Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2017





"Učenec v laboratoři není jen odborník, je to dítě, které hledí na vědu jako na pohádku.." Marie Skłodowska Curie (150 let od narození)





Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2017

Poděkování za laskavou podporu

Nadační fond pro podporu teoretické fyziky

a





# Slovo úvodem

Milí přátelé, stojíme před prahem 20 let konání Fyzikálního týdne/Týdné vědy. Uffff. Mohlo by se zdát, že by to mohlo při tomto věku šlapat samo. Není tomu tak. Stále je obrovský prostor tuto akci ladit a šperkovat.

Dále pokračuji tradičně telegraficky:

- Aktuální statistika vypadá takto: Letošní ročník tvořilo opět 29 komnat Pevnosti Břehyard, pak 43 miniprojektů, 14 exkurzí 15 přednášek a 4 diskusní párty pro 122 studentů.
- Jdeme s dobou a vypouštíme CD. Po 15 vydáních. Trochu jsem to oplakal...
- Dovolte mi na tomto místě přivítal v týmu Vojtu Fišera, který zřejmě naprogramoval a naskriptoval u Týdne vědy vše, co se dalo. A dále Karla Koláře, který se skvěle uvedl s appkou pro mobilní zařízení a pomocí při Pevnosti Břehyard a který kývl na intenzivnější spolupráci pro další roky. Toto je nesmírně slibné a máte se nač těšit.
- Dále tradičně děkuji všem vedoucím komnat Pevnosti Břehyard, garantům úloh, přednášejícím, vedoucím exkurzí, krupiérům na Kasinu a zvláštní poděkování patří podpoře fakulty FJFI.

Minule jsem zde psal, že mne nadchlo zjištění, že účastník Fyzikálního týdne z roku 2005, Vítězslav Jarý, dostal ocenění Česká hlava doctorandus. Letos, jak minule přislíbil, vedl miniprojekt a dal přednášku. Supppeeer. Začínám si všímat, že se mezi organizátory miniprojektů, přednášejícími, průvodci exkurzí, vedoucími komnat na Pevnost Břehyard a krupiéry z Kasina začínají stále více objevovat bývalí účastníci, že Čeňku, Vojto, Pavlo, Matyáši, Tomáši, Filipe, Ondro a další a další. Mám z toho velkou radost. Přátelé, moc se těším, že i mezi vámi jsou budoucí spolupracovníci na této akci.

Doufám, že se budu moci za rok opět postavit před skupinu nadšených zájemců a začít 20. ročník TV@J. Se spoustou z vás se loučím "na shledanou" a to nejenom jako s budoucími účastníky Týdne vědy, ale třeba i studenty naší fakulty.

20.6.2017

S pozdravem, Vojtěch Svoboda

/ //g....

## Očekávání a obavy

Očekávání	Očekávání & Obavy	Obavy	
Seznámit se s FJFI	Uspávač hadů Svoboda	Nedostatek jídla	
Něco nového se naučit, třeba fůze	Koleje	Mrtvá linka (deadline)	
Super vedoucí	lidi s mozkem	Spolupracovníci	
Odjedu nabitý vědomostmi a pozitivně nalazen	Prezentace miniprojektů	Z Prahy	
Rozšířím si matematický aparát	Prokrastinace	Ze zmatených nepražáků	
Chuť studovat FJFI		Z osobního selhání	

## Contents

Poděkování	3
Slovo úvodem	4
Program Týdne vědy 2017	9
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	11
Příspěvky	18
Simulace provozu JE typu ABWR (Martin Orság, Jaroslav Lehečka)	. 18
Základní experimenty akustiky (Vojtěch Böhm, Miriam Horálková, Michal Zelený) Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERN (Kateřina	22
Charvátová)	. 26
Balmerova série vodíku (Kateřina Škorvánková, Gabriela Bošňáková)	30
,Natália Remperová)	. 34
Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření? (	
Ondřej Hladík)	. 38
Ćítání fotonů a jeho aplikace (Jiří Löffelmann, Alexandra Pernišová, Patrik Novotný ý)	42
Relativistické elektrony na tokamaku COMPASS (Ivan Hudák, Maximilián Molnár, Jakub Šafář)	. 46
Kde se v kinematice berou derivace a integrály? (Klára Grohmannová, Kristýna Hais-	
manová, David Miloschewsky, Josef Hůla)	51
Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů (Ondřej Lomický, Roman Vašut, Tomáš	•
	56
Neceločíselná dímenze - analýza nevšedních struktur z všedního života (Alžbeta Budinská,Kateřina Skybová)	. 59
Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy (Viktorie	
Volejníková,David Koutný)	. 64
Mumie versus Zombie: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy (Ceněk Malík, Tere	za
Bastová, Monika Motanová, Marie Dohnalová)	68
Jak elektron k naboji prisel (Frantisek Novak, Jakub Parenica, Petr Kolar)	74
Elektronova mikroskopie v materialovem vyzkumu (Michal Matoulek, Adam Janich, Robert	70
Horesovsky)	. (8 
Jak kracis: - statisticka analyza evakuachino experimentu (Zdenek Piesek, Petr Miculek, So Komorowá Adam Děínek)	ona 01
Kernerova, Adam Drinek)	. 01 95
Hladání Higgsova bosonu na urvehlovači IHC (Anota Hlinčíková liží Kulda Katořina	00
Rosická)	88
Get ready for Krakatit (Martina Novotná Marek Chadim)	. 00 
<b>Detekce kosmického záření na palubách letadel</b> (Jakub Růžička, Veronika Blovská, Jana Pokažová Daniela Lichnovská Katožina Loidová)	06
Bozsvitme mozek! (Anna Bobbová Romana Čanigová Daniel Friedrich)	90 101
<b>ICODSVIENCE INDUCES:</b> (Anna ICODOVA, ICOMANA CAMEUS, DAMEI FIEURICI)	101

<b>99mTc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně</b> (Hynek Loskot, Te Přibylová, Natálie Peterková, Eliška Trojáková )	reza 104
Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru (Thi Thu Hien (Hana) Nguyenová, Emma	
Bielokostolská, Veronika Scholzeová)	108
Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gama (Ondřej Buček, Karolína	
Bergelová, Michal Farana)	115
Stínění neutronů (Veronika Deketová, Ondřej Holas, Simona Gabrielová)	118
Počítačová grafika - pohled pod pokličku (David Horský, Filip Nácovský, Tomáš Sláma, Jakub	
Medek)	123
Radioimunoanalýza (Martin Osowski, Václav Löffelmann, Nela Hrobařová, Janka Motešická, Zuza	ına
Petrová, Filip Jozefov)	128
Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti (Ladislav Valica,Kateřina	
Pražáková,Filip Svoboda)	132
Využití rezonance při zkoušení materiálů (Svatopluk Vlk, Anežka Trojanová, David Vagner	) 137
${\bf Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek (Ladislav Nagy, Adéla$	
Hrušková, Michaela Crhánová)	141
Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači (Sebastian	
Hlavatý,Kateřina Nosková,Marie Hledíková)	144
Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám (Soňa Burešová, Kristína Szabová, Vladimír	
Lukačko)	148
Jak nám pomáhají tenké vrstvy? (Kateřina Černá,Vít Kodat,Ivana Horáková)	152
Termoluminiscenční dozimetrie (Zdenka Sosnová)	156
Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I (Simona	
Buryšková,Luděk Nechyba,Daniel Komárek)	160
Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II (Lucie	
Sladká, Veronika Rečková, Jan Buryanec)	164
Rozhodování strojů a za pomocí strojů (UI) (Klára Tauchmanová, Michal Zatloukal, Filip	
Geib, Michal Pitr)	168
Stolní urychlovače elektronů (Jan Turza, Maksymilian Iurchenko)	172
Simulace provozu JE typu VVER-440 (Matěj Rzehulka, Jakub Slabihoudek)	176
<b>Postavte si laserový zaměřovač</b> (Bára Jiříčková, Aaron Schick, Jakub Reha, Tomáš Musil)	181
Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata? (Jiří Malinak)	185
Zombie Apokalypsa: Monte Carlo simulace (Michal Jelínek, Štěpánka Balvínová, Markéta	
Cechurová,Eliška Povolná)	189
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT	192



# Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2017

# Program Týdne vědy 2017

• Neděle 18.6.

10.00-11.00 Registrace (Břehová - vrátnice)
11.00-12.30 Úvod (o vědecké komunikaci) a organizace TV@J (aula 103)
12.30-14:00 Pauza na oběd
14.00-15.30 Populární přednášky (Břehová - posluchárny)
16.00-19.00 Pevnost Břehyard (Břehová celá, začátek v aule 103)
19.00- Ubytování pro mimopražské

• Pondělí 19.6.

9.00-16.30 Miniprojekty (seznámení, rešerše, příprava, realizace)
16.30-18.00 Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J (aula 103)
16.30-18.00 Alternativní přednášky pro absolventy minulých ročníků TV@J

• Úterý 20.6.

**celý den** Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku) **18.00** Uzávěrka návrhů titulního obrázku a nahrání příspěvků do sborníku TV2017

• Středa 21.6.

8.30-10.00 Hlavní pozvaná přednáška (aula 103)
10.30-11.45 Vědecká prezentace II pro nováčky na TV@J (aula 103)
10.30-11.45 Alternativní přednášky pro absolventy minulých ročníků TV@J
11.45-13:00 Pauza na oběd
odpoledne Exkurze na vrcholná badatelská pracoviště po Praze
17.30-19:30 Diskuzní párty (Břehová posluchárny)
22.00 Uzávěrka nahrání prezentací pro minikonferenci

• Čtvrtek 22.6.

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)
16.00-17.00 Prezentace miniprojektů IV (auly 103 a 115)
18.00-21:00 Kasino (závěrečný večerní program na fakultě na terase či v atriu)

• Pátek 23.6.

9.00-10.15 Prezentace miniprojektů V (aula 103)

10.45-11.45 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.
- Školní reaktor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT.
- Tokamak GOLEM.
- Tokamak COMPASS.
- Technické muzeum Praha.
- Ústav fyziky atmosféry.
- Z-pinč.
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR.
- Thomayerova nemocnice radioterapie.
- Výzkumný a zkušební letecký ústav v Letňanech.
- IKEM.

#### Seznam všech přednášek

- Ing. 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: Theranostika.
- Ing. Tomáš Jakoubek: Jak zkoumáme strukturu hmoty v CERNu?.
- 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. Ondřej Novák: Havárie v jaderné energetice.
- prof. Ing. Jiří Kunz, CSc.: Vyšetřovat a léčit lze nejen živé pacienty, ale i materiály.
- doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D.: Chemie a záření.

- doc. Ing. Irena Kratochvílová, Ph.D.: Tenké polykrystalické diamantové filmy proti korozi v jaderných reaktorech.
- Ing. Vítězslav Jarý, Ph.D.: Jak se scintilátory detekovat ionizující záření? Rychle, účinně a levně..
- Jakub Otáhal, MD, Ph.D., Assoc.Prof.: Výzkum epilepsie ve 21.století aneb jak moderní metody pomáhají zlepšovat kvalitu života pacientům s epilepsií.
- prof. Ing. Jan John, CSc.: Jaderná chemie včera, dnes a zítra..
- Ing. Martin Plajner: Proč je adaptivní test znalostí lepší (a horší) než běžný test.
- Ing. Michal Šmíd: Laserové plasma.
- RNDr. Martin Vlk, Ph. D.: Minulost a budoucnost radiofarmak.
- Ing. Tomáš Kouřim: Matematika v kasinu.

#### Miniprojekty a jejich garanti z FJFI

- Ing. Ondřej Grover: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I.
- Ing. Jaroslav Krbec: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II.
- Mgr. Hana Bártová: Jak poznat dávku z barvy gelu?.
- Ing. Pavel Strachota, Ph.D.: Počítačová grafika pohled pod pokličku.
- 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. Marek Bukáček: Jak kráčíš? statistická analýza evakuačního experimentu.
- 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. 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 .
- Ing. Jan Adámek: Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu.
- Ing. Jaroslav Čech: Jak nám pomáhají tenké vrstvy?.
- Prof. Dr. RNDr. Miroslav Karlík: Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů.
- ing. Ondřej Kovářík, Ph.D.: Využití rezonance při zkoušení materiálů.
- 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.
- Ing. Dagmar Kyselová: Detekce kosmického záření na palubách letadel.
- Ing. Michal Špaček: Balmerova série vodíku.
- Dagmar Bendová: Hledání Higgsova bosonu na urychlovači LHC.
- Ing. Vladimír Linhart, Ph.D.: Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru.
- Ing. Petr Kolenko, Ph.D.: Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám.
- Ing. Ondřej Huml, Ph.D.: Stínění neutronů.

- Bc. Vojtěch Stránský: Get ready for Krakatit.
- Ing. Petra Mičolová: 99mTc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně.
- Bc. Michal Sakmár: Radioimunoanalýza.
- Ing. Leona Švecová, Ing. Jan Stránský: Biofyzikální studium bílkoviny: od sliny ke struktuře.
- Ing. Ondřej Novák: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti.
- Ing. Vítězslav Jarý, Ph.D.: Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření?.
- Richard Švejkar: Postavte si laserový zaměřovač.
- Jakub Otáhal, MD, Ph.D., Assoc.Prof.: Rozsviťme mozek!.
- Zuzana Moravcová: Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERN.
- Ing. Jakub Kvapil: Jak elektron k náboji přišel.
- Bc. Jan Vaněk: Základní experimenty akustiky.
- Ing. Ondřej Ficker: Relativistické elektrony na tokamaku COMPASS.
- Ing. Martin Malachov: Neceločíselná dimenze analýza nevšedních struktur z všedního života.
- Ing. Martin Matys: Zombie Apokalypsa: Monte Carlo simulace.
- Bc. Zbyněk Nguyen: Kde se v kinematice berou derivace a integrály?.
- doc. Ing. Ondřej Klimo, Ph.D. a Ing. Vojtěch Horný: Stolní urychlovače elektronů.
- doc. Ing. Ladislav Kalvoda, CSc.: Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata?.

# Minikonference MINIKONFERENCE - Břehovka, čtvrtek a pátek:

#### Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

#### Předsedající: Veronika Deketová

9:00 Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERN
9:15 Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření?
9:30 Jak poznat dávku z barvy gelu?
9:45 Využití rezonance při zkoušení materiálů
10:00 Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata?
10:15 Balmerova série vodíku

#### Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

#### Předsedající: Ladislav Nagy

- 9:00 Biofyzikální studium bílkoviny: od sliny ke struktuře
- 9:15 Čítání fotonů a jeho aplikace
- $\mathbf{9:30}$ Neceločí<br/>selná dimenze analýza nevšedních struktur z všedního života
- $9{:}45\,$ Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gama
- 10:00 Stínění neutronů
- ${\bf 10{:}15}\,$ Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách simulace na počítači

#### Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

#### Předsedající: Simona Gabrielová

- 11:00 Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám
- ${\bf 11:} {\bf 15} \ \ {\rm Termoluminiscenčn}{\rm \acute{i}} \ {\rm dozimetrie}$
- ${\bf 11:30}~{\rm Simulace}~{\rm provozu}~{\rm JE}~{\rm typu}~{\rm ABWR}$
- ${\bf 11:45}\,$ Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- ${\bf 12:00}\,$  Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy
- 12:15 Get ready for Krakatit

#### Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

#### Předsedající: Ondřej Hladík

- 11:00 Počítačová grafika pohled pod pokličku
- ${\bf 11:} {\bf 15}$ Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
- 11:30 Stolní urychlovače elektronů
- 11:45 Základní experimenty akustiky
- 12:00 Relativistické elektrony na tokamaku COMPASS
- 12:15 Kde se v kinematice berou derivace a integrály?

#### Čtvrtek: společné přednášky v Aule 103

#### Předsedající: Michal Jelínek

14:00 Mumie versus Zombie: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy
14:15 Jak elektron k náboji přišel
14:30 Jak kráčíš? - statistická analýza evakuačního experimentu
14:45 Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru
15:00 Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek
15:15 Pozvánka na TCN

#### Čtvrtek: společné přednášky v Aule 103

#### Předsedající: Vladimír Lukačko

16:00 Jak nám pomáhají tenké vrstvy?
16:15 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II
16:30 Rozsvitme mozek!
16:45 Simulace provozu JE typu VVER-440

#### Pátek: společné přednášky v Aule 103

#### Předsedající: Jiří Löffelmann

9:00 Zombie Apokalypsa: Monte Carlo simulace
9:15 Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu
9:30 Postavte si laserový zaměřovač
9:45 Radioimunoanalýza
10:00 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I

#### Pátek: společné přednášky v Aule 103

#### Předsedající: Marie Dohnalová

10:45 Hledání Higgsova bosonu na urychlovači LHC

 $\mathbf{11:00}$ 99<br/>mTc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně

 ${\bf 11:} {\bf 15}$ Detekce kosmického záření na palubách letadel

- 11:30 Rozhodování strojů a za pomocí strojů (UI)
- 11:45 Ukončení TV@J
- 12:00 Rozchod

Letošní TV@J už není doprovázen CD.

## Simulace provozu JE typu ABWR

#### J. Lehečka\*, M. Orság\*\* \*Gymnázium a SOŠ Plasy, Školní 280, Plasy \*\*Gymnázium a SOŠZE Vyškov, Komenského 16/5, Vyškov \*jarous556@gmail.com \*\*martin1orsag@gmail.com

#### Abstrakt:

Úkolem našeho projektu bylo seznámit se s nominálními a havarijními stavy jaderné elektrárny s reaktorem typu ABWR. V normálním stavu bylo provedeno snížení výkonu ze 100 % na 70%. Vyzkoušeli jsme si použití automatických systémů a manuálního řízení. Cílem bylo zjistit více o stavbě jaderné elektrárny a řešení havarijních situací.

## 1 Úvod

V jaderné elektrárně se převádí jaderná energie na energii elektrickou postupnými sledy několika fyzikálních postupů. Existuje několik druhů jaderných reaktorů (tlakovodní, varný, atd.). Jeden z nejpoužívanějších typů reaktorů je varný reaktor, který ve světě zaujímá cca 20% instalovaného výkonu v jaderných elektrárnách. Mezi jeho nejnovější modifikace můžeme zařadit i ABWR, který je v současné době v provozu v Japonsku. Tento jaderný reaktorů je lehkovodní jednookruhový reaktor. Je jednou z nejmodernějších generací jaderných reaktorů. Simulace byla zaměřena na jadernou havárii LOCA právě na tomto reaktoru. LOCA (Loss of coolant accident) je havárie s únikem chladiva z reaktoru.

#### 2 Teorie Jaderná elektrárna

V jaderné elektrárně se převádí jaderná energie na elektrickou. Teplo vzniká v reaktoru za pomoci štěpení radioaktivního izotopu <sup>235</sup>U. Neutron naráží do jádra uranu a vzniká vybuzené a vysoce nestabilní jádro <sup>236</sup>U. Toto jádro se štěpí zpravidla na dvě jádra a 2-3 neutrony (dle pravděpodobnosti = 2,41 neutronu), viz obr. 1. Při tomto procesu se uvolňuje energie (202,8 ± 0,4 MeV) a vyzařuje se záření  $\beta$ ,  $\gamma$  a neutrina. Většinu energie nesou fragmenty štěpení. Jediná nevyužitá energie je kinetická energie neutrin. Na 1 W je potřeba 31 miliard rozštěpených jader/s. Elektrárna při denní produkci 1 MW tepelné energie spotřebuje 1 g štěpitelného materiálu (= 2,5 x 10<sup>21</sup> jader).



Obr. 1: Štěpení uranu, Zdroj: [1]

#### Rankin - Clausiův cyklus



Obr. 2: Rankin – Clausiův cyklus, Zdroj:[2]

Přeměna tepelné energie na mechanickou v jaderném reaktoru funguje na principu Rankin – Clausiova cyklu, viz obr. 2. V bodě 1 je voda ve stavu kapalném. V bodě 2 se stává z kapaliny sytá kapalina. Z bodu 2 do bodu 3 se zvyšuje suchost páry a nastává tzv. dvoufázový stav (máme zde jak páru, tak i kapalinu). V bodě 3 se z mokré páry stává sytá pára. Do bodu 4 se zahřívá – přehřívá se  $\rightarrow$  vzniká přehřátá pára. V bodě 4 se přehřátá pára přivádí na parní turbínu (do bodu 5). Z bodu 5 do bodu 6 pára kondenzuje. Z bodu 6 do bodu 1 se zvyšuje tlak díky činnosti čerpadla.

