

Fyzikální týden na FJFI ČVUT Praha '03

Fyzikální týden

Sborník příspěvků

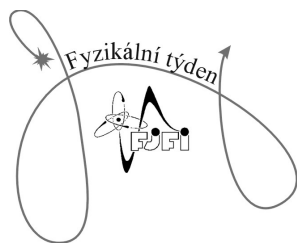
15.6-19.6



”Kdo není šokován kvantovou teorií, ten jí neporozuměl.”

Niels Bohr

(90 let planetárního modelu atomu.)

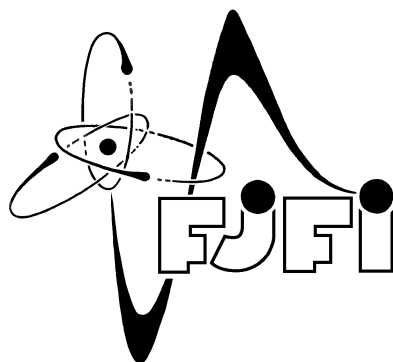


Fyzikální týden na FJFI ČVUT Praha '03

Poděkování za laskavou podporu

Nadační fond pro podporu teoretické fyziky

a



Slovo úvodem

Pátým rokem pořádáme na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské CVUT Fyzikální týden, který vznikl z našich dlouhodobějších úvah o podchycení zájmu mladých lidí o fyziku. Od svého prvního ročníku v roce 1999 se jak kvalitativně, tak kvantitativně posunul. V letošním roce byl pořádán pro 134 studentů z cca 52 gymnázií, tito studenti zkusili své síly v 35 miniprojektech, měli možnost navštívit 11 vědeckých pracovišť a navíc mohli večer strávit v Planetáriu, Štefánikově hvězdárně či na Křížkové fontáně. Oproti minulým létům se úspěšně začíná prosazovat nedělní set populárních přednášek. Letos také poprvé uvažujeme o tom, že by vybrané příspěvky vyšly v Matematicko fyzikálních rozhledech, čímž by účastníci získali možnost zápisu první vážné publikace do svého badatelského životopisu.

Fyzikální týden je určen fyzikálně nadaným a motivovaným studentům, kteří uvažují o studiu na přírodovědných oborech vysokých škol. Hlavní náplní je seznámení s formou vědecké komunikace, demonstrace vybraných fyzikálních jevů pro hlubší pochopení teoreticky vykládané látky a seznámení s některými tématy vrcholného výzkumu v České republice.

Dovolte mi zde poděkovat Marii Svobodové, které patří VELKÝ dík. Dále jsem vděčný Davidovi Tlustému a Liboru Škodovi. Samozřejmě děkuji všem supervisorům úloh, vedoucím exkurzí a zvláštní poděkování patří podpoře vedení fakulty a katedry. Nemohu zde zapomenout na samotné účastníky, kteří zde svým zaujetím vytvořili v tomto roce snad ještě lepší badatelskou atmosféru, než v minulých letech. Opět je zde důkazem tento sborník.

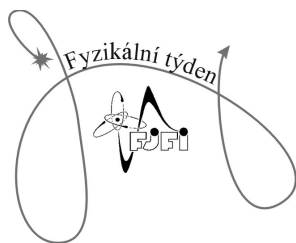
18. června 2003

Vojtěch Svoboda

Obsah

Poděkování	3
Slovo úvodem	4
Program Fyzikálního týdne 2003	7
Příspěvky	8
e/m - měření měrného náboje elektronu (O. Sehnal, F. Slovák, R. Gracla, M. Zeman)	8
Dopplerův jev + vzduchová dráha. (K. Zacharovova, P. Vrtny, P. Brom, M. Sarbort)	12
Franck-Hertzův pokus. (J. Urbar, N. Zikova, M. Kadera, P. Motloch, M. Ruzek)	15
Millikanův pokus. (A. Ruzicka, J. Mikulka, J. Rajdl, M. Holecek)	22
Mikrovlny (P. Spáčil, J. Pavelka, F. Jareš, V. Šopík)	26
Základní experiment fyziky plazmatu (V. Hubka, T. Kosová, A. Přindiš a I. Stražil)	31
Studium rentgenového spektra měděné anody (D. Mondek, J. Moudrik, J. Randa)	34
Chaotická dynamika. (H. Matoušová, V. David, Z. Růžicka, T. Jakoubek)	37
Spektrometrie záření gama (K. Procházková, P. Svačina, J. Michelfeit, J. Grepl)	42
Resonanční jevy na mechanických a elektrických systémech (M. Kadlec, O. Knybel, O. Kvítek, R. Řezníček)	47
Základní experimenty s lasery (O. Dobrý, O. Hotový, O. Petřík, R. Uhlířová)	51
Absorpce světla v pevných látkách (M. Cetkovský, H. Havliš, J. Mach)	55
Neutronový čítač (J. Cabrnach, J. Soukup, D. Tekverk, T. Kaderka)	59
Analýza stříbrných mincí pomocí ionizujícího záření (M. Linka, M. Tatarkovic, J. Zapletal)	62
Využití radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek. (N. Hlaváčová, P. Vanický)	66
Využití výpočtového kódu MCNP v reaktorové fyzice. (E. Bartakova, T. Hebelka, M. Lovecky)	70
Odvod tepla z palivového článku v jaderném reaktoru (M. Vesela, P. Chalupa, M. Stanek)	73
Mikroskopie a lokální elektronová mikroanalýza v materiálovém výzkumu (O. Cervený, A. Sejkorova, P. Troubil, T. Vychodil)	77
Únavové poruchy letadel - řádkovací elektronová mikroskopie (P. Vana, D. Ornova)	81
Studium plazmaticky nanášených povrchových vrstev (M. Anděl, T. Smejkal, V. Zobač)	84
Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů (A. Drabkova, J. Krivanek, M. Rychnovsky, J. Stanek)	88
Měření v kasematech pod Vyšehradem 1 : měření radonu (Martin Štěpán, Libor Unzeitig, Vlastimil Košar a Pavla Martincová)	92
Měření v kasematech pod Vyšehradem 2 : přirozená radioaktivita (M. Slavík)	96
Využití lyoluminiscence v dozimetrii (macku, chylik, schrejber)	102
Co stihne světlo za pikosekundu? Měření času s pikosekundovou přesností. (V. Cupal, J. Lískovec, J. Pavlišta, D. Šulc)	106
Od difrakce a interference světla k holografii a difraktivní optice (Petr Veverka, Petr Novotný, Jan Seifrt, František Sedlák)	109

Co je kvantový počítač (Michal Čermák, Kamil Kos, Jan Olšina, Zbyněk Sopuch, Václav Uher)	111
Fyzika a biologie (L. Alán, Z. Černý, L. Fridrichová, M. Veselý, O. Vašíček)	115
Počítačové generování fraktálních množin (S. Basovnik, J. Fabrikova, H. Kubatova a J. Sedo)	118
Linux Lab (Z.Zetocha, M.Veselý, P.Sedlák, T.Hnyk)	122
Metody strojového učení (P. Bastl , J. Kučera , D. Léwová)	126
Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice (M.Gloser, M.Jonáš, M.Šrof, P.Příhodová)	130
Generace nanosekundových impulsů v pevnolátkovém laseru (M.Křenek; P.Slovák; M. Šiška; O. Audy)	134
Jsou pro nás rentgenová vyšetření nebezpečná? (J. Bastl, I. Havlová, S. Novotná a B. Pítrová)	138
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT	142



Fyzikální týden na FJFI ČVUT Praha '03

Program Fyzikálního týdne 2003

- Neděle

9.00-11.00 Presentace, registrace

11.00-12.30 Úvod (o vědecké komunikaci)

13.30-14.15 Organizace FT

14.30-16.00 Populární přednášky

16.00 - Ubytování

- Pondělí

celý den Práce na miniprojektech (seznámení, řešení, příprava, realizace)

- Úterý

celý den Práce na miniprojektech (realizace, příprava prezentace a sborníkového příspěvku)

- Středa

dopoledne Exkurze

14.00-16.00 Jak prezentovat

17.00-18.30 Populární přednáška RNDr. Jiří Grygar, CSc.: Nobelovy ceny za výzkum Vesmíru

- Čtvrtek

8.00-9.30 Presentace miniprojektů I

10.00-11.30 Presentace miniprojektů II

12.30-14.00 Presentace miniprojektů III

14.00 Závěr

14.30 Zakončení

Měření měrného náboje elektronu

F. Slovák, Gymnázium Jeseník, flos@centrum.cz

M. Zeman, Gymn Vídeňská, Brno, martin.abe@quick.cz

O. Sehnal, Gymnázium Boskovice, 0.Sehnal@seznam.cz

R. Gracla, gymn Nad Štolou, Praha, GraclaR@seznam.cz

Supervisor: M. Svobodová

Abstrakt

Měrným nábojem elektronu nazýváme poměr náboje elektronu k jeho hmotnosti. V soustavě SI má rozměr C/kg. Lze získat například měřením v magnetickém poli.

1 Motivace

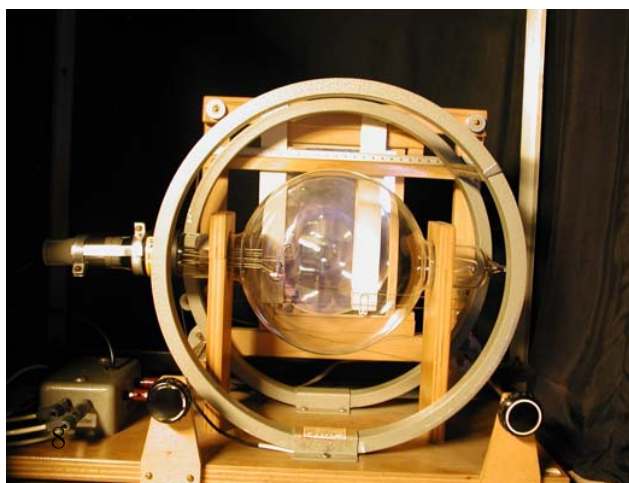
Cílem tohoto miniprojektu bylo prakticky si vyzkoušet měření měrného náboje elektronu. Navíc jsme si hráli s magnety a donutili tak elektronové paprsky „tančit“. Ověřili jsme si, zda fyzik Thomson nelhal a zároveň jsme si vyzkoušeli podobná zařízení a aparatury, které vedly k jeho závěrům. Naše měření probíhala jak v poli příčném, což bylo zábavné, tak v poli podélném, což už tak zábavné nebylo.

2 Aparatura

Naše aparatura vypadala poměrně složitě, avšak ve skutečnosti zapojení bylo jednoduché. Celá se skládala ze dvou zdrojů napětí, z nichž první byl napájecí a druhý žhavl katodu, z které vylétával svazek elektronů.

Použité přístroje pro příčné magnetické pole

- Zdroje napětí
- Spojovací vodiče
- Ampérmetr, voltmetr
- Helmholtzovy cívky a katodová trubice
- Měřicí zařízení se zrcátkem a stupnicí
- 4 tyčové magnety
- Fotoaparát



Použité přístroje pro podélné magnet. pole

- Zdroje napětí
- Spojovací vodiče
- Ampérmetr, voltmetr
- Wehlerova trubice
- Fotoaparát



3 Teorie

Aby došlo k zakřivení elektronů do tvaru kružnice, muselo být přítomno homogenní magnetické příčné pole. Helmholtzovy cívky vytvářely poměrně slabé pole, ale protože hmotnost elektronu je velmi malá, byl svazek elektronů okamžitě zakřiven do tvaru kružnice. Ionizací zředěného plynu ve skleněné baňce došlo k vytvoření viditelného namodralého paprsku. Pohybem tyčových magnetů kolem skleněné baňky bylo narušováno homogenní pole. Tím se vytvářely různé křivky paprsků. Obdobných křivek jsme dosáhli i pootočením katody v magnetickém poli.

Elektrony jsou urychlovány elektrickým polem a proto získají energii

$$E=eU$$

A tato energii je zároveň rovna jejich kinetické energii

$$E = \frac{1}{2} \cdot mv^2$$

Po sloučení obou vzorců dostaneme výsledný vztah pro rychlost

$$v = \sqrt{2U \frac{e}{m}} \quad (1)$$

Příčné magnetické pole:

Na elektron, který vstupuje kolmo do magnetického pole, působí Lorentzova síla (v našem případě je dostředivá), která jeho dráhu zakřivuje. Její velikost vypočítáme podle

vztahu $F_L = e \cdot v \cdot B$, což je rovno síle $F_d = a_d m = \frac{v^2}{r} \cdot m$.

Po sloučení obou rovnic dostaneme vztah: $e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r}$ (2)

Ze vztahů (1) a (2) potom plyne: $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$

Abychom vypočítali hodnotu měrného náboje, potřebujeme znát velikost magnetické indukce, poloměr trajektorie elektronů a napětí. Napětí a poloměr lze změřit, ale velikost magnetické indukce přímo neznáme, a proto jsme ji odvodili ze vztahu $B=k \cdot I$, kde k je konstanta daná geometrií cívek a I je měřený protékající proud.

$$k = 7,81 \cdot 10^{-4} T \cdot A^{-1}$$

Výsledná rovnice pro výpočet měrného náboje elektronu

$$\frac{e}{m} = \frac{2}{k^2} \cdot \frac{U}{I^2 r^2}$$

Nastavováním proudu na cívkách a změnou urychlovacího napětí se mění velikost poloměru kružnice. Naměřené hodnoty jsme si zapsali a po dosazení všech hodnot do vzorce jsme vypočítali měrný náboj elektronu.

Podélné magnetické pole:

Termoemisi jsou z katody uvolňovány elektrony. Jejich rychlost má kolmou a podélnou složku. Do Lorentzovy síly přispívá jen kolmá. Elektron tak opisuje kružnici a za určitou dobu doletí na stínítko. Nás pak zajímá taková kombinace napětí a proudu, aby dopadající elektronový paprsek byl na stínítku v uzlu.

$$F_L = e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \frac{e}{m} Br$$

$$\text{Doba, za kterou elektron opíše celou kružnici } T = \frac{2r\pi}{v}$$

$$\text{Vzdálenost katody od stínítka je konstantní } l = vT = 24,9 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2}, \text{ kde } B = k \cdot I, k = 4,897 \cdot 10^7 \text{ WbA}^{-2} \text{m}^{-4}$$

Při tomto zapojení fokusujeme proud elektronů, nastavováním proudu na cívce a změnou urychlovacího napětí se mění ostrost bodu na stínítku. Naměřené hodnoty jsme si zapsali a po dosazení všech hodnot do vzorce jsme vypočítali měrný náboj elektronu.

Měření v příčném magnetickém poli

Martin Zeman						Filip Slovák					
U(V)	I(A)	D1(cm)	D2(cm)	r(cm)	e/m	U(V)	I(A)	d1(cm)	d2(cm)	r(cm)	e/m
140	2	8,7	13,4	2,35	2,07807E+11	180	1,5	8,2	16,5	4,15	1,52308E+11
200	2	8,8	14,4	2,8	2,09113E+11	140	1	8,6	19,5	5,45	1,54548E+11
200	1,5	8,6	16,4	3,9	1,91622E+11	220	2	8,8	15,2	3,2	1,76113E+11
100	1	8,7	16,8	4,05	1,99902E+11	160	2	8,7	14,4	2,85	1,61472E+11
Průměr					2,02111E+11	Průměr					1,6111E+11

Richard Gracla						Ondřej Sehnal					
U(V)	I(A)	D1(cm)	D2(cm)	r(cm)	e/m	U(V)	I(A)	d1(cm)	d2(cm)	r(cm)	e/m
250	1,5	8,8	18,15	4,675	1,66695E+11	200	1,75	8,8	16,05	3,625	1,62954E+11
150	1	8,8	19,7	5,45	1,65587E+11	100	1,5	8,7	14,3	2,8	1,85879E+11
500	2,5	8,9	16,75	3,925	1,7027E+11	220	1,5	8,7	17,55	4,425	1,63735E+11
240	2,25	8,75	14,85	3,05	1,67099E+11	300	2	8,6	16,4	3,9	1,61681E+11
Průměr					1,67413E+11	Průměr					1,68562E+11

Celková průměrná hodnota: $1,748 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$

Měření v podélném magnetickém poli

Martin Zeman			Filip Slovák		
U[V]	I[A]	e/m	U[V]	I[A]	e/m
1250	5	1,93327E+11	1230	5	1,90234E+11
1000	4,7	1,75036E+11	970	4,5	1,85212E+11
900	4,5	1,71846E+11	1050	4,75	1,79939E+11
1110	4,75	1,90221E+11	1100	4,85	1,80814E+11
Průměr		1,82608E+11	Průměr		1,8405E+11

Ondřej Sehnal			Richard Gracla		
U[V]	I[A]	e/m	U[V]	I[A]	e/m
1350	5,2	1,93041E+11	950	4,5	1,81393E+11
1500	5,45	1,95263E+11	1050	4,73	1,81464E+11
800	4,25	1,71252E+11	1150	4,8	1,92991E+11
1030	4,65	1,84185E+11	1240	5	1,9178E+11
Průměr		1,85935E+11	Průměr		1,86907E+11

Celková průměrná hodnota: $1,849 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$

4 Závěr

Měrný náboj elektronu je $1,7588047 \cdot 10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$. Naše měření bylo relativně přesné, zábavné, poučné a zajímavé. Zjistili jsme, že v příčném magnetickém poli jsme naměřili hodnoty přesnější než v magnetickém poli podélném. Nepřesnosti v měření byly způsobeny hlavně nepřesnostmi způsobeny nedokonalostí lidského zraku.

5 Poděkování

Všem organizátorům fyzikálního týdne, supervisoru Marii Svobodové za trpělivost a Prof. Ing. Zdeňkovi Janoutovi, CSc. za poutavou přednášku.

6 Reference

- [1] Jaromír Brož-Vladimír Roskovec.: Základní fyzikální konstanty, 1988, str. 102-106
- [2] http://rumcajs.fjfi.cvut.cz/fyzport/FundKonst/edm/edm_FSL02.pdf

Vzduchová dráha a 2. Newtonův zákon

*K. Zacharovová, **P. Vrtný, ***P. Brom, ****M. Šarbot
*SGAGy Kladno; **Gymnázium Jeseník; *** gym. Dr. J. Pekaře,
Mladá Boleslav; ****Gymnázium Tř. Kpt. Jaroše Brno
*zacharovovak@seznam.cz; **vrtny@centrum.cz;
*** brpav@seznam.cz; ****masicek@centrum.cz
Supervizor: Leopold Cudzik l.cudzik@sh.cvut.cz

Abstrakt:

Cílem naší práce bylo ověřit pomocí experimentu platnost 2. Newtonova pohybového zákona a zákona zachování energie. K tomuto jsme použili vzduchové dráhy s vozíkem. Na závěr jsme diskutovali vlivy, které významně ovlivnily výsledky měření.

1 Úvod

2. Newtonův zákon : Změna pohybu je úměrná hybné vtištěné síle a nastává podél přímky v níž síla působí.

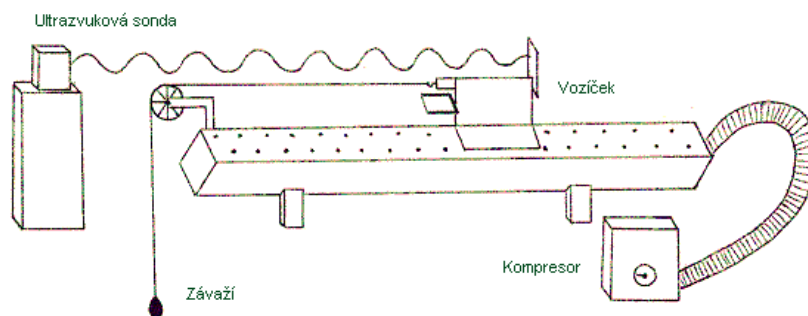
$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

Zákon zachování mechanické energie říká, že součet kinetické a potenciální energie tělesa je v čase konstantní.

$$E_m = E_k + E_p = \text{const.}$$

2 Průběh měření

Vzduchová dráha je zařízení, které slouží ke snížení dynamického tření na minimum. Skládá se z trubice, která je neustále plněná vzduchem z kompresoru. V trubici jsou malé dírký, kterými uniká vzduch a zespoda nadlehčuje vozík. Ten se po vzduchové dráze pohybuje až k jejímu konci, kde se pomocí pružiny odrazí do vzdálenosti, která je menší než vzdálenost při předchozím odrazu v důsledku disipace energie při odrazu. Aktuální rychlost a poloha vozíku se zaznamenává pomocí ultrazvukového čidla pohybu připojeného přes USB k PC. Výsledky jsme zpracovávali v programu DataStudio.



- a) Ověření 2. Newtonova zákona : Vozíček o hmotnosti m_v je připevněn přes kladku k závaží o hmotnosti m_z . Obě tělesa jsou urychlována tíhovou silou $F_g = m_z \cdot g$ působící na závaží. Podle 2.NPZ se tato síla rovná síle $F = m_c \cdot a$, kde $m_c = m_z + m_v$ a a je zrychlení. Z těchto vztahů vyplývá, že zrychlení $a = m_z \cdot g / (m_z + m_v)$

$$m_z = 48,2 \text{ g}$$

$$m_{v+z} = 263,1 \text{ g}$$

$$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

Po dosazení do vzorce nám vyšlo $a = 1,80 \text{ m.s}^{-2}$.

Data pro praktické měření jsme získali pomocí čidla a zpracovali je pomocí počítače. Ze vztahu pro dráhu $s = \frac{1}{2} a t^2$ vyplývá, že graf závislosti polohy na čase bude mít tvar paraboly. V počítačovém programu pomocí interpolace vypočítáme koeficient u kvadratického členu, který se rovná polovině zrychlení a . Pro přesnější výsledek zrychlení a jsme odečetli také z grafu pro závislost rychlosti na čase, kde se zrychlení rovná směrnici přímky, tj. přímka má rovnici $v=a.t$. Z tohoto vztahu získáme zrychlení.

Tabulka 1: Zrychlení určené z polohy		
č.m	Peak 1	Peak 3
1	-1,83	-1,70
2	-1,82	-1,40
3	-1,84	-1,69
4	-1,79	-1,67
5	-1,79	-1,69

Tabulka 2 : Zrychlení určené z rychlosti		
č.m	Peak 1	Peak 3
1	-1,77	-1,74
2	-1,71	-1,75
3	-1,80	-1,75
4	-1,77	-1,74
5	-1,76	-1,71

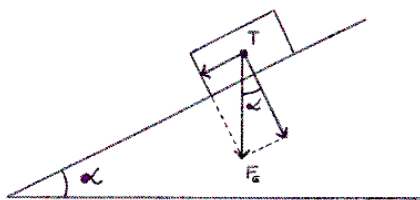
Z těchto tabulek jsme vypočetli průměrné hodnoty zrychlení. Peak 1,3 označují dané periody v grafu. Peak 1 je perioda po prvním odrazu a peak 3 po třetím odrazu.

Tabulka 3 : Určené průměrné zrychlení		
Peak	z rychlosti	z polohy
1	-1,76	-1,81
3	-1,74	-1,63

Při srovnání teoreticky vypočtené hodnoty a experimentálně získaných hodnot je patrná poměrně dobrá shoda. Odchyly hodnot můžeme vysvětlit především ztrátami energie na kladce (ohyb provázku) a aerodynamickým odporem vozíku, jehož velikost lze odhadnout podle Newtonova vzorce pro odporovou sílu $F_o = \frac{1}{2} \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v^2$, která ovlivňuje velikost zrychlení v řádu cm.s^{-2} . Chybu v menší míře dále způsobují tření vozíku a nedokonalost vzduchové dráhy (např. nedokonalé zajištění vodorovné polohy).

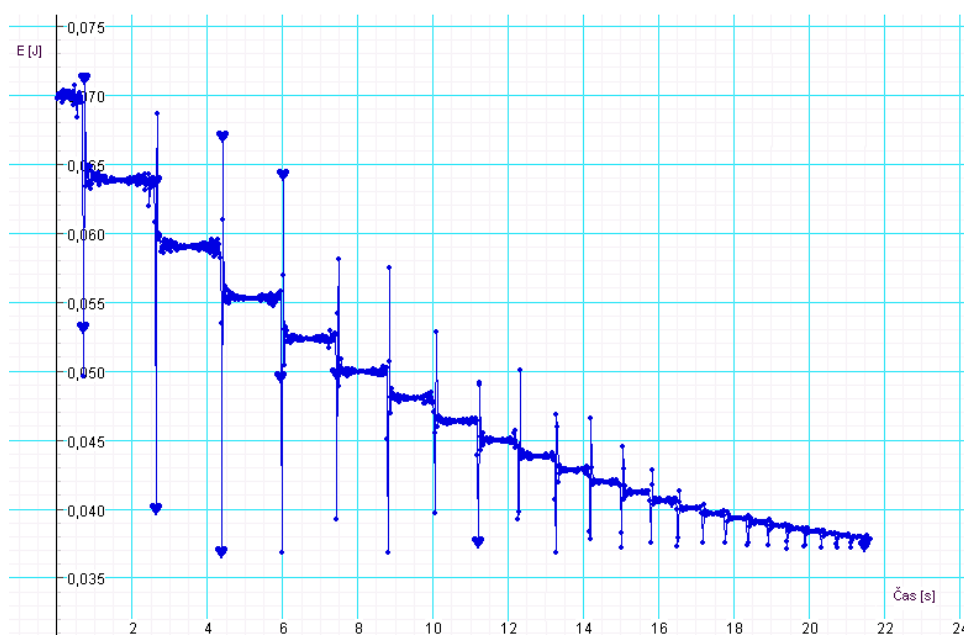
Je možné si všimnout, že velikost hodnot zrychlení peak 1 a peak 3 se liší. Tyto odchylky lze vysvětlit závislostí velikosti tření na rychlosti (s klesající rychlostí se zvyšuje tření).

- b) Ověření zákona zachování energie (ZZE): Pro tento pokus jsme použili vzduchovou dráhu jako nakloněnou rovinu. Tentokrát nebyl vozíček připevněn na závaží, ale naopak jej urychlovala složka tíhové síly působící na vozíček $F = m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha$, kde α je úhel nakloněné roviny.



Celková mechanická energie E je dána součtem kinetické energie pohybu vozíčku $E_k = \frac{1}{2} m_v v^2$ a jeho potenciální energie $E_p = mgh$, kde výšku h v tíhovém poli vyjádříme pomocí měřené dráhy s a úhlu α jako $h = s \sin \alpha$. Hladinu nulové potenciální energie jsme proložili počáteční polohou těžiště vozíku. Počáteční vzdálenost vozíku od čidla označíme s_0 . Po dosazení se $E_p = -m \cdot (s_0 - s) \cdot a = m \cdot s \cdot a - m \cdot s_0 \cdot a$, kde člen $m \cdot s_0 \cdot a$ je konstantní a představuje posunutí grafu v ose y , tudíž může být vynechán.

Hodnotu a jsme zjistili z grafu ... $a = 0,54 \text{ ms}^{-2}$.



3 Shrnutí

Ověřili jsme platnost 2. Newtonova zákona a zákona zachování energie pomocí výše popsaných experimentů se vzduchovou dráhou. Naměřené výsledky se jen málo liší od teoretických výpočtů.

Poděkování

Děkujeme našemu supervizorovi Leopoldu Cudzikovi a KF FJFI ČVUT za poskytnutí přístrojů a podmínek k práci.

Reference:

[1] FEYNMAN, R. : Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady. Fragment, 2000

Franck-Hertzův pokus a měření energetických hladin Neonu

Jaroslav Urbář, Miroslav Kaděra, Naďa Zíková, Pavel Motloch, Michal Růžek.

18. června 2003

Kmotr: David TLustý

Abstrakt:

Franck-Hertzův pokus (1914) je experimentální ověření Bohrova modelu atomu. Je to tedy jeden ze základních experimentů atomové fyziky. Pokud vybudíme atom do nějaké vyšší energetické hladiny, nezůstane tam dlouho a asi za 10^{-8} s přechází do nižších stavů za vyzáření kvanta elektromagnetického záření (fotonu) určité vlnové délky. Pokud vlnová délka leží v oblasti viditelného světla, můžeme toto světlo pomocí mřížky rozkládat na jednotlivé monochromatické složky a měřit pomocí goniometru jejich vlnovou délku.

Část I

Franckův - Hertzův pokus:

1 Teorie

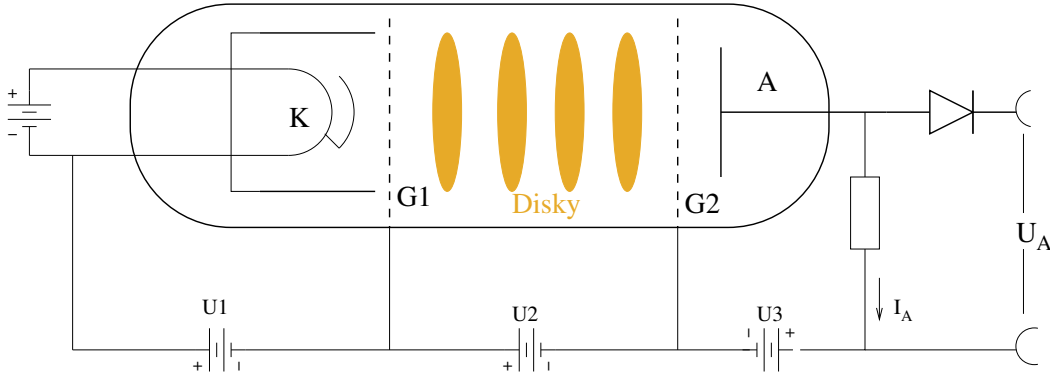
Na přelomu 19. a 20. století zformuloval Max Planck kvantovou hypotézu. Jejím základem je poznatek, že harmonický oscilátor nemůže nabývat spojitě všech hodnot energie. V souvislosti s tímto se nabízel myšlenka, že diskretních hodnot energie nabývají atomy i jiné objekty mikrosvěta (viz. de Broglieova hypotéza, která byla ovšem zformulována později). V teoretické fyzice ze zákonů elektrodynamiky bylo odvozeno, že nabitá částice pohybující se zrychleným pohybem vyzařuje a tím pádem ztrácí energii. Důsledkem toho by bylo zhroucení všech elektronů do jádra za dobu cca 10^{-15} s, což vyvrací Rutherfordův planetární model atomu. V roce 1913 přišel Niels Bohr se zajímavou hypotézou, že elektrony v atomu mohou nabývat pouze diskretních energetických hladin. Při přechodu mezi jednotlivými hladinami dochází k vyzáření fotonu o vlnové délce

$$\lambda = \frac{hc}{E_n - E_m}, \quad (1)$$

kde E_n a E_m je n-tá resp. m-tá energetická hladina. Formulace Bohrových kvantových postulátů našla největší přímé experimentální ověření v pokusech J. Francka a G. Hertze. Myšlenka těchto pokusů je tato:

Atomy nebo molekuly jsou ostřelovány pomalými elektrony, přitom se pozoruje rozložení rychlosti elektronů před srážkou a po ní. Jde-li o pružnou srážku, pak rozdělení rychlosti se srážkou nemění a naopak, při nepružné srážce ztrácí část elektronů svou energii, předává ji atomům, se kterými se srazily, a rozdělení rychlostí se mění. Z těchto pokusů vyplynulo, že:

1. Při rychlostech elektronů menších než je jistá kritická rychlost je srážka plně pružná, to znamená, že elektron nepředává atomu svou energii, ale odrazí se od něho, přičemž mění jen směr rychlosti, neboť hmotnost elektronu je proti hmotnosti atomu zanedbatelná. Tj. dochází pouze k pružné srážce.



Obrázek 1: Schema Franckova-Hertzova pokusu

2. Při rychlostech, které dosahují kritické rychlosti nastane srážka nepružná, to znamená, že elektron ztrácí svou energii a předává ji atomu, který přitom přejde do jiného energetického stavu.

Experimentální schéma je znázorněno na obrázku (1)

Elektrony jsou z katody K emitovány na mřížku G_1 . Mezi K a G_1 je napětí $U_1(0 - 5V)$, které nám jednak vytáhne všechny elektrony z katody na mřížku¹ G_1 a jednak slouží k vyrovnání tzv. *kontaktního potenciálu*. Mezi mřížkou G_1 a mřížkou G_2 je přivedeno urychlující napětí U_2 . Mezi G_2 a anodou je tzv. brzdné napětí $-U_3$, které slouží k "filtraci" elektronů, které nemají dost energie k překonání $-U_3$ a padají zpátky na mřížku, tj. nejsou přivedeny na anodu a nepřispívají k velikosti proudu I_A měřeného ampérmetrem A . V oblasti mezi G_1 a G_2 dochází k pružným a nepružným srážkám elektronů s atomy Neonu.

2 Postup a výsledky měření:

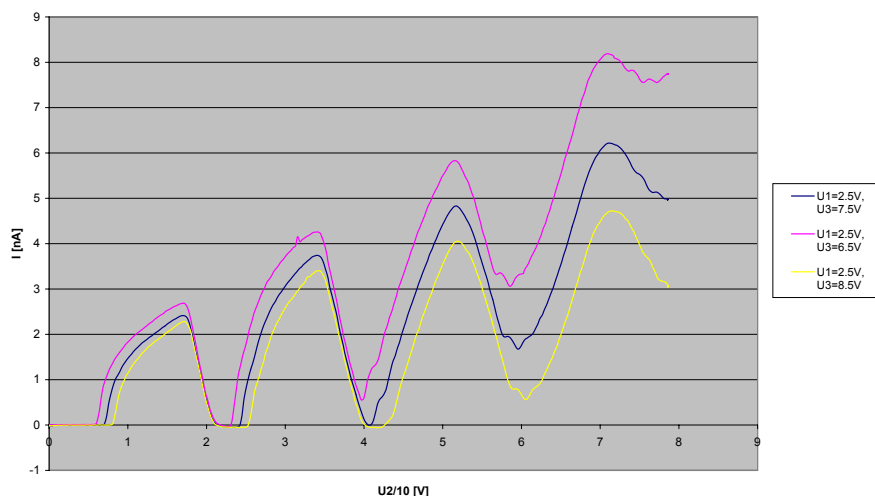
Měření jsme provedli dvěma způsoby:

2.1 Delší časový interval (30 s)

Nastavili jsme U_1 a U_3 na určitou hodnotu a sledovali jsme závislost proudu I_A na napětí U_2 . Vzhledem k tomu, že proud je velmi malý (řádově nA), je velmi obtížné ho měřit standardním galvanometrem. Proto ve zdroji je toto realizováno tak, že malý proud je analogovými integrovanými obvody převeden na napětí (řádově mV). Takže měříme napětí U_A a pokládáme $U_A \sim I_A$. Tuto závislost jsme nezávisle na sobě měřili na XY zapisovači a na PC. Ve všech případech narůstá anodový proud se zvyšujícím se urychlovacím napětím U_2 . Jakmile ale dosáhne určité kritické hodnoty E_k (nazýváme *Excitační energii*), specifické pro každý plyn, začne docházet k nepružným srážkám a podle Bohrovy teorie předá elektron atomu svoji energii. Ten se vybudí do vyšších hladin a ihned přechází do nižších za emise elektromagnetického záření. Pokud je napětí U_2 vysoké (několikanásobně větším než excitační energie plynu), elektron ztratí energii, je opět urychlován až na excitační energii a dojde k další nepružné srážce atd. V případě Neonu pozorujeme v místě nepružných srážek oranžové disky mezi G_1 a G_2 , viz. obr. (1). To je viditelná oblast záření. Voltampérová charakteristika je uvedena v grafu (2.1).

V grafu vidíme několik peaků a údolí. V legendě jsou uvedeny různé hodnoty pro měření U_1 a U_3 . K zobrazenému uspořádání dochází v důsledku jevů popisovaných v minulém odstavci. Z

¹Uvědomme si, že emitované elektrony se řídí Maxwell-Boltzmannovým rozdělením, rychlostí, resp. energií a tedy ne všechny elektrony mají stejnou hybnost.



Obrázek 2: Voltampérová charakteristika Franck-Hertzovy výbojky.

Popis	Poloha [V]	Exc. energie [eV]
1. Vrchol	18.8	
2. Vrchol	37.1	18.3
1. Malý hrbol	42.2	23.4
3. Vrchol	56	18.9
2. Malý hrbol	58.4	21.3
3. Malý hrbol	61.4	24.3

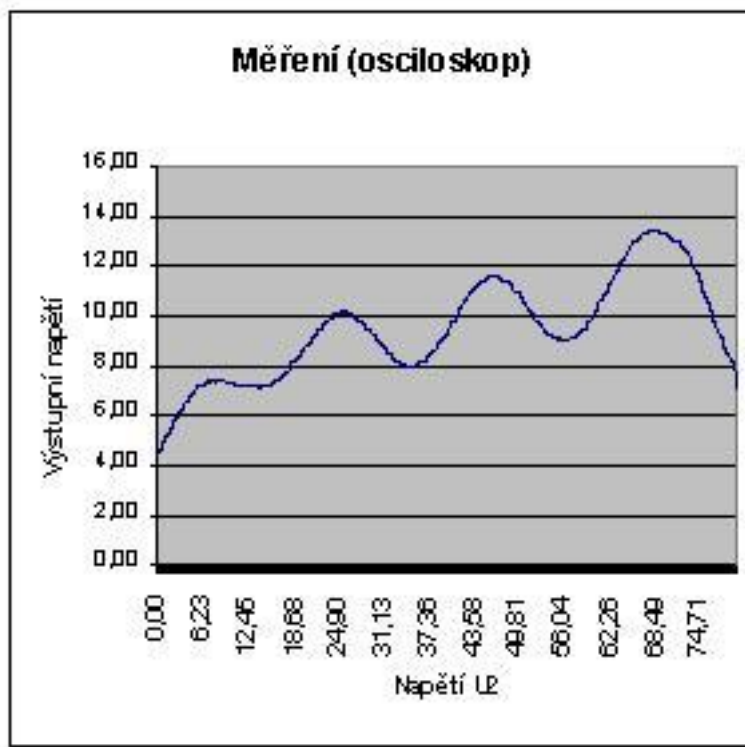
Tabulka 1: Polohy nepružných srážek a energetické hladiny excitovaného neonu

menších peaků lze rozpoznat další, méně časté přechody. Poklesy proudu odpovídají na x-ové ose excitační energii Neonu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č.1: První rozdíl nepočítáme, neboť zde nám působí kontaktní potenciál mezi G_1 a katodou. Takže vidíme, že excitační energetické hladiny Neonu jsou **18.3, 18.9, 21.3, 23.4, 24.3 eV**. První tři údaje skutečně jsme našli ve spektroskopické tabulce, ale světelných přechodů jsou kvůli výběrovým pravidlům schopny jen hladiny 18.3 a 18.9 eV.

2.2 Kratší časový interval: 0.025 s

Zde je způsob měření stejný. Provádí se ale osciloskopem a měření voltampérové charakteristiky probíhá s frekvencí 40 Hz a promítá se na osciloskop. Výsledky jsou uvedeny v grafu (2.2)

Z grafu vidíme, že výsledky se oproti předchozímu značně liší. Malé hrbolky zde nejsou vidět a rovněž minima neodpovídají nulovým proudům.



Obrázek 3: Voltampérová charakteristika Franck-Hertzovy výbojky měřená osciloskopem.

Část II

Měření energetických hladin Neonu:

3 Teorie:

Franckův-Hertzův pokus nám dává informaci o tom, že Neon byl vybuzen na energii přibližně 18,3 eV a 18,9 eV. Z existence tzv. spinorbitální vazby (interakce mezi orbitálním momentem hybnosti elektronu a spinem jádra) plynou tzv. *výběrová pravidla*, která znějí:

Atom může samovolně přecházet na nižší energetické hladiny pouze za podmínky

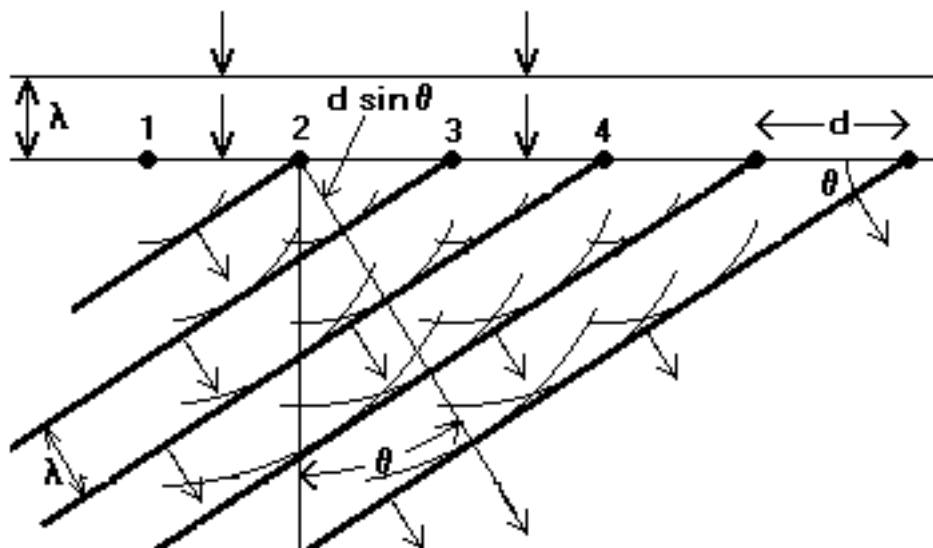
$$\begin{aligned}\Delta l &= 0, \pm 1 \\ l = 0 &\nrightarrow l = 0\end{aligned}\tag{2}$$

Toto pravidlo nám pomůže při sestavení energetického spektra neonu. Ve Franck-Hertzově trubici jsme viděli, že neon září ve viditelném spektru. Toto světlo můžeme rozložit na optické mřížce a pomocí přesného goniometru určit vlnové délky λ a ze vztahu (1) rozdíly mezi energetickými hladinami.

3.1 Určení vlnové délky spektrálních čar neonu:

Dopadá-li světlo na optickou mřížku je ohýbáno podle obrázku (). Vlnovou délku spočteme podle vztahu:

$$\lambda = \frac{d}{\sin(\epsilon)}\tag{3}$$



Obrázek 4: Ohyb světla na mřížce

Problémem je ovšem přesné určení úhlu ϵ . Ten určíme pomocí přesného goniometru, který měří s přesností na úhlové vteřiny. Jeho hrubé schéma je na obrázku ().

Mřížku natočíme, tak aby úhel ϵ nezávisel na úhlu α , tj. tzv. *úhel nejmenší deviace*. Ten nalezneme experimentálně v goniometru. Potom platí rovnice (3). Dosazením (1) do (3) dostaneme:

$$\frac{hc}{E} = d \sin(\epsilon) \Rightarrow E = \frac{hc}{d \sin(\epsilon)} \quad (4)$$

Odečtením (4) od 18.3 nebo 18.9 eV dostaneme při repektování výběrových pravidel (2) energetické hladiny Neonu.

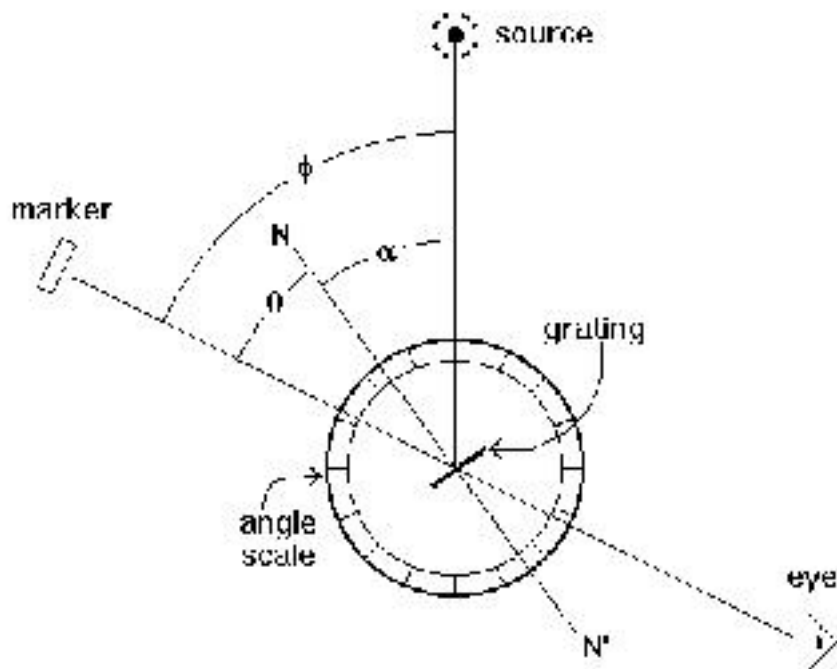
4 Postup a výsledky měření:

Jako zdroj světla je použita Geisslerova neonová trubice napájená Ruhmkorfovým induktorem. Toto světlo rozkládáme mřížkou s mřížkovou konstantou $d = 1.693 \cdot 10^{-6}$ m. Naměřili jsme celkem 21 spektrálních čar ve viditelné oblasti. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce (2):

Část III

Závěr:

Z tabulky (4) vidíme, že kromě energetických hladin 18.3 eV a 18.9 eV existují ještě nižší energetické hladiny a z výběrových pravidel lze odvodit, že mezi hladinami 18.3 eV a 18.9 eV existuje ještě více hladin, ze kterých potom atomy neonu přecházejí na hladiny mezi cca 16.5 - 17 eV. Ze spektrografické tabulky vidíme, že tyto hladiny jsou 4 s energiemi 16.619, 16.671, 16.716 a 16.848 eV. Výběrová pravidla zakazují přímý přechod z hladin 18.3 a 18.9 eV na základní hladinu neboť oběma dvěma hladinám přísluší orbitální moment hybnosti $l = 0$.



Obrázek 5: Schéma měření vlnové délky spektrálních čar

$\epsilon[^\circ]$	$\lambda[nm]$	$E[eV]$	$\epsilon[^\circ]$	$\lambda[nm]$	$E[eV]$
17.788	517	2.40	20.25	586	2.12
18.016	523	2.37	20.441	591.4	2.10
19.957	550	2.256	20.597	596	2.08
19.212	557	2.23	20.747	600	2.07
19.322	560.3	2.21	20.832	602	2.06
19.51	565.5	2.20	21.006	607	2.04
19.633	568.95	2.18	21.068	608.7	2.04
19.83	574	2.16	21.402	617	2.01
19.958	578	2.15	21.487	620.2	2.00
20.039	580.2	2.14	21.786	628	1.97

Tabulka 2: Tabulka emisních spekter neonu.

Reference:

- [1] E.V. Špolskij – Atomová fyzika I., II., Technicko – vědecké vydavatelství, Praha 1952
- [2] Haken, Wolf – The Physics of Atoms and Quanta – Springer, Berlin 1998
- [3] Prof. Z. Janout, S. Pospíšil, J. Kubašta – Úlohy z jaderné a subjaderné fyziky, Skriptum
FJFI – Vydavatelství ČVUT, Praha 1997
- [4] Úlehla, Suk, Trka – Atomy, Jádra, Částice, Academia, Praha 1987

Poděkování:

Děkujeme Prof. Ing. Zdeňku Janoutovi CSc. za vynikající přednášku k úvodu do Kvantové Mechaniky.

Millikanův experiment

Aleš Růžicka - SOŠ Blatná,

a.ruzicka@seznam.cz

Jakub Mikulka - Gymnázium Kladno,

xjakubicek@seznam.cz

Josef Rajdl – Gymnázium Ledec,

josef.rajdl@tiscali.cz

Martin Holeček - Gymnázium Náchod,

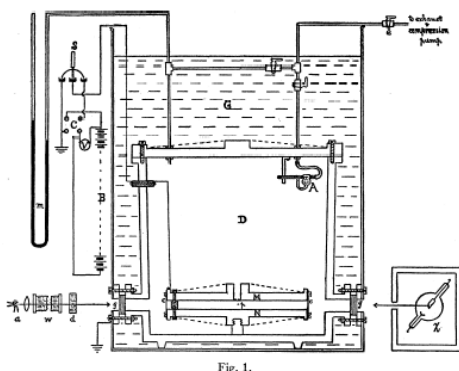
holecek.martin@seznam.cz

Supervisor: ing. Jan Dostál

Abstrakt:

Naše skupina měla během Fyzikálního týdne na ČVUT za úkol provést totožný pokus, jaký před necelými sto lety provedl pan R.A. Millikan, porovnat jeho a naše výsledky a zhodnotit pokus.

