

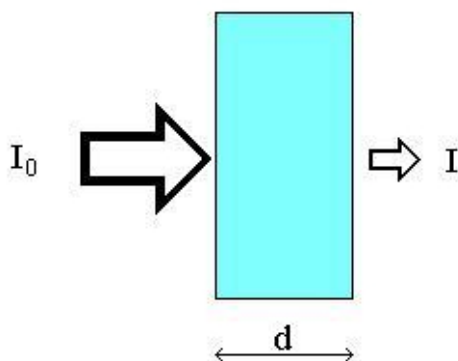
Využití jaderného záření v kriminalistice

(Petr Matějů, 2. ročník MVT 2001/2002, PF JČU Č. Budějovice)

Kriminalistika jako interdisciplinární věda využívá ve svých metodách mnohé poznatky z fyziky. Cílem tohoto referátu je shrnout metody, které v kriminalistické expertize využívají poznatky z fyziky atomového jádra a fyziky elementárních částic.

Rentgenové záření

Rentgenové záření je tvořeno fotony s vlnovými délkami kratšími než má záření ultrafialové. Jeho vlnová délka se pohybuje mezi 10^{-11}m až 10^{-8}m . Rentgenové záření vzniká dopadem urychlených elektronů na antikatodu v rentgenové trubici. Toto záření se šíří přímočaře a prochází některými látkami, které jsou pro ostatní druhy elektromagnetického záření nepropustné. Pohltivost je v různých materiálech odlišná, úměrná atomové hmotnosti prvků v nich obsažených, přičemž současně závisí i na tloušťce prozařovaného objektu. Při průchodu rentgenového záření hmotou dochází k jeho rozptylu a absorpci.



Zajímat nás bude především absorpce záření, kterou popíšeme pomocí součinitele zeslabení μ definovaného vztahem:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

kde I_0 je hustota proudu fotonů těsně před vstupem do vzorku látky tloušťky d a I je hustota proudu fotonů po průchodu. Z uvedeného vztahu pak vyplývá definice tzv. polotloušťky, která charakterizuje materiál podle toho jaká jeho tloušťka způsobí zeslabení hustoty proudu fotonů na polovinu:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Obraz prozařovaného předmětu lze zviditelnit buď na luminiscenčním stínítku nebo trvale dokumentovat fotograficky.

Běžné je použití rentgenového záření v soudním lékařství, kde se jím zjišťuje stav

poškození vnitřních orgánů při zraněních a haváriích. Zjišťuje se pomocí něho poloha cizích předmětů jak v zaživacím traktu, tak i v jiných orgánech a tělních dutinách, poloha střel nebo broků v organismu atd.

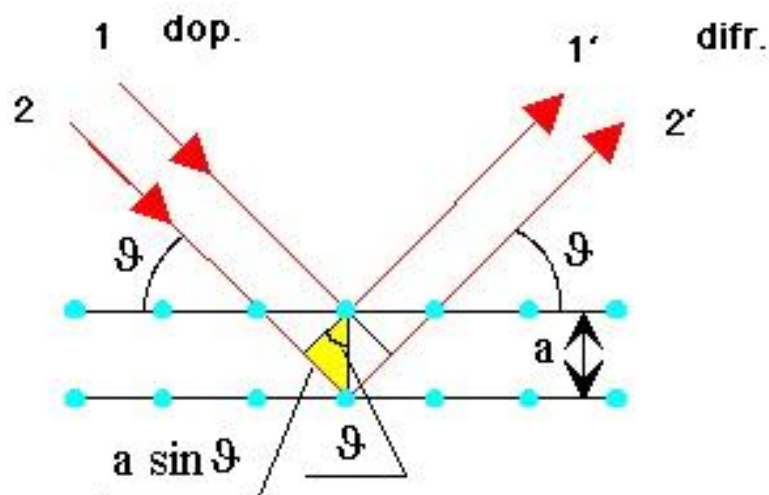
V mechanoskopii se zjišťuje u zámků před rozebráním poloha jejich částí, popřípadě defekty způsobené násilnou manipulací s nimi. Totéž platí při balistických zkoumáních zajištěných nebo nalezených palných zbraní. Prozářením podezřelých zásilek, balíků, kufrů a beden lze zjistit jejich neznámý obsah aniž by bylo nutno je otevřít. U nástražných výbušných systémů se ukáže případné nastavení vnitřního mechanismu apod.

Důležitou roli hraje rentgenové záření při odhalování padělků především tehdy, lze-li předpokládat, že zkoumané objekty se od pravých mohou lišit některými minerálními složkami s obsahem kovů, zvláště těžkých.

