

Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2016

# Týden vědy na Jaderce

Sborník příspěvků

19.-24. června 2016



"Vzdělanost má trpké kořínky, ale sladké plody.." Aristoteles (2400 let od narození)



Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2016

Poděkování za laskavou podporu

Nadační fond pro podporu teoretické fyziky

a





# Slovo úvodem

Milí přátelé, 18. ročník TV@j byl opravdu výživný. Moji studenti mně přesvědčili, abych přidal dlouho žádaný pátek - 6. den akce. Když už jsme to takto posunuli, rozhodli jsme se vyslyšet i volání po zajištění stravování a slevněného jízdného. Obojí potvrdilo moji dřívější obavu, že zadarmo to nebude. Opravdu bylo velmi výživné zajistit vše tak, aby to rozumně klaplo.

Dále pokračuji tradičně telegraficky:

- Aktuální statistika vypadá takto: Letošní ročník tvořilo opět 29 komnat Pevnosti Břehyard, pak 48 miniprojektů, 14 exkurzí a 21 přednášek pro cca 146 studentů.
- Dovolte mi na tomto místě již potřetí poděkovat Kateřině Jirákové za její neocenitelnou pomoc: Katko děkuji a těším se další spolupráci. K organizátorům přibyl letos Zbyněk Nguyen a zanechal zde svoji nepřehlednutelnou stopu. I Zbyňkovi děkuji a těším se na další spolupráci.
- Dále tradičně děkuji všem vedoucím komnat Pevnosti Břehyard, garantům úloh, přednášejícím, vedoucím exkurzí a zvláštní poděkování patří podpoře fakulty FJFI.
- Historka z natáčení: po nedělním upozornění, jak se může plést Troja a Trojanova mne život opravdu poťouchle vytrestal tím, že jsem vám některým vydal stravenky s neexistujícím názvem "Menza Trojanova" místo Menza Trója.

Velmi mne letos nadchlo zjištění, že účastník Fyzikálního týdne z roku 2005, Vítězslav Jarý, letos dostal ocenění Česká hlava doctorandus. Zkusil jsme narychlo zorganizovat jeho přednášku, ale to letos nevyšlo. Avšak na příští rok mi slíbil, že povede i miniprojekt. Velmi, velmi bych se na takový moment těšil. Doufám, že se budu moci za rok opět postavit před skupinu nadšených zájemců a začít 19. ročník TV@J. Třeba se zde urodí další Česká hlava. Jsem v očekávání. Takže na shledanou .

21.6.2016

S pozdravem, Vojtěch Svoboda

/ 18ph.

Očekávání	Obavy	
<ul> <li>Potkám chytré lidi</li> <li>Poznám FJFI</li> <li>Cuchnu si k vědecké práci</li> <li>Rozhodnutí mezi</li></ul>	<ul> <li>Nemám počítač</li> <li>Mluvení před publikem</li></ul>	
kuchařkou a fyzičkou <li>Nebudu všemu rozumět</li> <li>Obavy</li> <li>Dobří kolegové na</li>	(mnoha lidmi) <li>Možná se ztratím v Praze</li> <li>Strahovské koleje</li> <li>Termíny (mrtvé linky)</li> <li>Možný špatný výběr</li>	
miniprojektu <li>Okusím studentský život</li> <li>Hlavní přednáška – kvalita</li>	miniprojektu <li>Budu špatně vařit</li> <li>Pražáci, Brňáci, Slováci</li> <li>Uspávač hadů</li> <li>Skončím na FJFI</li> <li>Okusím studentský život</li> <li>Hlavní přednáška - kvalita</li>	

## Contents

Poděkování	3
Slovo úvodem	4
Program Týdne vědy 2016	8
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů 1	0
Příspěvky       1         3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin ( Ladislav Nagy,Romana Čanigová,Rastislav Turányi)       1         Simulace provozu JE typu ABWR ( Kamila Oppelová,Kryštof Rydlo)       1         Balmerova série vodíku ( Kateřina Hladká,Jakub Ditrich)       2         Causality and Quantum Theory ( Vojtěch Böhm,Michal Zelený,Alžběta Horynová,Kristína       2	. <b>8</b> 18 21 24
Čítání fotonů a jeho aplikace (Ladislav Valica ,David Vagner,Martin Šťastný,Nina Vacková) 3 CO2 laser v kufříku (Michal Werner,Jindřich Šafran,Pavel Souček,Ondřej Hladík,Matouš Vondrák)	32 36
<ul> <li>Studium mřížkových kmitů jednoduchých dielektrických krystalů (Veronika Deketová, Aneta Dušková, John Richard Ritter)</li> <li>Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy (Marie</li> </ul>	40
<ul> <li>Křišťanová, Jana Paulysková, Klára Fólová, Rozalie Rakašová)</li> <li>Mumie versus Zombie: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy (Alena Závadová, Krist Schwarzerová, Denisa Kotenová, My Hanh Hoová)</li> <li>Základy ekonofyziky (Petr Hoffmann, Tomáš Dufek, Jan Kejla)</li> <li>Počítačové zobrazování fraktálních množin (František Couf, Ondřej Tinka, Jakub Matěna, Jakub Matěn</li></ul>	14 týna 18 53
Opilcova procházka a Galtonova deska (Tomáš Sláma, Jiří Jičínský, Michal Jelínek)6 Jak poznat dávku z barvy gelu? (Veronika Šandová, Ondřej Lomický, Barbora Mouleová, Jiří Otoupal)	57 51 55
Hledání Higgsova bosonu na urychlovači LHC (Jan Lindauer, Daniel Rod, Roman Vašut).       6         Statistická analýza hudebních signálů (Markéta Machalová, Šimon Jelínek, Ondřej Havelka)       7         Interference a ohyb světla (Vojtěch Domín, Jakub Dlouhý, Michal Svoboda)       7         Kelvinův kapkový generátor (Lukáš Kuneš, Lukáš Němeček, Kryštof Kadlec)       8         Značení 99mTc lékařských kitů (Radek Peloušek, Vojtěch Mervart)       8         Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám (Tereza Hladíková, Emma Bielokostolská)       8         Měření kosmického záření (Jan Pokorný, Lukáš Melcher, Ondřej Knopp, Rastislav Blaho, Borek	55 58 72 76 30 35 89
Požár)       9         Srážky světla na LHC (Jana Drnková, Jitka Mrázková, David Dobáš)       9         Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření (Vladimír Lukačko, Kateřina Škorvánková, J       9         Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření (Vladimír Lukačko, Kateřina Škorvánková, J       9         Není světlo jako světlo - souboj optického a polarizačního mikroskopu (Čeněk Malík)       10         Millikanův experiment (Anežka Trojanová, Jiří Löffelmann)       10         Ozařování mincí (Jan Hruškovič Maximilián Molnár Ivan Hudák)       11	)3 )7 Eva )1 )5 )9

Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu A	ALICE v CERN (Martina
Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru (Eduard Hořmánok	Tomáš Doložal Vít Řozáč ) 120
Když nechceme derivovat použijeme mýdlo (Klára Grohm	annová Michal Žůrek Diana
Burianová Daniel Komárek Tereza Šničáková)	194
Generátor náhodných čísel založený na radioaktivním rozp	adu ( Jan Podloučka Karel
Kloida Dennis Ryšánek)	
Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gam	<b>a</b> (Simona Gabrielová) 130
Optické vlastnosti zlatých nanočástic a jejich potenciální Daniel Friedrich)	využití v biomedicíně ( 134
Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo (Da	vid Žáček Nikola Kalábová Daniel
Hausner.Štěpán Malec)	
Jak fungují optická vlákna? (Marie Hledíková, Tomáš Husák, Luk	xáš Beneda)
Cesta osvícení, po souši a po vodě (Krvštof Blacha, Filip Tra	jhan,Marek Zimmel,Ondřej
Johanovský)	
Počítačová grafika - pohled pod pokličku (Kristína Szabov	vá,Petra Štefaníková,Marek
Tomčiak, Jakub Adamík)	
Radioimunoanalýza (Klára Stefanová,Katarína Čičová,Hynek L	oskot,Jindra Dušek,Andrea
Majchráková)  .  .  .  .  .  .  .  .  .	
Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnos	ti ( Dominik Horák,Oldřich
Kupka, Matyáš Vohralík)	
Narušování symetrie v laserovém rezonátoru (František Helel	orand, Jan Juroška) 164
Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu pa	<b>mátek</b> (Karolína Sůsová) 169
Je tam zářez, rupne to? (Jaroslav Seifrt, Vít Kubáň, Kateřina Sky	vbová)
Samospořádání v nanotechnologii (Kateřina Hradečná, Michal I	Farana, Miloš Podolský) 176
Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulac	e na počítači (Simona
Buryšková, Dominika Jurdová, Jan Kolovecký, Miroslav Müller)	
Jak nám pomáhají tenké vrstvy? (Filip Kratochvíl,Ondřej Ferr	a, Vojtěch Suchopár) 183
Termoluminiscencii dozimetrie ( Denis Dusik, Petr Matous , Petr	$\frac{1}{2} \operatorname{Hotovec}(1, \dots, 1, \dots, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,$
Zaklady diagnostiky vysokoteplotniho plazmatu na tokama	ku GOLEM I (Filip Pa-
pousek, Michai Stary, Vaciav Mikeska, Dominik Stary, Roman Lip	$Povy) \dots \dots$
Linhart Michael Chudaha Jan Dumanaa)	aku GOLEMI II ( David
<b>Bozhodování strojů a za pomocí strojů (UU)</b> (Pavel Martinez Ji	rí Budil Ian Zágiba Iaroslav
Bumba)	100 100 100 100 100 100 100
Simulace provozu JE typu VVEB-440 (Martin Kovanda Lucie	Sladká) 203
Simulace provoza on oppa v vincerto ( Martin Rovanda, hucle	Situation
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT	207



# Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2016

# Program Týdne vědy 2016

• Neděle 19.6.

9.00-10.00 Prezentace, registrace (Břehová)
10.00-11.30 Úvod (o vědecké komunikaci) a organizace TV@J (aula 103)
11.30-13:00 Pauza na oběd
13.00-14.30 Populární přednášky (Břehová - posluchárny)
15.00-19.00 Pevnost Břehyard (Břehová celá, začátek v aule 103)
19.00- Ubytování pro mimopražské na Strahově

• Pondělí 20.6.

9.00-16.30 Miniprojekty (seznámení, rešerše, příprava, realizace)
16.30-18.00 Vědecká prezentace I (aula 103)
16.30-18.00 Alternativní přednášky pro absolventy minulých ročníků TV@J
19.00 Uzávěrka nabídek obrázku pro CD

• Úterý 21.6.

celý den Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku) 18.00 Uzávěrka pro upload příspěvků do sborníku a prezentací na minikonferenci

• Středa 22.6.

8.30-10.00 Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Věda umění, umění vědy. (aula 103)
10.15-11.45 Vědecká prezentace II (aula 103)
10.15-11.45 Alternativní přednášky pro absolventy minulých ročníků TV@J
11.45-13:00 Pauza na oběd
odpoledne Exkurze na vrcholná badatelská pracoviště po Praze
19.00-21:00 Studenti FJFI účastníkům TV@J (Břehová posluchárny )

• Čtvrtek 23.6.

9.00-10.30 Prezentace miniprojektů I (auly 103 a 115)
11.00-12.30 Prezentace miniprojektů II (auly 103 a 115)
12.30-14:00 Pauza na oběd
14.00-15.30 Prezentace miniprojektů III (auly 103 a 115)
16.00-17.30 Prezentace miniprojektů IV (auly 103 a 115)
18.00-21:00 Kasino (závěrečný večerní program na fakultě)

• Pátek 24.6.

8.30-10.00 Prezentace miniprojektů V (aula 103)

10.15-11.45 Prezentace miniprojektů VI (aula 103)
11.45 Závěr (aula 103)
12.00 Konec TV@J
12.15-13:30 Oběd

## Exkurze

- ÚJV Řež, a. s..
- UJF AV ČR, v.v.i., Řež u Prahy.
- Fyzikální ústav Na Slovance.
- Leksellův gamma nůž.
- Školní reaktor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT.
- Tokamak GOLEM I.
- Tokamak COMPASS.
- Prague Asterix Laser System.
- Z-pinč.
- Protonové centrum.
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR.
- Hvězdárna Ondřejov, Astronomický ústav AV ČR.
- Thomayerova nemocnice radioterapie.
- Výzkumný a zkušební letecký ústav v Letňanech.

## Seznam všech přednášek

- Bc. Ondřej Grover: Termojaderná fúze.
- doc. Ing. Miroslav Virius, CSc.: Pravda a lež ve fotografii digitálního věku.
- doc. Mgr. Milan Krbálek, Ph.D.: Matematický siloměr na detekci sociálních interakcí.
- RNDr. Jan Proška: (Lidský) mozek a fyzika.
- Ing. Anna Michaelidesová / Ing. Matěj Navrátil, Ph.D.: Ionizující záření v medicíně.
- prof. Ing. Edita Pelantová, CSc.: Výzvy, které před matematiku staví výpočetní technika.
- Ing. Eva Křováková: Nápady na síti inspirujte se.
- Ing. Zuzana Čapková: Nápady na síti inspirujte se.
- Ing. Aleš Materna, Ph.D.: Pevné, pevnější, nejpevnější.
- Ing. Evžen Losa: Jaderný palivový cyklus a jeho uzavíraní, neboli přínos jaderné energetiky v řešení energetického problému lidstva.

- Ing. Tomáš Bílý, Ph.D.: Jaderné reaktory blízké i vzdálené budoucnosti: Vyhořelé jaderné palivo současné trendy a možnosti.
- doc. Ing. Rostislav Silber, CSc.: Chemie a záření.
- Ing. Jan Pšikal, Ph.D.: Ultraintenzivní laserové impulzy, aneb co se skrývá za projektem ELI.
- Ing. Petr Kolenko, Ph.D.: Synchrotron, struktura molekul a biologie.
- doc. Ing. Ladislav Kalvoda, CSc.: Tenký? tenčí? nejtenčí? grafen!.
- prof. RNDr. Ivo Kraus, DrSc.: Objevy, které se staly základem fyziky pevných látek.
- prof. Ing. Jiří Kunz, CSc.: Vyšetřovat a léčit lze nejen živé pacienty, ale i materiály.

## Miniprojekty a jejich garanti z FJFI

- Bc. Ondřej Grover: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I.
- Bc. Ondřej Grover: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II.
- Ing. Tereza Hanušová: Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření.
- Mgr. Hana Bártová: Jak poznat dávku z barvy gelu?.
- Ing. Pavel Strachota, Ph.D.: Počítačová grafika pohled pod pokličku.
- Ing. Filip Fejt: Ozařování mincí.
- Bc. Vojtěch Stránský: Cesta osvícení, po souši a po vodě.
- Ing. Kateřina Pachnerová Brabcová, Ph.D.: Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy.
- Ing. Anna Michaelidesová: Mumie versus Zombie: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy.
- Ing. Zuzana Dočekalová: Studium mřížkových kmitů jednoduchých dielektrických krystalů.
- Ing. Petr Kolenko, Ph.D.: Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám.
- Ing. Jan Stránský, Ing. Leona Švecová: 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin.
- Bc. Jakub Krásenský: Když nechceme derivovat, použijeme mýdlo..
- Ing. Lucie Stolcová: Samospořádání v nanotechnologii.
- Ing. Petr Ambrož, Ph.D.: Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo.
- Ing. Petr Pauš, Ph.D.: Počítačové zobrazování fraktálních množin.
- Ing. Pavel Linhart: Čítání fotonů a jeho aplikace.
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu VVER-440.
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu ABWR.
- Ing. Martin Plajner: Rozhodování strojů a za pomocí strojů (UI).
- Ing. Filip Dominec: CO2 laser v kufříku.
- Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D., Ing. Jan Fiala, Ph.D., Doc. Ing. Ivan Richter, Dr. : Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači .
- MSc. Aurél Gábris, PhD: Causality and Quantum Theory.
- Ing. Josef Blažej, Ph.D.: Narušování symetrie v laserovém rezonátoru.
- Ing. Jaroslav Čech: Jak nám pomáhají tenké vrstvy?.

- Ing. Adam Janča: Je tam zářez, rupne to?.
- Ing. Petra Mičolová: Značení 99mTc lékařských kitů.
- Ing. Ekaterina Kukleva: Radioimunoanalýza.
- doc. Ing. Rostislav Silber, CSc.: Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gama.
- Ing. Jiří Martinčík, Ph.D.: Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek.
- Ing. Tomáš Urban: Termoluminiscenční dozimetrie.
- Bc. Dagmar Kyselová: Měření kosmického záření.
- Bc. Martin Dlask: Statistická analýza hudebních signálů.
- Ing. Jan Korbel: Základy ekonofyziky.
- Ing. Michal Špaček: Balmerova série vodíku.
- Ing. Petr Gallus: Interference a ohyb světla.
- Ing. David Horák: Millikanův experiment.
- Ing. Lukáš Kramárik: Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERN.
- Ing. Jan Rusňák: Generátor náhodných čísel založený na radioaktivním rozpadu.
- Dagmar Bendová: Hledání Higgsova bosonu na urychlovači LHC.
- Ing. Roman Lavička: Srážky světla na LHC.
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti.
- Mgr. Pavel Bažant, Ph.D.: Kelvinův kapkový generátor.
- Kristýna Kohoutová: Není světlo jako světlo souboj optického a polarizačního mikroskopu.
- Ing. Iva Bezděková: Opilcova procházka a Galtonova deska.
- Ing. Filip Havel: Optické vlastnosti zlatých nanočástic a jejich potenciální využití v biomedicíně.
- Ing. Jan Aubrecht, Ph.D.: Jak fungují optická vlákna?.
- Ing. Vladimír Linhart, Ph.D.: Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru.

# MINIKONFERENCE - Břehovka, čtvrtek a pátek:

## Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

### Předsedající: Lukáš Melcher

9:00 Simulace provozu JE typu ABWR

- 9:15 Balmerova série vodíku
- ${\bf 9:30}\,$  Opilcova procházka a Galtonova deska
- $9{:}45\,$ Značení 99<br/>mTc lékařských kitů
- 10:00 Není světlo jako světlo souboj optického a polarizačního mikroskopu

10:15 Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru

## Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

### Předsedající: Ondřej Lomnický

9:00 Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gama
9:15 Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek
9:30 Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači
9:45 Termoluminiscenční dozimetrie
10:00 Základy ekonofyziky
10:15 Srážky světla na LHC

## Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

### Předsedající: Dominika Durdová

- ${\bf 11:00}\,$ Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření
- 11:15 Millikanův experiment
- ${\bf 11:30}~{\rm Optické}$ vlastnosti zlatých nanočástic a jejich potenciální využití v biomedicíně
- 11:45 Jak fungují optická vlákna?
- 12:00 Je tam zářez, rupne to?
- 12:15 Studium mřížkových kmitů jednoduchých dielektrických krystalů

## Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

### Předsedající: Denis Dusík

- 11:00 Simulace provozu JE typu VVER-440
- ${\bf 11:15}\,$ Hledání Higgsova bosonu na urychlovači LHC
- ${\bf 11:30}\,$ Narušování symetrie v laserovém rezonátoru
- 11:45 Jak nám pomáhají tenké vrstvy?
- 12:00 Čítání fotonů a jeho aplikace
- ${\bf 12:} {\bf 15}\,$ Mumie versus Zombie: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy

## Čtvrtek: společné přednášky v Aule 103

### Předsedající: Katarína Čičová

- ${\bf 14:00}\,$ Počítačové zobrazování fraktálních množin
- 14:15 Jak poznat dávku z barvy gelu?
- ${\bf 14:30}\,$ Cesta osvícení, po souši a po vodě
- ${\bf 14:45}~{\rm Statistick\acute{a}}$ analýza hudebních signálů
- 15:00 Interference a ohyb světla
- 15:15 Pozvánka na TCN

### Čtvrtek: společné přednášky v Aule 103

### Předsedající: Kryštof Rydlo

16:00 Causality and Quantum Theory
16:15 Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERN
16:30 Počítačová grafika - pohled pod pokličku
16:45 CO2 laser v kufříku
17:00 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin
17:15 Ozařování mincí

## Pátek: paralelní přednášky v Aule 103

### Předsedající: Veronika Deketová

9:00 Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo
9:15 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II
9:30 Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
9:45 Kelvinův kapkový generátor
10:00 Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy

## Pátek: paralelní přednášky v Aule 115

### Předsedající: Jakub Matěna

9:00 Generátor náhodných čísel založený na radioaktivním rozpadu
9:15 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I
9:30 Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám
9:45 Měření kosmického záření
10:00 Radioimunoanalýza

## Pátek: společné přednášky v Aule 103

### Předsedající: Eva Wohlgemuthová

- ${\bf 10:} {\bf 45}~{\rm Rozhodování strojů a za pomocí strojů (UI)}$
- ${\bf 11:}{\bf 00}~{\rm Kdy}{\rm \check{z}}$ nechceme derivovat, použijeme mýdlo.
- 11:15 Samospořádání v nanotechnologii
- 11:30 Předání cen za Pevnost Břehyard
- 11:45 Ukončení TV@J
- **12:00** Rozchod

## Letošní TV je opět doprovázen CD.



reaktor Vrabec

## 3D atomární struktura bílkovin za 24 hodin

Romana Čanigová, Rastislav Turányi, Ladislav Nagy Bilingválne gymnázium Milana Hodžu; Gymnázium a SOŠZE Vyškov, p.o. r.canigova@gmail.com; t.rastislavv@gmail.com; ladislav.nagy@mensa.cz

#### Abstrakt

Proteiny jsou důležitou součástí živých organismů. Znalost jejich struktury pomáhá k pochopení jejich funkce. Metodou proteinové krystalografie jsme určili strukturu proteinu lysozymu a prozkoumali jsme možnosti jeho krystalizace.

## 1 Úvod

Cílem tohoto projektu bylo určit strukturu bílkoviny. Bílkoviny jsou biopolymery složené z aminokyselin. Určování jejich struktur je důležité pro lepší pochopení jejich funkcí, na to, aby jsme mohli měnit některé z jejich částí, a tak měnit jejich funkce a vlastnosti.

My jsme pro naše účely využívali protein lysozym, protože je pro něj známá krystalizační podmínka, jeho krystalizace probíhá poměrně rychle a jeho krystaly dobře difraktují rentgenové záření. Lysozym vykazuje antibakteriální účinky a vyskytuje se například v slzách nebo ve vaječném bílku.

## 2 Materiály a metody

Začali jsme smícháním proteinu lysozymu o koncentraci 90 mg/ml s roztokem 100 mM galaktózy (cukr) v poměru 1:1. Zředěný protein jsme použili, protože nezředěný by krystalizoval příliš rychle a vytvořil by příliš malé krystaly. Protein jsme mohli ředit vodou, ale protože by z vody následně vzniklý led mohl poškodit krystaly proteinu, použili jsme jako ředidlo roztok galaktózy.

V rezervoáru jsme smíchali 30% roztok polyethylenglykolu 5000 (dále jen PEG 5000), 1M NaCl, 50mM octan sodný pH 4,6. PEG 5000 a NaCl sloužili jako srážedla a octan sodný sloužil na udržení konstantního pH.

Víčko rezervoáru jsme za pomocí stlačeného vzduchu zbavili nečistot a kápli na něj směs smíchaného proteinu a roztoku z rezervoáru. Rezervoár jsme víčkem uzavřeli a pod mikroskopem jsme 20 minut sledovali růst krystalu.

Vypěstované krystaly jsme pod mikroskopem vylovili pomocí nylonových smyček a zmrazili v tekutém dusíku o teplotě 77 K. Zmražení bylo nutné proto, aby se při následném ozařování krystalů rentgenovým zářením krystaly nerozpadly. Zmražené krystaly jsme umístili na goniometr v difraktometru a změřili difrakční data . Zdrojem záření byla rentgenová lampa s anodou z tekutého galia (Excillium MetalJet). Data byla zaznamenána na plošný detektor (Bruker Photon 2). Naměřená data jsme zpracovali za pomocí programů XDS, SHELLXC/D/E a strukturu jsme upřesnili pomocí programů z balíčku CCP4 (programy Coot, Refmac5).



Obrázek 1: Krystaly lysozymu v polarizovaném světle.



Obrázek 2: Difrakční snímek naměřený na krystalu lysozomu

Další prací bylo vytvořit fázový diagram krystalizace lysozymu. Fázový diagram ukazuje závislost krystalizace na koncentraci srážedla (zde NaCl) a proteinu. Koncentrace NaCl se pohybovala v rozmezí 0,1M až 3M a proteinu 10 mg/ml až 100 mg/ml. Krystalizační podmínky navíc obsahovaly již zmíněný stabilizátor pH 0,1M octan sodný.

## 3 Výsledky a diskuze

V krystalizační podmínce s PEG 5000 vyrostly krystaly o velikosti  $150\mu m - 250\mu m$  (obr. 1). Na těchto krystalech jsme naměřili difrakční data (obr. 2) a vyřešili strukturu lysozymu. Molekula proteinu obsahuje 6  $\alpha$ -helixů, 1  $\beta$ -skládaný list (obr. 3). Na molekulu lysozymu je navázáno 8 chloridových iontů a 1 sodíkový iont (obr. 4).

Výsledkem druhé práce je následující fázový diagram (obr. 5). Z fázového diagramu lze pozorovat, že při vysokých koncentrací NaCl a proteinu dojde ke sražení proteinu a a naopak při nízkých koncentracích ke krystalizaci nedochází. Zjistili jsme, že optimální podmínka pro růst krystalů lysozymu je 1M NaCl a 75 mg/ml vzorek lysozymu.

## 4 Shrnutí

Během našeho projektu jsme vypěstovali krystaly lysozymu, na kterých jsme následně naměřili difrakční data. Tato data jsme zpracovali a vyřešili jsme struktura jmenovaného proteinu. Zároveň jsme vytvořili fázový diagram krystalizace lysozymu a zjistili tak optimální koncentraci složek pro krystalizaci.

## Poděkování

Děkujeme našim supervizorům Ing. Janu Stránskému a Ing. Leoně Švecové za pomoc při vypracování projektu. Děkujeme také ostatním organizátorům Týdne vědy za pořádání této a akce a za možnost zúčastnit se jí.



Obrázek 3: Zjednodušený model molekuly lysozymu (zelené kuličky jsou ionty Cl, fialová kulička je iont sodíku)



Obrázek 4: Detail struktury lysozymu s mapou elektronové hustoty (modrá mřížka). Tyčky zobrazují mezi atomární vazby, červené kuličky molekuly vody, fialová kulička atom sodíku, zelené kuličky atomy chlóru.



Obrázek 5: Fázový diagram krystalizace lysozymu. Prostor mezi červenými křivkami označuje ideální koncentraci obou složek, jak soli tak proteinu, pro růst krystalů.

## Simulace provozu JE typu ABWR

K. Oppelová\*, K. Rydlo\*\* \*SPŠST Panská 3, Praha 1 \*\*Gymnázium Dobruška, Pulická 779, Dobruška \*kamci.oppelova@icloud.com \*\*Krystof.Rydlo176@gmail.com

Abstrakt:

V rámci projektu jsme se seznámili s principem fungování a řízení bloku s jaderným reaktorem III. generace ABWR (Advanced Boiling Water Reactor), tedy pokročilým varným reaktorem, vyzkoušeli jsme si jeho provoz za běžných i havarijních podmínek.

## 1. ÚVOD

Jaderný reaktor typu ABWR je jedním z nejmodernějších reaktorů a se vyskytuje v Japonsku. Hlavní rozdíl mezi tímto reaktorem a u nás používaným typu VVER, tedy tlakovodním reaktorem, je ten, že ABWR má pouze jeden okruh + okruh chladící, naproti tomu u VVER najdeme okruh primární, sekundární + chladící.

Naše práce je zaměřena na poznání chování bezpečnostních zařízení v případě mimořádné poruchy na okruhu.

## 2. CHARAKTERISTIKA REAKTORU



### REAKTOR

Na obrázku je znázorněno schéma reaktoru ABWR. Potrubím (5) přitéká voda ochlazená na teplotu 220°C přímo do reaktoru. Poté je cirkulována čerpadly RIP (interními cirkulačními čerpadly) (3) do aktivní zóny (1) reaktoru, tedy k palivovým tyčím, kde se ohřeje na teplotu 280°C a přemění se na páru. Pára se zachytí v dómu nad reaktorem a následně odtéká potrubím (4) přímo na turbínu, přes kterou se dostane do kondenzátorů, kde se zchladí na teplotu 220°C a je přivedena zpět do reaktoru. Tím je uzavřen celý koloběh vody. Výkon reaktoru můžeme nastavovat pomocí cirkulace nebo regulačních tyčí (2), které se v případě varných reaktorů zasouvají zespoda, protože nahoře je dóm a není tam tedy místo na tyče.

schéma jaderného reaktoru [1]

## **VÝHODY X NEVÝHODY**

Jak už bylo zmíněno výše, tak varný reaktor má pouze jeden okruh, s tím souvisí i technologicky a finančně levnější výstavba. Dále má menší nároky na palivo, do toho typu reaktorů není nutné palivo obohacovat tolik jako do reaktorů tlakovodních. Je zde velká záporná zpětná výkonnostní vazba, menší objemový výkon a menší tlaky.

Jedna největších nevýhod tohoto reaktoru je, že pára, která vzniká přímo v aktivní zóně a jde přímo do turbíny, v případě porušení zirkoniových obalů palilvových tyčí může být lehce radioaktivní a tím kontaminovat zařízení ve strojovně. Proto se při každé výměně paliva turbína pečlivě kontroluje.

## **3. SIMULACE**

## SEZNÁMENÍ

S reaktorem jsme se zpočátku seznámili tak, že jsme pomocí automatické regulace snížili výkon na 70 % nominálního výkonu a zpět na 100 %. V dalším cvičení jsme měli stejný cíl, ale výkon jsme regulovali manuálně a to pomocí RIP a nastavením regulačních tyčí. Tuto úlohu zvládal počítač viditelně lépe než my. Ve chvíli, kdy výkon snižoval počítač, tak se držel na optimálních hodnotách. Když jsme výkon snižovali manuálně, byl velký problém se udržet alespoň v blízkém okruhu této hodnoty.

### HAVARIJNÍ SITUACE

Po seznámení se s základním fungováním simulátoru a základních typech simulace jsme zkoušeli různé havarijní situace a to od pouhého odstavení turbíny až po ztrátu vody v reaktoru. Tyto situace zahrnovaly i zastavení provozu RIP čerpadel, ztrátu napájecí vody, převýšení tlaku v reaktoru nebo třeba pokles hladiny vody v reaktoru.

V těchto situacích už jsme se neangažovali. Nechali jsme pracovat havarijní systémy a sledovali, jak se zachová, co odstaví jako první a co se v návaznosti na to bude dít dál.

### LOCA

Nejzajímavější havárie kterou jsme simulovali, byla ztráta chladící kapaliny v reaktoru, nebo-li LOCA, loss of coolant accident (nehoda ztráty chladiva). K tomu může dojít jak protržením přívodního nebo odtokového potrubí, tak přímo protržením tlakové nádoby reaktoru, což jsme simulovali my.

To způsobí, že voda, která se dostane do suché části kontejnmentu (viz. obrázek), se vypaří a následně se začne zvyšovat teplota až na 70°C. Když to systém zaznamenal, cca při 50°C, tak uzavřel ventily na obou potrubích mezi kontejnmentem a okolím, aby nedošlo ke kontaminaci strojovny, popřípadě okolí a hladina vody v reaktoru začala klesat. Tudíž se reaktor musel zastavit zasunutím havarijních tyčí, a následně chladil přímo aktivní zónu za pomocí nízkotlakého a vysokotlakého záplavového systému vodou z bazénu. Jediné jak jsme mohli urychlit vyřešit tento problém, je zapnout sprchu a začít chladit kontejnment.



schéma varného reaktoru, upraveno [2]

## 4. SHRNUTÍ

Po vyzkoušení standartních i havarijních situací jsme dospěli k názoru, že lidský faktor ve většině případů nezvládá v primární chvíli situaci tak dobře, jako havarijní systémy. Jeho zásah je potřeba až ve chvíli, kdy systém udělá prvotní zásah, který by člověk nestihl. Operátor sice může do průběhu nějakým způsobem zasahovat, ale ne takovým způsobem, jako tomu bylo třeba v černobylské havárii nebo na Three Mile Islandu. Je tedy velmi malá pravděpobnost, že by se mohla podobná katastrofa v budoucnosti opakovat.

# PODĚKOVÁNÍ

Naše poděkování patří vedoucímu miniprojektu, Dušanu Kobylkovi, a Vojtěchu Svobodovi za bezproblémoý průběh celé akce. Stejně tak děkujeme FJFI za uspořádání a organizaci této nezapomenutelné akce.

## REFERENCE

[1] schéma jaderného reaktoru, https://en.wikipedia.org[2] schéma varného reaktoru, upraveno zhttp://www.hitachi-hgne-uk-abwr.co.uk/reactor.html

## Balmerova série

### J. Ditrich, K. Hladká

## Gymnázium Ústavní, Gymnázium Karviná

### katerina.hladka@hotmail.com

#### Abstrakt

Práce představuje užití goniometru, optického hranolu a optické mřížky k určení energií fotonů s vlnovou délkou z intervalu viditelného světla emitovaných vodíkovou katodou. Cílem je experimentálně stanovit zmíněné vlnové délky a ověřit hodnotu Rydbergovy konstanty.

## 1 Úvod

Atomy považujeme za základní stavební jednotku hmoty v tom smyslu, že jsou chemicky dále nedělitelné – jeden atom se skládá z jádra a elektronů. Stabilita atomu je zajištěna zákony kvantové mechaniky, podle které se elektrony kolem jádra uspořádají jen na přesně daných drahách. Protože jen některé konfigurace jsou povolené, má atom atom jen několik povolených, od sebe oddělených energetických stavů: elektrony se nacházejí na různých energetických hladinách. První hladinu nazýváme základní, ostatní hladiny vzbuzené (excitované).

Za normálních okolností se elektrony atomu nacházejí v základním stavu. Pouze po absorpci energie (světelná, chemická atp.) se mohou dostat na vyšší energetickou hladinu. Tento stav je ale nestabilní, elektron se po krátké době vrací do základního stavu. Při tom může vyzářit elektron o určité vlnové délce/barvě/energii, které jsou pro každý atom typické a jedinečné.

To je princip emisního spektra a spektroskopie. Většina barev ale v našem okolí vzniká opačným způsobem – absorpcí, protože emise je typická pro vysoké teploty a energie, nebo nízké hustoty.

## 2 Energie elektronu

V atomární fyzice jsou za veškeré vlastnosti látek zodpovědné elektrony. Jejich energie je dána součtem kinetické energie a potenciální energie, kterou udává coulombická síla, jež má původ ve vzájemném působení mezi elektrony a jádrem a elektrony navzájem.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - k\frac{e^2}{r},$$

kde m je hmotnost elektronu, v je rychlost elektronu, k je coulombická konstanta, e je velikost elementárního náboje a r je vzdálenost mezi elektronem a jádrem.

Ve vodíku elektron vykonává kolem jádra pohyb po kružnici. Trajektorie tohoto pohybu je dána rovností odstředivé síly  $F_o$  a coulombické přitažlivé síly  $F_e$ .

$$F_o = F_e$$
$$\frac{mv^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2}$$

Pro rychlost elektronu tedy vyplývá, že je funkcí poloměru *r*.

$$v = e \sqrt{\frac{k}{rm}}$$

Pro celkovou energii elektronu v atomárním vodíku platí:

$$E = -\frac{ke^2}{2r}$$

Elektron má povahu částice i vlny. Z tohoto důvodu obvod jeho dráhy musí být celočíselným násobkem jeho vlnové délky  $\lambda$ , aby nedošlo k interferenci vlnění. Z de Broglieho vztahu pro vlnovou délku lze odvodit vztah pro poloměr trajektorie kruhového pohybu elektronu.

$$r = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 kme^2},$$

kde n je celočíselný násobek vlnové délky elektronu a zároveň stupeň energetické hladiny, h je Planckova konstanta.

Celková energie elektronu atomárního vodíku je tedy dána vztahem:

$$E = \frac{-2k^2e^4\pi^2m}{n^2h^2}$$

Po dosazení hodnoty *n* pro první energetickou hladinu dostáváme energii E = -13,6 eV, což je nejnižší možná hodnota energie elektronu atomárního vodíku. Tato hodnota je rovněž známá jako Rydbergova konstanta *R*.

Vztah pro energii elektronu v hladině n můžeme též vyjádřit jako:

$$E = \frac{R}{n^2}$$

### 3 Emisní spektrum vodíku

Při přechodu elektronu na vyšší energetický stav musí atom pohltit určité množství energie. Tato energie je rovná rozdílu energií daných dvou stavů.

Za normálních podmínek je atom vodíku schopen tuto energii uchovat jen v rámci jednotek nanosekund, poté ji emituje ve formě fotonu o stejné energii a na ní závislé vlnové délce pryč.

Pokud je vlnová délka tohoto fotonu z intervalu viditelného světla, jsme schopni ji pozorovat pouhým okem.

Všechny energetické přechody mezi druhou a vyšší energetickou hladinou nazýváme Balmerova série, která jako jediná obsahuje fotony s vlnovou délkou z intervalu viditelného světla. Konkrétně se jedná o přechody z třetí, čtvrté, páté a šesté energetické hladiny na druhou.

Dle hodnot energií vyzářených fotonů lze teoreticky pozorovat červenou, azurovou, modrou a fialovou barvu.

Při dodávání energie do atomů vodíku se vždy excituje jen část elektronů. Nejvíce se jich excituje na třetí energetickou hladinu, množství elektronů vybuzených na vyšší energetické hladiny klesá geometrickou řadou. Z tohoto důvodu má většina fotonů z viditelného spektra vlnovou délku odpovídající červené barvě. Protože se jednotlivé monofrekvenční složky skládají, výsledná barva vodíkové výbojky emitující záření je růžová.

## 4 Experimentální měření

Pro určení energií vyzářených fotonů viditelného světla jsme užili rtuťovou výbojku, vodíkovou výbojku, goniometr, optický hranol a optickou mřížku.

Nejprve bylo třeba určit fyzikální vlastnosti optického hranolu, který vyzářené světlo výbojek rozkládal na monofrekvenční složky. K tomuto účelu jsme užili rtuťovou výbojku a znalost jejího emisního spektra. Z dat pozorovaných na goniometru pro každou monofrekvenční složku emitovanou rtutí jsme určili úhel  $\varepsilon$ , pod kterým jednotlivé druhy fotonů opouštěly prostředí optického hranolu. Znalost emisního spektra rtuti nám dovolila vypočítat energie těchto fotonů. Následně jsme odvozovali vztah mezi energií fotonů, které prochází užitým optickým hranolem a úhly metodou lineární regrese.

Experimentálně jsme odvodili vztah:

$$E = 17,63533392\varepsilon - 12,680110$$

Po dosazení naměřených úhlů, pod kterými opouštěly optický hranol některé monofrekvenční složky viditelného světla emitované vodíkem, jsme byli schopni vypočítat energii těchto fotonů, z ní pak vlnové délky.

K experimentálnímu měření jsme kromě optického hranolu užili též optickou mřížku, kterou jsme situovali na goniometr kolmo ve směru dopadajících fotonů. Optická mřížka způsobila, že se růžové světlo emitované vodíkovou výbojkou rozložilo do jednotlivých interferenčních maxim jeho složek. Díky vztahu mezi mřížkovou konstantou  $d = \frac{1}{600} mm$  a pozorovanému úhlu na goniometru  $\varepsilon$  jsme dle vztahu

$$\lambda = d \sin \varepsilon$$

určili vlnovou délku složek emitovaného světla.

Zpětně jsme z naměřených dat mohli ověřit hodnotu Rydbergovy.

Pro ověření Rydbergovy konstanty jsme vycházeli z předpokladu, že energetický rozdíl mezi dvěma hladinami  $n_1$  a  $n_2$  se rovná energii vyzářeného fotonu.

$$\frac{hc}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \Rightarrow R = \frac{hc}{\lambda} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

kde c je rychlost světla ve vakuu a  $n_1 = 2$  pro Balmerovu sérii.

## 5 Výsledky

	Tabulková hodnota	Teoretická hodnota námi vypočítaná	Hodnota dle experimentu s optickým hranolem	Hodna dle experimentu s optickou mřížkou
Červená	656,3 nm	657 nm	617 nm	660 nm
Azurová	486,1 nm	487 nm	491 nm	488 nm
Modrá	434,0 nm	435 nm	433 nm	436 nm
Fialová	410,2 nm	410 nm	406 nm	nepozorována

Pro Rydbergovu konstantu vyšla hodnota  $13,510 \pm 0,007$  eV.

## 6 Shrnutí

Naměřené hodnoty vlnových délek se od tabulkových liší z důvodu nedostatků použitých přístrojů a použité metodiky.

Nedostatky přístrojů spočívaly v neúplné homogennosti a anizotropii užitého optického hranolu, velké mřížkové konstantě užité optické mřížky a schopnosti skla (například v okuláru a objektivu goniometru) částečně pohlcovat záření z katod.

Nedostatky metodiky byly způsobeny nedostatečným zatemněním laboratoře či subjektivním pozorováním měřených hodnot.

## 7 Poděkování

Děkujeme Fakultě jaderné a fyzikální inženýrské ČVUT za poskytnutí laboratoře a potřebných nástrojů a panu Ing. Michalu Špačkovi za konzultace.

## **8** Reference

[1] NIST Atomic Spectra Database Lines Data http://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl

## Causality and Quantum Theory

V. Böhm<sup>1</sup>, K. Grolmusová<sup>2</sup>, A. Horynová<sup>3</sup>, M. Zelený<sup>1</sup>

<sup>1</sup>SPŠE V Úžlabině, V Úžlabině 320, Praha 10, 100 00, Czech Republic,
 <sup>2</sup>Bilingválne gymnázium Milana Hodžu, Komenského 215, Sučany 038 52, Slovakia,

<sup>3</sup>Gymnázium Třebíč, Masarykovo náměstí 9/116, Třebíč 674 01, Czech Republic

vojta.bohm@gmail.com, kristinka.grolmusova@me.com, horynova.alzbeta@seznam.cz, michalzelen02@gmail.com

#### Abstract:

"God does not play dice."<sup>[1]</sup> Or does he? Does quantum theory really describe nature? Is there true randomness at the subatomic level, or do particles know what to do, controlled by variables beyond our current understanding and means of detection? Can we find an alternative theory that would get rid of those pesky probabilities? In two simple experiments, involving colourful envelopes and photons that had more in common than one would think, we looked for a way to evaluate the accuracy of quantum theory as compared to its alternatives, and found that the violation of Bell's inequalities within quantum theory may well be the key.

## **1** Introduction

On macroscopic scales, the behaviour of objects is governed by classical physics. For reasons that aren't yet fully clear, these laws fail to accurately represent reality on a microscopic scale. At this point, the best theory that explains events on the atomic and subatomic level is quantum theory. Quantum theory describes the microscopic world in terms of probabilities. For instance, suppose a photon meeting an obstacle, where it can either be transmitted or reflected. Quantum mechanics can determine the respective probabilities of the photon being absorbed or being reflected, but it cannot absolutely predict what will happen. In short, quantum mechanics is not deterministic.

This poses the question of whether quantum theory is complete: are events at the atomic and subatomic level accurately described using probabilities, or are there underlying causes underneath the apparent randomness, which we simply cannot detect yet?

An alternative to quantum mechanics could be a theory that operates with hidden variables: the idea that in addition to its normal parameters such as wavelength, vector of propagation, etc., a particle has another variable or a set of them that determines its behaviour.

In our project, we will try to see how we can decide between quantum theory and its deterministic alternatives. We will find where the theories differ and from there, we can go on to find out which option describes nature better.

## 2 Violation of Bell's inequalities

In order to determine the difference between quantum theory and its alternatives, we chose to use Bell's inequalities <sup>[2]</sup>. First, we modelled a situation using a simple setup with envelopes and coloured pieces of paper, then we translated the experiment into the quantum world. When a correlation is observed in a set of data, it can be assumed that there is some relation between the variables. One way to explain a correlation is a cause-effect relationship, where one variable has a direct effect on another. The other option is a common cause relationship, where the two values are affected by the same separate variable.

A way to mathematically determine the type of correlation is by using Bell's inequalities, which compare the probabilities of events. These inequalities are always satisfied for events with a common cause, but may be violated for non-common cause correlations.

We used the following formula:

 $P(A,B) + P(B,C) \ge P(A,C)$ 

#### 2.1 Envelope experiment

We used three colours (denoted varieties below) of Post-It notes: green (1), orange (2), and pink (3). We took two notes of each colour, marked one of the pair in red (R) and the other in blue (B), and separated the pairs into two envelopes, so that each contained one note of each variety. The combination of red and blue markings in each envelope was random. This way, we prepared several pairs of envelopes and placed each in a larger envelope.

We then randomly chose a large envelope, drew one note from each smaller one within, and wrote down its variety and colour.

Data set:

- 3B 2B
- 3R 1R

1R 1B

- 3R 3B
- 2B 1B
- 2B 1R

It was found that, because of the way the envelopes were prepared, a correlation could be observed: if two notes of the same variety were drawn, one had to be blue and the other had to be red. There is a common cause, because the envelopes were prepared in advance.

We went on to test whether this correlation satisfied Bell's inequality.