Termická účinnost výše popsaného cyklu je možno zvýšit těmito způsoby: zvýšení vakua v kondenzátoru, teplárenským způsobem výroby, binárním oběhem, zvyšováním parametru páry vstupující na turbínu (teplota, tlak) a regeneračním ohřevem napájecí vstupní vody

Rankin - Clausiův cyklus je na elektrárně s varným reaktorem realizován: pára vychází z reaktoru parním potrubím do turbíny, kde roztočí lopatky a vytvoří mechanickou energii, která je použita v generátoru pro výrobu elektrické energie. Z turbíny jde pára do kondenzátoru, kde kondenzuje a následně jde jako kapalina do napájecího čerpadla, zde se zvyšuje tlak kapaliny a navrací se do reaktoru.



Obr. 3.: Schéma reaktoru typu ABWR, Zdroj: [1]

#### 3 Porušení parního kolektoru

Během týdne vědy bylo simulováno několik havarijních scénářů. Měli jsme možnost si vyzkoušet havarijní scénáře v automatickém režimu. Jedna z nejzajímavějších a nejsložitějších situací byla počítačová simulace porušení parního kolektoru. Po vzniku trhliny v parním kolektoru (viz obr. 3) byl v prvním kroku odstaven reaktor havarijní ochranou, tj. zasunutím absorpčních tyčí. S menším zpožděním byl odstaven také turbogenerátor. Důvodem byly změny tlaku v reaktoru. Průtok chladiva aktivní zónou klesal (z důvodu zastavení hlavních cirkulačních čerpadel). Pára proudila do kontejnmentu. Průtok páry je dán velikostí trhliny a rozdílem tlaku v reaktoru a kontejnmentu. Ve spodní části kontejnmentu se nachází voda, ve které pára kondenzovala. Teplo bylo periodicky odváděno havarijními čerpadly a tepelnými výměníky.



Obr. 4.: Kontejnment, Zdroj: ABWR IAEA

Kondenzací páry roste v dolní části kontejnmentu tlak a teplota vody. V návaznosti na zvýšení tlaku jsou periodicky spouštěna havarijní čerpadla, která čerpají vodu do havarijních tepelných výměníků. Odtud jde teplo havarijními okruhy pryč a tím jsou teplota a tlak udržovány na konstantních hodnotách.

V průběhu simulace došlo k zásahům, viz hlášení na obr. 5.:

Odstavení reaktoru, Odstavení turbogenerátoru, Vysoký tlak v kontejnmentu / LOCA, Izolace reaktoru, Odstavení napájecích čerpadel, Nízký tlak v nádobě reaktoru, Vysoká hladina v reaktoru

Reactor Scram	Turbine Trip	Reactor Pres V. Lo	Rods Run-in Req'd	Hi Dryw P/LOCA	Turbine Runback	Gen Breaker Opn
Hi Neut Pwr vs Flow	Reactor Pres V. Hi	Reactor Pres Lo	Reactor Level Lo	Reactor LvI V. Lo	Lo Turb Fwd Pwr	FW Pump(s) Trip
Reactor Isolated	Reactor Press Hi	Core Flow Lo	Reactor Level Hi	Turbine Gov. in Man	Loss RIP Pmp(s)	Malfunction Active

Obr. 5.: Warning, Zdroj: ABWR IAEA

## 4 Shrnutí

Simulace ukázaly přednosti automatických systémů, díky kterým je řízení jaderného reaktoru jednodušší. Díky bezpečnostním systémům se zastaví štěpná reakce, vypne se turbogenerátor a voda je čerpána náhradními čerpadly. Výsledkem je zjištění: během havárií nehrozí žádné nebezpečí a to ani z úniku radioaktivity do okolí.

## Poděkování

Naše poděkování patří vedoucímu miniprojektu, Dušanu Kobylkovi, a Vojtěchu Svobodovi za bezproblémový průběh celé akce. Dále bych chtěl poděkovat celému organizačnímu týmu TV@J 2017.

## **Reference:**

[1] KOBYLKA, D.: Prezentace projektu týdnu vědy, Praha, 2017

- [2] Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © [cit. 20.06.2017].
- Dostupné

z: <u>https://www.vutbr.cz/www\_base/zav\_prace\_soubor\_verejne.php?file\_id=</u> 65241

#### Základní experimenty akustiky

#### V. Böhm<sup>1</sup>, M. Horálková<sup>2</sup>, M. Zelený<sup>3</sup> <sup>1,3</sup>SPŠE V Úžlabině, V Úžlabině 320, Praha 10, 100 00 <sup>2</sup>Gymnázium Nad Kavalírkou, Nad Kavalírkou 1, Praha 5, 150 00 <sup>1</sup>Vojta.bohm@gmail.com, <sup>2</sup>miri.horalkova@seznam.cz, <sup>3</sup>michalzelen02@gmail.com

#### Abstrakt:

Uvažovali jste někdy nad tím, jak rychle se šíří zvuk ve struně? A ve vzduchu jako takovém? Na tyto otázky jsme se snažili najít odpověď pomocí tří praktických experimentů, kterých jsme mimo jiné využívali Quinckovu trubici, Helmholtzův rezonátor či frekvenční generátor.

#### 1 Úvod

Akustika je věda zabývající se vznikem, šířením a zánikem zvuku. Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, jehož frekvence je v rozsahu 16 – 20000 Hz. U zvukových vln dochází v praxi k interferenci neboli k jejich skládání. Konkrétně pro dvě vlny platí (přejato z [1]):

$$f(t) = \sum_{i=1}^{2} A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \tag{1}$$

Rychlost šíření závisí na prostředí, v plynech je rychlost nejnižší. Na druhé straně v pevných látkách s krystalickou mřížkou se zvukové vzruchy šíří nejrychleji. Pro rychlost šíření zvuku ve vzduchu platí tento vzorec (přejato z [1]):

$$v = (331,57 + 0,607t) \text{ m s}^{-1},$$
 (2)

kde *t* je teplota prostředí v °C. Tento vztah jsme prakticky ověřili pomocí Quinckovy trubice a poté i pomocí Helmholtzovy rezonance. V akustice se zavádí takzvané "stojaté vlnění", což je jev, který nastává při interferenci dvou protichůdných postupných vln. Vzniká například na struně, či jiné látce, která má pevně dané uzly a stálou amplitudu v každém bodě vlnění. Toto jsme si vyzkoušeli a dokázali na experimentu s frekvenčním generátorem a kovovou strunou.

#### 2.1 Stojaté vlnění na struně

Prvním experimentem, který jsme provedli, byl důkaz a pozorování stojatého vlnění na kovové struně z kytary. K dispozici jsme měli upevněnou strunu, napnutou 5 kilogramovým závažím, frekvenční generátor a zdroj mechanických kmitů. Aparatura už byla sestavena, my jsme jen museli zařízení poskytnout přívod elektřiny. Nejprve jsme si spočítali přibližnou hodnotu frekvence, kde na struně vynikne jedna kmitna. Následně jsme frekvenci upravovali, než vyniklo v rámci možností dokonalé stojaté vlnění. Vlna v ten moment kmitala s co největší

amplitudou a neslyšeli jsme tzv. rázy. Ty vznikají při skládání dvou vlnění o jen málo odlišné frekvenci a vnímáme je jako periodické změny hlasitosti. Poté jsme zvyšovali frekvenci zdroje kmitání tak, aby byl počet kmiten vždy o jedna větší a zároveň tak, aby bylo zachováno stojaté vlnění. Pro daný počet kmiten jsme zapisovali frekvenci zdroje vytvářejícího stojaté vlnění. Následně jsme museli zpracovat data, k čemuž nám posloužil počítačový program Gnuplot. Do něj jsme si zadali parametr, který jsme potřebovali vypočítat. V našem případě jsme si ho označili *C*. Z údajů, které jsme již programu poskytli, nám byla vypočtena hodnota parametru včetně relativní chyby a my jsme následně byli schopni vypočítat lineární hustotu struny a rychlost šíření zvuku v dané struně pomocí vztahu (přejato z [1]):

$$v_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\varrho}} = C n \tag{3}$$

#### 2.2 Quinckova trubice

Následoval experiment pro ověření rychlosti zvuku za pomocí Quinckovy trubice. Zde je zvuk rozdělen na dva proudy. Jedna část trubice se dá posouvat, díky čemuž dochází v konečném zúženém místě k interferenci. Rameno trubice jsme pro danou frekvenci vždy prodlužovali, tak aby byly vlny přicházející z obou konců ve stejných fázi. To jsme viděli pomocí osciloskopu připojeného k mikrofonu na konci trubice. Při shodné fázi jsme pozorovali největší aktuální amplitudu. Prováděli jsme vždy celkem šest prodloužení pro každou frekvenci a postup jsme opakovali celkem pro deset daných hodnot frekvence. Všechny hodnoty prodloužení jsme zaznamenávali. Dvojnásobek rozdílu dvou prodloužení byl shodný s vlnovou délkou. Ze vztahu  $\lambda = vT$  jsme opět pomocí Gnuplotu zjistili hodnotu parametru v, který je shodný s rychlostí zvuku ve vzduchu. Program nám také vypočítal chybu měření.



Obr. 1: Quinckova trubice



Obr. 2: Baňka použitá jako Helmholtzův rezonátor

#### 2.3 Helmholtzova rezonance

Posledním experimentem byl výpočet rychlosti šíření zvuku ve vzduchu pomocí obdoby Helmholtzova rezonátoru. Použili jsme k tomu baňku, ve které jsme postupně měnili objem V vzduchu za přilévání určitého množství vody. Znali jsme délku hrdla baňky l a jeho poloměr r. Výpočet rychlosti zvuku vychází ze vzorce rezonanční frekvence f Helmholtzova rezonátoru při daném objemu V (přejato z [1]):

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{(l+1,4r)V}} \tag{4}$$

Nad hrdlem baňky byl umístěn reproduktor připojený k frekvenčnímu generátoru a také mikrofon snímající zvuk v oblasti hrdla baňky a připojený k SW vyhodnocující složení frekvencí a jejich intenzitu. Reproduktor vytváří v bance přetlak, což způsobí hybnost molekul vzduchu, které unikají z baňky. Setrvačnost molekul způsobí následný podtlak v bance, který způsobuje zpětný tah a hybnost molekul vzduchu do baňky a dochází k rezonanci. První měření jsme provedli s prázdnou baňkou a s každým následujícím měření jsme přilili 50 ml. Tedy od 0 ml až do 500 ml. Aparatura byla připojena na počítač, který zobrazoval maximální "peak", který jsme hledali pomocí upravování frekvence a následným zanesením dat do počítače. Poté jsme využili stejného principu výpočtu jako při předchozích experimentech a pomocí Gnuplot jsme vypočítali chybu měření.

#### 3 Výsledky

Sestrojili jsme graf závislosti budící frekvence *f* na počtu kmiten *n* (Obr. 3). Experimentální data jsme nafitovali přímkou pomocí vztahu (3). Z fitu vyšla hodnota  $C = (22,73 \pm 0,03)$  Hz. Vyjádřením z parametru *C* jsme vypočítali rychlost šíření vlny na struně v = 54,911573 m s<sup>-1</sup>, a lineární hustotu struny  $\rho = 0,016267$  kg m<sup>-1</sup>.

V druhém experimentu jsme sestrojili graf závislosti vlnové délky  $\lambda$  na periodě *T* (Obr. 4). Experimentální data jsou nafitované závislostí  $\lambda = \nu T$ . Z fitu jsme získali rychlost šíření zvuku ve vzduchu jako v = (345 ± 2) m s<sup>-1</sup>, kde chyba je chyba parametru fitu.

V posledním experimentu jsme sestavili graf závislosti frekvence na objemu baňky (Obr. 5). Použili jsme vztah (4). Z výsledku fitu jsme vypočetli rychlost zvuku  $v = 334,370 \text{ m s}^{-1}$ . Po dosazení do empirického vzorce (2) pro aktuální teplotu t = 26,8 °C vidíme, že výsledky experimentálních metod potvrzují teoretický výpočet tj. 347,838 m s<sup>-1</sup> (s relativní chybou 3,9 %).



Obr. 3: Graf závislosti budící frekvence na počtu kmiten.



Obr. 5: Graf závislosti rezonanční frekvence na objemu baňky.

## 4 Shrnutí

Rychlost šíření zvukových vln závisí na materiálu prostředí. Rychlost ve vzduchu se zároveň zvyšuje s rostoucí teplotou. Ve třech provedených experimentech se nám za daných podmínek podařilo relativně přesně změřit rychlost zvuku ve vzduchu a rychlost šíření podélného kmitání ve struně a její lineární hustotu.

## Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervizorovi Janu Vaňkovi za seznámení s tématem, provedení nás experimenty a odbornou konzultaci spolu se vstřícným přístupem k nám a našemu projektu. Dále děkujeme organizátorům Týdne vědy a představitelům FJFI ČVUT.

#### **Reference:**

[1] *Akustika*, fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze, [online], [cit. 20. 06. 2017.], URL: <<u>https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/414/mod\_resource/content/11/Akusitka\_170210</u>.pdf>.

# Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERN

#### K. Charvátová

Gymnázium Boženy Němcové, Pospíšilova 324 Hradec Králové

katchar@gybon.cz

#### Abstrakt

Cílem tohoto článku je objasnit základní principy rekonstrukce částic na detektoru ALICE v CERN. V experimentální část byla věnována vykreslování histogramů (z dat naměřeních v detektoru ALICE v CERN) pomocí programu ROOT.

#### 1. Teoretický úvod

Částice dělíme podle jejich spinu na fermiony s poločíselným spinem a bosony s celočíselným spinem. Mezi fermiony patří leptony (elektron, mion, tauon, a k nim přidružená neutrína), kvarky (u,d,c,s,t,b) a jejich antičástice. Hmota okolo nás je složena primárně z částic první generace. Složené částice se nazývají hadrony. Dělí se na mesony (kvark + antikvark) a na baryony (3 kvarky - např. proton: uud, neutron: udd).

částice látky (fermiony)			<b>kvanta poli</b> (bosony)		
	generace I	generace II	generace III	gravitační	graviton G
	elektron <b>e</b> q=-1, m=0,511	mion <b>μ</b> q=-1,m=106	tauon <b>t</b> q=-1,m=1780	interakce elektromag.	q=0,m=0 foton <b>y</b>
lentony	e-neutrino V.	μ-neutrino <b>ν</b>	τ-neutrino <b>ν</b> _	interakce	q=0,m=0
	m ≤ 2 eV	m ≤ 0,27MeV	m ≤20MeV ?	slabé	bosony <b>W<sup>±</sup></b> ; <b>Z</b> a=±1:0
	"up" <b>u</b>	"charm" C	"top" t	interakce	m = 80; 91 GeV
kvarky	q=+2/3, m=2	q=+2/3, m=1250	q=+2/3,≈170GeV	silné	gluony <b>g</b> (8)
	"down" <b>d</b> q=-1/3 , m=5	"strange" <b>S</b> q=-1/3 , m=100	"bottom" <b>b</b> q=-1/3, m=4200	interakce	q=0 , m=0

Obrázek 1 : Standardní model částic. Převzaté z [1]

Bosony přenáší základní interakce (foton – elektromagnetická interakce, gluon - silná i., W a Z bosony - slabá i.)

Shrnutí spolu s údaji o hmotnostech a nábojích se nacházejí na obrázku (1).

#### RAA

Jaderný modifikační faktor  $R_{AA}$  určuje poměr částic vzniklých při srážce olověných jader a při srážce protonů, škálovaný na střední hodnotu binárních nukleon-nukleonových srážek. Je definován vztahem

$$R_{AA} = \frac{Y(PbPb)}{\langle N_{coll} \rangle Y(pp)'}$$

kde Y (PbPb) je počet částic vzniklých při PbPb srážce a Y (pp) je počet částic vzniklých při pp srážce.  $\langle N_{coll} \rangle$  je střední hodnota binárních nukleon-nukleonových srážek, která vyjadřuje počet pp srážek odpovídajících jedné PbPb srážce.

R<sub>AA</sub> může být vyjádřena jako funkce příčné hybnosti, což je relativistický invariant definovaný jako  $p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$ .

#### Centralita

Protože jsou jádra rozměrná, na rozdíl od protonů, musíme brát v potaz geometrii srážky. Z tohoto důvodu se měří srážkový parametr *b*, což je vzdálenost středů dvou kolidujících jader, která jsou relativisticky zploštělá. Na základě tohoto parametru se srážky dělí na centrální (malý parametr *b* – může být roven nule), semicentrální a na periferní (vetší parametr *b* – až do 2r).

#### Kvark-gluonové plazma

Při kolizi těžkých iontů, jako jsou jádra olova, dochází k extrémním podmínkám (vysoká teplota a hustota), že se hadrony rozpadnou na jednotlivé kvarky. Gluony, které byly předtím neustále vyměňovány mezi kvarky, a tím je drželi pohromadě, se také uvolní. Vzniklá hustá horká směs volně se pohybujících, silně interagujících kvarků a gluonů se nazývá kvark-gluonové plazma, které se objevilo také chvíli po Velkém třesku.

Kvark-gluonové plazma se rozpíná a ochlazuje se, vzniká hadronový plyn a následně dochází k vymrznutí (freeze-out). Dojde k ustálení počtu částic a jejich hybností.

Můžeme ho zkoumat jenom nepřímo, například pomocí zmiňovaného RAA.

#### **Detektor ALICE**

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) je velký detektor na LHC urychlovači v CERN. Používá se pro detekci vysokoenergetických srážek těžkých iontu (PbPb) a také pro srážky protonů (pp). Pro následující analýzu je nejdůležitější vnitřní dráhový systém (ITS) a časověprojekční komora (TPC). Detektor je chlazen kapalným heliem na teplotu 1,5 K.

#### 2. Experimentální část

Zpracování dat probíhalo v programu ROOT. Skládalo se ze dvou částí. První byla vizuální analýza, kde jsem data zpracovávala ručně a analyzovat jen malé množství dat mi zabralo mnoho času. V druhé části experimentu jsem přešla na metodu, kterou lze zpracovat velké množství dat. Analýza probíhala v programovacím jazyce C++.

Obrázek (2) (histogram) ukazuje závislost centrality na multiplicitě. Na svislé ose je centralita vyjádřená v procentech (při 100% se jádra již minou). Na vodorovné ose je zobrazen počet drah. Počet srážek při daných parametrech je vyjádřen barvami (viz sloupeček vpravo).



Obrázek 2 - Počet drah na TPC

Na následujícím obrázku (3) je zobrazen jaderný modifikační faktor  $R_{AA}$  v závislosti na příčné hybnosti  $p_T$  pro různé centrality. Pro těžké ionty pozorujeme potlačení produkce vlivem média (QGP), což je nejvíce patrné u malých centralit.



Na posledním obrázku (4) je uvedena závislost počtu drah na příčné hybnosti při různých centralitách.



Obrázek 4- závislost počtu částic na příčné hybnosti

## 3. Shrnutí

Během projektu jsem se naučila základní pojmy a pravidla používané v částicové fyzice, seznámila se s funkcí detektoru ALICE a vyzkoušela si analýzu dat z tohoto detektoru na urychlovači LHC v CERN.

#### Poděkování

Velmi děkuji za trpělivost, konzultace a velkou pomoc při zpracovávání projektu Zuzaně Moravcové.