1 Historie Millikanova pokusu



Jako první tento pokus provedl Robert A. Millikan (22.3.1868-19.12.1953) mezi lety 1911-1913. Díky tomu byla vůbec poprvé zjištěna hodnota elementárního náboje (náboj elektronu či protonu) – tehdy vůbec nejmenšího známého náboje v přírodě. Za to byl o deset let později (roku 1923) odměněn



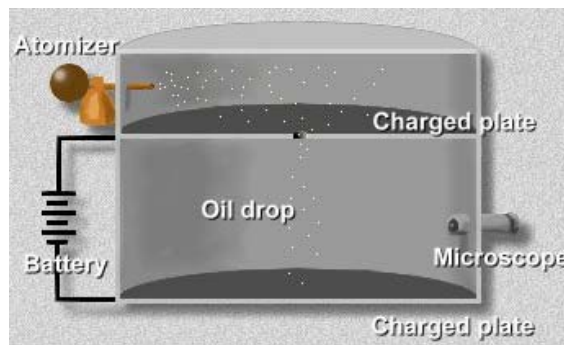
Nobelovou cenou za fyziku „za práce o elementárním elektrickém náboji a o fotoelektrickém jevu“. Oproti

nám k tomu měl pracovní podmínky bezesporu mnohem těžší. Ale zato mnohem více času. Aparatura, kterou používal je na obrázku vlevo.

2 O co jde?

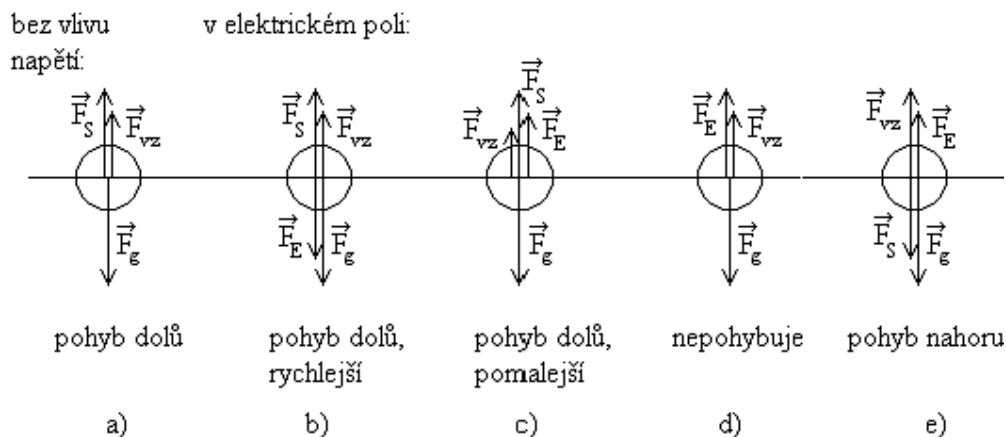
Cílem pokusu je změření elementárního náboje. Vycházíme přitom z předpokladu, že náboj každého nabitého tělesa je celočíselným násobkem tohoto náboje.

Základem celého experimentu je kondenzátor, mezi jehož desky vstříkujeme miniaturní olejové kapičky (o velikosti 1 mikrometr) s velmi slabým nábojem. Ten je získán pouze třením při vstřikování. Naším úkolem je změřit tento náboj. Náboj lze vypočítat měřením rychlosti kapiček mezi deskami kondenzátoru. Nejprve s vypnutým a poté se zapnutým elektrickým polem.



Při měření jsou nabité kapičky přitahovány k desce kondenzátoru s opačnou polaritou. Jsou k sobě přitahovány silou úměrnou svému náboji.

Z toho vyplývá, že se můžeme setkat s těmito případy:



Každý případ má svůj specifický vzorec výpočtu náboje:

Bez vlivu napětí

a) Pohyb dolů

- kapičky se pohybují dolů vlivem gravitační síly $F_G = m \cdot g$
- dále na ně působí vztlačková síla $F_{VZ} = m' \cdot g$ a odpor prostředí popsán Stokesovým zákonem $F_S = 6\pi\eta r v$
- samotný pohyb je popsán rovnicí $mg - m'g - 6\pi\eta r v_e = 0$

V elektrickém poli

Pohyb kapiček v elektrickém poli je popsán rovnicí $mg - m'g - 6\pi\eta r v_e - EQ = 0$

b) Pohyb dolů rychlejší

Z předešlých rovnic pro pohyb bez a s el. polem odvodíme vzoreček:

$$Q = \frac{6\pi\eta r(v_e - v_g)}{E}$$

c) Pohyb dolů pomalejší

S malou proměnou stále platí již odvozená rovnice: $Q = \frac{6\pi\eta r(v_g - v_e)}{E}$

d) Nepohybuje se

S malou proměnou stále platí již odvozená rovnice: $Q = \frac{6\pi\eta r v_g}{E}$

e) Pohyb nahoru

S malou proměnou stále platí již odvozená rovnice: $Q = \frac{6\pi\eta r(v_g + v_e)}{E}$

U všech vzorců platí že:

- m' ... hmotnost vytlačeného vzduchu
- m ... hmotnost kapičky
- η ... dynamická viskozita vzduchu ($1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ns.m}^{-2}$)
- r ... poloměr kapičky
- v_e ... rychlost částice s nábojem při zapnutém el. poli
- v_g ... rychlost částice s nábojem bez el. pole

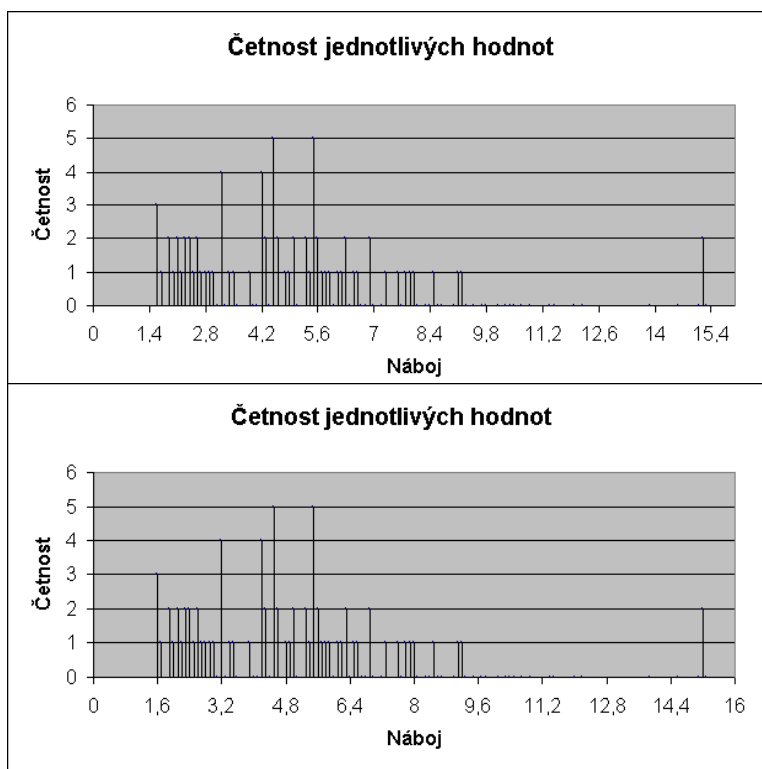
- E ... intenzita $E=U/d$ (d ...vzdálenost desek kondenzátoru)
- g ... tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m.s}^{-1}$)
- σ ... hustota oleje ($875,3 \text{ kg.m}^{-3}$)
- ρ ... hustota vzduchu ($1,29 \text{ kg.m}^{-3}$)

Pokud jste si vzorce již přečetli, zjistili jste, že máme ještě dvě neznámé. Vzorec pro

výpočet poloměru kapičky je $r = 3 \cdot \sqrt{\frac{v_g \cdot \eta}{2(\sigma - \rho)g}}$ a pro rychlost $v=s/t$, kde t je čas měření a s je dráha, kterou kapička urazila.

A co jsme naměřili:

Celkem jsme provedli 200 měření. U každé kapky jsme nejprve změřily první úsek, po kterém se pohybovala volným pádem, a poté stejnou vzdálenost s připojeným zdrojem elektrického napětí. Nakonec jsme vše spočítali. K co největší přesnosti je potřeba co nejvíce měření. My jsme jich samozřejmě provedli mnohem méně než pan Millikan. Navíc v naší aparatuře nebyl vyčerpán vzduch, a proto v kondenzátoru vznikalo proudění, kvůli kterému kapky často nesměřovali přímo dolů, nýbrž do stran. Dále se přesnost měření času stopkami zhoršovala vlivem nedokonalosti lidských smyslů a reakcí a také naší stoupající únavou v průběhu měření. Z toho všeho vyplývá odchylka našich naměřených výsledků. Z měření jsme určili, že náboj je náboj má hodnotu přibližně $1,4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Millikan svého času tento náboj určil na $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.



3 Shrnutí

Ač se námi naměřené hodnoty s původními výsledky v mnohém neshodovali, základ teorie je pravděpodobně správný. Zároveň jsme tím prokázali slabou přesnost pokusu v našich podmínkách jdoucí ruku v ruce s nízkou úrovní dlouhodobého soustředění a dali tím zapravdu novým metodám měření elementárního náboje (např. měření pomocí elektrolýzy).

Poděkování

Na prvním místě bychom chtěli poděkovat našemu supervizorovi Janu Dostálovi, který, se o nás celou dobu pokusu staral. Dále všem těm lidem, co stáli za organizací téhle úžasné akce

a samozřejmě panu Vojtěchu Svobodovi, bez něhož by tato akce nemohla nikdy existovat. Nakonec snad i každý každému navzájem za atmosféru v týmu.

Reference:

- [1] M. Cetkovský, V. Cupal, M. Raja, E. Šoltisová, Z. Vydrová: **Millikanův pokus**. Sborník Fyzikálního týdne. 2002. KF FJFI ČVUT
- [2] Phywe series of publications: **University Laboratory Experiments PHYSICS**. Phywe systeme GMBH
- [3] David Goodstein: **In Defence of Robert Andrews Millikan**. American Scientist. 2001
- [4] A.F.Garcia: **Medida de la unidad fundamental de carga**
- [5] The Nobel foundation: **Nobel e-museum**
- [6] L. Burnett and M. Lee: **Millikan Drop Experiment**
- [7] D. Šubrt, J. Hraníček, V. Kohoutek, Š. Dosoudilová, D. Štencel, M. Kolář: **Millikanův experiment**. Sborník Fyzikálního týdne. 2001. KF FJFI ČVUT
- [8] J. Kodovský, P. Kolenko, T. Kalvoda: **Millikanův experiment**. Sborník Fyzikálního semináře. Léto 2002. KF FJFI ČVUT
- [9] M. Cetkovský, V. Cupal, M. Raja, E. Šoltisová, Z. Vydrová: **Millikanův pokus**. Presentace na Fyzikálním týdnu. 2002
- [10] R.A.Millikan: **On the elementary electrical charge and the avogadro constant**. Physical Review. 1911

Mikrovlny

* P. Spáčil, ** J. Pavelka, *** F. Jareš, **** V. Šopík
Gymnázium Vídeňská Brno; ** Gymnázium tř. Kpt. Jaroše;
*** Arcibiskupské gymnázium; **** Gymnázium Jeseník;
pavelspacil@tiscali.cz; ** j.pavelka@centrum.cz;
*** filipjares@post.cz; **** sopik@volny.cz

Abstrakt:

Byly zkoumány základní vlastnosti mikrovlnného záření o vlnové délce 3 cm. Provedli jsme základní měření z tohoto oboru fyziky. Zkoumali jsme šíření záření (kvalitativně i kvantitativně), dále lom, odraz a pohlcování záření v závislosti na druhu použitého materiálu.

1 Úvod

Cílem našeho miniprojektu bylo ověřit si chování elektromagnetického vlnění v prostoru. Posloužila nám k tomu školní souprava pro experimenty s mikrovlnným zářením o frekvenci 9,4 GHz. Pro zkoumání jevů, jako je ohyb a interference vlnění potřebujeme, aby vlnění přicházelo do styku s objekty, jejichž rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou záření. Z tohoto hlediska jsou mikrovlny o vlnové délce 3 cm vhodným prostředkem pro podobné experimenty.

Ověřovali jsme si následující vlastnosti mikrovlnného záření:

- lineární polarizaci záření vysílaného anténou
- absorpci záření v různých látkách
- vlnovou délku

Měřili jsme intenzitu vlnění v prostoru v různých podmínkách

- šíření záření ve volném prostoru
- šíření záření v prostoru s odrazovou plochou
- ohyb záření na štěrbině
- lom záření v hranolu
- šíření za čočkou

2 Použité vybavení

Pro realizaci projektu bylo použito následující vybavení:

- zdroj polarizovaného mikrovlnného záření
- zdroj signálu pro vysílač umožňující modulovat signál připojením funkčního generátoru
- funkční generátor

- mikrovlnná anténa
- zesilovač přijímaného signálu
- voltmetr
- reproduktory
- další pomůcky (kovové desky, písková čočka, plastový hranol, polarizátor, stojany)

3 Měření a výsledky

1 Vlnová délka

Vlnovou délku jsme jednoduše zjistili pomocí stojatého vlnění vytvořeného přidáním odrazové plochy. Měřili jsme vzdálenost nejbližších maxim nebo minim, jež jsou vzdálena polovinu vlnové délky. Tím jsme ověřili uváděnou hodnotu 3 cm.

2 Ověření lineární polarizace záření vysílaného anténou

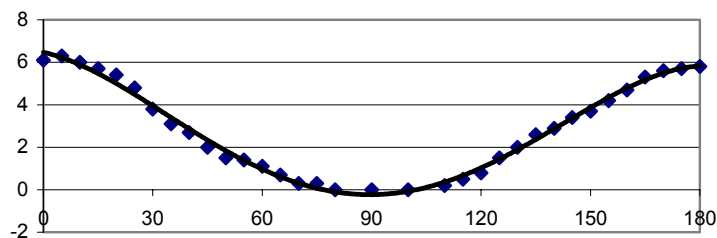
a) změnou orientace antény

Pokud je vysílač umístěn na vodorovné podložce, zachytíme přijímaný signál v plné míře pouze pokud je anténa ve svislé poloze. S měnící se polohou antény se měnila i síla signálu, který anténa zaznamenala. Při vodorovné orientaci antény byla síla přijímaného signálu v podstatě nulová

b) použitím analyzátoru

Pro ověření lineární polarizace záření vysílaného anténou jsme jako analyzátor použili kuprexitovou destičku s nanesenými rovnoběžnými kovovými proužky (byla součástí soupravy). Ke zdroji signálu pro vysílač jsme připojili funkční generátor (sinusový signál o slyšitelné frekvenci řádově několik stovek Hertz). Na výstup zesilovače připojeného k mikrovlnné anténě jsme připojili reproduktory, což nám umožnilo orientačně určit intenzitu přijímaného záření v daném místě. Analyzátor jsme umístili na spojnici mezi vysílačem a přijímačem. Se změnou orientace kovových proužků se měnila i intenzita záření, které dopadalo na anténu. Největší část záření analyzátor odstínil v případě, kdy byly kovové proužky orientovány ve svislém směru (tzn. když byly orientovány souhlasně s elektrickou složkou polarizované elektromagnetické vlny)

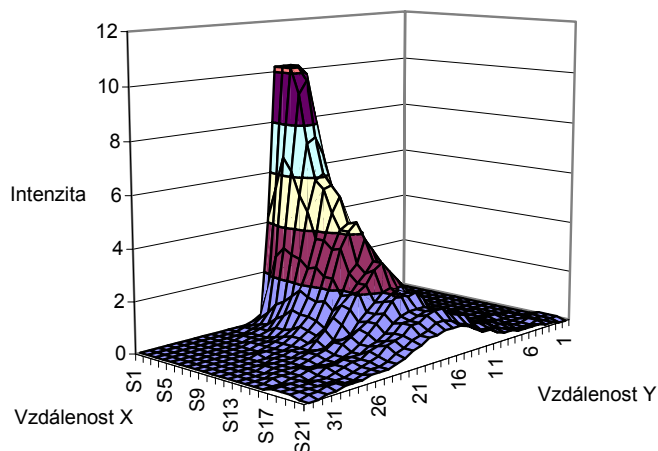
Graf závislosti intenzity pole na natočení polarizační desky



3 Měření rozložení intenzity záření v prostoru

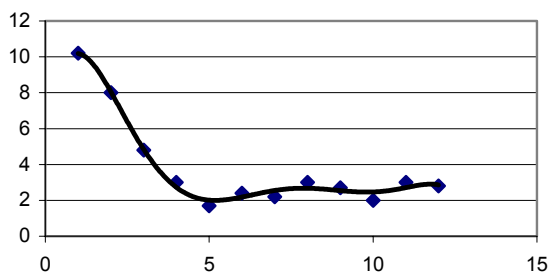
Pro účely měření rozložení intenzity záření v prostoru jsme na podložku nakreslili čtvercovou síť s roztečí čtverce 2 cm (případně 4 cm). Do středu jedné strany čtvercové sítě jsme umístili vysílač. S přijímačem jsme pohybovali po čtvercové síti a na voltmetru připojeném na výstup zesilovače jsme postupně měřili napětí, odpovídající intenzitě záření v daném místě. Měření jsme prováděli zvlášť pro každou situaci.

a) Šíření záření ve volném prostoru



Z grafu je dobře patrné rozložení intenzity vysílaného záření. V bodě (17;S0) je umístěn vysílač, osa z znázorňuje intenzitu záření naměřenou voltmetrem.

b) Šíření záření v prostoru – s odrazovou plochou (stojaté vlnění)



Osa X znázorňuje vzdálenost měřeného místa od vysílače a na ose Y je vynášena intenzita (veličina přímo úměrná intenzitě). Vzdálenost odrazové plochy od vysílače je 60 cm.

c) Ohyb

Kdyby se mikrovlnné záření neohýbalo, po průchodu štěrbínou by paprsky tvořily tvar štěrbiny. Protože se mikrovlny ohýbají, stejně jako ostatní elektromagnetické záření, lze mikrovlny indikovat i mimo přímou spojnicí zdroje a přijímače.

d) Lom na plastickém hranolu

Před zářič byl postaven plastický hranol na kterém se paprsky lomí a lámou. Z hranolu vychází několik svazků paprsků pod různými směry.

e) Čočka

Do prostoru mezi zářič a přijímač byla umístěn plastická čočka s křemičitým pískem, která působí stejně jako čočky optické. Můžeme pro danou čočku najít například ohnisko.

f) Absorpce

Mezi zářič a přijímač jsme umísťovali různé materiály a sledovali jsme útlum mikrovlnného záření.

Materiál	Tloušťka	Útlum
hadr	2 mm	0
mokrý hadr	2 mm	1,3
kancelářský papír		0,1
ocelový plech	0,5 mm	1,9
voda	8 cm	1,9
dřevo	4 mm	0,6
sklo	3 mm	0,7
plastová folie		0,1
ruka (lidské tělo)		1,9

4 Shrnutí

Pozorovali jsme všechny základní charakteristiky mikrovlnného záření o vlnové délce 3cm. S relativně malou odchylkou jsme určili vlnovou délku. Měřili jsme šíření záření v různých prostředích, v lomu a při odrazu. Našimi experimenty jsme si v podstatě ověřili všechny teorie a žádnou jsme nevyvrátili,

5 Poděkování

Za podporu bychom rádi poděkovali našemu supervisorovi Vojtěchu Kyselovi, FJFI za poskytnutí zázemí a materiální zajištění a Vojtěchu Svobodovi a ostatním organizátorům FT za věnovanou energii a čas.

6 Reference:

- [1] Instruction sheets:Experiments with microwaves - ch1 až ch6..Leybold didactic GMBH.1994.
- [2] Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus; doc. RNDr. Oldřich Lepil, CSc.,
PaedDr. Přemysl Šedivý
- [3] Fyzika pro gymnázia – Optika; doc. RNDr. Oldřich Lepil, CSc.
- [4] Fyzika 3, 4; Halliday, Resnick, Walker

Měření hustoty a teploty plazmatu

J. Dostál

Supervisor projektu FJFI ČVUT, Praha

V. Hubka

Gym. Podbořany, Podbořany

Hubkav@seznam.cz

T.Kosová

Česko-anglické gym. Č. Budějovice

kosova@cag.cz

A.Přindiš

Gym. Nad Štolou, Praha

ajotallah@seznam.cz

I.Strašil

Gym. Vídeňská, Brno

istrasil@gvid.cz

Abstrakt:

Cílem tohoto miniprojektu bylo změřit základní parametry plazmatu, tj. hustotu a teplotu. Nejprve jsme se seznámili s daným tématem a následně měření jsme provedli v laboratořích FJFI ČVUT. K dispozici jsme měli nízkotlakou neonovou výbojovou trubici, ve které jsme pozorovali doutnavý výboj. Naměřené hodnoty a výsledky jsme zpracovali a následně je porovnali s naměřenými hodnotami z předešlých let. Tyto hodnoty nám však nepřípadaly příliš důvěryhodné, proto bylo naším cílem zpracovat naměřená data co nejkvalitněji.

1 Úvod

V průběhu našeho snažení o splnění našeho projektu jsme se seznámili se základními informacemi o fyzice plazmatu. Naším úkolem bylo určit základní parametry plazmatu, tj. hustotu a hmotnost, pomocí změřené voltampérové charakteristiky Langmuierových sond. Plazma považujeme za čtvrté skupenství látky. Je to soustava elektricky nabitých částic (iontů, volných elektronů) a neutrálních částic. Při dostatečně vysokých teplotách může být plazma složeno jen z volných atomových jader a elektronů. Jako příklad přírodního plazmatu je blesk nebo plamen. Jinou formou je plazma mezihvězdného prostoru a plazma hvězd.

2 Samotný experiment

Pro samotné měření jsme využili jedné z nejjednodušších diagnostických metod pro zjištění základních parametrů plazmatu - hustoty a teploty. Základem této metody je měření voltampérové charakteristiky dvojité Langmuierovy sondy, jež je tvořena vodivým materiálem, např. wolframem může to být i konec drátu, který je přiveden do kontaktu s plazmatem.

Samotné měření probíhalo nejdříve při nižším budícím napětí a následně při vyšším.

Základem pokusu bylo zapojení neonové trubice do obvodu s ampérmetrem a voltmetrem

(viz. schéma 1). Následné měření hodnot napětí jsme provedli postupným snižováním proudu.

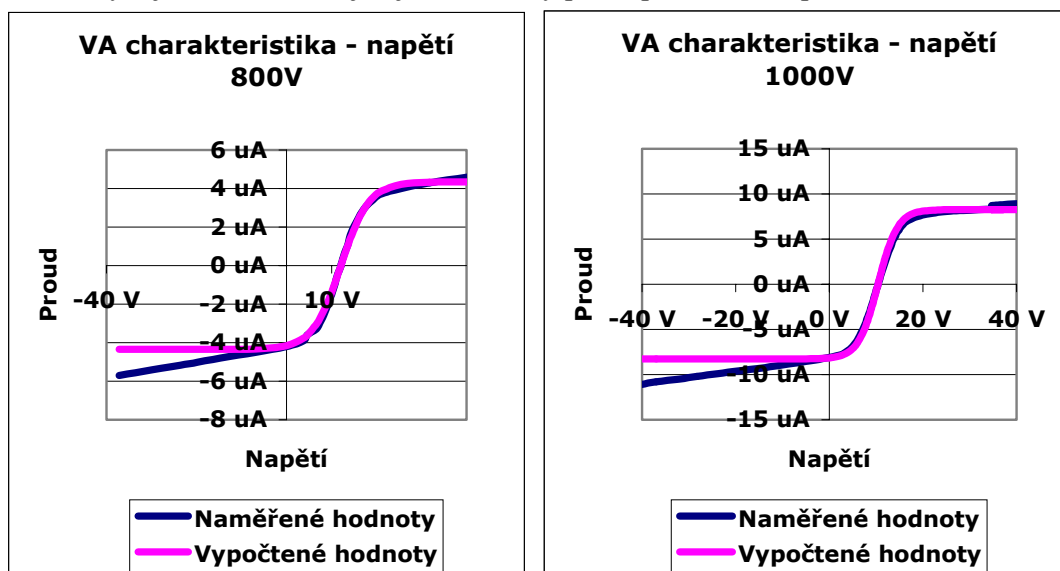
Po naměření všech požadovaných údajů lze ze vztahů 1, 2,

$$I = I_s \frac{1 - e^{\left(\frac{V - \Delta\phi}{T}\right)}}{1 + e^{\left(\frac{V - \Delta\phi}{T}\right)}} \quad (1)$$

kde I je naměřený proud, V naměřené napětí, $\Delta\phi$ je rozdíl potenciálů sond při nulovém proudu, I_s je iontový saturační proud, T je teplota plazmatu v eV a A_1 , A_2 jsou plochy sond, n hustota plazmatu, určit konkrétní teplotu a hustotu měřeného plazmatu.

$$I_s = Aen_i \sqrt{\frac{KT}{m}} \quad (2)$$

Při prvním měření s nižším budícím napětím jsme na základě nafitování naměřených hodnot stanovili elektronovou teplotu a hustotu plazmatu; $T_e = 3,15$ (36540 K) a $n_i = 3,33 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$. V dalším měření při napětí vyšším byly hodnoty $T_e = 2,08$ eV (24128 K) a $n_i = 7,79 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$. Získané hodnoty dobře odpovídají běžným parametrům nízkoteplotního plazmatu při doutnavém výboji, které se užívají a jsou uváděny pro experimentální praxi.



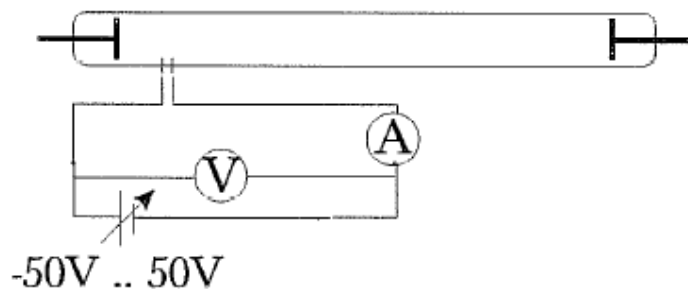


Schéma 1: Zapojení k měření VA charakteristiky Langmuirovými sondami

3 Shrnutí

Po vyčerpávající práci všichni členové našeho týmu pochopili základní poznatky fyziky plazmatu, která jsme si mohli ověřit i v praxi. Získání informací týkajících se termojaderné fúze a návštěva Ústavu fyziky plazmatu- Tokamak AVČR nás ohromily. Navíc poukázaly na složitý úkol fyziků na poli získávání nového čistého a dlouhodobě nevyčerpatelného zdroje energie.

Naše výsledky nám připadají realističtější než ty z minulého roku.

Všem fyzikům přejeme hodně zdraví.

Poděkování

Tvůrci děkují za poskytnutí prostoru, vybavení a duševní vzpruhy ČVUT FJFI. Dále bychom rádi poděkovali autorům fyzikálního týdne a pracovníkům Ústavu fyziky plazmatu - Tokamak AVČR, jmenovitě Vojtěchu Svobodovi, Honzovi Dostálovi.

Reference:

1. Svoboda E. a kol.: *PŘEHLED STŘEDOŠKOLSKÉ FYZIKY* Prometheus, Praha, 1996
2. Chen, F. F.: *Úvod do fyziky plazmatu*, Plenum Press, 1997
3. <http://fyzika.fjfi.cvut.cz>

Rentgenové spektrum Mo anody

Zpracovali:

Dušan Mondek, Gymnázium Komenského Jeseník, STORM92@seznam.cz

Josef Moudřík, Gymnázium Christiana Dopplera, J.Moudrik@seznam.cz

Jiří Randa, Gymnázium Kladno, mam.hlad@seznam.cz

Supervizor:

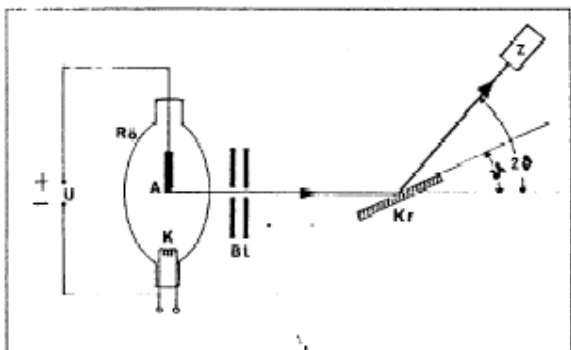
Jan Zatloukal

1.Úvod

Cílem našeho dvoudenního snažení bylo změřit rentgenové spektrum Molybdenové anody. Naše aparatura se skládala z rentgenového přístroje PHYWE, krystalu LiF, x-y zapisovače, 2 párů kabelů s banánky a kalkulačky.

V praxi jde vlastně o to že, ostřelujeme Molybdenovou anodu elektrony, urychlenými vysokým napětím (řádově desítky kiloVolt). Po dopadu elektronu s určitou energií (dle urychlení) na atom Mo je vyražen jiný elektron z některé slupky tohoto atomu a na jeho místo spadne elektron z vyššího orbitalu (atom snaží se zaujmout stav s nejnižší energií), který svou přebytečnou energii uvolní ve formě záření. My toto záření pozorujeme a nanášíme jeho intenzitu x-y zapisovačem na papír.

Toto je náčrt rentgenové lampy R_ö, molybdenové anody A, katody K z níž vylétají urychlené elektrony, clony BL, krystalu LiF Kr a detektoru Z.



2. Vlastní problém a jeho řešení

Naším úkolem tedy bylo zaprvé určit energii čar $K_{\alpha,\beta}$ charakteristického emisního rentgenového spektra molybdenové anody. A zadruhé spočítat Planckovu konstantu h .

Nejprve jsme x-y zapisovačem nanesli křivku na papír. Poté jsme změřili úhly jednotlivých peaků, což jsou kvanta rentgenového záření vznikající, když elektron přemění svou energii najednou, ne postupně jako při brzdném záření. Získané úhly jsme dosadily do Braggovy rovnice, z níž jsme spočetli vlnovou délku jednotlivých peaků. Braggova rovnice popisuje difrakci (ohyb), ke které dochází při dopadu svazku rentgenového záření na soustavu atomů krystalu pod určitým úhlem.

$$n\lambda = 2d \sin \vartheta \quad (n = 1, 2, \dots \text{ je řád maxima}) \quad (1)$$

a [1] d je vzdálenost jednotlivých atomových rovin krystalu $d = 2,01 \times 10^{-10}$. Dále jsme počítali energie peaků podle vzorce

$$E = h\nu = hc / \lambda \quad (2)$$

kde h je Planckova konstanta, kterou budeme zakrátko zjišťovat a c je rychlost světla. ($299792458 \text{ ms}^{-1}$)

Planckovu konstantu zjistíme dle vztahu

$$h = 2 e U d c^{-1} \sin \vartheta \quad (3)$$

kde e je elementární náboj 1.602×10^{-19} , U je urychlovací napětí a ϑ je úhel hrany spojitého rentgenového spektra.

3. Výsledky

Vlnová délka a energie peaků:

$n = 1$

> 22,5 kV	$\beta = \text{není}$	$\alpha = \text{není}$
λ	#####	#####
22,5 kV	$\beta = \text{není}$	$\alpha = 10.50$
λ	#####	7.33E-11
> 25 kV	$\beta = 9.30$	$\alpha = 10.50$
λ	6.50E-11	7.33E-11

$E_{\alpha} = 16916.35456 \text{ eV}$

Tabulkové hodnoty jsou $E_{\alpha \text{ tab}} = 17374,3 \text{ eV}$

$E_{\beta} = 19076.15481 \text{ eV}$

a

$E_{\beta \text{ tab}} = 19600 \text{ eV}$

$n = 2$

< 25 kV	$\beta = \text{není}$	$\alpha = \text{není}$
λ	#####	#####
25 kV	$\beta = \text{není}$	$\alpha = 21.25$
λ	#####	7.29E-11
> 25 kV	$\beta = 18.5$	$\alpha = 21.25$
λ	6.38E-11	7.33E-11

$E_{\alpha 2} = 17009.3633 \text{ eV}$

$E_{\beta 2} = 19435.08115 \text{ eV}$

$n = 3$

< 27.5 kV	$\alpha = \text{není}$
λ	#####
$\geq 27.5 \text{ kV}$	$\alpha = 32.25$
λ	7.15E-11

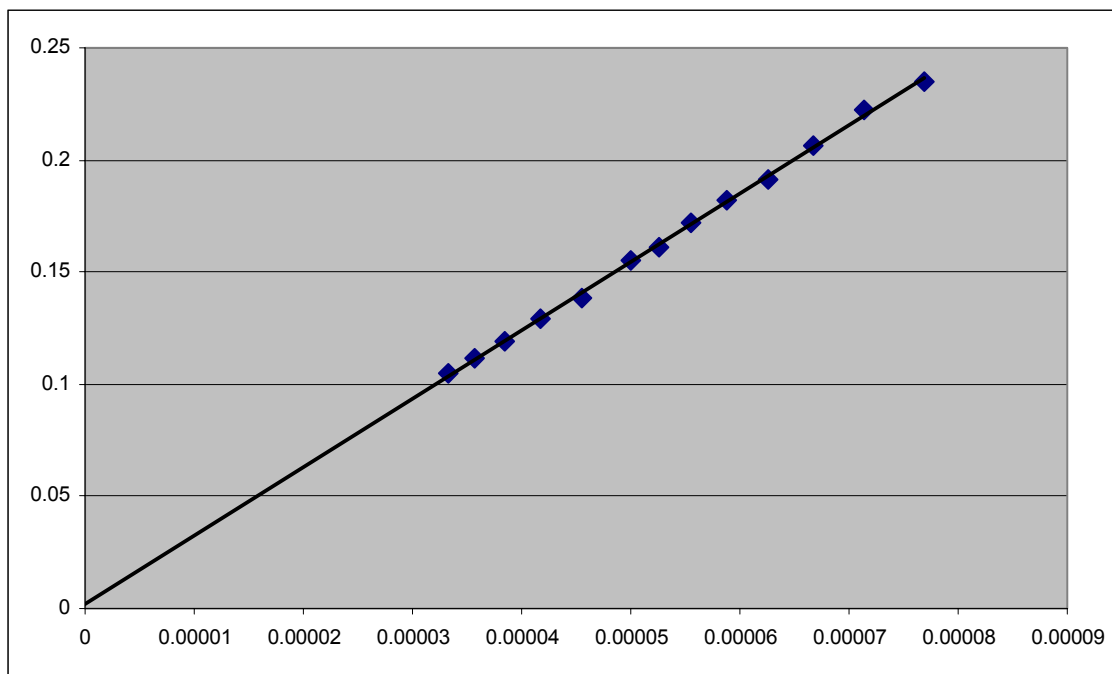
$E_{\alpha 3} = 17342.17566 \text{ eV}$

Planckova konstanta:

Po dosazení do vzorce (3) pro každý z úhlů ϑ náběžné hrany a jednotlivá urychlovací napětí U

"theta"	$\sin(\theta)$	$U \text{ (kV)}$	$h \text{ (J.s)}$
13.6	0.235142	13	6.56662E-34
12.85	0.222399	14	6.68851E-34
11.9	0.206204	15	6.64441E-34
11.05	0.191666	16	6.58767E-34
10.5	0.182236	17	6.65503E-34
9.9	0.171929	18	6.64798E-34
9.25	0.160743	19	6.56073E-34
8.95	0.155572	20	6.68391E-34
7.95	0.138609	22	6.55061E-34
7.4	0.128796	24	6.64018E-34
6.85	0.11927	26	6.66153E-34
6.4	0.111469	28	6.70471E-34
6	0.104528	30	6.73634E-34

Po zprůměrování hodnot nám vychází Planckova konstanta $6.64063 \times 10^{-34} \text{ Js}$ a tabulková hodnota je $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$, tedy nám vyšla velmi přesně. Toto je graf námi spočtené Planckovy konstanty:



4. Závěr

Nakonec bychom tedy shrnuli a konstatovali, že naše práce byla produktivní, zábavná a jsme rádi, že jsme dobře využili náš čas.

Metody námi použité, mají širokou škálu využití především ve fyzikální chemii (tímto způsobem lze velmi přesně určit kvalitativní složení materiálu ze kterého je vyrobena anoda).

Poděkování

Chtěli bychom především poděkovat Janu Zatloukalovi a Jaderné fakultě ČVUT za fyzikální týden.

Reference:

- [1] Z. Maršák: Měření rentgenového spektra Cu anody
<http://rumcajs.fjfi.cvut.cz/fyzport/AtomoveJaderne/CuAnoda/CuAnoda.pdf>
- [2] J. Zatloukal: Měření rentgenového spektra Mo anody

CHAOTICKÁ DYNAMIKA

Tomáš Jakoubek, Gymnázium a SPgŠ Liberec, loony@seznam.cz
Zdeněk Růžička, Masarykovo gymn. Příbor, tramtara@seznam.cz
Vojtěch David, Gymn. Ch. Dopplera Praha, vojta.david@seznam.cz
Hana Matoušová, Gymn. A. Jiráska Litomyšl,
hhanulka@hotmail.com

Supervisor: Ing. Vojtěch Svoboda

Abstrakt:

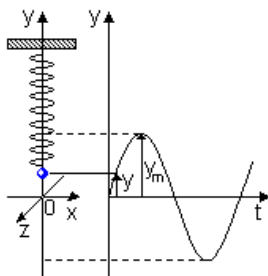
Pozorovali jsme regulérní chování systémů, přechody z regulérního chování do chaotického a chaotické chování systémů.

Pracovali jsme s počítačovými programy Double Pendulum (simulace pohybu dvojitého kyvadla) a Chaos Generator (simulace RCL obvodu se zapojenou součástí x^2 , která zapříčiňuje chaotické chování systému).

1 Úvod

Budoucí stavy některých systémů lze předpovědět ze znalosti stavu okamžitého (např. kmitání pružiny, malý elektrický obvod). My jsme se však zabývali simulováním dvou systémů, které se po překročení určitých hodnot začali chovat chaoticky, jejich budoucí vývoj byl nepředpověditelný.

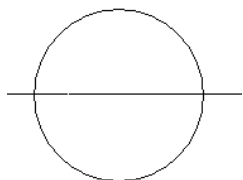
Dynamický systém - systém, jehož stav se s časem mění (např. počasí). Stav systému v daném momentu udávají okamžité hodnoty stavových veličin. Pokud chceme předpovědět, jak bude systém vypadat v následujících chvílích, musíme znát tyto hodnoty. Pokud známe stav systému v nějakém momentu, dokážeme na základě znalostí fyzikálních pohybových zákonů předpovědět jeho stav v budoucnosti a též zjistit, jaký byl jeho stav v minulosti. Stav dynamického systému je dán souřadnicí bodu ve fázovém prostoru. Pohyb tohoto bodu je dán pohybovými rovnicemi, které jsou pro složitější systémy zadány soustavou diferenciálních rovnic. Pro jednoduché Newtonovými poh. zákony. Jednoduchým systémem je např. pružina :



$$y = y_m \sin \omega \cdot t \text{ (okamžitá výchylka, průběh podle fce sinus)}$$

$$v = B \cos \omega \cdot t \text{ (okamžitá rychlost, průběh podle fce kosinus)}$$

závislost v na y :
pro netlumený pohyb



pro tlumený pohyb

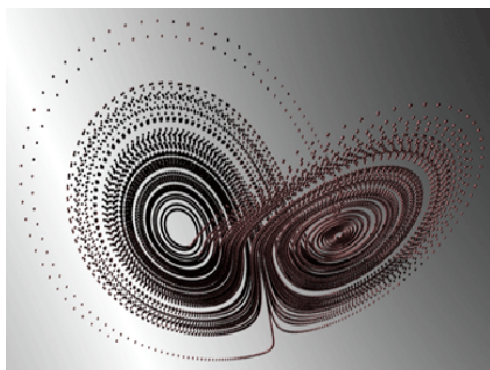


Grafy závislosti v na y pro složitější (námi pozorované) systémy budou uvedeny později.

Dynamický systém může být deterministický nebo stochastický (náhodný). Deterministický dynamický systém lze poměrně přesně popsat, zatímco u systému stochastického jsme odkázáni pouze na statistické vlastnosti takového systému (například střední hodnota, směrodatná odchylka a jiné).

Chaos - chaotické chování systému nastává v okamžiku, kdy se systém nechová podle předpovědi respektive je naše předpověď nedostatečně přesná v důsledku velké citlivosti na počáteční podmínky. Chaos může nastat v systému, který má více než dvě stavové proměnné (např. v trojrozměrném prostoru).

V minulosti byla tendence připisovat malé nevysvětlitelné nepravidelnosti pozorovaných jevů nepřesnosti přístrojů, šumu, náhodným vlivům... Myslelo se, že malá změna počátečních podmínek vyvolává malé změny chování systému v budoucnu. Předpokládala se prediktabilita chování systému. Počátkem 19. století francouzský vědec Laplace došel k názoru, že všechny události jsou jednou provždy určeny - determinovány. Domníval se, že existuje soubor vědeckých zákonů, jejichž znalost nám umožní předpovědět všechno, co se ve vesmíru v budoucnosti odehraje. Stačí k tomu dokonale poznat stav vesmíru v určitém časovém okamžiku. Poincaré jako první ve svých spisech naznačil jistou nepředvídatelnost dynamiky. V 60. letech 20. století objevil E. Lorenz jev, který byl později pojmenován jako efekt motýlích křídel : pokud někde na planetě existuje stav počasí takový, že možnost bouřky a klidu je naprosto stejná, stačí malé zamávnutí motýla křídly k tomu, aby se situace přiblížila k jedné nebo ke druhé možnosti => i pro velmi malé rozdíly v počátečních podmínkách jsou výsledné stavy diametrálně odlišné. Analogický je příklad osla, který vybírá ze dvou naprosto stejných kopek sena. Chování osla zobrazuje Lorenzův atraktor (obr. 1)



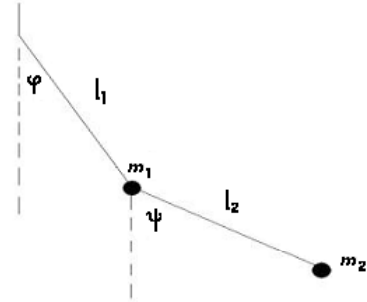
Osel krouží chaoticky kolem jedné i druhé, aniž by si některou vybral. Kupky sena označujeme jako atraktory. Atraktor dynamického systému je stav, do kterého systém směřuje. Jsou-li atraktorem dynamického systému pevné body, jde o nejjednodušší případ.

2 Zkoumané systémy

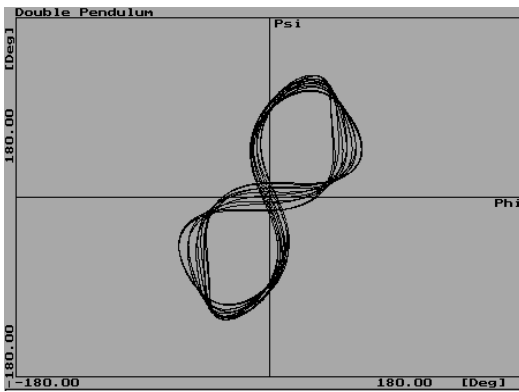
A. Dvojité kyvadlo

Chování systému (určeného hmotnostmi závaží $m_1 = m_2 = 1\text{ kg}$ a délkami závěsů $l_1 = l_2 = 1\text{ m}$) závisí na 4 proměnných: počátečních úhlech φ , ψ a počátečních úhlových rychlostech φ' , ψ' (1. derivace φ , ψ). Po zadání proměnných program nasimuluje chování ve zvolené soustavě. Volili jsme soustavy: závislost φ na ψ (vyjádření trajektorie pomocí těchto úhlů) a Poincarého řez (proložení stavového prostoru rovinou a sledování průniků bodu, určujícího stav systému, touto rovinou).

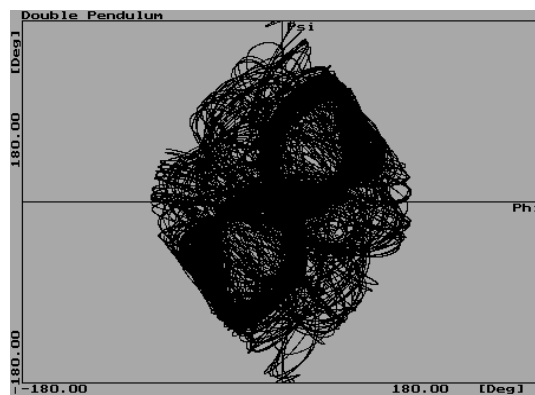
Obr. 2



Trajektorie kyvadla pomocí φ a ψ . Počáteční hodnoty pro obr. 3a: $\varphi = 0$, $\psi = 0$, $\varphi' = 4,45\text{ s}^{-1}$ a $\psi' = 0$. Pro obr. 3b: $\varphi = 0$, $\psi = 0$, $\varphi' = 4,47\text{ s}^{-1}$ a $\psi' = 0$. Na obr. 3a se systém chová nechaoticky, na obr. 3b chaoticky. Pro hodnotu $\varphi' = 4,46\text{ s}^{-1}$ se zpočátku systém chová jako na obr. 3a, po nějaké době však přejde do chaotického pohybu. Tuto hodnotu můžeme považovat za hraniční.

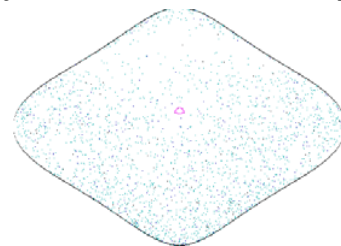
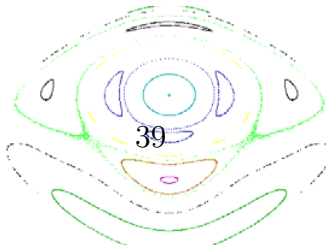


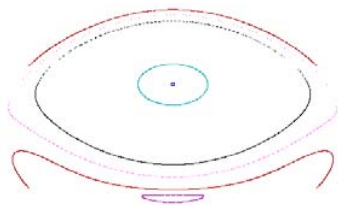
Obr. 3a



Obr. 3b

Proložení stavového prostoru rovinou (Poincarého řez), charakterizovanou φ' a φ . Před začátkem simulace bylo nutno zadat hodnotu celkové energie kyvadla. Obrazce soustředěné kolem nějakého bodu (atraktoru) značí nechaotický pohyb, roztroušené tečky znamenají chaos – systém se nemohl jednoznačně rozhodnout pro určitý atraktor.



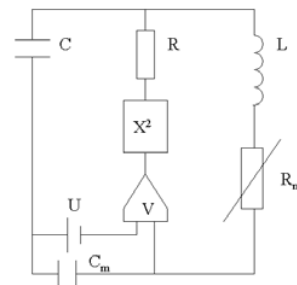


Obr. 4a: $E=4J$
Obr. 4c: $E=25J$

Obr. 4b: $E=10J$

B. Nelineární elektrický obvod

Na obrázku 5 máme jednoduchý RCL obvod. Pracovali jsme se simulačním programem Chaos generator, do kterého jsme zadali konstantní hodnoty: $v=1,2\mu V$, $R=3300\Omega$ (3200Ω , 2000Ω), $C=47nF$, $C_m=47nF$, $L=0,1H$ a $U_0=4V$. V obvodu je zabudována součástka x^2 , která má na výstupu kvadrát vstupního napětí. Díky této součástce můžeme pozorovat chaotické chování obvodu pro různé hodnoty R_m . Toto chování jsme pozorovali na fázovém a bifurkačním diagramu.

