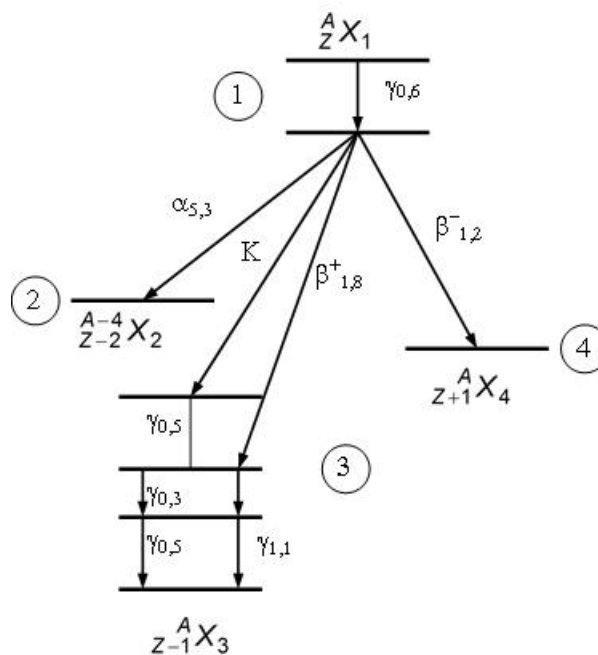


4. Rozpadové schémy rádionuklidov a používanie databáz rádionuklidov

1. Všeobecná časť

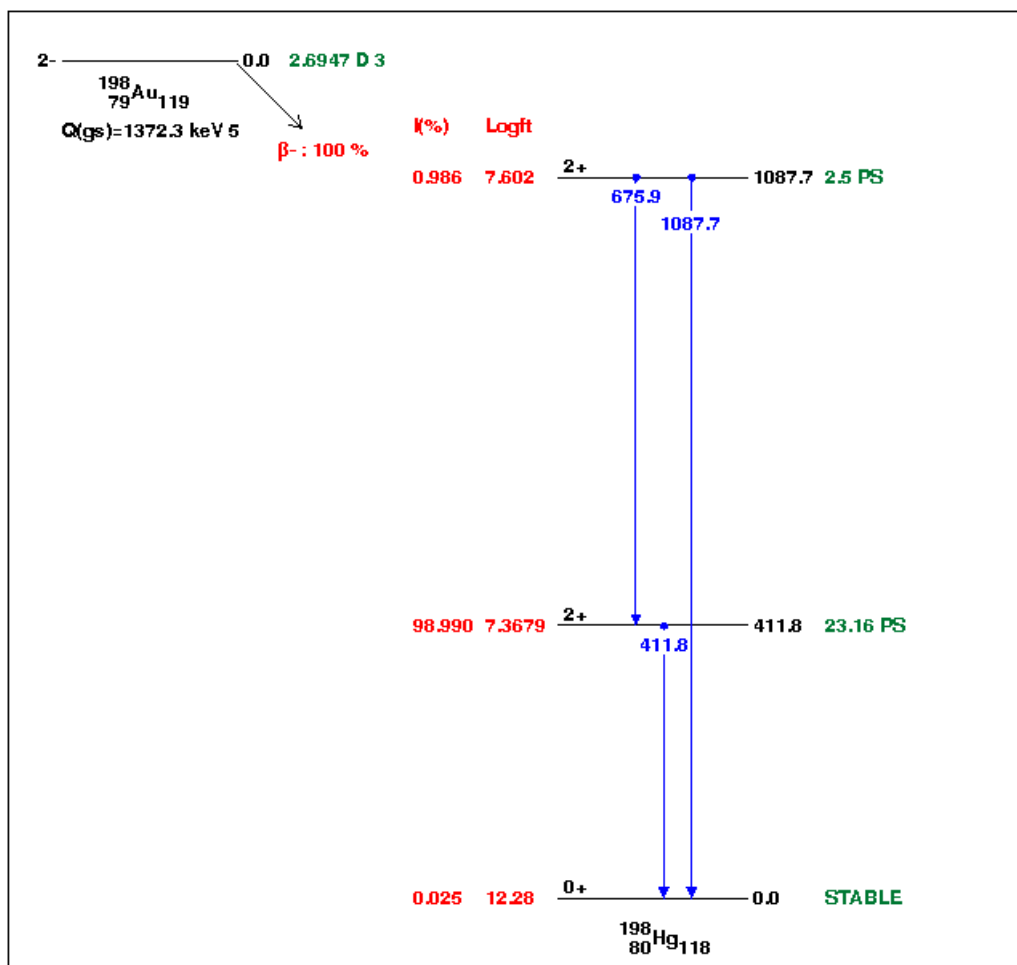
Rozpadová schéma rádionuklidu je energetický diagram, ktorý zobrazuje premenu jedného, tzv. materského rádionuklidu („parent“) na druhý, tzv. dcérsky nuklid, niekedy nazývaný aj dcérsky produkt („daughter“). Do rozpadovej schémy sú vpísané aj údaje o druhu vyžarovaných častíc alebo kvánt, ich počte pripadajúcom na jedno rozpadajúce sa jadro a energiách jednotlivých stavov jadra. Ďalej sú tu údaje o východiskovom a konečnom jadre s príslušnými polčasmi premeny. Na obr. 1.1 je všeobecný príklad rozpadovej schémy, ktorá zahŕňa všetky základné údaje a typy premien, s ktorými sa v praxi najčastejšie stretávame. Číselné údaje majú ilustratívny charakter a nereprezentujú rozpadovú schému žiadneho konkrétneho reálneho rádionuklidu.



