

Pracovní úkol

1. Určete absorpční koeficient záření pro elementy Fe, Cd a Pb v závislosti na energii záření. Zpracujte graficky.
2. Stanovte polotloušťku výše uvedených materiálů pro některé energie: 59.5, 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 Cd, Fe a Pb (viz tabulka u experimentu)
4. Případný nesouhlas zdůvodněte.

Teorie

Při průchodu záření látkou mohou nastat tři druhy interakce – Comptonův rozptyl, při kterém fotony odevzdají část své energie elektronu, elektron vyletí z atomu a foton změni svůj směr, dále fotoefekt a tvoření elektron-pozitronového páru. Při těchto dvou interakcích foton zcela zanikne. Svazek γ -záření se při průchodu vrstvou materiálu tloušťky d zeslabí podle vztahu [1]:

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

kde N je počet kvant s původní energií prošlých materiálem, N_0 je počet dopadajících γ -kvant a μ je absorpční koeficient záření.

Polotloušťka materiálu, tedy tloušťka, za kterou budeme detekovat přesně polovinu prošlých γ -kvant s původní energií lze určit ze vztahu (1) jako:

$$d_{\frac{1}{2}} = \ln 2 \cdot \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

Výsledky měření

Jako zdroj γ -kvant jsme používali zářič ^{226}Ra . Známými hodnotami energií peaků tohoto zářiče jsem nejprve okalibrovala detektor.

Měřila jsem histogram počtu prošlých fotonů pro deset různých energií. Měření probíhalo pro 4 tloušťky prvků Fe, Cd a Pb po dobu $t=260\text{s}$. Tloušťka vzorků byla měřena posuvným měřidlem, a to dvakrát. Chybu měření uvažuji $\pm 0,01\text{ mm}$. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce I. Naměřené hodnoty prošlého záření skrz materiály je v Tabulkách II – IV.

Tabulka I – tloušťka vzorků

	Fe	Pb	Cd
d_1 [mm]	4,92	1,17	1,02
d_2 [mm]	9,80	2,53	2,09
d_3 [mm]	19,83	3,63	4,26
d_4 [mm]	24,79	4,83	5,35

Tabulka II – Intenzita γ záření po průchodu železem (N=počet detekovaných fotonů za sekundu)

E [keV]	N_{d0}	σ_{Nd0}	N_{d1}	σ_{Nd1}	N_{d2}	σ_{Nd2}	N_{d3}	σ_{Nd3}	N_{d4}	σ_{Nd4}
180,6	92,1	1,2	53,6	1,0	31,8	1,0	9,9	0,8	5,4	0,8
237,2	171,3	1,2	111,2	1,0	67,7	0,9	26,2	0,8	16,8	0,7
292,7	244,9	1,6	142,8	1,3	101,6	1,1	39,3	0,9	27,1	0,8
349,2	636,8	1,7	427,7	1,5	295,9	1,2	138,4	0,9	96,7	0,8
607,5	566,7	1,6	420,0	1,3	315,7	1,2	176,5	0,9	132,7	0,8
1119,7	118,4	0,8	94,4	0,7	76,1	0,6	49,3	0,5	39,8	0,5
1234,6	44,4	0,5	36,4	0,5	29,7	0,4	20,4	0,4	16,8	0,4
1761,2	93,1	0,6	79,1	0,6	67,3	0,5	48,6	0,5	41,3	0,4
2198,1	24,9	0,3	21,6	0,3	19,3	0,3	13,9	0,2	11,8	0,2
2439,7	7,3	0,2	6,3	0,2	5,6	0,2	4,1	0,1	3,6	0,1

Tabulka III– Intenzita γ záření po průchodu olovem (N=počet detekovaných fotonů za sekundu)

