro každou konfiguraci.

Měření průměrujeme, ovšem měříme počet částic, tedy nedává smysl zaokrouhlovat s desetinnými místy, proto počty naměřených částic zaokrouhlujeme zásadně na čísla celá. Nejistotu počítáme jako absolutní odchylku podle návodu, který najdete na našich stránkách v sekci Hokus Pokus.⁴

Závislost na vzdálenosti od záříče Z tabulky 1 vidíme, že počet detekovaných částic se vzdáleností opravdu klesá.

$\frac{d}{\text{cm}}$	N_n	N_p	N	ΔN_n	ΔN_p	ΔN
5	267	26	241	14	2	16
7	176	27	149	7	2	9
9	123	28	95	4	4	8
11	92	28	64	6	5	11
13	79	26	53	5	4	9
15	61	28	33	4	2	6
17	56	25	31	3	4	7
19	47	28	19	4	3	7
21	45	27	18	6	3	9

Tabulka 1: Počet detekovaných částic v závislosti na vzdálenosti od záříče. Deltý označují absolutní odchylky.

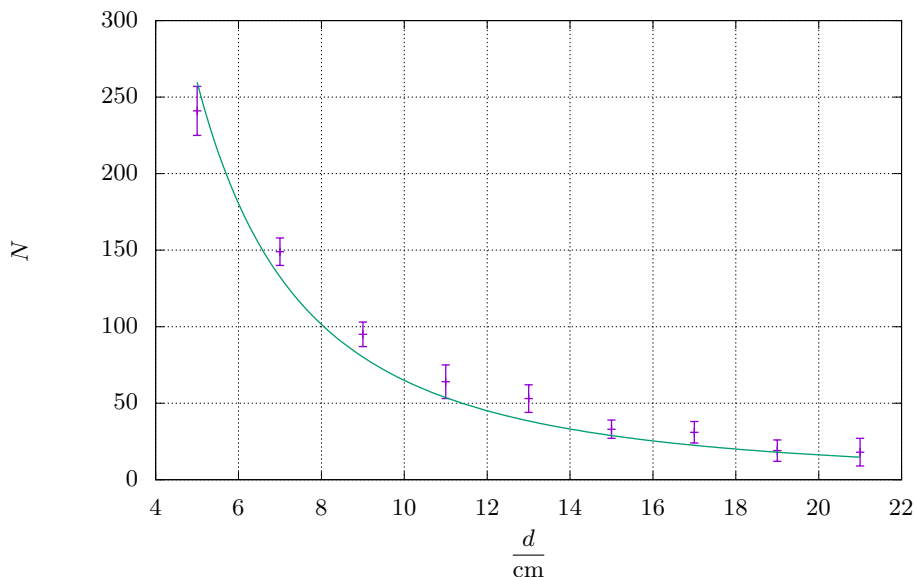
Abychom mohli ověřit, zda opravdu klesá podle vztahu uvedeného v teorii, musíme sestavit graf. Do grafu vyneseme všechny body včetně chybových úseček, které vyznačují interval, na kterém se podle našeho měření nachází správná hodnota.

Pro vynesení křivky funkce vztahu z teorie ovšem neznáme jednu konstantu. Necháme proto křivku vynést libovolný program sestavující grafy, který si konstantu umí dopočítat (např. Gnuplot či Excel). Graf takzvané prokládáme křivkou⁵ Program na tvorbu grafů vypočítá konstantu tak, aby křivka procházela intervaly co nejvíce hodnot, ovšem ne vždy je možné obsáhnout všechny. Z grafu pak vidíme, jak moc se nám měření vzdaluje od nějakého ideálu vyznačeného právě naší proloženou křivkou. Křivka tedy nepopisuje skutečné hodnoty, nýbrž ukazuje, jestli se naše měření chová tak, jak by mělo. Někdy jednoduše neumíme dohledat, co nám vyjít mělo, tedy pro kontrolu chceme alespoň vidět, jestli nám například hodnoty místo lineárně nerostou logaritmicky. To by totiž mohlo znamenat, že máme v měření chybu, přestože nevíme, jestli se některá z hodnot náhodou netrefila do té skutečné, kterou neznáme.

Jak můžeme z grafu na obr. 1 vyčíst, o trochu více než polovina naměřených hodnot má v intervalu i tu ideální z proložené funkce. Ostatní se nám podařilo naměřit vždy lehce nad

⁴https://vyfuk.mff.cuni.cz/rady_a_tipy/hokus_pokus

⁵Ve škole jste se mohli setkat spíše s proložením přímkou, která se dobře rýsuje ručně, tedy je jednodušší odhadnout, kudy by měla vést.



Obrázek 1: Závislost počtu detekovaných částic na vzdálenosti od zářiče. Velikost chybových úseček odpovídá absolutním odchylkám.

ideální hodnotou. Můžeme očekávat ještě větší přiblížení k ideální křivce při provedení většího počtu měření.

Závislost na tloušťce měděné destičky Jak můžeme z tabulky 2 vyčíst, opět nám počet detekovaných částic klesá s rostoucí tloušťkou w měděné destičky.

