

Rozhledy matematicko-fyzikální

Tomáš Čechák

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 85 (2010), No. 4, 34–39

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146381>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2010

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza

Tomáš Čechák, FJFI ČVUT, Praha

Abstract. Nuclear techniques and techniques using ionising radiation represent a valuable tool in non-destructive diagnostics applied to geology, geophysics, archaeological findings and objects of arts, particularly for determining the composition of materials used in the production of artefacts. X-ray fluorescence analysis is one of the most widespread methods using ionising radiation for studying the elemental composition of materials. It is frequently used for analysing various cultural and historical relics and objects of art. The paper describes the author's experience with X-ray fluorescence analysis in investigating historical relics namely by means of portable spectroscopic devices. The use of these methods is demonstrated by the example of the investigation of fresco paintings.

Úvod

V lednu 2004 přistála na povrchu Marsu dvě robotická vozítka, Spirit a Opportunity (obr. 1). Celá mise byla daleko úspěšnější, než se původně očekávalo, a množství získaných informací i doba, po kterou byla vozítka v provozu, byly daleko větší, než bylo původně plánováno. Podrobnější informace o celém experimentu lze nalézt na webových stránkách NASA [1].



Obr. 1. Vozítka Opportunity na povrchu Marsu

Obě vozítka plnila řadu úkolů, mimo jiné měřila chemické složení marťanského povrchu. Aparatura, která chemickou analýzu prováděla, byla umístěna na pohyblivém rameni a obsahovala radionuklidový zářič a detektor nízkonoenergetického fotonového záření. Při měření dopadalo primární záření z radionuklidového zdroje na zkoumaný vzorek a budilo v ozařovaném materiálu charakteristické rentgenové záření. (S charakteristickým zářením se můžeme mimo jiné setkat i ve spektru rentgenek.) Vybuzené záření pak bylo registrováno speciální aparaturou – polovodičovým detektorem, který umožňoval nejen zjistit počet dopadlých fotonů, ale i jejich energii. Z analýzy naměřeného spektra bylo určeno chemické složení ozářeného vzorku. Jednalo se o nedestruktivní, rychlou a poměrně levnou metodu. Podívejme s nyní na celý postup podrobněji.

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza

Analytická metoda založená na zpracování spektra charakteristického záření vybuzeného vhodným radionuklidovým zdrojem se nazývá radionuklidová rentgenfluorescenční analýza. Patří do skupiny radioanalytických metod založených na buzení charakteristického záření vhodným primárním zářením. Patří sem např. metoda PIXE (Particle Induced X-Ray Emission) využívající k buzení charakteristického záření svazku těžkých nabitých částic, např. protonů. V elektronových mikroskopech je k buzení charakteristického záření použit svazek urychlených elektronů, sloužících zároveň k zobrazení zkoumaného povrchu. Metoda se jmenuje elektronová mikrosonda a umožňuje získat údaje o chemickém složení povrchu zobrazeného mikroskopem.

Všechny tyto metody jsou založeny na buzení a detekci charakteristického rentgenového záření. Atom vyzáří toto záření, dojde-li k emisi elektronu z některé z vnitřních hladin elektronového obalu. To se děje např. právě při fotoefektu. Volné místo se pak zaplní přeskokem elektronu z některé z vnějších hladin a rozdíl energií se vyzáří.

Mezi protonovým číslem Z atomu emitujícím charakteristické záření a energií, respektive vlnovou délkou tohoto záření, platí vztah

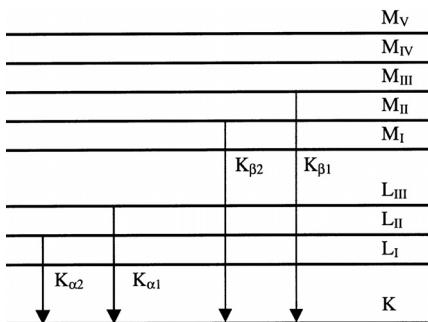
$$E = K(Z - b)^2,$$

kde E je energie fotonů odpovídajících přeskoku mezi dvěma určitými hladinami, K a b jsou konstanty.