First, the probabilities of getting a certain combination (for example, 3B-2B) were determined. We found that there were four types of large envelopes:

	1 2 3	123
а	BBB	R R R
b	B B R	R R B
c	BRB	R B R
d	B R R	R B B

We denoted the probabilities of choosing each W<sub>a</sub>, W<sub>b</sub>, W<sub>c</sub>, W<sub>d</sub>. To these, we can apply general rules of probability:

 $W_a + W_b + W_c + W_d = 1$ 

 $0 \leq W_{a,b,c,d} \leq 1$ 

In these terms, the probabilities of each combination could be expressed. For example, in the case of 3B-2B:

This combination could only be found in envelope type b OR c. Therefore:

 $P(3B,2B) = P(3B) \cdot P(2B) \cdot (W_b + W_c) = 1/3 \cdot 1/3 \cdot (W_b + W_c) = 1/9(W_b + W_c)$ 

Likewise, the probability of combination 1R-1B can be expressed, knowing that this combination exists in every type of envelope:

 $P(1R,1B) = P(1R) \cdot P(1B) \cdot (W_a + W_b + W_c + W_d) = 1/3 \cdot 1/3 \cdot 1 = 1/9$ 

Using these, we attempted to verify Bell's inequality.

$$\begin{split} P(3B,2B) + P(2B,1B) &\geq P(3B,1B) \\ 1/9(W_b + W_c) + 1/9(W_c + W_d) &\geq 1/9(W_b + W_d) \\ W_c &\geq 0 \end{split}$$

This result follows the rule established above:  $W_{a,b,c,d} \ge 0$ . Bell's inequality was satisfied.

#### 2.2 Photon experiment

In the next step, we attempted to translate our experiment into the quantum world and see if the outcome would be similar, using the example of a photon hitting a polarization beam splitter (PBS). When polarized light hits the PBS, part of the beam is transmitted and part is reflected.

For transmitted light:  $I = cos^2 \phi \cdot I_0$ For reflected light:  $I = sin^2 \phi \cdot I_0$ where  $\phi$  is the angle between the splitter and the vector of polarization.

When a single photon hits the PBS, it cannot split; it must be either transmitted or reflected. Within quantum theory, the photon can be described in terms of probability that it will be transmitted, and probability that it will be reflected.

Our experiment involves a source which emits two photons at the same time. When a beam splitter is placed in the way of each, the probability that the two photons will have opposite polarization can be expressed as:

 $P(\phi_A,\phi_B) = \cos^2(\phi_A-\phi_B)$ 

where  $\phi_A$ ,  $\phi_B$  are the angles of the splitters.

The probability that they will have the same polarization can be expressed as:

 $P(\phi_A,\phi_B) = \sin^2(\phi_A,\phi_B)$ 

Therefore, the probability of only vertical or only horizontal polarization is:

 $P(\varphi_A,\varphi_B) = 1/2\sin^2(\varphi_A-\varphi_B)$ 

These relationships imply that, if the splitters are at the same angle, the photons will always have opposite polarizations, one horizontal and one vertical. This must be a common cause correlation, because there is no communication between the photons after they are emitted, ruling out a cause-effect relationship.

This situation is analogous to our envelope experiment, where the colours red and blue represent vertical and horizontal polarization, and the colours green (1), orange (2) and pink (3) represent splitter angles.

We can translate the experiment as such:

Let the colours 1, 2, 3 be angles  $\phi_1 = 30^\circ$ ,  $\phi_2 = 60^\circ$ ,  $\phi_3 = 90^\circ$ .

Let the colour blue (B) be horizontal polarization (H), and red (R) be vertical (V).

Finally, the probabilities can be plugged into Bell's inequality, using the one formulated during the envelope experiment.

 $\begin{array}{l} P(3H,2H) + P(2H,1H) \geq P(3H,1H) \\ 1/9 \cdot 1/2 \cdot \sin^2(90^\circ - 60^\circ) + 1/9 \cdot 1/2 \cdot \sin^2(60^\circ - 30^\circ) \geq 1/9 \cdot 1/2 \cdot \sin^2(90^\circ - 30^\circ) \\ 1/72 + 1/72 \geq 1/24 \\ 1/36 \geq 1/24 \end{array}$ 

In this case, Bell's inequality was violated.

## **3** Conclusion

We have found that, within the framework of quantum theory, Bell's inequalities can be violated, while in alternative theories such as the hidden variable theory, they cannot. As such, Bell's inequalities are a mathematical tool that can be used to distinguish between quantum theory and its alternatives. Experimental results can then decide which theory describes nature better<sup>[3]</sup>. To date, experiments have violated Bell's inequalities and therefore supported quantum theory. However, the question whether quantum theory is complete – whether "God plays dice" or not – remains open to further investigation.

## Acknowledgements

The authors would like to acknowledge Aurél Gábris for passing on the information and advising us. We would also like to acknowledge the holders of the Týden vědy and ČVUT for accommodation and facilitating our work.

## **References:**

- [1] HERMANNS W.: Einstein and the Poet: In search of the cosmic man, Branden press, (1983)
- [2] BELL, J. S.: Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics. Cambridge University Press, 2004
- [3] G. WEIHS; T. JENNEWEIN; C. SIMON; H. WEINFURTER; A. ZEILINGER (1998), "Violation of Bell's inequality under strict Einstein locality conditions", phys. Rev. Lett. 81: 5039–5043

## Čítání fotonů

D. Vagner, SPŠ SE Dukelská 13, České Budějovice,
M. Šťasný, SPŠ SE Dukelská 13, České Budějovice,
L. Valica, Gymnázium Varšavská cesta 1, Žilina
N. Vacková, Akademické gymnázium, škola hlavního města Prahy

#### Abstrakt:

V tomto projektu jsme se seznámili s principy čítání jednotlivých fotonů a možnostmi využití této technologie v praxi. Provedli jsme několik experimentů demostrující využití této technologie.

## 1 Úvod

Moderní kvantové detektory umožňují zachytit velmi slabé optické signály úrovně jednotlivých fotonů a zaznamenat přesný okamžiku dopadu fotonu, na čemž je založena metoda čítání jednotlivých fotonů. Tato metoda umožňuje velmi přesné měření velkých vzdáleností, kterého se využívá např. při měřeních v kosmu nebo při mapování gravitačního pole země. My jsme si tuto metodu vyzkoušeli při různých experimentech. Úvodním pokusem bylo měření dráhy uražené laserovým paprskem, dále jsme zjišťovali index lomu tvrzeného skla a rychlost světla ve vzduchu. V posledním měření jsme zaznamenali hladinu šumu světelného pozadí v místnosti. K provedení měření pomocí této metody je nutné sbírat data po delší časový úsek, což je důvod, proč se tato metoda nedá použít k měření rychle probíhajících dějů.

## 2 Měření Základní schéma

V okamžiku, kdy laser vyšle světelný impulz, se část odrazí do zpětnovazební diody uvnitř laseru, tím je vyvolán kladný elektrický impuls, který je naveden do zařízení TAC 556 (zařízení, které používáme k měření času), kde slouží jako signál start. V této chvíli se spouští čas měření a počítač může zaznamenávat čas dopadu jednotlivých fotonů po každém impulzu laseru. Fotony dopadající na detektor jsou převedeny pomocí lavinové fotodiody do elektrického signálu (impulzu), který pokračuje jakostop signál do převodníku čas - amplituda (TAC 566). V počítači je stop signál zaznamenáván jako jednotlivé dopady fotonů v čase od vyslání laserového impulzu. Protože zařízení TAC reaguje na impulzy opačné polarity, je signál start i signál stop invertován pomocí trafa. Experimentální schéma je znázorněno na obrázku 1. Počet fotonů dopadajících ve stejném čase (časovém intervalu určité šířky) se v programu sečítá. Výhodou je, že při zachování geometrie experimentu dopadají fotony z laseru stále ve stejném čase od vyslání laserového impulzu a mohou se tak načítat. Naproti tomu, fotony z okolí dopadají v čase náhodně a proto se v našem měření načítají mnohem méně. Díky tomu můžeme měřit kvantovým detektorem i při běžném osvětlení místnosti.



obr. 1 - Schéma zapojení

#### Měření vzdálenosti dvou objektů

První experiment demonstruje způsob měření vzdálenosti dvou objektů. Do dráhy paprsku umístíme dvě optická sklíčka. Každé z nich odráží cca 8% světla do detektoru. Program PCA nepracuje s jednotkami SI. Na osu x místo času dosazuje tzv. kanály, kterých je celkem 2048 (díky digitálně-analogovému převodníku). V našem nastavení TAC převodníku odpovídá jednomu kanálu čas 39 ps. Tato hodnota určuje také naše časové rozlišení. Graf měření zobrazuje dva píky, viz obr. 2. Jejich vzdálenost odpovídá časovému zpoždění světelného svazku mezi oběma sklíčky. Po odečtení hodnot kanálů, ve kterých se nachází vrcholové hodnoty a následném vynásobení 39 ps získáme čas potřebný k přechodu paprsku od jednoho sklíčka k druhému. Vzdálenost vypočítáme pomocí vzorce (1):

$$\boldsymbol{s} = \boldsymbol{c} \cdot \frac{\boldsymbol{t}}{2} \ (1)$$



Měření vzdálenosti



Z výpočtu jsme určili vzdálenost d=1,03 m, což odpovídalo fyzicky změřené vzdálenosti mezi oběma odraznými skíčky.

#### Index lomu tvrzeného skla

V tomto pokusu do dráhy laserového paprsku umístíme sklíčko a odraz svazku od tohoto skla nasměrujeme do detektoru. Vypočítáme čas, za který paprsek urazí dráhu od laseru ke sklíčku a zpět k detektoru. Zjistíme číslo kanálu, ve kterém se nachází největší počet zachycených fotonů. Z čísla kanálu vypočítáme čas jako v předchozím měření. V druhém měření vložíme před sklíčko náš vzorek tvrzeného skla, tak aby jím procházel svazek tam i zpět a znovu čas změříme. Ze znalosti tloušťky skla vypočítáme jeho index lomu dle vztahu (3):

$$n = \frac{c}{v}$$
 (2)  $n = \frac{c \cdot (\Delta t + \frac{2d}{c})}{2d}$  (3)

kde n značí index lomu, c rychlost světla a  $\Delta t$  značí časový rozdíl obou naměřených píků. V našem případě jsme určili tloušťku skla jako d = 4,475 cm. Výslednou hodnotu indexu lomu jsme vypočítali jako n = 1,78. Posun píku způsobený dvojitým průchodem opticky hustším prostředím bloku tvrzeného je znázorněn na obr. 3(modrý pík odpovídá zpožděnému svazku).





### Rychlost světla ve vzduchu

Použijeme stejné experimentální uspořádání jako v prvním pokusu (měření vzdálenosti dvou objektů). Manuálně změříme rozestup sklíček. Pomocí laseru a detektoru, stejně jako v prvním pokusu, zjistíme čas potřebný k tomu, aby paprsek dorazil od prvního sklíčka k druhému. Ze zjištěného času a naměřené vzdálenosti vypočteme rychlost světla.

$$c = \frac{2s}{\Delta t} \quad (4)$$

Na optické dráze délky s=58,8 cm jsme maměřili časové zpoždění  $\Delta t$ = 4066,14 ps a hodnotu rychlosti světla jsme vypočetli jako c= 289 217 783 m/s.



obr. 4 - odrazy fotonů od sklíček

## Šum

Poslední částí našeho bádání bylo zaznamenání světelného šumu a pochopení vlivu vnějších činitelů na výsledné grafy. V důsledku větší pravděpodobnosti dopadu fotonu v prvních okamžicích měření a následného zahlcení detektoru (na krátkou dobu) je výslednicí grafu při větším časovém úseku exponenciála. Tato nekonstantnost se neprojeví při měření ve větším časovém rozlišení (kratším časovém úseku). Zahlcení detektoru je také ovlivněno úrovní okolního osvětlení (vyšší úroveň se projevuje vyšší nekonstantností a nelinearitou výslednice), jak znázorňuje obrázek 5.



## 3 Shrnutí

Hlavní výhoda metody sčítání jednotlivých fotonů se skýtá v její vysoké přesnosti a použitelnosti na velké vzdálenosti, kde není možné získat dostatečně silný signál. Ovšem nedá se využívat pro měření rychle se měnících dějů, protože potřebuje delší čas pro sběr dat.

## Poděkování

Závěrem bychom chtěli poděkovat Ing. Pavlu Linhartovi.

## **Reference:**

- [1] VACEK M- MICHÁLEK V.: Photon counting altimeter and lidar for air and space borne applications
- [2] PROCHÁZKA I.- SCHREIBER U.: The European Laser Timing (ELT) experiment onboard ACES

## CO<sub>2</sub> laser v kufříku

### Garant: Filip Dominec

Studenti: O. Hladík ondra550@gmail.com - Gymnázium Dr. Emila Holuba v Holicích M. Vondrák vondrak.m@gymjat.org - Gymnázium Jateční 22 v Ústí nad Labem M. Werner wernermich@gmail.com - Gymnázium Elišky Krásnohorské, Praha J. Šafran jindrasafran@gmail.com - RG a ZŠ města Prostějova P. Souček pa.soucek@seznam.cz - Gymnázium Nymburk

Laboratoř fyzikálních praktik FJFI, Břehová 7, Praha

## Abstrakt:

Na miniprojektu " $CO_2$  laser v kufříku" jsme se seznámili se základními teoretickými principy laseru. Také jsme prováděli řadu experimentů s  $CO_2$  laserem, jehož parametry jsme důkladně proměřili. Poté jsme prováděli experimenty s infračerveným zářením emitovaným tímto laserem a jeho interakcemi s různými materiály.



Obrázek 1- fotografie použitého CO2 laseru
# 1. Teorie

## Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření je všudypřítomné. Jakýkoliv elektrický náboj pohybující se s nenulovým zrychlením vyzařuje elektromagnetické vlnění. Toto vlnění lze charakterizovat pomocí frekvence, fáze a směru. My jsme se zabývali koherentním svazkem infračerveného záření z výkonného  $CO_2$  laseru.

## Princip laseru

Termín laser pochází z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Mezi dvěma elektrodami necháme probíhat nízkotlaký výboj, který v aktivním prostředí excituje atomy a molekuly přejít do vyšší energetické hladiny. Ty pak při přechodu do základního stavu pak vyzáří foton. V laseru k tomuto dochází prostřednictvím stimulované emise při interakci s elektromagnetickým zářením, tak vyzářený foton přijme vlastnosti tohoto záření, tedy bude mít stejnou frekvenci, fázi i směr. Toto záření se pak odráží od zrcadel na obou koncích, z nichž jedno je polopropustné. Lasery jsou používány kvůli některým svým vlastnostem, ty jsou například směrovost, monochromatičnost a vysoká hustota výkonu. Mezi obvyklé druhy laserů patří například He-Ne laser, diodový laser, CO<sub>2</sub> laser atd.



Obrázek 2 - schéma CO2 laseru

## CO<sub>2</sub> laser

V případě  $CO_2$  laserů je aktivním prostředím nejenom oxid uhličitý, ale také dusík a helium. Pro stimulovanou emisi se pak používá přechod mezi vibračními stavy atomů uhlíku v molekule  $CO_2$ . Jedná se o jeden z nejstarších druhů laseru. Záření, které je jím generováno, se svojí vlnovou délkou řadí mezi infračervené záření. Nejčastěji bývají udávány vlnové délky 9,4 µm a 10,6 µm.

# 2. Praktická část

# Použitý laser

Námi použitý  $CO_2$  laser měl jmenovitý výkon 40 W. Laser byl celý chlazen vodou, včetně obou zrcadel. Polopropustné zrcadlo bylo vyrobeno z germania.

# Měření výkonu

Pro určení výkonu jsme použili hliníkový kalorimetr. Nejprve jsme u něj provedli několik měření s normovaným zdrojem tepla. Tím jsme změřili tepelnou kapacitu kalorimetru. Následně jsme kalorimetr ohřívali pomocí laseru. Výkon laseru se dle těchto měření pohybuje okolo 20 W. Přesnost měření je sporná, protože kalorimetr nebyl dobře tepelně izolován od okolí. I přes to má toto měření jistou vypovídací hodnotu. Důvodem nižšího výkonu, než je jmenovitý výkon, může být nízký výkon zdroje.

## Měření vlnové délky

Vlnová délka byla měřena na difrakčních mřížkách vlastní výroby. Mřížky byly zhotoveny z tenkého lakovaného drátku. Z experimentů nám vyšla vlnová délka 8,8 µm, což se od výrobce udávaných 10,6 µm zaokrouhleně liší o 17%. Tato odchylka může být dána jak nepřesností měření, tak tím, že lase emituje jinou frekvenci, než udává výrobce.

# Interakce infračerveného záření s materiály

Díky odlišné vlnové délce záření generovaného naším laserem může docházet k nečekaným interakcím. Materiály běžně průhledná mohou být pro infračervené záření naprosto neprostupné, zatímco některé neprůhledné materiály, třeba křemík nebo germanium, jsou za určitých podmínek prostupné tímto zářením.

Kovové předměty většinou odolaly. Jediným čistě kovovým předmětem, který se propálil, byl alobal. Domníváme se, že to bylo z toho důvodu, že se v něm vytvořily povrchové proudy při odrazu, a ty způsobili ohřev alobalu. Ten pak rychle zoxidoval, čímž vznikl korund.



Obrázek 3 - alobal po sežehnutí laserem

Polovodiče měnili své vlastnosti v závislosti na teplotě. Za studena byly velmi dobře propustné, avšak po zahřátí začaly ovšem laser odrážet.

Sklo se při ozáření laserem začalo tavit a vypařovat. Dalším důsledkem zvýšení teploty byla expanze skla, která postupně zvyšovala vnitřní napětí. Po dosažení určité úrovně došlo k explozi skla. Obdobně na tom byli i další běžně průhledné materiály, které se ukázali být nepřekonatelnou překážkou pro infračervené záření.



Obrázek 4 - praskliny ve skleněném vzorku a usazeniny vypařeného skla na povrchu

## Závěr

Prohloubili jsme své znalosti v oboru laserové technologie a vlnové optiky. Provedli jsme řadu zajímavých experimentů, které nám poskytly hlubší vhled do fyzikálních principů, které obestírají tuto problematiku. Zjistili jsme chování některých materiálů vystavených infračervenému záření, pozorovali jsme jeho difrakci a proměřili jsme jeho parametry.

# Studium mřížkových kmitů $ZrO_2$

Veronika Deketová<sup>1</sup>, Aneta Dušková<sup>2</sup>, John Richard Ritter<sup>3</sup> Gymnázium Velké Meziříčí<sup>1</sup>, Gymnázium Nad Štolou<sup>2</sup>, Gymnázium Třebíč<sup>3</sup> veronikadeketova@seznam.cz<sup>1</sup>, aneta97@seznam.cz<sup>2</sup>, john.richard.ritter@gmail.com<sup>3</sup>

#### Abstrakt

Při prudkém ochlazování, či oteplování žáruvzdorných nádob z oxidu zirkoničitého dochází ke vzniku obrovského napětí a může dojít i k popraskání. Příčinou vzniku napětí je fázový přechod v  $\text{ZrO}_2$  mezi jeho jednotlivými alotropickými modifikacemi, který je způsoben, jak jsme zjistili, "zamrznutím" tzv. měkkého módu.

## 1 Úvod

Oxid zirkoničitý  $(ZrO_2)$  se používá jako žáruvzdorný materiál v tavicích nádobách a pecích. V čisté látce však při velmi vysokých teplotách dochází dvakrát po sobě ke změně alotropické modifikace a jejím vlivem může materiál prasknout. Experimentální studium této problematiky by bylo velmi pracné a nákladné, proto se nejdříve použije matematický model, jehož cílem je výpočet a zhodnocení fononové struktury  $ZrO_2$ . Můžeme tak zpřesnit údaje o průběhu dané fázové změny, upozornit na rizika tohoto materiálu a podat návrh na provedení experimentu.

## 2 Teoretická část

#### Struktura

Oxid zirkoničitý je bílá krystalická látka, která se v závislosti na teplotě vyskytuje ve třech alotropických modifikacích: do 1170°C monoklinické (značí se  $\alpha$ ), do 2370°C tetragonální ( $\beta$ ) a při vyšších teplotách přechází v kubickou ( $\gamma$ ) [1]. Kubická buňka je plošně centrovaná, obsahuje tedy 4 strukturní jednotky ZrO<sub>2</sub>, v elementární buňce se však nachází pouze jedna strukturní jednotka (obrázek 1).

#### Mřížkové kmnity

Jednotlivé atomy vázané v krystalické mřížce kmitají určitým způsobem. Jejich kolektivní kmit (mód) se dá rozložit na módy základní. Nejmenší kvantum energie, kterou je tento základní mód realizován, označujeme jako fonon [2]. Počet základních módů se řídí pravidlem 3NZ, kde N je počet bází v jedné elementární buňce krystalické mřížky (skutečný počet strukturních jednotek, který buňce přísluší), Z je počet atomů na jedné bázi (atomy patřící jedné poloze v mřížce) a číslo 3 odráží počet možných směrů v trojdimenzionálním



Obrázek 1: Struktura  $ZrO_2$ , zelené body znázorňují zirkon, červené kyslík: a) Elementární buňka kubické fáze  $ZrO_2$ ; b) Kubická plošně centrovaná buňka  $ZrO_2$ .

prostoru. Elementární buňka v našem případě obsahuje jednu bázi tvořenou třemi atomy (1x zirkon a 2x kyslík), očekáváme tedy celkem  $3 \cdot 1 \cdot 3 = 9$  fononů.

Kmity mřížky můžeme již od pohledu rozdělit na akustický, kdy se pohybuje celá buňka (s ní i její těžiště) a optický, kdy je těžiště buňky stacionární. Počet akustických módů podléhá pouze počtu možných směrů v trojdimenzionálním prostoru, počet módů optických bude tedy 3NZ - 3, v našem případě 6 optických fononů.

#### Fázové přechody

Fáze můžeme vnímat jako jednotlivá skupenství, přičemž v rámci skupenství pevného i jako alotropické modifikace. V případě  $ZrO_2$  jsme se zabývali výhradně fázovým přechodem mezi kubickou a tetragonální mřížkou z pohledu snižující se teploty. Se snižující se teplotou výrazně klesá frekvence jednoho ze základních módů. Takový mód nazýváme měkký [3]. Jeho vznik obecně ovlivňuje síla a typ interakce mezi jednotlivými atomy. Mód nakonec "zamrzne", tedy se frekvence sníží až k nule, a dojde ke změně alotropické modifikace.

#### Výpočetní metody

K výpočtu fononové struktury jsme použili programový balík Phonon [4], který pracuje na základě výpočtů z prvních principů (ab-initio) stojících na základních rovnicích kvantové fyziky (oproti výpočtům z empirických dat, který využívá primárně data z experimentů). Ab-initio tedy znamená dobrat se k výsledkům pouze teoretickou cestou.

## 3 Výsledky a diskuze

Program Phonon vytvoří model struktury a z výpočtu fononů  $ZrO_2$  odvodí disperzní křivku. Disperzní křivka ukazuje závislost energie kmitů na vlnovém vektoru (prostorová změna fáze vlnění) uvažovaném v tzv. reciprokém prostoru. Reciproký prostor je matematická konstrukce pro popis symetrie krystalu, ve kterém se (v našem případě) pohybujeme po bodech  $\Gamma$ , X, W, L (obrázek 2). V nich se mód ustaluje do určité symetrie.



WAVE VECTOR

Obrázek 2: Dispersní křivka pro  $ZrO_2$  při fázovém přechodu mezi alotropickými modifikacemi  $\beta$  a  $\gamma$ .

Kmitové větve (čáry v grafu) symbolizují jednotlivé základní módy. Těch může být maximálně 9, protože jejich počet podléhá pravidlu 3NZ. Kmitová větev vycházející z počátku souřadnic symbolizuje akustický fonon. Program Phonon umožňuje pro každou část křivky zobrazit animaci kmitání krystalové mřížky příslušné k danému bodu.

Předmětem našeho zájmu bylo hledání měkkého módu, jehož energie prudce klesá až "zamrzne". Na obrázku 2 ho můžeme zřetelně vidět jako jednu z křivek přecházející do oblasti záporných frekvencí s minimem v bodě X. Právě v tu chvíli dochází ke změně alotropické modifikace z kubické na tetragonální. Atomy kyslíku se zpomalují, až se ve vychýlených polohách zcela zastaví.

### 4 Závěr

Oxid zirkoničitý se v závislosti na teplotě vyskytuje ve třech alotropických modifikacích: monoklinické, tetragonální a kubické. Zkoumali jsme přechod z tetragonální do kubické fáze. Ze všech devíti základních módů jsme byli schopni určit měkký mód. Tento měkký mód při jisté teplotě ve struktuře "zamrzne" a způsobí tak změnu rovnovážné polohy atomů. Měkký mód je tedy příčinou fázového přechodu. K zamezení změny modifikace se používají různé oxidy jako příměsi.

## Poděkování

Předně děkujeme Ing. Zuzaně Dočekalové, která nás do problematiky uvedla a dále jí nás prováděla. Naše díky patří i všem organizátorům TV@J 2016 a FJFI ČVUT – bez nich bychom si akci nikdy tak neužili.

## Reference

- [1] A. Kuwabara, T. Tohei, T. Yamamoto, I. Tanaka. *Ab initio lattice dynamics and phase transformations of ZrO*<sub>2</sub>. Physical Review B. 2005: 71(6), 064301.
- [2] C. Kittel. Úvod do fyziky pevných látek. John Wiley&Sons. 1966
- [3] K. Parlinski, Z.Q. Li, Y. Kawazoe (1997). First-principles determination of the soft mode in cubic ZrO<sub>2</sub>. Physical Review Letters. 1997: 78(21), 4063.
- [4] K. Parlinski. PHONON software demo verze. Krakov. 2014.

# Na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy?

# M. Křišťanová - Gymnázium, Pardubice, Dašická K. Fólová - Gymnázium, Pardubice, Dašická J. Paulysková - Gymnázium, Pardubice, Dašická R. Rakašová - Gymnázium Teplice

#### janapaulyskova@seznam.cz

#### Abstrakt

Záření člověku pomáhá, ale zároveň ho i ohrožuje. Mezi hrozby patří například kosmické záření nebo přírodní radionuklidy. Negativnímu působení záření se můžeme vyhnout odstíněním, zvýšením vzdálenosti od zdroje, snížením doby působení nebo užitím radioprotektiv. A právě touto poslední metodou, která je v podstatě jediným řešením pro astronauty, jsme se zabývali. Pokoušeli jsme se zjistit, zda by ethanol mohl být vhodným radioprotektivem. Využili jsme metodu agarózové elektroforézy.

# 1 Úvod

DNA je nositelem genetické informace. Skládá se ze sacharidu (2-deoxyribóza), fosfátu a dusíkaté báze. Ta může být purinová (adenin, guanin) nebo pyrimidinová (cytosin, thymin). Tato sekvence je vodíkovými můstky spojena na základě komplementarity bází a stočena do dvoušroubovice. Pokud je buňka vystavena záření, může dojít buď k přímému zasažení DNA nebo k nepřímému poškození prostřednictvím vzniklými volnými radikály. Pravděpodobnost přímého zásahu je malá, proto má nepřímé poškození větší význam.

Abychom tomu zabránili, můžeme použít tzv. vychytávače (scavengery), které zneutralizují hydroxylové radikály. Problémem je, že většina látek s vhodnými vlastnosti je jedovatá. Naším úkolem bylo zjistit, zda by ethanol mohl být ideálním vychytávačem. A zda by v případě jaderné katastrofy dopadl lépe alkoholik, nebo abstinent.

# 2 Experiment

Experiment proběhl v radiobiologické laboratoři Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR pod vedením Ing. Kateřiny Pachnerové Brabcové, Ph.D..

Užitím elektroforetické metody jsme zkoumaly, zda alkohol může snížit riziko poškození DNA. Ve stočené plazmidové DNA může dojít k poškození jednoho nebo obou vláken (viz obr.1). Pokud se poškodí jedno na jednom či více místech, dostatečně vzdálených od sebe, vznikne nižší stupeň poškození, mluvíme pak o kruhové formě DNA. Pokud však dojde k poškození obou vláken, je už DNA vážně narušena, není pravděpodobné, že ji buňka dokáže opravit. Vzniká tak lineární forma DNA. Pokud dojde u lineární formy k více dvojitým zlomům na obou vláknech, DNA se stává degradovanou.



Obr. 1

Testovaly jsme ethanol ve formě 36% vodky Nordic Ice jako potenciální radioprotektivum. Pro naše účely jsme využily plazmidový model ve vodném roztoku reprezentující buněčnou DNA. Pracovaly jsme s dvěma sadami po devíti vzorcích s různou objemovou koncentrací ethanolu 0% - 20%. Jeden set jsme ozářily zdrojem gama záření, kobaltem 60. Tyto vzorky byly vystaveny dávce záření 50 Gy. Druhá sada byla pouze kontrolní.



Obr. 2

Princip elektroforézy spočívá v rozdílné pohyblivosti nabitých molekul v elektrickém poli (viz obr. 2). Vlákna poškozená ionizujícím zářením migrují rozdílnou rychlostí než ta nepoškozená.

Jako podklad jsme využily agarózový gel vytvořený z agarózy, pufru, destilované vody a fluorescenčního barviva, které slouží k zviditelnění DNA pod UV lampou. Do uvařeného a ztuhlého gelu jsme aplikovaly vzorky s přidaným barvivem, abychom dobře viděly jejich migraci. K té došlo při připojení do obvodu o napětí 100 V na 70 minut.

#### Neozářená sada:



Obr. 3

Ozářená sada:





Práci jsme vyhodnotily pomocí programu Luthien, který se používá na analýzu, vyobrazení a vyhodnocení dat v grafech.



#### Graf 1

Z grafu č. 1 můžeme vyčíst, že při zvyšování koncentrace ethanolu u neozářených vzorků alkohol mírně poškozuje plazmidový model DNA.

Zároveň podle grafů č. 1 a 2 můžeme říci, že ethanol funguje jako radioprotektivum pro tento model DNA. Dalo by se tedy říci, že ethanol snižuje možnost poškození plazmidové DNA.



Graf 2

## 3 Závěr

Teoretickým výsledkem naší práce je, že ethanol snižuje možnost poškození plazmidové DNA před nepřímými účinky ionizujícího záření, přičemž k evidentnímu nárůstu ochrany dochází při zvyšování jeho koncetrace. Jelikož jsme však měly dispozici pouze plazmidové DNA, které nemohlo nahradit buněčné DNA, nevíme, zda by měl ethanol při ozáření stejný účinek na buňku jako v našem pokusu. Lidský organismus v případě jaderné katastrofy reaguje jiným způsobem než plazmidový model. Domníváme se, že nejlepší možností při výbuchu jaderné elektrárny je rozumný člověk, který bude schopen rychle zareagovat, což u opilého člověka není lehký úkol, ne-li nemožný. U astronautů by tato metoda využití ethanolu jako radioprotektiva také nebyla nejlepší nápad, protože vliv alkoholu na jejich myšlení by byl vcelku nežádoucí. V praxi bychom tedy ethanol jako radioprotektivum použít nemohli.

## Poděkování

Rády bychom poděkovaly Ing. Kateřině Pachnerové Brabcové, Ph.D., která nás seznámila s metodou agarózové elektroforézy. Děkujeme jí za trpělivé vysvětlování problematiky ochrany DNA a za příjemnou spolupráci. Také bychom rády poděkovaly Ústavu jaderné fyziky AV ČR za prostory pro náš výzkum na Oddělení dozimetrie záření a umožnění práce v daném objektu. Na konec ještě velké díky kandidátu věd Vojtěchu Svobodovi za organizaci Týdnu vědy na Jaderce v Praze, jež nám umožnila rozšířit oblasti našeho poznání.

# Mumie versus Zombie: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy

Alena Závadová\* Kristýna Schwarzerová\*\* My Hanh Hoová\*\*\* Denisa Kotenová\*\*\*\*

Gymnázium Olgy Havlové, Marie Majerové 1691, Ostrava - Poruba, 708 00\* Gymnázium, základní škola a mateřská škola Hello s.r.o., Čs. exilu 491/23, Ostrava – Poruba, 708 00\*\* Gymnázium Teplice, Čs. Dobrovolců 11, Teplice, 415 01\*\*\* Gymnázium Litoměřická 726, Praha 9 - Prosek, 190 21\*\*\*\*

> alena.zavadova@seznam.cz\* kristyna.schwarzerova@seznam.cz\*\* hanh1998@seznam.cz\*\*\* dendiskova@seznam.cz\*\*\*

#### Abstrakt:

Zombie nebo mumie? Kdo by přežil déle v případě jaderné katastrofy? Toto dilema bylo předmětem naší práce. Cílem bylo srovnat poškození suchého a tekutého vzorku DNA při jejím ozáření. K ozáření byl použit kobaltový zářič, přičemž pro detekci poškození bylo využito agarozové elektroforézy. Z výsledků našeho měření vyplývá, že při vypuknutí jaderné katastrofy by u DNA mumie hrozilo menší poškození.

# 1 Úvod

Ionizujícímu záření jsme v malé dávce vystaveni v průběhu každého dne. Často si však neuvědomujeme jeho potenciální účinky. V naší práci se budeme zabývat dopadem ionizujícího záření na molekulu DNA, konkrétně působením tohoto záření na DNA zombie a mumie. Jejich DNA bude zastoupena plasmidem pBR322 a použité vzorky budou odlišeny množstvím obsažené vody. V samotné práci popíšeme průběh agarozové elektroforézy, stavbu kobaltového zářiče a výsledný dopad ionizujícího záření na DNA. Výstupem naší práce bude zjištění, zda je poškození DNA menší u zombie nebo u mumie.

## 2 Teoretická část

#### 2.1 Mumie

Obecně je známo, že mumie je tělo mrtvého člověka, či jiného živočicha, které bylo posmrtně mumifikováno, tedy bylo konzervováno. Mumifikace může být buď přirozená (vysušením, mrazem) nebo provedená člověkem (balzamování). V našem případě jsme pracovaly se suchým plasmidem DNA, tedy s plasmidem, který byl kompletně vysušený, a tudíž jsme u těchto vzorků mohly zanedbat vliv vodních radikálů na poškození plasmidu.

#### 2.2 Zombie

Zombie, jinak zvaná též oživlá mrtvola, je postava často se objevující například v hororových filmech. Dle obecného popisu se obvykle jedná o osobu, která je někým nebo něčím ovládána a tedy slepě vykonává příkazy. Pro nás však byl důležitý obsah vody v plasmidu "její" DNA. Jelikož zombie byla původně člověk, vycházely jsme z předpokladu, že obsah vody v plasmidu bude stejný jako u člověka.

#### 2.3 DNA

Objektem našeho zkoumání byla DNA. DNA, neboli deoxyribonukleová kyselina je základní stavební a funkční jednotka živých systémů. Je tvořena z cukru (2-deoxy-D-ribosy), z bází (purinových a pyrimidinových) a z fosfátu. Purinové (adenin A, guanin G) a pyrimidinové (cytosin C, thymin T) báze se váží na sacharidy, následně tvoří řetězce a ty se přes vodíkové můstky a komplementární báze (A-T, G-C) spojují do charakteristické šroubovice.

#### 2.4 Plasmid

Plasmid je malá kruhová molekula DNA, jež je schopná replikace a přirozeně se vyskytuje v cytoplazmě některých bakterií. Může v sobě kódovat různé doplňující vlastnosti, které jsou kupříkladu pro bakterie velmi důležité (vytváří jim odolnost vůči antibiotikům).

#### 2.5 Kobaltový zářič

K ozáření vzorků byl využit kobaltový zářič, který se obecně využívá hlavně ve zdravotnictví a ke kalibraci zdravotnických zařízení.

#### 2.6 Agarozová elektroforéza

Agarozová elektroforéza je jednou z nejpoužívanějších separačních technik. Používá se zejména k izolaci a analýze nukleových kyselin a to za pomoci agarozového gelu, který funguje jako molekulové síto. V našem případě jsme díky ní zjišťovaly úroveň poškození zkoumané DNA. Jejím principem je pohyb nabitých molekul v elektrickém poli, přičemž nukleové kyseliny přirozeně nesou záporný náboj, a tudíž se pohybují ke kladně nabité elektrodě (anodě). Plasmidy se separují podle různých konformací.



Obrázek 1: Kobaltový zářič

#### 2.7 Ionizující záření

Ionizující záření je druh záření, které je schopné ionizovat prostředí, kterým prochází. Do tohoto záření řadíme:

Záření alfa α Záření beta β Záření gama γ

Toto záření má široké spektrum využití např. v medicíně či potravinářství a na člověka má jak pozitivní, tak negativní účinky.

## 3 Praktická část

Pro přípravu agarozové elektroforézy jsme potřebovali vytvořit gel, do kterého se následně přidají vzorky suché a tekuté DNA.

#### 3.1 Tvorba gelu

Gel se tvoří smícháním 40 ml pufru a 0,4 g agarozy. Roztok přivedeme k bodu varu a následně za stálého míchání necháme vychadnout na teplotu 60°C, abychom mohly přidat detekční barvivo. Poté se celý gel vlévá do elektroforetické vaničky a na hodinu nechá ztuhnout.

#### 3.2 Tvorba suchého roztoku

Vytvoříme si jeden roztok, který budeme následně rozdělovat do menších. K tvorbě tohoto roztoku potřebujeme 150 ng/vzorek DNA, což odpovídá 1,67 µl plasmidu DNA o koncentraci 989 ng/µl a zároveň přidáme 53 µl vody. Následný roztok (11 vzorků) rozdělíme do menších vzorků (5 pro jednu skupinu, 5 pro druhou skupinu a 1 pro případné ztráty). Roztoky určené skupinám se dělí každý vzorek na 2 "kapičky" po 2,5 µl. Roztoky následně necháme 30 min sušit. Po ozáření je znovu rozpustíme v destilované vodě a pro následné zpracování elektroforetickou metodou musíme k roztoku přidat 2 µl fosfátu a 8 µl destilované vody.

#### 3.3 Tvorba tekutého roztoku

Každá skupina si přichystala 6 vzorků (1 pro případé ztráty). Na celkový roztok je potřeba 100 ng/vzorek DNA, což odpovídá 0,61 μl DNA, také jsme přidaly 47,39 μl vody a 12 μl fosfátu.

## 4 Výsledky

Z obrázku jsme porovnaly procentuální obsah poškozených a nepoěkozených konformací plasmidu ve vzorcích. Vlevo se nachází tekuté vzorky, které jsou mnohem více poškozeny než vzorky suché (na obrázku vpravo).

V následujících tabulkách je znázorněno, jak na plasmidy působí záření. U suchých vzorků nejsou plasmidy natolik poškozovány, jako u tekutých.



Obrázek 2: Srovnání suchýh a tekutých ozařených vzorků

Tabulka 1: Procentuální poměr zdravých a poškozených plasmidů v tekutém vzorku

Sloupec1 💌	0 Gy 🔽	5 Gy 🗾 🔽	10 Gy 📃 🔽	25 Gy 📃 🔽	50 Gy 🗾 💌
Stočená	40,36%	0,00%	0,00%	6,28%	0%
Cirkulární	31,48%	89,93%	77,94%	23,81%	0%
Lineární	28,17%	10,07	69,91	69,91%	100%

Tabulka 2: Procentuální poměr zdravých a poškozených plasmidů v suchém vzorku

Sloupec1	0 Gy	•	50 Gy 🗾 💌	100 Gy 💽 🔽	250 Gy 🗾 🔽	500 Gy 🔽
Stočená		65,25%	47,24%	66,99%	64,42%	67,43%
Cirkulární		26,03%	44,02%	20,75%	27,96%	26,28%
Lineární		8,72%	8,76%	12,26%	7,63%	6,29%

Grafy ukazují procentuální hodnoty zdravých plasmidů při různých dávkách záření.



Obrázek 3: Graf znázorňující procento nepoškozené formy plasmidu v tekutém vzorku



Obrázek 4: Graf znázorňující procento nepoěkozené formy plasmidu v suchém vzorku

# 5 Shrnutí

Zjistily jsme, že budeme-li kobaltovým zářičem ozařovat zombie (tekutý vzorek DNA) nebo mumii (suchý vzorek DNA), méně poškozená bude DNA mumie, díky přímému poškození je menší pravděpodobnost, že plasmid bude ozářen. Důvodem je, že zombie byla vystavena radikálům, které vznikly při ozáření vody a následně pak reakce s radikály způsobily naprostou devastaci DNA. Tato reakce se nazývá nepřímé záření.

# Poděkování

Děkujeme Ing. Anně Michaelidesové za obětavou pomoc, podnětné připomínky a trpělivost při vedení naší práce.

# **Reference:**

- [1] MICHAELIDESOVÁ, Anna. DNA a radikály. Ústav jaderné fyziky, 2013.
- [2] PAPOUŠEK, Ivo. *Molekulární biologie v hygieně potravin* [online]. 2014 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: https://fvhe.vfu.cz/informace-o-fakulte/sekce-ustavy/ubchvzz/materialy/prednasky/mbhp\_2014\_02.pdf

# Ekonofyzikální analýza finančních trhů

T. Dufek<sup>1</sup> P. Hoffmann<sup>2</sup> J. Kejla<sup>3</sup> <sup>1</sup>Gymnázium, Turnov, Jana Palacha 804, příspěvková organizace <sup>2, 3</sup>Gymnázium a Střední odborná škola pedagogická, Liberec, Jeronýmova 425/27, příspěvková organizace <sup>1</sup>dufik95@email.cz, <sup>2</sup>hoffic@seznam.cz, <sup>3</sup>redisperko@seznam.cz

#### Abstrakt:

Zaměřujeme se na popis finančních dat za pomoci klasických metod i ekonofyzikálních modelů založených na Hurstově exponentu. Pro tuto analýzu jsme si vybrali akcie společnosti Apple Inc. a zvláštní pozornost věnujeme období internetové bubliny a období světové finanční krize.

# 1 Úvod

Ekonofyzika je mezivědní obor, ve kterém jsou využívány fyzikální metody k řešení ekonomických problémů. Jedním z indikátorů je Hurstův exponent, jenž sleduje lokální škálování dané řady. Popisuje, jak se v čase mění dané pravděpodobnostní rozdělení, neboli míru autokorelace dané časové řady.

# 2 Analýza dat

Porovnáváme výsledky analýzy provedené za pomocí časové řady Hurstova exponentu s analýzou provedenou konvenčními ekonometrickými metodami na minulých datech, konkrétně tedy na časové řadě ceny akcií společnosti Apple Inc. (AAPL). Data byla vybrána především za účelem zpětné analýzy a interpretace dopadu finanční krize na společnost Apple Inc.

Pro naše zkoumání jsme se zaměřili na data z období mezi roky 2000 a 2009, na kterých jsou dobře viditelné dopady prasknutí internetové bubliny (2000) a vyvrcholení hospodářské krize (2008).



Obrázek 1

**Logaritmický výnos** určuje relativní vývoj řady v čase vůči předchozím stavům. Je rozdílem logaritmů cen aktiva ve dvou různých časech. Dobře tak zachycuje míru dopadu vzestupů a propadů daného aktiva bez ohledu na jeho absolutní cenu.

**MACD** (Moving Average Convergence Divergence) indikuje změnu trendu. Zobrazuje rozdíl mezi krátkodobou a dlouhodobou střední hodnotou ceny aktiva.

Volatilita je odchylka maxima a minima za zvolené období, odráží míru kolísání ceny aktiva.



Obrázek 2

Hurstův exponent určuje míru stochasticity (míru nahodilosti), chování daného časového vývoje. Při převážně nahodilém chování se blíží jedné polovině. Nabývá hodnoty od 0 do 1, kde 0.5 znamená jistou magickou hodnotu odpovídající čistě nahodilému chování s rovnoměrným rozdělením pravděpodobností, viz fyzikální ekvivalent této problematiky zvaný *Náhodná procházka*. Pokud Hurstův exponent nabývá hodnot od 0 do 0.5, má časová řada tendenci k antiperzistentnímu (protitrendovému) chování. Pokud nabývá hodnot od 0.5 do 1, chová se časová řada převážně perzistentně (potvrzuje trend).



Období krize se vyznačuje vysokou volatilitou. Změna trendu se podle očekávání projevila na MACD ve všech zkoumaných obdobích. Po uplynutí krize je trend opět kladný a MACD se společně s ostatními indikátory vrací k normálním hodnotám.

Na obrázku č. 3 je znázorněna ekonofyzikální analýza pomocí Hurstových exponentů, je na něm patrná změna Hurstova exponentu během internetové horečky (2000) a světové finanční krize (2008). Tato změna je důsledkem zvýšené komplexity dané časové řady během tohoto období. Toto se schoduje s technickou analýzou na předešlých dvou obrázcích.

# 3 Shrnutí

Provedli jsme analýzu na historických datech cen akcií společnosti Apple Inc. v období mezi lety 2000 a 2009 pomocí konvenčních ekonometrických a ekonofyzikálních metod, které jsme následně porovnali. Dospěli jsme k tomu, že ač jsou data získaná metodou Hurstových exponentů více neurčitá, a tím pádem hůře interpretovatelná, je zde patrná jistá provázanost s analýzou za pomoci konvenčních metod. Ačkoliv by mělo obecně platit, že čím je Hurstův exponent vyšší, tím větší perzistivitu můžeme od časové řady očekávat, setkali jsme se s odlišnými výsledky. To je zapříčiněno tím, že následovala velká změna režimu. Proto může být interpretace těchto dat nejednoznačná.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu doktoru Janu Korbelovi za jeho pro nás nepostradatelnou pomoc a vedení našeho miniprojektu.