Obr. 1.1: Všeobecná rozpadová schéma.

Horizontálne čiary 1 predstavujú energetické stavy materského rádionuklidu X_1 . Horizontálne čiary 2, 3, 4 predstavujú energetické stavy konečných jadier X_2 , X_3 a X_4 vzniknutých po premene. Ak pri premene vzniká jadro, ktoré sa nachádza vo vzбудenom stave (napríklad nuklid X_3), jeden z možných prechodov do základného stavu je vyžiarenie fotónu gama. Hovoríme o tzv. sprievodnom gama žiarení. Energetické hladiny týchto

prechodových stavov v schéme značíme pod sebou ležiacimi horizontálnymi čiarami. Pri β^- premene, šípka medzi horizontálnymi čiarami smeruje vpravo, pri K^- záchypte a β^+ premene vľavo a pri α rozpade taktiež vľavo. Sleduje sa tým podobnosť s Mendelejevovou periodickou tabuľkou prvkov, v ktorej nárast protónového čísla predstavuje posun doprava, naopak pokles protónového čísla posun doľava. Vedľa šípky je okrem označenia príslušnej premene číslo, vyjadrujúce energiu α -častice a fotónu gama a pri β premene udáva toto číslo maximálnu energiu beta spektra. Okrem toho sa tu uvádza tiež pravdepodobnosť premene v percentách, niekedy i spin, polčas premene a koeficient vnútornej konverzie. Na obrázku 1.2 je príklad rozpadovej schémy jadra izotopu zlata ^{198}Au .



Obr. 1.2: Rozpadová schéma ^{198}Au .

Jadro ^{198}Au vyžiari β^- časticu (maximálna energia beta spektra je 0,96 MeV), pričom s pravdepodobnosťou 98.99% prechádza na prvú vzбудenú hladinu jadra ^{198}Hg . V tomto vzbudenom stave existuje jadro približne 23 ps. Následne prechádza do základného stavu, pričom vyžiari fotón gama s energiou 411.8 keV. Ďalšie podrobnosti možno nájsť v databázach rádionuklidov, ktorých súčasťou sú spravidla aj ich rozpadové schémy.

Obrázok 1.3 je ukážkou výpisu z databázy, ktorý prislúcha rozpadovej schéme izotopu zlata ^{198}Au na obrázku 1.2.