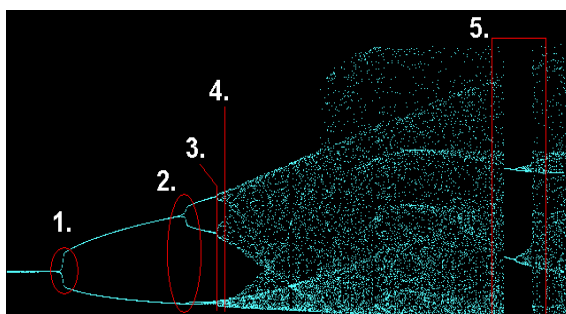


Obr. 5

Pro hodnotu $R=3300\Omega$:

1. $R_m \in (+\infty; 218)\Omega$ byl naměřen jednoduchý lineární průběh U .
2. $R_m \in (218; 143,6)\Omega$ byly naměřeny dvě maximální hodnoty U .
3. $R_m \in (143,6; 128,1)\Omega$ naměřeny čtyři max. hodnoty U .
4. $R_m \in (128,1; 125,1)\Omega$ - osm max. hodnot U .
5. Pro hodnoty $R_m \in (125,1; 0)\Omega$ nastává v soustavě CHAOS.

- ovšem bylo zjištěno, že i pro určité $R_m \in (125,1; 0)\Omega$ dostává soustava nechaotických maximálních hodnot U . Největší mezera nastává pro hodnoty $R_m \in (50,350; 44,862)\Omega$ (na obr.6 položka 5).



Obr. 6: postupný vývoj U

- 1.- přechod do první bifurkační zóny
- 2.- rozdělení do čtyř max. hodnot U
- 3.- do osmi max. hodnot U
- 4.- nastává chaos
- 5.- hlavní mezera v chaosu

Pro hodnotu $R=3200\Omega$:

Pro tuto hodnotu již nebyly změřeny všechny fáze, ale jen interval mezery bez chaosu - $R_m \in (80; 75)\Omega$.

Poznámka: mezer bylo naměřeno více, ale jen tato byla zaznamenána jako hlavní.

Pro hodnotu $R=2000\Omega$:

Pro tuto hodnotu byla zjištěna první bifurkace již při $R_m=422\Omega$ a hlavní mezera v chaosu při $R_m \in (273; 247)\Omega$.

3 Shrnutí

Systémy přecházejí z regulérního chování do chaotického velmi náhle. Zvláště těmto přechodům jsme věnovali svou pozornost. Chování systémů nás často překvapovalo (viz. obr. 6 položka 5: díra v chaosu). Obor chaotické dynamiky není dodnes zcela prozkoumán (to čeká na nás...). Jeho poznatky jsou aplikovány v biologii, meteorologii jakožto i v neexaktních oborech, jako je psychologie a sociologie.

Poděkování

Nejvíce děkujeme Vojtovi Svobodovi za poskytnuté informace a čas, který nám věnoval. Naše díky směřujeme samozřejmě také FJFI ČVUT.

Reference:

Korsch H. J., Jodl H.-J.: *Chaos*, Springer-Verlag, 1994

Spektrometrie záření gama

K. Procházková – Gymnázium Písek, karlaprochazkova@seznam.cz
J. Grepl – VOŠ a SPŠ stavební, Náchod, kuba.grepl@seznam.cz
J. Michelfeit – Gymnázium Brno, tř. Kpt. Jaroše, jmichef@seznam.cz
P. Svačina – Arcibiskupské gymnázium v Praze,
sraxuvmail@quick.cz

Supervizor: Ing. Ibrahima Ndiaye – FJFI ČVUT Praha,
ibrahima.ndiaye@utef.cvut.cz

Abstrakt:

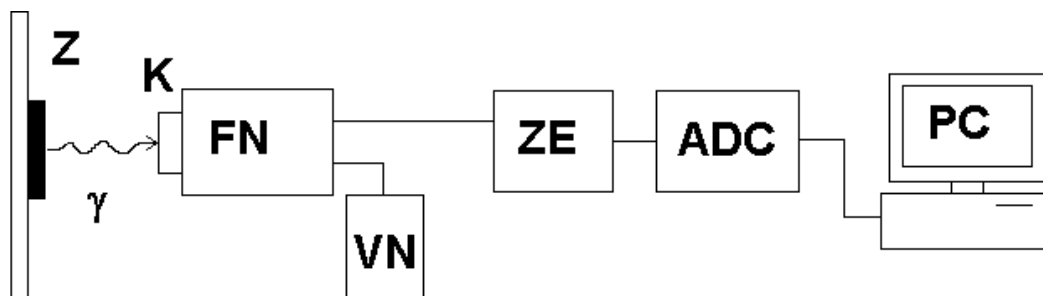
Úkolem naší práce byly tři dílčí měření. Zaprvé jsme měli určit diferenciální spektrum gama záření ^{137}Cs a ^{60}Co . Dále určení neznámého vzorku zářiče na základě zjištěného spektra. Nakonec jsme dostali za úkol stanovit poločas rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$.

1 Úvod

Gama záření je elektromagnetické záření, které vzniká při pochodech v jádrech radionuklidů. Energie jednotlivých fotonů tohoto záření se pohybuje v rozmezí desítek keV až desítek MeV. Díky tomu, že jádro ve vzbuzeném stavu vyzařuje fotony s charakteristickou energií pro každý prvek, lze určit, o který prvek se jedná. Tohoto se dá využít k zjištění zastoupení různých prvků v daném vzorku materiálu i v případě stopového množství a obsahu radioaktivních prvků v životním prostředí.

2 Princip měření

K měření spektra záření gama jsme využívali scintilační spektrometr.



Spektrometr se skládá ze zdroje záření (Z), scintilačního krystalu NaI(Tl) (K), fotonásobiče (FN) připojeného na zdroj vysokého napětí (VN), zesilovače (ZE), analogově-digitálního převodníku (ADC), který převádí amplitudu na čísla a počítače (PC), který vyhodnotí výsledky měření.

Zdrojem záření je zkoumaný vzorek. Fotony záření gama ve scintilačním krystalu interagují s látkou scintilátoru. Přitom vznikají elektrony, které excitují atomy scintilátoru. Ty pak deexcitují za vzniku záblesku viditelného světla (tento záblesk se nazývá scintilace). Vzniklé fotony jsou vedeny na katodu fotonásobiče, z níž vyrážejí fotoelektrony, které jsou usměrněny na systém dynod, z nichž jsou sekundární emisí lavinovitě uvolňovány další elektrony. Takto vznikne dostatečně silný proud elektronů, který po zesílení vedeme na vstup AD převodníku. Digitalizovaný výstup je zpracován v počítači.

Druhy interakcí záření gama se scintilátorem:

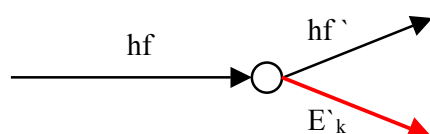
1) Fotoefekt

Je to proces, při kterém foton záření γ vyrazí elektron z atomu scintilátoru (krystal NaI obohacený příměsí Tl). Aby k fotoefektu došlo, musí být vazebná energie elektronu menší než energie fotonu γ . Atom se po fotoefektu nachází ve vzbuzeném (ionizovaném) stavu a jeho deexcitace probíhá prostřednictvím dvou procesů – emisí Röntgenova záření nebo Augerova elektronu.

γ	+	atom	$\rightarrow$	ionizovaný atom	+	fotoelektron
			bud'	$\rightarrow$ atom	+	char. Röntgenovo záření
			nebo	$\rightarrow$ atom	+	Augerův elektron

2) Comptonův rozptyl

Vzniká při srážce fotonu s volným elektronem. Tento jev je patrný při energiích od 200 keV do 5 MeV. Při interakci dopadající foton zaniká, vzniká nový foton s menší energií a zbylou část energie získává odražený elektron. Frekvence záření rozptýleného pod určitým úhlem pak musí vyhovovat rovnici:



$$hf = hf' + E_k$$

3) Elektron – pozitronový pár

Pokud je energie fotonu γ větší než 1,022 MeV přidá se ke Comptonovu rozptylu a fotoefektu tvorba elektron – pozitronových párů. V blízkosti atomového jádra vlivem jaderných sil se foton γ rozpadne na elektron a pozitron o energiích 511 keV a foton o zbytkové energii.

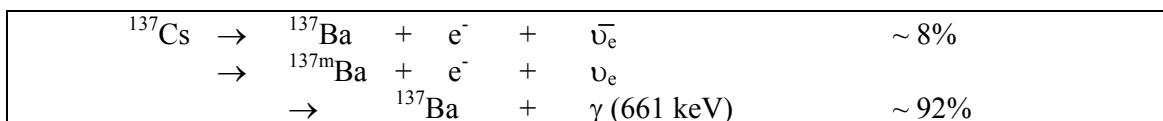
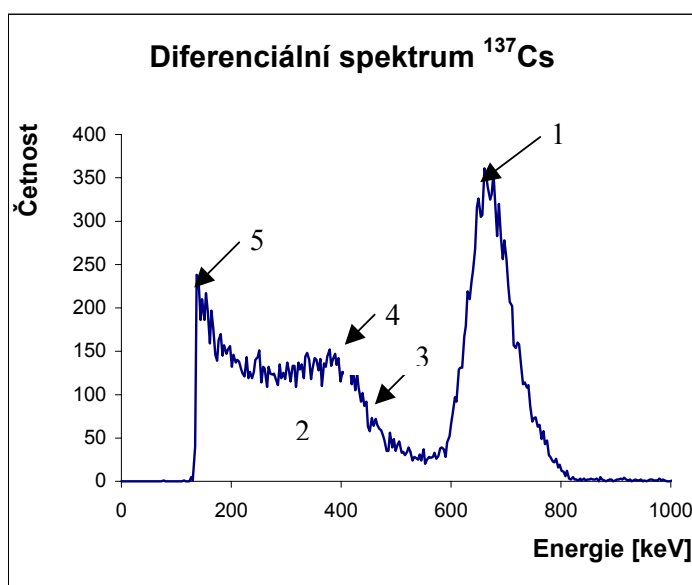
3 Proces měření

Po nahlášení spektrometru, jsme museli zkalibrovat vyhodnocovací program. Kalibrace se provádí za použití vzorků se známými diferenciálními spektry. K tomuto účelu jsme použili vzorky ^{137}Cs a ^{60}Co . Nastavili jsme zesílení tak, aby se spektra obou prvků vešla do rozsahu AD převodníku. Do grafu závislosti četnosti fotonů na jejich energii jsme zároveň zobrazili spektra obou prvků a přiřazením známých hodnot energií dostatečně vzdáleným píkům jsme provedli kalibraci.

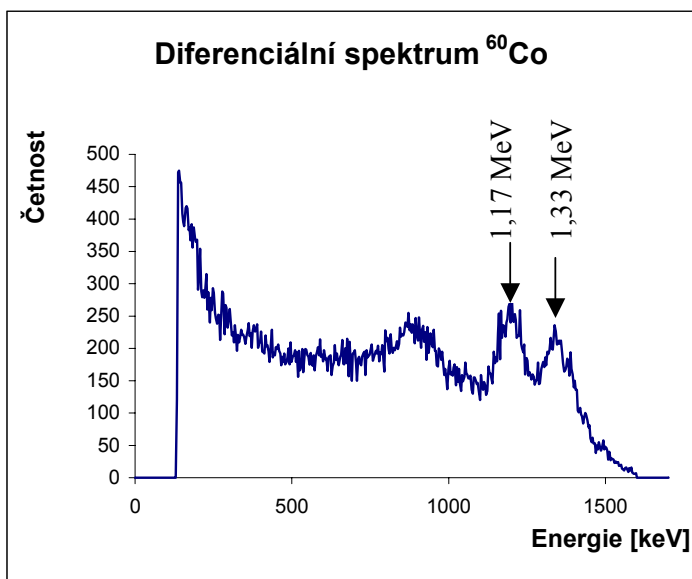
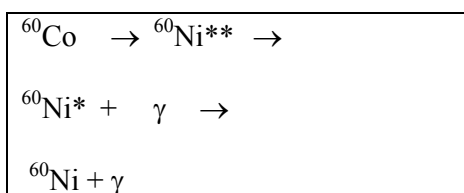
1) K zobrazení celého spektra samotného ^{137}Cs jsme museli znovu provést měření. ^{137}Cs se rozpadá v 8% případů na ^{137}Ba , elektron a elektronové antineutrino. V dalších 92% se přeměňuje na $^{137\text{m}}\text{Ba}$, které se stabilizuje na ^{137}Ba za uvolnění γ záření.

Popis grafu:

- 1 – pík úplného pohlcení E_γ
- 2 – Comptonovské kontinuum
- 3 – Comptonova hrana
- 4 – pík zpětného rozptylu
- 5 – pík úplné absorpce čáry K_α Röntgenova záření z ^{137}Ba



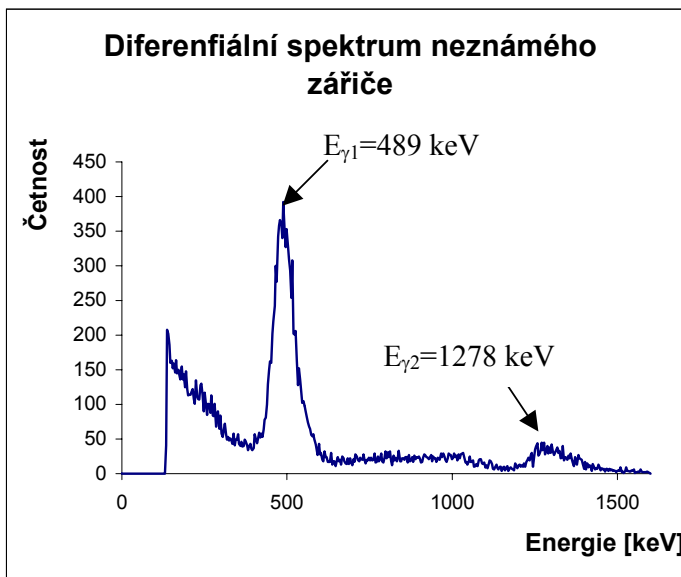
2) K zobrazení celého spektra samotného ^{60}Co jsme museli znovu vyměnit vzorek. ^{60}Co se rozpadá na $^{60}\text{Ni}^{**}$ s poločasem rozpadu 5,2let. $^{60}\text{Ni}^{**}$ má energii 2505 keV. Po vyzáření 1 fotonu s energií 1173 keV se dostane na energii 1332 keV a po vyzáření 2. fotonu přechází do základního stavu.



3) Dalším úkolem bylo určení neznámého vzorku. Ze spektra jsme odečetli počet píků a jejich energii. Spektrum vzorku mělo dva píky o energiích $E_{\gamma 1}=489$ keV a $E_{\gamma 2}=1278$ keV. Poté jsme museli určit rozlišovací schopnost spektrometru. Tu zjistíme tak, že v polovině četnosti píku určíme šířku píku. Tuto šířku vydělíme celkovou energií a vynásobíme 100. Poté dostáváme rozlišovací schopnost v procentech. Z tabulek jsme zjistili, že našim hodnotám s přihlédnutím k rozlišovací schopnosti 13,62% nejvíce vyhovuje ^{22}Na . Tabulková energie píků ^{22}Na je $E_{\gamma 1}=511$ keV a $E_{\gamma 2}=1274,5$ keV.

Pík $E_{\gamma 1}=511$ keV, který jsme našli ve spektru je důsledkem β^+ rozpadu (jádro vyzařuje pozitrony rychlostí světla, které anihilují s elektrony za vzniku dvou fotonů s $E=511$ keV) a tvorbou elektron-pozitronových párů z fotonu s $E=1274,5$ keV, které také anihilují za vzniku dvou fotonů s $E=511$ keV. Fotony se zbylou energií $E=252,5$ keV vytvoří pík, který zanikne v Comptonově kontinuu.

Fotony, které se nedostanou do blízkosti žádného jádra a neanihilují vytvoří pík $E_{\gamma 2}=1274,5$ keV.



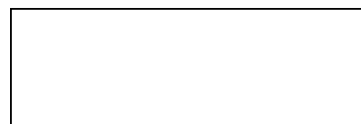
4) Jako poslední jsme dostali za úkol určit poločas rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$. K tomu je třeba použít postupu zvaného dojení krávy. Spočívá ve vymývání $^{137\text{m}}\text{Ba}$ z ^{137}Cs roztokem NaCl. Tento vzorek postavíme na Geiger – Müllerův počítač a poté na impulzovém čítači pozorujeme počet impulsů za určitý časový úsek (v našem případě 100s). Předem máme změřenou aktivitu pozadí. Měření opakujeme do té doby, než se hodnoty nezačnou blížit aktivitě pozadí. Poté měření ukončíme a od všech naměřených hodnot odečítáme průměrnou aktivitu prostředí. Provedli jsme celkem 5 měření po zhruba 12 stosekundových intervalech. U prvních 5 intervalů v každém měření jsme určili hodnotu poločasu rozpadu dle rovnice:

$$T = \frac{t \cdot \log \frac{1}{2}}{\log \frac{N}{N_0}}$$

T – poločas rozpadu
 t – délka intervalu
 N_0 – počet jader na začátku intervalu
 N – počet jader na konci intervalu

Aritmetický průměr ze všech intervalů je přibližným poločasem rozpadu metastabilního radionuklidu $^{137\text{m}}\text{Ba}$.

$$T = 163,8 \text{ s}$$



4 Shrnutí

Ačkoli nikdo z nás netušil, co od miniprojektu může čekat, byli jsme všichni mile překvapeni jeho zajímavostí a kvalitou výsledků. Ty nejenže potvrdily předchozí měření ostatních velkých badatelů, ale přinesly nám i mnohé užitečné zkušenosti při laboratorní praxi. Velice nás potěšilo určení neznámého prvku na ^{22}Na a zjištění poločasu rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$ $T=163,8\text{s}$.

Poděkování

Zaprvé musíme poděkovat FJFI ČVUT za to, že jsme mohli tento miniprojekt vůbec realizovat, a Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc a kolektivu za výbornou organizaci. Dále Prof. Ing. Zdeňkovi Janoutovi, CSc za přípravnou teoretickou přednášku, písemné podklady a další praktické rady. Zvláštní poděkování patří i našemu supervizorovi Ing. Ibrahimovi Ndiayemu, který nám vždy vše ochotně vysvětlil a ukázal. A nakonec děkujeme společnosti ČEZ za poskytnutí dojně krávy.

Reference:

- [1] MATĚJKA, K.: *Vybrané analytické metody pro životní prostředí* ČVUT 1998 43-48
- [2] KOLEKTIV KATEDRY FYZIKY: *Fyzikální praktikum II* ČVUT 1989 139-141
- [3] ŠTOLL, I.: *Fyzika mikrosvěta* Prometheus 2002 48-49

Rezonanční jevy v mechanických a elektrických systémech

M. Kadlec - Gymnázium Jiřího z Poděbrad
O. Knybel - Gymnázium Ch. Dopplera, Praha
O. Kvítek - Gymnázium Hejčín, Olomouc
R. Řezníček - Gymnázium Český Brod
Supervizor: ing. Ibrahima Ndiaye - FJFI ČVUT

Abstrakt:

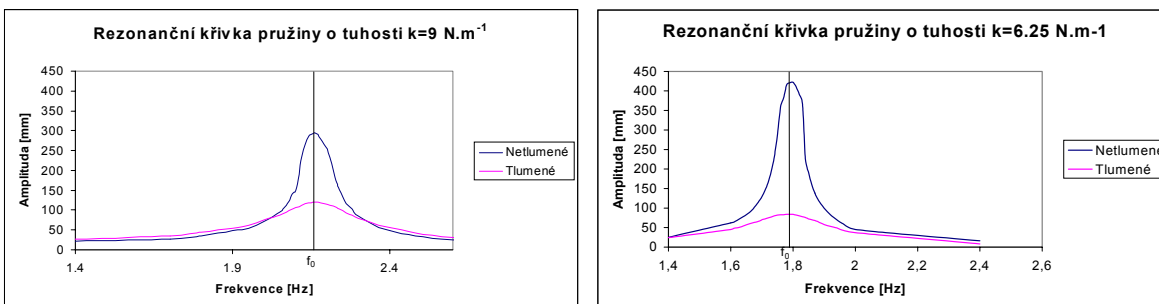
Naším cílem bylo pozorovat a následně porovnat rezonanční jevy na mechanických a elektrických systémech. Důvodem našeho zájmu byl častý výskyt daného jevu v přírodě a v mnohých technických oborech. Výsledkem zkoumání mechanických vlastností dvou pružin o tuhostech $k_1 = 9 \text{ Nm}^{-1}$ a $k_2 = 6,25 \text{ Nm}^{-1}$ a elektrických vlastností RLC obvodu byly rezonanční křivky uvedené v grafech. Z pozorování vyplynula analogie mezi mechanickými a elektrickými veličinami viz. tabulka v závěru.

1 Úvod

Mechanická i elektrická rezonance se vyznačuje shodou frekvence vlastních kmitů mechanické konstrukce či RLC obvodu s frekvencí kmitání generovaného nějakým budícím zdrojem. Existuje-li mezi tímto zdrojem a rezonančním systémem vazba přenášející generované budící kmitů, je systém uveden do rezonančního kmitání. Mění-li se frekvence budících kmitů v širším frekvenčním rozsahu, existuje stálý poměr budících a tzv. vynucených kmitů systému mimo interval frekvencí. V něm se kmitání zvětšuje až do frekvence rezonanční a pak opět klesá na úroveň kmitů vynucených. Velikost rezonančního kmitání je omezena tlumením systému.

2 Rezonance mechanického oscilátoru

Nejdříve jsme změřili tuhosti obou pružin. Na nucené kmitání jsme použili mechanický vibrátor SF-9324 a měnili postupně jeho frekvenci v rozmezí 1 Hz. Výsledné výchylky amplitudy můžete vidět v grafech níže. Při pohledu na grafy je zřejmé, že pružina s menší tuhostí dosáhla v rezonanci vyšší amplitudy. Při tlumení Foucoultovými proudy vykazovala tato pružina menší amplitudu.



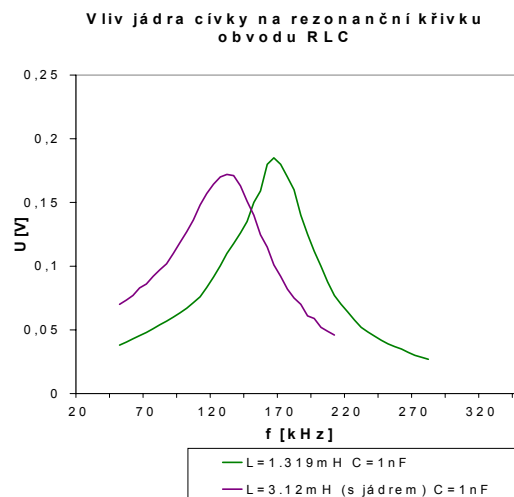
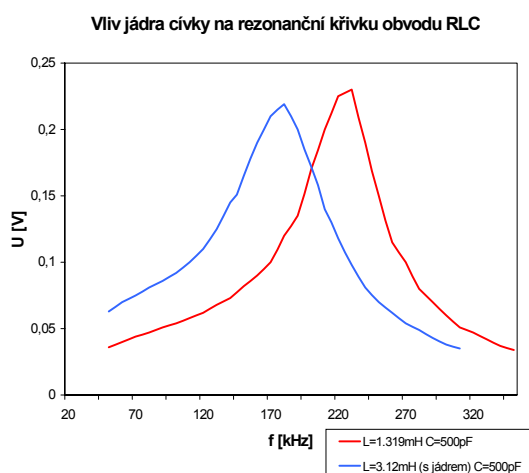
3 Rezonance na obvodech RLC

Při měření na paralelních rezonančních obvodech RLC jsme použili 2 generátory funkcí GoldStar F6-8002, čítač TESLA BK 130, elektronický voltmetr TESLA BK 128, digitální osciloskop Hameg Instruments HM 407-2, laditelný kapacitní normál TESLA, odporovou dekádu a cívku s 2 vinutími (stejnoseměrný odpor snímaného vinutí 18,8 Ω , 22,6 Ω při měření střídavým proudem (50 Hz)). Zkoumali jsme chování obvodu a rezonanční křivky při parametrech uvedených v tabulce vpravo. Výsledky našich měření jsou zaneseny v grafech a v oscilogramech. Při měření jsme vycházeli z následujících vztahů:

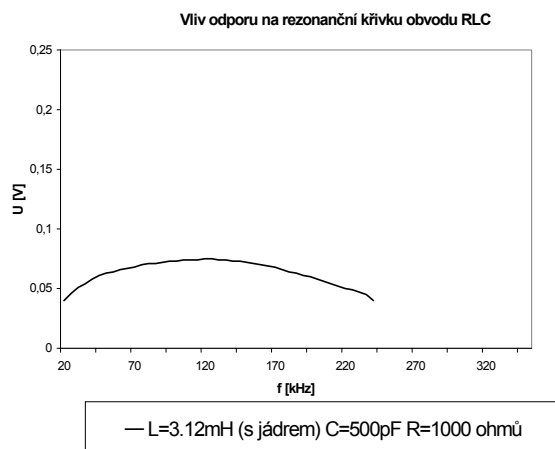
$$\omega_0^2 = 1/LC \quad Q = \omega_0 L/R \quad T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \omega_0 = \sqrt{[(LC)^{-1} - (R/L)^2]} \quad Q = \sqrt{3} \cdot f_0 / 2(f - f_0),$$

kde f_0 je rezonanční frekvence a f je v polovině výšky rezonanční křivky

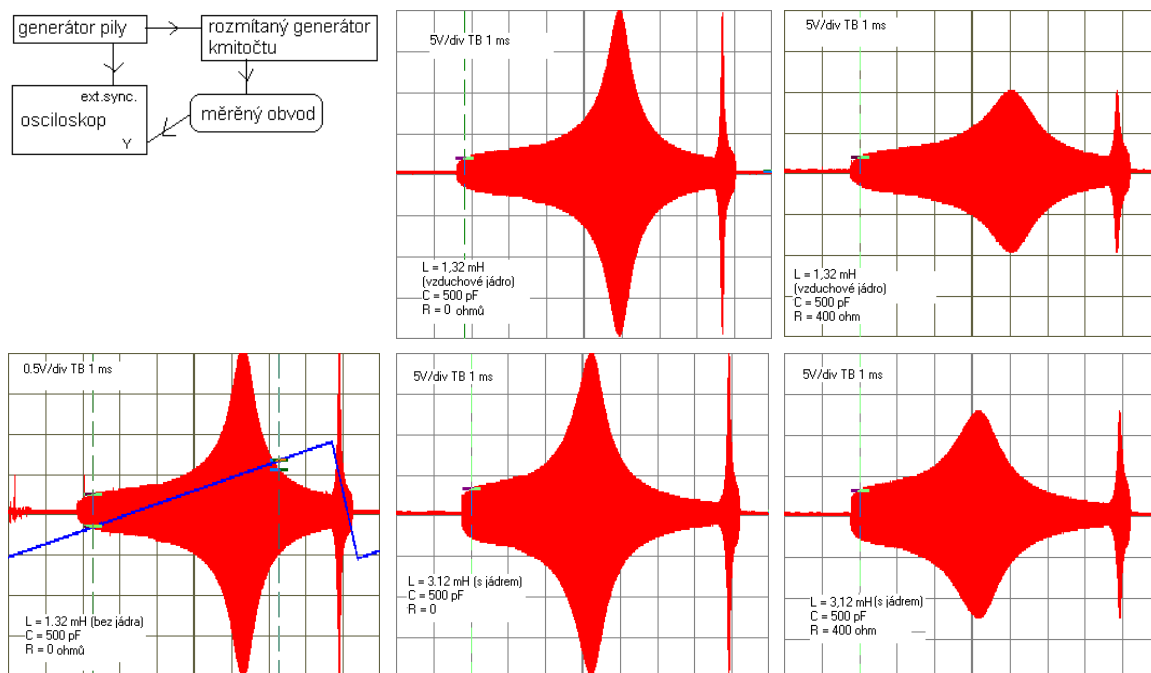
L	C	R	Způsob měření
1,32 mH	500 pF	0 Ω	ručně a rozmitáním
1,32 mH	1 nF	0 Ω	ručně
3,12 mH	500 pF	0 Ω	ručně a rozmitáním
3,12 mH	1 nF	0 Ω	ručně
3,12 mH	500 pF	1 k Ω	ručně
1,32 mH	500 pF	400 Ω	rozmitáním
3,12 mH	500 pF	400 Ω	rozmitáním



Grafy vycházejí z ručně naměřených hodnot (krok 5 – 10 kHz). Z grafů je patrný vliv jádra a odporu na kvalitu rezonančního obvodu a na jeho rezonanční frekvenci.



Oscilogramy (viz níže) byly sejmuty za pomoci zapojení na způsob rozmitáče (viz blokové schéma). Kmitočet generátoru pily byl přibližně 1 kHz. Vlivy parametrů na vlastnosti obvodů jsou zde také patrné. Za zmínku stojí poslední z oscilogramů, na němž, na rozdíl od grafů, snímaný obvod vykazuje vyšší kvalitu s jádrem než bez něj, což však, vzhledem ke kvalitě cívky a velikosti odporu, vychází z rovnice $Q = \omega_0 L/R$.



4 Shrnutí

Vypracováním projektu jsme kromě posouzení kvality zkoumaných rezonančních systémů (viz strmost rezonanční křivky v grafech a oscilogramech) také ověřili analogii rezonančních jevů na mechanických a elektrických systémech. Paralelnost jednotlivých vlastností je zřejmá z následující tabulky:

Všeobecná charakteristika	Mechanická vlastnost	Elektrická vlastnost
nezávislá proměnná	čas t	čas t
závislá proměnná	poloha x	náboj Q
setrvačnost	hmotnost m	indukčnost L
Pružnost	pružnost k	$(\text{kapacita})^{-1} 1/C$
Odpor	koefficient tření $c=\gamma m$	odpor $R=\gamma L$
rezonanční frekvence	$\omega_0^2=k/m$	$\omega_0^2=1/LC$
Perioda	$T=2\pi\sqrt{m/k}$	$T=2\pi\sqrt{LC}$
koefficient jakosti	$Q=\omega_0/\gamma$	$Q=\omega_0 L/R$

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat za podporu a poskytnutí technického zázemí FJFI ČVUT Praha, především vedoucímu FT 2003 ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. (KF FJFI ČVUT) a supervizorovi našeho projektu ing. Ibrahimu Ndiaye.

Reference:

- [1] KOLEKTIV KATEDRY FYZIKY: *Fyzikální praktikum II* Ediční středisko ČVUT, 1989
- [2] HORÁK, Z.: *Praktická fyzika* Státní nakladatelství technické literatury, 1957
- [3] SVOBODA, E.: *Přehled středoškolské fyziky* Prometheus, 1996

Základní experimenty s lasery

O. Dobrý¹, O. Hotový², O. Petřík³, R. Uhlířová⁴
Gymnázium Plasy¹, Gymnázium tř. Kpt. Jaroše Brno², Gymnázium
Čajkovského Olomouc³, Gymnázium Dr. K. Polesného Znojmo⁴

Abstrakt:

Cílem této práce bylo prozkoumat chování paprsku He-Ne laseru na štěrbinách a difrakčních mřížkách a možnosti praktického využití tohoto chování. Konkrétně se jednalo o difrakci a následnou interferenci paprsku. Pomocí těchto jevů lze zkoumat vlastnosti laseru i štěrbin a mřížek, jak ukazují provedená měření. Pomocí nich jsme byli schopni určit vlnovou délku laseru, vzdálenost štěrbin na cloně s více štěrbinami, mřížkovou konstantu difrakční mřížky i kompaktního disku.

1 Úvod

- I. Ohyb (difrakce) na štěrbině – laserový paprsek dopadá kolmo na štěrbinu svým rozměrem srovnatelnou s vlnovou délkou světla, po průchodu nastává ve společné části prostoru skládání vln (interference) a na vzdálené projekční ploše se vytváří interferenční obraz, na němž můžeme pozorovat světlé (volněji nazývané též maxima) a tmavé proužky (volněji minima). Známe-li vzdálenosti středů maxim nebo minim, vzdálenost štěrbin od projekční plochy a šířku štěrbin, jsme schopni určit vlnovou délku laseru.
- II. Vícenásobná štěrbina – při průchodu paprsku vícenásobnou štěrbinou vznikají na stínítku tzv. hlavní maxima, která jsou na rozdíl od maxim vznikajících na jedné štěrbině složena z maxim vedlejších.
- III. Difrakční mřížka – tenká skleněná destička, do níž jsou v pravidelných intervalech vyryty rovnoběžné, stejně široké vrypy. Difrakční mřížky mohou být konstruovány pro průchod nebo odraz dopadajícího paprsku.
- IV. Michelsonův interferometr – soustava dvou zrcadel, polopropustného děliče svazku a laserového zdroje. Paprsek dopadající na dělič svazku se částečně odrazí a částečně projde. Přes rovinná zrcadla se oba paprsky vrátí zpět na rozhraní a odrazí se, resp. projdou, interferují a dopadají na stínítko, kde vytváří interferenční obraz (kroužky nebo proužky).

2 Výsledky experimentů

I. Určování vlnové délky paprsku He-Ne laseru ohybem na štěrbíně

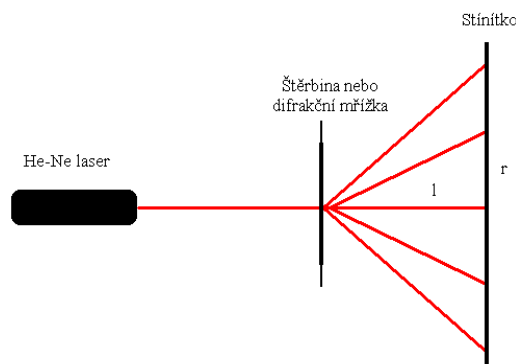


Schéma sestavení aparatury při měřeních I., II. a III.

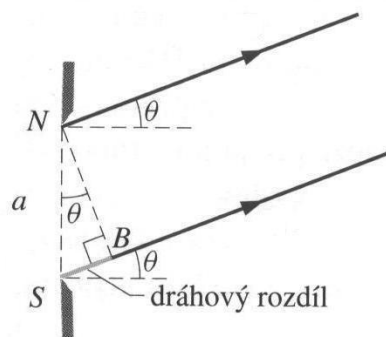


Schéma difrakce na jedné štěrbíně

Při určování vlnové délky pomocí interferenčních obrazců jsme používali vztahu:

$$\lambda = \frac{2 \times a \times \sin \varphi}{2k + 1} \quad \text{kde } \varphi = \arctg \frac{r}{l}$$

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	a [mm]	φ [rad]	λ_e [nm]
1	2350	7,575	0,27	0,003251	585,19
2	2350	12,55	0,27	0,005386	581,71

Průměrná hodnota zjištěné vlnové délky $\lambda_e = 583,45$ nm přibližně odpovídá skutečné vlnové délce He-Ne laseru $\lambda = 632,8$ nm.

II. Experimenty s vícenásobnými štěrbínami a určování vzdálenosti mezi dvěma štěrbínami

Experimenty s vícenásobnými štěrbínami odhalily skutečnost, že na stínítku se tvoří interferenční obrazce s různým počtem vedlejších maxim (pro trojštěrbinu je jedno vedlejší maximum mezi dvěma hlavními, pro pětištěrbinu jsou takováto vedlejší maxima dvě) a došlo k pořízení fotozáznamů.

Na dvojštěrbině jsme pomocí interferenčních obrazců určili vzdálenost mezi štěrbínami použitím vztahu:

$$d = \frac{k \times \lambda}{\sin \varphi}$$

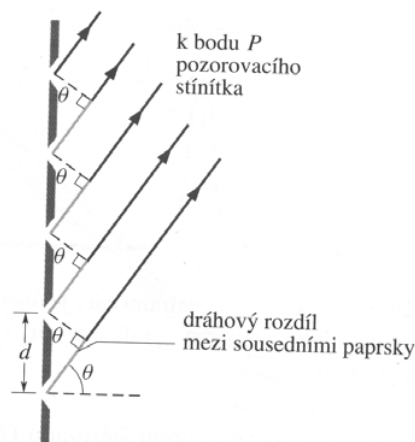


Schéma difrakce na vícenásobné štěrbině či mřížce

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	λ [nm]	φ [rad]	d [mm]
1	2440	15,35	632,8	0,006291	0,1006
2	2440	30,80	632,8	0,012622	0,1003

Zjištěná průměrná hodnota vzdálenosti mezi šterbinami $d = 0,10055 \text{ mm}$ se blíží hodnotě $d' = 0,11251 \text{ mm}$ naměřené pro srovnání pod mikroskopem.

III. Určování mřížkové konstanty difrakční mřížky na průchod a odraz (kompaktní disk)

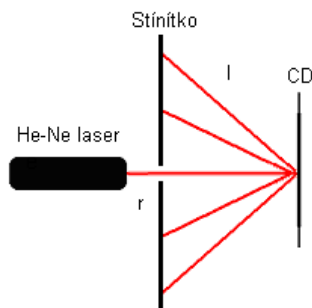


Schéma sestavené aparatury při práci s CD

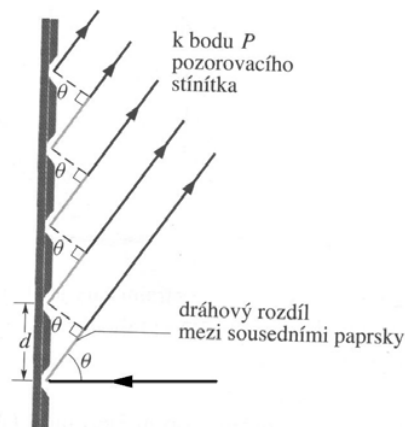


Schéma odrazné difrakční mřížky na povrchu kompaktního disku

Při určování mřížkové konstanty obou difrakčních mřížek pomocí interferenčních obrazců (tzv. čar) jsme používali vztah:

$$d = \frac{k \times \lambda}{\sin \varphi}$$

Difrakční mřížka na průchod:

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	λ [nm]	φ [rad]	d [mm]
1	1035	431	632,8	0,394585	0,001646
2	1035	1231	632,8	0,875661	0,001648

Průměrná zjištěná hodnota mřížkové konstanty $d = 0,001647 \text{ mm}$ se blíží skutečné (na mřížce uvedené) hodnotě mřížkové konstanty $d' = 0,001667 \text{ mm}$.

Difrakční mřížka na odraz (kompaktní disk):

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	λ [nm]	φ [rad]	d [mm]
1	607	263,0	632,8	0,408862	0,001592
2	607	809,5	632,8	0,927394	0,001582

Průměrná zjištěná hodnota mřížkové konstanty kompaktního disku je $d'' = 0,001587 \text{ mm}$.

IV. Určování vlnové délky paprsku He-Ne laseru pomocí Michelsonova interferometru

Na stínítku Michelsonova interferometru vznikají interferenční kroužky. Při přiblížení zrcadla M_2 o Δx dojde k mizení kroužků ve středu obrazce. Z toho lze vypočítat vlnovou délku použitého světla při použití vztahu: $\lambda = \frac{2 \times \Delta x}{k}$.

k	Δx [mm]	λ' [nm]
100	0,0328	656

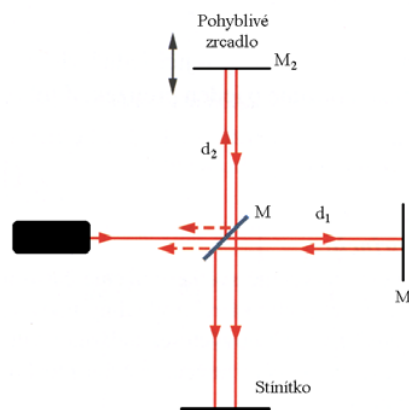


Schéma Michelsonova interferometru

Zjištěná hodnota vlnové délky laseru $\lambda' = 656 \text{ nm}$ se příliš neliší od skutečné hodnoty $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

3 Shrnutí

Za cíle projektu bylo stanoveno následující: prozkoumání difrakčních a interferenčních jevů a možnosti jejich praktického využití.

Během projektu jsme pozorovali interferenční obrazce vznikající na stínítku a pořídili z pozorování fotodokumentaci.

Ověřili jsme, že použité metody umožňují pomocí relativně jednoduchých měření délkovými měřidly v řádech cca 10^{-3} m změřit velikosti v řádech až 10^{-9} m .

Obou cílů tedy bylo dosaženo.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI za poskytnutí zázemí pro práci na tomto miniprojektu a našemu supervisorovi Ing. Liboru Škodovi za teoretickou i praktickou podporu.

Reference:

- [1] HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J.: *Fyzika – Část 4*. Nakladatelství Vitium, Nakladatelství Prometheus, 2000, - str. 950 – 967, 978 – 995.
- [2] HORÁK, Z. – KRUPKA, F. – ŠINDELÁŘ, V.: *Technická fyzika* MÍR, 1961, str. 1211 - 1213.
- [3] Kolektiv katedry fyziky: *Fyzikální praktikum* Ediční středisko ČVUT, 1989.

Absorpce světla v pevných látkách

M. Cetkovský*, H. Havliš**, J. Mach***

* Gymnázium Zlín, webmaster@alikuvkoutek.cz

** Gymnázium Nad Kavalírkou, Praha 5, okl.hyn@seznam.cz

*** SGaGy Kladno, j_mach@seznam.cz

Abstrakt:

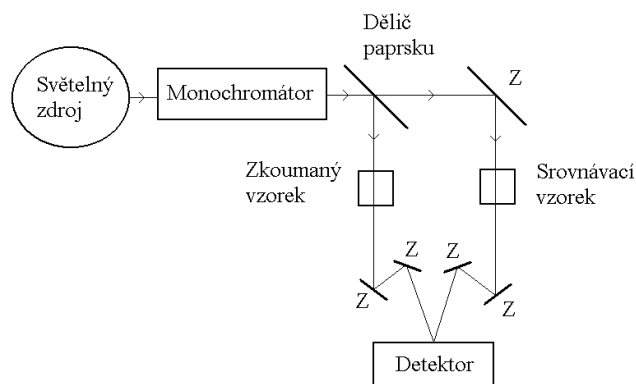
Změřili jsme spektrální závislost transmise skleněných hranových filtrů OG 570 různé tloušťky (2 mm a 3 mm), tenkých vrstev oxidu germanitého na křemenném substrátu a slunečních brýlí. Na základě těchto měření jsme spočítali spektrální závislost absorpčního koeficientu filtru OG 570, tloušťky tenkých vrstev (782 nm a 327 nm) ve výtečném souhlasu s údaji výrobce (759 nm a 312 nm) a posoudili kvalitu slunečních brýlí z hlediska ochrany zraku před škodlivým vlivem ultrafialového záření.

1 Úvod

Měření spektrální závislosti propustnosti světla vzorkem nachází četná využití ve fyzikálních měřeních. V našem případě jsme využili této experimentální metody ke stanovení tloušťky tenké vrstvy, určení absorpčního koeficientu hranového filtru a zjištění kvality slunečních brýlí zakoupených na tržnici.

2 Experimentální zařízení a studované vzorky

Měření transmise (propustnosti) jsme provedli na dvoupaprskovém absorpčním spektrofotometru Specord UV VIS, jehož blokové schéma je na obr. 1 [1]. Světelný zdroj je tvořen jednak klasickou žárovkou s wolframovým vláknem pro viditelnou oblast spektra a jednak deuteriovou výbojkou pro ultrafialovou část spektra. V monochromátoru je světlo rozloženo, takže paprsek procházející vzorkem je tvořen pouze světlem z úzké oblasti vlnových délek, tudíž ho můžeme považovat za monochromatický. Změna vlnové délky se realizuje otáčením hranolu v monochromátoru. Monochromatický paprsek střídavě prochází zkoumaným a referenčním (srovnávacím) vzorkem. Tím je například umožněno měření transmise vrstev nanesených na průhledné podložce nebo roztoků v kyvetě. Pomocí zrcadel je pak prošlé světlo odráženo do detektoru, který střídavě zaznamenává intenzitu světla procházejícího zkoumaným a referenčním vzorkem. Výstupní signál detektoru, který představuje podíl intenzit obou paprsků, je pomocí sériové linky přenášen do počítače a zaznamenáván jako funkce vlnové délky.

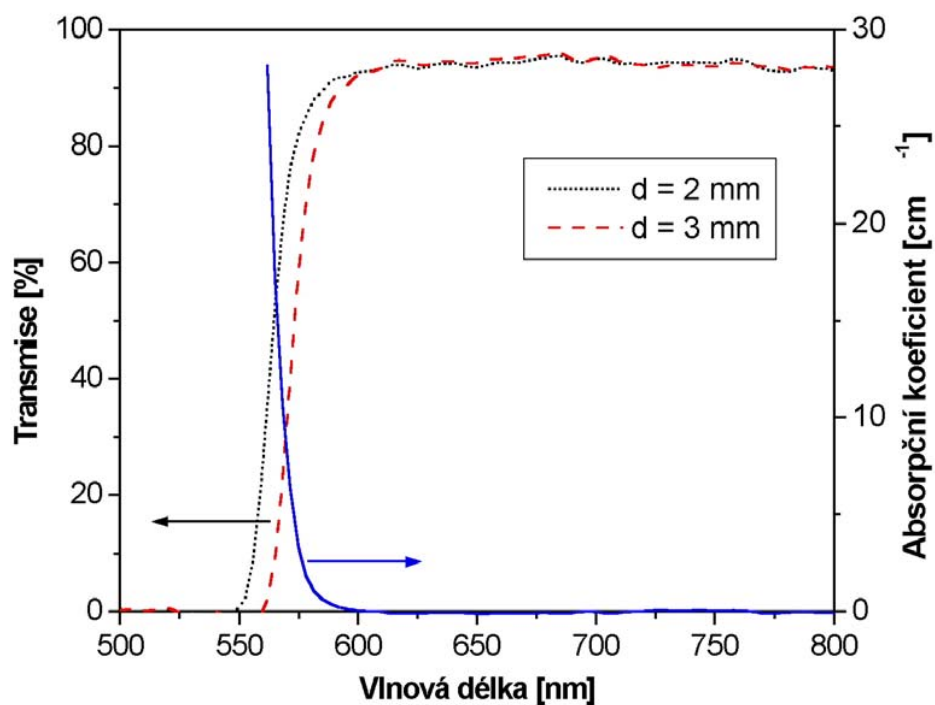


Obr. 1. Blokové schéma dvoupaprskového absorpčního spektrofotometru.

Změřili jsme transmissi dvou filtrů OG 570 o tloušťkách 2 a 3 mm, dvou tenkých vrstev oxidu germaničitého na křemenné podložce GeO-759 a GeO-312 a slunečních brýlí zakoupených na tržnici.

3 Výsledky měření

Na obr. 2 je znázorněna spektrální závislost propustnosti dvou hranových filtrů OG 570 o tloušťce 2 a 3 mm změřená v oblasti vlnových délek 500 až 800 nm. Ze změřených závislostí jsme vypočetli spektrální závislost absorpčního koeficientu materiálu tvořícího filtr znázorněnou na obrázku.



Obr. 2. Transmise hranových filtrů OG 570 o tloušťce $d = 2$ a 3 mm a vypočtená spektrální závislost absorpčního koeficientu materiálu, z něhož jsou vyrobeny.

Výpočet jsme provedli pomocí vztahu:

$$\alpha = \frac{1}{d_2 - d_1} \ln \frac{T_1}{T_2}$$

kde T_1 je transmise filtru o tloušťce $d_1 = 2$ mm a T_2 je transmise filtru o tloušťce $d_2 = 3$ mm [2]. Tímto způsobem je možné stanovit absorpční koeficient materiálu, aniž známe velikost jeho reflektivity.

