

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: **IV**

Název: Totální účinný průřez gama záření

Vypracoval: **Michal Bareš**

dne 1.11.2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úkol

- 1) Určete absorpční koeficient záření gama pro elementy Fe, Cd a Pb v závislosti na energii záření. Zpracujte graficky
- 2) Stanovte tloušťku výše uvedených materiálů pro některé energie: 186.2, 241.9, 295.2, 351.9, 609.3, 1120.3, 1238.3, 1408.0 a 1764.5 keV.
- 3) Srovnajte experimentální hodnoty s hodnotami teoretickými (teoretické hodnoty interpolujte) pro elementy Al, Fe a Pb (viz tabulka u experimentu)
- 4) Případný nesouhlas zdůvodněte

Teorie

Při průchodu γ záření látkou dochází k interakci fotonů s hmotou, a to třemi hlavními způsoby. Jedná se o Comptonův rozptyl, kdy foton ztrácí část energie a také mění svůj směr, fotoefekt jev, kdy foton je foton pohlcen a tvorbu elektron-positronových párů. Pro množství fotonů N , které projdou bez interakce vzorkem látky o tloušťce t platí vztah

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

kde N_0 je množství fotonů vstupujících do materiálu a μ je tzv. útlumový koeficient, závislý na energii záření a materiálu.

Polotloušťka $t_{1/2}$ je dráha záření v materiálu, na které dojde k interakci jedné poloviny procházejících fotonů. Dá se z (1) vyjádřit jako

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

Výsledky měření

Při měření jsem nechal dopadat γ záření produkované vzorkem ^{226}Ra na stínící materiál. Měřil jsem počet γ fotonů procházejících materiálem v původním směru záření, o kterých lze předpokládat, že u nich nedošlo k interakci s látkou. Ke kalibraci měřicího zařízení jsem použil záznam spektra záření volně dopadajícího na detektor, kde jsem významným peakům přiřadil energie o známých hodnotách. Měření jsem prováděl pro kadmium, železo a olovo a to u každého materiálu pro 5 různých tloušťek (hodnoty uvádím v tabulce 4), po dobu 180s. Měřicí program registroval počty prošlých fotonů v oblasti několika zvolených energií. Pomocí exponenciální regrese jsem pro tyto energie dle (1) spočítal útlumové koeficienty a dle (2) potom příslušné polotloušťky. Pro porovnání s tabulkovými hodnotami jsem spočítal i hodnoty μ/ρ útlumového koeficientu normovaného hustotou látky – výsledky měření a výpočtů pro jednotlivé materiály jsou shrnuty v tabulkách 1 až 3 a v grafech 1 až 3. Tabelované hodnoty jsem získal z [2], hustoty materiálů jsem uvažoval $\rho_{\text{Cd}} = 8650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{Fe}} = 7874 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $\rho_{\text{Pb}} = 11340 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabulka 1: Útlumové koeficienty a polotloušťky pro kadmium

E / keV	μ / m^{-1}	$\sigma_{\mu} / \text{m}^{-1}$	$(\mu/\rho) / \text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$	$\sigma_{(\mu/\rho)} / \text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$	$t_{1/2} / \text{mm}$	$\sigma_{t_{1/2}} / \text{mm}$
186,3	238	5	27,5	0,6	2,9	0,1
242,1	129	3	14,9	0,4	5,4	0,1
295,3	95	2	11,0	0,2	7,3	0,2
352,1	70	1	8,1	0,2	9,9	0,2
609,5	37	1	4,3	0,1	18,6	0,6
1120,5	12	2	1,4	0,2	59	9
1238,3	24	2	2,7	0,2	29	2
1408,2	6	7	0,7	0,8	113	131
1509,4	1	9	0,2	1,0	479	2905
1764,8	8	2	1,0	0,2	82	20
2204,4	-4	2	-0,5	0,3	-159,2	90,6

Tabulka 2: Útlumové koeficienty a polotloušťky pro železo

E / keV	μ / m^{-1}	$\sigma_{\mu} / \text{m}^{-1}$	$(\mu/\rho) / \text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$	$\sigma_{(\mu/\rho)} / \text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$	$t_{1/2} / \text{mm}$	$\sigma_{t_{1/2}} / \text{mm}$
186,3	96	1,6	12,2	0,20	7,19	0,12
242,1	80	0,7	10,2	0,08	8,66	0,07
295,3	72	0,4	9,1	0,06	9,67	0,06
352,1	64	0,8	8,2	0,10	10,75	0,14
609,5	48	0,6	6,1	0,07	14,47	0,18
1120,5	32	0,6	4,0	0,07	21,8	0,4
1238,3	31	0,9	4,0	0,12	22,3	0,6
1408,2	25	1,2	3,2	0,15	27,4	1,3
1509,4	28	0,6	3,6	0,07	24,6	0,5
1764,8	24	0,9	3,0	0,11	29,4	1,1