Díky dokonalejším technologiím je v současnosti možno využívat například i mobilní rentgeny které dokáží prozkoumat i předměty takové velikosti u kterých to dříve bylo nemyslitelné (například celé kamiony na hraničních přechodech a odhalovat tak pašování předmětů).

Rentgenová mikrostrukturní analýza

Tato metoda je založena na poznatku, že rentgenové záření se při styku s látkami krystalické struktury odráží na iontové mřížce tvořící krystalové plochy. Tento jev popisuje **Braggova rovnice** - vztah vyjadřující difrakci (ohyb) rentgenových paprsků na strukturních rovinách krystalů vzdálených navzájem o délku **a**.



Paprsky se zesílí v maximum, když jejich dráhový rozdíl se rovná celé délce vlny λ nebo jejímu celému násobku. Tedy platí:

$$n\lambda = 2a \sin \vartheta$$

kde $n = 1, 2, 3, \dots$ a ϑ je difrakční úhel. Pro analýzu je jemně rozmělněná látka umístěna do dutiny tenké skleněné kapiláry a pak je ozařována úzkým svazkem rentgenových paprsků. Ty se od zkoumaného vzorku odrážejí a exponují na pásku fotografického materiálu umístěném koncentricky okolo kapiláry systém soustředných

kružnic a kruhových oblouků. Z poloh těchto čar se pak získávají údaje umožňující určit zkoumanou látku. Metoda je vhodná k identifikaci organických i anorganických látek nejrůznějšího druhu a původu: léčiv, jedů, narkotik, zbytků výbušnin po explozi, minerálů, kovů, anorganických barviv apod. V některých případech je možno provést i kvantitativní rozbor. Metoda je velmi spolehlivá, citlivá a pro kriminalistická zkoumání vhodná též proto, že analýzou se vzorek nezničí a v případě potřeby je možno ho použít pro další rozbor.

Záření gama

Záření gama je elektromagnetické záření se spektrem vlnových délek kratších než 0,1 nm. V kriminalistice se používá tzv. gamagrafie (radiografie, gamadefektoskopie), která využívá záření gama radioaktivních izotopů některých prvků, například izotopu kobaltu ^{60}Co nebo thalia ^{170}Th . Aktivní prvek je uložen v dutině kontejneru, jehož olovený plášť zadržuje emitované záření. Popsané metody využívají pronikavosti vysoce energetických kvant gama vyzařovaných některými radionuklidy.

Fyzikální princip této metody spočívá v zákonitostech průchodu záření gama látkou, které jsou popsány vzorcem pro zeslabení toku I záření gama po uražení dráhy o délce x v daném prostředí (podobně jako u rentgenového záření):

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

kde $I(0) = I_0$ je hustota toku těsně před vstupem svazku do vzorku látky, veličina μ se nazývá součinitel zeslabení. Na celkovém zeslabení toku se nezávisle podílejí tři základní procesy ke kterým dochází při průchodu záření gama látkou, a to fotoefekt, Comptonův rozptyl a tvorba párů elektron-pozitron.

Při aplikaci se otevírá štěrbina již vychází záření gama na prozařovaný předmět. Výsledkem je pak obraz zachytitelný na fotomateriál. Tento obraz odpovídá nejen vnějšímu tvaru zkoumaného předmětu, ale především i vnitřní struktuře materiálu.

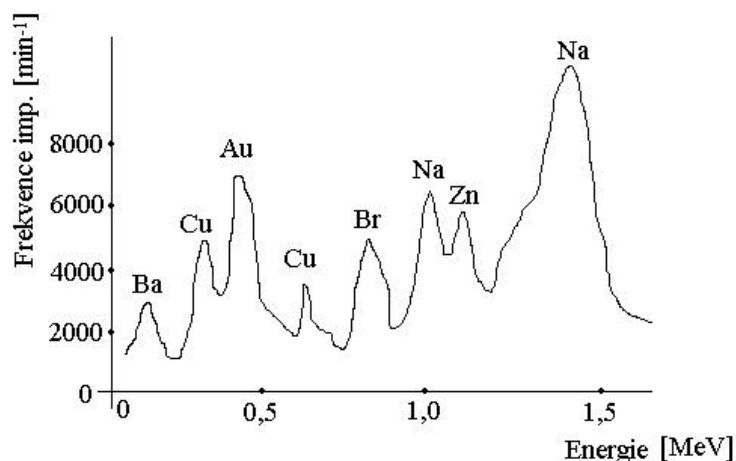
Objekty zkoumání jsou přibližně shodné jako při použití rentgenů, přece však má gamagrafie určité individuální zvláštnosti. Její předností je že odpadá nutnost výkonného zdroje elektrické energie, váha a rozměry zařízení jsou zlomkem váhy a rozměrů rentgenové aparatury. Avšak obsluha zářiče vyžaduje obzvláštní péči neboť nálož vysílá záření stále a je nutno dbát na její bezpečné uzavření a uložení v době mimo provoz. Jako jedna z oblastí využití záření gama je defektoskopie, která je využívána nejen v kriminalistice, ale například i ve strojírenství. V těchto oborech se pomocí této metody zkoumá struktura materiálu, jeho vnitřní vady a tím i příčiny destrukce různých konstrukčních prvků.

