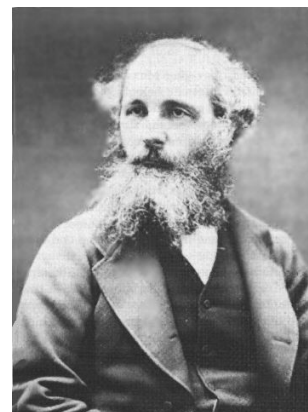


Fyzikální týden na FJFI ČVUT Praha 2006

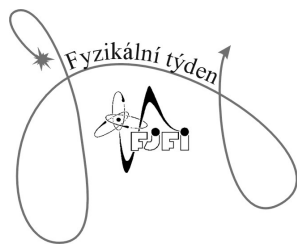
Fyzikální týden

Sborník příspěvků

11.-15.červen 2006



”Dobře vybudovaný tým může dosáhnout takového úspěchu, o kterém jste nikdy ani nesnili.”
James Clark Maxwell (175 let od jeho narození)

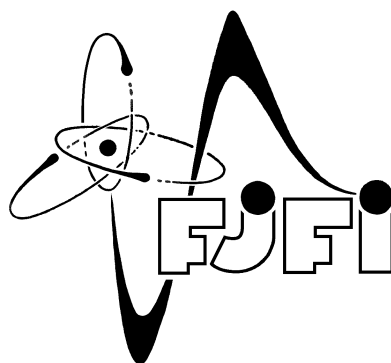


Fyzikální týden na FJFI ČVUT Praha 2006

Poděkování za laskavou podporu

Nadační fond pro podporu teoretické fyziky

a



a



Slovo úvodem (tradičně velmi podobné)

Už osmým rokem pořádáme na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT 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 132 studentů ze 65 gymnázií, kteří si vyslechli jednu z 10 zajímavých přednášek, zkusili své síly v 46 miniprojektech, měli možnost navštívit 11 vědeckých pracovišť a navíc mohli večer strávit v Planetáriu, Štefánikově hvězdárně či na Křižíkově fontáně. Oproti minulým létům jsme letos zorganizovali uvítací párty (poděkování Studentské unii FJFI ČVUT) a poprvé se na minikonferenci objevuje i posterová sekce. Letos se znovu (po nezdařeném pokusu minulého FT) pokusíme několik vybraných příspěvků vydat 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 poděkovat na tomto místě jmenovitě Marii Svobodové a Zuzaně Sekerešové za jejich neocenitelnou pomoc při organizaci FT. Dále tradičně 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 opět opět výbornou badatelskou atmosféru.

14. června 2006

Vojtěch Svoboda

Očekávání a obavy s kterými studenti přijížděli na letošní FT.

Očekávání:

- parádní parta
- něco nového se dozvíme
- jak se pracuje v praxi
- pomůže to při rozhodování o výběru VŠ
- potkáme normální holky
- uvidíme NĚCO
- Linux
- práce s matematickým software

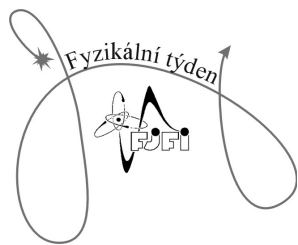
Obavy:

- aby holky nebyly chytřejší
- že potkáme divné kluky
- z nedostatku inteligence
- z uspávačů hadů
- že nebudou fungovat přístroje
- že něco rozbijeme

Obsah

Poděkování	3
Slovo úvodem	4
Program Fyzikálního týdne 2006	8
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	9
Příspěvky	15
e/m - měření měrného náboje elektronu (Michal Bezvoda, Jiří Kužela, Tereza Liepoldová)	15
Franck-Hertzův pokus (Tomáš Melichar, Martin Schafer, Jiří Horčíčka)	19
Millikanův pokus (Pavel Linhart, Josef Müller, Michal Jex)	24
Mikrovlny (Karel Jára, Barbora Mátková)	27
Spektrometrie záření gama (Zdeněk Tegi, Petr Révay, Barbora Zavadilová)	31
Resonanční jevy na mechanických a elektrických systémech (David Majerčík, Martin Bečan)	35
Základní experimenty s lasery (Tomáš Pašek, René Labounek, Radek Stejkora)	39
Měření rychlosti světla (Jakub Křížan, Jana Kubištová, Pavel Antonín)	42
Balmerova série vodíku (Pavel Mičulka, Josef Navrátil, Barbora Pavlíková)	46
Palivový článek (Tomáš Žák, Jiří Eminger, Jan Petrášek)	51
Numerické modelování fyzikálních dějů. (Jakub Marian, Jana Zajíčková)	54
Studium rentgenového spektra měděné anody (Martina Veselá, Helena Paschkeová, Barbora Huňková)	59
Studium ultrazvukových vln (Matěj Laitl, Marek Stejskal, Petr Lessner)	62
Cavendishův experiment - měření gravitační konstanty (Jan Macháček, Zuzana Mouchová, Jana Nowakova)	66
Termodynamické zákony v praxi (Martin Matoušek, Lukáš Severa, Jakub Opršal)	69
Atomová absorpční spektroskopie (Filip Plášil, Jaromír Polák, Petr Adamec)	73
Mikroskopie v materiálovém výzkumu (Bernard Rampáček, Jaroslav Petr, Tomáš Odstrčil)	77
Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů (Lucie Kadrmanová, Pavel Hartman, František Batysta)	81
Poškození DNA vlivem ionizujícího záření (Lucie Kladivová, Jan Stránský, Kristýna Štancelová)	85
Měření krátkých časových intervalů s pikosekundovým rozlišením (Michaela Fatrdlová, Tomáš Polcar, Tomáš Binek)	89
Počítačové zpracování obrazu - analýza snímků družic (Ondřej Güttner, Josef Vondráček, Jakub Vodňanský)	91
Počítačové zobrazování fraktálních množin (Michal Vahala, Emil Málik, Libor Kadlčík)	94
LINUX Lab (Ondřej Perutka, Ondřej Zach, Martin Ledvina)	98
Využití radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek. (Radek Bulín, Helena Fartáková)	102

Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice I (Petr Fojtů,Vlastimil Slinták,Jan Erban)	105
Algoritmy pro počítačovou grafiku (Vojtěch Oram,Jana Veselá,Václav Hanus)	109
Numerické modelování proudění mělké vody (Martin Výška,Matouš Macháček,Ondřej Kraus)	112
Numerické modelování dynamiky plynů (Michal Havrila,Marek Nečada,Petr Loutocký)	116
Jsou pro nás rentgenová vyšetření nebezpečná? (Jaroslava Fojtíková,Josef Farták,Viktor Růžička)	120
Od difrakce a interference světla k holografii a difraktivní optice (Filip Řepka,Jiří Svatoš,Jan Láník)	124
Simulace socio-ekonomických systémů (Jiří Zajíc,Lukáš Ustrnul,Lukáš Ropek)	127
Můžeme použít nový typ scintilátoru YAP k měření radonu? (Michal Odstrčil,Ondřej Šíma,Marek Honzírek)	130
Skutečně vaše sluneční brýle nepropouští ultrafialové světlo ? (Tereza Pachlová,Jakub Loucký,Lucie Pospíšilová)	134
RTG fázová analýza aneb hledáme vzácné kovy v příbramských horninách (Václav Blechta,Lukáš Antal,Martina Žaludová)	138
Nevaž se, PROVAŽ SE I (Petra Malá,Vít Podivinský,David Navrkal)	141
Nevaž se, PROVAŽ SE II (Zdenek Farana,Jan Jelínek)	145
Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo (Jiří Daněk,Jan Čapek,Jiří Komárek)	148
Simulace provozu JE s bloky VVER 440 a CANDU 6 (Martin Veselý,Jakub Tejchman)	151
Simulace provozu JE s bloky VVER 1000 a ABWR (Pavel Baxant,Jaromír Fumfera,Michal Kuna)	155
Únavové poruchy letadel - řádkovací elektronová mikroskopie (Radana Janovská,Zdeněk Houfek,Tereza Ježková)	159
Gama záření z přírodních zdrojů (David Paulů,Jan Zugárek,Petr Distler)	163
Aplikace rentgenfluorescenční analýzy ke studiu památek (Tereza Kulatá,Lukáš Bandas,Zdeněk Ferda)	167
Prvkové analýzy pomocí protonového svazku (metoda PIXE) (Libor Vysloužil,Tomáš Javůrek,Radek Tyrál)	171
Plynová chromatografie při radiační dechloraci polutantů (Aleš Podolník,Eliška Šmídová)	174
Studium obrazu z parabolického pásu (Ondřej Kupka,Zbyněk Másler,Libor Příleský)	178
Stanovení radiační zátěže od kosmického záření na palubě letadla (Barbora Dykasková,Štěpán Timr,Jakub Kákona)	181
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT	186



Fyzikální týden na FJFI ČVUT Praha 2006

Program Fyzikálního týdne 2006

- **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
16.00-19.00 Terasa
večer Ubytování

- **Pondělí**

9-16.30 Práce na miniprojektech (seznámení, rešerše, příprava, realizace)
17.00-18.00 Jak prezentovat I

- **Úterý**

celý den Práce na miniprojektech (realizace, příprava presentace a sborníkového příspěvku)
20.00 Deadline pro upload příspěvků

- **Středa**

dopoledne Exkurze
14.30-15.30 Jak prezentovat II
16.00-17.30 Populární přednáška : Fúze (nabíráme vítr do plachet)

- **Čtvrtek**

8.00-9.30 Presentace miniprojektů I
9.30-10.15 Posterová sekce
10.15-11.45 Presentace miniprojektů II
12.30-14.00 Presentace miniprojektů III
14.00 Závěr
14.30 Zakončení

Exkurze

- Ústav jaderného výzkumu Řež u Prahy
- Fyzikální ústav - Na Slovance
- Fyzikální ústav - Cukrovarnická
- Leksellův gamma nůž
- Oddělení radioterapie Nemocnice v Motole
- Školní reaktor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT
- Tokamak CASTOR
- Prague Asterix Laser System
- Astronomický ústav AV ČR Ondřejov
- Technické muzeum Praha
- Ústav fyziky atmosféry

Přednášky

- Ing. Václav Čuba, Ph.D.: Radiační chemie
- RNDr. Zdeněk TOMIAK: Proč mají polovodiče polovodivé vlastnosti.
- Prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc.: Ionizující záření kolem nás
- Mgr. Jaroslav Bouda: Jaderná energie v životě člověka
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Foton - a bylo světlo.
- Prof. Ing. Ladislav Drška, CSc.: Fyzika extrémních stavů látky
- Mgr. Milan Krbálek, PhD.: Automobilová doprava očima matematiky.
- Doc.Ing. Jiří Kunz, CSc.: Fraktologie.
- RNDr. Vladimír Wágner, CSc.: Jak to vypadá uvnitř neutronových hvězd.
- Ing. Miroslav Virius, CSc.: Programování pro .net

Miniprojekty

- e/m - měření měrného náboje elektronu
- Dopplerův jev + vzduchová dráha
- Franck-Hertzův pokus
- Millikanův pokus
- Mikrovlny
- Spektrometrie záření gama
- Resonanční jevy na mechanických a elektrických systémech
- Základní experimenty s lasery
- Měření rychlosti světla
- Balmerova série vodíku
- Palivový článek
- Numerické modelování fyzikálních dějů.
- Studium rentgenového spektra měděné anody
- Studium ultrazvukových vln
- Cavendishův experiment - měření gravitační konstanty
- Termodynamické zákony v praxi
- Atomová absorpční spektroskopie
- Mikroskopie v materiálovém výzkumu
- Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- Poškození DNA vlivem ionizujícího záření
- Měření krátkých časových intervalů s pikosekundovým rozlišením
- Počítačové zpracování obrazu - analýza snímků družic
- Počítačové zobrazování fraktálních množin
- LINUX Lab

- Využití radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek.
- Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice I
- Algoritmy pro počítačovou grafiku
- Numerické modelování proudění mělké vody
- Numerické modelování dynamiky plynů
- Jsou pro nás rentgenová vyšetření nebezpečná?
- Od difrakce a interference světla k holografii a difraktivní optice
- Simulace socio-ekonomických systémů
- Můžeme použít nový typ scintilátoru YAP k měření radonu?
- Skutečně vaše sluneční brýle nepropouští ultrafialové světlo ?
- RTG fázová analýza aneb hledáme vzácné kovy v příbramských horninách
- Nevaž se, 'PROVAŽ SE ' I
- Nevaž se, 'PROVAŽ SE' II
- Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo
- Simulace provozu JE s bloky VVER 440 a CANDU 6
- Simulace provozu JE s bloky VVER 1000 a ABWR
- Únavové poruchy letadel - řádkovací elektronová mikroskopie
- Stanovení radiační zátěže od kosmického záření na palubě letadla
- Gama záření z přírodních zdrojů
- Aplikace rentgenfluorescenční analýzy ke studiu památek
- Prvkové analýzy pomocí protonového svazku (metoda PIXE)
- Plynová chromatografie při radiační dechloraci polutantů
- Studium obrazu z parabolického pásu

Minikonference

MINIKONFERENCE - Trojanova, čtvrtek: Ústní příspěvky

Aula 101

Chairperson: Petra Malá

- 8.00 Studium obrazu z parabolického pásu
- 8.15 Nevaž se, 'PROVAŽ SE' II
- 8.30 Franck-Hertzův pokus
- 8.45 Studium rentgenového spektra měděné anody
- 9.00 Numerické modelování proudění mělké vody
- 9.15 Numerické modelování dynamiky plynů
- 9.30 **Posterová sekce**

Chairperson: Pavel Mičulka

- 10.15 Základní experimenty s lasery
- 10.30 Měření rychlosti světla
- 10.45 Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice I
- 11.00 Můžeme použít nový typ scintilátoru YAP k měření radonu?
- 11.15 Numerické modelování fyzikálních dějů.
- 11.30 Od difrakce a interference světla k holografii a difraktní optice
- 11.45 **přestávka**

Chairperson: Michal Vahala

- 12.30 Plynová chromatografie při radiační dechloraci polutantů
- 12.45 Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo
- 13.00 Únavové poruchy letadel - řádkovací elektronová mikroskopie
- 13.15 Mikroskopie v materiálovém výzkumu
- 13.30 Poškození DNA vlivem ionizujícího záření
- 13.45 Měření krátkých časových intervalů s pikosekundovým rozlišením
- 14.00 Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- 14.15 **Zakončení,konec FT**

Aula 235

Chairperson: Barbora Dykastová

- 8.00 RTG fázová analýza aneb hledáme vzácné kovy v příbramských horninách
- 8.15 Nevaž se, 'PROVAŽ SE' I
- 8.30 Počítačové zpracování obrazu - analýza snímků družic
- 8.45 Počítačové zobrazování fraktálních množin
- 9.00 LINUX Lab
- 9.15 Využití radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek.
- 9.30 **Posterová sekce**

Chairperson: Filip Řepka

- 10.15 Cavendishův experiment - měření gravitační konstanty
- 10.30 Resonanční jevy na mechanických a elektrických systémech
- 10.45 Palivový článek
- 11.00 Mikrovlny
- 11.15 Spektrometrie záření gama
- 11.30 Simulace socio-ekonomických systémů
- 11.45 **přestávka**

Chairperson: Jaroslava Fojtíková

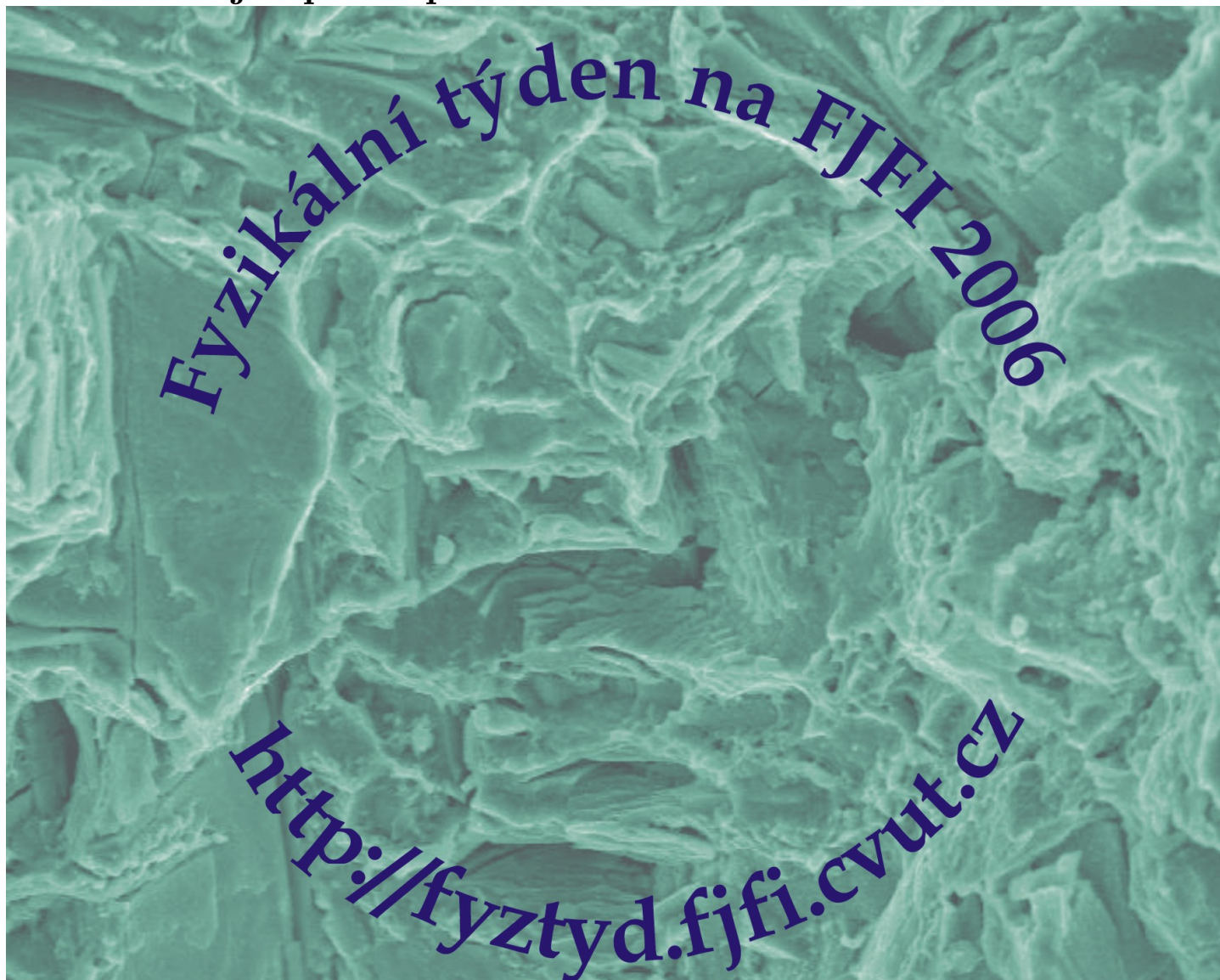
- 12.30 Atomová absorpční spektroskopie
- 12.45 Studium ultrazvukových vln
- 13.00 Simulace provozu JE s bloky VVER 1000 a ABWR
- 13.15 Jsou pro nás rentgenová vyšetření nebezpečná?
- 13.30 Skutečně vaše sluneční brýle nepropouští ultrafialové světlo ?
- 13.45 Millikanův pokus
- 14.00 Prvkové analýzy pomocí protonového svazku (metoda PIXE)
- 14.15 **Zakončení v Aule 101**

Posterová sekce (9.30-10.15)

Chairperson: David Paulů

- e/m - měření měrného náboje elektronu
- Balmerova série vodíku
- Termodynamické zákony v praxi
- Algoritmy pro počítačovou grafiku
- Simulace provozu JE s bloky VVER 440 a CANDU 6
- Stanovení radiační zátěže od kosmického záření na palubě letadla
- Gama záření z přírodních zdrojů
- Aplikace rentgenfluorescenční analýzy ke studiu památek

Letošní FT je opět doprovázen CD.



(snímek povrchu lomu lopatky leteckého motoru elektronovým mikroskopem.)

e/m měření měrného náboje elektronu

M. Bezvoda michal.bezvoda@atlas.cz

J. Kužela stilgar_tlusty@centrum.cz

T. Liepoldová MecNet@seznam.cz

Abstrakt:

Naším úkolem bylo změřit hodnotu měrného náboje elektronu. K dosažení této hodnoty jsme použili dvě metody měření: v kolmém a podélném homogenním magnetickém poli. Hodnoty jsme naměřili s odchylkou $0.05 \cdot 10^{-11} \text{ C/kg}$.

1 Úvod

Měrným nábojem elektronu rozumíme poměr náboje elektronu k jeho hmotnosti (e/m). Jeho rozměr v soustavě SI je C/kg . Jeho tabulková hodnota byla určena na $1.7588047 \cdot 10^{-11} \text{ C/kg}$. Naším experimentem jsme se pokusili docílit stejného výsledku. V následujícím textu se budeme zabývat dvěma způsoby měření měrného náboje elektronu.

2 Měření a výpočty

2.1 Měření e/m v kolmém magnetickém poli

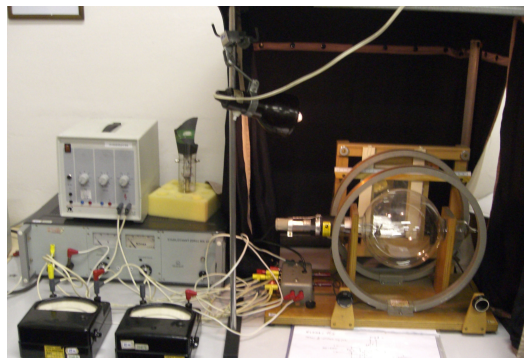
2.1.1 Co jsme potřebovali?

Měřili jsme pomocí Wehneltovy (katodové) trubice a Helmholtzových cívek, které nám utvářely homogenní magnetické pole. Jmenovitý zdroj napětí je 6,3V a anodové napětí volíme mezi 100 – 200V.

2.1.2 Postup měření

Katoda emituje přímočarý proud elektronů, které excitují atomy plynu (vodíku) ve svém okolí do vyššího energetického stavu. Při deexcitaci atomy emitují viditelné záření. Takto je zviditelněna dráha elektronového svazku, která se vlivem homogenního magnetického pole vytvářeného Helmholtzovými cívkami stočí do kružnice.

Změřením poloměru dané kružnice a z hodnot napětí (v rozmezí 100 – 200 V) a proudu (v rozmezí 0.75 – 1.35 A) můžeme vypočítat hodnotu měrného náboje elektronu.



2.1.3 Výpočty

Měřením a použitím vzorce: $\frac{e}{m} = \frac{2U}{k_1^2 I^2 r^2}$ jsme získali hodnoty:

Měření číslo 1

	U/V	I/A	r/cm	e/m - C/kg	Δ e/m
1	100,00	0,75	5,33	2,0557	0,1602
2	141,00	0,80	6,09	1,9477	0,0523
3	150,00	0,90	5,81	1,7988	-0,0967
4	150,00	1,00	5,15	1,8544	-0,0411
5	175,00	1,20	4,61	1,8750	-0,0205
6	175,00	0,90	6,12	1,8945	-0,0010
7	175,00	0,95	5,68	1,9707	0,0752
8	200,00	1,00	5,98	1,8338	-0,0617
9	200,00	1,20	4,94	1,8699	-0,0256
10	200,00	1,35	4,41	1,8544	-0,0411

Průměr:

1,8954

Měření číslo 2

	U/V	I/A	r/cm	e/m - C/kg	Δ e/m
1	100,00	0,75	5,53	1,9061	-0,0548
2	100,00	1,00	4,20	1,8588	-0,0074
3	150,00	1,25	4,26	1,7345	0,1168
4	150,00	1,00	5,25	1,7844	0,0669
5	200,00	1,00	6,00	1,8216	0,0297
6	200,00	1,25	4,81	1,8140	0,0373
7	120,00	1,00	4,50	1,9431	-0,0917
8	120,00	0,85	5,41	1,8641	-0,0128
9	170,00	1,00	5,51	1,8393	0,0120
10	170,00	1,25	4,28	1,9475	-0,0961

Průměr:

1,8514

Měření číslo 3

	U/V	I/A	r/cm	e/m - C/kg	Δ e/m
1	100,00	1,00	3,90	2,1558	-0,3501
2	140,00	1,00	4,86	1,9475	-0,1418
3	120,00	0,75	6,28	1,7736	0,0320
4	120,00	1,00	4,68	1,8003	0,0054
5	130,00	0,75	6,56	1,7636	0,0421
6	180,00	1,00	5,93	1,6812	0,1245
7	160,00	1,25	4,64	1,5629	0,2428
8	200,00	1,25	4,84	1,7953	0,0103
9	200,00	1,00	5,98	1,8338	-0,0281
10	150,00	1,25	4,25	1,7427	0,0630

Průměr:

1,8057

2.1.4 Odchylka měření

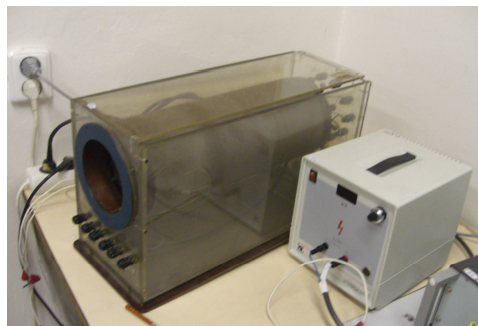
Celkový průměr měření je $1.8058 \cdot 10^{-11}$ C/kg.

Odchylka měření: $(1.81 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}$ C/kg.

2.2 Měření e/m v podélném magnetickém poli

2.2.1 Aparatura

Tato metoda měření je založena na účinku podélného magnetického pole na divergující svazek elektronů, které vycházejí po urychlení z malého otvoru v anodě osciloskopické obrazovky.



2.2.2 Výpočty

Lorentzova síla F , která působí na elektrony pohybující se rychlostí v v magnetickém poli s mg. indukcí B , je dána vztahem $\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B})$

Měřením a použitím vzorce: $\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{k_2^2 I^2 l^2}$ jsme získali hodnoty:

Měření 1

	voltu	amper	r/cm	e/m - C/kg	Δ e/m
1	850,00	4,35	24,90	1,7369	-0,1384
2	900,00	4,40	24,90	1,7975	-0,0778
3	950,00	4,45	24,90	1,8550	-0,0203
4	1000,00	4,50	24,90	1,9095	0,0342
5	1050,00	4,60	24,90	1,9187	0,0434
6	1100,00	4,75	24,90	1,8851	0,0099
7	1150,00	4,85	24,90	1,8904	0,0151
8	1200,00	4,95	24,90	1,8937	0,0184
9	1250,00	5,00	24,90	1,9333	0,0581
10	1300,00	5,10	24,90	1,9326	0,0573
Průměr				1,8753	

Měření 2

	voltu	amper	r/cm	e/m - C/kg	Δ e/m
1	820,00	4,30	24,90	1,7148	-0,1450
2	870,00	4,33	24,90	1,7984	-0,0614
3	920,00	4,38	24,90	1,8585	-0,0013
4	970,00	4,48	24,90	1,8729	0,0131
5	1020,00	4,60	24,90	1,8639	0,0041
6	1070,00	4,67	24,90	1,9011	0,0414
7	1120,00	4,80	24,90	1,8796	0,0198
8	1170,00	4,90	24,90	1,8842	0,0244
9	1220,00	4,95	24,90	1,9252	0,0655
10	1270,00	5,09	24,90	1,8991	0,0394
Průměr				1,8598	

Měření 3

	voltu	amper	r/cm	e/m - C/kg	Δ e/m
1	830,00	4,30	24,90	1,7357	-0,1423
2	880,00	4,33	24,90	1,8190	-0,0590
3	930,00	4,41	24,90	1,8532	-0,0248
4	980,00	4,48	24,90	1,8880	0,0100
5	1030,00	4,56	24,90	1,9153	0,0373
6	1080,00	4,70	24,90	1,8904	0,0124
7	1130,00	4,80	24,90	1,8964	0,0184
8	1180,00	4,90	24,90	1,9003	0,0223
9	1230,00	4,95	24,90	1,9410	0,0630
10	1280,00	5,05	24,90	1,9407	0,0627
Průměr				1,8780	

2.2.4 Odchylka měření

Celkový průměr měření je $1.8710 \cdot 10^{-11}$ C/kg.

Odchylka měření: $(1.87 \pm 0.02) \cdot 10^{-11}$ C/kg.

3 Shrnutí

Měřením v kolmém magnetickém poli jsme získali měrný náboj elektronu o hodnotě $(1.81 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}$ C/kg. V podélném magnetickém poli jsme naměřili hodnotu $(1.87 \pm 0.02) \cdot 10^{-11}$ C/kg. Porovnáním obou našich hodnot jsme zjistili, že obě metody měření jsou stejně přesné. Udávaná hodnota v tabulkách je $1.7588047 \cdot 10^{-11}$ C/kg, od které se s uvažováním chyb měření prakticky nelišíme.

Poděkování

Naší supervisorce Maryle za úžasnou péči, kterou nám věnovala ☺

Dále poděkovat FJFI CVUT za zprostředkování Fyzikálního týdne.

Panu ing V. Svobodovi za organizaci Fyzikálního týdne.

Sponzorům fyztydu.

Reference:

1. I. ŠTOLL: *Elektřina a magnetismus* Skriptum FJFI vydavatelství ČVUT 1994 str. 171-177
2. doc. RNDr. O. Lepil, CSc, PaedDr. P.Šedivý: *Elektřina a magnetismus* Prométeus 2003

Franck-Hertzův pokus

Martin Schafer, Gymnázium Lesní čtvrť, Zlín enoras@tiscali.cz

Tomáš Melichar, SPŠ Příbram D-ler@seznam.cz

Jiří Horčíčka, Gymnázium Jeseník, chorchix@seznam.cz

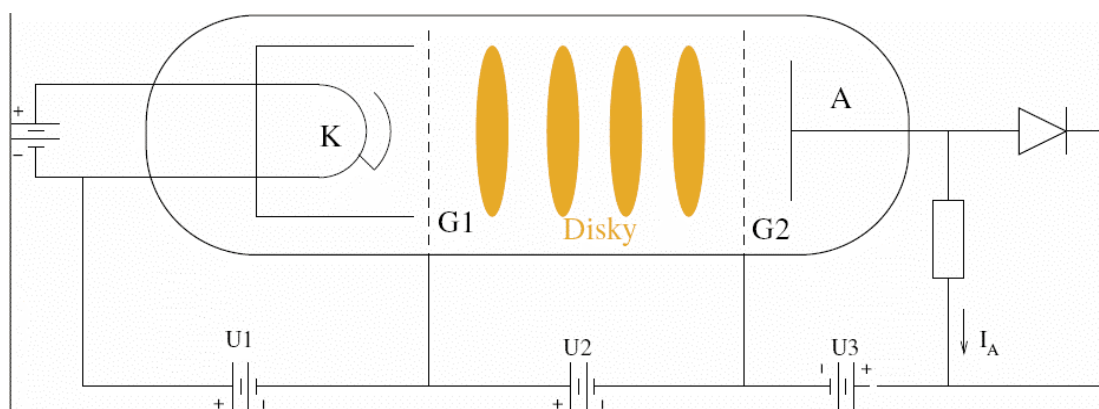
Abstrakt

Naším cílem bylo Potvrzení Bohrova předpokladu kvantování energie Cíl našeho projektu spočíval v experimentálním ověření kvantování energie v souladu s Bohrovým modelem atomu z roku 1913,čehož jsme dosáhly provedením Franck-Hertzova pokusu, které by měly být v souladu se spektroskopickými metodami

1 Úvod.

James Franck a Gustav L. Hertz, prokázali, že elektron, který je pohlcen atomem, musí mít určité minimální množství energie, aby mohl vyzářit světelné kvantum odpovídající energie. Franck a Hertz dále ukázali obecnou platnost Planckova vztahu. Tento pokus je realizován následujícím způsobem: Atomy nebo molekuly víceméně zředěného plynu jsou ostřelovány pomalými elektrony: přitom se pozoruje rozložení rychlostí elektronů před srážkou a po ní. Jde-li o pružnou srážku, tak rozdělení rychlostí se srážkou nemění. A z tohoto pokusu vyplývá, že ověřil kvantování energetických hladin atomu.

- Schéma přístroje:



2 Uspořádání Franck-Hertzova pokusu (apatura)

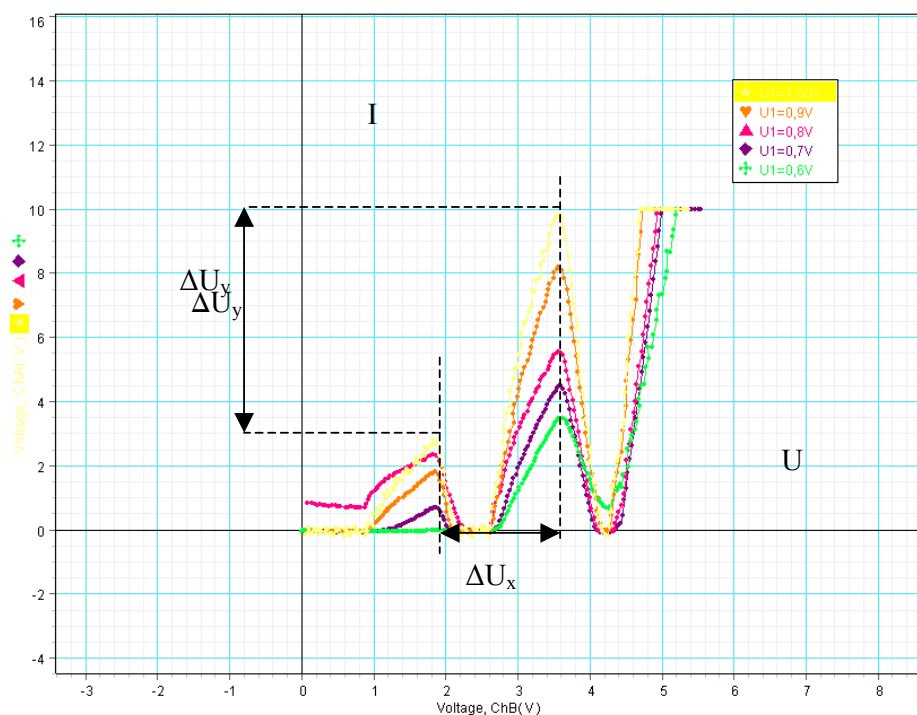
- Triodu T plnili Franck a Hertz parami různých prvků. Ze žhavené katody K vystupují elektrony a jsou unášeny elektrickým polem ke kladně nabitě mřížce M. Potenciálový rozdíl mezi katodou a mřížkou označme symbolem V . Na své cestě se elektrony srážejí s atomy par vyplňujících vnitřní prostor triody, přičemž tyto srážky mohou být jak pružné, tak i nepružné. Slabé brzdící napětí mezi mřížkou a anodou dále způsobí, že jen elektrony s jistou minimální kinetickou energií dopadnou na anodu a přispějí k proudu tekoucímu galvanometrem A. Elektrony s menší kinetickou energií ke katodě nedospějí a jsou odvedeny mřížkovou větví
- Uspořádání a princip pokusu jsou prakticky totožné jako při pokusu s rtutí. Liší se pouze obsah trubice – NEON. Tuto variantu jsme proskoumali i prakticky.
 - Neon se samozřejmě nemusí zahřívat jako je tomu při pokusu se rtutí a zároveň poskytuje větší rozsah urychlovacího napětí (až 80V), a tak jsme si pokus oproti svým předchůdcům ulehčili. Vyšší rozsah urychlovacího napětí je dán vysokou stabilitou neonových atomů (plně obsazené hladiny 1s, 2s, 2p) a následovně vyšší ionizační energií (21,51 eV).
 - Mezi mřížkami jsme pozorovali nejprve jeden zářící kotouč, který se se vzrůstajícím napětím posouval směrem ke katodě. Jakmile se dostal přesně doprostřed mezi mřížky, začal se vytvářet další disk (elektrony začínají předávat energii dvěma atomům). Nakonec jsme dostali tři kotouče, což odpovídá počtu minim křivky závislosti anodového proudu na urychlovacím napětí, kterou jsme zaznamenávali na osciloskopu. Maxima nastala při celých násobcích přibližně 18 V. Elektrony urychlené tímto napětím měli tedy energii 18 eV. Jelikož je Neon vysoce stabilní, měl by tedy okamžitě vyzářit kvantum elektromagnetického záření o vlnové délce $\lambda = hc/E$. Dosadíme-li do vztahu dostaneme vlnovou délku ultrafialového záření. Během experimentu jsme ale pozorovali jasně červené záření odpovídající intenzivním čarám ve spektru Neonu (téměř celého spektra). Rozdíl byl způsoben tím, že Neon přešel do jiného energetického stavu než měl před srážkou, což koresponduje s Planckovo vztahem, který je dán takto.:

$$\hbar \nu = E_m - E_n$$

- Což vlastně znamená že rozdíl jednotlivých energetických stavů je roven součinu Planckovy konstanty a frekvence dané elektromagnetické vlny.

3. Zpracování výsledků

- výsledkem měření bylo vyhotovení grafu, který nám vykazuje závislost mezi napětím a proudem, tzv. **Volt-Ampérovou charakteristiku**. Přičemž proud byl vložen na ose y a napětí v ose x. Z této závislosti vyčteme jisté kritické potenciály, které odpovídají okamžiku nepružné srážky, ke které dojde v momentě kdy urychlíme elektron napětím na minimální hodnotu v průměru 18 eV. Tato hodnota je totiž energie potřebná na přechod atomu Neonu na jinou energetickou hladinu. Důvod poklesu proudu je ten, že po srážce která se odehrává za mřížkou, nemá elektron dostatečnou energii k tomu aby doletěl k Anodě, a proto je posléze uzemněn. viz obrázek na straně 1. ΔU pak je rovna energii potřebné ke skoku Atomu Neonu na jinou energetickou hladinu (viz tabulka č.1).



- (tabulka č.1) odtud jsme vynesli do tabulky excitační energii, která je právě rovna ΔU_x

č. měření	U_1	ΔU_x	ΔU_y
1	1	17.29	63.02
2	0.9	17.64	31.69
3	0.8	17.17	37.33
4	0.7	17.29	34.16
5	0.6	17.29	34.16
průměr		17.336	33.93

- Pokud vstupní napětí mnohonásobně zvýšíme, až 30 krát, začneme pozorovat na detektoru zápornou výchylku proudu, která je dána právě ionizací. Tedy při srážce urychleného elektronu s atomem Neonu, při které elektron doslova vytrhne jiný elektron z obalu a stává se z něj iont, který se v detektoru objeví jako částice s obrácenou polaritou. Tento proud se nazývá jako Ionizační proud. Jeho hodnoty kterých nabýval v závislosti na napětí viz tabulka 2

Ionizační napětí			
číslo měření	1.ionizace	2.ionizace	3.ionizace
1	20.8	38.97	57.4
2	20.7	38.7	56.9
3	19.9	38.93	60.8
4	19.29	37.76	56.9
5	20.53	38.81	58.7
6	19.92	37.02	55
průměr	20.19	38.37	57.62

- (tabulka č.2) napětí, při kterých docházelo k nárustu ionizačního proudu

Rozdíl energetických hladin v eV (2.e-1.e)	Rozdíl energetických hladin v eV (3.e-2.e)
18,17	18,43
18,00	18,20
19,03	21,87
18,47	19,14
18,28	19,89
17,10	17,98
Průměr	18,71
Odchylka	1,07

- (tabulka č.3) ionizační potenciál

5 Shrnutí

Franckův-Hertzův pokus nám dává důkaz o diskrétním energetickém spektru atomů. Excitační potenciál atomu ^{20}Ne je **$17,34 \pm 0,18 \text{ eV}$** , který byl změřen jako rozdíl mezi energetickými hladinami - hodnota ΔU_x z tabulky č.1. Ionizační potenciál téhož atomu je **$18,71 \pm 1,07 \text{ eV}$** – viz tabulka č.3. Tabulková hodnota excitačního potenciálu leží mezi **$18,3$ a $19,5 \text{ eV}$** a z těchto hladin potom přechází na hladiny mezi **$16,57$ a $16,79 \text{ eV}$** , což pozorujeme jako spektrální čáry ve viditelném spektru. 1. ionizační potenciál je dle tabulky **$21,6 \text{ eV}$** .

Poděkování

Tímto chci poděkovat odborné konzultaci a kolegům se skvělou spoluprací

Reference:

- [1] ŠPOLSKIJ, E. V.: *Atomová fyzika* I Technicko-vědecké vydavatelství 1952, s. 258-26
- [2] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/FrHzL.html>
- [3] http://www.aldebaran.cz/famous/people/Franck_J.htm
- [4] http://www.aldebaran.cz/famous/people/Hertz_G_L.html

Millikanův pokus

Michal Jex, gym. Jaroslava Heyrovského, Praha, michal.j@centrum.cz

Josef Müller, gym. Dr. J. Pekaře, MB, josef.mueller@seznam.cz

Pavel Linhart, Gymnázium Šternberk, look.2@seznam.cz

Abstrakt:

Millikanův pokus slouží k určení velikosti elementárního náboje za pomoci kapek oleje mezi dvěma kondenzátorovými deskami. Měření vychází z porovnání sil působících na kapičku oleje v elektrickém poli. Změřili jsme přibližnou hodnotu pro elementární náboj rovnou $1,952 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

1 Úvod

Millikanův pokus je pojmenován po svém tvůrci, americkém vědci, Robertu A. Millikanovi (1868-1953), který ho provedl v letech 1911-1913. Za své snažení byl roku 1923 odměněn Nobelovou cenou za fyziku „za práce o elementárním elektrickém náboji a o fotoelektrickém jevu“. Cílem experimentu je zjistit tzv. elementární náboj, který by měl být nábojem nejmenším – dále nedělitelným. Každý reálný náboj jakéhokoli tělesa je jeho celistvým násobkem (má diskretní charakter).

2 Měření náboje

Základem této metody je kondenzátor se dvěma deskami, do něhož směřuje vstřikovač, který



mezi deskami rozpráší kapičky oleje. Pro pozorování pohybujících se kapek slouží mikroskop. Ke kondenzátoru je připojen zdroj napětí. Princip tohoto pokusu spočívá v porovnávání sil, kterými působí elektrostatické a gravitační pole na malá nabitá tělíska. Tělíska jsou drobné olejové kapičky, nabíjí se třením při rozstřikovávání mezi desky kondenzátoru. Měříme konstantní rychlost jejich vertikálního pohybu bez přítomnosti a poté s přítomností elektrického pole.

Vlastní měření se zakládá na měření dvou rychlostí. Pokud je na deskách kondenzátoru nulové napětí, na kapičku působí tíhová síla:

$$F_G = mg ,$$

kde m je hmotnost kapičky a g tíhové zrychlení. Vzhledem k malé hmotnosti kapiček se na jejich pohybu projeví normálně zanedbatelná Stokesova síla F_0 . Tato síla působí vždy proti směru pohybu. Pro kapičky kruhového tvaru se dá vyjádřit ve tvaru:

$$F_0 = 6\pi\eta_t r v_G,$$

kde η_t je dynamická viskozita prostředí při dané teplotě t , r je poloměr kapičky a v_G je rychlost kapičky při volném pádu. Další síla, jež na kapičku působí, je vztlaková síla F_{vz} :

$$F_{vz} = m_v g,$$

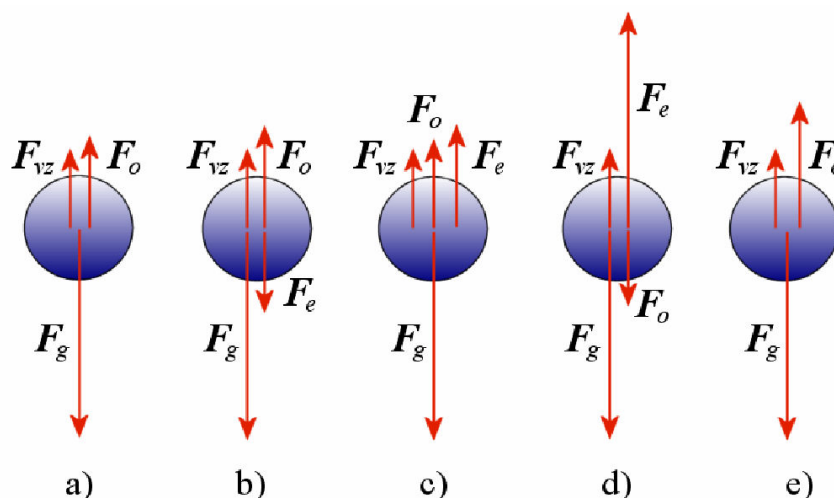
kde m_v je hmotnost vzduchu vytlačeného kapičkou a g tíhové zrychlení. Připojením kondenzátoru ke zdroji napětí vznikne mezi jeho deskami elektrické pole o intenzitě:

$$E = \varepsilon \frac{U}{d},$$

kde ε je relativní permitivita vzduchu, U je připojené napětí a d je vzdálenost desek kondenzátoru. Kvůli elektrickému náboji na kapičkách na ně působí elektrická síla:

$$F_e = qE,$$

kde q je velikost náboje na kapičce. Pro síly působící na kapičku může nastat několik možností:



Na obrázku a) na kapičku nepůsobí žádné elektrické pole, kapička padá volným pádem.

V závislosti na různých velikostech elektrické síly mohou nastat různé případy:

1. Kapička po vypnutí elektrického zdroje nemění směr, pouze rychlost. Jsou to případy b) a c). Platí pro ně vztah:

$$q = \frac{6\pi\eta_t r |v_e - v_G|}{E}$$

2. Kapička po vypnutí elektrického zdroje, změní směr pohybu a rychlost. Je to případ d). Platí vztah:

$$q = \frac{6\pi\eta_t r |v_e + v_G|}{E}$$

3. Kapička se nepohybuje, platí vztah:

$$q = \frac{6\pi\eta_t r |v_G|}{E}$$

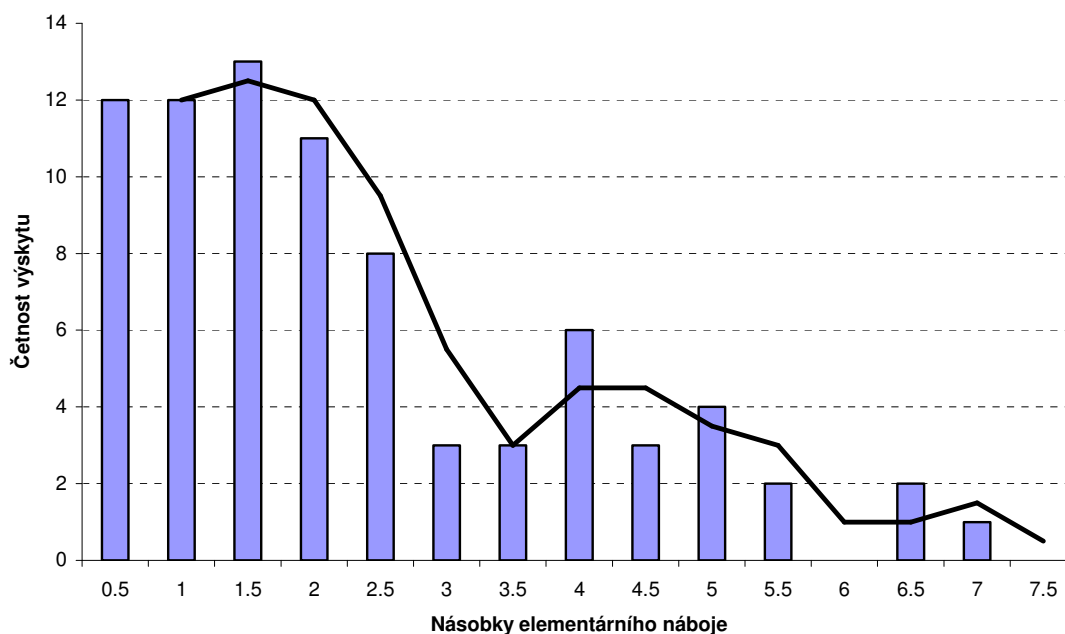
Poloměr kapičky můžeme jednoduše zjistit za pomoci vztahu:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta_l v_G}{2g(\rho_o - \rho_v)}}$$

Výsledky měření:

Námi změřený elementární náboj je $1,952 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Nepřesnosti vznikly kvůli chybám při měření času a asférickému tvaru kapiček. Graf, níže uveden, ukazuje četnosti výskytu kapek o daném násobku náboje. Jsou zde i neceločíselné násobky elementárního náboje, poněvadž kvůli nepřesnostem nebylo možno rozhodnout, ke kterému celočíselnému násobku je přiřadit.

Histogram



3 Shrnutí

Millikanův pokus byl jedním z prvním postupů, jak změřit elementární náboj. I přes jeho postupné zdokonalování nelze docílit takové přesnosti jako například u měření za pomoci elektrolýzy.

Poděkování

Závěrem bychom chtěli poděkovat našemu supervizorovi Marii Svobodové a FJFI ČVUT za poskytnutou příležitost.

Reference:

- [1] <http://fyztyd.fjfi.cvut.cz>
- [2] http://drsetkani.aspweb.cz/Soubory/Millikanuv_pokus.pdf
- [3] <http://www.bgv.cz/clanek/2006020401-millikan-robert-andrews/>

Mikrovlny

K. Jára, Jiráskovo gymnázium Náchod, jara.karel@gmail.com

B. Máková, Gymnázium Ivana Olbrachta, Semily,
makovab@seznam.cz

Abstrakt:

Fyzikální podstata mikrovln i viditelného světla je stejná, a proto jsou jejich vlastnosti v mnoha směrech podobné. Pomocí Gunnova oscilátoru jsme se pokusili některé z těchto vlastností ověřit.

1 Úvod

Mikrovlny jsou elektromagnetickým vlněním o frekvenci mezi 300 MHz a 300GHz, což odpovídá vlnové délce 1 mm až 1 m. Využívají se v mnoha odvětvích lidské činnosti; k přenosu informací, ohřevu potravin, sušení materiálů apod.

2 Ověření vlastností mikrovln

Pro všechny experimenty jsme jako zdroj mikrovlnného záření použili Gunnův oscilátor, který vytváří vertikálně polarizované vlnění o frekvenci 9,4 GHz. Pro zaznamenávání intenzity vlnění jsme použili mikrovlnnou sondu.

Polarizace

Ověřili jsme platnost Malusova zákona pomocí mikrovlnné polarizační mřížky. Tu jsme umístili mezi zdroj a sondu a sledovali závislost intenzity prošlého vlnění na úhlu θ mezi směrem polarizace a mřížky.

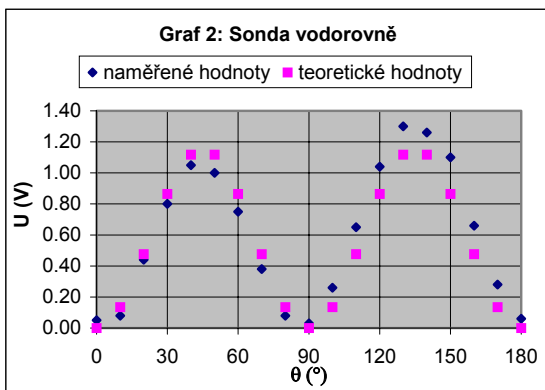
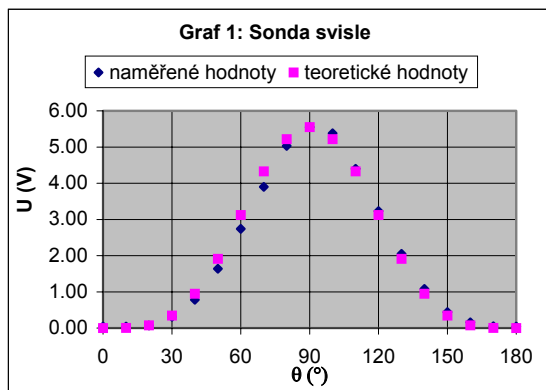
Nejprve jsme sondu umístili svisle, kde platí zákon v následující úpravě:

$$I = I_0 \sin^4 \theta \quad 1)$$

Poté vodorovně:

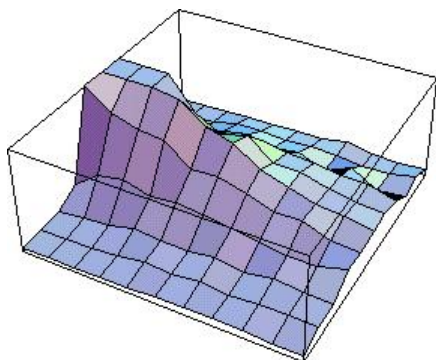
$$I = 4I_0 (\sin \theta \cos \theta)^2 \quad 2)$$

Výsledné porovnání námi naměřených a teoretických hodnot je zobrazeno na grafech 1 a 2.

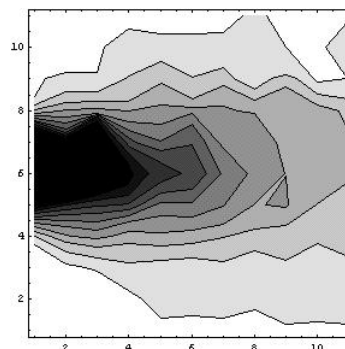


Rozložení intenzity elektromagnetického pole

Okolo zdroje vzniká elektromagnetické pole, které má různou intenzitu v závislosti na vzdálenosti od zdroje. Proměřili jsme napětí na sondě v jednotlivých bodech souřadné soustavy a tyto hodnoty jsme zpracovali v programu Mathematica a vygenerovali grafy, které ukazují rozložení intenzity pole (grafy 3 a 4).



Graf 3: Rozložení pole 3D



Graf 4: Rozložení pole 2D

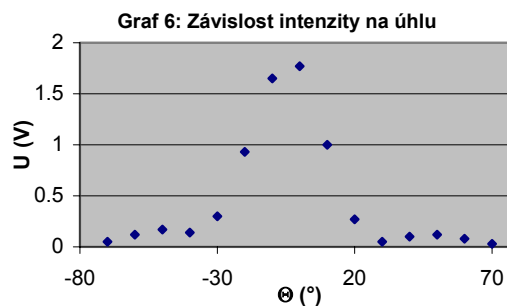
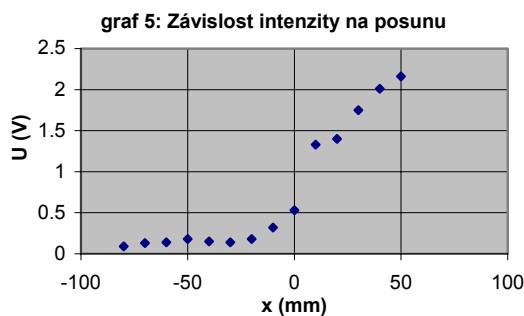
Kvazioptické chování

Pokud vlnění dopadá na hranu, jejíž velikost je srovnatelná s vlnovou délkou tohoto vlnění, dochází k ohybu a vlnění se tak dostává i tam, kam by podle přímočarého šíření paprsku nemohlo dosáhnout. To se označuje jako difrakce na hraně.

Ověřili jsme ji umístěním hrany mezi sondu a zdroj a získávali jsme hodnoty napětí při posunu sondy rovnoběžně s překážkou. Výsledky jsme zpracovali do grafu. Záporné hodnoty posunu x jsou za překážku a kladné tam kde se vlnění může šířit přímočaře (viz graf 5).

Z grafu vidíme, že i za překážkou má intenzita vlnění nenulovou hodnotu, což je způsobeno právě ohybem vln.

Dalším pokusem pro ověření vlnových vlastností mikrovln je difrakce na štěrbině. K té dochází opět pokud je velikost štěrbiny srovnatelná s vlnovou délkou. Tento pokus jsme provedli podobným způsobem jako difrakci na hraně; tentokrát jsme ale sondu posouvali po půlkružnici, jejíž střed byl ve středu štěrbinu, a sestrojili jsme graf závislosti napětí na úhlu naměřeném na této půlkružnici. Měřili jsme dvakrát, jednou se štěrbinou o velikosti 40 mm, podruhé 60mm (viz graf 6 pro 60mm štěrbinu).



Další úlohou na ohyb paprsků je zákon lomu. Paprsek dopadající na rozhraní dvou prostředí s různými indexy lomu se dělí na lomený a odražený paprsek. Nás zajímal právě lomený paprsek, kde platí následující vztah mezi úhlem dopadu (α) a úhlem lomu (β):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad 3)$$

Jako rozhraní prostředí jsme použili půlválec naplněný cukrem natočený oblou stranou ke zdroji. Ten jsme otáčeli tak, aby se měnil úhel dopadu na rozhraní, tedy rovnou stranu půlválce. Na půlkružnici představující zbytek půlválce jsme pak měřili úhel, při kterém bylo napětí nejvyšší. Zjistili jsme, že při úhlu větším než 45° dochází k úplnému odrazu. Spočítali jsme také index lomu cukru pro mikrovlny.

$$n = 1,76$$

Šíření vlnění

Z pokusu o rozložení intenzity elektromagnetického pole vyplývá, že intenzita se vzdáleností poměrně rychle klesá. Proto jsou potřeba jiné způsoby vedení mikrovln. Jedním z nich je Lecherovo vedení, které funguje na principu dvou rovnoběžných drátů, mezi nimiž je zdrojem vyvoláváno stojaté vlnění. Další možností přenosu mikrovln je vlnovod, který funguje na principu úplného odrazu vlnění v trubici, jejíž velikost je adekvátní vlnové délce.

Tyto způsoby šíření vlnění jsou téměř bezztrátové, a proto by se pro ně našlo značného uplatnění. Jejich nevýhodou je, že jsou možné až při vysokých frekvencích, kvůli čemuž k jejich využívání nedochází.

Určení rychlosti světla

Posledním pokusem, který jsme uskutečnili, bylo určení rychlosti světla pomocí mikrovlnné trouby, v níž je generováno stojaté vlnění. Teplocitlivý (faxový) papír, reagující na změnu teploty změnou barvy, jsme namočili a umístili do mikrovlnné trouby, kterou jsme spustili a ihned po objevení několika černých skvrn na papíře opět vypnuli. Po několika měřeních jsme zjistili vzdálenosti mezi nejbližšími skvrnami, které by měly odpovídat půlce vlnové délky, za předpokladu že skvrny jsou v místě kmiten stojatého vlnění. Ze zjištěné frekvence a průměrné naměřené vlnové délky jsme podle vztahu $c = \lambda \cdot f$ ⁴⁾ spočítali rychlost světla:

f	λ (průměrná)	c
2450 MHz	12,5 cm	308000 km/s

Spočítaná hodnota rychlosti světla je poměrně přesná.

3 Shrnutí

Mikrovlnné záření má stejnou podstatu jako světlo, a proto má i některé podobné vlastnosti. V našich experimentech jsme ověřili polarizaci, rozložení intenzity pole generovaného zdrojem, kvazioptické chování, některé možnosti šíření a také jsme se pokusili pomocí mikrovln určit rychlost světla.

Mikrovlny se využívají k sušení, ohřevu potravin, přenosu dat (televizního, rádiového a mobilního signálu), restaurování uměleckých děl apod. V budoucnu by se pravděpodobně daly využít i k velmi efektivnímu přenosu energie.

Poděkování

Děkujeme především Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za finanční podporu a také našemu supervizorovi Janu Čepilovi za konzultace.

Reference:

- [1] HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J.: *Fyzika, část 4* Prometheus, 2000
- [2] <http://fyzport.fjfi.cvut.cz/Praktika/Mikrovlny/praktika/praktika.pdf>

Spektrometrie gama záření

Z. Tegi, Gymnázium Plasy, ducatidd@seznam.cz

B. Zavadilová, Gymnázium Bučovice,

barbora.zavadilova@seznam.cz

P. Révay, Gymnázium Nad Alejí, Praha 6, revay@seznam.cz

Abstrakt:

Cílem naší práce bylo studium gama záření a jeho využití v praxi. Zkoumali jsme spektra radionuklidů ^{137}Cs a ^{60}Co . Pomocí scintilačního počítače jsme určili neznámý zářič.

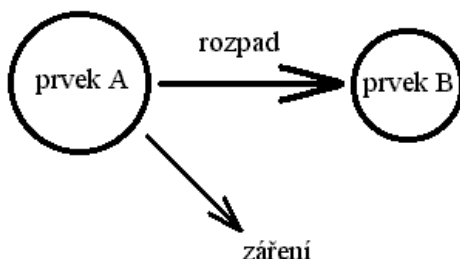
1 Úvod

Spektrometrie gama záření je disciplína využívaná v dozimetrii a jaderné fyzice. S její pomocí jsme schopni určit vlastnosti zdrojů gama záření a také samotných fotonů. Pomocí rentgenové fluorescence můžeme určovat složení neznámých materiálů.

2 Teoretická příprava

Radioaktivita

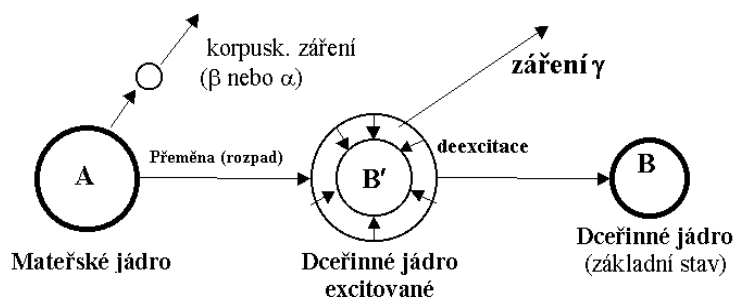
Radioaktivita je jev, při kterém se jádra atomů určitého prvku samovolně přeměňují na jádra jiného prvku, přičemž je emitováno vysokoenergetické záření. Jádra s touto vlastností se nazývají radionuklidy.



Při radioaktivní přeměně vznikají různé druhy záření. Tato záření dělíme podle typu vyletující částice do 3 hlavních kategorií: α záření, β záření, γ záření. Vyletující jádra helia tvoří α záření. β záření dělíme na β^+ a β^- , kdy vyletující částicí je pozitron nebo elektron. Fotony tvoří gama záření.