Author: Huang Xiaolong Citation: Nuclear Data Sheets 110, 2533 (2009)

| Parent Nucleus | Parent E(level) | Parent Jπ | Parent T _{1/2} | Decay Mode | GS-GS Q-value (keV) | Daughter Nucleus | Decay Scheme | ENSDF file |
|------------------------|-----------------|-----------|-------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------|------------|
| $^{198}_{79}\text{Au}$ | 0.0 | 2- | 2.6947 d 3 | β^- : 100 % | 1372.3 5 | $^{198}_{80}\text{Hg}$ | | |

Beta:

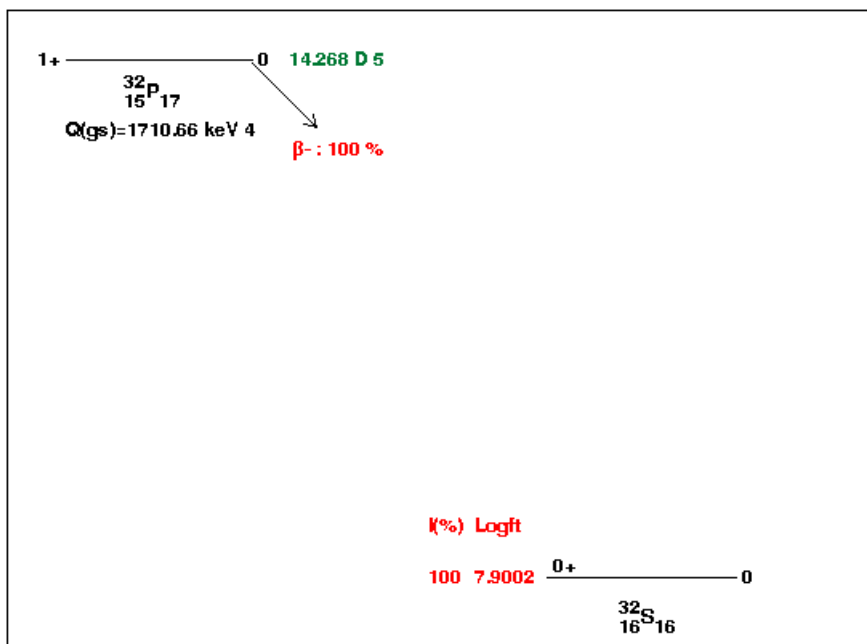
| Energy (keV) | End-point energy (keV) | Intensity (%) | Dose (MeV/Bq-s) |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------|
| 79.35 16 | 284.6 5 | 0.986 % 6 | 7.82E-4 5 |
| 314.55 19 | 960.5 5 | 98.990 % 9 | 0.31137 19 |
| 467.14 19 | 1372.3 5 | 0.025 % 5 | 1.17E-4 23 |

Mean beta- energy: 312.27 keV 20, total beta- intensity: 100.001 % 12, mean beta- dose: 0.31227 MeV/Bq-s 20

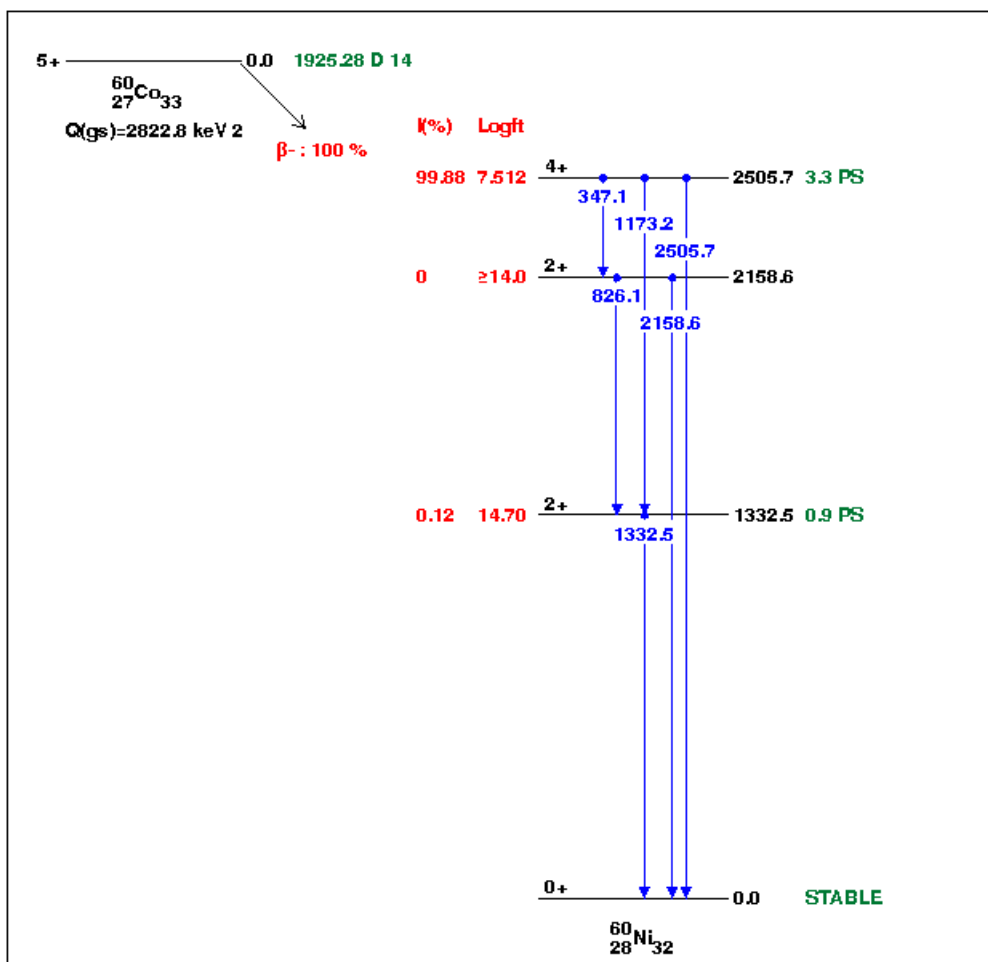
Obr. 1.3: Výpis z databázy Nudat2 patriaci k rozpadovej schéme ^{198}Au .