Neutronová aktivační analýza

Jednou z nejmodernějších kriminalistických identifikačních metod je neutronová aktivační analýza, využívající uměle vyprovokované jaderné reakce. Její princip spočívá v tom, že se zkoumaný vzorek v atomovém reaktoru ozáří intenzivním tokem neutronů, které způsobí přeměnu určitého počtu atomů většiny přítomných prvků v jejich radioaktivní izotopy. Při rozpadu vyzařují tyto umělé izotopy paprsky gama jejichž energie je pro různé prvky odlišná a charakteristická. Toto záření se analyzuje gamaspektrometrem a registrují se frekvence impulsů jednotlivých prvků.

Zakreslením získaných dat do diagramu se získá křivka jejíž vrcholky udávají

intenzitu záření jednotlivých prvků a v určitém měřítku tedy i jejich množství. Výsledný graf pak vypadá například následovně:



Některé prvky lze dokázat již v množství od 10^{-5} do 10^{-12} g; je to tedy jedna z nejcitlivějších fyzikálněchemických metod. Při každém pokusu je nutno současně ozařovat a proměřovat i srovnávací standard, což je vzorek v němž je obsaženo přesně známé množství sledovaného prvku.

Nejznámější je použití této metody k identifikaci osoby podle vlasů (poprvé v roce 1962). Vlasy totiž v určitých případech obsahují některé stopové prvky, které tam byly uloženy buď organismem, nebo do vlasů difundovaly přímo. V prvním případě jde o látky pro tělo zbytečné a nežádoucí, které se do organismu dostaly potravou, vdechováním par či prachu, nebo difusí pokožkou. V druhém případě o látky, které se do vlasů dostaly přímo, například z vody nebo mycích prostředků při ošetřování a mytí vlasů. Je-li tedy na místě činu zajištěn třeba i jediný vlas, je možno popsanou metodou určit přítomnost a množství neběžných prvků. Individuální identifikaci (nikoliv s absolutní jistotou ale s velmi vysokou pravděpodobností) je možno provést porovnáním se spektrem záření srovnávacích vlasů odebraných podezřelé osobě popřípadě oběti. Popsaná metoda je samozřejmě použitelná nejen pro vlasy, ale i pro jiné biologické objekty a pro nejrůznější organické i anorganické materiály. Její pomocí bylo například dokázáno, že v kapse oděvu byl přechováván popřípadě pašován zlatý předmět, neboť na podšívce kapsy se aktivací podařilo zjistit stopové množství zlata, které se tam zachytilo otěrem zlatého předmětu při jeho několikahodinovém uložení.

Dalším kriminalistickým oborem, kde se neutronová aktivační analýza úspěšně uplatňuje, je balistika. Sloučeniny rtuti, antimonu nebo baria obsažené v roznětkách střeliva se po výstřelu rozptýlí a spolu s ostatními plynnými zplodinami sledují střelu do určité vzdálenosti a usazují se v těsném okolí vstřelu (tzv. povýstřelové zplodiny). Protože se vzrůstající vzdáleností střelby se množství zplodin usazených okolo vstřelu snižuje, je možno na základě zkušeností nebo srovnávacího pokusu z koncentrace zplodin soudit na vzdálenost ústí hlavně při výstřelu. Avšak plynné zplodiny výstřelu nesledují pouze střelu na její dráze k cíli, ale obklopí zbraň v podobě neviditelného „mraku“ o nepatrné koncentraci a usadí se kromě jiného i na střelcově ruce. Proto je možno ruku podezřelé osoby omýt vhodným roztokem nebo z provést stěr a v něm aktivační metodou hledat zvýšené množství některého z uvedených prvků. Srovnávací pokusy ukázaly, že na „střílející“ ruce je množství těchto prvků 5 až 50 krát větší než na ruce, která nepřišla do styku se zplodinami výstřelu.

