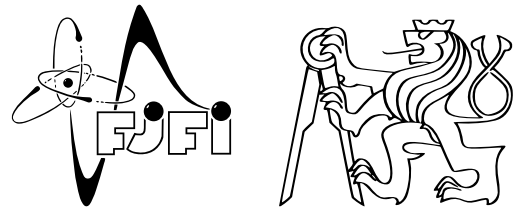


Měření spektra gama záření scintilačním počítačem



Číslo úlohy: 7 Skupina: 4
Kruh: Středa Jméno: Denis Krapivin
Datum měření: 23.3.2022 Kolega: Kseniia Politskovaia
Klasifikace:

1 Pracovní úkoly

1. **DŮ:** Pomocí rovnice (1) sestavte diferenciální rovnici a jejím řešením odvoďte zákon radioaktivního rozpadu (2). S jeho pomocí dále podle definice odvoďte vztah (3) pro poločas rozpadu.
2. **DŮ:** Sestavte kalibrační křivku podle zadání v poznámkách.
3. Naměřte spektrum impulzů ^{137}Cs jednokanálovým analyzátozem pomocí manuálního měření v rozmezí 0,1 - 2,5 V. Spektrum graficky zpracujte.
4. Změřte závislost intenzity svazku gama záření na tloušťce olova, kterým toto záření tlumíme. Naměřte alespoň 10 hodnot intenzity pro různé tloušťky olova (0 až 9 olověných destiček, použijte zářič ^{137}Cs , každé spektrum nabírejte 2 minuty). Nařizováním této závislosti určete koeficient útlumu olova.
5. Mnohokanálovým analyzátozem naměřte spektrum pozadí v místnosti (zářiče uschovejte do trezoru). Najděte v pozadí přirozené zářiče a toto pozadí odečtěte od všech zaznamenaných spekter ještě před jejich vyhodnocením (pozadí nabírejte 10 minut).
6. Mnohokanálovým analyzátozem naměřte jednotlivá spektra přiložených zářičů (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am a ^{133}Ba). Určete výrazné píky a porovnejte je s tabulkovými hodnotami (každé spektrum nabírejte 10 minut. Před zpracováním odečtěte pozadí - viz úkol 5 a přepočítejte spektrum pomocí kalibrační křivky - viz úkol 8).
7. Na naměřeném spektru ^{137}Cs popište důležité jevy.
8. Pomocí zářičů ^{137}Cs , ^{60}Co a ^{133}Ba určete kalibrační křivku spektrometru a použijte ji při zpracování všech spekter naměřených mnohokanálovým analyzátozem (spektrum nemusíte nabírat znovu, použijte data z předchozího měření). Graficky znázorněte kalibrační křivku.
9. S využitím všech naměřených spekter určete závislost rozlišení spektrometru na energii gama záření (je definováno jako poměr šířky fotopiku v polovině jeho výšky k jeho energii - viz sekce 3.4).
10. Mnohokanálovým analyzátozem naměřte spektrum neznámého zářiče. Určete tento zářič, pozorujte a zaznamenejte další jevy v jeho spektru (spektrum nabírejte 10 minut).

2 Pomůcky

Scintilační počítač, Minibin and Power Supply ORTEC 4006, zdroj vysokého napětí ORTEC 556, zesilovač ORTEC 570, jednokanálový analyzátor ORTEC 550A, olověné destičky, multikanálový analyzátor ORTEC 928, univerzální čítač, zdroje gama záření (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am , ^{133}Ba a neznámý zářič), osobní počítač, program Maestro, posuvné měřítko, kabely, stopky.

3 Teorie

3.1 Gama záření

Gama záření je vysokoenergetické elektromagnetické záření, které doprovází radioaktivní přeměnu jader [1]. Veličina charakterizující rychlost přeměny jader se nazývá aktivita A . Rozpad jádra je pravděpodobnostní jev, který lze popsat rozpadovou konstantou λ . Mezi aktivitou a rozpadovou konstantou platí vztah:

$$A(t) = \lambda N(t), \quad (1)$$

kde N je celkový počet částic ve vzorku a t je čas.

Pak použitím definice aktivity a integrací dostaneme exponenciální zákon radioaktivního rozpadu:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

kde N_0 je počáteční počet částic. Další důležitou veličinou je poločas rozpadu $T_{1/2}$, což je doba, za kterou se rozpadne polovina původního počtu jader. Mezi rozpadovou konstantou λ a poločasem rozpadu $T_{1/2}$ platí vztah:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (3)$$

3.2 Stínění gama záření

Následkem srážek při průchodu svazku fotonů látkou tloušťky d je postupné zmenšení intenzity svazku I . Toto zmenšení probíhá podle exponenciálního zákona:

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \quad (4)$$

kde I_0 je počáteční intenzita a μ se nazývá lineární koeficient útlumu.

4 Postup měření

4.1 Měření jednokanálovým analyzátozem spektra ^{137}Cs

Zdroj vysokého napětí spojíme se scintilátorem podle návodu [1], pak výstup ze scintilátoru připojíme na vstup zesilovače. Vstup jednokanálového analyzátoru spojíme s výstupem zesilovače a výstup analyzátoru připojíme na vstup univerzálního čítače.

Nastavíme napětí na zdroje na hodnotu 750 V a hodnoty na zesilovači nastavíme podle návodu [1]. Pak postupně zapínáme hnědo-bílou krabici, zdroj napětí a čítač.

Naším úkolem je změřit spektrum v oblasti napětí 0,1-2,5 V. Umístíme na scintilátor vzorek ^{137}Cs a na analyzátoru nastavíme dolní hranici napětí na 0,1 V a horní hranice napětí na 0,2 V. Pak spustíme čítač a zaznamenejme počet pulzu po 20 s. Pak změním dolní hranici napětí na 0,2 V a horní hranice napětí na 0,3 V a měření zopakujeme. Tímto způsobem prozkoumáme celý interval do 2,5 V.

4.2 Měření útlumu stínění

Z výsledků předchozího měření určíme polohu fotopíku a nastavíme na analyzátoru interval napětí tak, aby obsahoval přesně fotopík.

Provedeme měření záření pozadí a to tak, že sundáme vzorek z scintilátoru a změříme počet pulzů během 2 minut stejně jak v předchozí úloze.

Změříme posuvným měřítkem tloušťku několika náhodně vybraných olověných destiček a najdeme jejich střední tloušťku. Umístíme na scintilátor vzorek ^{137}Cs , mezi vzorkem a scintilátorem vložíme jednu destičku. Pak změříme počet fotonů ve fotopíku po dobu 2 minut a přidáme další destičku. Měření opakujeme pro 1 až 8 destiček.