Existujú prípady, keď novovzniknuté jadro je hneď v základnom stave. Napríklad jadro izotopu fosforu ^{32}P (obr. 1.4) sa po vyžiarení beta častice mení na jadro síry ^{32}S v základnom stave.

V ďalšom uvedieme rozpadové schémy niektorých významných nuklidov, z ktorých niektoré budeme používať na laboratórnych cvičeniach. Ide o nuklidy ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{56}Mn , ^{52}V a ^{24}Na .



Obr. 1.4: Rozpadová schéma ^{32}P .



Obr. 1.5a: Rozpadová schéma ^{60}Co .

Nudat 2 Decay Radiation Results

www.nndc.bnl.gov/nudat2/decaysearchdirect.jsp?nuc=⁶⁰CO&unc=nds

Authors: E. Browne, J. K. Tuli Citation: Nuclear Data Sheets 114, 1849 (2013)

| Parent Nucleus | Parent E(level) | Parent J π | Parent T _{1/2} | Decay Mode | GS-GS Q-value (keV) | Daughter Nucleus | Decay Scheme | ENSDF file |
|--------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|------------|
| ⁶⁰ ₂₇ Co | 0.0 | 5+ | 1925.28 d 14 | β^- : 100 % | 2822.8 2 | ⁶⁰ ₂₈ Ni | | |

Beta-:

| Energy (keV) | End-point energy (keV) | Intensity (%) | Dose (MeV/Bq-s) |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------|
| 95.77 15 | 317.05 20 | 99.88 % 3 | 0.09566 15 |
| 625.87 21 | 1490.29 20 | 0.12 % 3 | 7.5E-4 19 |

Mean beta- energy: 96.41 keV 25, total beta- intensity: 100.00 % 4, mean beta- dose: 0.09641 MeV/Bq-s 25

