

# Spektrometrie záření alfa

**Ing. Vladimír Linhart**  
*Supervisor projektu, KF FJFI ČVUT, Praha*

**Petr Havlíček**  
*Gymnázium Voděradská, Praha 10*

**Lenka Kvítková**  
*Gymnázium Čajkovského, Olomouc*

**Michal Petera**  
*Gymnázium Voděradská, Praha 10*

**Jaroslava Schovancová**  
*Akademické gymnázium, Praha 1*

## Abstrakt

V článku je prezentován obecný princip spektroskopického měření s detailním popisem výsledného spektra. Tvar spektra je zde vysvětlen a je ozřejmena podstata štěpení spektrálních čar.

Na základě precizního měření je v článku proveden důkaz existence vnitřní struktury atomového jádra. Společně s ním je uvedeno poznání, že vnitřní struktura jádra vykazuje vlastnost diskretně rozložených hladin.

Ke konci článku jsou stručně uvedeny některé z mnohých aplikací rozpadu alfa.

## 1 Úvod

V našem projektu jsme se seznámili se spektrometrií záření alfa. Tato spektrometrie se zabývá měřením kinetické energie alfa částic, tj. helionů. Heliony jsou jádra helia, která obsahují celkem 4 nukleony, 2 protony a 2 neutrony. Proud částic pocházejících z jednoho prvku se vyznačuje tím, že kinetické energie těchto částic nabývají několika diskretních hodnot. To svědčí o tom, že jádro má svou vnitřní strukturu, čili že není bodová částice. Každá diskretní hodnota odpovídá přechodu mezi jednotlivými energetickými hladinami. Nejpravděpodobnější je přechod mezi základními stavy. Objevují se však i jiné méně pravděpodobné přechody do jiných energetických hladin, které se nazývají vzbuzené stavy. Pro ty se vžil název jemná struktura čarového spektra, která je hlavním cílem našeho bádání. Energie alfa částic je specifická pro každý prvek, takže změřením kinetické energie můžeme pomocí tabulek určit, o jaký prvek se jedná.

## 2 Měření

### 2.1 Obecný princip detekce

Má-li částice nějakou kinetickou energii, bude se ve vakuu, podle 1. Newtonova zákona, pohybovat rovnoměrným přímočarým pohybem. Chceme-li takovouto částici detekovat, musíme jí do cesty postavit hmotu, se kterou bude interagovat. Interakce se projeví např. excitací, ionizací, destrukcí molekul nebo krystalické mřížky látky, do které narazí. Částice tím předá buď část energie, nebo veškerou svou energii. Jelikož dosah částic alfa v křemíku je typicky  $20\mu\text{m}$ , bude detektor o tloušťce  $100\mu\text{m}$  absorbovat veškerou kinetickou energii. V případě polovodičových detektorů nás zajímá hlavně ionizace.

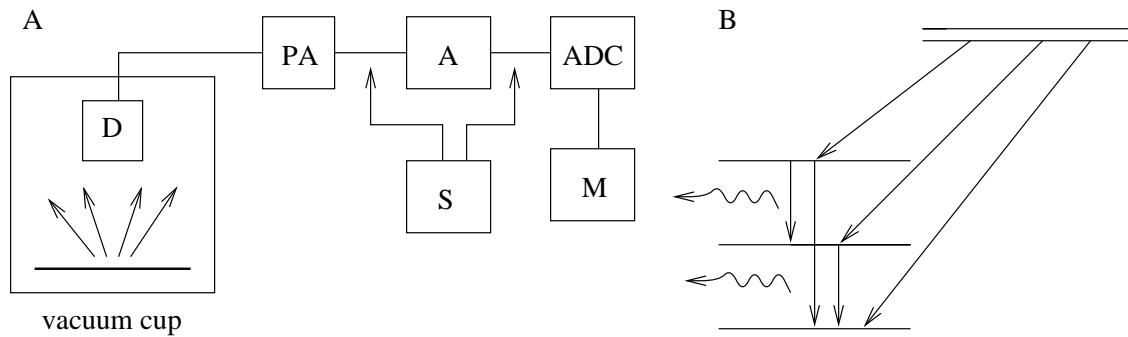
Bylo experimentálně zjištěno, že celkový náboj vzniklý ionizací je přímo úměrný energii, kterou částice zanechala v detektoru. Kvantifikaci tohoto náboje lze tedy stanovit deponovanou energií. Detektorem je v podstatě kondenzátor tvořený křemíkovým materiálem (dielektrikum), který je obklopen dvěma rovinnými deskami. Na desky se vloží napětí, které vytváří sběrné elektrické pole. Náboj sbíráme tímto elektrickým polem na sběrné elektrody detektoru (rovinné desky). Vzhledem k tomu, že detektor má kapacitu  $C$ , bude, vlivem přiloženého napětí, na jedné elektrodě náboj  $+Q$  a na druhé  $-Q$ . Sbíráním elektronů a děr dojde k úbytku velikosti těchto nábojů. To se projeví v úbytku napětí  $\Delta U$  na kondenzátoru. Velikost sebraného náboje  $q$  je pak přímo úměrná úbytku napětí. Konstantou přímé úměrnosti je kapacita  $C$ .

$$q = C \cdot \Delta U$$

Tím je převeden problém měření kinetické energie na problém stanovení úbytku napětí na kondenzátoru. Napětí měříme pomocí AD převodníku, který obsahuje integrované obvody. AD převodník rozděljuje jmenovitou hodnotu napětí na mnoho ekvidistantních interválků. Následovně posoudí, do kterého intervalu to které napětí patří. Každému intervalu je potom přiřazeno pořadové číslo. Jednotlivé intervaly se nazývají kanály.