Kromě uvedených aplikací se neutronová aktivační analýza uplatňuje i při identifikaci papíru a psacích prostředků, na základě srovnání poměrného zastoupení

některých stopových prvků ve sporném a srovnávacím materiálu. Modernizace výroby malířských barev způsobila, že současně vyráběné malířské barvy obsahují podstatně méně (asi 10x) stopových prvků ve srovnání s barvami vyráběnými před 300 až 400 roky. Na základě toho je možno rozbořem nepatrného vzorku barvy z obrazu zjistit dobu kdy byly vyrobeny barvy jimiž je malován a tak odhalit případné padělky dosud neznámé novodobé úpravy cenných obrazů.

Elektronová mikroskopie

Elektronový mikroskop se v posledních letech stále více uplatňuje v kriminalistice při zkoumání věcných důkazů.

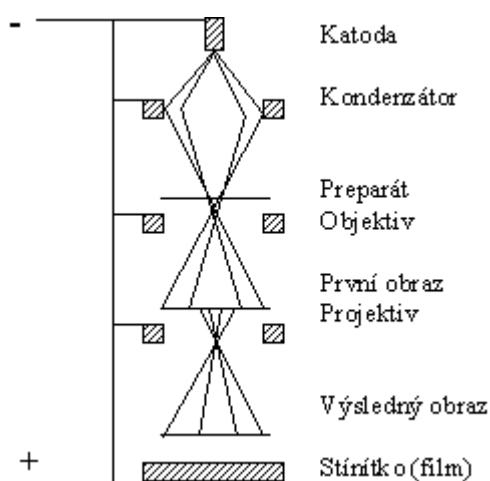
Elektronová mikroskopie je metoda založená na vlnových vlastnostech elektronů a je analogií klasické optické mikroskopie. Místo zdroje světla zde je elektronová tryska tvořená kovovou katodou ze které jsou emitovány elektrony urychlované elektrickým pole, optické čočky jsou nahrazeny zpravidla elektromagnetickými čočkami (cívkami). V kriminalistické expertizní činnosti se používá zejména rastovací (scanovací) elektronové mikroskopy, které pracují s volitelným vakuem. Existují ještě transmisní elektronové mikroskopy, které narozdíl od rastovacího musí pracovat se zkoumaným objektem ve vakuu - řádově 10^{-5} Pa.

Podle typu elektronového mikroskopu můžeme výsledný zvětšený obraz pozorovat okem (transmisní mikroskopy používají fluorescenční stínítko), ve většině případů se však používá záznam na film či fotografickou desku nebo se snímá CCD kamerou. Posledně jmenovaný záznam umožňuje digitalizaci obrazu, jeho následnou úpravu a elegantní archivaci v počítači nebo na jiných záznamových médiích.

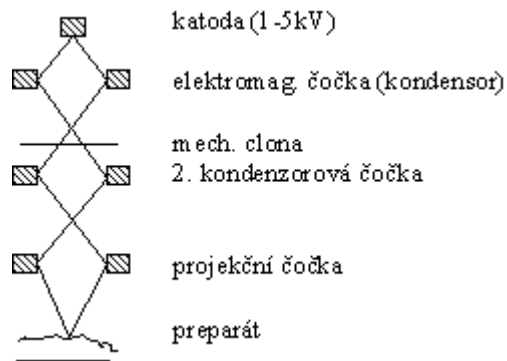
Z vlnové povahy svazku elektronů vyplývá schopnost elektronových mikroskopů rozlišit detaily řádově v desetínách nm (transmisní) až jednotkách nm (rastovací). Hodnota teoretické rozlišovací meze při použití elektronového paprsku je 10^{-11} m, což je přibližně o 4 řády lepší rozlišení než u světelného mikroskopu.

Elektronová mikroskopie je provozována v mnoha režimech, z nichž nejvýznamnější a nejpoužívanější jsou:

1. Transmisní elektronová mikroskopie, kdy se "prozařuje" celý vzorek najednou a detekují se elektrony na fluorescenčním stínítku po průchodu vzorkem. Je zřejmé, že vzorek musí být dostatečně tenký (ultratenké řezy asi 50 nm), aby elektrony nebyly vzorkem zcela pohlceny. Při vysokých urychlovacích napětích (několik set kV) se rozlišení této varianty při splnění dalších podmínek blíží rozlišení jednotlivých atomů;