#### Reference

[1] http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm

[2] Measurement of the nuclear modification factor  $R_{AA}$  with ALICE – kolektiv autorů

#### Balmerova série vodíku

#### G. Bošňáková\*, K. Škorvánková\*\*

#### \*Wichterlovo gymnázium, Čs. exilu 669, Ostrava-Poruba gabrielabosnakova@gmail.com

#### \*\*Gymnázium a SOŠ Rokycany, Mládežníků 1115, Rokycany katerina.skorvankova@gmail.com

#### Abstrakt:

Každý chemický prvek je charakterizován svým čárovým spektrem. Díky tomu je možné jakýkoliv prvek určit na základě jeho spektra. Spektrum plynu je možno určit pomocí spektrální analýzy světla, které vzniká v daném plynu při elektrickém výboji. Tato práce se zabývá určováním neznámých prvků na základě jejich spektra.

Nejprve jsme určili disperzní závislost optického hranolu a tu jsme pak použili pro výpočet vlnových délek čar ve spektru vodíku. Správnost našeho postupu jsme si ověřili porovnáním vypočtených hodnot vlnových délek s tabulkovými. Výsledky byly relativně přesné, protože se od tabulkových hodnot liší maximálně o 2,8 %.

Po vyzkoušení tohoto typu měření lze říci, že daným postupem je možné určit jakýkoliv neznámý prvek.

# 1 Úvod

Při výboji v plynu vzniká světelné záření. Toto záření je pro každý plyn specifické. Skládá se z několika monochromatických světelných paprsků, které dohromady tvoří barvu výboje. Toto záření je důsledkem přechodu elektronů mezi druhou energetickou hladinou a vyššími (excitovanými) hladinami. Elektrony v atomech totiž nemohou mít libovolnou energii, ale mohou se vyskytovat jen v určitých energetických hladinách. Při přechodu elektronu z vyšší hladiny do nižší dochází k uvolnění energie ve formě záření, které v určitých případech může být ve viditelném spektru (tedy vlnová délka záření je  $\lambda \in (380; 750)$  nm). Záření je možné rozložit na spektrum. K tomuto rozložení je možné využít optický hranol (nebo optickou mřížku). Index lomu hranolu je pro každou vlnovou délku světla (barvu) jiný, proto láme každý monochromatický paprsek jinak (pod jiným úhlem). Toho se využívá při měření spektrálních čar například pomocí goniometru.

Každý chemický prvek má své typické uspořádání spektrálních čar (spektrum). Jedním z nejznámějších spekter je Balmerova série vodíku. Cílem práce bylo seznámit se s postupem při určení neznámého chemického prvku (plynu) s pomocí jeho spektra, optického hranolu a goniometru. Pro kalibraci (vytvoření disperzní závislosti hranolu) byla využita rtuťová výbojka. K ověření správnosti postupu určování hodnot vlnových délek spektrálních čar bylo provedeno měření s vodíkovou výbojkou a následné porovnání naměřených vlnových délek Balmerovy série s tabulkovými hodnotami.

#### Plynová výbojka

Plynová výbojka je uzavřená trubice naplněná určitým plynem. Součástí trubice je několik

elektrod, které umožňují zavedení elektrického proudu plynové náplně. Díky elektrickému výboji vzniká záření, které je charakteristické pro daný plyn. Záření můžeme rozložit optickým hranolem (nebo mřížkou) a pozorovat ho vhodným zařízením.

#### Goniometr

Goniometr je přístroj, sloužící k měření úhlů s velkou přesností. Můžeme ho použít například pro měření čárových spekter plynových výbojek.

#### Hranol

Hranol je optický prvek, který můžeme využít spolu s goniometrem k určení vlnových délek spektrálních čar. Potřebujeme však znát jeho disperzní závislost – tj. závislost jeho indexu lomu na vlnové délce dopadajícího světla.



Obr. 1 – Lom světla hranolem [1].

Pro lom světla hranolem platí [1]:

$$n = \frac{\sin\frac{\varphi + \varepsilon}{2}}{\sin\frac{\varphi}{2}} \tag{1}$$

kde n je relativní index lomu hranolu pro určitou vlnovou délku,  $\varepsilon$  je minimální deviace paprsku a  $\varphi$  je lámavý úhel hranolu (60°).

#### 2 Experimentální měření

Pro určení spektrálních čar plynů ve viditelném světle jsme použili plynové výbojky, hranol a goniometr.

#### Určení disperzní závislosti hranolu

Disperzní závislost hranolu jsme určili pomocí rtuťové výbojky a známých hodnot vlnové délky.

barva	<i>α</i> <sub>1</sub> [°]	<i>α</i> <sub>2</sub> [°]	$\mathcal{E}[^{\circ}]$	n	$\lambda$ [nm]
fialová 1	222,8733333	120,2011111	51,336	1,6516	404,7
fialová 2	222,7188889	120,2983333	51,210	1,6503	407,8
modrá	220,9319444	121,0552778	49,938	1,6377	435,8
azurová	220,8472222	122,1541667	49,347	1,6317	491,6
zelená	219,1455556	122,8330556	48,156	1,6196	546,1
žlutá 1	219,8461111	123,1372222	48,354	1,6217	577,0
žlutá 2	219,8291667	123,1608333	48,334	1,6215	579,1
červená	219,4755556	123,5000000	47,988	1,6179	690,7

Tab. 1 – Určení indexu lomu pro jednotlivé vlnové délky rtuťového spektra, kde  $\alpha_1$  je úhel dopadu z vnějšího prostředí,  $\alpha_2$  je úhel, pod kterým paprsek vystupuje,  $\mathcal{E}$  je úhel nejmenší deviace, *n* je index lomu hranolu pro danou vlnovou délku vypočtený pomocí (1) a  $\lambda$  jsou tabulkové hodnoty vlnové délky [2].

Z našich naměřených dat nám disperzní závislost hranolu vyšla:

$$n = 2,1065 \cdot \lambda^{-0,041} \tag{2}$$

kde *n* je index lomu hranolu pro danou vlnovou délku a  $\lambda$  je vlnová délka.

#### Měření Balmerovy série vodíku

barva	$\mathcal{E}[rad]$	n	$\lambda'$ [nm]
fialová	0,8810325	1,6431	428,3
azurová	0,8629708	1,6327	499,7
červená	0,8337753	1,6157	645,4

Tab. 2 – Měření Balmerovy série vodíkové výbojky, kde  $\mathcal{E}$  je úhel nejmenší deviace, *n* je index lomu pro danou vlnovou délku a  $\lambda'$  je vlnová délka určená pomocí disperzní závislosti (2).

## 3 Výsledky

Díky dříve určené disperzní závislosti hranolu jsme určili vlnové délky spektrálních čar v Balmerově sérii vodíku. Následující tabulka (Tab. 3) umožňuje porovnání námi určených hodnot s hodnotami tabulkovými.

barva	λ' [nm]	<i>λ</i> [nm]	$\Delta_{rel}$ [%]
fialová 1	velmi slabé	410,2	-
fialová 2	428,3	434,0	1,31
azurová	499,7	486,1	2,80
červená	645,4	656,3	1,66

Tab. 3 – Porovnání vlnových délek spektrálních čar v Balmerově sérii vodíku, kde  $\lambda'$  je námi určená hodnota,  $\lambda$  je hodnota tabulková [2] a  $\Delta_{rel}$  je relativní rozdíl obou vlnových délek.

Jak je vidět z Tab. 3, námi určené hodnoty vlnových délek spektrálních čar v Balmerově sérii vodíku se jen velmi málo liší od tabulkových hodnot [2]. Největší rozdíl můžeme pozorovat u azurové čáry, kde činí 2,8 %. Tato hodnota je velmi nízká, a proto můžeme konstatovat, že naše měření bylo relativně přesné.

Po vyzkoušení tohoto typu měření lze říci, že daným postupem je možné určit jakýkoliv neznámý prvek.

## 4 Poděkování

Děkujeme Fakultě jaderné a fyzikální inženýrské ČVUT v Praze za vstřícnost propůjčit nám laboratoř a měřicí přístroje. Také děkujeme Ing. Michalu Špačkovi a Ing. Liboru Škodovi za vysvětlení dané problematiky.

## **5** Reference

- [1] FJFI ČVUT: Balmerova série [online], [cit. 20. června. 2017], https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/417/mod\_resource/content/5/Balmer-2016-Feb-27.pdf
- [2] C. R. NAVE: *Stránky hyperphysics atomová spektra*, [cit. 20. června. 2017], http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/spectra.html#c1

#### Biofyzikálne štúdium bielkoviny

#### Od sliny ku štruktúre

D. Turčeková\*, N. Remperová\*, A. Červenka\*\* \*Gymnázium Partizánske; \*\*Masarykovo gymnázium, Příbor diana.turcekova@gmail.com ; natalia.remperova@gmail.com; <u>adamcervenka000@seznam.cz</u>

#### Abstrakt:

Znalosť štruktúry proteínu je kľúčová pre pochopenie jeho funckie. Biofyzikálnymi metódami sme overili správanie sa proteínu v roztoku. Priteín sme vykryštalizovali a určili jeho štruktúru.

## 1 Úvod

Cieľom tejto práce bolo určiť štruktúru bielkoviny. Proteíny vznikajú usporiadaním aminokyselín v polypeptidovom reťazci, na základe predlohy - DNA. Ich štruktúra sa určuje ťažšie ako pri DNA, napriek tomu, že sú obsiahnuté aj v bežných látkach, napríklad v slinách, slzách, vaječnom bielku. V biomedicínskych, chemických a technologických odboroch je poznanie ich štruktúry nevyhnutné.

## 2 Materiály

Na biofyzikálne metódy sme použili vzorku lyzozýmu s koncentráciou 7g/l, ktorý bol rozpustený v destilovanej demineralizovanej vode. Pre charakterizáciu pomocou termoforézy a dynamického rozptylu svetla (DLS) sme pripravili roztoky pufrov: 50mM kyselina citrónová pH 3, 50mM CHES pH 9.5, 50mM HEPES pH 7.5 všetko s 250mM NaCl, a ďalej 100mM Tris pH 8.5, 50mM glycín pH 2.5 a pH 9, 50mM DL - kyselina jablčná pH 7, 100mM kyselina octová pH 4 s 50mM NaCl.

Pre optimalizáciu kryštalizačnej podmienky sme použili vzorku lyzozýmu s koncentráciami 7g/l, 20g/l, 50g/l, 80g/l a 130g/l. Ako zrážadlo bol použitý NaCl s koncentráciami 0.1M, 0.3M, 0.6M, 1M, 2M a 3M, ako pufer bol použitý 0.1M octan sodný pH 4.

## **3** Experimentálne metódy

Najskôr sme stanovili koncentráciu zásobného vzorku lyzozýmu pomocou spektrofotometrickej metódy založenej na Lambert-Beerovom zákone. Použili jsme kapkový spektrofotometr DeNovix DS-11.

Pomocou DLS (Zetasizer Nano-ZS90) sme určili veľkosť molekúl lyzozýmu a jeho monodisperznosť a vyskúšali sme pôsobenie rôznych pufrov na správanie sa molekuly v roztoku.

Pomocou termoforézy (Prometheus NT.48, Nanotemper) sme skúmali správanie sa proteínu v rôznych pufroch so zvyšovaním teplôt.

Na hľadanie vhodnej kryštalizačnej podmienky (počiatočný screening) sme použili predpripravenú sadu kryštalizačných roztokov Morpheus HT-96<sup>[1]</sup>. Vzorka lyzozýmu mala koncentráciu 100 g/l. Kryštály rástli v 96 jamkových doskách v usporiadaní sediacej kvapky. Objem jamiek bol 70  $\mu$ l a objem kvapiek 0.3  $\mu$ l (v pomere roztok proteínu : kryštalizačnému roztoku: 1:2, 1:1, 2:1). Nasadenú dosku sme skladovali pri teplote 20 °C.

Pre optimalizáciu sme zvolili podmienku, ktorá obsahovala octan sodný a NaCl. Bolo nasadených 30 podmienok na vytvorenie fázového diagramu, kde sa menila koncentrácia NaCl a lyzozýmu. Výsledný fázový diagram je zobrazený na obr. 1.

Vhodne narastené kryštály sme pod mikroskopom z roztoku vylovili nylonovými slučkami a zmrazili v tekutom dusíku (77 K). Zmrazené vzorky boli otestované na zdroji röntgenového žiarenia. Zdrojom žiarenia bola rentgenová lampa s anódou s tekutého Ga (Exceillium MetalJet). Dáta zaznamenal plošný detektor (Bruker Photon 2).

## 4 Výsledky a diskusia

Pomocou spektrofotometra sme určili koncentráciu vzorky lyzozýmu, ktorá bola stanovená na 131 g/l.

Zmeraním DLS sme zistili že proteín tvorí v TRIS-u agregáty (obr. 1a). Meranie vo vode bolo nereprodukovateľné, čo znamená že voda nie je vhodným prostredím pre tento proteín (obr. 1b). Meranie v roztoku octanu sodného ukazuje, že veľkosť molekúl je cca 2 nm a molekula proteínu sa neviaže na iné molekuly proteínu (obr. 1c).

Výsledný graf z termoforézy je na obr. 2. Proteín je najstabilnejší v roztoku 50mM HEPES (pH 7.5) s 250 mM NaCl. Teplota topenia bola T=72 °C. Vzorka bola najmenej stabilná v roztoku s 50 mM glycínom pH 2.5 (T=59.8 °C) s 50mM NaCl a 50mM kyselinou citrónovou pH 3 s 250 mM NaCl (T=63.7 °C).

Z počiatočného screeningu sme zistili, že optimálny pomer proteínu k roztoku v jednej kvapke je 2:1. Lyzozým vykryštalizoval za 24 hod v 36 podmienkach z celkových 96 (obr. 3). V prípade pomeru 1:1 vyrástlo 6 kryštálov, v pomere 1:2 len 5.

Skúšaním rôznych kombinácii koncentrácie proteínu a koncentrácie soli sme prišli na to, že vysoká koncentrácia proteínu a soli spôsobuje zrazeniny, zatiaľ čo nízke koncentrácie vedú

k čírym kvapkám. Optimálne kombinácie zabezpečujú tvorbu kryštálov. Toto správanie zodpovedá teoretickému fázovému diagramu kryštalizácie proteínu (obr. 4).

Na vybranom kryštály sme zmerali difrakčné dáta röntgenového žiarenia a vypočítali štruktúru lyzozýmu.

## 5 Zhrnutie

Počas nášho projektu sme biofyzikálnymi metódami zistili, že pufr octanu sodného je pre prácu s lyzozýmom najvhodnejší. Iné podmienky vedú k zrážaniu alebo nestabilite proteínu v roztoku. Našli sme vhodné podmienky pre kryštalizáciu lyzozýmu. Zvolenú podmienku sme ďalej optimalizovali a vypestované kryštály sme použili pri meraní difrakčných dát a určovaní štruktúry.

## Poďakovanie

Naša vďaka patrí najmä naším supervízorom Ing. Leone Švecovej a Ing. Janovi Stránskemu za úžasný prístup a pomoc pri vypracovaní miniprojektu, zároveň aj vedeckému centru BIOCEV za sprístupnenie laboratórii. Na záver ďakujeme tiež ostatným organizátorom Týdne vědy za usporiadanie tejto akcie a možnosť zúčastniť sa jej.







Obr.1a: DLS na roztoku proteínu vo vode

Obr.1b: DLS na roztoku proteínu v octanu sodnom

Obr.1c: DLS na roztoku proteínu v trisu



Obr.2:denaturácia proteínu v rozynch pufroch



Obr.3: kryštály lyzozýmu
## **Referencie:**

- [1] Nanotemper, Prometheus, <u>http://www.nanotemper-technologies.com/products/</u> prometheus-series/prometheus-nt48/ (online).
- [2] Malvern, Zetasizer Nano 290, <u>https://www.malvern.com/en/products/product-range/zetasizer-nano-range/zetasizer-nano-zs90</u> (online) .
- [3] Molecular Dimensions, Morpheus HT-96, https://www.moleculardimensions.com/products/2734-Morpheus-HT-96/ (online ) .



Obr.4: fázový diagram

# Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření

## O. Hladík Gymnázium Dr. Emila Holuba, Holice ondra550@gmail.com

#### Abstrakt:

Seznámili jsme se s procesem luminiscence a scintilace a provedli jsme měření excitačního a emisního spektra vzorku YAG:Eu<sup>2+</sup> scintilátoru. Také jsme provedli měření dosvitu. Dále jsme se také seznámili nejenom se současnými trendy dalšího vývoje těchto technologií, ale také s jejich aplikací v našem běžném životě, o které mnozí nemáme ani tušení.

# 1 Úvod

Snad každý v životě slyšel o luminiscenci. Luminiscence je schopnost materiálů vydávat světlo poté co získají energii, ovšem není tím míněna kupříkladu žárovka či hvězdy, které září kvůli své teplotě. I protose někdy světlu vzniklému luminiscencí říká studené světlo. Pokud je pak luminiscence vybuzena rentgenovým nebo gama zářením tak hovoříme o radioluminiscenci, nebo scintilaci. Jelikož při těchto procesech dochází k pohlcení vysokofrekvenčního fotonu a vyzáření fotonu o delší vlnové délce, má tento jev celou řadu využití.

## 2 Tělo příspěvku Princip scintilace

Základním požadavkem pro to, aby mohlo k tomuto jevu vůbec docházet je široký pás zakázaných energií mezi valenčním pásem, který je posledním pásem zaplněným elektrony, a vodivostním pásem, ktery je prvním nezaplněným pásem. Důsledkem interakce vysokoenergetického fotonu a materiálu scintilátoru je vznik termalizovaných elektronů a děr ve valenčním a vodivostním pásu. Tomuto se říká konverze a je to první ze tří částí,které tvoří proces scintilace. Druhou částí je transport, kdy se díry a elektrony přesouvají do luminiscenčního centra. Při tomto procesu může docházet k prodlevám, jelikož žádný krystal není dokonalý. Elektronyadíry mohou uvíznout v mělkých nebo hlubokých pastech, které zpomalují jejich průchod materiálem, a to je jeden z důvodů proč tyto materiály mohou svítit, i když už nejsou ozařovány. Poslední částí celého procesu je sama luminiscence. K té dochází v již dříve zmíněném luminiscenčním centru,kde se rekombinují díry a elektrony za vzniku scintilačního fotonu. Schéma na obrázku 1.





#### Scintilační materiály

Scintilátory nejenom, že mohou být vyrobeny z různých materiálů, ale také mohou být vyrobeny v úplně odlišné formě. Každá z těchto forem má jak své výhody, tak nevýhody. Pravděpodobně nejrozšířenější jsou objemové krystaly. Ty se popularitě těší i přes vyšší cenu a vyšší náročnost přípravy a to proto, že mívají nejméně defektů. Dnes se však pro objemové krystaly objevoje konkurence a to ve formě optické keramiky, která může v některých parametrech předčít i ty nejlepší objemové krystaly. Používají se také tenké vrstvy o tloušť ce menší než 1 µm. Velmi zajímavé vlastnosti vykazují nanomateriály, u kterých dochází ke změně vlnové délky vyzařovaného světla podle velikosti částic. My jsme pracovali s mikrokrystalickými prášky, které umožňují rychlejší výrobu většího množství vzorků za přijatelnou cenu. Dále je pak důležitý samotný materiál, ze kterého je scintilátor vyroben. V našich experimentech byly použity scintilátory YAG:Eu<sup>2+</sup>. Jedná se yttrium-aluminiový granát aktivovaný europiem. Scintilační materiály se liší předevšímdle toho,k jakým účelům mají sloužit. Zde se vyskytuje celá řada požadavků a to nejenom na jejich scintilační vlastnosti, ale kupříkladu na odolnost vůči ionizujícímu záření, mechanickou odolnost a chemickou stabilitu.