## 2.2 Konkrétní realizace spektroskopického systému

Používali jsme klasickou spektroskopickou aparaturu složenou z nábojově citlivého předzesilovače, lineárního zesilovače a AD převodníku s pamětí (viz Obrázek 1 A). Předzesilovač převádí náboj na napětí. Lineární zesilovač zesiluje toto napětí a tvaruje signál za účelem co nejlepšího spektroskopického rozlišení. Parametrem tvarování je tzv. tvarovací čas. Námi použitý zesilovač od firmy Ortec zesiloval 50x a tvarovací čas byl  $1\mu s$ . Jako AD převodník jsme použili mnohokanálový analyzátor Cicero, který ukládal spektrum do paměti o velikosti 2k (tj. počet interválků byl 2048). Po nabrání dostatečné statistiky jsme spektrum převedli pomocí rozhraní RS232 do počítače.



Obrázek 1: **A)** Schéma spektroskopické aparatury, která se sestává z detektoru (D), předzesilovače (PA), zesilovače (A), analogově-digitálního převodníku (ADC), paměti (M) a osciloskopu (S).

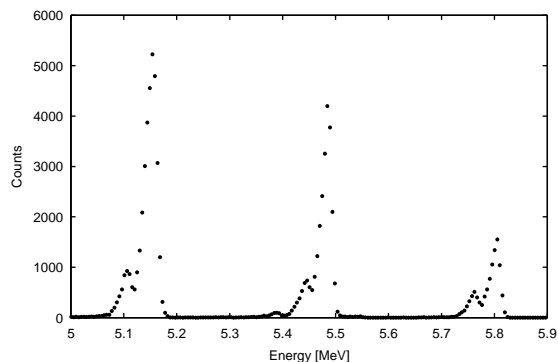
**B)** Grafické zobrazení rozpadu alfa částic, při kterém dochází k přechodu atomu (šikmé šipky) z jednoho základního stavu (dvojitá čára nahoře) do druhého (dvojitá čára dole) nebo do stavů vzbuzených (jednoduché čáry). Po přechodu do vzbuzeného stavu se uvolňuje doprovodné gama záření (vlnovky).

## 3 Popis spektra

Spektrum (viz Obrázek 2) vykazuje diskrétní hodnoty kinetických energií alfa částic. Získané spektrum je tedy čárové a je v něm možno pozorovat několik peaků. Některé z nich výrazně převyšují ostatní a většinou se nacházejí vpravo. Tyto hlavní peaky představují procesy, při kterých atomy přešly mezi základními stavy. Ostatní peaky tvoří tzv. jemnou strukturu. Z obrázku je dále patrné, že peaky mají jistou šířku. Šířka peaku je dána vlastností celého spektroskopického systému, nikoli vlastnostmi záření. Tato šířka určuje s jakou přesností můžeme měřit energii částic.

Vzhledem k tomu, že v preparátu nejsou přítomny atomy helia, heliony musejí pocházet z ostatních prvků preparátu. Jelikož se heliony nemohou vyskytovat v atomovém obalu, musejí být emitovány z atomového jádra. To dokazuje jeho vnitřní strukturu. Přítomnost jemné struktury naznačuje, že se atomové jádro může nacházet v různých energetických hladinách. Tyto hladiny jsou diskrétní. Hladinu

s nejnižší klidovou energií nazýváme základní, ostatní vzbuzenými (viz Obrázek 1 B). Pokud atom přešel do vzbuzeného stavu, přechází následně do stavu základního za současné emise gama záření.



Obrázek 2: Ukázka spektra získaného detektorem Canberra, znázorňující peaky ze tří zářičů (zleva  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ). Díky dobré rozlišovací schopnosti přístroje, je nalevo od hlavních peaků velmi dobře patrná jemná struktura.

## 4 Využití

Při rozpadu částic se uvolňuje energie, která se mění na energii kinetickou. Ta se spotřebuje na pohyb vzniklého helionu a atomu. Tato energie je využitelná k destrukci látek, což lze použít např. v lékařství při odstraňování nádorů, kde už není jiný zákrok možný. Kinetická energie je dále využitelná k excitaci elektronů. Při zpětné deexcitaci dochází k jejich přechodu mezi vrstvami a uvolňuje se fotonové záření. To pak můžeme detekovat a podle jeho energie určit z jakých atomů se látka skládá.

Připravíme-li zářič tak, že z něj dokáží částice alfa vyletět, můžeme registrovat jejich počet a měřit jejich energii. Dáme-li jim navíc do cesty další materiál, může se tento počet snížit absorbcí helionů přidaným materiálem. Toho se využívá v požárních hlásičích, které detekují heliony. Při úbytku helionů v důsledku zvýšené přítomnosti sazí, které heliony pohlcují, je vyhlášen poplach.

Při nárazu helionu do nějaké látky helion ztrácí celou energii nebo část své energie, což je využitelné při určování mocnosti látek. K čím většímu snížení kinetické energie helionů dojde, tím je materiál mocnější. Pokud alespoň u jednoho helionu k žádnému snížení nedojde, znamená to, že je v látce díra.

## 5 Závěr

V našem projektu jsme dokázali, že jádro má vnitřní strukturu detekováním částic alfa, které jsou z něj emitovány. Precizním měřením jsme zaznamenali jemnou strukturu, která je důsledkem přechodu atomu i do vzbuzených stavů.

Ke konci jsou dále uvedeny některé z mnoha příkladů využití rozpadu alfa. Konkrétní praktické využití závisí jen na důvtipu experimentátora.