4.3 Měření mnohokanálovým analyzátozem

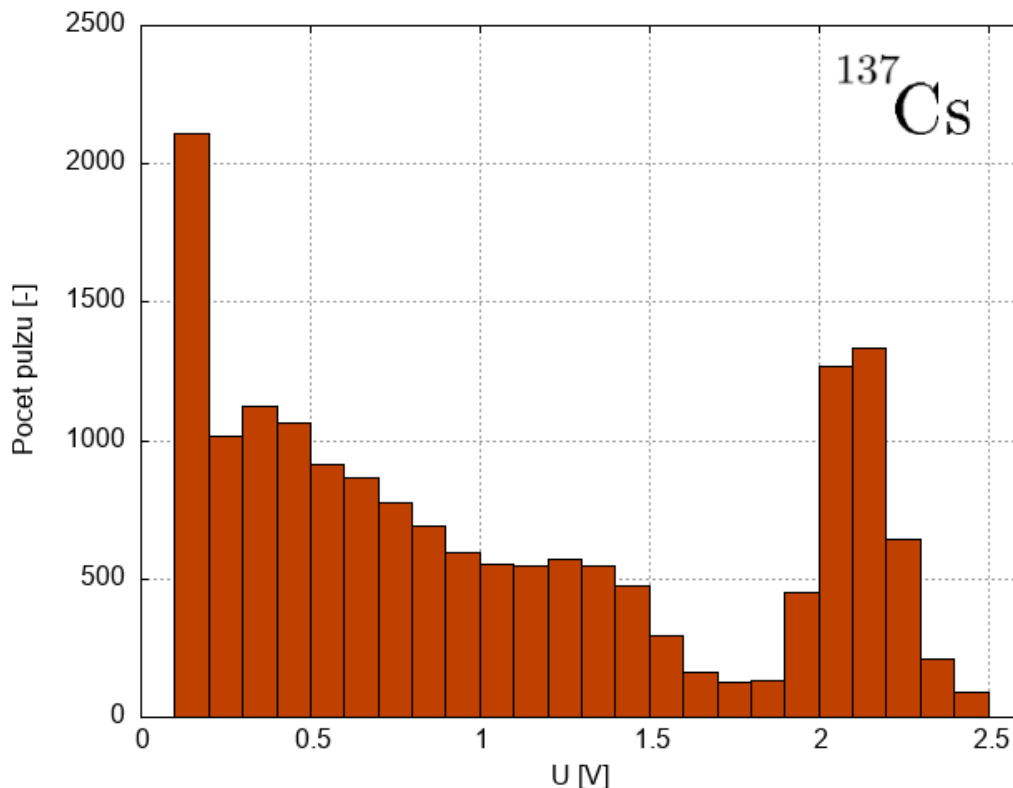
Zapojíme výstup ze zesilovače do vstupu multikanálového analyzátoru, výstup analyzátoru připojíme USB kabelem do počítače. Na počítači zapneme program Maestro (navoď na nastavení a použití programu [1]).

Umístíme zdroj záření na scintilátor a spustíme nabírání dat a po dobu 10 minut měření zastavíme. Postup opakujeme pro zkoumání spektra pozadí a pro zdroje záření ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am a neznámý zaříč.

5 Zpracování dat

5.1 Měření jednokanálovým analyzátozem spektra ^{137}Cs

Manuálně naměřené spektrum impulzů ^{137}Cs je na Obr. 1.



Obr. 1: Spektrum impulzů ^{137}Cs . Počet pulzů v závislosti na napětí U .

Z histogramu na Obr. 1 je vidět, že fotopík se nahází v rozmezí 1,9 – 2,4 V.

5.2 Měření útlumu stínění

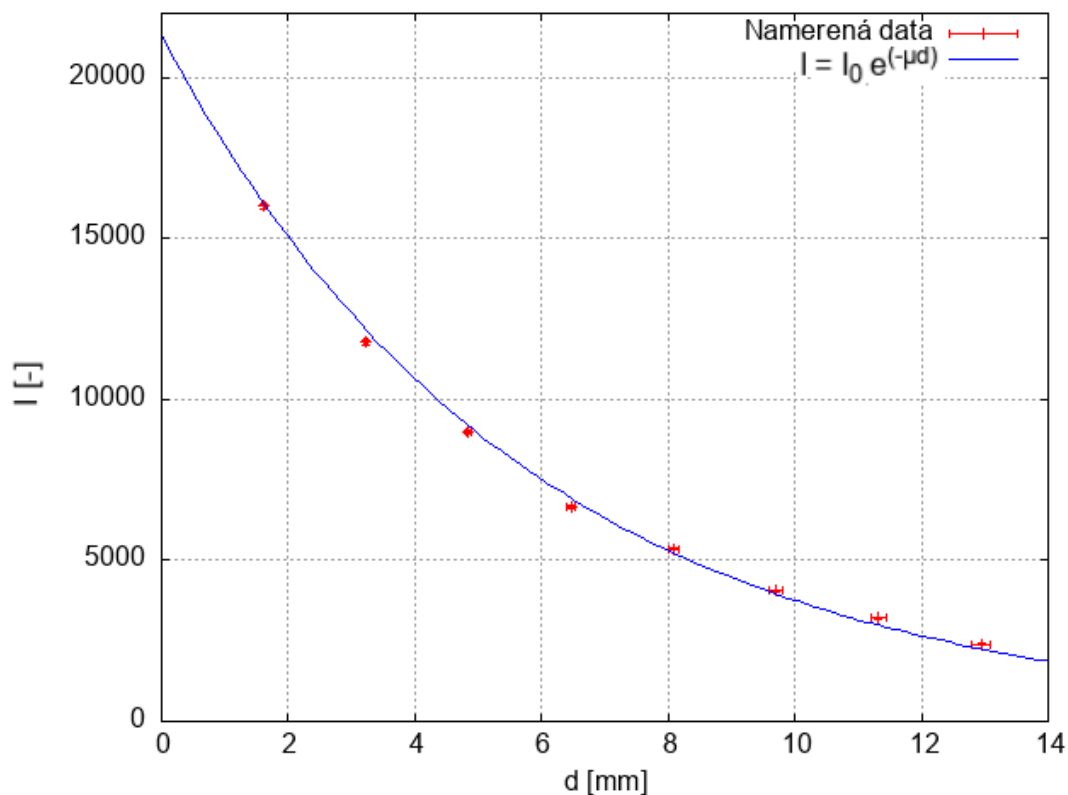
Hodnotu intenzity (počet pulzů) záření pozadí jsme určili na 760 ± 4 , kde chyba je systematickou chybou měření. Měření tloušťky destiček jsme prováděli pomoci posuvného měřítka s přesností 0,03 mm. Hodnota střední tloušťky olověných destiček je stanovena na $(1,62 \pm 0,02)$ mm jako aritmetický průměr jednotlivých měření, chyba jako chyba aritmetického průměru [2].

Naměřené hodnoty intenzity gama záření I vzorku ^{137}Cs po odečtení intenzity záření pozadí v závislosti na počtu olověných destiček n o tloušťce d jsou v Tab. 1. Chyby intenzit po odečtení intenzity záření pozadí jsme našli jako chyby nepřímého měření [2]. Chyba tloušťek stínění je stanovena jako chyba nepřímého měření.

Proložili jsme závislost intenzity gama záření I na tloušťce stínění d funkcí ve tvaru (4), kde $I_0 = 21290 \pm 110$ je hodnota intenzity bez stínění. Výsledky jsme vynesli do grafu na Obr. 2. Proložením dat jsme dostali hodnotu

konstanty μ s příslušnou chybou:

$$\mu = (0,174 \pm 0,02) \text{ mm}^{-1}.$$



Obr. 2: Naměřená intenzita gama záření I vzorku ^{137}Cs v závislosti na tloušťce stínění d a proložení těchto dat funkcí $I(d)$ s konstantou $\mu = (0,174 \pm 0,002) \text{ mm}^{-1}$.