2204,4	20	1,3	2,5	0,16	35	2
--------	----	-----	-----	------	----	---

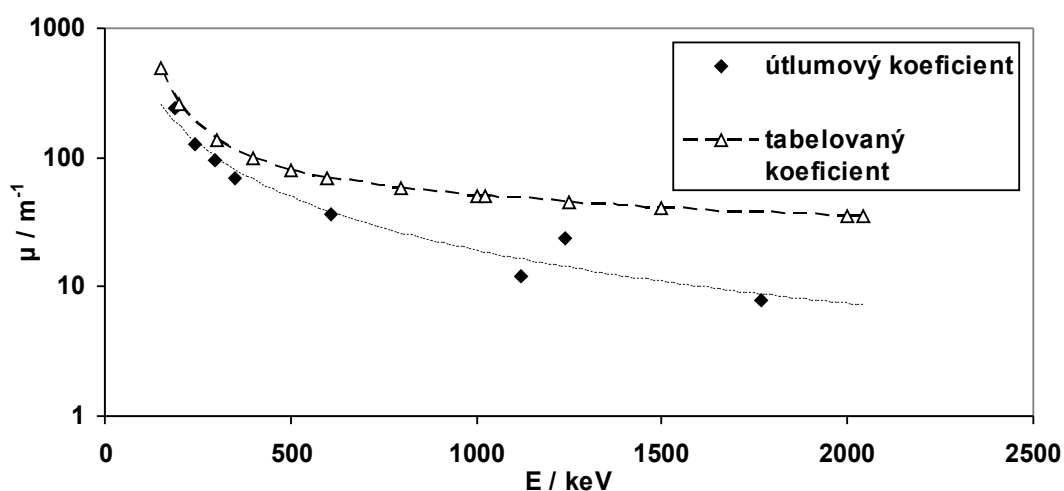
Tabulka 3: Útlumové koeficienty a polotloušťky pro olovo

E / keV	μ / m^{-1}	$\sigma_{\mu} / \text{m}^{-1}$	$(\mu/\rho) / \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2$	$\sigma_{(\mu/\rho)} / \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2$	$t_{1/2} / \text{mm}$	$\sigma_{t_{1/2}} / \text{mm}$
186,3	1101	23	97,1	2,0	0,630	0,013
242,1	582	7	51,3	0,6	1,19	0,02
295,3	389	7	34,3	0,6	1,78	0,03
352,1	258	7	22,7	0,6	2,69	0,07
609,5	84	5	7,4	0,5	8,2	0,5
1120,5	25	7	2,2	0,7	28	8
1238,3	28	4	2,5	0,4	25	3
1408,2	10	8	0,9	0,7	67	51
1509,4	14	8	1,2	0,7	49	29
1764,8	9	6	0,8	0,6	80	58
2204,4	2	7	0,2	0,7	319,0	1093,7

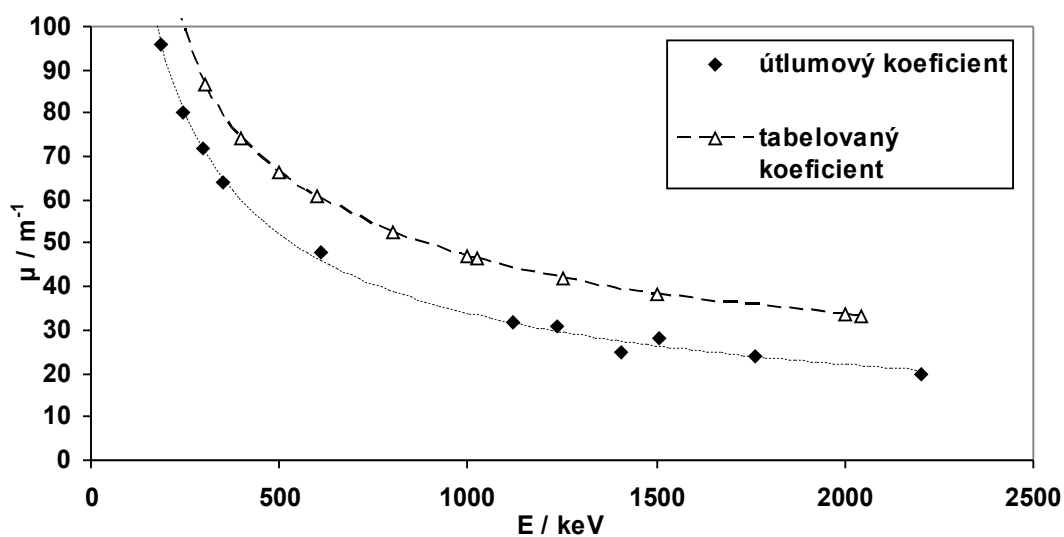
Tabulka 4: Tloušťky měřených materiálů

materiál	t_1 / mm	t_2 / mm	t_3 / mm	t_4 / mm	t_5 / mm
Cd	1,06	2,14	3,20	4,30	5,36
Fe	4,98	9,92	14,92	19,84	24,84
Pb	1,04	2,08	3,14	4,20	9,30
$\Delta t / \text{mm}$	0,02	0,04	0,06	0,08	1,00