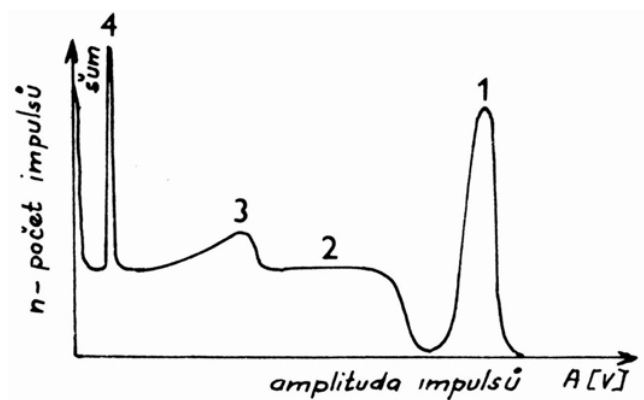
Gama záření

Záření gama je definováno jako záření o energii fotonů nad 10 keV, přestože do tohoto spektrálního pásma zasahuje i velmi tvrdé rentgenové záření. To souvisí se skutečností, že hranice není stanovena uměle, ale tyto druhy záření se rozlišují dle svého zdroje, přičemž se samo záření jinak fyzikálně neliší. Záření gama je druh ionizujícího záření. Do materiálů proniká lépe než záření alfa nebo záření beta, ale je méně ionizující.



Spektrum

Spektrum je rozdělení četnosti daného fyzikálního jevu v závislosti na měřitelném parametru. Například spektrum záření - závislost intenzity záření na jeho frekvenci, spektrum hmotnostní - závislost počtu částic (elementárních částic, iontů) na jejich hmotnosti. V našem projektu se zabýváme energetickým spektrem záření.



Spektrum cesia

- 1 – peak úplného pohlcení fotonů
- 2 – comptonovské kontinuum
- 3 – peak zpětného rozptylu
- 4 – peak vzniklý v důsledku přítomnosti dalšího prvku v zářiči

3 Praktická část – měření

Manuální měření

Použitím lineárního zesilovače a amplitudového analyzátoru, na kterém můžeme nastavit dolní a horní diskriminační hladinu, lze toto měření provést použitím analogového čítače. Pro každé okno změříme po určité pevnou dobu počet impulsů.

Jednokanálový analyzátor

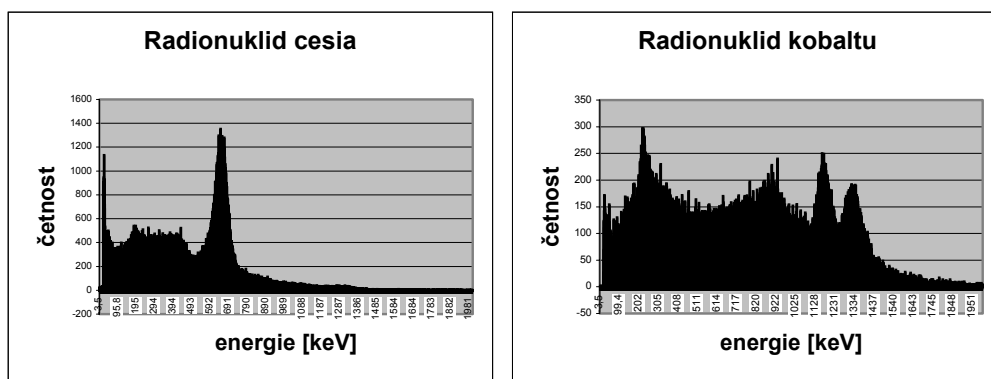
Princip je v podstatě stejný jako u manuálního měření. Tento analyzátor automaticky projíždí okno po okně a po určité dobu v něm měří počet částic. Výstup je pak napětí úměrné poloze okna a druhé napětí úměrné počtu částic.

Multikanálový analyzátor

Princip spočívá v tom, že měříme po celou dobu všechny kanály najednou. To má samozřejmě výhodu ve větší přesnosti ovšem zase klade nároky na elektronické zpracování. Tento způsob je v současné době nejpoužívanější.

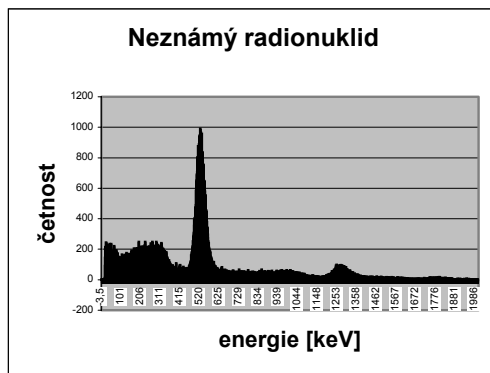
Kalibrace

Před zahájením měření je nutná kalibrace. Používáme již známé hodnoty energie, ze kterých vytvoříme poměr údajů z analyzátorů (hodnoty napětí) a skutečných hodnot energie. V našem experimentu jsme použili radionuklidy ^{137}Cs a ^{60}Co . Při kalibraci musíme použít minimálně dvě hodnoty energií již určených zářičů.



Neznámý zářič

Podle peaků úplného pohlcení energie jsme zjišťovali, o který radionuklid se jedná.



Hodnoty peaků přibližně odpovídají tabulkovým hodnotám sodík ^{24}Na (511, 1276 keV).

4 Shrnutí

Kromě toho, že se tato metoda využívá k určování neznámých radionuklidů, má gama záření uplatnění v lékařství. Jedním z příkladů je léčba nádorů pomocí Leksellova gama nože. Jinak je ovšem gama záření nebezpečné, především pokud je intenzivní.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat za umožnění realizace miniprojektu, a to především FJFI ČVUT v Praze a všem sponzorům FT 2006. Děkujeme také našemu supervizorovi ing. V. Pospíšilovi.

Reference:

- [1] <http://praktika.fjfi.cvut.cz/>
- [2] <http://cs.wikipedia.org>
- [3] <http://www.spacetoday.org>

Rezonanční jevy v elektrických systémech

M. Bečan, gym. prof. Jana Patočky, martin.becan@email.cz

D. Majerčík, SPŠ a VOŠ Příbram, dawemk@tiscali.cz

Abstrakt:

Jak je každému známo, v našem okolí se vyskytuje mnoho elektroniky, kterou běžně využíváme. Ale u mnoho elektrických systémů se může, při nedodržení určitých podmínek, vyskytnout nežádoucí jev, který se nazývá rezonance. V mnoha případech může rezonance snížit kvalitu přístroje, proto mnoho výrobců se snaží navrhnout přístroj mimo rezonanční kmitočet. V naší práci jsme pozorovali a vyhodnocovali právě rezonanční elektrický obvod.

1. Úvod

Zpravování tohoto projektu jsme si zvolili, poněvadž jsme chtěli být více zainteresovaný do tohoto fenoménu, názvem rezonance.

Rezonance je vlastně shoda kmitočtů vlastních kmitů soustavy a kmitů cizího zdroje. Rezonance se dělí na mechanickou, akustickou a elektromagnetickou. V našem projektu pracujeme zejména s elektromagnetickou rezonancí, která nastává v rezonančním elektrickém obvodu při průchodu střídavého elektrického proudu. Elektrické obvody jsou ve skutečnosti obvody obsahující součástky jako kondenzátor a cívka.

Naše práce byla zaměřena na rezonanci v elektrických systémech. Na tento jev si v dnešní době dává mnoho výrobců spotřební elektroniky veliký pozor, neboť velmi ovlivňuje funkci samotného přístroje, ba jej dokonce ničí. Na druhou stranu se i elektromagnetická rezonance dosti využívá (př. lékařské přístroje).

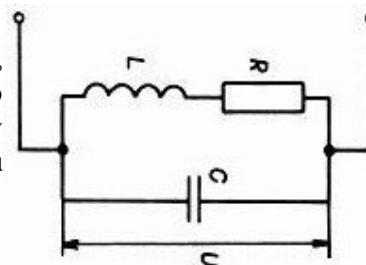
2. Elektrická rezonance

Použité pomůcky při práci byly tyto:

RC generátor Tesla BM 344, voltmetr pro měření rezonančního napětí, kapacitní normál Tesla 100pF – 1100pF, vzduchová cívka, železné jádro a železný kryt cívky, vázaný rezonanční obvod, kapacitní normál Ulrich 1000pF, kondenzátor neznámé kapacity

Základní pojmy a vztahy:

Pro měření jsme používali paralelní rezonanční obvod, neboli paralelní spojení cívky a kondenzátoru. Z toho vznikne paralelní obvod RLC (viz. obrázek 2.1). Ztráty v cívce, v kondenzátoru a ztráty způsobené skin-efektem jsou zahrnuty v odporu R.



Obrázek 2.1 – paralelní rezonanční obvod

Rezonanční frekvence paralelního rezonančního obvodu je určena vztahem:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2},$$

kde L je indukčnost a C kapacita kondenzátoru.

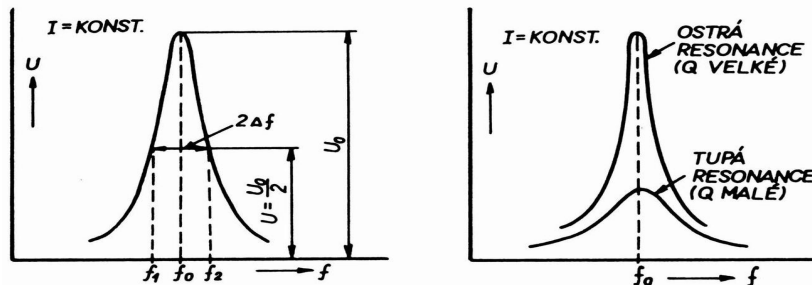
Rezonanční frekvence je určena Thomsonovým vzorcem

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Jakost rezonančního obvodu je určena činitelem jakosti Q . Obvod je tím jakostnější čím má větší hodnotu činitele jakosti Q [$Q = (0; \infty)$]. Pro rezonanční paralelní obvod platí vztah

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R},$$

Rezonanční křivka obvodu udává závislost impedance Z , napětí U nebo proudu I na proměnlivé frekvenci f nebo proměnlivé kapacitě C . Při paralelní rezonanci má proud I nejmenší hodnotu a impedance Z největší hodnotu (předpokládáme-li $U = \text{konst.}$). Zvolíme-li proud I konstantní, můžeme změřit průběh napětí U v závislosti na změně frekvence, čili tzv. napěťovou rezonanční křivku (viz obrázek 2.2). Tvar rezonanční křivky je závislý na činiteli jakosti. Čím je větší činitel Q , tím je rezonanční křivka ostřejší.



Obrázek 2.2 – napěťová rezonanční křivka paralelního rezonančního obvodu

Závislost napětí $U=U(f)$ na činiteli jakosti Q je pro paralelní rezonanční obvod dána vztahem

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{1 + 4Q^2 d^2}},$$

kde U_0 je napětí na obvodu v rezonanci a d je poměrné rozladění definované vztahem

$$d = \frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0}.$$

Změříme-li šířku rezonanční křivky, můžeme z něj vypočítat činitele jakosti rezonančního obvodu. Považujeme-li za šířku rezonanční křivky šířku v polovině její výšky ($U=U_0/2$), jak je znázorněno na obrázku 2.2, lze ze předchozích vztahů určit činitele jakosti Q .

$$Q = \sqrt{3} \frac{f_0}{2(f - f_0)} = \sqrt{3} \frac{f_0}{2\Delta f}.$$

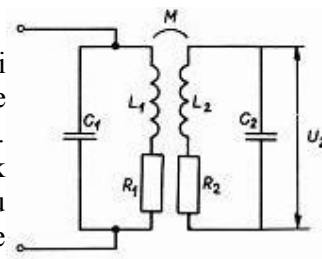
Jevu rezonance lze užít k určení neznámé hodnoty indukčnosti či kapacity. Pro určení indukčnosti použijeme-li kapacitní normál, je možné na základě znalosti f a C vypočítat podle vztahu po úpravě Thomsonova vzorce. Kapacitu můžeme měřit tak, že nejprve paralelně zapojíme ladící kapacitní normál, s konstantní kapacitou C_1 , a takto vzniklý obvod naladíme

do rezonance změnou frekvence. Poté zapojíme do obvodu paralelně neznámý kondenzátor a pomocí snižování kapacity normálového kondenzátoru (konečná hodnota C_2), naladíme rezonanci. Výslednou hodnotu kondenzátoru zjistíme podle vztahu

$$C_x = C_1 - C_2$$

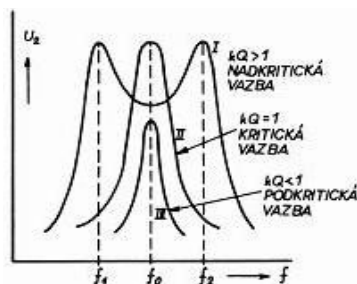
Vazebné obvody:

Dva paralelní rezonanční obvody naladěny na stejnou frekvenci mohou být spolu vázány. To znamená, že energie, přiváděná ze zdroje do prvního obvodu, přenáší se z něho vazbou do druhého. Velmi často se používá induktivní napěťová vazba (viz. obrázek 2.3). Při této vazbě se indukuje do druhého obvodu elektromotorická síla, že energie, která je přiváděna ze zdroje prvního obvodu se přenáší pomocí vazby do druhého obvodu.



Obrázek 2.3 – paralelní rezonanční obvod

Při indukované vazbě vznikají různé napěťové rezonanční křivky závislé na síle vazby (viz. obrázek 2.4)

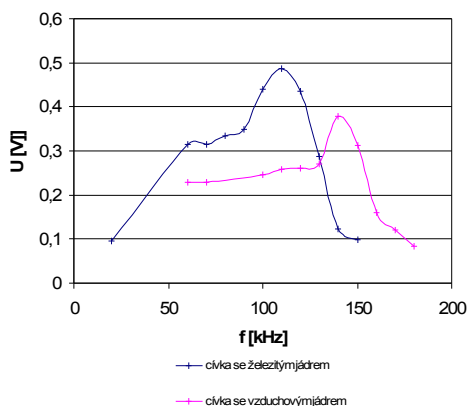


Obrázek 2.4 – napěťové rezonanční křivky induktivně vázaného obvodu

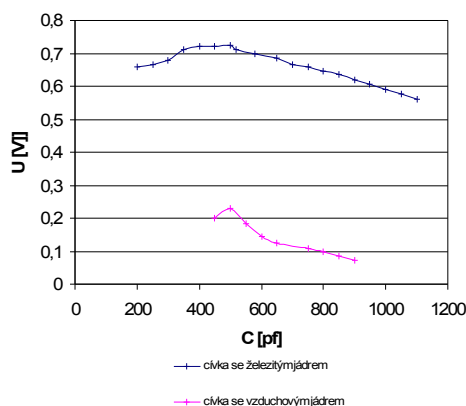
Výsledky naší práce:

Při naší práci jsme nejprve porovnávali napěťové rezonanční křivku paralelního obvodu se vzduchovým jádrem a se železitým jádrem. Náš výsledný graf 1 (viz níže) zobrazuje tuto úlohu. Výsledný graf 2 závislosti kapacity na napětí (viz níže).

Graf 1 - Napěťové rezonanční křivka



Graf 2 - Závislost napětí na kapacitě

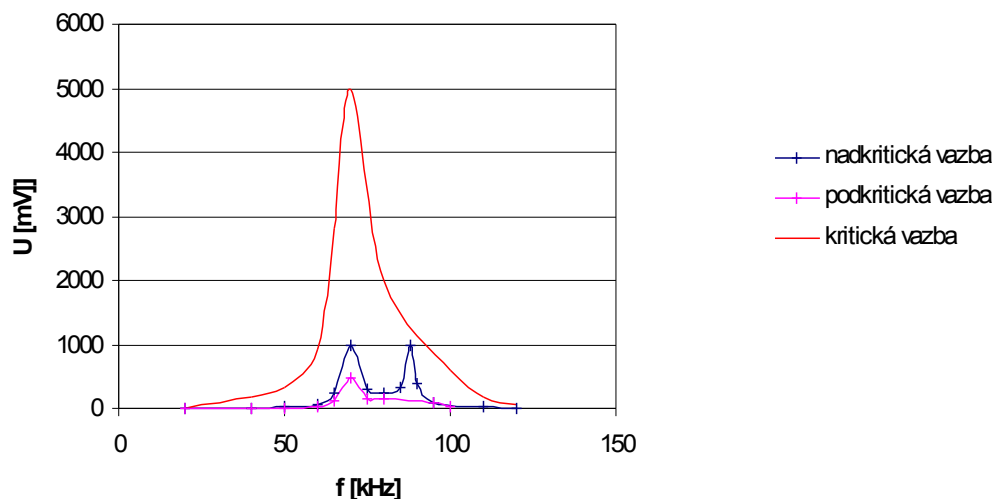


Dále jsme určovali kapacitu neznámého kondenzátoru. Výsledky naší práce viz níže.

$C_{x1}=1041,6\text{pF}$	$C_{x2}=422,5\text{pF}$
--------------------------	-------------------------

V posledním úkole jsme měřili napěťově rezonanční charakteristiku induktivně vázaného obvodu. Náš výsledek je zobrazen v grafu 3.

Graf 3 - Druhy vazeb



3. Shrnutí

V naší práci jsme zejména ověřovali teoretické znalosti, jenž jsou obsahem sekce základní pojmy a vztahy. Musíme uznat, že námi zjištěné hodnoty přibližně odpovídají teoretickým znalostem. Tím pádem můžeme konstatovat, že se nám projekt vydařil.

Poděkování

Chtěli bychom především poděkovat organizaci Fyzikálního týdne, panu Ing. V. Svobodovi, CSc, našemu supervizorovi Ing. Z. Sekerešové. Dále chceme poděkovat všem partnerům Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] KOLEKTIV KATEDRY FYZIKY: *Fyzikální praktikum II: Měření rezonanční křivky paralelního rezonančního a vázaného rezonančního obvodu*, ČVUT Praha, 2005
- [2] *Sborník FT 2005*, FJFI ČVUT, 2005, 34 - 37
- [3] WALKER, J. - RESNICK, R. - HALLIDAY, D.: *Fyzika část 2*, VUT Brno, 1997, 425 -427

Základní experimenty s lasery

T. Pašek, Gymnázium Plasy, pasekt@seznam.cz

R. Stejkora, Gymnázium T. G. Masaryka, FlintR@seznam.cz

R. Labounek, Gymnázium Jiřího Wolker, rene_labounek@centrum.cz

Abstrakt

Miniprojekt byl zaměřen na zkoumání interferenčních jevů, které vznikají průchodem paprsku He-Ne laseru přes jednoduchou či vícenásobnou štěrbinu, optickou mřížku nebo odrazem od datových médií CD-ROM a DVD-ROM.

1 Úvod

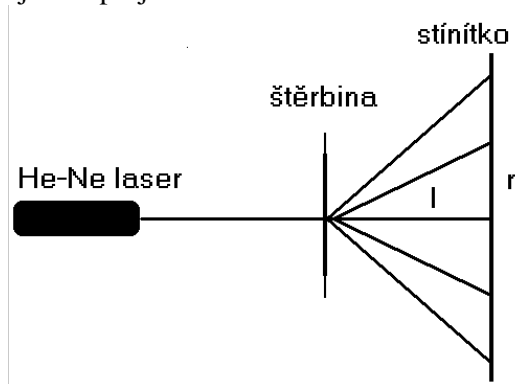
Práci je zaměřena na určení hustoty záznamových stop na optických médiích – CD/DVD.

Při měření vlastností disků využíváme jevu difrakce. CD/DVD je v podstatě difrakční odrazná mřížka, která se skládá z velmi hustých „vrypů“. Proměřením parametrů vzniklých difrakčních obrazců můžeme určit mřížkovou konstantu CD/DVD – tj. šířku záznamových stop.

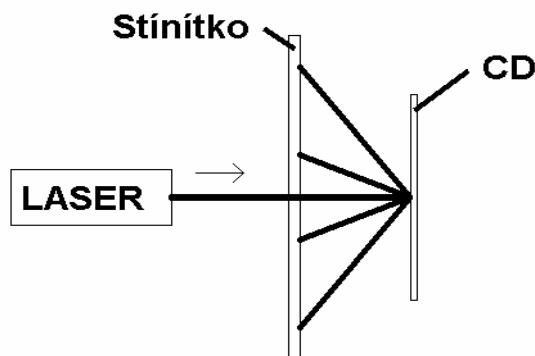
2 Výsledky pokusů

Určování mřížkové konstanty

Metodiku experimentu jsme si nejprve ověřili na optické štěbině a optické mřížce o známých parametrech. Mezi laser a projekční desku jsme umístili optickou mřížku. To nám umožnilo pozorovat difrakční jev na projekční desce:



Následně jsme sestavili aparaturu pro určování parametrů optických médií:



Laserem jsme namířili skrz stínítko na disk. Na stínítku se objevily interferenční obrazce, na kterých bylo možné pozorovat maxima prvního, druhého a vyšších řádu, symetricky uspořádaná kolem nultého maxima.

Změřili jsme vzdálenosti maxim od středu, vzdálenost disku od stínítka a na základě známé vlnové délky laserového paprsku jsme vypočítali mřížkovou konstantu d pomocí vzorce:

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{\sin(\arctg \frac{h}{l})}$$

kde: d – mřížková konstanta,
 h – vzdálenost dílčího maxima od hlavního,
 l – vzdálenost disku od stínítka,
 λ – vlnová délka laseru (543nm),
 k – řád minima – celé číslo (nabývá hodnoty 1 pro 1.min., 2 pro 2.min. atd.)

Médium	CD s daty	DVD s daty	DVD bez dat
Šířka datové stopy (10^{-9} m)	1592,0	736,3	734,5

Neobvyklé jevy

Při našich pokusech s různými CD a DVD jsme pozorovali několik zajímavých a neobvyklých jevů.

1. Propagační CD ČVUT

Při interferenci na vnitřní nedatové oblasti jsme pozorovali zvláštní obrazce s šestičetnou symetrií.

2. CD Norton Antivirus

Při interferenci na datové oblasti jsme kromě klasického mřížkového obrazce pozorovali i nevysvětlitelné vedlejší linie. Hypotézou zůstává, zda se nejednalo o interferenci na pitech datového záznamu.

3. Periodický pohyb CD

Při rozkmitání nasvíceného CD disku interferenční body tvořili na stínítku Lissajousovy obrazce s poměrem frekvencí 2:1 a s fázovým posunem $\pi/4$.

3 Závěr

Základní experimenty s lasery umožňují pozorovat interferenční jevy při ohybu na různých štěrbinách a optických mřížkách. Lze je také použít pro určení hustoty stop optických datových nosičů.

Při našem měření jsme došli k závěru, že šířka stopy se liší v závislosti na druhu média (CD, DVD, atd.). U DVD je mnohem menší než u CD (cca 2x).

Reference

- [1] Šnorek M.: Moderní vnější paměti II, podklady k přednášce FEL ČVUT, 2004
- [2] Novák T.: <http://www.lasery.org>
- [3] KOL.: Fyzikální týden – sborník příspěvků FJFI ČVUT, 2004, str.37-40

Měření rychlosti světla

Kubištová, J. – gymn. Václava Hraběte, Hořovice - jankubia@post.cz

Křižan, J. – gymn. Jiřího Wolker, Prostějov – igrman@seznam.cz

Antonín, P. – Střední odborná škola, Praha 3 – antonin87@seznam.cz

Abstrakt:

Naše práce se zabývá rychlostí světla a to zejména metodami pro její měření. Aplikovali jsme metodu Foucaultovu tj. metodu rotujícího zrcátka.

Úvod

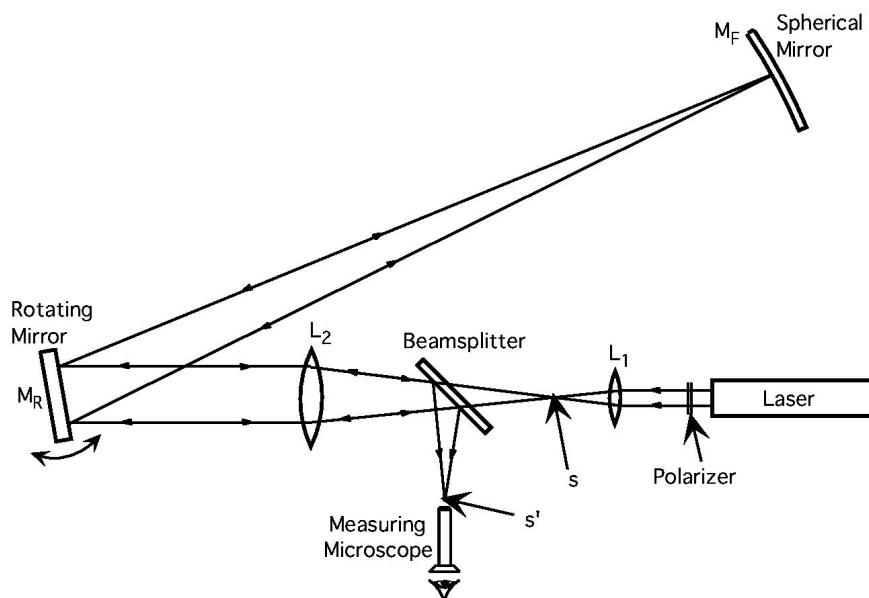
Měření rychlosti světla bylo po dlouhou dobu pro člověka nepředstavitelné, lidé ani nevěděli, jestli světlo nějakou konečnou rychlost má. První nám známý pokus o změření rychlosti světla provedl už v 17. století Galileo Galilei, který se pokusil změřit tuto rychlost pomocí doby, za kterou překoná světelný paprsek známou vzdálenost mezi 2 kopci. Vzdálenost mezi kopci byla však pro toto měření příliš krátká. Úspěšnější byla metoda Römerova z roku 1675, kdy vědec sledováním zatmění Jupiterova měsíce Io v periheliu a v afeliu zjistil sice velmi nepřesnou hodnotu rychlosti světla, zároveň však dokázal, že tato rychlost existuje a je konečná. Tuto rychlost dále na zemi zpřesnili v polovině 19. stol. vědci Fizeau, známým pokusem s rotujícím ozubeným kolem, Foucault metodou rotujícího zrcátka a Michelson metodou podobnou Foucaultově.

V laboratorních podmínkách se nejlépe uskutečňuje metoda Foucaultova, kterou jsme pro měření použili i my.

V 80. letech 20. století pak byla zjištěna konečná hodnota rychlosti světla, která je nyní považována za jednu ze základních konstant moderní fyziky.

Foucaultova metoda rotujícího zrcátka

Foucaultova metoda nese název po svém objeviteli, ale po svém realizátorovi, tuto metodu totiž již roku 1838 navrhl pro měření světla Arago, Foucaultovi se podařila uskutečnit o 12 let později.



Tato metoda využívá laserového paprsku odraženého na zrcátku rotujícím s vysokou, nám známou frekvencí, ten se potom odrazí zpět od pevného zrcadla na rotující zrcátko, které je však již pootočené, tuto odchylku jsme schopni změřit v okuláru a vypočítat tak rychlost, za jakou paprsek urazil dvojnásobek vzdálenosti mezi zrcátky.

Měření a výsledky naší práce

K výpočtu rychlosti je důležité změřit základní vzdálenosti:

D-vzdálenost zrcadel,

A-vzdálenost čoček L_1 a L_2 zmenšená o ohniskovou vzdálenost první čočky (L_1),

B-vzdálenost mezi čočkou L_2 a rotujícím zrcátkem.

a dále **f**-frekvenci rotace zrcátka a **s**-odchylku paprsku v okuláru, tyto dva údaje zjišťujeme pro oba směry rotace zrcátka.

Rychlost světla z těchto hodnot vypočítáme podle vzorce

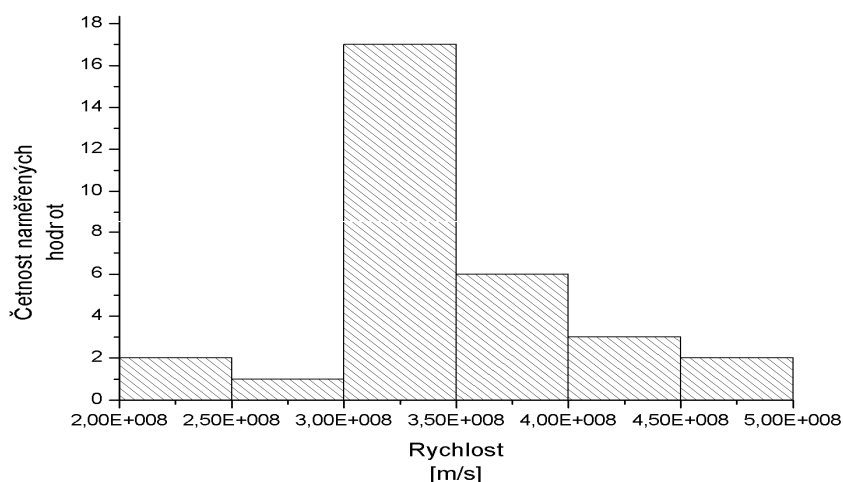
$$c = \frac{8\pi AD^2(f_1 + f_2)}{(D + B)(s_2 - s_1)}$$

1. měření

základní vzdálenosti: **A**=275 mm, **B**=520 mm, **D**=3480 mm

Hodnoty **f**,**s** jsme zjistili v 30 měřeních pro oba směry rotace.

Výsledky se pohybovaly v relativně velkém rozmezí, jak je vidět i z následujícího histogramu:



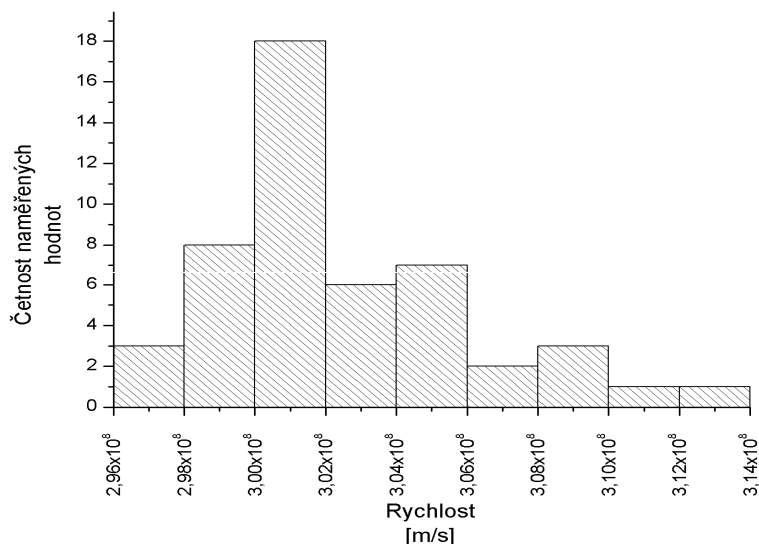
Nejčastěji se naměřená hodnota pohybovala v rozmezí $(3,00 - 3,50) \cdot 10^8$. Průměrná hodnota pak dosahovala $(3,48 \pm 1,27) \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

2. měření

základní vzdálenosti: **A**=261 mm, **B**=530 mm, **D**=11711 mm

Pro větší přesnost jsme hodnoty **f**, **s** tentokrát zjistili v 50 měřeních pro oba směry rotace.

Tentokrát se hodnoty pohybovaly v mnohem menším rozmezí o čemž svědčí následující histogram.



Nejčastěji se naměřená hodnota pohybovala v rozmezí $(3,00 - 3,02) \cdot 10^8$. Průměrná hodnota pak dosahovala $(3,02 \pm 0,084) \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Srovnání obou měření

Druhé měření je mnohem přesnější díky větší vzdálenosti zrcadel, námi naměřená hodnota se pohybuje blíže stanovené hodnotě rychlosti světla než v měření prvním a i odchylka měření je v druhém případě menší.

Shrnutí

Těmito pokusy jsme ověřili praktické využití Foucaultovy metody. Ze zkušeností lze říci, že Foucaultova metoda je na období, kdy byla vynalezena, velice vyspělá a přesná, je však dost náročná na přesné nastavení odrazu laserového paprsku v zrcadlech. Čím delší je vzdálenost mezi zrcadly, tím přesnější je naměřená velikost rychlosti paprsku.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské při ČVUT Praze, nadaci pro podporu teoretické fyziky, společnosti ČEZ, organizátorům fyzikálního týdne a našemu supervizorovi Bc. Davidu Koňářkovi za to, že nám umožnili zajímavou práci.

Reference:

Paul A. Tipler. *Physics: Volume 1*. Rochester, Michigan: Oakland University, 1982, 621str., ISBN : 0-87901-182-3

Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model OS-9263A:Speed of light aparatur (základní manuál k práci, který jsme obdrželi spolu se zadáním projektu)

Balmerova série vodíku

Josef Navrátil¹, Barbora Pavlíková², Pavel Mičulka³

¹ Gymnázium Ivana Olbrachta, pepa.navratil.ez@volny.cz

² Gymnázium Jeseník, barca@progeo-sys.cz

³ Gymnázium a SOŠ Frýdek Místek, edi.brein@gmail.com

Abstrakt:

Elektron v atomu se může nacházet v různých energetických hladinách. Při přechodu elektronu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření fotonu, jehož energie je rovna rozdílu energií příslušných hladin. Balmerova série vodíku je zaměřena na pozorování viditelné části vyzářeného spektra. Pomohla dokázat Bohrovy postuláty o stavbě atomu a tím i položit základy kvantové mechaniky.

1 Úvod

Před Bohrovým modelem atomu existoval tzv. Planetární model. Ten však kvůli vyzařování elektronu, pohybujícího se s dostředivým zrychlením, selhává. Proto byl vytvořen Bohrov model atomu. V něm hrají důležitou roli 2 Bohrovy postuláty:



Obr. 1.1 Niels Bohr

atomy a atomové soustavy mohou zůstat delší dobu v určitých stavech, ve kterých nepohlcují ani nevyzařují energii bez ohledu na to, po jakých drahách se pohybují. V těchto stavech nabývají takových hodnot energie, které tvoří diskrétní spektrum $E_1, E_2, \dots, E_n$

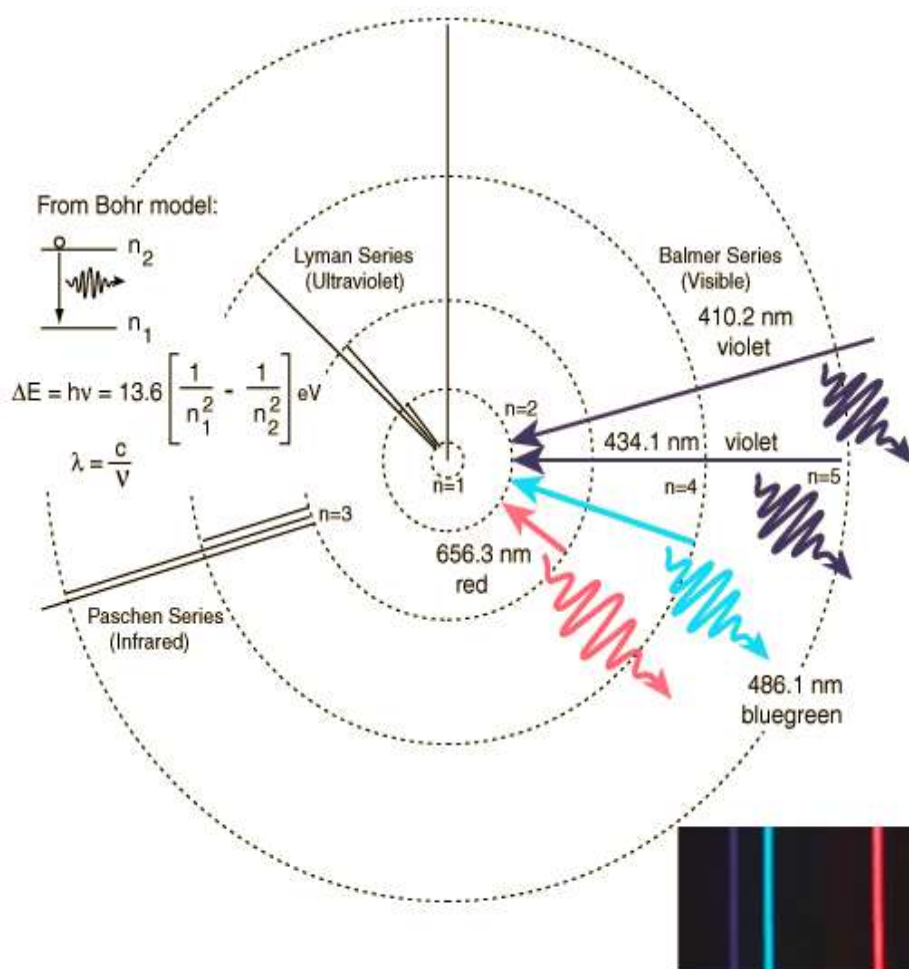
Při přechodu z jednoho stacionárního stavu do druhého dojde k vyzáření nebo pohlcení energie ve formě fotonu a platí:

$$hf = E_m - E_n$$

Tyto dva postuláty zamezují tomu, aby se elektrony vlivem elektrické síly a dostředivého zrychlení “nezhroutily do jádra”. My jsme se zaměřili na přechod elektronů do jiných hladin, při kterém se vyzáří viditelná část spektra, tedy na první čtyři série vodíku, tzv. Balmerovy (viz Obr. 1.3). Mimo nich známe ještě další, ale ty naši skupinku příliš nezajímaly, neboť se nenachází ve viditelné části spektra. Balmerovy série napomohly potvrdit Bohrov model atomu.



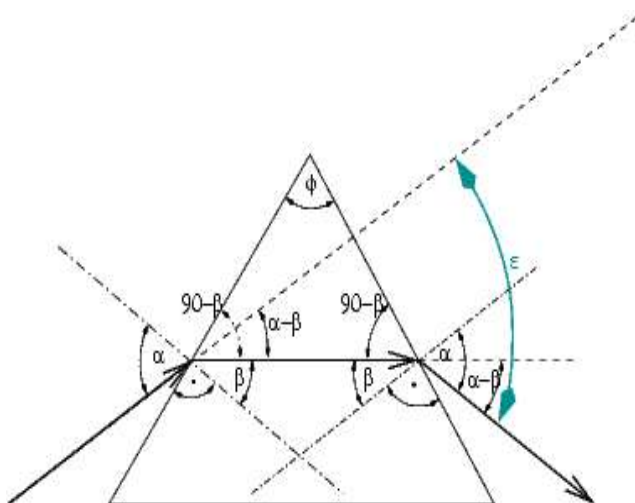
Obr. 1.2 Johann Jakob
Balmer 1825-1989



Obr. 1.3 Energetická spektra vodíku

2 Měření, výsledky, problematika

K našim měřením jsme použili goniometr (přístroj na přesné měření úhlů), skleněný hranol (z olovnatého skla), sodíkovou a rtuťovou výbojku a výbojku naplněnou vodními parami. Začali jsme kalibrací goniometru za pomoci žárovky a nitkového kříže.



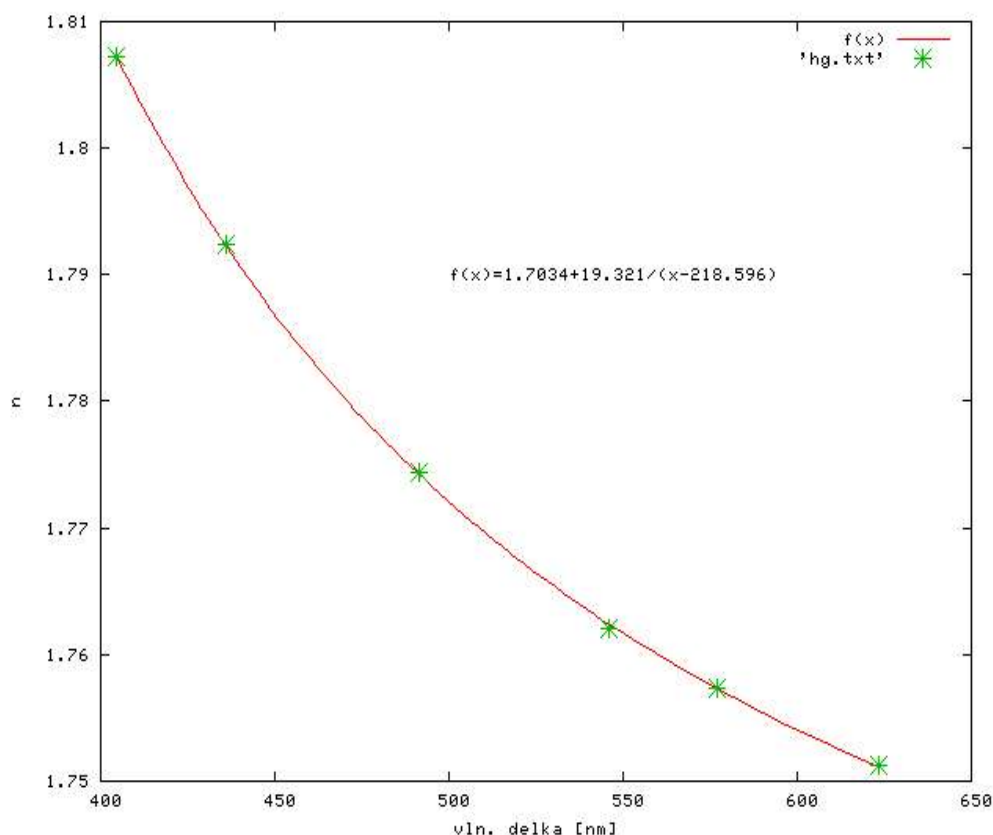
Obr.2.1 Lom světla hranolem

Ke zjištění indexu lomu hranolu jsme použili rtuťovou výbojku. Fotony vyzářené z výbojky se na spektrometru (hranolu) rozložily na jednotlivá spektra, dle úhlu lomu. Změřili jsme úhly φ a ε (viz Obr. 2.1). Pomocí Snellova zákona $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ lze dokázat, že

$$n_1 = 2 \sin\left(\frac{\varepsilon + \phi}{2}\right) \quad (1)$$

kde $\phi = 2\beta$ a $\varepsilon = 2\alpha - \phi$. Pro vzduch je $n_2 = 1$. Index lomu je funkcí vlnové délky $\lambda = \lambda(n)$, která není příliš jednoduchá, proto se použily tabulkové hodnoty spektra rtuťi ke stanovení empirického

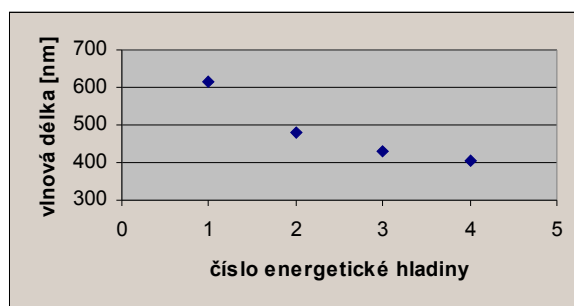
$$\text{vzorce: } f(\lambda) = 1.7034 + \frac{19.321}{\lambda - 218.596} \quad (2)$$



Obr.2.2 Závislost indexu lomu na vlnové délce světla u rtuťové výbojky

Do tohoto vzorce jsme dosadili naměřené hodnoty a spočtené (viz vztah 2) hodnoty indexu lomu vodíku a získali tak vlnové délky pro jeho spektrální čáry (viz. Obr. 2.2). Převrácená hodnota těchto výsledků (vlnočet) je důležitá při výpočtu Rydbergovy konstanty, která nám udává energii potřebnou k přechodu elektronu z nekonečna na první energetickou hladinu, tzn. ke vzniku atomu. Dosazením naměřených hodnot, lze ukázat, že splňují vztah

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3),$$



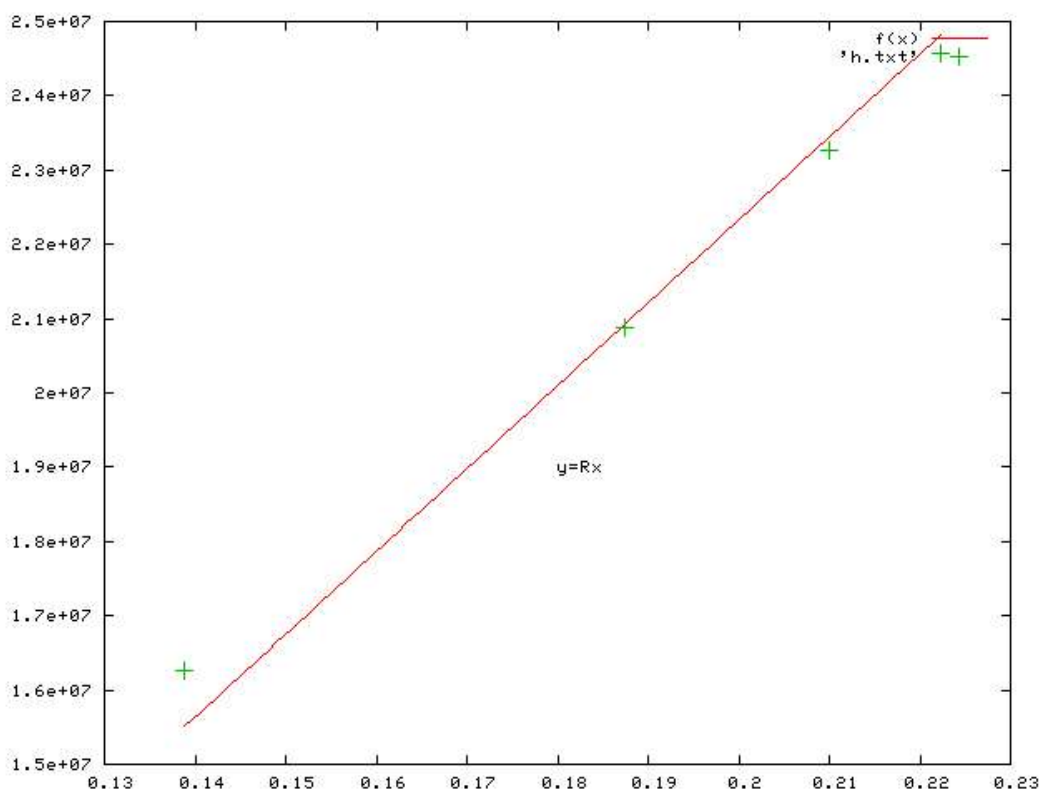
kde “R” je Rydbergova konstanta, “n” je původní energetická hladina a “m” je nová energetická hladina. Odvození vzorce lze najít v [1].

Naměřené výsledky:

λ (nm)	ν (m)	x
615,03	16259410,7740473	0,1388889
478,98	20877878,6016453	0,1875000
429,88	23262036,1207005	0,2100000
407,06	24566232,1312079	0,2222222

$$\text{kde } x = \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Z uvedených hodnot jsme vytvořili graf:



Obr.2.2 Graf závislosti vlnočtu (osa y) na přechodu mezi energetickými hladinami (osa x)

3 Závěr

Po dosazení výsledků z našeho měření vyšla Rydbergova konstanta $(111,655 \pm 1.223) \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$. Teoretická hodnota Rydbergovy konstanty (viz dodatek) je $109,727 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$. Svým měřením jsme také ověřili čtyři spektrální čáry Balmerovy série vodíku.

Poděkování

Děkujeme hlavně našemu supervisorovi Davidu Tlustému, Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské v Praze, Nadačnímu fondu teoretické fyziky a energetické skupině ČEZ.

Reference:

[1] <http://fyzika.fjfi.cvut.cz/index.php?said=19&sbid0=96&sbid1=99&task=001>

Dodatek – Odvození Rydbergovy konstanty

Dosazením Bohrovy kvantovací podmínky $2\pi m_e v r = n h$, kde h je Planckova konstanta, lze získat Rydbergovu konstantu.

Aby síly působící na elektron obíhající okolo jádra byly v rovnováze, musí platit: $F_e = F_d$, tedy

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m_e r \omega^2,$$

ϵ_0 je relativní permitivita vakua, m_e je hmotnost elektronu, r poloměr orbity elektronu, ω je úhlová rychlost a e je náboj elektronu. Pro energii systému musí platit:

$$E = T + U$$

kde T je kinetická energie a U je potenciální energie. Lze dokázat [1], že $U = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ a že $T = m_e v^2 / 2 = m_e r^2 \omega^2 / 2$

Použijeme Bohrovův vztah pro energii na energetické hladině: $E_n = -\frac{R h c}{n^2}$

Dosazením získáme následující vztah: $E = \frac{1}{2} m_e v^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{R h c}{n^2}$

Trochu pokrátíme a vyjádříme R :

$$R = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c}.$$

Palivový článek

J. Emingr, Gymnázium Chomutov, emingr@seznam.cz

J. Petrášek, Gymnázium Nad Alejí, Praha 6, coolfeel@seznam.cz

T. Žák, Gymnázium Prostějov, Zak.Tomas@seznam.cz

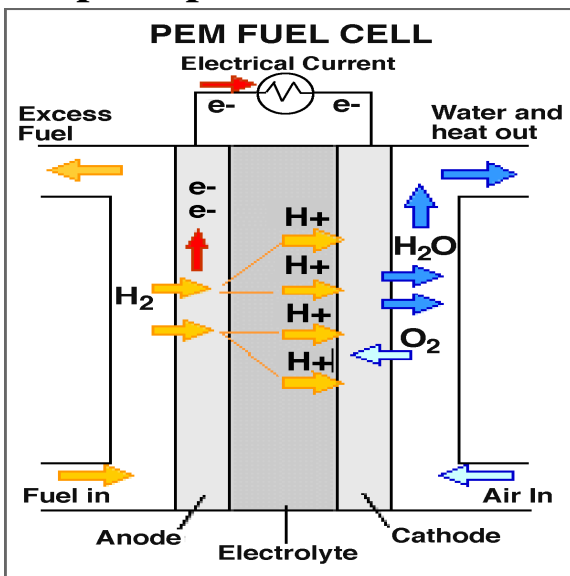
Abstrakt:

V našem miniprojektu jsme se zabývali základními vlastnostmi palivového článku, který může v budoucnu hrát důležitou roli ve výrobě elektrické energie. Naše měření se týkala základních vlastností (volt-ampérová charakteristika, celková účinnost). Z naměřených hodnot vyplývá, že palivový článek je schopen dosáhnout lepších hodnot, než současné průmyslově využívané technologie.

Úvod

V současné době je zřejmé, že obnovitelné zdroje budou v budoucnu hrát čím dál podstatnější roli ve výrobě elektrické energie. Mezi tyto zdroje patří elektrárny využívající energii větru, slunce, vody, geotermální. V neposlední řadě také palivové články, které se mohou uplatnit v celé řadě aplikací, například v dopravě, průmyslu, výrobě elektřiny v domácnosti, přenosných elektrických zařízeních, ale také ve vojenství a kosmonautice. Mezi základní vlastnosti palivového článku patří vysoká účinnost, schopnost rychlého dobíjení, ale především možnost uchování značného množství energie, kterou je při dobře zvládnuté technologii schopen skladovat po velmi dlouhou dobu.

Popis experimentu



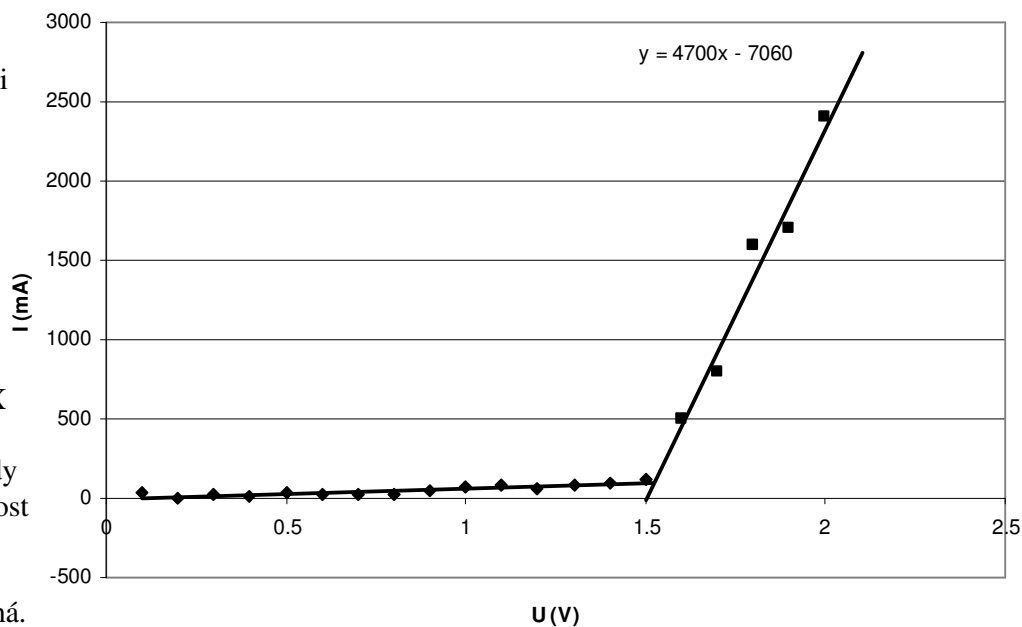
Hlavní výhoda palivového článku spočívá v tom, že chemická energie uložená v palivu se během oxidačně-redukční reakce přeměňuje přímo na energii elektrickou, tedy bez nutnosti přeměny na energii tepelnou a mechanickou. Existuje více typů palivových článků, které se liší pracovní teplotou a látkami, které tvoří jednotlivé elektrody, princip transformace energie však zůstává stejný. Děj probíhající v palivovém článku je inverzní k elektrolýze. Na anodě dochází k rozštěpení plynného vodíku na elektrony a

protony (H^+). Protony procházejí přes membránu na katodu. Elektrony membrána nepropustí, proto musí projít přes vnější obvod, čímž vzniká elektrický proud. Na katodě dochází ke vzniku vody, která odchází jako jediný odpadní produkt. My jsme se zabývali měřením voltampérové charakteristiky a účinnosti jak na elektrolyzáru, tak na palivovém článku. Dále jsme se také zabývali celkovou účinností palivového článku. Naměřené výsledky demonstrují tyto čtyři grafy.

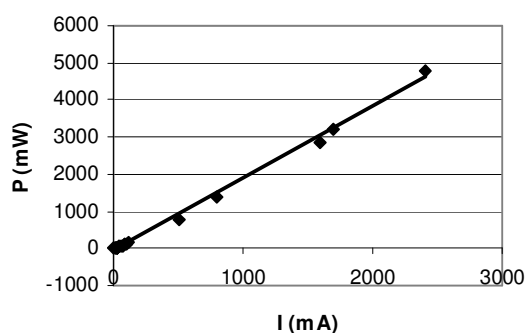
Graf V-A Elektrolyzáru ukazuje hodnotu

napětí potřebnou ke štěpení vody. Tuto hodnotu jsme získali z měření V-A charakteristiky a následnou aproximací části křivky s exponenciálním průběhem. Aproximovaná křivka protíná osu X v hodnotě 1,5V. Hodnota 1,5V je tedy prahová pro funkčnost elektrolyzáru. Při nižším napětí elektrolýza neprobíhá.

A-V Elektrolyzáru

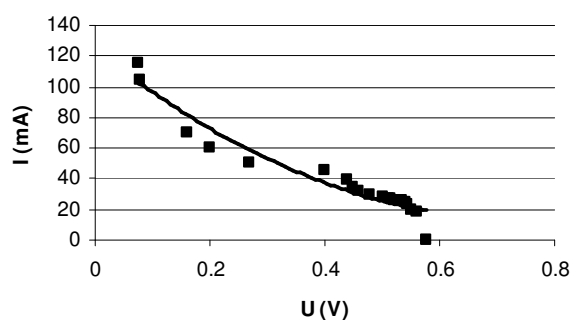


Výkonnostní charakteristika na EI

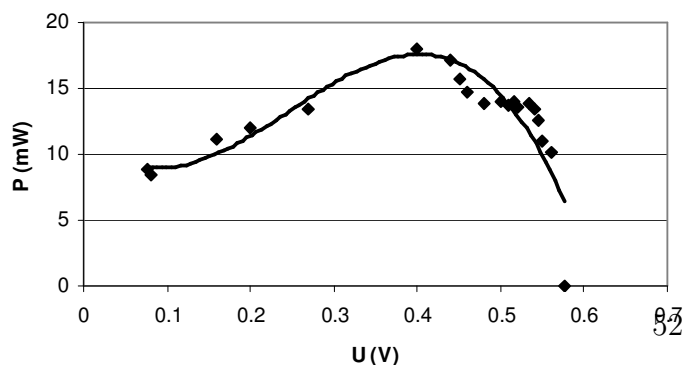


Dále jsme vytvořili graf závislosti proudu na výkonu elektrolyzáru. Z grafu je vidět, že výkon roste lineárně s proudem.

A-V Palivového článku



Výkonnostní charakteristika palivového článku



Volt-ampérová charakteristika ukazuje exponenciální klesání proudu na napětí. Nejzajímavější graf je graf výkonnosti palivového článku, na kterém je vidět, při

jakém napětí pracuje palivový článek s největším výkonem.

Dále jsme měřili účinnost elektrolyzáru (η_{el}) a palivového článku (η_{fc}). Společným součinem (η_c) jsme zjistili celkovou účinnost soustavy.

$$\eta_{el} = \frac{V_H * H_0}{U * I * t} = 92\%$$

η_{el} ... účinnost elektrolyzáru

η_c ... celková účinnost soustavy

$$\eta_{fc} \equiv \frac{U * I * t}{V_H * H_l} = 49\%$$

$$H_u = 12,745 * 10^6 \text{ J/m}^3$$

$$H_l = 10,8 * 10^6 \text{ J/m}^3$$

$$\eta_c = \eta_{el} * \eta_{fc} = 45\%$$

Závěr

Naměřená účinnost palivového článku byla 49%, přičemž teoretická účinnost by se měla pohybovat kolem 60%. Nižší účinnost způsobuje nedostatečné navlhčení membrány a následný průchod elektronů přes ní. Další ztrátu účinnosti palivového článku způsobily nečistoty v palivu, které nemuselo být dostatečně čisté. I tak je ale účinnost vyšší než u většiny dnes používaných spalovacích motorů a předurčuje tak palivové články k budoucímu využití.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat FJFI při ČVUT za realizaci fyzikálního týdne a poskytnutí potřebného zázemí. Děkujeme také našemu supervizorovi za pomoc při realizaci celého projektu.

Reference:

- [1] PORŠ Z.: *Palivové články*, ÚJV Řež a.s., 2002
- [2] SORENSEN B.: *Hydrogen and Fuel Cells*, Elsevier, 2005
- [3] KUBÍN P., KYNCL J., TAUSSIG T.: *Palivové články a jejich význam v budoucích energetických systémech*, Časopis Energetika, 7/2005, 219-223
- [4] www.fuelcells.org

Zjištění odchylky přibližného řešení rovnic Foucaultova kyvadla od řešení přesného

J. Zajíčková, J. Marian
Gymnázium Františka Palackého, Valašské Meziříčí
Gymnázium Litoměřická, Praha
janaave@centrum.cz, jakub.marian@matfyz.cz

Abstrakt:

Určili jsme rozdíl v přesnosti řešení rovnic popisujících chování Foucaultova kyvadla. První typ řešení využívá aproximovaných pohybových rovnic, které se užívají k řešení v kvadraturách. Druhý typ využívá numerického řešení pohybových rovnic. Dokázali jsme, že první řešení je použitelné pro naprostou většinu kyvadel používaných na Zemi a odchylka od numerického, přesnějšího řešení není významná.

1 Foucaultovo kyvadlo

Nejdříve je nutné osvětlit pojem Coriolisova síla - je to nepravá síla „působící“ v rotující neinerciální vztažné soustavě na tělesa pohybující se kolmo k ose rotace. K demonstraci této síly slouží zařízení zvané Foucaultovo kyvadlo. Během jeho pohybu na něj působí díky rotaci Země velmi malá (Coriolisova) síla. To způsobí postupné stáčení roviny kyvu, které je však možné po delším časovém intervalu pozorovat i pouhým okem.