#### Experiment

Měřili jsme absorbční a emisní spektrum a dosvit u vzorku YAG:Eu<sup>2+</sup> za použití luminiscenčního spektrofluorimetru. Vzorek byl ve formě mikrokrystalického prášku umístěném na černé destičce (Obrázek 2). Jako zdroj záření jsme při sledování excitačního a emisního spektra použili deuteriovou výbojku. U dosvitu jsme použili pulzní LED světelný zdroj o vlnové délce 389 nm. Vzorek byl umístěn v uzavřené nádobě, kde přes jeden monochromátor přicházelo světlo od zdroje a přes druhý monochromátor prochází na fotonásobič. Před fotonásobičem je umístěn filtr na odstranění parazitického záření ze zdroje. Excitační a emisní spektra jsou korigovaná na spektrální citlivost fotonásobiče a zdroje záření



Obrázek 2 - Použitý vzorek



Obrázek 3 - Fotografie vybavení pro měření excitačního a emisního spektra

Během experimentu jsme změřili excitační a emisní spektra. Tato spektra nám udávají jaká je vhodná frekvence k ozařování vzorku, aby jsmemu byli schopni dodat co nejvíce energie a také jakou vlnovou délku bude mít výsledné záření vzniklé scintilací (Graf 1 A Graf 2). Dalé byl také měřen dosvit, tedy jak dlouho samotná scintilace trvá (Graf 3).



Graf 1 - Excitační spektrum



Graf 2 - Emisní spektrum



Graf 3 - Dosvit

## 3 Shrnutí

Scintilátory jsou materiály, které po ozáření ionizujícím zářením vydávají světlo o delší vlnové délce. V experimentech jsme se věnovali proměření vlastností scintilátoru YAG:Eu<sup>2+</sup>. Scintilátory mají celou řadu využití odlékařství (PET), přes geologii (karotážní sondy) až k domácímu osvěrlení (bílá LED svítidla)

## Poděkování

Velké díky patří mému garantovi, Ing. Vítězslavu Jarému, Ph.D., za neocenitelnou pomoc a nejenom zajímavé, ale také velmi užitečné informace k dané problematice. Díky samozřejmě patří také celému Fyzikálnímu Ústavu AV ČR, v jejichž laboratořích jsem mohl pracovat, a také FJFI ČVUT a především organizačnímu týmu TV@J.

## **Reference:**

- [1] JARÝ, V. PEJCHAL, J.: Scintilátory kolem nás Středisko společných činností AV ČR, 2017.
- [2] L. HAVLAK J. BÁRTA M. BURYI V. JARÝ E. MIHÓKOVÁ V. LAGUTA P. BOHÁČEK - M. NIKL. Eu2+ Stabilization in YAG Structure: Optical and Electron Paramagnetic Resonance Study J. Phys. Chem. C 120 21751 – 21761 (2016)

# Čítání fotonů

P. Novotný<sup>1</sup>, J. Löffelmann<sup>2</sup>, A. Pernišová<sup>3</sup> Gymnázium Opatov Praha 11<sup>1</sup>, Gymnázium Litoměřická Praha 9<sup>2</sup>, Bundesrealgymnasium Neusiedl am See<sup>3</sup>

patrik.novotny.jes@seznam.cz1, jira.leflik@gmail.com2, apernisova@hotmail.com3

#### Abstrakt:

Prováděli jsme experimenty s čítáním fotonů s využitím křemíkaté lavinové diody. Měřili jsme rychlost světla a index lomu skla. Data jsme vyhodnocovali na základě sestavených histogramů. Z našich výsledků se potvrdila velká přesnost použité metody a to v řádu pikosekund.

# 1 Úvod

Pod pojmem čítání fotonů jsou označovány metody, umožňující detekovat velmi slabé optické signály. V našem experimentu byla k detekci fotonů využita lavinová (SPAD) fotodioda. Tato fotodioda je schopna na základě lavinového průrazu detekovat signály až do úrovně jednotlivých fotonů. Fotodioda je zapojená v Geigerově módu na napětí velmi blízké průraznému napětí. Při průchodu fotonu aktivní zónou dojde k průrazu fotodiody a vysokému nárůstu proudu, který je následně možné detekovat. Aby nedošlo k poškození fotodiody, obsahuje detektor také ochranný obvod, který při určité hodnotě proudu fotodiodu odpojí. Při použití tohoto detektoru je možné dosáhnout časového rozlišení v řádu pikosekund.



Vysoké časové rozlišení a citlivost detektoru umožňuje velmi přesné měření vzdáleností a zkoumání atmosférických jevů na Zemi, případně jiných planetách s využitím zpětně rozptýleného laserového záření. Užitím této technologie lze na základě výškových změn satelitu způsobených nehomogenitou gravitačního pole odhadnout geologické složení Země

případně jiných planet. Nejrozšířenějším využitím je synchronizace času satelitů obíhajících kolem Země.

## 2 Teorie

Pokud by měření probíhalo kontinuálně, nebylo by možno rozeznat laserový zdroj od okolního šumu. Tento problém je řešen měřením v cyklech. Použit byl laser s vlnovou délkou 531 nm a opakovací frekvenci impulzů 10 kHz, který emituje množství fotonů o energii odpovídající dané vlnové délce. Měřicí cyklus začíná spuštěním laseru, kdy se současně spustí časovač. Časovač je tvořen zařízením TAC (Time to Amplitude Convertor), ve kterém se při spuštění laseru začne lineárně zvyšovat napětí. Po dopadu fotonu na detektor dojde k zastavení časovače. Poté dostane počítač informaci od zařízení TAC o hodnotě napětí, které převede na čas. Fotony generované laserem dopadají ve stejném čase a v tomto čase se načítají, zatímco fotony z okolního osvětlení dopadají v čase náhodně a rozptylují se rovnoměrně v celé časové ose. Tímto způsobem dochází k naměření peaku odpovídajícímu detekci fotonů z laseru.



## **3** Experimenty

## Měření rychlosti světla

Úvodním měřením byl pokus na zjištění hodnoty rychlosti světla. První variantou pokusu bylo vyslání fotonů z laseru do detektoru v počáteční pozici. V druhé fázi pokusu jsme detektor posunuli o danou vzdálenost a změřili dobu letu fotonů znovu. Z rozdílu doby trvání letu jsme určili rychlost fotonů na dané dráze. Druhou verzi pokusu jsme se pokusili zpřesnit užitím odrazné plochy, kdy paprsek urazil dvojnásobnou vzdálenost, jinak byl pokus proveden stejným způsobem. Při poslední verzi pokusu jsme odráželi fotony od věcí, které k tomu nebyly určeny a nereflektovali paprsek tak dobře jako odrazná plocha (kabel, mikrovlnná trouba).



## Měření indexu lomu

Druhou skupinou měření bylo měření indexu lomu protipožárního skla. Nejprve jsme proměřili dobu letu fotonů mezi laserem a detektorem. Následně jsme do cesty paprsku vložili sklo, jehož index lomu způsobil odlišnou dobu letu. V druhé verzi pokusu paprsek prošel sklem nadvakrát. Užili jsme odrazu ke zvětšení dráhy, na níž měříme dobu letu a současně jsme zachytávali dva odrazy o rozhraní vzduchu a skla.

Název měření/metoda	τl[ns]	τ2[ns]	$\Delta \tau [ns]$	s[cm]	n	
Index lomu skla A	15.42	15.50	0.08	4.38	1.55	
Index lomu skla B	21.55	21.71	0.16	8.76	1.55	
Tabulka 2 Měření indexu lomu						

K výpočtu indexu lomu jsme využili vztah 1:

$$n = 1 + \frac{\Delta T}{d}c \tag{1}$$

kde  $\Delta T$  značí rozdíl doby letu se sklem a beze skla, d značí tlouťku skla, c rychlost světla a n index lomu.



# 5 Shrnutí

Hodnoty vypočtené z měření pro rychlost světla vykazovaly odchylku mezi 2,2-2,5 %, což můžeme považovat při měření na krátkou vzdálenost a při takto velké rychlosti za velmi přesný výsledek. Při měření indexu lomu protipožárního skla nám hodnota vyšla blízko udávaným hodnotám (1,5-1,9) [4].

Určením velmi přesné hodnoty rychlosti světla i indexu lomu protipožárního skla se potvrdila přesnost technologie čítání fotonů. Při měření času touto metodou lze dosáhnout přesnosti v řádu pikosekund, což umožňuje ještě přesnější měření nejen času, ale i vzdáleností tam, kde je to důležité. Kupříkladu v oboru meziplanetárního výzkumu či přesném studiu vlastností materiálů.

# 6 Poděkování

Děkujeme Ing. Pavlu Linhartovi za vedení projektu a podporu při práci s MS-DOS.

## 7 Reference:

[1] https://cs.wikipedia.org/wiki/Single-photon\_avalanche\_diode

[2] https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\_id=5255

[3] http://www.physics-and-radio-electronics.com/electronic-devices-andcircuits/semiconductor-diodes/photodiodesymboltypes.html

[4] https://refractiveindex.info/

## Reletavistické elektrony na Tokamaku Compass

<sup>1</sup>Maximilián Molnár,
 <sup>2</sup>Jakub Šafář,
 <sup>3</sup>Ivan Hudák
 <sup>1</sup>Gymnázium Michala Miloslava Hodžu Lipt. Mikuláš,
 <sup>2</sup>Gymnázium Frýdlant nad Ostravicí,
 <sup>3</sup> Evanjelické Gymnázium Juraja Tranovského Lipt. Mikuláš
 <sup>1</sup>maximilian.molnar1@gmail.com,
 <sup>2</sup>jakub.safar1998@gmail.com,
 <sup>3</sup> hudakivan6@gmail.com

#### Abstrakt:

Fúzní reaktory mohou být v budoucnosti téměř neomezeným zdrojem energie, která bude příznivá k životnému prostředí. Problémem jsou rozdíly v teplotách a zabezpečení bezpečnosti. Tokamaky pozorují chování plazmy a následný výzkum poskytuje informace pro největší připravovaný tokamak ITER. Relativistické elektrony mohou být problémem pro techniku zařízení.

# 1 Úvod

Tokamak zkoumá termonukleární fúzi, což je reakce probíhající na slunci. Fuzní reakce jsou reakce v kterých z lehčích jader vznikají těžší. Na přiklad na Slunci se slučují vodík a vytváří helium. Na zemi jsme schopni této reakce docílit několika způsoby. Jsme schopni vytvořit řízené a neřízené reakce. Za příklad neřízené reakce můžeme považovat vodíkovou bombu, ale zatím nejsme schopni vytvořit řízenou a zároveň energeticky výhodnou reakci. Máme hned několik způsobu jak ji vytvořit a zatím má největší předpoklad k úspěchu metoda, při které používáme magnetické pole, které využíváme právě v tokamaku. Jako zdroj magnetické síly využíváme cívek. Plazma, které si můžeme představit, jako kapalinu se snažíme udržet v magnetické nádobě. Výzkum v oblasti fúze směruje hlavně k ITERU, což by měl být první tokamak, který je schopen vyrábět energii.

Tokamak Compass se v tomto směru také snaží přispět a to zkoumáním plazmatu, který dosáhne kritické energie, při kterém není schopna "magnetická nádoba" zadržet elektrony, které letí relativistickou rychlostí a mohou poškodit reaktor.

## 2 Ubíhající elektrony

Odvodíme-li průběh třecí síly působící od ostatních elektronů a iontů na jeden vybraný testovací elektron, zjistíme, že pro elektrony několikrát rychlejší než je střední kvadratická rychlost elektronů (úměrná teplotě) v daném souboru klesá tato třecí síla se druhou mocninou jejich rychlosti. Co to znamená? Vzhledem k tomu, že třeba urychlující síla elektrická je na rychlosti částice nezávislá, znamená to, že pro dostatečně rychlé částice klesá třecí síla pod urychlovací a takové částice mohou být urychlovány až téměř k rychlosti světla, viz obr. 1.



Obr.1: Scénář pro měření kritického pole

Třecí síla je pak také samozřejmě závislá na hustotě částic v plazmatu a částečně také na teplotě. Znamená to tedy, že ve výbojích s velmi řídkým plazmatem se tokamak chová spíše jako urychlovač elektronů. Dobře, v kontrolované fázi výbojů se tomu můžeme vyhnout, tak že napustíme dostatečné množství pracovního plynu a bezpečnou hustotu hlídáme systémem zpětné vazby. Nicméně existují situace, kdy poměr urychlovací a třecí síly moc nedokážeme ovlivnit nebo kdy do hry vstoupí trochu jiné mechanismy, které se této jednoduché představě dvou sil vymykají. Jedním z největších nebezpečí pro velké fúzní reaktory, tedy ze současného hlediska především pro ITER. Je náraz 10 MA svazku 50 MeV elektronů do vnitřní stěny tokamaku ten by mohl znamenat velmi vážné poškození vedoucí k odstávce pravděpodobně v řádu měsíců či let. Z tohoto důvodu je nutné fyziku vzniku ubíhajících elektronů co nejlépe pochopit a vyvinout spolehlivé scénáře pro zabránění vzniku svazku ubíhajících elektronů nebo bezpečné metody likvidace tohoto svazku.

## 3 Problematika kritického pole

Jednoduchá představa- třecí versus urychlující síla vede v důsledku (vůbec ne jednoduchou cestou) k ustanovení kritického parametru  $\frac{E}{E_c}$ , kde E je urychlující elektrické pole (v tokamaku úměrné napětí na plazmatický závit) a  $E_c$  je takzvané kritické pole - minimální elektrické pole, které vede v plazmatu dané hustoty ke vzniku alespoň nějakých ubíhajících elektronů, teoreticky vypočtené jako:

$$E_c = \frac{e^3 n_e \ln \Lambda}{4\pi \varepsilon_0^2 m_e c^2}$$

kde e je elementární náboj, n<sub>e</sub> elektronová hustota plazmatu,  $\varepsilon_0$  je permitivita vakua, m<sub>e</sub> hmotnost elektronu, c rychlost světla a ln  $\Lambda$  slabá funkce parametrů plazmatu, kterou můžeme s dostatečnou přesností aproximovat číslem 14.

Jak je vidět, jedná se o shluk fyzikálních konstant a funkci jediné veličiny - elektronové hustoty. Celý výraz tedy můžeme poněkud zjednodušit:  $E_c = 0.8n_e$ ,  $[n_e] = 10^{19} \text{ m}^{-3}$  kam můžeme dosazovat hustotu elektronů přímo v řádech typických pro tokamakové plazma.

## 4 Výsledky

Našim výstupem je srovnání dvou výbojů (programovací jazyk Python-obr.1, obr.2), počátek růstu signálu exponenciální závislostí, vypočítat průměrné E v tomto okamžiku a určit směrodatní odchylku z dat, které smě měli k dispozici (10 výbojů).

Exponenciální růst začíná přibližně kolem 1000 ms.

Veličiny měřené při výboji: (Vzorek 2 výbojů)

Výstřely	Poměr teorie a experimentu	Odchylky	
Shot 1	30,635	-0,3958889	
Shot 2	29,959	-1,0718889	
Shot 3	30,908	-0,1228889	
Shot 4	27,49	-3,5408889	
Shot 5	39,454	8,42311111	
Shot 6	31,416	0,38511111	
Shot 7	32,501	1,47011111	
Shot 8	28,556	-2,4748889	
Shot 9	28,359	-2,6718889	
Průměr	31,03088889	1,25237944	směrodatná odchylka

Skuteční hodnota kritické hodnoty pro tokamak Compass je (z tab.1)



Obr.2

Měřené veličiny (Proud plazmy, hustota elektronů, napětí na závitu, signál rentgenového záření)



Obr.3

Signál rentgenového záření a zobrazení časového poměru E/Ec

## 5 Shrnutí

Jelikož se neshodovaly teoretické předpoklady s naměřenými výsledky. Tak experimentem byla vyvracena chybná teorie. Což má za následek další zkoumání problému, který jistě pomůže částečně vyřešit energetickou otázku lidstva a zajistí bezpečný a plynuly provoz fuzních reaktorů.

## Poděkování

Naše poděkování míří všem v kontrolní místnosti, hlavně však Ondřeji Fickerovi. Také však magisterským studentům Jaroslavu Čeřovskému a Michalu Farníkovi.

# **Reference:**

- [1] Panek R. et al. 2016 Plas. Phys. Contr.Fusion 58 014015
- [2] Mlynar J. et al., 2015 Effects of Plasma Control on Runaway Electrons in COMPASS Tokamak 42nd EPS Conf. on Plasma Physics (Lisabon, Portugal) P4, 102
- [3] Ficker O. et al. 2017 Nuclear Fusion 57 7
- [4] Diaz E., Ho A., 2015 EMITRAIC report
- [5] Ficker O., Tyden vědy runaway elektrony na tokamaku COMPASS 2017

## Derivace a integrály v kinematice

K. Grohmannová<sup>1</sup>, K. Haismanová<sup>2</sup>, J. Hůla<sup>3</sup>, D. Miloschewsky<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Hejčín-Olomouc, 779 00 Olomouc
<sup>2</sup>Gymnázium Václava Beneše Třebízského, Slaný, 274 01 Slaný
<sup>3</sup>Gymnázium Kolín, 280 02 Kolín
<sup>4</sup>Gymnázium Altis, 109 00 Praha 10

<sup>1</sup>k.grohmannova@email.cz, <sup>2</sup>tyna.haiso@seznam.cz <sup>3</sup>pepa.hula@gmail.com, <sup>4</sup>david@miloschewsky.cz

20. června 2017

#### Abstrakt

Derivace a integrály jsou důležitým nástrojem matematiky s obrovským využitím i v jiných oborech, nejen v kinematice. Pohyb je nedílnou součástí našeho života a jeho popis je díky derivacím a integrálům snadný. S použitím 2. Newtonova zákona jsme zjišťovali, s jakým zrychlením se různě hmotná tělesa pohybují po vzduchové dráze a zda se naměřené hodnoty shodují s teoretickými výpočty.

## 1 Úvod

Již Isaac Newton či Gottfried Leibniz se na své vědecké cestě setkali s derivacemi. Od té doby jsou hojně využívaným nástrojem v mnoha odvětvích. Významné využití mají také integrály – operace inverzní k derivacím. Naším cílem bylo blíže se s nimi seznámit na jednoduchých příkladech a poznat jejich význam v kinematických rovnicích.

## 2 Teoretický základ

V kinematice počítáme se čtyřmi základními veličinami: čas t, poloha x, rychlost v a zrychlení a. Čas je nezávislou veličinou, na které zbylé tři závisí. Poloha, rychlost a zrychlení jsou tedy funkcemi času. Nyní budeme uvažovat rovnoměrně zrychlený pohyb. Okamžité zrychlení v čase t je poté dáno funkcí

$$a(t) = a,\tag{1}$$

kdea je pevné, jedná se tedy o konstantní funkci. Okamžitá rychlost v časet je dána funkcí

$$v(t) = at + v_0, \tag{2}$$

kde  $v_0$  je počáteční rychlost. Jedná se o lineární funkci a grafem je přímka. Okamžitá poloha v čase t je dána funkcí

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0,$$
(3)

kde  $x_0$  je počáteční poloha. Jedná se o kvadratickou funkci, jejíž grafem je parabola.

Mezi těmito veličinami platí následující vztahy. Rychlost je obecně definována jako časová změna polohy. Matematicky zapsáno

$$v(t) = \dot{x}(t),\tag{4}$$

kde tečka značí derivaci podle času. Analogicky, zrychlení je časovou změnou rychlosti, tedy

$$a(t) = \dot{v}(t). \tag{5}$$

Dosazením vztahů (1), (2), (3) do těchto definic lze snadno ověřit, že tyto vztahy obecné definice splňují.

Chceme-li tyto vztahy obrátit, použijeme časovou integraci (značíme symbolem  $\int dt$ ). Platí tedy

$$x(t) = \int v(t) dt \quad a \quad v(t) = \int a(t) dt.$$
(6)

Integrál má obecně význam plochy pod funkcí. Díky tomu můžeme vztahy (2) a (3) odvodit z geometrie. Plocha pod konstantní funkcí (1) je obdélník o rozměru *at*. To je hledaná rychlost v, k níž je třeba přičíst integrační konstantu  $v_0$  mající význam počáteční rychlosti. Vztah (2) je tímto odvozen.

