

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV – Jaderná a subjaderná fyzika

Úloha č. A4

Název: Totální účinný průřez interakce gama záření – absorpční koeficient záření gama pro některé elementy

Pracoval: Radim Pechal

dne 13. října 2009

Odevzdal dne:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

Pracovní úkol

1. Určete absorpční koeficient záření gama pro elementy Fe, Cd a Pb v závislosti na energii záření. Zpracujte graficky
2. Stanovte polotloušťku výše uvedených materiálů pro některé energie.
3. Srovnajte experimentální hodnoty s hodnotami teoretickými (teoretické hodnoty interpolujte) pro elementy Fe, Cd a Pb (viz tabulka u experimentu)
4. Případný nesouhlas zdůvodněte

Teoretický úvod

Pokud kvantum gama záření prochází nějakou látkou, ztrácí svou energii. Při interakci záření s elektronovým obalem, může docházet k fotoelektrickému jevu nebo k tvorbě párů, v tomto případě dochází k úplné ztrátě energie. Nebo může docházet k Comptonově jevu, kdy záření ztratí značnou část své energie. V tomto případě dochází ke změně směru šíření záření. V důsledku těchto jevů se svazek při průchodu přes materiál zmenší dle [1] podle vztahu

$$N = N_0 e^{-\mu t}, \quad (1)$$

kde N_0 je počet gama kvant dopadajících na materiál, t je tloušťka vrstvy, N je počet gama kvant s původní energií po průchodu materiálem a μ je absorpční koeficient.

Útlum je také možné vyjádřit pomocí tzv. polotloušťky $l_{1/2}$, která je dána vztahem

$$l_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}, \quad (2)$$

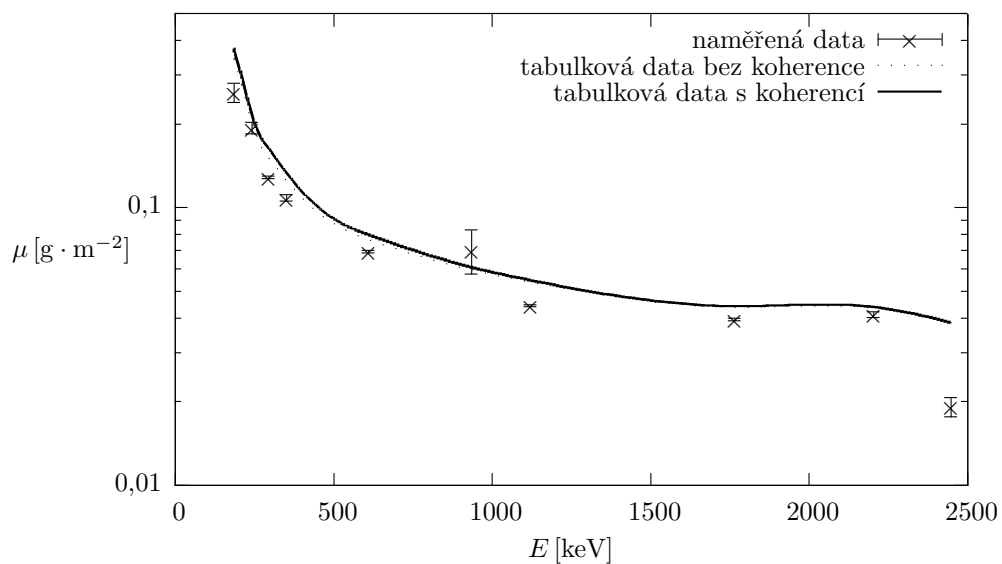
kteřá popisuje vzdálenost, na které se svazek zeslabí na poloviční intenzitu.