Pohybová rovnice Foucaultova kyvadla

$$\frac{d^2 x}{dt^2} - 2\omega \sin \gamma \frac{dy}{dt} = \lambda x \quad (1)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\omega \sin \gamma \frac{dx}{dt} + 2\omega \cos \gamma \frac{dz}{dt} = \lambda y \quad (2)$$

$$g + \frac{d^2 z}{dt^2} - 2\omega \cos \gamma \frac{dy}{dt} = \lambda(z-l) \quad (3)$$

Tyto rovnice plně popisují pohyb kyvadla v tíhovém poli Země (viz [1], strana 632). Parametr λ je vazebný parametr zajišťující vazebnou sílu, kterou na závaží kyvadla působí jeho závěs. Dále musíme splnit podmínku

$$x^2 + y^2 + (z-l)^2 - l^2 = 0 \quad (4)$$

kteřá vyjadřuje, že se závaží pohybuje pouze po kulové ploše. V algebraickém řešení jsou několika podmínkami odvozeny rovnice, ze kterých je možné vypočítat jednotlivé členy. V tomto řešení se pro zjednodušení nakonec zanedbají některé veličiny, aby bylo možné soustavu algebraicky řešit. Vyjde poměrně jednoduchá soustava dvou diferenciálních rovnic o dvou neznámých funkcích, která je řešitelná v kvadraturách (viz [1], strana 633):

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = 2\omega \sin y \frac{dy}{dt} - \frac{g}{l} x \quad (5)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -2\omega \sin y \frac{dx}{dt} - \frac{g}{l} y \quad (6)$$

Dnes však již máme možnost při řešení diferenciálních rovnic použít výkonné počítače. Je tedy možné řešit rovnice v původním neaproximovaném tvaru, ač pouze numerickým výpočtem. Tento výpočet je však natolik přesný, že možná chyba je naprosto zanedbatelná a prakticky nezjistitelná. Pro numerické řešení vyjdeme z původní soustavy pohybových rovnic. První krok spočívá ve vyloučení parametru λ z rovnic (1), (2) a (3). Provedeme to odečtením x -násobku rovnice (2) od y -násobku rovnice (1) a odečtením x -násobku rovnice (3) od $(z-l)$ -násobku rovnice 1. Získáme tak 2 diferenciální rovnice o třech neznámých:

$$y \frac{d^2 x}{dt^2} - 2y\omega \sin y \frac{dy}{dt} - x \frac{d^2 y}{dt^2} - 2x\omega \sin y \frac{dx}{dt} - 2x\omega \cos y \frac{dz}{dt} = 0 \quad (7)$$

$$z \frac{d^2 x}{dt^2} - 2z\omega \sin y \frac{dy}{dt} - l \frac{d^2 x}{dt^2} + 2l\omega \sin y \frac{dy}{dt} - gx - x \frac{d^2 z}{dt^2} + 2x\omega \cos y \frac{dy}{dt} = 0 \quad (8)$$

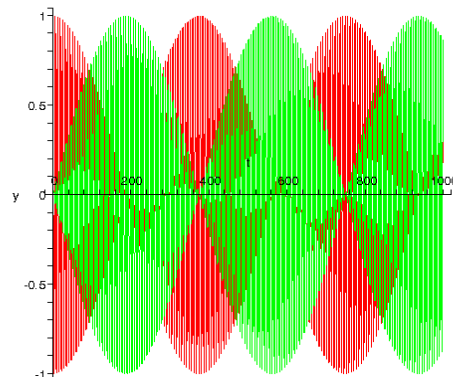
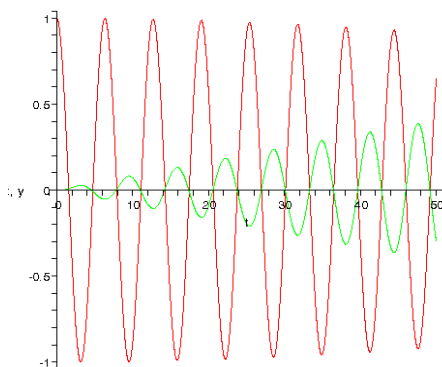
Z podmínky (4) lze odvodit závislost souřadnice z na x a y :

$$z(x, y) = -\sqrt{l^2 - x^2 - y^2} + l \quad (9)$$

Znaménko mínus před odmocninou je nutné uvést, aby byla splněna podmínka $z(0,0) = 0$. Takto získanou závislost dosadíme za z vystupující v rovnicích (7), (8). Výsledná soustava rovnic je velmi složitá, pravděpodobně není algebraicky řešitelná, nebudeme ji zde uvádět, vyjdeme z ní však při numerickém řešení v počítačovém systému Maple 9.

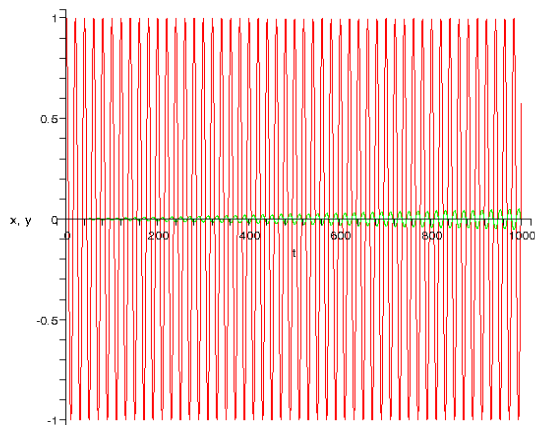
2 Výsledky výpočtů

K numerické aproximaci byla použita Runge-Kutteova metoda. Výstupem programu Maple byly aproximované funkce souřadnic $x(t)$ a $y(t)$. Na obrázku je možné vidět průběh těchto funkcí v závislosti na čase. Amplituda x -ové souřadnice s časem klesá, amplituda y -ové souřadnice roste. Z toho můžeme usoudit, že se rovina kyvu postupně stáčí. Další obrázek zobrazuje stejný proces, ovšem v daleko větším časovém intervalu. Ve chvíli, kdy je kývání v x -ovém směru maximální, kyv probíhá rovnoběžně s osou x a výchylka ve směru osy y je nulová. Obdobně, pokud je kývání ve směru osy y maximální, je výchylka ve směru osy x nulová.



3 Foucaultovo kyvadlo v soustavě souřadnic spojené se Zemí

Pro numerickou aproximaci použijeme hodnoty $l = 100$ m, $g = 9.81$ m/s², $\gamma = 45^\circ$, $\omega = 2\pi/(60*60*24) = 7,272 * 10^{-5}$ s⁻¹, počáteční výchylka ve směru osy x je 1 m. Na obrázku vidíme závislost x a y na čase.

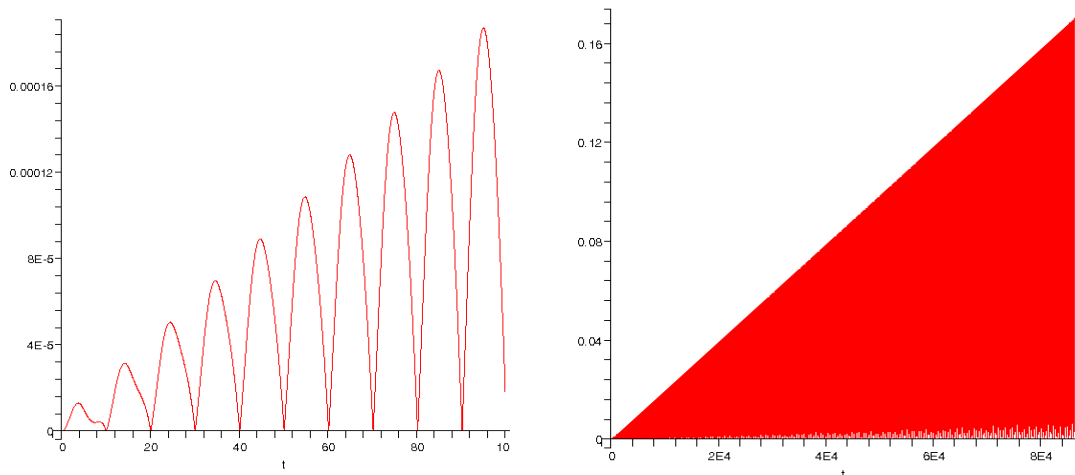


Vzniklá chyba při použití aproximace

Následující obrázky zobrazují vzdálenost mezi koncem „algebraicky zjednodušeného kyvadla“ a „přesného kyvadla“ v závislosti na čase na Zemi. Je dána vzorcem:

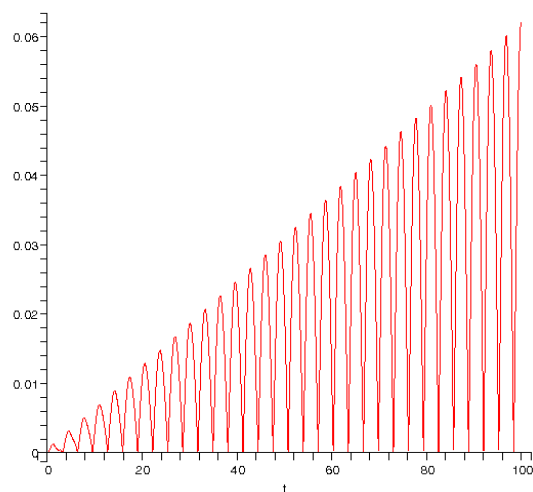
$$\sqrt{(x_1(t) - x_2(t))^2 + (y_1(t) - y_2(t))^2}$$

Každá „perioda maxim“ vyjadřuje zpoždění přibližného řešení vůči přesnému o dobu jedné periody (rozdíl doby kyvu zde tvoří hlavní část rozdílu vzdáleností).

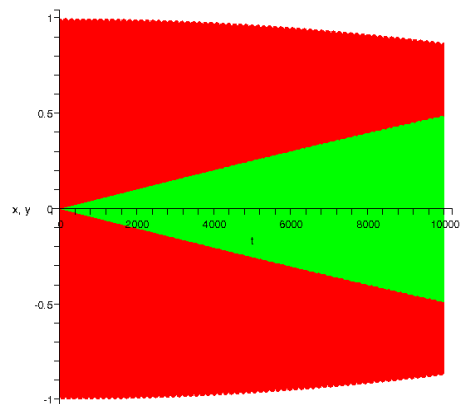
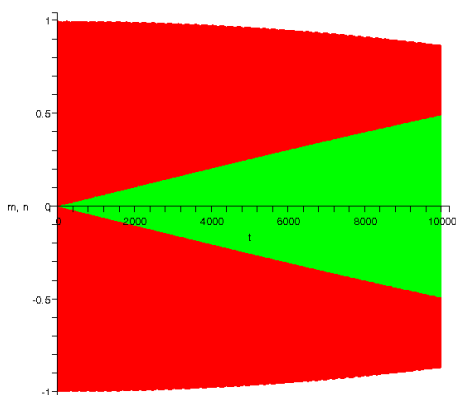


Z obrázků vidíme, že maximální vzdálenost kyvadel se mění lineárně.

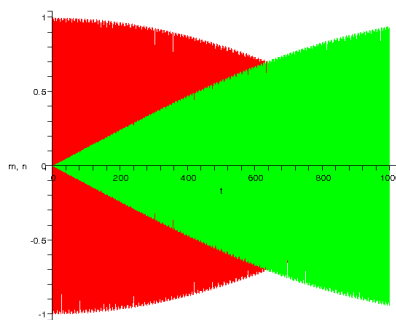
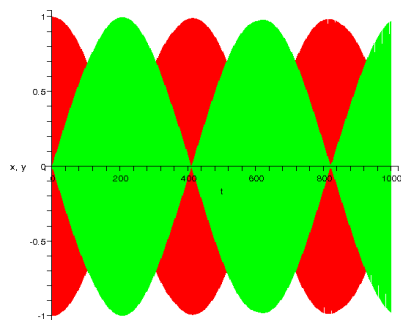
Nyní zkusíme zkrátit délku kyvadla na 10m. Vzdálenost mezi konci kyvadel vyjadřuje obrázek:



Když se však podíváme na dlouhodobý průběh x-ových a y-nových souřadnic, zjistíme, že nedochází k žádnému znatelnému posunu (obrázky zobrazují interval 10 000 s):



K výraznému posunu dojde, pokud razantně změníme podmínky – délka kyvadla zmenšíme na pouhé 1,3m, počáteční výchylku necháme na 1m, úhlovou rychlost Země zvedneme řádově stonásobně. Na následujících obrázcích je jasně patrný posun (obrázky jsou ve stejném měřítku, v obou je zaznamenán časový interval 1000 s).



Shrnutí

Numerickým řešením jsme ověřili, že v běžných podmínkách na povrchu Země je aproximovaná metoda dostatečně přesná. V „extrémních“ podmínkách v rychle se otáčejících soustavách a při pohybech, kde není možné zanedbat fakt, že se závaží kyvadla pohybuje po kružnici, již aproximace není vhodná.

Poděkování

Zde bychom chtěli poděkovat předně ČVUT a Fakultě Jaderné a Fyzikálně Inženýrské za to, že umožnili a finančně podpořili Fyzikální týden, díky němuž tento článek vůbec mohl vzniknout. Dále bychom chtěli poděkovat Ing. Svobodovi, CSc. za organizaci této akce, ale především našemu supervizorovi Ing. Jiřímu Hrivnákovi, bez jehož pomoci by tato práce určitě nevznikla.

Reference

- [1] Trkal, V.: *Mechanika hmotných bodů a tuhého tělesa* NČSAV, Praha 1956
- [2] Štoll, I., Tolar, J.: *Teoretická fyzika* Vydavatelství ČVUT, Praha 1999

Studium RTG spektra Mo anody

M. Veselá*

H. Paschkeová**

B. Huňková***

*Gymnázium T.G.Masaryka, Hustopeče

**Gymnázium, Brno – Řečkovice

***Obchodní akademie Svatoslavova, Praha 4

**Ebeluska@seznam.cz

Supervizor:

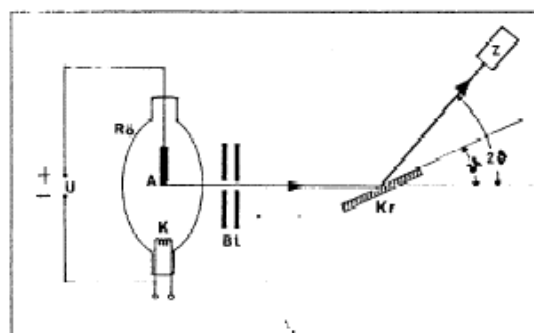
doc. Ing. Goce Chadzitaskos, CSc.

Abstrakt:

Naším úkolem bylo změřit charakteristickou vlnovou délku spektrálních čar u molybdenové anody. Pomůckou v našem řešení byl přístroj PHYWE a počítač s programem PHYWE measure 4, který zpracovával výsledky daných řešení. Tyto poznatky jsme dále zpracovaly.

1. Úvod aneb jak to tedy funguje?

Molybdenovou anodu (A) odstřelujeme zrychlenými elektrony, které jsou urychleny vysokým napětím. Tím vzniká RTG záření (neboli atom uvolní svou přebytečnou energii). Paprsek RTG usměrnujeme kolimátorem (BL) a posíláme ho na daný krystal (Kr), od kterého se svazek odrazí. My tento odraz detekujeme pomocí čítače (Z).



2. Metody a princip řešení:

a) Sir Lawrence Bragg a Braggova rovnice

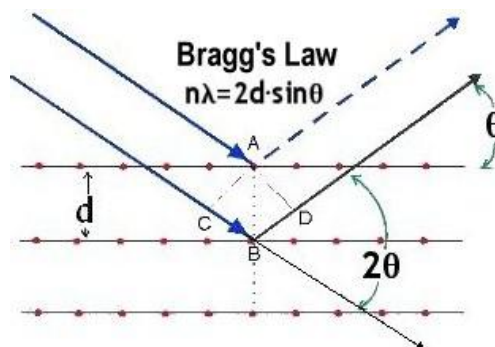
Lawrence Bragg



Pochází z Austrálie, v roce 1909 začal v Cambridge studovat obor fyziky. Se svým otcem probíral knihu Max von Laueho, který tvrdil, že rentgenové paprsky se mohou ohýbat při průchodu krystalem. Lawrence si tvrzení ověřoval experimenty. Na jejich základě sestavil tzv. Braggovu rovnici. Rovnice říká, jak velký bude úhel ohybu rentgenového záření při průchodu krystalem, známe-li vlnovou délku záření a vzdálenost mezi atomy v krystalu. Z této rovnice vychází analýza krystalické struktury založená na charakteristických tzv. difrakčních, obrazců.

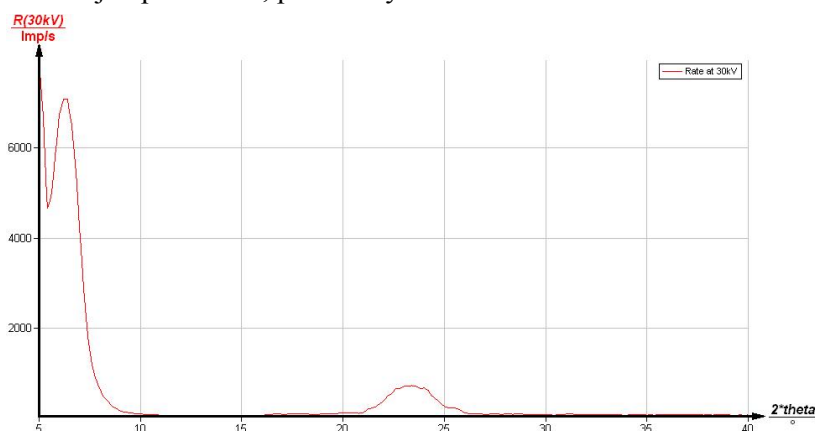
V roce 1915 získal se svým otcem, za výzkumné práce, Nobelovu cenu.

Díky Braggově rovnici lze při známém úhlu dopadu (θ), vzdálenosti atomových rovin v daném krystalu (d) a řádu maxima (n) vypočítat vlnovou délku záření, které na ni dopadá (λ). Stejně tak lze spočítat vzdálenost jednotlivých atomů v monokrystalu (obě tyto metody později využijeme).



b) Ověření Braggovy podmínky

Z Braggovy podmínky mimo jiné vyplývá, že pokud na sebe jednotlivé fáze vlny nebudou přiléhat, pak se vyruší a signál (vlna) místo toho, aby se zesílil, tak se zeslabí. Dobře můžeme tento jev pozorovat, pokud krystal nastavíme fixně a detektorem změříme dopadající záření.



Jak vidíme z grafu, v případě složení dvou fází vzniká zesílený signál, v ostatních případech je téměř 0 (pozn. počáteční hodnoty byly způsobeny vlivem moc malého úhlu).

3. Řešení a výsledky:

Úkolem bylo změřit vlnovou délku peaků. A z výsledků určit vzdálenost mezi atomovými rovinami v křemíku.



Peak č. 1 ($n=1$):

$$\theta_1 = 10.4$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 7,257E-11$$

Peak č. 2 ($n=2$):

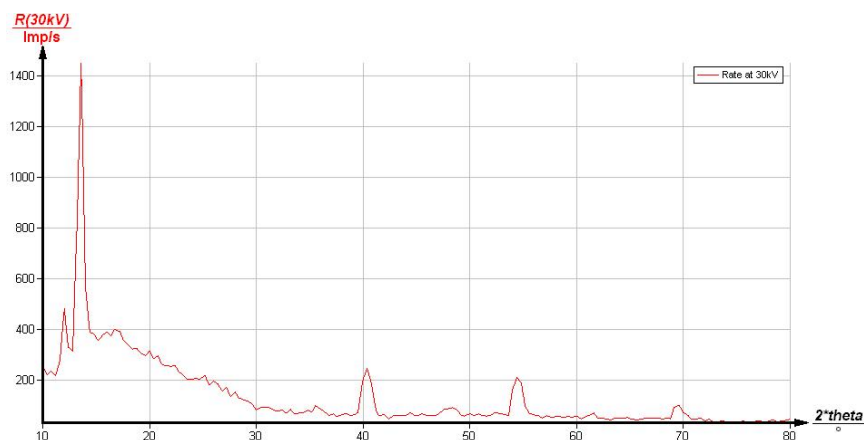
$$\theta_2 = 20.8$$

$$\rightarrow \lambda_2 = 7,1376E-11$$

Peak č. 3 ($n=3$):

$$\theta_3 = 32.2$$

$$\rightarrow \lambda_2 = 7,1405E-11$$



Ze zadaných hodnot
jsme schopni
odvodit vzdálenost
atomových rovin.

$$d = 3,0422\text{E-11}$$

4. Závěr:

Ověřily jsme metodu, která umožňuje určit složení a kvalitu anody. Tento postup je jednoduchý a lze jej prakticky využít ve fyzikální chemii.

5. Poděkování:

Rády bychom poděkovaly fakultě FJFI ČVUT a našemu supervizorovi za konzultace, věnovaný čas a úsilí. Neméně také sponzorům a pořadatelům Fyzikálního týdne.

6. Reference:

<http://fyzport.fjfi.cvut.cz>
<http://www.eserc.stonybrook.edu/ProjectJava/Bragg/>
<http://www.aldebaran.cz/famous/people/>
<http://fyztyd.fjfi.cvut.cz>

Studium ultrazvuku

M. Stejskal¹, P. Lessner², M. Laitl³

Gymnázium Dr. Emila Holuba, Na mušce 1001 Holice¹

Gymnázium Bernarda Bolzana, V Holešovičkách 2 Praha 8²

Gymnázium Postupická, Postupická 3150 Praha 4³

roverider@tiscali.cz¹

petr.lessner@centrum.cz²

strohel@gmail.com³

Abstrakt:

Studium ultrazvuku je v dnešní době velice důležité, jelikož nás na každém kroku obklopují aplikace, které jej využívají (měření vzdáleností - sonar, či ultrazvukové vyšetření v nemocnicích).

V našem výzkumu jsme úspěšně změřili rychlost zvuku, s jeho pomocí změřili vzdálenost. Dále jsme ověřili platnost zákona odrazu a dopadu. Na závěr jsme experimentálně dokazovali Dopplerův a difrakční jev. Pro všechny experimenty jsme používali generátor o frekvenci 40 kHz.

Při zjišťování vzdálenosti jsme dosáhli velice dobrých přesných výsledků – nepřesnost řádově 2 cm při vzdálenosti cca 120 cm, rychlost zvuku se od vypočítané hodnoty lišila pouze o cca 1-2 m/s, zákon odrazu a dopadu jsme také ověřili uspokojivě ověřili, difrakční jev jsme ověřovali pouze z části díky nevhodným podmínkám v laboratoři.

Naše práce byla velice zajímavá, jelikož jsme používali mnoho nových přístrojů a pomůcek, ke kterým se bastlíř běžně nemůže dostat.

Úvod

Doporučovali bychom všem aby si provedli alespoň základní výzkum z oblasti zvuku a ultrazvuku, jelikož aplikace, které využívají zvuk, nás obklopují. Například pomocí zvuku jsme měřili vzdálenosti objektů, čehož se využívá například v senzorech pro parkování, ověřili jsme Dopplerův jev (zvyšování frekvence zvuku při přibližování ke zdroji a naopak), se kterým se můžeme setkat na našich silnicích. Dochází k němu například pokud k nám přijíždí houkající policejní auto, pak frekvence se houkání, kterou slyšíme, zvyšuje a při vzdalování snižuje.

Ověřovali jsme také zákon odrazu a dopadu zvuku, se kterým se setkáváme například při rozmísťování reprobeden domácího kina.

Změřili jsme také rychlost zvuku ve vzduchu, kterou využíváme například při stanovení vzdálenosti bouřky.

Experimentovali jsme také s difrakčním jevem (deformace zvukových vln po průchodu mřížkou), který můžeme v praxi využít v akustice místností, při výběru místa v divadle a podobně.

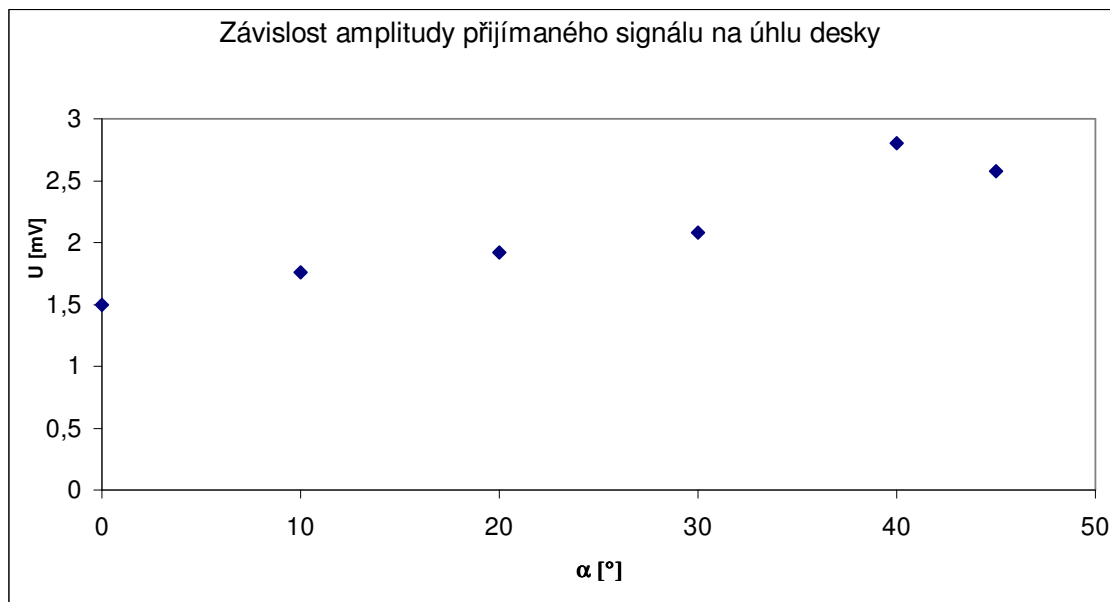
Experimentování v této oblasti je obzvláště vhodné pro ty, kteří si rádi stavějí různé přístroje, například parkovací senzor vás vyjde mnohokrát levněji, když si jej postavíte sami. Velice přínosné jsou tyto pokusy také pro audiofilly, kteří se bez podobných pokusů při umísťování nábytku a reprosoustav neobejdou. Je sice pravda že námi zkoumané jevy již byly dávno ověřeny, ale není nad vlastní zkušenosti.

Materiály a metody

Při našich měřeních jsme používali osciloskop. Posloužil při určování amplitudy či k měření časového rozdílu mezi dvěma signály. Dále jsme používali generátor vysílající vlnu obdélníkového průběhu o nastavitelné frekvenci okolo 40 kHz. Jako vysílač a přijímač jsme použili dvojici ultrazvukových mikrofónů. K zesílení signálu z přijímače sloužil zesilovač s proměnným zesílením, který byl dle mého názoru nejslabším článkem, jelikož měl malý odstup signál/šum. K přesnému určování frekvence jsme využili stolní multimetr s funkcí čítače. K ověření Dopplerova jevu byl použit elektrický vozík s nastavitelnou rychlostí, který se pohyboval na měřidlu. Pro experiment s difrakcí byla použita parabolická odrazová plocha, a difrakční mřížka s nastavitelným počtem šěrbin o mřížkové konstantě $d=3\text{cm}$.

Zákon dopadu a odrazu

Nejdříve jsme ověřovali zákon dopadu a odrazu. Umístili jsme přijímač a vysílač ultrazvuku do stejné výšky a otočili je oproti sobě o 90° . Do vrcholu úhlu jsme vložili odrazovou plochu, se kterou jsme otáčeli. Pomocí osciloskopu jsme měřili amplitudu přijímaného signálu. Síla přijímaného signálu postupně rostla a maximum měla v cca 40 stupních (teoretická hodnota 45°) a poté začala klesat. Nepřesnost byla pravděpodobně způsobena nevhodnými odrazy ultrazvuku o jiné předměty a nepřesným umístěním odrazové plochy.



Měření rychlosti zvuku

Poté jsme měřili rychlost zvuku. Přijímač i vysílač byly umístěny na společném stojanu - rovnoběžně a co nejbližší u sebe. Kolmo k nim byla v určité známé vzdálenosti umístěna odrazová plocha. Časový posun mezi vysílaným a přijímaným signálem jsme změřili pomocí osciloskopu. Podle vzorce $s=c\Delta t$ jsme spočítali rychlost. Se zvětšující se vzdáleností odrazové plochy se experimentálně zjištěná rychlost přibližovala teoretické. Odchyly od teoretické hodnoty bychom přisuzovali nepřesnosti měření časového rozdílu mezi signály a nemožnosti měřit při dostatečných vzdálenostech přijímače a vysílače. Provedli jsme celkem 7 měření, zde jsou výsledky:

Podle našeho měření: 341,4 m/s (relativní odchylka měření 0,2%)
Teoretická hodnota: 345,0 m/s pro 25 °C

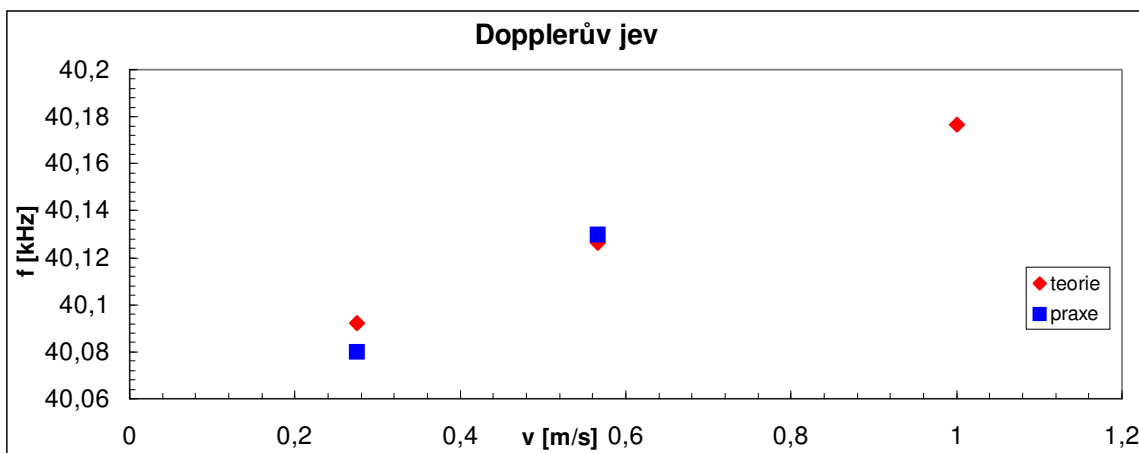
Měření vzdálenosti ultrazvukem

Pro měření vzdálenosti jsme použili stejné uspořádání jako při měření rychlosti zvuku. Podle stejného vzorce (pouze se zaměněním neznámé) jsme počítali vzdálenost, za rychlost zvuku jsme dosazovali tabulkovou hodnotu. Přesnost měření byla proměnlivá. Pro ilustraci uvádíme pár naměřených hodnot v porovnání se skutečnými (naměřenými stolním metrem).

f [kHz]	c [m/s]	t [ms]	s [m]	s _{metrem} [m]	rel. odchylka
40,8	345	2,72	0,4692	0,47	0,17%
40,8	345	3,74	0,6452	0,62	3,98%

Dopplerův jev

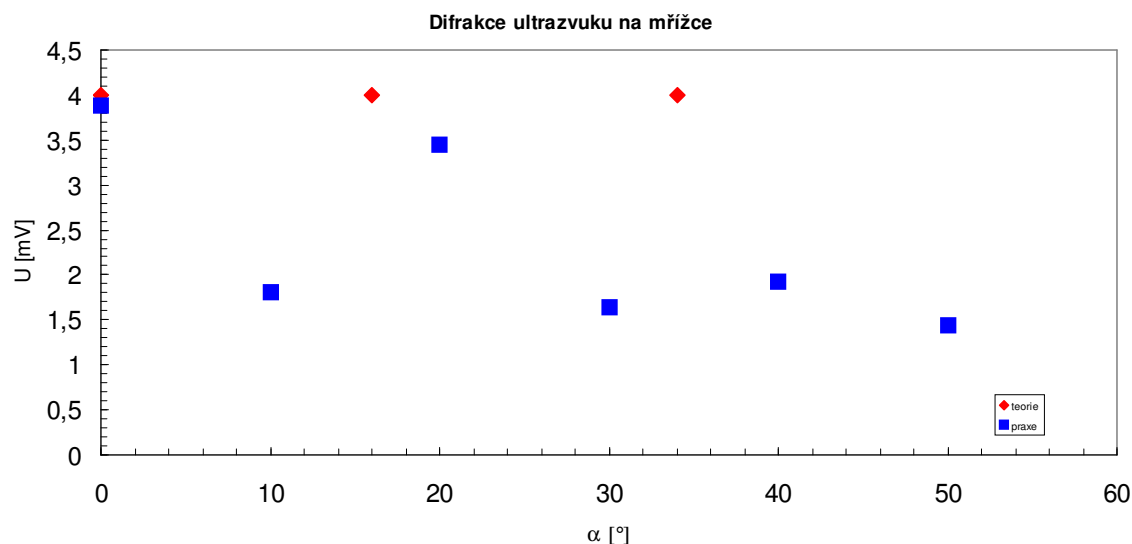
Dopplerův jev nastává tehdy, když se k sobě nebo od sebe pohybuje přijímač a vysílač. Při přibližování vysílače nebo přijímače se zkracuje vlnová délka. (přesněji: zkrátí se o vzdálenost o kterou se vysílač přemístí za jednu periodu) Přijímaná frekvence je tedy závislá na rychlosti vysílače vzhledem k přijímači a na rychlosti šíření zvuku prostředím (přesněji: závisí na jejich poměru). Vysílač jsme umístili na pojízdný vozík, přijímač na pevný stojan tak, aby byly proti sobě a ve stejné výšce (potom jsme prohodili přijímač za vysílač a opakovali měření). Signál z přijímače jsme zesílili a jeho frekvenci změřili pomocí čítače. Při pohybu vysílače směrem k přijímači se frekvence zvyšovala a při oddalování snižovala. Přesnost měření byla na velmi dobré úrovni. Naměřené hodnoty téměř přesně odpovídaly vypočítaným. Nedošlo zde k žádným chybám, jelikož prostředí mělo na tento experiment nepatrný vliv a přístroje byly dostatečně přesné. Uvádíme tabulku naměřených hodnot spolu s teoreticky vypočítanými hodnotami. Základní frekvence vysílače byla 40,06 kHz.



Difrakce ultrazvuku na mřížce

Nakonec jsme zkoumali difrakční jev. Vysílač generoval rovnoběžné zvukové vlny, které procházely difrakční mřížkou. Do osy vysílače jsme umístili přijímač. Signál z něj byl zesílen a na osciloskopu jsme odečítali amplitudu. S difrakční mřížkou jsme otáčeli po deseti stupních. Nejprve jsme měřili s jednou šterbinou, pote se dvěma, třemi a čtyřmi. Výsledky se nejvíce blížily teorii při měření se čtyřmi šterbinami, i tak byly ovšem lehce nepřesné. U zbylých měření se výsledky od teorie lišily značně. V tomto měření za chyby hlavně může

nevhodné prostředí pro měření - zvukové vlny se odrážely od osob a předmětů v laboratoři, a dále nepřesně provedené difrakční mřížky. Z těchto důvodů nebylo možné dosáhnout lepších výsledků.



Shrnutí

Co se týká výsledků, jsme spokojeni. Většina výsledků měření přibližně odpovídala teorii, až na experiment s difrakční mřížkou, který v našich podmínkách nebylo možné lépe provést. V našich experimentech jsme úspěšně ověřili platnosti zákona odrazu a dopadu, rychlost zvuku, změřili změnu frekvence při Dopplerově jevu a částečně jsme prozkoumali i vlastnosti difrakční mřížky. Zjistili jsme, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu, rychlost zvuku je cca 342 m/s, pokusně jsme změřili vzdálenost s relativně vysokou přesností.

Poděkování

Děkujeme pořadatelům fyzikálního týdne- Fakultě jaderné fyziky CVUT a sponzorům, kteří umožnili konání této akce. Zvláště bychom chtěli poděkovat naší supervizorce Zuzaně Sekerešové jelikož nám byla pomocnou rukou při provádění experimentů.

Reference:

- [1] D. Halliday – R. Resnick – J. Walker: Fyzika část 2, Prometheus, 2000
- [2] <http://fyzika.fjfi.cvut.cz/index.php?said=19&sbid0=111&task=001>

Cavendishův pokus: Měření gravitační konstanty

J.Macháček- Gymnázium Jesení, najkecahcam@seznam.cz

Z.Mouchová- Gymnázium Václava Hraběte,

mouchova.zuzana@seznam.cz

J.Nowaková- Gymnázium Třinec, janka.nowajda@email.cz

Abstrakt :

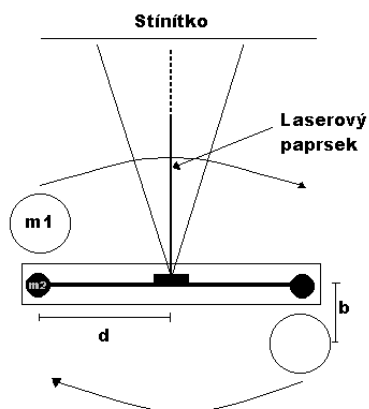
Pokus je zaměřen na naměření gravitační konstanty pomocí Cavendishových torzních vah. Konstanta je důležitá k určení síly působící mezi dvěma tělesy a dá se využít i ke zjištění hmotnosti vesmírných těles, známe-li tíhové zrychlení v jejich okolí.

1 Úvod

Od doby, kdy Isaac Newton odvodil gravitační zákon $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ pro působící sílu mezi dvěma tělesy, bylo známo, že existuje jistá konstanta G , která je pro určení této síly důležitá. Na její přesnější naměření se ale čekalo až do roku 1789, kdy Henry Cavendish provedl pokus na torzní soustavě a podařilo se mu G určit tak přesně, že na lepší výsledek se čekalo ještě dalších 100 let. Svůj pokus nazval „Vážení Země“, protože přesné určení gravitační konstanty G umožnilo poměrně přesně určit hmotnost Země $M_Z = g \cdot \frac{R^2}{G}$, za pomoci známého tíhového zrychlení g a poloměru Země R .

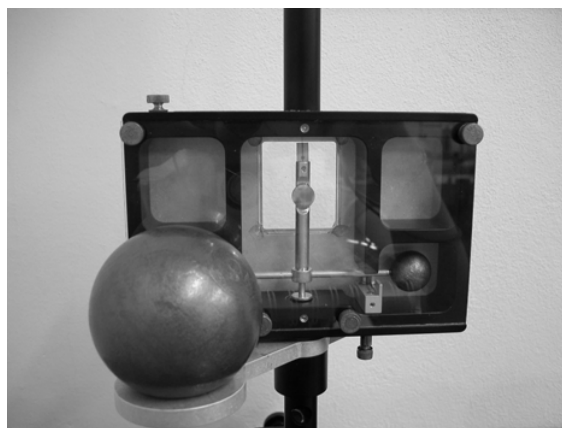
2 Popis pokusu

K pokusu byly použity Cavendishovy torzní váhy, skládající se ze dvou malých olověných kuliček na osičce se zrcátkem, které jsou zavěšeny na torzním vlákně. Tato část je uzavřena, aby zde nedocházelo k ovlivňování z okolí a odvedena statická elektřina, která by byla větší než působící síly. K této soustavě je připojena soustava dvou větších olověných koulí o hmotnosti 1,5 kg. Přibližováním větších koulí ke koulím menším dochází k rozkmitání menších koulí. Laserovým paprskem dopadajícím na zrcátko umístěné na torzním vlákně můžeme na stínítku pozorovat okamžitou výchylku. Stínítko bylo umístěno ve vzdálenosti 6 m od přístroje.





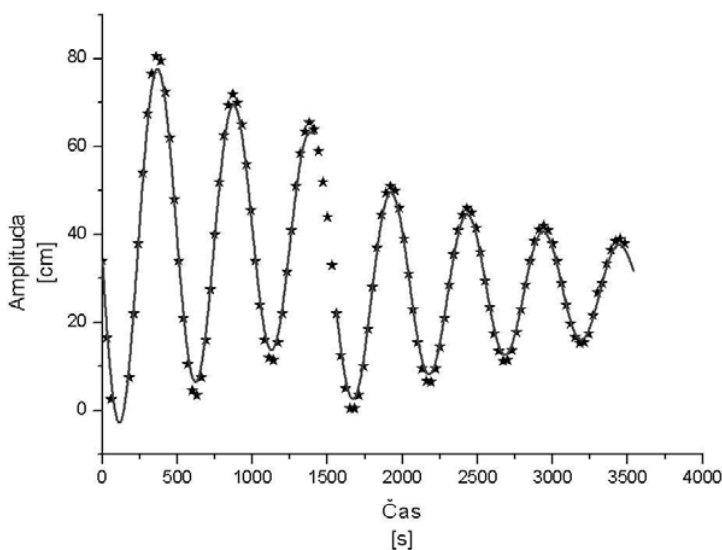
celkové uspořádání experimentu
(stínítko mimo pohled)



detailní pohled na torzní váhy

3 Graf a výpočty

Z naměřených hodnot jsme sestavili graf, který jsme následně proložili abychom mohli určit periodu a střední hodnotu kmitání pohybu laserového odrazu na stínítku.



obrázek 1 - graf kmitání paprsku

Střední hodnoty kmitání v jedné a druhé poloze jsou 39,95 cm, respektive 27,62 cm. Perioda kmitání se pohybuje kolem hodnoty 507 s.

$$G = \pi^2 \Delta S b^2 \frac{(d^2 + 2/5 r^2)}{T^2 m_1 L d} \approx 5,64 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$$

s opravou přitahování vzdálenější koule $G = G_0 / (1 - b) = 5,92 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$.

Použité hodnoty ve vzorcích :

- $\Delta S = 39,95 - 27,62 = 12,33 \text{ cm}$... rozdíl středních hodnot po změně polohy velkých koulí
- $b = 46,5 \text{ mm}$... vzdálenost těžišť velké a malé koule
- $d = 50 \text{ mm}$... vzdálenost těžiště malé koule od osy zrcátka
- $r = 9,55 \text{ mm}$... poloměr malé koule

- $T = 507 \text{ s}$... perioda kmitání
- $L = 6,16 \text{ m}$... vzdálenost zrcátka od stínítka
- $m_1 = 1,493 \text{ kg}$... hmotnost velké koule

4 Shrnutí

Experimentálně jsme naměřili hodnotu gravitační konstanty G jako $5,92 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$. Hodnota se liší od tabulkové ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$) v důsledku nepřesnosti měření. Vzhledem k vysoké citlivosti torzních vah byl experiment ovlivněn i drobnými otřesy způsobenými kolegy a ruchem na ulici.

5 References

[1] *Gravitational torsion balance* [online].[cit.13-06-2006].URL :
<<http://rumcajs.fjfi.cvut.cz/fyzport/FundKonst/Cavendish/CavendishEn.pdf>>

Termodynamické zákony v praxi

J. Opršal; M. Matoušek; L. Severa

Gym. tř. Kpt. Jaroše 14, Brno; Gymnázium Plasy; Gymnázium Benešov
snek@zoznam.sk; martin_matousek@seznam.cz; l.severa@seznam.cz

Abstrakt

Práce se věnuje tepelným strojům a termodynamice. Nejdříve popisujeme vlastnosti tepelných strojů, jejíž pracovní látkou je plyn. Zabýváme se pracovními cykly a prací vykonanou plynem, efektivitou tepelných strojů. Zvláště pak Carnotovým cyklem, který je významný, protože má největší efektivitu ze všech strojů pracujících mezi danými dvěma teplotami. Provedli jsme měření těchto hodnot na demonstračním tepelném stroji a porovnávali teoreticky spočtenou práci se získanou potenciální energií.

Dále jsme se zabývali Peltierovým aparátem, tedy přístrojem na přeměnu tepla v elektrickou energii a naopak, a porovnali jeho účinnost s účinností Carnotova cyklu.

1 Úvod

Tepelné stroje hrály vždy významnou úlohu, zejména při průmyslové revoluci. S objevem parního stroje bylo třeba vědního oboru, termodynamiky, který by popsal získávání tepelné energie z látek.

Roku 1824 mladý francouzský fyzik Sadi Carnot objevil teoretický model tepelného stroje, který má ze všech možných tepelných strojů pracujících mezi danými dvěma teplotami největší možnou účinnost.

2 Tepelný stroj na bázi plynu

Každý tepelný stroj pracuje tak, že odebírá teplo teplé lázni a předává část tohoto tepla chladné lázni. Část energie, kterou nepředá pak využíváme ke konání práce. Podle zákona zachování energie tedy musí platit:

$$Q_h = Q_c + W$$

kde W je práce vykonaná plynem a Q_h resp. Q_c teplo přijaté od horké lázně respektive teplo odevzdané studené lázni.

Tepelný stroj je tím účinnější, čím více tepla odebraného horké lázni využije. Je logické definovat efektivitu ε tepelného stroje jako:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_h}$$

Každý ideální plyn se řídí stavovou rovnicí:

$$pV = nRT$$

kde V je objem plynu, p jeho tlak, T termodynamická teplota (v Kelvinech), n molární množství a R je konstanta.

Tepelný stroj, jehož pracovní látkou je plyn, musí pracovat v uzavřeném cyklu. Tento cyklus se skládá z pomalých změn, během kterých je stavová rovnice vždy splněna. Typickou ukázkou takového cyklu je *Carnotův cyklus*, který má ze všech tepelných strojů pracujících mezi danými dvěma teplotami horké a studené lázně nejvyšší účinnost. Carnotův cyklus se skládá ze dvou izotermických a dvou adiabatických dějů.

Účinnost Carnotova cyklu je dána vztahem:

$$\varepsilon_{\text{carnot}} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Je tedy vidět, že účinnosti 1 by šlo dosáhnout pouze, kdyby studená lázeň měla teplotu $T_c = 0\text{K}$. Této teploty bohužel nelze dosáhnout, proto také neexistuje tepelný stroj se stoprocentní účinností.

Práci, kterou plyn koná můžeme spočítat jako:

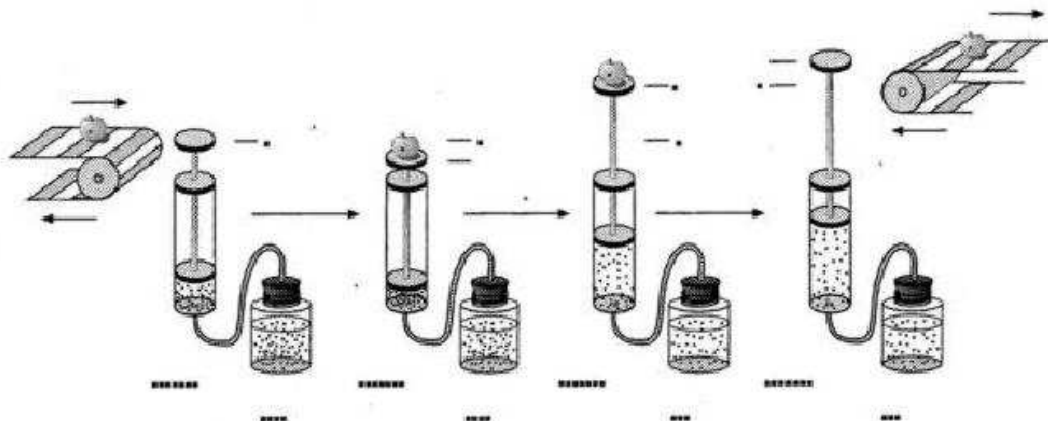
$$W = \int F \, ds = \int p \cdot S \, ds = \int p \, dV$$

Proto obvykle stavy plynu zakreslujeme do p - V *diagramu* a práci odečítáme rovnou jako plochu uzavřenou daným cyklem.

Měření tepelného stroje

„Praktickou“ ukázkou práce tepelného stroje může být zvedání tělesa o známé hmotnosti. Pracovní cyklus pak bude probíhat takto: Na počátku je baňka s plynem potopena ve studené lázni. Protože chceme určit pouze teoretickou práci, kterou koná plyn, stačí nám určovat pouze odchylky tlaku a objemu od počátečních hodnot.

Poté na píst položíme závaží o známé hmotnosti m . Plyn ve stroji zahřejeme přesunutím do horké lázně, plyn pracuje, zdvihá těleso. Těleso sejmeme z pístu a baňku přesuneme zpět do studené lázně.



Obr. 1: Pracovní cyklus tepelného stroje

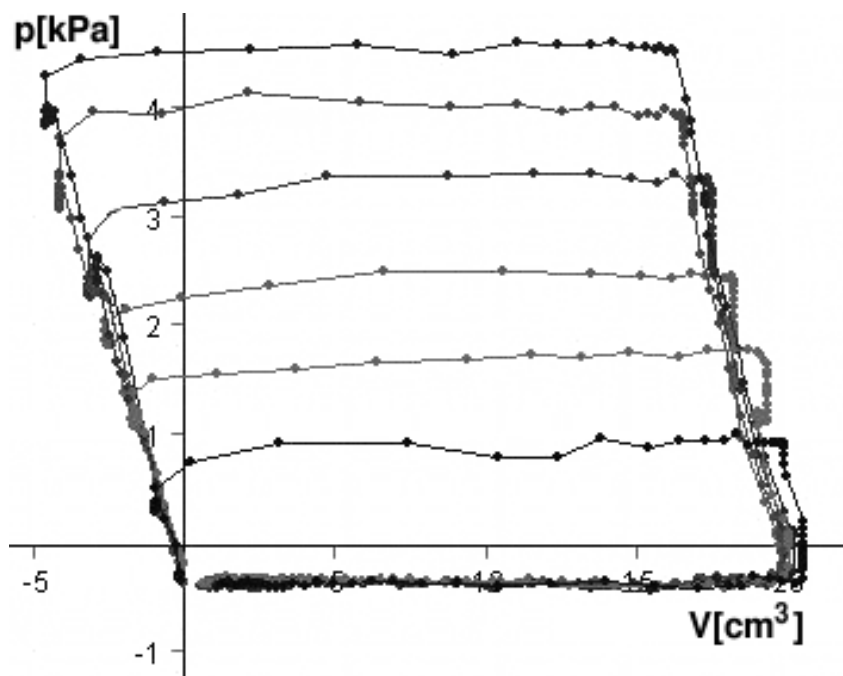
Teoretická práce, kterou měl plyn vykonat je dána obsahem p-V diagramu:

$$W = \oint p \, dV$$

užitná práce je dána rozdílem potenciálních energií závaží tedy:

$$\Delta E = mg\Delta h$$

Diagram jsme naměřili pro šest závaží různých hmotností (od 50 g do 300 g).



Obr. 2: Naměřené p-V diagramy

V následující tabulce je porovnána změna potenciální energie tělesa (tedy užitná práce) a práce spočítána z p-V diagramu. Můžete vidět, že je zde velký rozdíl v těchto hodnotách, které by měly být stejné. Chyba je částečně způsobena třením, malá chyba je také způsobena tím, že použitý plyn byl vzduch a nebyl ideální. Nedokonalost přístroje i měřících přístrojů se také mohla projevit jako systematická chyba.

m [g]	50	100	150	200	250	300
ΔE [mJ]	11,77	22,86	38,55	41,59	49,05	59,74
W [mJ]	25,79	41,36	55,91	75,17	88,94	100,79

3 Peltierův aparát

Dalším příkladem tepelného stroje je *Peltierův aparát*. Je to zařízení na přeměnu tepelné energie v energii elektrickou nebo naopak. Obdobně jako tepelné stroje na bázi plynu pracuje tento aparát se dvěma lázněmi, jednou horkou a jednou studenou.

Horká lázeň je reprezentována materiálem zahříváním elektrickým přístrojem. Studená lázeň je ochlazována proudící ledovou vodou.

Pro účinnost Peltierova aparátu platí:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_h} = \frac{dW/dt}{dQ_h/dt} = \frac{P_w}{P_h}$$

kde P_w je výkon dodávaný strojem a P_h výkon odebraný teplé lázni. Toto vyjádření nám vyhovuje, protože výkon odebraný teplé lázni můžeme spočítat z výkonu zahřívacího zařízení, tedy $P_h = I \cdot U$.

Tato účinnost není tak vysoká, jak bychom očekávali, protože část tepla projde Peltierovou součástí, aniž by si všimla tohoto procesu. Toto teplo se dá změřit a po odečtení dostáváme efektivitu srovnatelnou s Carnotovým cyklem.

Měření

Následující tabulka udává porovnání účinností Peltierova aparátu a Carnotova cyklu. T_c Je teplota studené lázně, T_h teplota teplé lázně, ε_1 pak účinnost Peltierova aparátu bez započteného „obtékajícího“ tepla a ε_2 se započtením tohoto tepla, účinnost $\varepsilon_{\text{carnot}}$ je účinnost Carnotova cyklu pracujícího mezi teplotami studené a teplé lázně.

$T_c[\text{K}]$	$T_h[\text{K}]$	ε_1	ε_2	$\varepsilon_{\text{carnot}}$
279,85	364,05	0,0273	0,2256	0,2313
280,65	355,15	0,0224	0,1538	0,2098
278,35	333,65	0,0210	0,1604	0,1657
276,85	326,65	0,0177	0,1220	0,1525

4 Shrnutí

V této práci se nám podařilo ověřit, že teplo je částečně možné převést na práci. Sestrojili jsme p-V diagram pro demonstrační tepelný stroj. Práce, kterou tento p-V diagram určoval však byla asi o 50 % větší, než odpovídá skutečné mechanické práci, která byla skutečně vykonaná (tj. změna potenciální energie zvedaného závaží).

Dále jsme se seznámili s Peltierovým aparátem. Po započtení obtékajícího tepla se námi naměřená účinnost blížila účinnosti ideálního Carnotova stroje.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT, našemu supervizorovi, Ing. Vladimíru Pospíšilovi, a všem, kteří nám pomohli.

Reference

- [1] D. Halliday, R. Resnick, Jearl Walker. *Fyzika část 2.*, Brno 1997, ISBN 80-214-1868-0

Atomová absorpční spektroskopie

Petr Adamec --- Filip Plášil --- Jaromír Polák
G Jaroslava Heyrovského, Praha --- G Chomutov, Chomutov ---
Střední průmyslová škola elektrotechnická Brno
adamec.petr@gympl.com --- plasanen@seznam.cz ---
x-polak@seznam.cz

Abstrakt:

Atomová absorpční spektroskopie je technika umožňující na základě měření pohlcování světla určit koncentraci určitého prvku ve vzorku. Touto metodou jsme zjišťovali zbytkový obsah kationů kadmia Cd^{2+} v roztoku po ozáření částicovým urychlovačem.

1 Úvod

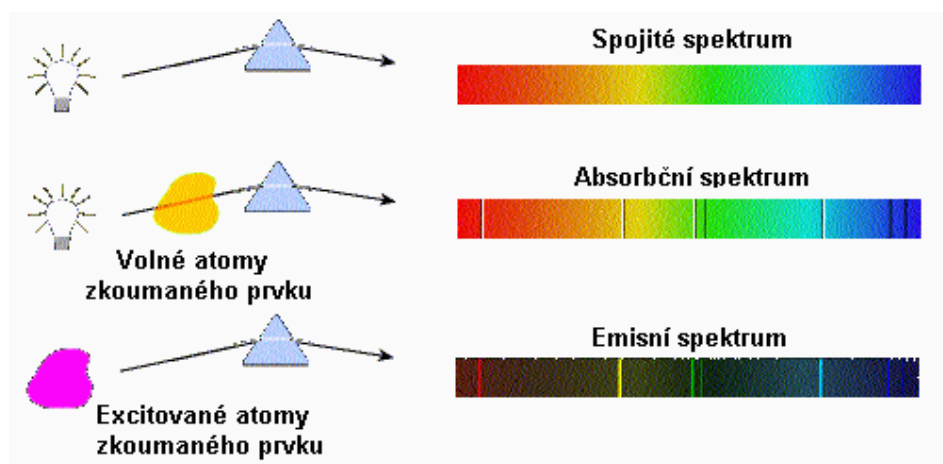
Jedním z právě probíhajících projektů na FJFI je i zkoumání možnosti čistit odpadní vody z průmyslových komplexů pomocí ionizujícího záření. Tyto vody bývají znečištěny řadou těžkých prvků, jako je **kadmium či olovo**, které se konvenčními metodami odbourávají jen velmi těžko. Řešením by bylo objevit způsob jak tyto kovy přeměnit z jejich kationů, které se velmi dobře rozpouštějí, na nerozpustnou metalickou formu odstranitelnou prostou filtrací či odstředěním. Při použití ozařování se voda rozkládá na **OH radikály** (které jsou v dalším procesu nežádoucí a jsou odstraňovány například mravenčanem sodným) a **solvatované elektrony**, které dokáží účinně redukovat obsažené kovy.

Naším úkolem v tomto projektu bylo určit závislost obsahu dosud neredukovaných kationů Cd^{2+} v roztoku v závislosti na velikosti dávky záření.

2 Princip měření

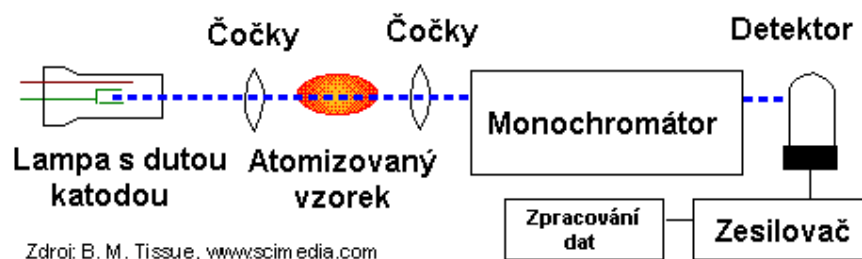
Pro získání příslušných údajů jsme použili metodu atomové absorpční spektroskopie (dále AAS), poprvé použité doktorem **Alanem Walshem** v roce 1953. Ten navázal na výzkumy Wollstona z roku 1802, který zkoumal barevné spektrum slunečního světla a povšiml si tmavých čar na určitých místech. V pozdějších letech se touto problematikou zabýval také Fraunhofer a Kirchhoff. Tato metoda je využívána v širokém spektru odvětví, neboť umožňuje jednoduše, levně a rychle určit množství určitého prvku ve vzorku.

Základním kamenem je poznatek, že atomy různých prvků pohlcují různé vlnové délky světla a to úměrně množství, ve kterém jsou zastoupeny. Názorně to lze vidět na následujícím obrázku:



V prvním případě není paprsku do cesty kladena žádná překážka a po průchodu hranolem se rozkládá na úplné a **spojité spektrum** barev. Když však dáme paprsku do cesty zkoumaný vzorek, budou atomy v něm obsažené pohlcovat vždy určitou specifickou složku světla, což se na výsledném spektru projeví tmavšími čarami – vzniká **absorpční spektrum**. Naproti tomu, pokud je vzorek sám zdrojem záření, například v důsledku přechodů jeho atomů z excitovaných stavů zpět do základních, objeví barevné čáry přesně v místech, která při absorpci byla černá – to je nazýváno **emisní spektrum**.

Přístroje sloužící pro měření obsahu daného prvku ve vzorku pouze vyberou ze spektra příslušnou oblast, na které pak sledují změnu intenzity světla. Blokové schéma je níže:



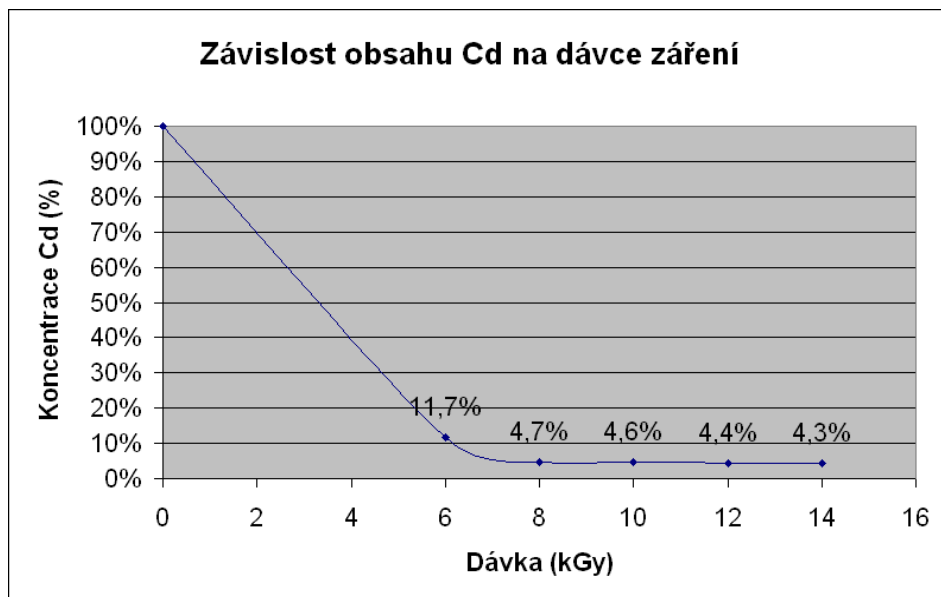
Z důvodu větší přesnosti se v moderních přístrojích nepoužívá světelný zdroj vyzařující celé spektrum barev, ale pouze **speciální lampa** s dutou katodou, ve které je obsažen stejný prvek, jaký má být měřen. Elektrickým proudem se zde excituje argon, jehož molekuly po nárazu na daný prvek vyvolají i jeho excitaci. Při návratu do základního stavu je pak vyslán světelný paprsek o přesně dané vlnové délce. V našem případě, tedy při měření obsahu kadmia, je to $\lambda = 228.8 \text{ nm}$. Paprsek pak prochází soustavou zaostřovacích čoček a skrz rozptýlené atomy vzorku. Ty je možno vytvářet různými způsoby, ale jako nejefektivnější se jeví rozklad v plynovém hořáku. Vzorek v roztoku je nejdříve rozprášen **nebulizátorem** na aerosol, který je pod tlakem nasáván do hořáku. Zde je se vzrůstající teplotou nejprve vysušen, zplynován a nakonec **atomizován**. V praxi je používán plamen acetylen-vzduch, který dosahuje teploty 2500 K, nebo acetylen-oxid dusný, který dosahuje 3000 K. Dále paprsek prochází tzv. **monochromátorem**, což je soustava čoček a zrcadel umožňující vybrat příslušnou část spektra. V následném **detektoru** je změřena jeho intenzita a zpracována analogovou a dnes především digitální technikou.



Na FJFI je výše popsaný přístroj zastoupen typem **SpectrAA-200** od firmy Varian. Jedná se o poloautomat s počítačovým zpracováním. Před samotným měřením je pouze nutné nastavit typ měření a zkoumaný prvek, optimalizovat celou soustavu pro maximální přesnost (poloha lamp a hořáku) a provést kalibraci na vzorcích se známou koncentrací. Počítač sám vypočte křivku pro převod množství zachyceného světla na koncentraci. Následně je nutné dodávat zkoumané vzorky na vyžádání obslužného programu, který provede příslušné měření a výsledek zapíše do tabulky. Vzhledem k nestabilitě některých částí je někdy zapotřebí v průběhu měření znovu rekalibrovat. Při dodržení všech zásad by měla být přesnost při tomto konkrétním měření (tedy prvek Cd a metoda atomizace plamenem) **0,0022 mg/ml**.

3 Výsledky

Vzorky použité při tomto měření byly ozářeny dávkami 0, 6, 8, 10, 12 a 14 kGy a koncentrace v každém z nich byla z důvodu minimalizace chyb měření stanovena dvakrát. Po zprůměrování obou hodnot a zanesení do grafu jsme dospěli k následujícímu výsledku.