Propustnost vrstev oxidu germaničitého v oblasti vlnočtů (převrácená hodnota vlnové délky) 12 500 až 29 000 cm^{-1} je znázorněna na obr. 3. Z polohy dvou po sobě následujících minim ν_1 a ν_2 v okolí 20 000 cm^{-1} ve znázorněných spektrálních závislostech transmise jsme vypočítali tloušťku zkoumaných vrstev pomocí vztahu:

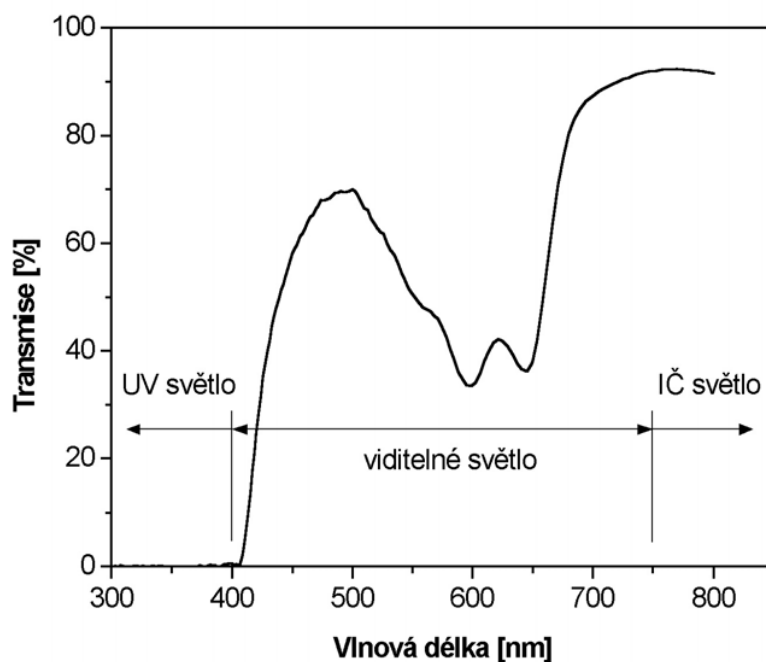
$$d = \frac{1}{2n(\nu_1 - \nu_2)}$$

kde $n = 1,57$ je index lomu oxidu germaničitého [2]. Pro vrstvu GeO-759 byla stanovena tloušťka 782 nm a pro vrstvu GeO-312 tloušťka 327 nm. Tyto hodnoty velmi dobře korespondují s tloušťkami uvedenými výrobcem (759 nm a 312 nm).



Obr. 3. Transmise vrstev GeO_2 napařených na křemenném substrátu o různých tloušťkách.

Oblastí našeho zkoumání bylo i ověření oprávněnosti nálepky „UV filtr“ na slunečních brýlích z tržnice. Jak můžeme vidět na obr. 4, brýle v ultrafialové části spektra světlo vůbec nepropouští. Z grafu je také vidět, že ve větší míře absorbují i světlo v okolí vlnové délky 600 nm.



Obr. 4. Transmise slunečních brýlí.

4 Shrnutí

Ověřili jsme si, že změřením propustnosti lze velmi přesně určit tloušťku tenkých vrstev, a to mnohem přesněji, než jsme očekávali. Chyba v měření byla v řádu několika procent (3% a 5%). Seznámili jsme se s metodou určování absorpčního koeficientu materiálu bez nutnosti znalosti jeho reflektivity. Nezávisle jsme prověřili kvalitu slunečních brýlí. Zjistili jsme, že vzhledem ke své nízké ceně (100 Kč) jsou tyto brýle z hlediska ochrany očí před ultrafialovým světlem překvapivě kvalitní.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našim supervizorům (Ing. Zdeněk Potůček a Ing. Pavel Ptáček), FJFI ČVUT Praha, Vojtovi Svobodovi a ostatním organizátorům FT 2003.

Reference:

- [1] HENDERSON, B. – IMBUSCH, G. F.: *Optical Spectroscopy of Inorganic Solids*, Clarendon press, 1989.
- [2] *Návod k úloze „Určování absorpčního koeficientu“ fyzikální praktika katedry inženýrství pevných látek FJFI.*

Neutronový čítač

J. Cabrnach, J.Soukup, D.Tekverk, T.Kaderka

SGaGy Kladno, G Kladno, G Elišky Krásnohorské, G Vídeňská
jcabrnach@seznam.cz, j_soukup@seznam.cz, neofipage@quick.cz, groll@centrum.cz

Supervisor Ing. V. Cháb

Abstrakt

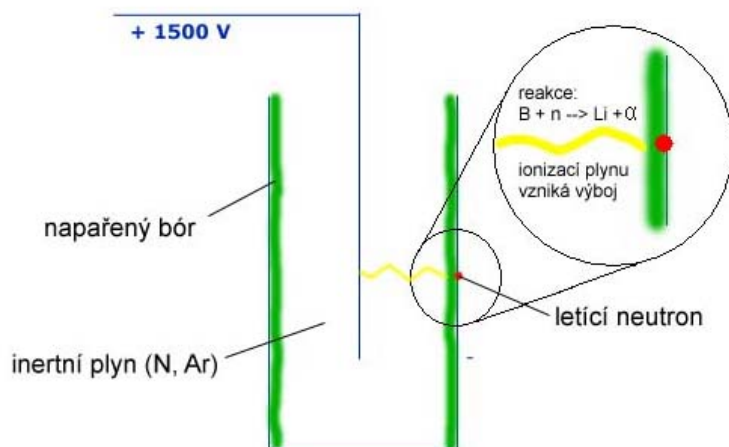
Při štěpení uranu v reaktoru vznikají neutrony, ty jsou detekovány například bórovými detektory. V detektoru dochází k ionizaci a každý neutron je detekován jako elektrický výboj. Počet neutronů odpovídá výkonu reaktoru. Cílem naší práce je sestavit zařízení, které by v reálném čase zobrazovalo počet registrovaných pulsů.

1 Úvod

Cílem našeho miniprojektu bylo sestavit neutronový čítač a seznámit se s jeho funkcí a využitím. Neutronový čítač je součástí bezpečnostního i řídicího systému jaderného reaktoru. Ukazuje s jakou intenzitou probíhá štěpná řetězová reakce, čímž monitoruje výkon reaktoru.

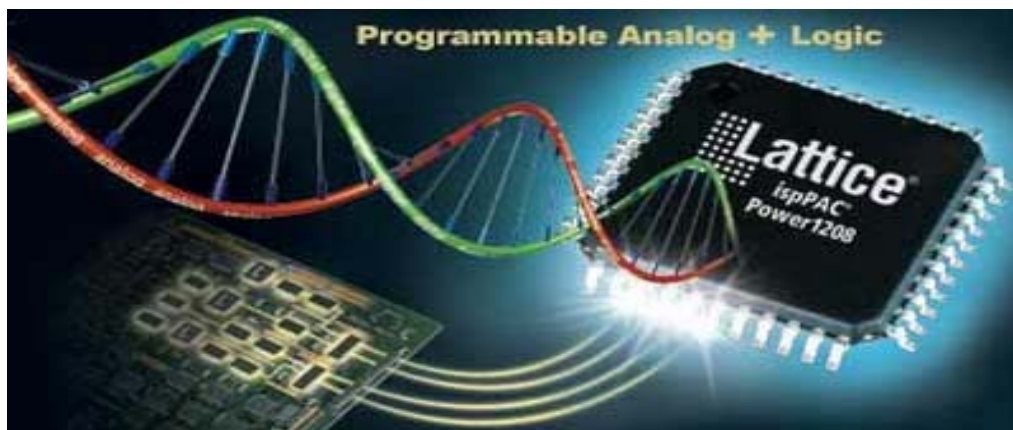
2 Neutronový čítač

Detektor neutronů se skládá ze dvou elektrod, kde záporná obklopuje kladnou a mezi nimi je inertní plyn, např. dusík. Na stěnách válcové elektrody je napařena vrstvička bóru. Při srážce letícího neutronu s jádrem bóru se uvolní alfa částice, která ionizuje plyn. To způsobí, že mezi elektrodami přeskóčí elektrický puls. Ten je upraven elektronickými zesilovači a tvarovači na TTL signál, který je zaznamenán neutronovým čítačem. Počet zaregistrovaných neutronů udává výkon reaktoru.



Základem neutronového čítače jsou programovatelná logická pole (PLA). PLA jsou křemíkové destičky, do nichž lze implementovat libovolnou logickou funkci a je možné programovat je přímo na desce plošného spoje. Logické obvody jsou elektrické obvody, které obsahují logické funkce, například AND, OR, XOR apod. Jejich zřetěžením dostaneme obvod, který je schopen vykonávat složitější funkce. Funkce PLA můžeme definovat pomocí programovacího jazyka ABEL a nahrát přes LPT port standardního PC. Počet přeprogramování PLA je kolem 300000 cyklů.

Programovatelná pole nemají dlouhou historii. Roku 1984 je vynalezla americká firma XILINX, která je nyní jejich největším světovým výrobcem. V našem pokusu byl použit výrobek firmy Lattice.



Obrázek: Programovatelné logické pole

4 Výsledky

Náš neutronový čítač jsme sestavili ze 4 programovatelných polí, displeje, několika tlačítek a LED-diod. Při pokusu jsme jaderný reaktor nahradili generátorem pulsů s proměnnou frekvencí. Pro naprogramování hradlového pole jsme použili program ispEXPERT a programovací jazyk ABEL. Na následujících několika řádcích si můžete prohlédnout část zdrojového kódu:

```
MODULE COUNTER
TITLE 'Neutron counter 16.6 2003'
DECLARATIONS
    citac10 interface ([CLOCK,RESET] ->[Q3..Q0]);
    cj functional_block citac10;
    cd functional_block citac10;
" Constants
    Frequency = 10000000; " oscillator frequency
    Low, High, X, Z = 0, 1, .X., .Z.
    But1, But2, But3 PIN 32,31,62; "-, -, reset
    clock PIN 15; " hodinovy vstup od krystalu// Sbernice
    Rb0, Rb1, Rb2 PIN 96,95,94 ISTYPE 'COM';
"delicka" g0 .. g23 NODE ISTYPE 'reg';
    delicka=[g23 .. g0]; //prirazení vektoru delice
"prirazení vektoru sbernicim
    dis0=[Rb3 .. Rb0];
    r0 .. r31 NODE ISTYPE 'reg';
    reg0=[r3 .. r0];
    reg1=[r7 .. r4];

EQUATIONS
    zpozdeni.clk =clock;
    delicka.clk=clock;
    cj.RESET=reset#(zpozdeni&pracuj);
    cj.CLOCK=impuls&pracuj;
    reset= !But3;
    reset.clk=g15;
    galCLK = limit;
    Out1 = !pracuj;
END COUNTER

Registr = [r31 .. r0];
//telo programu
```


5 Shrnutí

Podařilo se nám sestavit funkční neutronový čítač s funkcemi Start – zahájí čítání; Stop – ukončí čítání a ponechá zobrazený výsledek na displeji; Reset – vynuluje displej a paměť čítače; Průběžné čítání – při podržení tlačítka můžeme na displeji sledovat průběžné načítání pulsů. Při normální činnosti se na displeji zobrazuje počet pulsů načtených za 1 vteřinu. Aktuální stav čítače zobrazují LED-diody (start=nesvítí, stop=svítí).

Poděkování

Rádi bychom poděkovali organizátorům Fyzikálního týdne za uspořádání této zajímavé akce a Ing. Vlastislavu Chábovi za odbornou pomoc při realizaci miniprojektu.

Reference:

- [1] Jean-Michel Bernard: *Od logických obvodů k mikroprocesorům*
- [2] ABEL – *DHL Reference Manual*
- [3] vr1.fjfi.cvut.cz
- [4] www.latticesemi.com

Analýza stříbrných mincí pomocí ionizujícího záření

M.Linka – Česko-anglické gymnasium, České Budějovice
email: miliklinka@centrum.cz

M.Tatarkovič – gymnasium Jiřího Wolкера, Prostějov
email: m.tatarkovic@centrum.cz

J.Zapletal – gymnasium Vídeňská 47, Brno
email: yaplik@atlas.cz

supervisor: Ing. J. Blaha

Abstrakt:

Předmětem našeho zkoumání byla analýza stříbrných mincí za účelem zjištění jejich kvalitativního složení pomocí radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy. Pro měření jsme použili polovodičový Si(Li) detektor a radionuklidový zdroj ^{238}Pu . Výstup jsme analyzovali a určili složení mincí.

1. Úvod

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza je metoda, která využívá charakteristické záření vybuzevané ve vzorku k určení přítomnosti zájmových prvků. Pomocí této metody lze určit jak složení zkoumaného vzorku, tak poměrné zastoupení přítomných látek. Nelze však stanovit jednotlivé koncentrace prvků, které je možno samozřejmě určit za pomoci jiných metod.

2. Princip metody

Analýza s využitím emise charakteristického záření X má své základy již v roce 1913, kdy H.G.J. Moseley zjistil, že antikatoda rentgenky emituje záření X s čarami charakteristickými pro prvky obsažené v antikatodě a energie tohoto záření je jednoznačnou funkcí protonového čísla Z . Tuto skutečnost vyjádřil tzv. Moseleyovým zákonem

$$E \approx K(Z - b)^2,$$

kde K a b jsou konstanty, Z je protonové číslo a E je energie čáry v dané sérii, této sérii odpovídá hodnota K . Z energie příslušné čáry je možné stanovit, jakým prvkem byla emitována a jeho poměrné zastoupení ve zkoumaném předmětu. Dopadající budící záření je vzorkem částečně absorbováno, dochází k tzv. fotoefektu, nebo je na atomech vzorku rozptýleno. V důsledku fotoefektu excitované atomy emitují charakteristické záření X a augerové elektrony, které můžeme detekovat a tak určit složení a poměr prvků ve zkoumaném objektu.

3. Experimentální zařízení

Jako nejvhodnější zdroj budícího záření jsme použili radionuklidový zdroj ^{238}Pu . Lze použít i jiné radionuklidové zdroje budícího záření např. ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{241}Am , ^{57}Co . Každý z těchto zdrojů záření o určité energii, které lze využít k buzení prvků zkoumaného vzorku; např. námi použitý zdroj ^{238}Pu emituje záření o energetickém intervalu 13-21 keV, které lze využít k buzení K linek prvků s protonovým číslem do 39.

K analýze se používá tři typů detektorů: scintilační, proporciální nebo polovodičový. Nejlepšího energetického rozlišení docílíme použitím polovodičového detektoru, který je ovšem nejdražší a nejnáročnější na údržbu. Je nutné, aby byl během provozu chlazen na teplotu kapalného dusíku. Při našem měření jsme použili polovodičový Si(Li) - ORTEC, který umožňuje detekovat energii fotonu až do výše 60 keV s dobrou účinností. Při měření se používají různé typy MCA spojených s počítačem např. námi použitá stacionární Canberra 35+ s připojením na PC.

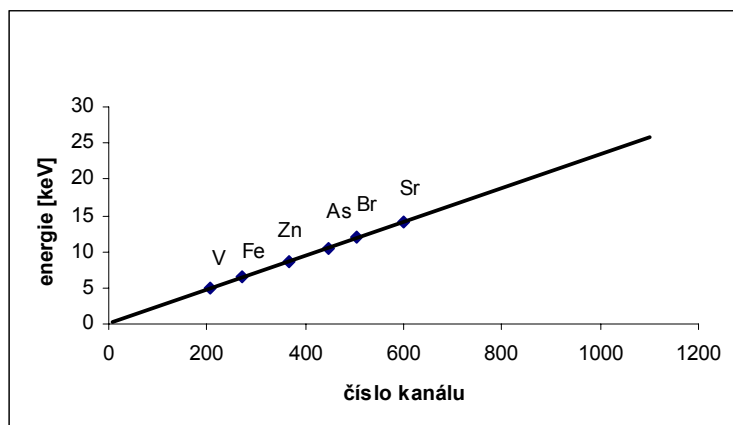
4. Postup měření

Naším úkolem bylo provést kvalitativní analýzu tří různých rakousko-uherských mincí, vyražených v letech 1890, 1907 a 1916. Tuto analýzu jsme provedli s použitím budícího zdroje ^{238}Pu , polovodičového detektoru Si(Li) se zabudovaným předzesilovačem a měřicí hlavicí, spektrometrického zesilovače, zdroje vysokého napětí, mnohokanálového analyzátoru a PC.

Postup: nejprve bylo nutné provést kalibraci zařízení, za použití kalibračních vzorků, tímto postupem jsme získali konstanty pro výpočet energie z čísla kanálu dle vztahu:

$$E = a * CH + b,$$

kde E je energie, CH je číslo kanálu, a a b jsou určené konstanty ($a = 0.23523 * 10^{-1}$ $b = 0.51864 * 10^{-1}$). Kalibrace byla provedena pomocí kalibrační destičky, která obsahovala V, Fe, Zn, As, Br, Sr. Kalibrační přímka je znázorněna na obr.1.

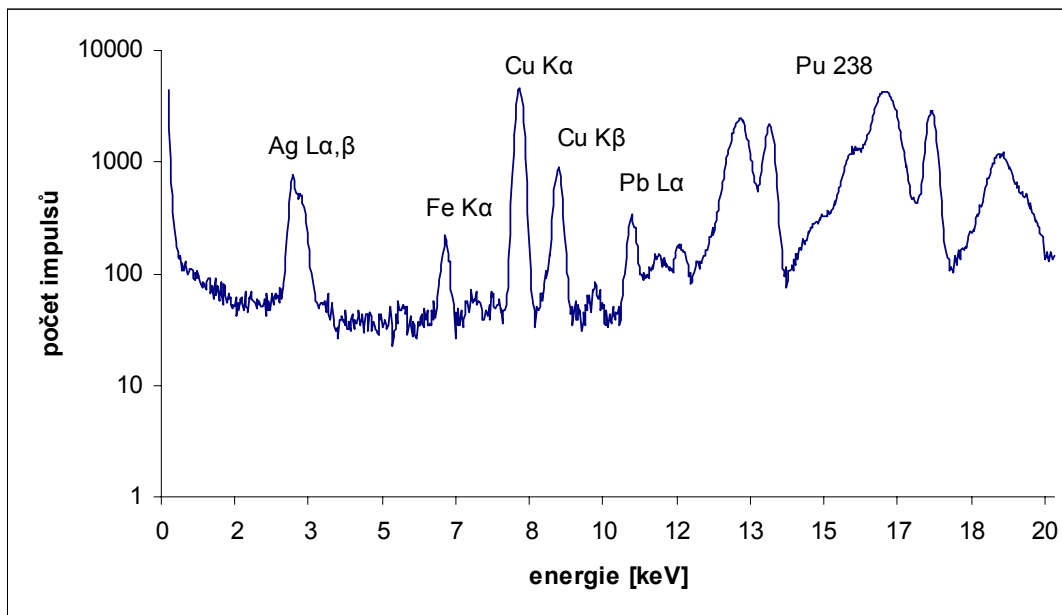


Obr. 1: Kalibrační přímka

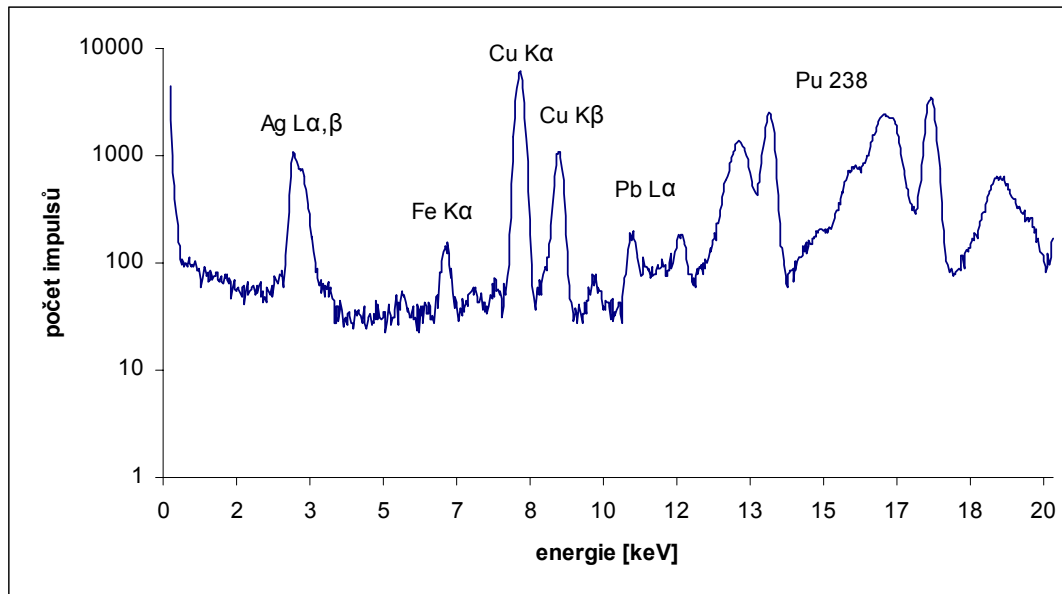
Poté jsme vložili vzorek do měřicího zařízení a započali sběr dat, který trval 900s (15 min). Stejný postup byl proveden u všech měřených vzorků při zachování stejné geometrie. Výsledky měření byly uloženy do PC a dále zpracovány.

5. Výsledky měření a shrnutí

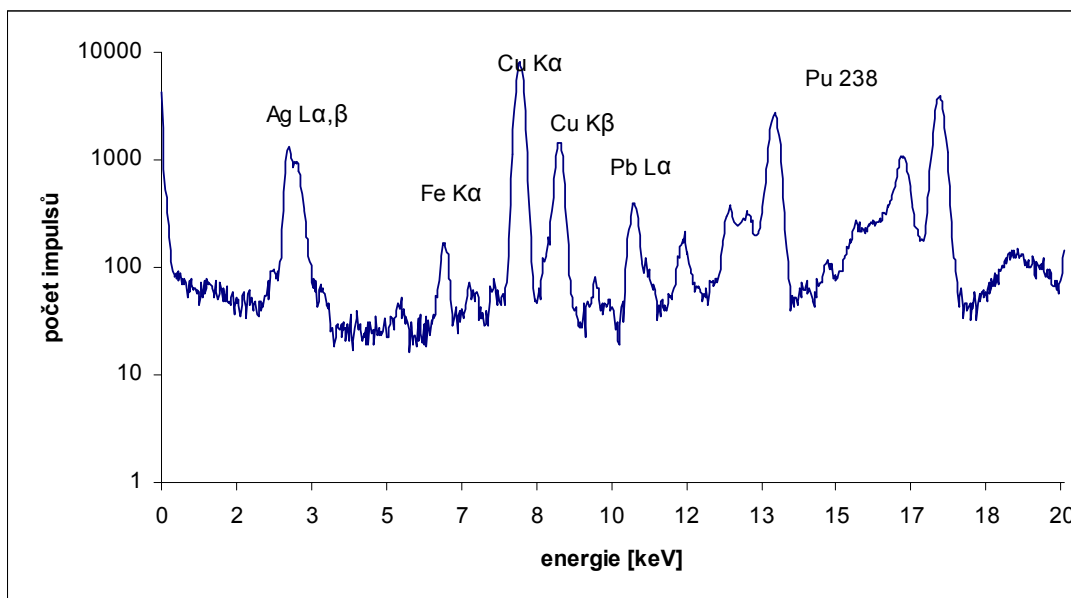
Výsledkem měření jsou energetická spektra stříbrných mincí, která jsou zobrazena na obr. 2 až 4. Pomocí tabulky absorpční hrany a energie charakteristického záření K a L byl určen prvek odpovídající danému píku. Prvky jsou dále v grafech označeny.



Obr. 2: Rakousko-uherská mince z roku 1916



Obr. 3: Rakousko-uherská mince z roku 1890



Obr 4.: Rakousko-uherská mince z roku 1907

V našem případě jsme zkoumali mince, které byly vyraženy v průběhu 30 let a z našich měření je zcela patrné, že slitina stříbra, železa, mědi a olova se za tuto dobu výrazně nezměnila. Ale můžeme zde nalézt několik drobných rozdílů, např. v případě zastoupení olova ve druhé je poloviční oproti jeho množství ve třetí minci.

Tuto metodu můžeme použít v mnoha jiných oborech jako např. restaurování památek, zkoumání stárí, ověřování pravosti aj. bez jakékoliv destrukce vzorku. Dále doufáme v další rozvoj této metody i v jiných oborech např. ve zdravotnictví, ekologii a dalších oborech.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali supervizorovi za doprovodné konzultace.

Dále také děkujeme pracovníkům z FJFI ČVUT za poskytnuté potřebného technické zázemí.

Reference:

- [1] MATĚJKA, KAREL A KOLEKTIV *Vybrané analytické metody pro životní prostředí*
Editční středisko ČVUT Praha, 1989, 151-153.
- [2] L.MUSÍLEK *Využití ionizujícího záření ve výzkumu* ČVUT Praha, 1992, 23-30.

Využití radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek

N. Hlaváčová, Gymnázium Olomouc, Čajkovského 9
NikolaHlavacova@anubis.cz
P. Vanický, Gymnázium Broumov
Vanicky.P@seznam.cz

Abstrakt:

Radionuklidová rentgenfluorescenční metoda slouží k určení prvkového složení vzorků a jejich porovnání. Metoda je významná tím, že při jejím použití nedochází k poškození měřených vzorků, proto ji můžeme využít ke zkoumání a ověřování pravosti historických památek. Přitom se využívá charakteristického složení materiálů (např. barev) používaných v dané době.

Ze známého složení úlomků cihel z archeologických vykopávek můžeme určit, pocházejí-li ze stejné lokality či nikoliv nebo jiné zajímavosti.

1 Úvod do teorie

Jednou z významných spektrometrických metod je radionuklidová rentgenfluorescenční analýza, která používá charakteristické záření vybuze­né ze vzorku k určení přítomnosti zájmových prvků.

Tato metoda pracuje na principu použití zdroje budícího záření (radionuklidu) a detektoru, který snímá charakteristické záření. Záření dopadající na vzorek je v něm částečně absorbováno, dochází k tzv. fotoefektu, nebo se na vzorku rozptýlí. Při fotoefektu se vyrazí elektron z vnitřní slupky elektronového obalu a volné místo je zaplněno přeskokem elektronu z některé vnější slupky. Při vyrovnávání vazebných energií dojde k vyzařování kvanta energie, kterou snímáme detektorem. Toto záření nazýváme charakteristické rentgenovské záření. Zákon, který objevil H. G. J. Moseley, vyjadřuje závislost mezi energií jednotlivé čáry a protonovým číslem atomu prvku, v jehož elektronovém obalu došlo k fotoefektu. Můžeme ho zapsat ve tvaru:

$$E \cong K (Z - b)^2$$

K, b - konstanty

Z - protonové číslo

E - energie čáry v dané sérii, této sérii
odpovídá hodnota K

Ke každému Z atomu prvku je přiřazena energie čáry, která je prvkem emitována. Tyto hodnoty jsou zaneseny v tabulkách. Proto můžeme po změření spektra z energií čar určit jaké prvky jsou ve vzorku zastoupeny.

Jako zdroje záření se nejčastěji používají radionuklidové zdroje ^{55}Fe , ^{238}Pu , ^{109}Cd , ^{241}Am a ^{57}Co . Každý z těchto zdrojů vybuzuje prvky o určitém rozmezí protonových čísel.

Při volbě zdroje požadujeme, aby energie budícího záření ležela nad absorpčním prahem sledovaného prvku. Jestliže je rozdíl těchto energií příliš velký, klesá účinnost buzení.

2 Analýza cihel

Úkol

Naším úkolem bylo zjistit prvkové složení cihel.

Cihla 1- 1. století n. l. z Arca di Ricarda (Terst)

- pochází z uzavěru vodovodního kanálu

Cihla 2- 1. století n. l. z Arca di Ricarda (Terst)

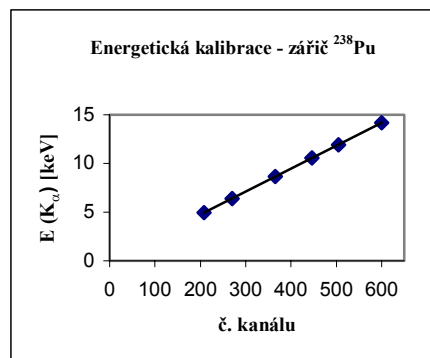
Kalibrace

K měření jsme použili aparaturu sestavenou z mnohokanálového analyzátoru, polovodičového detektoru Si (Li) se zabudovaným předzesilovačem a měřicí hlavici, spektrometrického zesilovače a osobního počítače. Tuto aparaturu jsme zapojili do zdroje vysokého napětí. Jako zářič jsme použili ^{238}Pu , které emituje primární záření v energetickém intervalu 13 - 21 keV a lze ho využít k buzení charakteristického záření u prvků se Z do 39.

Před samotným měřením bylo nutné provést energetickou kalibraci pomocí kalibrační destičky o známém prvkovém složení. Provedli jsme s ní měření a analyzátor přiřadil jednotlivé píky k jednotlivým kanálům. Neboť jde o známé prvky, u nichž najdeme energii čar v tabulkách, a energie čar je lineárně závislá na kanálech, spočítali jsme kalibrační rovnici, která přiřazuje k jednotlivým kanálům příslušné energie. Sestrojili jsme graf závislosti energie na kanálech, čímž jsme dokázali, že jde o lineární závislost.

$$E = a \cdot CH + c$$

prvek	č. kanálu	E (K_{α}) [keV]
V	208	4,952
Fe	270	6,403
Zn	365	8,638
As	446	10,543
Br	505	11,923
Sr	600	14,164



Kalibrační rovnice:

$$E = 0,023523 \cdot CH + 0,051864 \text{ keV}$$

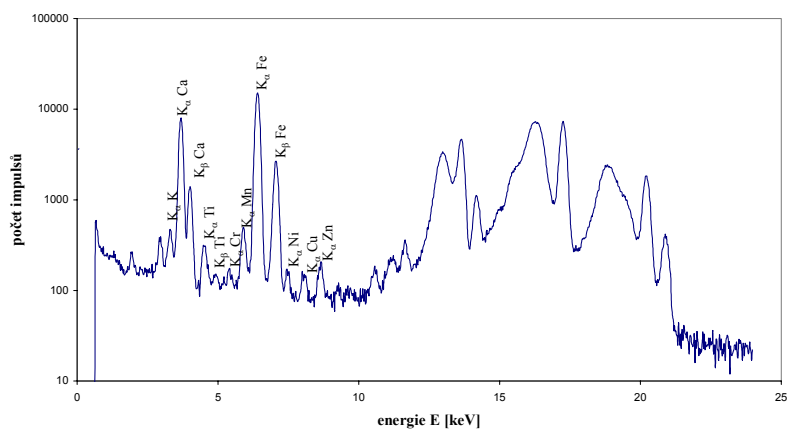
E - energie čáry

CH - č. kanálu

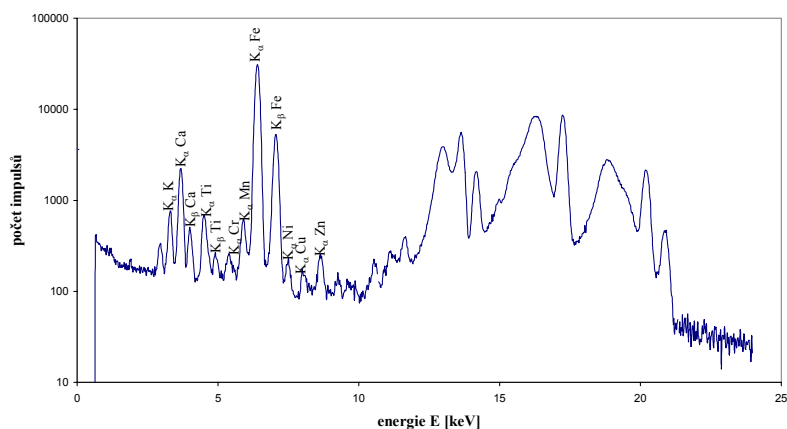
Vlastní měření

Změřili jsme spektra vzorků cihel o neznámém prvkovém složení. Každý vzorek jsme měřili jednu hodinu. Naměřená spektra jsme nahráli do počítače a zpracovali do grafů.

Cihla 1 (osa y v logaritmickém měřítku)



Cihla 2 (osa y v logaritmickém měřítku)



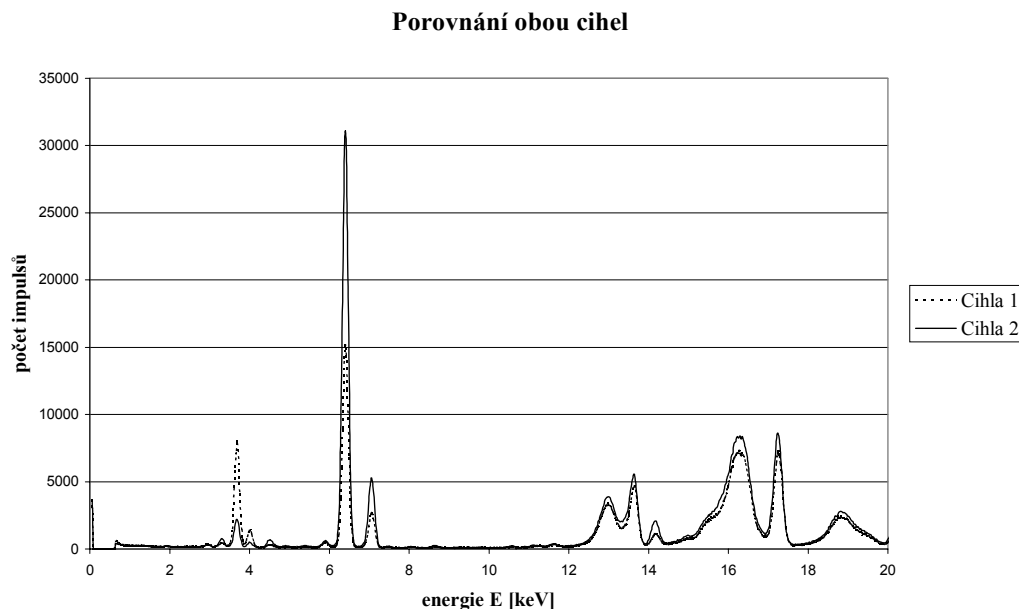
Z energie spektrálních čar jsme určili prvky obsažené ve vzorcích a z plochy píků jsme zjistili jejich poměrné zastoupení.

Zastoupení prvků ve vzorcích cihel

Prvek	E [keV]		Plocha píku	
	$K_{\alpha 1}$	$K_{\beta 1}$	cihla 1	cihla 2
K*	3,313	-	4505	6707
Ca	3,691	4,012	66196	21671
Ti	4,51	4,931	5771	10677
Cr*	5,414	-	1818	2875
Mn*	5,898	-	5335	6873
Fe	6,403	7,057	141510	285177
Ni	7,477	8,264	1799	2990
Cu	8,047	8,904	2630	2683
Zn	8,638	9,571	2551	2993

* U těchto prvků nebyly nalezeny píky $K_{\beta 1}$.

Z tabulky vidíme, že poměrné zastoupení prvků určené plochou píků se liší. V obou měřeních jsme zachovali stejné podmínky (detektor, zářič, geometrické podmínky, doba měření), proto můžeme výsledky srovnávat. Pro lepší názornost uvádíme společný graf obou cihel.



3 Shrnutí

V obou cihlách převažuje obsah vápníku a železa. V menším množství jsou zde zastoupeny draslík, titan, chrom, mangan, nikl, měď a zinek. První cihla pochází z uzávěru vodovodního kanálu, což také dokazuje větší obsah vápníku. Na rozdíl od druhé cihly má však menší obsah železa.

Z naměřených hodnot by se dala vyčíst i přítomnost argonu, ten však nebyl obsažen ve vzorcích, nýbrž v okolním vzduchu. Také mezi hodnotami 13 - 21 keV můžeme vidět píky, ty jsou způsobeny zpětným rozptylem samotného zářiče, který září právě v tomto intervalu.

Poděkování

Děkujeme RNDr. Lence Černé za všestrannou pomoc při práci na projektu.

Reference:

1. Doc. Ing. Karel Matějka Csc.: *Vybrané analytické metody pro životní prostředí*
2. Prof. Ing. Ladislav Musílek: *Využití ionizujícího záření ve výzkumu*

Využití kódu MCNP v reaktorové fyzice

E.Bartáková, SGaGY Kladno, evebartak@hotmail.com

T.Hebelka, Gymnázium Brno Vídeňská, tomas.hebelka@post.cz

M.Lovecký, Gymnázium Plasy, martin.lovecky@volny.cz

Abstrakt:

Pracovali jsme s programem MCNP, který popisuje chování částic v jaderných reaktorech. Porovnávali jsme vlastnosti chování neutronů v závislosti na tvaru reaktoru.

1 Jak funguje MCNP?

Program MCNP je nyní nejpoužívanější kód pro výpočet transportu částic, zejména neutronů. Jedná se o třírozměrný kód, který umožňuje počítat kritičnosti geometricky složitých soustav, hustoty toku neutronů, stínění, různé mikrokonstanty reaktorových mříží i různé dozimetrické úlohy. Programem je možné modelovat úlohu v prakticky libovolné třírozměrné geometrii a aplikovat ji na transport vzájemně interagujících neutronů, fotonů a elektronů. Kód řeší statistickou metodou Monte Carlo třírozměrný problém transportu částic v zadaném prostředí. Mezi metodami využívajícími Monte Carlo metodu a mezi deterministickými metodami je zásadní rozdíl. Zatímco deterministické metody řeší jakousi více či méně přesnou aproximaci transportní rovnice, tak oproti tomu metody Monte Carlo neřeší prakticky žádnou rovnici, ale simulují přímo konkrétní problém, sledují každou jednotlivou částici a její možné interakce. Rozdílný je také výsledek obou metod. Deterministická metoda poskytne přesný výpočet (který platí za splnění určitých předpokladů, podmínek a zjednodušení), Monte Carlo udává výsledek v určitém intervalu spolehlivosti s jistou odchylkou, v souladu s teorií matematické statistiky.

2 Koeficient a jeho výpočet

Podle průběhu řetězové štěpné reakce rozlišujeme v reaktoru tři základní stavy:

V *podkritickém stavu* je hustota absorberu tak vysoká, že neutrony vznikající při štěpné reakci jsou plně pohlcovány a nemohou vyvolávat štěpení dalších jader. Řetězec štěpné reakce je přetržen, reakce zaniká. V praxi se takový stav v jaderném reaktoru vytvoří zavedením regulačních a havarijních tyčí s absorberem do aktivní zóny reaktoru. Dělá se to v případech, kdy chceme snížit výkon reaktoru nebo ho odstavit z provozu. ($k < 1$)

Při *kritickém stavu* je hustota (počet vložených tyčí) absorberu a paliva taková, že ze dvou až tří neutronů vzniklých při štěpení paliva vždy jen jeden vyvolá další štěpnou reakci. V takovém případě pak řetězová reakce stále pokračuje – nerozrůstá se, ani nezaniká. Tomuto stavu odpovídá běžný provoz reaktoru při stálém výkonu. ($k = 1$)

Nastane-li *nadkritický stav*, štěpná jaderná reakce roste, neboť roste i počet neutronů štěpících jádra. Takový stav je nutný pro zvýšení výkonu reaktoru. Zneužívá se u atomových zbraní. ($k > 1$)

Koeficient násobení k :

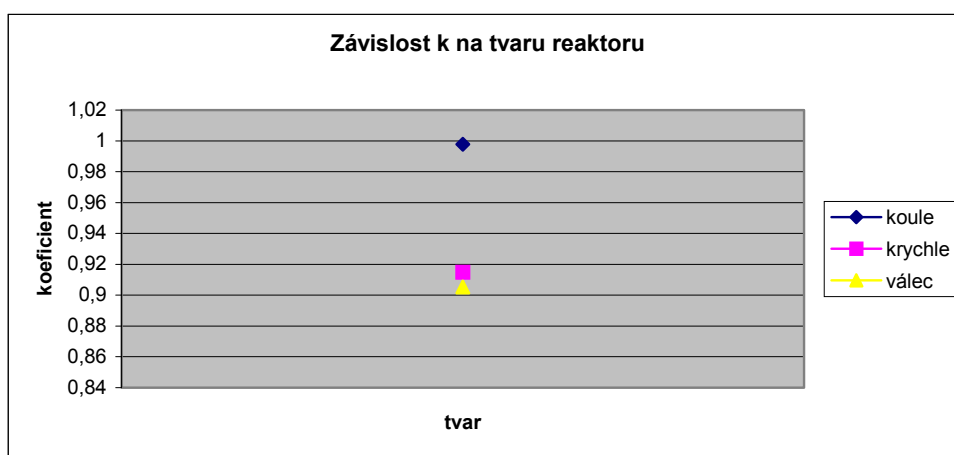
$$k = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

n_i - počet neutronů v generaci

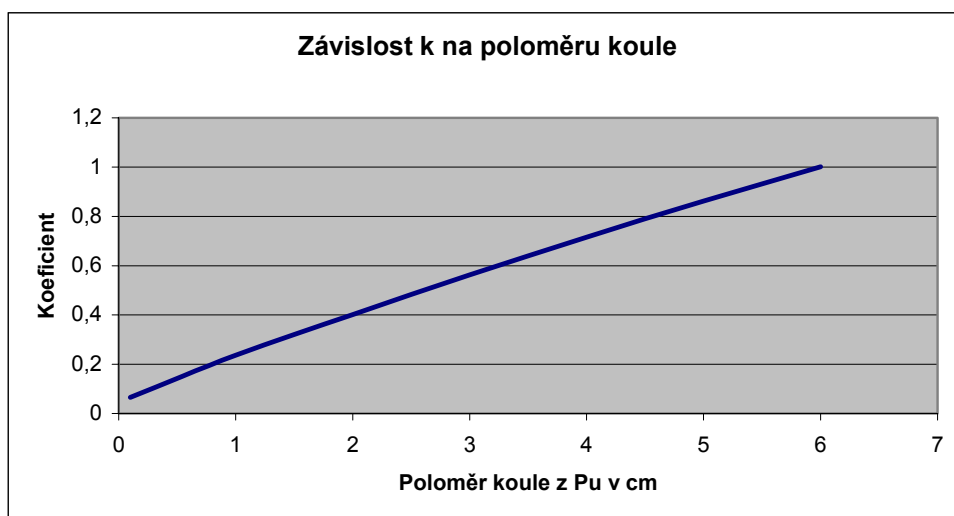
n_{i-1} - počet neutronů v předešlé generaci

Výpočet k v závislosti na tvaru reaktoru

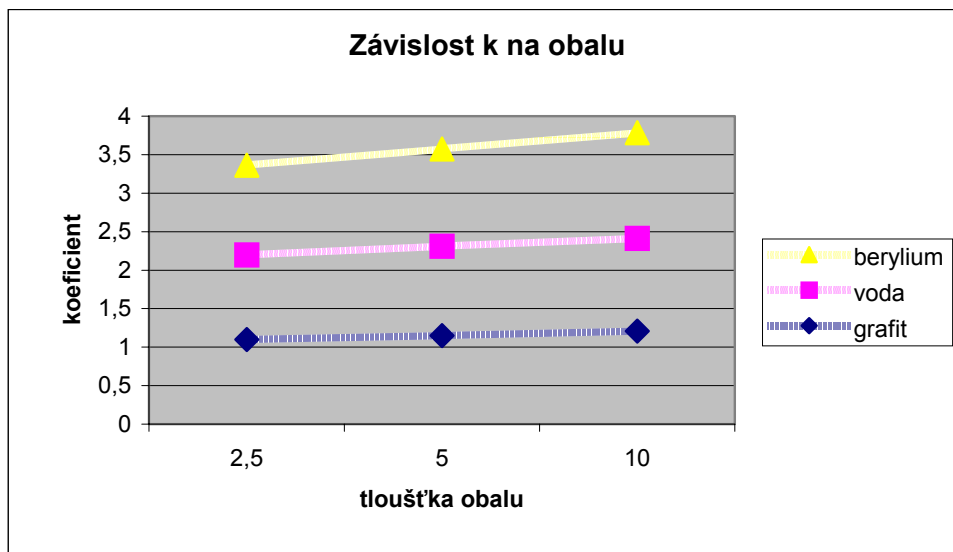
koule ($r=6,38$ cm) byla použita u reaktoru Jezebel,
složení koule: 92,0% ^{239}Pu , 4,3% ^{240}Pu , 0,3% ^{241}Pu , 3,4% Ga, obal z niklu tlustý 0,01 cm,
krychle ($a=10,28$ cm) a válec ($r=7,59$ cm, $v=6$ cm) měly stejný objem (1088 cm³)



Výpočet k v závislosti na poloměru koule



Výpočet k v závislosti na tloušťce a materiálu obalu
 plutoniová koule (stejné složení jako u reaktoru Jezebel) o poloměru 6 cm obalená různými
 materiály o různé tloušťce



3 Závěr

Naučili jsme se pracovat v MCNP a modelovat v něm různé tvary reaktorů. Reaktor je nejlepší vyrobit ve tvaru koule. Při výrobě obalu reaktoru je důležitá volba jeho materiálu.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing.J.Ratajovi, našemu supervisorovi, a také KJR ČVUT, která nám umožnila přístup na počítače.

Reference:

- [1] OTČENÁŠEK, P.: *Jaderná energetika*, skripta MFF UK Praha, 1989
- [2] SOVADINA, M.: *Energie pro každého*, ČEZ, 2002
- [3] Manuál k výpočtovému kódu MCNP-4A, Oak Ridge National Laboratory

Odvod tepla z palivového článku jaderného reaktoru

P.Chalupa, M.Staněk, M. Veselá
gym. tř. Kpt. Jaroše 14 Brno, gym. Jeseník Komenského 254, gym.
Christiana Dopplera Zborovská 45 Praha 5
gaul@post.cz, Mir-minem@seznam.cz, mufaya@yahoo.com

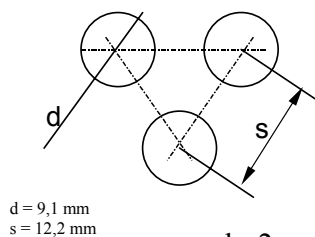
Abstrakt:

Při jaderném štěpení vzniká velké množství energie, které je nutno odvádět. Jakákoliv porucha na systémech odvádějících teplo v jaderné elektrárně má katastrofální následky. Naše studie spočívala ve výpočtu rozložení teplot v nejvíce zatíženém palivovém článku. Dále jsme vymodelovali havarijný stav, jenž vznikl přerušením spojitého toku chladicí kapaliny v okolí palivového článku (viz obdoba JE A-1).

1 Jaderný reaktor

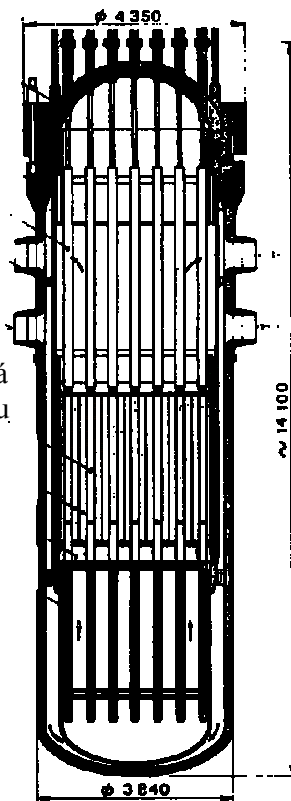
Ačkoliv v dnešní době jsou již jaderné elektrárny běžné, neustále se diskutuje o jejich bezpečnosti. Z toho důvodu jsme se zaměřili na dílčí problémy bezpečnosti, resp. dostatečného odvodu tepla z jaderného reaktoru (konkrétně v reaktoru typu VVER 440 viz obr.1).