Plocha pod lineární funkcí (2) je pravoúhlý lichoběžník, který lze rozložit na obdélník o obsahu  $v_0t$  a trojúhelník. Tento trojúhelník má odvěsny o délkách t a at. Plocha trojúhelníku je  $\frac{1}{2}at^2$ . Sečtením obsahů obdélníku a trojúhelníku získáme pozici x, k níž je třeba přičíst integrační konstantu  $x_0$  mající význam počáteční polohy. Vztah (3) je tímto odvozen.

### 3 Experiment

#### 3.1 Princip

Kinematické zákony v běžném životě nefungují přesně podle vzorců a jedním z důvodů je tření. Chceme-li tedy zkoumat jejich platnost, je potřeba zajistit, aby se těleso pohybovalo bez tření. K tomu slouží například vzduchová dráha, na které jsou vozíky nadnášeny vzduchovým polštářem. Nedochází zde ke styku ploch a tím pádem ani ke tření.

K vozíku jsme připevnili závaží provázkem visícím přes kladku. Závaží vlivem své hmotnosti padalo směrem k zemi s gravitačním zrychlením g a táhlo za sebou vozík, který vlivem této síly konal rovnoměrně zrychlený pohyb. Pro zrychlení a vozíku z 2. Newtonova zákona platí

$$a = \frac{M_z}{M_v + M_z}g,\tag{7}$$

kde  $M_z$  je hmotnost závaží,  $M_v$  je hmotnost vozíku a g je tíhové zrychlení. V programu DataStudio [1] jsme měřili polohu vozíku pomocí ultrazvukového senzoru – vozík měl připevněnou odraznou plochu. Zrychlení vozíku jsme měřili pro různé hmotnosti  $M_z$  závaží a různé hmotnosti  $M_v$  vozíku pomocí proložení naměřených dat parabolou – obr. 1.

#### 3.2 Výsledky

Naměřené hodnoty se nachází v tabulkách 1 a 2.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty závaží. M je hmotnost vozíčku.  $m_1$  je hmotnost prvního a  $m_2$  je hmotnost druhého závaží.  $m_A$  je hmotnost prvního,  $m_B$  je hmotnost druhého a  $m_C$  je hmotnost třetího typu závaží na vozíčku.

M [g]	$m_1$ [g]	$m_2 [g]$	$m_A [g]$	$m_B [g]$	$m_C [g]$
210,58	26,86	47,92	74,36	48,38	19,32

Tabulka 2: Naměřené hodnoty zrychlení a hmotnosti.  $M_z$  je hmotnost závaží,  $M_v$  je celková hmotnost vozíčku,  $a_{real}$  je naměřené zrychlení a  $a_{teo}$  je teoretická dopočítaná hodnota zrychlení ze vztahu (7).  $\Delta a$  je relativní odchylka naměřené hodnoty od teoretické daná vztahem  $(a_{real} - a_{teo})/a_{teo}$ .

$M_z$ [g]	$M_v$ [g]	$a_{real} \pm \sigma \; [\mathrm{ms}^{-2}]$	$a_{teo}  [\mathrm{ms}^{-2}]$	$\Delta a \ [\%]$
$m_1$	M	$0,925 \pm 0,010$	1,110	16,71
$m_1$	$M + 2m_C$	$0,811 \pm 0,012$	0,955	$15,\!09$
$m_1$	$M + 2m_B$	$0,\!661 \pm 0,\!007$	0,789	16,24
$m_1$	$M + 2m_A$	$0,\!557\pm0,\!001$	$0,\!683$	18,35
$m_2$	M	$1{,}563\pm0{,}013$	1,819	$14,\!07$
$m_2$	$M + 2m_C$	$1,\!368\pm0,\!051$	1,583	13,56

#### 3.3 Diskuze

Po porovnání naměřených hodnot s vypočítanými jsme zjistili, že jejich procentuální rozdíly jsou u všech přibližně stejné – naměřené hodnoty zrychlení byly vždy o přibližně 15 % nižší než vypočítané. Toto porovnání jsme také vynesli do grafu na obr. 2 a proložili přímkou v programu Gnuplot [2]. Z proložení dat lze dojít ke stejnému závěru – reálné hodnoty jsou nižší než předpovězené.

Z toho lze vyvodit, že došlo k systematickým chybám. Jelikož jsme zrychlení měřili v době mezi prvním a druhým odrazem vozíčku od gumičky, je pravděpodobné že vozíček ztratil část svojí energie. Dále jsme při výpočtu nevzali v potaz odpor vzduchu odrazné plochy senzoru. Je také možné, že navzdory nadnášení vzduchem docházelo ke tření a že vzduchová dráha nemusela být přesně vyvážená.

#### 4 Shrnutí

Během vypracovávání projektu jsme se naučili základy derivací a integrálů, odůvodnili si jejich použití v kinematice a následně jsme naše nově nabyté znalosti použili při měření zrychlení vozíčku na vzduchové dráze.



Obrázek 1: Graf časové závilosti polohy vozíčku na vzduchové dráze (x = x(t)). Data byla proložena funkcí  $f(t) = At^2 + Bt + C$ . Porovnáním s funkcí (3) vidíme, že  $A = \frac{1}{2}a, B = v_0, C = x_0$ .



Obrázek 2: Graf závislosti naměřeného zrychlení  $a_{real}$  (tab. 2) na zrychlení vypočteném ze vztahu (7) Body byly proloženy přímkou f(x) = 0,886x - 0,0433. V ideálním případě by závislost byla f(x) = x.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervizorovi miniprojektu Bc. Zbyňku Nguyenovi za námahu a čas, který nám věnoval. Dále bychom chtěli poděkovat FJFI za uspořádání této akce.

# Reference

- [1] Pasco DataStudio [Online]. [cit. 20. června 2017]. www.pasco.com/datastudio
- [2] Gnuplot [Online]. [cit. 20. června 2017]. www.gnuplot.info/
- [3] Kolektiv KF. Vzduchová dráha [Online]. [cit. 20. června 2017]. praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=343

## Fotogalerie



Obrázek 3: Fotografie vzduchové dráhy s vozíčkem.



Obrázek 4: Fotografie vzduchové dráhy s vozíčkem.

## Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

O. Lomický<sup>1</sup>, R. Vašut<sup>2</sup>, T. Souček<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium a SOŠ, Plasy <sup>2</sup>Masarykovo gymnázium, Příbor <sup>3</sup>Gymnázium Aloise Jiráska, Litomyšl Ondrej.Lomicky@seznam.cz tomas.soucek@glit.cz roman.vasut@gypri.cz

#### Abstrakt

Naše práce se zabývá zobrazováním struktur atomů v monokrystalech a polykrystalech. Tato pozorování jsou možná díky difrakci elektronů v elektronovém mikroskopu. Pozorovali jsme vzorky (Ni, Al-Mn, Ni-Ti) na transmisním elektronovém mikroskopu.

## 1 Úvod

Vzhledem k tomu, že rozlišovací schopnost běžného mikroskopu má své limity ve vlnové délce světla, musíme využívat částice, které mají oproti fotonům menší vlnovou délku. Proto přichází na scénu elektronová mikroskopie. Při našem pozorování jsme používali transmisní elektronový mikroskop (TEM). V elektronových mikroskopech se využívá difrakce elektronů na atomech vzorku.

## 2 Teorie měření elektronovým mikroskopem

#### 2.1 Transmisní elektronový mikroskop

V TEM je elektronový svazek emitován W katodou, urychlen akcelerátorem a poté sveden do úzkého proudu systémem kondenzorových magnetických čoček. Poté interaguje se vzorkem a dopadá na fluorescenční stínítko. Běžné vakuum v moderním elektronovém mikroskopu se pohybuje kolem 10<sup>-5</sup> Pa, takto nízký tlak zajišť uje soustava vývěv.

Primární vakuovou pumpou bývá rotační vývěva, která je relativně hlučná a špinavá, kvůli tomu, že pracuje v olejové lázni. Rotační vývěva dokáže vytvořit tlak okolo 10<sup>-1</sup> Pa, takže pro vytvoření vyššího stupně vakua se používá difuzní vývěva. Ve spodní části difuzní vývěvy je ploténka, která ohřívá olej na bod varu, který se poté odpařuje, a tyto páry kondenzují na studeném povrchu pláště vývěvy a tímto způsobem získáme tlak 10<sup>-4</sup> Pa. Iontová vývěva pracuje efektivně od 10<sup>-3</sup> Pa a jelikož je malá a neobsahuje pohyblivé části, tak se nachází blízko vzorku.

### 2.2 Krystalické mřížky

Atomy jsou v mnoha látkách uspořádány do krystalické mřížky, ve které zaujímají pravidelné uspořádání. K jejich popisu se běžně používají tzv. Bravaisovy mřížky, jež mohou být lineární, rovinné a trojrozměrné. Obvykle se udává elementární buňka, což je nejmenší část krystalické struktury. Elementární buňky jsou tvořeny částicemi (atomy, molekulami nebo ionty). U kubické



mřížky se rozdělují se na buňku prostou (a), kde je uvnitř krychle 1 atom, plošně centrovanou (b), kde na krychli připadají 4 atomy a prostorově centrovanou (c), kde na jednu krychli připadají 2 atomy.

Výše jsou uvedeny tzv. ideální krystalové mřížky, které jsou absolutně bez vad. Ve skutečnosti v krystalické mřížce vznikají poruchy, které lze rozdělit na poruchy bodové (substituční atom, intersticiální atom a vakance), lineární (dislokace) a plošné (vrstevné chyby, hranice zrn či mezifázová rozhraní).

## 2.3 Měření

Vzorky, které jsme pozorovali v elektronovém mikroskopu, byly ve formě standardní 3 mm Cu síťky s napařeným polykrystalem niklu, tenké fólie slitiny hliníku s manganem a tenké fólie slitiny titanu s niklem.

Z difrakčních obrazců, které se promítaly na luminiscenční stínítko, jsme přiřadili k jednotlivým materiálům příslušné krystalické struktury.



difrakční obrazec polykrystalu Ni



400x zvětšená mřížka s napařeným



difrakční obrazec jednoho zrna ve slitině Al-Mn

## 3 Shrnutí

V našem miniprojektu jsme si úspěšně vyzkoušeli rozpoznání typu krystalové struktury na základě difrakčních obrazců. Dále jsme měli možnost se seznámit s transmisním elektronovým mikroskopem, indexováním krystalových rovin a poruchami krystalové mřížky v různých slitinách.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat celému organizačnímu týmu Týdne vědy, zejména pak Ing. Vojtěchu Svobodovi CSc. a prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi za odborný výklad a dohled.

## **Reference:**

KARLÍK, Miroslav. Úvod do transmisní elektronové mikroskopie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04729-3.

# Neceločíselná dimenze

# Analýza nevšedních struktur z všedního života

#### A. Budinská

## Gymnázium Františka Švantnera, Nová Baňa; alzbetka17@gmail.com

## K. Skybová Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové; kata.skybova@seznam.cz

#### Abstrakt:

Některé objekty každodenního života se vymykají klasickému pojetí dimenze. Typicky fraktální objekty (např. struktura listu kapradí) lze ovšem charakterizovat zobecněnou dimenzí. V článku se zabýváme jednou z numerických metod, *box-counting*, k odhadu této dimenze různých objektů – obrázků a zvukových signálů.

Pomocí box-counting metody jsme určili dimenzi několika struktur z každodenního života, ať už obrázkových či zvukových a rovněž jsme vytvořili fyzikální model – zašuměný zvukový kanál, který jsme metodou analyzovali. Tyto výsledky jsou unikátní, protože charakterizují šum v takovém systému, a to jednoduchým a neotřelým způsobem.

## 1 Úvod

Běžně se setkáváme s celočíselnými dimenzemi (D) např. přímka D=1, rovina D=2 atd. Existují i objekty s neceločíselnou dimenzí - např. fraktály. Fraktál je soběpodobná struktura, která může být v přírodě v podobě listu kapradí, korálu a sněhové vločky atd. nebo v matematických modelech např. Sierpinského koberec či Kochova vločka.

K zjišťování dimenze fraktálu používáme numerickou metodu box-counting. Metoda je založená na rozdělení obrázku čtvercovou sítí, kde počet čtverečků překrývajících objekt závisí na hustotě čtvercové sítě. Využijeme ji k zjišťování dimenze různých obrázků fraktálů a zvukových stop.

## 2 Dimenze

Celočíselné dimenze (D) jsou např. u přímky D=1, roviny D=2, prostoru D=3 atd. Pokud bychom měli úsečku o délce 1j a pravítko o rozměru 1j, 1x by se vešlo na úsečku. Pokud bychom pravítko zmenšili na rozměr 1/2j, vešlo by se na úsečku 2x. Dále bychom pokračovali, až k hraně 1/n potřebovali bychom n pravítek, abychom pokryli úsečku. Podobně můžeme pracovat i s rovinou - měřítko čtverec nebo prostorem - měřítko krychle.

Délka měřítka (E)	počet po	potřebných měřítek na pokrytí ( $N_{\mathcal{E}}$ )			
	přímka	rovina	Prostor		
1	1	1	1		
1/2	2	4	8		
1/3	3	9	27		
1/n	n	$n^2$	n <sup>3</sup>		

Tab. 1 Pokrývání základních objektů elementárním měřítkem

Z tabulky 1 je vidět, že dimenze objektu je v exponentu:

$$N_{\mathcal{E}} = \left(\frac{1}{n}\right)^D = \varepsilon^D \tag{1}$$

Pomocí úprav získáme

$$\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{D} = N_{\varepsilon} \leftrightarrow D \log \frac{1}{\varepsilon} = \log N_{\varepsilon} \leftrightarrow D = \frac{\log N_{\varepsilon}}{\log \frac{1}{\varepsilon}}$$
(2)

Z této myšlenky definujeme obecný vzorec dimenze:

$$D = \lim_{\varepsilon \to 0} \min_{mo\check{z}n\acute{a} pokryti} \left\{ \frac{\log N_{\varepsilon}}{\log \frac{1}{\varepsilon}} \right\}$$
(3)

Limita ve vzorci zohledňuje zjemňování měřítka. Minimum provádíme přes všechna možná pokrytí objektu otevřenými množinami o průměru E. Toto minimum do definice klademe, abychom objekt pokrývali optimálně.

V praxi jsou samozřejmě i útvary s neceločíselnou dimenzí – např. fraktály. Příkladem je Kochova vločka. Základem je trojúhelník. Každou úsečku rozdělíme na tři části a nad prostřední části vytvoříme rovnostranný trojúhelník bez základny. Tento postup se opakuje nekonečněkrát. Pro volbu  $\varepsilon = 1/3^n \rightarrow N_{\varepsilon} = 4^n$ .

$$D = \frac{\log N_{\varepsilon}}{\log \frac{1}{\varepsilon}} = \frac{\log 4^n}{\log 3^n} = \frac{\log 4}{\log 3} \doteq 1,28$$
(4)

### **3** Box-counting

Box-counting metoda je založená, jak název napovídá na rozdělení obrázku do čtverečků (boxů). Tato metoda pracuje numericky a skutečnou dimenzi pouze aproximuje. Box-counting sestává z následujících kroků:

- Zvolí se n, které dělí rozměr obrázku.
- Vytvoří se čtvercová síť *n* x *n*, do jednotlivých buněk se zapíše 0, když buňka přenesená do obrázku nepokrývá zvolený objekt, zapíše se 1, když objekt pokrývá.
- Sečtením čísel v boxech dostáváme počet boxů *N*, které pokrývají objekt při daném *n*.
- Do grafu vyneseme bod [log *n*, log *N*].
- Tyto kroky opakujeme pro různá n, čímž se získá soustava bodů, která se proloží přímkou f(x) = ax + b.
- Sklon přímky *a* je odhadem dimenze objektu.

Skutečně, odlogaritmováním vzorce z definice dimenze (3) dostáváme, že dimenze je poměr mezi veličinou  $\log N$  a  $\log n$  v limitě  $n \to \infty$  (tj. rozměr boxů jde k 0).

Metoda box-counting se dopouští oproti definici chyby spočívající ve zjednodušení dvou situací: 1) nepokrývá objekt zájmu otevřenými množinami, a to co nejúspornějším způsobem, ale čtverci s určitým uspořádáním; 2) neprovádí limitu  $n \rightarrow \infty$ , ale v nejlepším přiblížení pro n blízké rozlišení obrázku. Velikost této chyby nelze dobře odhadnout, ale její existenci je potřeba mít na zřeteli.

#### 4 Analýza obrázků

Než budeme moct použít metodu box-counting, nejdřív musíme obrázky fraktálů upravit. Obrázek jsme ořízli do čtvercového tvaru s vhodným rozlišením. Poté byl obrázek nahrán do prostředí Matlab, jako trojice obrázků v RGB spektru. Za pomocí vzorečku (5) jsme je převedli z RGB spektra do BW(černobílého) spektra: Na každý obrázek použijeme metodu box-counting, která odhadne dimenzi hranice objektů na obrázku. Výsledné odhady pro dva vzory jsou na obrázcích 1,2. Tyto obrázky zjevně vykazují fraktální strukturu, dimenze vychází 2 > D > 1.



Obr. 1 Model rostliny, dim≐1,66



(5)

Obr. 2 Motiv kapradí, dim≐1,70

### 5 Analýza zvuků

K analýze jsou vybrány různé známé zvuky včetně skladeb různých žánrů. Abychom je mohli zpracovat, upravujeme je do podoby obrázků. Ze zvukové stopy vyjmeme kousek o vhodné šířce (o 5040 datech). Tento kousek zakódujeme do nulové matice o rozměru 5040x5040 následujícím způsobem. i-tou hodnotu  $x_i$  zaneseme tak, že v i-tém sloupci vepíšeme hodnoty 1 až do  $y_i$ -tého řádku, kde

$$y_i = \left\lfloor \frac{5039x_i + 5041}{2} \right\rfloor.$$
 (6)

Tato matice ale tvoří černobílý obrázek, na který aplikujeme metodu box-counting, čímž získáme dimenzi vybrané části zvukové stopy. Toto opakujeme v průběhu zvukové stopy.



Dimenze 1 odpovídá čistému zvuku, dimenze 2 odpovídá šumu (náhodnému signálu).

Obr. 3 Změna dimenze zvukové stopy v jejím průběhu – B. Smetana, Vltava (midi)

Z obrázků 3,4 je zřejmé, že se dimenze v průběhu skladby mění, protože se mění hudební nástroje. Zvuk flétny či houslí vykazuje nižší dimenzi, než triangl, lidský hlas či tleskání. To

zjevně souvisí s frekvenční charakteristikou nástrojů – flétny generují čisté tóny, zatímco lidský hlas je komplexní zvuk, úder do trianglu vyvolá složitou změť zvuků.



Obr. 4 Změna dimenze zvukové stopy v jejím průběhu – Queen, We Will Rock You Zkonstruujeme nyní model, který bude simulovat poslouchání zvuku procházejícího šumovým kanálem. Zvuk budeme simulovat křivkou ~ sin x a šum náhodným signálem rand(x). Tyto dva signály budeme kombinovat do jednoho signálu g(x):

$$g(x) = (1-p)\sin x + p \operatorname{rand}(x) \tag{7}$$

Tento signál zpracujeme pro různé hodnoty parametru p podél deseti period (tj.  $x \in \langle 0,20\pi \rangle$ ) způsobem analogickým jako výše. Za x volíme 5040 hodnot ekvidistantně rozdělených po intervalu a vytvoříme matici zachycující narušený zvukový signál. Na matici aplikujeme metodu box-counting a získáme pro parametr p hodnotu dimenze, která značí, jak moc je signál narušen (připomínáme, že dimenzi 1 má ideální čistý zvuk, dimenzi 2 má ideální šum). Výsledná data jsou na obrázku 5. Aby byly výsledky srovnatelné, pro všechna p jsme použili stejný šumový signál.



Obr. 5 Závislost dimenze na příměsi šumu.