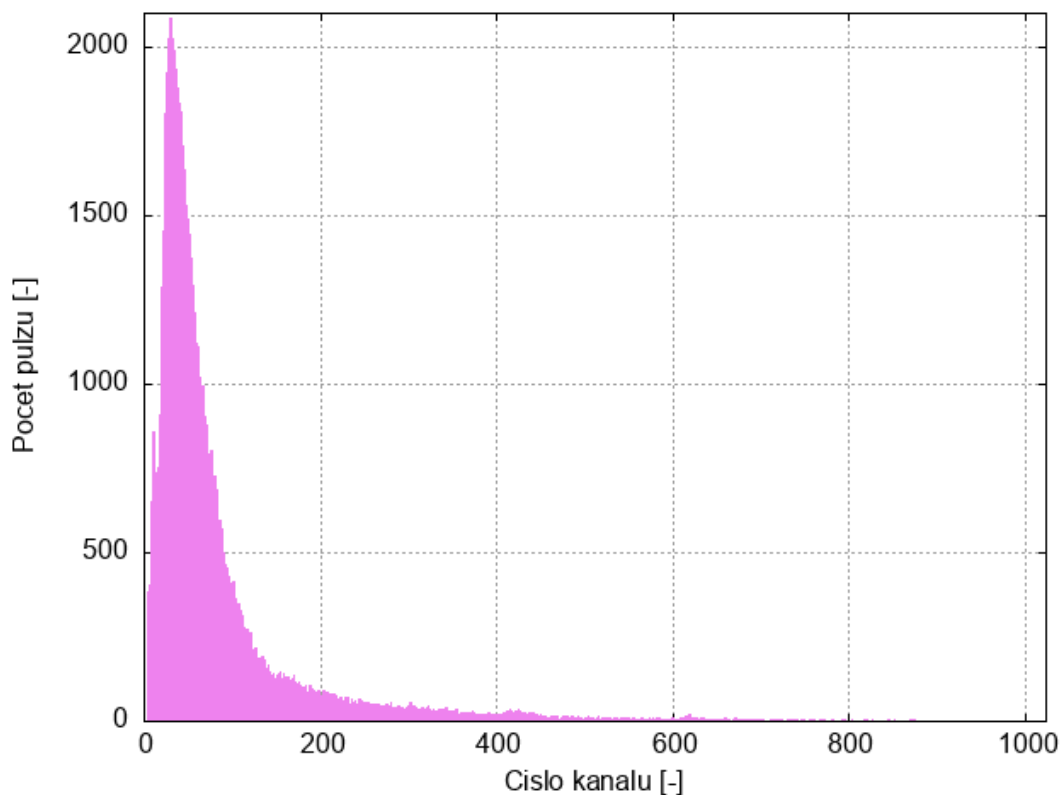
n [–]	d [mm]	I [–]
0	$0,00 \pm 0,00$	21290 ± 110
1	$1,62 \pm 0,02$	16010 ± 80
2	$3,24 \pm 0,03$	11770 ± 60
3	$4,86 \pm 0,04$	9010 ± 50
4	$6,48 \pm 0,06$	6660 ± 50
5	$8,10 \pm 0,08$	5360 ± 30
6	$9,72 \pm 0,11$	4060 ± 20
7	$11,34 \pm 0,16$	3210 ± 20
8	$12,96 \pm 0,20$	2401 ± 16

Tab. 1: Naměřené hodnoty intenzity gama záření I vzorku ^{137}Cs po odečtení záření pozadí v závislosti na počtu olověných destiček n o tloušťce d .

5.3 Měření mnohokanálovým analyzátozem

5.3.1 Měření spektra pozadí

Naměřený spektrum pozadí v místností je na Obr. 3.



Obr. 3: Spektrum pozadí. Naměřený počet pulzu v závislosti na čísle kanálu.

5.3.2 Kalibrační křivka spektrometru

Úseky naměřených spekter s fotopíky zářičů ^{137}Cs , ^{60}Co a ^{133}Ba s odečtením spektra pozadí a proložením fotopíků jsou na Obr. 10, Obr. 11, Obr. 12. Proložením těchto píků pro jednotlivé zářiče jsme získali čísla kanálu s příslušnými chybami, ve kterých se tyto píky nacházejí (Tab. 2). Tabulkové hodnoty energie E [3] uvažujeme za přesné.

Prvek	Kanál [-]	E [keV]
^{137}Cs	$199,23 \pm 0,06$	661,64
^{60}Co	$336,58 \pm 0,07$	1173,20
^{60}Co	$380,77 \pm 0,09$	1332,50
^{133}Ba	$27,31 \pm 0,09$	80,00
^{133}Ba	$110,00 \pm 0,10$	356,00

Tab. 2: Spočtené hodnoty kanálu odpovídající píkům pro různé prvky a tabulkové hodnoty energie E pro záření těchto prvků.

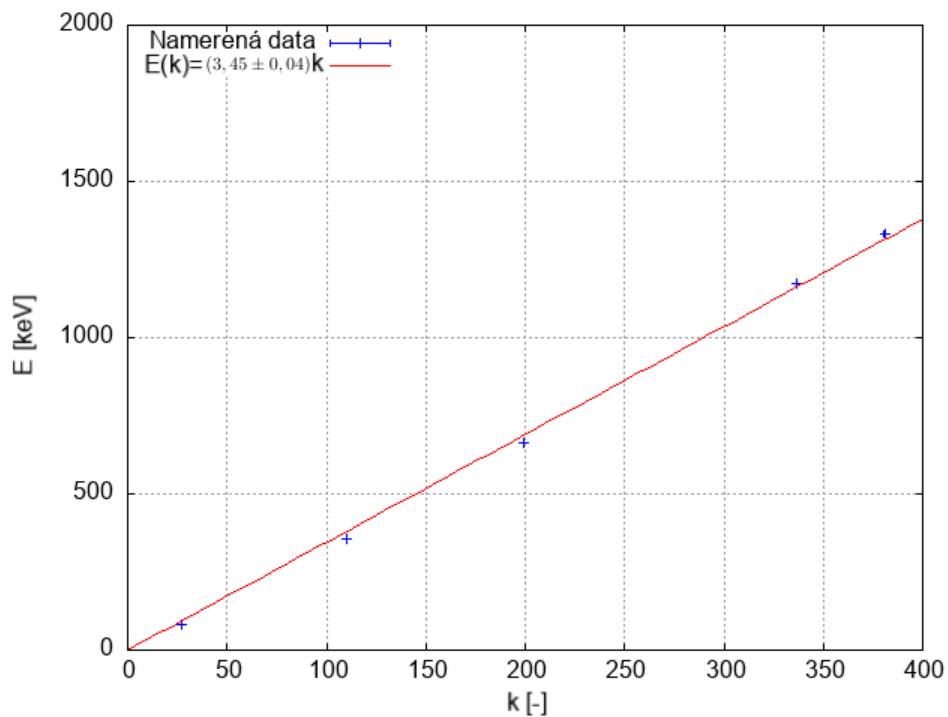
Proložili jsme závislost tabulkové hodnoty energie E na čísle kanálu lineární funkcí. Výsledky jsme vynesli do grafu na Obr. 4. Proložením dat jsme dostali kalibrační křivku spektrometru:

$$E = (3,45 \pm 0,04)k \text{ keV},$$

kde k je číslo kanálu.