# **Reference:**

[1] PETR JIZBA – JAN KORBEL Fyzika finančních trhů Pražská technika 3/2016 pp. 28-29

# Počítačové zobrazování fraktálních množin

František Couf, Jakub Matěna, Jakub Medek, Ondřej Tinka Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Trojanova 13 <u>frantisek@coufovi.cz, matenajakub@gmail.com</u>, <u>medekjak@gmail.com</u>, <u>ondrej.tinka@gmail.com</u>

#### Abstract:

Have you ever wondered what infinity is? How it could look like? Have you ever thought that when you are looking at fern you are looking to infinity? The key for understanding this phenomenon are fractals and we uncovered them and brought them to light.

# 1 Úvod

#### Co je to fraktál?

Fraktál je geometrický objekt, který je soběpodobný. To znamená, že pokud takový objekt pozorujeme v libovolném měřítku a pod jakýmkoli zvětšením, vždy uvidíme nějaký charakteristický útvar. Pojem fraktál definoval matematik Benoit Mandelbrot na přelomu 60. a 70. let minulého století. Samotné slovo vychází z latinského slova fráctus, což znamená rozbitý, rozlámaný. Je známo několik druhů fraktálů. My jsme se zaměřovali na dva druhy. Prvním z nich jsou klasické fraktály, byly známy ještě před Mandelbrotem a snažily se osvětlit hranice matematických pojmů. Dalším druhem by mohly být fraktály v komplexní rovině.

#### Klasické fraktály

Jedny z prvních fraktálů vznikly jako pokus o nalezení hranic matematických pojmů, kdy matematici vymysleli různé matematické objekty vyhovující definicím, ale svými vlastnostmi velmi podivné. Mezi tyto objekty můžeme zařadit například Cantorovu množinu, či Sierpinského trojúhelník a koberec.

Cantorovu množinu lze získat, pokud z intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$  odebereme prostřední části intervalu. Tím získáme dva menší intervaly. Ty dále dělíme stejně jako ten původní. Takto pokračujeme až do nekonečna, až nám zbydou krajní body z každého intervalu. Množina těchto bodů se nazývá Cantorova. Je zajímavá zejména svou nekonečností, spočetností. Zápis jejích prvků v pětkové soustavě je tvořen číslicemi menšími nebo rovnými 2 – vyplývá ze soběpodobnosti. Můžeme si všimnout, že délka intervalů je v jednom kroku stejná. Cantor sám se zabýval mohutnostmi množin.

Sierpinského trojúhelník vzniká z rovnostranného trojúhelníku vyplněného černou barvou. Poté každý černý trojúhelník rozdělíme středními příčkami na 4 shodné trojúhelníky a prostření obarvíme bíle. Takto postupujeme do nekonečna. Pravidlo tvoření daného objektu se neustále opakuje do nekonečna a to je potvrzení toho, že objekt má fraktální vlastnosti. Aplikací Sierpinského trojúhelníku může být oddělení sudých a lichých čísel v Pascalově trojúhelníku; černé trojúhelníky – sudá čísla, bílé trojúhelníky - lichá čísla.

#### Fraktály v komplexní rovině

Tyto fraktály jsou zobrazením složitých množin v komplexních číslech. Mezi nejznámější takové množiny patří množina Mandelbrotova a množiny Juliovy.

Mandelbrotova množina je vytvořena iterací funkce komplexní paraboly popsané rovnicí:

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

Čísla  $z_n$  a *c* leží v komplexní rovině. Vlastně se jedná o nekonečnou posloupnost komplexních čísel  $z_0, z_1, z_2...$  Další člen získáme vždy umocněním předchozího členu na druhou a přičtení konstanty, která je v případě Mandelbrotovy množiny rovna členu  $z_0$ . Abychom rozhodli, jestli daný bod v komplexní rovině leží v Mandelbrotově množině nebo ne, potřebujeme spočítat limitu posloupnosti začínající právě tímto bodem. Pokud je limita rovna nekonečnu, tak bod v množině neleží, v opačném případě ano.

Juliovy množiny jsou téměř stejné. Rozdíl je pouze v tom, že konstanta c není rovna členu  $z_0$ , ale je stejná pro všechny body a libovolně zvolená. Touto modifikací Mandelbrotovy množiny získáme mnoho různých a zajímavých tvarů.

## 2 Počítačové zobrazování

Náplní našeho projektu bylo zobrazování fraktálů pomocí programů, které jsme sami naprogramovali. Naše programy umožňují další manipulaci s výsledkem jako je posun obrazu, zvětšení (až do jisté míry kvůli limitu velikosti datového typu *double*). V našich programech jsou implementovány funkce pro screenshot a dokonce i pro vytvoření animace. Využívali jsme programovací jazyky C, Java a Asymptote, což je jazyk vytvořený speciálně pro vektorovou grafiku.

#### Metodika zobrazování fraktálů v komplexní rovině

Pokud chceme zobrazit fraktál v komplexní rovině na počítači, musíme se spokojit s přibližnými výpočty, protože nejsme schopni spočítat nekonečný počet členů posloupnosti pro nekonečný počet bodů, které leží v rovině. Vše se bude odvíjet od rozlišení obrázku, který budeme chtít vytvořit. Následně si vybereme část komplexní roviny, kterou budeme zobrazovat a jednotlivé pixely našeho obrázku přepočítáme na body v této rovině. Pro tyto body můžeme spočítat konečný počet členů a rozhodnout, jestli bod leží v té konkrétní množině, kterou chceme zobrazit, či nikoliv.

#### Mandelbrotova množina

Pokud absolutní hodnota jednoho členu posloupnosti  $z_{n+1}=z_n^2+c$  bude větší než 2, tak lze dokázat, že je posloupnost rostoucí, a proto se její limita rovná nekonečnu. Pokud žádný ze spočítaných členů posloupnosti pro nějaký bod tuto hodnotu nepřesáhne, tak nemůžeme rozhodnout, zda leží v Mandelbrotově množině. U takových bodů budeme předpokládat, že opravdu leží v Mandelbrotově množině. Takové body obarvíme černě a zbylé body jinou barvou, přičemž o barvě rozhoduje to, kolik jsme museli spočítat členů posloupnosti, než hodnota posledního členu byla větší než 2. Obarvení je esteticky důležité, avšak pro něj neexistují konkrétnější pravidla.

Další důležitou součástí programu je možnost vybrat si konkrétní část komplexní plochy, kterou zobrazíme. Nejjednodušší je ovládání přes klávesnici. Šipkami se posouváme v komplexní rovině a pomocí + a - zvětšujeme nebo zmenšujeme plochu zobrazované části roviny.

## Metodika zobrazování klasických fraktálů

Postupnou rekurzí funkce tvořící spirálu (rekurze probíhá do nekonečna) získáme fraktální objekt (obrázek 7). Každá spirála znázorňuje trajektorii objektu A, jež obíhá kolem hmotnějšího objektu (středu spirály). Odstředivá síla působící na těleso A je menší než gravitační, která ho přitahuje směrem do středu a proto se pohybuje po spirální dráze. Přibližuje se ke středu, až jím bude pohlceno. Soustava spirál představuje galaxii, kde dochází k postupnému pohlcování objektů méně hmotných objekty více hmotnými. Miniaturních objektů trvale přibývá, a tudíž nedojde k ukončení procesu, tedy spirální galaxie je fraktální množinou.

## Výsledky

Výsledkem naší práce jsou programy, které jsou schopné vygenerovat obrazy fraktálů, uvádíme některé z nich.



Obrázek 1: Mandelbrotova množina



Obrázek 2: Juliova množina



Obrázek 3:Výřez Juliovy množiny



Obrázek 4: Výřez Juliovy množiny



Obrázek 7: Klasický fraktál - spirála

# 3 Závěr

Dozvěděli jsme se, co všechno si můžeme pod pojmem fraktál představit. Pochopili jsme teoretický základ a dokázali jsme graficky zobrazit fraktály různých druhů pomocí progromovacích jazyků C, Java a Asymptote. Výsledkem naší práce je program, který umožňuje prohlížení fraktálních množin a několik videí.

### Poděkování

Děkujeme našemu supervisorovi Petru Paušovi za seznámení s problematikou ohledně fraktálních množin a za pomoc při zpracování našich výsledků. Dále bychom rádi poděkovali všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

#### Reference

[1] Pauš P.: Počítačové generování fraktálních množin, 2004

- [2] Jeřábek O., Krumlová I., Martinek M., Scheubrein M.: Dimenze iteračních fraktálů, 2014
- [3] Chaos and Fractals, Springer-Verlag, Berlin, 1993

[4] Fractal, http://mathworld.wolfram.com/Fractal.html

# Opilcova procházka a Galtonova deska

Jiří Jičínský, Gymnázium Třebíč, Masarykovo nám. 9/116, Třebíč, jirijicinsky@seznam.cz Michal Jelínek, Gymnázium Elišky Krásnohorské, Ohradní 55, Praha 4, miki.29@seznam.cz Tomáš Sláma, Gymnázium Turnov, Jana Palacha 804, Turnov, tomas.slama.131@gmail.com

#### Abstrakt

Studovali jsme experimentální realizaci náhodné procházky pomocí Galtonovy desky. Jako praktickou část jsme zjišťovali, jestli naše Galtonova deska odpovídá teorii a řídí se binomickým rozdělením. Experiment jsme realizovali házením kuliček do Galtonovy desky a následným ověřením správnosti naší hypotézy. Hypotézu o binomickém rozdělení jsme na základě naměřených hodnot zamítli.

## 1 Úvod

Náhodnou procházku si lze představit jako určité zjednodušení jevů běžně pozorovatelných například v chemii a ve fyzice. Jedná se o proces, při kterém se objekt v každém kroku vydá doleva nebo doprava s určitou pravděpodobností. Pro jednoduchost uvažujeme, že kroky jsou stejně velké a objekt se pohybuje po přímce. Pravděpodobnost nalezení objektu v určité vzdálenosti od počátku vede na takzvané binomické rozdělení. Jednoduché experimentální znázornění binomického rozdělení u této procházky představuje Galtonova deska. Tato deska ale popisuje pouze proces, kdy se objekt posouvá doprava nebo doleva se stejnou pravděpodobností.

Galtonova deska na katedře fyziky na první pohled splňovala binomické rozdělení pro menší data, nikdo však neověřoval hypotézu o binomickém rozdělení z pohledu statistiky.

## 2 Galtonova deska

Studovaná Galtonova deska se skládá ze dvou rovnoběžných plexiskel, mezi kterými se nacházi kolíčky. Každý kolíček simuluje proces rozhodování, zda jít doprava nebo doleva. Kolíčky jsou strukturované do tvaru rovnoramenného trojúhelníku. Počet hrotů v trojúhelníku se v každé následující úrovni zvýší o jeden. Počet úrovní v trojúhelníku odpovídá počtu kroků náhodné procházky. Naše galtonova deska má 12 úrovní a odpodá proto procháce o 12-ti krocích, jak je vidět na obrázku Obr. 1.

## 3 Binomické rozdělení pro Galtonovu desku

Obecně je binomické rozdělení definováno vztahem

$$P(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{(n-k)},$$
(1)



Obrázek 1: Studovaná Galtonova deska odpovídá dvanácti krokům. Spodní přihrádky odpovídají vzdálenosti od počátku po dvanácti krocích. Tyto vzdálenosti jsou -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12.

kde  $\binom{n}{k}$  je takzvané kombinační číslo a vypočte se jako

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$$

a p je pravděpodobnost realizace například kroku doprava.

Dá se ukázat, že binomické rozdělení pro Galtonovu desku je dáno vztahem

$$P(d) = \begin{pmatrix} N\\ \frac{N+d}{2} \end{pmatrix} \frac{1}{2^N},$$
(2)

kde N je celkový počet kroků, d je vzdálenost od počátku a pravděpodobnost p ze vztahu (1) je 1/2. Toto rozdělení tedy dává pravděpodobnost nalezení chodce ve vzdálenosti d od počátku. Pro naši desku je N = 12.

# 4 $\chi^2$ test dobré shody

Jedná se o statistický test, kterým ověříme, zda se naše Galtonova deska řídí binomickým rozdělením. Je založen na porovnání naměřených a teoreticky předpovězených dat. Ověřujeme platnost nulové hypotézy  $H_0$  oproti alternativní hypotéze  $H_a$ , k tomu se vypočte hodnota

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{m} \frac{(merena_i - predpovezena_i)^2}{predpovezena_i}$$
(3)

a porovná se se s kritickou hodnotou pro dané parametry, které specifikujeme později. Pokud hodnota získaná pomocí vztahu (3) je větší než kritická hodnota, pak hypotézu  $H_0$  zamítáme.

## 5 Naměřená data a testování shody

Opakovaně jsme do Galtonovy desky házeli kuličky a zapisovali počet kuliček v každé přihrádce. Počet opakování jsme volili tak, abychom splnili požadavky testu dobré shody, kdy v 80% přihrádek musí být teoretická četnost kuliček větší než 5. Testujeme hypotézu  $H_0$  oproti alternativní  $H_a$ .

 $H_0$ : Galtonova deska se řídí binomickým rozdělením s pravděpodobností p=1/2.  $H_1$ : Galtonova deska se takovým rozdělením neřídí.

V následují tabulce a grafu Obr. 5 jsou uvedeny vypočtené a naměřené hodnoty včetně sčítanců pro  $\chi^2$  test z rovnice (3).

pozice	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	suma
měřená	5	20	51	140	212	383	363	235	265	134	81	19	6	1914
předpovězená	0,5	5,6	30,8	102,8	231,3	370,1	432,1	370,1	231,3	102,8	30,8	5,6	$^{0,5}$	1914
$\chi^2$	44,0	36,9	13,2	$13,\!5$	$1,\!6$	$_{0,5}$	11,0	49,3	4,9	$_{9,5}$	$81,\!6$	32,0	$65,\!5$	363,3

Z tabulky vidíme, že hodnota $\chi^2$ funkce je

$$\chi^2 = 363, 3.$$

Tuto hodnotu porovnáme s kritickou hodnotou ze statistických tabulek, které jsou běžně dostupné na internetu. V tabulkách zvolíme standartní hladinu významnosti 0,05 a počet stupňů volnosti je 12. Počet stupňů volnosti je roven počtu přihrádek v Galtonově desce minus 1. Za těchto předpokladů je kritická hodnota

$$\chi^2_{crit} = 21,026.$$

Jelikož je $\chi^2_{crit}>\chi^2$ tak nulovou hypotézu o binomickém rozdělení s pravděpodobností 1/2 zamítáme.

## 6 Shrnutí

Provedli jsme experiment s házením kuliček do naší Galtonovy desky. Následně jsme pomocí statistického testu ověřili, zda se o desce dá říci, že popisuje náhodnou procházku s binomickým rozdělením. Pro ověření jsme použili test dobré shody, jehož hodnota vyšla mnohem větší, než je kritická hodnota pro nezamítnutí nulové hypotézy. Experiment tedy ukázal, že naše Galtonova deska v žádném případě nesplňuje binomické rozdělení s pravděpodobností p = 1/2. Tento výsledek může být způsoben nepřesnostmi při výrobě



Obrázek 2: Porovnání naměřených a teoreticky předpovězených hodnot pro Galtonovu desku po 1914 pokusech.

desky, přílišnou startovní rychlostí kuliček nebo malým počtem opakování. Vzhledem k tomu, že hodnota  $\chi^2$  v rovnici (3) s rostoucím počtem pokusů rostla, přikláníme se spíše k názoru, že větší počet pokusů by binomické rozdělení nepotvrdil a chyba bude na straně konstrukce desky.

## Poděkování

Děkujeme za skvělé konzultace Ivě Bezděkové.

# Jak poznat dávku z barvy gelu?

## Veronika Šandová<sup>1</sup>, Ondřej Lomický<sup>2</sup>, Barbora Mouleová<sup>3</sup>, Jiří Otoupal<sup>4</sup>

## <sup>1</sup>Gymnázium Brno, Slovanské náměstí, příspěvková organizace <sup>2,3</sup>Gymnázium a Střední odborná škola, Plasy <sup>4</sup>SSSE Trnkova, Brno

<sup>1</sup> sandova.veronika@gmail.com, <sup>2</sup>Ondrej.Lomicky@seznam.cz, <sup>3</sup>bara563@seznam.cz, <sup>4</sup> jiri-otoupal@ips-database.eu

#### Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo určit dávku ionizujícího záření pozorováním změny zbarvení Frickeho gelového dozimetru, který jsme vyrobili. Pomocí spektrofotometru jsme vyhodnotili vlnové délky a absorbance vzorků, jež byly ozářeny v různých časových intervalech. Dále jsme zjišťovali dobu ozáření u neznámého vzorku.

# 1 Úvod

Gelové dozimetry lze zařadit do skupiny integrálních chemických dozimetrů. Tento typ dozimetrů dokáže efektivně zobrazit rozložení dávky v prostoru. Gelové dozimetry se rozdělují do dvou skupin – polymerní a radiochromní.

Polymerní gelový dozimetr obsahuje látky, jež jsou ovlivňovány ozářením, kvůli kterému dochází k různé polymeraci.

Radiochromní dozimetry v závislosti na obdržené dávce mění svoje zbarvení. Mezi tyto látky patří i Frickeho gelový dozimetr (FGD) s xylenolovou oranží (FeXO), který jsme využili v tomto miniprojektu. FeXO se skládá z roztoku síranu železnatého, který v závislosti na ozáření mění svůj oxidační stav.

## 2 Experiment

#### 2.1 Příprava

Frickeho gelový dozimetr jsme vytvořili z 0,1 mM xylenolové oranže, 0,5 mM Mohrovy soli, 25 mM kyseliny sírové a 5% roztoku želatiny. Vzniklý roztok jsme rozlili do 8 kyvet a nechali ztuhnout v lednici.

#### 2.2 Postup

Kyvety jsme vložili do kobaltového ozařovače Gammacell 220 o dávkovém příkonu 40,63 Gy/hod k 20. 6. 2016. Přesnou hodnotu jsme vzhledem ke starším uvedeným hodnotám získali vztahem:

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t}$$

Postupně jsme po určitém časovém intervalu odejímali vzorky tak, aby vzorky byly ozářeny po 4 Gy v rozmezí 4 – 24 Gy. Jeden vzorek nebyl zahrnut v pravidelném časovém intervalu. Přesné zbarvení a absorbanci jsme určili pomocí spektrometru Helios Beta.

#### 2.3 Výsledky



Změna barvy vzorku na základě dávky ozáření



Absorbance na základě dávky, přičemž by se mělo jednat o přímoúměrnou funkci, což platí jen v jejím počátku do hodnot kolem 16 Gy. Jeden vzorek byl ozářen v čase 26 minut 31 sekund. Podle měření byl ozářen hodnotou 17,96 Gy.



Absorbance přizpůsobena přímoúměrně

# 3 Shrnutí

Vzorky se se zbarvily od světlé oranžové po tmavě modrou, přičemž neozářený vzorek byl žlutý a nejvíce ozářený vzorek tmavě modrý. Očekávali jsme větší barevný rozdíl v rozmezí vzorků 5 – 8 (dávky 16 – 24 Gy). K nepřesnostem u posledních vzorků došlo zřejmě kvůli proběhlým oxidacím v Mohrově soli, jež byla připravena několik dní předem.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat naší supervizorce Mgr. Haně Bártové za trpělivou spolupráci a vstřícný přístup při vypracovávání našeho experimentu. Dále i organizačnímu týmu, který pro nás připravil Týden vědy na FJFI 2016.

## Reference

SPĚVÁČEK, Václav. Chemie gelových dozimetrů. Praha, 2012.

# Hledání Higgsova bosonu na urychlovači LHC

H. Lindauer<sup>1</sup>, D. Rod<sup>2</sup>, R. Vašut<sup>3</sup> <sup>1</sup>PČGKV, Karlovy Vary, lindauer56@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Litoměřická, Praha 9, daniel.rod@seznam.cz <sup>3</sup>Masarykovo gymnázium, Příbor, roman.vasut@gypri.cz

#### Abstrakt:

V naší práci jsme se zaměřili na popis Higgsova bosonu a jeho hledání v datech z detektoru ATLAS, který je součástí velkého hadronového urychlovače LHC. V analyzačním programu jsme nalezli několik kandidátů na Higgsův boson a Z boson.

# 1 Úvod

Higgsův boson doplňuje teorii standardního modelu částic, jenž popisuje tři interakce a chování elementárních částic. Ty rozdělujeme do dvou hlavních kategorií podle spinového čísla, a to na fermiony (poločíselný spin) a bosony (celočíselný spin). Fermiony se dále dělí na leptony (elektrony, miony, tau a jejich neutrina) a kvarky (šest typů ve třech generacích). Bosony fungují jako zprostředkovatelé sil.



Obrázek 1. Přehled základních částic standardního modelu. [1]

## Bosony

Standardní model popisuje tři základní interakce, které jsou zprostředkovány příslušnými bosony. Silné interakci přísluší gluon, u elektromagnetické síly se jedná o foton, a slabou sílu zajišťují bosony W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> a Z<sup>0</sup>. Při snaze o sjednocení elektromagnetické a slabé síly nastala potřeba mechanismu, který zprostředkovává bosonům W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> a Z<sup>0</sup> hmotnost v rámci zachování symetrie. Tento mechanismus je zapříčiněný Higgsovým polem, jehož mediátorem je právě Higgsův boson.<sup>[2]</sup> Teoreticky byl mechanismus předpovězen v roce 1964. Experimentální potvrzení existence Higgsova pole bylo provedeno až v roce 2012, prostřednictvím detekce Higgsova bosonu.

Cílem našeho bádání bylo nalézt možné kandidáty na Higgsův boson v datech z detektoru ATLAS.

# 2 Data a metody analýzy

Události jsou zaznamenány detektorem ATLAS pomocí:

- 1. Dráhových detektorů, které zaznamenávají dráhu elektricky nabitých částic vycházejících z interakčního bodu.
- 2. Elektromagnetického kalorimetru, v němž se pohltí velké množství energie elektricky nabitých částic.
- 3. Hadronového kalorimetru, zaznamenávající hadrony.
- 4. Mionových komor, složených z trubic naplněných plynem, který se při průletu mionů ionizuje. Dle náboje a množství ionizovaného plynu se určuje náboj a energie mionu. Jde o jediný způsob jak zaznamenat miony, jelikož neinteragují v kalorimetrech.
- Toroidálních magnetů, které zakřivují dráhy nabitých částic pro následný výpočet jejich náboje, hybnosti a energie.<sup>[2]</sup>



Obrázek 2. Stavba detektoru ATLAS.



Obrázek 3. Znázornění detekce různých částic v jednotlivých vrstvách detektoru.

Při určování kandidáta na Higgsův boson v programu HYPATIA jsme se řídili rozpadovými Feynmanovými diagramy. Tento program slouží k demonstraci a analýze dat, poskytl nám několik náhledů na trajektorie částic a velké množství údajů, díky kterým jsme mohli určovat původní částice včetně jejich invariantních hmotností a energií. Součet invariantních hmotností částic vzniklých rozpadem potencionálního Higgsova bosonu (v našem případě 4 leptony nebo 2 fotony) musí být přibližně 125 GeV, což je jeho klidová hmotnost.



Obrázek 4. Feynmanovy diagramy znázorňující rozpad Higgsova bosonu.

# 3 Výsledky

Po rozboru dat v programu HYPATIA jsme nalezli velké množství částic, jejichž součet invariantních hmotností odpovídal Higgsově a Z bosonu. Rozložení invariantní hmoty můžeme vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5. Graf závislosti počtu částic na invariantní hmotnosti v našem datasetu.

# 4 Shrnutí

Z grafu je možné vidět velké množství rozpadlých částic o hmotnosti okolo 91 GeV – možných Z bosonů a menši množství částic o hmotnosti 125 GeV – Higgsův boson. Zároveň se zde však vyskytuje i mnoho případů s jinými invariantními hmotnostmi, což mohou být vedlejší produkty srážky, které jsou pro nás nepodstatné, jelikož by ve větším počtu měření byly statisticky eliminovány, nebo se může jednat o naši chybu při hledání Higgsova a Z bosonu. Dokázali jsme tedy existenci Higgsova bosonu v poskytnutých datech z detektoru ATLAS.

# Poděkování

Naše díky patří supervizorce Dáši Bendové za skvělý náhled do částicové fyziky a celému organizačnímu týmu Týdne vědy na FJFI za možnost zde být.

# **Reference:**

<u>http://www.daviddarling.info/images/Standard\_Model.gif</u> (21. 6. 2016)
 JENDE, K. A KOLEKTIV: *International Masterclasses – Hands on Particle Physics, Varianta Z*, <u>http://atlas.physicsmasterclasses.org/cz/zpath.htm</u> (21. 6. 2016)

## Statistická analýza hudebních signálů

O. Havelka\* M. Machalová\*\* Š. Jelínek\*\*\*

Gymnázium Trutnov, Jiráskovo náměstí 325\* Wichterlovo gymnázium Ostrava, Čs. exilu 669\*\* Gymnázium Chomutov, Mostecká 3000\*\*\*

ondra10ax@centrum.cz\* marketa.machalova314@gmail.com\*\* simon123456@seznam.cz\*\*\*

#### Abstrakt:

Cílem našeho projektu bylo zanalyzovat hudební nahrávky různých hudebních stylů (rock, elektro house, jazz, eurodance, house, progressive, vážná hudba) o délce 10 až 20 vteřin se vzorkovací frekvencí 44 100 Hz. Poté pomocí metody průchodů nulou jsme určili náhodnost či pravidelnost daných hudebních nahrávek a dále ji statisticky kvantifikovali pomocí programu MATLAB.

# 1 Úvod

Samotné téma analyzování predikovatelnosti a závislosti hudebních signálů není ještě moc prozkoumáno. My jsme použili klasických statistických charakteristik, jako je průměr, směrodatná odchylka a autokorelační koeficient. Zvukový signál jsme modelovali pomocí Gaussova zlomkového šumu. Statistické výpočty jsme provedli v samotném programu MATLAB.

#### 2 Teorie

K úspěšnému rozboru byly skladby (časová řada, diskrétní signál) rozděleny na segmenty. Samotná vzorkovací frekvence (počet členů časové řady za 1s) byla 44 100 Hz (parametry nekomprimovaného \*.wav souboru), čímž splňuje podmínky Nyquistovi frekvence, při níž může dojít k přesné rekonstrukci spojitého, frekvenčně omezeného signálu z jeho vzorků. Tato vzorkovací frekvence musí převyšovat dvojnásobek maximální frekvence signálu a lidské ucho reaguje na nejvyšší frekvenci 20 kHz.

Hudební signály, ačkoliv se zapisují jako časové řady, mají fraktální dimenzi a to konkrétně hodnotu 2. Jedná se však o Hausdorffovu dimenzi (tzv. zobecněnou), nikoliv o topologickou.

Při zjišťování předvídatelnosti ukázek jsme využili různých statistických charakteristik, například směrodatné odchylky, která určuje vzájemnou odlišnost dat ve
vzorku, a autokorelačního koeficientu k-tého řádu, který určuje závislost dat od sebe vzdálených o k bodů.

Výše zmíněných údajů jsme využili při definování Gaussova zlomkového šumu a při nalezení spojitosti mezi zvukovým signálem a tímto šumem. Zlomkový Gaussův šum je spojitý náhodný proces s nulovou střední hodnotou, s jednotkovým rozptylem (což je kvadrát směrodatné odchylky) a s korelační funkcí

$$\rho_k = \frac{1}{2} (|k+1|^{2H} - 2|k|^{2H} + |k-1|^{2H}); H \in (0; 1).$$
(1)

Jeho Hausdorffova dimenze je 2, stejně jako u zvukového signálu, a proto považujeme zvukový signál za Gaussův zlomkový šum. Hurstův exponent (dále H) určuje předvídatelnost Gaussova šumu. Pokud se blíží 1, šum je silně předvídatelný, pokud 0,5, je chaotický a nepředvídatelný. Pokud se blíží k 0, je nechaotický, ale nepředvídatelný.

Pravděpodobnost p odhadneme podle vzorce

$$p = \frac{r}{n},\tag{2}$$

kde *r* znázorňuje počet průchodů nulou, *n* je rovno počtu vzorků, a využijeme ji pro odhadnutí Hurstova koeficientu

$$H \approx 1 + \log_2\left(\cos\frac{\pi \cdot p}{2}\right). \tag{3}$$

#### **3 Metody**

Využili jsme prostředí MATLAB, ve kterém jsme ukázky rozdělili na přibližně 250 ms dlouhé intervaly, u kterých jsme určili H a následně vykreslili jeho průběh v čase. Z výsledných Hurstových exponentů jsme spočítali průměr, směrodatnou odchylku, rozsah funkčních hodnot a rozdíl 80% kvantilu a 20% kvantilu. Tento postup byl využit pro všechny ukázky. Následně jsme skladby stejného žánru označili stejným symbolem a vynesli do grafu, kde osa x znázorňovala průměr H a osa y znázorňovala směrodatnou odchylku, rozsah funkčních hodnot nebo rozdíl 80% kvantilu a 20% kvantilu.

Snažili jsme se najít charakteristiku, s pomocí které by jednotlivé žánry byly odděleny ideálně tak, abychom po rozboru ukázky dokázali zjistit její žánr. Nejlépe se osvědčilo použít průměr a rozsah *H*.

### 4 Výsledky

Na obr. 1 vidíme rozdělení jednotlivé ukázky zařazené do hudebních stylů podle rozsahu funkčních hodnot R a průměru H. Předvídatelnost je nejnižší v levém horním rohu a nejvyšší v pravém dolním. Na obr. 2 jsou oblasti typické pro každý hudební žánr, které byly vypočteny na základě znalosti průměru a směrodatné odchylky rozsahu funkčních hodnot.  $H^*$  je rovno průměru Hurstových exponentů pro daný žánr a  $R^*$  průměru rozsahů funkčních hodnot.

Podle našeho měření je vážná hudba nejpředvídatelnější, následuje jazz a progressive. Analýza jednotlivých ukázek těchto tří stylů a rocku se liší málo. Analýzy eurodance, electrohouse a house jsou rozdílné a tyto tři styly jsou si podobné (obr. 2).









# 5 Závěr

Výsledky u vážné hudby a jazzu ukazují, že tato metoda má jistou vypovídací hodnotu v rozdělování žánrů hudby. S větším množstvím času, ukázek, zapálení a hudebních znalců by bylo možné zpřesnit výsledky a zaměřit se např. na závislost předvídatelnosti na použitých hudebních nástrojích. Metoda určování průchodů nulou se osvědčila.

# 6 Poděkování

Rádi bychom v prvé řadě poděkovali organizátorům Týdne vědy na Jaderce a vedení Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za uspořádání této jedinečné akce.

Velké poděkování dále patří hlavnímu organizátorovi, Vojtěchu Svobodovi a zbytku organizačního týmu - Ondřeji Groverovi, Kateřině Jirákové, Zbyňku Nguyenovi. Tento miniprojekt by však nebylo možné uskutečnit bez našeho supervizora Martina Dlaska, který nás zahrnoval hromadou úžasných nápadů.

# 7 Reference

- DLASK, Martin, KUKAL, Jaromir, TRAN Quang Van. Revisited Zero-Crossing Method for Hurst Exponent Estimation in Time Series. In: *Mathematical Methods in Economics Conference Proceedings 2015*. Cheb: University of West Bohemia, 2015, s. 115-120. ISBN 978-80-261-0539-8.
- [2] JOHN W. LEIS. Digital signal processing using matlab for students and researchers. Hoboken, N. J.: Wiley, 2013. ISBN 978-11-180-3380-7.

# Interference a ohyb světla

J. Dlouhý - Gymnázium Třebíč kuba.dlou@gmail.com M. Svoboda - Gymnázium Třebíč svoboda675@seznam.cz V. Domín – Gymnázium Elišky Krásnohorské vojta.domin@centrum.cz

#### Abstrakt:

Snaha o zjištění vlastností světla využitím schopností světla interferovat a ohýbat se. Za použití difrakční mřížky a Michelsonova experimentu jsme změřili vlnovou délku světla. Výsledky měření byly vzájemně velmi podobné a zároveň byly velmi blízko výrobcem uváděné vlnové délce.

# 1. Úvod

Světlo může být charakterizováno jakožto elektromagnetické vlnění nebo proud fotonů, ovšem v rámci našeho miniprojektu jsme světlo brali pouze jako vlnění, pro lidské oko viditelné pod podmínkou vlnové délky 400-800 nm. V důsledku čehož jsme byli schopni zkoumat dvě z jeho základních vlastností – difrakci a interferenci.

Přičemž naše primární zaměření bylo na Michelsonův interferometr, který nedávno na projektu LIGO [2] potvrdil Einsteinovu teorii o gravitačních vlnách.

# 2. Při našem bádání použité přístroje/nástroje

Mezi námi využité vybavení při experimentech patří Keplerův dalekohled, laser, zrcadla, přičemž jedno bylo s mikrometrickým šroubem, štěrbinu s nastavitelnou šířkou štěrbiny, difrakční mřížka, rozptylka, metr, zeď, papírek s návodem na roztřídění do skupin v průběhu Břehyard (jako pevný bod při počítání interferenčních proužků), ochranné brýle, pravítko.

### 3. Teorie

#### 3.1. Difrakce

**Difrakce** je jedna z hlavních vlastností světla, jedná se o jev, který se projevuje ohybem světelných paprsků a je podmíněn přítomností překážky (štěrbina, difrakční mřížka,

kterákoliv ostrá hrana). Difrakční mřížka je destička (obvykle skleněná) do níž jsou vyryty rovnoběžné vrypy pomocí diamantového nástroje.

#### **3.2. Interference**

**Interference,** vlastnost blízce související s difrakcí. Jedná se o vzájemné skládání elektromagnetických vln a následně se u monochromatického světla projevuje vznikem interferenčních maxim (světlé pruhy) a minim (tmavé pruhy). U bílého světla se projevuje vznikem barevných skvrn (např. na mýdlové bublině nebo křídlech hmyzu).

### 4. Vlastní experiment

#### 4.1. Difrakční mřížka

Při měření vlnové délky světla jsme jako první využili metody založené na principu ohybu světla. Pomocí mřížky, do níž byly diamantovým nástrojem vyryty vrypy, ohýbající světlo, které následnou interferencí vytvoří minima a maxima a zjištěním vzdáleností mezi již zmíněnými maximy jsme schopni orientačně určit vlnovou délku využitého zdroje světla.

$$\lambda = \frac{d \times sin\vartheta}{m}$$

Vzdálenost	1. maximum	2. maximum	Vlnová délka	Vlnová délka	
od stinitka [cm]	[cm]	[cm]	1. maxima	2. maxima	
11,10	4,85	13,75	662,43	646,24	
11,20	4,80	13,75	656,66	646,24	
11,30	4,75	13,80	650,87	647,18	
11,20	4,80	13,77	656,66	646,56	

Z měření jsme vypočítali vlnovou délku našeho monochromatického zdroje světla. Uvedena je průměrná hodnota s odchylkou.

$$\lambda = (651, 60 \pm 2, 13) nm$$

### 4.2. Michelsonův interferometr

Naše nejfrekventovaněji používaná pomůcka při měření, jejíž hlavním účelem je zjištění vlastností světla, v našem případě vlnová délka zdroje světla (laseru). Jedná s o aparaturu složenou ze tří zrcadel, z nichž jedno je polopropustné (A), druhé mikrometrické ( $Z_2$ ), pomocí kterého měníme vzájemnou vzdálenost zrcadel ( $\Delta x$ ), a podle počtu interferenčních proužků (N) se dá určit vlnová délka ( $\lambda$ ), a třetí je naprosto obyčejné.

$$\lambda = \frac{2\Delta x}{N}$$

Z laseru (L) vychází světlo, které následně částečně prochází a částečně se odráží od polopropustného zrcadla (A). Následně se zpět odražené paprsky ze zrcadel  $Z_1$  a  $Z_2$  opět spojí do jednoho svazku, což vytvoří interferenční obrazec, který je po průchodu přes rozptylku (R) zvětšen a snadno pozorovatelný.



Obr.1 Michelsonův interferometr



Obr. 2 Naše sestavení Michelsonova interferometru

Při tomto pokusu jsme určili průměrnou vlnovou délku na:

 $\lambda = (640,00 \pm 1,80) nm$ 

### 5. Závěr

Pomocí různých metod jsme vypočítali vlnovou délku našeho monochromatického zdroje světla. Podle výrobce má zdroj vlnovou délku 633 nm, tudíž jsme se této hodnotě poměrně přiblížili. Nepřesnosti mohly vzniknout z různých důvodů. Tím hlavním je citlivost zařízení, které reaguje na sebemenší otřesy (průjezd tramvaje etc.) a tudíž je měření nepřesnější a složitější.

## 6. Poděkování

Velice rádi bychom poděkovali našemu supervizorovi Ing. Petru Gallusovi za pomoc při hledání naší správné cesty v temnotě a velmi častých návratech na cestu osvícení. Bez něj by výsledky naší práce byly v centimilimetrech, anebo by světlo mělo frekvenci o tři až osm řádů jinou. Po celou dobu byl silnou morální oporou a překvapivě zvládl naše výkyvy ve zdraví.

# 7. Reference:

[1] Fyzikální praktikum KF FJFI ČVUT v Praze: Návod - Interference a ohyb světla 2015 [cit. 2016-20-6].
Dostupné na: http://praktikum.fjfi.cvut.cz
[2] https://www.ligo.caltech.edu/

### Kelvinův kapkový generátor

Kryštof Kadlec<sup>1</sup>, Lukáš Kuneš<sup>2</sup>, Lukáš Němeček<sup>3</sup> <sup>1</sup>Gymnázium Františka Palackého, Valašské Meziříčí, krystoof.2@seznam.cz <sup>2</sup>Gymnázium, Zlatá stezka 137, Prachatice, kunamars@seznam.cz <sup>3</sup>Gymnázium, Palackého 191/1, Mladá Boleslav, lukas.nemecek536@gmail.com

21. června 2016

#### Abstrakt

Kelvinův kapkový generátor je zařízení, které vytváří potenciálový rozdíl mezi dvěma elektrodami za pomoci elektrostatické indukce a kapající vody. Zařízení jsme sestavili a využili k nabíjení kondenzátoru. Za účelem optimalizace nabíjení vznikla idea pomocného jiskřiště, jehož účinnost jsme ověřili séríí měření.

### 1 Úvod

Existuje mnoho způsobů jak generovat elektrické napětí. Jedním z nich je Kelvinův kapkový generátor, jejž vynalezl roku 1867 skotský vědec William Thomson (lord Kelvin). Jedná se o typ elektrostatického generátoru, který využívá padajících vodních kapek v kombinaci s elektrostatickou indukcí ke generování elektrického napětí. Jeho výhodou je snadná výroba a snadno pochopitelný princip fungování. Lze jej využít například k nabíjení kondenzátoru na napětí v řádu kV. Kelvinův generátor byl v minulosti mnohokrát zkoumán a zlepšován, ale nakonec díky své malé účinnosti nalezl uplatnění pouze jako školní demonstrační pomůcka.

Naším cílem bylo sestavit Kelvinův generátor z běžně dostupných materiálů a následně jej využít k nabíjení kondenzátoru. Vyzkoušeli jsme několik variant sestavení s cílem nalézt tu, která by umožnila co nejlepší opakovatelnost měření. Dále jsme hledali cesty, jak nabíjení kondenzátoru co nejvíce zefektivnit. Za tímto účelem jsme formulovali myšlenku pomocného jiskřiště. Nabíjení jsme realizovali s jiskřištěm i bez něj a experimentálně ověřili, že pomocné jiskřiště efektivitu nabíjení zvyšuje.



Obrázek 1: Schéma Kelvinova kapkového generátoru

#### 2 Kelvinův generátor

#### 2.1 Popis generátoru

Schéma generátoru je na obrázku 1. Horní část generátoru je tvořena zásobníkem vody, který je na počátku naplněn. Z něj je voda vedena do dvou úzkých trubic, na jejichž konci se tvoří kapky. Ty následně propadávají skrz dvě elektricky vodivé obruče a dopadají do dvou nádob. Voda v jedné nádobě je vodičem spojena s obručí nad druhou nádobou a naopak. Z každé nádoby je dále veden vodič, kterým je možné náboj odvádět ven.

#### 2.2 Princip fungování

Generátor funguje na principu pozitivní zpětné vazby, která opakovaně zesiluje jakýkoli rozdíl potenciálů (napětí) mezi dolními nádobami. Vlivy okolí zabezpečují, že toto napětí je na počátku nenulové, jakkoli je malé. Předpokládejme, že levá nádoba má lehce záporný potenciál. Tento potenciál se vodičem přenáší i na obruč nad protější (pravou) nádobou. Vlivem elektrostatické indukce se pak trubice nad touto obručí nabije naopak kladně (opačné náboje se přitahují). Kapky z ní odkapávající pak tento kladný náboj přenášejí do pravé nádoby. Analogický proces funguje i z hlediska protější nádoby, takže do první nádoby dopadají kapky nabité záporně, což dále přispívá k dosavadnímu zápornému náboji.





Obrázek 2: Sestavený Kelvinův generátor

#### 3 Realizace

Sestavený generátor je zobrazen na obrázku 2. Generátor byl zhotoven z běžně dostupných materálů. Jako nádoby jsme použili krabici od zmrzliny a kelímky o objemu 0.5 l. Vodivá spojení byla realizována za pomoci mokrých provázků provlečených brčky. Vodivé obruče byly zhotoveny z ustřižených kelímků a mokrého papíru.

Funkčnost generátoru potvrdilo to, že pohyb kapek byl již po krátké době běhu dramaticky ovlivněn vzniklým elektrickým polem. V dalším kroku jsme generátor použili k nabíjení kondenzátoru. Nabití kondenzátoru mělo být potvrzeno přeskočením jiskry mezi jeho vývody nastavenými na vzdálenost 0.5 mm. Ukázalo se, že proces nabíjení je však velice pomalý a jiskra přeskočí až po cca jedné minutě běhu generátoru. Tento fakt jsme vysvětlili tím, že kondenzátor odvádí ze systému náboj, čímž snižuje napětí na obručích. Náboj naindukovaný na kapkách je pak menší a efektivita procesu je též menší.

Ve snaze efektivitu zvýšit jsme zavedli pomocné jiskřiště – jeden nabíjecí vodič jsme od vývodu kondenzátoru oddělili vzduchovou mezerou řádově v mm – viz. druhá fotografie na obrázku 2. Předpoklad byl, že ztížením přenosu náboje na kondenzátor zůstane v průměru na obručích vyšší napětí, což by mělo zvýšit efektivitu generátoru, tj. generovaný proud. Vyšší generovaný proud pak bude kondenzátor nabíjet rychleji. Výsledky měření ukázaly, že tento předpoklad byl správný.

#### 4 Výsledky měření

Během všech měření jsme pracovali se stejnou vzdáleností vývodů kondenzátoru, tuto vzdálenost odhadujeme na 0.5 mm. Zaznamenávali jsme časy od spuštění



Obrázek 3: Závislost času jiskry na jejím pořadí za různých podmínek

zneutralizovaného generátoru, ve kterých došlo k přeskoku jiskry mezi vývody kondenzátoru. Měřili jsme ve variantách bez pomocného jiskřiště, s pomocným jiskřištěm cca. 1 mm a s pomocných jiskřištěm 2 mm. Zaznamenané časy jsou znázorněny na obrázku 3. Pro každou variantu jsme měření opakovali čtyřikrát. Dílčí měření jsou znázorněna tence, jejich průměr pak výrazněji. Doba měření byla limitována objemem nádob.

Všechna měření bez pomocného jiskřiště během běhu generátoru obsahují jen jeden přeskok jiskry. Naproti tomu s pomocným jiskřištěm 2 mm došlo vždy k pěti přeskokům. Dále je vidět, že první jiskra na kondenzátoru při použití 2 mm pomocného jiskřiště nastává v průměru po době 2.5 krát kratší než je tomu bez pomocného jiskřiště.

Nabíjení s pomocným jiskřištěm 1 mm leží efektivitou někde mezi případem bez jiskřiště a s jiskřištěm 2 mm.

Jiskry přeskakující v pomocném jiskřišti bylo možné slyšet a frekvenci jejich přeskoků odhadujeme na řádově 1 přeskok za sekundu.

#### 5 Závěr

Hlavním úspěchem našeho zkoumání bylo, že se nám podařilo vygenerovat napětí pomocí tohoto jednoduchého přístroje. Dalším zajímavým výsledkem bylo zjištění, že nabíjení kondenzátoru s využitím pomocného jiskřiště je efektivnější než při přímém připojení kondenzátoru k zařízení.

### 6 Poděkování

Děkujeme organizátorům TV@J za možnost zúčastnit se projektu. Děkujeme též vedoucímu miniprojektu Mgr. Pavlu Bažantovi, PhD za přípravu pokusu a dohled při měření.

# 7 Zdroje informací

https://en.wikipedia.org/wiki/Kelvin\_water\_dropper Obrázek 1 byl převzat z Wikipedie.

# PŘÍPRAVA RADIOFARMAKA ZNAČENÉHO <sup>99m</sup>Tc A STANOVENÍ RADIOCHEMICKÉ ČISTOTY

V. Mervart, Jiráskovo gymnázium Náchod, Řezníčkova 451 R. Peloušek, Gymnázium Brno, Slovanské náměstí 7 p.o.

#### mervartvojtech@gymnachod.cz radekpelousek@icloud.com

#### Abstrakt:

Rozšířenými radiofarmaky v medicíně jsou sloučeniny značené techneciem. To lze získat z <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc generátoru. V rámci miniprojektu jsme si mohli vyzkoušet přípravu a kontrolu radiofarmak. Připravili jsme <sup>99m</sup>Tc-MDP, které se používá k diagnostice kostní tkáně. Toto radiofarmakum jsme získali v radiochemické čistotě 98,6%.