V případě p = 1, tj. signál je tvořen pouze šumem, dala box-counting metoda dimenzi zhruba 1,92. Hodnotě 2 se ovšem lze pouze přiblížit, jednak díky tomu, že metoda samotná je zatížena chybou, a také proto, že námi vytvořený šum není ideální, za aproximaci je zodpovědný přechod od signálu g(x) k diskrétní množině dat.

Data byla proložena funkcí  $f(x) = a \arctan(bx + c) + d$ , která odpovídá velmi dobře vypočtené závislosti (jak se lze přesvědčit z obrázku 5); nalezené parametry jsou

Parametr	Hodnota	Stř. kvadr. odchylka
a	1,0034	±0,0284
b	6,2258	$\pm 0,0877$
c	0,4875	$\pm 0,0349$
d	0,4937	±0,0426

Šum tedy přispívá k dimenzi zvukové stopy prostřednictvím funkce arctan.

## 6 Shrnutí

Cílem naší práce bylo zjistit, jakou dimenzi mají věci z našeho života, které mají nevšední strukturu. Pracovali jsme s obrázky fraktálů, konkrétně s modelem listu kapradiny a modelem rostliny a též jsme pracovali se zvukovými stopami, např. skladbou Vltava.

Na obrázky jsme po úpravě použili metodu box-counting, což je numerická metoda odhadující dimenzi objektu. Zvukové stopy jsme trikem převedli na obrázky, které jsme rovněž zpracovali metodou box-counting.

Z těchto analýz jsme zjistili, že útvary v přírodě, např. obrys listu kapradí skutečně má fraktální strukturu, neboť mají dimenzi 2>dim>1. Záznamy skladeb mají dimenzi zhruba 1,5, což ukazuje na komplexní strukturu, která ovšem má daleko do chaotického šumu. Dimenze se v průběhu skladby měnila podle použitých nástrojů, např. je zřetelný rozdíl mezi flétnami a trianglem, či tleskáním. Ze zvukových stop měl nejvyšší dimenzi záznam projíždějících aut, který co do dimenze odpovídal téměř dokonale samotnému šumu.

Námi vytvořený model zvukového kanálu odhalil závislost dimenze na přítomnosti šumu ve tvaru funkce arctan.

## Poděkování

Děkujeme vedoucímu Ing. Martinu Malachovi 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 matematiky FJFI za poskytnutí prostorů a materiálu pro náš miniprojekt.

## **Reference:**

 Obrázky staženy z domén <u>http://hrymodelyasituace.blogspot.cz/2010/12/fraktaly.html</u>, <u>http://matthewjamestaylor.com/blog/create-fractals-with-recursive-drawing</u> dne 16.5.2017
 Hudební stopa Queen –We Will Rock You stažena z YouTube

[3]Bouda M., Caplan J. S., Saiers J. E., *Box-Counting Dimension Revisited: Presenting an Efficient Method of Minimizing Quantization Error and an Assessment of the Self-Similarity of Structural Root Systems*, Front Plant Sci., 2016, 7 **49** 

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Box counting

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Fractal\_dimension

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Grayscale

# Abstinent versus alkoholik – kdo přežije jadernou katastrofu?

V. Volejníková – Gymnázium Česká Lípa,
M. Motanová – Wichterlovo gymnázium, Ostrava
D. Koutný – Slovanské gymnázium, Olomouc

koutasd@seznam.cz

#### **Abstrakt:**

Ionizující záření může vést k poškození DNA. Abychom tomu zabránili, můžeme využít jeden z následujících postupů: zvýšit vzdálenost od zdroje, odstínit zdroj záření, nebo snížit dobu působení záření. Účinnou ochranou mohou být také tzv. scavengery, tedy látky schopné vychytávat volné radikály. V našem experimentu jsme si jako ochranu zvolili ethanol a sledovali jsme, jak se s jeho zvyšující koncentrací snižují škodlivé vlivy záření na plasmid. Jako metodu jsme si zvolili agarózovou elektroforézu, která nám umožnila odlišit jednotlivé konformace plasmidové DNA. Prováděný výzkum naši hypotézu potvrdil a otevřel tak cestu dalším výzkumům, věnujícím se využití scavengerů.

# 1 Úvod

Ionizující záření představuje riziko poškození všech živých organismů. Ohroženy jsou všechny části buňky, včetně té nejdůležitější – DNA, jejíž poškození může vést k mutaci buněk a k následnému rakovinnovému bujení. Potecionální hrozbu představují rentgenová a radioizotopová lékařská vyšetření, jaderné výbuchy nebo stavební materiály. Zatímco organismům na Zemi poskytuje přirozenou ochranu atmosféra, astronauti jsou vystaveni také kosmickému záření a lidstvo tak stojí před nelehkým úkolem najít způsob, jak se mu bránit.

Existují dva mechanismy poškození DNA. Pokud je energie absorbována přímo v molekule, jde o poškození přímé. Když ale poškození zprostředkovávají produkty radikálových reakcí vody, jedná se o nepřímé poškození. Větší význam mají nepřímé účinky. A jak se můžeme bránit? Možným řešením je použití tzv. vychytávačů (scavengerů), tedy látek, které jsou schopné vychytávat volné radikály. Mezi tyto vychytávače patří vitamíny C, E, thioly, ethanol atd. My jsme použili ethanol. Naším úkolem bylo zjistit míru ochrany DNA před ionizujícím zářením s rostoucí koncentrací ethanolu. Pro náš experiment se nejlépe hodí plazmidová DNA, jako model buňky.

## **2** Experiment

#### Materiály a metody

Abychom ověřili hypotézu, že ethanol zmenšuje riziko poškození DNA nepřímým ionizujícím zářením zvolili jsme metodu elektroforézy. Pro zjednodušení experimentu jsme místo chromozonní DNA použili DNA plazmidovou. Začali jsme přípravou gelu pro elektroforézu.

Gel jsme připravili z agarózy, pufru a barviva SYBR Green I. Poté jsme připravili vzorky z plazmidu 100 ng, pufru 2µl, a ethanolu o různé koncentraci. Látky jsme ozařovali na gama zdroji kobaltem 60 po dobu 10 min 51 s. Vzorky tak absorbovali dávku o velikosti 50 Gy. Po jejich schlazení jsme nanesli vzorky na gel. Následně jsme přešli k elektroforéze. Elektroforéza je metoda k oddělení některých látek (DNA, bílkoviny a jejich fragmentů). Je založena na různé pohyblivosti nabitých molekul v elektrickém poli. Elektroforéza probíhala pod napětím 100 V 75 min, po jejím ukončení jsme vyfotili gel pod UV zářením a sledovali výsledky.



#### Výsledky

Obrázek 1- Sledované vzorky na gelu pod UV lampou

Vidíme, že se vlivem elektroforézy vzorky DNA rozdělily do tří linií. Nahoře je plazmid v kruhové konformaci, uprostřed v lineární konformaci a dole v stočená konformaci.



Obrázek 2 - Zastoupení jednotlivých forem plazmidu v 1. vzorku



Obrázek 3 - Zastoupení forem plazmidu v závislosti na koncentraci alkoholu

Z grafů vyplývá, že lineární konformace plazmidů je minimálně zastoupená a s klesající koncentrací ethanolu mírně stoupá. Stočená forma plazmidů je u vyšších koncentrací procentuálně nejvíce početná, ale u nižších koncentrací klesá, až je téměř nulově zastoupená. Naopak kruhová forma plazmidů se u vysokých koncentrací pohybuje okolo 20-30 %, postupně narůstá až přesáhne hodnotu 90 %.

Dle ostatních výsledků na pracovišti ta usuzujeme, že chyba měření je asi 10-15 %.

#### Hodnocení výsledků

Dle našich výsledků je jednoznačně jisté, že ethanol působí jako scavenger a působí částečnou ochranu před nepřímým poškozením DNA z ionizujícího záření. Může se zdát, že lze použít ethanol i na lidech, ale není to možné, protože něco jiného je aplikovat ethanol na plazmid a o hodně odlišné je tímto chránit člověka. Nejdříve je potřeba provést úspěšný test na plazmidech, poté na buňkách, tkáních, zvířatech a teprve poté až je dané téma dobře prozkoumáno. I kdyby to fungovalo i na člověka, musel by pravděpodobně mít v krvi příliš vysokou hodnotu alkoholu. Je zřejmé, že tato problematika není vyřešena.

## 3 Shrnutí

Dospěli jsme k závěru, že ethanol je účinnou ochranou plazmidu před ionizujícím zářením. V experimentu s plasmidovou DNA se potvrdilo, že čím je koncentrace ethanolu vyšší, tím větší je procentuální zastoupení nepoškozené-tedy stočené-konformace plasmidu. Dostatečně účinnou pro člověka se však ochrana ethanolem zřejmě stává až při jeho vysoké koncentraci, která je pro lidský organismus nereálná. Navíc jsme pokus pro jeho zlevnění a zjednodušení prováděli s plasmidovou DNA, a nikoliv s chromozomální DNA a také jsme zanedbali přítomnost ostatních částí buněk s obrannými mechanismy a tedy je na výsledek třeba nazírat se značnou rezervou.

# Poděkování

V první řadě bychom chtěli poděkovat Oddělení dozimetrie záření Ústavu jaderné fyziky a zejména pak naší supervizorce Ing. Kateřině Pechnerové Brabcové za trpělivé vedení a pomoc. Dále děkujeme fakultě FJFI a inženýru Vojtěchu Svobodovi za organizaci Týdně vědy a možnost přičuchnout si k vědecké práci.

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

Čeněk Malík<sup>\*</sup> Tereza Baštová<sup>\*\*</sup> Marie Dohnalová<sup>\*\*\*</sup> Gymnázium Litoměřická, Litoměřická 726, Praha 9<sup>\*</sup> Gymnázium Česká Lípa, Žitovská 2969, Česká Lípa<sup>\*\*</sup> EDUCAnet Praha, Rozstylská 1, Praha 11<sup>\*\*\*</sup> cendamalik@seznam.cz<sup>\*</sup> terkabastova@gmail.com<sup>\*\*</sup> marie.dohnalova21@gmail.com<sup>\*\*\*</sup>

20.6.2017

#### Abstrakt

Utrpěla by v případě jaderného ozáření větší poškození DNA mumie nebo zombie? Na tuto otázku jsme se zaměřili při práci na projektu. Naším cílem bylo porovnat poškození suchého vzorku DNA, mumie, a tekutého vzorku DNA, zombie. Tekuté vzorky jsme ozařovali kobaltovým zářičem a suché byly ozářeny v Japonsku na HIMAC o týden dříve. Pro detekci poškození DNA jsme použili gelovou elektroforézu. Na základě získaných dat jsme zjistili, že mumie by po ozáření měla měné poškozenou DNA.

## 1 Teoretický úvod

Ionizující zaření může mít přímé a nepřímé účinky na organismus. Při přímém účinku jádro buňky absorbuje energii záření. Hlavním terčem v jádře buňky je DNA (deoxiribonukleová kyselina). DNA je molekula sloužící k přenosu genetické informace tvaru dvoušroubovice. Při absorpci energie může docházet k porušení chemických vazeb, rozpadu molekul a modifikování genetické informace. Nepřímé účinky zahrnují radiolýzu vody. Při radiolýze vody dochází ke vzniku hydroxidového aniontu a vodíkového aniontu. Dané radikály mohou poté narušovat vazby molekul. To způsobuje poškození biologických funkcí.

Pro prozkoumání přímého a nepřímého účinku záření na DNA je možné použít zjednodušené formy DNA, a to plasmidu. Jedná se o kruhovou molekulu DNA vyskytující se hlavně v cytoplasmě některých bakterií a která je schopná nezávislé replikace. Základní konformace je stočená, vlivem poškození může přecházet do jiných – nejprve do relaxované při jednoduchém zlomu na DNA a poté do lineární při dvojném zlomu, jak se zobrazeno na obrázku 1.



Obrázek 1: Konformace plasmidů

Mumie je konzervované tělo člověka, které neobsahuje vodu. V našem případě mumii reprezentoval vzorek suchého plasmidu DNA, který byl vysušený. Zombie je oživlý mrtvý člověk, který nebyl konzervován. Zombie jsme proto reprezentovali tekutým vzorkem plasmidu DNA.

Předpokláme, že mumie bude mít méně poškozenou DNA, protože u suchého vzorku plasmidu můžeme očekávat pouze přímé účinky záření. U DNA zombí předpokládáme vliv přímého a nepřímého účinku záření kvůli přitomnosti vody. Uvědomme si také, že tělo zombie obsahuje 80% vody. Vzniklých radikálů proto bude velké množství, což způsobí, že vliv nepřímého účinku záření bude větší než přímého.

## 2 Materiály a metody

#### 2.1 Použitá DNA a výroba vzorků

Pro naše měření jsme použili plasmid pBR322. Tento plasmid je produktem bakterie Escherichia coli, která je součástí střevní mikroflóry. Plasmid byl zředěn z jeho původní koncentrace 500 ng/µl na koncentraci 75 ng/µl. Na přípravu jednoho vzorku se tedy použilo 2 µl zředěného plasmidu, tedy 150 ng, a dále 8 µl vody. Tekuté vzorky se napipetovaly do tubek a takto byly připraveny k ozáření. Suché vzorky se připravili tak, že se tekutá forma plasmidu nechala na sklíčku vysušit a ozáření probíhalo na sklíčku. Po ozáření byl vzorek opět zkapalněn.

#### 2.2 Ozařování

K ozařování tekutých vzorků jsme použili kobaltový zářič ( $^{60}\mathrm{Co}$  – poločas rozpadu 5,29 roku) jako zdroj záření gama. Dávku ozáření vzorků jsme měnili pomocí upravením vzdáleností od zářiče. Rozsah použitých dávek byl 5 - 50 Gy.

Ozáření suchých vzorků proběhlo 10. 06. 2017 na HIMAC v Japonsku (jádra hélia s energií 150 MeV). Rozsah použitých dávek byl 200 - 1000 Gy. Ukázka průběhu ozařování je na obrázku 2.



(a) Ozařování tekutých vzorků na $^{60}\mathrm{Co}$ 



(b) Ozařování suchých vzorků na HIMAC

Obrázek 2: Ukázka průběhu ozařování

#### 2.3 Agarózová elektroforéza

Gelová elektroforéza je metoda pro separaci a analýzu vzorků v závislosti na jejich velikosti, uspořádání a náboji (DNA je záporně nabitá molekula). Na obrázku 3 je vyobrazený příklad separace různých konformací plasmidové DNA.



Obrázek 3: Ukázka separace různých konformací plasmidů

V našem případě jsme použili 1% agarózový gel, který sestával z 0,4 g Agarózy SERVA, 40 ml TAE 0,5x (solný pufr) a SYBR greenu (Thermo Fisher Scientific), což je UV citlivé barvivo. Gel jsme vařili v mikrovlnné troubě 2,5 minuty a poté přelili do speciální vaničky s hřebínkem a nechali ho hodinu chladnout.

Do drážek gelu jsme poté přidali ozářené vzorky po přidání do každého vzorku 2  $\mu$ l Loading dye 6X (Thermo Fisher Scientific) pro jejich zhuštění a zviditelnění a následně jsme gel vystavili elektrickému poli 100V na 75 minut. Následně jsme DNA v gelu zobrazili pomocí UV lampy. Získaná data jsme vyhodnotili pomocí programu Luthien, který rozeznává intenzitu svítivosti.

## 3 Výsledky a diskuze

Na obrázku 4 je vyfocený gel vystavený UV světlu. Prvních šest sloupců reprezentuje tekuté vzorky (Zombie) a následných šest sloupců suché (Mumie).



Obrázek 4:	Výsledný	gel pod	UV	lampou
------------	----------	---------	----	--------

Tekuté - rozdělení forem plasmidu							
Dávka/Gy 0 5 15 25						50	
Stočená	98%	23%	3%	0%	0%	0%	
Relaxovaná	2%	77%	94%	93%	88%	83%	
Lineární 0% 0% 3% 7% 12% 17%							

Suché - rozdělení f						
Dávka/Gy	0	200	400	600	800	1000
Stočená	56%	40%	37%	25%	19%	21%
Relaxovaná	44%	60%	62%	74%	77%	77%
Lineární	0%	0%	0%	1%	4%	2%

Obrázek 5: Tabulka závislostí jednotlivých konformací plasmidů v suchých a tekutých vzorkích na dávce ionizujícího záření

Na obrazcích 6 a 7 je vyhodnocen gel a různé konformace plasmidů.



Obrázek 6: Závislost jednotlivých konformací plasmidů v suchém vzorku na dávce ionizujícího záření



Obrázek 7: Závislost jednotlivých konformací plasmidů v tekutém vzorku na dávce ionizujícího záření

Z výsledků je patrné, že mumie by v případě jaderné katastrofy měla méně poškozenou DNA. U mumie i při větších dávkách ionizujícího záření dochází k menšímu poškození plasmidů DNA než u zombie při velkých dávkých ionizujícího záření.

## 4 Shrnutí

Z výsledků je patrné, že DNA zombie je více poškozena (i při relativně nízké dávce je většina plasmidů přeměněna na lineární konformaci) zatímco DNA mumie odolává i vysoké dávce radiace bez větší přeměny na lineární konformaci. Tento výsledek je způsoben nepřímým působením ionizujícího záření – vznik radikálů z vody, které svou reaktivitou dále poškozují DNA. Nepřímý účinek především ovlivňuje DNA zombie (velké množství vody), zatímco na DNA mumie působí převážně přímý účinek.
# Poděkování

Děkujeme Ing. Anně Michaelidesové za nepostradatelnou pomoc a obsáhlou konzultaci, AV ČR za poskytnutí prostorů a FJFI za zorganizování Týdne Vědy.

# Reference

- [1] R.K. Murray, Harperova biochemie, 2. vydání, 2002.
- [2] B. Alberts, D. Bray, A. Johnson, Základy buněčné biologie, 2. vydání, 1999.

### Měrný náboj elektronu a Millikanův experiment

F. Novák, P. Kolář, J. Pařenica

Gymnázium Jana Keplera, Gymnázium Milevsko, SPSCH akademika Heyrovského

f.novak37@gmail.com, kol.jackie@seznam.cz, 15parenica@spsch.eu

#### **Abstrakt:**

Dlouhá léta lidstvo trápila otázka, jaký je náboj elektronu. Na tuto otázku odpověděl Robert Millikan roku 1909 a abychom se přesvědčili o správnosti jeho výsledku, rozhodli jsme měření opakovat. K tomu jsme také změřili jinými experimenty měrný náboj elektronu a spočítali jeho hmotnost.

# 1 Úvod

#### Teorie k měrnému náboji elektronu

Na nabitou částici pohybující se v elektromagnetickém poli působí Lorentzova síla [1]

$$\vec{F} = q \ (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}),\tag{1}$$

kde q je náboj částice, E je intenzita elektrického pole, v rychlost částice, B magnetická indukce. V tomto experimentu budeme působit pouze polem magnetickým tj.  $\vec{E} = 0$ .

Magnetické pole je rovnoběžné s osou z, tedy  $\vec{B} = (0,0,B)$ . Po vyřešení pohybových rovnic pro obecnou počáteční rychlost  $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$  získáme parametrizaci pohybu částice

$$x(t) = -r\cos(\Omega t) \tag{2}$$

$$y(t) = r\sin(\Omega t) \cdot \operatorname{sgn}(q) \tag{3}$$

$$z(t) = v_{||}t \tag{4}$$

V první části experimentu pošleme elektrony podél magnetických siločar, kde se částice pohybuje až na malé výchylky téměř přímo. Svazek elektronů se po celočíselném násobku periody T opět fokusuje v bodě, který leží ve vzdálenosti

$$s = v \frac{2\pi}{\Omega}.$$
 (5)

Elektrony získávají počáteční rychlost v urychlením v elektrickém poli, se kterou vstupují do magnetického pole. Elektrony získávají kinetickou energii, které odpovídá rychlosti

$$\beta = \sqrt{\frac{2eU}{m_e c^2}}.$$
(6)

Pro velikost magnetické indukce solenoidního magnetu platí

$$B = \frac{\mu_0 N}{l} I, \tag{7}$$

kde  $\mu_0$  je permeabilita vakua, *I* magnetizační proud tekoucí solenoidem, *l* délka solenoidu a N počet závitů.