5.3.3 Měření spekter ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am .

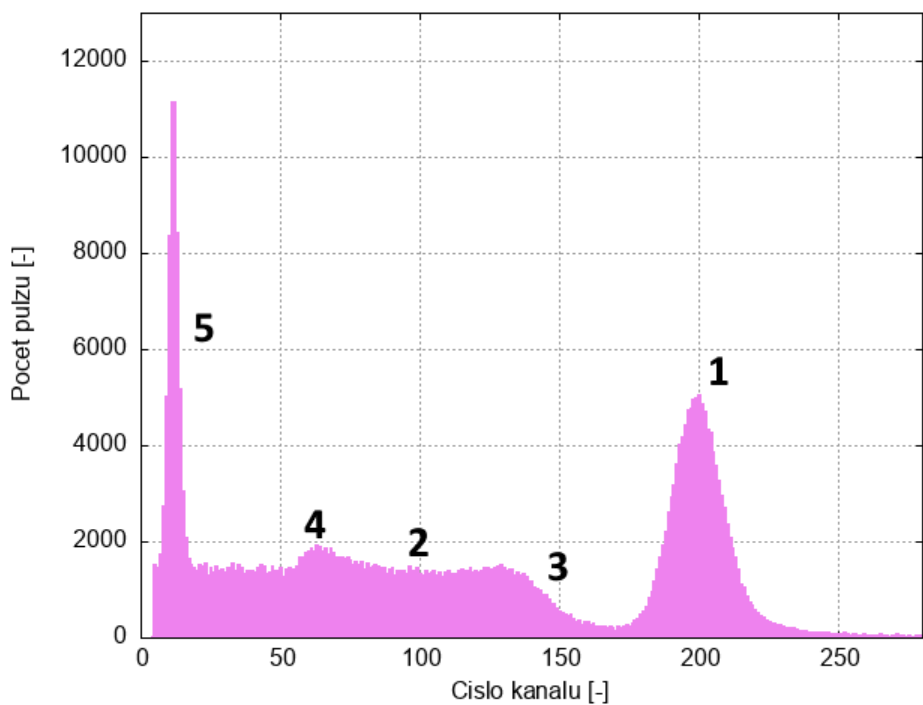
Pomocí kalibrační křivky jsme přepracovali spektra zářičů a vynesli výsledky do grafů Obr. 13, Obr. 14, Obr. 15, Obr. 16.



Obr. 4: Kalibrační křivka spektrometru. Spočtené hodnoty kanálu k odpovídající píkům pro různé prvky a tabulkové hodnoty energie E pro záření těchto prvků a proložení těchto hodnot lineární funkcí $E(k)$.

5.3.4 Pozorování jevů na spektru ^{137}Cs .

Jednotlivé procesy, které můžeme vidět ve spektru na Obr. 5:



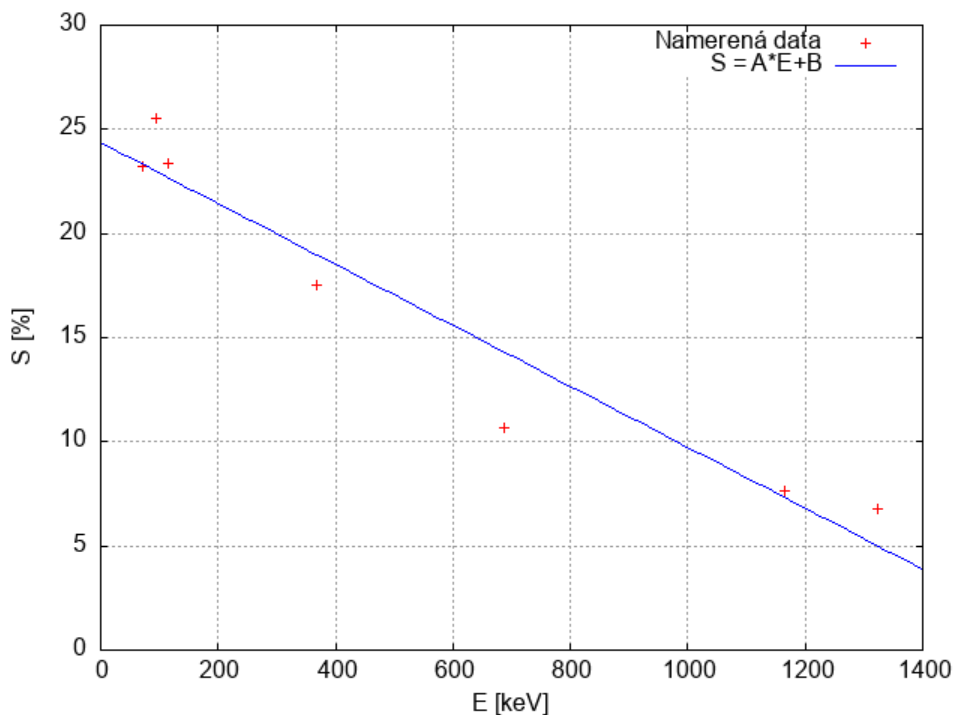
Obr. 5: Spektrum ^{137}Cs . Počet pulzů v závislosti na čísle kanálu. Pozorovaný jevy: 1 - fotopík, 2 - Comptonovské kontinuum, 3 - Comptonovska hrana, 4 - pík zpětného rozptylu, 5 - pík charakteristického rentgenovského záření.

1. **Fotopík.** Došlo k fotoefektu, při kterém původní foton zcela zaniká a celou svou energii odevzdá detektoru. Energie píku odpovídá energii gama záření.
2. **Comptonovské kontinuum.** Došlo ke Comptonovu rozptylu, při kterém dopadající foton předá pouze část své energie detektoru.
3. **Comptonovska hrana.** Pomocí Comptonova rozptylu dokáže foton předat maximální energii. Proto Comptonovské kontinuum nezasahuje až po fotopík, ale je ukončeno touto hranou.
4. **Pík zpětného rozptylu.** Foton ve scintilátoru neinteraguje, ale se odrazí zpátky. Foton nese zbytek energie, která mu zůstala při maximálním rozptylu na obalu detektoru a chová se jako nový zdroj gama záření, který vytvoří tento fotopík.
5. **Pík charakteristického rentgenovského záření.** Rentgenovské záření z atomového obalu, není pro náš úkol zajímavé.