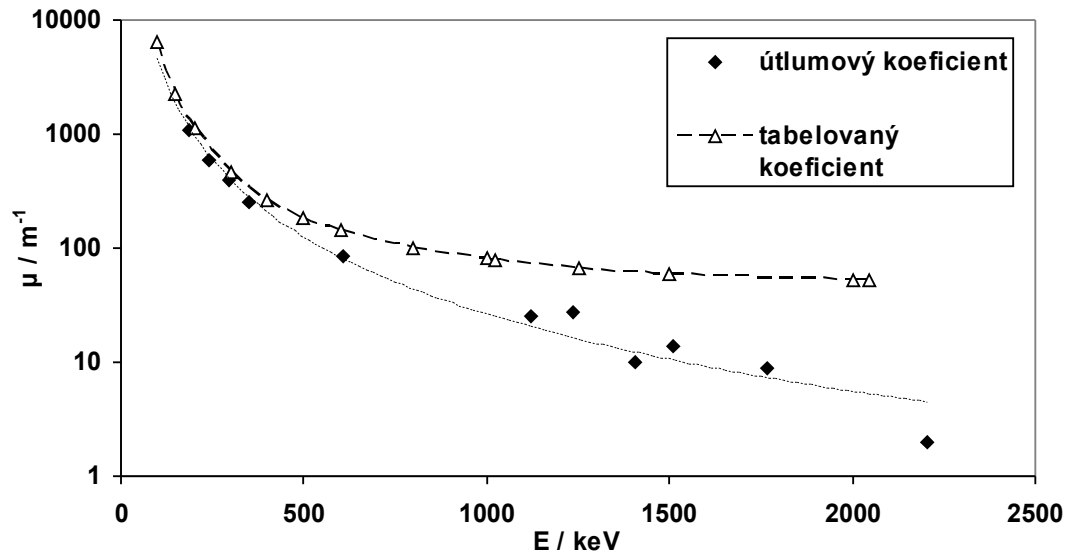
Graf 1: Závislost útlumového koeficientu na energii záření - kadmium



Graf 2: Závislost útlumového koeficientu na energii záření - železo



Graf 3: Závislost útlumového koeficientu na energii záření - olovo



Některé hodnoty nebyly do zpracování zahrnuty – týká se to zejména výsledků detekce fotonů nižších energií při silnějším stínění olovem – naměřené hodnoty byly natolik nízké, že je aparatura nezaznamenávala. Dále u vyšších energií fotonů při průchodu kadmíem a olovem byly hodnoty útlumového koeficientu zatíženy značnými chybami, které byly někdy i větší než hodnota samotná. Proložené závislosti jsou mocninného charakteru – nejlépe vystihují charakter průběhu závislostí.

Diskuse

Naměřené závislosti útlumového koeficientu na energii fotonů jsou při porovnání s tabulkovými hodnotami systematicky nižší, a to mimo značně rámcem určené chyby. U železa je naměřený tvar průběhu závislosti velmi obdobný očekávanému, ovšem hodnoty jsou zhruba o 20% nižší než udávají tabulky. U kadmia a se tvar průběhu závislosti blíží tabulkovému pro nižší energie, při vyšších energiích se však odchyluje, naměřené hodnoty koeficientů jsou pro tyto energie navíc zatíženy značnou chybou. Hodnoty koeficientů u kadmia jsou přibližně poloviční oproti referenci. U olova lze vysledovat stejný jev – pro nízké energie se naměřená závislost blíží referenci, u nižších energií však dochází k odchýlení.

Problém spatřuji jednak v poměrně krátké expoziční době (180s), vlivem čehož mohlo docházet ke značným fluktuacím procházejících fotonů od statistického průměru – měření je zatíženo značným šumem. To bylo dáno za větší počet měření tlouštěk materiálu, která jsem prováděl. Chyba měření samotné tloušťky materiálu je vzhledem k okolnostem zanedbatelná.

Obecně nižší útlumové koeficienty lze částečně připsat na vrub skutečnosti, že detektor nenulových rozměrů mohl registrovat i zinteragované fotony rozptýlené pod malým úhlem, což tabulky neuvažují. Tak velké odchylky jaké jsem zjistil při měření však spolehlivě neumím. Vzhledem k charakteru odchylek bude zdroj chyb patrně systematické povahy. Soudím, že odhad chyb jsem dost podcenil, bylo by vhodné měření provést důkladněji s podstatně delšími časovými intervaly a možná ještě pro více různých tlouštěk materiálu.

Závěr

Změřil jsem útlumové koeficienty pro kadmium, železo a olovo pro různé energie gama záření. Z toho jsem stanovil polotloušťku pro dané materiály a energie. Určil jsem závislosti útlumových koeficientů jednotlivých materiálů na energii záření a porovnal je s tabulkovými hodnotami. Výsledky jsou uvedeny v kapitole „výsledky měření“. Nedosáhl jsem však dobrého souhlasu svého měření s referencí, což jsem se pokusil rozebrat v diskuzi.

Literatura

- [1] elektronické texty k úlohám praktika IV
- [2] M. J. Berger a kol., 2005, XCOM: Photon Cross Section Database
<http://physics.nist.gov/XCOM.html>