Jak je vidět, klesá množství obsaženého kadmia velmi prudce až přibližně k **8 kGy**, pak je úbytek již minimální. Pro přesnější výsledky by bylo nutno použít více vzorků, hlavně

v oblasti s nižší dávkou záření. I tak je však evidentní, že ozáření vyšší dávkou než je **8 kGy** nemá prakticky smysl, protože rozdíl koncentrací je zde již minimální.

4 Shrnutí

Použití metody AAS pro určování výsledků této aplikace se jeví jako **optimální**, a to jak z hlediska ceny a náročnosti, tak i přesnosti. Naproti tomu celkový projekt na odstraňování těžkých kovů z odpadních vod dnes naráží na **řadu obtíží**, především ekonomického charakteru. Nicméně vzhledem k velmi rychlému rozvoji vědy v oblasti urychlovačů by mohlo být za několik let možné podobné záměry realizovat v praxi.

Poděkování

Naše díky patří Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, našim supervisorům Jiřímu Dolanskému, prom. chem., CSc a Ing. Barboře Drtinové. Dále pak sponzorům: Nadačnímu fondu teoretické fyziky a Energetické skupině ČEZ. A všem, kteří nám s projektem pomáhali.

Reference:

- [1] http://www.chemistry.nmsu.edu/Instrumentation/AAS_Walsh.html
- [2] www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=HR9800510129.pdf
- [3] http://godseye.com/wiki/index.php?title=Atomic_absorption_spectroscopy
- [4] <http://elchem.kaist.ac.kr/vt/chem-ed/spec/atomic/aa.htm>
- [5] <http://ewr.cee.vt.edu/environmental/teach/smprimer/aa/aa.html>
- [6] <http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/light/absorption.html>

Mikroskopie v materiálovém výzkumu

T. Odstrčil (tom@cbox.cz), G. Elišky Krásnohorské, Ohradní 55)

J. Petr (j.petr@volny.cz), G. Říčany, Komenského nám. 1280)

B. Rampáček (BernardR@wz.cz), G. Hustopeče, Dukelské nám. 7)

Abstrakt:

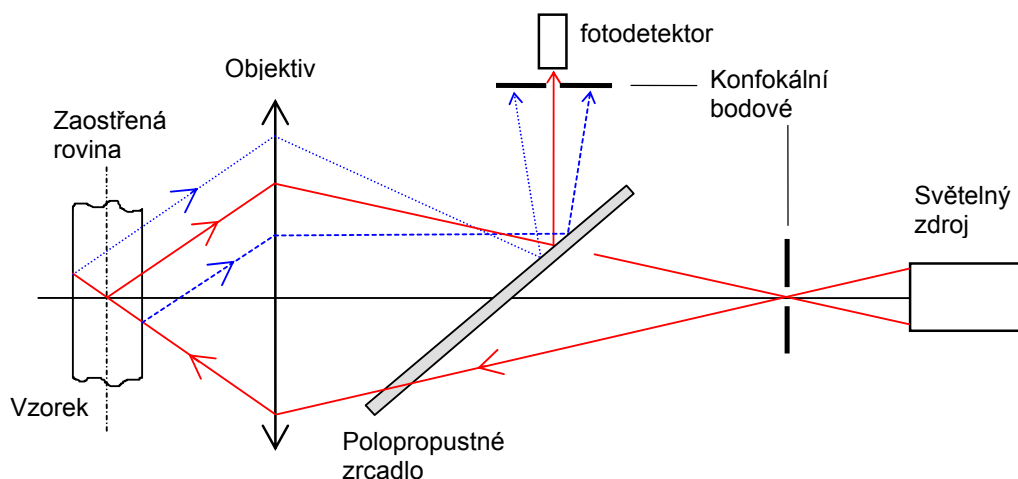
V naší práci je provedeno porovnání mikrostruktury dvou typů železných slitin – ocelového vysokopevnostního šroubu a nosné litinové desky. Mikrostruktura byla pozorována optickým (Neophot-32 výrobce Karl Zeiss Jena NDR vybavený kamerou na snímání obrazu Olympus) a elektronovým řádkovacím mikroskopem (JEOL 5510LV Japonsko vybavený disperzním analyzátozem chemického složení IXRF 500). V práci jsou také ukázány charakteristické rozdíly mezi oběma materiály a ve zobrazení struktury oběma přístroji.

1 Úvod

Je známo, že struktura materiálu má podstatný vliv na jeho fyzikální vlastnosti. Studium struktury je tedy nutné k zlepšování vlastností i k odhalování poruch a jejich příčin.

Kovové materiály jsou tvořeny zpravidla velmi malými krystalky - zrna. K jejich pozorování a popisu (metalografie) je nutné použít náležitě zvětšujících přístrojů – mikroskopů. Odedávna jsou využívány optické mikroskopy v biologii, až později našly uplatnění i v materiálovém výzkumu. Zhruba od poloviny minulého století bylo jako zobrazovacího prostředku použito elektronů – vznikly mikroskopy elektronové. Každý typ má své charakteristické vlastnosti a způsob zobrazování zkoumané mikrostruktury.

Na Katedře materiálu FJFI ČVUT jsme zkoumali mikrostrukturu ocelového šroubu a litinové desky optickým i elektronovým mikroskopem. Cílem práce bylo porovnat a dokumentovat rozdíly mezi oběma materiály a všimnout si rozdílů ve způsobu zobrazování struktury mezi optickým a elektronovým řádkovacím mikroskopem.



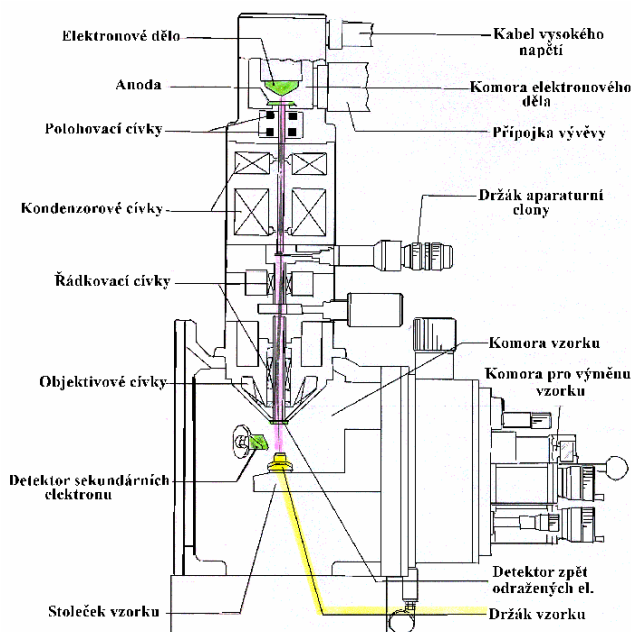
Obr. 1. Schema optického mikroskopu

2 Mikroskopy

Jeden z nejčastěji používaných nástrojů při metalografii je speciálně upravený **optický mikroskop**. Jeho zjednodušené schéma je na obr.1. Největším rozdílem mezi

biologickým a metalografickým mikroskopem je způsob nasvícení vzorku. Zatímco u biologického je zkoumaný objekt prosvícen, u metalografického je nasvícen a jeho odraz je zachycen objektivem.

V **elektronovém mikroskopu** (schéma viz obr.2) je využíváno proudu elektronů který dopadá na vzorek a vybuzuje mnoho typů záření, z nichž nejdůležitější pro pozorování jsou sekundární elektrony, zpětně odražené elektrony a RTG záření. Mikroskop je ovládán přes počítač, na kterém se zobrazuje zkoumaný vzorek. Zde je možné dosáhnout většího zvětšení než u optického mikroskopu. Jednou z podmínek pozorování elektronovým mikroskopem je vodivost povrchu zkoumaného vzorku. V opačném případě se těleso začne nabíjet. Další nutností je vakuum v prostoru zkoumaného vzorku, odvod přebytečného náboje a dobré chlazení.



Obr. 2: Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu

3 Experiment

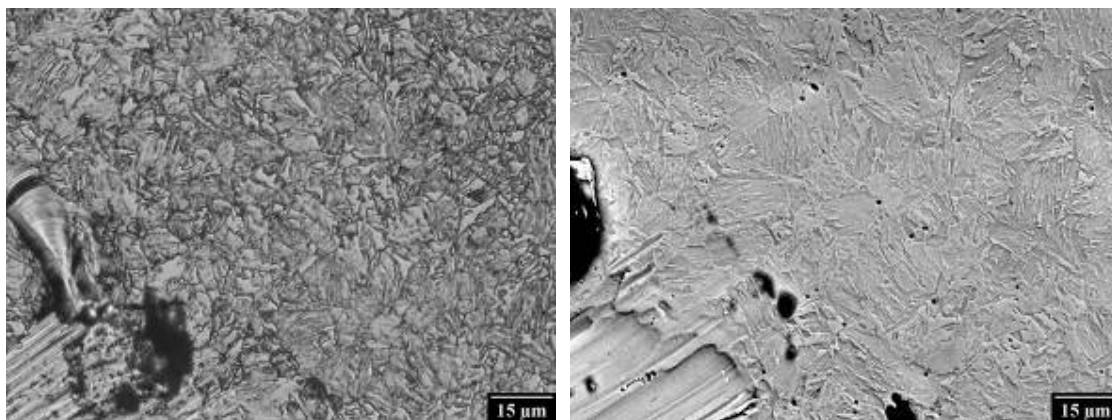
Příprava vzorků

Struktura šroubu byla zviditelněna elektrolytickým leštěním a leptáním speciální pipetou pouze v malé ploše. Litinový vzorek byl mechanicky vyleštěn a naleptán směsí ethanolu s HNO_3

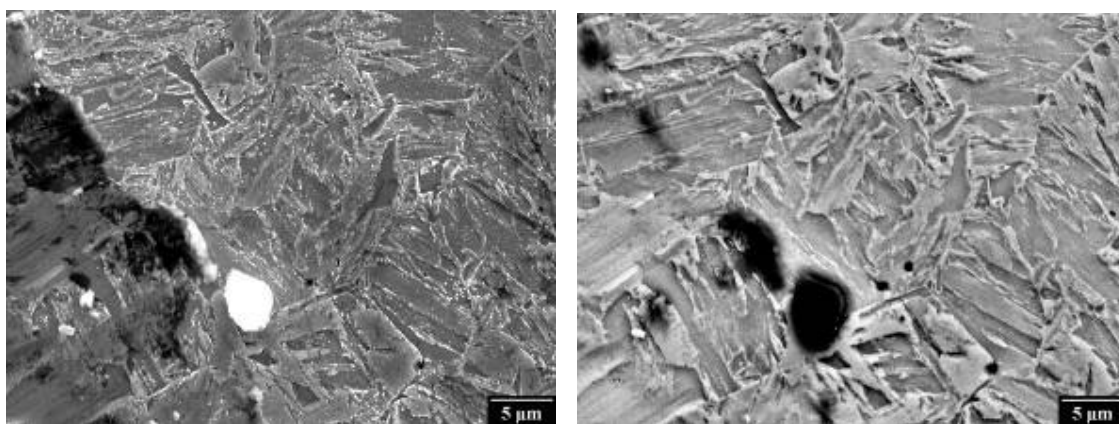
Vysokopevnostní šroub:

Na povrchu zkoumaného objektu byla zhotovena rýha pomocí špendlíku, aby bylo možno porovnat strukturu stejného místa. Na snímcích je patrná v levém dolním rohu. Struktura je tvořena drobnými jehlicovitými zrnky. V optickém a elektronovém mikroskopu se jeví obraz podobně.

Skvrna na obr. 5 je patrný rozdíl mezi zobrazením místa v sekundárních a zpětně odražených elektronech. Nečistota se při pozorování nabíjí a jeví se jako bílá skvrna, kdežto na obrázku b) je tmavá, protože obsahuje prvky lehčí než železo.



a) Obr.3 Struktura vysokopevnostního šroubu čerpacího zařízení a) snímek z optického mikroskopu; b) z elektronového mikroskopu



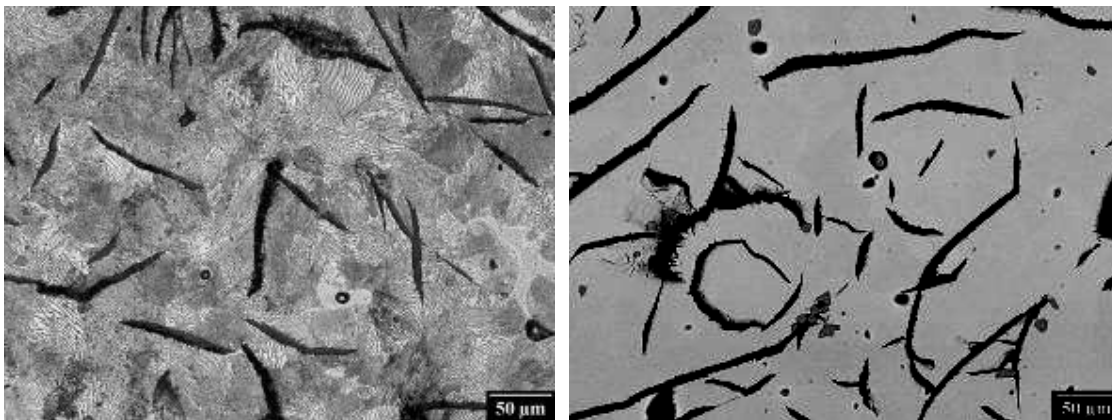
a) Obr. 5 Detail struktury ze stejného místa a) sekundární elektrony b) primární elektrony
-skvrny jsou špína,

Litina:

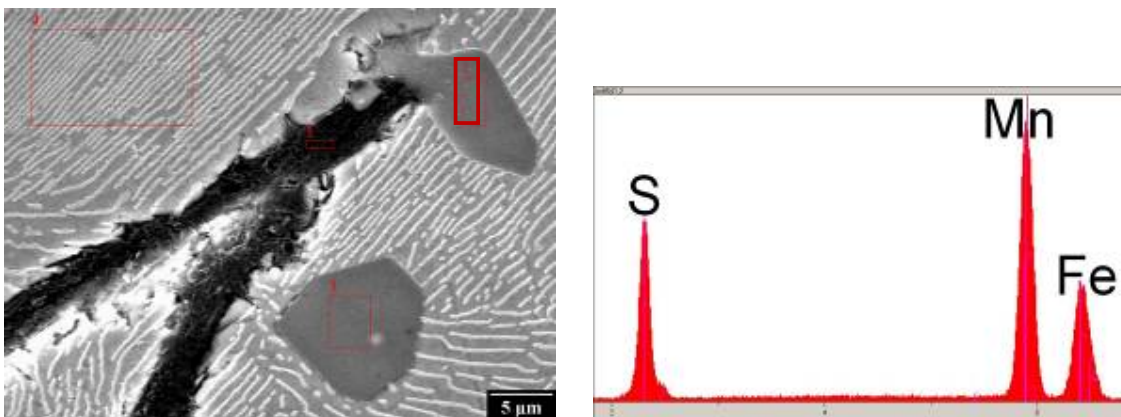
Na struktuře litiny je nejvýraznější grafit, který se na obrázcích 6 a) a b) jeví jako černé žíhlovité útvary a pruhovaná zrna lamelárního perlitu. Lamelky jsou dobře viditelné optickým mikroskopem která .Struktura litiny při větším zvětšení je na obr. 7. Mimo černě zobrazeného grafitu a pruhovaného perlitu jsou při tomto zvětšení patrná ještě další zrna, která jsou bez proužků. Provedli jsme analýzu chemického složení těchto zrn pomocí zařízení energiove disperzní rentgenový analyzátor. Zjistilo se že neobsahuje ani tak železo ale síru a mangan, jak je vidět ze spektra obr. 7 b).

4 Shrnutí

Tyto materiály ač vykazují na šrotišti vypadají stěně, ve skutečnosti se svou strukturou značně liší. Struktura šroubu je homogenní a jemnozrnná, kdežto struktura litinové desky je hrubší, obsahuje grafit ve formě různě pokroucených žíhlovitých útvarů. Byla zjištěna také neželezná zrna bohatá na síru a mangan, kterým se říká sulfidické městky.



a)
Obr. 6 Struktura litiny a) optický m. b) elektronový m.



a)
Obr. 7 Analýza zvýrazněné oblasti a) zvýrazněná oblast b) výsledky

Použití obou mikroskopů přineslo velmi zajímavé informace o struktuře a tyto informace byly do jisté míry podobné. Ale zvětšení optického mikroskopu je limitováno vlnovou délkou světla, která nedovoluje větší zvětšení než 2000x (u elektronového běžně 30000x). Naopak jsme mohli pod optickým mikroskopem zpozorovat některé detaily struktury, které nebyly pod elektronovým vidět.

Výhodami elektronového mikroskopu byla možnost většího zvětšení a s pomocí přídavného zařízení IXRF bylo možno provést chemickou analýzu zkoumaného vzorku a nebo jeho části.

5 Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervisorovi ing. Janu Adámkovi za jeho trpělivost, ochotu a čas, který nám věnoval. Dále děkujeme všem, kteří přispěli k tomu, že jsme se mohli účastnit fyzikálního týdne.

6 Reference

J. Navrátil, A. Bárek, P. Fojtů, P. Solný; *Elektronová mikroskopie ve výzkumu materiálů*; 2005

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

P. Hartman

MSSCh Křemencova, Praha 1; katef2@seznam.cz

L. Kadrmanová

Gymnázium Jeseník; Kadrmanova@seznam.cz

F. Batysta

G J.V. Jirsíka, České Budějovice; xibaty@quick.cz

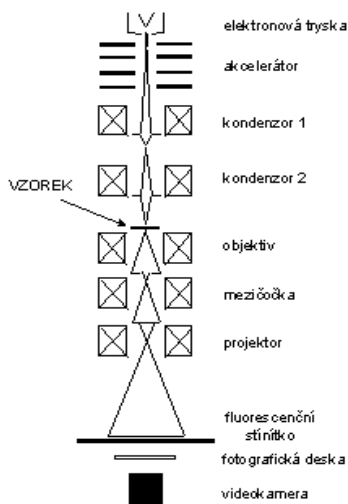
Abstrakt:

Jedním z hlavních pilířů při studiu struktury materiálů je v současné době transmisní elektronová mikroskopie. Je to jedna z mála metod, která nám umožňuje pozorování struktury materiálů, jejich vlastností a případných vad a poruch s velmi vysokým zvětšením a rozlišením.

1 Úvod

Na začátku dvacátého století nepostačovaly již optické mikroskopy nárokům vědy a výzkumu svým výkonem. Vlnová délka běžného světla je asi 2000x větší, než je velikost atomu, kdežto elektron s dostatečně vysokou hodnotou energie má vlnovou délku srovnatelnou se vzdáleností a velikostí jednotlivých atomů. Na konci dvacátých let umožnil vynález magnetické čočky zkonstruování prvního transmisního elektronového mikroskopu (TEM), který v roce 1930 sestavili M. Knoll a E. Ruska. Dnes je TEM nedílnou součástí výzkumu.

2 Transmisní elektronový mikroskop



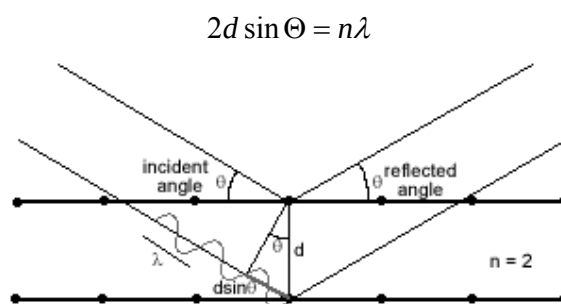
Základní schéma TEM je zobrazeno na obrázku 1. V horní části tubusu se nachází elektronová tryska emitující elektrony, které jsou následně urychlovány akcelerátorem. Tyto elektrony potom projdou přes osvětlovací soustavu tvořenou kondenzory, dopadnou na vzorek a přes složitou soustavu čoček a clon dopadají na fluorescenční stínítko, fotografickou desku nebo na CCD kameru. V celém tubusu musí být udržováno velmi vysoké vakuum (až 10^{-8} Pa), aby nedocházelo k nežádoucímu rozptylu elektronů. Navíc zkoumaný vzorek musí být *velmi* tenký, jinak by neprocházelo dostatek elektronů vzorkem. Ideální je, když pozorujeme vrstvu o tloušťce ne více než stovky nm.

Obr. 1: Schéma transmisního elektronového mikroskopu.

TEM poskytuje dva základní módy pozorování – mód zobrazovací, sloužící k pozorování struktury a vad zkoumaného materiálu, a mód difrakční, který je používán především pro určování orientace krystalických látek a ve kterém je pozorován difrakční obrazec (difraktogram). Naším úkolem bylo tyto difraktogramy analyzovat.

3 Difrakce elektronů

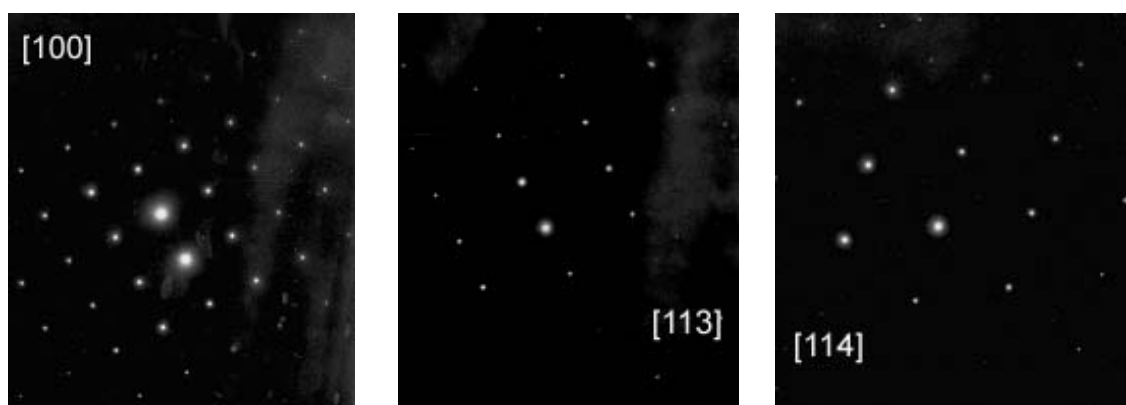
Jak vlastně taková difrakce funguje? Tento jev je obdobou ohybu světla na mřížce, pouze místo světla používáme elektronový svazek, který se difraktuje na krystalické struktuře látek. Pokud rozptýlené elektrony splní určitou podmínku (Braggův zákon viz obr. 2) dochází k interferenci (skládání) difraktovaných elektronových vln ☺.



Obr. 2 Braggův zákon

K dispozici jsme měli snímky kubicky plošně centrovaného monokrystalu zlata (viz obr. 3) a měli jsme zjistit, pod jakými úhly dopadá elektronový svazek na vzorek neboli jak byl monokrystal Au orientován vůči dopadajícímu svazku elektronů.

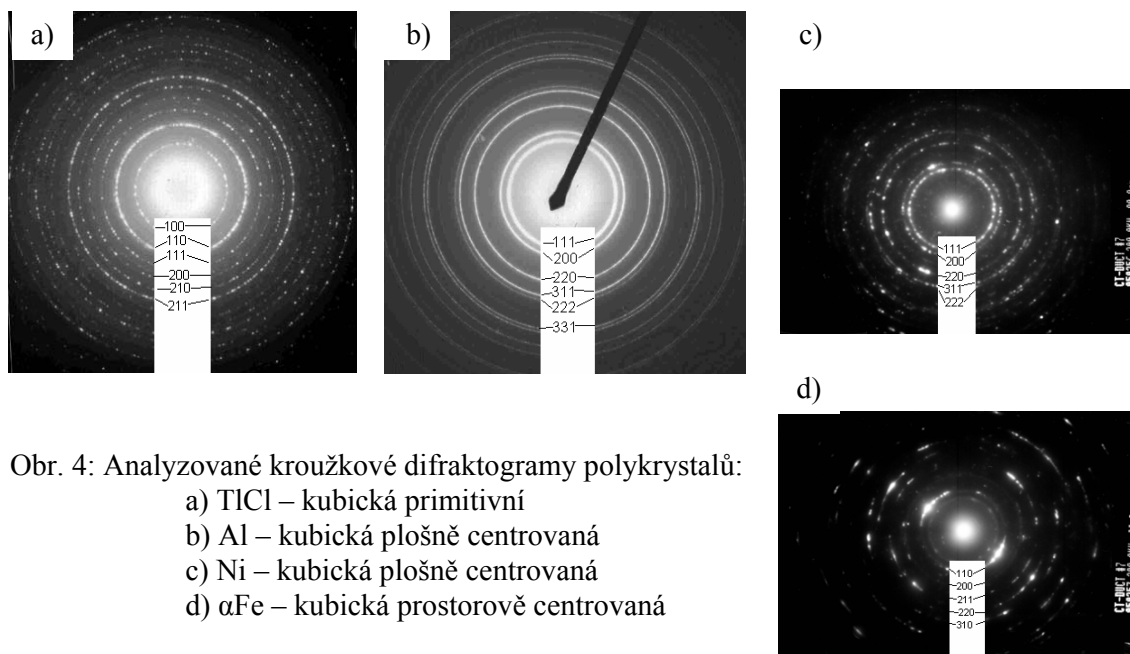
Postupovali jsme tak, že jsme spojnicemi světlých bodů (reflexí) proložili přímky a pomocí měření úhlů mezi těmito přímkami a poměru délek úseček spojujících dva nejbližší body jsme využitím tabelovaných hodnot [2] určili orientaci daného vzorku.



Obr. 3: Analyzované difraktogramy monokrystalu zlata.

Na difraktogramech polykrystalů (na rozdíl od monokrystalů) lze pozorovat soustředné kružnice (obr. 4). Polykrystal se totiž skládá z mnoha zrn (monokrystalů), které jsou vůči sobě vzájemně pootočené. Kruhový difraktogram tedy vzniká rotací difraktogramu monokrystalu. Čím více zrn je v analyzované oblasti zahrnuto, tím více jsou kružnice spojitě a naopak.

Při difrakci různých typů krystalografických struktur (základní - primitivní, plošně centrovaná, prostorově centrovaná) jsou poměry n -tého a prvního poloměru různé. Pomocí vztahů mezi poloměry kružnic a mezirovinnými vzdálenostmi atomů a pomocí hodnot strukturního faktoru (viz [2]) lze určit druh elementární buňky zkoumaného polykrystalu a posloupnost indexů rovin příslušejícím jednotlivým kroužkům (viz obr. 4).



Obr. 4: Analyzované kroužkové difraktogramy polykrystalů:

- a) TiCl – kubická primitivní
- b) Al – kubická plošně centrovaná
- c) Ni – kubická plošně centrovaná
- d) α Fe – kubická prostorově centrovaná

4 Shrnutí

Seznámili jsme se základními principy použití transmisního elektronového mikroskopu. Difraktogramy látek s různým uspořádáním elementárních částic se od sebe významně liší. Monokrystaly se nám difrakcí zobrazí jako body (bodový difraktogram) a polykrystaly jako soustředné kružnice (kroužkový difraktogram).

Poděkování

Děkujeme našim profesorům za laskavé doporučení, ČD za poskytnutí skupinové slevy (děkují jen Kadrmanová a Batysta), a v neposlední řadě organizačnímu výboru Fyzikálního týdne, obětavému supervizorovi panu Ing. Petru Homolovi za trpělivost a panu Svobodovi, bez nějž by tato akce nevznikla.

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, s.157-159
- [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
- [6] <http://fyzika.fme.vutbr.cz/~komrs/Fourier/KapF18.pdf>

Poškození DNA vlivem ionizujícího záření

J. Stránský ^{*1}

L. Kladivová ^{*2}

K. Štancelová ^{*3}

^{*1} Gymnázium Dobruška

Str.jan@seznam.cz

^{*2} Gymnázium a SOŠ Frýdek – Místek

luciekladivova@centrum.cz

^{*3} Gymnázium Bučovice

joji@xko.cz

Ústav jaderné fyziky AV ČR, Oddělení dozimetrie záření

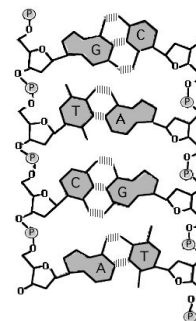
Abstrakt:

Cílem výzkumu bylo zjistit, jaký dopad má ionizující záření na strukturu dvoušroubovice DNA, která je považována za primární terč ionizujícího záření. Metodou agarozové elektroforézy byl zjišťován počet jednoduchých a dvojných zlomů s rostoucí dávkou záření. Měření bylo prováděno na různých typech plazmidové DNA ve vodném roztoku. Vzorky byly vyhodnocovány pomocí softwaru ImageQuant. Počet jednoduchých zlomů roste přímo úměrně s dávkou záření. Výskyt dvojných zlomů není v rozsahu použitých dávek významný.

1. Úvod

DNA je jedinečnou nositelkou genetické informace o struktuře a funkci buňky. Základním stavebním kamenem DNA je tzv. nukleotid, který se skládá z fosforečného zbytku, pětiuhlíkového cukru deoxyribóza a purinové (A - adenin a G - Guanin) nebo pyrimidinové dusíkaté báze (T - thymin a C - cytosin). DNA se v organismu uchovává ve formě pravotočivé dvoušroubovice, ve které se nacházejí dva proti sobě jdoucí řetězce nukleotidů. Její poškození může mít vážné důsledky na celý organismus. Obnovení struktury a funkce DNA v biologických systémech po ozáření je pro organizmy jedním ze základních a nenahraditelných mechanismů [1].

Ionizujícím zářením nazýváme takové záření, které je schopno vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Ionizující záření poškozuje DNA buď přímo, tj. interakcí ionizující částice s atomem molekuly DNA, nebo nepřímo prostřednictvím produktů radiolýzy vody. Výsledkem je především produkce zlomů řetězce (jednoduchých i dvojitých), vznikají však také poškození bází, cross-linky uvnitř DNA nebo DNA-protein, lokální denaturace apod.

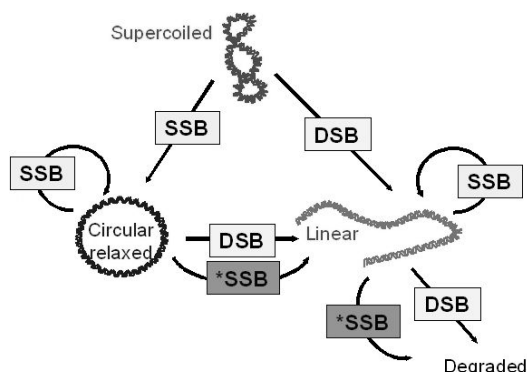


Obr.1

Primární struktura DNA

2. Materiály a metody

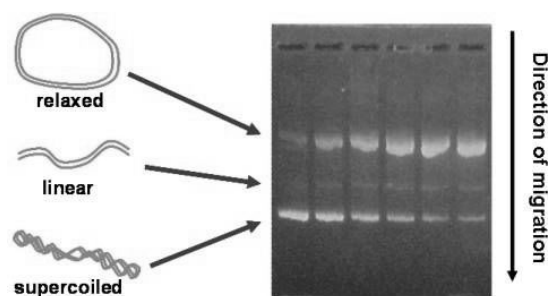
Poškození DNA vlivem ionizujícího záření bylo zkoumáno metodou horizontální agarozové elektroforézy. Byla použita plazmidová DNA typu pcDNA₃ a pBS. Plazmid je extrachromozomální (vyskytující se mimo buněčné jádro) samostatně se replikující kruhová DNA. Zpravidla ji tvoří 1000 až 400 000 bázových párů. Nepoškozený plazmid se



Obr. 2

nachází ve smotané (supercoiled) formě. Jestliže dojde účinkem ionizujícího záření ke zlomu jednoho řetězce (tzv. single strand break - SSB), plazmid relaxuje do kruhové formy. Pokud dojde ke zlomu obou řetězců (double strand break – DSB), vznikne lineární forma plazmidu (Obr.2). Vzorky byly studovány ve vodném roztoku, jehož výhodou je absence reparačních mechanismů přítomných v buňce, což umožňuje sledovat výtěžky poškození primárně způsobené ionizujícím zářením.

Vzorky obsahovaly 100 ng DNA v 10 mM fosfátovém pufru a konečný objem vzorku byl 10 µl. Ozařování probíhalo na zdroji ⁶⁰Co o dávkovém příkonu 3,2 mGy/s (tato hodnota je z 1.1.1997) do 75 Gy po 15 Gy (což odpovídá přibližně 20 minutám). Vzorky byly ozařovány v tubách Eppendorf o objemu 1,5 ml. Ozářené vzorky byly deponovány do 0,8 % agarozového gelu s fluorescenčním barvivem Sybr Green I a pH bylo stabilizováno pufrům TAE 0,5x. Vzorky migrovaly dvě hodiny při napětí 100 V. Metoda agarozové elektroforézy umožňuje odseparovat výše zmíněné tři formy DNA (Obr. 3), neboť v gelu migrují různou rychlostí.



Obr. 3

Gel byl umístěn pod UV lampu a vyfotografován přes želatinový filtr. Procentuální zastoupení jednotlivých forem DNA bylo kvantifikováno pomocí softwaru ImageQuant. Počet jednoduchých a dvojných zlomů na jeden plazmid byl vypočten pomocí vztahů [2]:

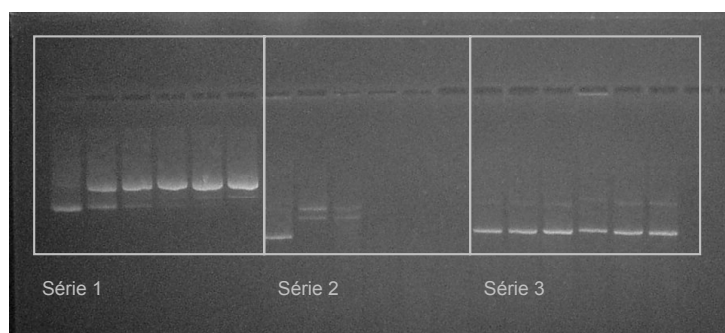
$$\bar{x} = \ln[(1 - L') / S']$$

$$\bar{y} = L' / (1 - S'),$$

kde $\bar{x}$ je střední hodnota počtu jednoduchých zlomů, $\bar{y}$ je střední hodnota dvojných zlomů, L' je zastoupení lineární formy DNA, S' je zastoupení smotané formy DNA.

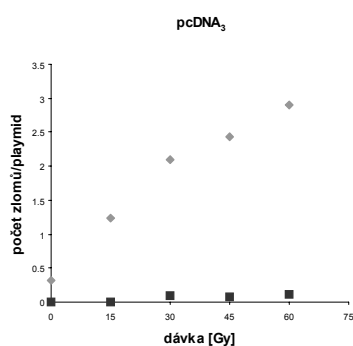
3. Výsledky a diskuse

Bylo ověřeno, že s rostoucí dávkou roste výtěžek SSB a DSB. V grafu 1 je vyneseno počet SSB a DSB na plazmid při ozařování pcDNA₃ (série 1). Zatímco počet SSB lineárně roste, výskyt DSB není v rozsahu použitých dávek významný. Vzhledem k tomu, že výše uvedené vzorce pro výpočet počet zlomů na plazmid jsou použitelné, pouze pokud jsou detekovány všechny tři formy, nemohly být hodnoty vypočteny pro 75 Gy.

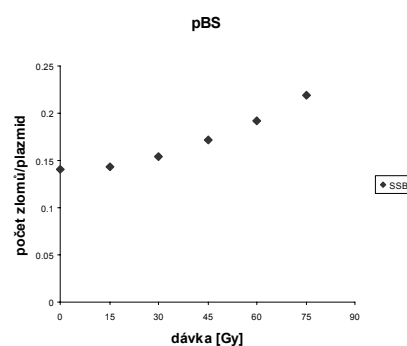


Nárůst počtu SSB s dávkou byl pozorován také pro plazmid pBS (série 3). Počet dvojných zlomů zůstává v rozsahu použitých dávek velmi nízký. Je to způsobeno tím, že původní plazmid se nacházel v roztoku s vysokou koncentrací tzv. scavengerů, což jsou látky, které jsou schopny vychytávat radikály vzniklé při radiolýze vody.

Když byl ozářen plazmid pBS původně rozpuštěný ve vodě (série 2), již při dávce 15 Gy byla všechna DNA poškozena a od dávky 45 Gy byla již tak fragmentována, že nebyla pozorovatelná.



Graf 1



Graf 2

Na snímku gelu bylo také patrné, jak velikost plazmidu ovlivňuje rychlost migrace – plazmid pBS o velikosti 3,5 kb domigroval výrazně dál než pcDNA3 o velikosti 5,4 kb.

4. Shrnutí

Ionizující záření významně poškozuje strukturu molekuly DNA. Bylo ověřeno, že s rostoucí dávkou záření roste počet zlomů molekuly DNA přesně podle hypotézy.

Poděkování

Ústavu jaderné fyziky AV ČR, Oddělení dozimetrie záření za poskytnutí prostorů, techniky a materiálu ke studiu, Viktorii Štísové za objasnění problému a pomoc při realizaci, Václavu Štěpánu za podnětné připomínky, Vojtěchu Svobodovi za organizaci a koordinování Fyzikálního týdne, FJFI ČVUT za poskytnutí prostředků a organizaci.

Reference:

- [1] ALPEN, E. L., *Radiation biophysics*, Academic Press 1990, str. 117 - 119
- [2] SPOTHEIM-MAURIZOT, M *ET AL. DNA radiolysis by fast neutrons*, INT. J. RADIAT: BIOL. 1990, vol. 57, str. 301 - 313

Měření krátkých časových intervalů s pikosekundovým rozlišením

M. Fatrdlová , T. Polcar, T. Binek
Gymnázium a SOŠ Frýdek-Místek, Gymnázium Plasy, SPŠE Brno
Fatrdlova.michaela@seznam.cz

Abstrakt:

Naším miniprojektem se stalo měření časových intervalů. Seznámili jsme se s různými metodami měření a vyzkoušeli jsme si jednoduchý experiment. Změřili jsme zpoždění průchodu elektrického impulsu koaxiálním kabelem při různých teplotách.

1 Úvod

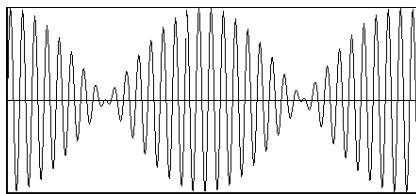
Měření času používali lidé už od pravěku, kdy se řídili postavením Slunce. Stoletími se měření stále zlepšovalo. Od postavení Slunce jsme se dostali až k atomovým hodinám a měřením pomocí laseru. Rozvojem měření se rozvíjela i další mnohá odvětví vědy a techniky. Metodou, kterou jsme ověřovali se mohou určovat vzdálenosti družic a Měsíce, předpovídat zemětřesení.

2 Materiály a metody

K měření byl použit čítač časových intervalů HP 5730B. Na jeho vstup je připojen zdroj krátkých pulsů. První impuls spustí vnitřní oscilátor přístroje s vlastní frekvencí 100 Hz, pomocí kterého se určí délka měřeného intervalu nebo periodu vlnění s přesností na 5ns. Světelný signál za tuto dobu urazí asi 1,5 m. Vzhledem k tomu, že při měření vzdáleností touto metodou zpravidla požadujeme přesnost měření v setinách nebo desetinách metru, je zapotřebí zvýšit rozlišovací schopnost přístroje řádově na pikosekundy. K tomuto zpřesnění se často využívá Vernierova jevu (známého například z posuvných měřidel). K původnímu signálu je přidán další signál, který má velmi blízkou frekvenci. Jejich složením vzniknou pomalé rázy, které mají řádově nižší frekvenci. Pokud známe přesně parametry přimíchaného signálu, můžeme vypočítat velmi přesně parametry původního signálu.

$$A = \sin(2\pi f_1 t) + (\sin 2\pi f_2 t) = 2 \times \sin((f_1 + f_2) \times \pi t) \times \cos((f_1 - f_2) \times \pi t)$$

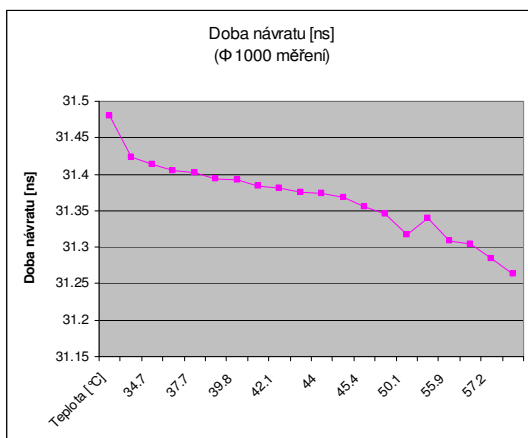
Z této rovnice je vidět, že frekvence jednotlivých rázů je tím větší, čím méně se frekvence obou vlnění liší. Touto metodou je možno měření zpřesnit až stokrát.



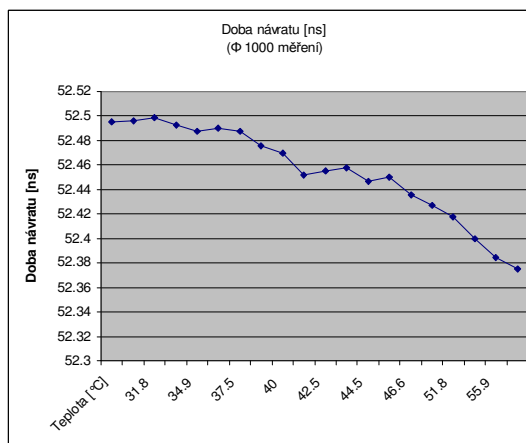
Obr. 1 : Průběh rázů vzniklých složením dvou impulsů o podobných frekvencích

3 Výsledky

Z naměřených hodnot vyplývá, že čas, za který překoná signál 1 m koaxiálního kabelu je za běžně dosažitelných podmínek asi 5 – 6 ns. Z grafů na obrázku 2 je vidět, že závislost tohoto času na teplotě je přímo úměrná, zpoždění signálu v kabelu klesá asi o 4ps na K. Tyto hodnoty odpovídají rychlosti šíření signálu rovné $1,79 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá 0,6xc. I při této snížené rychlosti je nezbytné měřit časové intervaly s přesností na pikosekundy.



Obr. 2 : Kabel A – 3m



Obr. 3: Kabel B – 4.95m

4 Shrnutí

Principy použité v tomto pokusu nás dnes provázejí na každém kroku. GPS (jehož formu obsahuje každý mobilní telefon) je založeno na rozdílu signálů přicházejících ze 3 a více družic. Zpracováním těchto signálů získáme údaje o přesné poloze přijímače. Pro přenos dat na velké vzdálenosti je třeba co nejpřesněji sladit hodinové pulsy na obou stranách spojení - čím přesnější, tím větší propustnost linky . K tomu se také využívá signálu z družic, které vysílají časové signály s přesností ~ 50ns.

5 Poděkování

Za podporu při provádění tohoto experimentu děkujeme ing. Martině Fedyszynové a všem organizátorům Fyzikálního týdne 2006 z FJFI ČVUT.

6 Reference:

<http://buon.fjfi.cvut.cz/fyzport/FT/2005/pikos/picos>

Počítačové zpracování obrazu – analýza snímků družic

J. Vodňanský, J. Vondráček, O. Güttner

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

rosnicka01@seznam.cz, pepavon@seznam.cz, ondra.guttner@seznam.cz

Abstrakt:

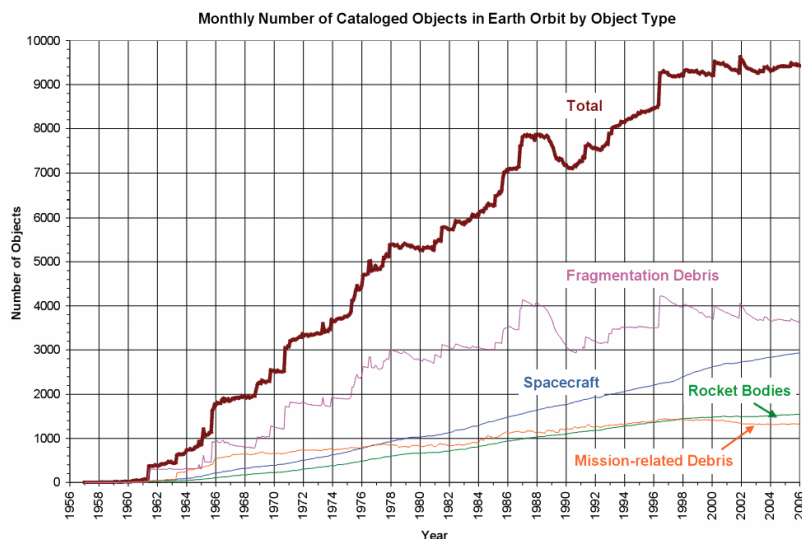
Zpracování obrazů umělých družic země přijímaných CCD kamerou pomocí počítačového softwaru. Metoda je používána především pro zjišťování oběžných drah umělých družic Země, především kosmického smetí, s cílem chránit aktivní družice před kolizemi s ním. Tyto dráhy se zjišťují pomocí aktuálních úhlových rychlostí družic a jejich poloh vůči hvězdám.

1 Úvod

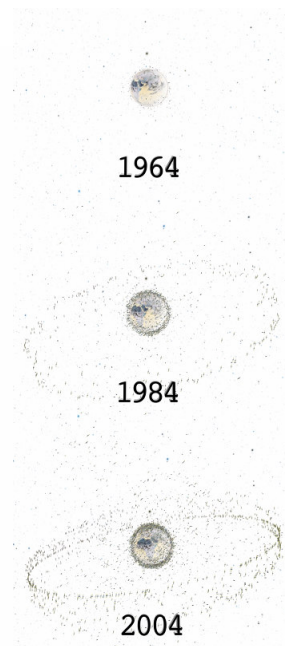
Úvodní informace (motivace, současný stav problému)

S rozvojem kosmického průmyslu vyvstávají problémy spojené s tzv. kosmickým odpadem (space debris). Veškeré družice pohybující se na oběžné dráze Země jsou totiž v neustálém ohrožení kolizí s již nechtěnými umělými družicemi, které tvoří např.: zbytky nosných raket, nefunkční družice, úlomky po explozích na oběžné dráze, atd. Ty mohou znamenat nebezpečí již při velikostech kolem 1cm. Od roku 1957, kdy byla vypuštěna první umělá družice – ruský Sputnik, se počty těles na oběžné dráze výrazně zvýšili až na zhruba 9000 velkých objektů. Z nich je však pouze 600-700 plně fungujících satelitů.

Jasným důsledkem je tedy neustálé monitorování a katalogizování jejich oběžných drah.

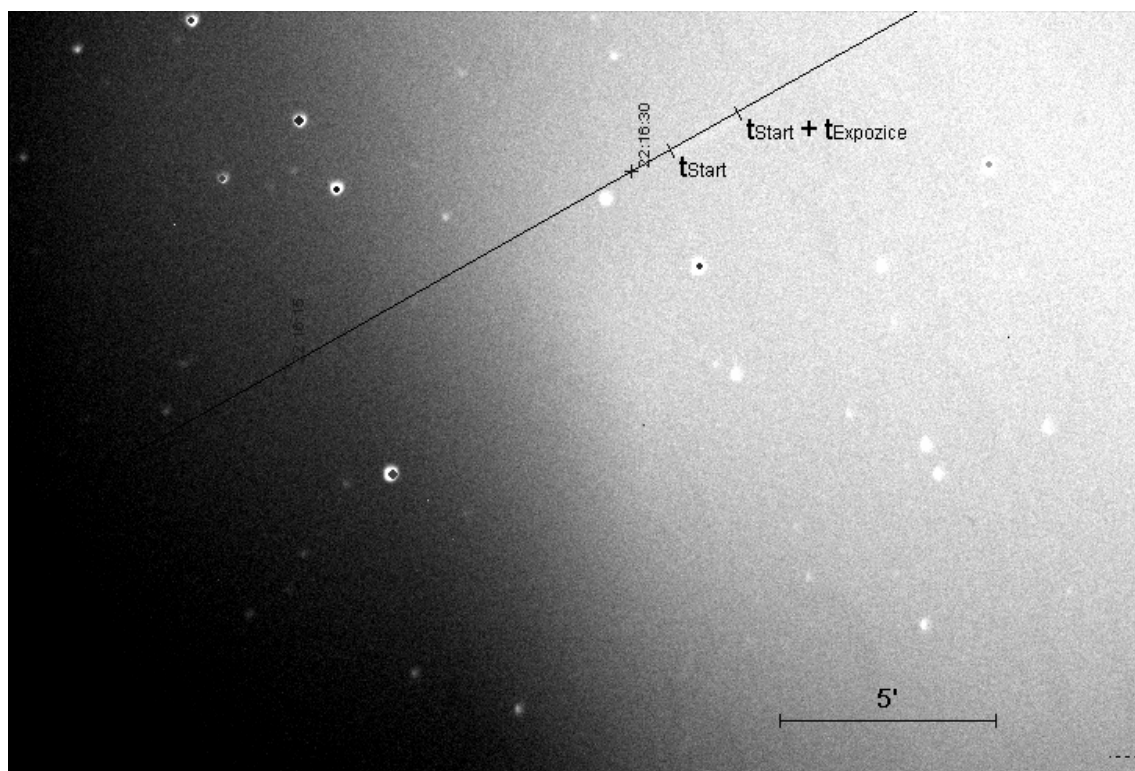


Tento graf zobrazuje celkový počet objektů na Zemském orbitu oficiálně zapsaných v katalogu U. S. Space Surveillance Network.

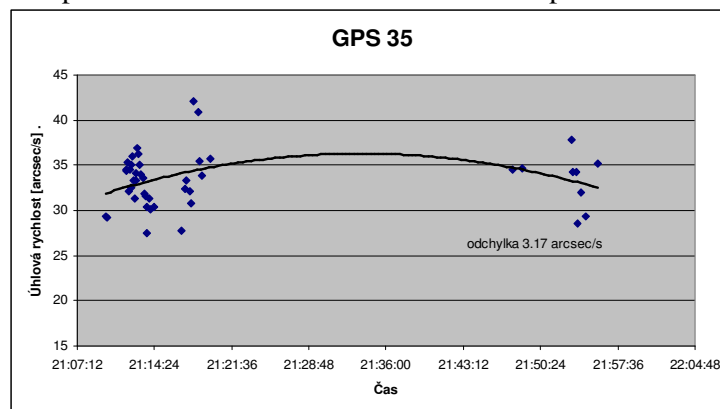


2 Analýza snímků družic

Na Štefánikově observatoři v Praze na Petříně jsme nafotili snímky družice GPS35 (jedna z družic systému GPS) a následně je analyzovali. Analýza probíhala ve třech krocích. V prvním kroku jsme zkalibrovali měřítko CCD snímků za pomoci programů SkyMap a SkyMapToFit. A dále jsme v programu SkyMapToFit měřili úhlové rychlosti těchto družic. V posledním kroku jsme naměřené výsledky porovnali s jejich predikovanými rychlostmi.



Ukázka prostorové kalibrace CCD snímku se stopou družice GPS35



Graf naměřených úhlových rychlostí družice GPS35

3 Shrnutí

Porovnáním predikovaných úhlových rychlostí s naměřenými daty nám pro družici GPS35 vyšla odchylka 3.17 arcsec/s.

Analýza snímků družic je velmi důležitou součástí studia kosmu. Její využití je převážně spojeno s ochranou aktivních satelitů proti kosmickému smetí.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat panu Svobodovi i celému týmu za zorganizování fyzikálního týdne, rozšíření našich fyzikálních obzorů a mnoho nových pozitivních zážitků.

Také velmi děkujeme všem sponzorům.

Ale především patří velké díky našemu supervisorovi Ing. Martinu Němcovi za zasvěcení do problému a velkou pomoc při následném zpracovávání projektu a Ing. Martinu Fuchsovi za umožnění pozorování družic na Štefánikově observatoři na Petříně.

Reference:

- [1] Štefánikova Hvězdárna, Petřín, Praha <http://www.observatory.cz>
- [2] ING. NĚMEC, M. *Počítačové zpracování obrazu – analýza snímků družic*

Počítačové zobrazování fraktálních množin

L. Kadlčík*, M. Vahala**, E. Málik***

* Střední průmyslová škola Uherské Hradiště, KadlSoft@seznam.cz

** Gymnázium Plasy, vahala3@seznam.cz

*** Gymnázium Jeseník, Emik.Malik@gmail.com

Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo seznámení se základními fraktálními množinami, způsobem jejich konstrukce a zkoumání. Dále jsme poznali některé jejich vlastnosti a paradoxy.

1 Úvod

Fraktál je možno definovat několika způsoby, ovšem žádný z nich není vyčerpávající a univerzální. Nejvýznačnější vlastnost fraktálu je jeho soběpodobnost, tj. že se skládá z částí, které po zvětšení vypadají jako celek.

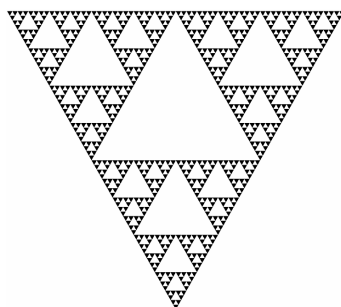
2 Klasické fraktály

Cantorova množina

Při konstrukci Cantorovy množiny začínáme s uzavřeným intervalem $<0; 1>$, který rozdělíme na tři stejné intervaly a vnitřek prostředního (bez krajních bodů) odstraníme. Vzniknou nám dva intervaly o třetinové délce, na něž opětovně aplikujeme předchozí postup.



S každou iterací (tj. opakování postupu dělení a odstraňování) se celková délka intervalu zmenšuje na $2/3$ předchozí délky a dvojnásobně narůstá počet krajních bodů. Po nekonečném počtu iterací zůstane z výchozího intervalu $<1; 0>$ nekonečně mnoho bodů a bude mít současně nulovou délku.



Sierpinského trojúhelník

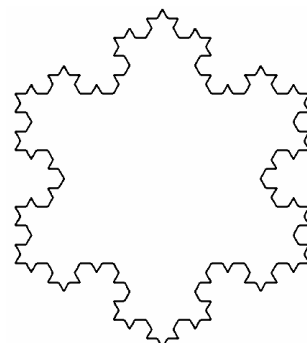
Dalším z jednoduchých fraktálů je Sierpinského trojúhelník. Vznikne rozdělením rovnostranného trojúhelníka středními příčkami na čtyři menší, přičemž vnitřek vnitřního trojúhelníku odstraníme. Zůstanou tři menší trojúhelníky, s nimiž výše popsany postup opakujeme.

Opakováním postupu do nekonečna dostaneme fraktál, jehož obsah je nulový a zároveň je obvod všech trojúhelníků dohromady nekonečně velký.

Kochova vložka

Výchozím objektem pro tvorbu Kochovy vložky je rovnostranný trojúhelník. Vložku poté konstruuje následujícím způsobem: Každou stranu trojúhelníku rozdělíme na tři stejné části, přičemž prostřední část odstraníme a na jejím místě ní vztyčíme rovnostranný trojúhelník. Tento postup poté opakujeme se všemi stranami.

S každou iterací se obvod vložky zvětší na $4/3$ předcházející hodnoty. Po nekonečném počtu iterací bude vložka sice obepínat konečnou plochu, ale její obvod bude nekonečný a navíc, přestože bude souvislá, po celém jejím obvodu budou vrcholy trojúhelníků, a tak k ní nebude možno v žádném místě sestrojit tečnu.



3 Fraktální množiny v komplexních číslech

Při tvorbě následujících fraktálů se jednotlivá komplexní čísla z Gaussovy roviny považují za počáteční prvky číselných řad a na základě, zdali řada konverguje k nule nebo naopak diverguje k nekonečnu se rozhoduje, zdali bod patří do množiny.

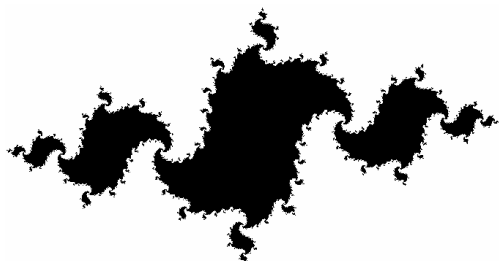
Juliova množina

Juliovu množinu vytvoříme následujícím způsobem. Nejdříve si zvolíme libovolnou komplexní konstantu c s absolutní hodnotou raději menší než 2. Poté procházíme Gaussovu rovinu a vybíráme z ní jednotlivá čísla, která slouží jako první člen (z_0) řady dané následujícím předpisem:

$$z_{n+1} = z_n^2 + c$$

Jinými slovy řečeno: Každý další člen řady získáme součtem konstanty c a druhé mocniny předchozího členu. Dále spočítáme dostatečné množství členů řady a pokud řada nekonverguje k nekonečnu, patří číslo vybrané z Gaussovy roviny do Juliovy množiny.

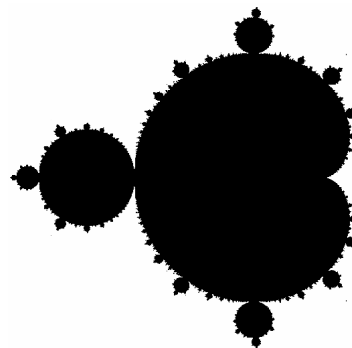
Juliova množina je středově souměrná podle počátku Gaussovy roviny ($0 + 0i$). Na obrázku vidíme Juliovu množinu pro $c = 0.3 + 0.5i$.



Mandelbrotova množina

Tvorba Mandelbrotovy množiny je podobná Juliově množině (opět z Gaussovy roviny vybíráme čísla a dosazujeme je do číselné řady a pokud řada nekonverguje k nekonečnu, patří číslo do množiny), ovšem s následujícími změnami: Čísla z Gaussovy roviny neslouží jako první člen z_0 , ale jako konstanta c ; v případě Mandelbrotovy množiny je počáteční člen z_0 roven nule.

Mandelbrotova množina je souměrná podle reálné osy a jedná se o jeden z nejsložitějších útvarů v rovině.



4 Iterované funkční systémy (IFS)

Iterované funkční systémy slouží ke generování fraktálů na základě soběpodobnosti. Hlavní myšlenkou je vytvoření jedné nebo více kopií základního objektu, na které se aplikují podobnostní transformace, tj. zrcadlení, otáčení, posun a škálování (smršťování a natahování ve směru souřadnicových os). IFS lze použít pouze na přesně soběpodobné fraktály.

5 Topologická a soběpodobnostní dimenze

Topologická dimenze udává, jakými druhy měr (délka, plocha, objem) lze popsat daný objekt. Například:

Příklad objektu	Možné rozměry	Topologická dimenze
Bod	Žádný rozměr	0
Úsečka	Pouze délka	1
Obdélník	Délka, plocha	2
Krychle	Délka, plocha, objem	3

Pro lepší pochopení podstaty soběpodobnostní dimenze si představme, že zmenšíme (z -krát) nějaký objekt a poté zkoumáme, kolik (n) kopií zmenšeniny by bylo možno umístit do objektu o původní velikosti. Soběpodobnostní dimenze poté udává vztah mezi počtem kopií (n) a zmenšením (z):

$$\dim_{\text{soběpodobnostní}} = \log_z n$$

Například dvojnásobně zmenšenou krychli je možno umístit do původní krychle osmkrát, její soběpodobnostní dimenze je tedy $\log_2 8 = 3$.

Jednoduché geometrické objekty mají soběpodobnostní dimenzi rovnou topologické dimenzi. U fraktálu je tomu jinak, jejich soběpodobnostní dimenze se od topologické liší a většinou ji ani nelze zapsat celým číslem. Čím větší je rozdíl mezi topologickou a soběpodobnostní dimenzí, tím je fraktál členitější.

Pomocí zmenšování a zkoumání, kolikrát je možno zmenšeninu umístit do původního fraktálu jsme určili, že soběpodobnostní dimenze Kantorovy množiny je $\log_3 2 = 0,631$, Sierpinského trojúhelníku je $\log_2 3 = 1,585$ a u Kochovy vložky $\log_3 4 = 1,261$.

6 Chaotické systémy

Chaotické systémy jsou takové systémy, které jsou velmi citlivé na vstupní parametry a za jistých okolností je jejich chování prakticky náhodné (chaotické), a to i přesto, že se v jejich předpisu nevyskytují žádné náhodné funkce nebo hodnoty.

Jednoduchým příkladem chaotického systému je logistická funkce, jež pomocí číselné řady popisuje vývoj populace v závislosti na čase. Její podoba je celkem jednoduchá:

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$$

Hodnota x udává stav populace v rozmezí 0 až 1, kdy 0 znamená úplné vyhynutí a 1 maximální počet jedinců. První člen součinu zajišťuje růst populace (množení), druhý zajišťuje zmenšování populace (vymírání v důsledku přemnožení). Konstanta r hraje ve vývoji velkou roli, jedná se o tzv. množivost, tj. míru, jak rychle se populace rozmnožuje.

Při hodnotách množivosti pod 1 populace vymře (x klesne na nulu), v rozmezí od 1 do 2 se její stav rychle ustálí, v rozmezí od 2 do 3 se po mnoha výkyvech opět ustálí, v rozmezí od 3

do 3,57 stav populace pravidelně kolísá a to s periodou, která se se zvyšováním množivosti zdvojnásobuje.

Nakonec při hodnotách nad 3 se stav populace náhodně mění. V těchto případech se chaotičnost projeví tak, že i při malé změně počáteční populace (x_0) se kolísání populace velmi změní.

7 Závěr

Fraktály a fraktální geometrie je zajímavou oblastí matematiky s rozsáhlým uplatněním, především v generování textur, počítačovém umění, analýze chaotických systému (například numerické modely vývoje počasí) nebo komprimování obrázků jejich převedením na IFS.

Poděkování

- Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT
- Nadačnímu fondu teoretické fyziky
- Energetické skupině ČEZ
- Supervizorovi Petru Bednaříkovi

Reference:

- [1] PEITGEN, JÜRGENS, SAUPE *Chaos nad Fractals* Springer, 2004.
- [2] PEITGEN, SAUPE *The Science of Fractal Images* Springer-Verlag, 1988.
- [3] TIŠNOVSKÝ *Fraktály v počítačové grafice* www.root.cz 2006.