# 1 Úvod

Nukleární medicína využívá k zobrazování požadovaných tkání otevřených zářičů (ve formě radiofarmak). Radionuklidy požívané pro diagnostiku i terapii se volí na základě jejich vlastností. K diagnostickým účelům se volí radionuklidy emitující fotonové záření: <sup>99m</sup>Tc, <sup>123</sup>I, <sup>201</sup>Tl, <sup>67</sup>Ga, <sup>81m</sup>Kr; pro terapeutické účely se využívá radionuklidů emitujících záření částicové, tedy α a β: <sup>131</sup>I, <sup>90</sup>Y, <sup>223</sup>Ra.

V našem miniprojektu jsme využili radionuklid <sup>99m</sup>Tc, který vzniká z <sup>99</sup>Mo<sup>[1]</sup> (Obr. 1) v generátoru<sup>[2]</sup> (obr. 2).



Obr. 1: přeměna Mo-99 Obr. 2: Generátor <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc

Eluce <sup>99m</sup>Tc je prováděna následujícím způsobem: zásobní lahvička s fyziologickým roztokem (dále jen FR) se nasadí na přívodní jehlu. Na druhou jehlu se nasadí evakuovaná eluční

lahvička. Díky podtlaku v lahvičce dojde k promytí kolonky, na které je vázán <sup>99</sup>Mo. Jelikož je <sup>99m</sup>Tc vázáno slaběji, dojde k jeho vymytí.

Jako radiofarmaka označujeme sloučeniny, které obsahují jeden nebo více radionuklidů včleněných za lékařským účelem. Díky těmto radionuklidům je třeba dodržovat bezpečnostní opatření.

Pacientovi je podáno radiofarmakum, nejčastěji intravenózně. Následně je rozdistribuováno po celém těle a vychytáváno v požadovaném místě. <sup>[4]</sup>.

V našem experimentu jsme připravovali radiofarmakum s názvem 8-MDP (methylendifosfonát = medronát, Obr. 3). To se používá pro diagnostiku ložiskových procesů v kostní tkáni, metabolických nebo degenerativních procesů v kostním systému. Kontraindikace u tohoto radiofarmaka prozatím nebyly pozorovány. Nežádoucí účinky jsou velmi vzácné a vyskytují se při přecitlivění na fosfáty. V takovém případě může nastat otok, zvracení, kašel, dušnost nebo hypotense.



Každé připravené radiofarmakum musí projít před podáním pacientovi kontrolou radiochemické čistoty, například chromatografií. Ta sestává z vyvíjení chromatogramu a studia rozložení radioaktivity na chromatogramu.

# 2 Příprava radiofarmaka <sup>99m</sup>Tc-MDP

### 2.1 Materiál a metody

Použili jsme 8-MDP Kit (ÚJV Řež, a. s., Česká republika), dále eluční lahvičku, olověný kontejner, NaCl (Chemapol Praha), chromatografický papír Whatman 1, papír s vrstvou Silikagelu ITLC-SG, lžičku, kádinku, střičku s destilovanou vodou, buničinu, rukavice, pinzetu, jehly a injekční stříkačky.

Dále jsme použili tyto přístroje: laminární box firmy SafeFlow Tema s generátorem <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc a ionizační komorou Curiementor 2; váhu Kern 770, TLC skener AR2000 firmy BioScan a pro kontrolu kontaminace detektor Thermoscientific REDEYE B20-ER.

### 2.2 Postup práce

Nejprve jsme připravili 0,9% vodný roztok NaCl. Následně jsme připravili lahvičku s FR pro eluci, a umístili ji na přívodnou jehlu generátoru. Pomocí evakuované eluční lahvičky, kterou jsme umístili na jehlu, jsme provedli elukci generátoru. Radioaktivitu získaného radionuklidu jsme změřili v ionizační komoře.

Dva ml roztoku eluátu z generátoru jsme injekční stříkačkou přidali do kitu. Po zamíchání jsme změřili radioaktivitu radiofarmaka. Radiofarmakum jsme umístili do olověného kontejneru (Obr. 4) a nechali inkubovat při laboratorní teplotě.



Obr. 4: Kontejnery na uchování lahvičky s 99mTc

Po 30 minutách je radiofarmakum připraveno pro podání pacientovi. Předtím je nutné provést kontrolu radiochemické čistoty, kterou jsme provedli pomocí chromatografie na tenké vrstvě. První část kontroly radiochemické kontroly pomocí ITLC-SG papírku, na který jsme nanesli na označené místo 1-2 µl připraveného radiofarmaka a následně nechali vzestupně vyvíjet ve FR.

Druhou částí kontroly radiochemické čistoty jsme provedli pomocí chromatografického papíru Whatman 1, na který jsme nanesli stejné množství radiofarmaka, jako u první metody, a následně nechali vzestupně vyvíjet roztokem acetonu.

Po vysušení jsme vložili vzorky jednotlivě na skener AR2000 a změřili rozložení radioaktivity na jednotlivých chromatogramech.

# 2.3 Výsledky

Vyeluovali jsme 1991 MBq v objemu 4 ml. Připravili jsme radiofarmakum <sup>99m</sup>Tc-MDP o radioaktivitě (976,8±0,8) MBq v objemu 2 ml.



Obr. 5: 2D diagram při vyvíjení FR

Obr. 6: 2D diagram při vyvíjení acetonem

Na Obr. 5 je viditelný posun <sup>99m</sup>Tc-MDP s čelem, společně s komplexem se pohybuje i případná nečistota – volný technicistan. Na startu zůstává hydrolyzované Tc, které v našem případě odpovídá 1,4 % radioaktivity.

Na Obr. 6 je patrná radioaktivita pouze na startu. Ta představuje komplex <sup>99m</sup>Tc-MDP s možnou nečistotou hydrolyzovaného <sup>99m</sup>Tc, které též zůstává na startu. Další možnou nečistotou je volný technicistan, který zde ale není patrný (putoval by s čelem).

Celková radiochemická čistota připraveného radiofarmaka <sup>99m</sup>Tc-MDP je 98,6 %.

### 2.4 Diskuse

Pokud roztok není radiochemicky čistý, dochází ke zvýšení radiační zátěže pacienta a snížení kvality pořízených snímků. Radiochemické nečistoty mohou vzniknout nenavázáním <sup>99m</sup>Tc do komplexu, nedostatkem redukčního činidla (nedojde k redukci technicistanu) nebo vzniku hydrolyzovaného <sup>99m</sup>Tc.

I přes použití vyřazené šarže kitů (lyofilizační koláč nebyl na dně lahvičky) jsme dosáhli radiochemické čistoty nad požadovaný limit. Připravili jsme radiofarmakum, které by bylo možné použít k aplikaci.

# 3 Shrnutí

Vyeluovali jsme 4 ml eluátu o aktivitě 1991 MBq. Polovinu eluátu jsme smíchali s kitem MDP a získali radioaktivitu 976,8 MBq v objemu 2 ml. Pomocí papírové chromatografie jsme určili radiochemickou čistotu a z výsledků jsme určili, že by námi připravené radiofarmakum mohlo být použito pro diagnostické vyšetření.

# Poděkování

Děkujeme především supervizorce Ing. Petře Mičolové za odborný dohled a konzultace v průběhu konání miniprojektu. Dále děkujeme FJFI ČVUT za poskytnutí prostor, přístrojů a materiálů.

# **Reference:**

- [1] TUDelft: Enhancing radioisotope specific activity by Szilard Chalmers reaction [cit. 21-06-2016], dostupné z URL <u>http://www.tnw.tudelft.nl/index.php?id=34621&L=1</u>
- [2] SPECT Gamma Camera Radiation Protection [cit. 21-06-2016], dostupné z URL http://oftankonyv.reak.bme.hu/tiki-index.php?page=SPECT+-+Gamma+Camera+-+Radiation+Protection
- [3] WELCH, Michael J. a REDVANLY, Carol S.: Handbook of radiopharmaceuticals: radiochemistry and applications. New York: J. Wiley, c2003. 323 – 362. ISBN 0471495603.
- [4] SPECT, Radiofarmaka [cit. 21-06-2016] dostupné z URL http://www.petspect.fbmi.cvut.cz/spect/index.php/radiofarmaka.html
- [5] Patents; Radiopharmaceutical compositions [cit. 21-06-2016] dostupné z URL http://www.google.com/patents/EP2598175A1?cl=en

# Sychrotronem k léčivům: modeluj si sám

Emma Bielokostolská, Tereza Hladíková Bilingválne gymnázium Milana Hodžu, Sučany, SK První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové, CZ e.bielokostolska@gmail.com hladikova.tereza@psjg-hk.cz

#### Abstrakt:

Monokrystalová strukturní analýza představuje nejvýznamnější metodu určování 3D struktur biologicky aktivních makromolekul. Výsledky těchto analýz nacházejí uplatnění v širokém rozsahu oborů od lékařství, farmacie, potravinářství po nanobiotechnologie. Naše práce se zabývá modelováním makromolekul na základě difrakčních dat, získaných ze synchrotronu. Výsledky předložené práce poskytují náhled na mechanizmus vazby ligandu do aktivního místa enzymu a pomáhají lépe pochopit způsob aktivity enzymu. Na základě těchto výsledků lze navrhnout efektivnější variantu ligandu. Tento strukturně orientovaný přístup se převážně používá při návrhu a testování léčiv.

# 1 Úvod

Synchrotron je typ kruhového urychlovače částic (převážně elektronů, pozitronů), který byl vyvinut v padesátých letech dvacátého století Luisem Walterem Alvarezem pro široké spektrum fyzikálních analytických technik. Urychlované elektrony necháváme vyzářit v širokém vlnovém spektru pomocí ohybu trajektorie magnetickým polem. Zkoumání struktur synchrotronem je velmi přesné.

Strukturní biologie využívá synchrotronu a jeho parametrů pro zkoumání atomární 3D struktury biologicky aktivních molekul, které jsou před experimentem uvedeny do krystalického stavu. Záření je rozptylováno krystalovou mříží a vytváří obrazce v podobě soustavy teček na detektoru. Soustavu naměřených snímků nazýváme *difrakční data*. Intenzita jednotlivých teček a jejich poloha je obrazem vnitřní (elektronové) struktury zkoumané bílkoviny. Difrakční data jsou prve zintegrována (odečet intenzit na detektoru), dále seškálována (srovnání a zprůměrování jednotlivých reflexí) a převedena na strukturní faktory.

K rekonstrukci rozložení elektronů v prostoru (tzv. fázový problém) se v případě znalosti podobné molekuly využívá její strukturní znalost pro první nepřesný odhad rekonstrukce elektronové hustoty.

Takto získaná strukturní data jsou nezastupitelná při analýze funkcí zkoumaných proteinů. V současné době například pomáhají při vývoji léčiv a pochopení nitrobuněčných procesů.

### 2 Metody

Měřeným objektem je zkrystalizovaný enzym z parazitického organismu, který je aktivní na nukleových kyselinách. Difrakční data, která byla naměřena na synchrotronu Bessy II. v Německu na měřícím stanovišti 14.2 v roce 2015. Data byla zpracována pomocí programu iMOSFLM a seškálována programem AIMLESS. Fázový problém byl vyřešen metodou molekulárního nahrazení programem Phaser. Model byl dále přebudován programem ARP/wARP a dále upřesňován programem REFMAC5 a manuálně upravován v COOT. Všechen uvedený software patří do balíku CCP4[1].

# 3 Výsledky

Difrakční data byla zpracována nejprve s plným rozlišením, které nám umožňovalo experiment (1,6 Å). Z analýzy statických údajů bylo zjištěno, že ve vysokém rozlišení byl pozorován nedostatečný signál. Abychom do souboru konečných měření nezanášely nepřesné výsledky, bylo rozlišení třeba omezit na hodnostu 1,8 Å. Parametry krystalu a zpracování dat jsou uvedeny v tabulce č. 1. Reprezentativní difrakční snímek je uveden na obrázku č. 1.

Prostorová grupa	P21			
a, b, c [Å]	41,65; 62,31; 47,98			
α, β, γ	90°, 106,79°, 90°			
Signál(I)/šum(σ)	9,0			
Korelační koeficient	0,994			
R faktor	0,101			

Tabulka 1: Parametry krystalu a experimentu

Fázový problém byl vyřešen metodou molekulárního nahrazení pomocí struktury z PDB databáze [2] s PDB kódem 3SNG. Model molekuly byl následně přebudován podle zadané aminokyselinové sekvence programem ARP/wARP. Tímto krokem se podařilo vylepšit shodu modelu s experimentem z počáteční hodnoty R faktoru 0,51 na hodnotu 0,20. Výchozí a konečná struktura jsou uvedeny na obrázku č. 2.

Kromě enzymů byla pozorována tři maxima elektronové hustoty, jenž náležela iontům zinku, které se podílí na aktivitě enzymu. V mapách elektronové hustoty však byla patrná oblast, která nenáležela enzymu, ale další nízkomolekulární sloučenině, která je navázána v aktivním místě. Tato oblast byla modelována jako ligand 2-deoxy-adenosin-5'-thiomonofosfát. Celková struktura enzymu v komplexu s ligandem a detail vazby ligandu s pozorovanou elektronovou hustotou je uvedena na obrázku č. 3. Celková sekundární struktura enzymu s ligandem je uvedena na obrázku č. 4.



Obrázek 1: Difrakční snímek krystalu zkoumaného enzymu naměřený na synchrotronu..



*Obrázek 2: Počáteční a výsledná struktura enzymu v reprezentaci sekundárních struktur.* 



*Obrázek 3: Pozorovaná elektronová hustota nízkomolekulárního ligandu v aktivním místě enzymu.* 



Obrázek 4: Celková struktura enzymu v reprezentaci sekundární struktury s ligandem (tyčinkový model).

# 4 Diskuze

Námi vyřešená struktura enzymu s ligandem odhaluje mechanismus vazby nízkomolekulárních sloučenin do aktivního místa enzymu. Takováto informace spolu s dalšími biofyzikálními měřeními pomáhá v racionálním návrhu léčiv (structure-based drug design) na základě znalostí struktury. V tomto případě je pozorování vazby analogu nukleové kyseliny ve shodě s degradabilními účinky enzymu. Pro další zefektivnění eliminace aktivity enzymu by bylo zapotřebí vyvinout vylepšenou (modifikovanou) variantu současného ligandu. Potvrzení takového účinku bude vyžadovat další strukturní studie a biofyzikální analýzy.

# 5 Shrnutí

Obsahem této práce bylo řešení struktury enzymu a jeho ligandu. Data byla získána ze synchrotronu a následně zpracována s rozlišením 1,8 Å. Po vyřešení fázového problému a přebudování modelu k vyšší shodě s experimentálními daty byl pozorován ligand navázaný do aktivního místa enzymu.

# Poděkování

Na naší práci se podílel Ing. Petr Kolenko, Ph.D z Katedry inženýrství pevných látek na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, kterému děkujeme.

# Reference

[1] M. D. WINN et al.: *Overview of the CCP4 suite and current developments*. Acta Cryst. **D67**, 2011, 235-242.

[2] H. M. BERMAN et al.: The Protein Data Bank. Nucleic Acids Research 28, 2000, 235-242.

# Měření kosmického záření Dozimetrie posádek letadel

Rastislav Blaho<sup>1</sup>, Ondřej Knopp<sup>2</sup>, Lukáš Melcher<sup>3</sup>, Jan Pokorný<sup>4</sup>, and Borek Požár<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Piaristické gymnázium Jozefa Braneckého, Trenčín – rastislavblaho1997@gmail.com

<sup>2</sup>Gymnázium Třeboň na Sadech 308, Třeboň – knoppkozich@seznam.cz <sup>3</sup>GCHD, Praha – lmelcher1@gmail.com

<sup>4</sup>Gymnázium a OA Bučovice, Bučovice – jmenujusepopcorn@usa.com <sup>5</sup>Gymnázium Zmikunda Wintra, Rakovník – pozar.borek@gmail.com

21. 6. 2016

#### Abstrakt

V naší práci jsme se věnovali porovnávání množství kosmického záření, jemuž jsou vystaveni piloti dopravních letů, s dávkou, kterou dostávají piloti sportovních letadel. Z naměřených údajů počtu různých částic kosmického záření, absorbovaných dávek a prostorového dávkového ekvivalentu v určitých časových úsecích jsme zjištovali úhrnný prostorový dávkový ekvivalent za dobu jednoho roku. Práce zahrnuje i grafy závislosti prostorového dávkového ekvivalentu v čase na výšce letu.

# 1 Úvod

Zemský povrch je vystaven velkému množství částic, které na něj dopadají a interagují s ním. Celé spektrum těchto částic souhrnně nazýváme kosmické záření. Podle místa vzniku ho můžeme dělit na primární a sekundární.

Primární kosmické záření vzniká mimo zemskou atmosféru. U primárního záření můžeme rozlišovat tok přicházející od Slunce, tedy sluneční korpuskulární záření, a tok vysokoenergetických částic pocházející z míst mimo Sluneční soustavu. Co se týče složení, cca 98% tvoří protony a alfa částice a cca 2% tvoří beta částice, antiprotony a jádra známých prvků. Během průchodu částic primárního záření atmosférou dochází k interakci s ní a výsledkem je tzv. sekundární záření.

To je pro náš projekt významnější. Je tvořeno neutrony, piony, miony, pozitrony a malým množstvím vysokoenergetických protonů. Všechny tyto částice můžeme taktéž rozdělit na měkkou a tvrdou složku sekundárního kosmického záření. Ještě zmíníme nejzajímavější částice tvrdé složky. Zaprvé miony, jejichž energie dosahují až 600 MeV, pronikají hluboko do atmosféry a jsou tedy detekovatelné i na zemském povrchu. Zadruhé neutrony, které vzhledem k větší hmotnosti, a tedy i energii, mají na lidské tělo větší vliv než ostatní částice.

Kosmické korpuskulární záření, respektive některé jeho složky, jsou nebezpečné pro lidský organismus. Naštěstí je velká část odstíněna geomagnetickým polem Země. To se chová jako zrcadlo, takže většinu částic pohybujících se směrem k Zemi vychýlí z jejich původní trajektorie. Siločáry geomagnetického pole tvoří Van Allenovy radiační pásy, které obklopují Zemi. Tento fyzikální jev je velmi významný z pohledu polární záře, částice dopadající směrem k jednomu ze dvou magnetických pólů Země nejsou odstíněné, takže pokud mají dostatečně vysokou energii, dokážou excitovat atomy v Zemské atmosféře. Následná deexcitace je zdrojem fotonů s určitou vlnovou délkou, která tvoří efekt polární záře.

Při měření vlivu působení kosmického záření na člověka zavádíme veličiny charakterizující interakci ionizujícího záření s hmotou.

Absorbovaná dávka D je definovaná jako podíl střední sdělené energie d $\overline{\varepsilon}$  předané ionizujícím zářením látce o hmotnosti dm v malém prostoru.

$$D = \frac{\mathrm{d}\overline{\varepsilon}}{\mathrm{d}m}$$

Jednotkou absorbované dávky je Gray a značí se  $[D] = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Efektivní dávka E je veličina, která přímo popisuje účinek záření na lidské organismus. Je definována jako suma součinů průměrných hodnot dávek absorbovaných určitým orgánem či tkání  $D_T$ , kde dolní index T značí konkrétní orgán, a radiačních váhových faktorů  $w_R$ , které se liší pro různé druhy záření a dolní index R zde značí právě druh záření, tedy

$$E = \sum_{T} \sum_{R} w_R \cdot D_T \,.$$

Jednotkou efektivní dávky je Sievert [H] = 1 Sv.

Efektivní dávka se nedá opravdu měřit, proto se definuje prostorový dávkový ekvivalent  $H^*(10)$ . Ten udává efektivní dávku způsobenou zářením v kouli aproximující lidské tělo (standartní ICRU = norma) v hloubce 10 mm tkáně. Pro námi použitý detektor Liulin se tato hodnota počítá jako

$$H^*(10) = k_{\rm low} D_{\rm low} + k_{\rm neut} D_{\rm neut} \,,$$

kde $D_{\rm low}$ je celková deponovaná dávka nízko<br/>energetických částic. Nízko<br/>energetické částice jsou ty, které v detektoru zanechaly energii menší než 1 MeV, naopak<br/> $D_{\rm neut}$ je celková dávka, kterou tam zanechaly částice, které samotné v detektoru zanechaly <br/>energii větší než 1 MeV. Ve většině případů jde o neutrony. Nakonec koeficienty<br/> $k_{\rm low}=1,22$  a  $k_{\rm neut}=6,18$ , které převádí absorbovanou dávku na prostorový dávkový ekvivalent.

### 2 Výsledek zapojení kreativního uvažování

#### 2.1 Materiály a metody

Při měření kosmického záření jsme použili polovodičový detektor Liulin. Fotodioda zapojená v závěrném směru detekuje energii  $\overline{\varepsilon}$  dopadajícího záření. Podle energie se v detektoru třídí dopady částic a jejich počet se zaznamenává do jednoho z 256 kanálů. Detektor je zkalibrován tak, že šířka jednoho kanálu je 81,3 keV. Zjistili jsme, kolik kterých částic s danou energií jsme zaznamenali pomocí detektoru a následně určili celkovou deponovanou energii v objemu detektoru.

Další veličinou, kterou jsme určovali, byla absorbovaná dávka D. Ta se spočítá jako celková deponovaná energie částic v detektoru ku celkové hmotnosti křemíkové části detektoru, který právě zachytává částice. Hmotnost křemíku v detektoru Liulin je výrobcem udaných  $m_{\rm Si} = 1,398 \cdot 10^{-4}$  kg.

Dvojice těchto detektorů byla podrobena dvěma letům do výšky cca 4,6 km společně s pilotem letadla L-410 a skupinou parašutistů.

#### 2.2 Výsledky

Z detektorů jsme získali data počtu částic z různých energetických kanálů. Z těchto dat jsme byli schopni spočíst prostorový dávkový ekvivalent, který detektory zaznamenaly za každý let. Po jejich zprůměrování jsme dosáhli prostorového dávkového ekvivalentu za průměrný let

$$\overline{H^*}(10) = 133,9 \,\mathrm{nSv}$$

Pilot sportovního letadla za jeden měsíc absolvuje asi 300 letů. Při neopatrné extrapolaci tohoto průměrného prostorového dávkového ekvivalentu na celý rok zjistíme, že takový pilot za rok pouze při svých letech dostane efektivní dávku vyjádřenou ročním prostorovým dávkovým ekvivalentem

$$\dot{H}^{*}(10) = 0.482 \,\mathrm{mSv/y}$$

Tato hodnota je zhruba poloviční oproti hodnotě, při níž jsou piloti dopravních letadel dle zákona upozorněni na to, že ji přesáhli.

Dále jsme z dat byli schopni sestavit graf závislosti prostorového dávkového ekvivalentu změřeného detektorem Liulin za 10 s na výšce. Získanými daty jsme proložili exponenciální křivku, která je zde značena čárkovaně. Pro porovnání jsme uvedli křivku stejného významu vypočtenou programem EXPACS. Tento program v závislosti na geografické poloze a nadmořské výšce dokáže vypočíst energetické spektrum různých částic kosmického záření a tedy i určit hledaný prostorový dávkový ekvivalent za čas.

#### 2.3 Diskuse

Na začátku práce jsme si stanovili jako cíl porovnat absorbovanou dávku kosmického záření pilotů dopravních a sportovních letadel během výkonu jejich povolání. Zjistili jsme, že pilot sportovního letadla je vystaven několikanásobně nižší zátěži v porovnání s piloty letadel dopravních. Nejenže se nám přes značné technické problémy podařilo porovnat tyto dvě dávky, také jsme porovnali naměřená data s daty získanými z programu EXPACS, který byl speciálně vytvořen pro výpočet spekter částic v atmosféře. Dále jsme nalezli závislost prostorového dávkového ekvivalentu na nadmořské výšce a to jak ze změřených dat, tak i z dat, která vygeneroval EXPACS. Viditelné nesrovnalosti mezi vypočtenými a naměřenými daty mohou pocházet z nepřesností měření, spíše se však projevuje fakt, že vypočtená data nezohledňují terestriální záření.



#### Obrázek 1: Závislost $H^*(10)/10$ s na výšce

### 3 Závěr

V naší práci jsme se snažili porovnat radiační zatížení pilotů dopravních a sportovních letadel. Zjistili jsme, že pilot sportovního letadla je vystaven menší dávce kosmického záření než pilot dopravního letadla, který létá asi ve dvojnásobné výšce. Pilot sportovního letadla je během roku podroben prostorovému dávkovovému ekvivalentu asi 0,482 mSv, zatímco takový průměrný pilot dopravního letadla České nebo Slovenské společnosti je za jeden rok podroben dávce asi 1,346 mSv.

### Poděkování

Chtěli bychom poděkovat především naší supervisorce Ing. Dáše Kyselové za neocenitelnou pomoc a ochotu při řešení mnohých problémů a úskalí našeho projektu. Moc děkujeme také celému organizačnímu týmu Týdne vědy na Jaderce 2016 za možnost zúčastnit se měření kosmického záření.

### Reference

 KYSELOVÁ D.: Radiační zátěž posádek letadel. Praha, 2013. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření.

# Srážky světla na LHC

Jana Drnková<sup>1</sup>, Jitka Mrázková<sup>2</sup>, David Dobáš<sup>3</sup> <sup>1</sup>Základní škola a gymnázium Vítkov, <sup>2</sup>Gymnázium Karla Čapka, Dobříš, <sup>3</sup>Gymnázium Christiana Dopplera, Praha <sup>1</sup>jdrnkova@email.cz, <sup>2</sup>jitkam7@seznam.cz, <sup>3</sup>daviddobas@seznam.cz

#### Abstrakt:

Cílem naší práce bylo zanalyzovat data z urychlovače částic LHC a sledovat vznik mezonu J/Ψ. Poté jsme porovnávali náš experimentální účinný průřez s teoretickým účinným průřezem a odvodili existenci gluonového stínění.

# 1 Úvod

Urychlovač částic LHC nám umožňuje pozorovat srážky různých částic a následně detekovat ty nově vzniklé. My jsme pozorovali ultra-periferální srážky, ve kterých nedochází k přímému kontaktu částic, ale pouze jejich elektromagnetických polí. Díky tomu pak interaguje foton s fotonem nebo foton s částicí a množství nově vzniklých částic je minimální. My jsme se zaměřili na vznik částice J/Ψ při ultra-periferálních srážkách olova.

# Princip

Při přímých srážkách těžkých iontů dochází ke vzniku tzv. kvark-gluonového plazmatu. To obsahuje obrovské množství částic, které je těžké rozpoznat. Proto jsme využili

tzv. ultra-periferálních srážek, ve kterých interagují částice pomocí svých elektromagnetických polí (fotonů). V těchto srážkách dochází ke vzniku mezonu. My jsme se zaměřili na mezon J/ $\Psi$ , který je vázaným stavem kvarku a antikvarku c (charm). J/ $\Psi$  má velmi krátkou životnost a rozpadá se mj. na pár elektron-pozitron nebo mion-antimion. Ty jsou pak zpozorovány detektory a z jejich vlastností můžeme odvodit vlastnosti samotného J/ $\Psi$ . To má hmotnost právě 3,097 GeV/c<sup>2</sup>, a proto ho budeme hledat ve spektru invariantní hmoty právě na okolí této hodnoty.

# Historie

Částice J/ $\Psi$  byla pozorována již v minulosti. Poprvé byla zpozorována roku 1976 při srážkách pozitronu a elektronu a díky tomuto výzkumu byly poprvé objeveny kvarky c (charm). Na následujících grafech je jasně viditelný nárůst hmoty okolo 3,1 GeV, což je znakem vzniklých J/ $\Psi$ .



My jsme využívali data z ultra-periferálních srážek iontů olova na experimentu ALICE z roku 2011.

### 2 Postup a výsledky

Na *obr. 1* vidíme data z detektoru. Tato data je třeba vyčistit tak, že budeme postupně uplatňovat pravidla pro jejich výběr.



Nejdříve jsme pracovali s 85 753 vstupy. Následně jsme kritéria upravili tak, aby byl využit jen přední detektor mionů a počet vstupů se zmenšil na 50035. Poté jsme omezili i rapiditu (relativistická rychlost částice) od -3,6 do -2,6 a získali 9905 vstupů. Omezením příčné hybnosti do 187 MeV/c jsme již získali 286 vstupů. Nakonec jsme ještě vyloučili všechny příliš velké i malé hmotnosti a výsledkem bylo 167 vybraných vstupů.

Tato data jsme proložili funkcí Crystal Ball a exponenciální funkcí (obr. 2) a díky rozdílu integrálů těchto funkcí jsme získali počet nalezených  $J/\Psi$ .



Abychom mohli náš výsledek porovnat s teoretickým výsledkem, potřebovali jsme spočítat účinný průřez naší reakce. K tomu slouží následující vzorec:

$$\frac{d\sigma}{dy} = \frac{N_{J/\psi}^{coh}}{\varepsilon * \varepsilon_{trig} * \beta * \mathcal{L} * \Delta y}$$

kde  $N^{coh}_{J/\Psi}$  je počet koherentních částic J/ $\Psi$  (těch, které vznikly koherentní srážkou fotonu s olovem)  $\epsilon$  odpovídá detekční účinnosti,  $\epsilon_{trig}$  odpovídá účinnosti záznamu srážky,  $\beta$  je pravděpodobnost rozpadu J/ $\Psi$  na miony,  $\mathcal{L}$  je luminozita svazků, která udává intenzitu jader olova ve svazku a  $\Delta y$  je šířka intervalu, ve kterém jsme měřili.

Naše vypočítaná hodnota experimentálního účinného průřezu byla  $d\sigma_{exp}/dy = (1,064 \pm 0,20)$  mb. Výběr dat byl tedy velmi přesný, neboť k našemu výsledku přibližně dospěli i výzkumníci v CERNu.

Nyní už jen zbývalo vypočítat teoretický účinný průřez. Ten jsme zjistili pomocí modelu STARlight a je  $d\sigma_{theo}/dy = 1,829$  mb. Tím jsme tedy dokázali, že musí existovat faktor, který účinný průřez zmenšuje. Říkáme mu gluonové stínění.

### 3 Shrnutí

Zanalyzovali jsme velké množství dat a postupným zužováním kritérií jsme vybrali ta nejvhodnější pro identifikaci J/Ψ. Spočítali jsme účinný průřez srážek a porovnali jej s tím teoretickým. Vzhledem k tomu, že náš výsledek byl značně menší, předpokládáme existenci tzv. gluonového stínění.

# Poděkování

Poděkování patří především našemu garantovi Ing. Romanu Lavičkovi, který nás velmi dobře seznámil s problematikou ultra-periferálních srážek, ale i s částicovou fyzikou obecně a s tím, jak funguje výzkum v CERNu. Dále bychom chtěli poděkovat FJFI ČVUT za zázemí a za to, že jsme se mohli účastnit Týdne vědy, který nám umožnil se tímto miniprojektem zabývat.

# **Reference:**

- [1] LAVIČKA, R., Srážky světla na LHC, prezentace, 2016
- [2] ALICE COLLABORATION, Phys. Lett. B718, (2013), 1273-1283

### Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření

Vladimír Lukačko<sup>1</sup>, Kateřina Škorvánková<sup>2</sup>, Eva Wohlgemuthová<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, Varšavská cesta 1, Žilina v.lukacko1@gmail.com
<sup>2</sup>Gymnázium a SOŠ Rokycany, Mládežníků 1115, Rokycany katerina.skorvankova@gmail.com
<sup>3</sup>Gymnázium, Litoměřická 726, Praha eva.wohlgemuth@seznam.cz

#### Abstrakt:

V rámci našeho miniprojektu jsme pracovali s diagnostickou metodou, která se aplikuje v nemocnicích. Využívá se při ní speciální RTG přístroj – mamograf. Mamografie je speciální rentgenová metoda využívající schopnost tzv. měkkého záření odlišit i jemné změny v hustotě tkáně. Oblasti se zvýšenou hustotou a nehomogenitami jsou specifické pro nádorový proces.<sup>[1]</sup> Při vyšetření dochází k ozáření pacienta. Abychom byli schopni stanovit optimální míru ozáření, pracujeme s fyzikální veličinou střední dávka v mléčné žláze. Tato dávka byla stanovena pro šest různých pacientek a námi naměřené hodnoty byly porovnány mezi sebou a následně s hodnotami reálných pacientek z mamografu v Thomayerově nemocnici.

### 1 Úvod

Počátky vývoje mamografie sahají do doby objevení rentgenových paprsků Wilhelmem C. Röntgenem v roce 1895. V roce 1964 publikoval Robert Egan dílo *Mamografie*, kde byla poprvé popsána tato nová diagnostická metoda. Ve větší míře se začala používat až o dva roky později, v roce 1966, kdy Philip Strax demonstroval výhody používání této metody.<sup>[2]</sup>

Rakovina prsu je po rakovině plic druhým nejčastějším nádorovým onemocněním. V současnosti se více než dvanácti procentům žen během života vytvoří karcinom v prsu.<sup>[3]</sup> Je proto důležité, aby ženy chodily na preventivní prohlídky. U žen starších 45-ti let se riziko zvyšuje, a tak je preventivní vyšetření každé dva roky bezplatné.<sup>[4]</sup> Je-li onemocnění diagnostikováno včas, je vyšší pravděpodobnost uzdravení. Z mamografického snímku (viz. *Obr. 1, 2*) je lékař schopný stanovit diagnózu.

Při vyšetření dochází k ozáření tkáně, což může mít nežádoucí účinky. Míru ozáření prsu, tzv. střední dávku v mléčné žláze  $D_G$ , je nutné stanovit tak, aby byla co nejmenší, ale zároveň byl získaný obraz dostatečně kvalitní. Střední dávku není možné změřit, stanovíme ji ze znalosti dopadající kermy na povrchu fantomu a polotloušťky pomocí konverzního a korekčních faktorů.

$$D_G = K_i \cdot g \cdot s \cdot c$$

Dopadající kerma  $K_i$  je fyzikální veličina, která představuje kinetickou energii, již fotony záření předají nabitým částicím, g je konverzní faktor převádějící dopadající kermu na střední dávku v mléčné žláze pro prs s 50% glandularitou (tzn. poměrem mléčné žlázy a tuku v prsu) a Mo/Mo (anoda/filtr) spektrum rentgenky, c je korekční faktor na složení prsu odlišné od 50% glandurality, s je korekční faktor na spektrum rentgenky odlišné od kombinace Mo/Mo.<sup>[5]</sup>





# 2 Experimentální část

#### 2.1 Pomůcky a materiál

Při měření byl použit mamografický přístroj *Elscint Glory mamograf* (výrobce: VARIAN USA, vyroben v roce 1998, rentgenka Mo/Mo), elektrometr, detektor ionizační komora typ A11TW, fantom PMMA, sada Al filtrů, univerzální stojan, délkové měřidlo, teploměr a tlakoměr.

#### 2.2 Postup měření

Na mamograf jsme umístili PMMA fantom namísto prsu. Do vzdálenosti přibližně 20 cm nad fantom jsme připevnili detektor, který byl připojen k elektrometru. Změřili jsme přesnou vzdálenost mezi fantomem a zdrojem záření  $(d_2)$  a mezi detektorem a zdrojem záření  $(d_1)$ . Následně jsme nastavili mamograf. Pro všechna měření byla použita clona vymezující pole 24 x 30 cm s velkým ohniskem 0,3 mm. Pro první 4 měření jsme nastavili napětí na 30 kV a součin proudu a času na 180 mAs. Pro další dvě měření jsme napětí změnili na 28 kV a součin proudu a času na 48 mAs. Dalšími měněnými parametry byla tloušťka prsu a věk pacientek. Celkem jsme provedli 6 měření. Pro každé měření byl šestkrát ozářen PMMA fantom a elektrometrem změřen náboj na detektoru. Z šesti výstupních hodnot náboje jsme určili průměr (M), a ten jsme použili ve výpočtu dopadající kermy ve vzdálenosti  $d_1$  od zdroje záření.

$$K_i(d_1) = M \cdot N \cdot k_O \cdot k_{TP}$$

Kde *N* je kalibrační koeficient, který byl pro náš přístroj výrobcem stanoven na 3,199 $\cdot$ 10<sup>7</sup> Gy/C,  $k_Q$  je korekční faktor na kvalitu svazku (zanedbáváme), a  $k_{TP}$  je korekční faktor na teplotu a tlak vypočtený podle vzorce<sup>[5]</sup>:

$$k_{TP} = \frac{p_0(273,15+t)}{p(273,15+t_0)}$$

Kde  $p_0$  a  $t_0$  jsou hodnoty, při nichž byl detektor kalibrován a p a t jsou hodnoty námi naměřené v laboratoři: p = 765 Torr a t = 23 °C.

Kermu dopadající na fantom  $K_i$  určíme ze známých vzdáleností  $d_1$  a  $d_2$  a hodnoty  $K_i(d_1)$ .

$$K_i = K_i(d_1) \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

K výpočtu dávky je dále nutné znát polotloušťku HVL, protože na ní závisí hodnota konverzních faktorů g a c. HVL charakterizuje kvalitu svazku a je udávána v mmAl.<sup>[5]</sup> Sestavili

jsme aparaturu: asi 30 cm od zdroje záření jsme umístili detektor. Ozářili jsme jej a na elektrometru přečetli hodnotu náboje. Poté jsme nad detektor umístili Al filtr o tloušťce 0,1 mm. Znovu jsme detektor ozářili a přečetli hodnotu náboje. Obdobně jsme pokračovali, dokud nad detektorem nebyla vrstva silná 0,5 mm. Z naměřených hodnot jsme vytvořili graf (*graf 1*) a zjistili předpis funkce. Maximální náboj byl 1614, 233 pC. Určili jsme hodnotu tloušťky Al pro polovinu této maximální hodnoty. Vyšla nám polotloušťka 0,346 mmAl.



Ze známé polotloušťky a hodnoty kermy jsme určili střední dávku v mléčné žláze  $D_G$ . Výpočet jsme provedli pro 6 různých pacientek. Výsledky včetně parametrů jsou uvedeny v tabulce (*tab. 1*)

Z nemocnice nám byly poskytnuty anonymní záznamy o skutečných pacientkách, které jsou do tabulky rovněž zahrnuty.

číslo pacientky	věk [roky]	tloušťka prsu [cm]	polotloušťka [mmAl]	U [kV]	P <sub>lt</sub> [mAs]	anoda/filtr	s	g	с	dávka [mGy]
1	40 - 49	4,5	0,350	30	180	Mo/Mo	1,000	0,2080	0,974	5,06
2	40 - 49	9,0	0,350	30	180	Mo/Mo	1,000	0,0981	1,264	3,12
3	50 - 64	4,5	0,350	30	180	Mo/Mo	1,000	0,2080	1,041	5,41
4	50 - 54	9,0	0,350	30	180	Mo/Mo	1,000	0,0981	1,292	3,19
5	40 - 49	9,0	0,333	28	48	Mo/Mo	1,000	0,0981	1,264	0,66
6	50 - 64	9,0	0,333	28	48	Mo/Mo	1,000	0,0981	1,292	0,68
reálná A	42	4,3	0,540	28	117	W/Rh	1,042	0,3110	0,978	1,41
reálná B	51	5,7	0,564	30	105	W/Rh	1,042	0,2360	1,139	4,82

### 3 Shrnutí

tab. 1

V tabulce jsou uvedeny změřené a vypočtené hodnoty.

Dopadající kerma pro pacientku s tloušťkou prsu 4,5 cm vyšla  $K_i = 24,6 \ mGy$ , pro pacientku s tloušťkou prsu 9 cm vyšla  $K_i = 25,2 \ mGy$ . Lze tedy usoudit, že výsledná dávka závisí na konverzních a korekčních faktorech.

Dávka při stejném nastavení přístroje je pro větší prs nižší, neboť stejné množství záření se rozptýlí ve větším prostředí. Dávka také závisí na korekčním faktoru *c*, který se liší dle věku pacientky (viz. *graf 2*). Proto je dávka u starších pacientek vyšší. Při snížení hodnot napětí a součinu proudu a času na přístroji se dávka výrazně sníží, ale získaný obraz nemusí být kvalitní. Nemůžeme srovnávat dávku u reálných pacientek a námi naměřenou dávku kvůli jinému nastavení přístroje (včetně materiálu anody a filtru) a rovněž kvůli různému stavu přístrojů.

Pokud bychom stanovovali dávku reálných pacientek (pro danou tloušťku prsu a věk) při našem nastavení přístroje, byla by dávka reálné ženy A 5,15 mGy a reálné ženy B 4,82 mGy.



# Poděkování

Naše největší poděkování patří Ing. Tereze Hanušové za podporu a pomoc při práci na projektu. Dále děkujeme všem organizátorům Týdne vědy, neboť bez nich bychom si vědeckou práci nikdy nevyzkoušeli.

# **Reference:**

- [1] http://www.zbynekmlcoch.cz/informace/medicina/nemoci-lecba/mamografie-princip-jak-funguje-mamograf-a-jak-probiha-mamograficke-vysetreni [vid. 21. 6. 2016]
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/mammography#history
- [3] OPPELT, A.: Imaging Systems for Medical Diagnostics, Siemens, 2005, s. 393 404.
- [4] http://www.mzcr.cz/dokumenty/projekt-zvyseni-navstevnosti-preventivnich-screeningovych-vysetreni-a-zahajeni-c\_8766\_3030\_1.html [vid. 21. 6. 2016]
- [5] KOZUBÍKOVÁ, P., STEINER, M., VESELSKÝ, T.: Stanovení střední dávky v mléčné žláze, Siemens, 2013, s. 1 - 6.

# Není světlo jako světlo - souboj optického a polarizačního mikroskopu

### Č. Malík, gymnázium Litoměřická 726, cendamalik@seznam.cz

#### 21.6.2016

#### Abstrakt

Optický polarizační mikroskop je typ mikroskopu využívající dva polarizační filtry, obvykle vůči sobě pootočené o 90°. Takový mikroskop nám u vzorků obsahujících látky schopné stáčet rovinu polarizace může lépe zobrazit struktury a zdůraznit některé detaily než obyčejný optický mikroskop.

# 1 Úvod

Optický mikroskop pomocí soustavy čoček zvětšuje obraz pozorovaného objektu. Optický polarizační mikroskop je navíc vybaven dvěma tzv. polarizátory. První je umístěn mezi zdrojem světla a zkoumaným vzorkem, druhý, zvaný analyzátor, je umístěn mezi zkoumaným vzorkem a okem.

Polarizátor slouží k polarizaci světla. Světlo je příčné elektromagnetické vlnění, pokud je nepolarizované, pak vektor E intezity elektrického pole může kmitat v kterémkoliv směru v rovině kolmé na směr šíření. Pokud je světlo polarizované, vektor E kmitá stále v jedné přímce. V případě, že k polarizaci došlo průchodem polarizačním filtrem, tento směr je daný natočením polarizačního filtru.

Pokud světlo projde jedním polarizátorem a poté druhým, který je pootočen o 90° vůči prvnímu, nemělo by procházet žádné světlo.

Vektor E u polarizovaného světla, které následně prošlo některými látkami (například celulózou), už nemusí kmitat pouze na polarizátorem určené přímce. Proto umístíme-li takovou látku mezi dva o 90° pootočené polarizátory, část světla projde i druhým polarizátorem. Nachází-li se mezi vůči sobě o 90° pootočenými polarizátory objekt, jehož některé části takovou látku obsahují, zmíněné části se budou za druhým z polarizátorů jevit jako světlé na tmavém pozadí. Právě tohoto jevu využívá optický polarizační mikroskop.

# 2 Pozorování

Přístroj jsme použili k pozorování krmiva pro akvarijní rybičky, kvasnic, krystalů cukru a soli, lidských vlasů, končetin mouchy, listů pokojové rostliny a dalších vzorků.



Obr. 1, 2: Krystal soli – vlevo optický mikroskop, vpravo optický polarizační mikroskop

Polarizační mikroskop nám bohužel neposkytl žádné další informace o krystalu, viděli jsme pouze tmavé pole.

105











Obr. 3, 4: Krystal cukru – vlevo optický mikroskop, vpravo optický polarizační mikroskop

Pod polarizačním mikroskopem jsme narozdíl od soli viděli struktury uvnitř krystalu. Povrch krystalu cukru je hladší než u soli.

Obr. 5, 6: Roztřepený konec vlasu pod optickým mikroskopem. Vlevo před aplikací přípravku na zacelení roztřepených konečků, vpravo po aplikaci

Na základě pozorování lze usoudit, že přípravek není příliš účinný. Polarizační mikroskop nám bohužel žádné další informace oproti optickému mikroskopu neposkytl.



#### *Obr.* 7: Shluky kvasnic – optický mikroskop

Zjistili jsme, že droždí obsahuje kvasinky, ale nepodařilo se nám určit, zda jsou živé. Polarizační mikroskop nám bohužel neposkytl žádné další informace.





*Obr.* 8, 9: *List bonsaje – vlevo optický* mikroskop, vpravo optický polarizační mikroskop

Polarizační mikroskop zvýraznil útvary na krajích listů, zřejmě kvůli většímu obsahu látek schopných stáčet rovinu polarizace.