E [keV]	N _{d0}	σ_{Nd0}	N _{d1}	σ_{Nd1}	N _{d2}	σ_{Nd2}	N _{d3}	σ_{Nd3}	N _{d4}	σ_{Nd4}
180,6	92,1	1,2	25,0	0,9	7,1	0,8	2,7	0,7	1,2	0,7
237,2	171,3	1,2	86,0	1,0	42,5	0,8	21,6	0,7	11,1	0,6
292,7	244,9	1,6	147,1	1,3	96,5	1,1	60,7	0,9	37,0	0,8
349,2	636,8	1,7	459,7	1,5	337,3	1,3	248,0	1,1	182,0	1,0
607,5	566,7	1,6	489,4	1,4	428,8	1,4	378,1	1,3	332,8	1,2
1119,7	118,4	0,8	107,8	0,7	100,0	0,7	94,6	0,7	88,2	0,7
1234,6	44,4	0,5	41,7	0,5	39,6	0,5	36,6	0,5	34,7	0,5
1761,2	93,1	0,6	88,7	0,6	84,1	0,6	80,1	0,6	75,8	0,6
2198,1	24,9	0,3	24,4	0,3	23,2	0,3	21,8	0,3	20,8	0,3
2439,7	7,3	0,2	7,1	0,2	6,5	0,2	6,5	0,2	6,0	0,2

Tabulka IV– Intenzita γ záření po průchodu kadmíem (N=počet detekovaných fotonů za sekundu)

E [keV]	N _{d0}	σ_{Nd0}	N _{d1}	σ_{Nd1}	N _{d2}	σ_{Nd2}	N _{d3}	σ_{Nd3}	N _{d4}	σ_{Nd4}
180,6	92,1	1,2	69,5	1,1	50,9	1,0	29,9	0,9	22,4	0,9
237,2	171,3	1,2	143,9	1,1	121,4	1,1	86,1	1,0	69,8	0,9
292,7	244,9	1,6	198,5	1,5	173,9	1,4	133,4	1,3	115,1	1,2
349,2	636,8	1,7	562,6	1,6	505,5	1,6	407,2	1,4	367,3	1,4
607,5	566,7	1,6	522,1	1,5	489,6	1,5	426,6	1,4	401,0	1,3
1119,7	118,4	0,8	110,7	0,7	106,9	0,7	97,6	0,7	91,3	0,7
1234,6	44,4	0,5	41,6	0,5	40,4	0,5	38,3	0,5	35,8	0,5
1761,2	93,1	0,6	89,9	0,6	88,3	0,6	81,0	0,6	78,3	0,6
2198,1	24,9	0,3	24,2	0,3	23,8	0,3	22,4	0,3	21,1	0,3
2439,7	7,3	0,2	6,9	0,2	6,6	0,2	6,3	0,2	6,3	0,2

Dále jsem podle vztahu (1) určila hodnoty absorpčního koeficientu pro všechna měření. Ty jsem srovnala s tabulkovými hodnotami z příložené tabulky. Také jsem určila polotloušťku zkoumaných materiálů podle vzorce (2) a srovnala s hodnotami vypočítanými z tabulkových absorpčních koeficientů. Tyto data jsou uvedeny v Tabulkách V-VI a také v Grafech I – VI.

Tabulka V – absorpční koeficient a polotloušťka železa

E [keV]	μ [cm ⁻¹]	σ_{μ} [cm ⁻¹]	μ_{tab} [cm ⁻¹]	d _{1/2} [cm]	$\sigma_{d1/2}$ [cm]	d _{1/2 tab} [cm]
180,64	1,102	0,011	1,160	0,629	0,006	0,598
237,17	0,929	0,016	0,975	0,746	0,013	0,711
292,67	0,948	0,047	0,850	0,731	0,037	0,815
349,17	0,779	0,009	0,775	0,890	0,011	0,894
607,46	0,592	0,004	0,592	1,170	0,009	1,171
1119,67	0,444	0,004	0,444	1,559	0,013	1,561
1234,55	0,395	0,004	0,425	1,753	0,020	1,633
1761,24	0,329	0,001	0,360	2,110	0,005	1,925
2198,14	0,290	0,009	0,325	2,390	0,072	2,133
2439,69	0,287	0,006	0,317	2,417	0,053	2,187