Tučnák v Laboratoři

Martin Ledvina, Ondřej Perutka, Ondřej Zach

GJM.cz, SPŠ Uherské Hradiště, Gymn. T.G.M. Hustopeče

mcKidney@seznam.cz,

daemonx@centrum.cz,

ondrej.zach@centrum.cz

Abstrakt:

Práce představuje stručný přehled použití GNU/Linuxu v laboratoři (ale ne jenom tam). Čtenáře nejprve částečně zasvěcujeme do historie Linuxu, rozdílů pojmů Linux a GNU/Linux a nakonec přecházíme k několika příkladům použití GNU/Linuxu v praxi.

1 Úvod

Linux je jádro, které zprostředkovává komunikaci programů s počítačem, dnes se dobrovolníci zapojily takovým způsobem, že jádro Linux je jak v PC (Osobní počítač), tak v raritách jakou jsou hodinky, telefony, dokonce i multimediální mikrovlnné trouby. Tento článek se vám bude snažit nastínit jak to vypadá se světem, co dnes žije pod souhrnným označením "Linux".

2 Tělo příspěvku

2.1 Tučnákův životopis

Projekt o jádře systému "Linux" započal na půdě helsinské univerzity, kde student Linus Torvalds vyšel s cvičného jádra Minix, který byl vytvořen pro výuku tvorby operačních systémů. První vydání jádra proběhlo 17. září 1991. Následně díky neuvěřitelnému množství lidí podílejících se na vývoji Linux vycházel z pozice jednoduchého terminálového systému do jádra s podporou grafických rozhraní.

Další důležitou součástí života našeho tučnáka je vznik projektu GNU, který vznikl v roce 1983, a jeho usílí vytvořit kompletně svobodný operační systém. Jedním z hlavních počínů bylo vydání licence: "GNU General Public License", která specifikuje možnosti používání a distribuce zdrojových kódů. GPL umožňuje zdrojový kód použít a upravovat dále, ale výsledek musí být uvolněn opět pod licencí GPL a to bezplatně. Chybou je ovšem si myslet, že Open Source programy musí být zdarma, GPL licence totiž umožňuje libovolný poplatek za sestavený program.

Dnes je prakticky kterýkoliv program nutný pro běh osobního počítače zdarma, Linux je jádro, které dnes podporuje ohromné množství fyzických komponent a tak umožňuje vytvářet uživateli svoji vlastní pracovní stanici, kterou pak může použít kdykoliv.

2.2 Linux vs. Obecný pojem "Linux"

Jak bylo řečeno výše, Linux není to co se vám objeví na obrazovce poté, co si zapnete počítač. Lidé si to myslí a prohlašují, že linux neumí to či umí ono, ale Linux je jádro systému, je to hlavní program, který se stará o komunikaci ostatních programů a fyzického počítače. To co uživatel vidí a co s uživatelem komunikuje je takzvaná distribuce, která obsahuje systém aplikací rozdělený do balíčků. Distribuce existují už vytvořené, předvytvořené, které dovytváříme při instalaci.

2.3 GUI

Dnes je běžně používaný grafický systém označený zkratkou GUI, což znamená "Graphic User Interphace" - česky: "Grafické uživatelské prostředí". Těchto grafických systémů je hned několik, mezi nejznámější patří například KDE, GNOME nebo FluxBox. Každé z těchto grafických prostředí se vyznačuje vysokou flexibilitou, modifikovatelností a pro běžné uživatele také zjednodušením práce celým systémem.

2.4 Užitečné programy pro GNU/Linux

GIMP

GIMP nebo-li "GNU Image Manipulation Program" - česky: "GNU program pro úpravu grafiky", je program pro úpravu a vytváření rastrové grafiky. Práci na editoru GIMP zahájili v roce 1995 studenti Kalifornské univerzity v Berkeley Spencer Kimball a Peter Mattis. Původně tento program používal pro své grafické rozhraní proprietární knihovnu Motif. Později, aby se stal GIMP nezávislým, byla pro něj vyvinuta svobodná knihovna GTK (GIMP Toolkit), která se pak stala základem například pro známé grafické prostředí GNOME. Tento program oplývá hlavně svou jednoduchostí, nicméně je s ním možno pracovat i na profesionální úrovni. Podporuje také téměř všechny známe formáty rastrové grafiky (např.

PNG, JPG, GIF, TGA, TIF, BMP, XCF) a je možnost i importovat soubory vektorové grafiky typu SVG. Funkce jako grafické filtry, práce s kanály, vrstvami a cestami jsou samozřejmostí. GIMP je dnes oficiální součástí projektu GNU a je dostupný zdarma pod licencí GPL.

Blender 3D

Blender 3D je open-source software pro modelování a vykreslování 3D počítačové grafiky a animací. Tento program je založen na grafické knihovně OpenGL, která podporuje hardwarovou akceleraci vykreslování 2D a 3D objektů a díky níž je možná přenositelnost tohoto programu na více operačních systémů. Jak již jsem zmínil Blender je dostupný na mnoha operačních systémech (např. GNU/Linux, Mac OS X, Windows, IRIX, Solaris, FreeBSD) a v dnešní době představuje výraznou konkurenci známému 3DS Max. V Blenderu lze díky vestavěnému game enginu velmi jednoduše vytvářet i interaktivní 3D aplikace (počítačové hry, architektonické, vědecké a průmyslové vizualizace) a hlavně uživatel nemusí mít žádné programátorské dovednosti, aby byl schopený vytvořit jednoduchou interaktivní aplikaci, ale druhé straně lze využít zkušeností ze skriptovacího jazyka Python. Blender je také jeden z mnoha programů zdarma distribuovaných pod licencí GNU GPL.

LaTeX

LaTeX (čte se la-tech nebo lei-tech) je typografický nástroj vytvořený Leslie Lamportem. Je to vlastně balík maker programu TeX, který umožňuje psaní dokumentů pro které je možné používat profesionální typografické styly a zároveň je možné oddělit samotný text od stylu, takže je možné vypracovat text, který je dále upravován přímo profesionály. V dnešní době je také portován do nejrozličnějších "User Friendly" aplikací pro zjednodušení práce a jsou vytvářeny také různé nádstavby (např. Beamer - pro tvorbu prezentací). Tvorba vzorců ať už matematických, fyzikálních nebo chemických je samozřejmostí.

GNUPlot

Program GNUPlot se používá ke grafickému ztvárnění matematických funkcí, složitých grafů a fraktálů. Samozřejmostí jsou popisky os (x, y, z) a legenda. S vygenerovaným 3D-grafem můžete v okně prohlížeče libovolně otáčet. Na problém nenarazíte ani při zpracování více grafů zároveň, GNUPlot zvládá dávkové zpracování. GNUPlot se ovládá z příkazové řádky, i přesto není jeho ovládání příliš složité. Na internetu naleznete spoustu průvodců, kteří vás postupně práci s tímto GNUPlotem naučí. Program zvládá export do souboru ve formátech *.png, LaTeX, PostScript apod.

GNUPlot patří mezi tzv. svobodný software, má volně přístupný zdrojový kód, uživatel si jej může jakkoliv modifikovat, distribuovat ho však může jen omezeně.

Pokud Vás GNUPlot zaujal a nevlastníte GNU/Linux, nemusíte zoufat, protože je k dispozici pro řadu operačních systémů, jako Windows, MacOS, DOS a další.

3 Shrnutí

Linux není jen prací prášek a planetka, ale také výborný operační systém, který určitě stojí za to vyzkoušet, proč? To jste se snad dozvěděl v tomto příspěvku.

Poděkování

Děkujeme kolektivu z Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického. Sponzorům fyzikálního týdne a hlavně panu inženýru Robertu Strakovi.

Reference:

- 0 ... *gnuplot homepage* Open Source 2006 <http://gnuplot.info/>
- 1 ... *Blender.org* Stichting Blender Foundation 2006 <http://www.blender.org>
- 2 CSTUG C/O FEL ČVUT *LaTeX manuál* CSTUG 2006 <http://www.cstug.cz/>

Využití radionuklidové rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek

R. Bulín, Gymnázium Plasy

H. Fartáková, Gymnázium Jiřího Gutha-Jarkovského, Praha 1

Rbulin@seznam.cz, H.MIA@seznam.cz

Abstrakt:

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza je metoda, která používá charakteristické záření vybuzeané ve vzorku k určení přítomnosti zájmových prvků. Metoda využívá zdroj budícího záření (radionuklidu), s jehož pomocí dojde k tzv. fotoefektu na zkoumaném prvku. Pomocí tohoto postupu se zjistí složení zkoumaného vzorku, čehož se využívá při studii památek.

1 Úvod

Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza je postavená na principu tzv. fotoefektu. Při fotoefektu dochází k vyražení elektronu z některé vnitřní slupky elektronového obalu atomu fotonem, který přichází z radionuklidu a volné místo se zaplní přeskokem elektronu z některé z vnějších slupek. Při tomto přechodu se uvolní kvantum energie, která je snímána detektorem. Rentgenfluorescenční analýza předpokládá, že existuje závislost mezi energií jednotlivé čáry charakteristického záření a protonovým číslem prvku. Tento zákon objevil H. G. J. Moseley a zní:

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

kde K a b jsou konstanty a E je energie čáry v dané sérii, Z je protonové číslo. Každá čára charakteristického záření má určitou energii. Pokud ji změříme detektorem, můžeme říci z jakého prvku čára vychází, a tedy můžeme zjistit složení vzorku. Jako zdroje záření se používají ^{55}Fe , ^{238}Pu , ^{109}Cd , ^{241}Am , ^{57}Co . Každý zdroj lze využít pouze v určitém rozsahu protonových čísel. Je důležité, aby energie budícího záření ležela nad absorpčním prahem sledovaného prvku. Existují i různé typy detektorů: polovodičový, proporcionální, scintilační.

2 Kalibrace

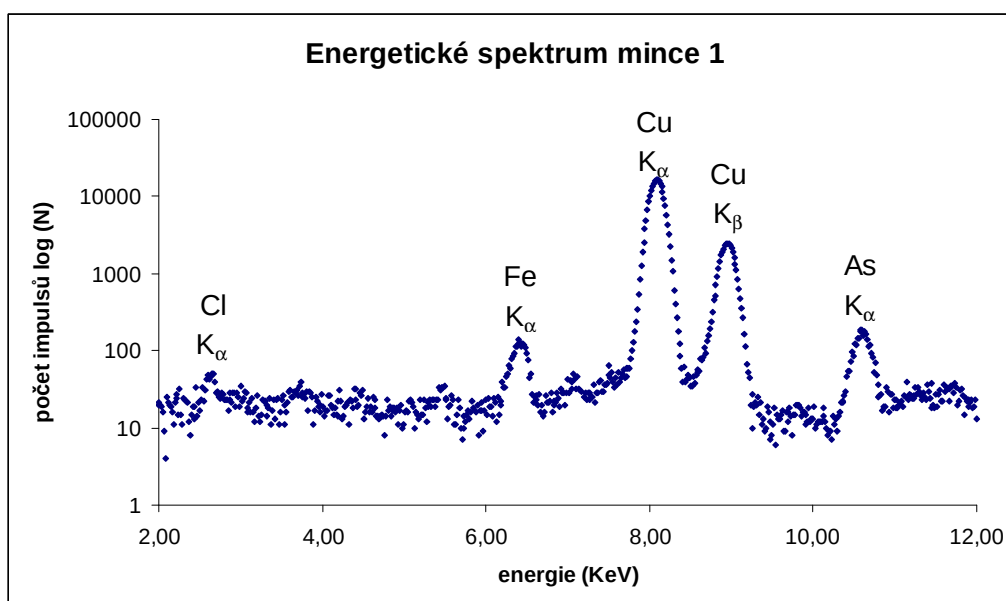
Při měření jsme používali ^{238}Pu , které je vhodné k detekci prvků s protonovým číslem menším než 39. K dispozici jsme měli polovodičový detektor (Si aktivovaný Li), který se musí chladit na teplotu kapalného dusíku, ale má vysokou energetickou rozlišovací schopnost.

Před vlastním měřením je nutné provést kalibraci měřícího přístroje. K tomu nám posloužila kalibrační destička obsahující tyto prvky: V, Fe, Zn, As, Br, Sr. Kalibrace spočítá v tom, že známe energie K-linií daných prvků. Tyto hodnoty jsme přiřadili k odchylkám na grafu, který se objevil na obrazovce detektoru.

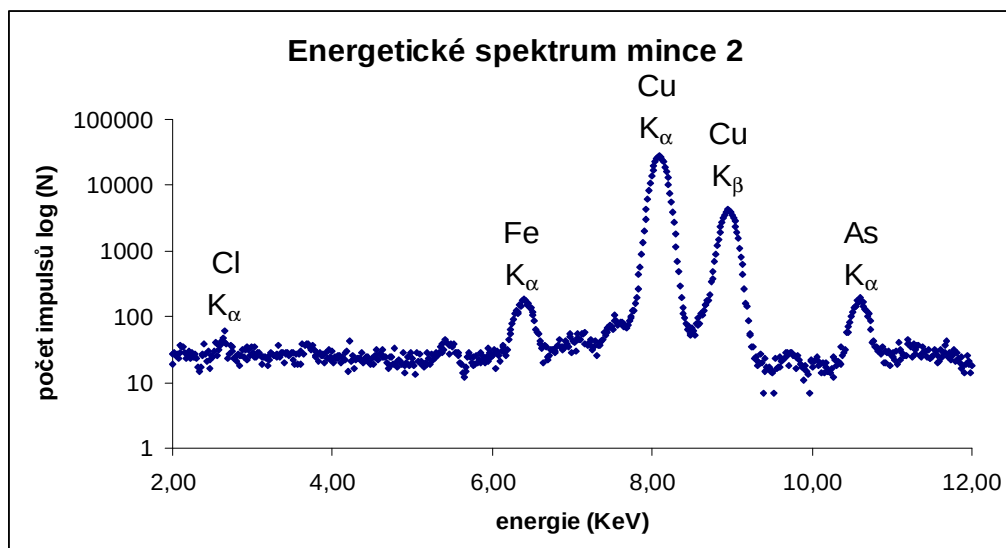
Standard E (KeV)				
	Tabulkové hodnoty		Naměřené hodnoty	
Prvek	K_{α}	K_{β}	K_{α}	K_{β}
V	4,96	5,43	4,96	5,45
Fe	6,403	7,057	6,405	7,058
Zn	8,638	9,57	8,643	9,59
As	10,543	11,75	10,554	-
Br	11,923	15,29	11,922	-
Sr	14,16	15,83	14,160	-

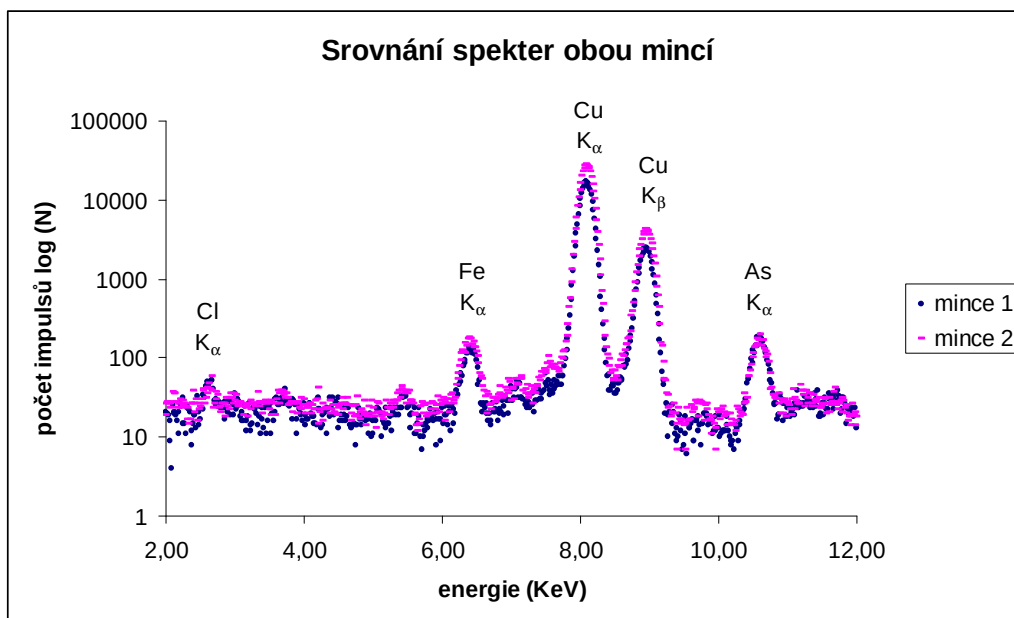
3 Měření a výsledky

Měřili jsme složení prvků dvou mincí. První mince pocházela z roku 1851, z Rakouska-Uherska. Jednalo se o půl krejcar.



Druhá mince byla krejcar z roku 1816, opět Rakouská.





4 Shrnutí

Z grafu, shrnující naše měření, je patrné, že obě mince jsou téměř totožného složení, a tedy byli vyrobeny i ve stejné době. Dominantním prvkem je měď. Dále zde můžeme objevit železo a arsen. Zjištěna byla i přítomnost chloru, který však pochází z obalu mincí. Kromě těchto prvků se v mincích nachází stopové množství niklu a chromu. Na jejich plné rozlišení od pozadí bychom však potřebovali delší dobu měření. Naše výsledky dokazují, že se rentgenfluorescenční metoda využívá ke studiu památek, aniž by došlo k poškození zkoumaného vzorku.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing. Jiřímu Martinčíkovi za zasvěcení do problematiky a odbornou pomoc při práci na tomto monoprojektu, dále Prof. Ing. Tomáši Čecháčkovi za zapůjčení mincí.

Reference:

[1] T. ČECHÁK: *Radionuklidová rentgenfluorescenční analýza*, ČVUT

Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice

V. Slinták, J. Erban, P. Fojtů

SPŠ Uherské Hradiště, Gymnázium Dr. E. Holuba Holice,

Gymnázium Benešov

vlastik-vlastik@seznam.cz

Abstrakt:

Počítačové algebraické systémy (PAS) jsou programy, zabývající se symbolickou matematikou. Hlavní funkcí PAS je manipulace s matematickými výrazy v symbolické formě. V mnoha vědeckých oborech je zapotřebí počítat s velmi rozsáhlými výrazy, kde již lidský faktor nestačí. Narozdíl od lidí totiž počítač málokdy dělá chyby a hlavně má vyšší výpočetní výkon. Za těmito účely vzniká výkonný matematický software, který je schopen řešit i ty nejnáročnější výpočty.

1 Úvod

Jistě každý z nás se setkal s matematickou či fyzikální úlohou, kterou nemohl snadno vyřešit. Oproti předchozím generacím máme však výhodu v tom, že některé společnosti se zaměřily na vývoj algebraických aplikací. Tyto aplikace nám pomáhají zjednodušovat složité výrazy, rychle nacházet kořeny složitých rovnic, počítat s parametry, vytvářet 2D i 3D grafy...

Mezi nejrozšířenější programy patří jistě komerční Mathematica^[1] či Maple^[2], či volně dostupná Maxima^[3].

2 Mathematica

Program Mathematica umožňuje řešit algebraické výrazy nebo dokáže pracovat s numerickými výrazy. Jeho nezbytnou součástí je programovací jazyk, se kterým se dají řešit složité grafy, případně i vytvářet animace.

Výbornou pomůckou je rozsáhlý a komplexní help, ve kterém najdete i popisy jednotlivých funkcí. Existuje možnost rozšiřujících balíčků, které přidávají a definují nové funkce a konstanty. Tyto balíčky se většinou využívají externě a při každé práci se musí načítat znovu.

Grafy jsou samotnou kapitolou v tomto programu, lze vymodelovat prakticky vše. Výsledné modely mohou být exportovány do nejrůznějších grafických formátů, kde se mohou dotvořit potřebné efekty.

Na rozdíl od numerických programů, můžeme v Mathematice řešit i rovnice s neznámými a parametry tak, aby výsledek byl zachován s parametrem, případně i s dalšími proměnnými.

Rozdíly mezi numerickým a symbolickým zápisem, který používají algebraické programy:

<i>Numericky</i>	<i>Symbolicky</i>
$2/6 \rightarrow 0,333333$	$2/6 \rightarrow 1/3$
$3 + 6 = 9$	$2x + 3x = 5x$
$\text{Cos}(3,14159) = -0,99999$	$\text{Cos}(a) = -1$

Program Mathematica můžeme lehce použít i jako kalkulačku, např. pro výpočet faktoriálů jednotlivých čísel, a to dvojím způsobem:

```
In[1]:= 30!
Out[1]= 2652528598121910586363084800000000
```

Případně i v této podobě:

```
In[2]:= N[30!]
Out[2]= 2.6525285981219107 x 1032
```

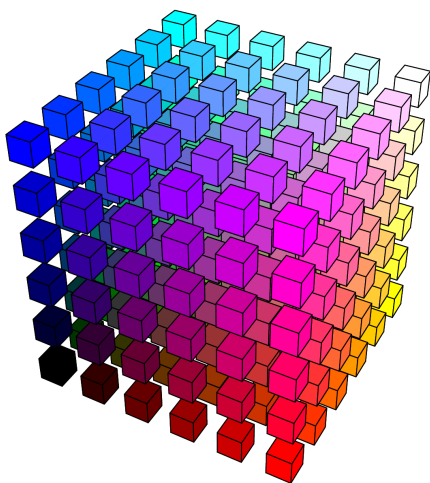
Pro výpočet rovnic můžeme použít např. funkci **Solve[]**:

```
In[4]:= Solve[x2 - 4x + 15 == 0, x]
Out[4]= {{x -> 2 - i Sqrt[11]}, {x -> 2 + i Sqrt[11]}}
```

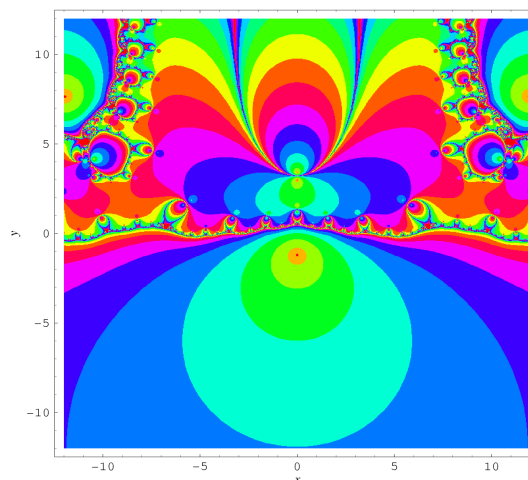
Parametr „ $x^2 - 4x + 15 == 0$ “ nám představuje danou rovnici, druhý parametr zobrazuje hledanou neznámou.

Grafika

Práce s grafikou je v tomto softwaru velmi kvalitně vyřešena (v základní verzi boužel nelze otáčet náhledem, v tomto ohledu je lepší Maple^[2]), lze kreslit 2D i 3D grafy, prostorové útvary rozličných tvarů a např. počítat s fraktály.



Obr. 1 Útvar zvaný CUBOID



Obr. 2 Ukázka fraktálů

Na obrázku číslo 1 se nachází CUBOID, jehož zdrojový kód se nachází na další straně. Obr. 2 ukazuje fraktál vygenerovaný právě Mathematicou.

```
Show[
Graphics3D[
Table[
{RGBColor[i, j, k], Cuboid[10 {i, j, k}]}, {i, 0, 1, .2}, {j, 0,
1, .2}, {k, 0, 1, .2}]], Lighting → False, Boxed → False]
```

Ukázka práce s Mathematicou

Nejenom matematické operace se mohou řešit v Mathematice, ale i fyzikální rovnice a příklady. Pěkně a poměrně lehce se dá vypočítat vodorovný vrh:

Definujeme si funkci která bude počítat podle známého vzorečku pro vodorovný vrh počáteční výšku předmětu:

```
| h[t_, H_, g_] := H - 1/2 g t^2
```

Jak dlouho bude předmět letět? Tuto informaci zjistíme jednoduchým výpočtem:

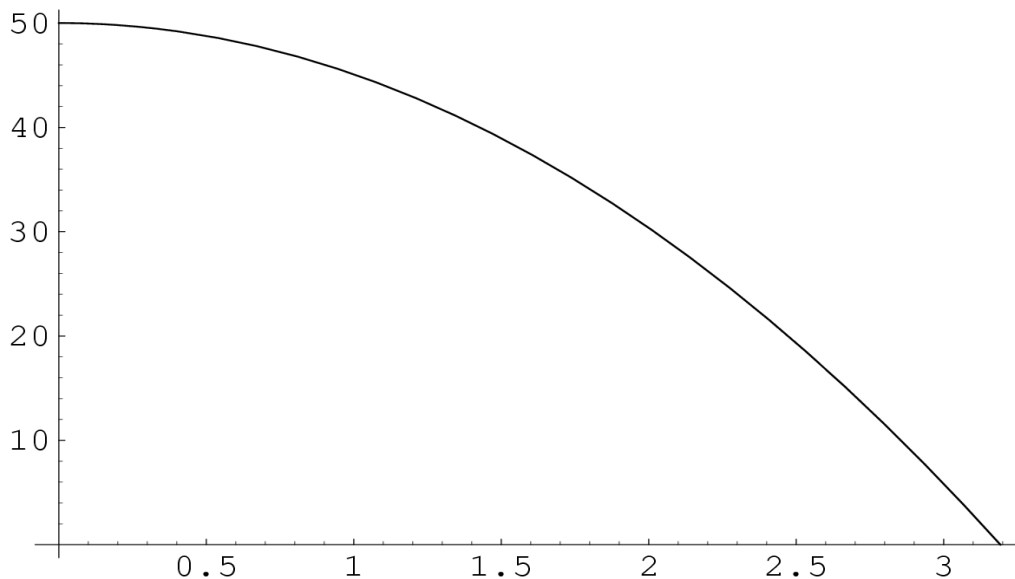
```
| tdopadu[H_, g_] := Module[{sol}, sol = Solve[h[t, H, g] == 0, t];
| td = Cases[ t /. sol, x_ /; x > 0]; td[[1]]]
```

Oba dva předchozí výpočty využijeme v následujícím příkazu, který nám vykreslí přehledný dvourozměrný graf:

```
| graf[H_] := Module[{g}, g = 9.81; Plot[h[t, H, g], {t, 0, tdopadu[H, g]}]
```

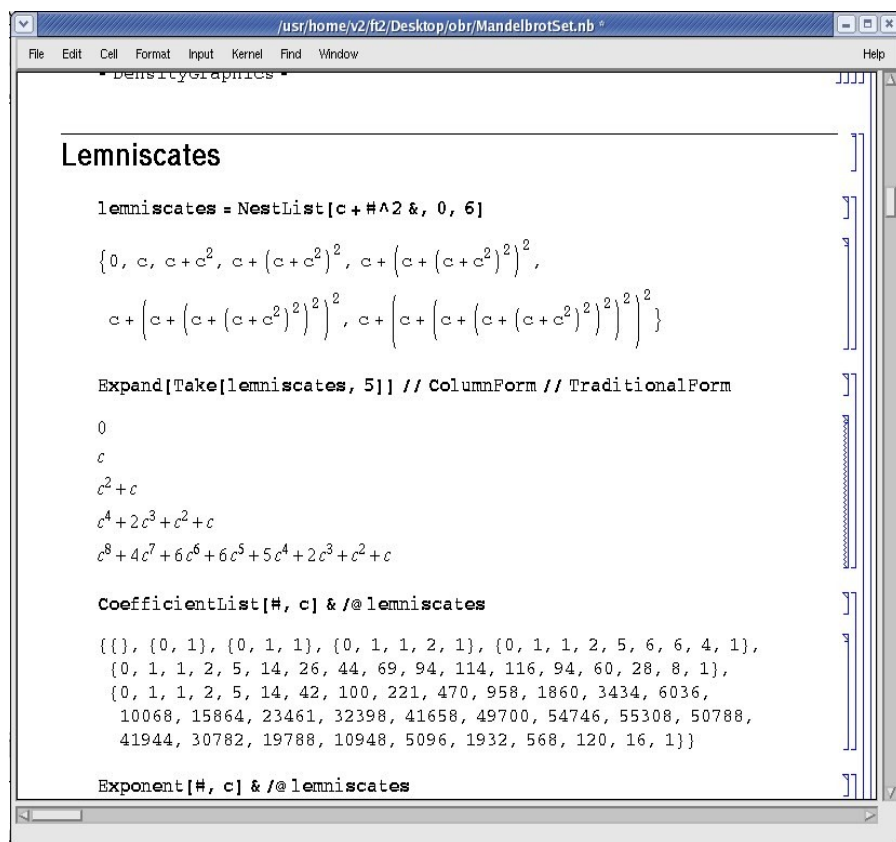
A nyní již výše zmíněný graf:

```
| graf[50]
```



Notebooky

Notebooky jsou další užitečnou věcí, kterou Mathematica přináší. V těchto souborech uschovává veškeré své výrazy, které uživatel sepsal, dále je může komentovat. Tyto soubory můžeme považovat za dynamické, jelikož funkce mohou být redefinovány, případně i změněny hodnoty (*rozmezí, hodnoty konstant ...*).



Obr. 3 Ukázka notebooku vytvořeného Mathematicou

3 Shrnutí

Algebraické systémy jsou jistě zajímavou alternativou pro výpočet matematicko-fyzikálních příkladů. Díky větší výpočetní kapacitě jsou schopny vypočítat dané příklady v mnohánásobně kratší době.

Poděkování

Děkuje našemu supervisorovi, Dr. Ing. Milanu Šiňorovi, který nás provedl taji algebraických systémů. Dále FJFI ČVUT, která poskytla prostory a technické zázemí. V neposlední řadě Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

Reference:

- [1] WOLFRAM RESEARCH INC. *Mathematica*, <http://www.wolfram.com/>
- [2] MAPLESOFT *Maple*, <http://www.maplesoft.com/>
- [3] *Maxima, a computer algebra system*, <http://maxima.sourceforge.net/>

Počítačová grafika

Blender & Gimp

Jana Veselá, SPŠS a VOŠ Chrudim, vesela.listicka@seznam.cz
Vojtěch Oram, Gymnázium a SOŠ, Frýdek-Místek, flaiming@draci.info
Václav Hanus, Gymnázium Česká 64, České Budějovice, vasah@seznam.cz

Abstrakt:

V tomto miniprojektu jsme se naučili pracovat s operačním systémem Linux a poznali jsme, jak se vytváří 3D grafika. Vyzkoušeli jsme si dvě metody vytváření 3D grafiky – pomocí jazyku C++ a pomocí programu Blender. Také jsme otestovali 2D grafický editor Gimp.

1 Úvod

Na našem trhu je mnoho grafických editorů, nemnoho jich je však zdarma. Ale i přes jejich nulovou pořizovací cenu mají překvapivě velké množství nástrojů, o čemž jsme se přesvědčili u programů Blender a Gimp. Představíme vám několik základních funkcí obou zmiňovaných programů a ukážeme jednoduché modelování, které zvládne i úplný začátečník.

2 Blender

Blender je velmi výkonný open source 3D modelovací program. Svými možnostmi se velmi přibližuje renomovaným programům jako 3D Studio Max nebo Maya. Oproti nim je ale naprosto zdarma, a to z něj dělá velmi atraktivní 3D modelovací nástroj. Dá se v něm vytvořit prakticky cokoliv. Ovládání nemá příliš intuitivní, nicméně po chvíli se v něm dá celkem dobře orientovat. Navíc k němu na internetu najdete mnoho anglicky i česky psaných tutoriálů.

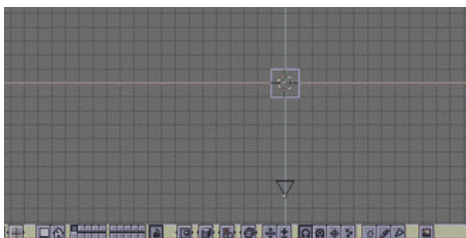
Základní uživatelské rozhraní

Při prvním spuštění je obrazovka rozdělena:

Info- zde naleznete obecné informace a také přepínače mezi různými typy rozdělení okna (viz dále) a mezi scénami.



3D okno - nejdůležitější část. Zde manipulujete se všemi objekty ve scéně.



V 3D okně vidíme kromě mřížky také růžový čtverec, podivný trojúhelník a červenobílý kruh. Růžový čtverec je objekt **plane**, který je standardní součástí každé nové scény. Onen dvoubarevný kruh je pak 3D kurzor. Je možné jej přemísťovat kliknutím levého tlačítka myši na místo určení. Pokud do scény vložíme nový objekt, objeví se právě na místě, kde se nachází 3D kurzor. Poslední objekt na scéně je kamera.

Když se podíváme na základní krychli pozorně, zjistíme, že má na každém vrcholu žlutý bod - vertex. Uprostřed krychle je pak ještě fialový bod. Tento bod určuje centrum k němuž se nejčastěji budou vztahovat globální operace s objektem, jako je rotace a změna velikosti.

To, že vidíte jednotlivé vertexy objektu, je způsobeno tím, že se objekt krychle nachází v editačním módu. V tomto módu můžeme manipulaci s jednotlivými vertexy deformovat tvar objektu a udělat tak třeba lidský obličej z krychle.

Základní operace s objektem jsou **přesun, rotace a změna velikosti**. Každou z těchto transformací je možné provést několika způsoby a to podle všech nebo také pouze podle jedné osy. Krychle ale musí být nejdříve označena (tj. že má růžové obrysy). Pokud není, snadno to napravíte kliknutím **pravého tlačítka** poblíž krychle.

Přesun můžete provést stisknutím **G**, přetažením na určené místo a potvrzením levým tlačítkem myši. Nebo také stačí držet pravé tlačítko myši a táhnout na místo určení a opět potvrdit levým tlačítkem. A nebo můžete čarovat a ovládat objekt gesty- přesuňte kurzor někam na prázdnou plochu 3D okna a se stisknutým levým tlačítkem myši nakreslete více či méně rovnou čáru – objekt lze také přesunout.

Pokud chcete krychli přesunout jen podle jedné osy, stačí když pohnete s objektem zhruba v požadovaném směru a stisknete **prostřední tlačítko myši**. Krychle se "srovná" s osou a bude možné ji přesunovat jen po ní.

Podobně jako přesun fungují i ostatní globální deformace. **Změna velikosti** se aktivuje tlačítkem **S** nebo čarou ve tvaru "**V**". Také změnu velikosti je možné provádět podle jednotlivých os.

Rotace má klávesovou zkratku **R** a gesto s myši v podobě kružnice. Rotace podle jednotlivých os zde ovšem funguje opačně. V normální režimu rotujete pouze podle jedné osy a stiskem prostředního tlačítka myši vyvoláte volnou rotaci v prostoru.

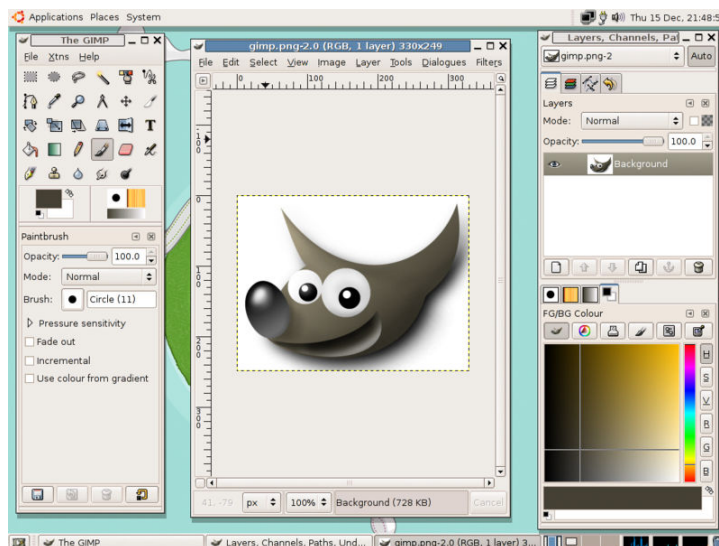
Dokud nepotvrdíte operaci levým tlačítkem myši, můžete se tím pravým vrátit do předešlého stavu.

Operace "rotace" a "změna velikosti" se vztahují ke středu objektu (tedy k tomu fialovému bodu uprostřed). Není to ovšem nezbytně nutná podmínka. Pro příklad si vezměme na pomoc třeba rotaci. Pokud nastavíme 3D kurzor mimo objekt a klikneme na červeně zakroužkované tlačítko, objekt bude rotovat kolem 3D kurzoru.



3 Gimp

Gimp je bitmapový grafický editor, který je vyvíjen jako open source. Původně běžel jenom na Linuxu, později ovšem pronikl i do ostatních operačních systémů. Stejně jako Blender je zdarma a díky tomu (a jeho velkým možnostem) je mezi uživateli velmi oblíben. Kromě standardních funkcí zde najdete mnoho skvělých nástrojů na úpravu fotografií, efekty apod. Není sice tak profesionální, jako například Adobe Photoshop, nicméně zvládne mnohé.



4 Shrnutí

Počítačová grafika představuje rychle se rozvíjející se odvětví aplikované informatiky, které vždy nalezne své uplatnění. Je skvělé, že i dnes se najdou takoví, kteří jsou ochotní dělat takto hodnotný software zdarma ☺.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat za umožnění realizace miniprojektu, a to především Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a všem sponzorům Fyzikálního týdne 2006. Dále naše poděkování směřuje k našemu supervizorovi Ing. Vladimíru Chalupckému za seznámení s grafickými aplikacemi.

Reference:

- [1] WWW.GRAFIKA.CZ - Česká stránka s tutoriály a postupy
- [2] WWW.BLENDER3D.ORG - Oficiální stránka programu Blender
- [3] [HTTP://WWW.SWEB.CZ/BLENDER/](http://WWW.SWEB.CZ/BLENDER/) - Stránka fandů Blenderu se zajímavými informacemi
- [4] [HTTP://WWW.GIMP.CZ](http://WWW.GIMP.CZ) - Oficiální stránka Gimpu

Numerické modelování proudění mělké vody

M. Výška, M. Macháček, O. Kraus

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Trojanova 13, Praha

martin.vyska@centrum.cz machacekmatous@gmail.com

ondrej.kraus@gmail.com

Abstrakt

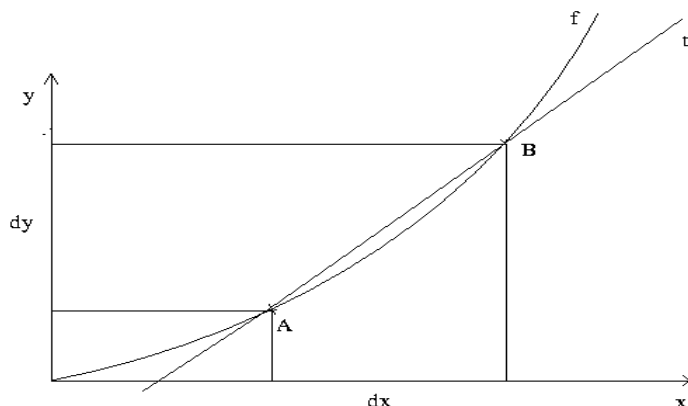
Naše práce se zabývá matematickým vyjádřením chování mělké vody. Naším cílem bylo vytvořit simulaci chování mělké vody za různých počátečních podmínek. K simulaci těchto jevů jsme použili program MATLAB. Podařilo se nám zjistit, co následuje po protržení hráze, co se stane, když se srazí vlny jdoucí proti sobě nebo jak se chová vlna pohybující se určitou rychlostí.

1 Úvod

Naším úkolem bylo simulovat chování mělké vody za různých počátečních podmínek. Pokusili jsme se simulovat situaci po protržení přehrady nebo srážky proti sobě jdoucích vln.

2 Matematika vln

Základním nástrojem pro popisování spojitého děje ve fyzice je diferenciální počet, který našli nezávisle na sobě Isaac Newton a Gottfried Wilhelm Leibnitz. Je to metoda, jejíž pomocí můžeme rozdělit takový děj na nekonečně malé úseky a s nimi pracovat.



Na obrázku vidíme funkci f a její sečnu t , procházející body A a B. Pokud by jsme bod B po křivce fce f přibližovali k bodu A a tím zmenšovali intervaly dx a dy , přímka t by se stále víc blížila tečně fce f v bodě A, a tudíž úhel, který svírá přímka t s osou x by se stále více blížil okamžitému sklonu

tečny fce f v tomto bodě A. Pokud položíme $\Delta x \rightarrow 0$ a spočítáme limitu $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$, získáme funkční závislost okamžitého úhlu který svírá tečna grafu fce f v bodě x na x . Tato limita se označuje jako $\frac{df(x)}{dx}$ a tento postup jako derivace fce f . Derivace mají kromě určení směrnice

křivky velký význam ve fyzice, např. okamžitá rychlost je definována jako $v = \frac{ds}{dt}$ kde ds je

nekonečně malá změna dráhy a dt je nek. malá změna času. Obdobně pro zrychlení platí $a = \frac{dv}{dt}$

apod.

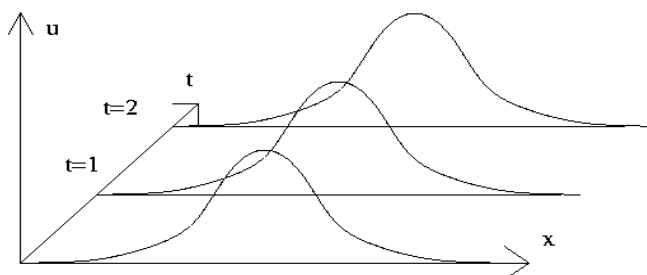
Mnohem častější z pohledu reálného světa jsou ovšem funkce s více proměnnými než s jednou, třeba se dvěma. Můžeme mít např. fci $u(x,t)$. Grafem takové fce je nějaká plocha a proto když zjišťujeme směrnicí této fce musíme vždy říct ve směru jaké osy směrnicí určujeme. Jako přirovnání lze uvést příklad horského úbočí, kde sklon kopce záleží na směru, kterým se vydáme. Proto můžeme derivovat derivovat fci u podle x nebo podle t a druhá proměnná je konstanta. např. u fce $u = xt$, derivace podle

x : $\frac{\partial u}{\partial x} = t$ a podle t : $\frac{\partial u}{\partial t} = x$ udávají vždy sklon fce ve směru osy x a ve směru osy t . Těmto

derivacím se říká parciální derivace a rovnicím, které je obsahují parciální diferenciální rovnice. A protože těmito rovnicemi se řídí pohyb vody, dříve než přikročíme k vlastnímu tématu tohoto článku, podíváme se ještě na tyto rovnice.

Parciální diff. rovnicí je např. rovnice $\frac{\partial u}{\partial t} + a \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ kde a je parametr. Je důležité si uvědomit, že

když v obyčejných rovnicích hledáme konkrétní hodnotu neznámé a v obyč. diferenciálních rovnicích (ty obsahují pouze jednu derivaci) hledáme funkci jedné proměnné, u parc. diff. rovnic hledáme funkci dvou proměnných. Proto pro řešení takové rovnice musíme ještě znát počáteční podmínky, tzn. např. tvar fce $u(x,t)$ v čase $t = 0$. Tato rovnice konkrétně se nazývá advekční rovnice a popisuje šíření vlny v daném prostředí. Rychlost toho, jak se vrchol této fce $u(x,t)$ putuje v čase (podél časové osy) udává parametr a . U této fce všechny body putují stejnou "rychlostí" a , a tudíž vlna zachovává svůj tvar.



Pro modelování tohoto děje na počítači musíme zavést nějaké schéma, podle kterého bude počítač vykreslovat pohyb vlny. Je výhodné že u této rovnice známe i analytické řešení (což se nedá říct o většině parc. diff. rovnicích) a tudíž můžeme kontrolovat přesnost tohoto numerického řešení podle daného schématu.

Na ose x určíme interval $-b$ až b a tento interval rozdělíme na N dílků (co největší N). Časovou osu t rozdělíme také na dílky. Dílky na ose x budou pojmenovány jako $i, i+1, i+2, \dots$ dílky času jako $n, n+1, n+2, \dots$

Pak můžeme psát, že: $\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t}$ kde u_i^{n+1} je hodnota fce $u(x,t)$ v místě i a v čase $n+1$ (platí

$$u_i^n \approx u(-b + i\Delta x, n\Delta t)$$

Analogicky můžeme psát $\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}$ aproximace jsou zde proto, že Δx a Δt nejsou

nekonečně malé. Nyní se dostáváme k samotné metodě výpočtu. Zavedeme si fci u_0 , pro kterou platí $u(x,0) = u_0(x)$

Ještě potřebujeme fci $x(i) = (-b + \Delta x (i-1))$ tudíž: $u_0(x) = u_0(-b + \Delta x (i-1)) = u_i^0$

Nyní aproximace dosadíme do rovnice:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} + a \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x} = 0 \text{ a vyjádříme člen } u_i^{n+1}$$

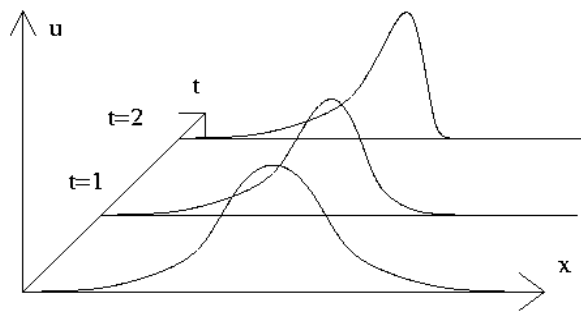
$u_i^{n+1} = u_i^n - a \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{i+1}^n - u_i^n)$ pokud nyní v této rovnici dosadíme $n=0$ dostaneme:

$u_i^1 = u_i^0 - a \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{i+1}^0 - u_i^0)$ a u_i^0 známe, to je totiž naše funkce v čase 0. Pomocí ní uvedeným

postupem vyjádříme funkci $u(x)$ v čase $n=1$ a z té zase fci $u(x)$ v čase $n=2$ atd. To je samozřejmě nesmírně zdoluhavý výpočet, ovšem to počítači nečiní problém. Tomuto schématu se říká diferenční schéma. Je nutné dodat že tímto postupem nezískáme vlastně přesnou fci $u(x)$ v čase n , ale množinu čísel kde k číslu u je přiřazeno číslo x v čase n , a těchto číselných údajů je na každém časovém úseku N . Také toto numerické řešení je pouze přibližné.

Složitější už je tzn. burgersova rovnice $\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ kde rychlost pohybu vlny je dána v každém

okamžiku výškou vlny a tudíž horní část se pohybuje rychleji než spodek a tudíž vlna mění svůj tvar. Důsledkem je vznik tzv rázové vlny, kterou můžeme pozorovat např. když letadlo překonává rychlost zvuku. Vlna vypadá asi takto:



Pokud chceme u takové rovnice sestavovat diferenční schéma, je výhodné zavést fci $f(u)$ tak aby se dalo psát $\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial f(u)}{\partial x} = 0$

$$\partial f(u) = u \partial u \text{ a integrací } f(u) = \int u \partial u = \frac{1}{2} u^2$$

Je nutné dodat, že pokud je rychlost $a(u)$ kladná, musíme použít v diff. schématu derivaci zleva, tzn. $\frac{f(x) - f(x - \Delta x)}{\Delta x}$ pokud je rychlost záporná, použijeme derivaci zprava (viz def. na začátku článku).

Potom v daném diferenčním schématu nahradíme členy v závorce a použijeme derivaci zleva, protože rychlost u je zřejmě kladná. také u advekční rovnice platilo, že $a < 0$.

$u_i^{n+1} = u_i^n - a \frac{\Delta t}{\Delta x} (f_i^n - f_{(i-1)}^n)$ výpočet, jelikož známe konkrétní fci $f(u)$ bude ovšem stejný.

Po dlouhém úvodu se nyní dostáváme ke konkrétním rovnicím pro proudění vody. Ta je popsána 4-mi veličinami rychlost v , čas t , dráha x a výška hladiny h . Platí $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} = 0$ a

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial x} = 0 \text{ kde } g \text{ je tíhové zrychlení.}$$

Když vytváříme diferenční schéma u těchto rovnic, pro modelování vody, nahradíme si:

$h = u_1$ a $hv = u_2$ nyní můžeme rovnice přepsat do tvaru:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial(u_2)}{\partial x} = 0 \quad \text{a} \quad \frac{\partial(u_2)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\frac{u_2^2}{u_1} + \frac{1}{2}gu_1^2\right)}{\partial x} = 0$$

Zavedeme fci $F(u_1, u_2)$ a dosadíme: $\frac{\partial(u_2)}{\partial t} + \frac{\partial F(u_1, u_2)}{\partial x} = 0$

Differenční schémata budou nyní vypadat takto:

$$u_{1i}^{n+1} = u_{1i}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{2i+1}^n - u_{2i}^n) \quad \text{a} \quad u_{2i}^{n+1} = u_{2i}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (F_{i+1}^n - F_i^n)$$

Opět, pokud chceme počítat konkrétní čísla musíme znát počáteční fce $u_{01}(x)$ v čase $t = 0$

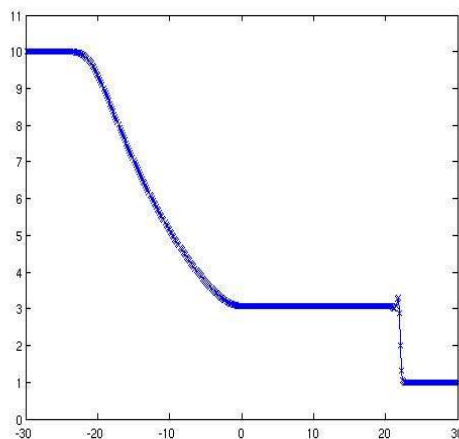
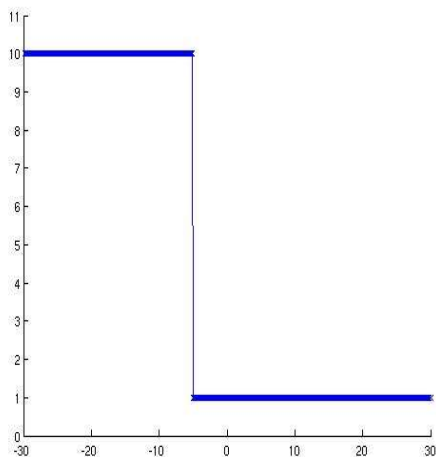
a $u_{02}(x)$ v čase $t = 0$.

Toto dosazení do schématu u složitějších rovnic, už ale záleží na tvaru počátečních podmínek, a tudíž toto schéma které jsem zde použil je jen pro specifické případy. Obecně používáme a kombinujeme několik druhů schémat, jak kvůli přesnosti, tak kvůli stabilitě výpočtu, aby nenarůstala chyba. Nicméně způsob dosazování do těchto schémat je velmi podobný. Jako příklady uvedu Lax-Friedrichovo schéma pro advekční rovnici, které je stabilní pro kladnou i zápornou rychlost:

$$\frac{u_i^{n+1} - \frac{1}{2}(u_{i+1}^n + u_{i-1}^n)}{\Delta t} + \frac{a}{2 \Delta x} (u_{i+1}^n - u_{i-1}^n) = 0$$

Tyto schémata jsme použili pro modelování pohybu mělké vody, které se dá provést např. v programu Matlab.

Obrázky ze simulace protržení přehrady. 1. obrázek představuje přehradu, 2. pak situaci několik sekund po protržení kdy se vepředu vytvoří rázová vlna a za ní vlna zředění.



3 Shrnutí

K řešení našeho problému jsme museli použít parciální diferenciální rovnice a s tím spojenou parciální derivaci (tzn. derivaci funkce s více proměnnými). Využili jsme programu MATLAB pro snadné grafické znázornění problému a jeho řešení. Podařilo se nám úspěšně odvodit diferenční schémata pro tyto parc. diff. rovnice a simulovat rázové vlny, zajímavým případem byla situace po „protržení“ hráze, kdy se hladina vyrovnávala velmi rychle a vznikla rázová vlna.

Poděkování

Poděkování za laskavý dohled a pomoc našim supervisorům Doc. Ing. Richardu Liskovi, Csc. a Ing. Milanu Kuchaříkovi.

Numerické modelování dynamiky ideálního plynu

M. Havrila, Gymnázium Jeseník, carver@email.cz
P. Loutocký, Gymnázium J. Wolker, loty.shf@seznam.cz
M. Nečada, Gymnázium Jihlava, [mmn_rps\(at\)centrum.cz](mailto:mmn_rps(at)centrum.cz)

Abstrakt:

Úkolem miniprojektu bylo numericky modelovat dynamiku ideálního plynu, neboť analytické řešení dynamiky plynů je ve většině případů nemožné. Pro výpočty bylo užito zákonů zachování hmoty, hybnosti a celkové energie, dále též stavové rovnice ideálního plynu. K výpočtu a vykreslení simulace bylo užito prostředí MATLAB.

1 Úvod

Ideální plyn jest takový plyn, jenž má (narozdíl od plynu skutečného) některé ideální vlastnosti: je dokonale stlačitelný, bez vnitřního tření a částice takového plynu musejí splňovat následující podmínky:

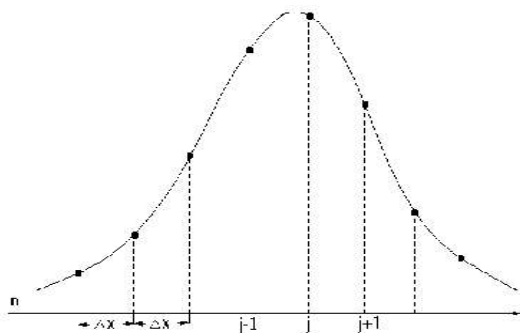
1. rozměry částic jsou zanedbatelné vzhledem ke vzdálenostem mezi nimi,
2. kromě srážek na sebe částice jinak nepůsobí,
3. celková kinetická energie částic se při vzájemných srážkách nemění.

Ideální plyn se používá ke zjednodušenému zkoumání vlastností a chování plynů při mechanických a termodynamických dějích. Pro termodynamické děje v plynech platí stavová rovnice.

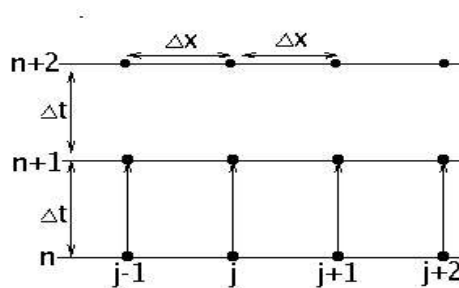
Numerické modelování se používá při simulaci fyzikálních dějů, které nelze řešit analyticky, lze je ale po jednotlivých krocích vypočítat – modelovat.

2 Numerické výpočty

Při numerických výpočtech se používají nespojitě (diskrétní) hodnoty. Na začátku byl dán průběh funkce (zobrazen na grafu obr.1), který určoval počáteční stav systému.

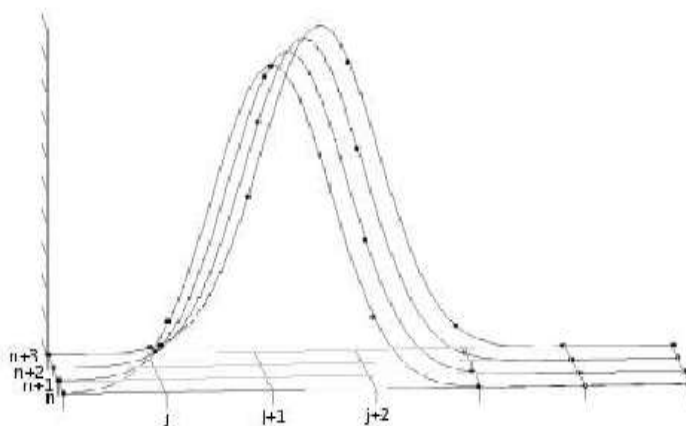


Obr. 1



Obr.3 Výpočetní mřížka

Z funkce vybereme určité body, s nimiž budeme pracovat a provedeme tzv. diskretizaci. Pro výpočty se získanými hodnotami použijeme mřížku (obr.3), což je pohled (pole) na průběh funkce v horizontálním řezu. Graf na obr.1 tvoří jednu vrstvu výpočetní mřížky. Další vrstvy v mřížce jsou tvořeny následně vypočítanými hodnotami, které vypovídají o chování systému v čase. Pohled na jednotlivé vrstvy mřížky v prostoru je na obr.2.



obr.2

Abychom byli schopni počítat jednotlivé hodnoty v mřížce, musíme znát jednotlivé zákony, z nichž budeme vycházet.

Pro ideální plyn jsou Eulerovy rovnice popisující zákony zachování veličin v plynech.

- zákon zachování hmoty $\rho_t + (\rho u)_x = 0$
- zákon zachování hybnosti $(\rho u)_t + (\rho u^2 + p)_x = 0$
- zákon zachování celkové energie $E_t + (u(E + p))_x = 0$
(ρ – hustota, u – rychlost, p – tlak, E – celková energie)

tlak p vypočteme ze stavové rovnice $E = \frac{p}{\gamma - 1} + \rho \frac{u^2}{2}$

(protože máme tři neznámé, musíme mít tři množiny vstupních diskrétních hodnot pro ρ , E , u ; $\gamma=1,4$ zde označuje plynovou konstantu)

3 Diferenční schemata

- používají se pro advenční rovnice

Lax – Friedrichsovo schema (nepřesné, vytváří tzv. difúzi(zaoblení))

$$\frac{u_j^{n+1} - (u_{j+1}^n + u_{j-1}^n)/2}{\Delta t} + a \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2 \Delta x}$$

Lax – Wendroffovo schema (nepřesné, vytváří disperzi (oscilaci))

$$\frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\Delta t} + \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2 \Delta x} = \frac{a^2 \Delta t}{2} * \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{2 \Delta x^2}$$

pro složitější rovnice (např. Eulerovy rovnice) používáme složená schemata LWLFn, tzn., že n -krát použijeme LW schema a jednou LF.

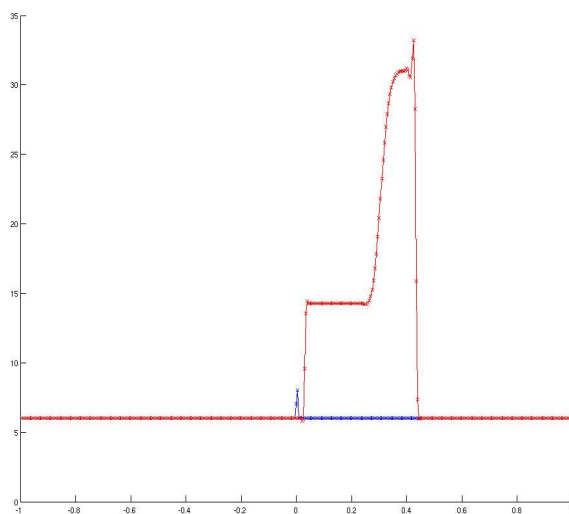
4 Výsledky a shrnutí pro ideální plyn

V programu MATLAB jsme simulovali stavy ideálního plynu při určitých daných podmínkách.

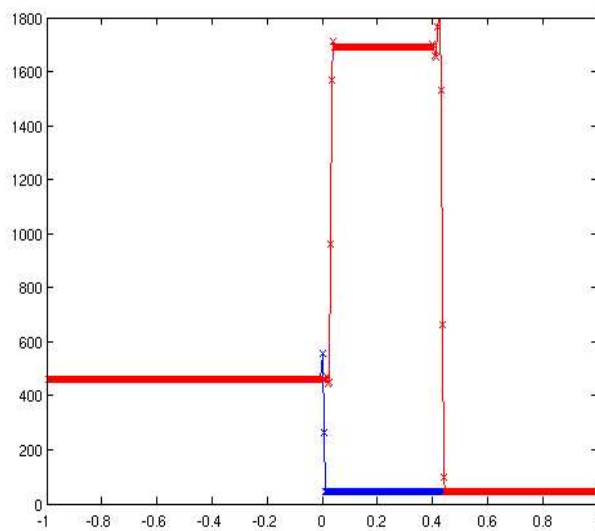
Provedli jsme test kvality numerického modelování. Test jsme řešili pomocí LF a LW schémat. Vymodelovali jsme teoretickou situaci, kdy jsou dány dva plyny, jež jsou na počátku odděleny přepážkou. Ta se při započetí výpočtu odstraní.

Výchozí podmínky byly dány např. takto:

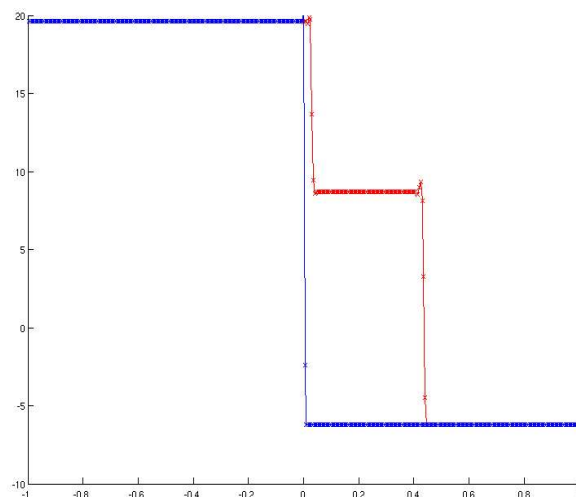
- hustota plynu vlevo 5.99924, vpravo 5.99242
- rychlost plynu vlevo 19.5975, vpravo -6.19633
- tlak plynu vlevo 460.894, vpravo 46.0950



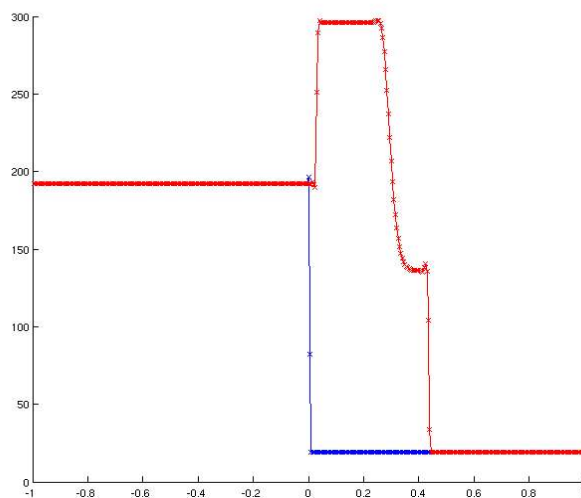
Obr. I Rozložení hustoty plynu v prostoru na počátku a v daném časovém okamžiku simulace.