5.3.5 Rozlišení spektrometru

Z naměřených hodnot jsme spočítali rozlišení spektrometru S jako poměr šířky fotopíku v polovině jeho výšky k jeho energii E a vynesli jsme výsledky do grafu na Obr. 6. Proložením dat jsme dostali závislost rozlišení spektrometru na energii:

$$S = (-0,015 \pm 0,002)E + (24,2 \pm 1,3).$$

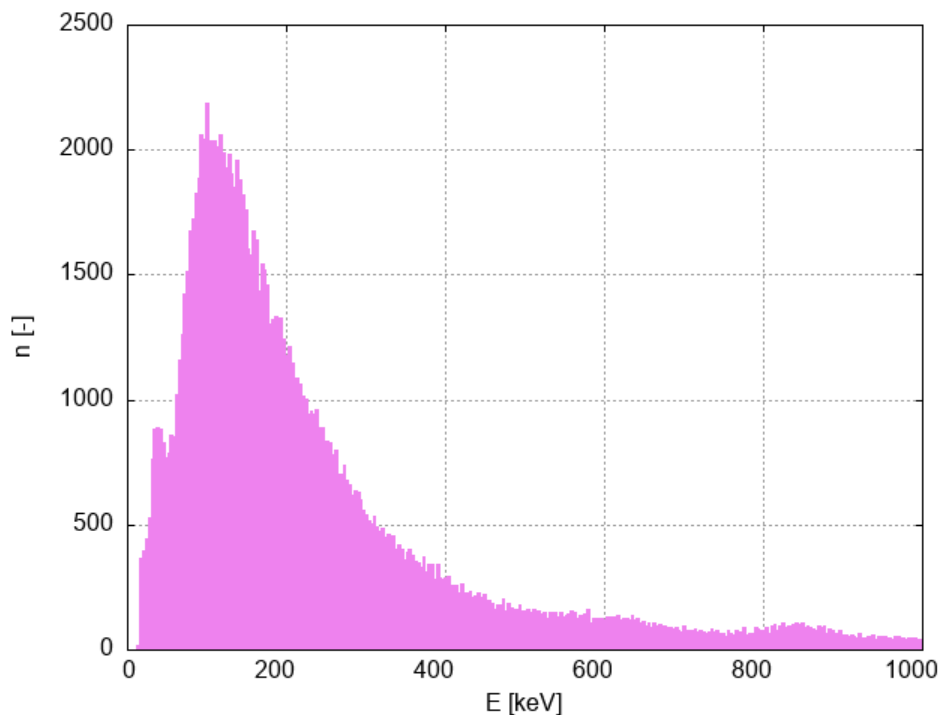


Obr. 6: Vypočtené hodnoty rozlišení spektrometru S v závislosti na energii gama záření E a proložení těchto dat lineární funkcí $S = AE + B$ s konstantami $A = (-0,015 \pm 0,002) (\text{keV})^{-1}$ a $B = (24,4 \pm 1,3) \%$.

5.3.6 Spektrum neznámého záříče

Pomocí kalibrační křivky jsme přepracovali (po odečtení pozadí) spektrum neznámého záříče (Obr. 7) a proložení dat jsme dostali hodnotu energie fotopíku E_{nez} s příslušnou chybou:

$$E_{\text{nez}} = (106 \pm 2) \text{ keV}.$$



Obr. 7: Spektrum neznámého zářiče. Počet pulzů v závislosti na energii $E(k)$.

6 Diskuze

6.1 Měření jednobanálovým analyzátozem

K dispozicím jsme měli stopky, které jsme zapínali a vypínali ručně, proto systematickou chybu měření času jsme odhadli na 0,6 s vzhledem k naší reakční době. Pak jsme zkusili odhadnout jaké množství pulzů by mohlo za tuto dobu proběhnout. Pro každý interval napětí v první úloze a pro různé množství destiček ve druhé rychlost nabíjení pulzu na čítači je různá, proto pro každý případ jsme odhadli chybu zvlášť. Chybu nastavení hodnot hranic napětí na analyzátoru (půlka nejmenšího dílku) jsme při výpočtech zanedbali.

K dispozici jsme měli pouze 8 olovených destiček, proto výpočty jsme provedli pro 0-8 destiček. Každá z destiček má v různých místech trochu různou tloušťku, proto rozhodli jsme změřit tloušťku 6 různých destiček a určili jsme střední tloušťku na $1,62 \pm 0,02$ s relativně malou chybou cca 1,2%.

Proložení závislosti intenzity záření na tloušťce stínění jsme dostali hodnotu lineárního koeficientu útlumu $\mu = (0,174 \pm 0,002) \text{ mm}^{-1}$.

6.2 Měření mnohobanálovým analyzátozem

Srovnání spočítaných hodnot energie E odpovídající výrazným píkům a tabulkových hodnot [3] energie E_{tab} je v Tab. 3. Je vidět, že spočítané a tabulkové hodnoty se od sebe moc ne liší při zkoumání spektra s vysokou energií (například naměřena a tabulková hodnota energie ^{60}Co se liší o cca 0,3%), ale při zkoumání nízkenergetických píků chyba dosahuje velkých hodnot (například naměřena a tabulková hodnota energie ^{241}Am se liší o cca 23%). Je to může být spojeno s zářením pozadí v místnosti, které má velkou intenzitu právě v oblasti 0-150 keV a pak prudce klesá s růstem energií. Jiným zdrojem této nepřesnosti může být konstrukce scintilačního detektoru, nevíme jakou přesnost v jakém rozsahu energií nám výrobce garantuje.

Energie fotopíku neznámého zářiče jsme určili na $E_{\text{nez}} = (106 \pm 2) \text{ keV}$, což podle [3] by mělo odpovídat nejspíš izotopu europia ^{155}Eu , který má energie $E_{\text{Eu}} = 105 \text{ keV}$ a relativně velký poločas rozpadu $T_{1/2} = 1,81$ roku.

Prvek	E [keV]	E_{tab} [keV]	r [%]
^{137}Cs	$685,2 \pm 0,2$	661,64	3,5
^{60}Co	$1166,9 \pm 0,2$	1173,20	1,0
^{60}Co	$1336,4 \pm 0,2$	1332,50	0,3
^{133}Ba	$90,1 \pm 0,1$	80,00	11,0
^{133}Ba	$375,6 \pm 0,1$	356,00	5,2
^{241}Am	$78,3 \pm 0,2$	60,00	23,4

Tab. 3: Spočtené hodnoty energie E odpovídající píkům pro různé prvky a tabulkové hodnoty energie E_{tab} pro záření těchto prvků, r je přibližným rozdílem mezi naměřenými hodnotami E a tabulkovými E_{tab} v procentech.

7 Závěr

Seznámili jsme s měřením spektra gama záření scintilačním počítačem.

1. **DŮ:** Pomocí rovnice (1) sestavili jsme diferenciální rovnici a jejím řešením odvodili zákon radioaktivního rozpadu (2). S jeho pomocí dále podle definice jsme odvodili vztah (3) pro poločas rozpadu (Obr. 8).
2. **DŮ:** Sestavili jsme kalibrační křivku podle zadání v poznámkách [1] (Obr. 9).
3. Naměřili jsme spektrum impulzů ^{137}Cs jednonábovým analyzátozem pomocí manuálního měření v rozmezí 0,1 - 2,5 V a spektrum jsme graficky zpracovali (Obr. 1).
4. Změřili jsme závislost intenzity svazku gama záření na tloušťce olova, kterým toto záření tlumili (Tab. 1). Naměřili jsme 9 hodnot intenzity pro různé tloušťky olova (0 až 8 olověných destiček, použili jsme zářič ^{137}Cs , každé spektrum jsme nabírali 2 minuty). Nafitováním této závislosti (Obr. 2) jsme určili koeficient útlumu olova na $(0,174 \pm 0,02) \text{ mm}^{-1}$.
5. Mnohokanálovým analyzátozem jsme naměřili spektrum pozadí v místnosti (Obr. 3). Našli jsme v pozadí přirozené zářiče a toto pozadí odečetli od všech zaznamenaných spekter ještě před jejich vyhodnocením.
6. Mnohokanálovým analyzátozem jsme naměřili jednotlivá spektra přiložených zářičů (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am a ^{133}Ba). Určili jsme výrazné píky a porovnali jsme je s tabulkovými hodnotami.
7. Na naměřeném spektru ^{137}Cs jsme popsali důležité jevy (Obr. 5).
8. Pomocí zářičů ^{137}Cs , ^{60}Co a ^{133}Ba určili jsme kalibrační křivku spektrometru a použili jsme ji při zpracování všech spekter naměřených mnohokanálovým analyzátozem. Graficky jsme reprezentovali kalibrační křivku (Obr. 4).
9. S využitím všech naměřených spekter jsme určili závislost rozlišení spektrometru na energii gama záření (Obr. 6).
10. Mnohokanálovým analyzátozem jsme naměřili spektrum neznámého zářiče (Obr. 7).