Jaderná elektrárna se skládá z primárního a sekundárního okruhu. Jaderný reaktor je součástí primárního okruhu, ten předává teplo sekundárnímu okruhu, který obsahuje parní turbíny, na něž jsou napojeny generátory elektrického napětí.



obr.2

obr.1

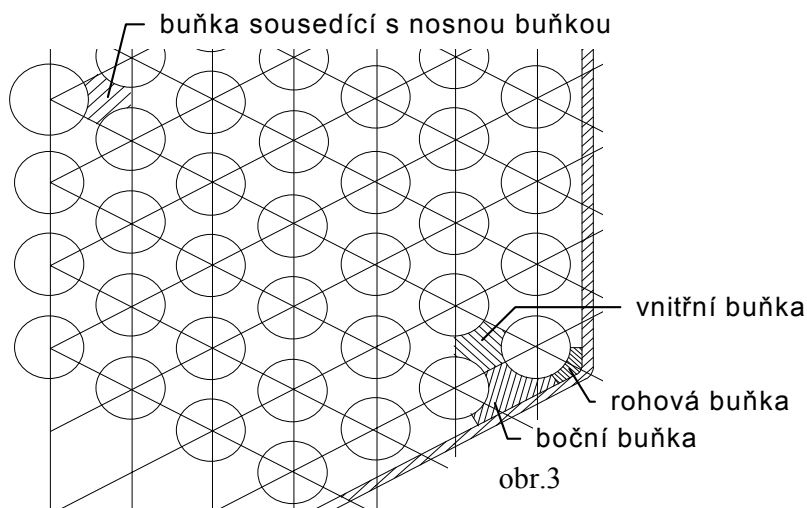


Reaktor VVER 440 má nominální tepelný výkon 1375 MW. Toto teplo odvádí chladicí kapalina (chladiivo) primárního okruhu, v případě uvažovaného jaderného reaktoru tlaková lehká vody. Aktivní zóna reaktoru má válcový tvar, o průměru 2,88 m a výšce 2,5 m. V ní je umístěno 349 šestiúhelníkových palivových kazet, každá se 126

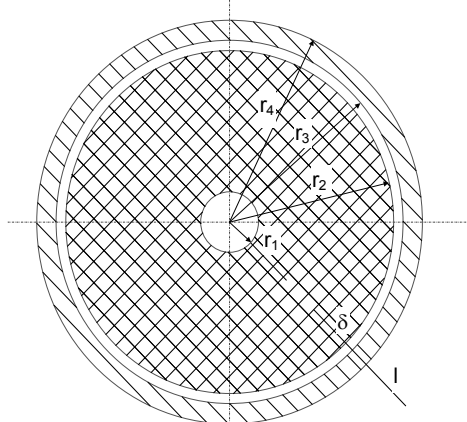
palivovými proutky v trojúhelníkové mříži (obr.2). Mezi palivovými proutky jsou volné prostory, kterými protéká chladivo - viz. obr 3.

Jednotlivé proutky v kazetách jsou nerovnoměrně tepelně namáhány. Nejvíce je výkonově namáhán vlivem zvýšené moderace v okolní vodě proutek umístěný v rohu palivové kazety (ve vrcholech šestiúhelníka), což má spolu s geometrickými charakteristikami (menší prostor pro chladivo) za následek vyšší teploty.

Dále se proto budeme zabývat pouze tepelnou studií „rohového“ proutku, jako potenciálně nejméně bezpečného.



2 Palivový proutek



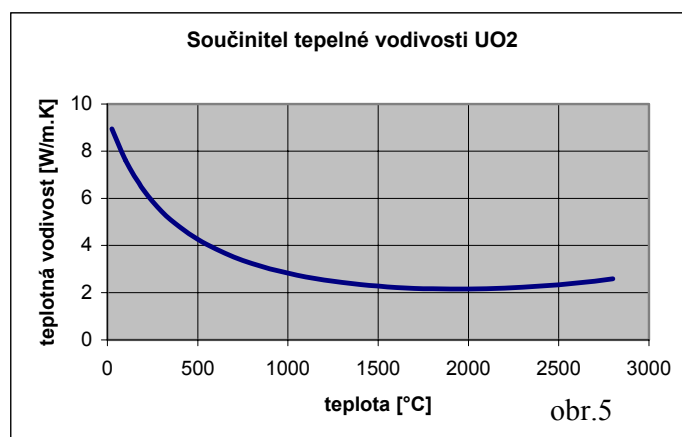
obr.4

$r_1 = 0,75 \text{ mm}$, $r_2 = 3,775 \text{ mm}$, $r_3 = 3,9 \text{ mm}$, $r_4 = 4,55 \text{ mm}$, $\delta = 0,125 \text{ mm}$, $l = 0,65 \text{ mm}$, výška $h = 15 \text{ mm}$

Zbývajících 12 segmentů jsme vytvořili stejným způsobem. Nyní bylo třeba nadefinovat jednotlivé vlastnosti materiálů, ze kterých je složen palivový proutek. Jednotlivé údaje jsme získali z tabulek a skript. Aby výpočty byly co nejpřesnější, bylo nutno zadat křivku (obr.5) závislosti jednotlivých veličin (měrné tepelné kapacity, hustoty a součinitele tepelné vodivosti) na teplotě. Po zadání vlastností materiálů jsme všechny plochy modelu vysítávali výpočetními elementy. Velmi důležitá byla hlavně volba vzdáleností jednotlivých bodů: čím menší vzdálenost je zvolená, tím větší přesnost výpočtu získáme, ale prodlouží se doba

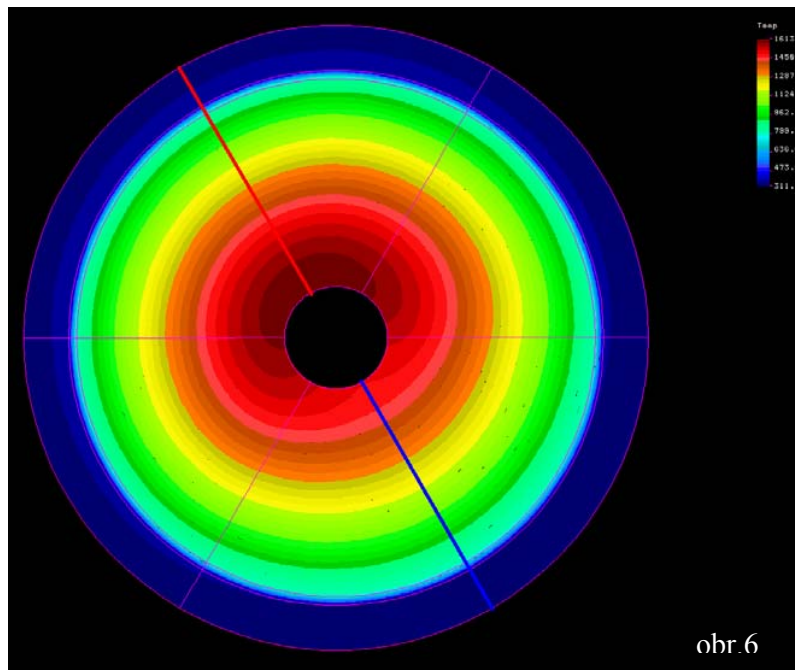
Palivový proutek (obr.4) se skládá ze tří materiálů: UO_2 , plynné vrstvy (zejména helia a produktů štěpení) a slitiny zirkonia ($\text{Zr-1\%Nb}$). Ve středu se nachází mezera pro únik plynných štěpných produktů a ochlazování paliva.

Ve výpočetním kódu Cosmos/M jsme vytvořili dvourozměrný model proutku. Příčný řez palivovým článkem jsme vytvořili postupným definováním jednotlivých částí. Nejprve jsme zadali čtyři body na poloměru řezu (ve vzdálenostech r_1 , r_2 , r_3 a r_4). Mezi prvními dvěma body jsme vytvořili křivku, kterou jsme pak nechali rotovat kolem osy z o 360° . Vzniklou plochu jsme rozdělili na 6 segmentů (oblouků).

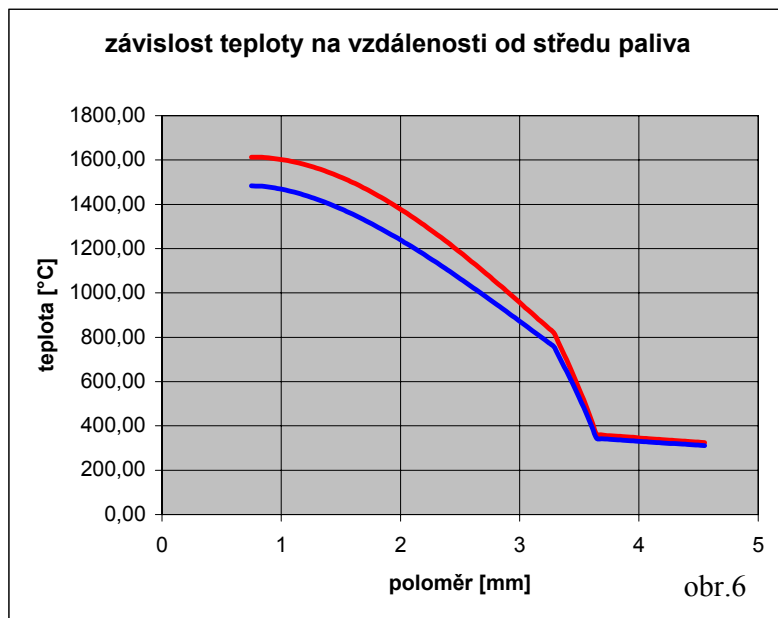


výpočtu. Po vysíťování všech ploch je zapotřebí jednotlivě vytvořené sítě spojit do jedné. Nyní je nutné zadat okrajové podmínky výpočtu, těmi jsou tepelný výkon v UO_2 a odběr tepla chladivem z pláště proutku.

Provedli jsme několik výpočtů. Nejprve jsme spočítali stacionární rozložení teplot v palivovém článku. Výsledky studie byly překvapivé, vlivem špatné vodivosti jednotlivých částí palivového článku činil rozdíl teplot v jádře a na plášti 1350°C .



Následně jsme sestavili graf z výpisu teplot bodů na protilehlých průměrech (viz obr.6) Dále jsme simulovali ucpání kanálu v okolí článku. (tj. z 1/6 článku nebylo dostatečně odváděno teplo).



Při zadávání nestacionárního výpočtu (závisí na čase) jsme nejdříve jako počáteční hodnoty zadali výsledek stacionárního výpočtu. Před samotným výpočtem jsme upravili parametr pro odvod tepla na 1/6 pláště.

Nejprve jsme zadali 3 min interval s časovými kroky po 1,8 sekundě. Teplota zirkoniového pláště téměř okamžitě narostla nad 350°C , čímž překročila max. možnou provozní teplotu pláště.

Při této teplotě už dochází k varu vody a zejména k rychlému koroznímu porušení zirkonia.

3 Shrnutí

Odvod tepla z jaderného reaktoru je velmi důležitý. Náš miniprojekt ukázal, že i jeho částečné narušení má katastrofální následky. Zjistili jsme tedy, že k tomu, aby vznikla havárie, stačí mnohdy málo.

Poděkování

Tento miniprojekt byl zpracován s laskavou podporou katedry FJR. Zejména děkujeme našemu supervizorovi ing. D. Kobylkovi.

Reference:

- [1] DUŽÍ, P.- KUCHAR, L.: *Základy jaderné metalurgie* Vysoká škola báňská v Ostravě, 1985
- [2] HEŘMANSKÝ, B.: *Termomechanika jaderných reaktorů*, Academia, 1986
- [3] HEŘMANSKÝ, B.: *Jaderná zařízení I*, Ediční středisko ČVUT 1990

Mikroskopie a lokální elektronová mikroanalýza v materiálovém výzkumu

O. Červený, G Plasy, Stará cesta 363 (comodor_falkon@seznam.cz),
A. Sejkorová, G Jeseník, Komenského 281 (alca@e-mail.cz),
P. Troubil, G Brno, tř. Kpt. Jaroše (pavel@eagle.bk.cz),
T. Vychodil, G Olomouc, Čajkovského 9 (vychi.t@centrum.cz)

Abstrakt:

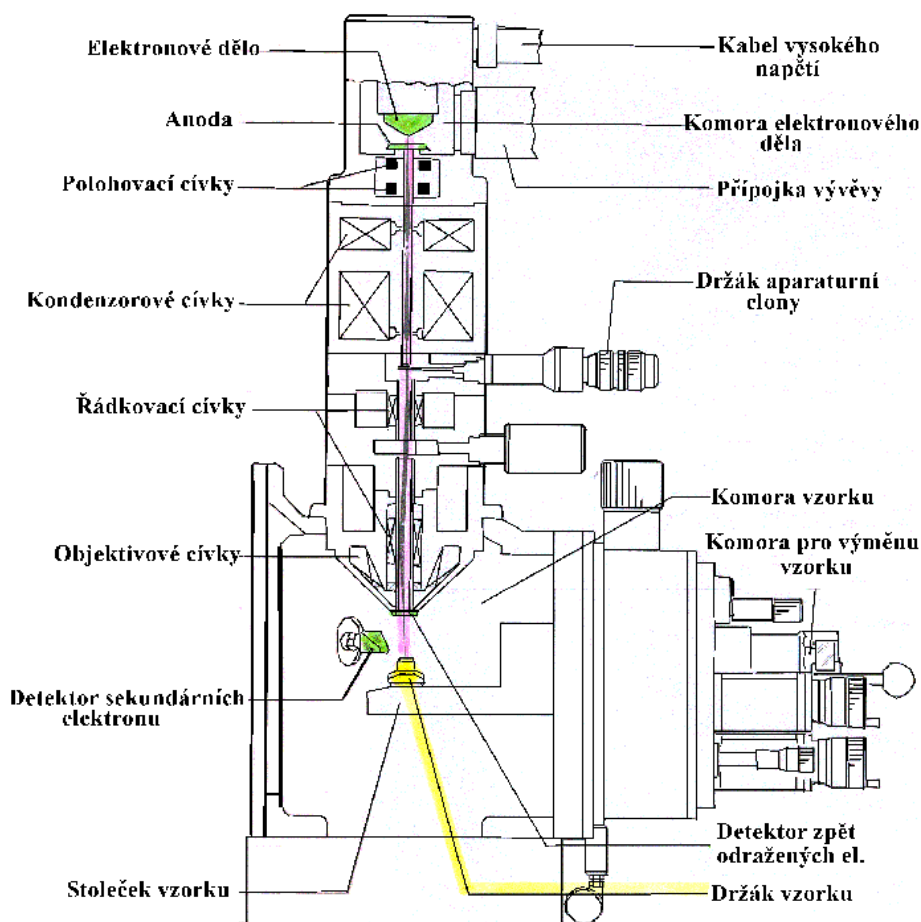
Práce pojednává o funkci a principu elektronového mikroskopu a jeho využití v materiálovém výzkumu. Popisuje metody zjišťování příčin vzniku únavových lomů materiálu za pomoci mikroskopu a energiově disperzního analyzátoru (EDX). Jako konkrétní příklad uvádí zjišťování příčin ulomení lopatky z oběžného kola letecké turbíny.

1 Úvod

Nedůležitějším pracovním prostředkem v materiálovém výzkumu je v současnosti řádkovací elektronový mikroskop (ŘEM), pracující s úzkým elektronovým paprskem. K vytváření obrazu jsou použity od povrchu zpětně odražené primární elektrony a sekundární elektrony, vzniklé interakcí atomů vzorku s elektrony elektronového paprsku. Tyto elektrony jsou přijímány detektorem a zpracovány tak, že obdržíme ostrý obraz povrchu vzorku. Oproti tradičnímu optickému mikroskopu je jeho předností zejména velká hloubka ostrosti a možnost dosáhnout mnohem většího zvětšení. K mikroskopu lze připojit zařízení k analýze složení zkoumaných vzorků – v našem případě energiově disperzní analyzátor.

Princip ŘEM

Evakovaným válcem jsou z wolframového vlákna – katody emitovány elektrony. Poté jsou směřovány Wehneltovým válcem a urychlovány kruhovou anodou. Mezi skupinovou wolframová katoda – Wehneltův válec a anodou se nachází místo překřížení drah elektronů, tzv. crossover. Pod tím se nacházejí tzv. kondenzátorové čočky, což jsou cívky vyvolávající magnetické pole, které soustřeďují elektronový paprsek. Pak paprsek prochází otvorovou clonou tvořenou tenkým plíškem s otvorem uprostřed. Ta má vliv na rozlišovací schopnost mikroskopu. Na konci válce je umístěna objektivová čočka. Tou jsou elektrony usměrněny tak, aby dopadaly do velmi malého prostoru na povrchu vzorku. Objektivová čočka obsahuje vychylovací cívky, které zaručují, že elektronový paprsek rastruje vzorek – povrch je zkoumán po řádcích a bod po bodu. Každému zkoumanému bodu vzorku odpovídá bod na obrazovce, skenovací a zobrazovací paprsky jsou synchronizovány. Obraz poskytují detektorem zaznamenané zpětně odražené a sekundární elektrony.



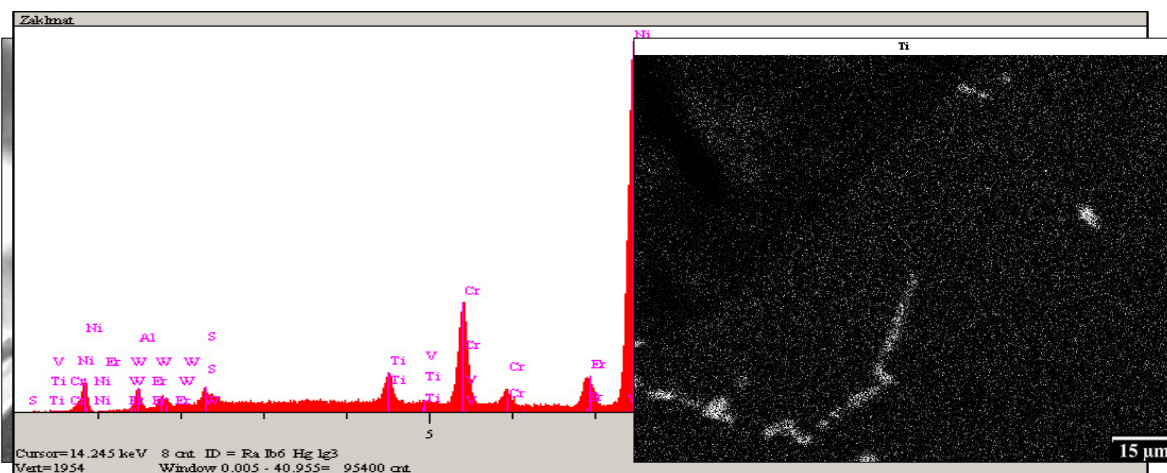
Obr. 1: Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu

Zpětně odražené a sekundární elektrony

Zpětně odražené elektrony jsou primární elektrony, které vnikly do vzorku, byly odrazeny, přičemž se jejich energie příliš nesnížila – stále stejná rychlost, pouze změna směru. Jelikož odražené elektrony unikají i z hlubších oblastí, nezískáváme přesný obraz povrchu vzorku, ale i hlubších vrstev. Naopak pomocí sekundárních elektronů dosáhneme vyššího rozlišení, protože k detektoru dorazí pouze sekundární elektrony z povrchových vrstev vzorku.

Princip analýzy EDX

Při ozáření materiálu elektrony vzniká též rentgenové záření, které je vyvoláno vzájemným působením elektronů a materiálu. Toto RTG záření dosahuje pro každý prvek jisté specifické energie, která je užita k identifikaci prvků obsažených ve vzorku. Buzení rentgenového záření se dělí na spojité brzdné záření a záření charakteristické pro určité prvky. Brzdné záření vzniká zbrzděním primárních elektronů ve vzorku. Charakteristické RTG záření prvků vzniká, pokud jsou zásahem primárních elektronů vyraženy jednotlivé elektrony vnitřních slupek atomu. Ty jsou nahrazeny elektrony z vyšších energetických hladin a rozdílová energie je ve formě záření. Tato energie je charakteristická pro každý jednotlivý prvek. Na záznamu z analyzátoru (obr. č. 2) se brzdné záření podílí na spojitém pozadí a charakteristické záření prvků obsažených ve vzorku tvoří peaky.



Obr. 2: Typické spektrum niklové slitiny

2 Experiment – výzkum lomu lopatky letecké turbíny

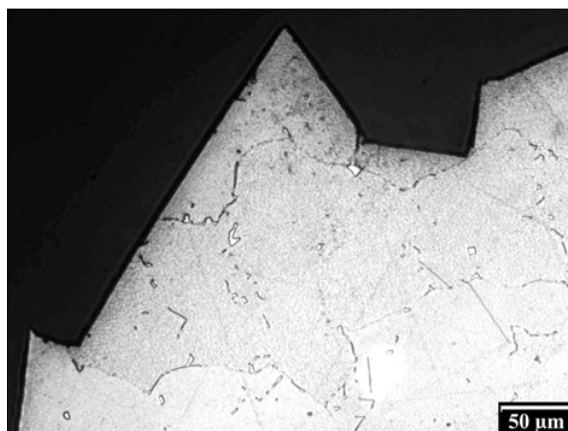
Předmětem našeho zkoumání je lopatka leteckého proudového motoru. Lopatka se z neznámých příčin ulomila v zámku, kterým je připevněna k oběžnému kolu turbíny. Z oběžného kola se takto ulomily čtyři lopatky, velká část ostatních byla poškozena.

Příprava vzorku

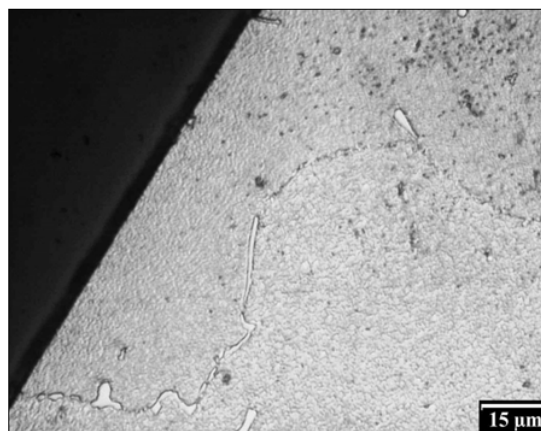
Lopatkou byl veden řez kolmo k rovině lomu v místě iniciace únavové trhliny, byla chemicky naleptána směsí kyselin (30% HCl, 30% HNO₃, H₂O), zalita do epoxidové pryskyřice, metalograficky broušena, mechanicky leštěna. Poté byla provedena dokumentace optickým mikroskopem. Pro elektronový mikroskop byla s velkými obtížemi vyjmuta z pryskyřice kvůli zajištění vodivosti.

Výsledky

Byla pozorována plocha výbrusu a hrana únavové trhliny v místě iniciace. Byly pořízeny jejich snímky optickým a elektronovým mikroskopem a provedena EDX analýza jednak přímo zlomové plochy v místě iniciace a jednak z plochy výbrusu pod tímto místem (obrázky jsou přiloženy). EDX analýza prokázala, že útvary viditelné na ploše výbrusu jsou částice bohaté především na titan a budou to pravděpodobně karbidy. Tyto částice na lomové ploše přímo v místě iniciace pozorovány ve větším množství nebyly, a tudíž nebudou hlavní příčinou vzniku trhliny.

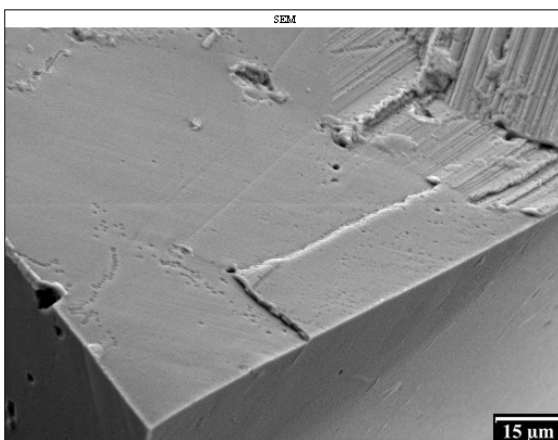


Obr. 3: ŘEZ lopatky iniciace trhliny

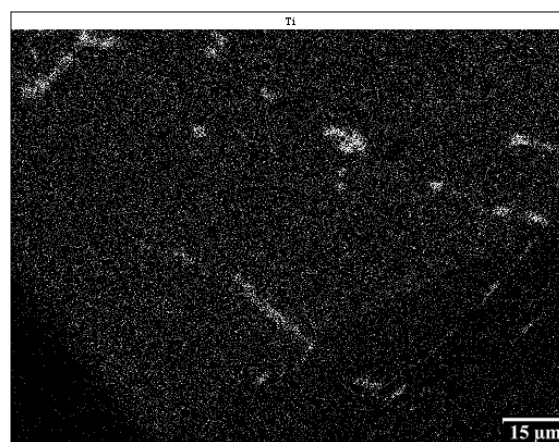


Obr. 4: Detail obrázku 3

Obr. 5: Obrázek 4 v ŘEM



Obr. 6: Rozložení titanu v obr. 5



3 Shrnutí

Elektronová mikroskopie ve spojení s EDX analýzou se ukázala být velmi užitečnou metodou, ale získané výsledky nemohou být za dobu určenou k sepsání této zprávy plně vyhodnoceny.

Poděkování

Děkujeme panu ing. J. Adámkovi za ochotu, s kterou nám vše vysvětlil, a za čas, který nám věnoval.

Reference:

- [1] Reule M., Hustert F.: Grundlagen, Anleitung und Herstellung von Referenzproben zur Energie-Dispersive-Röntgenmikrobereichanalyse; Fachhochschule Mannheim.

Únavové poruchy letadel řádkovací elektronová mikroskopie

D. Ornová*, P. Váňa**

*Gymnázium Botičská, Praha 2 (darinka.lorinka@centrum.cz)

**SPŠE Mohelnice (kwana@seznam.cz)

Abstrakt:

Jak lze využít řádkovací elektronový mikroskop při studiu únavových poruch letadel? Aplikace fraktografie a popis procesů porušování.

1 Úvod

Cílem tohoto miniprojektu bylo seznámit se s řádkovacím elektronovým mikroskopem a s jeho pomocí nahlédnout na letadla z poněkud netradičního úhlu – z hlediska studia příčin únavových poruch.

2 Bezpečnost letadla

K tomu, aby byla letecká doprava co nejbezpečnější, je třeba, aby v rámci vývoje prošel každý letoun důkladnými zkouškami, které mohou odhalit slabá místa konstrukce a získat informace o procesech porušování. Na draku letadla se provádějí dva základní typy mechanických zkoušek: experimentální průkazy únavových vlastností a experimentální průkazy reziduální pevnosti únavově poškozené konstrukce [1]. Těmito zkouškami simulujeme rozmanité podmínky, ve kterých se v reálném provozu stroj pohybuje (klidný let, turbulence, start, přistání, nestandardní režim letu apod.).

Na základě uvedených zkoušek lze navíc stanovit intervaly inspekčních prohlídek a to jak pro konstrukce typu safe-life („bezpečný život“ – zde nesmějí být žádné trhliny ani poruchy), tak konstrukce typu fail-safe („bezpečné i při poruše“ – výskyt trhlín určité velikosti neohrožuje bezpečnost letounu).

3 Fraktografie

Každý materiál se za nějaký čas unaví, důležité je stanovit okamžik, při kterém začne konstrukce či její součást ztrácet soudržnost anebo provozuschopnost. Vznikne-li při zkoušce trhlina, chceme vědět, kde a za jakých podmínek tato trhlina vznikla, jak se šířila v závislosti na čase apod. Na všechny tyto otázky nám může dát odpověď fraktografie. Jedním z jejích nejčinnějších přínosů je možnost rekonstrukce časového průběhu únavového procesu, tzn. popis závislosti velikosti nosného průřezu na počtu cyklů zatížení nebo na počtu letových hodin [2].

Pokud je to možné, pozorujeme trhliny přímo při únavových zkouškách. Po ukončení zkoušek je prováděna fraktografická analýza využívající zpravidla řádkovací elektronové mikroskopie.

Jedním z pracovišť zabývajícím se fraktografickou analýzou je katedra materiálů ČVUT-FJFI v Praze.

4 Elektronová mikroskopie

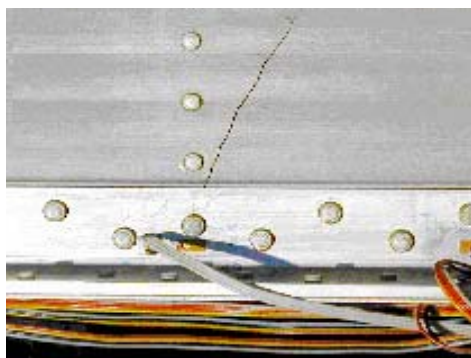
Elektronové mikroskopy máme dvojího druhu:

Transmission Electron Microscopy (TEM) – jejich princip je podobný jako u optického mikroskopu, místo fotonů je však pozorovaný objekt vystavován proudem elektronů. Vzorek musí být dostatečně tenký, aby jím elektrony prošly. Díky tomu, že vlnová délka elektronů je mnohonásobně menší než vlnová délka světla, lze dosáhnout rozlišovací schopnosti tak velké, že dokážeme pozorovat i jednotlivé atomy. TEM dosahuje zvětšení od 1000x až do 500 000x.

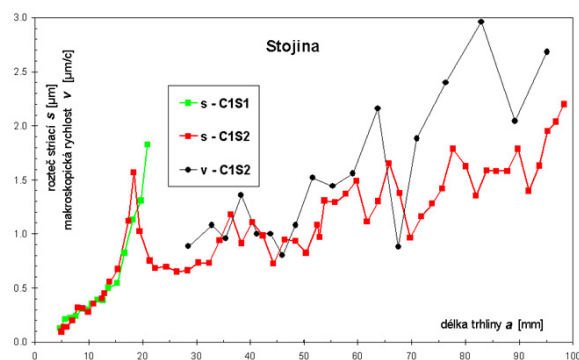
Scanning Electron Microscopy (SEM) – na rozdíl od TEM elektrony vzorkem neprocházejí, ale odrážejí se od jeho povrchu. Tímto lze povrch zobrazit trojrozměrně (zatímco u TEM získáváme dvojrozměrný obraz). Dosahujeme zvětšení 10 – 50 000x.

5 Fraktografická analýza nosníku křídla porušeného při únavové zkoušce

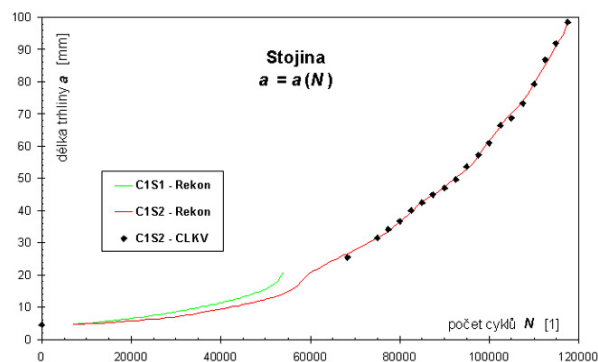
V rámci výzkumu únavových vlastností letounu byla realizována únavová zkouška hlavního nosníku křídla. V průběhu zkoušky vznikla únavová trhлина ve stojině nosníku. Trhlinu nebylo možné měřit ihned, protože byla překryta svislým ramenem pásnice (obr. 1). Rekonstrukce šíření této poruchy byla provedena na základě měření rozteče striací v závislosti na délce trhliny (obr. 2). Získané výsledky nám posloužily k určení závislosti délky trhliny na počtu zatěžovacích cyklů (obr. 3). Z grafu je patrné, že rekonstrukce byla provedena i pro tu část trhliny, která nebyla v průběhu zkoušky viditelná [3].



Obr. 1 : Porušený nosník křídla.



Obr. 2 : Závislost rozteče striací na délce trhliny.



Obr. 3 : Závislost délky trhliny na počtu cyklů.

6 Shrnutí

Významné rozšíření aplikačních možností fraktografie bylo umožněno v důsledku rozvoje experimentálních metod, zejména pak s vývojem řádkovací elektronové mikroskopie. Fraktografie je metoda nezbytná k analýze provozních poruch leteckých nehod. Umožňuje nám číst v „paměti“ tělesa s trhlinou a pomáhá tak předcházet leteckým neštěstím.

Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat trpělivému supervisorovi ing. Janu Sieglovi, CSc., dále pak všem, kteří se podíleli na organizaci letošního Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] VZLÚ a.s.: *Pevnost letadel*, <http://www.vzlu.cz/htmlfiles/pevnost.htm>
- [2] KUNZ, J.: *Fraktografické studium šíření trhlin v letadlových konstrukcích*. [Výzkumná zpráva LU 24/2001/CLKV.] Brno, CLKV 2001, 40 s.
- [3] KUNZ, J. – SIEGL, J. – NEDBAL, I.: *Fraktografická analýza nosníku křídla porušeného při únavové zkoušce*. [Výzkumná zpráva LU2/2003/CLKV] Brno, CLKV 2003, 47 s.

STUDIUM PLASMATICKY NANÁŠENÝCH POVRCHOVÝCH VRSTEV

*M. Anděl, Gymnázium Jeseník;
**T. Smejkal, gymnázium dr. Karla Polesného;
***V. Zobač, gymnázium Boskovice;

*diablocz@seznam.cz
**tomas.smejkal@gymzn.cz
***ladazobac@tiscali.cz

Abstrakt:

Seznámení se způsoby ochrany materiálů proti vnějším vlivům a zlepšení fyzikálních vlastností součástí. Plasmou nanášené povrchové vrstvy vykazují značné výhody oproti jiným způsobům aplikace ochranných materiálů. Objevují se mnohé užitečné způsoby využití.

1 Úvod

Náš miniprojekt se zabývá způsoby ochrany materiálů proti vnějším vlivům a zlepšení fyzikálních vlastností součástí a výrobků. O ochranu proti korozi apod. se snažili lidé odedávna. První pokusy o nástřik Pb oxyacetylenovou lampou byly podniknuty již v 1882 prof. Schoopem. Později se tento způsob začal nazývat stříkání plamenem. V roce 1910 byl objeven proces stříkání pomocí el. oblouku. Vývoj pokračoval a přinesl detonační, HVOF a nakonec i plasmatickou metodu (Ta sice byla objevena již po roce 1930, ale teprve v 60. letech 20. století se stala prakticky využitelnou.).

2 Nanášení a vlastnosti žárových nástřiků

Způsoby nanášení

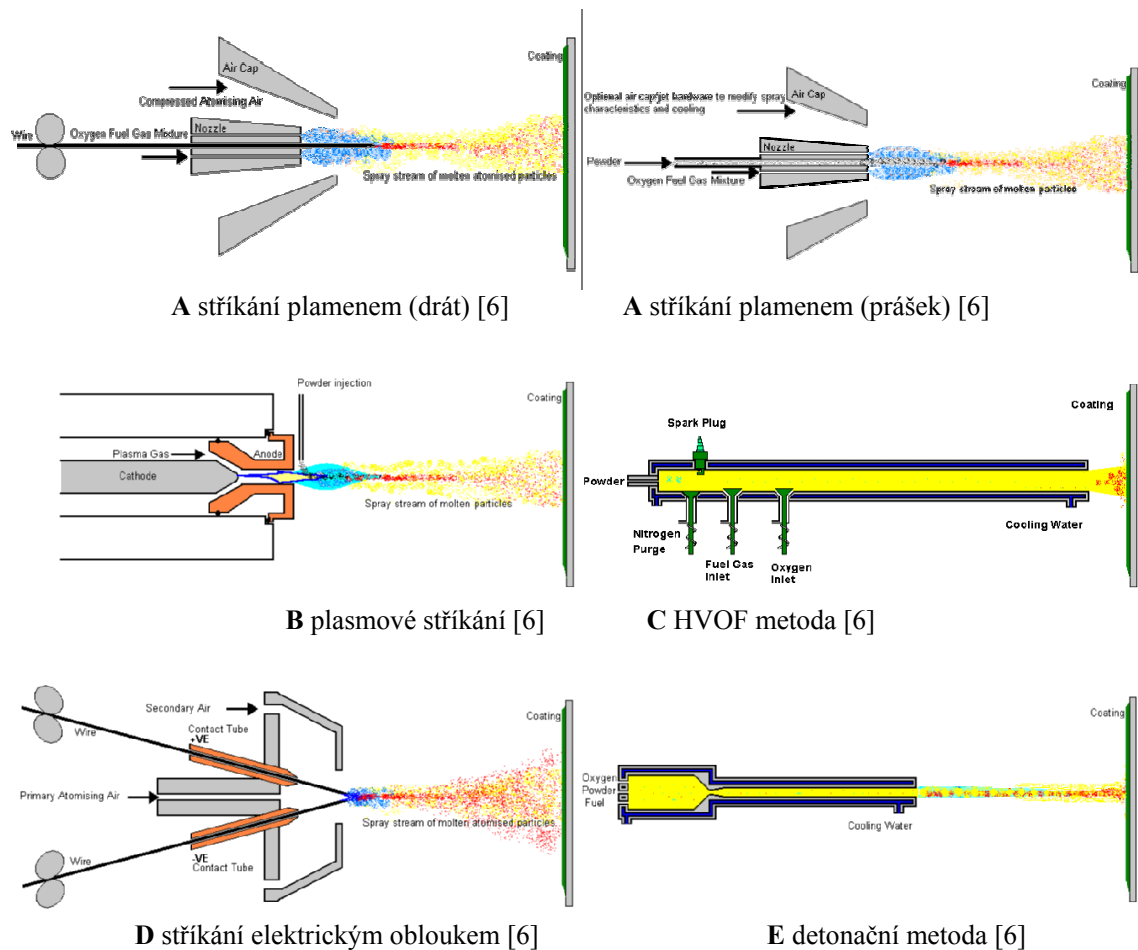
Souběžně s plasmatickým nástřikem se používají i další metody žárového stříkání. Obecně je účelem žárového nanášení vytvořit na substrátu vrstvu ochranné látky, jejíž vlastnosti jsou určeny použitou metodou, podmínkami nanášení a nanášeným materiálem.

Běžně se používají následující metody žárového stříkání:

- A. Stříkání plamenem – Hořák nataví drát a relativně nízkou rychlostí ho nanese na substrát.
- B. Plasmatické stříkání – Plyn ionizovaný el. obloukem roztaví a nanese stříkaný materiál na substrát. $v = 900 \text{ m/s}$
- C. Metoda HVOF (High-Velocity Oxy-fuel Spraying) – Vnitřní spalování směsi plynů (vodík, propan, kerosin) za zvýšeného tlaku. Směs je expandujícími plyny urychlena až na $1\,000 \text{ m/s}$.
- D. Stříkání elektrickým obloukem. – Využívá tavení nanášeného materiálu el. obloukem. Proudem plynu je natavený materiál nanesen na substrát. $v = (180-220) \text{ m/s}$
- E. Stříkání pomocí detonace – Směs acetylenu, kyslíku a nanášeného prášku vybuchuje s $f = (5-8) \text{ Hz}$ a roztavený prášek je tlakem nanášen na substrát. $v = 760 \text{ m/s}$

Tab. 1: Vlastnosti žárových nástřiků. [2]

		Stříkání plamenem (drát)	Stříkání plamenem (prášek)	Elektrický oblouk	Plasmatické nanášení	nanášení HVOF
Hustota vrstvy v % (100 % homogení tvářený materiál)	žel. kovy	90	90	90	95	98+
	nežel. kovy	90	90	90	95	98+
	keramika	-	95	-	95+	-
	karbidy	-	90	-	95+	98+
Tvrdost vrstvy HV	žel. kovy	180-345	160-390	230-390	160-390	205-510
	nežel. kovy	80-400	30-250	45-150	180-400	100-650
	keramika	-	513-820	-	513-1004	-
	karbidy	-	313-697	-	313-697	392-820
Tloušťka vrstvy [mm]	žel. kovy	1.25-2.5	1.25-2.5	1.25-2.5	1.25-2.5	1.25-2.5
	nežel. kovy	1.25-5	1.25-5	1.25-5	1.25-5	2.5-5
	keramika	-	0.4	-	0.4	-
	karbidy	-	0.4	-	0.4	0.6
Teplota hořáku [°C]		2600-3100	2600-3100	2200-8300	2200-30000	2200-8300



Princip nanášení

Dopadající kapičky roztavené látky se na substrátu doslova rozplácnou na tzv. splaty (cákance). Plasmové hořáky udílejí částicím nanášeného materiálu rychlost až 900 m/s a pracují za teplot až 20 000 K (u ústí trysky), což zpravidla vede k dobré přilnavosti a soudržnosti vrstvy, pokud jsou dosaženy optimální podmínky stříkání (vhodná atmosféra, čistý a zdrsňený povrch, čistý zdrojový prášek, vhodná teplota substrátu a vhodná stříkací vzdálenost). Protože nejsou podmínky nikdy ideální, tak výsledné vrstvy i při nejpečlivějším nanesení obsahují poruchy: velké nepravidelné póry, menší kulovité dutinky, nedokonalé spojení mezi splaty (ve skutečnosti přiléhají splaty pouze 30% svého povrchu) a mikrotrhliny vytvořené při nerovnoměrně rychlém tuhnutí splatů (řádově stovky stupňů za sekundu). Aby nanášená vrstva lépe přilnula na substrát, provede se tryskání povrchu (pískem či korundem), jehož cílem je očištění a zdrsňení povrchu substrátu.

Materiály – Vysoká teplota plasmového hořáku umožňuje nanášet na substráty většinu běžných materiálů od kovových až po keramické. Výsledkem správně zvolené kombinace substrátu a nanášené vrstvy lze vylepšit výsledné vlastnosti součásti (Pružný materiál pokrytý křehkou tvrdou vrstvou vykazuje jak pružnost, tak požadovanou tvrdost povrchu).

Vlastnosti těles s nástřiky

Cílem povrchových úprav součástí je zlepšit jejich fyzikální vlastnosti, (pevnost v tahu, pevnost v tlaku, odolnost proti otěru, ochrana proti mechanickým poškozením). Důležitou

vlastností je i únavová životnost těles s nástřiky. U cyklicky zatěžovaných těles vznikají v místech koncentrace napětí únavové trhliny. Správně zvolený povrchový nástřík zabrání jejich vzniku a šíření. Tím prodlouží životnost namáhané součásti.

Pro lepší pochopení způsobů porušování součástí žárovými nástřiky a pro zlepšení jejich vlastností jsou plasmaticky ošetřené materiály podrobovány únavovým zkouškám. Konkrétně na KMAT-FJFI se provádějí zkoušky v ohybu. Zkušební vzorek je pevně vetknut jedním koncem. Druhý konec je rozkmitáván magnetickým polem cívek. Po provedení zkoušky je vzorek zkoumán elektronovým mikroskopem, optickým mikroskopem, jsou měřena zbytková pnutí, hledány místa iniciace trhlín (v oblastech nejvyššího napětí), zkoumány způsoby šíření trhlín a vliv povrchových vrstev na jejich vliv a rozvoj. Například bylo zjištěno, že ve vrstvě dochází jak k lomu splatů, tak k jejich vzájemnému posuvu. Tímto mechanismem dochází k rozložení poškození na větší oblasti (a v důsledku ke zmenšení škod na materiálu). Při tuhnutí vrstvy a substrátu vznikají zbytková pnutí, která jsou jedním z faktorů ovlivňujících iniciaci a šíření trhlín. (Tahová pnutí ve vrstvě například působí proti otevírání trhlín v substrátu.) Výsledky měření umožňují dosahovat zlevňování výroby, zkvalitnění přípravy povrchu substrátu i technologii nanášení (vhodná teplota, tlak...)

Užití

Pro jejich zajímavé vlastnosti a nízkou cenu nalézají žárové nástřiky širokou škálu užití v mnoha oborech. Příklady užití:

- Strojírenství – oprava únavově opotřebovaných součástek strojů, antikorozní úprava strojů vystavených nepříznivým vnějším vlivům (pozinkování lodního trupu), výroba trubek rovnoměrným nanášením materiálu na hladký naolejovaný válec a následným stáhnutím odlitku;
- Lékařství – výroba porézního, biokompatibilního povrchu kloubních protéz;

3 Shrnutí

Plasmatické stříkání má velkou budoucnost. Tato technologie prodělává rychlý vývoj, je levná a účinná. Z toho důvodu nachází stále nové možnosti uplatnění. Proto má zkoumání vlastností žárových nástřiků velký význam.

Poděkování

Děkujeme všem sponzorům za finanční podporu a také našim supervisorům a pořadatelům akce za čas obětovaný našim miniprojektům.

Reference:

- [1] PROCHÁZKA, Z. – SIEGL, J.: *Studium vlastností žárově stříkaných vrstev*, ČVUT – FJFI-KMAT 1998, 44
- [2] KOVÁŘÍK, O. : *Studium vlastností žárově stříkaných vrstev* ČVUT, 2002.
- [3] PROCHÁZKA, Z.: *Únavové charakteristiky žárově stříkaných materiálů* ČVUT, 2002, str č.: 39
- [4] IPP A.S. ČR: *Institute of Plasma Physics* <http://www.ipp.cas.cz>
- [5] MSS LTD: *Metal Spray Suppliers* <http://www.metal-spray.co.nz/work/fwp.html>
- [6] NTSC: *Nature of thermal spray coatings* <http://www.gordonengland.co.uk/xtsc.htm>

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomu

A. Drábková

Gymnázium, Na Vítězné pláni 1160, Praha 4
dolliinka@seznam.cz

J. Křivánek

Gymnázium Vídeňská 47, Brno
krivanek_j@volny.cz

M. Rychnovský

Gymnázium, třída Kapitána Jaroše 14, Brno
kriket@luzanky.cz

J. Staněk

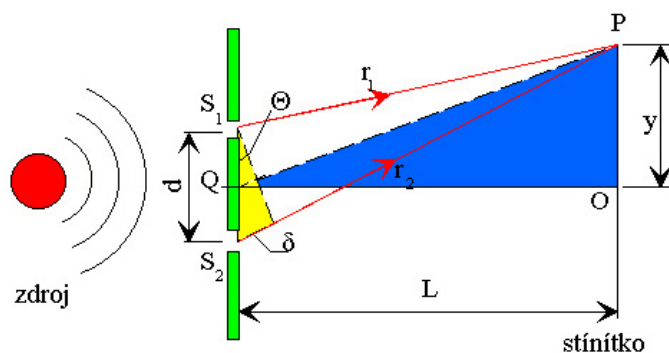
SGaGy, Plzeňská 3103, Kladno
honzatko.velike@atlas.cz

Abstrakt:

Náplní naší činnosti bylo seznámení se s transmisním elektronovým mikroskopem, jevy spojenými s difrakcí a určování krystalových soustav. Elektronová difrakce byla studována na tenkých fóliích na transmisním elektronovém mikroskopu JEOL 2010FX, pracujícím s urychlovacím napětím 200 kV. Byly prohlíženy monokrystalické vzorky zlata a polykrystalické napařené vrstvy Al a TiCl na tenké uhlíkové blance. Kroužkové i bodové difraktogramy byly indexovány s využitím standardních metod.

1 Úvod

Anglický fyzik Thomas Young v roce 1801 provedl experiment se dvěma štěrbinami. Svazek rovnoběžných monochromatických světelných paprsků o vlnové délce λ nechal dopadat na dvě štěrbiny (S_1, S_2) vzdálené o d (viz obr. 1).



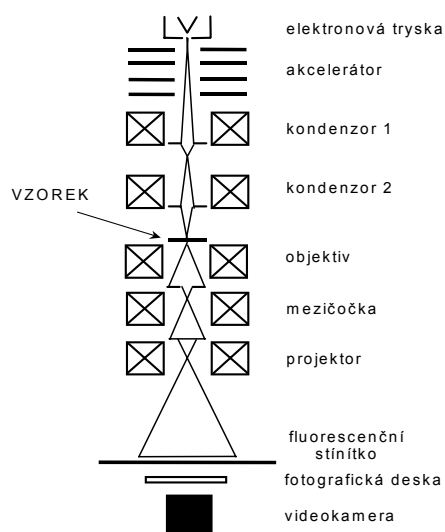
Obr. 1 Youngův experiment

Na stínítku umístěném v dostatečné vzdálenosti od štěrbin pozoroval světlé a tmavé proužky.

Později bylo ukázáno, že tento jev sestává ze dvou částí. Nejprve dochází k difrakci (ohybu) paprsků na mřížce a poté k interferenci (skládání) difraktovaných světelných vln. Tento jev jsme v průběhu našeho miniprojektu využívali k zobrazování krystalických struktur.

2 Difrakce elektronů v krystalech

Ačkoliv byla optická mikroskopie rozvinuta v mnohostrannou techniku, je omezena nedostatečnou rozlišovací schopností pro studium atomové struktury látek (vlnová délka viditelného světla je asi 2000x větší než velikost atomu – asi 0,3 nm). Proto jsme používali transmisní elektronový mikroskop JEOL 2010FX, který využívá urychlených elektronů, jejichž vlnová délka je srovnatelná s velikostí atomu.



Zdrojem elektronů v transmisním elektronovém mikroskopu je elektronová tryska (obr. 2). Emitované elektrony jsou urychlovány napětím v akcelérátoru a pomocí magnetických čoček pak soustředěny kolem optické osy. Elektrony prošlé vzorkem se zachycují na fluorescenční stínítko.