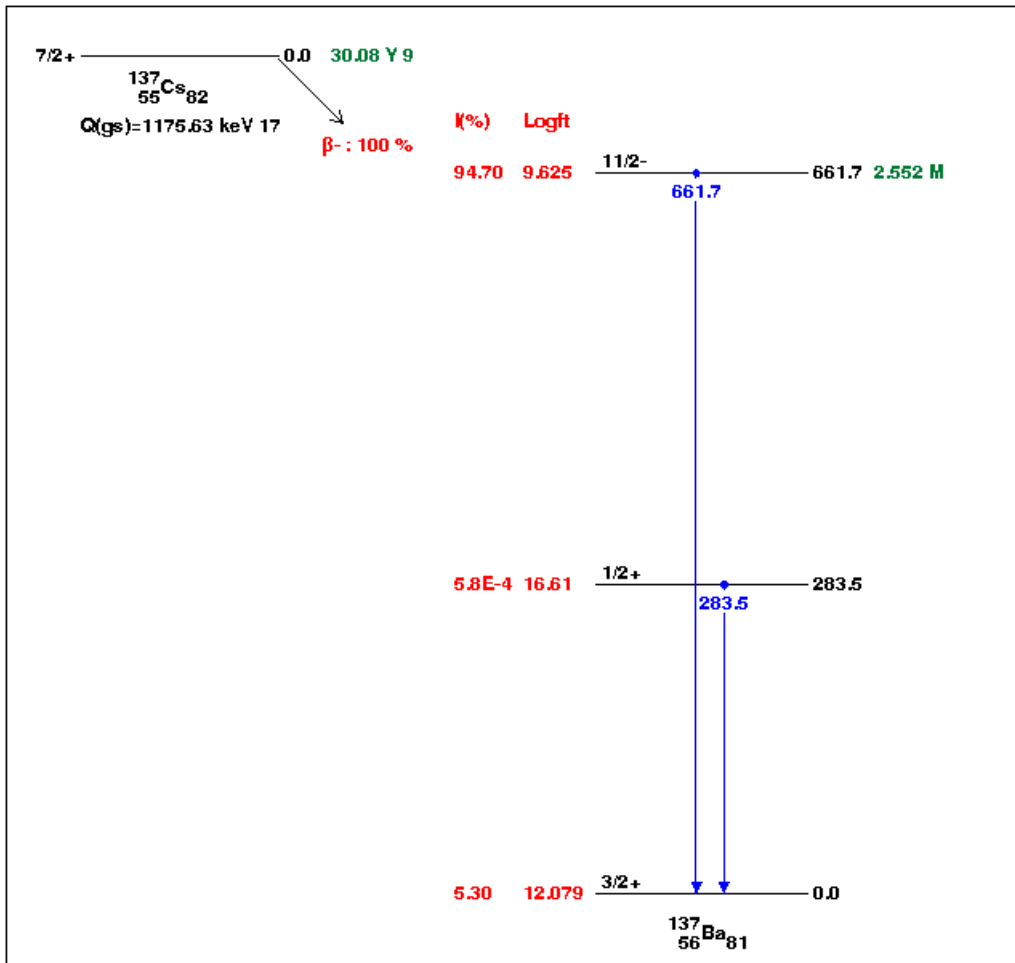
Obr. 1.5b: Základné údaje z databázy prislúchajúce β^- premene ⁶⁰Co.

Keďže dcérsky produkt rozpadu ⁶⁰Co – ⁶⁰Ni – je vo vzбудenom stave, prechádza do základného stavu vyžiarením fotónov gama. S najväčšou pravdepodobnosťou dochádza ku kaskádnemu prechodu cez ďalšiu vzбудenú hladinu s nižšou energiou, pričom pri každom prechode do základného stavu vznikajú dva fotóny gama s energiou 1.17 MeV a 1.33 MeV. Dokazuje to aj výpis z databázy na obrázku 1.5c. Analogicky treba interpretovať aj rozpadové schémy ďalších nuklidov.