Literatura

- [1] Kolektiv praktika, *Měření spektra gama záření scintilačním počítačem*, [online, cit.28.3.2022] - <https://moodle-vyuka.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=156634>
- [2] Petr Chaloupka, *Základy fyzikálních měření*, prezentace [online, cit.28.3.2022] - <https://people.fjfi.cvut.cz/chalopet/ZFM/ZFM.pdf>
- [3] Peter Siegel, *Gamma Energies*, [online, cit.28.3.2022] - <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/bio431/gennergies.html>

Příloha

8 Domácí příprava

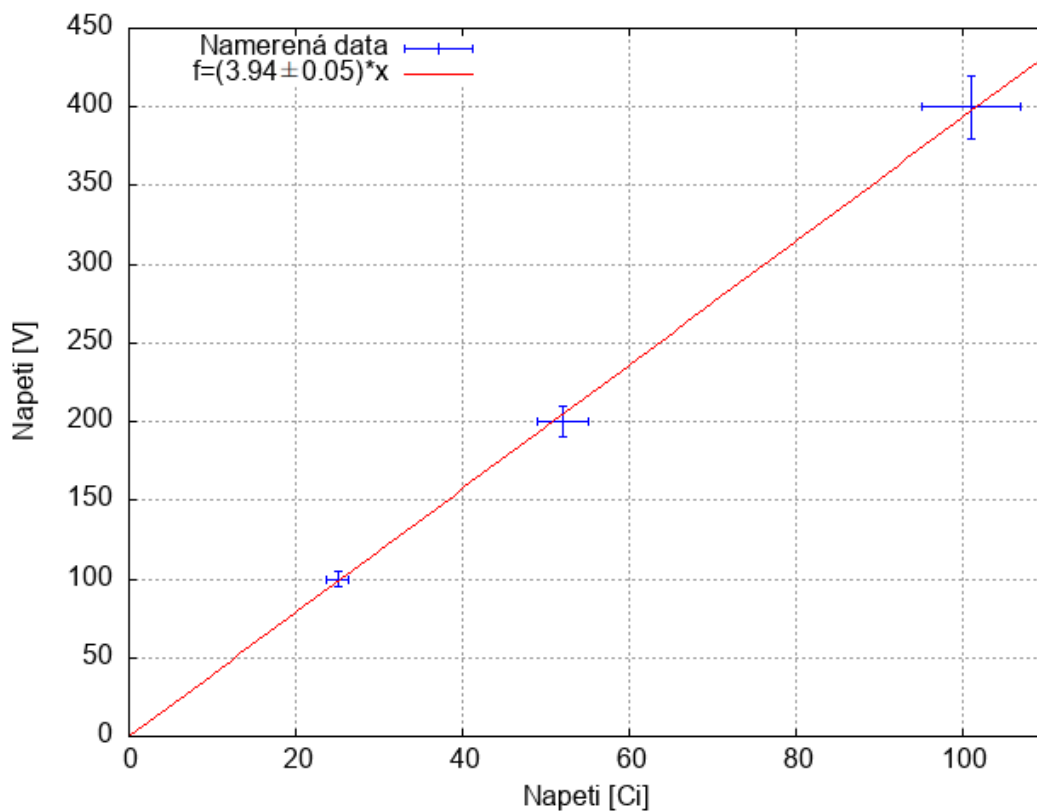
Du:

Podle definice aktivity $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$ a použitím $A(t) = \lambda N(t)$ dostaneme: $-\frac{dN}{dt} = A = \lambda N \rightarrow dN = -\lambda N dt \xrightarrow{\text{integrace}} \ln N = -\lambda t + C$ C konstanta
 $\rightarrow \ln N = \ln(e^{-\lambda t} \cdot e^C) \rightarrow N = e^{-\lambda t} N_0$

Definice: poločas rozpadu $T_{1/2}$ je doba, za kterou se rozpadne polovina jader: $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

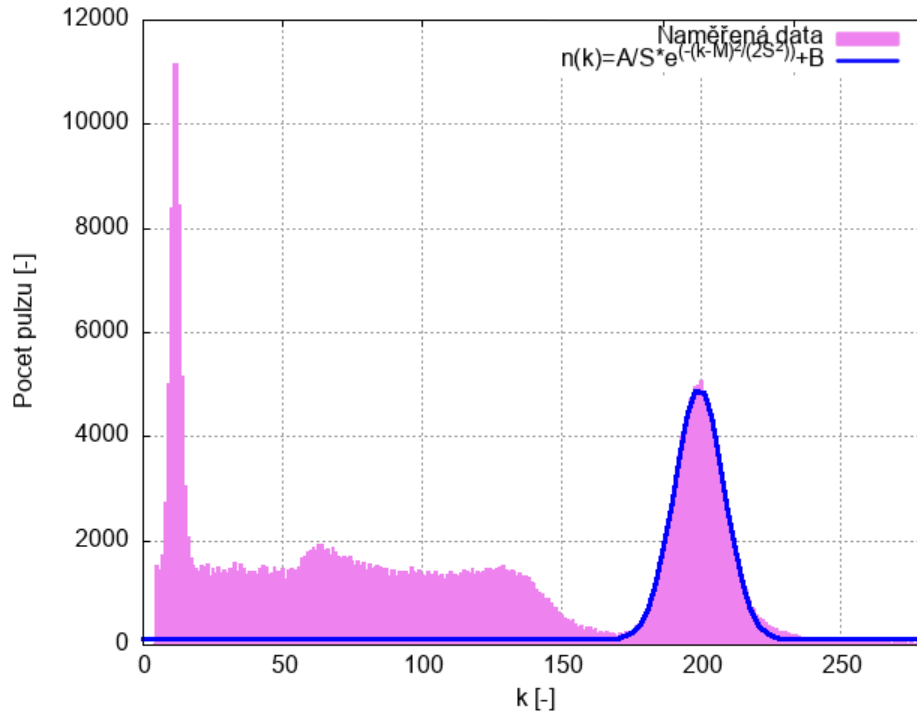
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Fyzikální praktikum II - 1. ročník

Obr. 8: Domácí příprava. Odvození vztahů.