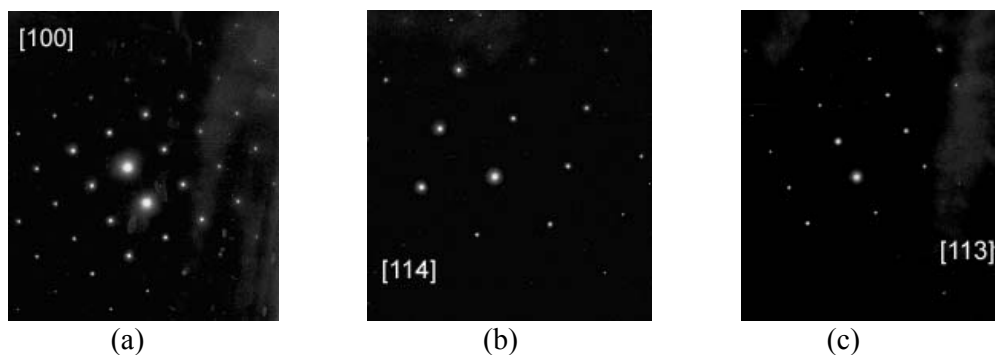
Při pozorování transmisním elektronovým mikroskopem můžeme získat tzv. difraktogramy - obrazce vzniklé interferencí vlnění prošlého krystalovou mřížkou vzorku. Tyto obrazce jsou charakteristické pro jednotlivé krystalické struktury, lze z nich vyčíst jaký vzorek pozorujeme.

Pro pozorování vlastního vzorku jsme používali obrazovou vzdálenost a pro pozorování difrakce ohniskovou vzdálenost.

Obr. 2 Schéma transmisního elektronového mikroskopu

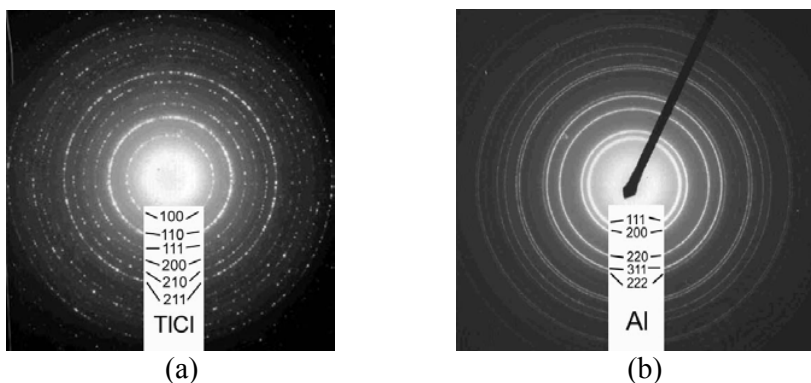
3 Výsledky

Cílem naší práce bylo určit z difraktogramů monokrystalu zlata směr dopadajícího elektronového svazku (tj. natočení monokrystalu). Hledané směry ([100], [114] a [113]) jsme určili použitím tabulek pomocí poměru vzdáleností a úhlů mezi difrakčními body (viz obr. 3).



Obr. 3 Difraktogramy monokrystalu zlata

Zatímco u monokrystalů pozorujeme diskrétní body, u polykrystalů vidíme tzv. kroužkové difraktogramy (soustředné kružnice). Jejich vyhodnocením jsme zjistili, o jakou krystalovou strukturu se jedná.



Obr. 4 Kroužkové difraktogramy polykrystalických vrstev (a) TiCl₃ a (b) Al.

Měřením poloměrů kroužků jsme zjistili, že na prvním obrázku 4(a) je kroužkový difraktogram TiCl₃, který má primitivní kubickou mřížkou. Na druhém obrázku 4(b) určité reflexe chybí v důsledku destruktivní interference a proto jsme usoudili, že se jedná o plošně centrovanou kubickou krystalovou strukturu hliníku.

4 Shrnutí

Pracovali jsme s transmisním elektronovým mikroskopem, který umožňuje pomocí difrakce zobrazit atomové uspořádání a krystalové poruchy uvnitř materiálu. Pomocí difraktogramů jsme určovali typ krystalových struktur zkoumaných vzorků.

Poděkování

Děkujeme všem organizátorům Fyzikálního týdne na FJFI, obzvláště našemu supervizorovi doc. Miroslavu Karlíkovi.

Reference:

- [1] KITTEL, CH.: *Úvod do fyziky pevných látek* Academia, 1985
- [2] SMOLA, B.: *Transmisní elektronová mikroskopie ve fyzice pevných látek* UK v Praze, 1983
- [3] KARLÍK, M.: *Pohled na atomy: vysokorozlišovací elektronová mikroskopie* Rozhledy matematicko-fyzikální 1995, číslo 4, ročník 72
- [4] http://www.matter.org.uk/diffraction/geometry/superposition_of_waves_exercises.htm
- [5] http://pascal.fjfi.cvut.cz/cgi-bin/toCP1250/~drska/edu/webfyz/rtg_difrakce/zuzstr1.html

Měření radonu

M. Štěpán*

L.Unzeitig**

V.Košář***

P.Martincová****

Supervisor RNDr. Lenka Thinová

*SOŠ Blatná, V Jezárkách 745

** Gymnázium, Olomouc, Čajkovského 9

***Gymnázium Brno, Vídeňská 47

****Gymnázium Broumov, Hradební 218

* marstep@seznam.cz

** unza@centrum.cz

*** vlastik9a@atlas.cz

**** pavla.martincova@centrum.cz

Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo proměření prostor vyšehradských kasemat a stanovení radiačního rizika pro průvodce. Dílčím úkolem bylo zjištění závislosti koncentrace radonu na aktuálních podmínkách jako vlhkost a proudění vzduchu a vyloučení závislosti na teplotě. Výsledky měření ukázaly, že v místech s menším prouděním vzduchu jsou koncentrace radonu větší.

1 Úvod

Co je to radon? Jak vzniká? Kde a proč se hromadí? Jak se dá změřit? V čem spočívá jeho nebezpečí pro člověka? Hrozí průvodcům v kasematech pod Vyšehradem nějaké nebezpečí?



2 Radon

Radon je inertní radioaktivní plyn s atomovým číslem 222. Je jediným plynem z uranové rozpadové řady. Vzniká přeměnou izotopu rádia 226, které vzniká rozpadem uranu 238, jenž je v různém množství obsažen v zemské kůře. Na rozdíl od ostatních prvků uran-radiové

rozpadové řady má schopnost pronikat ze zemské kůry k jejímu povrchu a dále do atmosféry. Celkový počet atomů, který se uvolní do ovzduší, charakterizuje tzv. *součinitel emanace radonu*. Na koncentraci radonu má vliv proudění vzduchu, vlhkost a teplotní rozdíl mezi venkovním a vnitřním prostředím, proto jeho koncentrace v nevětraných prostorech dosahuje vysokých hodnot. Vysoká koncentrace radonu bývá např. v jeskyních a ve starých sklepních prostorech, kde nedochází k větrání.

3 Metody měření

K měření radonu jsme použili tyto přístroje:

průtoková ionizační komora (Radonic), monitor Radim 3, přístroj pro detekci produktů rozpadu radonu PSDA, souprava pro detekci radonu v půdním vzduchu ERM 2

K měření dávkového příkonu γ :

RADOS RDS-110, monitor dávkového příkonu NB 3201

K měření proudění vzduchu:

Měřič proudění a měřič rychlosti TESTO

Průtoková ionizační komora

Komorou je neustále pročerpáván vzduch přes filtr, kde se usazují produkty přeměny radonu. Tím se do komory dostává pouze radon. Komora potom stanovuje průměrnou hodnotu objemové aktivity samotného radonu (v Bq/m³)

RADIM 3

Radim vzduch nenasává, ale měří pomocí polovodičového detektoru objemovou aktivitu radonu pouze ve vzduchu, který jím projde samovolně (tzv. difúzní režim)

Přístroj pro detekci produktů rozpadu radonu PSDA

PSDA prosává okolní vzduch přese filtr, kde se usazují produkty přeměny radonu. Pomocí polovodičového detektoru se zjišťuje množství jednotlivých produktů přeměny.

Souprava pro detekci radonu v půdním vzduchu ERM 2

Jedná se o malou ionizační komůrku, která pracuje na principu kondenzátoru. Mezi elektrody je přiveden vzorek vzduchu obsahující radon. Vzniká proud, který reprezentuje počet přeměn v atomech radonu.

RADOS RDS-110

Tento přístroj slouží k měření dávky záření γ pomocí počtu dopadajících fotonů.

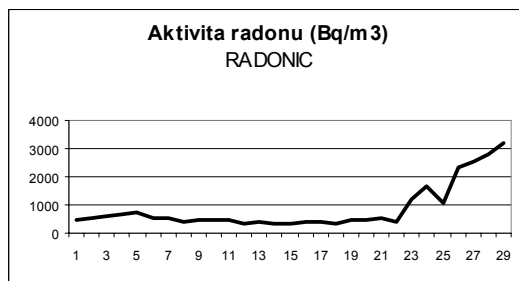
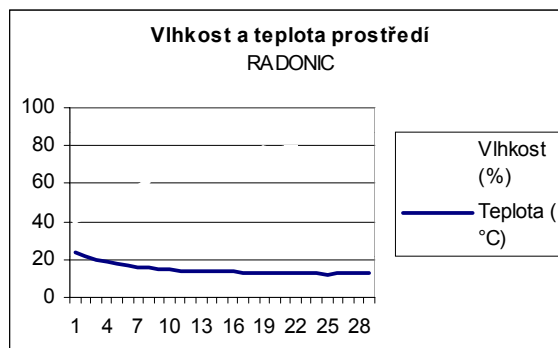
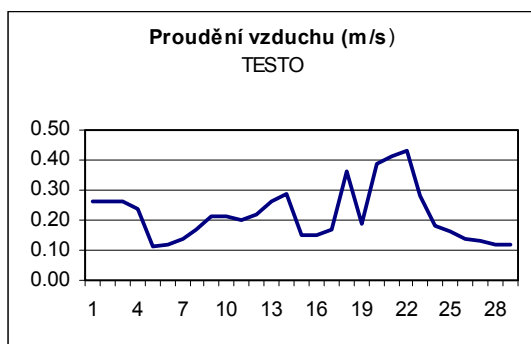
Monitor dávkového příkonu NB 3201

Měří dávku v pGy/s, které by byl vystaven člověk v dané oblasti. Skládá se ze sondy se scintilačním detektorem a vyhodnocovacího panelu.

4 Výsledky měření

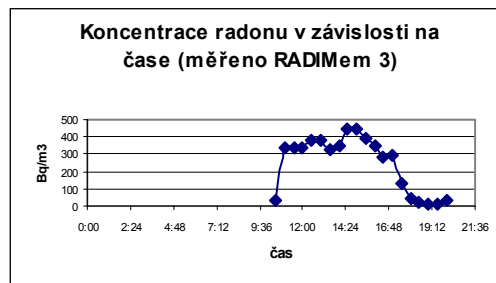
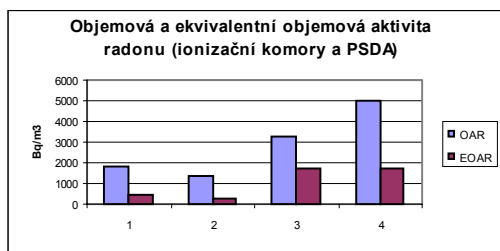
Chodbu, tvořící kasemata, jsme si rozdělili na 29 měřících bodů s krokem 5 m. Na těchto bodech jsme pak stanovili jednotlivé měřené parametry (viz grafy).

Měření radonu



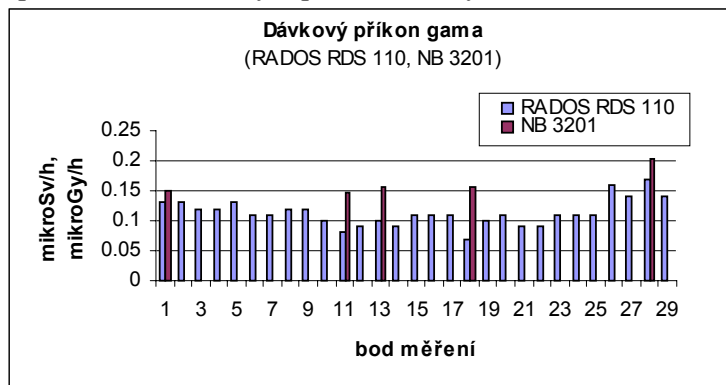
Z těchto grafů je patrná následující závislost: S klesajícím prouděním a s vyšší vlhkostí vzduchu se zvyšuje objemová aktivita (koncentrace) radonu. Největší objemovou aktivitu jsme zjistili na konci chodby, jež byla zakončena skalní stěnou.

Měření dceřiných produktů



$$k = 0,3$$

Zjistili jsme, že koeficient nerovnováhy k mezi radonem a produkty jeho rozpadu je 0,3, což odpovídá méně větraným prostorům s vysokou vlhkostí.



Zjištěný dávkový příkon odpovídá běžným hodnotám přírodního pozadí.

5 Shrnutí

Měřili jsme koncentraci radonu, jeho dceřinných produktů a dávkový příkon záření gama v kasematech (viz grafy). Kontinuální měření ukázalo, že průměr naměřených hodnot ($340,5405 \text{ Bq/m}^3$) nepřekračuje povolený limit (400 Bq/m^3). Měřením jsme zjistili, že koncentrace radonu neohrožuje zdraví průvodců. Jediným místem s nadlimitními koncentracemi byla část slepé chodby, kde se v současné době neprovádí. Naše výsledky budou dále použity pro Správu národní památky Vyšehrad.

Poděkování

Děkujeme RNDr. Lence Thinové za odbornou pomoc, FJFI ČVUT za materiální a finanční pomoc a ing. V. Svobodovi, CSc. za organizaci Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] Moučka, L.: Zdroje a transport radonu v budovách, lmoucka@suro.cz
- [2] Berka, Z.: Základy a principy detekce radonu, berka@fjfi.cvut.cz
- [3] Janská, E. a kol.: Měření radonu v jeskyních, eva.janska@seznam.cz

Měření přirozené radioaktivity na Vyšehradě

P. Guhlová – Gymnázium Na Vítězné pláni Praha

M. Slavík – Gymnázium Jana Masaryka Jihlava
mellkori@seznam.cz

R. Žlebčík – Gymnázium Christiána Dopplera

V. Artušenko – Soukromé šestileté Gymnázium Ostrava

Supervisor: Ing. Z. Berka

Abstrakt:

Přirozená radioaktivita je všude okolo nás, na každého z nás působí a také se jí každý bojí, protože ji našimi smysly nemůžeme zachytit. V našem projektu jsme se zaměřili na zmapování radiační situace na pražském Vyšehradě, na hradbách a uvnitř kasemat, které jsou častým cílem turistů. Z měření jsme zjistili, že množství radioaktivních prvků obsažených v půdě odpovídá standardním hodnotám. Koncentrace radonu v půdě navezené na hradbách je nižší než v původním podloží, a i tam je na dolní hranici obvyklých koncentrací.

1 Úvod

Vyšehrad byl v minulosti významným strategickým bodem v Praze a to především vzhledem ke své poloze. V minulosti byl proto poměrně intenzivně využíván k vojenským účelům a byl součástí pražského obranného systému. V 17. stol. došlo k celkovému přebudování vyšehradského opevnění, byly vybudovány mohutné hradby s podzemními ochozy (tzv. kasematy) a celý prostor mezi hradbami byl zarovnan. Toto opevnění se zachovalo až do současnosti, prochází prakticky podél celých vnějších hradeb a částečně i pod střední částí vyšehradské plošiny. Některé části kasemat jsou přístupné veřejnosti.

V našem projektu jsme se zaměřili na problematiku přirozené radioaktivity, co to je přirozená radioaktivita, jak vzniká, kde ji najdeme a jak ji měříme. Dále jsme se rozhodli zmapovat úroveň radioaktivity na Vyšehradě a jestli zde přítomnost radonu a radiace neohrožuje zdraví průvodců a turistů.

2 Přirozená radioaktivita

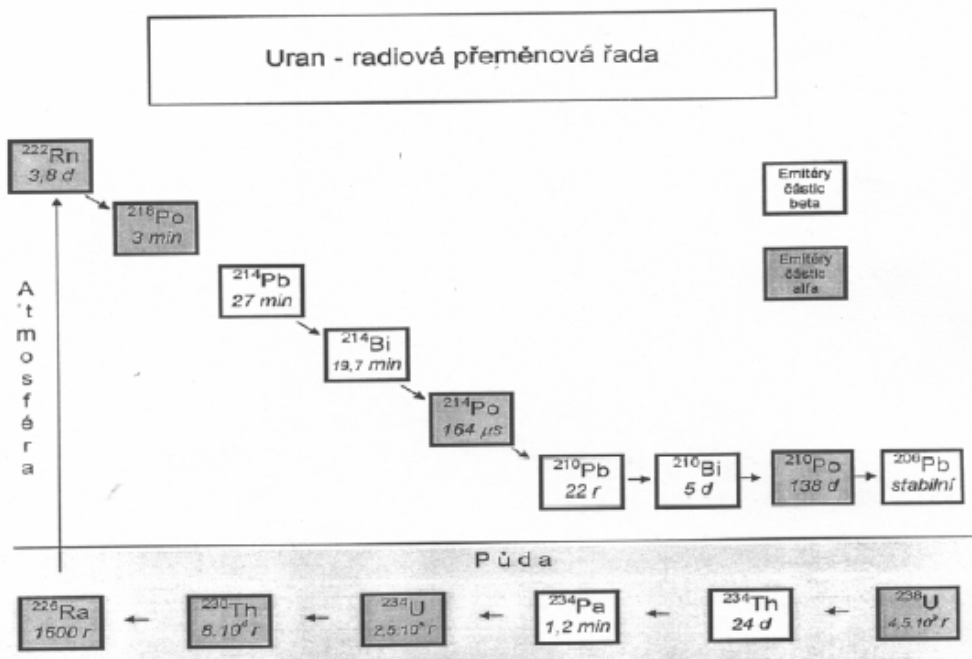
Je to přeměna nestabilních jader prvků na stabilní za vzniku alfa, beta nebo gama záření.

Záření alfa V podstatě jde o atomová jádra ${}^4_2\text{He}$, což jsou těžké nabitě částice. Energie těchto částic je řádově v jednotkách megaelektronvoltů (MeV). Částice alfa nesou dva elektrické

náboje, proto při průchodu prostředím silně ionizují a velmi rychle ztrácejí svoji energii. Dosah záření alfa je tudíž značně omezen. Ve vzduchu činí jenom několik milimetrů, ve vodě nebo v tkáni jenom zlomky milimetrů. V přírodě ho lze najít u ^{226}Ra a jeho dceřiných produktů.

Záření beta je tvořeno proudem elektronů nebo pozitronů. Jde o částice lehké, jejichž dosah v látce je větší než u záření alfa. V přírodě ho lze také najít u některých dceřiných produktů radonu.

Záření gama je elektromagnetické záření, které je tvořeno fotony. Na rozdíl od předchozích dvou typů jde o tzv. nepřímo ionizující záření, kdy při průchodu látkou jsou produkovány elektrony (tzv. sekundární částice) o příslušné energii. Vysílají ho některé nuklidy uranové, thoriové nebo aktiniové řady.



Většina přírodních radioaktivních nuklidů je součástí přeměnových řad (např. uran – radiové řady), nuklid ^{40}K se v těchto řadách nevyskytuje.

Nejvýznamnějšími složkami přírodní radioaktivity jsou: radon-222 (jako zdroj vnitřního ozáření, zejména plic), gama-záření pocházející z některých prvků v podloží (především draslík-40, radium-226, thorium-232), kosmické záření a záření prvků, které člověk přijímá s potravou a které se usazují v jeho těle. Z hlediska ochrany před takovými složkami tzv. přírodního radioaktivního pozadí hraje nejdůležitější roli minimalizace doby pobytu v rizikových prostorách, případně se přistupuje i k aktivním opatřením jako je např. větrání. Vyhledávání rizikových oblastí a analýza rizikových faktorů patří k jednomu z hlavních úkolů ochrany před přírodním zářením.

Přístroje a vybavení

Spektrometrie

Přirozenou radioaktivitu prvků jsme měřili pomocí scintilačního spektrometru s alkalickým halogenem NaI, aktivovaným těžkým kovem Tl. Tento druh dosahuje ze všech známých scintilátorů nejlepší energetické rozlišovací schopnosti pro fotonové záření.

Součástí scintilačního spektrometru:

Scintilační sonda, obsahující scintilátor, fotokatodu a fotonásobič, a mnohokanálový analyzátor, dělicí se na A/D převodník a čítač.

Princip detekce záření:

Fotony záření γ interagují se scintilátorem třemi hlavními mechanismy:

1. Fotoefekt

2. Comptonův efekt

3. Tvorba párů elektron pozitron

Konečným produktem všech vyjmenovaných procesů je elektron nebo elektron-pozitronový pár. Tyto částice excitují atomy scintilátoru, které při zpětné deexcitaci vyzáří světlo. Světlo dopadne na fotokatodu, kde pomocí fotonásobičů vzniká nábojový impuls. Tento impuls je dále upravován, zesilován a přechází do mnohokanálového analyzátoru, kde je vyhodnocováno již finální spektrum záření prvků.

Na počátku měření je třeba provést energetickou kalibraci, pro určení vztahu mezi energií a kanálem, která je důležitá pro následné určení prvků zjištěného spektra. Tuto kalibraci jsme prováděli pomocí thoria-232.

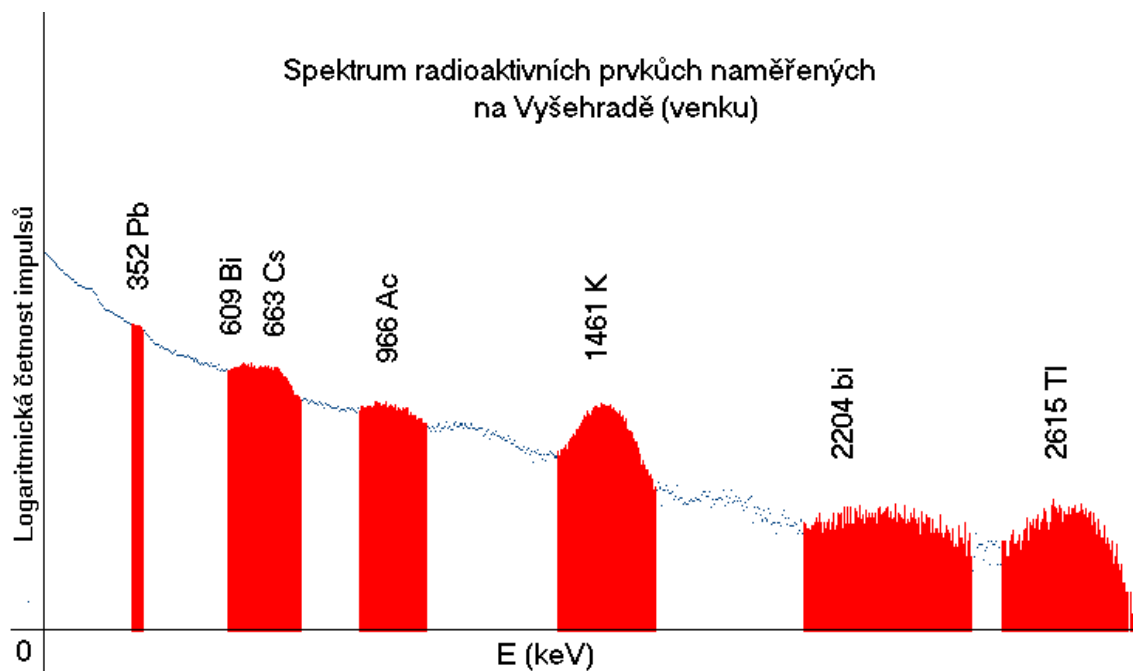
Měření dávkového příkonu

Toto měření jsme prováděli jak pomocí měřiče dávkového příkonu záření gama Tesla MB 3201 se scintilační sondou, tak pomocí měřiče dávkového příkonu záření gama Eberline FH 40F2 (Geiger-Müllerova detektoru).

Měření Radonu v půdním plynu

Je prováděno pomocí metody ztracených hrotů, při níž jsme odebrali půdní vzduch a ten jsme analyzovali pomocí soupravy pro stanovení koncentrace radonu v půdním vzduchu ERM2.

3 Výsledky:



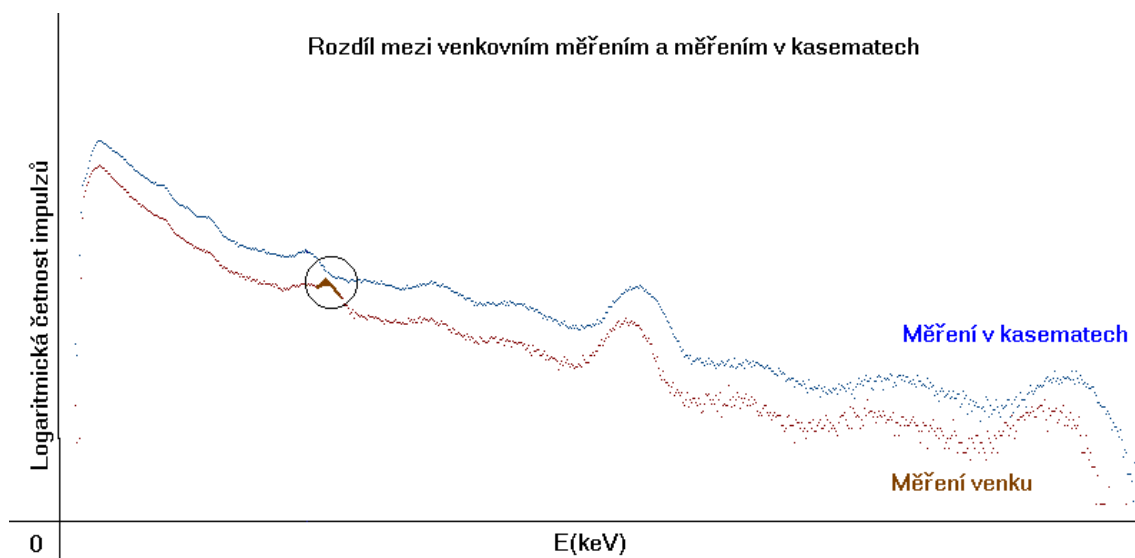
Z tohoto spektra vyplývá, že ve zkoumané lokalitě jsou tyto radionuklidy:

^{214}Pb a ^{214}Bi – patří do uranové řady

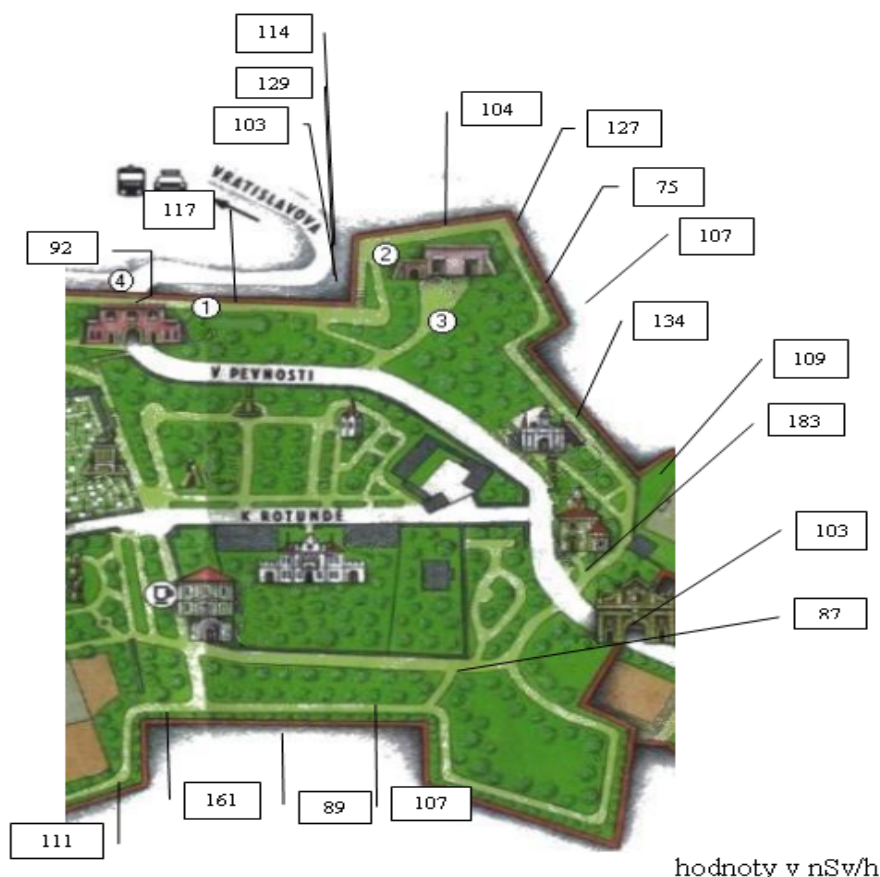
^{228}Ac a ^{208}Tl – patří do thoriové řady

^{40}K – je samostatný přírodní nuklid

^{137}Cs – není přírodní prvek, je umělým produktem.



Tento graf ukazuje rozdíl mezi venkovním spektrem a spektrem v kasematech. Při měření venku jsme objevili na energetické hladině 663 keV přítomnost ^{137}Cs , jež je označena kroužkem.



Na tomto plánu jsou vyznačeny hodnoty dávkového příkonu γ na povrchu na různých místech Vyšehradu.

Legenda:

1. Hradby nad Cihelnou bránou
 - měření dávkového příkonu: 200 nSv/h
 - měření aktivity radonu v půdním vzduchu : < 3 kBq/m³
2. Násep nad Gorlicí
 - měření dávkového příkonu: 220 nSv/h
 - měření aktivity radonu v půdním vzduchu : 3,7 kBq/m³
3. Dětské hřiště před Gorlicí
 - měření dávkového příkonu: 170 nSv/h
 - měření aktivity radonu v půdním vzduchu: 24 kBq/m³
4. Pozemek před Cihelnou bránou
 - měření aktivity radonu v půdním vzduchu: 9 kBq/m³

Diskuse:

Z naměřených hodnot aktivity radonu v půdním vzduchu vyplývá, že navezená hornina na hradbách je chudší na ²²⁶Ra (resp. ²³⁸U) než původní podloží, měřené uvnitř areálu (dětské hřiště) i mimo areál (před Cihelnou bránou). Obě podloží patří do nízkého radonového rizika. Měřič dávkového příkonu záření gama Tesla MB 3201 se scintilační sondou v porovnání s měřičem dávkového příkonu záření gama Eberline FH 40F2 mírně podhodnocuje, protože nemusí pracovat ve stejném energetickém rozsahu. Naměřené hodnoty se pohybují v běžném rozmezí, což je 100-200 nSv/h. Při venkovním měření spektra jsme objevili přítomnost ¹³⁷Cs, které není přírodním prvkem. Při testování jaderných zbraní (v 50. letech 20. stol) a haváriích

jaderných zařízení se tento prvek dostává do atmosféry a odtud je vymýván deštěm do půdy. Proto jsme jej nezachytili při měření v kasematech.

4 Shrnutí

Při měření jsme nezaznamenali k žádné vyjimečné odchylky od předpokládaných hodnot a radioaktivita zde není zdraví nebezpečná.

Poděkování

Děkujeme RNDr. L. Thinové, Ing. Z. Berkovi a Ing. K Knappovi, CSc. za veškerou pomoc a informace, které nám poskytli, a V. Svobodovi, CSc. za možnost zúčastnit se Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] GERNDT, J. : *Detektory ionizujícího záření*, Vydavatelství ČVUT Zikova 4 Praha 6, 1994
- [2] *Fyzika pro IV.ročník gymnázií*, SPN 1987
- [3] ČECHÁK, T.: *Základní fyzikální pojmy z oblasti radioaktivity*, ČVUT FJFI
- [4] MOUČKA, L.: *Zdroje a transport radonu v budovách*, Státní ústav radiační ochrany
- [5] MAREŠ, S. a kol.: *Úvod do užité geofyziky*, Vydavatelství ALFA 1979

Využití lyoluminiscence v dozimetrii

J. Macků, Česko-anglické gymnasium, České Budějovice,

aglaria@gmx.net

J. Chylík, Gymnázium Horní Počernice

J. Šrejber, Gymnázium Broumov

Abstrakt

Při rozpouštění některých ozářených látek ve vodě či jiných rozpouštědlech dochází k uvolnění fotonů. Tento jev lze využít pro měření dávky ionizujícího záření absorbované v látkách. Cílem úlohy bylo stanovení dávkové závislosti glukosy, glutaminu a směsi obou látek a určení procentuálního zastoupení glukosy a glutaminu ve směsi obou látek.

1. Úvod

Jedním z fyzikálních procesů, které lze použít k odhadu absorbované dávky ionizujícího záření v materiálu je lyoluminiscence (dále jen LL). Jedná se o emisi fotonů, ke které dochází při rozpouštění látek ozářených ionizujícím zářením ve vhodných rozpouštědlech. Lyoluminiscenční vlastnosti byly zkoumány především pro různé sacharidy a aminokyseliny, existují však i u anorganických látek (alkalických halogenidů).

Dozimetrické uplatnění lyoluminiscence nepřekračuje laboratorní měřítko a jen stěží lze předpokládat, že se v dohledné době stane vážnou konkurencí rutinním metodám, jako je zejména termoluminiscence. Může však být s výhodou použita v některých aplikacích, kdy se uplatní specifické vlastnosti lyoluminiscenčních materiálů, např. cukrů v biologických experimentech.

2. Princip metody

Při ozařování organických látek ionizujícím zářením dochází ke štěpení vazeb mezi atomy v molekule a vznikají atomy či skupiny atomů s nepárovým elektronem, tzv. radikály ($R\cdot$). Část radikálů brzy po ozáření rekombinuje, ale část je v látce stabilizována (např. vodíkovými můstky). Tyto peroxyradikály se při rozpouštění rozpadají a rekombinují na kyslík a uhlovodíky za současné emise fotonů. Množství světla emitované při rozpouštění dané látky, tj. lyoluminiscenční odezva, závisí na obsahu volných radikálů v látkách a ten zase na dávce, kterou byly tyto látky ozářeny.

3. Materiály a metody

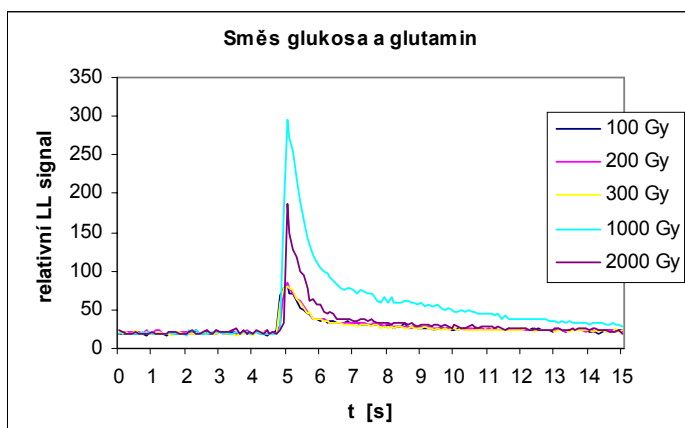
Na laboratorních vahách byly odváženy tři série vzorků (glukosa, glutamin a směs obou látek). Tyto série vzorků byly ozářeny v intervalu dávek 0-2000Gy γ -zářením ^{60}Co (1,17 a 1,33 MeV). Samotný LL proces probíhá ve světlotěsné komůrce před fotonásobičem, kam byly umísťovány skleněné zkumavky se vzorky. Po otevření clony oddělující komůrku a fotonásobič byl ozářený vzorek rozpuštěn vstříknutím rozpouštědla, v našem případě destilované vody, pomocí makropipety. Uvolněné fotony vyraží z fotokatody fotonásobiče elektrony a výsledný proud je měřený pikoampérmetrem. Nastavením přesného odporu ($10^8\Omega$) na pikoampérmetru je možno měřit napětí v intervalu 0-2V. Časový průběh signálu napětí je zaregistrován počítačem pomocí připojené A/D karty RTX-03A.

4. Výsledky

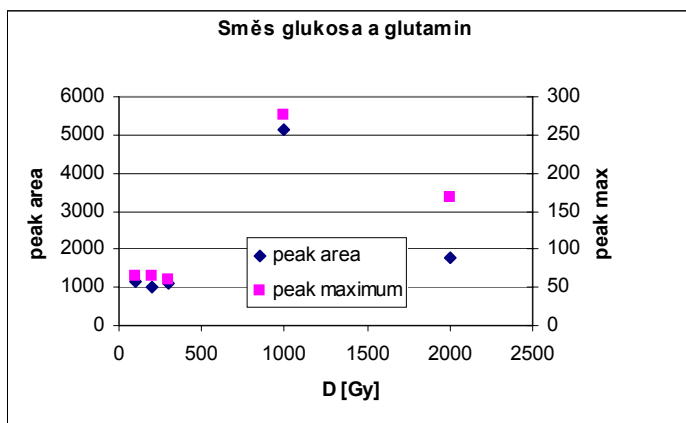
Ověřili jsme, že je možné použít metody lyoluminiscence k určení absorbované dávky. Na *Grafu 1* je zobrazen časový průběh lyoluminiscenčního signálu pro jednotlivé dávky pro směs glukosy a glutaminu. Na *Grafu 2* je pro stejnou směs zobrazena závislost plochy resp. maxim těchto píků. Dle předpokladu s rostoucí dávkou odezva roste, u nejvyšších hodnot nastává saturace. Obdobné výsledky jsme získali i pro samotnou glukosu a glutamin.

Ozáření proměřovaných vzorků proběhlo již v únoru, a proto jsme porovnali také lyoluminiscenční odezvu naměřenou krátce po ozáření s našimi výsledky. Při nižších dávkách se dle očekávání projevuje v důsledku vymírání radikálů pokles signálu. V oblasti vyšších dávek překvapivě výtěžek radikálů roste (*Graf 3*). Není jasné, jestli je tento fakt způsoben chybou měření nebo chemickými procesy probíhajícími v materiálu.

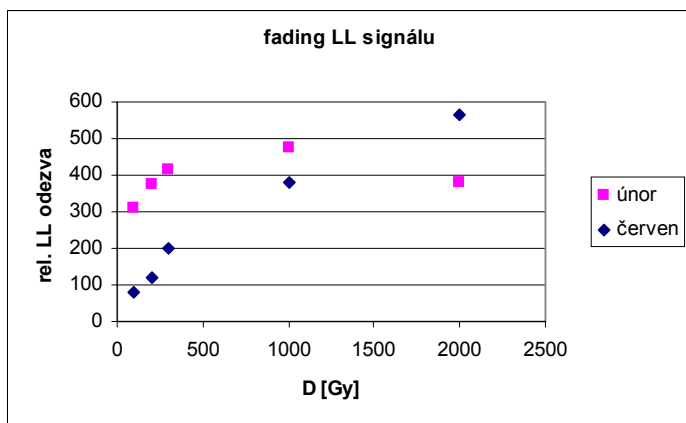
Naším úkolem dále bylo ověřit procentuální zastoupení glutaminu a glukosy ve směsi. Výsledky u hodnot 100-300Gy vykazují shodu se známými hodnotami 85% glukosy a 15% glutaminu. Zbylé dvě hodnoty, a tedy i průměr, jsou olivněny nepřesnostmi v měření (*Tabulka 1*).



Graf 1.: Časový průběh lyoluminiscenčního signálu pro směs glukosy a glutaminu.



Graf 2.: Závislost plochy resp. maxima píku na dávce pro směs glukosy a glutaminu.



Graf 3.: Vývoj lyoluminiscenční odezvy v čase.

D [Gy]	glukosa (%)	glutamin (%)
100	0,84	0,16
200	0,89	0,11
300	0,93	0,07
1000	0,43	0,57
2000	0,67	0,33
Průměr	0,75	0,25

Tabulka 1.: Vypočtené procentuální zastoupení glukosy a glutaminu ve směsi.

5. Poděkování

Na tomto místě bychom chtěli vyjádřit poděkování Ing. Marii Běgusové, CSc., Ing. Viktorii Štísové za podporu a cenné podněty v průběhu práce a Ing. Vojtěchu Svobodovi za skvělou přípravu kursu.

6. Reference

- [1] Ettinger, K.V.- Puite, K.J.: *Lyoluminescence Dosimetry Part I. Principles*, Int. J. Appl. Radiat. Isot. Vol.33.pp.1115 to 1138, 1982
- [2] Šeda, J. – Trousil, J.: *Integrované dozimetrické metody*, ČVUT Praha, 1979

Co stihne světlo za pikosekundu?

Měření času s pikosekundovou přesností

V. Cupal¹, J. Lískovec², J. Pavlišta³, D. Šulc⁴

¹Gymn. Jeseník, ²Gymn. Olomouc Čajkovského 9,

³Gymn. Jana Masaryka Jihlava, ⁴Gymn. Břeclav

²jan.liskovec@seznam.cz

Abstrakt

Naším tématem bylo měření časových intervalů. Seznámili jsme se s různými metodami měření a jejich výhodami a slabostmi. V praxi jsme si vyzkoušeli jednoduchý experiment. Proměřili jsme změny zpoždění průchodu elektrického impulsu koaxiálním kabelem na teplotě.

1 Úvod

Měření času je úkon provázející člověka od začátku jeho bádání a poznávání okolí a sebe sama. Historickými objevy se tento obor stále zlepšoval – zpřesňoval. Od slunečních k mechanickým až např. k atomovým. Měření času bylo základem pro další rozvoj jiných oblastí. Náš experiment využívá měření intervalu elektrických impulsů ke zjištění teplotní závislosti doby průběhu signálu koaxiálním kabelem. Jiným využitím měření s pikosekundovou přesností může být zjišťování vzdálenosti družic nebo Měsíce. Toto má využití například při předpovídání zemětřesení díky předcházejícím posuvům zemských ker nebo ke změření konstanty G/M. Další možnou aplikací je synchronizace časů na oběžné dráze.

2 Metody měření času

První metodou moderního měření času je počítání vln elektrického napětí vycházejících z ustáleného oscilátoru. Limitem tohoto způsobu jsou však nanosekundy. Můžeme mít také kondenzátor o známé kapacitě. Jeho nabíjení z původní hodnoty napětí na vyšší probíhá po exponenciálně dané kapacitou. Pokud změříme napětí, na které se kondenzátor nabil, můžeme zjistit i dobu, po kterou k tomu docházelo. Chyby tohoto způsobu vznikají nepřesnostmi stavby kondenzátoru a při určování napětí. Jsou vhodné i pro časy kratší než 1 ps, ale jen v malém dynamickém rozsahu.

Zpřesnění první metody lze dosáhnout na základě principu použitého na posuvném měřítku (známém pod obecným názvem šuplér) – Vernierův princip. Máme dva signály o podobné vysoké frekvenci (v našem případě 200 a $200 \cdot (255/256)$ MHz). Pokud tyto dva

signály spojíme vznikne signál (viz rovnice 1) modulovaný s nižší frekvencí, kterou jsme schopni měřit.

$$u_1 + u_2 = 2A \cos\left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t\right) \cos\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t\right) \quad (1)$$

Nyní počítáme jen počet nosných vln o nižší frekvenci $f_1 - f_2$. Tento způsob jsme použili i my v našem experimentu a analogický princip používáme při ladění nástrojů pomocí ladiček.

3 Experiment

Naše pokusná aparatura se skládala z těchto částí: generátor impulzů, čítač časových intervalů HP 5370B, osciloskop, termostatová vana, teploměr a pásmové měřidlo. Generátor vytváří kladný pulz s frekvencí 100 Hz, amplitudou 5V, šířkou 10 ns a náběžnou dobou 3 ns. Impulz prochází čítačem a dál volně končí v termostatu. Na volném konci se odráží zpátky, protože okolní prostředí má nekonečnou impedanci. Poté znovu, ale zeslaben projde čítačem, který měří časový interval mezi těmito průchody. Celková délka kabelu byla 28,07 m, z čehož 26 m bylo ponořeno. Při výpočtech bylo ale třeba uvažovat délky dvojnásobné, protože impulzy procházely tam a zpět.

Z množství výsledků také počítá čítač aritmetický průměr a směrodatnou odchylku. Aparaturu jsme nechali prvně zahřát a měřili s koaxiálním kabelem ve vzduchu o pokojové teplotě (25°C). Poté jsme ho ponořili do termostatu, který měl uvnitř vodu o teplotě 54°C. Nakonec jsme do termostatu nalili vodu studenou a ověřili, že se hodnota zpoždění vrátila na hodnotu odpovídající pokojové teplotě.

4 Statistika

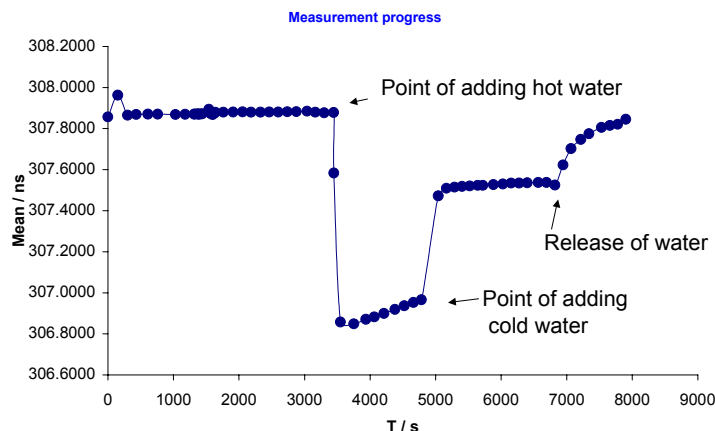
Měření jsou zatížena různými chybami. Seznámili jsme se základními typy chyb (systematické, náhodné). Ukázali jsme si pravděpodobnostní rozložení náhodné chyby (Gaussova křivka) a pravidla pro výpočet celkové chyby měření. Ze vzorce pro průměrnou odchylku měření (viz rovnice 2) vyplývá, že pokud chceme mít měření n -krát přesnější, musíme provést dalších n^2 měření.

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

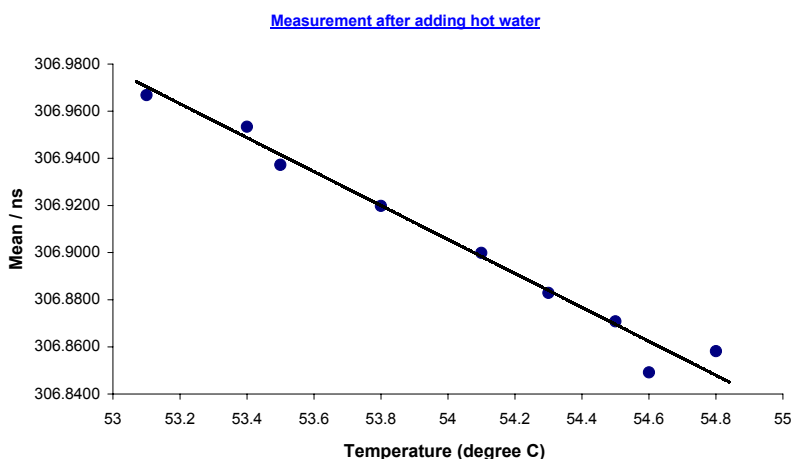
Chyby při našem měření nastaly především kvůli nepřesnému odečítání teplot, nemůžeme vyloučit ani chybu přístroje.

5 Výsledky a závěry

Výsledky našeho měření ukazují změny doby, kterou elektrický impuls prochází kabelem, tedy jeho rychlosti v závislosti na tom, v jakém prostředí se nachází. Impulzy jsou tak rychlé, že bychom bez měření na pikosekundy neobešli. Následující graf č.1 ukazuje změny časového intervalu zachycené čítačem v průběhu celého experimentu.



Graf 1: Celkový časový průběh změn zpoždění.