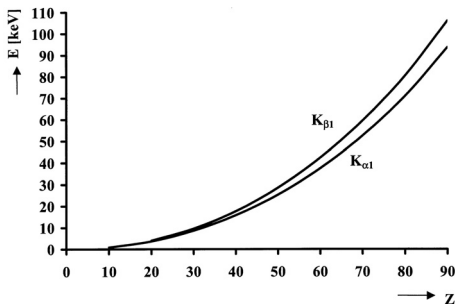
Mezi energií fotonového záření a jeho vlnovou délkou platí vztah $E = 1,24/\lambda$, kde E je energie záření v keV (Pozn. redakce: 1 eV je ener-

gie, kterou udělí elektronu ve vakuu napětí 1 V; $1 \text{ eV} \doteq 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$) a λ je vlnová délka v nm.

Vztah mezi energií fotonů charakteristického záření a protonovým číslem prvku, který toto záření emituje, objevil již v roce 1914 H. G. M. Moseley. Na obr. 2 je zjednodušené schéma hladin v elektronovém obalu s vyznačením hlavních přechodů odpovídajících energiím (čarám) charakteristického záření i s jejich označením, které se z historických důvodů používá. Na obr. 3 je uvedena závislost energie čáry K_α a K_β na protonovém čísle Z .



Obr. 2. Zjednodušené schéma hladin v elektronovém obalu atomu



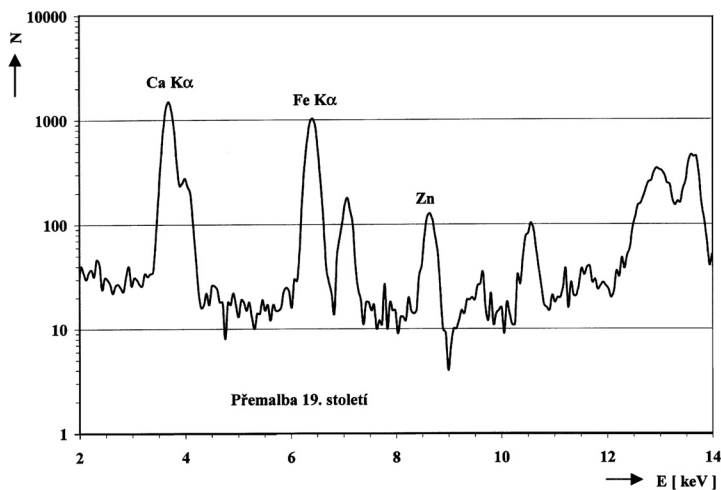
Obr. 3. Závislost energie některých čar charakteristického záření na Z

V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty energií K_α čáry pro několik důležitých prvků. Z tabulky i obr. 3 vyplývá, že umíme-li změřit energii čar charakteristického záření, umíme určit protonové číslo prvku, který záření emituje. Tomuto procesu se říká kvalitativní analýza. Umíme-li změřit počet fotonů příslušné energie, zaregistrovaných detektorem, lze získat i informaci o koncentraci jednotlivých prvků ve zkoumaném vzorku. To je princip tzv. kvantitativní analýzy.

Prvek	Z	Energie K_{α} čáry
Si	14	1,7 keV
Cu	29	8,0 keV
Sn	50	25,2 keV
Au	79	68,8 keV

Tab. 1

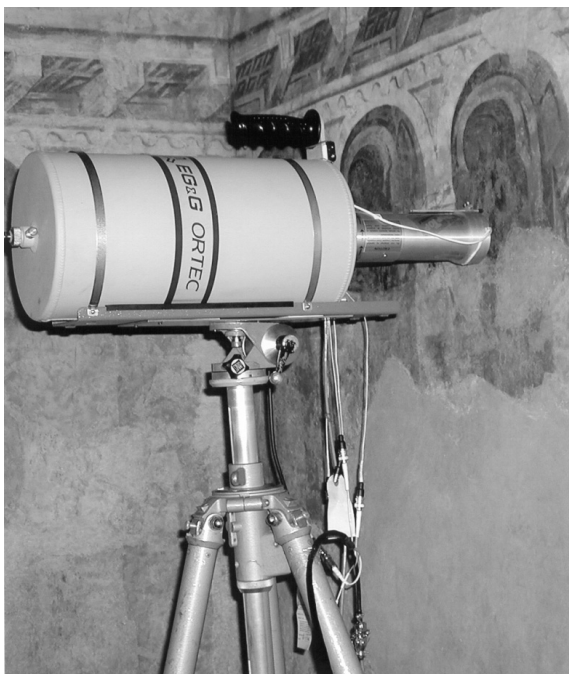
K tomu, abychom získali signál z detektoru, musíme charakteristické záření vybudit. Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza používá k buzení radionuklidové zdroje emitující záření o vhodné energii. K registraci vybuděného charakteristického záření se používají detektory umožňující měřit nejen přítomnost částic, ale i jejich energii. Takovým detektorům se říká spektrometrické. V současné době se nejvíce používají polovodičové detektory. V citlivém objemu detektoru se měřené záření absorbuje a na výstupu detekční aparatury dostaneme elektrický impuls, jehož výška je úměrná absorbované energii. V důsledku statistických dějů v citlivém objemu detektoru nedostaneme na výstupu impulsy o jedné výšce, ale impulsy, jejichž výšky mají přibližně Gaussovo rozložení. Na obr. 4 je uveden příklad takového spektra.