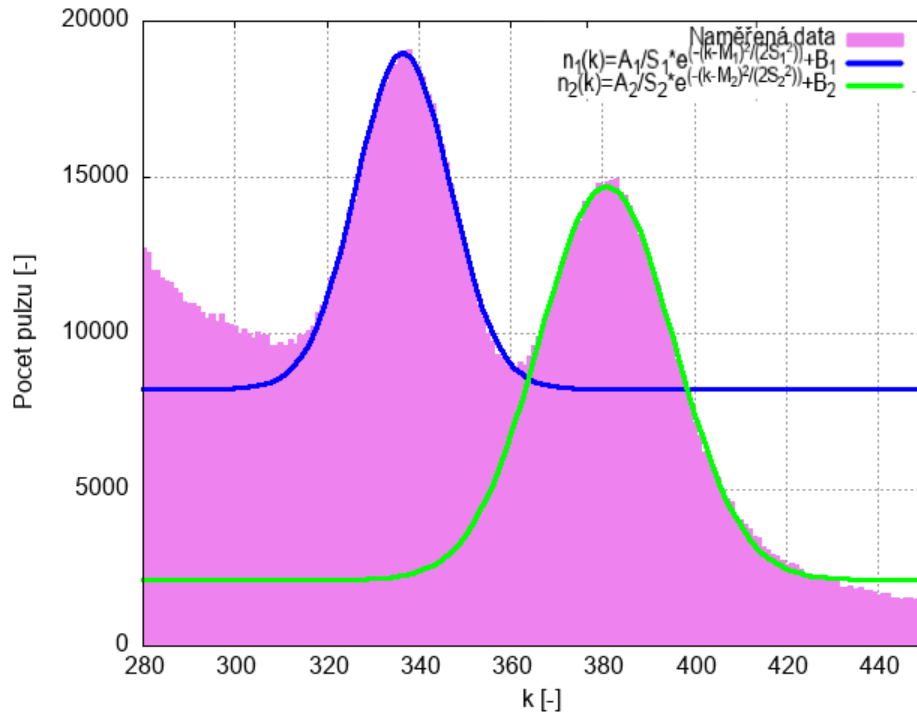


Obr. 9: Domácí příprava. Kalibrační křivka napětí.

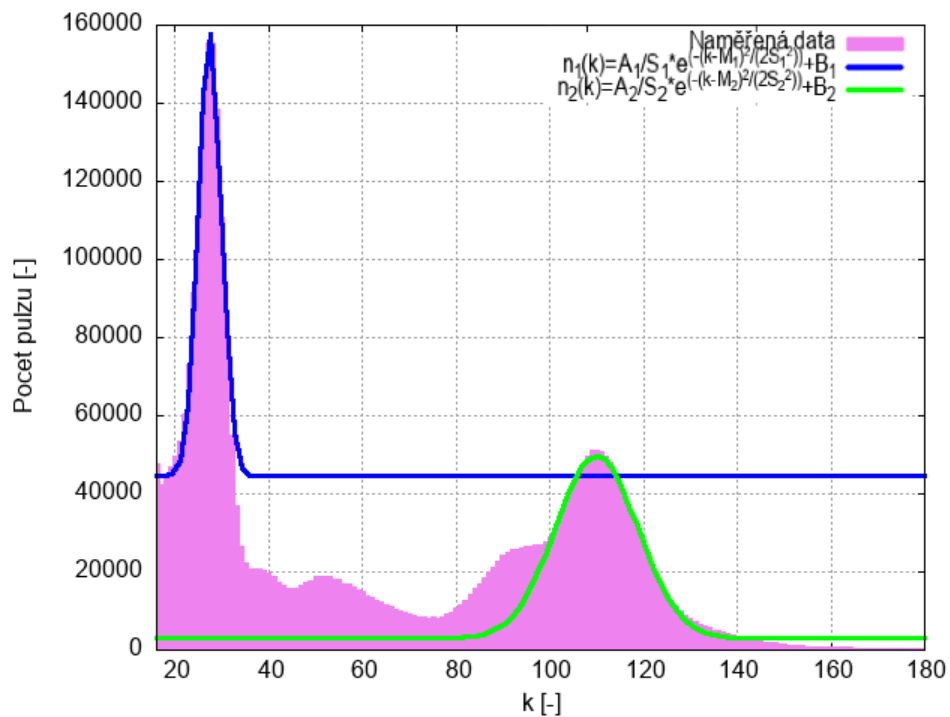
9 Tabulky a grafy



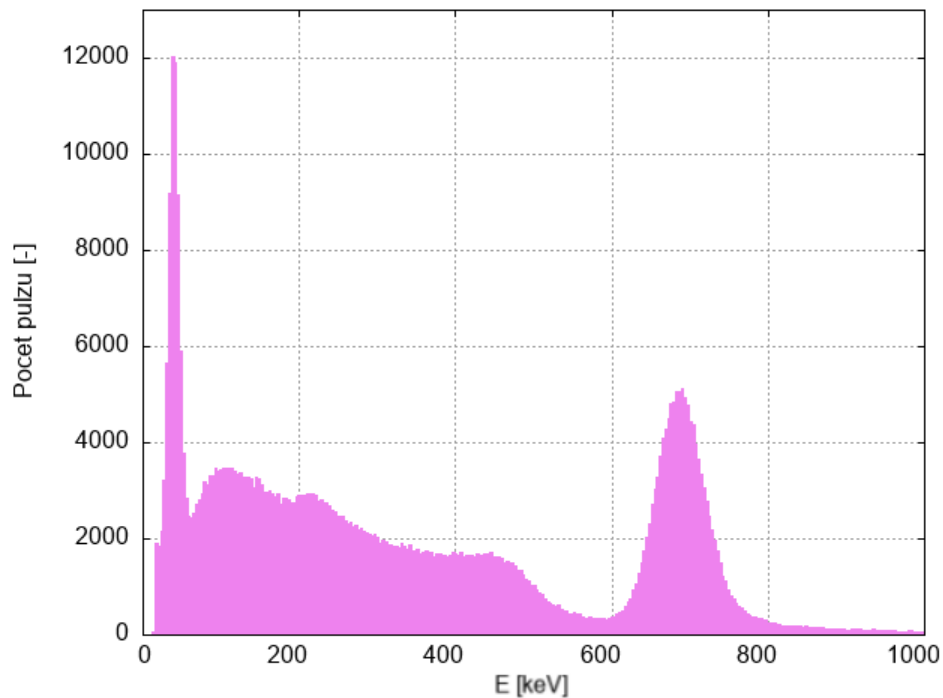
Obr. 10: Vhodný úsek spektra ^{137}Cs . Naměřený počet pulzů v závislosti na kanálu k a proložení závislosti funkcí ve tvaru n_1 s koeficienty $A_1 = 36000 \pm 2000$, $M_1 = 199,23 \pm 0,06$, $S_1 = 8,2 \pm 0,4$, $B_1 = 600 \pm 200$.