Výsledky měření

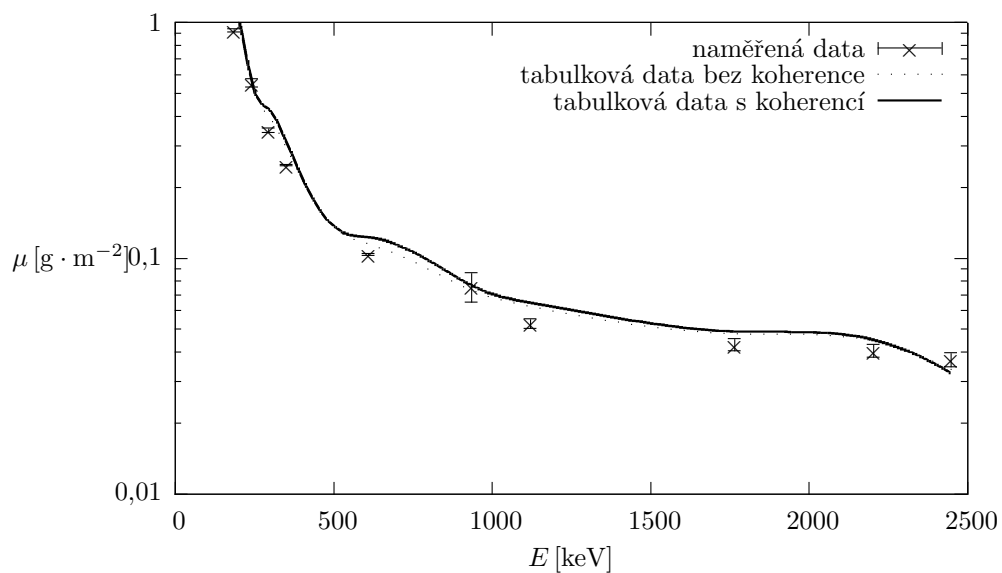
Ke stínění jsem používal plechy, které byly vyrobeny z Cd, Pb a Fe. Měření jsem prováděl vždy pro jeden materiál. Nejdříve jsem určil tloušťky plechů t . Měření jsem prováděl pomocí posuvného měřítka. Hodnoty jsem odečítal s přesností $\sigma_t = \pm 0,04$ mm. Při měření jsem postupně přidával plechy a tak zvyšoval tloušťku stínění. V tabulce 1 jsou uvedeny tloušťky stínění při postupném přidávání plechů.

K měření jsem používal radioaktivní zářič, který měl pro některé energie výrazné intenzity. Tento fakt jsem využil k okalibrování. Při samotném měření jsem pak postupoval tak, že jsem vždy změřil počty gama kvant pro určité energie při daném stínění. Tyto hodnoty jsem zapsal pro kadmium do tabulky 2, pro olovo do tabulky 3 a pro železo do tabulky 4.

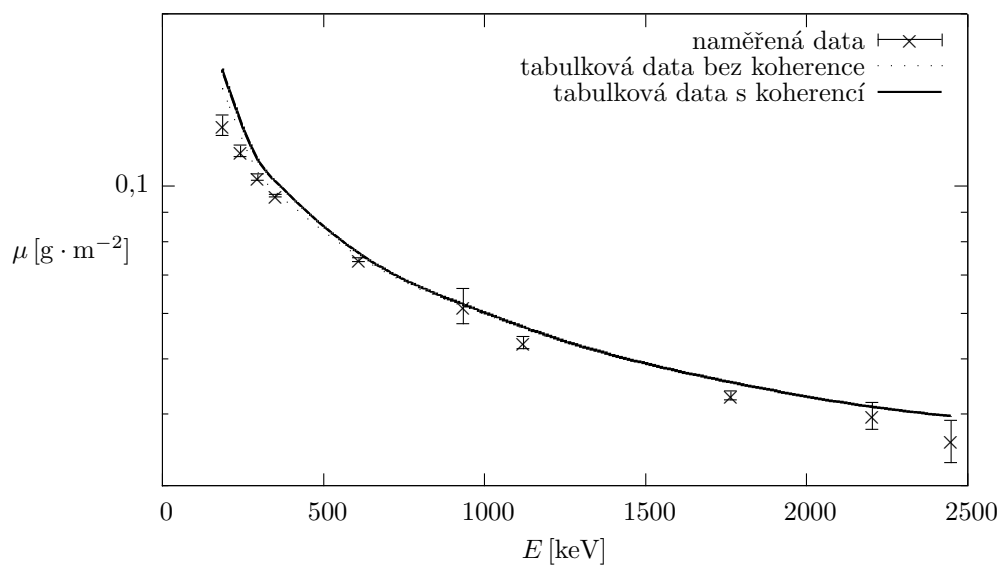
Pro dané energie jsem naměřená data fitoval vztahem (1) podle parametrů μ a N_0 . Dostal jsem tak velikost koeficientu μ , ze kterého jsem vypočítal polotloušťku $l_{1/2}$. Pro stínění kadmium jsem hodnoty zapsal do tabulky 5, pro olovo do tabulky 6 a pro železo do tabulky 7. Uvedl jsem zde i tabulkové hodnoty. Výsledné závislosti jsem pak znázornil v grafu 1 pro Cd, grafu 2 pro Pb a grafu 3 pro Fe.