Graf 2: Závislost zpoždění v kabelu na teplotě okolí, výsledná změna je $-0,67 \text{ ps/K/m}$

Z našich výsledků vyplývá, že elektrický signál se našim konkrétním koaxiálním kabelem šířil rychlostí $1,8 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$, což odpovídá $c/1,7$ a dále jsme naměřili, že zpoždění se mění s teplotou rychlostí $-0,67 \text{ ps K}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Poděkování

Děkujeme za skvělou podporu a pomoc našemu supervisorovi Ing. Josefovi Blažejovi, PhD. a samozřejmě také celé fakultě a organizátorům, že tuto akci pro nás vůbec podnikají.

Reference:

- [1] Hewlett Packard: *Users Manual for Universal Time Interval Counter*. HP Company, 1983
- [2] VRBOVÁ, M. A KOL.: *Lasery a moderní optika*. Prometheus, 1994
- [3] MIKULČÁK A KOL. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. Prometheus, 1988
- [4] A. V. KOTWAL, M. KIRBY, W. J. ROBERTSON *COT Calibration System Prototype Tests*. Duke University, [online] <http://www.phy.duke.edu/research/hep/internal/fanout_test.ps>, 1999

Difraktivní optika - holografie

Petr Veverka¹⁾, Petr Novotný²⁾, Jan Seifrt³⁾, František Sedlák⁴⁾

¹⁾Gymnázium Žatec, ²⁾Gymnázium Brno, Vídeňská 47, ³⁾Gymnázium Podbořany, ⁴⁾Gymnázium Elišky Krásnohorské, Praha 4

1) magnusdeus@atlas.cz, 4) Sedlak.Frantisek@seznam.cz

Abstrakt:

Na základě znalostí interference a difrakce světelného vlnění jsme začali zkoumat jejich praktické využití, kterým je mimo jiné i holografie.

1 Úvod

Pojem hologram pochází z řečtiny a znamená „úplná zpráva“ (holos=úplný, gramma=zpráva). Jedná se o metodu optického zobrazování, která narozdíl od fotografie zachovává trojrozměrnost zobrazovaného objektu.

Počátky holografie se datují do roku 1947, kdy maďarský vědec Denis Gabor vytvořil první hologram. Od té doby se toto odvětví značně rozvinulo a v dnešní době známe již několik typů hologramů (např. transmisní, reflexní či duhový) a různé principy jejich výroby.

Budeme-li chtít pochopit princip holografie, musíme si nejprve vysvětlit základní pojmy, na kterých je založena: interference a difrakce.

2 Holografie

• Interference – skládání vlnění

Vlnění je charakterizováno vlnovou délkou a frekvencí. Podmínkou je koherentnost vln. Setkají-li se dvě koherentní vlny, nastane interference. Výsledkem interference je tzv. interferenční obrazec. Vzniknou intenzitní maxima resp. minima, která jsou výsledkem konstruktivního resp. destruktivního složení vln.

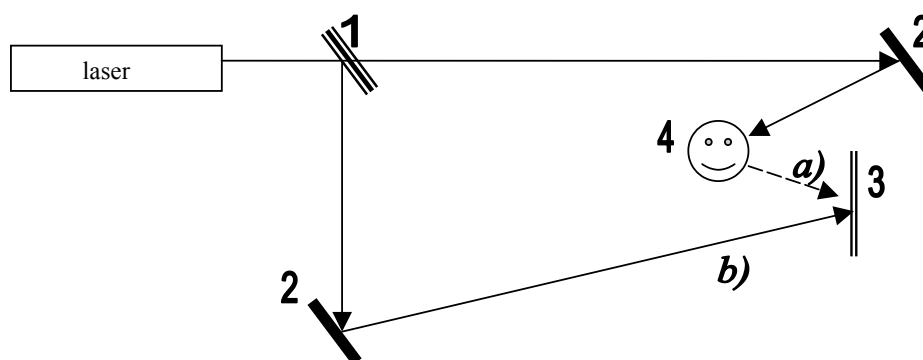
• Difrakce – ohyb vlnění

Narazí-li vlna na překážku, která je rozměrově srovnatelná s vlnovou délkou vlnění, dojde k difrakci. Vlna se dostane i do oblasti geometrického stínu překážky. Dle Huygensova principu se všechny body na překážce stávají novými elementárními zdroji vlnění. Vlnění z těchto zdrojů opět interferují, čímž vzniká difrakční obrazec na stínítku.

Difrakci pozorujeme např. na štěrbíně, tenkém drátu (vlasu), kruhovém otvoru nebo optické mřížce. Rozlišujeme např. fázovou, amplitudovou a objemovou mřížku. Specifickým typem mřížky je hologram.

- **Princip vzniku hologramu:**

- 1 dělič svazku
- 2 zrcadla
- 3 záznamový materiál
- 4 předmět
- a) signální vlna
- b) referenční vlna



Svazek paprsků vystupující z laseru rozdělíme na dva. Prvním svazkem nasvítíme předmět, pomocí něhož vytvoříme signální vlnu (a), která interferuje s referenční vlnou (b) v rovině záznamového materiálu. Výsledné interferenční pole je zaznamenáno do holografické emulze nanesené na skleněné desce, která je následně chemicky vyvolána.

- **Princip rekonstrukce hologramu:**

Po nasvícení této vytvořené struktury (hologramu) rekonstrukční vlnou se vygeneruje původní signální pole a vidíme holografický obraz předlohy. Fázová struktura (kvaziperiodická difrakční mřížka) totiž přetransformuje původní referenční rovinnou vlnu na vlnu signální.

3 Závěr

Pozorovali jsme interferenci a difrakci laserového záření a provedli jsme experimenty, kterými jsme ověřili platnost základních zákonitostí těchto jevů. Vyvrcholením naší práce pak byl transmisní hologram.

Poděkování

Za pomoc při miniprojektu a přátelský přístup bychom chtěli poděkovat našim laskavým supervisorům: Dr.Ing. Ivan Richter, Ing. Milan Květoň, Ing. Jan Kašpar

Reference:

- [1] FIALA P.: *Základy fyzikální optiky* Vydavatelství ČVUT, 1999
- [2] VRBOVÁ M. A KOL.: *Lasery a moderní technologie* Prometheus, 1994

Kvantové počítače

Michal Čermák – SPŠ Jihlava (MisaCermak@seznam.cz)

Kamil Kos – Arcibiskupské gym. Praha 2 (kamilkos@email.cz)

Jan Olšina – gym. Kroměříž (irigi@centrum.cz)

Zbyněk Sopuch – Masarykovo gym. Příbor (jarpen@centrum.cz)

Václav Uher – gym. Břeclav (wexx@seznam.cz)

Abstrakt:

Práce se snaží přiblížit problematiku kvantových počítačů. Na srovnání s klasickými počítači ukážeme rozdíly a podobnosti v jejich filosofích. Pomocí jednoduchých příkladů objasníme základní principy kvantové mechaniky, na nichž je postavena jejich funkce.

1 Úvod

První nápady sestrojit kvantový počítač se objevily na počátku 80. let (Richard Feynman), ale zvýšený zájem se datuje od roku 1994, kdy Peter Shor z Bellových laboratoří přišel s kvantovým algoritmem pro faktorizaci velkých čísel na prvočísla. Největším úspěchem na tomto poli je zatím sestrojení pětiqubitového kvantového počítače firmou IBM (2000).

Co stojí v pozadí snahy realizovat kvantový počítač? Co se slibujeme od jeho sestrojení? Hlavní výhodou tvoří kratší doba výpočtu některých matematických úloh, neboť se ukazuje, že při jejich řešení klasickými algoritmy roste časová náročnost exponenciálně s velikostí vstupu, zatímco u kvantových algoritmů jen polynomiálně.

2 Odlišnosti kvantového počítání

Pokusme se nejdříve sjednotit naše představy o tom, jakým způsobem fungují se realizují matematické algoritmy na počítačích. Na počátku každého počítání stojí příprava předem určeného výchozího stavu (v případě klasických počítačů je to inicializace registru), na kterém se poté provádí logické operace. Po ukončení algoritmu je možno odečíst výsledek.

Kvantový počítač se v tomto ohledu od výše zmíněného schematu nijak neliší. Hlavní rozdíl spočívá v použití kvantových systémů. Oproti klasickým počítačům, které informace kódují pomocí bitů (stavy mající hodnotu 0 nebo 1), používají kvantové počítače tzv. kvantové bity – qubity. Jak může vypadat konkrétní fyzikální realizace qubitu? Je nutné vybrat fyzikální systém charakterizovaný dvěma stavy. Příkladem takového systému může být foton se dvěma navzájem kolmými polarizacemi, elektron se dvěma možnými hodnotami spinu nebo atom se základním a excitovaným stavem elektronu. Kvantový registr potom můžeme definovat jako soubor rozlišitelných qubitů.

3 Základní principy

Podívejme se, v čem se tyto stavy liší od klasických.

- (I) *Superpozice*: Z naší běžné zkušenosti jsme zvyklí, že objekt nacházející se v daném místě se nemůže současně vyskytovat na místě jiném. Toto tvrzení je opřeno o naše pozorování makroskopických objektů a není v souladu s tím, co měříme, přesuneme-li svou pozornost na objekty podstatně menší. Tyto mikroskopické objekty se řídí principy kvantové mechaniky, která popisuje částici vlnovou funkcí ψ . Tato vlnová funkce vyjadřuje pravděpodobnost výskytu částice v daném intervalu $\langle x, x+dx \rangle \times \langle y, y+dy \rangle \times \langle z, z+dz \rangle$ vztahem:

$$p(x, y, z) = |\psi(x, y, z)|^2 dx dy dz$$

Jinými slovy to znamená, že se částice nachází v tzv. superpozici polohových stavů. (V jistém smyslu se částice nachází na více místech současně). Principem superpozice se však řídí všechny měřitelné veličiny (hybnost, spin).

Co to tedy znamená pro kvantovou obdobou klasického bitu – qubit? Tento se může nacházet nejen ve stavech $|1\rangle$ nebo $|0\rangle$, ale i v jejich libovolné superpozici.

$$|u\rangle = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle,$$

kde α, β jsou komplexní konstanty splňující normovací podmínku $\alpha^2 + \beta^2 = 1$.

V čem vlastně spočívá hlavní význam superpozice pro kvantové počítání? Chceme-li provést výpočet pro různé nastavení registru, musíme u klasického počítače zopakovat výpočet pro každé nastavení. Naproti tomu kvantový registr nám umožňuje uvést jej do superpozice těchto nastavení, a provést tento výpočet pro všechna nastavení najednou.

- (II) *Interference*: Fyzikálně je výpočet realizován určitou soustavou částic, které mají vlnové vlastnosti – mohou tedy spolu interferovat. Pro některé výpočetní cesty tedy může dojít k vzájemnému vyrušení částic, nebo naopak jejich zesílení (což se dá využít v některých kvantových algoritmech).
- (III) *Provázání*: Dalším důležitým rysem kvantových systémů je tzv. provázání. Jedná se o velice zvláštní typ korelace mezi částicemi, který nemá v klasickém světě analog. Navzdory tomu jde skutečně o efekt, který se dá prokázat.
- (IV) *Princip neurčitosti*: Máme-li systém v neznámém stavu, nemůžeme jej bez narušení změřit. V klasickém počítači můžeme změřit stav určité části registru a zkopírovat jej do určité jiné části registru. V případě kvantového registru reprezentovaného kvantovým stavem však platí věta, podle níž nelze tento registr zkopírovat. Navíc do systému nelze nijak zasahovat, protože jakékoliv měření průběh výpočtu naruší (každý qubit získá konkrétní stav a superpozice se zruší). Proto při technické realizaci je třeba zabezpečit izolaci proti působení vnějších vlivů.

4 Reprezentace logických operací na stavech kvantového registru

Vytváříme-li v klasickém počítači libovolné algoritmy, využíváme k tomu dílčích logických operací s bity (NOT, AND, OR, ...) Tento princip je zachován i pro kvantové počítače. Logické operace jsou představovány určitými operátory působícími na skupiny qubitů. Z principů kvantové mechaniky plyne, že operátory musí být unitární (tzn. mají-li vstupující qubity jednotkovou normu – splňují $\alpha^2 + \beta^2 = 1$, mají vystupující qubity také jednotkovou normu), tedy jsou i reverzibilní (tzn. z vystupujících qubitů musí být možné určit, jaké byly vstupní qubity). Proto je reprezentace logických operací u kvantových počítačů složitější než u klasických.

Příklad:

Klasická operace NAND (not AND) je definována jako:

00 – 1

01 – 1

10 – 1

11 – 0

Vidíme, že tato operace není reverzibilní (z výsledku nemůžeme určit vstup, neboť pro výstup 1 existují 3 možné vstupy). Proto tato operace nemůže být definována unitárním operátorem na qubitech. Proto se tato operace definuje tzv. Toffoliho bránou:

000 – 000

001 – 001

010 – 010

011 – 011

100 – 100

101 – 101

110 – 111

111 – 110

Na vstupu do Toffoliho brány vložíme dva qubity, jejichž operaci NAND počítáme a na třetí qubit vložíme hodnotu 1 (zajímají nás tedy jen ty trojice qubitů, které mají třetí qubit roven 1). Ve výstupu určí třetí qubit hodnotu NAND. Snadno se přesvědčíme, že je operace reverzibilní – dá se ukázat, že je i unitární.

5 Shrnutí

Kvantové počítání je v současnosti již značně rozvinutým vědním oborem. Problém spočívá ve velmi složité technické realizaci kvantových počítačů a také ve faktu, že pro každý algoritmus je nutné sestavit jiný kvantový počítač. Zatímco nejsložitější kvantový počítač má v současnosti velikost registru 5 qubitů, pro praktickou použitelnost by bylo třeba dosáhnout alespoň hranice 100 qubitů

Poděkování

Děkujeme především Ing. Jaroslavu Novotnému za uvedení do problematiky, cenné rady, neuvěřitelnou trpělivost a poskytnutý čas.

Rovněž děkujeme doc. Ing. Igoru Jexovi, DrSc. za poskytnutí literatury a konzultaci v dané problematice.

Děkujeme FJFI CVUT za zajištění materiálního zázemí.

Reference:

- [1] BENETT, CHARLES H.: *Quantum Information and Computation* Physics Today october 1995, pp. 24–25
- [2] EKERT, ARTHUR: *Quantum Interferometers as Quantum Computers* Physica Scripta, 1998, pp. 218–222
- [3] MOTL, LUBOŠ: *Nejvýkonnější kvantový počítač od IBM*, www.scienceworld.cz, 2001

Fyzika a biologie

L. Alán, Z. Černý, L. Fridrichová, M. Veselý, O. Vašíček
Supervisoři: T. Langrová, Doc.Ing. I. Jex, DrSc

Gymnázium J.Wolkera, Prostějov
Sportovní gymnázium a gymnázium Kladno
Gymnázium Pelhřimov
Gymnázium Český Brod
Gymnázium Boskovice

alan.lukas@post.cz, c.zbynek@seznam.cz, fridri@seznam.cz,
majkl.west@centrum.cz, on.vasicek@seznam.cz

Abstrakt:

V našem miniprojektu jsme pomocí nové vědecké disciplíny – Synergetiky zkoumali chování ekologických společenstev. Synergetika hledá obecné principy, kterými lze popsat vývoj systémů bez ohledu na jejich vnitřní specifikaci. Jednoduchými rovnicemi jsme tak mohli vyjádřit vzájemné symbiotické, konkurenční a antagonistické vztahy mezi biologickými populacemi.

1 Úvod

Výhodou synergetiky je, že její rovnice lze aplikovat na libovolný biologický problém, ať už se jedná o jednobuněčné prvky, organismy vyšších taxonomických tříd (včely, zajíci, stromy či obyvatelé velkoměsta). Základy synergetice položil v 70. letech 20. století profesor Stuttgartské university Hermann Haken a podobnými myšlenkami se zabývali například Verhulst, Lotka, Volterra a Weidlich. Podařilo se tak například vysvětlit třeba podivuhodnou schopnost regenerace nezmara, vznik houby z amébových buněk (hlenky), relaci mezi vykoupenými kůžemi rysů a zajíců atd.

2 Synergetika v ekologii

I. Jedna populace

Představme si, že máme skupinu zajíců žijících v naprosto ideálním prostředí bez přirozených nepřátel a s neomezeným zdrojem potravy. Časovou změnu jejich počtu vyjadřuje následující rovnice:

$$\dot{n} = \gamma n - \delta n = \omega n$$

n - počet zajíců

$\dot{n}$ - časová změna počtu zajíců
 γn - přirozený přírůstek zajíců
 δn - přirozený úbytek zajíců
 ωn - rozdíl přirozeného přírůstku a úbytku zajíců

Z rovnice je patrné, že populace buď vyhyne, zůstává konstantní nebo se neomezeně rozrůstá.

Ztížíme-li zajícům podmínky omezením zdroje potravy, rovnice se změní na tvar:
 $\dot{n} = \alpha n - \beta n^2$, kde člen βn^2 vyjadřuje, jak moc si zajíci vzájemně vadí. Tento systém se časem ustálí na počtu zajíců $n = \frac{\alpha}{\beta}$

II. Více populací

a. Symbiotické vztahy

Tentokrát si představme včely (n_1), které opylují květiny (n_2) a z nektaru květů si vyrábějí med. Tuto situaci vystihují následující rovnice:

$$\dot{n}_1 = \alpha_1 n_1 + v_1 n_1 n_2 - \delta_1 n_1$$

$$\dot{n}_2 = \alpha_2 n_2 + v_2 n_1 n_2 - \delta_2 n_2$$

v_i - vyjadřuje míru vzájemné podpory

Na koeficientech (v, α, δ) záleží, v jaké rovnováze se systém ustálí.

b. Konkurenční vztahy

Naopak třeba dravé ryby (n_1, n_2) živící se stejnými drobnými rybkami (r), nebo ptáci (n_1, n_2) stavící hnízda ze stejného materiálu (r), mohou být popsáni rovnicemi:

$$\dot{n}_1 = \alpha_1 n_1 + v_1 n_1 r - \delta_1 n_1$$

$$\dot{n}_2 = \alpha_2 n_2 + v_2 n_2 r - \delta_2 n_2$$

$$\dot{r} = (\gamma_r - \delta_r) \cdot r - \mu_1 n_1 - \mu_2 n_2$$

v_i - vyjadřuje míru závislosti na zdroji

$\gamma_r - \delta_r$ - vyjadřuje přirozený přírůstek (úbytek) zdroje

μ_i - vyjadřuje míru spotřeby zdroje jednotlivými společenstvy

A konečný stav systému je opět závislý na koeficientech.

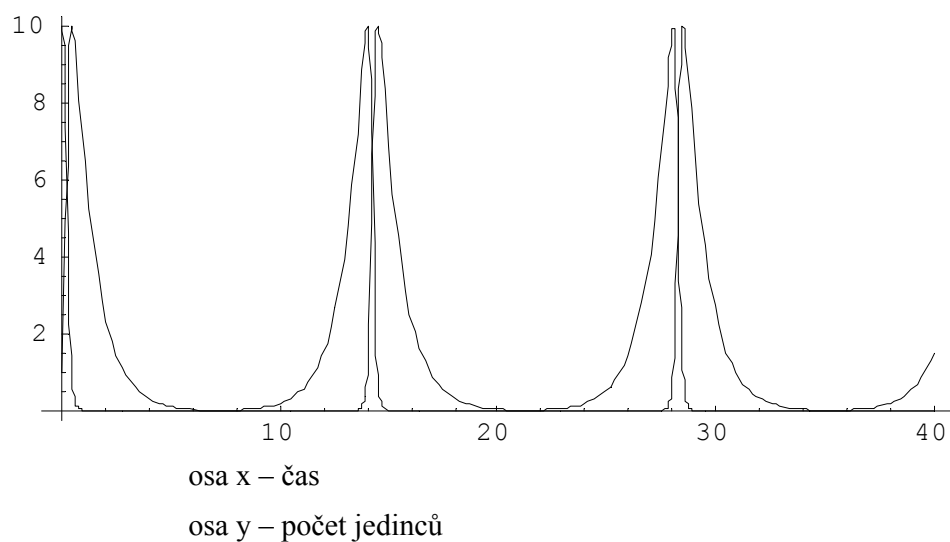
c. Antagonistické vztahy (predátor a kořist)

Pro ilustraci si vzpomeneme na již zmíněné zajíce (n_1), kterým nyní ještě ztížíme život přidáním rysů (n_2) do jejich působiště, což lze vyjádřit Volterra-Lotkovými rovnicemi:

$$\dot{n}_1 = \alpha_1 n_1 - v_1 n_1 n_2$$

$$\dot{n}_2 = v_2 n_1 n_2 - \delta_2 n_2$$

Na grafu zobrazujícím řešení rovnic jsou patrné oscilace. Stoupne-li počet zajíců, rysy mají dostatek potravy a můžou se více rozmnožovat a jejich množství tak roste. To ovšem způsobuje úbytek zajíců, a rysy tak přicházejí o potravu, postupně jich tedy ubývá a zajíci se mohou opět více množit.



3 Shrnutí

„VENI, VIDI, FECI“

Poděkování

Děkujeme našemu supervisorovi, odborné asistentce Táně Langrové, která nám za příjemnou spolupráci děkuje též ☺

Reference:

- [1] HAKEN, H.: *Synergetics*, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- [2] KREMPASKÝ, J.: *Synergetika*, VEDA, Bratislava, 1987

Počítačové generování fraktálních množin

S. Basovnick*
J. Fabriková**
H. Kubátová***
J. Šedo****

*Gymnázium Kroměříž
**Gymnázium Brno
***Gymnázium, Olomouc-Hejčín
****SPŠ Jihlava

angwin@centrum.cz (S. Basovnick)

Abstrakt:

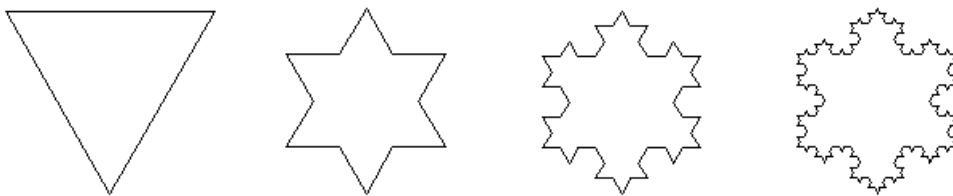
Práce pojednává o nekonečně členitých geometrických útvech – fraktálech. Tyto objekty se vyskytují v souvislosti s některými nelineárními jevy v oblasti fyziky, chemie, biologie a také společenských věd. Cílem je přiblížit metody generování základních fraktálních množin a jejich zobrazení.

1 Úvod

Fraktál je geometrický útvar, který lze rozdělit na části, přičemž tyto části jsou (alespoň přibližně) zmenšené kopie celého útvaru. Tato vlastnost se často označuje jako *soběpodobnost*. Pomocí fraktální geometrie lze popsat i útvary, které jsou běžnou (Eukleidovskou) geometrií nepopsatelné. Setkáváme se s nimi i v běžném životě – např. povrch plic, list kapradí, mořské pobřeží, tvar mraku, ... Prostřednictvím fraktálů lze věrohodně simulovat i velmi složité systémy, jejichž chování závisí na mnoha faktorech (např. vývoj populace, vývoj akcií na burze, předpověď počasí).

2 Příklady jednoduchých fraktálů

Jednou z nejjednodušších fraktálních konstrukcí je Kochova vločka. Vychází z rovnostranného trojúhelníku. Nad prostřední třetinou každé jeho strany vztyčíme opět rovnostranný trojúhelník a úsečku, nad níž jsme ho vztyčovali, smažeme. Tentýž krok opakujeme na každé nově vzniklé úsečce. Po nekonečném počtu opakování vznikne obrazec podobný sněhové vločce (viz. obr. 1) s konečně velkým obsahem, ale nekonečným obvodem.



Obr. 1 Konstrukce vločky Kochové

3 Mandelbrotova množina

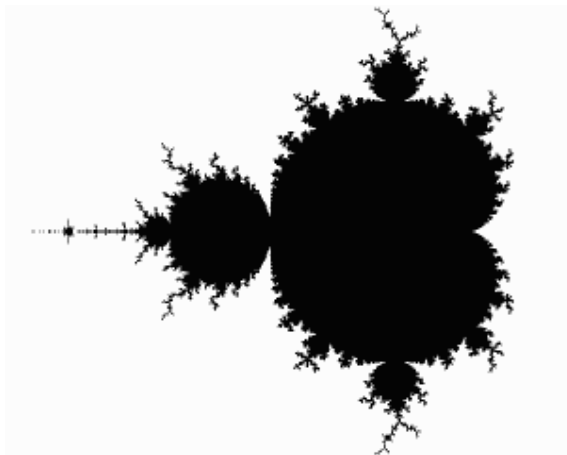
Mezi nejznámější a nejzajímavější fraktály patří Mandelbrotova množina. Je to podmnožina bodů roviny komplexních čísel nacházející se v okolí komplexní nuly. Bod X patří do této množiny právě tehdy, když posloupnost daná předpisem $z_{n+1} = z_n^2 + c$ (kde $z_0 = 0+0i$ a c je komplexní konstanta udávající souřadnice bodu X), *ne*diverguje. (Každý krok, v němž vypočítáme následující člen posloupnosti, se nazývá *iterace*.) Je již dokázáno, že posloupnost *diverguje*, jestliže v průběhu iteračního procesu absolutní hodnota z_n překročí 2. Daný bod pak v Mandelbrotově množině *ne*leží.

Vlastní algoritmus generování této množiny pak vypadá takto:

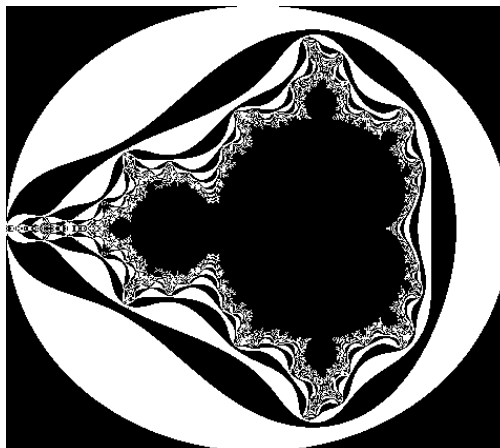
Vstupními parametry jsou komplexní číslo c a konstanta určující maximální počet iterací, se kterými budeme počítat, *MaxIter*.

1. nastav *pocetIteraci* := 0
2. nastav z := 0
3. pokud *pocetIteraci* < *MaxIter* prováděj smyčku:
 4. nastav $z := z^2 + c$
 5. jestliže $|z| > 2$ bod *ne*leží v Mandelbrotově množině; konec
 6. nastav *pocetIteraci* := *pocetIteraci* + 1
 7. konec smyčky
 8. bod leží uvnitř Mandelbrotovy množiny; konec

Samotná Mandelbrotova množina je na obr. 2. Ještě zajímavější útvar však vznikne, pokud body ležící mimo tuto množinu obarvíme podle toho, po kolika iteracích přesáhla příslušná hodnota z_n hranici 2 (viz obr. 3).

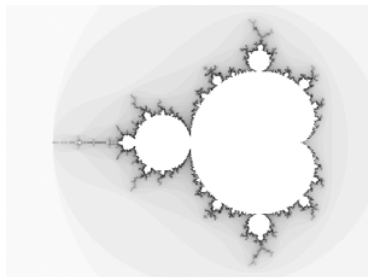


Obr. 2

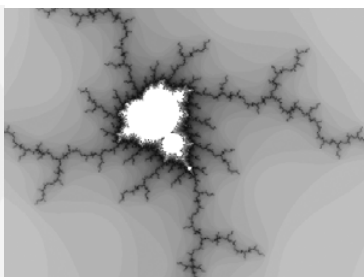


Obr. 3

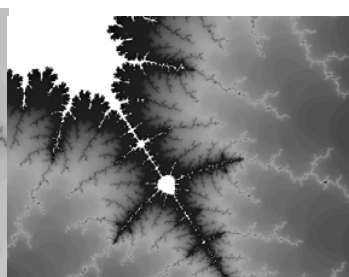
Existuje důkaz, že Mandelbrotova množina je nejčlenitějším útvarem, jaký lze v rovině vytvořit, čemuž nasvědčují i obrázky 4-6. „V hloubi fraktálu“ (na zvětšených obrázcích 5 a 6) pozorujeme také názorný příklad soběpodobnosti.



Obr. 4



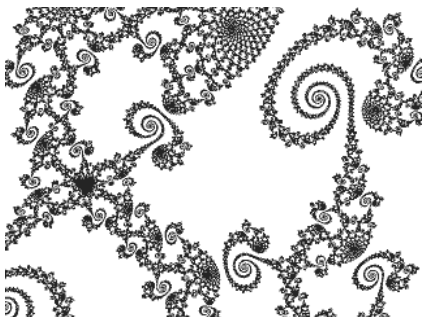
Obr. 5



Obr. 6

4 Shrnutí

Nejenže jsou fraktály fascinující a zajímavé objekty, ale nacházejí i řadu praktických využití. Kromě již zmiňovaných simulačních a prognostických účelů je lze využít např. pro generování textur nebo při testech rychlosti počítače (kdy mu zadáme za úkol vypočítat Mandelbrotovu množinu). Setkat se s nimi můžeme i v přírodě – zkuste si třeba podrobně prohlédnout list kapradiny ...



Obr. 7 Detail části Mandelbrotovy množiny

Poděkování

Za možnost účasti na Fyzikálním týdnu 2003 děkujeme FJFI ČVUT v Praze.

Za úvod do problematiky a laskavou pomoc děkujeme dr. ing. Michalu Benešovi a ing. Jiřímu Mikyškovi.

Reference:

- [1] <http://mujweb.cz/www/fraktaly>
- [2] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01040/>
- [3] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01022/>

Linux Lab

T. Hnyk, Sportovní gymnázium a Gymnázium Kladno, THnyk@seznam.cz

P. Sedlák, Gymnázium Jihlava, sedlak.vamp@seznam.cz

M. Veselý, Gymnázium Brno, Vídeňská 47, veselyma@atlas.cz

Z. Zetocha, Gymnázium Komenského, Jeseník, flip.er@seznam.cz

Abstrakt

V našem projektu se zabýváme operačním systémem Linux, jeho využitím a ovládáním.

1 Historie

1.1 Historie Linuxu

Operační systém Linux je volně šiřitelný OS typu UNIX. Linux vychází z kořenů Unixu, jehož počátky sahají do sedmdesátých let. Přestože s původním Unixem nesdílí ani řádku zdrojového kódu, má stejné aplikační rozhraní i filozofii. Jeho autorem je Linus Torvalds, ale již v roce 1984 začal s vývojem linuxového kernelu (jádro operačního systému) Richard M. Stallman. Cílem R. Stallmana bylo vytvořit operační systém, který nebude zatížen copyrightem. Za tímto účelem byla vytvořena zvláštní licence, která obrací copyright. Zvolená licence měla jednu velkou výhodu, zajišťovala každému uživateli přístup ke zdrojovým kódům zdarma. Díky tomuto získal Linux velkou pozornost mezi programátory, kteří dlouho očekávali takovýto projekt. Přidali se a začali zasílat opravy a vylepšení. Proto Linux zažil prudký vývoj a během několika let byl dokončen do podoby, kdy měl všechny základní služby. Od té doby prošel mnoha změnami. Již od verze 2.0 může směle konkurovat operačním systémům nižší třídy (typu Windows 95/98, NT, 2000), od verze 2.4 většině komerčních Unixů a připravovaná verze 2.6 jej posune na dosah špičkových operačních systémů.

Buclatý tučňák je nezaměnitelné logo LINUXu. Figurka sympatického tučňáka pochází z dílny Linux Kernel Mailing Listu. Grafické zpracování provedl Larry Ewing. Linus Torvalds, tvůrce Linuxu k tomu říká: "Někteří lidé mi říkali, že tlustý tučňák podle nich moc spanilost Linuxu nevystihuje, a to je pro mne pouze důkazem, že nikdy neviděli rozzlobeného tučňáka, který se na ně řítí rychlostí přes 100 mil za hodinu. Kdyby viděli, dávali by si o hodně větší pozor, co povídají."

2 Linux dnes

2.1 Licence Open Source

Open source - Otevřený zdrojový kód. Často ve spojení s Linuxem slyšíme o tom, že je Open source, nebo-li, že má volně přístupný zdrojový kód. Někdy se též používá označení "free" neboli svobodný software. Neznamená to, jak si mnoho lidí mylně myslí, že

je zadarmo. Jediné, co byste vždy měli dostat zadarmo, je samotný program s volně přístupným zdrojovým kódem. Mnoho věcí okolo si obvykle musíte zaplatit, například nosiče informací, poštovné, uživatelské příručky nebo technickou podporu. Svoboda a otevřenost tedy nespočívá v ceně, ale v tom, že můžete program spustit za jakýmkoli účelem, studovat ho, upravit si ho pro své potřeby, vylepšovat ho a tato vylepšení dále distribuovat. Pokud se rozhodnete Linux používat, musíte dokonce souhlasit s licencí, kterou specifikuje tvůrce distribuce, kterou chcete používat. Toto jsou nejběžnější používané licence:

- GPL - General Public Licence - je nejobvyklejší licencí, pod níž je tvořeno největší množství otevřeného softwaru. Obsahuje silnou ochranu proti komercializaci programů, respektive proti vytváření souvisejících a odvozených projektů s jinou licencí.
- LGPL - Lesser General Public Licence - je méně přísnou variantou GPL. Zjednodušeně vzato LGPL umožňuje propojovat takto licencované programy a zejména knihovny s ostatními zejména komerčními programy, aniž by bylo nutné měnit licenci ujednného celku, jak to vyžaduje GPL.
- BSD Licence - je ještě méně striktní než LGPL. Dovoluje modifikovat program a prodávat jej dokonce i bez zdrojového kódu při zachování copyrightu původního autora.

2.2 Distribuce

Linux není jen jedna instalovatelná verze systému. Každý má právo si vzít jádro Linuxu, základní programy a postavit si svoji vlastní distribuci Linuxu. Distribuce by měly dodržovat kompatibilitu s LinuxStandardBase (LSB). Míra kompatibility je pravidelně ověřována řadou testů. Linux se dělí na komerční a nekomerční verze, ale i tak se jejich cena pohybuje okolo 2500 Kč. Jen málo verzí Linuxu je lokalizovaných do našeho jazyka, především verze od firmy SuSe a RedHat. Nyní přistupme k samotným verzím Linuxu.

- Caldera Network Desktop, OpenLinux komerční distribuce, která obsahuje mimo jiné prostředky pro administraci systému, více informací na www.caldera.com. Firma Caldera dodává i další komerční software pro Linux. Tuto distribuci u nás prodává ApS Brno (www.aps-brno.cz).
- Debian GNU/Linux tato distribuce není vyvíjena jednou firmou nebo dokonce jedním člověkem - na vývoji jednotlivých balíčků se podílejí lidé po celém světě, jde o nekomerční distribuci, info o projektu Debian lze nalézt na www.debian.org nebo www.debian.cz
- Mandrake Linux jde o poměrně novou distribuci, která v počátcích čerpala inspiraci z RedHat Linuxu, záměrem distribuce je dělat věci jinak. Česká lokalizace je součástí standardní distribuce, jde o komerční i nekomerční verzi. Nekomerční verze je v některých ohledech ořezána. Více info na www.mandrake.cz
- RedHat Linux dříve nejrozšířenější distribuce v České republice, nyní její obliba klesá. Velké množství balíčků, volně stažitelná tudíž nekomerční. Komerční verze je také dostupná. Je dobře lokalizovaná. Více info na www.redhat.com
- Slackware Linux v minulosti jedna z nejrozšířenějších verzí, její výhodou je dostupnost balíčků, rychlá instalace, poměrně velká rozšířenost, zaměřená hlavně na profesionály. Více info na www.slackware.com

- SuSE Linux jediný distributor s oficiální pobočkou v ČR, SuSE se dodává v několika jazykových verzích včetně Češtiny, jde o čistě komerční distribuci. Více info na www.suse.cz
- Turbo Linux tvůrcem této komerční distribuce je společnost Trubolinux (v San Franciscu), tato verze je populární v asijských zemích. Více info www.turbolinux.cz

Pokud by jste někdo chtěl vidět test většiny těchto verzí, podívejte se na stránky časopisu Computer (www.computer.cpress.cz). A hledejte Computer 20/02 (vydání 20 v roce 2002). Zde je test Linuxových distribucí (download v podobě pdf souboru).

2.3 Srovnání s Windows

Na toto téma proběhlo již nepočítaně debat, ve kterých byl vychvalován jeden systém a zatracován ten druhý. Pravda je však někde uprostřed, do každého prostředí se hodí jiný operační systém.

- Na hraní her je volba jednoznačná, pro Linux je her mnohem méně než pro Windows.
- Do kanceláře se hodí spíše Windows, ale i pro Linux existuje několik kancelářských balíků. Nejlepší je asi OpenOffice.org, který je šířen zdarma jako Open Source. Zde Linux získává cenou, ale naopak mírně zaostává kompatibilitou s dokumenty vytvořenými v MS Office. Takže v domácnostech nebo kancelářích převažují spíše Windows, ale Linux je i v této oblasti rychle dohání a na Linux přechází i některé velké společnosti.
- Jiná situace je ale na poli síťových operačních systémů a serverů. Zde Linux nad Windows převažuje. U serverů je důležitá hlavně stabilita a rychlost a ta Linuxu nechybí. Mnoho firem (dokonce i Microsoft) používá na svých serverech Linux. Nasazení Linuxu na serveru znamená také značnou úsporu finančních prostředků, protože ceny serverových operačních systémů se pohybují v desítkách až stovkách tisíc. Navíc některé aplikace, které Linux standardně obsahuje jsou pro Windows dostupné pouze jako produkty třetích stran, což představuje další investice nebo nejsou dostupné vůbec.

3 Shrnutí

Závěrečné informace. Odpovědi na otázky kladené v motivaci. Shrnutí nejdůležitějších závěrů příspěvku, výhled do budoucna.

Poděkování

Poděkování za finanční podporu, konzultace etc..

Reference

- [1] Miroslav Petříček. *Jak je to s používáním Linuxu?*
http://www.root.cz/tutorials/vyber_distribuce/licence_legalni_kopirovani_linuxu.html.

- [2] Free Software Foundation. *Definice svobodného software*
<http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.cs.html>.
- [3] <http://www.linux.cz>.

Metody strojového učení

P. Bastl¹, J. Kučera², D. Léwová³

¹Gymn. Vídeňská, Brno

²SGAGY, Kladno

³SŠ Výpočetní techniky, Praha

petr.bastl@seznam.cz

kuc.jan@seznam.cz

vlew@volny.cz

Abstrakt:

Strojové učení (machine learning) je oblast matematiky a informatiky zkoumající metody učení strojů. Oblast využití strojového učení pokrývá v podstatě všechny obory lidské činnosti (lékařství, výzkum vesmíru, expertní systémy, robotika). V příspěvku uvedeme základní směry a metody strojového učení.

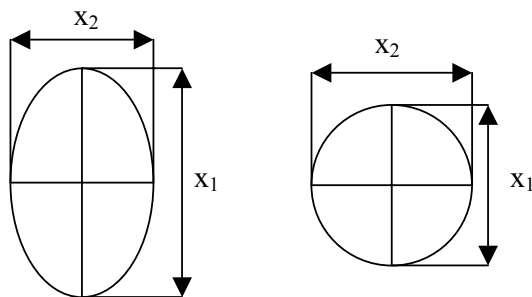
1 Úvod

S příchodem nových technologií a množstvím informací vzrůstá potřeba automatického zpracování a analyzování dat. Touto problematikou se, mimo jiné, zabývá takzvané strojové učení. V miniprojektu jsme se seznámili se základními metodami strojového učení a aplikacemi na jednoduchých příkladech.

2 Popis vybraných metod strojového učení

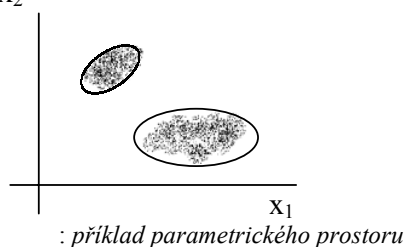
Jedním ze základních problémů strojového učení je klasifikační problém, což je problém přiřazení tříd objektům (rozpoznání jednotlivých objektů). Aby bylo možné objekty rozpoznávat je nutné nejdříve je popsat. To lze provádět dvěma způsoby:

- 1) Pomocí příznaků (parametrů)....($X_1, \dots, X_n$)



: např. parametry x_2 a x_1 - šířka a výška

Každým bodem v parametrickém prostoru je určen jeden objekt. Objekty s podobnými parametry se budou shlukovat v tzv. shlucích (hloučcích). Při použití dvou určujících parametrů se hloučky tvoří v rovině (2D), při použití třech parametrů budou hloučky v prostoru (3D), atd.



- 2) Pomocí popisu struktury objektu – např. pomocí formálního jazyka popsat tvar objektů.

K tomu, aby stroj mohl řešit problémy musí se to nejdříve naučit. V praxi se využívají dva základní směry (přístupy)

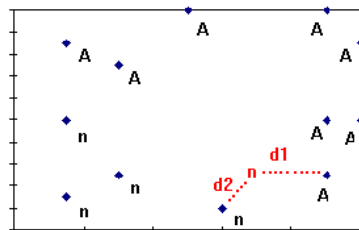
- 1) Prvním směrem je *učení s učitelem*. Stroji se předkládají objekty se známou klasifikací, které si „zapamatuje“ a je schopen podle nich zařadit neznámý objekt do definovaných tříd. (př.: Tohle je kruh, tohle je elipsa.) Je to poměrně časově náročné a s rizikem, že učitel přiřadí objekt do špatné třídy (chyba v trénovacích datech).
- 2) Dalším používaným směrem je *učení bez učitele*. V tomto případě stroj musí nejdříve v parametrickém prostoru odhalit třídy objektů. Například pomocí vyhledávání shluků v parametrickém prostoru-*shluková analýza, hierarchické shlukování*.

Metody strojového učení :

1. Statistické metody :

- *Bayesův klasifikátor* – ze znalosti parametrů učicích dat odhaduje pravděpodobnost třídy neznámého objektu
- *NN(Nearest Neighbour = „nejbližší soused“)* - neznámý objekt zařadí podle nejbližšího prvku se známou klasifikací .

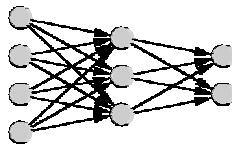
:příklad použití
NN



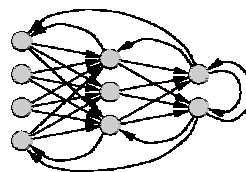
Tato metoda je ovšem dosti náchylná k „šumu“ (chyby v učicích množině), proto se na zlepšení metody vyhledává *k* nejbližších prvků, tato modifikace se nazývá *k*-NN.

2. Umělé neuronové sítě : Myšlenka vytvoření neuronové sítě, jako paralelní výpočetní jednotky, vznikla v 40. letech 20 století a byla inspirována přírodou – biologickou neuronovou sítí. Hlavním problémem při konstrukci neuronové sítě je volba její architektury. V současnosti se hlavně používá dopředná architektura (vrstevnaté sítě), protože existuje algoritmus na učení takovýchto sítí založen na minimalizaci chyby na výstupu sítě (backpropagation, algoritmus zpětného šíření).

Ovšem existují a používají se i jiné architektury neuronových sítí např.: rekurentní, Hopfieldův model, Kohonenovy mapy.



Dopředná topologie



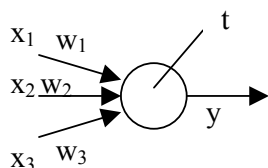
Rekurentní topologie

Učení neuronových sítí spočívá v nastavování jejich parametrů na základě znalosti trénovací množiny.

Přesněji je neuronová síť orientovaným grafem, tvořeným množinou neuronů(perceptronů) a spojů(synapsí, hran) mezi nimi.

Nejčastějším modelem neuronu je takzvaný perceptron, jehož stručný popis následuje:

$(x_1, \dots, x_n)$ jsou vstupy neuronu, na každém vstupu je váha spoje $w_1 \dots w_n$ „důležitost“
 $(x_i \cdot w_i)$ zesílí nebo zeslabí vstupní signál)



:neuron

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

:příklad sigmoidální funkce

Tělo neuronu je tvořeno aktivační funkcí f a prahem t :

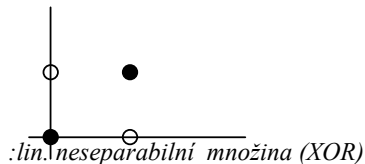
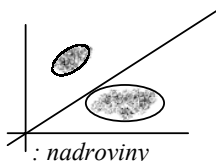
Výstupem perceptronu je hodnota $y = f(\sum x_i \cdot w_i - t)$

Nejjednodušší používanou aktivační funkcí je tzv. tvrdá nelinearita:

$$F(z) = \begin{cases} -1 & z \geq 0 \\ 0 & z < 0 \end{cases}$$

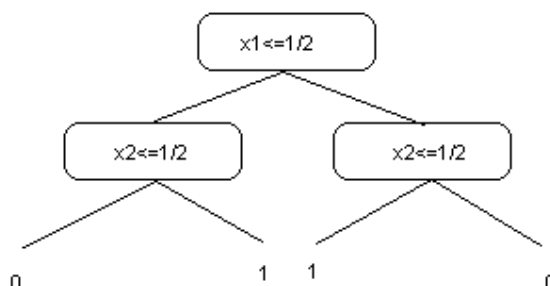
Používají se však i jiné aktivační funkce například tzv. sigmoidální funkce nebo RBF funkce.

Jeden perceptron rozděluje příznakový prostor podle nadroviny, tudíž umí klasifikovat pouze lineárně separabilní množiny. Nejjednodušší množinou, která není lineárně separabilní je množina XOR (nonekvivalence)



3. Rozhodovací stromy a lesy :

Rozhodovací strom je acyklický orientovaný graf se dvěma typy uzlů (rozhodovací uzel nebo list). Neznámý případ prochází testy v rozhodovacích uzlech podle jeho parametrů až dosáhne listu, který rozhodne o jeho zařazení do třídy. Pro zlepšení klasifikace se používá propojení několika rozhodovacích stromů do tzv. rozhodovacích lesů. Pak se výsledek udává pravidlem kombinování predikcí jednotlivých stromů (např. většinově) .



: příklad stromu řešícího XOR

4. Genetické algoritmy :

Genetický algoritmus je nedeterministický prohledávací algoritmus pracující s velkou populací n-jedinců. Inspirace se opět vzala z přírody - evolučního vývoje.

Genetické algoritmy jsou založeny na velkém počtu jedinců z nichž přežívají jenom ti nejsilnější (nejlepší řešení). Populace v průběhu času prochází vývojem, který se v každém okamžiku skládá ze tří hlavních kroků

- 1) Selekcce - výběr rodičů
- 2) Křížení - kombinace vlastností rodičů a vznik nového jedince
- 3) Mutace - náhodná změna kódu.

Kvalita jedinců se určuje ohodnocovací (fitness) funkcí. Z věty o schématech plyne, že v populaci se exponenciálně množí jedinci s nadprůměrnou hodnotou fitness tzn. Že algoritmus konverguje ke správnému řešení.

3 Shrnutí

Strojové učení je zajímavým oborem moderní vědy. V dnešní době s rozvojem výkonných počítačů zažívá tento obor velký rozvoj a i do budoucnosti lze očekávat nárůst poptávky po tomto druhu algoritmů.

Poděkování

Poděkování fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT a supervizorovi ing. Emilu Kotrčovi z katedry matematiky.

Reference:

- [1] Sinčák P. & Andrejková G. Neurónové siete -Inžiniersky prístup
- [2] Neruda, ŠÍMA: TEORETICKÉ OTÁZKY NS
- [3] <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/>
- [4] <http://www.aic.nrl.navy.mil/~aha/research/machine-learning.html>

Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice

M. Jonáš ☺ SPŠ Jihlava, Jihlava
mpj.jonas@worldonline.cz

M. Gloser ☺ Gymnázium Broumov, Broumov
m.gloser@seznam.cz

M. Štrof ☺ SGAGY Kladno, Kladno
marfel@seznam.cz

P. Příhodová ☺ Gymnázium Dr. A. Hrdličky, Humpolec
mik21@email.cz

Abstrakt:

Práce na počítači láká v dnešní době všechny mladé lidi. Málokdo z nich si však uvědomuje co tato práce obnáší. Účel našeho miniprojektu bylo seznámit je se základy této práce. Pro demonstraci jsme použili program Mathematica. Představili jsme základní funkce tohoto programu.