Obr. II Rozložení tlaku plynu v prostoru na počátku a v daném časovém okamžiku simulace



Obr. III Rozložení rychlosti plynu v prostoru na počátku a v daném časovém okamžiku simulace



Obr. IV Rozložení vnitřní energie plynu v prostoru na počátku a v daném časovém okamžiku simulace

Při numerickém modelování fyzikálních systémů se setkáváme s řadou nepřesností, jež jsou způsobeny omezenou přesností numerických hodnot a nahrazením derivací diferenciacemi.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT v Praze a Ing. Vojtěchu Svobodovi za pořádání Fyzikálního týdne. Zvláštní poděkování patří našim supervizorům Doc. Ing. Richardu Liskovi, CSc. a Ing. Milanu Kuchaříkovi, že to s námi zvládli a zasvětili nás do problematiky.

Reference:

[1]Toro,F.E.: Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics : A Practical Introduction (Hardcover)

Jsou pro nás rentgenová vyšetření nebezpečná?

J. Fojtíková
Gymnázium MB, Palackého 191/1
jaruska.foj@seznam.cz

J. Farták
Gymnázium Sušice
farrin@centrum.cz

V. Růžička
Katolické gymnázium Třebíč, Otmarova 22
viktor.ruzicka@seznam.cz

Abstrakt:

Náš miniprojekt měl za cíl zjistit, zda jsou rentgenová vyšetření plic nebezpečná, tím že se zvýší riziko vzniku maligních karcinomů (zhoubné nádorové bujení). Stanovovali jsme orgánové dávky a efektivní dávku. K měření dávek byly použity TL dozimetry, antropomorfní fantom a rentgenový přístroj, který se běžně používá v českých nemocnicích. Výsledné hodnoty byly porovnány s výpočetním programem. Zjistili jsme, že pokud jsou rentgenová vyšetření odůvodněná a správně provedená, tak přínos pro pacienta je podstatně větší než újma z ozáření.

1 Úvod

Díky rentgenovým vyšetřením můžeme zjistit diagnózu pacienta, ale zároveň tak pacientovi ublížit, jelikož rentgenové záření může narušit strukturu buněk a tím poškodit celé tkáně. Z tohoto důvodu se musíme snažit najít takový přijatelný způsob, aby pacient byl co nejméně ozářen, ale zároveň, abychom získali co nejkvalitnější snímek.

2 Použité přístroje

- Antropomorfní fantom – figurína lidského těla, která se skládá z lidské kostry a hmoty, která simuluje lidskou tkáň – plíce a ostatní měkké tkáně. Fantom je rozřezán na 36 řezů (tloušťka řezu: 2,5cm). V každém řezu jsou vyvrtány otvory pro umístění dozimetrů. Otvory jsou ve vzájemné vzdálenosti 3cm.
- TL dozimetry – chemické složení - LiF:Mg,Cu,P; jsou to sintrované peletky o poloměru 4,5 mm a výšce 0,9 mm. Tyto peletky jsme vkládali do fantomu a ozařovali. Ozařování probíhalo několikrát, protože pokud bychom peletky ozářili

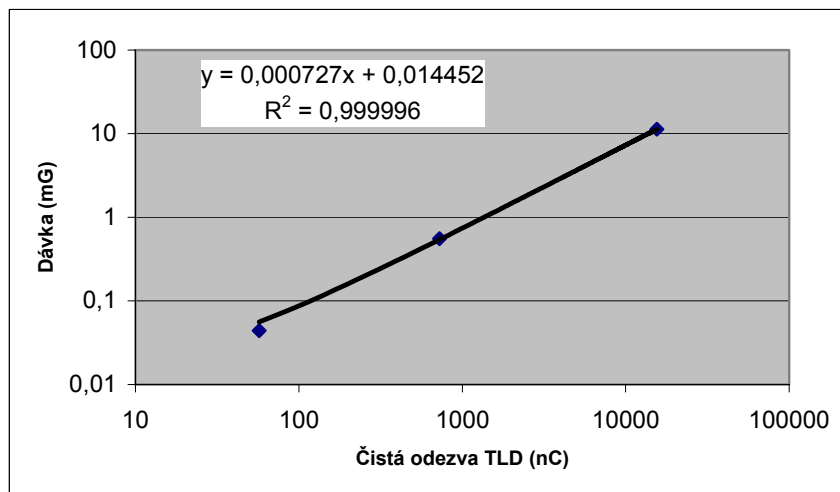
jednou expozicí jako v nemocnicích, signál z detektorů by byl příliš malý - TL readerem nečitelný.

- Rentgen – Chirana MP 15. Tímto rentgenem jsem ozařovali fantom. Expoziční parametry: napětí na rentgence 63kV, elektrické množství (součin expozičního času a proudu rentgenky) 1176 mAs. V klinické praxi se vyšetření provádí při 40 mAs. Na tuto hodnotu elektrického množství byly pak změřené dávky přepočítány.
- Manuální TLD reader (Harshaw 4500) a PC s ovládacím softwarem WinRems.

3 Postup

- Byly ozářeny řezy fantomu od 10 do 21, což odpovídá hrudní části fantomu. Velikost ozářeného pole byla 35x45 cm a vzdálenost od rentgenu 160 cm. Následně po ozáření byly vyjmuty dozimetry z otvorů fantomu a změřeny v TLD readeru. V TLD readeru dochází k zahřátí TLD a k současnému zachycení slabého světla vyzařovaného z TLD. Světelný signál je prostřednictvím fotonásobiče přeměňován na elektrický proud. Elektrický proud z fotonásobiče je po celou dobu vyhřívání integrován. Zároveň se zaznamenává vyhřívací křivka (závislost intenzity emitovaného světla na teplotě TLD) a celkový signál (celkový náboj). Tento celkový náboj je úměrný dávce, kterou byly TLD ozářeny. V TLD readeru jsme si také změřili velikosti signálu neozářených dozimetrů, který je způsoben přírodním ozářením (např.: kosmické záření, záření z radioaktivních prvků v půdě, vlastní signál detektoru atd.). Tento signál označujeme jako pozadí, které jsme odečetli od signálů TLD ozářených ve fantomu. Díky kalibraci známe závislost velikosti dávky na velikosti signálu, takže si pomocí kalibrační křivky můžeme zjistit dávky, kterými byly ozářeny jednotlivé TLD ve fantomu. Kalibrační křivka je na obrázku 1.

Obrázek 1: Kalibrační křivka pro daný rozsah dávek ve fantomu

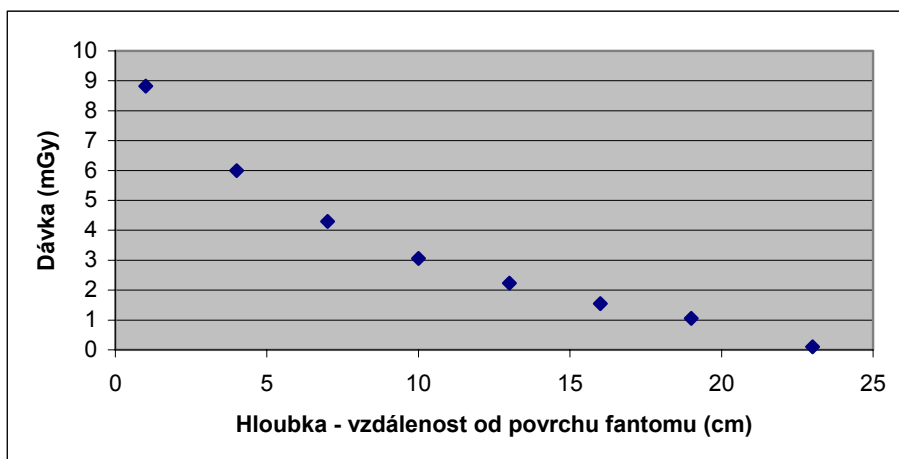


- Jednotlivé hodnoty dávek z TLD jsme si přiřadili k příslušným orgánům a spočítali průměrnou absorbovanou dávku v daných orgánech. Každý orgán je jinak citlivý na záření, a proto jsme hodnoty dávek vynásobili tkáňovým váhovým faktorem (vyjadřuje různou radiosenzitivitu daných orgánů). Takto vážené orgánové dávky jsme sečetli a získali hodnotu efektivní dávky, která převádí lokální ozáření těla na

celotělové ozáření, které by způsobilo stejné poškození (stejný počet zářením způsobených rakovin).

- Při měření jsme také díky hloubkovému řezu zjistili, jaká je závislost dávky záření na hloubce v těle. Je zřejmé, že záření se v závislosti na hloubce zeslabuje exponenciálně (obrázek 2).

Obrázek 2: Závislost dávky na hloubce ve fantomu



4 Výsledky

V tabulce 1 jsou zaznamenány hodnoty jednotlivých dávek ozářených orgánů v mGy a dávek, které spočítal počítačový program PCXMC na základě simulace průchodu záření matematickým fantomem lidského těla. Při porovnání těchto hodnot jsou viditelné rozdíly, což je způsobeno tím, že v matematickém fantomu jsou nákresy orgánů velmi zjednodušené a úplně neodpovídají proporcím fantomu, se kterým jsme měření prováděli.

Tabulka 1: Souhrn výsledků

Orgán	Dávka (mGy)		váhový faktor
	TLD	PCXMC	
plíce	0,103	0,093	0,12
štítná žláza	0,005	0,005	0,05
kosti	0,016	0,072	0,01
játra	0,026	0,045	0,05
kůže	0,057	0,034	0,01
jícen	0,055	0,024	0,05
střevo	0,004	0,000	0,12
žaludek	0,020	0,019	0,12
kostní dřev	0,016	0,030	0,12
ostatní	0,044	0,022	0,05
Efektivní dávka (mSv)	0,024	0,023	
Přírodní ozáření	3 dny		
Pravděpodobnost vzniku rakoviny	$1,2 \cdot 10^{-6}$		

Ve třetím sloupci jsou váhové faktory pro jednotlivé orgány, kterými jsme násobili hodnoty dávek naměřených pomocí TLD a vypočítaných programem. Součet těchto hodnot nám dává

hodnotu efektivní dávky . Pokud tyto hodnoty porovnáme, zjistíme, že se naše celkové měření od počítačové simulace výrazně neliší.

Pomocí efektivní dávky jsme zjistili, že hodnota ozáření při rentgenovém vyšetření odpovídá třem dnům ozáření z přírodního pozadí a že pravděpodobnost vzniku rakoviny z ozáření je velmi nízká.

5 Shrnutí

Naším měřením jsme zjistili, že dávka záření, kterou pacient obdrží při běžném rentgenovém vyšetření plic je obdobná jako dávka záření, jakou přijme člověk během tří dnů.

Z našich měření tedy vyplývá, že rentgenová vyšetření pro člověka nepředstavují velké nebezpečí vzniku rakoviny. Pokud jsou rentgenová vyšetření odůvodněná a správně provedená, tak přínos pro pacienta je podstatně větší než újma z ozáření.

Poděkování

Především by jsme chtěli poděkovat našemu supervizorovi Leošovi Novákovi hlavně za jeho trpělivost.

Reference:

- 1 ICRP: *ICRP Publication 60*, Pergamon Press, 1991
- 2 SÚRO: *Rentgen Bulletin*, SÚRO, 2001
- 3 FLECKENSTEIN P.: *Anatomy in diagnostic imaging*, Blackwell publishing, 2001
- 4 TAPIOVAARA M.: *A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations*, STUK, 1997

Difraktivní optika a holografie

* Filip Řepka, ** Jiří Svatoš, *** Jan Láník

* Gymnázium Jiřího Wolкера, Prostějov

** GIO Semily

*** Gymnázium Matyáše Lercha, Brno

* repik.x@seznam.cz

** JZSvata-sem@seznam.cz

*** jan.lanik@quick.cz

Abstrakt:

Vytvoření transmisního a reflexního hologramu, záznam na fotografickou desku, vyvolání a rekonstrukce hologramu.

Úvod

Cílem našeho miniprojektu bylo seznámení se se základy fyzikálních jevů difrakce a interference světla, které lze pozorovat například na štěrbině. Zkušenosti s těmito jevy jsme využili během experimentů s hologramy.

Interference a difrakce světla

Základními fyzikálními principy fungování hologramů jsou interference (skládání světla) a difrakce (ohyb světla). Pro jejich pozorování musíme splnit následující podmínky.

Za prvé monochromatické světlo, tj. světlo jehož fotony mají stejnou vlnovou délku a jsou ve fázi (jsou tzv. koherentní). Zdrojem takového světla je laser.

Za druhé rozměry struktury, na které k difrakci dochází, musí být srovnatelné s vlnovou délkou použitého světla. V praxi jsme měli možnost pozorovat interferenci na Michelsonově interferometru a difrakci na kruhovém a čtvercovém otvoru a na mřížce.

Holografie

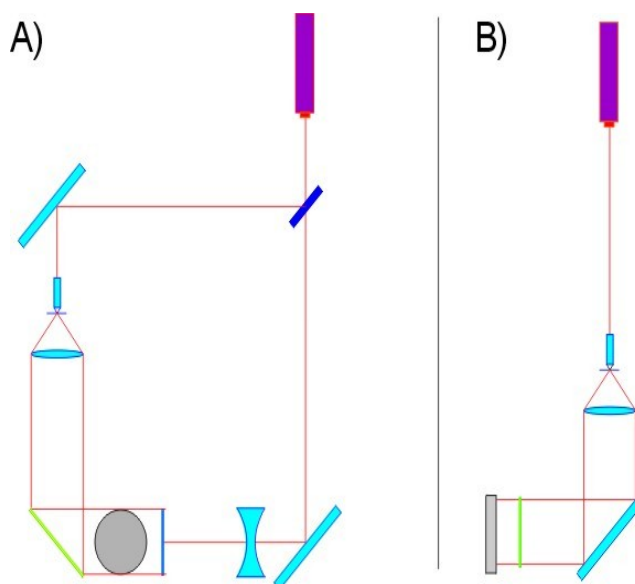
Při záznamu hologramu využíváme interferenci dvou vln, signálové a referenční. Obě jsme získali z jednoho zdroje, čímž jsme zajistili jejich koherenci. Signálovou vlnou se rozumí vlna nesoucí informaci o zaznamenávaném objektu. Referenční vlna nám pak umožňuje

zaznamenat fázi (informaci o prostorovosti objektu). Interferenční obrazec zachytíme na fotografickou desku a následným vyvoláním získáme hologram. Při rekonstrukci pak na něm necháme difraktovat rekonstrukční vlnu, která následně vytvoří virtuální nebo reálný obraz (záleží na uspořádání).

V každém bodě hologramu je uložena informace o celém objektu, což znamená, že pokud bychom jej rozbili na malé kousky, pak na každém kousku bude vidět celý objekt, vždy z příslušného úhlu. Tím se hologram nejvíce liší od fotografie.

Hologramy mohou být transmisní nebo reflexní. Transmisní hologram pozorujeme v procházejícím světle a reflexní ve světle odraženém. V případě transmisního hologramu provádíme záznam referenční i signálovou vlnou z jedné strany, u reflexního přichází vlny z opačných stran.

Při procesu výroby transmisního hologramu jsme použili schéma A, kde světlo z laseru dělíme na referenční a signálovou větev. V referenční větvi jsme vytvořili rovinnou vlnu a v signálové jsme kulovou vlnou nasvětlili objekt. Při výrobě reflexního hologramu jsme použili jednodušší (Denisyukovo) schéma B, kde nedělíme paprsek do dvou větví, ale signální získáváme odrazem referenční vlny od objektu umístěného za deskou.



Závěr

Při práci na miniprojektu jsme se seznámili s difrakтивními jevy, které jsme měli možnost si následně vyzkoušet v praxi. Podařilo se nám naexponovat čtyři reflexní a jeden transmisní hologram.

Poděkování

Naším supervizorům: Jakubu Svobodovi, Jaroslavu Hoppovi, Milanu Květoňovi a Ivanu Richterovi

Katedře fyzikální elektroniky FJFI ČVUT.

Reference:

FIALA PAVEL – RICHTER IVAN *Fyzikální optika* ČVUT 2005
VRBOVÁ M. A KOL. *Lasery a moderní optika* Prometheus 1994

Simulace socio-ekonomických systémů

Menšinová hra

Jiří Zajíc
Lukáš Ustrnul
Lukáš Rópek

jazzicek@seznam.cz, lukasus@quick.cz, ropx@seznam.cz

Abstrakt:

Pomocí matematických modelů simulujeme vývoj rozhodování jednotek v celém systému menšinové hry, která je založena na tom, že je výhodnější být v menšině. Každá jednotka má vlastní strategii rozhodování, podle kterých se řídí. Méně úspěšné přebírají strategie úspěšnějších jednotek. Nakonec se vytváří větší nadskupiny, na jejichž vrcholu stojí nejúspěšnější jednotky, podle kterých se ostatní řídí.

1 Úvod

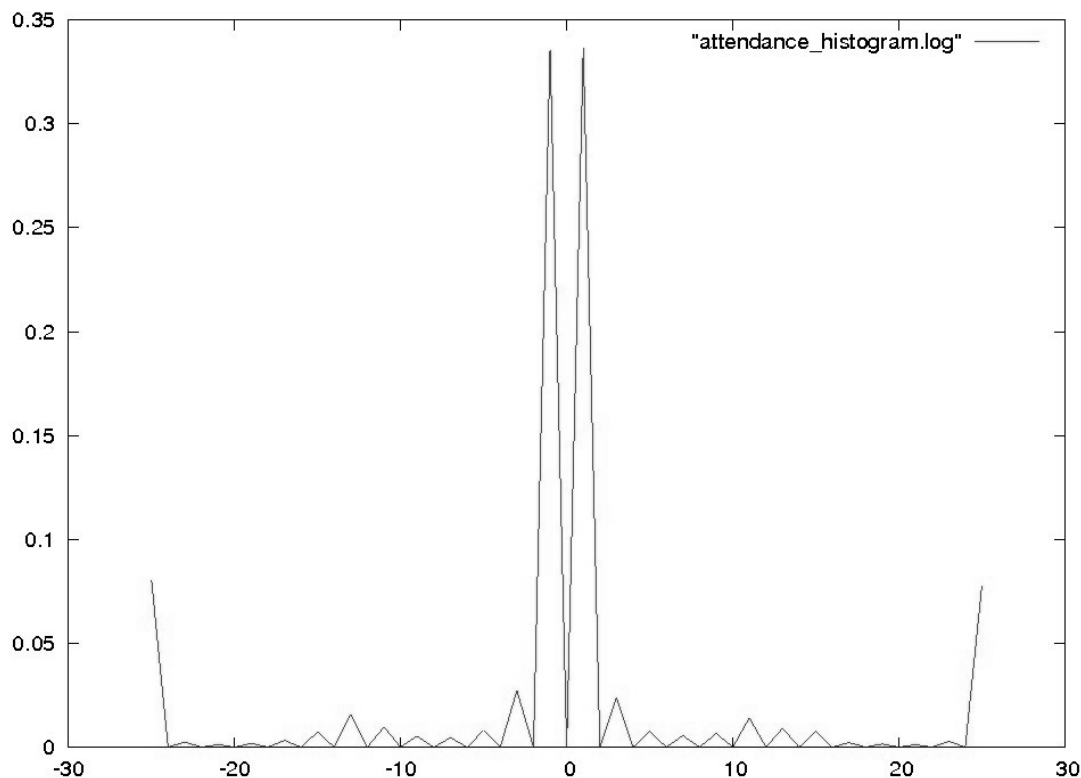
Simulace slouží k vytváření matematických modelů, na jejich základě můžeme odhadovat chování různých socio-ekonomických systémů. Například vývoj politických názorů, chování živočichů, rozdělení bohatství ve společnosti atd. Abychom dosáhli výsledků co nejvíce odpovídajících realitě, musíme vycházet z biologických a psychologických poznatků.

2 Menšinová hra

Menšinová hra je založena na tom, že je výhodnější být v menšině. Můžeme si to představit na tomto příkladě: ve městě bydlí neurčený počet lidí a mají tam bar, kam se chodí večer tančit. Bohužel do baru se vejde jen polovina obyvatel města. Pokud se do baru vydá více než polovina města, tak je tam narváno a nikdo si nezatančí, a proto jsou na tom lépe ti, kteří zůstali doma u televize. Pokud zůstane víc než polovina obyvatel doma, tak vyhrávají lidé v baru.

Každá jednotka v systému si může určit dvě strategie na jejich základě se bude rozhodovat a vybírat možnost 1 nebo 0. Pokud na základě strategie vyhraje, získá strategie bod, pokud prohraje, získá bod strategie, kterou nevyužila. Každá jednotka si mezi svými strategiemi vybírá tu, která má více bodů a je tedy úspěšnější. K rozhodování je třeba znát minulé výsledky jednotlivých kol, ale tato znalost je omezena pamětí jednotky. Čím je větší paměť, tím větší množství strategií bude existovat. Množství strategií spočteme jako dvě na $2M$, kde M je počet prvků v paměti. Aby byl model co nejrealističtější, je třeba počítat s tím, že méně úspěšní budou imitovat (přebírat strategie) své úspěšnější kolegy, se kterými jsou přímo v kontaktu. Za imitaci odevzdávají část bodového výdělků nadřazené jednotce.

Postupně se vytvoří systém, kde je několik skupin, každá s vlastní vůdčí jednotkou, která určuje strategii. Když se postupně k jedné strategii přidá víc než polovina jednotek, stává se nevýhodnou. Pokud provedeme simulaci na malém systému o 25členech(jednotkách), tak se vytvoří dvě stejně úspěšné skupiny, mezi kterými bude přebíhat pouze jeden člen.

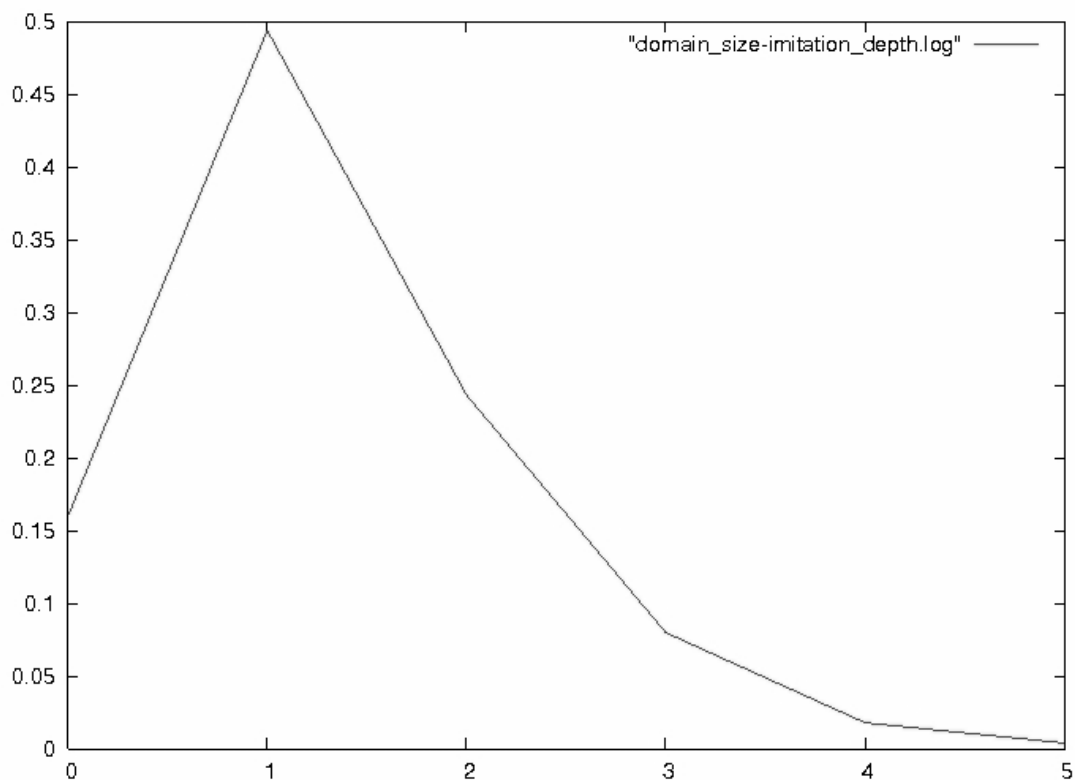


I bez vzájemného přebírání strategií dochází k tomu, že se všichni většinou rozdělí nezávisle na sobě na dvě poloviny. K hraničním případům, kdy se všichni rozhodnou pro stejnou možnost(všichni prohrají) tedy nedochází.

Zkoumali jsme rozdíly v jednotlivých statistikách v závislosti na změně počtu jednotek, změně množství prvků v paměti a velikosti poplatků za imitaci.

3 Výsledky

Při menších množstvích jednotek byly naše výsledky poměrně rozdílné, ale u velkých skupin se už téměř nelišily. Ve společnosti je velké množství jedinců, a proto můžeme zanedbat simulace provedené pro malé skupiny. Úspěšnější jedinci jsou ti, kteří mají více spojení s ostatními. Až 50% jednotek má jednoho imitátora a jednotek s žádným nebo dvěma imitátory je zhruba po 16%. Zbytek jednotek má tři a více imitátorů.



4 Shrnutí

Na základě simulací jsme odvodili chování jednotek při menšinové hře. Hlavním poznatkem je, že se systém rozdělí na dvě případně více částí, které se potom rozhodují stejně (jako jeden celek).

Poděkování

Děkujeme FJ FI za poskytnutí prostředků pro naši práci a Ing. Hynku Lavičkovi a Ing. Vojtěchu Svobodovi

Reference:

- [1] FRANTIŠEK SLANINA: *Když vítězí menšina*
<http://www.math.muni.cz/~lspeedy/clanky/econophysics.html>

Můžeme použít nový typ scintilátoru YAP k měření radonu?

M. Odstrčil
Gymnázium Postupická
michal@gmail.com

M. Honzíček
Gymnázium Mariánské Lázně
marek.honzirek@gmail.com

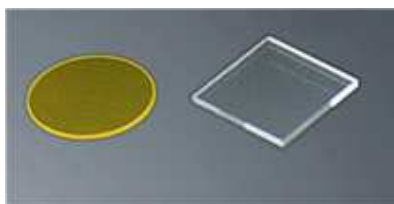
O.Šíma
SPŠE Brno
ondrej.breznev@seznam.cz

Abstrakt:

Cílem miniprojektu bylo zjištění, zda lze použít nový scintilátor YAP pro detekci radonu. Dále jsme zkoumali vlastnosti scintilátoru, například detekční účinnost a energetickou rozlišovací schopnost. Na závěr jsme provedli srovnání s ostatními detekčními přístroji.

1 Úvod

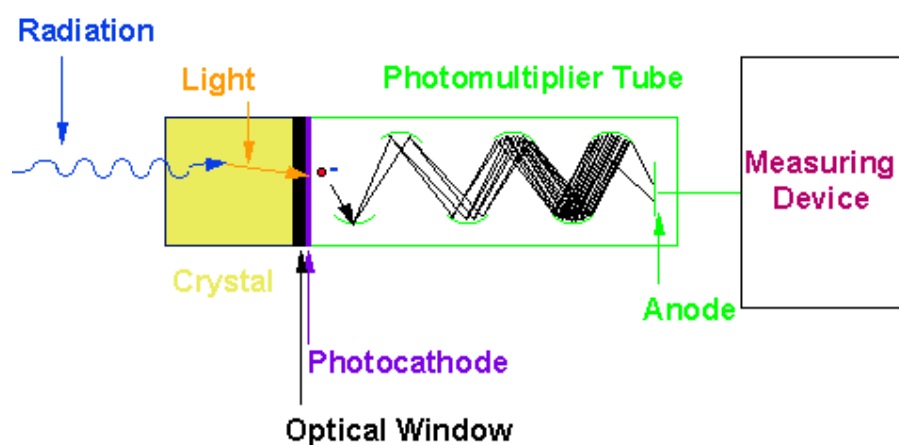
Radon je všudypřítomný přírodní radioaktivní plyn. Vzniká postupnou přeměnou uranu, který je v různých množstvích přítomen ve všech materiálech zemské kůry. Radon sám se přeměňuje na další radioaktivní prvky (izotopy polonia, olova a vizmutu), ty se při vdechování zachycují v dýchacích cestách a ozařují je. Odhaduje se, že pokud by lidé žili celý život v budově s koncentrací 200 Bq/m^3 , pak u 1-2 lidí ze sta by ozáření z radonu vyvolalo rakovinu plic. S rostoucí koncentrací přitom riziko úměrně roste. Z tohoto důvodu je nutné výskyt radonu monitorovat a měřit. K měření radonu používáme různé typy detektorů, například ionizační komory, polovodičové detektory nebo scintilátory. Naším úkolem bylo otestovat nový typ scintilátoru YAP.



krystal YAlO_3

2 Použité pomůcky

K měření jsme použili scintilační detektor YAP:Ce (Yttrium aluminum perovskite – oxid yttrito-hlinitý dopovaný cerem). Detekční aparatura se skládá z detekčního krystalu, fotonásobiče a analyzátoru. Detekční krystal je umístěn přímo v měřicím objemu, tudíž je v přímém kontaktu se zdrojem záření. Částice procházející krystalem způsobují záblesky světla, které jsou zaznamenávány a dále vyhodnocovány. Nosičem informace je tedy v tomto případě přítomnost (částice prošla) a intenzita (informace o energii) záblesku. Fotokatoda převede záblesky světla na elektrický signál, který je pomocí fotonásobiče zesílen. Informace jsou zpracovány v analyzátoru a přeneseny do počítače.



Princip scintilačního detektoru

Pro kalibraci a ověření funkce detektoru jsme použili etalon plutonium 239. Plutonium je zabudováno do povrchu Pt fólie, která je umístěna v duralovém držáku. Jako zdroj radonu 222 jsme použili radium 226 uzavřené ve středu válcového pouzdra.



Průtokový zdroj radonu a žaneta

3 Vlastní měření

Zjišťování vlastností detektoru:

V první fázi jsme museli nakalibrovat měřicí přístroj. K dispozici jsme měli pouze jeden zdroj, a to plutonium 239. Plutonium 239 je zdrojem alfa záření o energii 5,15 MeV. Alfa

částice mají velmi krátký dosah, čehož jsme využili při kalibraci přístroje. Zdroj plutonia jsme postupně oddalovali od detekčního krystalu a tím jsme snižovali energii deponovanou v krystalu. Pro výpočet hodnoty snížení energie ve vzduchu lze využít empirický vzorec:

$$R[cm] = 0.31 \cdot E^{\frac{3}{2}}$$

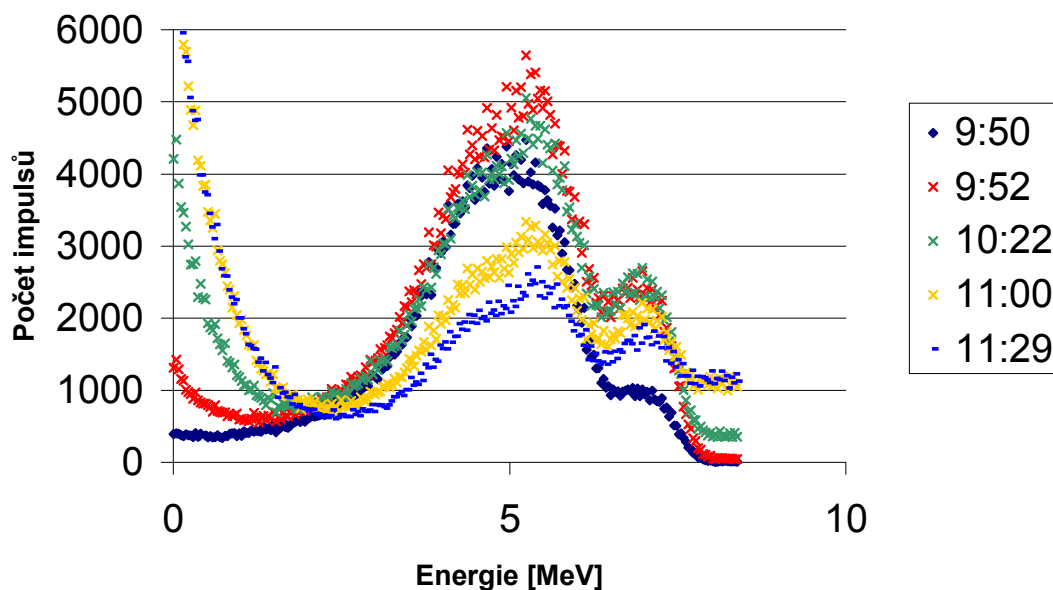
Dále jsme zjišťovali energetickou rozlišovací schopnost detektoru. Nejprve jsme zjistili energii píku a změřili jsme šířku píku v poloviční výšce (FWHM). Šířku jsme vydělili energií píku dle vzorce:

$$r(E) = \frac{FWHM(E)}{E} \cdot 100[\%]$$

Vypočtená hodnota energetické rozlišovací schopnosti byla 8,3 %. Poté jsme zjistili celkový počet zachycených částic za sekundu a porovnali jsme ho s údajem z certifikátu zdroje. Účinnost detektoru byla 95 %.

Měření radonu:

Pro měření jsme použili průtočný zdroj radonu 222, což je radium 226 uzavřené ve středu válcového pouzdra z nerezové oceli. Pomocí žanety jsme plyn přenesli ze zdroje do měřícího objemu detektoru. S časovými intervaly cca 15 min. jsme prováděli měření energetického spektra radonu a jeho dceřiných prvků.



Naměřené spektrum radonu a jeho dceřiných prvků

V grafu jsou vyneseny hodnoty zachycených impulsů z pěti měření. Je z něj pěkně vidět jak klesá množství radonu (ten nejvyšší pík) a zároveň stoupá množství produktů, to je vidět na

rostoucích pících vpravo od hlavního vrcholu. V tabulce níže vidíte jednotlivé produkty rozpadové řady a energie, které odpovídají jejich záření. Podle toho je lze identifikovat v předchozím grafu. Poměrně rychlý pokles aktivity radonu je také zapříčiněn únikem plynu z měřicí komory.

Isotop	Záření	Poločas	Energie α (MeV)
226 Ra	α	1599 r	4,7845
222 Rn	α	3,82 d	5,49
218 Po	α	3,05 min	6,002
214 Pb	β	26,8 min	
214 Bi	β	9,7 min	5,51
214 Po	α	163,7 μ s	7,687
210 Pb	β	22,26 y	
210 Bi	β	5,01 d	
210 Po	α	138,38 d	5,305
206 Pb	stabilní		

4 Shrnutí

Z naměřených výsledků je patrné, že scintilátor YAP má horší energetickou rozlišovací schopnost (8,3 % pro alfa částice plutonia 239). Detekční účinnost scintilátoru je 95 % v geometrii 2π . Scintilační detektor se však nehodí k použití v terénu, neboť k provozu je třeba zdroje vysokého napětí. Oproti polovodičovým detektorům má nižší pořizovací náklady. Celkově lze tento detektor doporučit na projekty, kde není požadována vyšší přesnost rozlišení energie záření.

5 Poděkování

Děkujeme naší supervisorce Simoně Trampotové, že si našla čas, aby se nám věnovala a že byla ochotna vysvětlit nám problematiku, o kterou jsme se zajímali a pomohla nám realizovat náš experiment. Chceme také poděkovat FJFI ČVUT a Nadačnímu fondu teoretické fyziky, že tuto akci zorganizovali a sponzorovali.

6 Reference

Zdroje informací:

Základy a principy detekce radonu, Zdeněk Berka
 Detektory ionizujícího záření, ing. Josef Gerndt
<http://www.crytur.cz>
<http://cs.wikipedia.org>
<http://www.suro.cz/>

Skutečně vaše brýle nepropouštějí UV záření?

J. Loucký, Gymnázium Písek, jloucky@tiscali.cz

T. Pachlová, Gymnázium Tachov

L. Pospíšilová, Gymnázium Matyáše Lercha, Brno

Abstrakt:

Skutečně naše brýle nepropouštějí UV záření? Odpověď jsme se pokusili zjistit v jedné z laboratoří katedry inženýrství pevných látek FJFI ČVUT pomocí spektrofotometru. Testované sluneční brýle UV záření opravdu nepropouští. Přístroj jsme také použili k stanovení tloušťky vrstvy GeO_2 . Naměřili jsme 678 nm. Naším cílem bylo také zjistit absorpční koeficient optického filtru RG 630, což nebylo možné, protože jak se ukázalo, dva použité filtry nebyly stejného typu.

1 Úvod

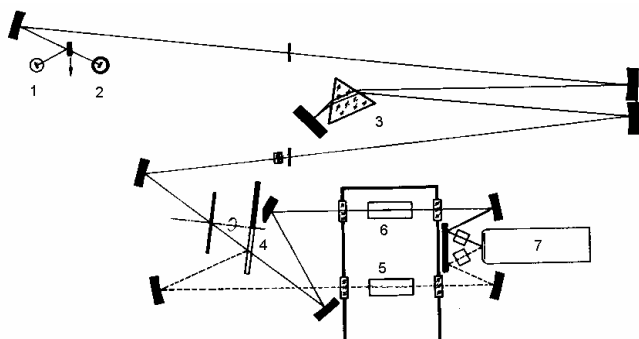
Naším cílem bylo na základě měření propustnosti světla zjistit, zda i levné brýle poskytují dostatečnou ochranu proti UV záření. V oku absorbuje UV záření spojivka a částečně i rohovka, po ozáření oka UV paprsky může dojít k zánětu spojivek a rohovky. Dále jsme pro lepší seznámení s měřícím přístrojem provedli měření transmise s cílem zjistit tloušťku vrstvy GeO_2 nanesené na sklíčku. Při posledním měření jsme se zabývali určením spektrální závislosti absorpčního koeficientu optického filtru.

Problémem ochrany zraku proti UV záření se nedávno zabývala zkušební a kalibrační laboratoř VÚZORT Praha pro MF DNES. Zde dospěli k závěru, že i ty nejlevnější brýle mají stejně kvalitní UV filtr jako ty nejdražší.

2.1 Popis experimentálního zařízení

Veškerá naše měření jsme prováděli na spektrofotometru SPECORD UV VIS, což je přístroj měřící transmissi (podíl intenzity dopadajícího paprsku a paprsku světla prošlého vzorkem). Přístroj pracuje v rozmezí vlnových délek od 200 nm do 800 nm a je propojen s počítačem, který řídí měření i sbírá a zpracovává výsledky měření. Monochromatické světlo procházející vzorkem je zde charakterizováno veličinou vlnčet $[\text{cm}^{-1}]$, což je převrácená hodnota vlnové délky.

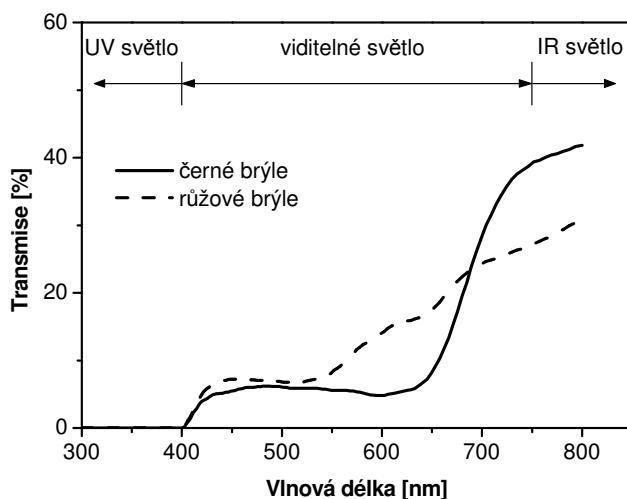
Nyní vám popíšeme postup našich měření. Na místo 5 (viz obr.1) jsme vložili zkoumaný vzorek. Protože poměr intenzit referenčního a měřícího paprsku není vždy přesně 100%, což je způsobeno nepřesností seřízení přístroje, bylo dále nutné změřit tzv. nulovou a stoprocentní linii, tj. měření bez vzorku s uzavřenou, respektive otevřenou štěrbinou.



- 1 – wolframová žárovka
- 2 – deuteriová výbojka
- 3 – disperzní hranol
- 4 – dělič svazku
- 5 – referenční vzorek
- 6 – zkoumaný vzorek
- 7 – fotonásobič

Obr.1: Schéma spektrofotometru SPECORD UV VIS

2.2 Propustnost brýlí



Obr.2: Propustnost slunečních brýlí

U dvou různých brýlí (černé a růžové) jsme zjišťovali propustnost světla různých vlnových délek. Zjistili jsme, že oboje brýle poskytují dostatečnou ochranu před UV zářením. Z grafu je dále patrné, že černé brýle mají věrnější podání barev, protože v oblasti viditelného spektra mají vyrovnanou propustnost. U růžových brýlí propustnost směrem k červené oblasti spektra roste.

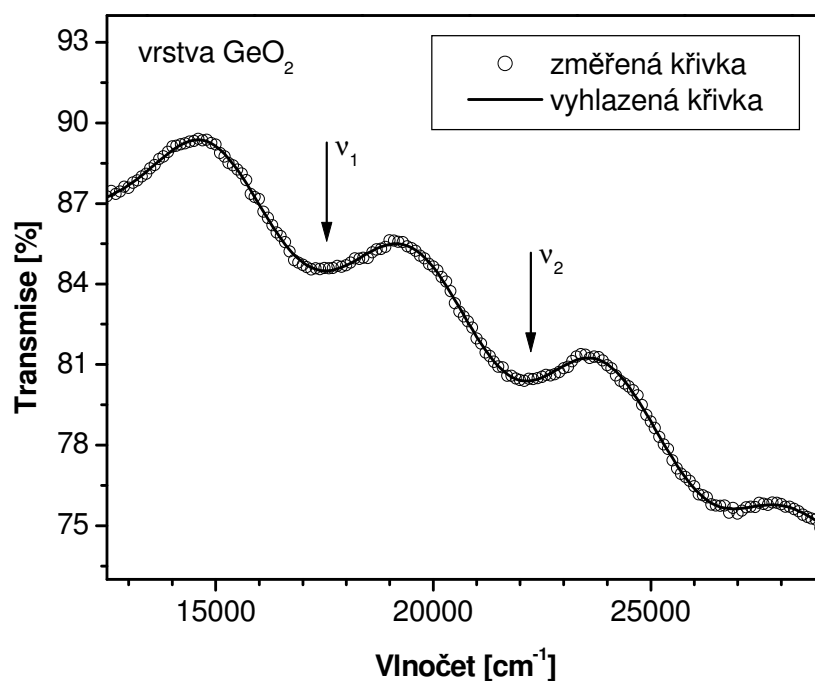
2.3 Tloušťka vrstvy GeO_2

Změřili jsme tloušťku vrstvy GeO_2 nanesené na skleněné podložce. Při měření jsme využívali jevu interference na tenké vrstvě, která se projevuje u vrstev s tloušťkou srovnatelnou s vlnovou délkou světla. Tloušťku jsme vypočítali na základě vztahu:

$$d = \frac{1}{2n(v_1 - v_2)}$$

kde v_1 a v_2 jsou vlnočty po sobě jdoucích minim ve spektrální závislosti transmise a index lomu $n = 1,57$.

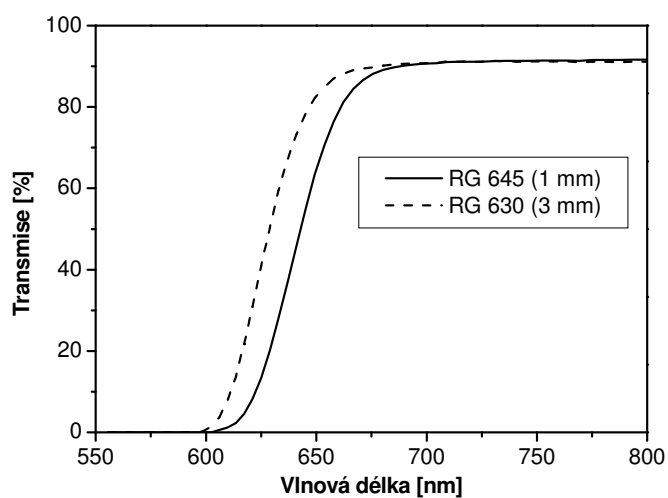
Vzdálenost minim byla 4700 cm^{-1} , tomu odpovídá $d = 678 \text{ nm}$.



Obr.3: Spektrální závislost transmise vrstvy GeO_2 . Vlnočty. v_1 a v_2 vyjadřují polohu minim, ze kterých byla vypočtena tloušťka 678 nm.

2.4 Absorpční koeficient optických filtrů

Chtěli jsme změřit spektrální závislost absorpčního koeficientu α filtru typu RG 630 pomocí dvou těchto filtrů o různé tloušťce. Nejprve jsme změřili transmissi obou filtrů.



Obr.4: Závislost transmise na vlnové délce optických filtrů RG 630 a RG 645 s různými tloušťkami.

Z grafu vyplývá, že filtry nemohou být stejného typu, protože slabší filtr propouštěl méně světla. Pomocí tabulek výrobce filtrů jsme zjistili, že slabší filtr je typu RG 645. Protože tyto filtry byly různého typu, nebylo možné spočítat absorpční koeficient podle vzorce:

$$\alpha \approx \frac{\ln(T_1 / T_2)}{d_2 - d_1}$$

3 Shrnutí

Dospěli jsme k závěru, že i ty nejlevnější brýle, které jsme použili v experimentu, nepropouštějí UV záření. Přístrojem jsme dále změřili tloušťku vrstvy GeO₂, která je přibližně 678 nm. Poslední experiment nevedl ke konkrétnímu výsledku, ale místo toho jsme odhalili chybu v označení filtru.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat organizátorům fyzikálního týdne, našemu supervizorovi Ing. Z. Potůčkovi, Ph.D. a katedře inženýrství pevných látek FJFI ČVUT za poskytnutí prostředků k vypracování našeho projektu.

Reference

- [1] *Návod k úloze „Určování absorpčního koeficientu“ fyzikálního praktika katedry inženýrství pevných látek FJFI*
- [2] *Optical Glass Filters*, Schott Glaswerke, Mainz, 84–85
- [3] Švidrnoch R.: *Vyhovující UV filtr mají i levné brýle*, deník MF Dnes, 2. června 2006, E1

RTG fázová analýza

M. Žaludová
V. Blechta
L. Antal

Gymnázium Hořovice
Gymnázium Jeseník
Gymnázium Olomouc

rachel.mz@seznam.cz
luis.felipe@email.cz
l.antal@tiscali.cz

Abstrakt:

RTG fázová analýza je fyzikální metoda určující složení a strukturu krystalických materiálů pomocí koherentního rozptylu rentgenového záření. Na rozdíl od RTG fluorescenční analýzy, kterou se zjišťuje pouze chemické složení látky, dokáže fázová analýza rozlišit i různé fáze materiálu se stejným chemickým základem. Jde o metodu velmi přesnou a nedestruktivní. V tomto příspěvku je popsáno použití této metody pro určení fázového složení neznámého prášku.

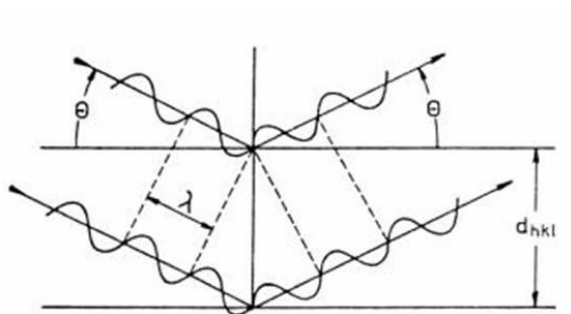
1 Úvod

Wilhelm Conrad Röntgen položil v roce 1895 základy RTG technologiím objevem paprsků X. V roce 1912 vlnovou povahu RTG záření popsal M. von Laue, který objevil difrakci RTG paprsků na krystalech a již tentýž rok popsal L. W. Bragg tento jev matematicky (Braggova rovnice).

Krystalickou mřížku si můžeme představit jako nekonečnou soustavu rovin. Jestliže na materiál dopadá RTG záření, dochází na jednotlivých krystalových rovinách k odrazu vlnění pod stejným úhlem, pod jakým záření dopadá, podobně jako v optice, při odrazu světla od rovinného zrcadla. Podmínka interferenčního maxima je, aby fázový rozdíl vln odražených od dvou následujících rovin byl právě 2π . To vyjadřuje právě Braggova rovnice:

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta, \quad (1)$$

kde λ je vlnová délka dopadajícího RTG záření, d_{hkl} je meziroviná vzdálenost, θ difrakční úhel (viz obr. 1) a $n \in \mathbb{N}$.



Obrázek 1 Popis interference vln odražených od dvou sousedních atomových rovin v krystalu.

2 Experiment

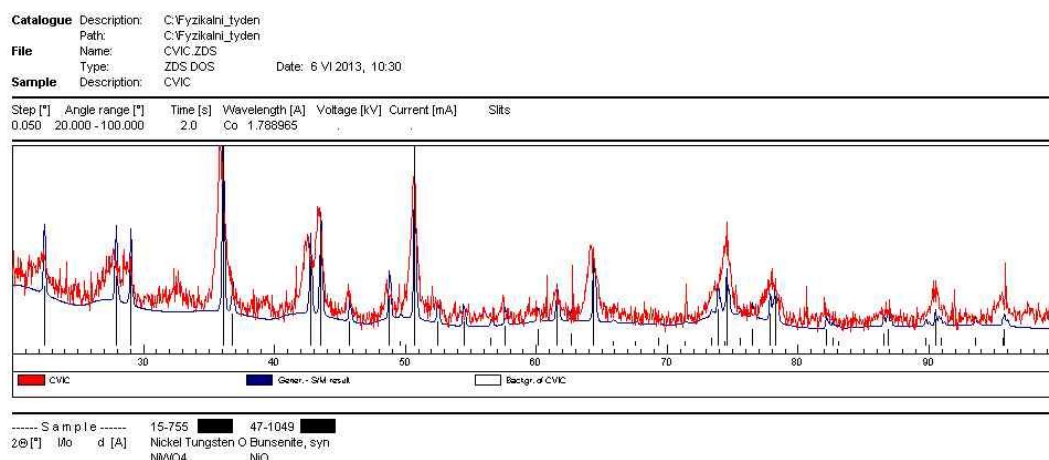
Materiál v podobě prášku byl přilepen na podkladní laboratorní sklíčko a vyhlazen do tenké rovné plochy. Po zaschnutí byl vložen do držáku vzorků difraktometru. Byl použit difraktometr zn. Siemens model Kristaloflex 4.

Parametry měření:

urýchlovací napětí na rentgence30 kV
 proud v rentgence.....20 mA
 počáteční úhel 2θ20°
 konečný úhel 2θ100°
 úhlový krok $\Delta\theta$0,05°
 expoziční doba v jednom kroku.....2 s
 použité charakteristické záření.....Co

3 Výsledky a hodnocení

Pro zpracování získaných dat jsme použili program ZDS Search Match zpracovávající naměřený difrakční profil (odečtení pozadí, určení polohy difrakčních linií, výpočet integrální intenzity difrakčních linií) a hledající v databázi PDF2 (Powder Diffraction Files) materiály a jejich fáze, které nejlépe odpovídají naměřeným liniím. Výsledky zpracování jsou zachyceny na obrázku 2:



Obrázek 2 Výsledek fázové analýzy práškového vzorku (červeně – naměřená data, modře – numerická simulace)

Na základě zpracovaných dat jsme vyhodnotili tyto výsledky:

Vzorek obsahoval: kubický NiO ...(ICDD Card No. 47-1049)
 monoklinický NiWO₄...(ICDD Card No. 15-755)

4 Diskuse

Analýzou nebylo možné rozlišit zda NiO je v kubické nebo nízkosymetrické romboedrické fázi, protože difrakční linie obou fází jsou velmi blízké a při daném rozšíření difrakčních linií není možné je rozlišit.

5 Shrnutí

Zjistili jsme, že RTG fázová analýza je velmi zajímavý obor a umožňuje nám proniknout do tajemství duálního prostoru. RTG fázová analýza je využívána zejména tehdy, chceme-li se o materiálu dozvědět víc než jen jeho chemické složení, ale i jeho strukturu.

Poděkování

Děkujeme FJFI za možnost realizování daných experimentů. Dále děkujeme ing. Markovi a ing. Sedlákovi za podporu a objasnění dané problematiky během experimentu.

Reference:

- [1] WWW.XRAY.CZ
- [2] KRAUS, I.: *Struktura a vlastnosti krystalů* Academia, 1993,

Nevaž se, PROVAŽ SE I

Petra Malá
Gymnázium Moravský Krumlov
peta.mala@post.cz

David Navrkal
EKO Gymnázium Brno
navrkald@seznam.cz

Vít Podivinský
Gymnázium Uherské Hradiště
vít.podivinsky@post.cz

Abstrakt:

V naší práci jsme se seznámili s dynamicky se rozvíjejícím odvětvím kvantové fyziky. Ochutnali jsme malou část tohoto velice zajímavého a perspektivního oboru fyziky a celkově lidského bádání. Podrobněji jsme se zabývali problémem kvantové teleportace.

1 Úvod

V současné době je kvantová fyzika velice sledovaným oborem, od kterého se očekává velké praktické využití. Než přejdeme ke kvantové teleportaci, je třeba vysvětlit si rozdíly mezi klasickou a kvantovou fyzikou.

2 Kvantová teleportace

Rozdíly mezi klasickou a kvantovou fyzikou:

Jeden z hlavních rozdílů mezi klasikou a kvantovou fyzikou je to, že v klasické fyzice můžeme výsledek experimentu přesně určit, zatímco ve fyzice kvantové můžeme určit pouze pravděpodobnost daných výsledků. Pokud za stejných podmínek opakujeme pokus v klasické fyzice, výsledek je vždy stejný. V kvantové fyzice vychází různé výsledky a můžeme určit pouze pravděpodobnost, se kterou daný výsledek vychází.

Základní principy kvantové fyziky:

Princip superpozice - částice se nachází ve stavu, který je lineární kombinací všech stavů, ve kterých se může nacházet. Toto platí jen pro částice, u kterých neznáme jejich stav před měřením.

Měření ovlivňuje stav systému. Po měření se částice již nenachází ve stavu superpozice, ale v konkrétním stavu.

Nekompatibilní veličiny – výsledky měření některých veličin závisí na pořadí měření jednotlivých veličin.

Heisenbergovy relace neurčitosti – pokud experiment určí polohu částice s jistou přesností (Δx), má to za následek, že její hybnost nelze předpovědět s přesností vyšší než Δp , kde součin $\Delta x \Delta p$ je větší než jistá minimální hodnota, která je řádově rovná Planckově konstantě ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$). Podobný princip platí pro neurčitost měření energie a času.

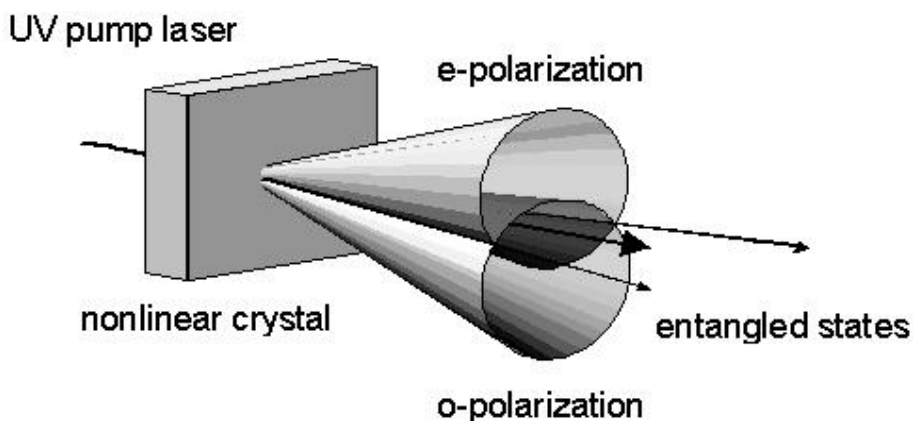
Schrödingerova kočka

je myšlenkový experiment, kdy kočku uzavřeme do krabice, v níž je padesátiprocentní pravděpodobnost, že dojde ke kvantovému procesu, který způsobí její smrt. Tento experiment poukazuje na problém měření ve kvantové mechanice, protože kočka musí zřejmě existovat v kvantové superpozici stavu, kdy je mrtvá, a stavu, kdy žije, a to do okamžiku než krabici otevřeme a o stavu kočky se přesvědčíme.

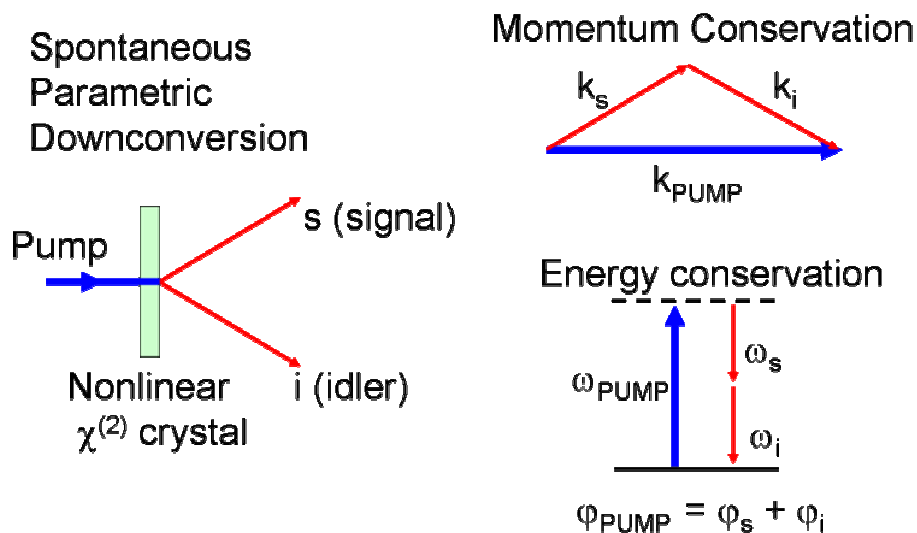
Kvantové provázání

je důsledek superpozice pro systém více částic. Vlastnosti těchto částic nejsou určeny jednotlivě, ale jejich vzájemnou lineární kombinací. Zjištěním vlastností jedné částice se zhroutí jejich superpozice a každé částici je přiřazena konkrétní vlastnost. Z toho vyplývá, že změřením vlastnosti jedné částice zjistíme i vlastnost té druhé.

Vzniká např. při průchodu laserového světla nelineárním krystalem. S malou pravděpodobností v krystalu vzniknou z původního fotonu dva fotony o nižší energii. Ze zákona zachování hybnosti vyplývá, že fotony se vyskytují na površích dvou kuželů a provázané fotony se nachází v jejich průsečících (jak ukazuje obr. 1).



obr. 1



obr. 2 – ukazuje vztah mezi původním laserovým paprskem a vzniklými paprsky tvořenými provázanými fotony

Pojmy

Kvantový bit, qubit – kvantová verze bitu (jednotky informace). Klasický bit je buď ve stavu $|0\rangle$ nebo $|1\rangle$. Qubit zahrnuje navíc všechny superpozice $a|0\rangle + b|1\rangle$ ($|a|^2$ je pravděpodobnost stavu $|0\rangle$, $|b|^2$ pravděpodobnost stavu $|1\rangle$). Konkrétní hodnotu $|0\rangle$ nebo $|1\rangle$ nabude teprve v okamžiku měření.

Bellovy stavy – 4 provázané stavy dvojice qubitů:

$$\Psi_1 = |0_1 0_2\rangle + |1_1 1_2\rangle$$

$$\Psi_2 = |0_1 0_2\rangle - |1_1 1_2\rangle$$

$$\Phi_1 = |0_1 1_2\rangle + |1_1 0_2\rangle$$

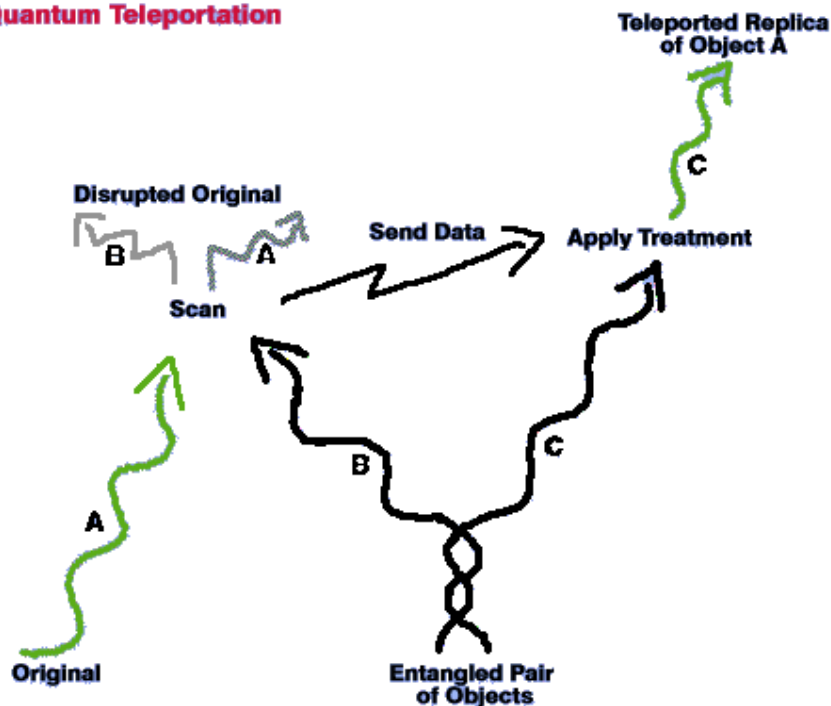
$$\Phi_2 = |0_1 1_2\rangle - |1_1 0_2\rangle$$

Kvantová teleportace

Když potřebujeme v klasické fyzice přenést částici z jednoho místa na druhé bez možnosti fyzického přesunu, mohli bychom si změřit vlastnosti dané částice a poslat získané informace do určeného místa. Zde bychom si mohli podle přenesených informací vytvořit kopii původní částice. V kvantové mechanice však o neznámé částici nevíme, ve kterém stavu se nachází a měřením bychom tento stav mohli pozměnit. Proto pokud nemáme možnost fyzického přesunu částice A, musíme ji teleportovat. K provedení teleportace potřebujeme pár provázaných částic B, C. Nejprve změříme, ve kterém z Bellovských stavů se částice A a B nachází. Tyto stavy existují 4, v současnosti je však nedokážeme experimentálně rozlišit všechny.