Graf 1: Závislost absorpčního koeficientu na energii pro stínění Cd.



Graf 2: Závislost absorpčního koeficientu na energii pro stínění Pb.



Graf 3: Závislost absorpčního koeficientu na energii pro stínění Fe.

Počet plechů	t_{Cd} [mm]	t_{Pb} [mm]	t_{Fe} [mm]
1	$1,12 \pm 0,04$	$1,10 \pm 0,04$	$5,00 \pm 0,04$
2	$2,22 \pm 0,06$	$2,22 \pm 0,06$	$9,98 \pm 0,06$
3	$3,30 \pm 0,07$	$3,30 \pm 0,07$	$14,94 \pm 0,07$
4	$4,40 \pm 0,08$	$8,60 \pm 0,08$	$19,94 \pm 0,08$
5			$24,94 \pm 0,09$

Tabulka 1: Tloušťka stínění.

E [keV]	N_0 [10^3]	N_1 [10^3]	N_2 [10^3]	N_3 [10^3]	N_4 [10^3]
186,2	$16,6 \pm 0,7$	$14,0 \pm 0,7$	$10,7 \pm 0,6$	$7,6 \pm 0,6$	$6,1 \pm 0,6$
241,9	$32,3 \pm 0,6$	$26,9 \pm 0,6$	$22,9 \pm 0,6$	$17,8 \pm 0,6$	$15,9 \pm 0,6$
295,2	$72,2 \pm 0,7$	$64,0 \pm 0,7$	$56,1 \pm 0,7$	$50,2 \pm 0,7$	$44,3 \pm 0,6$
351,9	$127,3 \pm 0,6$	$113,7 \pm 0,6$	$103,0 \pm 0,6$	$94,4 \pm 0,6$	$83,3 \pm 0,6$
609,3	$109,9 \pm 0,5$	$103,1 \pm 0,5$	$96,5 \pm 0,5$	$90,3 \pm 0,5$	$84,4 \pm 0,5$
934,1	$6,1 \pm 0,2$	$5,3 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,2$	$4,7 \pm 0,2$
1120,3	$23,1 \pm 0,3$	$22,6 \pm 0,3$	$21,5 \pm 0,3$	$20,6 \pm 0,3$	$19,5 \pm 0,3$
1764,5	$17,56 \pm 0,18$	$16,86 \pm 0,17$	$16,64 \pm 0,17$	$15,85 \pm 0,17$	$14,97 \pm 0,16$
2204,3	$4,64 \pm 0,10$	$4,51 \pm 0,11$	$4,08 \pm 0,10$	$4,19 \pm 0,10$	$3,97 \pm 0,10$
2447,8	$1,30 \pm 0,06$	$1,3 \pm 0,0$	$1,26 \pm 0,05$	$1,16 \pm 0,05$	$1,26 \pm 0,05$

Tabulka 2: Závislost počtu impulzů N pro různé tloušťky stínění Cd.