2. Rastrovací elektronová mikroskopie. Metoda se používá nejčastěji pro zobrazení "tlustých" vzorků. Primární elektronový paprsek skenuje (rastruje) povrch vzorku řádek po řádku synchronně s elektronovým paprskem v pozorovací obrazovce. Podle režimu zobrazení se tak bod po bodu vytváří celkový obraz. Z každého bodu jsou primárním svazkem vybuzeny:



sekundární elektrony - uvolněné po dopadu primárního svazku, mají mnohem menší energii než primární

svazek. Mohou být uvolněny některými nepřímými procesy. Sekundární elektrony jsou uvolňovány z tenké povrchové vrstvy a přináší perfektní informaci o povrchové topografii (prostorový obraz s velkou hloubkou ostrosti).

zpětně odražené elektrony - mají energii srovnatelnou s energií primárního elektronového svazku. Vystupují z větší hloubky (řádově desítky mikrometrů) a přináší tedy informaci o lokálních změnách materiálu. Hovoříme o materiálovém kontrastu.

charakteristické rentgenové záření - je buzeno vysokoenergetickými elektronovými svazky a nese informaci o chemickém složení. Detekcí rtg. záření buď s rozkladem podle energie (polovodičové detektory) nebo vlnové délky (krytalové detektory) je možná kvalitativní i kvantitativní mikroanalýza vzorku (objem řádově desítky až stovky krychlových mikrometrů)

3. Rastrovací-transmisní elektronová mikroskopie je metodou kombinující oba předchozí režimy (rastrovací i transmisní);

4. Environmentální (rastrovací elektronové mikroskopy s volitelným vakuem) - jsou určeny pro biologické aplikace, kdy je možné pozorovat biologické vzorky v původním stavu. Vakuový systém tohoto elektronového mikroskopu umožňuje ponechat v preparátové komoře přirozené prostředí biologických vzorků (dostatečnou relativní vlhkost) při tlacích nad 660 Pa (tlak trojného bodu vody);

Elektronovým mikroskopem je možno podrobně studovat povrchy kovových, keramických nebo jiných minerálních a organických materiálů, skla, papíru, vlasů, chlupů, textilních i průmyslových vláken, plastických hmot, rostlinných i živočišných tkání, komponent prachu, kouře apod. Elektronového mikroskopu se dá zvláště dobře využívat při porovnávání mechanoskopických stop zanechaných ostřím nebo pracovními plochami nástrojů použitých ke spáchání trestného činu. Touto metodou lze takový nástroj individuálně identifikovat a prokázat, že právě pomocí něho bylo například přestříženo oko visacího zámku, nebo že s ním byla rozlomena cylindrická vložka zámku FAB, případně že byla odemčena pomocí cizího předmětu (tzv. planžety) a nebo právě naopak, že byla odemkána pouze přiloženými klíči. Stejně tak se zkoumají a porovnávají vystřelené střely a nábojnice, na kterých zůstávají individuálně identifikovatelné stopy po působení jednotlivých částí zbraně (okraje zásobníku, vyhazovač nábojnice, drážkování hlavně). Použití elektronového mikroskopu umožňuje dosahovat nesrovnatelně většího zvětšení zkoumaných stop oproti i těm nejdokonalejším optickým přístrojům.

Závěrem

Závěrem bych chtěl představit stručný přehled jak se používají popsané metody v kriminalistické expertizní činnosti:

	elektronový mikroskop	rentgenové záření	gama záření	neutronová aktivační analýza	rentgenová mikrostrukturní analýza
daktyloskopie	běžně			občasně nebo po úpravě	
biologie a soudní lékařství	běžně	běžně		běžně	občasně nebo po úpravě
zkoumání ručního písma	běžně				
zkoumání dokumentů	běžně	běžně		běžně	občasně nebo po úpravě
zkoumání strojového písma	běžně				
mechanoskopie	běžně	běžně	běžně	běžně	
balistika	běžně	běžně	běžně	běžně	
zkoumání stop po obuvi a pneu	běžně				
chemie	běžně			běžně	běžně

Je možno konstatovat, že zde nejsou a ani nemohou být popsány všechny metody využívající fyzikálních zákonitostí v kriminalistické praxi při odhalování trestných činů a jejich pachatelů. To zejména proto, že s přibývajícím poznatky v moderní vědě se okruh těchto metod neustále rozšiřuje a i v kriminalistice se stejně jako v ostatních oborech lidské činnosti tyto nové poznatky zavádějí do praxe. Pozornost by si zasloužily zejména ve velké míře využívané metody založené na elektromagnetickém záření delších vlnových délek (ultrafialové, viditelné, infračervené). To však nebylo předmětem tohoto referátu.

Literatura:

Pješčák J. - Kriminalistika

Úlehla I., Suk M., Zbyšek Z. – Atomy, jádra, částice

Internet (informace o elektronové mikroskopii)