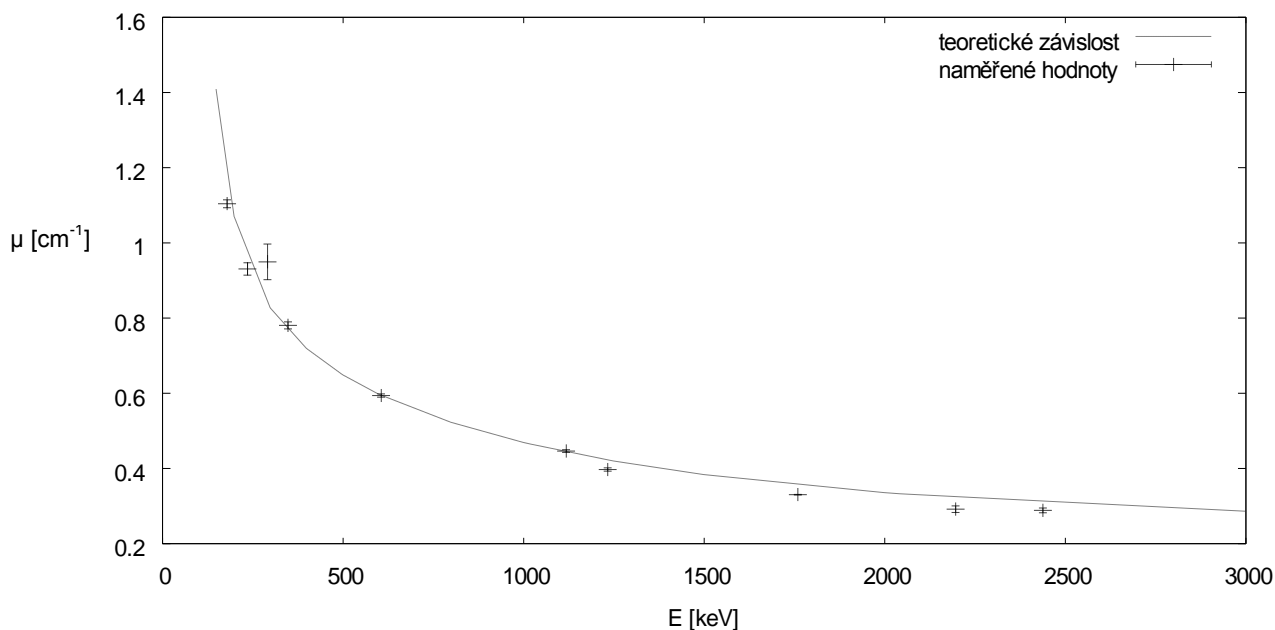
Tabulka VI – Absorpční koeficient a polotloušťka olova

E [keV]	μ [cm^{-1}]	σ_{μ} [cm^{-1}]	μ_{tab} [cm^{-1}]	$d_{1/2}$ [cm]	$\sigma_{d_{1/2}}$ [cm]	$d_{1/2 \text{ tab}}$ [cm]
180,64	10,873	0,318	12,200	0,064	0,002	0,057
237,17	5,697	0,092	8,000	0,122	0,002	0,087
292,67	3,903	0,138	4,600	0,178	0,006	0,151
349,17	2,595	0,045	3,350	0,267	0,005	0,207
607,46	1,115	0,020	1,300	0,622	0,011	0,533
1119,67	0,631	0,024	0,700	1,099	0,042	0,990
1234,55	0,504	0,015	0,650	1,374	0,040	1,066
1761,24	0,417	0,005	0,550	1,661	0,021	1,260
2198,14	0,345	0,030	0,500	2,007	0,175	1,386
2439,69	0,375	0,034	0,500	1,851	0,166	1,386