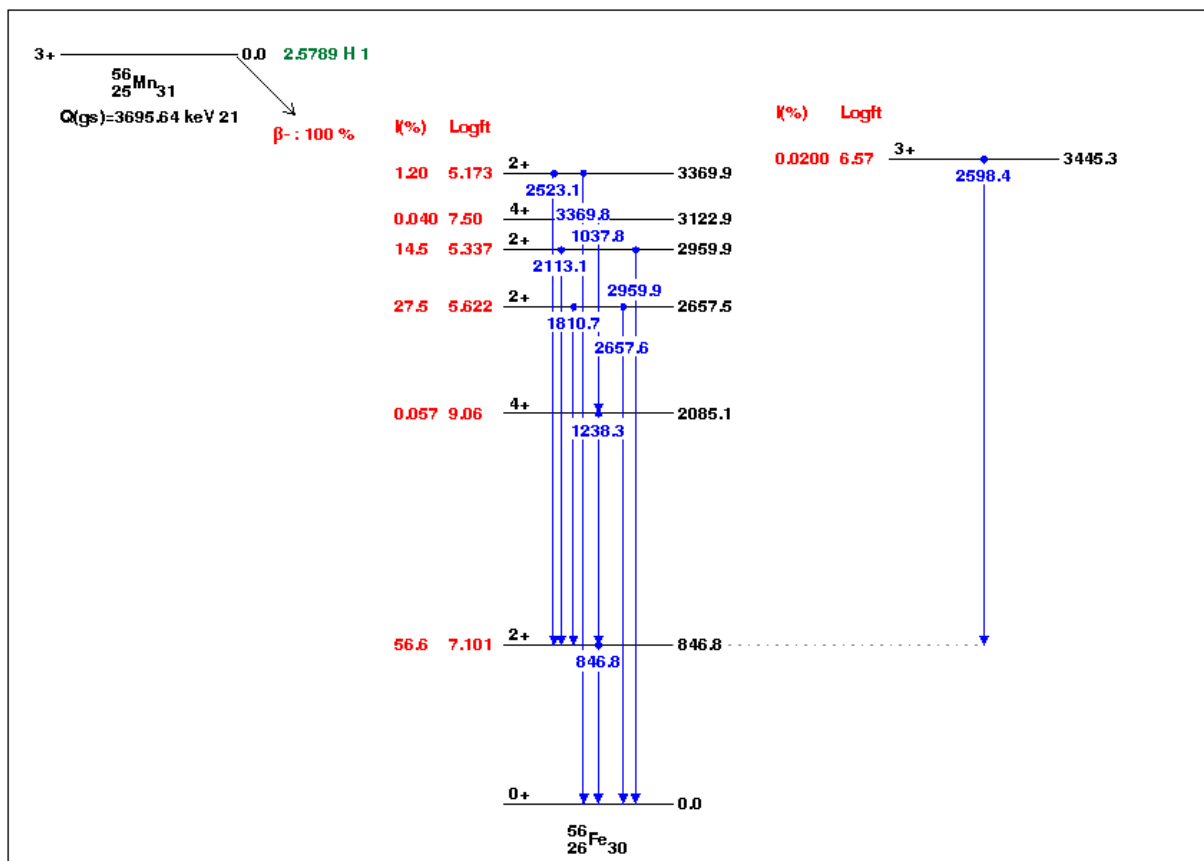
Gamma and X-ray radiation:

| | Energy (keV) | Intensity (%) | Dose (MeV/Bq-s) |
|--------|-----------------|------------------|----------------------|
| XR 1 | 0.85 | 3.29E-4 % 16 | 2.80E-9 14 |
| XR kα2 | 7.461 | 0.00322 % 16 | 2.40E-7 12 |
| XR kα1 | 7.478 | 0.0063 % 3 | 4.74E-7 22 |
| XR kβ1 | 8.265 | 7.6E-4 % 4 | 6.3E-8 3 |
| XR kβ3 | 8.265 | 3.91E-4 % 19 | 3.23E-8 16 |
| | 347.14 7 | 0.0075 % 4 | 2.60E-5 14 |
| | 826.10 3 | 0.0076 % 8 | 6.3E-5 7 |
| | 1173.228 3 | 99.85 % 3 | 1.1715 4 |
| | 1332.492 4 | 99.9826 % 6 | 1.332260 9 |
| | 2158.57 3 | 0.00120 % 20 | 2.6E-5 4 |
| | 2505.692 5 | 2.0E-6 % 4 | 5.0E-8 10 |