Obr. 10, 11: Končetina mouchy – vlevo optický mikroskop, vpravo optický polarizační mikroskop

Polarizační mikroskop nám ukázal přítonost neznámých útvarů, které kvůli průhlednosti byly pomocí optického mikroskopu prakticky nepozorovatelné.

Obr. 12, 13: Živé krmení pro akvarijní rybičky – vlevo optický mikroskop, vpravo optický polarizační mikroskop

Polarizační mikroskop nám zviditelnil některé tkáně, které při použití optického mikroskopu splývají s okolními tkáněmi.

Obr. 14, 15: Jiný druh živého krmení pro akvarijní rybičky – vlevo optický mikroskop, vpravo optický polarizační mikroskop

Polarizační mikroskop zobrazil některé sktruktury, které byly pomocí optického mikroskopu neviditelné.

# 3 Shrnutí

Zjistili jsme, že u objektů s obsahem látek schopných stáčet rovinu polarizace (např. živé krmení pro akvarijní rybičky, listy rostlin, končetina mouchy) nám může optický polarizační mikroskop zobrazit struktury a zdůraznit detaily, které pomocí optického mikroskopu jsou zřetelné málo nebo vůbec. U objektů, které tyto látky neobsahují, nezískáme pomocí polarizačního mikroskopu o vzorku žádné další informace.

# Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za organizaci celého Týdne vědy na FJFI ČVUT a za příležitost vyzkoušet si a seznámit se s vědeckou prací. Dále bych rád poděkoval mé supervizorce Kristýně Kohoutové za teoretický výklad, seznámení s principem a samotným mikroskopem a provedení projektem. Dále děkuji Lence Vávrové za poskytnutí některých vzorků.

# Reference

SVOBODA, E. A KOL: *Přehled středoškolské fyziky*, Prometheus 2008 REICHL, J: *Encyklopedie fyziky*, http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/465-polarizacepolaroidem KOLEKTIV AUTORŮ:

 $http://www.physics.muni.cz/\sim hemzal/vyuka/2016j/aplopt1/laboratore/polarizacni_mikroskopie.pdf$
# Millikanův experiment

A. Janich<sup>1</sup>, J. Löffelmann<sup>2</sup>, A. Trojanová<sup>3</sup> Gymnázium Špitálská, Praha 9<sup>1,3</sup>, Gymnázium Litoměřická Praha 9<sup>2</sup> adjanich@gmail.com<sup>1</sup>, jira.leflik@gmail.com<sup>2</sup>, anezka.trojanova@gmail.com<sup>3</sup>

#### Abstrakt

Cílem miniprojektu bylo stanovit elementární náboj elektronu měřením rychlosti padajících a stoupajících nabitých kapiček oleje v přítomnosti elektrického pole. Vypočtený náboj kapiček s elementárním nábojem se blížil realitě. Naopak kapičky s nábojem rovným několikanásobku elementárního náboje neposkytly příliš uspokojivé výsledky.

# 1 Úvod

Millikanův experiment byl prováděn s aparaturou znázorněnou na Obr. 1. Kapičky ricinového oleje se vznášely ve vzduchu v prostoru mezi dvěma deskami kondenzátoru. Jestliže byl mezi deskami vytvořen potenciál, vlivem přítomnosti elektrického pole se kapičky pohybovaly nahoru. Naopak nebyl-li kondenzátor nabit, pohybovaly se kapičky vlivem tíhové síly směrem dolu. Navíc velikost rychlosti jejich pohybu se vždy ustálila na určité hodnotě díky přítomnosti odporové síly vzduchu.

Při těchto pokusech Millikan zjistil, že náboj kapiček je vždy násobkem určitého čísla. Cílem našeho miniprojektu bylo tento experiment zopakovat a rovněž prokázat tuto skutečnost.



Obr. 1: Popis přístroje, 1. Základní deska, 2. Měřicí mikroskop, 3. Deskový kondenzátor, 4. Osvětlení, 5. Olejový atomizér, 6. Gumový balonek [3]

## 2 Verze experimentu

Millikanův experiment lze provést třemi způsoby, lišícími se směrem pohybu kapky v přítomnosti elektrického pole.

- 1. Plovoucí metoda: Napětí mezi deskami je na začátku nastaveno tak, aby se kapička nepohybovala a až poté je pole vypnuto a je změřeno, jakou rychlostí kapička padá.
- 2. Klesající metoda: Jestliže pole nedosahuje dostatečné intenzity, je určována rychlost pádu zpomaleného díky elektrickému poli.
- 3. Stoupající metoda: Elektrická síla překoná tíhovou a kapička v přítomnosti elektrického pole stoupá.

Zvolili jsme si stoupající metodu, neboť u plovoucí metody jsme došli k závěru, že příslušné napětí nedokážeme nastavit dostatečně přesně. Přitom jsme byli schopni vygenerovat pole o dostatečné intenzitě, aby kapičky stoupaly.

## 3 Teoretické poznatky

#### Použité veličiny

- Vzdálenost mezi deskami  $d = (6 \pm 0,05) mm$
- Hustota oleje  $\rho_o = (874 \pm 3) kg m^{-3}$
- Hustota vzduchu  $\rho_{vz} = 1,2 \ kg \ m^{-3}$
- Dynamická viskozita vzduchu  $\eta = 1.8 \cdot 10^{-5} Pa s$
- Napětí mezi deskami U
- Vzdálenost uražená kapkou s = 2,4 mm
- Čas pádu *t*<sub>1</sub>
- Čas vzestupu *t*<sub>2</sub>
- Tíhové zrychlení  $g = 9,81 m s^{-2}$
- Empiricky zvolená konstanta  $A = 0,07776 \, \mu m$
- Objem kapky V
- Rychlost pádu  $v_1$
- Rychlost vzestupu  $v_2$
- Tíhová síla  $F_G$
- Vztlaková síla *F*<sub>vz</sub>
- Odporová síla *F*<sub>od</sub>
- Elektrická síla  $F_e$
- Číslo měření *i*

#### Odvození vztahu

Nejprve si uvědomme, jaké síly působí na kapičku při pádu ve vzduchu bez přítomnosti elektrického pole.

Tíhová síla  $F_G$ :

$$F_G = m g = V \rho_o g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_o g \tag{1}$$

Vztlaková síla  $F_{vz}$ :

$$F_{vz} = V \rho_{vz} g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{vz} g$$
(2)

Odporová síla *F*<sub>od</sub>:

$$F_{od} = 6 \pi \eta r v_1$$

Vzhledem k tomu, že kapička se pohybuje rovnoměrným pohybem, síly se musí vyrovnat:

$$F_G = F_{vz} + F_{od} \tag{3}$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_o g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{vz} g + 6\pi\eta r v_1$$
(4)

Odtud:

$$r = \sqrt{\frac{9 \,\eta \,v_1}{2 \,g \,(\rho_0 - \rho_{vz})}} \tag{5}$$

Po zapnutí elektrického pole začne působit rovněž elektrická síla $F_e$ 

$$F_G + F_{od} = F_{vz} + F_e \tag{6}$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_o g + 6\pi \eta r v_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{vz} g + \frac{U}{d}Q$$
(7)

Dosaď me za r a vyjádřeme náboj Q

$$Q = 9\frac{d}{u}(v_1 + v_2)\sqrt{\frac{2\eta^3 v_1}{g(\rho_0 - \rho_{vz})}} = 9\frac{d}{u}\left(\frac{s}{t_1} + \frac{s}{t_2}\right)\sqrt{\frac{2\eta^3 \frac{s}{t_1}}{g(\rho_0 - \rho_{vz})}}$$
(8)

Pro malé hodnoty poloměru se ovšem uplatňují jevy jako Brownův pohyb a odporová síla závisí na poloměru už nelineárně. Je proto potřeba provést korekci výsledku.

$$Q_{K} = \frac{Q}{\sqrt{(1+\frac{A}{r})^{3}}} = \frac{9\frac{d}{U}\left(\frac{s}{t_{1}} + \frac{s}{t_{2}}\right)\sqrt{\frac{2\eta^{3}\frac{s}{t_{1}}}{g(\rho_{o} - \rho_{vz})}}}{\sqrt{(1+\frac{A}{\sqrt{\frac{9\eta v_{1}}{2g(\rho_{o} - \rho_{vz})}}})^{3}}}$$

(9)

### 4 Provedení experimentu

Měření rychlosti kapiček bylo v praxi prováděno pomocí mikroskopu, jehož okulár obsahoval stupnici, díky níž jsme byli schopni určit vzdálenost uraženou kapičkou. Z praktických důvodů jsme vždy odměřovali vzdálenost 2,4 mm, jelikož právě tato vzdálenost se dala snadno odečíst. K určení času jsme pak využili elektronické stopky (obr. 2).

K vytvoření elektrického potenciálu byl použit zdroj napětí, který byl teoreticky schopen generovat až 600 V. Ve skutečnosti maximální napětí kolísalo mezi 540 až 560 V.

Měření jsme provedli celkem 15krát. Poté jsme určili poloměr kapky, její náboj a náboj po korekci.



Obr. 2: Elektronické stopky [3]

# 5 Výsledky měření

Při určování hodnot u každé z kapek jsme naměřili čas jejího pádu  $t_1$ , čas vzestupu  $t_2$  a napětí U. Poté jsme spočítali poloměr r, náboj Q a náboj po korekci  $Q_K$  pomocí vztahů (5), (8) a (9). Z hodnot jsme vytvořili tabulku (Tab. 1) a graf závislostí nábojů na poloměru (Obr. 3 a Obr. 4).

i	<b>t</b> <sub>1</sub> [s]	<b>t</b> <sub>2</sub> [s]	<b>U</b> [V]	<b>r</b> [nm]	<i>Q</i> [10 <sup>-19</sup> C]	$Q_K[10^{-19}\text{C}]$	
1	53,3	23,2	552	652,7	3,574	3,019	
2	51,1	21,4	545	666,6	3,962	3,357	
3	64,2	47,1	548	594,7	1,952	1,623	
4	57,4	63,3	547	628,9	1,866	1,567	
5	46,2	44,6	540	701,0	2,795	2,387	
6	56,4	58,4	550	634,5	1,964	1,652	
7	39,3	29,2	550	760,1	4,030	3,483	
8	53,4	41,3	534	652,1	2,562	2,163	
9	59,1	53,3	548	619,8	1,972	1,651	
10	37,7	57,5	545	776,0	3,055	2,648	
11	50,1	76,9	550	673,2	1,971	1,673	
12	25,4	29,2	548	945,5	6,205	5,512	
13	53,1	72,5	549	653,9	1,899	1,604	
14	49,7	86,8	548	675,9	1,907	1,619	
15	60,5	62,6	547	612,6	1,779	1,487	

Tab. 1: Výsledky měření, Číslo měření i, Čas pádu  $t_1$ , Čas vzestupu  $t_2$ , Napětí U, Poloměr r, Náboj Q, Náboj po korekci  $Q_K$ 



Obr. 3: Data před korekcí



## 6 Diskuse a závěr

Relativní chyba výsledků bez korekce byla takřka 24 %, zatímco po ní přibližně 15 %. Chyba měření byla podle našeho názoru způsobena zejména tím, že kapičky se vlivem proudění vzduchu viditelně pohybovaly po ne zcela svislých trajektoriích. Přitom měřítko v okuláru se jevilo poměrně rozmazané a odčítání hodnot z něj se tím výrazně zkomplikovalo. Navíc některé veličiny nemohly být stanoveny zcela přesně (např. hustota oleje závisela na okolní teplotě a podle výrobce mohla kolísat mezi 871  $kg m^{-3}$  a 877  $kg m^{-3}$ ).

Přitom kapičky, které měly elementární náboj, poskytovaly velice uspokojivé výsledky. Vzhledem k faktu, že experiment byl ovlivněn tolika nežádoucími faktory, považujeme přesnost naměřených dat za úspěch.

# 7 Poděkování

Děkujeme Ing. Davidu Horákovi za pomoc při provádění experimentu a jeho cenné připomínky.

# 8 Reference

- [1] Reichl J.: Millikanův pokus http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/708-millikanuv-pokus
   [21. 6. 2016]
- [2] APS phics: Robert A. Millikan https://www.aps.org/programs/outreach/history/historicsites/millikan.cfm [21. 6. 2016]
- [3] HELAGO® Millikanův přístroj návod k obsluze [21. 6. 2016]

# Ozařovaní mincí

Jan Hruškovič, Ivan Hudák, Maximilián Molnár Gymnázium T. G. Masaryka Zastávka, U Školy 39, Zastávka 664 84; Evanjelické gymnázium Juraja Tranovského Komenského 10 Liptovský Mikuláš, 031 01 jan.hruskovic@hotmail.com, hudakivan6@gmail.com, maximilian.molnar1@gmail.com

#### Abstrakt:

Cílem naší práce bylo zjištění materiálového složení kuvajtského dináru za pomoci neutronové aktivační analýzy. Mince byly ozářeny na reaktoru VR-1 Vrabec provozovaným ČVUT Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou. Taky byli samostatně identifikování vzorky jiných radioaktivních materiálů. Samotná analýza proběhla na detektoru HPGe, který byl kalibrován pomocí <sup>60</sup>Co a <sup>137</sup>Cs.

# 1 Úvod

Naším cílem bylo zjištění složení radioaktivních vzorek a pak prvkového složení mince. K tomu byla použita neutronová aktivační analýza užívaná od padesátých let minulého století. Ozářením zkoumaných objektů v jaderném reaktoru vznikají nuklidy emitující gama záření, které zachycuje a vyhodnocuje HPGe detektor.

## 2 Prvkové zastoupení

#### - Neutronová aktivační analýza

Princip analýzy spočívá v záchytu neutronu atomovým jádrem za vzniku aktivovaného nuklidu. Následné jaderné reakce jsou doprovázeny emitací gama záření o určitých energiích. Tyto energie jsou udávány v tabulkách, využívaných při následné analýze.

#### - Provedení experimentu

Nakolik byl reaktor z důvodu nadcházejícího měnění paliva vypnutý, nemohli jsme ozářit minci. Použili jsme proto data z minulého roku. Tedy byl dinár připevněn s pomocí izolepy na plastový nosič, který byl poté spuštěn do reaktoru o výkonu 1E06, následně zvýšeného na 1E08 po dobu 25 minut. Pro zajištění radiační ochrany byly vzorky vytaženy 15 minut po odstavení reaktoru, kdy byla jejich aktivita již dostatečně nízká pro bezpečnou manipulaci. Mince byly dopraveny do laboratoře s HPGe (High-purity germanium) detektorem, s jehož pomocí bylo změřeno spektrum zkoumaných vzorků. Data z detektoru jsme pak analyzovali za pomoci programu Genni 2000. Nalezené energetické píky byly přiřazeny k jednotlivým izotopům na základě dat dostupných na internetu.

## - Zpracování výsledků

Nakolik mají fotony (gama záření) silně stochastický charakter, fotony s určitou energii jsou zaznamenány ve víc kanálech na detekci fotonů v HPGe. Jsou tedy přerozděleny podle Gaussovo přerozdělení, a jejich energii zodpovídá nejpočetnější skupině fotonů.



Obr. 1 Spektrum Kuvajtské mince

Kanál	Energie[keV]	Zdroj záření	Původ zdroje
2895	511	Anihilace pozitronů	<sup>64</sup> Cu
4792	846,6	<sup>56</sup> Mn	<sup>55</sup> Mn
2073	366	<sup>65</sup> Ni	<sup>64</sup> Ni
6312	1115,4	<sup>65</sup> Ni	<sup>64</sup> Ni
7616	1346	<sup>64</sup> Cu	<sup>63</sup> Cu
8386	1482	<sup>65</sup> Ni	<sup>64</sup> Ni

# Shrnutí

Touto nedestruktivní analýzou jsme byli schopni určit složení mince, aniž by jsme minci museli nějak ničit nebo z ní nechat kus zreagovat, nebo podobně. Byla tak zachována hmotnost, tvar i složení mince. Atomy, které byly pozměněny jaderními reakcemi byli v zanedbatelným množství oproti velikosti mince.

# Poděkování

Děkujeme pánovi Ing. Filipovi Fejtovi za přípravu na práci, pomoc při práci, oborný dozor, exkurzi na VR-1, a samozřejmě zpříjemnění vědecké práce badatele.

# **Reference:**

- Decay data search. *Nucleardata* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <u>http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nucSearch.asp</u>

# Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERNu

## M. Kočí<sup>1</sup>

M. Novotná<sup>2</sup> <sup>1</sup>Gymnázium, Strakonice, Máchova 174 <sup>2</sup>Gymnázium a hudební škola, ZUŠ, Praha 3, Komenského náměstí 9 <sup>1</sup>milan.koci5@seznam.cz <sup>2</sup>novkacz@seznam.cz

#### Abstrakt:

Naším cílem je analýza dat srážek dvou protonů (pp srážka) nebo dvou jader olova (PbPb srážka) z experimentu ALICE na urychlovači LHC v CERNu. Určíme modifikaci energetických spekter částic z obou typů srážek, abychom prokázali vznik kvark-gluonového plazmatu (QGP) při PbPb srážkách. Naše výsledky jsou zachyceny v grafech udávajících různé vlastnosti srážek a shodují se s teoretickými předpoklady.

# 1 Úvod

Kvark-gluonové plazma (QGP) je skupenství hmoty, které vzniká při extrémně vysoké hustotě energie. Předpokládá se, že existovalo asi 20–30 µs po Velkém třesku. Stejně jako běžná hadronová hmota, QGP obsahuje kvarky a gluony, částice jsou však tak blízko u sebe, že nejsou vázané silnou jadernou interakcí a kvarky tak zůstávají uvolněné (nevznikají zde ani mezony – páry kvark-antikvark, ani baryony – trojice kvarků).

Úkolem experimentu ALICE (A Large Ion Collider Experiment) na urychlovači LHC (Large Hadron Collider) v CERNu je výzkum tohoto plazmatu, které může vznikat při PbPb srážkách.

## 2 Modifikace spekter částic

#### Centralita

Oproti protonům jsou jádra olova mnohonásobně větší, a tak je potřeba uvažovat tzv. geometrii srážky. Parametr popisující tuto geometrii je parametr srážky *b*, což je příčná vzdálenost středů obou jader olova, která se srážky účastní.



Obrázek 1: Parametr srážky b je příčná vzdálenost středů obou jader olova. Převzaté z [1].

Podle hodnoty tohoto parametru lze srážky rozdělit na centrální (malá hodnota *b*), semicentrální a periferní (vysoká hodnota *b*).

Centralita srážky se udává v procentech, kde 100 % centralita znamená, že se jádra minula – ke srážce vůbec nedošlo.

U PbPb srážky rozdělujeme nukleony na účastníky srážky a "diváky", tedy nukleony, které se srážky přímo neúčastní. Platí, že čím nižší je centralita, tím více nukleonů se účastní srážky.

#### Příčná hybnost

Veličinou, která pomáhá k popisu srážek, je příčná hybnost  $p_t$  částic, která je složkou hybnosti částice v rovině kolmou k ose svazku (směr pohybu srážených částic).

#### Jaderný modifikační faktor R<sub>AA</sub>

Jaderný modifikační faktor  $R_{AA}$  je veličina, která popisuje rozdíl mezi produkcí částic vzniklých při pp srážkách a srážkách olověných jader. Definice  $R_{AA}$  je

$$R_{AA} = \frac{Y(PbPb)}{\langle Ncoll \rangle Y(pp)}$$

kde Y(PbPb) je počet částic vzniklých při PbPb srážkách a Y(pp) označuje počet částic vzniklých při pp srážkách. (*Ncoll*) je střední počet srážek nukleon-nukleon, protože olovo má 208 nukleonů. Je-li hodnota  $R_{AA} < 1$ , pak je vznik některých částic potlačen QGP.

#### **R**<sub>CP</sub> faktor

Namísto dat z pp srážek můžeme při výpočtu jaderného modifikačního faktoru také použít data z periferních PbPb srážek (tedy srážek s centralitou 70-80 %). Takové veličině se pak říká  $R_{CP}$  faktor.

## 3 Analýza dat z experimentu ALICE

Data, se kterými jsme pracovali, byla naměřena na experimentu ALICE na urychlovači LHC v CERNu. Analýza dat byla provedena pomocí softwaru ROOT, který je běžně používán vědci v CERNu.

Na Obr. 2 vidíme závislost počtu drah TPC na centralitě pro PbPb srážky. Z grafu je patrné, že při nižší centralitě vzniká méně částic než při centralitě vyšší.



Obrázek 2: Závislost počtu drah na centralitě srážky.

Obrázek 3 zobrazuje průměrný počet vzniklých částic na jednu srážku s konkrétní příčnou hybností. S centralitou klesá počet vzniklých částic s danou hybností, což je zřejmě způsobeno potlačením těchto částic kvark-gluonovým plazmatem.



*Obrázek 3: Distribuce příčné hybnosti částic pt pro různé druhy srážek.* 

Obrázek 4 znázorňuje závislost jaderného modifikačního faktoru  $R_{AA}$  na příčné hybnosti. Nejvyšších hodnot dosahuje při hybnosti kolem 2 GeV/*c* a to u obou centralit. Nikdy však nedosahuje hodnoty 1 či vyšší, což dokazuje vznik QGP při těchto srážkách.



Obrázek 4: Závislost R<sub>AA</sub> faktoru na příčné hybnosti částic p<sub>1</sub>.

Na Obr. 5 je závislost jaderného modifikačního faktoru  $R_{CP}$  na příčné hybnosti.  $R_{CP}$  faktor opět dosahuje nejvyšších hodnot při hybnosti kolem 2 GeV/*c* a nikdy nedosahuje hodnoty 1 či vyšší, jeho hodnota je však pro obě centrality o něco vyšší než hodnota  $R_{AA}$  faktoru. Hodnota  $R_{CP}$  i  $R_{AA}$  je při centrálnějších srážkách nižší než při srážkách s centralitou 20-30%.



Obrázek 5: Závislost faktoru R<sub>CP</sub> na příčné hybnosti částic p<sub>r</sub>.

## 4 Shrnutí

Provedli jsme analýzu různých vlastností srážek na experimentu ALICE na LHC v CERNu. Změřili jsme počet a vlastnosti částic v pp a PbPb srážkách. Výsledný jaderný modifikační faktor vycházel vždy nižší než 1 (nejnižší hodnoty nabýval pro nejnižší centrality), čímž jsme prokázali vznik kvark-gluonového plazmatu při centrálních PbPb srážkách.

# Poděkování

Speciální poděkování patří našemu mentorovi Ing. Lukáši Kramárikovi za pomoc při řešení fyzikálních problémů a problémů při programování.

## **Reference:**

[1] Averbeck, R. et al., Measurement of the nuclear modication factor  $R_{AA}$  with ALICE, dostupné z: <u>http://www-alice.gsi.de/masterclass/</u>, citováno: 21.6.2016.

# Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru

Eduard Heřmánek<sup>[1]</sup>, Tomáš Doležal<sup>[2]</sup>, Vít Řezáč<sup>[3]</sup> [1] Gymnázium Velké Meziříčí, hermanek@gvm.cz [2] Gymnázium Velké Meziříčí, dolezal@gvm.cz [3] Gymnázium Velké Meziříčí, rezac@gvm.cz

#### Abstrakt:

Cílem naší práce je zobrazit průřez lidským vlasem a dále hmyz uvězněný v jantaru pomocí rentgenového záření a tím prokázat jeho využitelnost. Po provedení experimentů a statistické analýze výsledků jsme dostali nezkreslený obraz zobrazovaných předmětů, který se nelišil od předpokladů. Tímto jsme potvrdili využitelnost rentgenového zobrazování.

# 1 Úvod

Cílem našeho projektu bylo zobrazit předměty, v našem případě vlas a hmyz uvízlý v jantaru, pomocí rentgenového záření a výsledky vyfiltrovat tak, aby bylo dosaženo nezkresleného, čistého obrazu. Tohoto jsme chtěli dosáhnout použitím výpočetní technologie. Naším dalším cílem je potvrdit užitečnost rentgenového záření při zobrazování objektů.





Jde elektromagnetická vlnění 0 vznikající v důsledku interakce nabitých částic s pevnou hmotou, anebo při rekonstrukci atomového obalu. Spektrum záření X (rentgenového záření) má povahu spojitého, tak i čárového spektra. Spojité spektrum vzniká v důsledku brzdění nabitých částic v látce, druhé vzniká v průběhu rekonstrukce atomového obalu. Pomocí tohoto záření se při rekonstrukci uvolňuje energie, která způsobila excitaci. Spektrum tohoto záření se projevuje ve formě úzkých vysokých vrcholů -peaků

#### Obr. 1: Příklad rentgenového spektra měřeného krystalografickým spektrometrem<sup>[1]</sup>

#### Užití rentgenového záření

Čárové spektrum je možné využít při krystalové analýze, protože plochy v krystalech odrážejí fotony s danou energií jen do příslušného směru. Charakteristické peaky lze potom vidět promítnuty na různá místa pomyslné kružnice se středem v zkoumaném krystalu. Z tohoto úhlu lze výpočtem dojít ke krystalové struktuře. Záření se spojitým spektrem lze použít při rentgenovém zobrazování běžných předmětů. V dnešní době se používá ve velkém měřítku v oborech jako je třeba medicína, průmysl (strojírenský, hutnický...) nebo ve výzkumu.

#### Transmisní radiografie

Transmisní radiografie je zobrazovací metoda používající absorpce rentgenového záření v předmětech. Při použití této metody obecně platí, že čím hustší je pozorovaný předmět, tím vyšší je i absorpce v materiálu a tím větší je kontrast stínu daného předmětu. V současnosti jde o nejpoužívanější metodu zobrazování. Její hlavní výhodou je její jednoduchost. Jejím záporem je však nutnost větších dávek ozáření daného objektu, což je problém zejména v medicíně.

Tento

nevyžaduje

případně

stínu předmětu.

jev

Jde o jev pozorovatelný zvláště na

okrajích stínu pozorovaného objektu.

množstvím fotonů detekovaných na hranici stínu, kde je prostředí s nižší hustotou. O to méně je detekovaných fotonů v prostředí s vyšší hustotou. Tento způsob má oproti výše zmíněné transmisní radiografií výhodu v tom, že

protože k zobrazení a zkoumání předmětu nepoužívá stín předmětu, ale

změnu směru fotonů u okraje předmětu. Touto metodou se dá zjistit jeho velikost,

vlastnosti. Na obrázku v tomto odstavci lze tento jev pozorovat jako dvojici zubů na vlnoploše (červená čára) u okrajů

některé

projevuje

vysoké dávky ozáření,

další

vvšším

fvzikální

se



Obr. 2: Phase-shift contrast technique

2 Postup a výsledky

#### **Popis aparatury**

Aparatura se sestávala z následujících součástí: zdroje rentgenového záření PXS5-925EA s wolframovou anodou, pohyblivého zajišťovacího mechanismu pro manipulaci se vzorkem, detektoru rentgenového záření Medipix a technologie pro zpracování výsledných dat. Urychlovací napětí rentgenky bylo vždy 40kV a anodový proud 80 μA.

#### Postup měření

Měření probíhalo tak, ze mezi vysílač a přijímač záření byl vložen pozorovány předmět, u kterého jsme upravili jeho pozici tak, aby se na detektoru objevil jeho stín. Následně jsme pořídili sérii 600 snímků, každý s expozicí 2 s. Hodnoty ze všech měření jsme zprůměrovali a podělili jsme je průměry z referenční série 600 snímků bez jakéhokoliv předmětu. Tento podíl jsme poté převedli na grafickou podobu.

#### Ověření správnosti postupu

Použitou metodu jsme ověřili tak, ze jsme provedli sérii 600 snímku nám známého předmětu, v našem případě hliníkového/měděného kolečka o průměru 3 mm vypleteného drátem o průměru 8 μm. Dále jsme postupovali výše zmíněným způsobem. Shodou našeho zobrazení s předpokladem jsme dokázali správnost námi použité metody.



Obr. 3 - rentgenový snímek kolečka před zpracováním



Obrázek na levé straně představuje snímek před zpracováním, obrázek na pravé straně představuje vyčištěnou verzi levého obrázku. V porovnání obrázků lze vidět mnohem unifikovanější plochy na upraveném obrázku, na rozdíl od původního, který je ovlivněn šumem, který se projevuje jako nejednotnost šedé barvy v rámci jedné plochy.

#### Výsledky

Naše výsledky byly dle předpokladu. Na následujícím grafu intensity rentgenového záření je jasně vidět absorpce rentgenového záření vzorkem (v našem případě vlasem), dále je zde také vidět fázový posun na okrajích stínu vlasu. (vlas je přibližně v místě od 22 do 82 μm).



Obr. 5: Graf intenzity rentgenového záření v okolí vlasu (příčný řez)

Na zobrazení hmyzu je dobře vidět jeho tělo, hlava,. Bohužel není vidět nohy a křídla, protože nezanechaly dostatečně velký a jasný obtisk v jantaru.



Obr. 6: Obrázek hmyzu zobrazeného pomocí transmisní radiografie vytvořená pomocí detektoru Medipix



Obr. 7: Obrázek hmyzu zobrazeného pomocí transmisní radiografie vytvořený CCD kamerou<sup>[2]</sup>

Obrázek na levé straně byl pořízen pomocí méně citlivého detektoru Medipix, zatímco obrázek napravo, pořízený dodatečně Ing. Linhartem, byl pořízen CCD kamerou s přibližně 21násobným rozlišením. Díky tomu lze na obrázku vpravo vidět i nohy tohoto hmyzu, které na méně kvalitním obrázku vlevo vidět nejsou.

# 3 Shrnutí

V průběhu tohoto miniprojektu jsme zjistili, jakým způsobem se zobrazuje objekt pomocí rentgenového záření. Zjistili jsme, že pomocí rentgenu lze zobrazit i velmi malé předměty uvnitř jiných objektů. V průběhu se nám podařilo potvrdit užitečnost rentgenového záření při zobrazování i velmi malých objektů. Dále jsme potvrdili použitelnost naší metody při jejím použití i na nekovové objekty. Ve výsledcích každého experimentu jsme mohli pozorovat jev spojený s lomem paprsků směrem do opticky hustšího prostředí (tj. prostředí s nižší hmotnostní hustotou).

# Poděkování

Touto cestou bychom chtěli poděkovat panu Ing. Vladimíru Linhartovi, Ph.D. za všechnu jeho pomoc, kterou nám v průběhu práce na tomto miniprojektu poskytl. Dále bychom chtěli poděkovat organizátorům týdne vědy za přípravu této akce a všem, kteří její konání umožnili.

# **Reference:**

[1] http://www.sukupova.cz/blog/wp-content/uploads/2013/08/spektra\_napeti.png

[2] Linhart V. - Obrázek hmyzu zobrazený pomocí CCD kamery

## Když nechceme derivovat, použijeme mýdlo

D. Burianová<sup>1</sup>, K. Grohmannová<sup>2</sup>, D. Komárek<sup>3</sup>, T. Špičáková<sup>4</sup>, M. Žůrek<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bilingválne gymnázium Milana Hodžu, Sučany; <sup>2</sup>Gymnázium Hejčín, Olomouc; <sup>3</sup>Masarykovo gymnázium, Příbor; <sup>4</sup>Gymnázium Brno-Řečkovice, Brno; <sup>5</sup>Gymnázium Františka Palackého, Valašské Meziříčí

> <sup>1</sup>dianaburianova@centrum.sk; <sup>2</sup>sixka@seznam.cz; <sup>3</sup>dankomarek@seznam.cz;

<sup>4</sup>spicakova.tereza@gmail.com;<sup>5</sup>zurekmvm@seznam.cz

Abstrakt:

Cílem našeho experimentu bylo najít nejkratší spojnici všech vrcholů v rovinném obrazci. Spočítali jsme tuto délku pomocí diferenciálního počtu a následně jsme své výsledky porovnávali s experimentem.

# 1 Úvod

Našim cílem bylo přijít na způsob, jak můžeme vytvořit nejkratší možnou spojnici vrcholů v rovinném obrazci (čtverec, trojúhelník). K tomu nám značnou měrou pomohla jedna z charakteristických vlastností kapalin. Obecně řečeno, částice se snaží zaujmout stav o nejnižší energii. Stejně se chová i kapalina jako celek. V našem experimentu jsme využili toho, že námi vytvořená bublina natažená mezi vrcholy obrazce samovolně přechází do stavu o nejnižší energii a povrchu. Problém jsme následně řešili také hledáním minima funkce pomocí derivace.

# 2 Derivace

Derivace je základem diferenciálního počtu. Je to směrnice tečny grafu funkce v daném bodě. Pokud graf lineární funkce svírá s osou x úhel  $\alpha$ , pak platí:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}.$$
 (1)



Přímka je určena dvěma body. Pokud chceme získat  $x_0$   $x_1$  rovnici tečny v bodě  $x_0$ , zvolíme v jeho okolí bod  $x_1$  a zvolme h tak, že  $h = x_1 - x_0$ .

Po dosazení do (1) získáme:

$$\frac{f(x_0+h)-f(x_0)}{(x_0+h)-x_0} \Rightarrow \frac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h} \qquad (3)$$

Tímto způsobem získáme sečnu grafu. Abychom dostali tečnu, zvolíme h blížící se nule a tímto krokem dostaneme derivaci f(x) v bodě  $x_0$ . Matematicky to vyjádříme jako limitu (3)

$$f'(x) = \lim_{h \to 0} \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}$$

Extrémy funkcí pak hledáme tak, že první derivaci položíme rovnou nule.

# 3 Povrchové napětí

Povrchové napětí je výsledkem vzájemné interakce přitažlivých sil molekul nebo atomů, z nichž se skládá povrchová vrstva. Povrch kapaliny se chová tak, jako by byl tvořen velmi tenkou pružnou vrstvou, která se snaží při daném objemu kapaliny zaujímat co nejmenší plochu.

# **4** Experiment

Sestavili jsme jednoduchou aparaturu ze dvou skleněných destiček spojených magnety tak, že mezi nimi vznikla mezera.



Po ponoření do mýdlové vody se mezi magnety přichytila bublina, která vlivem povrchového napětí zaujala nejmenší možnou plochu. Tímto experimentem se ukázalo řešení našeho problému.



#### 5 Výpočet



Vypočítáme si úhel sevřený těmito třemi spojnicemi bodů v rovnoramenném trojúhelníku, tak aby jejich celková délka byla co nejkratší. Základnu označme jako z a výšku jako v.

$$a = v - \frac{z}{2 \operatorname{tg} \alpha} \quad b = \frac{z}{2 \sin \alpha}$$
$$f(\alpha) = \frac{z}{\sin \alpha} + v - \frac{z}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$
$$f'(\alpha) = -\frac{z \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} + \frac{z}{2 \operatorname{tg}^2 \alpha \cos^2 \alpha}$$

Najdeme extrém funkce tak, že první derivaci položíme rovnou nule.

$$\frac{-2\cos\alpha + 1}{2\sin^2\alpha} = 0$$
$$\alpha = \frac{\pi}{3}$$
(4)

(4) je minimum funkce  $f(\alpha)$ , z toho plyne, že jednotlivé spojnice mezi sebou svírají úhel 120°. Výjimku tvoří až rovnoramenný trojúhelník, jehož výška je menší než  $\frac{z}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{3}}$ .

## 6 Shrnutí

Po seznámení se s derivacemi jsme v rámci projektu experimentálně zjistili a početně ověřili obecnou zákonitost, která říká, že řešení tohoto problému, a jemu podobných, je složeno z rovných linek, které tvoří určitý počet průsečíků, přičemž každý z průsečíků sestává ze tří linek. Každé dvě sousední linky přitom svírají úhel 120°. Rovněž jsme došli k závěru, že počet průsečíků daného n-úhelníku je součástí intervalu <0; n-2> a patří do oboru celých čísel.

## Poděkování

Rádi bychom poděkovali FJFI ČVUT v Praze za organizaci Týdne vědy. Dále bychom chtěli poděkovat našemu supervizorovi Bc. Jakubovi Krásenskému za veškerou výpomoc a spolupráci.

## **Reference:**

- [1] Wikipedie, URL: https://cs.wikipedia.org/wiki/Derivace#/media/File:Derivative1.png
- [2] Katedra obecné fyziky, URL: http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/physics.htm
- [3] http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkes/arch374/winter2001/tal/soapfilm/final.htm

# Generování náhodných čísel na základě jaderného rozpadu

K. Klojda\*, J. Podloučka\*\*, D. Ryšánek\*\*\* \*Gymnázium Jana Palacha 804, Turnov 511 01 \*\*SPŠ a VOŠ Sokolská, Brno \*\*\*SPŠE V Úžlabině 320, Praha 10 \*klojda@email.cz, \*\*jan@podloucka.eu, \*\*\*dennis-rysanek@email.cz

#### Abstrakt:

Motivací je zjištění, jak sestavit generátor náhodných čísel na fyzickém procesu (jaderném rozpadu), jak ho sestrojit a čísla ověřit. Kvalitní generátor čísel se nám sestrojit nepodařilo, při porovnání s pseudonáhodným generátorem Excelu bylo zřejmé, že Excel čísla vygeneroval lépe, náhodněji. Pokus byl tedy částečně neúspěšný.

# 1. Úvod

S potřebou generace náhodných čísel se v dnešní době setkáváme na mnoha místech a s přibývajícím trendem digitalizace, více než kdy dříve. Jako příklad můžeme uvést online sázkové hry, počítačové simulace, ale i šifrování. Avšak ne všechna čísla jsou skutečně náhodná, existují i takzvaná pseudonáhodná čísla, jež se zdají být náhodná, ale jejich náhodnost lze pomocí testů vyvrátit. Tato čísla jsou generovaná počítačem na základě jednoduššího či složitějšího algoritmu, ale ani nejsložitější algoritmus nám nikdy nezaručí jejich naprostou náhodnost. Naprostá náhodnost se dá zaručit pouze pomocí náhodného fyzikálního procesu. Jedním z těchto procesů je jaderný rozpad. A tímto způsobem generace jsme se zabývali.

## 2. Generování

#### Metoda a aparatura generování

Ke generaci náhodných čísel jsme použili aparaturu znázorněnou na obr. 1 skládající se ze zářiče (Kobalt 57 a Baryum 133), scintilačního detektoru NKG301, přizpůsobovacího členu Tesla NX1101, vysokonapěťového zdroje Bertan 225, konektorového bloku SCB-68, datové sběrny NI PXIe-1072 a PC, které data zpracovává. Pro zpracování dat byly využity programy LabVIEW, Microsoft Excel 2010 a GNUPlot. Proces probíhal následovně: Při rozpadu radioaktivních jader zářiče dochází k vyzáření vysokoenergetického fotonu. Foton naráží do materiálu detektoru a ztrácí svou energii excitací elektronů. Při následné deexcitaci dochází k vyzáření fotonů viditelného světla. Tyto fotony naráží na fotokatodu detektoru a uvolňují z ní elektrony. Pomocí vysokého napětí jsou tyto elektrony ve fotonásobiči urychleny a lavinovitě zesíleny. Na výstupu z fotonásobiče obdržíme elektrický impuls, který zaznamenáváme aparaturou pro sběr dat. Impuls je softwarově zpracován pomocí programu vytvořeného v prostředí LabVIEW a na základě délky intervalů mezi jednotlivými impulsy



#### Obrázek 1: Aparatura

jsou generována náhodná čísla. Pokud označíme T1 dobu mezi prvním a druhým impulsem a T2 dobu mezi druhým a třetím impulsem a délka T1 je vyšší než T2, generujeme číslo 1, v opačném případě generujeme číslo 0. V případě, že jsou délky shodné, negenerujeme nic. Pravděpodobnost, že T1 je vyšší než T2 je stejná jako, že je nižší (vyplývá to ze zákona radioaktivního rozpadu). Dále je možnost použít např. John von Neumannův dekorelátor odebírající dvojici bitů a nahrazující je takto: Je-li dvojice bitů shodná (00 nebo 11), pak se bity zahodí. V případě, že je dvojice bitů 01 pak výstupní bit je 0, v posledním případě, je-li dvojice bitů 10, výstupní bit je 1. Tento dekorelátor námi nebyl použit. Z posloupnosti 8 vygenerovaných bitů vytvoříme jedno 8-bitové číslo (0-255). Tato čísla jsou poté exportována do textového souboru. Ověření náhodnosti čísel je provedeno graficky vykreslením do roviny, kde každá dvě po sobě jdoucí čísla představují souřadnici X a Y, v případě, že jsou čísla skutečně náhodná, tak by se měl prostor rovnoměrně zaplnit a neměla by být pozorovatelná žádná struktura.

#### Výsledky, závěr

Bohužel se nám nepovedlo nastavit diskriminační hladinu tak, abychom úplně odstranili pozadí, které pochází jednak z detekce kosmického záření a jednak z elektronického šumu. Nicméně i o tomto pozadí můžeme předpokládat, že vzniká na základě náhodných procesů. Vygenerovali jsme zhruba 100 000 čísel. Bohužel jsme v těchto číslech při ověřování nalezli viditelné struktury. Abychom vyloučili, že se jedná jen o problém grafického zobrazení počítače, učinili jsme i srovnávací pokus a náš výsledek porovnali se zabudovaným pseudonáhodným generátorem v MS Excel, kde jsme vygenerovali také cca 100 000 čísel. Tato čísla vykazovala méně viditelné struktury a grafický efekt jako hlavní příčinu pozorovaných struktur tedy můžeme vyloučit. Výsledky jsou viditelné na obr. 2 a 3. Dalším vysvětlením tedy může být neplatnost našeho předpokladu o náhodnosti jevů způsobujících vznik pozadí.



Obrázek 2: Rozložení čísel v rovině po generaci na základě rad. rozpadu



Obrázek 3: Rozložení čísel v rovině po generaci v Excelu

# 3. Shrnutí

Podařilo se nám zjistit, jak sestavit generátor náhodných čísel, i jak tato čísla zpracovat a ověřit, náš generátor náhodných čísel však bohužel nefungoval, jak by měl fungovat.

Náš vzorek náhodných čísel totiž vykazoval zřetelné periodické struktury. To si vysvětlujeme tím, že elektronický šum, jenž se nám nepodařilo plně odfiltrovat je zřejmě periodický a značně snižuje náhodnost generovaných bitů.

# Poděkování

Děkujeme Fakultě Jaderné a Fyzikálně Inženýrské Českého Vysokého Učení Technického za možnost účastnit se na týdnu vědy na Jaderce. Zároveň děkujeme panu Janu Rusňákovi za vedení miniprojektu.

# **Reference:**

- [1] KERBEC, J.: Generování náhodných čísel založené na radioaktivním rozpadu, FJFI ČVUT PRAHA.
- [2] HOTOVEC, P. MATOUŠ, P.: *Týden vědy na Jaderce Sborník příspěvků*, FJFI ČVUT PRAHA, 2015, 168-171.

# Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gama

S. Gabrielová Gymnázium Jírovcova, Jírovcova 8, České Budějovice, 371 61, <u>simcagab@seznam.cz</u>

#### Abstrakt:

Nanočástice stříbra mají široké využití ve zdravotnictví i v průmyslu, proto je vhodné se zabývat různými metodami přípravy a proměřování těchto částic. Tato práce se věnuje zejména kondenzačním metodám přípravy pomocí UV a gama záření, dále pomocí urychlených elektronů neboli záření beta. Rozměr a množství částic byly zjišťovány laserovou refraktometrií, UV/VIS spektrometrií a s pomocí elektronového mikroskopu.

# 1 Úvod

Nanočástice jsou takové částice, jejichž alespoň jeden rozměr se pohybuje v rozmezí od 1 do 100 nm. Existuje mnoho metod, jak takovéto částice připravit. [1] Cílem této práce je seznámit s kondenzačními metodami přípravy, které využívají různých druhů záření, a dále s některými metodami zjišťování skutečných rozměrů a množství částic.

# 2 Výroba nanočástic stříbra

#### • Princip

Kondenzační metody přípravy spočívají ve tvorbě částic shlukováním jednotlivých atomů. [2] Tyto částice je poté třeba stabilizovat, neboť vzhledem ke své velikosti mají malý objem a velký povrch (velkou povrchovou energii) [2], k čemuž se využívá například asociativních koloidů. Asociativní koloidy tvoří v roztoku micely o rozměrech do 1000 nm. [3] V případě tvorby nanočástic stříbra se za tímto účelem do roztoku přidává například TRITON-X-100 (na obrázku 1) či BRIJ<sup>TM</sup> L4 (na obrázku 2), který je však oproti prvnímu zmíněnému výrazně méně rozpustný ve vodě. [2] Hydrofobní je v obou případech alkylový konec, hydrofilní je díky přítomnosti kyslíků s volnými elektronovými páry konec druhý. Mírně modifikovaný (pomocí určitých látek obsahujících železo) vodný roztok AgNO<sub>3</sub> se stabilizátorem se za účelem vytvoření nanočástic ozařuje. Účelem záření je za pomoci vody z roztoku redukovat ionty Ag<sup>+</sup>. [1] Redukci je možné provést i chemicky bez využití jakéhokoli záření, ale těmto metodám se věnovat v této práci nebudu. Doba ozařování závisí na koncentraci roztoku, typu záření a dávce, kterou chceme aby roztok obdržel. Od obdržené dávky se odvíjí velikost vzniklých částic, jež závisí také na koncentraci stabilizátoru v roztoku. Před ozářením má roztok žlutavou, béžovou až světle hnědou barvu (závisí na volbě a koncentraci stabilizátoru).