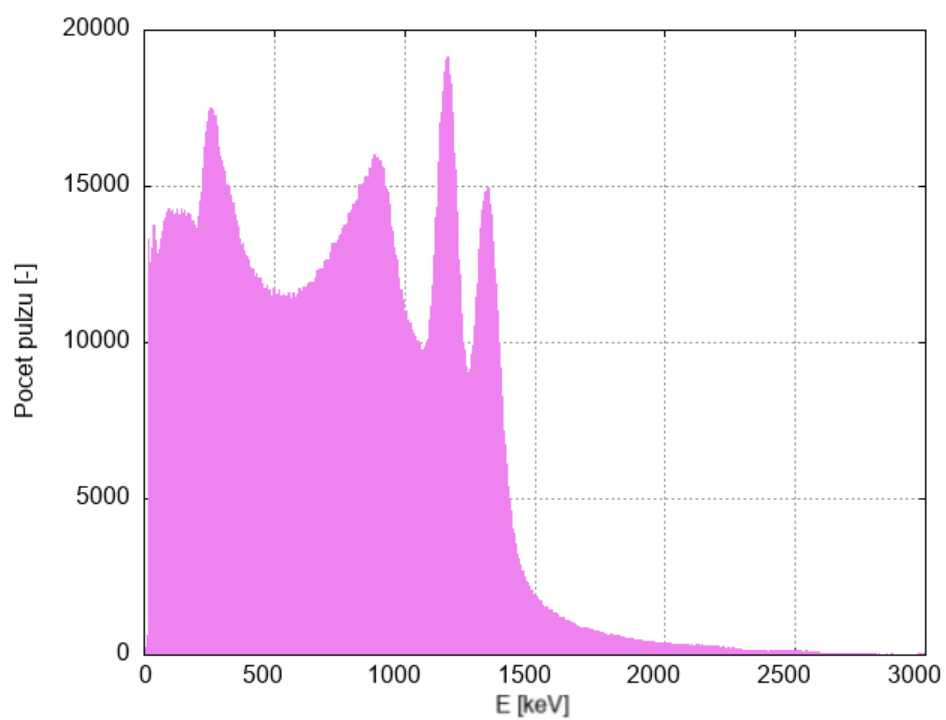
Obr. 11: Vhodný úsek spektra ^{60}Co . Naměřený počet pulzů v závislosti na kanálu k a proložení závislosti funkcemi ve tvaru n_1 a n_2 s koeficienty $A_1 = 130000 \pm 10000$, $M_1 = 336,58 \pm 0,07$, $S_1 = 11,0 \pm 0,3$, $B_1 = 7200 \pm 400$, $A_2 = 160000 \pm 20000$, $M_2 = 380,77 \pm 0,09$, $S_2 = 13,3 \pm 0,5$, $B_2 = 3200 \pm 700$.



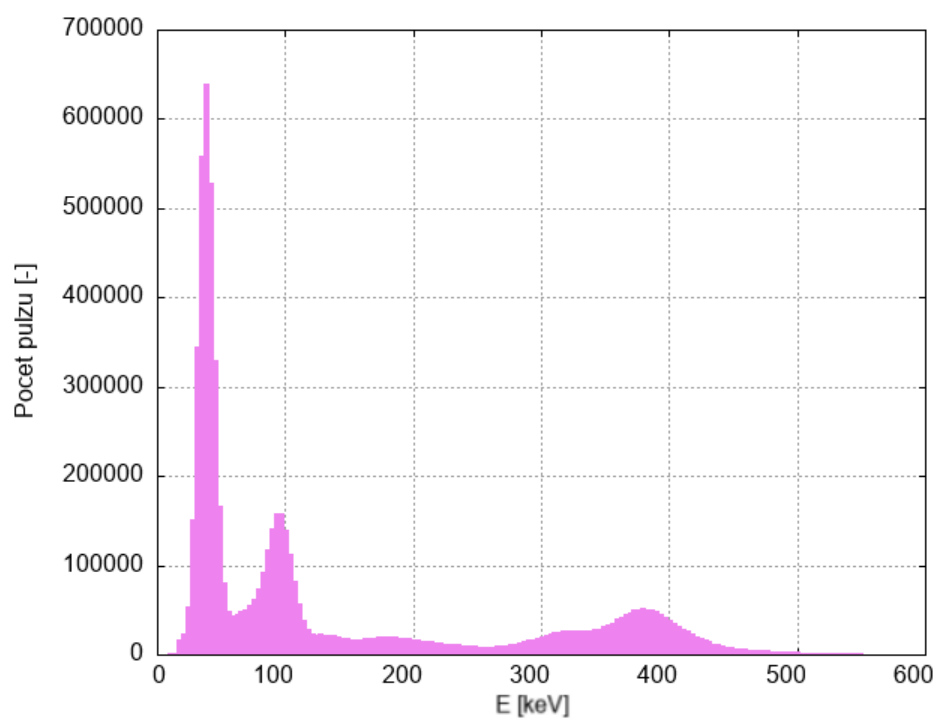
Obr. 12: Vhodný úsek spektra ^{133}Ba . Naměřený počet pulzů v závislosti na kanálu k a proložení závislosti funkcemi ve tvaru n_1 a n_2 s koeficienty $A_1 = 430000 \pm 60000$, $M_1 = 27,31 \pm 0,09$, $S_1 = 3,1 \pm 0,1$, $B_1 = 14000 \pm 12000$, $A_2 = 364000 \pm 6000$, $M_2 = 110,00 \pm 0,10$, $S_2 = 8,3 \pm 0,1$, $B_2 = 5700 \pm 400$.



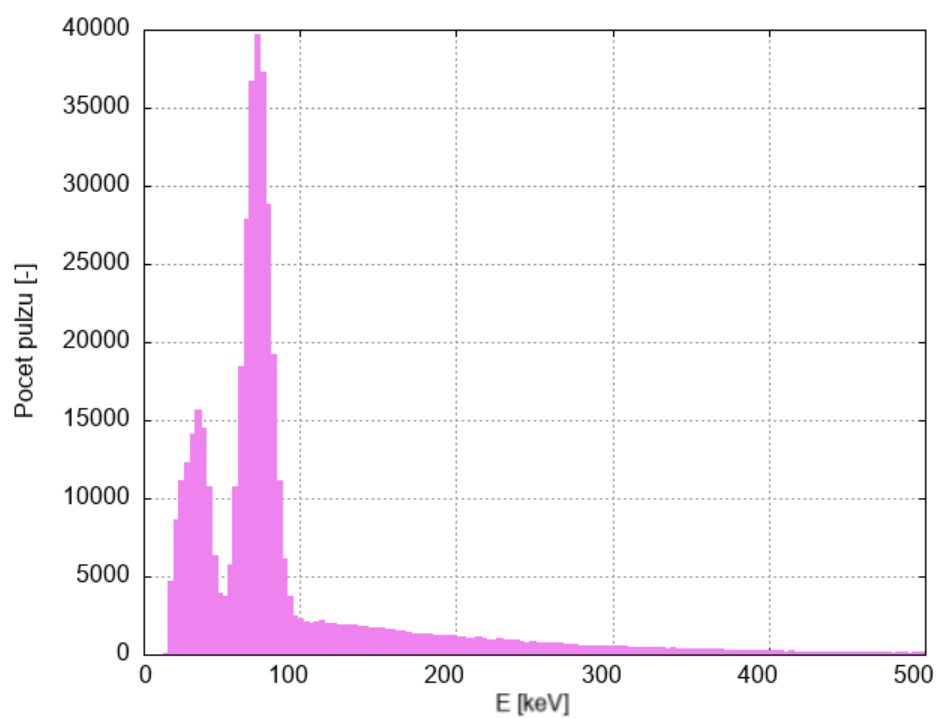
Obr. 13: Spektrum ^{137}Cs . Počet pulzů v závislosti na hodnotě energie E .



Obr. 14: Spektrum ^{60}Co . Počet pulzů v závislosti na hodnotě energie E .



Obr. 15: Spektrum ^{133}Ba . Počet pulzů v závislosti na hodnotě energie E .



Obr. 16: Spektrum ^{241}Am . Počet pulzů v závislosti na hodnotě energie E .