$\frac{w}{\text{mm}}$	N_n	N_p	N	ΔN_n	ΔN_p	ΔN
0,5	125	25	100	7	4	11
1,0	72	28	44	6	3	9
1,5	49	26	23	7	3	10
2,0	35	28	7	5	2	7
2,5	28	27	1	3	3	6

Tabulka 2: Počet detekovaných částic v závislosti na tloušťce měděné destičky

Za bližší prozkoumání určitě stojí data od destičky o tloušťce $w = 2,5$ mm, pro kterou jsme detekovali pouze jedinou částici s chybou 6, tedy nám její interval zasahuje do záporných hodnot. Jak z tabulky níže vidíme, podařilo se v několika případech naměřit více částic z pozadí, než z pozadí a zdroje dohromady. Neznačená to však, že by měděná destička částice z pozadí přitahovala a odtrhávala je od detektoru. Tento podivný jev je způsoben rozdílným umístěním

detektoru pro zdroj záření a pro aktivitu přirozeného radiačního pozadí. My předpokládáme, že pozadí se chová ve všech místech stejně, tedy když na jednom místě naměříme x částic, stejně bychom jich naměřili i na kterémkoliv jiném místě. To ovšem není tak úplně pravda. Stejně jako když budete do dvou kelímků kutálet hrnek kuliček, nemůže spadnout jedna do dvou kelímků zároveň, nemůže ani jedna částice vletět současně do dvou detektorů. Jejich počty si budou velmi podobné, ovšem nebudou nutně stejné. Pokud nám tedy materiál jako měď o tloušťce $w = 2,5 \text{ mm}$ odstíní záření ze zdroje úplně, měří oba detektory pouze pozadí, tedy můžeme získávat záporné hodnoty počtu detekovaných částic.

Měď $w = 2,5 \text{ mm}$

N_n	N_p
24	27
32	32
22	29
30	31
30	25
27	32
30	19
25	24
29	26
28	25

Měď $w = 2 \text{ mm}$

N_n	N_p
36	26
30	29
30	30
36	31
30	29
38	28
43	21
44	28
30	29
32	24

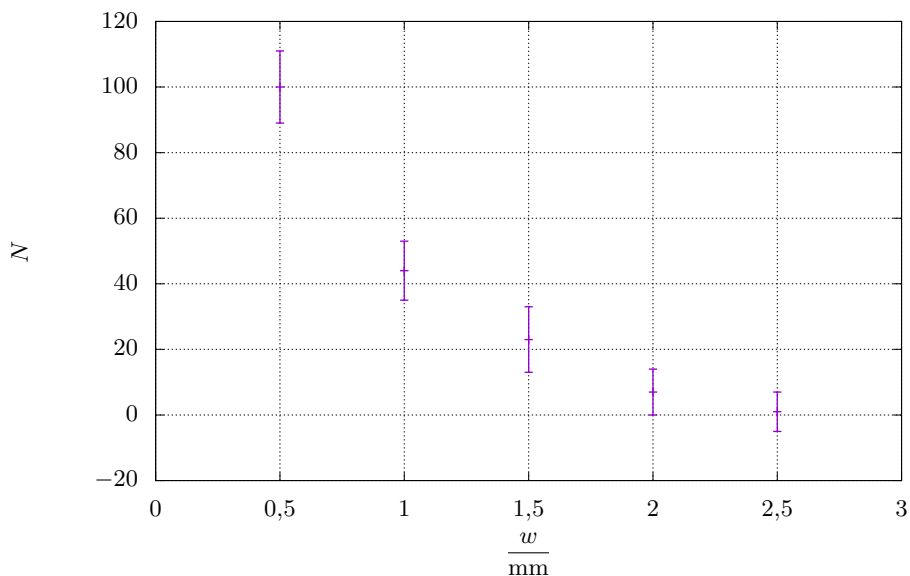
Tabulka 3: Naměřený počet částic včetně pozadí N_n a současně detekovaných částic pozadí N_p pro měděnou destičku o tloušťce $w = 2 \text{ mm}$ a $w = 2,5 \text{ mm}$

Naopak u měděné destičky o tloušťce $w = 2 \text{ mm}$, pro kterou jsme rovněž naměřili nízké číslo, z tabulky výše vidíme, že detektor naměřený na zdroj záření zaznamenával částic zásadně více než detektor zaznamenávající pouze pozadí. Takto poznáme, že destička ještě neodstínila všechno záření.

Při pohledu na graf na obr. 2 navíc vidíme, že pokles detekovaného počtu částic není lineární. Tato závislost je ovšem složitější a setkáte se s ní až při pozdějším studiu, tedy ji zde nebudeme rozebírat. Zájemci ji i s vysvětlením najdou pod odkazy ze zadání.

Závislost na druhu materiálu o tloušťce $w = 1,0 \text{ mm}$ V tabulce 4 vidíme, že i výsledek tohoto měření odpovídá předpokladu – s rostoucím atomovým poloměrem opravdu roste schopnost materiálu odstínit gamma záření.