1 Úvod

Počítače jsou v současné době jeden z nedůležitějších pomocníků lidí na celém světě. Jsou využívány ve všech odvětvích lidské činnosti a ani práce naší miniskupiny by bez počítače neměla žádný smysl.

Pro vědecké účely jsou využívány především tzv. Počítačové algebraické systémy. Jde o výpočetní systémy schopné velmi rychle řešit komplikované úlohy. Jejich vývoj jde vpřed. Na trhu se objevují stále nové a nové programy. Mezi nejznámější patří např. Maple a Mathematica. Právě s nimi jsme měli možnost pracovat. Pro naši práci jsme po seznámení s nimi vybrali program Mathematica, který má jednodušší uživatelské rozhraní.

2 Vlastnosti algebraických systémů

Výpočetní systémy se dělí na dva druhy – numerické a algebraické.

V numerických výpočetních systémech je číslo reprezentované reálnou hodnotou s konečnou přesností (reálné číslo vyjádřené na určitý počet desetinných míst). Tento způsob zápisu je standardně používán všemi počítači. Některé výpočty v těchto systémech ale mohou získat určitou nepřesnost – provádí-li se výpočet se zlomky, odmocninami, apod.

Např. číslo 1/3 je v numerických systémech zapsáno jako 0, 333... Pokud tedy v takovémto systému zadáme výpočet 3 x 1/3 výsledek nebude přesně jedna, ale 0, 999...

Tento nedostatek počítačové algebraické systémy nemají. Číslo v nich je reprezentováno přímo svým algebraickým vyjádřením. Výpočty v nich jsou tedy v některých případech přesnější než v klasických numerických systémech a umožňují tak zpracovávat úlohy vyžadující velkou přesnost. Umožňují také jednoduše provádět různé matematické operace (řešení rovnic, práce s výrazy, výpočty s komplexními čísly, práce s proměnnými, vytváření grafického výstupu, atd.)

3 Výpočty v algebraických systémech

Zde si ukážeme několik příkladů, jak se dají algebraické systémy využít při řešení jednoduchých úloh. Ukázky jsou vytvořeny v programu Mathematica od firmy Wolfram Research.

Příklady – Základní algebra

Sčítání zlomků:

In[1]:= 1/3 + 2/3

Out[1]. = 1

Dělení:

In[2]:= 23/5

Out[2]:= $\frac{23}{5}$

Odmocňování:

In[3]:= Sqrt[10]

Out[3]:= $\sqrt{10}$

(Sqrt – funkce pro odmocňování)

Příklady – Řešení rovnic

Řešení rovnic v programu Mathematica je velmi jednoduché. Slouží k němu funkce Solve, jejíž parametry jsou řešená rovnice a požadovaná proměnná. Lze řešit jak jednoduché lineární, tak i mocninné a parametrické rovnice.

Lineární:

$2x + 5 = 0$

In[4]:= Solve[x+y == 10, x]

Out[4]:= {{x -> 10 - y}}

Kvadratická:

$2x^2 - 2x - 4 = 0$

In[5]:= Solve[2x^2-2x-4==0,x]

Out[5]= {{x->-1}, {x->2}}

Parametrická:

$5x - 10z = 0$

In[6]:= Solve[5x-10z==0,x]

Out[6]:= {{x->2z}}

Příklady – Komplexní čísla

Umocňování:

In[7]:= I^2

Out[7]:= -1

Modul:

In[8]:= Abs[3+I]

Out[8]:= $\sqrt{10}$

Násobení:

In[9]:= (3+I)*(1+3I)

Out[9]:= 10i

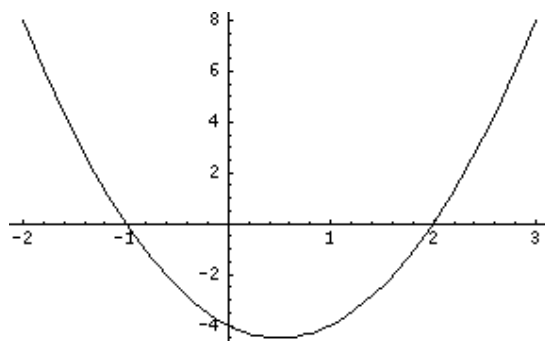
4 Grafické výstupy

Většina algebraických systémů umožňuje výsledky zobrazovat také graficky. Slouží k tomu příkazy Plot (pro plošné grafy) a Plot3D (pro prostorové grafy), jejíž parametry jsou zobrazovaná funkce a rozsah nezávislé proměnné.

Příklad – Plošný graf

```
In[10]:= Plot[2x^2 - 2x - 4, {x, -2, 3}]
```

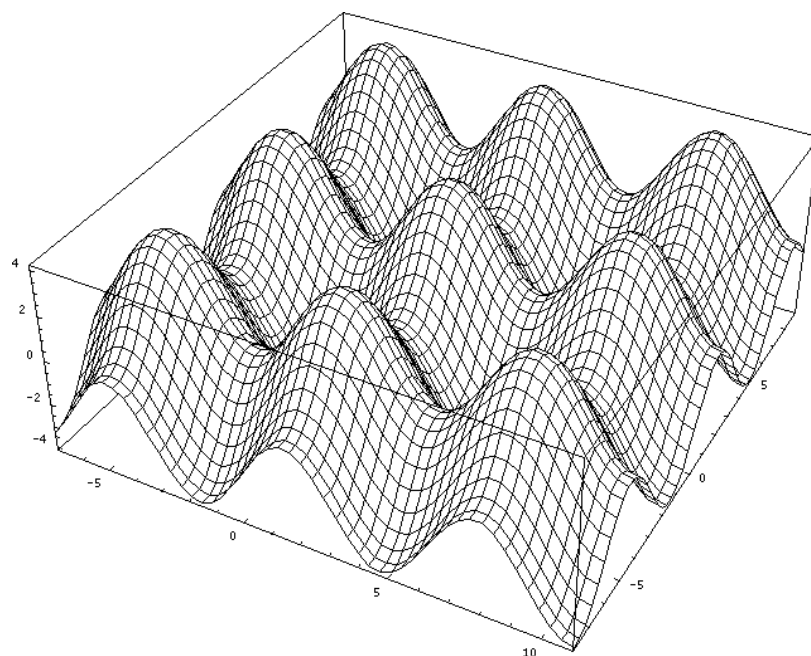
```
Out[10]:= -Graphics-
```



Příklad – Prostorový graf

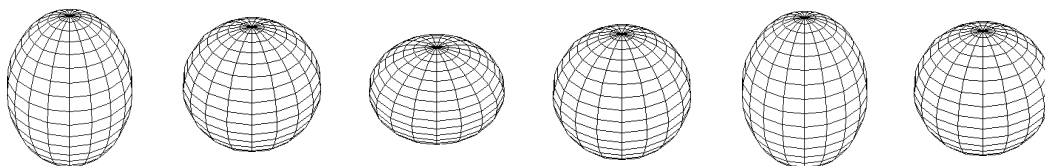
```
In[11]:= Plot3D[2*(Sin[x]+Sin[y]), {x,-7,11}, {y,-8,9}]
```

```
Out[11]:= -SurfaceGraphics-
```



5 Další funkce

Algebraické systémy mají mnoho dalších funkcí, které umožňují snazší interpretaci výsledků. Mezi ně patří například možnost matematického modelování různých prostorových objektů., a možnost vytvářet grafy dynamicky – animovaně. To lze pomocí cyklu, který plynule mění hodnotu jedné z proměnných vytvoříme sérii grafů, které poté přehrajeme za sebou, což vytváří dojem pohybu.



6 Shrnutí

Počítačové algebraické systémy tvoří velmi efektivní nástroje pro provádění složitých vědeckých výpočtů. Mají relativně jednoduché ovládání a dá se s nimi pracovat i bez znalostí programování.

Poděkování

Děkujeme všem, kteří se podíleli na organizaci Fyzikálního týdne 2003

Reference:

- [1] MAEDER E. R. *Programing in Mathematica* Addison-Wesley Publishing Company, 1991
- [2] MAEDER E. R. *The Mathematica programmer II.* Academic Press, 1996
- [3] WICKHAM- JONES T. *Mathematica Graphics* Telos, 1994

Generace nanosekundových impulsů v pevnolátkovém laseru

M. Křenek (*), P. Slovák (**), M. Šiška (***), O. Audy (****)

Gymnázium Jiřího Gutha-Jarkovského, Praha *

Gymnázium tř. Kpt. Jaroše 14, Brno **

Gymnázium Vídeňská, Brno ***

Gymnázium Jeseník, Jeseník ****

m.krenek@volny.cz

Abstrakt:

Práce je zaměřena na zjištění parametrů pevnolátkového Nd:YAG laseru a porovnání různých způsobů generace paprsků. Cílem bylo určení závislostí různých veličin na energii buzení.

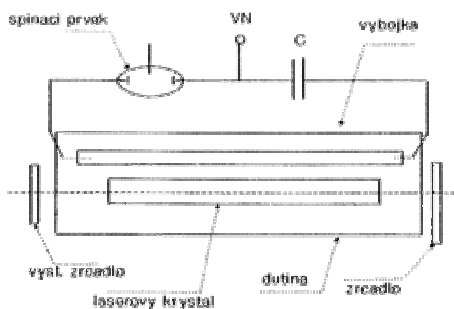
1 Úvod

Úkolem bylo seznámení se s funkcí laserů po teoretické stránce a následné uplatnění získaných poznatků v praxi. Konkrétním tématem práce bylo sestrojení funkčního pevnolátkového Nd:YAG laseru pracujícího v režimu volné generace pulsů a v režimu Q-spínání.

2 Pevnolátkový Nd:YAG laser

Pevnolátkový Nd:YAG laser je tvořen dutinou, ve které jsou umístěny laserový krystal a výbojka pro zajištění jeho optického buzení, a optickým resonátorem tvořeným 100% zadním zrcadlem a polopropustným výstupním zrcadlem. Laserový krystal představuje aktivní element, ve kterém dochází ke stimulované emisi a následnému zesílení záření během každého průchodu.

Optický resonátor vytváří podmínky pro mnohonásobný průchod stimulovaného záření skrz aktivní prostředí. Tím vzniká kladná zpětná vazba při které je zesilováno záření s vlnovou délkou rezonanční k délce resonátoru a tím generace a zesílení laserového záření probíhá v úzkých spektrálních čarách. To znamená že, optický resonátor kromě základní funkce pro vznik a udržování generace, určuje dále i základní vlastnosti výstupního záření: monochromaticnost, koherenci, směrovost, prostorovou strukturu, výstupní výkon.



Základním způsobem nastavování laserových resonátorů a aktivních elementů je **metoda optického spřažení paprsků** - nejčastěji používaná, jednoduchá metoda, kde všechny odrazy He-Ne laseru se nastavují do jediného bodu společně se zdrojovým paprskem.

Lasery se dělí podle vlastností generovaného paprsku na dva základní typy. Jedná se o **kontinuálně pracující lasery** a **pulsní lasery**, kterými se zabývá tato práce. Pulsní lasery dále členíme podle způsobu generace a průběhu pulsu na:

- Lasery pracující v režimu volné generace pulsů
- Lasery pracující v režimu Q-spínání
- Lasery pracující v Cavity-dumped režimu
- Lasery pracující v Mode-Locked režimu

Tato práce se zabývá pouze prvními dvěma režimy.

Režim volné generace se charakterizuje tím, že s výjimkou optického buzení během generace v důsledku stimulované emise, v laseru nedochází k žádnému dynamickému působení.

Základní vlastnost režimu volné generace spočívá v jeho nestacionárnosti - při hladkém tvaru světelného impulsu buzení, nejčastěji pomocí výbojky, je časový průběh stimulovaného záření (obálka) sestaven z jednotlivých impulsů. Pro příčnou prostorovou strukturu je charakteristické pro pevnolátkové lasery, že v jednotlivých impulsech obálky jsou obsaženy jednotlivé příčné módy. Po každém laserovém impulsu se mění jejich řád a jejich prostorová lokalizace. Proto je stupeň prostorové a časové koherence velmi nízký.

Při provozu laseru v režimu volné generace mají největší význam energetické charakteristiky - výstupní energie a časový průběh výstupního výkonu.

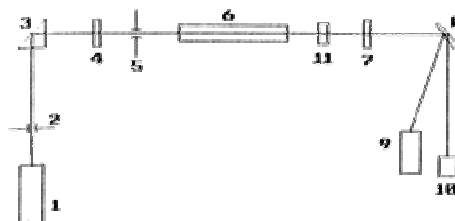
V režimu volné generace ztráty v resonátoru zůstávají během doby buzení prakticky stejné, generace začíná na nízké úrovni inverzní populace a probíhá nepravidelně, délka výstupního impulsu je velká a špičkový výkon nízký.

V **režimu Q-spínání** se právě tento rozvoj mění tak, aby se získala velice krátká doba generace a tím i vysoký špičkový výkon výstupního záření. V procesu buzení aktivního prostředí jsou ztráty v resonátoru nastaveny tak vysoko, aby podmínky pro generaci nenastaly. Až v určitém okamžiku, kdy se Q-spínač umístěný v resonátoru stane pro procházející paprsek průhledným, je téměř veškerá energie načerpaná do aktivního prostředí vyzářena v jediném mohutném pulsu.

Experimentální uspořádání

Schéma experimentu je na následujícím obrázku.

Jednotlivé elementy označeny takto: 1 - He-Ne laser, 2 - apertura, 3 - hranol, 4 - zadní (100%) zrcadlo rezonátoru, 5 - apertura v rezonátoru, 6 - laserový krystal, 7 - výstupní zrcadlo rezonátoru, 8 - dělič svazku, 9 - měřič energie, 10 - fotodioda, 11 - krystal LIF pro pasivní Q-spínání. Experiment se nejprve prováděl bez krystalu 11.



Nejprve byl podle schématu sestaven laserový systém, který byl následně doladěn metodou optického spřažení paprsků. Následně byl odzkoušen samotný laser. Prvním úkolem bylo nastavit laser na maximální možnou energii. Dalším krokem bylo vložení vhodné clonky do rezonátoru, tak aby výstupní profil paprsku byl co nejbližší základnímu módu TEM₀₀ a přitom výstupní energie laseru byla co nejvyšší. Profil paprsku byl poté zaznamenán na fotopapír. Následně jsme zjišťovali závislost výsledné energie laseru na energii buzení. Analogicky jsme postupovali po přidání Q-spínače na bázi krystalu LiF do optického rezonátoru.

4 Výsledky

Tabulka naměřených hodnot při režimu volné generace

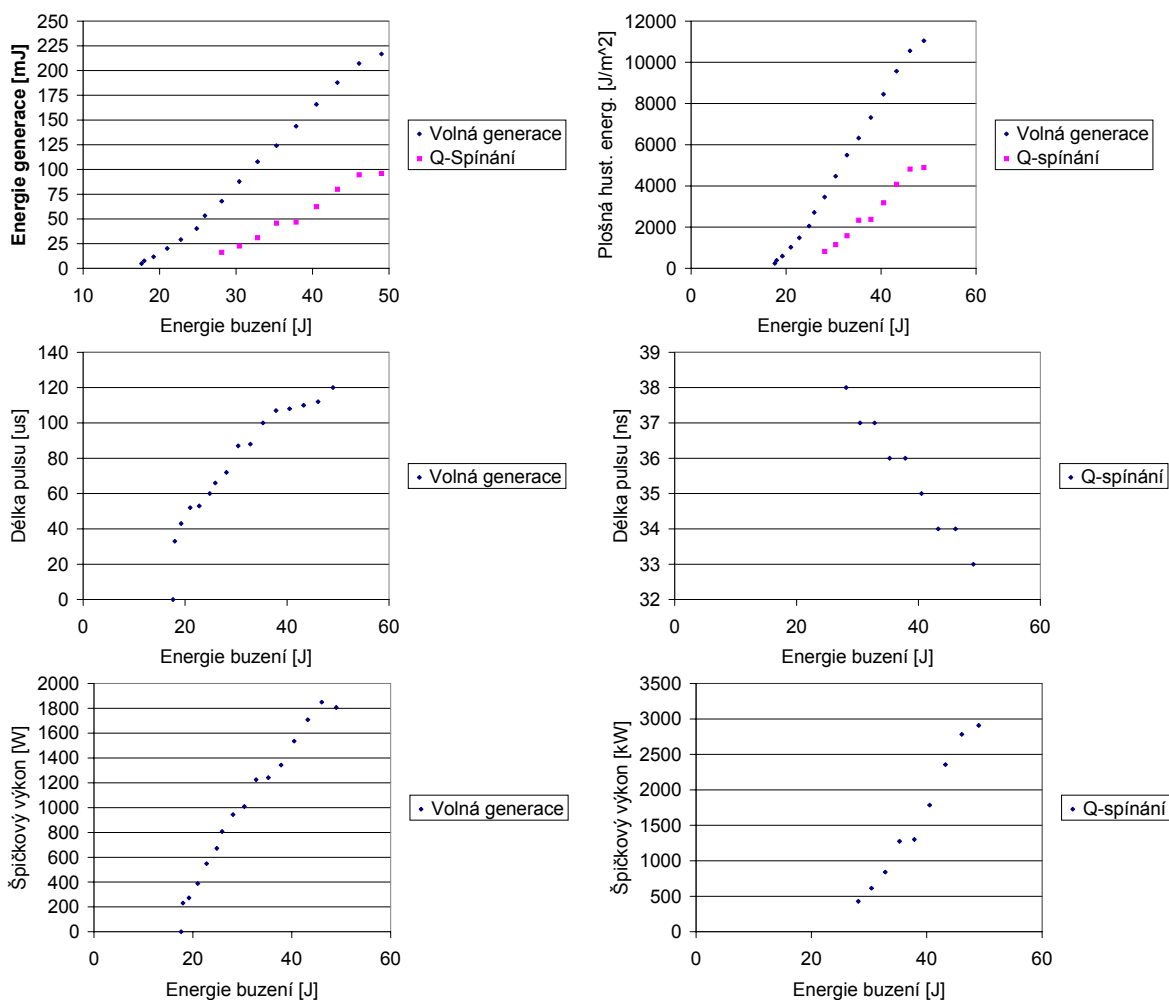
Energie buzení [J]	Energie generace [mJ]	Doba generace [us]	Účinnost [%]	Plošná hustota energie [J/m ²]	Špičkový výkon [W]
17,642	4,810	--	0,03	245,10	--
18,000	7,627	33	0,04	388,62	231,11
19,220	11,725	43	0,06	597,44	272,67
20,995	20,174	52	0,10	1027,98	387,96
22,781	29,082	53	0,13	1481,90	548,72
24,851	40,301	60	0,16	2053,54	671,68
25,920	53,307	66	0,21	2716,28	807,68
28,125	67,943	72	0,24	3462,07	943,65
30,420	87,785	87	0,29	4473,11	1009,02
32,805	107,848	88	0,33	5495,44	1225,55
35,280	124,130	100	0,35	6325,08	1241,30
37,845	143,703	107	0,38	7322,42	1343,01
40,500	165,839	108	0,41	8450,37	1535,54
43,245	187,880	110	0,43	9573,49	1708,00
46,080	207,199	112	0,45	10557,93	1849,99
49,005	216,788	120	0,44	11046,52	1806,57

Tabulka naměřených hodnot při režimu Q-spínání

Energie buzení [J]	Energie generace [mJ]	Doba generace [ns]	Účinnost [%]	Plošná hustota energie [J/m ²]	Špičkový výkon [kW]
28,125	16,266	38	0,06	828,83	428,05
30,420	22,690	37	0,07	1156,17	613,24
32,805	31,092	37	0,09	1584,29	840,32
35,280	45,902	36	0,13	2338,95	1275,05
37,845	46,835	36	0,12	2386,52	1300,98
40,500	62,484	35	0,15	3183,91	1785,26
43,245	80,111	34	0,19	4082,08	2356,20
46,080	94,620	34	0,21	4821,41	2782,95
49,005	96,013	33	0,20	4892,36	2909,47

Průměr výstupního profilu svazku zaznamenaného na fotopapír byl ve vzdálenosti 10cm od výstupního zrcadla roven 5mm jak při režimu volné generace, tak při režimu Q-spínání. Při režimu Q-spínání byla však stopa na fotopapíru zabarvená do hněda, což je způsobeno řádově vyšším špičkovým výkonem.

Grafy závislostí naměřených veličin pro oba režimy generace



5 Shrnutí

Při režimu Q-spínání bylo dosaženo velmi krátkých pulsů (33-40 ns) s obrovským špičkovým výkonem (až 3 MW), kdežto při režimu volné generace byly pulsy řádově delší (30-120 μs), skládající se z mnoha menších pulsů a mající mnohem menší špičkový výkon (max. cca 2 kW).

Poděkování

Děkujeme především ochotným supervisorům, Ing. Andreji Dombrovskému a Ing. Michalu Němcovi.

Reference:

- [1] GAVRILOV, P.–PAULIČKA, I.: *Praktikum z kvantové elektroniky* ČVUT 1994 pp.3-17
- [2] VRBOVÁ, M. *Lasery a moderní optika* Prometheus 1994 pp.192-198

Jsou pro nás rentgenová vyšetření nebezpečná?

J. Bastl, I. Havlová, S. Novotná, B. Pítrová
Gymnázium Brno, Vídeňská 47
Gymnázium Praha 6, Nad Alejí 1952
Gymnázium Jeseník, Komenského 281
Gymnázium a OA Stříbro, Soběslavova 1426
iriss_h@email.cz

Abstrakt:

V úloze byly měřeny patientské dávky pro vyšetření plic. Dávky byly srovnávány pro tzv. tvrdou a měkkou techniku. K měření patientských dávek byly použity termoluminiscenční dozimetrie (TLD). Pacient byl nahrazen antropomorfním fantomem, expozice byly prováděny na lékařském rentgenu. Pro korekci energetické závislosti TLD byly změřeny polotloušťky použitých svazků a z nich vypočítána efektivní energie záření ve svazku. Z naměřených dávek ve fantomu byly sestaveny křivky hloubkových dávek. Výsledky potvrdily, že používání měkké techniky vede k výraznému zvýšení vstupní povrchové dávky (dávka na kůži). Přesto celkové riziko z takového ozáření je nízké a odpovídá pouze několikadennímu ozáření z přírodního pozadí.

1 Úvod

Existují správné vyšetřovací postupy, jak provádět různá rentgenová vyšetření. Takové postupy, tzv. standardy kvality, zajišťují optimální kvalitu rentgenového snímku a zároveň minimální ozáření pacienta. Standard pro vyšetření plic doporučuje používat vysoké napětí na rentgence (tzv. tvrdá technika). V České republice se však v praxi často používá nízké napětí (tzv. měkká technika), která vede k výraznému zvýšení dávky pacientovi a také ke zhoršené kvalitě snímku. Proto jsme zjišťovali rozdíly v dávkách, které pacient obdrží při těchto dvou postupech.

Pro vyšetření plic znamená měkká technika použití napětí přibližně 60 kV, záření je tedy málo pronikavé, převážně se absorbuje v kůži, a tudíž pro dostatečné zčernání filmu musí být pacient vystaven větší dávce záření.

Doporučená tvrdá technika znamená použití napětí na rentgence 125 kV. Toto záření je pronikavější, pro dostatečné zčernání filmu není pacient vystaven takové dávce záření a dochází k redukci dávky na kůži.

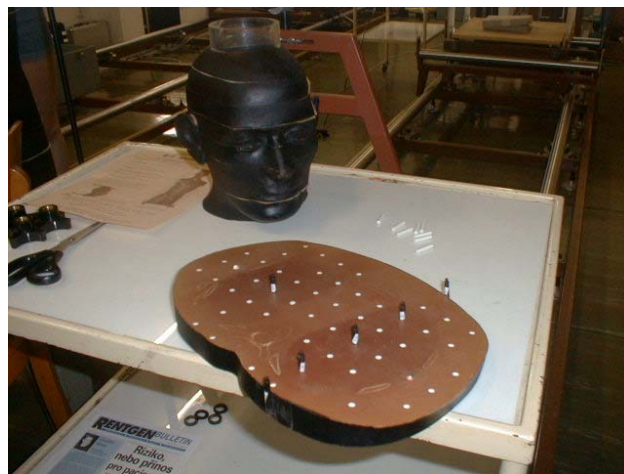
2 Materiály, metody a výsledky

Pro změření patientských dávek jsme použili diagnostický rentgen běžně používaný v ČR, ionizační komoru s elektrometrem, fantom lidského těla (viz obr. 1) a termoluminiscenční dozimetrie.

Obr. 1: Antropomorfní fantom



Obr. 2: Umístění dozimetrů ve fantomu



Pro porovnání dávek pro oba postupy je třeba vycházet ze stejné výstupní dávky, která zaručuje ekvivalentní zčernání rentgenového snímku. Z jedné pražské nemocnice, která používá měkkou techniku, jsme měli informaci jaké expoziční parametry nastavují při snímkování plic jejich pacientů - napětí rentgenky 63 kV a elektrické množství 40 mAs. Pro toto nastavení jsme si ionizační komorou (objem 80 ccm) změřili průměrnou výstupní dávku, která činila 11,1 μGy . Následně jsme změnili napětí na doporučených 125 kV a při zachování velikosti výstupní dávky 11,1 μGy jsme určili velikost elektrického množství 3,2 mAs. Tím jsme získali všechny parametry potřebné k měření patientských dávek.

Tyto expoziční parametry jsme použili pro ozáření fantomu lidského těla. Geometrie ozáření se shodovala s geometrií při které jsou ozařováni pacienti při vyšetření. Naše simulace tedy odpovídala skutečnému lékařskému vyšetření.

Pro měření patientských dávek (vstupní povrchová a orgánové v plicích) jsme použili termoluminiscenční dozimetry (TLD). Tyto dozimetry jsou tvořeny umělohmotnou kapslí, která obsahuje termoluminiscenční materiál LiF: Mg,Ti (fluorid litný s příměsí hořčíku a titanu) v práškové formě. Při měření byly tyto dozimetry umístěny na povrchu i uvnitř antropomorfního fantomu v úrovni střední části plic (viz obr. 2)

První sadu dozimetrů jsme ozářili při napětí 63 kV, druhou při doporučeném napětí 125 kV.

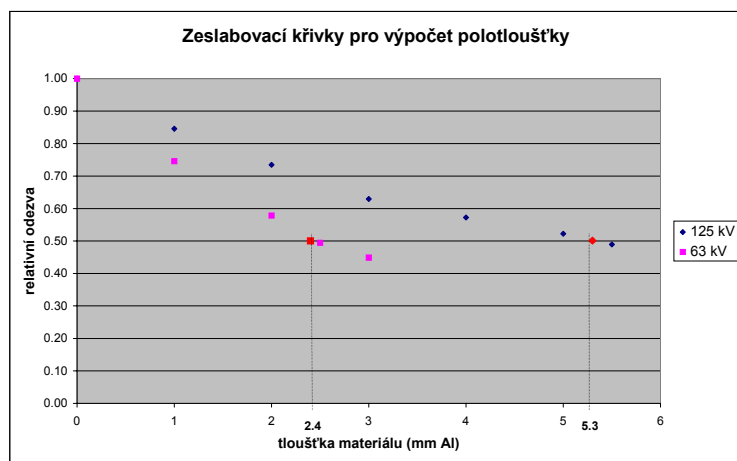
Termoluminiscenční metoda je relativní metoda, proto jsme museli provést tzv. kalibraci. Kalibrační dozimetry jsme ozářili známou dávkou. Z měření těchto dozimetrů jsme získali kalibrační faktor, který sloužil k přepočtu odezev dozimetrů ozařovaných ve fantomu na dávku.

Termoluminiscenční dozimetry jsou energeticky závislé (různá odezva dozimetru při ozáření stejnou dávkou, ale odlišnou energií záření). Z toho důvodu jsme určili efektivní energii záření vznikajícího pro použité nastavení napětí. Efektivní energie lze určit z měření polotloušťky.

Polotloušťku (tloušťku materiálu, která zeslabí původní nezeslabený svazek na polovinu) jsme měřili pomocí ionizační komory (o objemu 6 ccm) a hliníkových filtrů. Nejprve jsme

změřili dávku bez zeslabujícího materiálu. Postupně jsme přidávali hliníkové filtry o různé tloušťce, dokud se nepodařilo zeslabit svazek na více než polovinu. Z naměřených hodnot jsme sestavili zeslabovací křivky (viz graf na obr. 3) a vypočítali přesnou hodnotu polotloušťky pro obě napětí. Z nich jsme podle zeslabovacího zákona $D(x)=D_0 \cdot e^{-\mu x}$ vypočítali lineární součinitel zeslabení, tento jsme převedli na hmotnostní součinitel zeslabení (vydělením hustotou Al) a k tomuto součiniteli jsme z tabulek vyhledali příslušnou hodnotu efektivní energie záření. Naměřené polotloušťky byly 2,4 mm Al pro napětí 63 kV a 5,3 mm Al pro napětí 125 kV. Odpovídající efektivní energie záření ve svazku činily 31 keV napětí 63 kV a 44 keV pro napětí 125 kV. Korekční koeficient použitý pro výpočet dávky pro 63 kV byl určen vzhledem k napětí 125 kV, při kterém byly dozimetry kalibrovány a činil 0,96.

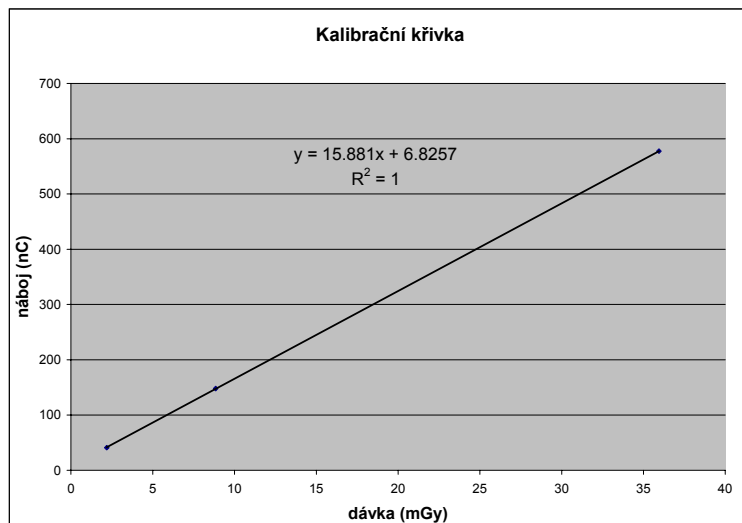
Obr. 3: Zeslabovací křivky



Po ozáření byly dozimetry vyhodnoceny v manuálním TLD readeru (čtečka TLD). Prášek z jednotlivých kapslí se pomocí dispenzoru (viz obr.) nadávkoval do kovových mistichek a umístil do readeru. Mistička s práškem byla v readeru elektricky vyhřívána na planžetě. Takto byly změřeny dozimetry ozářené na fantomu, kalibrační dozimetry a pozadový dozimetr.

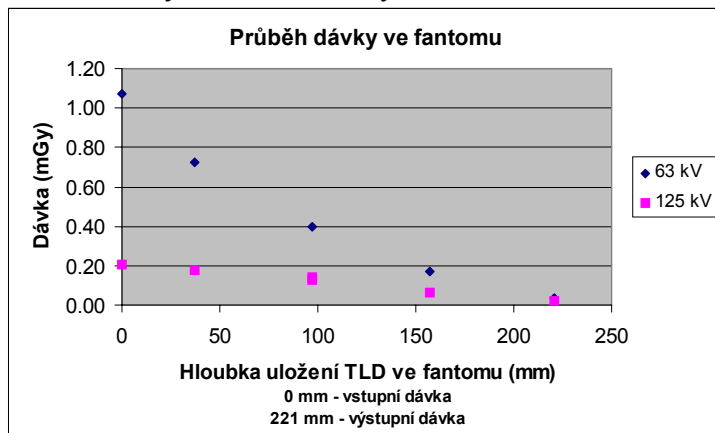
Při vyhodnocení byl signál pozadového dozimetru odečten od signálu všech ostatních dozimetrů. „Čisté“ odezvy byly vynásobeny kalibračním faktorem (získaným z kalibračních dozimetrů) pro přepočet odezvy na dávku. Kalibrační křivka – (viz graf na obr. 4). Kalibrační faktor činil 0,06 mGy/nC.

Obr. 4: Kalibrační křivka



Ze stanovených patientských dávek měřených v různých hloubkách fantomu byly sestaveny křivky hloubkové dávky pro oba vyšetřovací postupy (viz graf na obr. 5.). Vstupní povrchová dávka pro tvrdou techniku byla 0,2 mGy a pro měkkou techniku 1,08 mGy.

Obr. 5: Křivky hloubkové dávky



3 Shrnutí

Při rentgenování plic „tvrdou“ technikou je vstupní povrchová dávka až 5x nižší než při použití měkké techniky a pacient tak není proto zbytečně vystavován většímu radiačnímu riziku. Námi naměřená vstupní dávka pro měkkou techniku dokonce překračuje diagnostickou referenční úroveň (DRÚ), která je vyhláškou SÚJB č. 307 o radiační ochraně stanovena jako 0,4 mGy. Překročení DRÚ znamená, že radiační ochrana pacientů není na pracovišti optimalizována. Pomocí tkáňového váhového faktoru (pro plíce = 0,12) a orgánové plicní dávky (0,4 mGy pro měkkou techniku) jsme odhadli efektivní dávku (veličina převádějící ozáření části těla na odpovídající ozáření celého těla), která činila 0,05 mSv. Z ozáření přírodními zdroji by tuto dávku člověk obdržel přibližně během 7,5 dne. Tento odhad značí, že celkové riziko z takového vyšetření není vysoké, stanovení vstupních dávek ale ukazuje, že i toto zanedbatelné riziko lze ještě výrazně snížit používáním správné vyšetřovací techniky.

Poděkování

Děkujeme Státnímu ústavu radiační ochrany za poskytnutí prostor a vybavení, supervizorovi Ing. Leoši Novákovi, Ing. Josefu Pacholíkovi a Ing. Ivaně Horákové za konzultace.

Reference:

- [1] *Rentgen Bulletin*, Státní ústav radiační ochrany, září 2001, červen 2002.
- [2] *Kritéria kvality pro rentgenodiagnostická zobrazení*, V.M.K., 1998.
- [3] *The Fundamentals of Radiography*, Kodak Publication, 1980.
- [4] *Vyhláška SÚJB č. 307 o radiační ochraně*, 2002.
- [5] ZOETELIEF, J. – JULIUS, H.W. – CHRISTENSEN, P.: *Recommendations for patient dosimetry in diagnostic radiology using TLD*, Publikace Evropské Komise EUR 19604.

**Matematické
modelování**

**Fyzika
v medicíně**

**Laserová
fyzika**

**Informatika
a software**

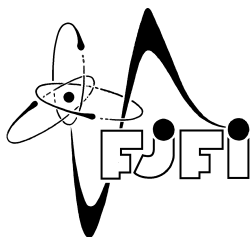
**Fyzikální
Jaderná
vlastnosti
materiálů**

**Elementární
částice**

**Jaderná
chemie**

Optoelektronika

**bezpečnost
a ekologie**



Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Českého vysokého učení technického v Praze

Vysokoškolské vzdělání v moderních oborech
s tradičně vysokou úrovní

Charakteristika studia na FJFI

- ♣ velmi široké spektrum studijních zaměření
- ♣ spoluúčast studentů při řešení výzkumných úkolů (již od 2. ročníku)
- ♣ široká nabídka studijních pobytů na zahraničních univerzitách
- ♣ studium dvou cizích jazyků (A, N, F, R, Šp)
- ♣ možnost souběžného pedagogického studia k získání učitelské způsobilosti pro vyučování na středních školách

Profil absolventa FJFI

- ♠ má velmi dobrou znalost matematiky a fyziky a je schopen ji uplatnit
- ♠ má 2-3 letou zkušenost s vědeckou prací včetně veřejné obhajoby
- ♠ umí aktivně minimálně jeden světový jazyk
- ♠ ovládá výpočetní techniku a nebojí se jí
- ♠ je schopen velmi rychlé orientace v mezioborové problematice a připraven pro týmovou práci
- ♠ ví, že nic v životě není zadarmo a že bez práce nejsou koláče

Uplatnění absolventů FJFI

- ♦ absolvent FJFI nemá problém s uplatněním - může měřit laserem vzdálenost od Měsíce či propojovat počítačové sítě mezi mrakodrapy; využít teorie grafů v bankovních operacích, na burze či při mariáši; řídit jadernou elektrárnu; určit příčiny havárií letadel, lodí či plynovodů; detekovat libovolné záření (vhodné při seznamování se); vyučovat matematiku a fyziku kdekoli; být ministrem zahraničí - nebo dělat úplně něco jiného.

- ♥ užitečná adresa
pro další informace:

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
pedagogické oddělení
Břehová 7, 115 19 Praha 1
tel. (02) 2231 0277, fax: (02) 232 08 61
<http://www.fjfi.cvut.cz>

ΣΤΥΔΙΥΜ ΝΑ ΦΘΦΙ

Fakulta založená původně v rámci čs. jaderného programu, postupně rozšířila svou působnost na široké spektrum matematických, fyzikálních a chemických oborů. Poskytuje vysokoškolské vzdělání tradičně vysoké úrovně s hlubokým matematicko-fyzikálním základem a individuálním přístupem k jednotlivým studentům.

Fakulta je řešena bezbariérově a díky svému technickému vybavení umožňuje studium i zrakově postiženým. Studenti se aktivně podílejí na práci kateder a vědeckých týmů, naučí se nejméně dva světové jazyky, důvěrně se seznají s výpočetní technikou (mj. každý student má možnost volného přístupu na Internet) a jsou schopni velmi rychlé orientace v mezioborové problematice. Řada z nich absolvuje studijní pobyty na zahraničních univerzitách. Z fakulty odcházejí všestranně připraveni a v praxi jsou vysoce úspěšní.

Studium má formu řádného denního studia (magisterské studium - titul inženýr, bakalářské studium - titul bakalář). Hlavními formami studia jsou přednášky, cvičení (seminární, laboratorní), odborné praxe a konzultace. Studium končí státní závěrečnou zkouškou spojenou s obhajobou diplomové nebo bakalářské práce. Tato práce má tvůrčí charakter a její příprava a zpracování probíhá v přímé návaznosti na konkrétní úlohy z praxe. Fakulta dále organizuje doktorandské studium (třileté), celoživotní vzdělávání občanů a odbornou výchovu vědeckých pracovníků.

Ve všech oborech a zaměřeních je rozvíjena vědecká práce. V mnoha vědeckých směrech existuje úzká spolupráce s ústavy Akademie věd a s dalšími institucemi, vysokými školami a průmyslovými podniky v České republice i v zahraničí (např. MFF UK, SÚJV Dubna, CERN Ženeva, Université de Montréal, Université de Paris, apod.).

Studenti jsou zapojováni do řešení vědecko-výzkumných programů a připravováni na moderní kolektivní formy vědecké práce což dává výuce unikátní rozměr.

MAGISTERSKÉ STUDIUM

V prvních dvou ročnících posluchači absolvují úvodní kurs matematiky, fyziky a chemie, který je základem celého studia. V matematice získávají důkladné znalosti matematické analýzy, lineární algebry, seznámí se s počítači a programováním. Na tyto předměty navazují kursy dalších matematických disciplín, jako obyčejné a parciální diferenciální rovnice, numerické metody a matematická statistika. Základní studium fyziky zahrnuje mechaniku, speciální teorii relativity, elektřinu a magnetismus, termodynamiku a molekulovou fyziku, optiku a atomovou fyziku. Druhou část kursu fyziky tvoří experimentální metody, teoretická fyzika (klasická a kvantová), jaderná fyzika a kvantová elektrodynamika. Pro obor Jaderně-chemické inženýrství je základní kurs modifikován se zvýšením důrazu na chemii.

Od třetího ročníku se studenti specializují do zaměření v rámci pěti oborů.

OBOR MATEMATICKÉ INŽENÝRSTVÍ

Studium oboru Matematické inženýrství vychází z matematicko-fyzikálního základu, prohlubuje znalosti studentů v matematice a učí je aplikovat matematiku na fyzikální, přírodovědné, inženýrské a další problémy. Studenti si prohlubují své znalosti v disciplínách potřebných pro vytváření matematických modelů s využitím počítačů k numerickým a symbolickým výpočtům a simulacím procesů nejrůznější povahy pro nejrůznější oblasti techniky a výzkumu. Získávají široké vzdělání ve fyzice, zvláště teoretické a kvantové, rozhled v matematických metodách včetně moderních partií algebry, diferenciální geometrie a algebraické topologie. Absolventi oboru se stávají mostem mezi matematikou a tradičním inženýrstvím. Studium se dělí do zaměření: Matematické modelování a Matematická fyzika.

OBOR INŽENÝRSKÁ INFORMATIKA

Absolventi oboru získají solidní vzdělání v informatice, a to jak v teoretických partiích (matematika s důrazem na diskrétní a stochastické oblasti, fyzika s akcentem na vztah reality a teorie, dále teorie informace, rozhodování, algoritmů, výpočtů a formálních jazyků), tak v praktické oblasti (programování, počítače a jejich architektura, softwarové inženýrství, programovací techniky, operační systémy, databáze, počítačové sítě). Ve specializované části studia bude posluchačům umožněno hlubší poznání moderních aplikací informatiky (věda, technologie, ekonomika, administrativa, zdravotnictví atp.). V rámci oboru lze studovat zaměření:

Informatická fyzika, Softwarové inženýrství, Informační technologie a Tvorba softwaru.

OBOR JADERNÉ INŽENÝRSTVÍ

Obor se zabývá aplikacemi jaderných věd, zvláště jaderné fyziky, v souvislosti s využíváním jaderné energie, radioaktivních látek a techniky ionizujícího záření. Posláním oboru je zajištění jaderné a radiační bezpečnosti provozu jaderných elektráren, rozvoj aplikací radionuklidů a ionizujícího záření v průmyslu, ekologii, biologii a medicíně a minimalizace dopadů na životní prostředí. Dále je též orientován na výzkum struktury hmoty a interakcí mezi elementárními částicemi. Důraz se klade na metody získávání experimentálních dat a jejich zpracování pomocí výpočetní techniky. Studijní obor nabízí pět zaměření:

Teorie a technika jaderných reaktorů, Jaderná energie a životní prostředí, Dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, Radiační fyzika v medicíně a Experimentální jaderná fyzika.

OBOR FYZIKÁLNÍ INŽENÝRSTVÍ

Fyzikální inženýrství se zabývá fyzikálními vlastnostmi hmoty, různých typů záření, interakcí mezi nimi apod. a přenášením těchto nových poznatků do praxe. Posluchači jsou vychováni k porozumění vztahům mezi strukturou pevných látek a jejich elektrickými, magnetickými a optickými vlastnostmi, sledují podstatu procesů porušování ve vazbě na mechanické a strukturní vlastnosti materiálů, životnost výrobků i nové technologie. Osvojí si poznatky o svazcích nabitých částic a plazmatu, koherentních svazcích, elektromagnetickém záření, optoelektronice a laserové technice. Naučí se je aplikovat nejen v různých oblastech techniky, ale i např. medicíny (lékařské lasery, biomateriály, apod.). Obor zahrnuje tři zaměření:

Inženýrství pevných látek, Stavba a vlastnosti materiálů a Fyzikální elektronika.

OBOR JADERNÉ CHEMICKÉ INŽENÝRSTVÍ

V oboru Jaderné chemické inženýrství jsou vychováni odborníci pro základní a aplikovaný výzkum a praxi v oblasti jaderné chemie, užitě jaderné chemie a chemie životního prostředí. Na širokém základě v matematice a fyzice a teoretické i praktické přípravě v základních chemických oborech (fyzikální, anorganická, analytická a organická chemie a biochemie) je rozvíjeno studium jaderné chemických disciplín, přičemž důraz je položen na aplikaci získaných poznatků ve výzkumu a inženýrské praxi.

Absolventi oboru mají teoretické znalosti a dostatečný praktický výcvik pro práci v radiochemických a chemických laboratořích. Ovládají metody detekce ionizujícího záření, separační metody jaderné techniky, radioanalytické a radiačně chemické metody. Jsou obeznáni s technologií jaderných materiálů, s radiační ochranou a chemií životního prostředí. Jsou schopni používat radiochemické a chemické metody k řešení analytických, ekologických, fyzikálně chemických a technologických problémů. Nalézají uplatnění ve výzkumných ústavech, zdravotnických zařízeních, v jaderné energetickém a chemickém průmyslu, v projekčních ústavech a v řízení výzkumu i provozu. Obor se dělí do dvou zaměření:

Aplikovaná jaderná chemie a Chemie životního prostředí

BAKALÁŘSKÉ STUDIUM

Bakalářské studium je na fakultě v současné době pojato jako univerzální vzdělání v **informatice** s rozšířenou výukou **jazyků**, plným přístupem k **Internetu** a možností získat **European Computer Driving Licence®** (uznávanou ve státech EU). V případě zájmu může student při splnění určitých požadavků pokračovat v magisterské nadstavbě a získat titul inženýr.

V zaměření Softwarové inženýrství v ekonomii se připravují absolventi pro budoucí uplatnění jako vysoce kvalifikované programátorsko-administrativní síly se znalostí dvou světových jazyků (angličtina+1) a základů ekonomie, marketingu, manažerství, pojistné matematiky, financí atp. Student může pokračovat v magisterské sériové 2,5leté nadstavbě v rámci zaměření Tvorba softwaru a získat titul inženýr.

V zaměření Jaderná zařízení na solidní matematicko-fyzikální základ vyváženě navazují předměty z teorie a stavby jaderných reaktorů, chemie, strojního inženýrství, elektrotechniky, teorie regulace a informatiky. Profilace zaměření poskytuje absolventům komplexní znalosti zejména pro náročné činnosti v jaderných zařízeních a v oblastech s nimi bezprostředně souvisejících.

V zaměření Radiační ochrana a životní prostředí rozšiřují studenti své poznatky do oblasti radiační fyziky a měření, bezpečnostních aspektů využití ionizujícího záření, radionuklidů i ionizujícího záření v životním prostředí a vlivu jaderného průmyslu a technologií na životní prostředí.

V zaměření Laserová technika a optoelektronika je výchova studentů orientována na přípravu odborníků pro užití náročné laserové techniky a technologie ve výrobě, výzkumu, zdravotnictví apod., dále na moderní elementy optoelektroniky, zpracování optických informací, optická měření a optické komunikace.

V zaměření Přístroje a informatika je obecný základ rozvíjen ve směru elektroniky, počítačového hardwaru, řízení přístrojů a procesorů a softwarového inženýrství.

DOKTORANDSKÉ STUDIUM

Cílem postgraduálního doktorandského studia je prohloubení teoretických základů a získání schopnosti samostatné vědecké práce na špičkové úrovni v oborech studia: Matematické inženýrství, Analytická chemie, Fyzikální inženýrství, Fyzikální chemie a Jaderné inženýrství.

Podmínkou pro přijetí je ukončené vysokoškolské vzdělání v příslušném nebo příbuzném oboru a úspěšné složení přijímací zkoušky z matematiky, fyziky, předmětu odborného zaměření a angličtiny.

Studium je organizováno formou přednáškových kursů a seminářů, součástí je samostatné studium literatury a příprava disertační práce. V disertační práci studenti zpravidla řeší konkrétní vědecký problém v rámci některého z odborných týmů na fakultě nebo spolupracujícím pracovišti. Studium je zakončeno rigorózní zkouškou a obhajobou disertační práce.

Studium může mít též externí formu, která je čtyřletá. Zpravidla je při ní využívána úzká spolupráce s pracovištěm, na němž je externí student zaměstnán.

Zájemce o studium zveme k návštěvě tradičně konaných Dnů otevřených dveří (v listopadu a únoru) a též bezplatného Kurzu z M a F k pojímacím zkouškám na VŠ technické (od listopadu do března). Uzávěrka pro podání přihlášek ke studiu je vždy 31.března, přijímací zkoušky pak v polovině června (případně druhé kolo na konci srpna).