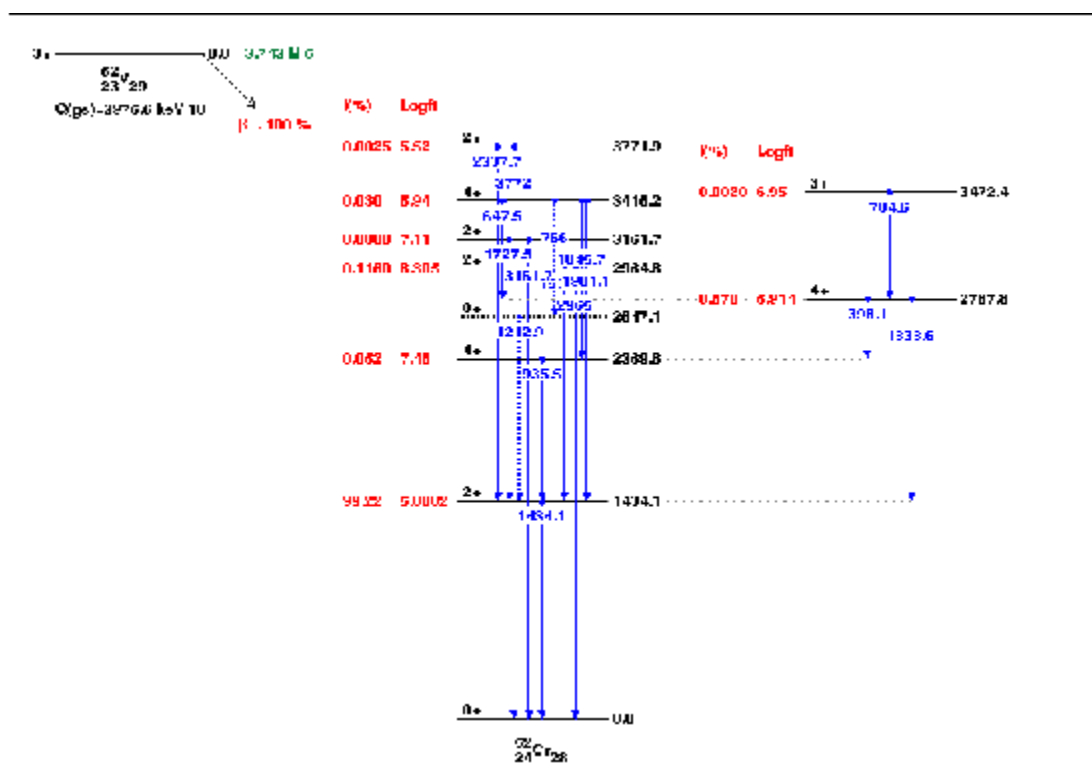
Obr. 1.5c: Fotóny gama vznikajúce pri premene ^{60}Co prechodom ^{60}Ni zo vzбудeného do základného stavu. Najvyššiu pravdepodobnosť emisie majú fotóny s energiou 1.17 MeV a 1.33 MeV, prislúchajúce kaskádnemu prechodu z najvyššej vzbudenej hladiny do základného stavu cez ďalšiu vzbudenu „medzi“ hladinu.



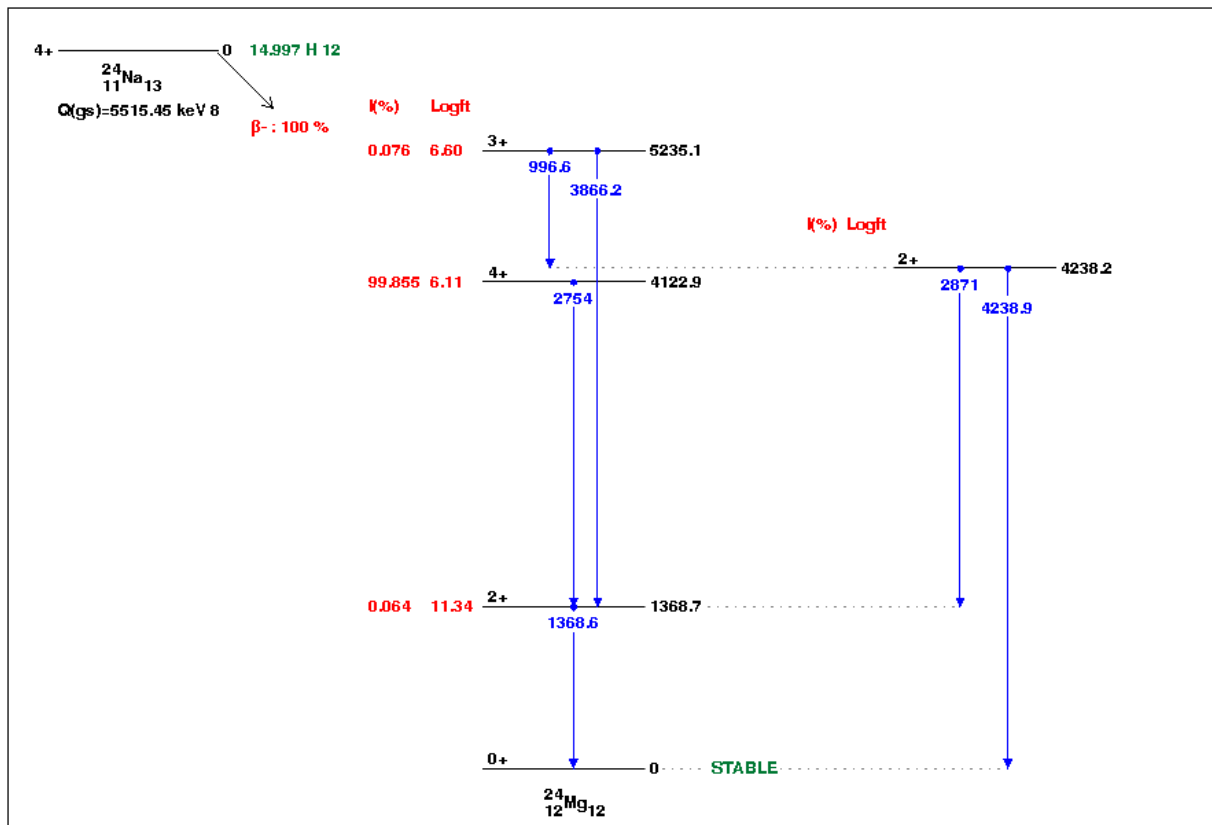
Obr. 1.6: Rozpadová schéma ^{137}Cs .