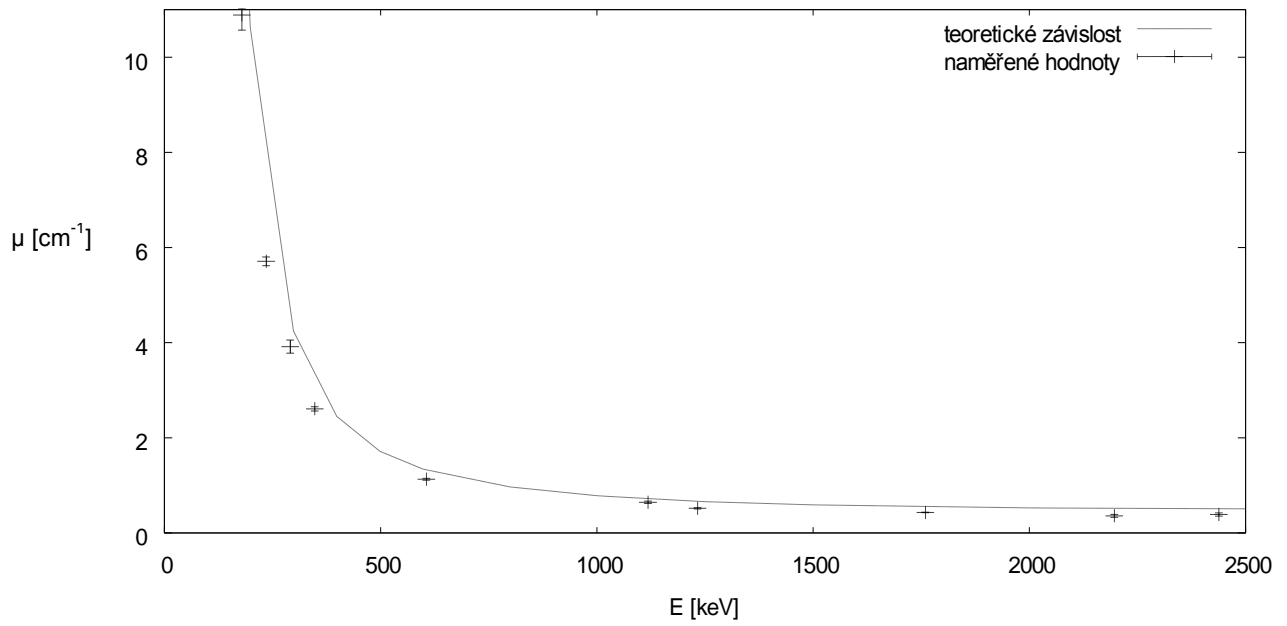
Tabulka VII – Absorpční koeficient a polotloušťka kadmia

E [keV]	μ [cm^{-1}]	σ_{μ} [cm^{-1}]	μ_{tab} [cm^{-1}]	$d_{1/2}$ [cm]	$\sigma_{d_{1/2}}$ [cm]	$d_{1/2 \text{ tab}}$ [cm]
180,64	2,706	0,050	2,850	0,256	0,005	0,243
237,17	1,651	0,018	1,950	0,420	0,005	0,355
292,67	1,487	0,090	1,300	0,466	0,028	0,533
349,17	1,054	0,024	1,100	0,657	0,015	0,630
607,46	0,665	0,017	0,660	1,043	0,027	1,050
1119,67	0,479	0,019	0,480	1,446	0,059	1,444
1234,55	0,389	0,029	0,430	1,784	0,133	1,612
1761,24	0,318	0,012	0,370	2,177	0,084	1,873
2198,14	0,280	0,020	0,350	2,478	0,176	1,980
2439,69	0,322	0,045	0,340	2,156	0,301	2,039