E [keV]	N_0 [10^3]	N_1 [10^3]	N_2 [10^3]	N_3 [10^3]	N_4 [10^3]
186,2	$16,6 \pm 0,7$	$5,2 \pm 0,6$	$1,7 \pm 0,5$		
241,9	$32,3 \pm 0,6$	$15,6 \pm 0,6$	$8,7 \pm 0,5$	$3,9 \pm 0,5$	
295,2	$72,2 \pm 0,7$	$47,6 \pm 0,6$	$30,5 \pm 0,6$	$18,8 \pm 0,6$	$2,0 \pm 0,4$
351,94	$127,3 \pm 0,6$	$92,6 \pm 0,6$	$68,1 \pm 0,5$	$50,3 \pm 0,5$	$11,2 \pm 0,4$
609,3	$109,9 \pm 0,5$	$96,6 \pm 0,5$	$85,2 \pm 0,5$	$74,7 \pm 0,4$	$39,8 \pm 0,4$
934,1	$6,1 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$
1120,3	$23,1 \pm 0,3$	$22,3 \pm 0,3$	$20,6 \pm 0,3$	$19,3 \pm 0,2$	$13,8 \pm 0,2$
1764,5	$17,6 \pm 0,2$	$16,93 \pm 0,17$	$15,44 \pm 0,16$	$14,96 \pm 0,16$	$11,62 \pm 0,14$
2204,3	$4,64 \pm 0,10$	$4,46 \pm 0,10$	$4,23 \pm 0,10$	$3,89 \pm 0,10$	$3,15 \pm 0,08$
2447,8	$1,30 \pm 0,06$	$1,26 \pm 0,05$	$1,21 \pm 0,06$	$1,16 \pm 0,04$	$0,90 \pm 0,04$

Tabulka 3: Závislost počtu impulzů N pro různé tloušťky stínění Pb.

E [keV]	N_0 [10^3]	N_1 [10^3]	N_2 [10^3]	N_3 [10^3]	N_4 [10^3]	N_5 [10^3]
186,2	$16,6 \pm 0,7$	$9,5 \pm 0,6$	$5,9 \pm 0,6$	$3,6 \pm 0,6$	$2,8 \pm 0,5$	$1,5 \pm 0,5$
241,9	$32,3 \pm 0,6$	$21,2 \pm 0,6$	$13,4 \pm 0,6$	$7,8 \pm 0,5$	$5,1 \pm 0,5$	$3,59 \pm 0,48$
295,2	$72,2 \pm 0,7$	$49,0 \pm 0,7$	$32,2 \pm 0,6$	$21,4 \pm 0,6$	$13,5 \pm 0,6$	$9,65 \pm 0,53$
351,94	$127,3 \pm 0,6$	$87,5 \pm 0,6$	$60,4 \pm 0,5$	$40,8 \pm 0,5$	$28,0 \pm 0,5$	$19,11 \pm 0,44$
609,3	$109,9 \pm 0,5$	$82,9 \pm 0,5$	$61,0 \pm 0,4$	$45,6 \pm 0,4$	$34,3 \pm 0,4$	$25,93 \pm 0,36$
934,1	$6,1 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$1,71 \pm 0,19$
1120,3	$23,1 \pm 0,3$	$19,2 \pm 0,2$	$15,4 \pm 0,2$	$12,7 \pm 0,2$	$10,0 \pm 0,2$	$7,9 \pm 0,19$
1764,5	$17,6 \pm 0,2$	$14,58 \pm 0,17$	$12,31 \pm 0,15$	$10,5 \pm 0,14$	$8,8 \pm 0,13$	$7,66 \pm 0,11$
2204,3	$4,64 \pm 0,10$	$3,95 \pm 0,10$	$3,36 \pm 0,09$	$2,94 \pm 0,08$	$2,64 \pm 0,06$	$1,98 \pm 0,08$
2447,8	$1,30 \pm 0,06$	$1,2 \pm 0,04$	$1,07 \pm 0,04$	$0,86 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,04$	$0,63 \pm 0,04$