Obr. 1 – TRITON-X-100, n=9-10 [1]

#### • UV ozařování

Při ozařování roztoku UV zářením produkovaným UV-výbojkami dochází k fotolýze vody a redukci  $Ag^+$  na  $Ag^0$ . Při tomto druhu ozařování se mohou tvořit i jiné než kulovité tvary nanočástic, například tyčinkové, roztok poté získává zelenou barvu. [2] Tuto metodu však nelze považovat za příliš vhodnou k průmyslovému využití, neboť po určité době ozařování může dojít k výraznému poklesu tvorby nanostříbra [2], ozařováním se tvoří velké množství tepla, proto je při větší výrobě třeba zajistit chlazení, a odlišné tvary nanočástic nemusí být žádoucí.

#### • Gama ozařování

Gama záření způsobí rozložení vody na více různých komponent, z nichž k redukci stříbra jsou vysoce účinné solvatované elektrony a radikál vodíku. [1] Ozařování gama zářením již tolik tepla neprodukuje, nemusí být tedy nutné chlazení ani v průmyslovém měřítku. Nicméně problémem může být sestavení dostatečně velkého gama zářiče pro průmyslové účely a také doba potřebná k ozáření. Při dávkách do 32 kGy může totiž v důsledku dlouhé doby potřebné k ozáření docházet k tvorbě velkých částic a vytvoření černého sedimentu. [2] Samotný roztok s nanočásticemi kulovitého tvaru má hnědou až černou barvu, záleží na koncentraci.

#### • Beta ozařování

Beta záření lze produkovat lineárním urychlovačem elektronů. K redukci stříbra poslouží stejným způsobem jako záření gama. Roztok také získá totéž zbarvení jako při ozáření pomocí gama záření. Výhodou této metody je vhodnost použití pro laboratorní i průmyslové účely, neboť lze ozařovat najednou poměrně velkou plochu, kudy mohou malé vzorky projíždět, či se tudy může přečerpávat velké množství roztoku. Toto přečerpání je možné udělat pouze jednou anebo cyklicky, kolikrát bude potřeba pro obdržení požadované dávky záření. Přestože se absorbance roztoku po určitém čase snižuje, jedná se o nejvhodnější metodu pro tvorbu nanočástic stříbra. Při dávce 32 kGy vznikají částice požadované nanovelikosti, totiž o průměru  $(12 \pm 2)$  nm. [2]

Na obrázku 3 můžeme pozorovat barevnou změnu roztoku. Byl použit roztok o 0,1 molární koncentraci AgNO<sub>3</sub> se 2% TRITONu-X-100. Roztok číslo 1 je neozářený, zbylé dva roztoky byly ozářeny proudem urychlených elektronů. Roztok číslo 2 obdržel dávku 10 kGy a roztok číslo 3 dávku 40 kGy.



Obr. 3 – Barevná změna roztoku (1- 0 kGy, 2- 10 kGy, 3- 40 kGy)

## 3 Měření velikosti a množství částic stříbra

#### • Laserová difraktometrie

Velikost částic je možné zjišťovat například pomocí laserového difraktometru, totiž zařízení, ve kterém jsou na vzorek poslány dva různoběžné laserové paprsky, které se v roztoku odráží od částic a odražené paprsky jsou poté detekovány přístrojem. Pomocí velikosti difrakčního úhlu, vlnové délky záření a konstant je možné stanovit velikost částic. [2] Tento způsob je však velmi citlivý na chyby měření způsobené například zachycením nežádoucích částic ze vzduchu v roztoku a je velmi důležitá volba správného výpočtu pro danou situaci. Nicméně je touto metodou možné stanovit i kolik částic daných velikostí se nachází v roztoku.

#### • Elektronový mikroskop

Přesnější a věrohodnější metodou je měření velikosti částic pomocí elektronového mikroskopu, který dokáže z blízka vyfotit částice v roztoku na podkladové mřížce. Díky známým rozměrům mřížky je poté snadné určit velikost částic stříbra. Riziko možné nepřesnosti v důsledku nečistot je v porovnání s předchozí metodou menší.

#### • UV/VIS spektrometrie

UV/VIS spektrometr ozařuje vzorek postupně světlem o různých vlnových délkách z ultrafialového a viditelného spektra. Pro měření koncentrace se obvykle využívá změny absorbance ozářeného roztoku vůči neozářenému. Přístroj změří absorbanci roztoku v jednotlivých vlnových délkách. Pomocí toho je možné detekovat téměř výhradně částice stříbra (pokud případné nečistoty v roztoku absorbují světlo o jiných vlnových délkách), které pohlcuje světlo o vlnových délkách přibližně v rozmezí od 405 do 430 nm v závislosti na velikosti částic. [2] K výpočtu koncentrace se poté používá Lambert-Beerův zákon, který platí při rozdílu absorbance (ozářeného vzorku od neozářeného) 0 až 1, proto je nutné vzorky ředit

vodou a koncentraci získanou z Lambert-Beerova zákona poté přepočítat na původní množství. Lambert-Beerův zákon představuje následující rovnici:

A=εcd (1) A zde značí absorbanci, ε je molární absorpční koeficient, c značí koncentraci a d je tloušťka kyvety (dráha, kterou světlo urazilo v kyvetě). [4]

# 4 Shrnutí

Nanočástice stříbra mají díky svým antibakteriálním účinkům široké spektrum použití od ochranných nátěrů proti plísni přes náplasti a ponožky až po léčiva. [2] Také jsou dobrými katalyzátory a mohou být využívány do solárních panelů a baterií. [1] Proto se kladou vysoké nároky na efektivnost, rychlost i cenu výroby. Z těchto hledisek se jako nejvhodnější metoda jeví ozařování urychlenými elektrony. Pro zjišťování rozměrů vzniklých částic je poté nejpřesnější metodou využití elektronového mikroskopu. Ke zjištění množství vzniklých nanočástic je spolehlivou metodou spektrometrie.

# Poděkování

Zvláštní poděkování patří váženému panu doc. Ing. Rostislavovi Silberovi, CSc. za velmi ochotné a detailní vysvětlení dané problematiky, poskytnutí cenných materiálů, seznámení s přístroji a celkové provázení projektem. Tímto bych také chtěla poděkovat studentovi FJFI ČVUT Patrikovi Beckovi za vysvětlení, ukázání a asistenci při práci se spektrometrem.

# **Reference:**

- [1] WANGLE, T. Radiační příprava nanostříbra v micelárních systémech. Praha, 2013. 40 s. Bakalářská práce na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze na katedře Jaderné chemie. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Rostislav Silber, CSc.
- [2] NYKL, P. Kontrolovaná radiační syntéza Ag-nanočástic. Praha, 2015. 45 s. Bakalářská práce na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze na katedře Jaderné chemie. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Rostislav Silber, CSc.
- [3] URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koloid> poslední editace 29.2.2016 [citováno 20.června 2016]
- [4] URL < http://www.wikiskripta.eu/index.php/Lambert-Beer%C5%AFv\_z%C3%A1kon>poslední editace 30.11.2015 [citováno 21.června 2016]

## Optické vlastnosti zlatých nanočástic

Daniel Friedrich, Gymnázium Elišky Krásnohorské

Idaniel.friedrich@gmail.com

Supervisor: Filip Havel

Abstrakt: Práce zkoumá optické vlastnosti zlatých nanočástic a porovnává jejich závislost na jejich tvaru, velikosti a orientaci. Následuje popis pozorování, díky nimž jsme dokázali vizualizovat zlaté nanočástice v nádorových buňkách. V závěru je konzultováno potenciální využití nevšedních optických jevů v mikroskopii a medicíně.

#### 1 Zlaté nanočástice a jejich struktura

Za lidskou historii se dostalo na nejvyšší příčky vzácných kovů ze dvou důvodů: Díky své schopnosti věčně odolávat korozi a jiným chemickým hrozbám a pozornost upoutávající třpytivé barvě. Pozoruhodných optických vlastností zlata si všimli už Čínští a Egypští alchymisté. Když ho rozpouštěním lučavkou královskou přeměnili do roztoků zlatých solí a chemickou redukci, vznikla kapalina se vskutku magickými světelnými vlastnostmi. Lidé ji pili jako Elixír mládí a lili jako rudé barvivo do vitrážního skla. Jedním z unikátních artefaktů doby je i Lykúrgův pohár, který při osvícení propouští červené světlo, ale při osvícení zvenku odráží světlo zelené.

Moderní rozvoj nanotechnologií však odhalil mnoho skrytých principů optiky zlatých částic. Zatímco pokud bychom krájeli zlaté cihly, barva materiálu by se příliš neměnila, v případě pečlivě oddělených částic nanometrových rozměrů vstoupí do hry efekty elektronového obalu částic – charakter světla, které propouští a rozptýlí, závisí na jejich velikosti a vzájemné vzdálenosti.

Ve zlatu, jako v kovu, totiž plují volné elektrony – po excitaci světlem začnou koherentně oscilovat jako jeden elektronový obal – plazmon. A pokud se například dvě zlaté částice přiblíží dostatečně blízko, světlo s jejich spřaženými plazmony interaguje docela jinak.

Dnes takové situace můžeme simulovat – pokud izolované nanočástice zlata necháme narůstat v jednom vybraném směru v krystalické soustavě zlata – zlato vytvoří například podlouhlé útvary - nanotyčinky.

#### 2 Optické vlastnosti zlatých nanočástic

Pro optické vlastnosti kulovitých nanočástic jsou tři faktory – světelná absorpce specifická pro materiál, jíž zachytí částice takovou frekvenci světla, jakou umožňuje vůbec jejich struktura

a plazmonem zesílený rozptyl a absorpce v zelené části spektra. Naproti tomu v nanotyčinkách se zvýrazní ještě efekty vyvolané plazmonem.



Obrázek 1 Absorpční spektrum roztoku zlatých nanotyčinek měřené spektrofotometrem

Plazmon se může rozvibrovat ve dvou příčném (transversálním) směrech: а podélném (longitudálním). Ze spektra absorbují tedy ještě dvě frekvence, které můžeme ve absorpčním grafu pozorovat jako dva píky v zelené (méně výrazný efekt s vrcholem v 514 nm) a červené (výraznější s maximem v 633 nm - viz Obrázek 1). Kromě velikosti a tvaru tak optické vlastnosti ještě ovlivňuje orientace vůči polarizaci

Zároveň pokud necháme částice absorbovat světlo o určité vlnové délce,

můžeme pozorovat rozptyl – excitované atomy vyzáří světlo o stejné vlnové délce, jaké světlo na ně necháme dopadat. Těchto vlastností jsme později využili i při pozorování konfokálním mikroskopem.

#### 3 Příprava zlatých nanotyčinek pro mikroskopické pozorování

užívaného světla.

Diamantovým popisovačem jsme vyznačili střed na podložním mikroskopickém sklíčku a pipetou jsme na něj nanesli roztok zlatých nanotyčinek. Díky kationickému solvatačnímu obalu jsme mohli nechat tyčinky samovolně přichytit ke sklíčku. Pak už jsme sklíčko jen očistili destilovanou vodou a osušili dusíkem.

# 4 Pozorování pod konfokálním a rastrovacím elektronovým mikroskopem

Ve specifických podmínkách jsme následně nechali zlaté nanotyčinky pohltit rakovinnými buňkami HeLa. Zhruba po hodině jsme rakovinné buňky pozorovali pod (optickým) konfokálním mikroskopem Leica TCS SP5.

Konfokální mikroskop (viz Obrázek 2) pracuje jednak se světlem, které pozorovaným) objektem projde (absorbce světla) a jednak s laserovým zářením, které zpětně rozptýlí. Abychom zachytili maximální zpětný rozptyl, použili jsme lasery právě o vlnových délkách 514 a 633 nm.



Obrázek 2 Princip konfokálního mikroskopu

Díky porovnání světla detekovaného transmisním kanálem (světlo, které buňkami prošlo) a kanály detekujícími zpětný rozptyl z laserů bylo možné potvrdit, že se skutečně jedná o zlaté nanotyčinky. Zároveň jsme mohli pozorovat, jak se mění orientace, případně shlukování zlatých nanotyčinek ve vzorku – podle toho, jestli byl intenzivnější signál z rezonance červeného, nebo zeleného světla (Obrázek 3).



Obrázek 3 Porovnání vzorku bez zlatých částic a se zlatými částicemi pod konfokálním mikroskopem

Na závěr jsme výsledky porovnali se snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu Jeol 7500f (Obrázek 4). Kvůli tomu, že plazmon zlatých nanotyčinek může elektrony podle své náhodné orientace neodhadnutelně odchýlit bylo pozorování oproti běžným pozorování organických, nevodivých materiálů mírně zkreslené. Ze získaných dat ale můžeme potvrdit, že obraz odpovídá zlatým nanotyčinkám.



Obrázek 4 Pozorování pod elektronovým rastrovacím mikroskopem ve srovnání s částicemi zobrazenými konfokálním mikroskopem

#### 5 Využití optických vlastností zlatých nanotyčinek

Provedenými pozorováními pod konfokálním mikroskopem jsme mohli alespoň nahlédnout do blízké budoucnosti zlatých nanočástic. Když rakovinné buňky pohltily zlaté nanočástice, simulovali jsme vlastně jednu z možných perspektiv do budoucna – pokud se zlaté nanočástice excitují lasery o daných vlnových délkách, absorpce může vygenerovat takové teplo, že rakovinnou buňku vyřadí z funkce.

Zlaté částice jsou do značné míry biokompatibilní (s lidským imunitním systémem interagují pouze slabě). Pokud by lékař laserem zamířil přímo na nádor, bylo by možné také léčbu cílit přímo na hypocentrum problému. Oproti dnes využívaným metodám tak díky zlatým nanotyčinkám je to potenciálně jedna z cest, jak by mohlo být možné léčit rakovinu cíleně a bez vedlejších příznaků. Celá metoda musí však ještě projít podrobným výzkumem, případně dlouhými klinickými testy.

#### Zdroje:

• *Optimalizace optotermálních vlastností zlatých nanotyčinek* (Filip Havel, diplomová práce, 2013, školitel Filip Novotný)

# Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo

D. Žáček, Gymnázium Christiana Dopplera, Praha <u>davidzacek13@gmail.com</u> D. Hausner, Gymnázium a SOŠ, Plasy <u>daniel.hausner@mensa.cz</u> Š. Malec, SPŠ a VOŠ, Kladno <u>stevemal@seznam.cz</u> N. Kalábová, Friedrich-Schiller Gymnasium, Pirna <u>nikola@kalabova.eu</u>

#### Abstrakt:

Metoda Monte Carlo se využívá k určení obsahu plošných obrazců v případě, že použití běžných integračních metod není možné, nebo je velice komplikované. V miniprojektu jsme si vyzkoušeli metodu Monte Carlo jak u integrovatelných, tak u neintegrovatelných funkcí a obrazců a také tuto metodu porovnali s metodou obdélníkovou a s určitým integrálem, který je vůbec nejpřesnější. Použití Monte Carla se zdá býti velice výhodným, i přes svou časovou náročnost, především u obrazců, kde výše jmenované metody použít nelze.

# 1 Úvod

Obsah jednodušších obrazců lze vypočítat pomocí integrálů. Jednou metodou pro výpočet obsahu složitějších obrazů je obdélníková metoda, ta je na rozdíl od integrování jen omezeně přesná. Další je metoda Monte Carlo, kterou lze použít k výpočtu obsahu jakéhokoliv plošného obrazce a to i u obrazců, kde žádná z výše uvedených metod není možná. Principem je určení střední hodnoty veličiny, která je výsledkem náhodného děje. Vytvoříme počítačový model toho děje a po proběhnutí dostatečného množství simulací zpracujeme data statistickými metodami.

# 2 Metody

#### 2.1 Určitý integrál

Udává obsah plochy, která je ohraničena osou x, grafem funkce f(x) a přímkami x = a a x = b. Určitý integrál značíme  $\int_{a}^{b} f(x) dx$ .

#### 2.2 Obdélníková metoda



Principem obdélníkové metody je konstrukce obdélníků, dotýkající se jedním bodem horní hrany grafu funkce. Všechny obdélníky mají stejnou šířku. Čím užší obdélníky jsou, tím je metoda přesnější.

#### 2.3 Metoda Monte Carlo

Metoda Monte Carlo má širokou možnost využití. Obecně se dá říci, že je možné ji použít všude tam, kde je řešení možné nalézt pomocí mnohokrát opakovaných náhodných pokusů. Tyto problémy lze nalézt ve všech oborech [1], nejen v matematice, ale také v oblasti financí a obchodu, fyzice a fyzikální chemii, ve výpočetní technice a hrách apod.

U plošných obrazců tato metoda funguje na principu ohraničení obrazce útvarem o známém obsahu a následně náhodným generováním bodů a rozlišováním, jestli jsou uvnitř nebo vně obrazce. Obsah obrazce se vypočítá z vztahu [2]

$$I = \frac{P_{uvniir}}{P_{vse}} S_{cele},\tag{1}$$

kde *I* je obsah obrazce,  $P_{uvnitr}$  je počet bodů uvnitř obrazce,  $P_{vse}$  je celkový počet bodů a  $S_{cele}$  je celkový obsah útvaru.

Pro metodu Monte Carlo lze také vypočítat směrodatnou odchylku ze vztahu

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{N}},\tag{2}$$

kde *N* je celkový počet vygenerovaných bodů [1].

### 3 Výsledky

#### 3.1 Výpočet hodnoty $\pi$

Metodu Monte Carlo jsme použili k vypočtení přibližné hodnoty čísla pí, tak že jsme si definovali obrazec  $x^2 + y^2 \le 1$  (kruh s poloměrem r = 1) a pro výpočet vzali v úvahu pouze první kvadrant. Ze vzorce pro obsah kruhu vyplývá

$$\pi = 4S,\tag{3}$$

kde S je obsah našeho čtvrtkruhu.

V jazyce Java jsme napsali program, který náhodně generoval body a určoval, zda se nachází uvnitř útvaru či nikoli. Pomocí vzorců (1) a (3) jsme určili přibližnou hodnotu pí.

Výstup z programu jsme zpracovali v MO Excel (viz tabulka a graf výš) a pozice generovaných bodů je graficky znázorněna na třetím obrázku (z programu Gnuplot). Z grafu je patrné, že se zvyšujícím se počtem generovaných bodů se odchylka zmenšuje a to dle vztahu (2).



Vypoct. Pi
2,4000000
2,8000000
3,1600000
3,1760000
3,1368000
3,1436400
3,1408040
3,1407524

#### 3.2 Výpočet plochy uzavřené křivky



V druhém případě jsme dostali zadaný útvar

 $x^{2} + y^{2} \le (1 + 0, 5 \sin (3 \arctan(\frac{x}{v})))^{2},$ 

kde je použití metody Monte Carlo výhodné. V tomto případě jsme opět vytvořili obdobný program popsaný výše a výstup z něj jsme opět zpracovali v Gnuplotu. Útvar zaujímá 39,14 % ze zobrazené plochy.

#### 3.3 Výpočet plochy pod křivkou

Ve třetím případě jsme porovnávali plochu pod grafem funkce

$$y = \sin^3(x) \cos^2(x)$$

s definičním oborem  $(0,\pi)$  vypočtenou metodou Monte Carlo a obdélníkovou metodou s přesnou hodnotou získanou pomocí určitého integrálu

$$\int_{0} \sin^{3}(x) \cos^{2}(x) \, \mathrm{d}x = \frac{4}{15}.$$

Vytvořili jsme program, který vypočítal obsah obrazce pomocí obdélníkové metody. V tomto programu jsme měnili počet obdélníků a počítali v závislosti na šířce obdélníku odchylku od

skutečného obsahu obrazce. Zjistili jsme, že již při relativně malém počtu obdélníků je odchylka malá a tím pádem je tato metoda docela přesná.



Nakonec jsme vytvořili program, který náhodně generoval body a zbarvoval je podle toho, jestli ležely uvnitř, nebo vně obrazce. V tomto programu jsme měnili počet vygenerovaných čísel a sledovali jsme přesnost určení obsahu obrazce v závislosti na počtu vygenerovaných čísel.

Počet bodů	Vypočtená hodnota	Směrodat. odch	0.2	Contraction of the							
10^0	0.314159	0.331153		Sec. Sec.							
10^1	0.301593	0.097339	0.15								
10^2	0.252584	0.031597		1000							
10^3	0.265088	0.011678		ALC: NO							
10^4	0.267299	0.003314	0.1	CUNNER OF							(
10^5	0.266799	0.000924		Constant of	1						
10^6	0.266670	0.000270	0.05								
10^7	0.266630	0.000128		10000000							
			0	10.00		1237			5612		
				0	0.5	5	1	1.5	2	2.5	3

Zjistili jsme, že při velkém počtu bodů se vypočítaný obsah jen málo odchyluje od skutečného obsahu obrazce.

### 4 Shrnutí

Po vyzkoušení všech tří metod pro výpočet obsahu plošných obrazců jsme došli k závěru, že nejpřesnější metodou je určitý integrál, který ale nelze použít ve všech případech. U obrazců, kde určitý integrál použít nelze, je výhodnější obdélníková metoda, která je při velkém počtu obdélníků velmi přesná a rychlejší než metoda Monte Carlo. U obrazců, ve kterých nelze použít ani určitý integrál, ani obdélníkovou metodu, musíme použít Monte Carlo, která je při velkém počtu náhodně generovaných bodů také velmi přesná, její nevýhodou je však větší časová náročnost.

# 5 Poděkování

Chtěli bychom velice poděkovat FJFI ČVUT za uspořádaný Týden vědy na Jaderce, především Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a celému organizačnímu týmu. Dále pak supervizorovi našeho projektu Ing. Petru Ambrožovi, Ph.D. a všem ostatním osobám a sponzorům, bez kterých by se akce nemohla uskutečnit.

# Reference

- [1] WIKIPEDIA: *Metoda Monte Carlo*, <u>https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\_Monte\_Carlo</u>, [cit. 2016-06-21].
- [2] EDWARDS, D.: *Monte Carlo Integration,* www.cs.utah.edu/~edwards/research/mclutigration.pdf, [cit. 2016-06-21].

# Foton jako 1 nebo 0

Tomáš Husák Gymnázium Litoměřická, Praha tomikhusak@sezna m.cz

Marie Hledíková Gymnázium Velké Meziříčí hledikova@gvm.cz Lukáš Beneda Gymnázium Česká, České Budějovice Beneda.Lukas@sez nam.cz

#### Abstrakt:

V naší práci jsme se seznámili s principem fungování optických vláken a jejich využitím v dnešní době. Naším cílem bylo použít metodu optické reflektometrie k analýze různých typů optických vláken a k zjištění jejich parametrů. Metoda se dále používá při zjištění místa defektu a možnosti její lokalizace. Výsledkem těchto měření bylo zjištění, že každé vlákno má své specifické vlastnosti a tím pádem není vhodné ke všem účelům a zároveň jsme zjistili délky připravených vláken.

# 1 Úvod

V posledních letech se snaží lidstvo urychlit telekomunikaci po celém světě. Zatímco na konci minulého století byli lidé sotva schopni poslat e-mail, nyní vyhodnocujeme dotazy na internetu ve zlomcích vteřin. Tuto možnost nám umožnilo zlepšení kvality optických přenosových tras. Vývoj technologie výroby optických vláken (OF) začal v 60.letech 20.století, kdy se objevily první teoretické studie, avšak tehdejší technické vybavení neumožňovalo jejich kvalitní výrobu. Později za pomoci kvalitnějších a čistších materiálů se podařilo tyto myšlenky převést do praxe. Dnes máme natolik kvalitní výrobu, že tyto telekomunikační trasy již nemají konkurenci. I když tyto trasy jsou velice rychlé a spolehlivé, může dojít k přerušení, avšak díky metodě optické reflektometrie (OTDR) není problém velice přesně určit místo vady vlákna, a tak ji jednoduše opravit.

# 2 Popis vlnovodného principu

#### Optické vlákno

OF je dielektrický válcový světlovod skládající se z jádra a pláště, jejichž rozměry jsou v řádech mikrometrů. Jádrem OF je oxid křemičitý a plášť bývá vyroben z křemenného skla, respektive polymeru. Takto zhotovená struktura využívá k přenosu informace světelné paprsky, které se podle principu totálního odrazu šíří OF. OF se dělí podle materiálu (křemenná, polymerní, hybridní) nebo podle počtu vidů (jednovidová, vícevidová). Vid můžeme popsat jako paprsek vedený jádrem vlákna. Dalším možným dělením je podle profilu indexu lomu na step-indexová a gradientní.



Obr.1 – Rozdělení OF podle profilu indexu lomu [1]

#### Teorie totálního odrazu

Totální odraz světla vzniká na rozhraní dvou prostředí, v případě, že paprsek dopadá z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí ( $n_1 > n_2$ ). Důsledkem tohoto jevu je skutečnost, že energie zůstává v původním prostředí. Matematicky lze tento jev vyjádřit pomocí Snellova zákona.



Obr.2 – Princip šíření světelného paprsku OF na základě principu totálního odrazu [2]

#### OTDR

Metoda se používá ke zjišťování kvality optických přenosových tras. V našem případě jsme pomocí této metody zjišťovali délku a útlum OF. Vzhledem k tomu, že kolmo dopadající paprsek na rozhraní dvou prostředí (vlákno, vzduch) se částečně odráží zpět, můžeme tuto odraženou intenzitu zaznamenávat a určovat časový interval, který uplyne od vyslání a následné registrace tohoto impulzu. Z této znalosti lze měřit délku OF (ze vzdálenosti dvou Fresnelových reflexí), respektive jeho útlum.

#### Výsledky a diskuze

Při našem experimentu jsme použili zařízení mini-OTDR-E6000, 3 typy OF (křemenné jednovidové, křemenné vícevidové a hybridní vícevidové), konektory OF (SMA, FC), svářečku a lámačku OF.

Měřili jsme uvedené typy OF, u kterých jsme určovali jejich délky a útlum. Následně jsme měnili jednotlivé vstupní parametry OTDR jednotky a zjišťovali jsme jejich vliv na výsledný záznam.


Obr.3 – **a** – srovnání jednotlivých délek OF, **b** – vliv délky impulsu na tvar 2. Fresnelovy reflexe, **c** – srovnání průběhu OTDR záznamu pro hybridní OF

Při našem experimentu jsme určili jednotlivé délky OF. Jednovidové vlákno bylo dlouhé 820,35±1,39 m. Hybridní vlákno bylo délky 375,93±0,19 m. U vícevidového vlákna jsme určili délku na 46,5±0,23 m.

Zjistili jsme, že šířka světelného impulsu ovlivňuje tvar 2. Fresnelovy reflexe. Zvolením kratšího impulsu lze docílit větší přesnosti měření ve srovnání s delšími impulsy, avšak na úkor menšího dynamického rozsahu.

Dále se ukázalo, že některá OF jsou vhodná pouze pro určité vlnové délky, což lze demonstrovat neexistencí 2. Fresnelovy reflexe u hybridního OF na Obr.3c.

Vlnová D		Délka	Délka	Útlum	Útlum	
délka	Typ vlákna	impulsu(ns)	vlákna(m)	vlákna(m) vlákna(dB)		
	jednovidové					
850	dlouhé	5	822,3	41,64	50,63845312	
	jednovidové					
1300	dlouhé	5	818,9	27,87	34,03345952	
	jednovidové					
850	dlouhé	100	822,2	32,81	39,90513257	
	jednovidové					
1300	dlouhé	100	819,7	27,13	33,09747469	
	jednovidové					
1300	dlouhé	30	819,1	29,57	36,10059822	
	jednovidové					
1300	dlouhé	300	819,9	26,23	31,99170631	
850	hybridní 200/280	5	375,8	25,81	68,68014902	
850	hybridní 200/280	100	376,2	25,07	66,64008506	
850	hybridní 200/280	30	375,8 26,98		71,79350718	
1300	hybridní 200/280	100	bez reflexe			
	Vícevidové					
850	62,5/125	5	46,5	16,34	351,3978495	
	Vícevidové					
850	62,5/125	100	46,6	18,69	401,0729614	
	Vícevidové					
850	62,5/125	30	46,5	20,28	436,1290323	
	Vícevidové					
1300	62,5/125	5	46,1	9,57	207,5921909	
	Vícevidové					
1300	62,5/125	100	46,8	3,33	71,15384615	

#### Tab 1: Naměřené hodnoty OF při různých parametrech

## 3 Shrnutí

Testovali jsme různé typy OF, jejichž délky byly pro jednovidové vlákno 820,35±1,39 m, pro hybridní vlákno 75,93±0,19 m a pro vícevidové vlákno 46,5±0,23 m. Ověřili jsme, že každý typ OF je vhodné používat pro jiné průmyslové aplikace.

## Poděkování

Závěrem bychom rádi poděkovali Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za organizaci Týdne vědy na Jaderce, dále také našemu supervizorovi Ing. Janu Aubrechtovi za poskytnutí svých znalostí, výpomoc, spolupráci a trpělivost.

# **Reference:**

[1] http://www.earchiv.cz/b05/gifs/b0800209.gif

[2] http://hroch.spseol.cz/~nozka/psk/048-opticka-vlakna-IV/NA.png

[3] MANUÁL E6000 MINI-OTDR USER'S GUIDE Agilent Technologies

## Cesta osvícení, po souši a po vodě

K.Blacha<sup>1</sup>, F. Trajhan<sup>2</sup>, M. Zimmel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Karviná <sup>2</sup>Gymnázium Elišky Krásnohorské, Praha 4, <sup>3</sup>SPŠ Strojní a Elektrotechnická České Budějovice

krystof.blacha@centrum.cz<sup>1</sup>, f.trajhan@seznam.cz<sup>2</sup>, zimmelmarek@gmail.com<sup>3</sup>

#### 1 Úvod

V tomto projektu jsme se zabývali radiací v okolí říčky Ploučnice. Naše měření započalo kousek pod Stráží pod Ralskem, kde jsou z důvodu (již ukončené) těžby uranu měřitelné zajímavé hodnoty. Na vodu jsme vyrazili vybaveni měřicími přístroji Safecast, které zaznamenaly díky společným silám nás a našich mentorů radioaktivitu nejenom na obou březích Ploučnice, ale i v jejím blízkém okolí po pravé straně toku. Po zpracování hodnot spatřily světlo světa zajímavé výsledky.

#### 2 Teoretický základ

#### 2.1 Přirozená radioaktivita

Uran je ve velmi malém množství obsažen v horninách téměř po celé zeměkouli. Jeho záření pak vytváří společně s thoriem, draslíkem a dalšími prvky přirozené pozadí, které je na různých místech (i k sobě navzájem blízkých) rozdílné. Z měření vyplynulo, že obsah uranu je vyšší ve vyvřelých než v usazených horninách. Důkazem toho jest podobnost geologické mapy a mapy přirozeného radiačního pozadí.

Tuto rovnováhu mohou narušit místa s vyšší koncentrací uranu (např. i okolí Stráže pod Ralskem) z nichž protékající toky (nebo pramenící, jako například Ploučnice) vyplavují obohacené kousky hornin, které se usazují v sedimentech na březích řek a jejich blízkém okolí. Z tohoto důvodu je možné i v lokalitách s jinak velice nízkou přírodní radioaktivitou naměřit poměrně zajímavé hodnoty.

#### 2.2 Měření detektorem Safecast

Ionizující záření vznikající při radioaktivní přeměně atomů lze změřit různými detektory, jedním z nejrozšířenějších se stal po havárii v japonské Fukušimě jednoduchý a poměrně levný detektor Safecast, který byl vyvinut právě z důvodu potřeby monitorovat postižené oblasti. Zařízení se skládá z Geiger-Müllerova detektoru, který je ovládán Arduinem. Polohu na mapě zaznamenává GPS modul a výstupy se zapisují na microSD kartu. Detektor je vodotěsný, takže může být používán i v extrémních povětrnostních podmínkách. Vydrží v chodu i za nestandartních teplot. Základem GM detektoru je kondenzátor



Obrázek 1: Použité detektory Safecast

vyplněný plynem s příměsí halogenu. Pokud způsobí částice ionizaci, dojde v plynu k výboji, který detekuje elektronika a zapíše se impulz. Pomocí tohoto detektoru nelze rozpoznat, o jaký typ záření se jedná, nicméně je známo, že přes plastový obal zařízení dokáže projít pouze záření gama a kosmické záření o vysoké energii (např. miony).

#### 3 Vlastní měření

Výchozí bod našeho měření se nacházel 1,5 hodiny cesty od Prahy ve 105 km vzdálených Novinách pod Ralskem. Měření probíhalo na trase dlouhé 8,3 km. Dva ze čtyř detektorů Safecast jsme připevnili k barelům na lodi a namířili je každý směrem k jinému břehu. Na lodích jsme jeli my s RNDr. Lenkou Thinovou. Pěšky, vybaveni rovněž dvěma detektory, šli Bc. Vojtěch Stránský s Bc. Tomášem Svobodou. Díky tomu jsme později mohli porovnat radioaktivitu na vodě a na souši.

Společně jsme vyrazili po proudu a dostávali se skrz úchvatnou krajinu hlubokých pískovcových kaňonů a vyhloubených tunelů, z nichž byly některé i více než 40 m dlouhé, přes vegetací zarostlé divoké přírodní úseky až k širokým údolím s výhledem na zříceninu hradu Ralsko. I když plavba díky peřejím a jezům rychle ubíhala, zůstávali jsme se suchozemskou částí týmu neustále v kontaktu.

Asi v polovině cesty proběhla zastávka u Srního Potoku. Jednalo se o lokalitu luk a lesů. V těchto místech byly již dříve změřeny zvýšené hodnoty radiace, které potvrdilo i naše vlastní měření. Toto místo je patrné i z grafu, jelikož jsme zde naměřili nejvyšší hodnotu 0,229  $\mu$ Sv/h, přičemž průměrná hodnota pozadí v České republice je 0,066  $\mu$ Sv/h, v Praze 0,1  $\mu$ Sv/h.

#### 4 Závěr

Z výsledků jasně vyplývá, že z hlediska množství příjmaného záření je mnohem lepší vyrazit na vodu než jít pěšky po břehu, neboť radiace ze sedimentů na dně řeky je dobře odstíněna vodou. Dále jsme dokázali, že okolí horniny v okolí Ploučnice jsou po bývalé těžbě uranu ještě stále radioaktivnější, než průměr zbytku republiky.



Obrázek 2: Porovnání měření z levého a pravého břehu Ploučnice



Obrázek 3: Porovnání dávkového příkonu radiace na souši a na levém břehu.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervizorovi Bc. Vojtěchovi Stránskému, stejně tak i jeho spolupracovníkům z katedry dozimetrie Bc. Tomášovi Svobodovi a RNDr. Lence



Obrázek 4: Měření vykreslené do mapy společnosti Google

Thinové. Za zapůjčení měřicích přístrojů Safecast děkujeme SÚRO v.v.i. a Katedře dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI ČVUT. V neposlední řadě pak organizátorům Týdne vědy, v čele s Ing. Vojtěchem Svobodou, CSc.

#### Reference

- [1] STRÁNSKÝ Vojtěch SVOBODA Tomáš, Cesta osvícení, po souši a po vodě. http://buon.fjfi.cvut.cz:5002/TV@FJFI/MPs/cesta\_osviceni.pdf. 2016.
- [2] DIAMO státní podnik Stráž pod Ralskem. http://www.diamo.cz/.
- [3] GOOGLE INC. Mapy Google, Mountain View, Kalifornie USA https://google.com/maps/.

## Počítačová grafika: pohled pod pokličku

Jakub Adamík Gymnázium Ústavní, Praha 8 adamik.jakub72@gmail.com

Kristína Szabová Gymnázium Varšavská, Žilina k.szabova98@gmail.com

Petra Štefaníková Gymnázium Olgy Havlové, Ostrava-Poruba stefanikovap@gmail.com

> Marek Tomčiak SPŠE V Úžlabině, Praha 10 marek.tomciak@hotmail.cz

#### Abstrakt:

Práce zaměřena na grafické modelováni 3D scén pomocí programu Blender.

# 1 Úvod

S počítačovou grafikou se setkáváme stále více. V dnešní době je téměř nemožné se vyhnout 2D grafice, která nás obklopuje ze všech stran. Naším úkolem ale bylo seznámit se s méně častou 3D grafikou. Využívá se např. ve tvorbě filmů, vědě, průmyslu, architektuře či designu. V průběhu práce jsme se zajímali o tvorbu scén pomocí počítačového softwaru Blender.

## 2 Modelování 3D přístavu

Prvotní záležitostí bylo vymyšlení scény, kterou budeme modelovat. Dohodli jsme se tedy na tvorbě přístavu s různými loděmi.

## 2.1 Počítačový program Blender

Blender je volně dostupný počítačový software zaměřený na tvoření 3D grafiky nebo animací [1]. Lze v něm modelovat objekty a nastavit jejich materiál, barvu, texturu, lesk a další vlastnosti. Spojením více objektů můžeme vytvořit realistickou scénu.

#### 2.2 Lod'ka

Autor: Kristína Szabová

Loďka byla vymodelována z jednoduchého tvaru – kostky. Přidávání, posouváním nebo otáčení hran a bodů se vytvořil přibližný tvar člunu. Další krok byl zaoblit hrany, aby loďka dosáhla realistického vzhledu. Následovalo vymodelování sedátek a pádla. Na závěr bylo potřebné přidat všemu barvu a pádlo dostalo dřevěnou texturu.

#### 2.3 Jachta

Autor: Petra Štefaníková

Základem vymodelování jachty byla osová souměrnost, díky které byla nejprve vymodelována jedna polovina lodě a zbylá část byla zrcadlena. Jachta se skládá ze samotného trupu a kajuty s okny a byla obohacena o zábradlí vytvořeného z křivky, která byla funkcí *bevel* rozšířena na dutý válec. Jednotlivé části lodi jsou z různých materiálů (např. zábradlí dostalo kovový lesk a okna světelné odlesky).

## 2.4 Motorový člun

Autor: Marek Tomčiak

Výchozím prvkem byla opět krychle. Za pomocí různých operací v Blenderu byla tato kostka postupně přeměněna do podoby motorového člunu. Podobně jako v případě jachty byla využita funkce *zrcadlení*. Nejtěžší částí bylo texturování, při němž bylo nutno využít *UV mapping*, aby ji bylo možno napasovat na člun.

## 2.5 Molo a krajina

Autor: Jakub Adamík

Základem mola byl pouze jeden hranol, na nějž byla aplikována textura dřeva. Celá konstrukce byla vytvořena několikanásobným duplikováním tohoto hranolu a změnou jeho rozměrů. Celá konstrukce byla třikrát poskládána za sebe. Nakonec byly upraveny jednotlivé části konstrukce, aby nebylo molo úplně souměrné. Dostalo realističtější nádech.

Krajina se skládá ze tří částí – moře, slunce a pozadí. Moře je reprezentováno pouze rovinou, jejíž lokální deformace je vytvořena zkombinováním textury šumu a vln. Barva moře vznikla zkombinováním lesklého a matného povrchu. Slunce je konstrukčně zářivá koule. Světelný zdroj, který osvětluje celou scénu, je umístěn před ní. Pozadí je v principu přechod několika barev. Většina těchto operací byla provedená v *Node editoru*, který umožňuje intuitivní manipulaci v grafické podobě.

## 2.6 Sjednocení

Autor: Jakub Adamík a spol.

Všechny vytvořené objekty byly postupně zakomponovány do krajiny. Vytvořili jsme nejprve několik snímků jednotlivých objektů a poté jsme je vhodně rozmístili ve scéně.

## 2.7 Výsledek





# 3 Shrnutí

Za dva dny seznamování se s programem jsme byli schopni splnit náš cíl a naučit se s ním dostatečně pracovat, abychom mohli vytvořit malou scénu přístavu. Miniprojekt nám umožnil nahlédnout pod pokličku tvorby zajímavého umění. Za takto krátkou dobu nebylo možné objevit všechny funkce, které tento software poskytuje, proto se možná budeme tomuto tématu věnovat i nadále.

# Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat našemu supervizorovi Ing. Pavlu Strachotovi, Ph.D., který nám v průběhu celého miniprojektu pomáhal a radil. Také jsme vděčni celému organizátorskému týmu Týdnu vědy na FJFI ČVUT za příležitost vyzkoušet si vědeckou činnost.

## **Reference:**

[1] Blender. URL: https://www.blender.org/ [cit. 2016-06-21].

# Imunoradiometrické stanovení koncentrace hormonu AFP

K. Stefanová, Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové, stefanova.klara97@gmail.com

A. Majchráková, Bilingválne gymnázium M. Hodžu, Sučany, an.majchrakova@gmail.com

K. Čičová, Bilingválne gymnázium, Nové Mesto nad Váhom, katarina.cicova98@gmail.com

H. Loskot, Masarykovo gymnázium, Příbor, hynek.loskot@gypri.cz

J. Dušek, Gymnázium J. S. Machara, Brandýs nad Labem – Stará Boleslav, jindrich.dusek@gbl.cz

#### Abstrakt

Cílem tohoto projektu bylo stanovit koncentraci hormonu AFP v neznámém vzorku pomocí radioimunologické metody IRMA. Hladina koncentrace hormonu AFP v době těhotenství napomáhá k určení zdravého vývoje plodu a u ostatních jedinců může sloužit jako ukazatel rakovinného bujení v těle. Radioimunologické metody se v lékařství velmi často užívají k analýze látek obsažených v krvi, krevním séru nebo mozkomíšním moku.

# 1. Úvod

Radioimunologická analýza je důležitá součást moderní medicíny, která nám pomáhá určit látku a její přítomnost ve vzorku. Mezi výhody při využívání této metody patří například možnost zpracování velkého množství vzorků, protože je potřeba velmi malé množství látky na měření a jednoduchost praktické části měření. Hlavní nevýhodou je možnost nespecifické reakce, protože látka nemusí mít jedinou reakční protilátku.

# 2. Radioimunologické metody

Podstatou těchto metod stanovení je imunochemický princip, který využívá specifickou vazbu mezi látkou (antigen) a protilátkou. Jelikož je tato vazba velice specifická a téměř nezaměnitelná můžeme pomocí těchto postupů přesně určit koncentraci daného antigenu i ve složitých matricích jako je například krev nebo mozkomíšní mok. Při indikaci těchto koncentrací využíváme radionuklid <sup>125</sup>I, jehož velkou výhodou je relativně dlouhý poločas rozpadu (60 dní). Vybavení

k provádění těchto metod je dodáváno komerčně v kitech, které obsahují standardizované vzorky, radionuklid a případně další potřebné chemikálie nebo laboratorní vybavení.

#### IRMA

IRMA je označení pro tzv. imunoradiometrické stanovení. Její velký rozvoj byl umožněn zavedením polystyrenových zkumavek, které jsou potaženy protilátkou. S touto protilátkou následně reaguje antigen, jež je do zkumavky přidán. Poté je do zkumavky přimíchán ještě radioindikátor, který také vytvoří vazbu s antigenem. Tímto vzniká komplex, který je označován jako tzv. sendvič, složený z protilátky, antigenu a radioindikátoru (obr. 1). Tento komplex zůstává na stěnách zkumavky po vymytí a odsátí přebytečného radioindikátoru a následné změření aktivity reprezentuje množství těchto "sendvičových" jednotek, jež následně slouží k určení koncentrace stanovované látky na základě kalibrační přímky.



Obrázek 1: Princip vzniku "sendvičové" jednotky při metodě IRMA [2]

# Alfafetoprotein (AFP)

Alfafetoprotein patří do skupiny glykoproteinů. Je produkován v těle ženy v době těhotenství žloutkovým váčkem a později játry plodu. Jeho největší koncentrace (okolo 3 g/l) se nachází ve fetální plazmě mezi 10. a 13. týdnem těhotenství, s blížícím se termínem porodu jeho koncentrace klesá. Jeho nízké hladiny v krevní plazmě mohou ukazovat trisomii 21 (Downův syndrom) nebo jiná onemocnění plodu jako např. toxémii a toxoplasmosu.

Mírné zvýšení hladiny AFP můžeme také pozorovat u pacientů trpících jaterní cirhózou nebo chronickou hepatitidou. Některá maligní onemocnění (leukemie, melanomy nebo nádory trávicího traktu) se také mohou projevovat zvýšenými hladinami tohoto hormonu. [3]

# 3. Experimentální část

Veškerá příprava probíhala v laminárním boxu. Připravili jsme si osm zkumavek, jež byly pokryté protilátkou, které jsme umístili do stojánku v následujícím pořadí: 5 zkumavek s protilátkou na kalibraci (označeno 0-4), 2 zkumavky označené T a jednu zkumavku s protilátkou na neznámý vzorek (označeno N). Nejprve jsme si vytvořili roztok neznámého vzorku. Vzorek byl ve formě lyofilizátu, jeho rozpuštění bylo provedeno 0,5 ml destilované vody. Do každé ze zkumavek určených ke kalibraci a do zkumavky na neznámý vzorek jsme odpipetovali 50 µl příslušného roztoku. Následně jsme do každé ze zkumavek napipetovali 200 µl radioindikátoru, který obsahoval <sup>125</sup>I. Každá zkumavka byla promíchána na vibračním míchadle, a poté byly všechny

umístěny na třepačku po dobu 45 minut, aby došlo k jejich inkubaci. Po inkubaci jsme odsáli obsah zkumavek, ve zkumavkách s označením T indikátor ponechali. Do odsátých zkumavek jsme napipetovali 2 ml promývacího roztoku a ten poté opět pečlivě odsáli. Následně jsme změřili aktivitu všech zkumavek na scintilačním gama detektoru po dobu jedné minuty a získaná data dále zpracovali pomocí tabulkového programu. Stanovení byla prováděna dvakrát.