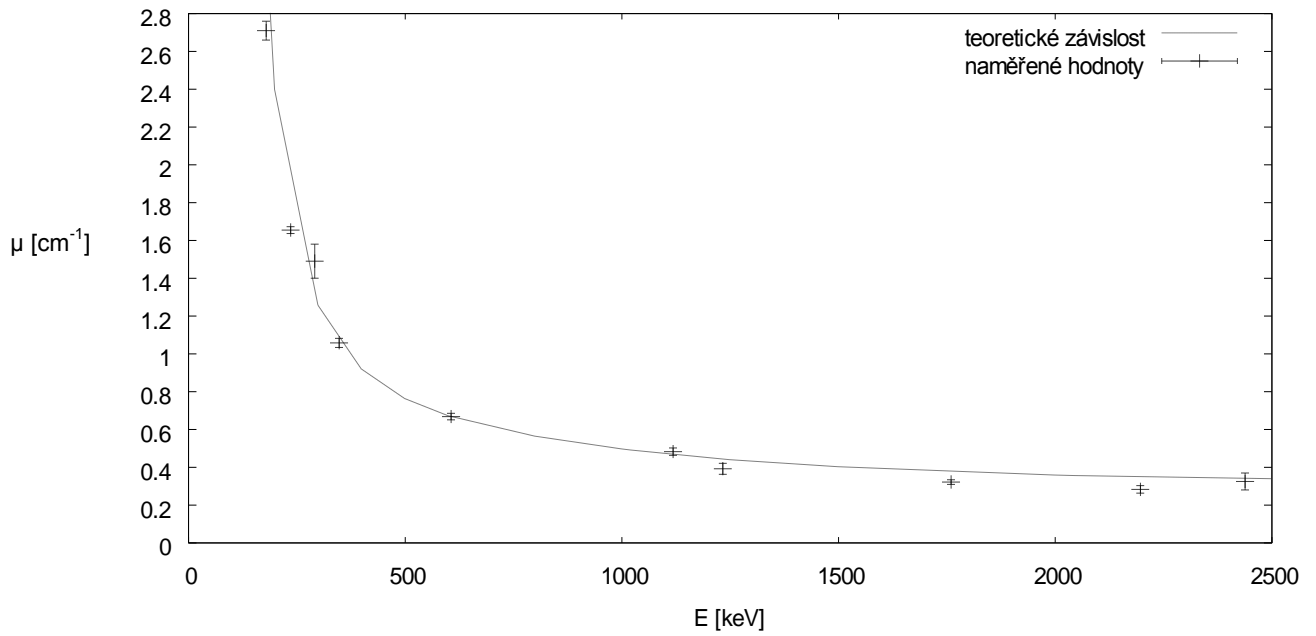
Graf I - Absorpční koeficient železa



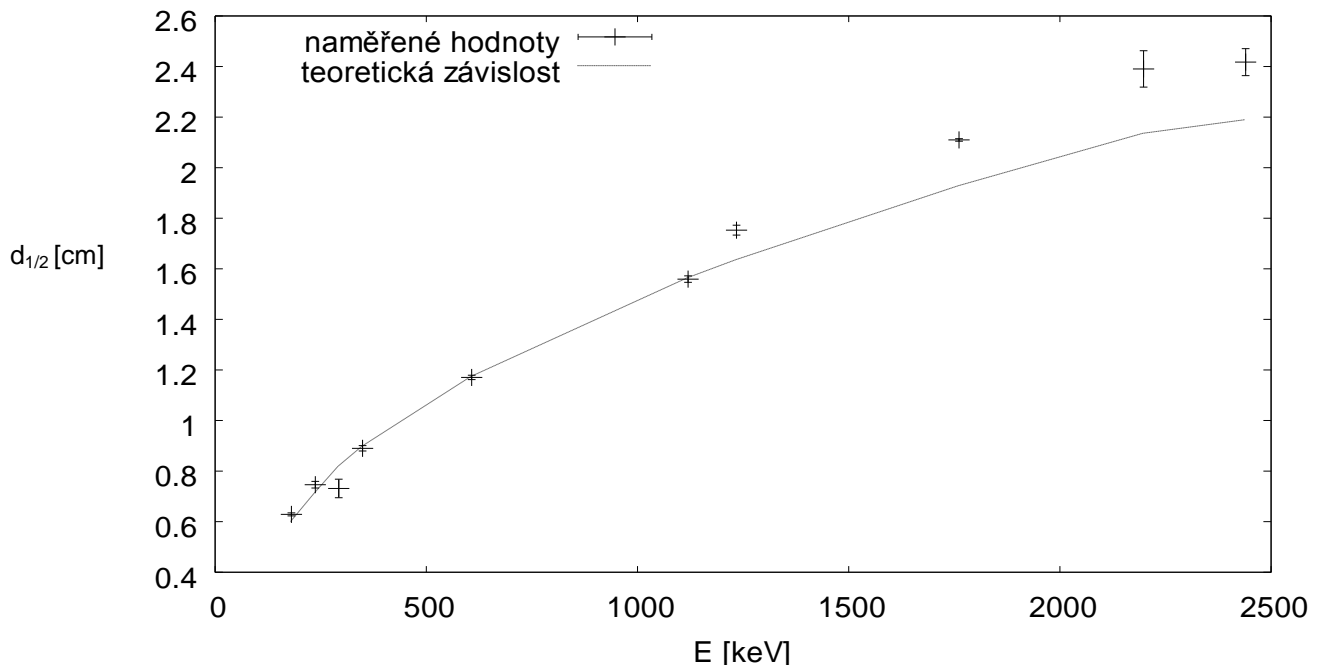
Graf II - absorpční koeficient olova



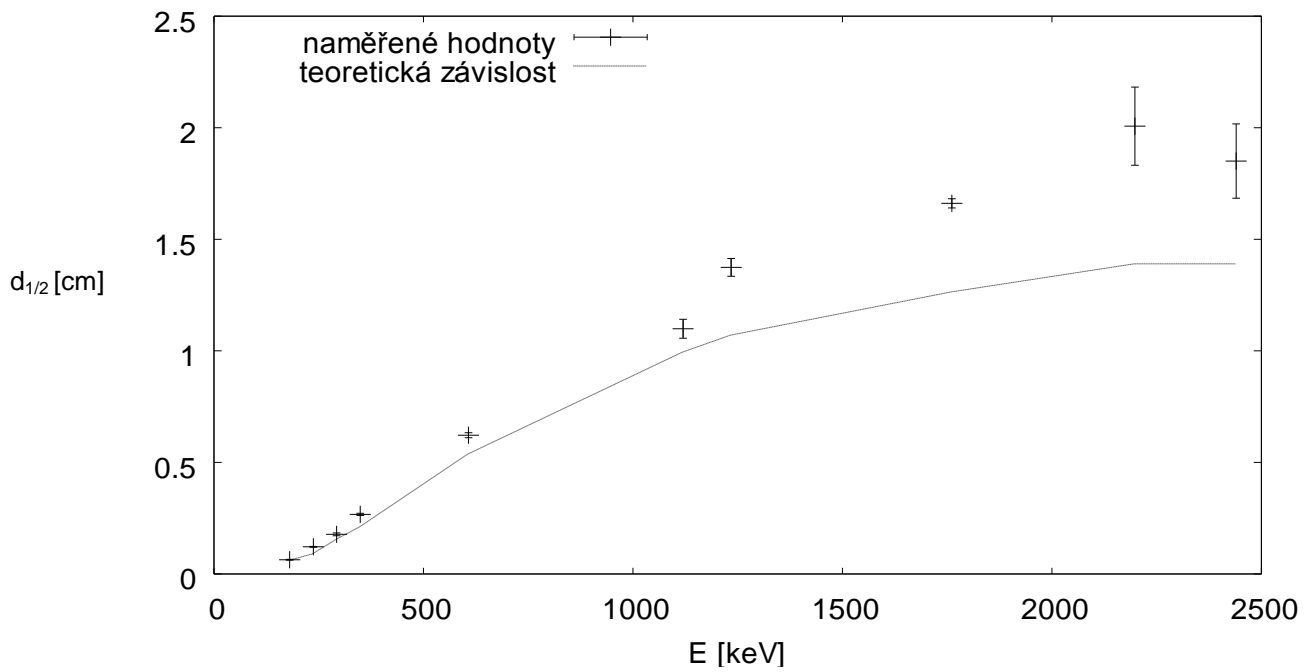
Graf III - Absorpční koeficient kadmia



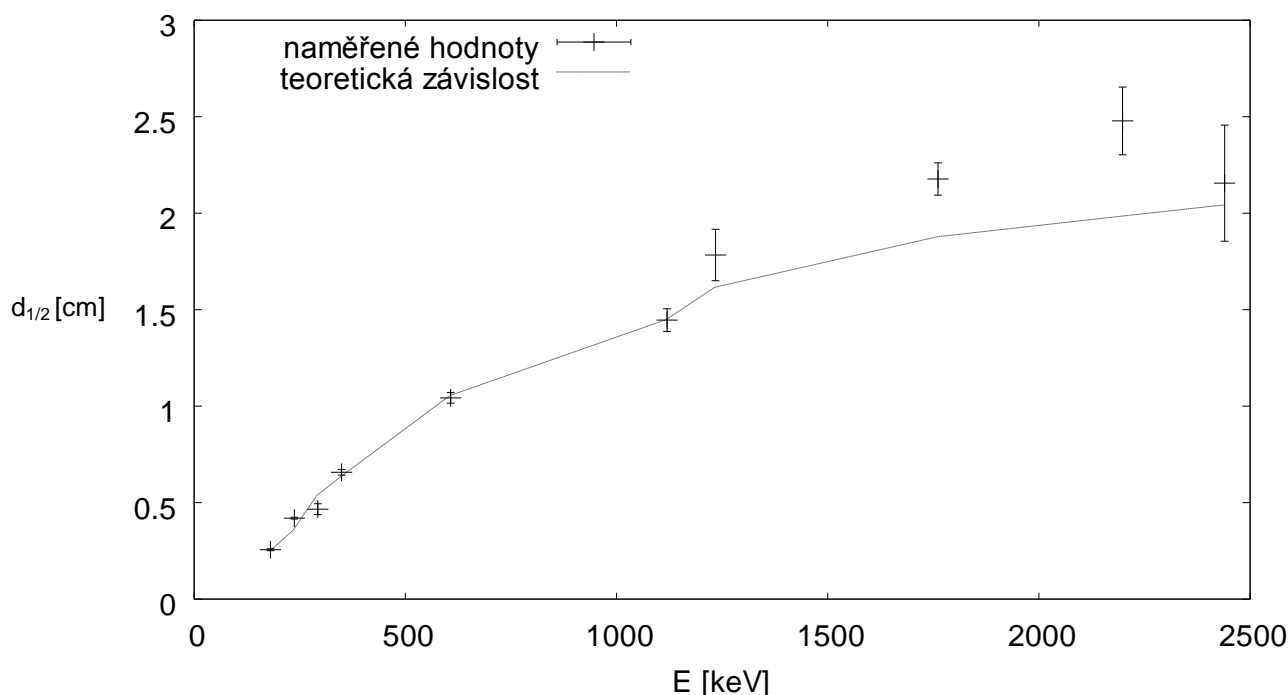
Graf IV - Polotloušťka železa



Graf V - Polotloušťka olova



Graf VI - Polotloušťka kadmia



Diskuze

Tloušťku destiček jsem určovala pomocí posuvného měřidla. Destičky nebyly na všech místech stejně tlusté, ale tuto chybu jsem trochu eliminovala proměřením tloušťky na dvou místech. Celková chyba tohoto měření je $\sigma=0,01\text{mm}$. Tato chyba je