Dosazením vzorců (6) a (7) do vzorce (5) získáme závislost urychlovacího napětí U na magnetizačním proudu.

$$U(l^{2}) = \frac{e}{m_{e}} \cdot \frac{1}{8} \left( \frac{z}{\pi} \frac{\mu_{0} N}{l} \right)^{2} \cdot l^{2},$$
(8)

kde  $e/m_e$  je měrný náboj elektronu, z = 0.249 m je oblast působení magnetického pole.

V druhé části experimentu pošleme elektrony ve směru kolmém na siločáry a vlivem Lorenzovy síly se dráha stáčí šroubovice. Směr otáčení je určen nábojem částice. Helmholtzovy cívky indukují magnetické pole o velikosti

$$B = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N}{R} I,\tag{9}$$

kde  $\mu_0$  je permeabilita vakua, N počet závitů jedné cívky, R poloměr cívek a I proud tekoucí cívkou.

Závislost urychlovacího napětí na magnetizačním proudu vyjádříme pomocí vzorce

$$U(I^{2}) = \frac{e}{m_{e}} \cdot \frac{8}{125} \left(\frac{d\mu_{0}N}{R}\right)^{2} \cdot I^{2},$$
(10)

kde  $e/m_e$  je měrný náboj elektronu a d je průměr šroubovice.

#### Teorie k Millikanovu experimentu

Na olejovou kapičku mezi deskami kondenzátoru působí několik sil [2], jmenovitě: Tíhová síla

$$\overrightarrow{F_g} = m\overrightarrow{g} = \rho_{olej}\frac{4}{3}\pi r^3 \overrightarrow{g}.$$
(11)

Vztlaková síla

$$\overrightarrow{F_v} = -\rho_{vzduch} \frac{4}{3}\pi r^3 \overrightarrow{g}.$$
(12)

Odporová síla, která působí vždy proti směru rychlosti, je dána Stokesovým vztahem

$$\overline{F_o} = \pm 6\pi \eta r \, \vec{v}. \tag{13}$$

Elektrická síla

$$\overrightarrow{F_e} = Q \frac{U}{d}.$$
(14)

r je poloměr kapičky, g tíhové zrychlení,  $\rho_{olej} = 874 \text{ kg/m}^3$  je hustota oleje,  $\eta = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ , *Q* náboj kapičky, *U* potenciál na elektrodách,  $d = (6,00 \pm 0.05) \text{ mm}$  jejich vzdálenost. Z pohybové rovnice padající kapky je možné vyjádřit její poloměr

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v_k}{2g(\rho_{olej} - \rho_{vzduch})}},\tag{15}$$

kde *v<sub>k</sub>* je rychlost padající kapky.

V závislosti na náboji kapky a napětí na kondenzátoru může kapička buď stoupat, padat nebo se vznášet. Předpokládejme, že kapka vlivem elektrického pole stoupá, nyní z pohybové rovnice vyjádříme náboj kapky

$$Q = \frac{d}{U}(6\pi\eta(v_k + v_s)r), \tag{16}$$

kde vs je rychlost stoupání kapky.

Pro částice menší, než několik mikrometrů přestává platit Stokesův vztah a je potřeba připsat Cunninghamův korekční faktor:

$$f_c = 1 + \frac{6.18 \cdot 10^{-5}}{r \cdot p[mm \, Hg]},\tag{17}$$

kde p = 747,8 mm Hg.

S pomocí Cunninghamova faktoru získáme finální výsledek

$$Q_c = \frac{Q}{f_c^2}.$$
(18)

### 2 Uspořádání a provedení experimentu

#### Podélné magnetické pole

První experiment byl složen ze solenoidu a obrazovky. Žhavená katoda pomocí termoemise generuje elektrony. Předurychlení elektronů závisí na potenciálovém rozdílu mezi katodou a pomocnou anodou. Elektrony, jsou následně urychleny potenciálovým rozdílem mezi katodou a hlavní anodou. Na stínítku se poté objeví obraz elektronového svazku.

#### Postup

Na zdroji vysokého napětí jsem nastavili urychlovací napětí. Poté jsme zapnuli magnetizační proud a zvyšovali ho, dokud se svazek nezaostřil do jednoho bodu. Celkem jsme zapsali 10 dvojic U a I. Napětí jsme měřili v intervalu 0,75 – 1,25 kV.

#### Příčné magnetické pole

Použili jsme katodovou trubici uloženou mezi dvojicí Helmholtzových cívek. Katodovou trubici tvoří skleněná baňka, ve které je uložen systém elektrod. Elektronový svazek vyletuje do prostoru homogenního magnetického pole kolmého na rychlost svazku. Baňka je naplněna zředěným vodíkem, atomy plynu při deexcitaci uvolňují záření ve viditelném spektru.

#### Postup

Měnili jsme hodnoty napětí a proudu tak, aby zůstal zachovaný poloměr spirály. Naměřili jsme 10 hodnot U a I.

#### Millikanův experiment

Použili jsme Millikanův přístroj, který se skládá z mikroskopu a deskového kondenzátoru, na který byl připojený zdroj stejnosměrného napětí. Mezi objektivem a okulárem byla umístěna mikrometrická stupnice. Pro měření času jsme použili elektronické stopky.

#### Postup

Pomocí balónku jsme rozprášili kapičky oleje. Poté jsme zapnuli spínač U, abychom zjistili, jaká kapička získala náboj. U této vybrané kapičky jsme změřili čas klesání na určité dráze a čas stoupání na stejné dráze při působení elektrického pole. Podle vzorce pro rychlost jsme vypočítali 10 rychlostí klesání a 10 rychlostí stoupání.

### 3 Výsledky měření a diskuse

V prvních dvou experimentech jsme změřili měrný náboj elektronu, který vyšel  $(1,85 \pm 0,03) \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$  a  $(2,36 \pm 0,02) \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$ . Tabulková hodnota je  $1,75 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$  [3], jak lze vidět, první měření bylo mnohonásobně přesnější. Millikanovým pokusem nám vyšel elementární náboj  $(1,43\pm0,04) \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , což i přes započtení chyby zcela neodpovídá tabulkové hodnotě  $(1, 602 \cdot 10^{-19} \text{ C})$ . Možným vysvětlením je systematicky se opakující chyba měření.



*Obr. 1: Vlevo: závislost napětí U na kvadrátu proudu l<sup>2</sup> pro náboj v podélném magnetickém poli. Vpravo: závislost napětí U na kvadrátu proudu l<sup>2</sup> pro náboj v příčném magnetickém poli.* 

### 4 Závěr

Změřili jsme hodnoty elementárního náboje jako  $(1,43\pm 0,04) \cdot 10^{-19}$  C a měrného elementárního náboje jako  $(1,85\pm 0,03) \cdot 10^{11}$  C/kg a  $(2,36\pm 0,02) \cdot 10^{11}$  C/kg, z nichž jsme vypočítali hmotnost elektronu  $(7,7\pm 0,1) \cdot 10^{-31}$  kg při prvním pokusu a při druhém pokusu (6,06  $\pm 0,05) \cdot 10^{-31}$  kg (pro srovnání tabulková hodnota 9,1  $\cdot 10^{-31}$  kg). U Millikanova experimentu jsme pozorovali kvantování elementárního náboje.

### 5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za zorganizování týdne vědy a našemu vedoucímu Ing. Jakubu Kvapilovi za skvělý přístup.

### **6** Reference

- [1] Kolektiv KF: Měrný náboj elektronu ČVUT, FJFI v Praze, 2017
- [2] Kolektiv KF: Millikanův experiment ČVUT, FJFI v Praze, 2017
- [3] Remion, laboratorní průvodce, URL: http://www.labo.cz/mft/zkonst.htm

### Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu

A. Janich<sup>1</sup> R. Horešovský<sup>2</sup> M. Matoulek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, Praha 9, Špitálská 2, adjanich@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Nad Kavalírkou, Praha 5, robert.horesovsky@gmail.com <sup>3</sup>Jiráskovo gymnázium, Náchod, Řezníčkova 451, matoulekmichal@gymnachod.cz

#### Abstrakt:

Cíl miniprojektu spočíval v seznámení se s funkcemi a využitím rastrovacího elektronového mikroskopu v materiálovém výzkumu a pozorování katedrou dodaných vzorků pilin zvonů, jejich struktury a složení.

# 1 Úvod

Elektronová mikroskopie patří od 30. let minulého století k jedněm z nejdůležitějších zobrazovacích metod a znamenala přelom na poli mikrofotografie a materiálového výzkumu. V zásadě se dělí na dva základní typy – transmisní (TEM) a rastrovací (SEM). Cílem našeho miniprojektu bylo dozvědět se více o stavbě, činnosti a funkcích rastrovacího elektronového mikroskopu a vyzkoušet si práci s tímto přístrojem. Po tom, co jsme si zkušebně prohlédli vlákna celulózy v papíru, přistoupili jsme k hlavnímu cíli naší práce – porovnat složení a mikrostrukturu dodaných kovových pilin odebraných ze zvonů.

### 2 Rastrovací elektronový mikroskop a jeho funkce

Základním principem tohoto typu mikroskopu je pohyb úzkého elektronového svazku po vzorku. Ohnisko svazku se pohybuje po řádcích zleva doprava a v každém místě je senzory měřeno množství zpětně odražených a sekundárních elektronů. Elektrony jsou odráženy zpět díky odpudivé elektrostatické síle. Sekundární elektrony jsou elektrony excitované z orbitalu atomového obalu. Kromě senzorů pro sekundární elektrony a detektoru zpětně odražených elektronů obsahuje přístroj také detektor charakteristického rentgenového záření. Díky spektrogramu je pak možno určovat přibližné složení vzorku – a to jak celkově, tak v konkrétní menší oblasti.

Součástí soustavy je rovněž nádoba s kapalným dusíkem, jenž zprostředkuje chlazení energiově disperzního detektoru. Důležitá je rovněž přítomnost pump, neboť je třeba zajistit nízký provozní tlak v komoře.



Obr. 1 SEM na katedře materiálů FJFI

Obr. 2 Schéma SEM (převzato z [1])

### 3 Vlastní výzkum

Předmětem našeho výzkumu bylo prozkoumat mikrostrukturu a zastoupení jednotlivých prvků v dodaných vzorcích. Vzorky pocházely ze zvonů Michael a Leopold z katedrály Svatého Ducha v Hradci Králové.

Po vložení prvního vzorku (Obr. 3 a)) a zaostření jsme si okamžitě všimli nehomogenní struktury. Vzorky jsme pozorovali v rozmezí zvětšení 100x až 3000x v módu zpětně odražených elektronů (BEC). Projevily se nápadné částice, jež jsme předtím nepozorovali. Následně jsme provedli energiově disperzní analýzu jednotlivých fází. Fáze 1 obsahovala kolem 80% mědi a 20% cínu, zatímco ve fázi 2 jsme naměřili zastoupení každého z těchto kovů přibližně 50%. V částicích jsme pak identifikovali významné množství síry (částice 1) a olova (částice 2).

Následně jsme provedli zcela obdobnou analýzu i se vzorkem z druhého zvonu (Obr. 3 b)). Ihned jsme pozorovali větší zastoupení fáze 1, a tudíž i celkově větší hmotnostní zlomek mědi. Po zvětšení jsme kromě částic zaregistrovali také výrazné trhliny, které ovšem rozrušovali pouze fázi 2.



a) Mikrostruktura zvonu Michael BEC



b) Mikrostruktura zvonu Leopold BEC

Obr. 3 – snímky vzorků ze zvonů Michael a Leopold. Fáze 1 – 80% Cu, 20% Sn; Fáze 2 – 50% Cu, 50% Sn; Částice 1 – S; Částice 2 – Pb

### 4 Závěr

Seznámili jsme se prací s rastrovacím elektronovým mikroskopem a vyzkoušeli jsme si práci s tímto přístrojem na konkrétním problému. Podařilo se nám pozorovat rozdíly v mikrostruktuře a prvkovém složení obou vzorků zvonů. Konkrétně se jednalo o různý poměr zastoupení cínu a olova, různé zastoupení stopových prvků a výskytu mikrotrhlin. Skutečnost, že trhliny se šířily jen v jedné ze dvou hlavních fází, ukazuje, na tvárnost fáze s menším obsahem cínu a lepší šíření trhlin ve fázi bohatší na cín.

Přesvědčili jsme se, že elektronová mikroskopie a prvková analýza má široké využití v praxi. Pokud jde konkrétně o náš případ, zjištěné informace mohou naznačovat například, kde byla vytěžena kovová ruda použitá k výrobě mědi nebo cínu.

### Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali Ing. Janu Adámkovi za odborné vedení a cenné připomínky během zpracovávání miniprojektu.

### Reference

[1] VFU Brno – Nebuněčné formy života, elektronové mikroskopy http://mmp.vfu.cz/opvk2014/?title=teorie-nebunecne\_formy\_zivota&lang=cz

# Kam kráčíš? – statistická analýza evakuačního experimentu

Adam Dřínek – Gymnázium Nad Alejí, Praha 6 Soňa Kernerová – Gymnázium Václava Hlavatého, Louny Petr Mičulek – Gymnázium Olgy Havlové, Ostrava – Poruba Zdeněk Plešek – Masarykovo gymnázium Příbor

#### Abstrakt:

Často se stane, že se větší masa lidí snaží uniknout z nebezpečné situace, jíž byla vystavena. Proto je důležité vědět, jak se v takovýchto situacích chováme a jak se dají nejlépe zvládnout. V miniprojektu "Kam kráčíš?" jsme provedli analýzu dat extrahovaných z videí z evakuačního experimentu. Vybrali jsme veličiny popisující chování lidí při odchodu z místnosti a popsali jejich závislosti. Pracovali jsme hlavně v prostředí MATLABu. Výsledkem jsou grafy závislosti rychlosti na hustotě a závislosti toku na hustotě. Dále také prezentujeme důkaz a vysvětlení, proč se v takovýchto situacích hodí dav obcházet a ne chodit skrz.

# 1 Úvod

Minimalizace rizik je v dnešní době stále důležitější. Například pro stavební účely je užitečné vědět, jak se lidé chovají v únikových situacích. V naší práci jsme se zabývali analýzou videozáznamu z evakuačního experimentu. Nejprve jsme si našli správné veličiny pro popsání jevů pozorovaných na videu, jako je hustota (počet lidí na plochu), tok (počet průchodů za čas) či jejich rychlost. Díky způsobu zaznamenání videa bylo možno jednotlivé chodce nahradit body, u nichž známe polohu, směr a rychlost v kterémkoli okamžiku. V MATLABu jsme našli způsob jak z těchto dat zjistit:

- 1. graf závislosti rychlosti na hustotě
- 2. graf závislosti průtoku na hustotě
- 3. graf průměrných rychlostí na ploše místnosti
- 4. efektivita různých strategií

# 2 Metody

K dispozici máme video zachycující východ ze simulované místnosti, prostor před ním a koridor za ním. Na videu byli lidé vpouštěni do místnosti se stále se zvětšující frekvencí. Ze začátku volně procházeli, ale poté se začal jejich počet před východem zvětšovat, až došlo ke kongesci. Na hlavách měli účastníci papír s dvěma tečkami a binárním kódem, díky kterému lze převést video na data obsahující polohu bodů, jejich rychlost a směr.

Budeme sledovat oblast ve tvaru čtverce asi metr před východem, nechceme totiž, aby geometrie místnosti ovlivňovala měření.

Naším cílem je získat dva grafy, závislost rychlosti na hustotě a závislost průtoku na hustotě. Tyto grafy jsme si načrtli, abychom věděli, co můžeme očekávat.



### Graf závislosti rychlosti na hustotě

Očekávaný trend grafu (viz grafická příloha č.1) by měl být do určité hustoty konstantní. Chodci se do dosažení této hustoty pohybují svou maximální rychlostí, poté začnou brát ohledy na lidi kolem sebe a jejich chování se změní. Předpokládáme, že rychlost chodců nikdy neklesne pod určitou mez, díky pohybu na místě, jako je třeba kývání hlavou, rozhlížení se a přešlapování.

### Graf závislosti průtoku na hustotě

Očekávaný trend grafu (viz grafická příloha č.2) je po určitou mez přímo úměrný hustotě, poté je již konstantní. Konstanta se objeví, protože hyperbolické chování předchozího grafu lze vyjádřit jako  $v = \frac{k}{\rho}$  a proto v tomto intervalu lze celý vzorec zjednodušit na  $J = k \cdot b$ , a protože b je konstantní, bude rovnice rovna J = k, tudíž bude trend až do maximální hustoty konstantní.

### Profil rychlosti v místnosti

Vytvořili jsme si 3D graf průměrných rychlostí v jednotlivých čtvercích v místnosti. Grafů bude celkem 12, jelikož máme 12 kol se zvětšující se frekvencí vpouštění chodců. Poté vytvoříme graf, který zprůměruje všechny tato kola.

### Efektivita různých strategií průchodu

Jako jeden z výstupů jsme měli souhrnnou mapu trajektorií všech účastníků. Cestovní časy jednotlivých lidí jsme zprůměrovali a vyřadili jsme data těch, kteří šli ještě před kongescí. Trajektorie těch, jejichž časy průchodu byly kratší než průměrné (a tudíž jejich rychlost byla větší), jsme obarvili na červeno. Ostatní jsme obarvili na modro.

Dále jsme si pomocí algoritmu rozdělili lidi na ty, kteří šli středem a ty, kteří shluk obcházeli. Poté jsme vytvořili graf závislosti celkové doby průchodu na obsazenosti. V něm jsme barevně rozdělili lidi na ty, kteří šli středem a ty, co šli kolem.

# 3 Výsledky

#### Graf závislosti rychlosti na hustotě

Vytvořili jsme graf závislosti rychlosti chodců na hustotě ve čtverci (obr. 2). Na něm je vidět, že rychlost je nejprve konstantní a po dosažení určité hustoty klesá. Nikdy ale nespadne pod určitou hladinu.

#### Graf závislosti průtoku na hustotě

Podařilo se nám vytvořit graf závislosti průtoku na obsazenosti místnosti, což je celkový počet lidí v místnosti (obr.3). Pro přehlednost jsou dvě kola, se kterými jsme pracovali barevně rozlišená, nebylo možné zprůměrovat všechna kola, jejich údaje byly příliš jiné.

V grafu je patrný počáteční lineární nárůst toku a jeho následná vyrovnanost. Druhá, spodní čára, se vytvořila díky konci experimentu, kdy poslední lidé opouštěli místnost, proto se snižoval tok i hustota.



Obrázek 2: Závislost rychlosti na hustotě

Obrázek 3: Závislost průtoku na obsazenosti

#### Profil rychlosti v místnosti

Tento profil nám ukazuje pohled na konec místnosti a koridor. Vidíme průměrnou rychlost na jednotlivých čtvercích. Je patrné, že rychlost se před východem mírně zrychluje a v koridoru se ještě více zvětšuje. Ve shluku před východem je rychlost konstantní, jen po okrajích lze pozorovat mírné zrychlení, které tvoří obcházející.



Obrázek 4: profil rychlosti v místnosti

Obrázek 5: Zbarvené trajektorie rychlejších a pomalejších chodců

### Efektivita různých strategií průchodu

Na obrázku 5, který jsme zvolenou metodou získali, je vidět, že nejrychlejší lidé (červené trajektorie) se při výběru své cesty vyhýbali hlavnímu shluku, který obcházeli.

Na grafu závislosti celkové doby průchodu na obsazenosti (obr. 6) lze pozorovat, že ti, co zvolili cestu kolem (modří), měli dobu průchodu kratší než ti, co šli středem (červení). Na obrázku vedle je ukázáno rozdělení na dvě skupiny (kolem a středem)



Obrázek 6: Závislost celkové doby průchodu na obsazenosti

# 4 Diskuse

Naměřené veličiny odpovídají předpokládaným trendům.