Obr. 4. Spektrum charakteristického záření vybuděného v černé barvě použité při opravě v 19. století.

Aplikace

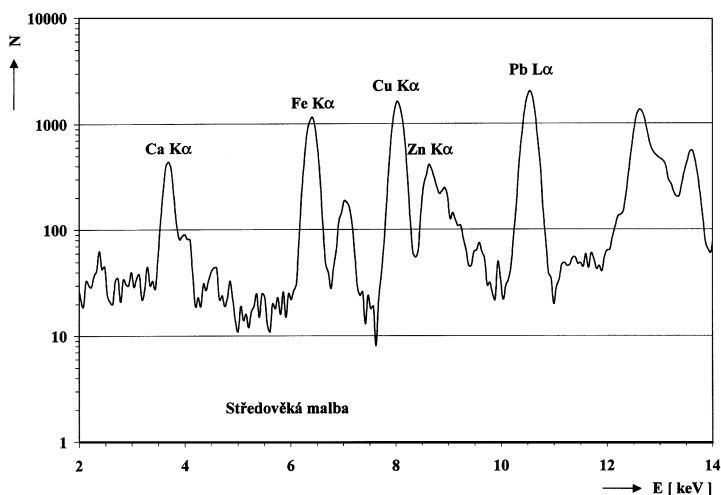
Na Katedře dozimetrie a aplikací ionizujícího záření FJFI ČVUT je tato metoda využívána, mimo jiné, ke studiu památek. Polovodičový detektor, který se používá, je třeba chladit na teplotu kapalného dusíku $-197\text{ }^{\circ}\text{C}$. Detektor je namontován na měděnou tyč, která je ponořena ve speciální Dewarově nádobě obsahující kapalný dusík. Kolem okénka detektoru je umístěn prstencový zářič ozařující měřenou plochu. Vybuzené charakteristické záření je registrováno detektorem. Po zpracování výsledného signálu získáme informaci o chemickém složení zkoumaného vzorku. Na obr. 5 je měřicí hlavice při reálném měření.



Obr. 5. Detekční aparatura při měření

V tomto uspořádání měřili pracovníci FJFI např. složení fresek na hradě Karlštejně. Původní fresky pocházejí ze 14. stol. a byly v 19. stol. restaurovány. Použitá metoda umožňuje podle složení barev určit, která část fresky je původní a která byla restaurována. Na obr. 6 je vidět tvar spektra charakteristického záření vybuzeného v černé barvě použité ve

14. století. Barva obsahuje Fe, Cu, Zn a Pb. Barva použitá při restaurování fresek v 19. století má zcela jiné složení a ve spektru jsou přítomné pouze píky Fe a Zn (obr. 4). Lze tak získat informace o barvách, které malíř použil. Existují barvy, jejichž použití bylo charakteristické pro určité období nebo pro určitou oblast. Existují barvy, u kterých známe datum nebo období, kdy byly objeveny. Analýza barev na obrazech tak může poskytnout informaci o době, kdy umělecké dílo vzniklo, eventuálně objevit falsa.



Obr. 6. Spektrum charakteristického záření vybuzeného v černé barvě použité na středověké fresce.

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza se používá velmi často v geologii, v hornictví, ke studiu biologických materiálů i vzorků životního prostředí. Jak již bylo řečeno, je to rychlá, relativně levná, nedestruktivní metoda, umožňující v řadě případů stanovit s dostatečnou přesností chemické složení zkoumaných vzorků. Radionuklidový zdroj lze nahradit rentgenkou a v současné době existují detektory, které není nutno chladit kapalným dusíkem. To vše výrazně rozšiřuje možnosti použití této metody.

Literatura

[1] <http://marsrover.nasa.gov/home/>