Vidíme, že hliníková destička se ukázala na stínění silně neúčinná. V kontrastu s hliníkem olovo odstínilo všechno záření. Stejně jako u nejtlustší měděné destičky v předchozí části, tak i zde při pohledu na data, která jsme získali přímo z laboratoře (tabulka 5), vidíme, že se nám v některých případech podařilo naměřit méně částic detektorem naměřeným ke zdroji záření, než detektorem, který měřil pouze přirozené pozadí. Všechny výsledky jsme taktéž shrnuli do grafu č. 3.



Obrázek 2: Závislost počtu detekovaných částic na tloušťce měděné destičky

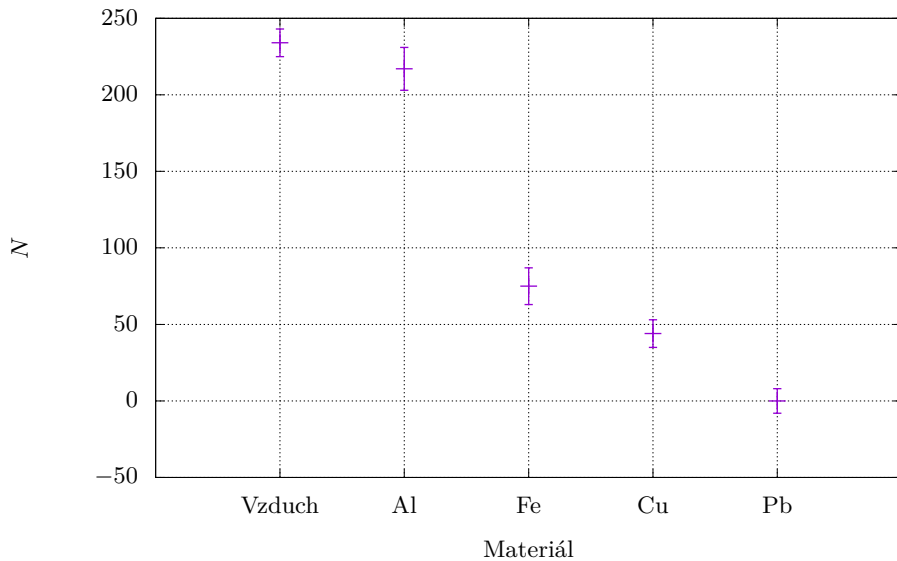
Materiál ($w = 1,0$ mm)	N_n	N_p	N	ΔN_n	ΔN_p	ΔN
Vzduch	261	27	234	5	4	9
Al	242	25	217	11	3	14
Fe	100	25	75	7	5	12
Cu	72	28	44	6	3	9
Pb	26	26	0	4	4	8

Tabulka 4: Počet detekovaných částic v závislosti na druhu materiálu o tloušťce $w = 1,0$ mm

Olovo ($w = 1,0 \text{ mm}$)

N_n	N_p
29	27
31	25
25	33
24	27
20	22
26	21
30	17
30	27
21	33
20	32

Tabulka 5: Naměřený počet částic včetně pozadí N_n a současně detekovaných částic pozadí N_p pro olověnou destičku o tloušťce $w = 1,0 \text{ mm}$



Obrázek 3: Závislost počtu detekovaných částic na typu materiálu o tloušťce $w = 1,0 \text{ mm}$

Závěr

Měřením jsme ověřili, že počet detekovatelných částic gamma záření ze zdroje záření klesá a děje se tak s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Současně také počet detekovatelných gamma částic ze zdroje záření klesá i s tloušťkou materiálu, a to nelineárně. Nakonec schopnosti stínit ovlivňuje i druh materiálu, a to především atomový poloměr prvku, ze kterého se stínění skládá. Čím je větší, tím lépe materiál stíní. Proto stínění hliníkem o tloušťce $w = 1,0$ mm bylo velmi malé, naopak olovo o stejné tloušťce odstínilo všechno záření. Veškeré záření odstínila rovněž měděná destička o tloušťce $w = 2,5$ mm. Všechna měření jsme prováděli na časovém úseku $t = 60$ s.

Za povšimnutí rovněž stojí poměrně velká přesnost měření, které tentokrát není zatíženo lidskou chybou, protože všechno za nás hlídají přístroje. Ve srovnání s nerovnoměrností jaderného rozpadu ve zdroji záření a v přirozeném pozadí tak byla chyba aparatury zanedbatelná a můžeme prohlásit, že nejistota měření byla způsobena pouze nepředvídatelností jaderného rozpadu a pohlcování částic.

Poděkování

V neposlední řadě bychom jménem organizátorů rádi poděkovali doc. RNDr. Františku Lustigovi, CSc. a Katedře výuky obecné fyziky za provozování vzdálených laboratoří, možnost využít jejich experiment pro korespondenční seminář a spolupráci a technickou podporu po celý průběh třetí série desátého ročníku Výfuku.

Sona Husáková
sona@vyfuk.org

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.