Tabulka 4: Závislost počtu impulzů N pro různé tloušťky stínění Fe,

E [keV]	μ [m^{-1}]	μ [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$]	$l_{1/2}$ [mm]	μ_{koh} [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$]	μ [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$]
	Naměřená data			Tabulková data	
186,2	225 ± 18	$0,26 \pm 0,02$	$3,1 \pm 0,3$	0,374	0,342
241,9	167 ± 8	$0,193 \pm 0,009$	$4,1 \pm 0,2$	0,219	0,200
295,2	$111,2 \pm 1,3$	$0,1285 \pm 0,0015$	$6,23 \pm 0,07$	0,164	0,151
351,9	94 ± 2	$0,109 \pm 0,003$	$7,4 \pm 0,2$	0,134	0,125
609,3	$60,0 \pm 0,7$	$0,0693 \pm 0,0008$	$11,56 \pm 0,13$	0,0800	0,0768
934,1	61 ± 11	$0,071 \pm 0,013$	11 ± 2	0,0611	0,0597
1120,3	$38,4 \pm 0,4$	$0,0444 \pm 0,0004$	$18,06 \pm 0,17$	0,0548	0,0539
1764,5	$34,2 \pm 0,4$	$0,0395 \pm 0,0005$	$20,3 \pm 0,2$	0,0442	0,0438
2203,1	$35,6 \pm 0,8$	$0,0412 \pm 0,0010$	$19,5 \pm 0,5$	0,0439	0,0435
2447,8	$16,6 \pm 1,3$	$0,0192 \pm 0,0015$	42 ± 3	0,0386	0,0385

Tabulka 5: Určení absorpčního koeficientu a polotloušťky pro různé energie při stínění Cd.

E [keV]	μ [m ⁻¹]	μ [g · cm ⁻²]	$l_{1/2}$ [mm]	μ_{koh} [g · cm ⁻²]	μ [g · cm ⁻²]
	Naměřená data			Tabulková data	
186,2	1049 ± 19	0,925 ± 0,016	0,661 ± 0,012	1,28	1,20
241,9	628 ± 25	0,55 ± 0,02	1,10 ± 0,04	0,567	0,567
295,2	396 ± 8	0,349 ± 0,007	1,75 ± 0,04	0,431	0,400
351,9	282 ± 2	0,249 ± 0,002	2,458 ± 0,017	0,314	0,291
609,3	118 ± 1	0,1039 ± 0,0008	5,88 ± 0,04	0,123	0,115
934,1	86 ± 12	0,076 ± 0,011	8,0 ± 1,1	0,0768	0,7330
1120,3	60 ± 3	0,053 ± 0,003	11,6 ± 0,6	0,0649	0,0625
1764,5	49 ± 3	0,043 ± 0,003	14,2 ± 0,8	0,0490	0,0479
2203,1	46 ± 3	0,041 ± 0,003	15,1 ± 1,0	0,0452	0,0445
2447,8	42 ± 3	0,037 ± 0,003	16,4 ± 1,1	0,3265	0,3373

Tabulka 6: Určení absorpčního koeficientu a polotloušťky pro různé energie při stínění Pb.