Obr. 1.7: Rozpadová schéma ^{56}Mn .



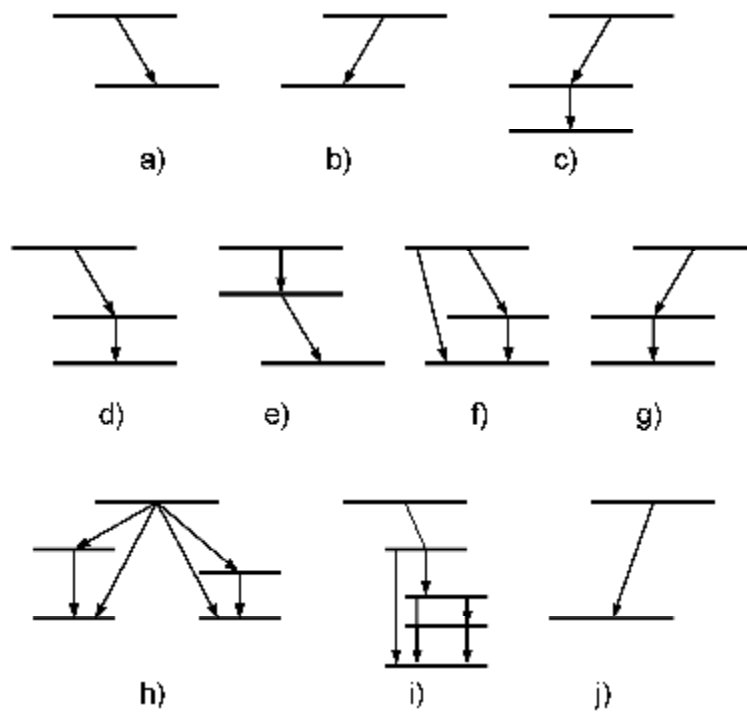
Obr. 1.8: Rozpadová schéma ^{52}V .



Obr. 1.9: Rozpadová schéma ^{24}Na .

2. Problémy a úlohy

- 1) Zistíte pomocou rozpadových schém v databáze Nudat2, ktoré prvky môžu vznikajúť rozpadom nasledovných rádionuklidov: ^{14}C , ^{35}S , ^{45}Ca , ^{40}K , ^3H a ^{64}Cu . Databázu Nudat2 nájdete na stránke <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>.
- 2) Analyzujte rozpadové schémy ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{56}Mn , ^{24}Na a ^{52}V .
- 3) Vysvetlite, o aký druh rozpadu ide v rozpadových schémach na obr. 1.10. K jednotlivým typom rozpadu nájdite konkrétne príklady v databáze Nudat2.
- 4) Nakreslite podľa databázy Nudat2 rozpadové schémy ^{108}Ag a ^{110}Ag .



Obr. 1.10: Rozpadové schémy neznámých nuklidov.