# 4. Výsledky a diskuze

Byly proměřeny obě sady vzorků, které dále jsou označovány jako experiment 1 a experiment 2. Každý vzorek byl proměřen celkem třikrát a při zpracování výsledku byla využita průměrná hodnota aktivity. Průměrné hodnoty aktivit jsou uvedeny v tabulce 1.

a vzorku s neznámou aktivitou						
Koncentrace	Aktivita	Aktivita				
[IU/ml]	experimentu	experimentu				
	č. 1 [imp/s]	č. 2 [imp/s]				
0	29,7	21,3				
4,9	42	32				
20,4	57,7	73				
90,0	204	189,3				
218,0	279,3	267,3				
Neznámá	207,3	195,7				

Tabulka 1: Aktivity standardizovaných vzorků



Obrázek 2: Závislost aktivity vzorku na koncentraci hormonu AFP

Hodnoty aktivit u standardizovaných vzorků byly vyneseny do grafu s tím, že vzorek s nulovou koncentrací byl uvažován jako pozadí a od naměřených hodnot byl odečten. Pro linearizaci kalibrační křivky byly hodnoty koncentrace vyneseny ve formě přirozeného logaritmu. Jednotlivé body byly proloženy kalibrační křivkou, jejíž rovnice nám umožnila určit koncentraci u neznámého vzorku. Výsledky vynesené do grafu spolu s kalibrační křivkou jsou uvedeny na obrázku 2.

Přímkou byly proložené zlogaritmované hodnoty, což znamená, že dopočítávání výsledné koncentrace neznámého vzorku, musíme do rovnice dosadit zlogaritmovanou hodnotu aktivity za y a získanou hodnotu podle vztahu  $c = e^x$  převedeme na koncentraci c. V tabulce 2 jsou uvedeny rovnice kalibračních křivek a koncentrace hormonu v neznámém vzorku, které jsme dopočítali pomocí rovnic kalibračních křivek.

	Experiment 1	Experiment 2		
Rovnice kalibrační křivky	y = 0,8512x + 1,0472	y = 0,8339x + 1,2156		
Koncentrace neznámého vzorku	88,6	86,9		
[UI/ml]				

Tabulka 2: Rovnice kalibračních křivek a koncentrace AFP v neznámém vzorku

Při porovnání obou výsledků mezi sebou dojdeme k zjištění, že se stanovené koncentrace mírně liší. Tento jev je způsoben nepřesnostmi při manipulaci s látky, zejména poté při pipetování. Při porovnání průměru obou hodnot (87,75 UI/mI) a výsledku uvedené v návodu (63,6-107 UI/mI) zjišťujeme, že námi získaná hodnota je obsažena v intervalu možných hodnot, tudíž stanovení byla provedena správně. Rozdílné hodnoty u dílčích výsledků byly pravděpodobně způsobeny nepřesným pipetováním a nedostatečným výplachem zkumavek.

# 5. Závěr

Námi zjištěná koncentrace neznámého výsledku činila 87,75 UI/ml, což se shoduje s výsledkem uvedeným v návodu a z tohoto důvodu lze naše měření považovat za správné. Koncentrace neznámého vzorku je obsažena v návodu, protože neznámý vzorek slouží v laboratořích k ověření správnosti vytvořené kalibrační křivky.

# Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat naší supervizorce Ing. Ekaterině Kuklevě za obětavou pomoc a cenné rady k našemu miniprojektu. Dále bychom chtěli poděkovat všem organizátorům TV@J v čele s Ing. Vojtěchem Svobodou, CSc. za vynaložené úsilí k přípravě TV@J a FJFI ČVUT za poskytnutí prostor a vybavení.

# Reference

[1] Návod k úloze vypracovaný na FJFI

[2] Postgraduální medicína: Laboratorní metody v gynekologické endokrinologii, [cit. 21-06-2016] Dostupné z URL: http://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/laboratornimetody-v-gynekologicke-endokrinologii-140508

[3] Wikipedia- free encyklopedia: Alpha-fetoprotein [cit. 21-06-2016] Dostupné z URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha-fetoprotein

# Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

M. Vohralík – vohralik.m@email.cz
 Gymnázium Dr. Emila Holuba, Holice
 D. Horák – dombas1999@gmail.com
 Reálné Gymnázium a základní škola města Prostějova
 O. Kupka – olda.kupka@seznam.cz
 Gymnázium a Střední odborná škola zdravotnická a ekonomická Vyškov

#### Abstrakt:

Cílem našeho projektu bylo seznámení se s druhy radioaktivního záření, jeho základními vlastnostmi, principy jeho detekce a následné využití nově nabytých znalostí v praxi. Byly provedeny 3 pokusy: měření  $\alpha$  částic za pomoci polovodičového detektoru a <sup>241</sup>Am, měření zeslabení  $\gamma$  záření různými materiály za pomoci plynového detektoru a <sup>137</sup>Cs a stínění neutronů polyetylenem, polyetylenem s borem a olovem.

# 1. Úvod

Radioaktivní záření je doprovodný děj při přeměně nestabilních jader na stabilnější jádra a má 2 podoby; částicovou – tedy proud nabitých částic jako např. elektrony, pozitrony, protony, jádra <sup>4</sup>/<sub>2</sub>He a větší atomová jádra než helium a 2. podobu elektromagnetické povahy, kterou představuje proud vysokoenergetických fotonů. Radioaktivní záření doprovází mnoho oborů lidské působnosti a neboť má jak nežádoucí, tak žádoucí vlivy na organismy, v současné době existuje mnoho způsobů, jak měřit jeho parametry. Právě metody detekce radioaktivního záření byly náplní našeho projektu. Měření jsme prováděli za asistence Ing. Miloše Tichého CSc. na Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze v areálu MFF UK v Troji.

#### 2. Teorie

#### Radioaktivita

Radioaktivita je samovolný děj, při kterém dochází k přeměně nestabilních jader na stabilnější jádra jiných prvků. Za stabilní jádra obecně považujeme jádra, u kterých platí poměr  $\frac{A}{z} > 2$ . Z těchto jader se v přírodě vyskytuje zhruba 250-290 nuklidů 92 prvků. Největším stabilním prvkem je <sup>209</sup>Pb. Rozlišujeme 2 hlavní kategorie radioaktivního záření na základě jeho vlnově-částicové povahy.

#### Druhy radioaktivních záření

- Částicové
  - $\circ$  Záření  $\alpha$

Toto záření tvoří proud heliových jader  ${}_{2}^{4}He$ , kdy přebytečná energie mateřského jádra se rozdělí mezi hmotu  $\alpha$ -částice, kinetickou energii  $\alpha$ -částice a dceřiného jádra a doprovodné  $\gamma$  záření vzniklé deexcitací jádra, přičemž  $\alpha$ -částice a  $\gamma$  záření mohou mít různou energii.

Záření β

Toto záření s vyšší pronikavostí, než záření  $\alpha$  je tvořeno elektrony a pozitrony (antičástice elektronu), přičemž energie mateřského jádra se přemění na hmotu  $\beta$  částice, kinetickou energii  $\beta$  částice a neutrina a energii doprovodného  $\gamma$  záření vzniklého deexcitací jádra.

Neutronové záření

Neutrony se uvolňují při štěpení, kdy mateřské jádro se rozpadne na 2 kusy a uvolní se určitý počet neutronů závisející na prvcích účastnících se reakce. Neutron však může vzniknout ještě dalšími způsoby: tříštěním (rozbitím jádra na více částí, uvolní se velké množství neutronů), vyražením z jádra nabitou částicí o dostatečné energií ( $p^+$ ,  $\alpha$ , foton). Uvolnění neutronů provází  $\beta$  rozpad.

γ záření

Toto záření tvoří proud vysokoenergetických fotonů, uplatňuje se zde vlnověkorpuskulární dualismus, záření  $\gamma$  proto můžeme chápat jako vlnu, proto z pohledu elektromagnetického záření zaujímá jen tenkou část spektra. Přebytek energie mateřského jádra se v tomto případě vyzáří zejména v podobě elektromagnetického záření o vysoké frekvenci, avšak  $\gamma$  záření doprovází také  $\alpha$  a  $\beta$  rozpad.

#### Typy detektorů radioaktivního záření

Existuje velká řada principů, na základě kterých fungují různé detektory. Nejčastěji fungují na principu pozorování výsledku interakce záření s hmotou.

- **Plynové** využívají ionizace plynu, jeho následné vybití na elektrodách a změření velikosti náboje.
- Scintilační pracují na principu fluorescence a detekce světelného záblesku vzniklého po průchodu záření luminoforem.
- **Polovodičové** detektor tvoří polovodičová dioda zapojená v závěrném stavu, radioaktivní záření způsobí excitaci elektronu, který projde zakázaný pás a putuje k anodě (vznikne průraz v závěrném stavu)
- Fotografická detekce detektor tvoří konvenční fotografický film, ve kterém se ze sloučeniny AgBr působením radioaktivního záření uvolní čisté stříbro. Výhodou tohoto detektoru je velice nízká cena a schopnost detekovat i nízkoenergetické záření – proto se používá ve fotoaparátech a v medicíně - rentgenologii. Hustota čistého stříbra ve filmu po expozici odpovídá intenzitě záření.

#### Ochrana před radioaktivním zářením

V lidském organismu způsobí radioaktivní záření excitací jádra zasaženého atomu ztrátu specifických vlastností zasažených molekul uvnitř buněk – např. DNA a následně porušení důležitých procesů uvnitř buněk – např. proteosyntézy. Takto poškozené buňky zanikají.

Z těchto důvodů je důležité se před tímto zářením chránit. Způsoby se liší dle druhů záření:

• Ochrana před zářením α

Ochrana před tímto zářením je nejjednodušší, k odstínění postačuje velice tenká vrstva papíru či plastu. Ochranu tvoří samotná vrstva vzduchu, neboť pronikavost  $\alpha$  záření s nejvyšší energií dosahuje max. desítek centimetrů. Z tohoto důvodu nepředstavuje vnější ozáření závažný problém pro lidský organismus, větší problém hrozí po konzumaci  $\alpha$  zářiče.

• Ochrana před zářením β

Záření  $\beta$  lze též snadno odstínit lehkými materiály jako např. plasty – plexisklem o tloušť ce cca 5-10 mm.

#### • Ochrana před zářením y

Záření γ představuje závažnější problém pro lidský organismus, lze jej odstínit materiály s velkou hustotou jako např. olovem či speciální směsí betonu.

• Ochrana před neutronovým zářením

Neutronové záření představuje nejzávažnější riziko. Toto riziko vychází z faktu, že neutronové částice mají velkou kinetickou energii, lze je pouze zpomalit odrážením od jader lehkých prvků, čímž ztrácejí energii. Proto se jako ochrana nabízejí prvky jako vodík, a jeho sloučeniny (H<sub>2</sub>O), skvělým absorbérem je však také bór. Brzdný materiál nesmí podléhat štěpení, což by vedlo k nežádoucí produkci záření γ.

#### 3. Měření

V rámci našeho projektu jsme provedli celkem 3 experimenty, během nichž jsme zjišťovali odlišné parametry různých druhů záření. Prvním experimentem bylo měření doletu  $\alpha$  částic ve vzduchu za pomoci polovodičového detektoru. Druhým experimentem bylo měření pronikavosti  $\gamma$  záření různými vrstvami materiálů o různé hustotě a třetím experimentem bylo měření stínící schopnosti neutronového záření různých materiálů jako olovo, polyetylen, polyetylen s borem.

#### Měření doletu α částic ve vzduchu

Cílem tohoto experimentu bylo měřit počet částic, které za stanovený časový úsek překonají vrstvu vzduchu od zdroje a dopadnou na detektor. Zdrojem  $\alpha$  záření byl izotop<sup>241</sup>Am s poločasem rozpadu 432,6 let. Vzorek tohoto izotopu naneseného na tenkém plechu byl umístěn v trubici společně s polovodičovým detektorem, který bylo možno pomocí šroubovacího mechanismu přesně oddalovat a přibližovat ke snímači. Měřili jsme amplitudová spektra z polovodičového detektoru. Měření jsme prováděli pro každou vzdálenost po dobu 10 minut. Výsledkem měření byl graf č. 1:



Následně byla vypočtena plocha pod křivkou pro každou a z těchto hodnot byl sestaven graf č. 2:



Graf 2

Díky funkci programu MS Office Excel byla vytvořena spojnice trendu a na ni nalezen bod inflexe – tedy bod, kde se mění křivka z konkávní na konvexní. Z tohoto bodu byla stažena kolmice na osu x a odečtena hodnota **41** mm (viz. graf č. 2). Podle hodnoty vypočtené z Geigerova vztahu dle přesných hodnot na internetu (**40 mm**) se náš výsledek liší pouze o 1 mm.

#### Měření zeslabení y záření různými materiály o různé tloušťce

Tento experiment měl za cíl změřit vlivy různých materiálů na zeslabení  $\gamma$  záření. Těmito materiály byly různě tenké vrstvy hliníkových, olověných a měděných vrstev umisťované mezi zářič <sup>137</sup>Cs a plynový (Geigerův-Müllerův) čítač. Nejlepších parametrů dosáhlo olovo.viz. grafy:





#### Stínění neutronů

Cílem tohoto experimentu bylo změřit útlumové účinky olověných cihel, polyetylénových bloků a bloků ze směsi polyetylenu a boru.





Z tohoto grafu lze pozorovat, že nejlepšími stínícími účinky disponuje kombinace polyetylenu a boru, která snižuje neutronový tok téměř na minimum při vrstvě 160 mm. Zároveň lze pozorovat, že olovo má na zpomalení neutronů jen malý vliv, lepších parametrů dosahuje i čistý polyetylen.

## Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali ČVUT za poskytnutí prostor, vybavení, jmenovitě pak garantovi Ing. Miloši Tichému CSc. z Katedry jaderných reaktorů FJFI ČVUT za ochotu, obětavou spolupráci, poskytnutí materiálů a odbornou asistenci při práci na našem projektu, dále pak panu Ing. Filipovi Fejtovi za poutavou exkurzi na reaktoru Vrabec VR-1 a v neposlední řadě celému organizačnímu týmu Týdne vědy.

## 4. Reference:

- <u>http://www.wikiskripta.eu/index.php/Ochrana\_p%C5%99ed\_%C5%A1kodliv%C</u> <u>3%BDmi\_%C3%BA%C4%8Dinky\_radioaktivn%C3%ADho\_z%C3%A1%C5%9</u> <u>9en%C3%AD</u>
- Ing. Miloš Tichý CSc. prezentace "Úvod do radioaktivity"
- <u>https://cs.wikipedia.org/wiki/Radioaktivita</u>

## Narušování symetrie v laserovém rezonátoru

František Helebrand Gymnázium Benešov, Husova 470 fhelebrand@gmail.com

#### Abstrakt:

V tomto miniprojektu mi byl poskytnut pevnolátkový laser. Díky manipulacím s polopropustným zrcadlem jsem byl schopen rozlaďovat rezonátor. Poté jsem dokázal určit jednotlivé módy, vypočítat jejich rozbíhavost a následně vše zaznamenat do grafu.

# 1 Úvod

V rámci miniprojektu jsem pracoval s pevnolátkovým laserem, který se skládá ze tří hlavních částí: rezonátor, aktivní prostředí a čerpání. V mé práci jsem se zaměřil na manipulaci s polopropustným zrcadlem a díky tomu jsem mohl vytvářet vyšší stupně tzv. módů (příčné rozložení intenzity elektromagnetického pole, které se po obou odrazech promítne samo na sebe). Na základě těchto poznatků jsem vypočítal rozbíhavost paprsku a závislost úhlu náklonu na stupni výsledného módu.

## 2 Měření

#### Aparatura

Na tento experiment jsem měl možnost pracovat s aparaturou laseru Nd:YAG (neodym v matrici yttrium-hlinitý granát), která se skládá z:

1. Laserová dioda

Jako zdroj budícího záření jsem použil konstantně svítící laserovou diodu o vlnové délce  $\lambda$ = 804nm, která byla po celou dobu chlazena vodou na 12°C.

2. <u>Čočky</u>

K nasměrování paprsku generovaného z laserové diody na krystal byla požita dvojice čoček s ohniskovými vzdálenostmi  $f_1$ =6mm,  $f_2$ =60mm.

3. <u>Aktivní prostředí</u>

Bylo vytvořeno z Nd:YAG krystalu, kde poměr neodymu k yttriu-hlinitému granátu je asi 1:1000. Krystal je vytvarován do válečku, jeho zadní (na obrázku vlevo) podstava je zcela propustná pro budící záření, ale zcela odrazná pro generované záření, jehož vlnová délka je  $\lambda$ =1064nm

#### 4. <u>Polopropustné zrcadlo</u>

Pro vytvoření stabilního rezonátoru laseru jsem použil konvexní polopropustné zrcadlo s poloměrem křivosti r=100mm. Odrazivost zrcadla byla R>99,98%.

#### <u>CCD kamera</u> K zaznamenávání infračerveného záření jsem použil křemíkovou kameru. Objektiv měl zvětšení 50. Kamera byla po celou dobu měření nechlazená a byl na ni pomocí vosku přidán filtr RG-1000, který propouštěl jen vlny o vlnové délce λ>1000nm. Rozlišení bylo 720x576px.

6. <u>Stínítko</u>

Stínítko, na které byl promítán laserový svazek, bylo vyrobeno z normálního kancelářského papíru a bylo umístěno ve vzdálenosti 1m.



#### Závislost rozbíhavosti na stupni módu

V měření jsem počítal rozptýlení paprsku laseru při módech 1, 2, 3, 5. Měřil jsem příčné rozložení intenzity elektromagnetického pole, které se po obou odrazech promítne samo na sebe nejdříve ze vzdálenosti 1m a poté ze vzdálenosti 0,5m. Z grafu plyne, že čím je stupeň módu vyšší tím se zvětšuje i rozbíhavost laserového svazku, trend závislosti je přibližně logaritmický.



Mod00 (1. Stupeň)

3D rozložení intenzity





Mod3





Mod22



Všechny snímky módové struktury jsou ve stejném měřítku.

# 3 Závěr

Vypozoroval jsem, že rozbíhavost laserového paprsku závidí na stupni módu. Graf závislosti se podobá křivce logaritmu. Následně jsem mohl díky manipulaci s polopropustným zrcadlem vytvářet módy vyšších stupňů. Změřil jsem úhel naklonění výstupního zrcadla rezonátoru nutný pro rozladění ze základního stupně na první vyšší (2. mód), potřebný úhel byl 0,8 mrad. Seznámil jsem se s principem laserového rezonátoru, prakticky jsem si vyzkoušel jeho nastavování a zjistil jsem, že i malé naklonění může ve výsledku změnit svazek laseru.

# Poděkování

Na závěr bych rád poděkoval ing. Josefu Blažejovi, PhD. za jeho pomoc, trpělivost a soustavné vedení po dobu celého miniprojektu.

Také bych rád poděkoval organizátorům TV@J za prostředky a jedinečnou možnost zúčastnit se vědeckého bádání.

## **Reference:**

[1] SALEH, B. – TEICH, M.: ZÁKLADY FOTONIKY 1 matfyzpress 1994 pp. 110-114

#### Rentgenofluorescenční analýza

K. Šůsová, Gymnázium Rokycany Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT (karol.susova@gmail.com)

#### Abstrakt:

Rentgenofluorescenční analýza patří mezi nejpoužívanější metody, využívá se k zjištění prvkového složení vzorků. Cílem bylo seznámit se s metodou a naučit se ji používat k měření kvalitativního a kvantitativního prvkového složení vzorku. Dále jsme měli ověřit pravost dvacetikorunové mince a výsledky porovnat s údaji České národní banky.

## 1 Úvod

Rentgenofluorescenční analýza je nedestruktivní metoda založená na fotoelektrickém jevu. Letící foton (budící částice) narazí do elektronového obalu atomu, v němž je pohlcen elektronem. Následně dochází k ionizování atomu a je-li předaná kinetická energie větší než vazebná, vyletí elektron z obalu atomu. Na uvolněné místo přejde jiný elektron z vyšší vrstvy, přičemž se vyzáří světlo určené rozdílem energií daných vrstev. Detektorem zachytíme toto charakteristické záření a změříme jeho energii. Pro každý prvek jsou v tabulkách uvedeny hodnoty rozdílů energetických hladin, podle kterých můžeme určit jednotlivé prvky.



Pomocí rentgenofluorescenční analýzy můžeme určit prvkové složení jakýchkoliv předmětů, které obsahují kovy. V této práci jsme zkoumali složení zlaté náušnice a dvacetikorunové mince.

#### 2 Měření

Pro měření byla použita aparatura, která se skládá z rentgenky a detektoru (zaznamenává počet impulzů a jejich energii). Před každým měřením musíme provést energetickou kalibraci naměřených spekter.

#### Energetická kalibrace

K provedení energetické kalibrace se používá kalibrační destička se známým složením prvků. Naměřené spektrum porovnáme s tabulkovými hodnotami energií. Získáme vztah mezi energií a kanálem, který představuje kalibrační křivka. V našem případě se jedná o křivku popsanou rovnicí ve tvaru: y = 0,305x - 0,1082, kde y je energie a x je číslo kanálu.

Po kalibraci jsme identifikovali prvky obsažené v neznámém vzorku (náušnice z bílého zlata). Energii naměřených píků  $K\alpha$  jsme porovnávali s hodnotami v tabulkách a postupně určovali konkrétní prvky. V náušnici jsme naměřili zlato, měď, stříbro, nikl a rhodium, které se používá k povrchové úpravě bílého zlata. Také jsme naměřili zirkonium, které je obsaženo v zirkonech. Naměřené spektrum můžete vidět na obrázku 3.



#### Kvantitativní kalibrace

Kvantitativní kalibrace se používá pro zjištění množství konkrétního prvku přítomného ve vzorku. Měřili jsme obsah mědi a zinku v dvacetikoruně (rok výroby 2015) a naměřené výsledky jsme porovnali s hodnotami uvedenými Českou národní bankou. K měření jsme využili mosazné standardy se známým prvkovým složením mědi a zinku. Nejprve jsme naměřili plochy píků u mosazných standardů a potom u dvacetikoruny. Vytvořili jsme vztah mezi poměrem Cu/Zn ploch naměřených píků a jejich procentuálním zastoupením. Poměry jsme znázornili do grafu a proložením těchto bodů křivkou jsme určili rovnici pro kvantitativní kalibraci ve tvaru:  $y = -0,0364x^2 + 0,8867x + 0,1012$ , kde y poměr procent obsahu Cu/Zn a x poměr ploch píků Cu/Zn.

Pomocí této rovnice jsme vypočítali procentuální zastoupení mědi a zinku ve zkoumané dvacetikoruně. Měřením jsme zjistili, že dvacetikoruna obsahuje 69,2 % mědi a 30,8 % zinku. Na webových stránkách České národní banky jsme našli procentuální prvkové složení dvacetikoruny. Výrobce uvádí, že mince (vyráběny od roku 2012) jsou galvanicky pokovené slitinou mědi a zinku v poměru 70:30.

# 3 Závěr

Během projektu jsem se seznámila s novými měřícími metodami a vyzkoušela jsem si práci v laboratořích na FJFI. Naměřili jsme několik předmětů například zlatou náušnici, spínací špendlík nebo mince z ciziny. Měřením zlaté náušnice jsme zjistili, že kromě zlata obsahuje také stříbro, měď a již zmíněné rhodium. Dále jsme změřili krystaly na náušnici, které obsahovali zirkonium a stopové množství ytria.

Kvantitativní kalibrací jsme měřili obsah mědi a zinku v dvacetikorunové minci. Měřením se nám podařili prokázat, že se jedná o pravou dvacetikorunu. Procentuální zastoupení se nám podařilo naměřit s jednoprocentní chybou.

# Poděkování

Ráda bych poděkovala organizátorům Týdne vědy na FJFI a vedení Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za pořádání skvělé akce pro studenty. Velké poděkování patří hlavnímu organizátorovi Týdne vědy Vojtěchu Svobodovi a supervizorovi miniprojektu Jiřímu Martinčíkovi.

# **Reference:**

Materiály připravené pro akci Týden vědy

Česká národní banka 20 Kč [online]. Dostupný z webu: https://www.cnb.cz/cs/platidla/mince/mince\_20czk.html

## Vliv vrubů a teploty na únosnost konstrukcí

Jaroslav Seifrt<sup>1</sup>, Kateřina Skybová<sup>2</sup>, Vít Kubáň<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Jiřího z Poděbrad, Poděbrady; seifrtml@live.com
<sup>2</sup>Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové; kata.skybova@seznam.cz
<sup>3</sup>Masarykovo gymnázium Příbor, Příbor; vit.kuban@gypri.cz

#### Abstrakt:

Práce se zabývá vlivem vrubů a teploty na únosnost materiálů. Toto jsme zkoumali pomocí Charpyho zkoušky vrubové houževnatosti a tahové zkoušky hladkých a vrubovaných těles. Vrubový účinek lze vyjádřit součinitelem koncentrace napětí  $\alpha$ . Podařilo se prokázat, že se zvětšujícím se  $\alpha$  se snižuje odolnost tělesa v tahu.

# 1 Úvod

V konstrukcích existuje mnoho koncentrátorů napětí, jako vruby, trhliny, nýty, svary a rohy. Na těchto koncentrátorech se hromadí napětí a snižuje se únosnost materiálu. Existuje několik způsobů jak problém řešit, a to je vhodný výběr materiálu, vhodný návrh konstrukce, pravidelné inspekce, správný chod a různé úpravy. Například využití lepidla při lepení součástek místo sváření nebo nýtování. Velmi důležitou roli hraje i teplota, která ovlivňuje houževnatost materiálů. Křehnutí podchlazených ocelí je velmi známý jev, představuje závažný problém v mnoha oblastech konstruktérské praxe [1].

#### 2 Metody

Metoda pro studium křehnutí materiálu byla použita Charpyho zkouška vrubové houževnatosti (Obr. 1). Houževnatost materiálu je schopnost absorbovat energii plastickou deformací. Na Charpyho zkoušku byla použita tělesa z konstrukční oceli třídy 11 s rozměry 10 mm x 10 mm x 55 mm s V vrubem hloubky 2 mm a otvorem umožňujícím měření teploty. Pro měření teploty jsme použili termočlánek. Chlazení materiálu probíhalo ponořením do tekutého dusíku. Ohřev ponořením do teplé vody. Cílem je určit přechodovou teplotu tělesa  $T_{HKL}$ , při níž materiál přestává být houževnatý a mění se na křehký.

Další metodou byla tahová zkouška. Byla použita Trhačka, která deformovala těleso tahem (Obr. 2). Zařízení měří sílu F a posuv u. Hladké těleso bylo upevněno do čelistí a cílem bylo změřit mez kluzu  $\sigma_k$ , mez pevnosti  $\sigma_m$  a tažnost A. Napětí v tělese o průřezu S se vypočítá podle vztahu

$$\sigma = \frac{F}{S}.$$
 (1)



Obr. 1: Charpyho kladivo.

Obr. 2: Hladký vzorek v trhačce; zaškrcený krček.

Měrné prodloužení (deformace) se vypočítá

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0},\tag{2}$$

kde *l* je délka měrné části tělesa. Pro jednoduchost bylo bráno l = u. Ze vztahu (2) plyne

$$A = \frac{l_f - l_0}{l_0},$$
 (3)

kde l<sub>f</sub> je délka měrné části tělesa v deformovaném stavu.

V okolí vrubu dochází ke koncentraci napětí [2]. Velikost koncentrace napětí charakterizuje tzv. součinitel koncentrace napětí  $\alpha$ . Je definován vztahem

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma}, \qquad (4)$$

kde  $\sigma_{max}$  je maximální napětí před čelem vrubu a  $\sigma$  je napětí v tělese bez vrubu [2]. Pro těleso s jednostranným bočním vrubem nebo oboustranným bočním vrubem platí

$$\alpha = 2,7357 \cdot \left(\frac{a}{\rho}\right)^{0,4358},\tag{5}$$

Kde *a* je hloubka vrubu a  $\varrho$  je poloměr zakřivení dna vrubu [2]. Pro středový eliptický otvor platí vztah [2]

$$\alpha = 1 + 2 \cdot \left(\frac{a}{\rho}\right)^{0.5},\tag{6}$$

pro speciální případ eliptického otvoru, kdy  $a = \rho$ , což je kruhový otvor, vychází  $\alpha = 3$ .

## 3 Výsledky

Na Obr. 3 lze vidět závislost absorbované energie na teplotě materiálu. Naměřené body byly proloženy funkcí arkustangens [3] (Obr. 3). Přechodová teplota  $T_{HKL}$  vyšla přibližně 31 °C. Na Obr. 4 jsou vidět výsledky tahové zkoušky pro nezmražený vzorek oceli. Mez kluzu vyšla rovna 350 MPa a mez pevnost 387 MPa. Na začátku grafu lze pozorovat pružnou deformaci až k mezi kluzu a od ní plastickou deformaci. Byla změřena délka měrné části tělesa po zkoušce  $l_f$  a pomocí vztahu (3) byla vypočtena tažnost materiálu 28 %. Z toho vyplývá, že zkoušená ocel je velice dobře tvárná a houževnatá.



Obr. 3: Závislost absorbované energie na teplotě materiálu oceli 11370. Lze pozorovat neporušený vzorek a podobu porušených těles v závislosti na teplotě.



Obr. 4: Závislost napětí  $\sigma$  na poměrném prodloužení  $\epsilon$ . Je vidět vzorek přetržený při pokojové teplotě a veliká kontrakce materiálu v okolí lomu.

Tab. 1 Rozměry tahových těles, geometrie vrubů a výsledky.  $W = šířka tělesa, a = hloubka vrubu, b = tloušťka tělesa, <math>S_n = zbývající nosný průřez, l_0 = délka měrné části, a = součinitel koncentrace napětí, <math>\sigma_m = mez pevnosti$ .

těleso	popis	geom.	W [mm]	a [mm]	<i>b</i> [mm]	$S_n [\text{mm}^2]$	$l_{\theta}$ [mm]	α [-]	$\sigma_m$ [MPa]
T1	hladké		20.0	-	3.8	76	70	1.0	387
T2	2x vrub mělký		20.2	2x 2,4	3.8	58	70	9.2	387
T3	2x vrub hluboký		20.0	2x 4,7	3.8	40	70	12.2	244
T4	1 x vrub hluboký		20.0	15.2	3.8	18	70	20.5	18
T5	kruhový otvor	0	20.3	10.0	3.8	39	70	3.0	497

Na Obr. 5 jsou výsledky tahové zkoušky podchlazených a různě uměle před-poškozených vzorků. Z naměřených hodnot byly vyhodnoceny maximální hodnoty napětí  $\sigma$  tedy meze pevnosti. Rozměry těles, meze pevnosti a součinitele koncentrace napětí  $\alpha$  jsou uvedeny v Tab. 1. Potvrdilo se, že s rostoucím  $\alpha$  klesá zatížení, které dokáže těleso vydržet. Z porovnání tělesa T3 a T5 jasně plyne, že geometrie vrubu má značný vliv na únosnost (2násobné zatížení při stejném průřezu). Z porovnání výsledků vrubovaných těles plyne, že z důvodu zkřehnutí materiálu se zvýšila pevnost v porovnání s hladkým tělesem.



Obr. 5: Závislosti napětí  $\sigma$  na poměrném prodloužení  $\epsilon$  podchlazených a vrubovaných vzorků. Dále jsou zachyceny vzorky před a po roztržení a nepodchlazené těleso pro porovnání.

## Závěr

Byl zkoumán vliv vrubů a teploty na únosnost těles z konstrukčních ocelí třídy 11. Prokázalo se, že tyto oceli za normálních podmínek jsou houževnaté a jsou schopny podstoupit velkou plastickou deformaci. Při teplotách pod přechodovou teplotou houževnatý křehký lom materiál křehne, tj. ztrácí schopnost se plasticky deformovat. V křehkém stavu jsou pro tělesa nebo konstrukce velmi nebezpečné jakékoli vruby nebo trhliny. Podařilo se dokázat, že pro špatně plastické materiály už únosnost neovlivňuje pouze průřez, ale také geometrie vrubů.

## Poděkování

Děkujeme supervizorovi Ing. Adamu Jančovi za pomoc s miniprojektem, poskytnutí vědomostí a důležitých rad. Dále bychom chtěli poděkovat fakultě FJFI za zorganizování a uspořádání akce Týden vědy na jaderce a katedře KMAT FJFI za poskytnutí prostorů a materiálu pro náš miniprojekt.

## **Reference:**

- [1] *RMS Titanic: A Metallurgical Problem* [online, cit. 2016-06-21]. Dostupné z: http://products.asminternational.org/fach/data/fullDisplay.do%3Fdatabase%3Dfaco%26re cord%3D1910%26search%3D.
- [2] KUNZ, J.: Aplikovaná lomová mechanika, Vydavatelství ČVUT 2005 198s.
- [3] Hyperbolické funkce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online, cit. 2016-06-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hyperbolick%C3%A9\_funkce.

## Samouspořádání v nanotechnologii

K. Hradečná, GEKOM, katie.hradecna@gmail.comM. Farana, Gymnázium HelloM. Podolský, Gymnázium Jateční

#### Abstrakt:

Polystyrenové kuličky se samovolně uspořádávají do takových vrstev, aby přitom byly energeticky co nejúspornější. Při našich pokusech jsme sledovali efekt kávové skvrny, kdy se kuličky polystyrenu uspořádávají do vrstev po stranách vysychající kapky vlivem vznikajícího proudu. Pomocí elektronového mikroskopu jsme sledovali pokovenou monovrstvu kuliček polystyrenu vytvořenou na vodní hladině.

# 1 Úvod

Samouspořádání je samovolné uspořádávání objektů bez vnějšího zásahu do pravidelných struktur. V našem případě se jedná o pravidelné uspořádání kuliček polystyrenu do monovrstev, čehož hodláme v prvním pokusu dosáhnout pomocí efektu kávové skvrny a v druhém, nanášením disperze na vodní hladinu.<sup>1</sup>

#### 2 Pozorování

#### Efekt kávové skvrny

Nejprve jsme připravili disperzi polystyrenových kuliček o velikosti 940 nm, lihu a vody. Výsledný materiál jsme pipetou po jednotlivých kapkách (2 um) nanášeli na křemíkové destičky a pozorovali jsme vysychání disperze pod optickým mikroskopem.

Na kuličkách je ve velkém přiblížení snadno pozorovatelný Brownův pohyb. Je zde výrazný efekt kávové skvrny. V místech, kde je kapka více rozprostřená, probíhá vysychání rychleji a utváří se monovrstva.



#### Monovrstva na vodní hladině

Připravili jsme si disperzi z polystyrenových kuliček o velikosti 470 nm a vody v poměru 1:1. Po promíchání pomocí ultrazvuku jsme skleněnou pipetou postupně nanášeli kapalinu na vodní hladinu Petriho misky. Brzy se kuličky na povrchu shlukují a vytváří optické efekty. Poté jsme pomocí kovového drátu stlačili polystyrenové kuličky na jednu stranu misky. Následně jsme křemíkovou destičkou podebrali vzniklou vrstvu polystyrenových kuliček na povrchu tak, aby spočívala na hladké straně destičky. Destičku jsme opatrně usušili a následně jí pokovovali metodou magnetového naprašování, vrstvou slitiny platiny a palladia o tloušťce 2 nm. Vzorky jsme pozorovali na elektronovém mikroskopu.



## 3 Závěr

Podařilo se nám úspěšně připravit pravidelně uspořádané hexagonální monovrstvy, které jsme následně pozorovali optickým i elektronovým mikroskopem.

Efekt kávové skvrny byl pozorovatelný jak mikroskopem, tak pouhým okem na křemíkové destičce, kde byly patrné barevné optické efekty po krajích vyschlé kapky.



X 60,000 2.00kV SEI SEM WD 3.0mm 2:07:11



# 4 Aplikace samouspořádaných nanostruktur

Fotonické krystaly, vytváření zakázaných pásů.<sup>2</sup> V nanotechnologiích jako formička pro vytváření kovových nanostruktur.

## 5 Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Vojtěchovi Svobodovi za organizaci Týdne vědy na Jaderce. A závěrem bychom rádi poděkovali naší supervizorce Lucii Štolcové za její ochotnou pomoc s pokusy a poutavé vysvětlení celé problematiky.

## **6 Reference:**

1 Self-Assembly Lab. *Selfassembly.net* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: http://www.selfassemblylab.net/

2 PCF přenosová vlákna. *Publi.cz* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: https://publi.cz/books/235/02.html

# Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách – simulace na počítači

Simona Buryšková, Dominika Jurdová, Jan Kolovecký, Miroslav Müller G. Matyáše Lercha, Brno; G. Velké Meziříčí; G. Kolín; G. Ustí n. Labem <u>simona.buryskova@seznam.cz; d.jurdova@seznam.cz; kulatak111@seznam.cz;</u> m.muller007@seznam.cz

#### Abstrakt:

V rámci miniprojektu jsme se zabývali šířením a rezonancí světla v nanostrukturách. Předmětem našeho zájmu byly fotonické krystaly a metamateriály. Na počítači jsme simulovali exotické jevy, jako je např. záporný index lomu, či efekt "neviditelného pláště". Vyzkoušeli jsme také, že platnost zákonů geometrické optiky je omezená a nahrazují je zákony vlnové optiky.

# 1 Úvod

Nanotechnologie jsou budoucností moderního materiálového inženýrství. Zkoumání chování světla v nanostrukturách není pouze teoretickou záležitostí, ale má dnes široké uplatnění, např. solární panely, optická vlákna, zpracování optických signálů, aj.

Dnešní technologie nám umožňují zkonstruování složitějsích nanostruktur, než jsou jednoduché čočky a vlnovody, jsou jimi například fotonické krystaly a metamateriály. Fotonické krystaly mají podobnou strukturu a vlastnosti jako pevnolátkové krystaly makrosvěta. Aby fungovaly, musí být jejich charakteristický rozměr srovnatelný, nebo menší než vlnová délka použitého záření. Metamateriály jsou v přírodě se nevyskytující kompozitní materiály, které mají záporné hodnoty permitivity a permeability, a tudíž i záporný index lomu.

Některé vlastnosti těchto nanostruktur jsme si ověřili v simulačních programech PhotonDesign a Lumerical.

# 2 Simulace

Výroba fotonických struktur je finančně i časově náročná, proto se nejdříve všechny návrhy analyzují pomocí počítačových simulací. My jsme využili komerční programy PhotonDesign (<u>www.photond.com</u>) a Lumerical (<u>www.lumerical.com</u>). V rámci těchto balíků jsme využili programy založené na metodě FDTD (finite-difference time-domain), což je metoda, která nahrazuje derivace Maxwellových rovnic pomocí konečných diferencí.

## 3 Limity geometrické optiky

Při vlnové délce řádově srovnatelné s velikostí struktury přestává platit aproximace vlnové optiky optikou geometrickou, a je potřeba plně využít vlnovou optiku – Maxwellovy rovnice.

V simulaci za použití záření o vlnové délce 0,4 µm došlo na rozhraní mezi křemenem (n=1,5) a vzduchem (n=1) k totálnímu odrazu (obr. 1). Paprsek dopadal na rozhraní pod úhlem 45 °, což je úhel větší než kritický (pro toto rozhraní 41,8 °).



Obr. 1 Simulace dopadu rovinné vlny ( $\lambda$ =0,4 µm) na rozhraní křemen-vzduch, obrázky jsou zachyceny ve třech rúzných časových okamžicích. Platí zde zákony geometrické optiky.

Při vlnové délce 4 μm, což je vlnová délka řádově srovnatelná s periodou struktury (20 μm), k totálnímu odrazu nedocházelo (obr. 2). Většina záření prošla skrz rozhraní.



*Obr. 2 Simulace dopadu rovinné vlny (\lambda=4 \mum) na rozhraní křemen-vzduch. Platí zde zákony vlnové optiky.* 

# 3 Fotonické krystaly

Fotonické krystaly jsou periodické struktury, které jsou optickou analogií pevnolátkových krystalů. Podobně jako tyto pevnolátkové struktury mohou mít i fotonické krystaly tzv. zakázané pásy, což jsou intervaly vlnových délek, při nichž se elektromagnetického záření v krystalech nešíří.

Fotonické krystaly mohou mít periodicitu v jednom, dvou nebo třech směrech, jak je znázorněno na obrázku 3.



Obr. 3 Periodická fotonická struktura v jedno-, dvou- a třídimensionální konfiguraci [1]

Fotonický krystal, který jsme simulovali v programu PhotonDesign, měl následující vlastnosti: 2D čtvercová mřížka o periodě 1 µm, dielektrické tyče ve vzduchu o průměru 0,4 µm a indexu
lomu 3,4. Dle těchto vlastností jsme určili zakázaný pás pro TM polarizaci v rozsahu 2,38 – 3,48 µm. V krystalu jsme vytvořili defekt – vlnovod, do kterého jsme vpustili světlo o vlnové délce 3 µm. Jelikož byla vlnová délka v rámci zakázaného pásu, světlo se šířilo pouze námi vytvořeným vlnovodem. Na tomto principu fungují i optická vlákna z fotonických krystalů.



Obr. 3 Okno programu PhotonDesign se simulovaným vlnovodem ve fotonickém krystalu – dělič svazku



Obr. 4 Pásový diagram pro TM polarizaci, zakázaný pás je v rozmezí vlnových délek 2,38 – 3,48 μm (vyznačeno modrým pruhem)

Fotonické krystaly se však mohou vyskytovat i v přírodě, spolu s chemickými barvivy způsobují například barvu křídel některých motýlů a brouků.



Obr. 5 Struktura křídel motýla druhu Morpho didius

# 4 Metamateriály

Metamateriály mají pro určité vlnové délky zápornou permitivitu a permeabilitu, a tudíž i záporný index lomu. Materiály s takovými vlastnostmi lze vytvořit pouze uměle pomocí strukturování klasických materiálů (rezonátory, fotonické krystaly, multivrstvy), což jim

efektivně dodá požadované vlastnosti permitivity a permeability. V naší simulaci jsme použili fotonický krystal s 2D hexagonální mřížkou vzduchových děr o poloměru 0,29 μm a periodě 0,68 μm uvnitř dielektrické vrstvy o permitivitě 12. Na vstupu byl použit gaussovský svazek o vlnové délce 2 μm. Při této simulaci bylo možné pozorovat důsledek záporného indexu lomu metamateriálu, kdy se záření po průchodu šíří od kolmice opačným směrem než po průchodu běžným materiálem (obr. 6 – vlevo).

Díky zvláštním vlastnostem metamateriálů lze použít pro optické maskování (optical cloaking). Vnějšímu pozorovateli se zdá, že mezi ním a zdrojem světla se nenachází žádný objekt. Takto získáváme efekt tzv. "pláště neviditelnosti". Tento efekt jsme simulovali v programu MATLAB (obr. 6 – vpravo).



Obr. 6 Demonstrace záporného lomu v metamateriálu (vlevo); Simulace optical cloaking (vpravo)

# 5 Shrnutí

Pomocí simulačních programů se nám úspěšně podařilo simulovat šíření světla ve fotonických krystalech, demonstrovat záporný index lomu na metamateriálech a upozornit na omezenou použitelnost geometrické optiky. Vše proběhlo dle očekávání supervizorů, a tudíž jsme neučinili žádný pokrok ve vědě.

# Poděkování

Děkujeme naším supervizorům Pavlu Kwiecienovi, Janu Fialovi a Ivanu Richterovi za důkladné vysvětlení problematiky a pomoc při zpracování miniprojektu. Dále děkujeme Vojtěchu Svobodovi za organizaci celého Týdne vědy na Jaderce.

# **Reference:**

- [1] JOANNOPOULOS J. D., JOHNSON S.G., WINN J. N., MEADE R. D.: *Photonic crystals: Molding the flow of light, 2nd Edition* Princeton University Press, 2008.
- [2] CAI W., SHALAEV V.: *Optical metamaterials: fundamentals and applications* Springer Science+Business Media, 2010.
- [3] TAFLOWE A., HAGNESS S. C.: *Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method* Artech House, New York, 2000.
- [4] RICHTER I.: Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách simulace na počítači; úvodní přednáška k miniprojektu Týden vědy na Jaderce, 2016.

#### Jak nám pomáhají tenké vrstvy?

F. Kratochvíl\*, O. Ferra\*\* \*Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace, Sokolská 1, 602 00 Brno \*\*Gymnázium Karla Čapka Dobříš, Školní 1530, 263 80 Dobříš \*filipkratochvil3@gmail.com, \*\*ondra.ferra@gmail.com

#### Abstrakt:

V tomto miniprojektu jsme se zabývali určováním vlastností tenkých vrstev, které se využívají ke zlepšení vlastností běžných materiálů. Byly určeny tloušťky vrstev (Ti, Cr a jejich nitridy), jejich tvrdost a Youngův modul byly porovnány s vlastnostmi oceli a polymeru ABS. K měření byly použity metody Calotest a nanoindentace.

#### 1 Úvod

Tenké vrstvy nás obklopují na každém kroku. Jejich použitím se výrazně zlepšují užitné vlastnosti běžných materiálů. Mohou měnit mechanické, tepelné a další fyzikální vlastnosti. Používají se například pro zvýšení otěruvzdornosti a tvrdosti, korozní ochraně, jako tepelné bariéry, vodivostní vrstvy v moderní elektronice či vrstvy zlepšující optické vlastnosti [1].