však zanedbatelná ve srovnání s chybou počtu detekovaných fotonů. Chyby jsou uvedeny v Tabulkách II-IV tak, jak je vyhodnotil počítač přímo při experimentu. Protože mrtvá doba detektoru byla při každém měření jiná, nastavili jsme čistou dobu nabírání dat – na 260s. Jak je vidět z Grafů I-III, naměřená závislost absorpčního koeficientu velmi dobře souhlasí s tabulkovými hodnotami. U experimentu byly přiloženy tabulky se hodnotami absorpčního koeficientu s koherentním rozptylem a bez něj. Mnou naměřené hodnoty lépe odpovídají případu bez koherentního rozptylu.

Hodnoty polotloušťky jsou oproti tabelovaným ve vyšších energiích posunuty nahoru. V těchto energiích je již velká chyba měření. Možné vysvětlení je, že detekujeme nejen přímo letící fotony za materiálem, ale také část fotonů rozptýlených pod malými úhly. Závislost polotloušťky olova se shoduje ze všech naměřených nejméně. Může to být navíc způsobeno tím, že olovo je měkký kujný kov. Navzorcích byly patrné malé rýhy a zprohýbání. To se jistě na celkové odchylce projeví.

Závěr

Naměřili jsme závislosti absorpčních koeficientů a polotlouštěk na energii procházejícího γ záření u olova, železa a kadmia.

Použitá literatura

[1] http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_404.pdf - Studijní text k úloze