E [keV]	μ [m ⁻¹]	μ [g · cm ⁻²]	$l_{1/2}$ [mm]	μ_{koh} [g · cm ⁻²]	μ [g · cm ⁻²]
	Naměřená data			Tabulková data	
186,2	101 ± 4	0,128 ± 0,005	6,9 ± 0,3	0,160	0,148
241,9	91 ± 2	0,115 ± 0,003	7,64 ± 0,18	0,131	0,123
295,2	82 ± 1	0,1037 ± 0,0014	8,50 ± 0,12	0,112	0,106
351,9	76 ± 0	0,0963 ± 0,0005	9,160 ± 0,043	0,102	0,0976
609,3	58 ± 0	0,0744 ± 0,0006	11,85 ± 0,10	0,0765	0,0754
934,1	49 ± 3	0,062 ± 0,004	14,3 ± 1,0	0,0622	0,0617
1120,3	42,0 ± 1,0	0,0534 ± 0,0013	16,5 ± 0,4	0,0568	0,0564
1764,5	33,9 ± 0,6	0,0431 ± 0,0008	20,4 ± 0,4	0,0455	0,0454
2203,1	31,3 ± 1,7	0,040 ± 0,002	22,2 ± 1,2	0,0412	0,0411
2447,8	28 ± 2	0,036 ± 0,003	25 ± 2	0,0397	0,0396

Tabulka 7: Určení absorpčního koeficientu a polotloušťky pro různé energie při stínění Fe.

Diskuse výsledků

Při určování šířky stínění jsem se dopouštěl chyby měření způsobené různou tloušťkou plechu. Pro kadmiové a železné plechy byly tyto změny zanedbatelné, ovšem olověný plech byl místy pokriven a bylo obtížné odhadnout, jak moc tyto nerovnosti ovlivňují měření.

Při měření četnosti částic pro různé stínění jsem prováděl měření po dobu 270 s. Pokud bych prováděl měření pro delší časový úsek, dostal bych data, která by byla zatížena menší statistickou chybou, ovšem měření by bylo značně časově náročné. Naměřená data byla nejdříve předzpracována počítačovým programem, který určil maximum kolem pozorovaného píku měřeného spektra. Ukázalo se, že měření pro energii okolo 1459 keV bylo buď nevhodně zvolené nebo špatně okalibrované, neboť naměřené intenzity byly velmi malé a tudíž zatížené také velikou chybou. Proto jsem hodnoty pro tuto energii při zpracování nepoužíval a v protokolu neuváděl.

Naměřená data jsem fitoval vztahem (1) pomocí programu `GNUplot` v. 4.2. Tato verze zohledňuje chyby měření fitovaných dat. Pomocí tohoto programu jsem také určil chyby měření fitovaných veličin. Fitoval jsem podle parametrů N_0 a μ . Teoreticky jsem N_0 mohl určit z měření bez stínění, ale přišlo mi vhodnější fitovat podle těchto dvou parametrů, neboť jsem tak lépe zohlednil chybu měření N_0 a dostal jsem tak přesnější výsledky.

Výsledky jsem porovnal s tabulkovými hodnotami. Tyto hodnoty se v rámci chyby měření neshodovaly. Důvodů může být více. Projevit se mohlo nedokonalé geometrické uspořádání měřicí soustavy, hrubá chyba a nebo konečnost stínění. Teoretické hodnoty jsem získal z tabulky, která byla přiložena k experimentu. Nebyly zde uvedeny přesné hodnoty pro energie, které jsem měřil. Proto jsem potřebné údaje interpoloval. Naměřené hodnoty jsem přepočtl z jednotek m^{-1} pomocí hustot materiálu ρ uvedených ve výše zmíněných tabulkách na jednotky $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Podle předpokladu se ukázalo, že nejmenší polotloušťka vychází pro olovo. Což odpovídá tomu, že se olovo běžně používá pro odstínění gama záření.

Závěr

Určil jsem absorpční koeficienty kadmia, olova a železa pro různé energie. Z absorpčních koeficientů jsem určil polotloušťku materiálů. Nejmenší polotloušťku mělo olovo. Naměřená data jsem zapsal do tabulek 5, 6 a 7 a graficky znázornil průběhy v grafech 1 až 3.

Seznam použité literatury

- [1] *Studijní text:*
Totální účinný průřez interakce γ záření - absorpční koeficient záření gama pro některé elementy. http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_404.pdf. Říjen 2009.