Dnes existuje mnoho metod používaných k charakterizaci tenkých vrstev. V tomto projektu byly použity metody Calotest k určení tloušťky vrstev a metoda instrumentované indentace (nanoindentace) k určení tvrdosti a Youngova modulu.

#### 2 Experimentální postup

Byly charakterizovány multivrstvy Ti/TiN, Cr/CrN a vrstva TiN vytvořené metodou PVD a galvanicky nanesená měď. Všechny vrstvy byly naneseny na ocelový substrát. U měděné vrstvy byla měřena pouze tloušťka, u multivrstev kromě tloušťky i tvrdost a Youngoův modul. Výsledky mechanických veličin byly porovnány s vlastnostmi korozivzdorné oceli A304L a polymeru ABS, který se používá jako filament pro 3D tisk.

Metoda Calotest spočívá ve vybroušení dutiny ve tvaru kulového vrchlíku v povrchu materiálu. Vybroušení pobíhá pomocí rotace ocelové kuličky na povrchu zkoumaného materiálu. Kulička se potírá abrazivem (diamantová pasta v glycerinu), které pomáhá zvýšit otěr a urychlit tak zkoušku. Z geometrie problému se určí tloušťka vrstvy *s* pomocí vztahu (viz obr. 1)

$$s = \frac{xy}{2R}$$

Tato metoda je relativně rychlá a jednoduchá na provedení. Jedná se o seminedestruktivní metodu, která se běžně používá v průmyslové praxi.



Obr. 1: Princip metody Calotest [2].

Instrumentovaná indentace je založena na vtlačování diamantového hrotu (Berkovičův trojboký jehlan) do zkoumaného materiálu (za přesně daných parametrů). Maximální síla vtisku indentoru byla volena tak, aby výsledná hloubka vtisku nepřesáhla 1/10 tloušťky vrstvy a výsledky tak nebyly ovlivněny vlastnostmi substrátu. Ze záznamu síla – hloubka vtisku je následně vyhodnocena tvrdost materiálu a jeho Youngův modul [3]. Tvrdost *H* [MPa] je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího těles. Jedná se o podíl maximální síly  $F_m$  a plochy vtisku, promítnuté do roviny původního povrchu  $A_p$ :

$$H=\frac{F_m}{A_p}.$$

Youngův modul E [GPa] popisuje vztah mezi deformací a napětím materiálu v oblasti platnosti Hookova zákona. Ze záznamu síla – hloubka vtisku se vypočítá redukovaný Youngův modul  $E_r$  pomocí vztahu

$$E_r = \frac{S\sqrt{\pi}}{2\beta\sqrt{A_p(h_c)}},$$

který popisuje elastické vlastnosti jak studovaného vzorku, tak použitého indentoru. V předchozí rovnici *S* vyjadřuje směrnici odtěžující části křivky síla – hloubka vtisku,  $\beta$  je parametr o hodnotě 1,034 a  $h_c$  je kontaktní hloubka vtisku. Z redukovaného Youngova modulu se vypočítá Youngův modul vzorku podle vztahu

$$\frac{l}{E_{r}} = \frac{l - v_{s}^{2}}{E_{s}} + \frac{l - v_{i}^{2}}{E_{i}},$$

kde  $E_i$  a  $v_i$  je Youngův modul a Poissonovo číslo indentoru a  $E_s$  a  $v_s$  Youngův modul a Poissonovo číslo vzorku.

#### 3 Výsledky a diskuze

Příklady vybroušených dutin pro měření tlouštěk vrstev jsou na obrázku 2. Naměřené tloušťky vrstev jsou shrnuty v tabulce 1. Celkové tloušťky vrstev se pohybovaly mezi 2,7 μm a 6 μm. U multivrstvy Ti/TiN byly určeny i tloušťky jednotlivých vrstev, které nabývaly hodnoty 0,18 μm pro Ti a 0,48 μm pro TiN. Určení nejtenčích vrstev bylo na hraně rozlišitelnosti této metody. U posledního vzorku TiN, který byl vyroben průmyslově, a proto byl poměrně nehomogenní, byly pozorovány značné výkyvy v tloušťce vrstvy vedoucí k vysokému rozptylu dat.



Obr. 2: Výsledky Calotestu: (a)Ti/TiN, (b)TiN.

Naměřené hodnoty tvrdosti a Youngova modulu jsou shrnuty v tabulce 2 a ukázka výsledného vtisku a křivky síla – hloubka vtisku na obrázku 3. Tvrdost i Youngův modul multivrstev jsou vzájemně srovnatelné, v porovnání s ocelovým vzorkem jsou výrazně vyšší (tvrdost až šestinásobně). Zjištěné hodnoty tvrdosti a Youngova modulu polymeru ABS jsou řádově nižší než u ostatních vzorků. Jedná se o očekávaný výsledek. Klíčovou vlastností těchto materiálů nebývá tvrdost, ale například nízká hmotnost a snadné zpracování.

	Cu acal		Ti/TiN-ocel			
	Cu-ocei	celkem	Ti	TiN	Cr/CrN-ocer	TIN-OCEI
s [µm]	4,56 ± 0,42	3,81 ± 0,09	0,18 ± 0,03	0,48 ± 0,03	6,09 ± 0,04	2,76 ± 1,16

Tabulka 1: Tloušťky vrstev.

Tabulka 2:	Tvrdost <i>H</i> a	Youngův	modul Es	zkoumaných	vzorků
------------	--------------------	---------	----------	------------	--------

	Ti/TiN	Cr/CrN	ocel A304L	ABS
H [Mpa]	17546 ± 2349	16721 ± 1738	2809 ± 123	177 ± 21
E <sub>s</sub> [GPa]	291 ± 31	284 ± 23	213 ± 11	3,7 ± 0,2



Obr. 3: (a) Vtisk v oceli A304L, (b) křivka síla – hloubka vtisku změřená na vrstvě Cr/CrN.

### 4 Shrnutí

V rámci miniprojektu byly charekterizovány tenké vrstvy a porovnány s běžnými materiály. Byla určena tloušťka vrstev, tvrdost a Youngův modul studovaných materiálů. Bylo ověřeno, že použité metody jsou vhodné k popisu vlastností těchto materiálů.

### Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT v Praze, organizátorům týdne vědy, jmenovitě Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., a našemu supervizorovi Ing. Jaroslavu Čechovi.

# Reference

- [1] http://www.ateam.zcu.cz/tenke\_vrstvy\_sma.pdf [online 21.6.2016]
- [2] Calotest user manual. CSM Instruments. 2011. 21p.
- [3] OLIVER, W.C. PHARR, G.M.: An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. Journal of Materials Research 7, 1992, pp. 1564-1583.

#### Termoluminiscenční dozimetrie

# P. Matouš; Karlínské gymnázium, Pernerova 25, Praha 8; petrmatous13@seznam.cz D. Dusík; Gymnázium Christiana Dopplera, Zborovská 45, Praha 5; denis.dusik@gmail.com P. Hotovec; Karlínské gymnázium, Pernerova 25, Praha 8; petrhotovec10@gmail.com

#### Abstrakt:

V tomto článku je představena teorie okolo termoluminiscence a využití tohoto jevu v rámci moderní dozimetrie na vzorku dozimetrů TLD-1000 (LiF:MG, Ti). Dále se zde nachází metody kalibrace TLD readeru Harshaw 3500 s jehož pomocí dochází k vyhodnocení dávky záření, které obdržela sada neznámě ozářených dozimetrů.

#### 1 Úvod

Cílem tohoto miniprojektu bylo seznámit se s principem termoluminisceční dozimetrie, za pomoci nejrozšířenějšího osobního dozimetru TLD-1000 (LiF:Mg,Ti). Využití má rovněž v medicíně, dozimetrii životního prostředí i např. geologii. Hlavním cílem bylo sestavit kalibrační křivku termoluminiscenčních dozimetrů typu TLD-1000 (LiF:Mg,Ti) a následně s pomocí křivky určit dávku, kterou byly další termoluminiscenční dozimetry ozářeny.

#### 2 Teoretický základ

Principem termoluminiscenční dozimetrie je vyzařování světla látkou, která přijala dávku ionizujícího záření a následně byla zahřáta na určitou teplotu. Dávka se udává v jednotkách Gray [Gy] a je defonovaná jako poměr přijaté energie ku hmotnosti.

Samotný princip se dá popsat pomocí pásového modelu pevných látek. Při interakci ionizujícího záření s látkou dochází k předání energie elektronům ve valenční vrstvě atomu. V případě, kdy dojde k předání větší energie než je vazebná energie elektronů, dojde k přeskoku elektronů do vyšší energetické vrstvy *"vodivostního pásu*<sup>[1]</sup>". Při návratu do valenční vrstvy se část elektronů zachytí v elektronových pastech zakázaného pásu. Elektronové pasti vznikají nečistotami a příměsemi cizích prvků. Elektron je v pasti vázán určitou vazebnou energií a k jeho uvolnění může dojít po zahřátí látky, což mu umožní návrat zpět do vodivostního pásu a následně do valenční vrstvy přičemž může dojít k uvolnění fotonu buď přímo návratem

elektronu do valenční vrstvy, nebo předáním energie elektronu luminiscenčnímu centru. Toto vyzářené světlo je do jisté míry přímo úměrné přijaté dávce ionizujícího záření.



Obrázek 1: Pásový model pevných látek

### 3 Materiály a měřící přístroje

K práci jsme využili dozimetr TLD-1000<sup>[2]</sup> (LiF:Mg,Ti).



Obrázek 2: TLD-1000

K ozáření dozimetrů jsme využili laboratorní ozařovač Gammacell 220<sup>[4]</sup>, který používá zářič 60Co. K vyhodnocení dozimetrů jsme využili Harshaw Model 3500 Manual TLD Reader<sup>[3]</sup>. Tento Reader ohřívá dozimetry nepřímo, pomocí odporového tělíska a po připojení k počítači vykresluje celou vyhřívací křivku<sup>[5]</sup>.



Obrázek 4: Gammacell 220



Obrázek 3: TLD Reader



Obrázek 5: Vyhřívací křivka

#### 4 Metodika měření

Měření se provádí s dozimetry uvedenými do výchozí pozice, které se dosáhne definovaným zahřátím dozimetru na teplotu vyšší než při měření a následném ochlazení na laboratorní teplotu, přičemž dojde k vyprázdnění elektronových pastí po předchozím ozáření. Dozimetr je poté ozářen určitou dávkou v laboratorním ozařovači. Před samotným měřením musí dojít ke kalibraci TLD Readeru. To se provádí vytvořením kalibrační křivky pomocí několika sad dozimetrů s předem definovanou dávkou záření. Dávka ozáření je dána délkou ozařování. Tyto dozimetry se poté vyhodnotí a výsledek měření je vynesen do grafu v závislosti na obdržené dávce.



Obrázek 6: Kalibrační křivka

V našem případě jsme použili sedm dozimetrů ozářených na stejnou neznámou dávku. Poté, co jsme vyhodnotili jejich TL odezvu na TLD Readeru, tak jsme vypočetli aritmetický

průměr odezvy a určili směrodatnou odchylku odezvy a průměru.

$$f_{z} = \frac{\sum_{j=1}^{Z} z_{j}}{m}$$

Vzorec 1: Průměr z TL odezev



Výslednou dávku získáme pomocí průsečíku naměřené TL odezvy s kalibrační křivkou. Následně je nutné spočítat odchylku a chybu v měření.

#### 5 Shrnutí

Výsledná dávka na neznámých dozimetrech byla po provedené kalibraci 2,5Gy. Během naší práce jsme byli seznámeni s principem termoluminiscenčních osobních dozimetrů a jejich vyhodnocením.

#### Poděkování

Poděkování patří Ing. Tomáši Urbanovi, Ph.D. za vedení projektu a konzultace při spracování příspěvku. A dále Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za poskytnutí prostředků a prostor. A také Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za organizaci týdne vědy.

#### **Reference:**

- [1] HOROWITZ, Y.S. (ED) *Thermoluminiscence and Thermoluminiscent Dosimetry* Boca Raton, CRC Press 1984 Vol. I.-III.
- [2] MUSÍLEK L., ŠEDA J., TROUSIL J. *Dozimetrie ionizujícího záření (Integrující metody)* ČVUT 1992 Skripta

# Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

Michal Starý Gymnázium Vincence Makovského, Michalstary98@gmail.com Václav Mikeska Gymnázium Františka Palackého, Val. Meziříčí, vasek.mikeska@seznam.cz Roman Lipový Masarykovo gymnázium, roman.lipovy@gypri.cz Jan Buryanec Gymnázium Dobruška, BurdisXD1998@seznam.cz

#### Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo naučit se pracovat se základní diagnostikou plazmatu v tokamaku. Dále jsme se snažili o dosažení nejvyšší možné elektronové teploty plazmatu pomocí vhodného nastavení parametrů tokamaku. Teplotu jsme spočítali pomocí námi napsaného programu a to z hodnot napětí změřených osciloskopem.

# 1 Úvod

Snažili jsme se o přiblížení podmínkám, které v nitru hvězd umožnují fúzi jader atomů vodíku z důvodu výzkumu fúze jako perspektivního zdroje energie. Základním požadavkem zapálení plazmatu je mj. dosažení kritické teploty (řádově stovky milionů Kelvinů), přesněji Lawrensovo kritérium pro součin hustoty a teploty[1] V našem případě jsme používali pro ohřev transformátorovým efektem indukovaný proud v plazmatu. V rámci miniprojektu bylo naším cílem tuto teplotu plazmatu určit. Teplotu plazmatu nelze měřit přímo, a proto jsme museli využít elektromagnetických účinků proudu plazmatu. Jako teplotu plazmatu považujeme teplotu elektronů vyjádřenou v eV (1eV  $\approx$  11600K), a protože plazma není v celém svém objemu teplotně stejnorodé, jedná se přibližně o střední hodnotu.

# 2 Určování teploty plazmatu

#### 2.1.Teorie

K určení elektronové teploty  $T_e$ , použijeme Spitzerovu formuli, která velmi dobře popisuje závislost odporu  $R_p$  plazmatu na její teplotě  $T_e$ :

$$T_e = (R_p / 0.7)^{-2/3}, [eV, \Omega]$$

Proud plazmatu je tvořen jedním závitem, a proto je odpor  $R_p$  určen jako podíl napětí  $U_l$  na závitu a proudu  $I_p$  plazmatem. Proud  $I_p$  získáme důmyslnou metodou použitím Rogowského pásku, který usadíme kolem komory torusu. Rogowského páska je tvořena cívkou obmotanou kolem drátu a při změně magnetického indukčního toku se na koncích této pásky indukuje napětí. Změřené napětí na Rogowského pásce se nejdříve zintegruje podle času a poté se vypočítá proud  $I_{tot}$  vynásobením vhodnou převodovou konstantou (pro tokamak GOLEM). Od  $I_{tot}$  odečteme proud v komoře  $I_{ch}$ , a tak získáme proud  $I_p$ . Napětí na komoře je stejné jako napětí  $U_l$  na plazmatu, odpor  $R_{ch}$  komory je známý ( $R_{ch} = 9,7 \text{ m}\Omega$ ) a v průběhu experimentu přibližně konstantní (nezahřívá se), a proto lze poměrně jednoduše a přesně určit proud  $I_{ch}$ . Shrnutím těchto poznatků dostaneme soustavu rovnic:  $R_{p} = \frac{U_{l}}{I_{p}}$   $I_{tot} = I_{ch} + I_{p}$ Z Ohmova zákona pro komoru platí  $U_{ch} = U_{l} = R_{ch} \cdot I_{ch}$ Výslednou teplotu v eV vypočteme jako

$$T_{e} = \left(0,7 \cdot \frac{I_{p}}{U_{l}}\right)^{2/3} = \left(0,7 \cdot \frac{I_{tot} - I_{ch}}{U_{l}}\right)^{2/3} = \left(0,7 \cdot \frac{I_{tot} - \frac{U_{l}}{R_{ch}}}{U_{l}}\right)^{2/3} = \left(0,7 \cdot \left(\frac{I_{tot}}{U_{l}} - \frac{1}{R_{ch}}\right)\right)^{2/3}, \left[eV, A, V\right]$$

Toto platí pro libovolný okamžik, a proto jsme měřené veličiny sledovali po čas výboje a z nich jsme vytvořili časovou závislost  $T_e$  na čase, přepsáno

$$T_{e}(t) = \left(0,7 \cdot \left(\frac{I_{tot}(t)}{U_{l}(t)} - \frac{1}{R_{ch}}\right)\right)^{2/2}$$

Podle tohoto předpisu jsme se dostali k hledané závislosti teploty plazmatu na čase.

#### 2.2. Materiály a metody

Tokamak jsme osadili Rogowského páskem pro měření proudu  $I_{Tot}$  v plazmatu a komoře kolem toru tak, aby procházel jeho středem, a elektrickým drátem na měření napětí na závit  $U_l$ , který jsme vedli po horní straně toru horizontálně. Oba měřící dráty jsme zapojili do 4kanálového osciloskopu RIGOL. Naměřená data jsme přeposlali do počítače, ve kterém jsme je pomocí programu wGet stáhli automaticky. Dále jsme data zpracovali v programu GNUPLOT. Z naměřených hodnot napětí na závit ( $U_{loop}$ ) a z napětí na Rogowského pásce ( $U_{rog}$ ). Napětí na Rogowského pásce je úměrné derivaci celkového proudu procházejícího tokamakem ( $I_{tot}$ ). Z těchto hodnot jsme dále vykreslili grafy proudu plazmatem a teplotu centra plazmatického vlákna.

#### 2.3. Naměřená data





Podařilo se nám dosáhnout nejvyšší průměrné teploty plazmatu kolem 39.1 eV, což se dá jednoduchým převodem vyjádřit také jako cca 4,5\*10<sup>5</sup> °C. Ovšem v centru plazmatického vlákna se nám podařilo naměřit teploty kolem 60 eV. To na zapálení termojaderné fúze samozřejmě nestačí, nicméně šlo o měření na tokamaku, díky kterému se nám tuto teplotu podařilo určit.

#### 2.6. Diskuze

Úspěšně jsme vykreslili závislost teploty centra plazmatického vlákna a také závislost proudu jím procházejícím. Podařilo se nám dosáhnout průměrné teploty plazmatu 39,1 eV za podmínek  $p_{ch} = 21,93$  mPa,  $U_{Bt} = 1050$  V,  $C_{CD} = 550$  V a prodlevy mezi sepnutím magnetického pole a začátkem indunkce 3 ms. Vzhledem k nalezeným hodnotám z minulých pokusů považujeme náš výsledek za lepší než průměrný.

#### 3 Shrnutí

Úspěšně se nám podařilo nastavit parametry tokamaku GOLEM tak, že jsme provedli několik plazmatických výbojů. Průběh jednoho z nich jsme detailněji prozkoumali a zpracovali. Určili jsme nejvyšší a průměrnou teplotu plazmatického vlákna v komoře tokamaku. Během experimentu jsme se naučili pracovat s diagnostickými zařízeními, jako např. umístění měřících cívek a drátů na tělo tokamaku a správně sbírat naměřená data z osciloskopu.

# Poděkování

Děkujeme Bc. Ondřeji Groverovi a panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za jejich srozumitelný výklad z oblasti termojaderné fúze, za vysvětlení principu fungování tokamaku a za celkovou pomoc s naším miniprojektem. Dále FJFI ČVUT za poskytnutí přístupu k špičkovému vědeckému vybavení. Také celému organizačnímu týmu Týdne vědy na Jaderce za uspořádání této skvělé akce.

# **Reference:**

[1] Uloha13A.pdf. *GOLEM @ FJFI.CVUT* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/15/Basics/uloha13A.pdf

# Diagnostika vysokotepelního plazmatu na tokamaku GOLEM

Michal Chudoba (GymLit), Filip Papoušek (GYZA), Dominik Starý (G. Benešov), David Linhart (GVID) Fakulta jaderná a fyzikalně inženírská ČVUT, Břehová 7 michal@chudoba.org, Filip.Papousek@seznam.cz, stary\_dominik@gbn.cz, davelinhart@seznam.cz

#### Abstrakt:

V tomto článku se budeme věnovat měření elektronové teploty vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM. Pro zjištění teploty jsme změřili napětí na smyčce a proud plazmatem, z těchto údajů jsme následně pomocí počítačového programu gnuplot zjistili elektronovou teplotu. Elektronová teplota je velmi důležitým údajem, pokud chceme dosáhnout a udržet termojadernou fúzi. Výzkum v této oblasti by lidstvu mohl přinést nový perspektivní zdroj pro získávání energie.

# 1 Úvod

Doposud člověk zvládl jen jaderné štěpení, ale v polovině minulého století se zrodila atraktivní myšlenka - spoutat energii Slunce, termojadernou fúzi. Tato dosud otevřená otázka je stále velmi populární. Naším cílem bylo změřit teplotu plazmatu v komoře jednoho takového fúzního reaktoru. Teplota totiž hraje při zapálení fúze klíčovou roli.

#### 2 Tokamak GOLEM

Tokamak je toroidální komora sloužící k magnetickému udržení plazmatu za pomoci cívek. V částečně ionizovaném plazmatu, které funguje jako sekundární vinutí transformátoru, je indukován proud, který vytváří poloidální magnetické pole, to společně s toroidálním magnetickým polem cívek vytváří specifické šroubovicovité pole pro udržení plazmatu. Plazma je zároveň díky nenulovému odporu indukcí proudu zahříváno na extrémní tepoloty, za kterých dochází k nukleosyntéze - slučování lehkých jader. Tento koncept fúzního reaktoru je dnes považován za perspektivní zdroj energie, ale v důsledku mnoha různých nestabilit tato technologie prozatím nebyla zvládnuta. Vzdělávací tokamak, na kterém jsme prováděli experimenty, se jmenuje GOLEM a nachází se na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýzské.

#### 3 Metoda měření

Na tokamaku GOLEM jsme vytvářeli ve vodíkovém plazmatu výboje přes webové rozhraní, kde jsme modulovali podmínky, v našem případě jsme zkoumali závislost teploty na napětí na cívkách a tlaku pracovního plynu. Měření elektronové teploty  $T_e$  jsme prováděli nepřímo za pomoci diagnostických zařízení - Rogowského pásky, jednozávitové cívky a osciloskopu. Rogowského páskou, omotanou kolem toroidální komory tokamaku v rovině příčného řezu, jsme meřili derivaci celkového proudu komorou a plazmatem, tj. napětí  $U_{Rog}$ , jednozávitovou cívkou, položenou po obvodu komory tokamaku, jsme měřili napětí indukované na sekundárním vinutí transformátoru  $U_l$ . Obě cívky jsme pomocí BNC kabelů připojili k osciloskopu, ze kterého jsme potom stáhli naměřená data. Z dat jsme v programu gnuplot vypracovali graf proudu v plazmatu  $I_p$  v závislosti na čase (obrázek č. 1) a graf elektronové teploty v závislosti na čase (obrázek č. 3).

$$I_p = 1, 1 \cdot 10^7 \cdot \int U_{Rog} dt - \frac{U_l}{R_{ch}},$$

kde  $R_{ch} = 9,7 \text{ m}\Omega$  označuje odpor komory,

$$T_e(0,t) = \left(0,7 \cdot \frac{I_p(t)}{U_{\lambda}(t)}\right)^{2/3}, \text{ [eV; A, V]}.$$

#### 4 Výsledky

Tabulka naměřených hodnot elektronové teploty plazmatu a nastavených parametrů výboje (napětí na cívkách  $U_B$ , napětí na kondenzátorech  $U_{CD}$ , čas prodlevy  $t_{CD}$  a tlak pracovního plynu):

Výboj č.	$U_{B}[V]$	$U_{CD}[V]$	t <sub>CD</sub> [ms]	Tlak [mPa]	$T_e[eV]$
21955	950	600	8000	20	25.0
21956	850	550	8500	20	28.3
21958	900	550	8000	22	29.6
21960	900	550	8000	26	30.6
21962	900	550	8000	30	30.3
21964	950	550	8000	26	32.3
21968	1000	550	8000	26	33.0
21970	900	550	8000	22	37.0
21983	1050	500	3000	22	39.3



Graf je námi naměřená závislost proudu v plazmatu na čase
 Graf je závislost proudu v plazmatu na čase naměřená počítači okolo GOLEMa
 Graf je námi naměřená teplota v centru plazmatu v závislosti na čase

# 5 Diskuze

Při opakovaných pokusech se stejným nastavením parametrů výboje jsme zjistili, že se elektronová teplota může značně lišit, rozdílem 10 eV. Tento rozdíl by mohl být způsoben čistotou komory, či její rozdílnou teplotou (komora se během dne mírně ohřála). Dále se značně liší elektronová teplota, kterou zobrazuje informační systém GOLEMu, a námi spočtená teplota, protože informační systém zobrazuje průměrnou hodnotu elektronové teploty zatímco naše spočítaná teplota se vztahuje ke středu plazmatu, kde je teplota nejvyšší.

# 6 Shrnutí

Během uběhlých dnů jsme se zabývali vytvářením plazmatu určitých vlastností a hlavně měřením jeho elektronové teploty. Podobný výzkum v této oblasti (projekty jako ITER a později DEMO) by mohl vést k sestrojení zařízení, které je schopné dosáhnout a udržet termojadernou fúzi. Tak by lidstvo získalo velmi perspektivní zdroj pro výrobu energie.

# Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za umožnění práce na tokamaku GOLEM, celému týmu Týdne vědy za organizaci této acke a našemu supervizorovi za uvedení do problematiky termojaderné fúze a technickou podporu.

# **Reference:**

 KOLEKTIV FJFI: Úlohy z fyzikálních praktik, http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/15/Basics/uloha13A.pdf
 http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/21983/, stránka s databází výstřelů tokamaku GOLEM

#### Rozhodování strojů za pomoci strojů(UI)

Jiří Budil<sup>1</sup> Jaroslav Bumba<sup>2</sup> Pavel Martinec<sup>3</sup> Jan Zágiba<sup>2</sup> <sup>1</sup>Střední průmyslová škola sdělovací techniky, Praha 1 <sup>2</sup>Střední průmyslová škola strojní a elektrotechnická, České Budějovice <sup>3</sup>Gymnázium Zlín - Lesní čtvrť, Zlín jirkabudil@seznam.cz <u>sajicek@gmail.com</u> <u>martinec98@seznam.cz</u> jenda1998@gmail.com

#### Abstrakt:

Cílem naší práce bylo seznámení se se základními principy umělé inteligence. Modelovali jsme fyzikální závislosti měřené na reálném experimentu. Na základě námi naměřených dat jsme vytvořili pravděpodobnostní model - bayesovskou síť. Tento model jsme testovali a podařilo se nám stanovit jeho úspěšnost. Nevytvořili jsme samostatně myslící entitu, ale nástroj schopný rozhodování na základě omezených dat.

### 1 Úvod

Umělá inteligence (Artificial Inteligence) je oblast výzkumu zabývající se tvořením systému, který by byl schopen rozhodovat. Nejde pouze o systém s vlastním vědomým, ale i o nástroj, který nám pomůže rozhodnout. Dělí se do několika odvětví. Nejčastěji jsou používané Neuronové sítě, Bayesovské sítě.

# 2 Základní principy

 Všeobecný základní princip v oblasti umělé inteligence je systém něco naučit, aby informace dokázal dále využít a pracovat s nimi. Mnoho systémů funguje na základě teorie podmíněné pravděpodobnosti. S její pomocí pak např. předpovídá důsledky jevů nebo naopak zpětně zjistiťuje příčiny. Naše práce se týká hlavně zjišťování příčiny výskytu jevu. Nejlépe si to můžete přestavit na následujícím příkladu:

Nechť existuje vzácná nemoc, s pravděpodobností výskytu 0,1%. Máme test na tuto nemoc. Pokud je člověk nemocný, test to odhalí na 90%, pokud je zdravý, test to na 99% potvrdí. To zdánlivě vypadá úžasně. Nicméně nás nezajímá úspěšnost testu, nýbrž jestli

člověk nemoc má. Jde tedy o záměnu příčiny a důsledku. Pokud aplikujeme Bayesův vzorec, zjistíme, že pravděpodobnost výskytu nemoci u člověka, kterému vychází pozitivní test je zhruba pouhých 8%. Z toho vyplívá, že přestože test vypadá průkazně, nelze se na něj příliš spoléhat. Tento princip využívají Bayesovské sítě.

- Bayesovské sítě fungují na základě Bayesovy věty.
  - •Bayesovu větu lze formulovat takto [1]:

Mějme dva náhodné jevy *A* a *B* s pravděpodobnostmi P(A) a P(B), přičemž P(B) > 0. Potom platí:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Kde P(A|B) je podmíněná pravděpodobnost jevu A za předpokladu, že nastal jev B, a naopak P(B|A) je pravděpodobnost jevu B podmíněná výskytem jevu A.

Zjednodušeně se dá říci, že díky této větě se dá zjistit nejpravděpodobnější příčina, pokud známe výsledek

Bayesovská síť je pravděpodobnostní grafický model, který zachycuje pravděpodobnostní vztahy mezi veličinami. Při stavbě Bayesovské sítě obvykle tvoříme sestavu od shora dolů, přičemž skládáme jevy, které jsou na stejné úrovni vedle sebe. Tedy jevy, které na sobě nejsou závislé. Závislost mezi jevy určují hrany (šipky) mezi nimi. Nadřazený jev (původce šipky) nazýváme rodičem podřazeného. Na obrázku níže je struktura bayesovské sítě, s kterou jsme pracovali. Jak můžete vidět na obrázku, tak každá hrana má určitý směr. Směřuje od nezávislých hodnot k závislým.



Obrázek 1: Struktura Bayesovské sítě

#### Průběh testování

•Provedli jsme fyzikální experiment, abychom získali data pro učení. Tím, že byl z reality a byl ovlivněn fyzikálními zákony, můžeme jeho závislosti považovat za správné. Konkrétně jsme pouštěli 5 různých míčků z nakloněné roviny, se třemi různými sklony, na dvou různých površích. U každého měření jsme změřili čas, po který se míček kutálel a vzdálenost na kterou se vzdálil. Každá kombinace byla proměřena třikrát. Míčky byli konkrétně badmintonový, pinpongový, squoshový, hopík, a maličký basketbalový. Jako první povrch byl použit koberec a jako druhý byly použity dlaždice. Na obrázku níže můžete vidět naší testovací rampu a míčky.



Obrázek 2: Experimentální vybavení

- •Načrtli jsme rozvržení modelu Bayesovské sítě přičemž druh míčku, povrch a sklon, jsme zařadili jako nezávislé veličiny a čas a vzdálenost jako závislé. Poté jsme ho zanesli do programu Hugin a naučili z naměřených dat.
- •Poté jsme provedli testovací měření, tedy deset měření s náhodnými nastaveními na jednom povrchu a dalších deset na druhém.
- Hodnoty času a vzdálenosti jsme postupně vkládali do naší sítě. Při vložení hodnot nám model předpověděl pravděpodobnosti pro jednotlivé možnosti sklonu, druhu míčku a typu povrchu. My jsme se zaměřili hlavně na určování typu míčku. Do tabulek jsme si zapsali výsledné pravděpodobnosti pro každý druh míčku. Níže můžete vidět na obrázku vyhodnocení modelu podle zadaných hodnot.
- •Vybrali jsme podle modelu nejpravděpodobnější možnost míčku. Tu porovnali se skutečnou hodnotou a na závěr spočítali úspěšnost modelu. Tato úspěšnost se spočte jako podíl úspěšných výsledků a provedených pokusů.



Obrázek 3: Použtí Bayesovské sítě

### Výsledky

V rámci našeho miniprojektu se nám podařilo provést experiment, díky kterému jsme vyrobili model bayesovské sítě a následně ho otestovali.

- Úspěšnost modelu na našich testovacích datech byla v predikci typu míčku 50 %. Tato úspěšnost se dá považovat jako relativně dobrá, protože naše měřící nástroje nebyly ideální, a ne vždy se nám podařilo pustit míček, aniž bychom mu omylem nedodali nějakou energii.
- U povrchu se dá sice říci, že byl reálný a dá se to kategorizovat jako správné měření, ale nerovnosti povrchu stáčely trajektorii a značně ovlivňovaly vzdálenost. Na druhou stranu se povrch dal predikovat velmi dobře, protože vnášel do měření značné rozdíly.
- Sklony se daly predikovat velmi špatně, protože natolik měření neovlivňovaly. Větší úspěšnost by také mohl zajistit větší rozdíl úhlů mezi sklony.

Pro predikci povrchu a typu míčků je rozhodně výhodnější použít náš model, než tipovat, kde by pravděpodobnost úspěchu byla pouze 20%.

### 3 Shrnutí

V průběhu našeho miniprojektu jsme se dozvěděli spoustu zajímavých věcí o umělé inteligenci, vyzkoušeli jsme si základní funkci bayesovských sítí a s vlastními daty jsme si ověřili úspěšnost tohoto pravděpodobnostního modelu. Dále jsme zjistili možnosti využití UI, např. rozpoznávání objektů na mapě, adaptivní testy pro studenty, rozpoznávání obličejů atd.

### Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervizorovi Martinu Plajnerovi za pomoc a obeznámení nás s daným problémem a organizačnímu týmu týdne vědy.

### **Reference:**

- [1] Bayesova věta. [cit. 21.6.2016.] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bayesova\_v%C4%9Bta
- [2] Bayesovská síť. [cit. 21.6.2016.] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bayesovsk%C3%A1\_s%C3%AD%C5%A5
- [3] Umělá Inteligence. [cit. 21.6.2016.] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Um%C4%9Bl%C3%A1\_inteligence

### Simulace provozu JE typu VVER-440

Lucie Sladká, Martin Kovanda VOŠ, SPŠ a JŠ, Kutná Hora Gymnázium Žďár nad Sázavou, Neumannova 2 sludlu1@seznam.cz, maertinkovanda@email.cz

#### Abstrakt:

V tomto článku je popsán tlakovodní reaktor typu VVER 440/V213, který je například v Dukovanech a simulace jeho provozu v nominálním stavu i abnormální a havarijní situaci. Pro většinu abnormálních a havarijních situací, jako jsou například poruchy turbogenerátorů, čerpadel, úniky vody nebo závada na reaktoru, je JE soběstačná a automaticky řeší vzniklé problémy. Jedná se o displejovou – výukovou simulaci, některé hodnoty tedy nemusí plně souhlasit se skutečností. Hlouběji jsme si rozebrali situaci se ztrátou napájení vlastní spotřeby (VS).

# 1 Úvod

V dnešní době, kdy energie a informace znamenají svět a zároveň si uvědomujeme, že elektrárny na fosilní paliva nevydrží vyrábět elektřinu věčně, je jaderná energetika všestrannou hvězdou. Nejenže nevytváří skoro žádné emise a je tím pádem velmi ekologická, navíc je to stabilní a regulovatelný zdroj elektrické energie na rozdíl od větrné a solární energie. S vývojem recyklace vyhořelého paliva se blížíme k udržitelné jaderné energetice.



Zkratka VVER 440 znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor s výkonem 440 MWe. Reaktory typu VVER 440 typ 213 najdeme například v Dukovanech, kde má díky modifikaci výkon 510 MWe. Dále je můžeme nalézt ve slovenské Mochovce, Jaslovké Bohunici nebo maďarském Paksi. Tlakovodní elektrárna se skládá z primárního, sekundárního a chladícího okruhu. V aktivní zóně primárního okruhu probíhá řízená štěpná řetězová reakce, která ohřívá vodu. Ta díky vysokému tlaku dosahuje teplot až 300°C aniž by začala vřít. Další důležitou částí je kompenzátor objemu, který vyrovnává objemové rozdíly díky různým poklesům a následným nárůstům teplot.

Voda proudí do parogenerátoru, kde se prudkým ohřátím vody vytváří pára. Ta v sekundárním okruhu roztáčí turbínu napojenou na generátor a poté míří do kondenzátoru, kde pára kondenzuje na vodu a míří zpět do parogenerátoru. [1][2] Nedávno byl upgradovány systémy pro dukovanskou elektrárnu, díky které se zlepšila účinnost i výkon elektrárny.

Stejný typ elektrárny však už další rozšiřování nečeká, protože tento typ už je zastaralý a není nikdo, kdo by se chystal vystavět JE s generátory typu VVER 440/V213. To ovšem dává prostor pro rozvoj nových typů i systémů. Reaktory VVER 440/V213 sloužily dlouho a dobře, ale čas jejich vývoje již nadešel.

Elektronické komponenty JE se dělí na tři kategorie podle jejich příkonu a důležitosti.

I. kategorie. Tyto komponenty smí být bez napájení maximálně zlomky sekund. Jsou velmi důležité z hlediska jaderného bloku a mají malé příkony. Patří sem nouzové osvětlení, napájení systémů MaR a ochrana automatik. Je nutné tyto komponenty udržet v provozu a proto se musí napájet z baterie, avšak jen po dobu nezbytně nutnou pro naběhnutí diesel generátorů.

Spotřebiče II. kategorie jsou ty, které smí být bez napájení maximálně desítky sekund až několik minut. Mají celkem velké příkony, a proto není možné zajistit jejich provoz na energii z baterie. V momentě, kdy dieselové generátory vyrábějí elektřinu, se k využívání této energie přidávají i spotřebiče I. kategorie, aby se zbytečně neopotřebovávala baterie. Patří sem například vysokotlaké doplňování primárního okruhu, sprchový systém a havarijní napájecí čerpadla (HNČ).

Spotřebiče III. kategorie jsou spotřebiče s velmi velkou spotřebou, které se spouští až s elektrárnou po vyřešení problému. Není možné je napájet z dieselových generátorů a nejsou kriticky potřebné pro udržení elektrárny stabilizované. Je to hlavní cirkulační čerpadla (HCČ), které přivádí vodu k reaktoru, kondenzátní čerpadla, nebo čerpadla vody chladícího okruhu.

Pro vyzkoušení, jak vše funguje v provozu, jsme použili simulátor. Přesněji to byl displejový – výukový simulátor SPVS<sup>+</sup>EDU/ETE, který se používá i pro nácvik na zlepšování schopností a rozhodování pro pracovníky operačních bloků JE ETE a EDU. [3] Vyzkoušeli jsme si zde nominální chod elektrárny, kdy byly všechny hodnoty přednastavené na normální provozní hladině, a upravovali jsme výkon reaktoru nebo vypínali turbogenerátory.

Zažili jsme si i horké chvilky s reaktorem, když nám simulace spustila kritické stavy. Čelili jsme spolu s elektrárnou poruchám na reaktoru, vypadnutí všech čerpadel i zastavení obou turbogenerátorů. Nejzajímavějším a nejkomplexnějším jsme však shledali výpadek proudu, kdy se elektrárně nedostávala elektrická energie, která by napájela velikány jako čerpadla chladící vody, sprchový systém a hlavní cirkulační čerpadla.

#### 2 Simulace provozu

Simulátor SPVS<sup>+</sup>EDU/ETE (Simulační Počítačový Výukový Systém) je stupeň mezi výukovým a výcvikovým displejovým simulátorem. Tento simulátor můžeme spustit

na počítačích ve třídě, ale zároveň má pěkně vyvedený interface i reakce elektrárny na různé zásahy. Jsou zde mírné odchylky od reality, ale jinak je program velmi přesný. Začali jsme spuštěním programu a navolením nominálního nastavení.

Výkon	Střední	Rozdíl teplot	Výstupní	Tlak v HPK	Výkon jedné
reaktoru	teplota v	vstupní a	teplota z		turbíny
	reaktoru	výstupní vody	reaktoru		
100.0 %	279,8°C	29,4°C	294,5°C	4,5 MPa	220 MWe

Elektrárnu kontroluje a reguluje SARV, což je Systém Automatické Regulace Výkonu Bloku a má podsystémy. Mezi tyto podsystémy patří TVER, to znamená turbínový výkonový elektronický regulátor. Řídí turbogenerátory, které přetvářejí mechanickou energii na elektrickou a v ručním režimu přes něj můžeme snižovat výkon turbín nebo Přepouštěcí Systém do Kondenzátoru (PSK).

Další regulační systém je RCS –Reactor Control System, neboli Řídící Systém Reaktoru. Pomocí něj můžeme zasouvat nebo vysouvat 6. skupinu regulačních kazet v ručním režimu.

Zkusili jsme snížit výkon s TVER v režimu P. Rozdělili jsme si primární a sekundární okruh a zadaná byla regulace PO  $\rightarrow$  SO. Při tomto typu regulace upravuje primární okruh výkon a sekundární okruh se tomu přizpůsobuje. TVER v režimu P poté sleduje změny tlaku v HPK a podle toho přizpůsobuje množství páry, která protéká na turbíny a tím vyrovnává tlak v sekundárním okruhu. Vše je kontrolováno systémem elektrárny, ale i přes to mu být operátor trpělivý a opatrný. V případě jednání, které by bylo pro elektrárnu nebezpečné, se některé systémy mohou zablokovat a může dojít i k odstavení turbogenerátoru, nebo i reaktoru.

Tím jsme se se simulátorem seznámili a přešli na krizové stavy. Elektrárna zvládne díky preciznímu návrhu většinu abnormálních a havarijních stavů vyřešit bez zásahu pracovníka. Často jsme jen sledovali, jak se elektrárna sama vypořádává s nefunkčními čerpadly a jak vyrovnává tlaky. Nejzajímavější krizový stav byl již zmiňovaná ztráta napájení VS.

Ztráta napájení VS by mohla nastat v případě závady na přenosové soustavě elektrárny. V případě, že se do elektrárny nedostává elektřina, začíná soubor kroků, které musí JE podniknout, aby se předešlo poničení komponent elektrárny. Začali jsme simulaci s nominálními hodnotami.

Po ztrátě napájení VS se okamžitě odstaví turbogenerátory. Zapínají se havarijní systémy

HO-1 až HO-4 systémy. Odstavení turbogenerátorů JE prudce zvýší tlak v parním kolektoru. Havarijní kazety ihned padají do aktivní zóny a odstavují reaktor. JE automaticky vyrovnává tlaky v sekundárním okruhu pomocí přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA). PSA řídí průběh tlaku a reguluje tak teplo kolem reaktoru. Všechna čerpadla kolem reaktoru plynule pomocí zbývající mechanické energie čerpají vodu primárního okruhu. PSA udržuje přijatelný tlak sekundárním okruhu.

Po limitu pro naběhnutí dieselového generátoru začne systém postupně spouštět v sekundárním okruhu havarijní čerpadlo. PSA v HPK drží vyšší než provozní tlak, aby se v primárním okruhu udržela teplota, ale zároveň pomocí ventilů zachovává tlak v sekundárním okruhu udržitelný.

Po cca čtyřech minutách už je elektrárna stabilizovaná a PSA už jen udržuje tlak v sekundárním okruhu stabilní.



#### 3 Shrnutí

Systémy jaderné elektrárny VVER 440 typu V231 jsou na velmi vysoké úrovni a zvládají kontrolovat a regulovat JE bez větších zásahů člověka. Velmi dobré jsou i v abnormálních a havarijních situacích, kdy přebírají kontrolu nad elektrárnou a vedou akci bez nutnosti zásahu zaměstnanců elektrárny. Člověk chybuje a snad i proto systém nenechá člověka v krizové situaci moc co dělat. Vylučuje se tak lidské pochybení a zvyšuje se tím bezpečnost našich elektráren.

Simulátory pro výuku i výcvik jsou velmi kvalitní programy pro přípravu budoucích zaměstnanců, tak i pro prohlubování zvyků a znalostí těch stávajících.

# Poděkování

Za naši dvojici bychom chtěli poděkovat Týdnu vědy na Jaderce za úžasný program plný nových věcí, které jsme se dozvěděli. Dále nesmíme opomenout vedoucího naší práce pana Ing. Dušana Kobylku Ph.D., který nám představil simulátory a jaderné elektrárny a byl tu vždy, aby nám odpovídal na naše nekonečné dotazy.

# **Reference:**

- [1] HTTPS://WWW.CEZ.CZ/CS/VYROBA-ELEKTRINY/JADERNA-ENERGETIKA/JADERNE-ELEKTRARNY-CEZ/EDU/TECHNOLOGIE-A-ZABEZPECENI.HTML [CIT. 21. ČERVEN 2016]
- [2] HTTPS://CS.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/VVER#VVER-440\_TYP.C2.A0213 [CIT. 21. ČERVEN 2016]
- [3] SPVS<sup>+</sup>EDU/ETE příručka uživatele VUJE, 2008, Úvod
- [4] https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDpadek\_dod%C3%A1vky\_elekt%C5%99iny [CIT. 21. ČERVEN 2016]
- [5] Schéma VVER-440; Ing. Pavel Slabák, ELEKTRICKÁ ČÁST JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY, ČEZ, 2016

#### Matematické modelování

Fyzikální vlastnosti materiálů

Laserová fyzika Fyzika v medicíně Elementární částice Optoelektronika Informatika a software

> Jaderná bezpečnost a ekologie



#### Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská Českého vysokého učení technického v Praze

Jaderná

chemie

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 ústavy 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 <u>Kurzu z M a F pro přípravu ke studiu na technických VŠ</u> (od listopadu do března).

### FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENŔSKÁ 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 <u>založena</u> v roce 1955 pod původním názvem Fakulta technické a jaderné fysiky 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 létech se na fakultě studovaly především jaderné obory – jaderná fyzika, jaderná chemie a jaderné inženýrství, v šedesátých létech 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 <u>Aplikace přírodních věd</u>. 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 <u>vzdělání</u> 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.

<u>Výzkum</u> (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 <u>Studentská unie při FJFI ČVUT</u>. 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 aktivity Studentské unie jako významnou součást své činnosti a snaží se je podporovat.