Výsledek měření Bellovského stavu pošleme (internetem) 2. pozorovateli, který má k dispozici částici C. Podle získané informace aplikuje na částici C určitou transformaci a získá částici, která má shodné vlastnosti s původní částicí A. Původní stav částice A se však změnil v důsledku měření, na konci tedy máme opět pouze jednu částici s původními vlastnostmi A a nedochází tak ke kopírování stavu částice, ale pouze k jeho přenosu.

Quantum Teleportation



obr. 3

Problémy:

Je velmi obtížné připravit provázané fotony a přenést je. Jednoduše dokážeme rozlišit pouze jeden Bellův stav, takže účinnost přenosu je 25%.

3 Shrnutí

Při studiu kvantových jevů jsme poznali spoustu odlišností od klasické fyziky, ze kterých mnohdy vyplývá zdánlivá nelogičnost kvantových jevů a běžná zkušenost mnohdy selhává. Zjistili jsme, že kvantová fyzika skýtá zajímavé možnosti praktického využití, avšak jejich technická realizace je velice obtížná.

Poděkování

Děkujeme rodičům za finanční podporu, FJFI ČVUT za poskytnutí technického zázemí a za vedení našeho miniprojektu, za ochotu, spolupráci a trpělivost Martinu Štefaňákovi.

Reference:

- [1] HEY, T. – WALTERS, P.: *Nový kvantový vesmír* Argo, 2005.
- [2] www.aldebaran.cz
- [3] www.tongue-twister.net
- [4] en.wikipedia.org
- [5] www.google.com

Kryptografie, kvantová mechanika a jak to souvisí

J. Jelínek, Z. Farana
Katedra fyziky, Břehová 7, Praha 1
kni.zka@seznam.cz, byf@seznam.cz

Abstrakt

Práce se týká užití kvantových vlastností částic v bezpečné datové komunikaci. Obsahuje popis kvantového EPR protokolu spolu se zamyšlením nad jeho bezpečností.

1. Úvod

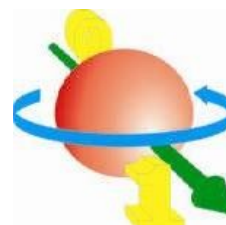
Všichni se neradi dělíme o své soukromí. Proto máme zámky na dveřích, PINy v telefonech a hesla v počítačích. Jsme nedůvěřiví. Právem. Se stejným úsilím, se kterým se snažíme své soukromí skrýt, pokoušíme se cizí soukromí odkrýt. Tato rozpolcenost nás provází již od nepaměti. Snaha zamaskovat pravý význam určitého sdělení a naopak snaha rozluštit je dala vzniknout dvěma vědním oborům: *kryptografií* a jejímu protějšku *kryptoanalýze*. Dnes se budeme zabývat kryptografií. Existuje mnoho druhů šifer, od *substitučních*¹, přes *transpozici*² až po *symetrické* a *hashovací*. Moderní fyzika nám přinesla nové možnosti a to konkrétně v oblasti kvantové mechaniky. V této oblasti předběhla teorie praxi.

Šifrovat lze pomocí veřejného, či soukromého šifrovacího klíče. Nadále se budeme věnovat problematice bezpečného přenosu soukromého klíče. Zde je totiž hlavní kámen úrazu standardních šifrovacích metod. Jestliže si dotyčné osoby chtějí si vytvořit bezpečný komunikační kanál nepředají soukromý klíč osobně, nemohou si být jisti, že ho třetí osoba nezachytí a nezneužije pro odposlechnutí komunikace.

Právě *kvantová kryptografie* řeší problém bezpečné distribuce klíčů mezi dvěma osobami na úrovni fyzikálních zákonů kvantové mechaniky. Poté lze pomocí bezpečně předaného soukromého šifrovacího klíče zakódovat pomocí *one-time pad*³ šifry.

2. Kvantový svět

Základním rysem kvantové mechaniky je *linearita*. Tento pojem vyjadřuje skutečnost, že pokud může být částice ve stavu $|0\rangle$ nebo $|1\rangle$, může být i v libovolné *superpozici*⁴ těchto stavů. Příkladem takových dvou stavů mohou být například dva navzájem kolmé spinové stavy nebo polarizace fotonů. Vzhledem k jejich blízké analogii s klasickými bity, nazýváme tyto systémy *qubity*. Qubity chápeme jako základní nositele informace, kterým linearita propůjčuje zvláštní vlastnosti. Mohou nabývat mnoha stavů, které od sebe nelze obecně odlišit. Z toho plyne, že



Obr. 1 qubit

1 užívají nahrazování každého znaku jiným znakem dle určitého klíče
2 tzv. přesmyčka - změna pořadí znaků dle urč. klíče
3 jednorázová tabulková šifra, též známá jako Vernamova šifra
4 lineární kombinaci

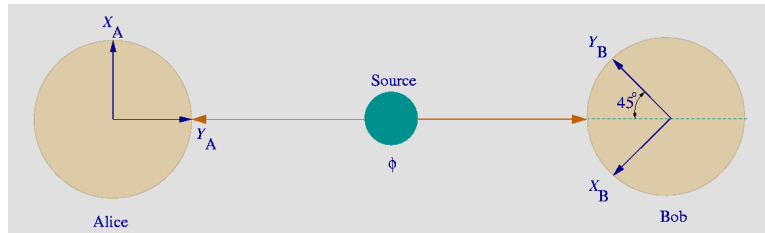
informaci, kterou qubity nesou, nelze zkopírovat.

Linearita kvantové mechaniky je odpovědná i za další kvantový jev zvaný *provázání*⁵. Uvažujme pro jednoduchost dva qubity ve stavech $|00\rangle$ ⁶, $|01\rangle$, $|10\rangle$ a $|11\rangle$. Z principu linearity vyplývá, že dva qubity se mohou nacházet i v libovolné superpozici těchto čtyř stavů. Existují ale i superpozice, které nelze rozložit na stavy jednotlivých qubitů a těm pak říkáme provázané stavy neboli *ebity*. Provázanost je *monogamní* a tudíž, pokud se dva qubity prováží maximálně, nemohou se již provázat se třetím. Příkladem silně provázaného stavu je tzv. *EPR*⁷ stav:

$$EPR = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Důležitou vlastností je, že qubity v tomto stavu jsou silně *korelovány*. Představme si, že Alice měří, zdali je její qubit ve stavu $|0\rangle$ nebo $|1\rangle$. Takové měření je možné zkonstruovat a kvantová mechanika předpovídá, že s pravděpodobností 50% naměří stav $|0\rangle$ a s pravděpodobností 50% naměří stav $|1\rangle$. Výsledek je tedy čistě náhodný. Silná korelace zde znamená, že po jejím měření bude Bobův qubit ve stejném stavu jako Alicin.

Korelace mezi výsledky měření existují i v klasické fyzice. Kvantové korelace se však ukazují mnohem silnější. Jak tedy rozpoznat, zda jde o klasickou nebo kvantovou korelaci? Pro zkoumání síly korelací lze použít Bellovy nerovnosti



Obr. 2: Ilustrace Bellova testu pro částice se spinem 1/2. Zdroj vyrábí provázané páry a jeden qubit pošle Alici, druhý Bobovi. Oba provedou měření.

$$p(Q=q, R=r, S=s, T=t)$$

$$\begin{array}{c} \mathbf{A} \\ Q = \pm 1 \\ R = \pm 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \mathbf{B} \\ S = \pm 1 \\ T = \pm 1 \end{array}$$

$$QS + RS + RT - QT = (Q + R)S + (R - Q)T = \pm 2$$

$$E(QS + RS + RT - QT) = \sum_{q, r, s, t = \pm 1} p(Q=q, R=r, S=s, T=t) \leq 2$$

Bellovy nerovnosti

Při zkoumání EPR stavu vychází Bellovy nerovnosti $\leq 2\sqrt{2}$, čímž jsou porušeny. Interval $\langle 2, 2\sqrt{2} \rangle$ je dostatečně veliký, abychom mohli vyloučit statistickou chybu. EPR stav je kvantově korelován.

⁵ anglicky *entanglement*

⁶ oba qubity jsou ve stavu $|0\rangle$

⁷ Einstein-Podolsky-Rosen

3. EPR kryptografický protokol

Tato metoda je založena na kvantové propletenosti dvou částic. Určitý zdroj bude generovat ebity v EPR stavu. Předpokládejme, že Alice sdílí s Bobem n EPR párů $\frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$. Vždy jeden qubit z dvojice vlastní Alice a Bob. Alice a Bob nyní provedou

měření v bázi stavů $|0\rangle$ a $|1\rangle$ na každém svém qubitu. Výsledky těchto měření jsou naprosto náhodné. V případě, že Alice nebo Bob naměří stav $|0\rangle$, zaznamenají si 0 do šifrovacího klíče, v opačném případě zapíší 1. Silná korelace v EPR páru nám zajišťuje, že jejich klíče budou shodné.

Jak lze bezpečnost narušit? Hlavní nebezpečí spočívá v možnosti zachycení qubitů Evou⁸. Ta může změřit hodnoty qubitů, které zachytila, poslat Bobovi jiné qubity nebo částečně navázat další částici, kterou si ponechá⁹. Ve všech zmíněných případech ale dojde k úplnému zničení provázání nebo alespoň k výraznému zeslabení. Důležitým bezpečnostním prvkem tedy je počkat, až bude mít každý z nich svou sadu n qubitů. Následně se pomocí veřejného kanálu domluví na vybrané posloupnosti párů, které obětují a na nichž provedou Bellův test síly provázání. V případě, že výsledky odpovídají kvalitě kanálu, mohou zahájit generování kódu pomocí individuálních měření

4. Shrnutí

Kvantová kryptografie nabízí vysoce bezpečný přenos šifrovacích klíčů. K tomu využívá principy kvantové teorie, jako je linearita, provázání a Bellovy nerovnosti. Problémem je zejména fyzická realizace distribučního kanálu a přístrojů.

Poděkování

Děkujeme supervizorovi J. Novotnému a organizátorům Fyzikálního týdne

Reference

- [1] Michael A. Nielsen a Isaac L. Chuang: *Quantum Computation and Quantum Information*
- [2] *Kryptografie* <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kryptografie>
- [3] *Kvantová kryptografie* http://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantov%C3%A1_kryptografie
- [4] *Bell's inequality* http://en.wikipedia.org/wiki/Bell%27s_inequality
- [5] *Qubit image* http://acqp.physi.uni-heidelberg.de/inside_the_atomchip.php

⁸ podle anglického eavesdropping

⁹ tím se ale korelace oslabí

Výpočet plochy pomocí metody Monte Carlo

J. Čapek *, J. Daněk **, J. Komárek ***

* Gymnázium Duchcov

** Gymnázium J. Wolkerova Prostějov

*** Gymnázium Broumov

BzuX.Sk8eR@Tiscali.cz

Abstrakt

Metoda Monte Carlo se používá mimo jiné i při výpočtu obsahu složitých geometrických obrazců. Metoda je založena na počítání s náhodnými čísly. Cílem miniprojektu je seznámení se s podstatou metody a její praktické využití.

1. Popis metody

Asi nejzákladnější a první otázka, která vás napadne. **Co to je?**

Za jménem podle místa v Monaku, Monte Carlem, se skrývá celkem nová metoda výpočtu plochy většinou složitých obrazců, jejichž plocha se nedá snadno vypočítat podle vzorce. Například na výpočet plochy nějakého přírodního jevu (např. řeky) vám asi obyčejné metody stačit nebudou. Proto je tu metoda Monte Carlo, jejíž objev umožnily právě počítače a jejich výkon, který dnes mnohonásobně převyšuje jisté lidské dovednosti, jako například rychlost výpočtu složitých příkladů nebo obrovské množství úkonů. Díky tomu jsou počítače klíčové pro tuto metodu. Komu by se taky chtělo se s tím dít několik hodin nebo dokonce dní?

2. Jak se to dělá v praxi?

Postup je takovýto: Vezmeme si libovolný obrázek (většinou toto využijeme v zeměpise - tudíž mapu) a zvolíme si obrazec nebo část, jejíž obsah chceme zjistit. Obrázek „vytečujeme“ velkým množstvím náhodných bodů. Poté každý bod analyzujeme a zjistíme, jestli je v ploše našeho zájmu nebo ne. Bez počítače by nám to ale trvalo asi hodně dlouho. Ten si náhodně vybere z obrázku požadovaný počet bodů (například pixelů) – samozřejmě čím více, tím bude výsledek přesnější – a analyzuje jeho polohu vzhledem ke zkoumané oblasti.

Zjištěné údaje nám řeknou, kolik bodů se „trefilo“ do požadovaného tvaru. Poměrením tohoto čísla s celkovým počtem analyzovaných bodů nám nakonec dá desetinné číslo, které nám po vynásobení stem určí, kolik procent z obrázku nám zabírá oblast našeho zájmu. Další postup už ovšem nemusíme rozebírat.

Metoda Monte Carlo je založena na provádění náhodných experimentů s modelem systému a jejich vyhodnocení. Je třeba mít kvalitní generátory pseudonáhodných čísel (nejsou třeba skutečně náhodná čísla). Výsledkem provedení velkého množství experimentů je obvykle pravděpodobnost určitého jevu. Na základě získané pravděpodobnosti a známých vztahů pak spočítáme potřebné výsledky.

Tato nepřímá metoda se možná zdá složitá, ale přitom to je velmi jednoduchý nápad. Složitost z toho dělá skutečnost, že když už to má být, tak to má být přesné a z toho vyplývá nezbytnost mnoha bodů k co největšímu zpřesnění údajů. A tento způsob je jistě mnohem jednodušší, než běhat po poli se špagátem, metrem a kolíky. Většina lidských výtvorů vykvetla z lidské lenosti a tak pro tuto metodu existují jednoduché programky k bezplatnému stažení z internetu a pohodlnému využití doma.

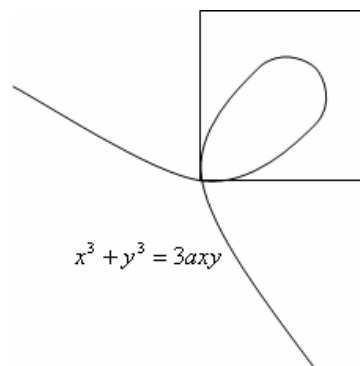
A navíc je mnohem jednodušší využít tuto metodu, než obsah složité plochy počítat přes integrál, který nám ale ani nemusí vyjít.

3. Výpočty obsahů

Pomocí metody Monte Carlo jsme spočítali obsahy několika jednoduchých i složitějších obrazců, například známého Descartova listu, vypočítali jsme Ludolfovo číslo s přesností na několik desetinných míst. Zde jsou uvedeny některé naše výsledky:

Obsah Descartova listu daného rovnicí: $x^3 + y^3 = 3axy$; $a = 0,5$

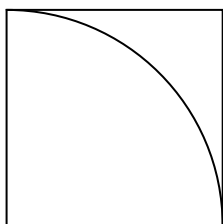
Skutečný obsah listu:	Počet náhodných čísel:	Změřený obsah:	Shoda
$S = 3/8 = 0,375 \text{ m}^2$	10	0,3 m^2	80 %
	100	0,43 m^2	87,209 %
	1 000	0,35 m^2	93,33333 %
	10 000	0,3803 m^2	98,606 %
	100 000	0,37636 m^2	99,638 %
	1 000 000	0,3754 m^2	99,893 %
	10 000 000	0,3752 m^2	99,9442 %
	100 000 000	0,375 00102 m^2	99,999728 %
	Nejmenší odchylka 0,000272 %		



Skutečný obsah čtvrtkruhu o poloměru 0,128 m:	Počet náhodných čísel:	Změřený obsah:	Shoda
$S = 0,012867 \text{ m}^2$	100	0,01286 m^2	77,714 %
	1 000	0,0128677 m^2	85,485 %
	10 000	0,0123 m^2	95,588 %
	100 000	0,01262 m^2	98,075 %
	1 000 000	0,013075 m^2	98,41449 %
	10 000 000	0,0129421 m^2	99,42509 %

Po 100 * 100 000
přepočtů:
 $S_1 = 0.375\ 099$
 $S = 0.375\ 000$
Shoda: 99.973 663%
 Odchylka:
 0.000 099
0.026 337%
 Maximální 0.004 500
 Minimální 0.000 000

Výpočet čísla π



$$S = \frac{\pi r^2}{4}$$

$$\pi = \frac{4S}{r^2} \quad r = 1$$

$$\pi = 4S$$

Po 100 * 100 000 přepočtů:

$\pi_1 = 3.141\ 486$
 $\pi = 3.141\ 593$
Shoda: 99.996 612%
 Odchylka:
 0.000 107
0.003 406%
 Maximální 0.012 674
 Minimální 0.000 046

4. Praktické použití

Využití této poměrně nové a jednoduché metody, ke které nám v podstatě stačí generátor náhodných čísel a program na vyhodnocení údajů, je dnes velice hojné. Využívá se v mnoha oblastech lidských činností od zeměpisectví přes chemii, fyziku (kde je velice důležitým činitelem při mnoha výpočtech souvisejících použitými oblastmi této metody např. po tepelné štíty nebo aerodynamiku), přes počítače až po matematiku (výpočet konečných integrálů obzvláště multidimenzionálních integrálů (ne jen na číselné ose ale v 2D a víc) s komplikovanými hraničními podmínkami) nebo dokonce jako kalkulace risku v obchodování. Ale jednou z ceněných předností metody Monte Carlo je fakt, že její přesnost se se složitostí úkonu na rozdíl od jiných úkonů zvyšuje.

5. Výhody a nevýhody

Výhodou je jednoduchá realizace ke které je nutné jen málo prostředků. Tato metoda je při jistých matematických úkolech mnohem jednodušší a přesnější.

Nevýhodou zase relativně malá přesnost, která se dá zvýšit větším počtem experimentů. Přesnost se však i tak neblíží přesnosti jiných matematických úkonů.

6. Co z toho pro nás plyne?

Účelem této práce je seznámit Vás s novými poznatky lidského výzkumu, jak si co nejvíce a co nejefektivněji ušetřit práci. Tato nová metoda nám určitě práci a hlavně čas šetří, takže by se o ní mělo dozvědět více z Vás. Proč běhat po poli se špagátem, kolíky a metrem nebo se mořit nad integrály, když to jde jednoduše?

7. Proč zrovna Monte Carlo?

Název dostala tato metoda podle kasina a to ne jen tak náhodou. V kasinu se samozřejmě hrají hazardní hry a skoro vše je o náhodě. Jestli mi padne správné číslo, vyhraji, např. při ruletě nebo kostkách, což jsou populární hazardní hry a hrají se neustále. Kostky i ruletu můžeme považovat za jakýsi generátor náhodných čísel, což je základ pro tuto metodu. A kde je v Evropě nejznámější doupě hazardních her???

Poděkování

V první řadě bychom chtěli poděkovat vedení FJFI za zorganizování této skvělé akce, díky níž Vás můžeme seznámit s novými poznatky.

Dále musíme poděkovat našemu supervisorovi Ing. Kateřina Seinerové za vedení našeho úsilí.

A nakonec bychom chtěli poděkovat Vám za trpělivost a odvahu k přečtení naší práce.

Reference

Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Monte_carlo_method
http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_Monte_Carlo

Literatura: Virius, M. *Aplikace matematické statistiky: metoda Monte Carlo*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998

Simulace provozu JE s reaktory VVER 440 a CANDU

6

Jakub Tejchman, Gymnázium Jeseník, jakub.tejchman@seznam.cz

Martin Veselý, SPŠ a VOŠ Příbram, martin.veslo@seznam.cz

Abstrakt:

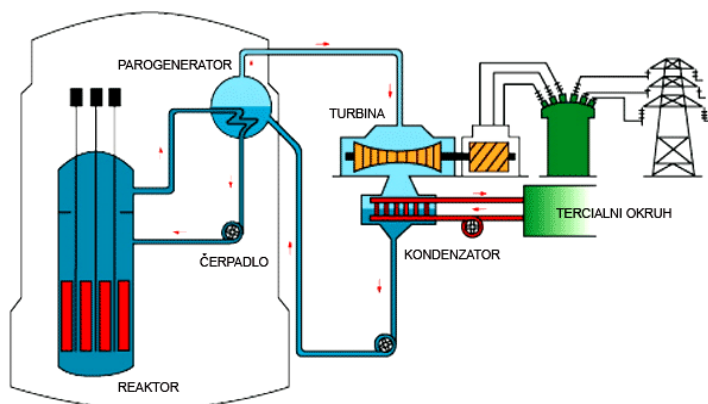
Cílem našeho projektu bylo seznámit se s konstrukčním uspořádáním JE a s jejich provozem. Provoz jsme simulovali na PC ve speciálních programech. Simulovali jsme běžný provoz, ale i havarijní stavy a nouzové odstávky reaktorů.

1 Úvod

Tento projekt jsme si vybrali, protože JE jsou často diskutovaný bezpečnostní problém a snažili jsme získat více znalostí jak z oblasti konstrukce JE, tak z oblasti jaderné bezpečnosti. Reaktory VVER patří k nejpoužívanějším, jsou chlazené i moderované lehkou vodou, kdežto CANDU jsou chlazené i moderované těžkou vodou. Záporná teplotní zpětná vazba těchto reaktorů přispívá k jejich bezpečnosti.

2 JE teoreticky i „prakticky“

Popis reaktoru VVER 440



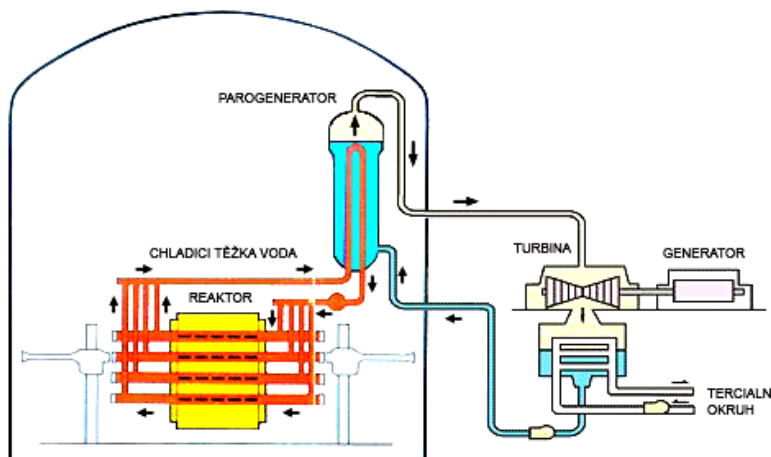
Anglickým ekvivalentem k ruské zkratce VVER (Vodo-Vodjanyj Energetičeskij Reaktor) je zkratka PWR (Pressurized light-Water cooled and moderated Reactor). Jedná se o tlakovodní reaktor, chlazený i moderovaných lehkou vodou. Tlak v primárním okruhu je 12,25 MPa. Teplota chladiva je 267 °C - 297 °C. Jak již napovídá název, je elektrický výkon tohoto

reaktoru 440 MW (tepelný výkon je 1375 MW). Palivem je obohacený uran (2 - 4% ^{235}U) ve formě oxidu uraničitého. Hmotnost paliva je 42 t v 312 palivových kazetách. Pro regulaci tohoto reaktoru se používají regulační kazety obsahující bórovou ocel a kyselina boritá, která se přidává do moderátoru (max. 12 g na litr vody). Mimo tuto regulaci má tento reaktor přirozenou zápornou teplotní zpětnou vazbu. Pokud dojde ke zvýšení teploty moderátoru,

začne klesat jeho hustota ztrácí moderační schopnosti, což vede k stabilizaci reakce. Stejně tak při úplném úniku vody z reaktoru dojde k zastavení reakce. Důležitou součástí reaktoru je tzv. kompenzátor objemu, což je tlaková nádoba zapojená do primárního okruhu. V této nádobě jsou umístěny elektrické ohřívačky a sprchy. V případě, že dojde k růstu tlaku, spustí se sprchy, dojde ke kondenzaci par nad hladinou vody, a tím ke snížení tlaku. V opačném případě se spustí elektrické ohřívačky a dojde k růstu tlaku v důsledku většího množství páry nad vodní hladinou. K reaktoru VVER 440 náleží dva turbogenerátory o výkonu 220 MW.

V ČR je tento reaktor instalován v JE Dukovany (4 bloky).

Popis reaktoru CANDU 6



Základem reaktoru je horizontální válcová nádoba (tzv. Calandria). V ní je umístěno palivo ve formě přírodního kovového uranu (117 t) nádoba je naplněna těžkou vodou, která slouží jako moderátor. Skrz aktivní zónu vede potrubí ze zirkoniové slitiny, kterým proudí chladicí tlaková těžká voda. Stejně jako

v případě reaktoru VVER 440 se i zde uplatňuje záporná zpětná vazba moderátoru. Tlak chladicí vody je 9,3 MPa a teplota chladicí vody na výstupu 305 °C. Elektrický výkon dosahuje 900 MW. Jako v případě předchozího reaktoru, i tento obsahuje kompenzátor objemu. Oproti reaktoru VVER 440 lze CANDU 6 regulovat také tak, že se do oblasti moderátoru (myšleno v nádobě) přidá lehká voda, která začne fungovat jako absorbátor neutronů. Absorpční schopnosti jsou však mnohem menší než v případě kyseliny borité.

Tento reaktor se v ČR nepoužívá.

Simulátory provozu JE

Simulátorem v tomto případě rozumíme speciální program pro PC, který co nejvěrněji napodobuje chování elektrárny. K tomu využívá metod numerického modelování tepelných a jaderných dějů. Program pro simulaci provozu JE s bloky VVER 440 je určen pro obsluhu dvěma osobami (jedna pro primární a druhá pro sekundární okruh) a provozuje se na čtyřech PC. Simulátor reaktoru CANDU 6 je obsluhován pouze jednou osobou. V obou programech lze kontrolovat tlaky a teploty v jednotlivých částech elektrárny a stav různých zařízení. Samozřejmě umožňuje řízení elektrárny.

Výsledky práce se simulátory

a) běžný provoz JE s VVER 440

Prvním úkolem bylo postupně snižovat výkon na 75 % nominálního výkonu a následně jej opět zvýšit. Tento postup se provádí změnou výšky regulačních kazet. Čím více byly zasunuty do reaktoru, tím byl nižší výkon, protože docházelo k větší absorpci neutronů. Regulátor primárního okruhu pracoval v manuálním režimu, aby bylo možné měnit polohu regulačních

kazet. V případě sekundárního okruhu pracoval regulátor jednoho turbogenerátoru v režimu N (což znamená, že si udržuje zadaný konstantní výkon, tj. bylo přiváděno stále stejné množství páry). Druhý generátor pracoval v režimu P (udržuje tlak v hlavním přívodu páry z parogenerátoru) a jeho výkon se měnil podle výkonu reaktoru, protože zde se měnilo množství přiváděné páry.

Výkon reaktoru (%)	Tlak v primáru (MPa)	Výška reg. kazet (cm)	Ohřívač nebo sprcha v KO	Výkon TG v režimu P (MW)	Tlak v sekundáru (MPa)	Výška vody v PG (cm)
100	12,2	175	nic	220	4,61	190
95	12,1	166	nic	200	4,59	190
90	12,1	158	ohřívač	181	4,57	191
80	12	141	ohřívač	139	4,54	191
75	12	133	2x ohřívač	114	4,53	191,5
80	12,2	140	ohřívač	131	4,56	191
90	12,5	157	nic	175	4,59	190
100	12,5	175	sprchy	216	4,62	190

KO – kompenzátor objemu, TG – turbogenerátor, PG - parogenerátor

b) výpadek všech cirkulačních čerpadel v JE s VVER 440

Při výpadku všech čerpadel došlo k automatické odstávce reaktoru a to díky téměř okamžitému zasunutí všech regulačních kazet. Zároveň došlo i k odstavení obou turbín. Sice došlo k zastavení řetězové reakce, ale teplota klesala pozvolněji díky zbytkovému výkonu, který je způsoben rozpadem štěpných produktů a zbytkovým štěpením. Díky poklesu teploty klesl v reaktoru i tlak. V sekundáru se naopak zvýšil, protože pára nepředávala turbíně energii.

c) běžný provoz JE s CANDU 6

Podobně jako v případě reaktoru s VVER 440 bylo zkoušeno postupné snížení výkonu reaktoru. Postupně byli zasouvány absorpční tyče. Čím více byly tyče zasunuty, tím absorbovaly více neutronů a klesal ohřev aktivní zóny (viz. tabulka níže). Po určité době neutrony schopné štěpení zmizely úplně a reakce se zastavila. Po vytažení absorpčních tyčí se reakce opět rozeběhla.

Neutronový výkon (%)	Tepelný výkon (%)	Výkon generátoru (%)	Tlak v sekundáru (MPa)	Absorpční tyč 1 (%)	Absorpční tyč 2 (%)
75	75	80	4,066	50	0
41	50	59	3,8	100	0
9	10	0	3,7	100	50

V případě výkonů se jedná o procenta z nominální hodnoty. V případě tyčí jde o procenta z celkové délky tyče

d) havarijní stavy simulované na reaktoru CANDU 6

Po příkazu na odstavení reaktoru došlo během několika sekund k zasunutí absorpčních tyčí a okamžitému snížení neutronového toku na nulu. Turbína ještě nějakou dobu otáčela setrvačností.

V případě, že dojde k náhlému zastavení turbíny, začne v reaktoru stoupat teplota a tlak. Ten roste díky snížení hustoty chladicí vody s rostoucí teplotou. Tento růst je způsoben tím, že reaktoru není odebíráno teplo pro tvorbu páry pro turbínu. Automatický systém začne zasouvat absorpční tyče a stabilizuje tlak na normálních hodnotách.

3 Shrnutí

V miniprojektu jsme si vyzkoušeli práce se simulátory provozu jaderných elektráren. Dozvěděli jsme se také mnoho o konstrukci JE. Simulace nás přesvědčila, že jaderná elektrárna je velmi bezpečné zařízení, protože jakékoliv „destruktivní“ zásahy do důležitých systémů elektrárny vedly k odstavení reaktoru, případně snížení jeho výkonu. V žádném případě nelze dnes používané jaderné elektrárny srovnávat s Černobylskou JE s reaktorem RBMK.

Poděkování

Tímto chceme poděkovat Ing. Dušanu Kobylkovi za umožnění realizace našeho projektu a odborné vedení. Dále děkujeme Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT a jejím partnerům za organizaci Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] <http://proatom.luksoft.cz/jaderneelektrarny/>
- [2] www.cez.cz
- [3] RNDR. AUGUSTA, P.: *Jaderná energie* ČEZ 2003, 12-16

Simulace provozu JE s blokem VVER 1000

P. Baxant, J. Fumfera, M. Kuna

Katedra jaderných reaktorů FJFI ČVUT

pavel.baxant@seznam.cz, fumfera_jaromir@seznam.cz,

MichalKuna@seznam.cz

Abstrakt:

Práce představuje popis základních částí jaderné elektrárny, jejího provozního i havarijního režimu. Při štěpné reakci se uvolňuje vazebná energie nukleonů (tj. protonů a neutronů) a to ve formě kinetické resp. tepelné energie. Toto teplo lze termodynamickými pochody přeměnit v elektrickou energii. Při simulaci provozu je možné vyzkoušet běžné situace i situace havarijní. Cílem je seznámit se s danou problematikou. K simulaci byl použit program VVER-1000 Reactor Department Simulator.

1 Úvod

Jaderná energetika – dnes již nenahraditelný zdroj energie. Nejenže vyrobení 1 kWh „z jádra“ je mnohem levnější než 1 kWh z uhlí, ale je i mnohem šetrnější k životnímu prostředí – nevypouští skleníkové plyny a produkuje mnohem menší množství pevných odpadů. Tento projekt je určen k popisu základních provozních částí, popisu běžného, ale i havarijního stavu.

2 Jaderná elektrárna s blokem VVER 1000

Jaderná elektrárna je velmi složité zařízení, sloužící k výrobě elektrické energie přeměnou energie tepelné. Tepelná energie zde vzniká uvolňováním vazebné energie nukleonů. Reaktor VVER 1000 se řadí mezi tlakovodní reaktory (voda zde cirkuluje pod tlakem 15,7 MPa, což zapříčiňuje to, že voda při vyšší teplotě – jež v reaktoru dosahuje až 320°C – nevře). Jako palivo se zde užívá uran obohacený izotopem ^{235}U na 3 až 5 %. Jádra uranu se štěpí tzv. tepelnými neutrony, které mají energii cca. 0,025 eV. Při rozštěpení vznikají zpravidla 2 až 3 odštěpky s velmi vysokou kinetickou energií a další 2 až 3 neutrony. Odštěpky se srážejí s okolním prostředím a uvolňují tak teplo. Vzhledem k tomu, že neutrony mají velmi vysokou energii (což snižuje pravděpodobnost, že rozštěpí další jádro), musí se zpomalit. Toho se dosahuje pomocí tzv. moderátoru, kterým je obyčejná lehká voda. Výhodou použitého moderátoru je jeho nízká pořizovací cena a vysoká moderační schopnost (na zpomalení

neutronu stačí pouze několik srážek s molekulami vody). Naopak nevýhodou je poměrně vysoká absorpce neutronů (snižování výkonu reaktoru). Pro regulaci výkonu se využívá tzv. absorbátorů – jednak se používají tzv. řídicí a regulační tyče vyrobené z oceli s přidavkem bóru (slouží k okamžité regulaci), jednak kyselina boritá sloužící k dlouhodobější regulaci výkonu. Uvolněná tepelná energie se dále přeměňuje prostřednictvím chladiwa (kterým je stejná látka jako moderátor – tedy lehká voda) vodu sekundárního okruhu na sytou páru. Pára pohání turbínu spojenou s generátorem (který již vytváří elektrickou energii). Výrobní blok JE je rozdělen na 3 základní části: primární okruh (zahrnuje reaktor ...), sekundární okruh (turbína a generátor ...) a terciální okruh (chladičí okruh).

Primární okruh

Primární okruh tvoří tlaková nádoba reaktoru, parogenerátory, hlavní cirkulační čerpadla, kompenzátor objemu a mnoho dalších pomocných a bezpečnostních systémů. V reaktoru jsou umístěny palivové proutky vyrobené ze speciální slitiny zirkonia Zircaloy. Uvnitř proutků se nachází samotné palivo – oxid uraničitý. Palivové proutky se sdružují do palivových kazet, které tvoří aktivní zónu reaktoru. Nad aktivní zónou jsou umístěny již zmíněné řídicí a regulační tyče. Z reaktoru díky hlavním cirkulačním čerpadlům (4 ks) proudí ohřátá voda do parogenerátorů (4 ks), jež díky své velké teplosměnné ploše předávají teplo vodě sekundárního okruhu. Voda se pak vrací zpět do reaktoru, kde se opět ohřívá. Pro regulaci nekonstantní hustoty primární vody se užívá tzv. kompenzátoru objemu. Toto zařízení udržuje v primárním okruhu konstantní tlak díky sprchovému systému a systému elektroohříváků.

Sekundární okruh

Sekundární okruh je tvořen parogenerátorem (společná část primárního i sekundárního okruhu), turbínou, elektrickým generátorem, kondenzátorem a množstvím dalších zařízení. Tlak vody v sekundárním okruhu se udržuje okolo hodnoty 6,27 MPa, což již dovoluje vodě při teplotě kolem 220°C vřít. Pára, vznikající v parogenerátoru, je hnána na turbínu, kterou roztáčí. Turbína zároveň roztáčí elektrický generátor, který již generuje elektrický proud. Pára po průchodu turbínou kondenzuje v kondenzátoru zpět na vodu a je hnána přes systém regeneračních ohříváků zvyšujících účinnost opět do parogenerátoru.

Terciální okruh

Tento chladičí okruh odebírá prostřednictvím kondenzátoru zbytkové teplo páře a odvádí ho chladičími věžemi do atmosféry.

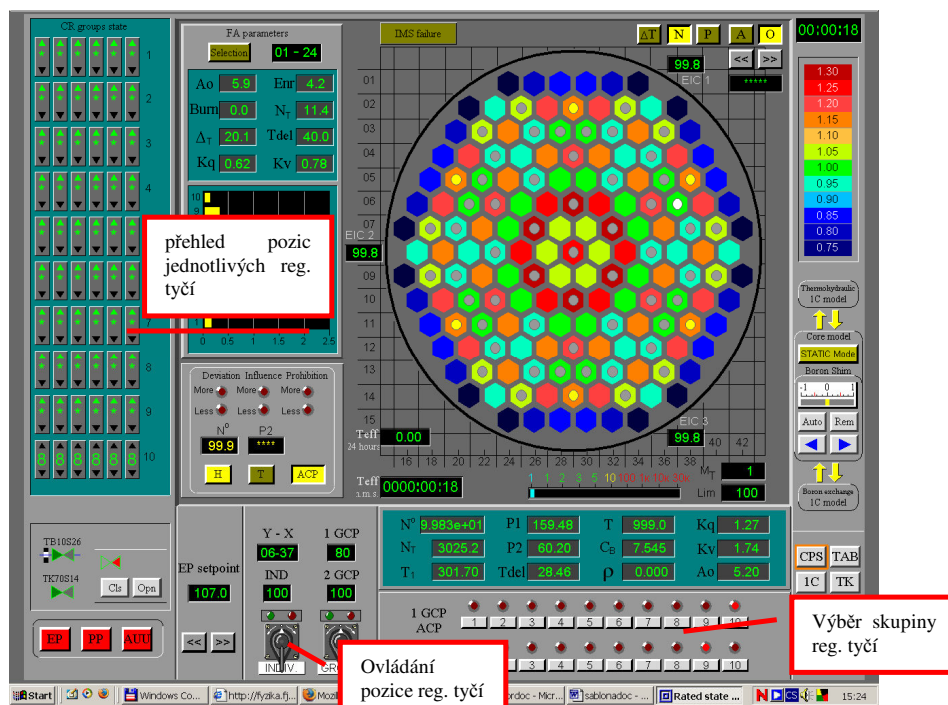
Simulátor bloku VVER 1000

Simulátor jaderné elektrárny je program, který se snaží na základě numerického modelování relativně věrně napodobit chování a potažmo řízení jaderného zařízení. Kromě simulace běžného provozu jsme se mohli seznámit i se scénáři havarijních situací.

V samotném programu je několik přehledových panelů (obrazovek), pomocí kterých se simuluje řízení reaktoru. Úvodní obrazovka (panel řízení reaktivity) umožňuje řídit polohu skupin regulačních tyčí ale i samostatných tyčí. Dále je zde možné sledovat numerické vyjádření hodnot výkonu, tlaku, teploty, reaktivity ... v reaktoru i na primárním a sekundárním okruhu (pouze tlak). Je zde též graficky znázorněn tlak, výkon a teplota v každém palivovém článku.

K dalším používaným funkcím patří nastavení koncentrace kyseliny borité, nastavení limitu pro spuštění havarijní ochrany a zapnutí či vypnutí Automatického kontrolního programu (tyto systémy samozřejmě nelze ovlivňovat při reálném provozu).

Při nestandardní situaci se zapnou některé ochrany a varovná hlášení – jejich stav je možno sledovat na obrazovce Panelu hlášek. Další hojně využívanou obrazovkou je Panel primárního okruhu. Zde se dá sledovat výška hladiny páry v parogenerátorech, její tlak, velikost tlaku v reaktoru, také stav čerpadel (spuštěno / vypnuto), sprch a elektroohříváků, také zde lze spustit náhradní přívod vody. Na Panelu sekundárního okruhu lze kontrolovat výšku hladiny parního kolektoru a činnost turbogenerátoru. K přehlednému shrnutí simulace slouží obrazovky 2D a 3D grafu. Trojrozměrný graf zobrazuje teplotu a výkon v každé části aktivní zóny, dvojrozměrný ukazuje například výšku hladiny v parogenerátorech, výkon, reaktivitu apod.



Popis některých situací

Plánované odstavení se provádí většinou z těchto důvodů: výměna paliva, revize nebo v případě poruchy některé méně důležité součásti. Pro plánované odstavení existuje přesný postup. Je zde stanovena mezní hranice snížení výkonu za určitý časový úsek. Za jednu minutu lze snížit výkon o 0,5% jeho celkového elektrického výkonu. Toto je ale možné provádět pouhých deset minut, pak se musí snižování výkonu na patnáct minut, během kterých se reaktor stabilizuje, zastavit. Snížení výkonu na 0% tedy trvá něco okolo 8,5 hodiny. I když je elektrický výkon nulový, reaktor stále produkuje teplo a to dobíhajícímu royzpadu štěpných produktů. Proto musí být i během odstávky reaktor chlazen.

Havarijní odstavení probíhá o dost rychleji než plánované. Podnětem k tomuto odstavení je většinou hrozba poškození reaktoru. Vysoký tlak či teplota, ale i var vody (způsobený nízkým tlakem) vede k odstavení, které většinou probíhá automaticky. Systém spustí všechny regulační tyče do aktivní zóny (doba pádu 4 až 6 vteřin) a také vylije zásobníky kyseliny borité. Během jedné simulace, při které bylo vyvinuto úsilí o dosažení co nejvyššího výkonu, byly vypnuty veškeré ochrany. Kromě deaktivace havarijní ochrany bylo nutné zvýšit tlak a snížit koncentraci kyseliny borité. Toto umožnilo zvýšit výkon až na 160% nominálního výkonu. Poté se vypařila veškerá moderátorová voda, čili reaktor ztratil moderační schopnost a neutrony byly příliš rychlé k udržení reakce. Pokud by byly havarijní ochrany aktivní, již při nepatrném zvýšení výkonu nad 100% spustily.

Disfunkce jednoho hlavního cirkulačního čerpadla (i více) způsobí, že do parogenerátoru se přestává dodávat horká voda z reaktoru, což způsobí, že v něm bude klesat tlak. Nyní sepnou havarijní ochrany. Parogenerátor se yačne doplňovat studenou vodou ze zásobníků, aby se vyrovnala hladina na 225cm. Také se spustí elektroohříváky a do okruhu reaktoru se začne doplňovat horká voda, což vyrovná tlak. Při této havarijní situaci klesne výkon přibližně na 65% nominální hodnoty. Po stabilizaci situace je nutné opravit čerpadlo.

3 Shrnutí

Výsledkem je jakýsi scénář různých havarijních situací. Potěšující je, že i přes velké úsilí, se nepodařilo dosáhnout maximální projektované havárie (roztržení tlakové nádoby reaktoru), což zcela jistě poukazuje na velmi vysokou bezpečnost těchto reaktorů.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat předně KJR FJFI ČVUT za poskytnutí prostor a počítačové techniky k naší simulaci, dále Ing. Dusšanovi Kobylkovi za teoretickou přípravu v oboru řízení jaderné reakce a vedení při praktické části a v neposlední řadě Vojtěchovi Svobodovi za zorganizování FT.

Reference:

- [1] HEŘMANSKÝ, B.: *Jaderné reaktory* SNTL, 1981
- [2] AUGUSTA, P. – ZEMAN, M.: *Jaderná energie* ČEZ, 2003
- [3] ZEMAN, J. *Reaktorová fyzika* KJR FJFI ČVUT, 1998

Únavové poruchy letadel – řádkovací elektronová mikroskopie

Radana Janovská (Gymnázium T. G. Masaryka Hustopeče), radanajanovska@seznam.cz

Tereza Ježková (Gymnázium Dobruška), deirdre.yavanna@seznam.cz

Zdeněk Houfek (Gymnázium Říčany), chili.zdenek@gmail.com

Abstrakt

Práce se zabývá fraktografií, řádkovací elektronovou mikroskopií a jejich využitím při zkoumání únavových poruch letadel. Fraktografická analýza přispívá k přesnějšímu určení životnosti jednotlivých komponentů, což může zabránit leteckým katastrofám a zároveň prodloužit dobu mezi servisními prohlídkami letadel.

1 Úvod

Cílem naší práce bylo seznámit se s fraktografií a řádkovací elektronovou mikroskopií, které se používají při analýze únavových poruch letadel. Zkoumali jsme příčinu poškození lopatky turbíny leteckého motoru. K práci jsme používali řádkovací elektronový mikroskop, s jehož pomocí jsme analyzovali povrch lomu této lopatky.

2 Fraktografie

Fraktografie je věda zabývající se zákonitostmi lomů a deformacemi pevných látek např. při únavě materiálu. Únavou materiálu je označena deformace, která je způsobena cyklickou provozní zátěží. Informace o procesu porušování se získávají pozorováním pouhým okem, užitím zvětšovacího skla i nejmodernějšími řádkovacími elektronovými mikroskopy. Analyzuje se morfologie lomových ploch a získané poznatky o procesech porušování se používají ke zlepšení konstrukce konkrétního výrobku.

Fraktografická analýza pomáhá určit průběh porušování jednotlivých součástí i historii porušení celé konstrukce. Toho se využívá při únavové zkoušce, kdy jsou části (např. křídlo letadla) podrobeny nejrozsáhlejšímu zatěžování, které simuluje provozní podmínky. Po zkoušce jsou jednotlivé součástky zkoumány kvůli výskytu únavových trhlin. Pomocí výsledků fraktografické analýzy a údajů zaznamenaných v průběhu zkoušky je možné zjistit i přesný čas vzniku a rozvoje jednotlivých poruch, čímž lépe určíme životnost součástek.

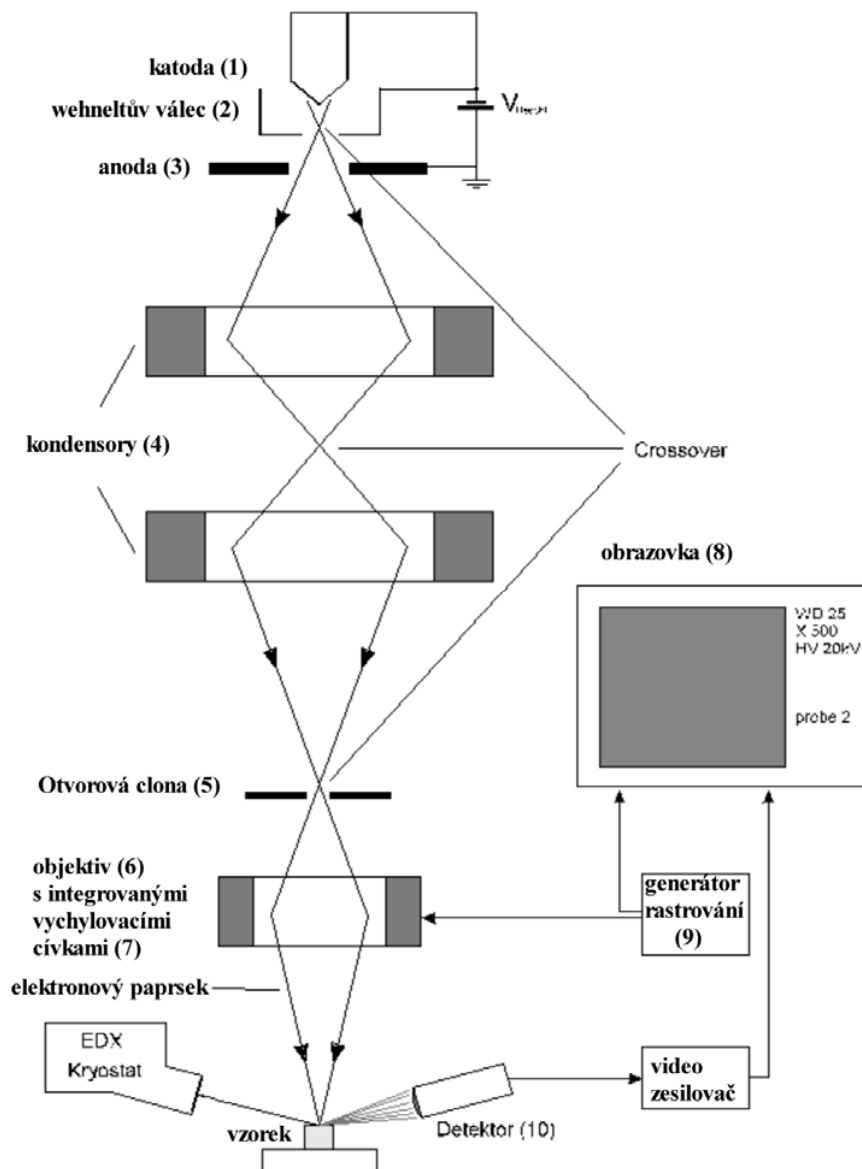
Fraktografie může též objasnit příčiny různých leteckých i jiných havárií. V takovém případě se analyzuje porušený díl, na lomových plochách se hledají charakteristické znaky pro určitý typ porušování nebo technologické vady.

3 Řádkovací elektronová mikroskopie

Narozdíl od běžných světelných mikroskopů se v elektronových mikroskopech místo světla používá svazek elektronů, které jsou urychleny elektrickým polem. Existují dva typy elektronových mikroskopů:

- 1) Transmisní elektronový mikroskop (TEM) - Funguje na principu „prosvícení“ daného vzorku elektrony. Proto je jeho uspořádání obdobné jako u mikroskopu optického - vlastní obraz vzniká tak, že elektrony, které pronikly vzorkem jsou zaostřeny v systému čoček a nakonec zviditelněny na obrazovce.
- 2) Řádkovací elektronový mikroskop (SEM – scanning electron microscope) – S ním jsme pracovali, proto se jím budeme zabývat podrobněji.

Řádkovací elektronový mikroskop:



Obr 1. : Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu.

Zdrojem elektronů je wolframové vlákno, které je zahříváno elektrickým proudem. Elektrony prochází elektronovým dělem, kde jsou urychlovány elektrickým polem a soustřeďovány soustavou elektromagnetických čoček do úzkého svazku. Ten dopadá na zkoumaný vzorek. Jak elektronové dělo, tak komora vzorku obsahují vakuum. Interakcí elektronového svazku s materiálem vzorku se uvolňují sekundární elektrony a následně jsou snímány scintilačním detektorem. Pohyb elektronového svazku po povrchu vzorku je svázán s pohybem paprsku na obrazovce, čímž vzniká obraz.

Oproti transmisnímu elektronovému mikroskopu, u kterého používáme pouze tenké vzorky, protože právě takové je možno prozářit elektronovým svazkem, pod řádkovacím elektronovým mikroskopem můžeme sledovat vzorky masivní.

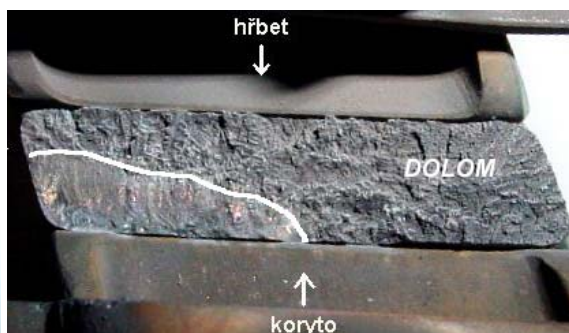
4 Povrch lomu lopatky

Praktickým příkladem fraktografické analýzy je vyhodnocení poruchy lopatky generátorové turbíny leteckého motoru M601 (obr. 2). Byla analyzována jedna lopatka z celkového počtu 57 porušených lopatek. Pro analýzu byla použita makrofotografie, a řádkovací elektronová mikroskopie (obr. 3). Již na základě makrosnímků (obr. 4) lomové plochy byly patrné dva způsoby porušování lopatek. Před zkoumáním vzorku v elektronovém mikroskopu bylo potřeba odstranit znečištění povrchu lomových ploch. Řádkovací elektronová mikroskopie potom přiřadila jednotlivým částem lomové plochy jejich mechanismy porušování. Únava materiálu v jedné části lomové plochy byla prokázána přítomností striací (obr. 5). Zbytek lomové plochy nesl znaky následného statického dolomu (obr. 6). Díky tomu bylo možné rekonstruovat průběh porušení lopatky. Během provozu došlo ke vzniku trhliny na defektu materiálu (obr. 7) a následnému šíření mechanismem únavového porušování. Po porušení značné části (cca 30%) nastalo statické dolomení zbytku nosného průřezu (plocha řezu v místě porušení).

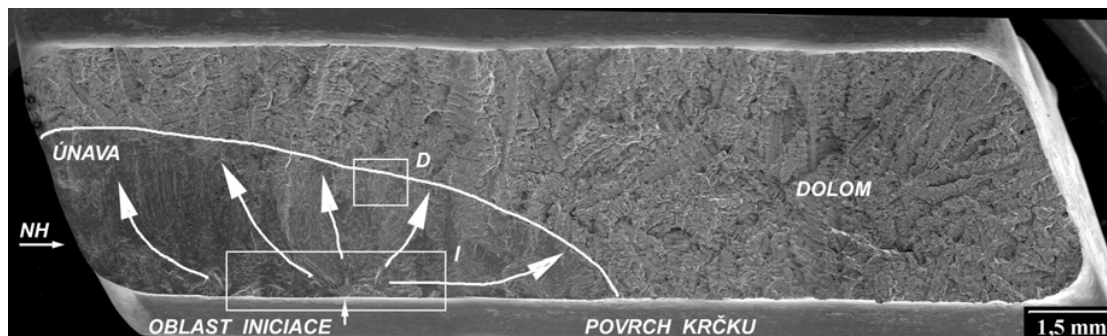
Striace jsou typickým znakem únavového lomu (obr. 5) a vznikají cyklickou plastickou (nepružnou) deformací porušovaného materiálu. Ze vzdálenosti mezi jednotlivými striacemi lze určit rychlost šíření únavové trhliny. Bohužel vztah mezi vzdáleností jednotlivých striací a rychlostí šíření trhliny pro daný typ materiálu nebyl znám. Nedala se proto určit doba uplynulá od vzniku trhliny – oblasti iniciace (obr. 7) do celkového porušení lopatky.



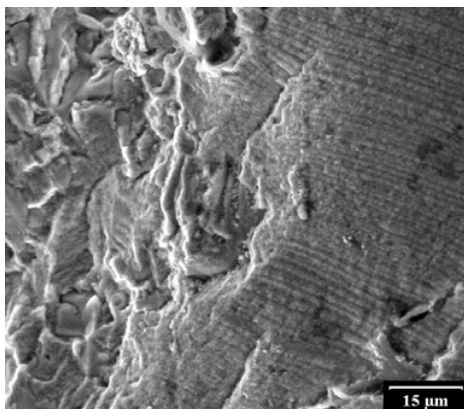
Obr. 2 : Disk rotoru.



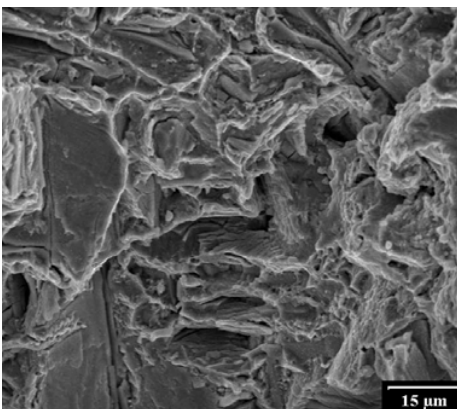
Obr. 3 : makrofotografie lomové plochy.



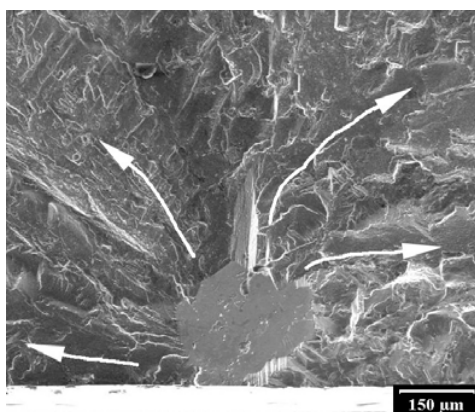
Obr. 4 : Snímek lomové plochy pořízený pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu.



Obr. 5 : Únavový lom.



Obr. 6 : Dolom.



Obr. 7 : Iniciace únavové trhliny.

5 Závěr

Na základě provedené analýzy lze předpokládat, že příčinou poruchy byla přítomnost nevhodně orientovaného krystalového zrna značné velikosti a nešlo o výraznou materiální nebo technologickou vadu (stopy po obrábění, broušení atd.). Velikost statického dolomu byla relativně velká. Proto lze usuzovat, že namáhání lopatky bylo značně vysoké (pro ilustraci uvádíme, že se disk motoru otáčí cca 30 000krát za min.).

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing. Janu Siegelovi, CSc., Ing. Ondřejovi Kovaříkovi, Ph.D a Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské, především potom organizátorům Fyzikálního týdne 2006.

Reference:

- [1] VZLÚ a.s.: *Pevnost letadel*, <http://www.vzlu.cz/htmfiles/pevnost.htm>
- [2] Kunz, J.: *Fraktografické studium šíření trhlin v letadlových konstrukcích*. [Výzkumná zpráva LU 24/2001/CLKV.] Brno, CLKV 2001, 40 s.
- [3] Siegl, J.: *Faktografická analýza provozní poruchy lopatky generátorové turbíny motoru M601*
- [5] Reule M., Hustert F.: *Grundlagen, Anleitung und Herstellung von Referenzproben zur Energie – Dispersive - Röntgenmikrobereichanalyse (EDX); studienarbeit; Fachhochschule Mannheim, Institut für Werkstoffprüfung und Werkstoffskunde*

Gama záření z přírodních zdrojů

David Paulů, Gymnázium Jiřího Wolker, Prostějov; david_paulu@seznam.cz

Jan Zugárek, SPŠE Brno; j.zugarek@seznam.cz

Petr Distler, Gymnázium Jeseník; petrdistler@seznam.cz

Abstrakt:

Práce se věnuje problematice detekce gama záření pomocí HPGe detektoru. Cílem experimentální části bylo určit radionuklidy ve vybraných přírodních vzorcích na základě detekované energie. Zvolenými vzorky byly smolinec z hlušiny jáchymovské haldy a med nasbíraný v roce 1988 v černobylské oblasti.

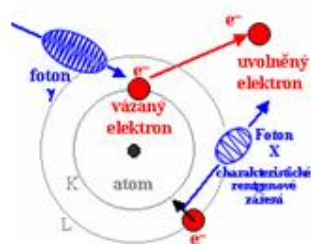
1 Úvod

Cílem naší práce bylo seznámit se s fyzikální podstatou záření gama, jeho interakcí s látkou, možnostmi detekce a měření vybraných vzorků.

Co gama záření vůbec je? Je to vysoce energetické elektromagnetické vlnění vznikající při radioaktivních a jiných jaderných a subjaderných dějích, které je často definováno jako záření o energii fotonů nad 10 keV. (Kiloelektronvolt = množství energie, kterou potřebuje elektron na překonání elektrického potenciálu jednoho kilovoltu, $1 \text{ keV} \approx 1,602 \times 10^{-16} \text{ J}$.) Záření gama je druh ionizujícího záření. Do materiálu proniká lépe než záření alfa nebo beta, která jsou korpuskulární.

Existuje mnoho způsobů jak může gama záření interagovat (vzájemné působení částic) s látkou, ovšem ve většině případů jsou to tyto tři:

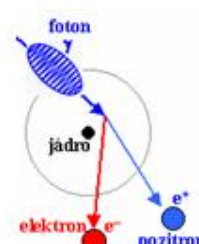
- 1) Fotoelektrický jev – vzniká, když foton γ interaguje s elektronem na orbitu atomu a předá mu veškerou energii, což elektronu umožní opustit atom.
- 2) Comptonův rozptyl – je interakce fotonu s volným nebo slabě vázaným orbitálním elektronem, při níž část energie fotonu umožní únik elektronu z atomu a zbytek energie je vyzářen v podobě méně energetického fotonu.
- 3) Vznik elektron-pozitronového páru – nastává při průletu fotonu v dosahu Coulombické síly jádra. Energie fotonu je využita na vznik páru elektron- pozitron.



Fotoefekt



Comptonův rozptyl



Vznik páru e^- a e^+

Chceme-li detekovat gama záření a určit jeho energii, můžeme použít detektory: scintilační, plynové nebo polovodičové.

2 Metodika

K měření jsme použili polovodičový detektor HPGe (High Purity Germanium = Vysoce Čisté Germanium) s analyzátozem Canberra. Pro kalibraci detekční soustavy jsme použili radionuklidy ^{137}Cs ($E_\gamma = 661,7 \text{ keV}$) a ^{60}Co ($E_{\gamma 1} = 1173 \text{ keV}$, $E_{\gamma 2} = 1333 \text{ keV}$).

Měřili jsme tyto vzorky: 1) Med z Černobylu nasbíraný v roce 1988

2) Smolinec z Jáchymova

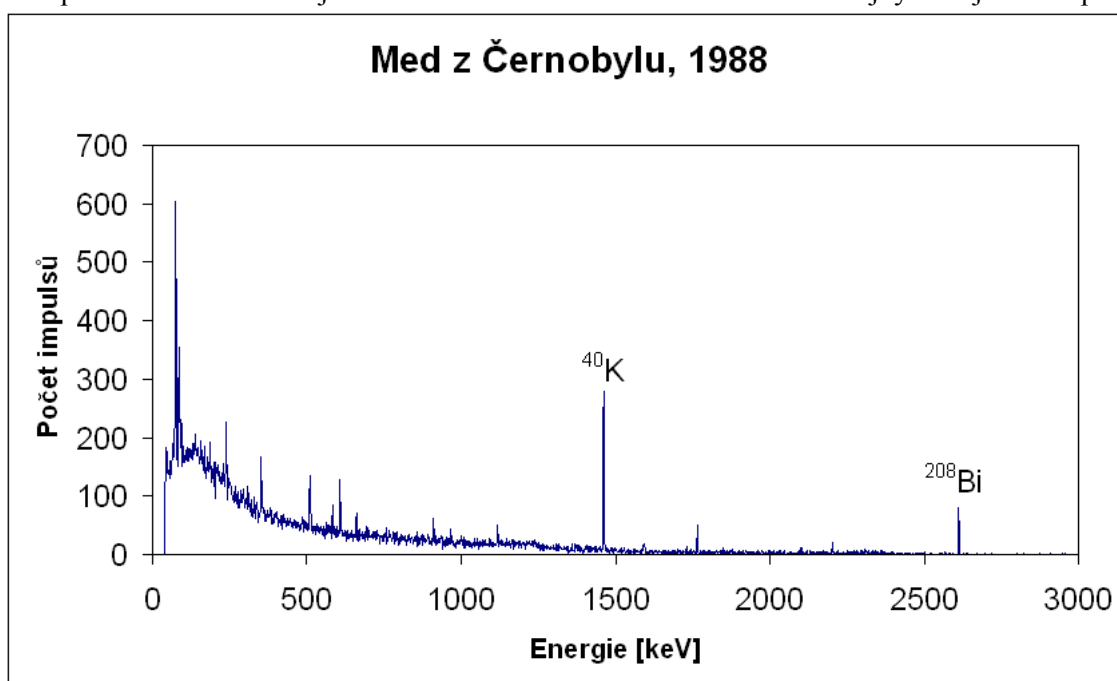
Nízko aktivní vzorek medu jsme měřili po dobu $t_1 = 7262 \text{ s}$, pro aktivnější vzorek

smolince jsme zvolili kratší čas $t_2 = 1977 \text{ s}$.

3 Výsledky měření

Naměřená spektra jsou na grafu 1 a 2.

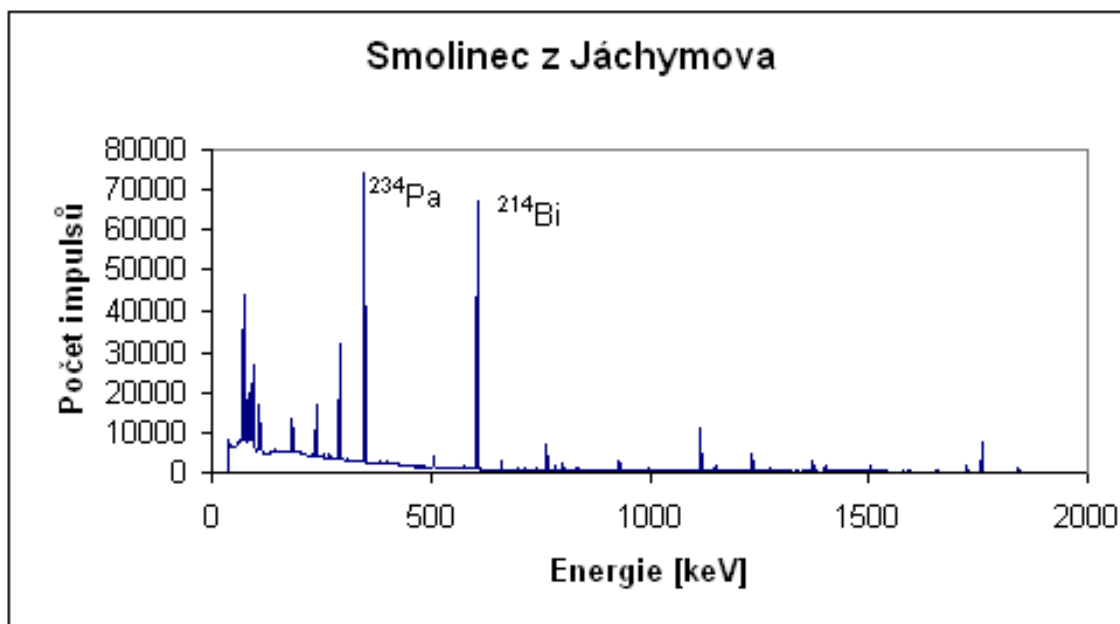
Ve spektru obou vzorků jsme identifikovali mnoho radionuklidů. Nejvýrazněji zastoupené



Graf č. 1: Naměřené energetické spektrum prvního vzorku.

Radionuklid	Energie [keV]
^{40}K	1461
^{208}Bi	2615

Tabulka č. 1: Radionuklidy obsažené v medu.



Graf č. 2: Naměřené energetické spektrum druhého vzorku. Na první pohled je patrný výrazně vyšší počet detekovaných impulsů než v případě prvního vzorku.

Radionuklid	Energie [keV]
^{214}Bi	609, 767, 1120
^{214}Pb	295, 352
^{234}Pa	294, 1762

Tabulka č. 2: Nejvíce zastoupené radionuklidy druhého vzorku.

4 Závěr

Provedli jsme měření vybraných přírodních vzorků, u kterých jsme předpokládali určitý obsah radionuklidů.

U medu z černobylské oblasti jsme pozorovali pouze malou aktivitu, nejvýrazněji zastoupeným radionuklidem byl ^{40}K , který je jako biogenní prvek v určitém množství složkou většiny živých organismů.

U smolince byla aktivita výrazně větší, pozorovali jsme produkty rozpadové řady ^{238}U a to hlavně ^{214}Bi , ^{214}Pb .

Výsledky nejsou nijak překvapivé a dopadly podle očekávání, u medu je odhadovaná aktivita minimální, u horniny z oblasti těžby uranu je naopak větší.

Poděkování

V závěru práce bychom chtěli poděkovat ČVUT, obzvláště FJFI, ČEZu a Nadačnímu fondu pro podporu teoretické fyziky za finanční dary i zázemí. Za odborný dohled našemu supervizorovi Ing. Ondřeji Šmejkalovi. V neposlední řadě děkujeme taky Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., za přípravu a průběh Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] www.cs.wikipedia.org
- [2] PFENNIG, G. – KLEWE-NEBENIUS, H. – SEELMANN-EGGEBERT, W.: *Karlsruher Nuklidkarte*. Forschungszentrum Karlsruhe – Technik und Umwelt, 1998, str. 24.
- [3] On-line tabulka radionuklidů, <http://nucleardata.nuclear.lu.se>

Aplikace rentgenfluorescenční analýzy při studiu památek

T.Kulatá, Z.Ferda, L.Bandas

Gymnázium Šternberk, Katolické gymnázium Třebíč, Gymnázium Podbořany

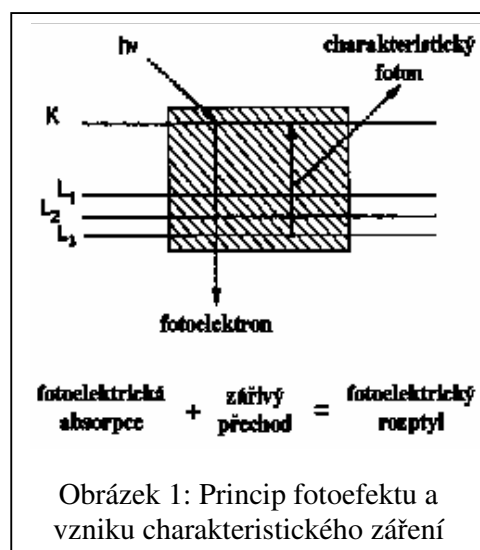
Abstrakt

Rentgenfluorescenční metoda slouží k určování složení různých objektů. Článek popisuje princip metody, měřicí aparaturu a postup měření. Po provedení energetické kalibrace, jsme změřili kvalitativní složení několika vzorků, u mosazných pak i kvantitativní. Srovnáním námi naměřených hodnot s deklarovanými lze soudit, že tato metoda je široce využitelným analytickým nástrojem.

Úvod

Rentgenfluorescenční analýza je fyzikální metoda, pomocí které snadno, rychle a poměrně levně určíme prvkové složení materiálu. Využívá jevu tzv. fotoefektu a je založena na buzení charakteristického záření ve vzorku primárním zářením ze zdroje. Toto vybuzené záření se detekuje v polovodičovém detektoru a získaná data lze využít k analýze materiálu. Velkou výhodou této metody je její nedestruktivnost.

1 Základní principy a vlastnosti metody



Foton je schopen z některé vnitřní slupky atomu vyrazit elektron za podmínky, že jeho energie je vyšší než vazebná energie příslušného elektronu k atomu. Na jeho místo se přemístí jiný z elektronů z vyšší slupky, čímž může dojít k vyzáření fotonů tzv. charakteristického záření. V atomech různých prvků je energetický rozdíl mezi hladinami různý, takže i energie charakteristického záření je rozdílná. Vzhledem k šířce okénka detektoru a nízké energii charakteristického záření X není možné měřit obsah prvků se Z menším než přibližně 20. Rovněž detekční limit metody nepatří k nejlepším. V našem případě v řádu desetin procenta. Na druhou stranu je tato metoda levná, rychlá, nedestruktivní a měří všechny prvky najednou v širokém rozsahu koncentrací.

2 Detekční aparatura

Hlavní části aparatury jsou rentgenka, která emituje fotony budící charakteristické záření ve vzorku, a polovodičový detektor charakteristického záření. Přístroje jsou připojeny na počítač, kde získáme požadované výsledky.

Rentgenka pracuje na podobném principu jako klasický rentgen s tím rozdílem, že je vymezen jen úzký svazek o průřezu 1mm^2 , aby bylo možné měřit dostatečně malé plochy. Napětí je nižší než u rentgenu, v našem případě 30kV a proud také nižší, konkrétně 20 μA pro kovové a 50 μA pro nekovové vzorky.

Polovodičový detektor je v principu polovodičová dioda zapojená v závěrném směru, za normálních podmínek tedy nevede proud. V případě, že uvnitř citlivého objemu detektoru dojde k interakci ionizující částice, vytvoří se v důsledku této interakce v detektoru páry elektron, díra, které značně zvyšují vodivost. Počet těchto párů je úměrný energii, kterou částice v detektoru ztratila. Obvykle je to veškerá energie částice. Výška signálu je tedy úměrná energii částice.



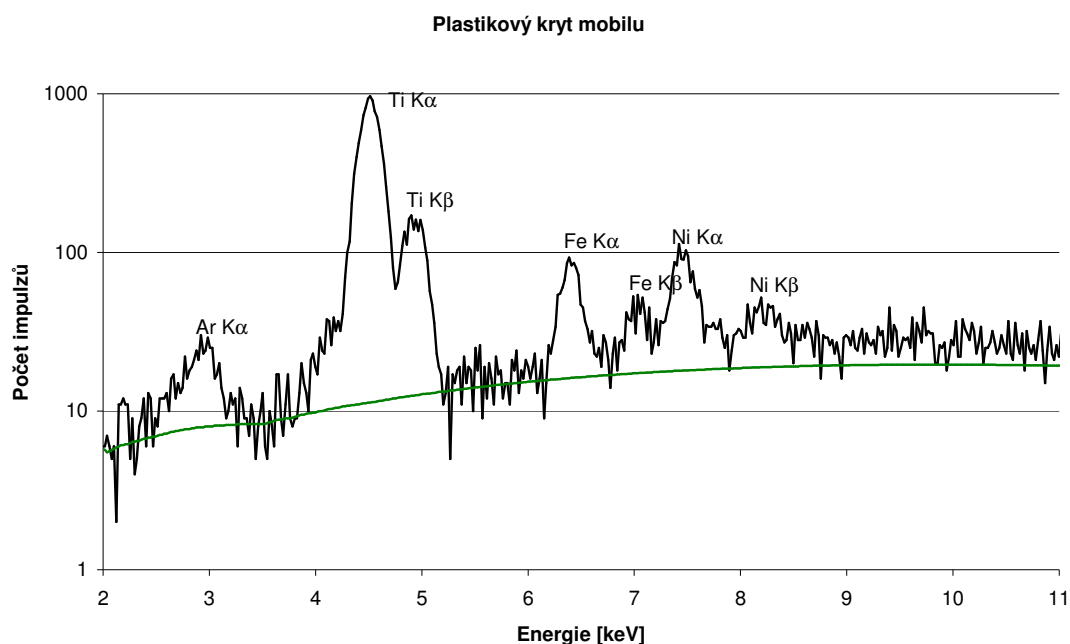
Obrázek 2: Rentgenka (vlevo) a polovodičový detektor (vpravo) při měření desek zemských ze sbírek Státního archivu v Praze

3 Postup měření

Nejprve jsme změřili vzorky známých prvků – Ca a Br, abychom pomocí známých energií provedli energetickou kalibraci. Dále jsme změřili vzorek HgO , abychom se přesvědčili, že kalibrace byla správná. Pak jsme přistoupili k měření standard, konkrétně čtyř vzorků mosazi a čtyř vzorků bronzů. Dále jsme měřili neznámé předměty: mince, klíč, hodinky, plast, papír,... Po ukončení měření jsme zpracovali výsledky pomocí programu QXAS.

4 Výsledky měření

U některých vzorků jsme provedli pouze kvalitativní analýzu. U krejcaru jsme jako dominantní prvek identifikovali měď, ostatní prvky jsou přítomné v zanedbatelném množství. U stříbrné rakouské mince z doby Marie Terezie převažovalo stříbro a měď. Ve spektru hodinek dominuje Cr a Fe, jedná se tedy zřejmě o pochromované železo nebo ocel, či o slitinu Fe a Cr. Ve vzorku plastu jsme identifikovali Ti, který se přidává k získání bílého zabarvení. U papíru převažoval vápník, který se v technologii výroby používá k bělení.



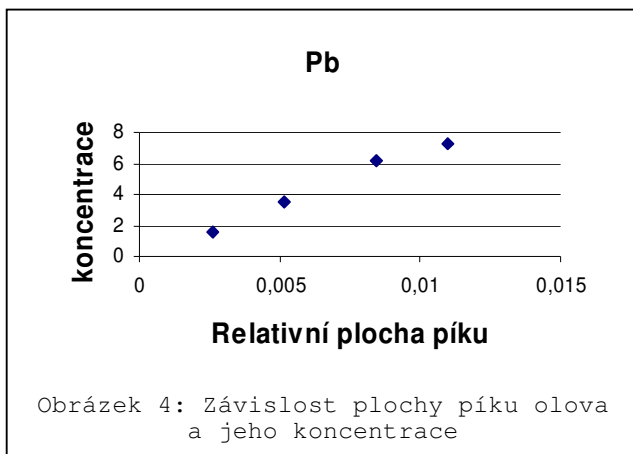
Obrázek 3: Spektrum plastického krytu mobilu – jeho bílá barva je způsobena příměsí oxidu titaničitého (titanová běloba)

U mosazných vzorků jsme provedli jak kvalitativní, tak kvantitativní analýzu, neboť jsme měli k dispozici potřebné standardy. Určovali jsme především poměr dvou hlavních složek, tedy Zn a Cu, viz tabulka níže. Z tabulky je patrné, že poměr Zn ku Cu v mincích v zásadě odpovídá poměru deklarovanému ČNB. U vzorku klíče nebylo možné zjistit bližší deklarované složení, proto srovnání nebylo provedeno.

	deklarované hodnoty		naměřené hodnoty	
	Cu	Zn	Cu	Zn
klíč	-	-		
50 Kč střed	75	25	78,2	21,8
20 Kč	75	25	77,2	22,8

Tabulka 1: Složení mosazných předmětů

Pro bronzové vzorky jsme sestavili kalibrační křivky některých zjištěných prvků. I přes variabilní složení matrice je většina kalibračních křivek poměrně hladká. Výjimkou je křivka mědi, kde velkou roli sehrály zřejmě pouze nepatrné relativní změny jejího obsahu ve srovnání se změnou obsahu ostatních prvků. U železa a cínu pravděpodobně měly na přesnost kalibrace zásadní vliv chyby v určení plochy píku.



5 Shrnutí

Naše pokusná měření ukázala, že tato metoda je široce využitelná a získané výsledky většinou skutečně odpovídaly předpokladům.

Poděkování

Za sponzorskou podporu děkujeme: Nadačnímu fondu teoretické fyziky, Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, Energetické skupině ČEZ, a za odbornou pomoc ing. Petru Průšovi.

Reference

- [1] Janssens, K.H.A.; Adams, F.C.V.; Rindby, A.: Microscopic X-ray Fluorescence Analysis, Wiley, 1999, Chichester
- [2] QXAS (Quantitative X-ray Analysis System), IAEA 1995-96
- [3] <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/nucSearch.asp>
- [4] <http://www.cnb.cz/>

Prvkové analýzy pomocí protonového svazku (metoda PIXE)

Tomáš Javůrek^a

Radek Tyrál^b

Libor Vysloužil^c

Gymnázium Jeseník, Komenského 281^a

Gymnázium Olomouc, Čajkovského 9^b

Gymnázium Jiřího Wolkra, Kolárova 3, Prostějov^c

Supervizoři: Ing. Jiří Voltr, Csc., RNDr. Jan Prošek

Abstrakt:

V této práci bylo naměřeno spektrum železa, a následně vyhodnoceno pomocí programu Gupix. Dále byly provedeny analýzy dříve naměřeného vzorku šupiny z historického kovového předmětu. Byla přitom využita analytická metoda PIXE (Particle Induced X-ray Emission).

1 Úvod

Existuje mnoho metod využívajících spektrální analýzy k určení chemického složení zkoumaného materiálu. Jedním z nich je PIXE. Tato metoda je využívána jen v asi dvoustech laboratořích.

2 fyzikální podstata PIXE

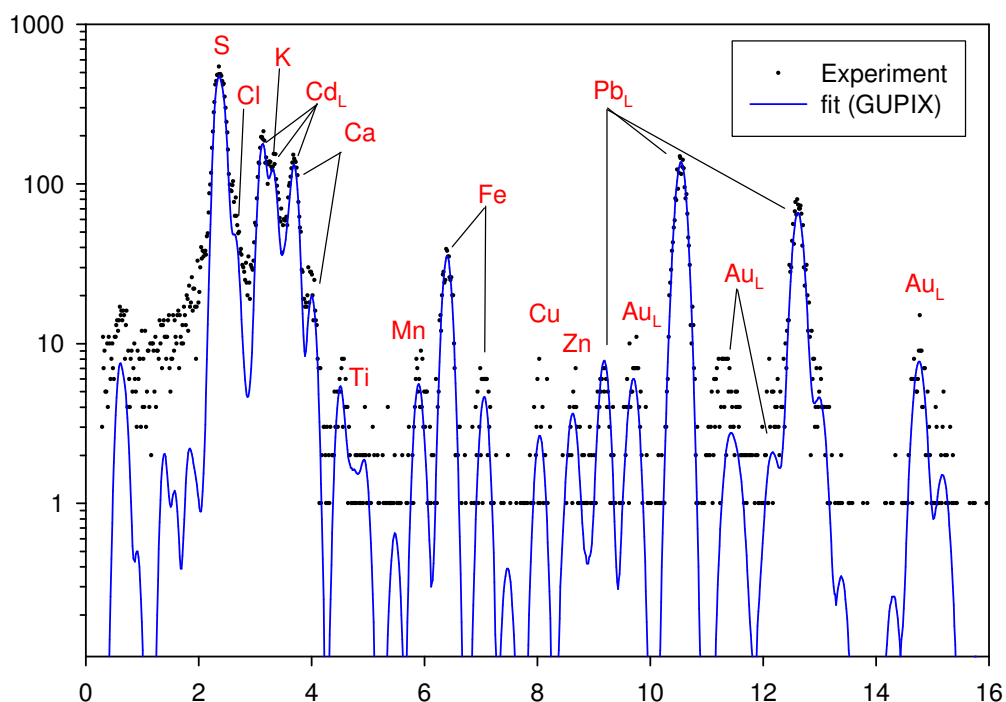
Pokud rychlý proton narazí na elektron v atomovém obalu zkoumaného prvku, vyrazí jej, přičemž elektron z nějakého vyššího stavu přeskočí na místo vyraženého elektronu. Vzhledem k zákonu zachování energie musí tento elektron vyzářit kvantum energie, tedy foton. Tento foton poté detegujeme a převedeme na elektrický impuls. Z rozdělovacího principu kvantové mechaniky je patrné, že každý prvek bude vyzařovat fotony specifických energií právě pro něj a ne jiných. Čím větší bude tato energie, tím vyšší proud se v Si(Li) detektoru indukují. Tento proud v řádech μA se nadále zesílí, změní a zpracuje pomocí softwaru Gupix.

Postup je tedy takový, že protony urychlíme asi na energii c pomocí urychlovače Van de Graaff. Protonový svazek nadále usměrníme a filtrujeme elektromagnetickým polem, a pouštíme na zkoumaný vzorek. Detegované emisní fotony nám vytvoří spektrum, které analyzujeme. Pokud nechceme detegovat jistý prvek, tak před detektor postavíme absorbér, což ovšem musíme zadat softwaru. Pokud se chceme zaměřit na úzkou skupinu prvků, jeden absorbér by nestačil. Proto to vyřešíme tak, že Gupixu hledanou skupinu zadáme, respektive vymažeme ty prvky, které nás nezajímají. Důležitou komponentou je Faradayův kalich, který je umístěn pod terčem. Jeho pomocí jsme schopni měřit náboj, který vzorkem prošel. Z tohoto náboje a četnosti detegovaných fotonů je Gupix schopen vypočítat kolik tam daného prvku je.

Jednou z výhod PIXE tedy je, že dokážeme zjistit i kvantitu. Další nespornou výhodou je, že jsme schopni měřit více prvků nejednou, neboť analyzujeme celé emisní spektrum nejednou. Vzhledem k tomu, že jsme schopni nastavit energii protonů v urychlovači, můžeme částečně ovlivnit, jak hluboko chceme spektrum pozorovat.

3 spektrum šupiny z kovového historického předmětu

V grafu vidíme spektrum tak, jak ho vyhodnotil Gupix. Samozřejmě že daný prvek má ještě další maxima, ty jsou ovšem tak malá, že je považujeme za šum. Někdy se ovšem stane, že do detektoru dojdou dva fotony těsně po sobě. V celkovém spektru jsou pak maxima navíc, která jsou na místě součtů dvojic jednotlivých maxim příslušejících k danému prvku. Tyto matoucí informace však dokáže Gupix separovat. Často se stává, že dané maxima padnou přes sebe a dojde k superpozici. V grafu si můžeme všimnout na příklad chloru, který je téměř v maximu síry.



4 Závěr

Zpracovali jsme spektrum šupiny starožitného předmětu pomocí softwaru Gupix. Dále jsme provedli prvkovou analýzu z níž vyplynulo, že je v materiálu nejvíce síry, draslíku,

olova a železa. Detegována bylo i zlato. PIXE je velice citlivá metoda, a právě proto je třeba dávat pozor při finální analýze.

5 Poděkování

Za pomoc při práci děkujeme Ing. Josefu Voltrovi, Csc. a RNDr. Janu Proškovy. Dále děkujeme FJFI ČVUT v Praze za organizaci fyzikálního týdne.

Plynová chromatografie při radiační dechloraci polutantů

A. Podolník *
E. Šmídová **

* Gymnázium Brno, tř. Kpt. Jaroše 14
** Gymnázium Aloise Jiráska, Litomyšl

a@matfyz.cz

Abstrakt:

Pro odstranění chloru z molekul polychlorovaných bifenyly se využívá metoda radiační dechlorace, při které vlivem radioaktivního záření dochází v ozářeném vzorku k reakcím, které by jinak nenastaly. Plynová chromatografie je analytická metoda, která nám pomáhá zjistit průběh dechlorace. Její předností je vysoká citlivost a selektivnost. U nás se radiační dechlorace studuje na KJCH FJFI na urychlovači elektronů firmy Mikroel, umístěném v ÚJV Řež, plynová chromatografie a vývoj technologie radiační dechlorace PCB se provádí na Katedře jaderné chemie FJFI ČVUT.

1 Úvod

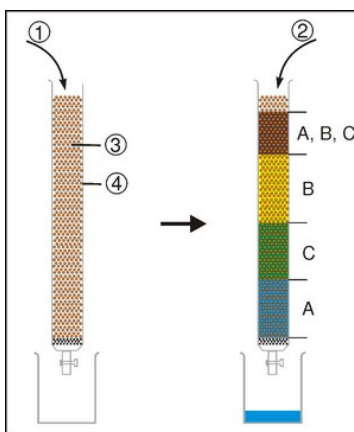
Pro odlišení složek různých směsí se využívají různé metody. Jednou z nich je plynová chromatografie. Má široké uplatnění.

V minulém století se celosvětově rozšířily látky zvané polychlorované bifenyly, ale později se zjistilo, že se v přírodě nerozkládají, ale usazují, a následně se dostávají do potravního řetězce. Proto je potřeba se jich zbavit, a k tomu se využívají poznatky z radiační chemie. Plynová chromatografie je potom využita ke kontrole výstupních produktů.

2 Chromatografie

Obecně

Chromatografie je fyzikálně-chemická analytická metoda pro rozlišení složek vzorku. Vynalezl ji ruský botanik Cvet při oddělování různých rostlinných barviv (odtud název, lat. barva – chroma). Během chromatografického měření se využívá dvou tzv. fází. Jsou to pohyblivá (mobilní) a nepohyblivá (stacionární) fáze. Během průchodu mobilní fáze (obvykle vzorek určený k analýze v nosné médium) stacionární fází dojde k oddělení složek díky jejich různým fyzikálně-chemickým vlastnostem.



Chromatografie

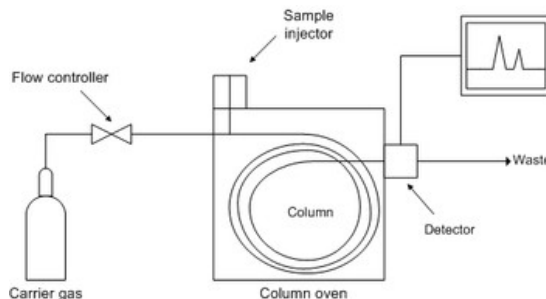
Plynová chromatografie

Plynová chromatografie je taková metoda, při níž je pohyblivou fází plyn. Umožňuje detekovat nejen plyny, ale i ostatní látky, které lze lehce odpařit. Je nejen jedním z nejvýznamnějších postupů chromatografie, ale i celé chemické, zvláště organické, analýzy. Její hlavní předností je nejen rychlost, ale především vysoká citlivost.

3 Měřicí přístroj

Plynový chromatograf se skládá z těchto částí:

- Nádoba s nosným plynem a jeho vedení
- Vstřikovač vzorku – zařízení, kterým se pomocí speciální injekční stříkačky vpraví vzorek do proudu nosného plynu. Protože vzorky bývají nejen plynné, vstřikovač musí být přehřátý na dostatečnou teplotu.
- Chromatografická kolona
- Detektor
- Výstup dat – zpracování dat obstarává počítač přes A/D převodník a obslužné programy.



Nosný plyn

Pro průchod vzorku skrz kolonu je potřeba, aby byl přítomen tzv. nosný plyn, který zajistí jeho transport. Obvykle se používá takový, od něhož se neočekává, že by reagoval se vzorkem (dusík, vzácné plyny). Vhání se do aparatury pod přesně daným tlakem, který zajišťuje konstantnost měření.

Chromatografická kolona

Chromatografická kolona je část přístroje, kde dochází k vlastní separaci jednotlivých složek interakcí s náplní kolony. Kolona je tím účinnější, čím je delší a čím je její průřez menší.

Vnitřek trubice kolony slouží jako nepohyblivá fáze. Může to být adsorbent, nebo kapalina nanesená na jejích stěnách (tzv. zakotvená fáze). Interakcí vzorku se stacionární fází dochází k oddělení jednotlivých složek – každá z nich potřebuje na průchod kolonou jiný čas (tzv. retenční doba), a proto je lze na výstupu jasně odlišit.

Kolony pro chromatografy se dělí do dvou skupin. První jsou tzv. náplňové kolony. Jsou většinou 1,5–10 m dlouhé, 2–4 mm široké, naplněné jemným materiálem, který je pokrytý aktivní tzv. zakotvenou fází. Druhou skupinou jsou kapilární kolony. Ty jsou tvořeny dlouhou a tenkou (desetiny milimetru) trubicí. Nepohyblivá fáze je nanášena na jejích stěnách.

Detektory

K odlišení jednotlivých složek vzorku se používají různé typy detektorů. Nejběžnějším typem je plamenový ionizační detektor (FID). Ten využívá vodíkového plamene k ionizaci jednotlivých složek, které pak už lze jednoduše elektronicky měřit. K detekci prvků s vysokou elektronegativitou (např. chlor) je dobré použít tzv. ECD – detektor, který využívá elektronového záchytu. Základním prvkem tohoto typu detektoru je vrstva slabě radioaktivního prvku (beta záření, např. Ni-63). Emitované elektrony jsou přitahovány k anodě. Při průchodu vzorku dojde k zachycení některých elektronů a tudíž i k poklesu procházejícího proudu. Dalším druhem detektorů je např. vodivostní detektor.

4 Radiační dechlorace

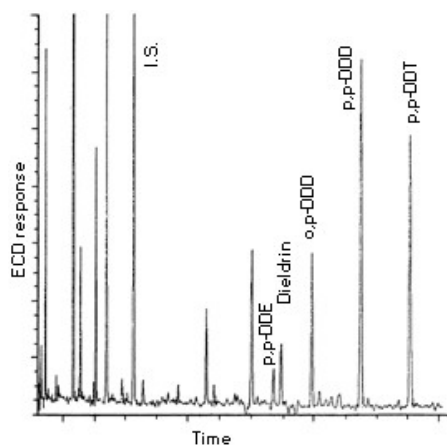
Protože některé chemické sloučeniny jsou vysoce stabilní, nelze je efektivně rozkládat chemickou cestou. Jde zvláště o ty uměle vytvořené jako polychlorované bifenyly (PCB), které jsou považovány za životu nebezpečné a je proto nutné se jich zbavit. Ukázalo se, že radioaktivní záření má určitý vliv na chemické vazby v molekulách. Dochází totiž k excitaci elektronů v elektronovém obalu a ke zvýšení šance na průběh nějaké chemické reakce.

Při dechloraci PCB se využívá opět beta záření, ozařování většinou probíhá v urychlovačích (u nás např. v Ústavu jaderného výzkumu v Řeži). Alkalický roztok PCB a izopropanolu je ozářen elektrony o energii jednotek MeV a dojde k postupnému odštěpování molekul chloru z benzenových jader bifenyly. Produkty této reakce jsou pouze chlorid příslušného alkalického kovu, aceton, voda a bifenyl, které už dokážeme zpracovat beze vzniku nebezpečného odpadu.

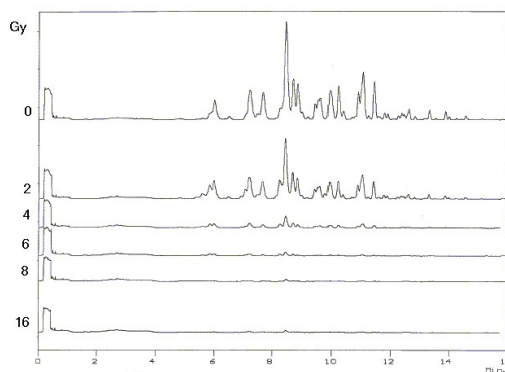
5 Měření

Před samotným provedením měření se musí uvést chromatograf do provozu, což hlavně spočívá v zavedení nosného plynu o správném tlaku a přehřátí všech částí aparatury na požadované teploty. Toto je nejdelší část vlastního měření, proto je dobré zpracovávat více vzorků najednou. Potom může dojít ke vstříknutí preparátu. Je ho potřeba jen velmi malé množství (~1 µl). Také se musí dbát na správnou koncentraci, protože pokud je příliš velká, dojde k zahlcení detektoru a měření je neprůkazné.

Výstupem měření je chromatogram (viz obrázek), což je většinou graf závislosti velikosti proudu v detektoru (např. u typů FID a ECD) na čase. Podle polohy jednotlivých píků lze poznat, o jakou látku jde, a podle jejich plochy lze určit její množství.



Plynový chromatogram mořské usazeniny kontaminované DDT (29 µg/kg).



Chromatogram ukazující postupný úbytek chloru během radiační dechlorace PCB.

6 Shrnutí

Plynová chromatografie je dnes jednou z nejdůležitějších metod analytické chemie. Je vysoce citlivá a k analýze není potřeba velké množství vzorku. Při radiační dechloraci sloučenin se jí využívá zejména ke stanovení úbytku chloru.

Radiační dechlorace využívá pro odstranění molekul chloru z organických sloučenin ionizující záření (v našem případě urychlených elektronů). Dnes se jí využívá především pro likvidaci nebezpečných látek, které jinak rozložit nejde.

Poděkování

Děkujeme Ing. Rostislavu Silberovi, CSc. za vedení projektu a organizátorům a FJFI za Fyzikální týden. Dále také sponzorům za poskytnutí dotací.

Reference:

- [1] Prof. RNDr. PhMr. JAROSLAV ZÝKA, DrSc. a kolektiv: *Analytická příručka, díl I* SNTL, 1979, 205–251.
- [2] Ing. MICHAL ŠINGLIAR: *Plynová chromatografie v praxi* Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry n.p., 1961
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_chromatography

Studium obrazu z parabolického pásu

Libor Příleský, gymnázium Uh. Hradiště, jackclick@centrum.cz;

Zbyněk Másler, SOŠ a SOU Hořovice, zmasler@gmail.cz;

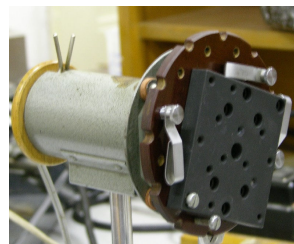
Ondřej Kupka, gymnázium Říčany, ondra.cap@seznam.cz

Abstrakt:

U našeho pokusu s parabolickým pásem se pokusíme ze světla odraženého z parabolického pásu rekonstruovat obraz původního zdroje světla. Použijeme zdroj světla zakrytý stínítkem, které má nepravidelně rozmístněné a různě velké otvory simulující souhvězdí. Rekonstrukci provedeme z řady snímků, které dostaneme po otočení stínítkem o určitý úhel a každý nový obraz, vzniklý otočením stínítka vyfotíme, poté z těchto fotek vytvoříme, pomocí matlabu, obraz stínítka, tj. výchozí obraz.

1 Úvod

Pokud na parabolický pás dopadá světlo zdroje z nekonečna, tak se všechny paprsky světla odráží do ohniska paraboly. V tomto místě odražené světlo vytvoří úsečku. Toto se děje i např. pokud je zdrojem světla žárovka, pokud žárovku zakryjeme neprůsvitným stínítkem s nepravidelně umístěnými, různě velkými otvory a zdroj se stínítkem je dostatečně daleko od parabolického pásu, pak se každý otvor chová jako samostatný zdroj světla a odrazem nám vzniká několik úseček v obrazové rovině. Pokud stínítkem před zdrojem otáčíme, úsečky v obrazové rovině mění svoji vzájemnou polohu.



zdroj světla se stínítkem,
obr. 1

2 Rekonstrukce obrazu z parabolického pásu

Parabolický pás

Jak již bylo řečeno, při pokusu použijeme zdroj světla se stínítkem v němž jsou otvory, jež musí být dostatečně daleko od parabolického pásu. Dostatečně daleko musí být proto, abychom použitím stínítka nasimulovali použití několika zdrojů. Při zachování dostatečné vzdálenosti, nám světlo odražené od parabolického pásu v obrazové rovině vytvoří dobře pozorovatelné úsečky. Abychom viděli obraz v obrazové rovině pouhým okem, použijeme matnici (např. pauzovací papír), pokud tento obraz chceme vyfotit, tak stačí fotoaparát zaostřit do obrazové roviny parabolického pásu. Aby se dal obraz zpět rekonstruovat, tak nám nestačí jediná fotka, ale několik fotek. Čím více fotek použijeme na rekonstrukci původního obrazu, tím bude rekonstrukce přesnější. Fotky se budou lišit tím, že před každým focením otočíme stínítko před zdrojem o určitý úhel (v našem případě o patnáct stupňů úhlových). Otáčením se v obrazové rovině mění vzájemná poloha úseček, protože



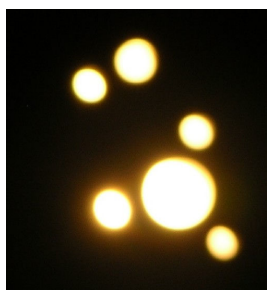
parabolický pás obr. 2

otáčením se mění poloha otvorů stínítka a světlo z otvoru ve stínítku se odrazí trochu jinak. Je to simulace funkce teleskopu, kdy se parabolický pás otáčí kolem středové osy paraboly.

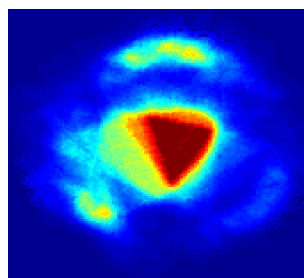
Samotná rekonstrukce obrazu

Po pořízení fotek využijeme k rekonstrukci program matlab. V matlabu si otevřeme pořízené fotky, které převedeme na matice. Matice, co jsme vytvořili z fotek, si pro jednoduchost představme jako strukturu čísel, tvořenou třemi vrstvami, kde každá vrstva odpovídá jedné z barev RGB ve fotce. Jeden pixel tedy do matice uložíme jako tři číselné hodnoty každá z těchto hodnot se uloží do jiné vrstvy. Tak se uloží všechny pixely a fotka je převedena do matice. Nás z fotky zajímá jen to odražené světlo, zbytek fotky je černý, protože fotky jsou focené za tmy, aby parabolický pás neodrážel jiné světlo, než světlo z našeho zdroje. V matlabu ořízneme matice, aby nám zůstala z matice jen část fotky se světlem. Takže rozměry matice jsou nakonec 200x200. Potom všechny matice zrotujeme, podle toho, jakému otočení stínítka odpovídají. Matici vytvořenou z fotky, při které bylo stínítko otočeno o třicet stupňů úhlových, otočíme také o třicet stupňů, atp. Tuto funkci Matlab standardně obsahuje. Matice, které jsou na sebe kolmé vynásobíme a výsledkem je obrázek kde zůstanou pouze místa, kde se jednotlivé odrazy z jednotlivých fotek překrývají. Další krok je, pasování jednotlivých matic na sebe a jejich násobení. Vytvoříme dvojice matic, kde matice ve dvojici vynásobíme a dostaneme šest jiných matic. Postup opakujeme a z šesti dostaneme tři matice. Dále si z těchto tří vezmeme první a druhou, které mezi sebou opět vynásobíme a třetí matici vynásobíme s výsledkem první krát druhá. Tak dostaneme konečně finální podobu matice, kterou v matlabu vykreslíme a dostaneme původní obrazec.

Přesnost námi zpětně vytvořeného obrazu závisí na kvalitě snímků světla odraženého do obrazové roviny, což spočívá hlavně ve správném zaostření fotoaparátu na obrazovou rovinu parabolického pásu. Také počet snímků je velmi důležitý.



Světlo procházející stínítkem
(původní obrazec) , obr. 3



Konečný obrázek získaný vykreslením
poslední matice, obr. 4

3 Shrnutí

Parabolický pás by mohl najít využití ve vesmírných teleskopech a velkých hvězdářských dalekohledech, díky dobrému úhlovému rozlišení nízkých nákladech na výrobu. Prvním krokem k jeho využití je ukázat jeho funkčnost, případně vady a omezení. Námi zrekonstruovaný obraz lze chápat jako ověření principu při použití nejhrubších metod určených omezeným časem.

Poděkování

Zuzaně Sekrešové za ochotnou a výraznou pomoc v matlabu při operacích s maticemi a organizátorům fyzikálního týdne.

Stanovení radiační zátěže od kosmického záření na palubě letadla

Barbora Dykastová¹

Jakub Kákona²

Štěpán Timr³

Supervizor: Ing. Ondřej Ploc^{4,5}

¹Gymnázium Vysoké Mýto, náměstí O. Vaňorného 163, 566 01 Vysoké Mýto
dyky@centrum.cz

²SPŠ strojní a elektrotechnická, Dukelská 13, 370 01 České Budějovice
kaklik@quick.cz

³Gymnázium J.V.Jirsíka, Šrámkova 23, 371 46 České Budějovice
s.timr@centrum.cz

⁴Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, FJFI ČVUT

⁵Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky Akademie věd ČR
ploc@hroch.ujf.cas.cz

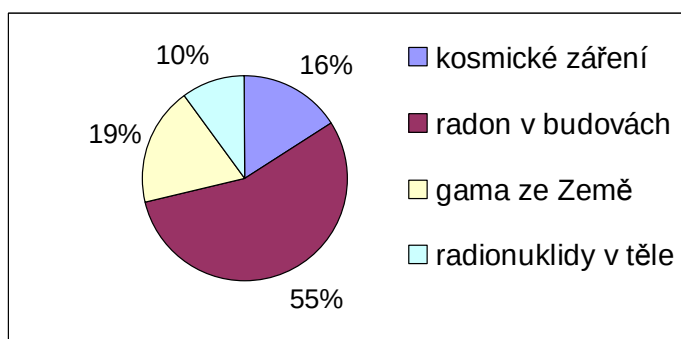
Abstrakt

Měřili jsme dávku foton-elektronové složky kosmického záření přijatou posádkou letadla během letu do výšky 4500 m.n.m. a určovali závislost intenzity záření na nadmořské výšce. Dále jsme počítali závislost intenzity kosmického záření na geografické poloze a okalibrovali scintilační detektor, který jsme použili při měření v letadle. Výsledky naměřené v letadle potvrdily předpoklad, že s přibývajícím výškou nejprve intenzita detekovaného záření poklesne, poté pozvolna vzroste. Došli jsme k závěru, že foton-elektronová složka kosmického záření nepředstavuje v dané výšce vážnější nebezpečí.

Úvod

Výzkum kosmického záření začal jeho objevem v roce 1913 rakouským vědcem Viktorem Hessem při balonových výstupech v Ústí nad Labem. Získal za to Nobelovu cenu v roce 1936.

Kosmické záření významně přispívá k celkovému ozáření člověka při povrchu Země (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: procentuální příspěvek k celkovému ozáření člověka z přírodních zdrojů.

Jeho intenzita i složení se mění se *zeměpisnou polohou, výškou a sluneční aktivitou*.

Částice primárního kosmického záření (většinou protony) dopadají na zemskou atmosféru a reakcemi s atomy atmosféry vytvářejí spršky dalších částic. Výsledné radiační pole je složité, jednu z jeho součástí tvoří *foton-elektronová složka*. Cílem našeho miniprojektu bylo tuto složku detekovat, dále zjistit, jakou způsobuje radiační zátěž během 20ti minutového letu na palubě letadla do výšky 4500 metrů nad mořem, stanovit závislost dávkového příkonu na nadmořské výšce a také spočítat vliv zeměpisné polohy na intenzitu záření.

K tomuto účelu jsme použili tyto veličiny a jednotky:

- Absorbovaná dávka – absorbovaná energie v jednotce hmotnosti; jednotkou je Grey [Gy]
- Dávkový příkon – dávka za jednotku času; [Gy/s]
- Efektivní dávka E – dávka, která zohledňuje kvalitu záření a jeho biologický účinek; navíc se v ní vyjadřuje primární limit v ochraně před zářením; jednotkou je Sievert [Sv], 1Sv = 1 Gy

Popis experimentu

Materiály a metody

K měření intenzity kosmického záření jsme použili scintilační detektor NB 3201, který je schopen detekovat především *fotonovou a omezeně i elektronovou složku* kosmického záření. Měřená data jsme zapisovali ručně do tabulky každých 10 sekund, dále pomocí elektronického zapisovače sestaveného ze stavebnice MLAB, který byl připojený k GPS navigátoru Garmin Geko 201. Výhoda ručního zápisu spočívala v tom, že hodnoty byly zaznamenávány přímo v dávkovém příkonu (nGy/s). Elektronický zapisovač nezaznamenával absolutní hodnoty radiační dávky, ale pouze velikost napětí na výstupu scintilátoru. Zapisoval je v 5s intervalech a navíc paralelně s aktuální nadmořskou výškou a zeměpisnou polohou.

Závislost intenzity kosmického záření na zeměpisné poloze jsme počítali pomocí programu CARI 6, který nám umožnil vytvořit matici (256x256) popisující rozložení intenzity ve výšce 4000 metrů nad povrchem při heliocentrickém potenciálu 376MV (heliocentrický potenciál je veličina, která popisuje aktivitu Slunce). Prostřednictvím programu Matlab jsme matici převedli na obrázek (viz Obrázek 4).

Výsledky měření

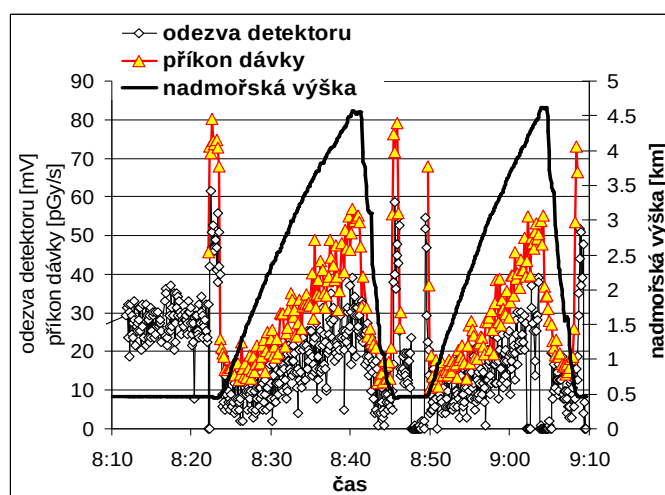
Nejprve jsme se seznámili se způsobem kalibrace detektoru NB 3201, což jsme uskutečnili v laboratoři a v ozařovně na Oddělení dozimetrie záření v Ústavu jaderné fyziky Akademie věd ČR. Změřili jsme přírodní pozadí v laboratoři, dále v ozařovně se stíněným zářičem (viz též Tabulka 1) a nakonec jsme tři minuty měřili dávku z kobaltového zářiče. (Během tohoto měření jsme se samozřejmě přesunuli mimo ozařovnu.) Tuto dávku jsme porovnali s vypočtenou pomocí známé aktivity ^{60}Co . Zjistili jsme odchylku 11%, která vyjadřuje přesnost našich dalších měření.

Na letišti jsme nejprve stanovili radiační pozadí při povrchu Země. Zásadní měření jsme provedli během *dvou cca. dvacetiminutových letů*, které jsme absolvovali z příbramského letiště na palubě letadla L-410 Turbolet. Výsledky měření jsou v Tabulce 1 a na Obrázku 2.

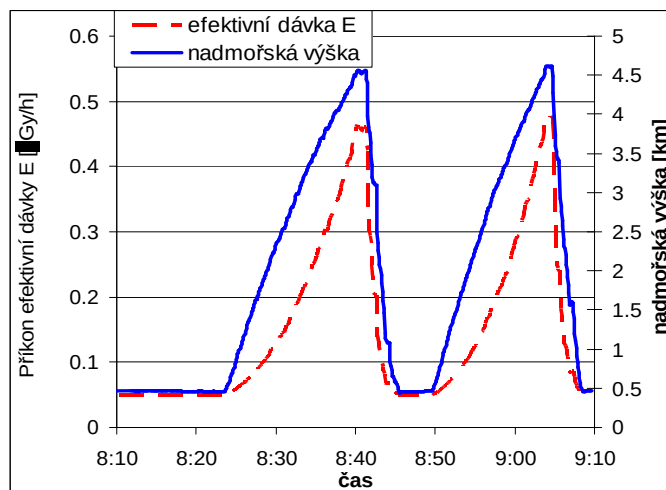
Nadmořskou výšku a zeměpisnou polohu zaznamenanou GPS navigátorem jsme použili jako vstupní data do programu CARI-6, který vypočítal příkon efektivní dávky (viz obr.3).

Místo měření	Průměrný dávkový příkon [pGy/s]	Dávka za 20 minut [μGy/s]
Laboratoř	$32,6 \pm 1,8$	39,1
Ozařovna při stíněném zářiči	$37,9 \pm 3,9$	45,5
Letiště – na ploše	$24,7 \pm 2,5$	29,6
Letiště – v letadle před startem	$45,8 \pm 5,3$	55,0
Během 1. letu v letadle	$28,1 \pm 12,3$	36,4
Během 2. letu v letadle	$27,1 \pm 12,0$	35,8

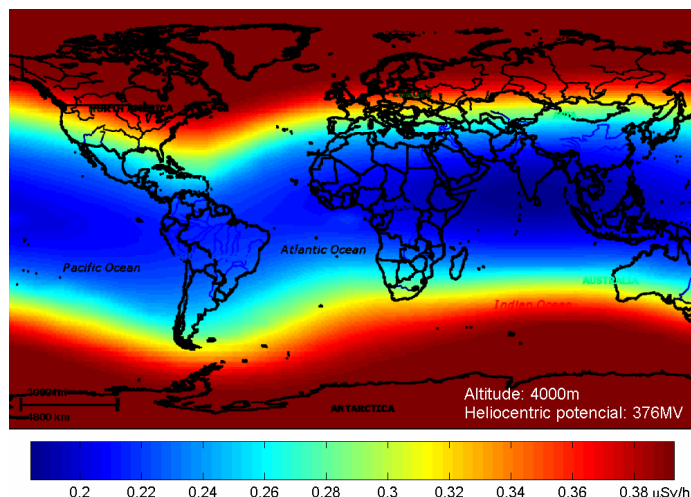
Tabulka 1: Výsledky našich měření na jednotlivých stanovištích



Obrázek 2: Naměřené veličiny během pobytu v letadle



Obrázek 3: Vypočítaná hodnota efektivního dávkového příkonu



Obrázek 4: Závislost intenzity kosmického záření na geografické poloze

Z výsledků v Tabulce 1 je zřejmé, že nejnížší hodnotu dávky jsme změřili na ploše letiště. Je nižší než v laboratoři zřejmě proto, že naměřené výsledky v laboratoři byly ovlivněny produkty přeměny radonu ve stavebním materiálu budovy. Při měření v letadle jsme před startem zaznamenali rušivý efekt vibrací způsobených motory, který se projevil zvýšením odezvy scintilačního detektoru. Proto je zde průměrná hodnota dávky (resp. dávkového příkonu) zdaleka nejvyšší ze všech míst měření, ale neodpovídá skutečnosti! Při rolování letadla po startovací dráze se vibrace ještě zvýšily, čemuž odpovídají vysoké hodnoty dávkového příkonu na Obrázku 2. těsně před odpoutáním se letadla od povrchu, stejně tak jako těsně po dosednutí. Dále je patrný *pokles naměřených hodnot příkonů dávky* až do hodnoty $(10 \div 14)$ pGy/s, přičemž však letadlo stále lineárně nabíralo výšku. Teprve ve výšce cca 1,3 km se tendence závislosti příkonů dávky změnila a začala růst s rostoucí nadmořskou výškou. V maximální výšce, které jsme dosáhli, jsme při obou letech naměřili dávkový příkon okolo 54 pGy/s.

Pro vypočítané příkony efektivní dávky takový pokles v malých nadmořských výškách nebyl zaznamenán. To je zřejmě způsobeno tím, že se výpočet programu CARI-6 zabývá pouze kosmickým zářením, terestriální do výpočtů nezahrnuje. Umožňuje však plošné stanovení rozložení příkonů efektivních dávek (Obrázek 4), odkud je zřejmé, že nejvyšší jsou v oblastech pólů a nejnižší na rovníku.

Shrnutí

Poměrně úspěšně jsme potvrdili závislost intenzity kosmického záření na nadmořské výšce. Pozorovali jsme dokonce i počáteční pokles dávkového příkonu záření. Z toho lze soudit, že z hlediska ochrany před zářením je více nebezpečné sedět v laboratoři než se účastnit letu do výšky 4 km. Vysloveně se v tomto směru člověku ulehčí v nadmořské výšce 1,3 km v rovníkové oblasti.

Závěrem lze říci, že i přes nepřízeň osudu se nám týmovou spoluprací podařilo splnit cíle, které jsme si předsevzali.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT, organizačnímu výboru Fyzikálního týdne za poskytnuté prostředky, zaměstnancům Oddělení dozimetrie záření Ústavu jaderné fyziky Akademie věd ČR za zapůjčení detektoru a poskytnuté zázemí a především našemu supervizorovi Ing.

Ondřeji Plocovi za hodiny konzultací, za rady a připomínky a za množství trpělivosti, které nám věnoval.

Velký dík patří také Ing. Veronice Crhákové a pilotům ze společnosti Skyservice s.r.o..

Reference:

PLOC, O.: *Diplomová práce – K některým dalším aspektům expozice posádek letadel kosmickému záření*, 2005, str. 2-15

KLENER V. A KOLEKTIV AUTORŮ: *Principy a praxe radiační ochrany* Azin CZ, 2000, str.82

GERNDT, J. *Detektory ionizujícího záření* ČVUT, 1996, str. 112

**Matematické
modelování**

**Fyzika
v medicíně**

**Laserová
fyzika**

**Informatika
a software**

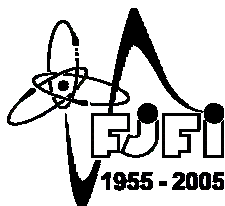
**Fyzikální
vlastnosti
materiálů**

**Elementární
částice**

**Jaderná
chemie**

Optoelektronika

**Jaderná
bezpečnost
a ekologie**



Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská Českého vysokého učení technického v Praze

VŠ vzdělání v moderních oborech s tradičně vysokou úrovní
Praktické aplikace přírodních věd

Charakteristika studia na FJFI

- ♣ velmi pestré spektrum oborů a zaměření
- ♣ celou řadu studijních oborů a zaměření lze v ČR studovat výhradně na FJFI
- ♣ zapojení studentů do různých výzkumných projektů a vědeckých týmů
- ♣ výchova k rychlé orientaci v mezioborové problematice a k týmové práci
- ♣ příprava k výzkumné týmové práci a k aplikaci nejnovějších poznatků vědy do praxe
- ♣ spolupráce s ústavu Akademie věd a s dalšími institucemi a univerzitami v ČR i v zahraničí
- ♣ široká nabídka studijních pobytů na zahraničních univerzitách
- ♣ plný přístup k moderním technologiím, k výpočetní technice a Internetu
- ♣ individuální a neformální kontakt studentů s jejich pedagogy, možnost ovlivňovat chod školy
- ♣ pestrá paleta mimostudijních aktivit – společenských a sportovních akcí, apod.
- ♣ možnost studia zrakově postižených, bezbariérový přístup
- ♣ bezproblémové uplatnění absolventů fakulty v zaměstnání

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 kdekoliv; 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. 222 310 277, fax: 222 320 861
www.jaderka.cz; www.fjfi.cvut.cz

Zájemce o studium zveme k návštěvě tradičně konaných Dnů otevřených dveří (v listopadu a únoru) a též bezplatného Kurzu z M a F pro přípravu ke studiu na technických VŠ (od listopadu do března).

FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ

Českého vysokého učení technického v Praze

(FJFI ČVUT)

reprezentuje relativně mladé a dynamické pedagogické a vědecké centrum zaměřené především na hraniční témata mezi moderní vědou a její praktickou aplikací. Skládá se z deseti kateder: matematiky, fyziky, jazyků, inženýrství pevných látek, fyzikální elektroniky, materiálů, jaderné chemie, dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, jaderných reaktorů a katedry softwarového inženýrství v ekonomii.

FJFI byla založena v roce 1955 pod původním názvem Fakulta technické a jaderné fyziky jako součást Univerzity Karlovy v Praze, ale v roce 1959 se stala novou fakultou Českého vysokého učení technického v Praze. Její vznik přímo souvisel se zahájením československého jaderného programu, pro který bylo zapotřebí vybudovat vysoce kvalitní vědecká a pedagogická pracoviště. Brzy se však ukázalo, že jaderná technika není jen záležitost jaderných oborů, ale že vyžaduje úzké propojení přírodovědných oborů, matematiky, fyziky a chemie s technickou praxí. Tak se fakulta dostala na rozhraní našich dvou tradičních vysokých škol, univerzity a techniky, jako fakulta fyzikálně inženýrského charakteru.

V padesátých letech se na fakultě studovaly především jaderné obory – jaderná fyzika, jaderná chemie a jaderné inženýrství, v šedesátých letech byla nabídka přednášených oblastí rozšířena o fyziku pevných látek, fyzikální elektroniku a materiálové inženýrství. Zaměření fakulty se také začalo rozšiřovat o nové fyzikální aplikace, např. o fyziku plazmatu, lasery, kosmický výzkum, atd.

Postupně rostl zájem o matematické aplikace, což v sedmdesátých letech vedlo k založení nového oboru - matematického inženýrství. Poslední desetiletí je potom charakteristické nástupem zájmu o nejrůznější partie informatiky (nový obor inženýrská informatika) a prudkým zvyšováním množství aplikací do zdánlivě vzdálených oblastí (medicína, ekologie, ekonomie, architektura, apod.).

Díky své struktuře, velikosti i personálnímu obsazení dokázala FJFI v průběhu let pružně reagovat na rozvoj vědy, technologií i měnící se požadavky praxe zřizováním nových studijních oborů a zaměření.

Fakulta se postupně stala významným pedagogickým a vědeckým pracovištěm s velmi širokým rozsahem aktivit v oblasti inženýrských aplikací přírodních věd. Je proto jen přirozené, že se při volbě názvu studijního programu, který je na fakultě akreditován, dospělo k názvu Aplikace přírodních věd. Na druhé straně název fakulty zůstává beze změny, přestože již plně nevystihuje zmíněnou širokou paletu různých zaměření. Hlavním důvodem je oprávněná hrdost na trvalou vysokou kvalitu absolventů fakulty, na dobrý zvuk konstatování, že někdo je „jaderňák“. Tradiční název fakulty tak představuje něco jako ochrannou známku.

Fakulta poskytuje vysokoškolské vzdělání formou řádného denního strukturovaného studia (bakalářské studium - titul bakalář, navazující magisterské studium - titul inženýr). Standardní délka studia je 3 roky v bakalářském programu a 3 roky v navazujícím magisterském programu. Při splnění určitých podmínek je možno absolvovat bakalářský + navazující magisterský program během pěti let. Navazující magisterský program mohou studovat i bakaláři z jiných škol. Kreditní systém umožňuje absolvovat studijní programy i za delší dobu než standardní délka. Hlavními formami studia jsou přednášky, cvičení (seminární, laboratorní), odborné praxe a konzultace. Studium končí státní závěrečnou zkouškou spojenou s obhajobou diplomové (závěrečné) práce. Tato práce má tvůrčí

charakter a její příprava a zpracování probíhá v přímé návaznosti na konkrétní úlohy z praxe.

Fakulta dále organizuje doktorské studium (tříleté), celoživotní vzdělávání občanů a odbornou výchovu vědeckých pracovníků.

Ve všech oborech a zaměřeních je rozvíjena vědecko-výzkumná práce. Mezi vědeckou a pedagogickou prací je úzká vazba: přímé zapojení studentů do řešení vědeckých-výzkumných programů a příprava na moderní kolektivní formy vědecké práce dává výuce unikátní rozměr.

Výzkum (a výuka) na fakultě v současné době tématicky pokrývá aplikované jaderné inženýrství (reaktorová fyzika a technika; dozimetrie, radiační fyzika, ochrana a bezpečnost; jaderná chemie), moderní technologické aplikace fyziky (kvantová elektronika a laserové techniky, pevnolátkový a materiálový výzkum) a rychle se rozvíjející oblast matematiky a softwarového inženýrství. Pro fakultu jsou typické interdisciplinární aplikace v ekologii, medicíně, ekonomii, archeologii a v mnoha dalších oborech.

Řešení výzkumných projektů probíhá ve spolupráci s předními domácími i zahraničními pracovišti. Fakulta spolupracuje s více než padesáti zahraničními univerzitami (např. Université de Montréal, Université de Paris, aj.) a vědeckými institucemi z více než dvaceti zemí celého světa a mezinárodními organizacemi typu CERN, ÚJV Dubna apod. Na mnoha těchto aktivitách se podílejí i studenti, a to jak v rámci různých studijních pobytů, tak i při řešení vědeckých projektů.

FJFI disponuje několika unikátními výzkumnými zařízeními – např. školním jaderným reaktorem VR-1, řádkovacími elektronovými mikroskopy, vysokovýkonnými laserovými systémy, speciálními počítačovými laboratořemi, laserovou družicovou zaměřovací základnou v Helwanu (Egypt), apod.

Již řadu let na fakultě působí Studentská unie při FJFI ČVUT. Jedná se o neziskovou organizaci, jejímž cílem je rozvoj studentských aktivit na FJFI. Snaží se především starat o kolegy studenty – organizuje celoškolní anketu týkající se kvality jednotlivých vyučovaných předmětů, spolupracuje na propagaci fakulty a aktivně se podílí na komunikaci studentů s pedagogy. Pro studenty prvního ročníku vydává “Jaderňáckého průvodce po fakultě a okolí”, jenž jim pomáhá v orientaci v novém prostředí. Každoročně také pořádá letní studentskou konferenci TCN. Do vysokoškolského studia se však především snaží vnést i trochu neformálnosti a zábavy. Jmenujme například neoficiální vítací akci pro začínající studenty s názvem “Bažantrikulace” či “Všejadernou fúzi” - sešlost všech bývalých, současných i budoucích “jaderňáků” (ples, jehož součástí je však také amatérské divadelní představení v podání studentů fakulty či soutěž pro všechny účastníky). FJFI vnímá aktivitu Studentské unie jako významnou součást své činnosti a snaží se je podporovat.