Strategie obcházení fungovala proto, že když lidi šli kolem zdi, nemuseli bojovat s lidmi na obou stranách svého těla, jen na jedné. V tu chvíli pro ně bylo jednodušší se do koridoru dostat dřív.

# 5 Závěr

V miniprojektu jsme zpracovali výsledky experimentu pomocí námi navržených a konzultovaných postupů. Zjistili jsme, jak vypadají grafy závislostí různých veličin, jak se chová rychlost v závislosti na hustotě a tok v závislosti na obsazenosti. Také jsme vytvořili profil rychlosti v místnosti a dokázali, že obcházení davu je ta výhodná strategie.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat všem, kteří Týden vědy na FJFI organizují, zejména Ing. Marku Bukáčkovi, který nás celým miniprojektem provedl.

### Reference

 M. Bukáček, P. Hrabák and M. Krbálek, Experimental Study of Phase Transition in Pedestiran Flow, In: PED 2014 Proceedings, Transportation Research Procedia 2, 105 – 113, 2014

[2] A. Schadschneider, D. Chowdhury and K. Nishinari, Stochastic Transport in Complex Systems, Elsevier, 2010

[3]A. Seyfried, B. Steffen at all, Empirical Data for Pedestrian Flow Through Bottlenecks, In: Traffic and Granular Flow 07, 189–199, Springer, 2009

### Jak poznat dávku z barvy gelu?

R. Peloušek Gymnázium Brno, Slovanské náměstí, příspěvková organizace radekpelousek@icloud.com

#### Abstrakt:

Cílem mého miniprojektu bylo vyrobit Frickeho gelový dozimetr s xylenolovou oranží, poté jej ozářit na zařízení Gammacell 220 a určit pomocí změny zbarvení dávku, kterou byl tento dozimetr ozářen. Pomocí spektrofotometru jsem určil absorpci světla dozimetrů ozářených různou dávkou. Naměřená absorpční spektra jsem porovnal mezi sebou a sestrojil závislost absorbance na dávce. Dále jsem porovnal absorpční závislost dozimetrů ihned po ozáření a den po ozáření.

### 1 Úvod

Gelové dozimetry patří do skupiny integrálních chemických dozimetrů. Jsou tedy po určitý čas vystaveny ozáření a později jsou vyhodnoceny. Výhoda tohoto typu dozimetrů spočívá v možnosti objemového 3D vyhodnocení, které se hojně využívá v radioterapii. Gelové dozimetry se dělí na dvě hlavní skupiny: polymerní a radiochromní gelové dozimetry. Polymerní gelové dozimetry obsahují takové látky, které pod vlivem záření polymerují, tedy mění své vlastnosti v závislosti na absorbované dávce. Radiochromní gelové dozimetry obsahují látky, které vlivem záření oxidují a mění své absorpční spektrum a barvu.

Zástupcem radiochromních dozimetrů je Frickeho gelový dozimetr s xylenolovou oranží (FeXO), který jsem používal v mém miniprojektu. FeXO dozimetr je roztok síranu železnato-amonného. Po ozáření nebo vystavení teplu, světlu či kyslíku v něm dochází k oxidaci železnaté kationty (Fe<sup>2+</sup>) na železité (Fe<sup>3+</sup>). Xylenolová oranž tvoří s železitými kationty komplexní sloučeninu. Spektrofotometricky se určí koncentrace této komplexní látky, ta je přímo úměrná absorbované dávce.

### 2 Příprava FeXO dozimetru a vyhodnocení absorbance

#### Materiály a metody

Frickeho gelový dozimetr s xylenolovou oranží jsem vyrobil ze zásobních roztoků, konkrétně 2,5 mM xylenolové oranži, 1 mM Mohrovy soli + 50 mM roztoku kyseliny sírové a 10% želatiny.

Nejprve jsem připravil zásobní roztok želatiny, který jsem nechal zahřívat ve vodní lázni při 50°C. Poté jsem zředil kyselinu sírovou na požadovanou koncentraci a přidal Mohrovu sůl. Jako poslední jsem vyrobil zásobní roztok xylenolové oranži. Následně jsem vytvořil výsledný roztok o následujících koncentracích: 0,1 mM xylenolové oranži, 0,5 mM Mohrovy soli, 25 mM kyseliny sírové a 5% želatiny. Tento roztok jsem rozlil do dvanácti kyvet, které jsem nechal ztuhnout v lednici.

Kyvety jsem následně naskládal do držáku. Držák naplněný kyvetami jsem vložil do podavače zařízení Gamacell 220, které jako zdroj záření využívá <sup>60</sup>Co. Pomocí podavače jsem spustil kyvety do ozařovací komory. Dobu, kterou mají kyvety setrvat v ozařovací komoře, aby dostaly dávku 2 Gy, jsem vypočítal pomocí vztahu  $D = D_0 e^{-\lambda t}$ . Pro absorpci 2 Gy musí kyvety setrvat v Gamacellu 220 dobu 202,24 s. Kyvety jsem postupně vytahoval, podle toho, jakou dávkou měly být ozářeny. Po ozáření všech kyvet jsem vyhodnotil absorbanci na přístroji Helios  $\beta$ . Z naměřených hodnot jsem poté vytvořil závislost absorbance na dávce.



### Výsledky

Změna barvy FeXO dozimetru podle doby ozáření



Závislost absorbance při 585 nm ihned po ozáření a den po ozáření

### Diskuse

Starší Mohrova sůl způsobila menší citlivost dozimetrů, a tak se nezbarvily do modra, což lze pozorovat na grafu. První peak nezmizel ani u nejvíce ozářeného vzorku. Nespojitost v grafu je způsobena otočením monochromátoru v přístroji Helios β.

Závislost absorbance na dávce byla proložena lineární funkcí a největší výchylky se vyskytly u dozimetrů ozářených dávkou 12 a 14 Gy, což přisuzujeme nepřesnosti při ozáření.

# 3 Shrnutí

Připravil jsem dvanáct vzorků FeXO dozimetru. Jeden dozimetr jsem nechal neozářený, dalších jedenáct dozimetrů jsem ozařoval na zařízení Gamacell 220 dávkou 2 až 22 Gy. Poté jsme vyhodnotili absorpční spektra a vytvořili graf závislosti absorbance na dávce. Podle předpokladu odpovídá tato závislost lineární funkci.

# Poděkování

Děkuji především supervizorce Mgr. Haně Bártové za odborný dohled a konzultace v průběhu konání miniprojektu. Dále děkuji FJFI ČVUT za poskytnutí prostor, přístrojů a materiálů.

# **Reference:**

[1] Návod pro miniprojekt "Jak poznat dávku z barvy gelu?"

# Hledání Higgsova bosonu

A. Hlinčíková<sup>1</sup>, J. Kukla<sup>2</sup>, K. Rosická<sup>3</sup> G Česká Třebová<sup>1</sup>, G F. M. Pelcla<sup>2</sup>, G J. Ortena Kutná Hora<sup>3</sup> kacka.rosicka@gmail.com

#### Abstrakt

Práce obsahuje hledání Higgsova bosonu v datech získaných na urychlovači LHC v CERNu. Higgsův boson je jednou z částic standardního modelu. Srkze něj elementární částice interagují s Higgsvým polem a získávají tak hmotnost. Experiment na tomto urychlovači probíhá pomocí srážení protisměrně urychlených protonů, přičemž se sledují vylétávající částice. Naše měření probíhalo pomocí rozpadového kanálu na W<sup>+</sup> a W<sup>-</sup> bosony.

# 1 Úvod

Zatím nejúplnější teorií částicové fyziky je Standardní model,který popisuje elementární částice a tři ze čtyř základních interakcí. Částice standardního modelu se dělí na dvě základní skupiny, fermiony ,které mají poločíselný spin a tvoří veškerou hmotu kolem nás, a bosony, částice s celočíselným spinem, které zajištují interakce mezi elementárními částicemi. Fermiony se vyznačují tím, že musí splňovat Pauliho vylučovací princip, tedy se nemohou vyskytovat na stejném místě ve stejném stavu. Fermiony se dále dělí na leptony, které interagují skrze elektromagnetickou a slabou interakci a mezi něž patří elektron, mion, tauon a jim příslušející neutrinakvarky. Dalšími fermiony jsou kvarky, které kromě předešlých interagují ještě skrze silnou jadernou interakci, která váže kvarky v nuleonech (proton, neutron) a zbytková silná jaderná interakce je pak zodpovědná za vazbu nukleonů v jádře. Bosony jsou částice zprostředkovávající interakce mezi částicemi, konkrétně foton zprostředkovává elekromagnetickou interakci, bosony W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> a Z<sup>0</sup> zprostředkovávají slabou jadernou interakci a gluony, existující v osmi barevných variantách, zprostředkovávají slabou jadernou interakci. Částice nabývají své hmotnosti interakcí s Higgsovým polem, která je zprostředkována Higgsovým bosonem.

### 2 Měření

- Data byla naměřena pomocí urychlovače LHC (Large Hadron Collider), který je umístěn v CERNu na hranicích Švýcarska a Francie poblíž Ženevy. Urychlovač se nachází v podzemním kruhovém tunelu o obvodu 27 km.Částice jsou v něm urychlovány elektrickým polem a usměrňovány magnetickým polem. Na urychlovači se nacházejí čtyři experimenty, ATLAS, ALICE, CMS a LHCb. Naše data pocházela z detektoru ATLAS. Tento detektor se skládá ze čtyř vrstev:
  - Nejblíže k místu srážky se nachází dráhový detektor, který určuje přesnou dráhu nabitých částic.



Obrázek 1: Částice Standardního modelu, Zdroj: [4]

- Další vrstvou je elektromagnetický kalorimetr, který slouží především k měření energie elekronů, pozitronů a fotonů.
- Poté se v experimentu nachází hadronový kalorimetr, který slouží k zachycení hadronů.
- Poslední vrstvou detekroru jsou mionové komory, které měří trajektoriia hybnost mionů. Tyto komory jsou nejdál od místa srážek, protože miony díky své hmotnosti proletí celou předchozí aparaturou, aniž by se v ní interakcí uložila veškerá jejich energie.



Obrázek 2: Detektor ATLAS na urychlovači LHC, Zdroj:[1]

K detekci Higgsova bosonu j<br/>sme použili rozpadový kanál na bosony  $W^+$  <br/>a $W^-$ , které se dále rozpadají na lepton a příslušné antineutrino nebo na antil<br/>epton a příslušné neutrino.



Obrázek 3: Rozpadové kanály Higgsova bosonu, Zdroj: [2]

• Naše práce spočívala ve vyhodnocování srážek a hledání částic vzniklých rozpadem  $\rm W^+$  a  $\rm W^-$  bosonů. Celkem jsme analyzovali 700 srážek, s těmito výsledky:

e <sup>+</sup>	e <sup>-</sup>	$\mu^+$	$\mu^{-}$	$W^+ W^-$	Pozadí
103	71	100	91	54	282

Tabulka 1: Četnost jednotlivých rozppadů bosonů W

U kombinace W<sup>+</sup> a W<sup>-</sup> jsme rovněž měřili úhel mezivylétávajícími leptony a získali jsme graf závislost počtu událostí, ve kterých byl vytvořen pár W<sup>+</sup> W<sup>-</sup> bosonů v závislosti na úhlu mezi leptony vzniklými při jejich rozpadech.

• Z grafu lze vyčíst, že mezi úhly 45° a 90° je zaznamenaných událostí mnohem více, než by mohlo být v pozadí. Události s tímto úhlem mezi vylétávajícími leptony představují nejpravděpodobnější události, ve kterých byl vyprodukován Higgsův boson, který se následně rozpadl na pár bosonů. Tyto procesy však obecně odpovídají úhlům větším než 90° mezi vylétajícími leptony.

# 3 Shrnutí

Během našeho miniprojektu jsme seznámili se základními informacemi o Standardním modelu a částicích, které jej tvoří. Poté jsme analyzovali data získané z detektoru ATLAS. Pozorovali jsme možný výskyt Higgsova bosonu, ale pro přesnější důkazy bychom museli analyzovat mnohem větší objem dat.

# Poděkování

Za vedení našeho projektu děkujeme slečně Dagmar Bendové a také děkujeme celému týmu, který připravuje Týden vědy na Jaderce, za umožnění tohoto miniprojektu.



Obrázek 4: Závislost počtu událostí W<sup>+</sup> W<sup>-</sup> na úhlu vylétávajících leptonů, Zdroj:[2]

### Reference

- [1] Centre de physics du particule Marseille *ATLAS experiment*. http://atlas.cppm.in2p3.fr/
- [2] Kolaborace ATLAS. International Masterclasses, Hands on Particle Physics. http://kjende.web.cern.ch/kjende/en/
- [3] Miroslav Havránek. Experiment ATLAS Výzva pro nové technologie. http://www.aldebaran.cz/bulletin/2006\_25\_atl.php. 2006.
- [4] www.osel.cz. Standard model of elementary particles. http://www.osel.cz/popisek.php?popisek=17124&img=2standard-model-ofelementary-particles.jpeg

### Get ready for Krakatit

M.Chadim (1), M.Novotná (2)

 (1) Gymnázium Velké Meziříčí, Sokolovská 235/27, Velké Meziříčí
 (2) Gymnázium a hudební škola hl.m.Prahy, ZUŠ, Komenského náměstí 400/9, 130 00 Praha 3
 (1) marachadim@gmail.com, (2) martine.novotna@gmail.com

#### 19.6.2017

#### Abstract

Our task at ELI Beamlines was to design a simple shielding against ionizing radiation from three different sources - 137-Cs, 241-Am and 60-Co. First, we made this shielding in lab from materials we were given (cuboid from concrete, four steel cylinders and two lead blocks) and measured the ambient dose equivalent where needed with Geiger-Müller counter. Then we used GUI Flair for FLUKA simulation based on Monte Carlo method and plotted graphs of ambient dose equivalent as a function of its position in space. Our results match with our measurement.

#### 1 Introduction

In case of working with a source of ionizing radiation, you have to be protected from it, so it does not cause you any harm. The rule of acting if using source of ionizing radiation is called ALARA, which says that your irradiation should be As Low As Reasonably Achievable. Three basic aspects which have influence on the amount of your irradiation are time, distance and shielding. But the only one we must influence before the work with the source of ionizing radiation is shielding. Therefore, we must design the best shielding to protect not only people, but also electronics, because ionizing radiation can also influence the work.

ELI Beamlines is a research centre located in Dolní Břežany which aspires to install and run the worlds most intense laser system. It is supposed that this can push the boundaries of human knowledge in astrophysics, biomedical sciences, nanotechnologies etc. Krakatit is going to be a laser with the biggest power in the world, 10 PW. This laser will be used to produce ionizing radiation so there must be shielding designed.

#### 2 Experiment

There is no laser at ELI working yet, so we used a radioactive source of ionizing radiation for our experiment. Our task was to design a simple shielding against this radiation. Then we measured the ambient dose equivalent where needed and simulated this situation with Monte Carlo code FLUKA.

#### 2.1 Quantities

Strength of a radioactive source is described by activity, which is defined as

$$A = N/t \quad [Bq] \tag{1}$$

where N is a number of decayed nuclei per time t. However, for evaluating how much an object has been irradiated, we use another quantity - dose - which is defined as

$$D = \varepsilon/m \quad [Gy] \tag{2}$$

where  $\varepsilon$  is energy deposited in mass *m*. The problem with it is that different types of radiation causes different level of damage to human tissues. Therefore, we use another quantity called effective dose

$$E = w_T \cdot w_R \cdot D_{R,T} \quad [Sv] \tag{3}$$

where  $w_R$  is the radiation weighting factor and  $w_T$  tissue radiation weighting factor. For  $\gamma$  rays we define

$$w_R = 1 \tag{4}$$

Effective dose describes how much have you been endangered by irradiation. Since this quantity cannot be measured by detectors, we define ambient dose equivalent rate  $H^*$  as "the effective dose you would get by standing at the place where detector is per one hour".

#### 2.2 Results

x	у	$H^*$ Cs - sim.	meas.	H* Am - sim.	meas.	H <sup>*</sup> Co - sim.	meas.
10	0	2,52	2,88	$3,\!64$	1,00	11,72	18,51
20	0	0,71	0,97	1,04	0,25	3,33	$5,\!58$
30	0	0,32	0,59	$0,\!45$	0,14	1,56	3,73
5	-20	$0,\!61$	0,54	$0,\!42$	0,12	$3,\!20$	$3,\!68$
5	20	$0,\!56$	0,48	0,41	0,11	2,88	$3,\!58$
40	0	$0,\!17$	0,27	$0,\!27$	0,08	0,88	2,50
-20	0	0,26	0,26	$0,\!23$	0,07	$1,\!63$	2,28
-30	0	0,11	0,23	0,09	0,06	$0,\!69$	1,30
35	-20	$0,\!19$	0,23	$0,\!27$	0,05	$3,\!20$	1,28
35	20	0,18	0,21	0,27	0,04	0,88	1,27
-40	0	0,07	0,20	0,05	0,03	0,40	0,54
-40	-20	0,04	0,13	0,03	0,01	0,71	0,39
-40	20	0,04	0,11	0,03	0,00	0,72	0,40

Table 1: This table shows the difference between measured and simulated ambient dose equivalent as a function of position in space.

At figures below, you can see distribution of ambient dose equivalent on the table in lab, which we got from our FLUKA simulation.



Figure 1: 2D distribution of ambient dose equivalent as a function of position in space for 137-Cs



Figure 2: 2D distribution of ambient dose equivalent as a function of position in space for 60-Co



Figure 3: 3D distribution of ambient dose equivalent as a function of position in space for 241-Am



Figure 4: 3D distribution of ambient dose equivalent as a function of position in space for 60-Co

#### 2.3 Discusion

From the results we obtained it can be seen that radiation decreases with distance. It is also obvious that concrete cuboid and the other parts of our shielding attenuate the ambient dose equivalent.

For 137-Cs, our measured results match with the simulated ones. The small difference can be caused by statistical fluctuation of detected particles.

For 241-Am, our measured results do not match at all, because the low energies of emitted photons, which did not reach the active volume of the detector.

For 60-Co, our measured and simulated results match, although there is a small difference caused by statistical fluctuation of detected particles.

Our shielding was designed for 137-Cs, which means that for 241-Am, it would be enough to use less material and on the other hand, it would have to be modified for 60-Co to fulfill the requirements.

#### 3 Conclusion

We measured the ambient dose equivalent with Geiger-Müller counter and simulated this distribution with GUI Flair. We compared the amount of ambient dose equivalent as a function of its position in space from the simulation and measurement. Our results match with our measurement, so we managed to design a shielding which would be strong enough to protect both people and electronics.

#### 4 Acknowledgements

We want to thank Sabrina Bechet, Veronika Olšovcová, Roberto Versaci and Roman Truneček for introducing us to problematics of ionizing radiation and shielding againts it. Specially, we want to thank Vojtěch Stránský for helping us with every single problem we had.

#### References

- [1] Online manual to FLUKA: http://www.fluka.org/fluka.php?id=man\_onl
- [2] Official ELI Beamlines website: https://www.eli-beams.eu/en/

# Měření kosmického záření

# J. Růžička, Gymnázium Bohumila Hrabala v Nymburce *ruzickajakub.nbk@gmail.com*

V. Blovská, Gymnázium Plzeň veronikablovska@seznam.cz

J. Pekařová, Gymnázium Volgogradská 6a, Ostrava - Zábřeh *jana.fb.pek@seznam.cz* 

> D. Lichnovská, Gymnázium Ústavní, Praha daniela.lichnovska@gmail.com

K. Lojdová, Gymnázium Brno, Slovanské náměstí 7 lojkatule@gmail.com

#### Abstrakt

Cílem našeho miniprojektu bylo změřit intenzitu intenzitu kosmického záření v závislosti na nadmořské výšce. Pro tento experiment jsme podstoupili dva třicetiminutové lety letadlem Turbolet L-410 a vystoupali až do nadmořské výšky 4890 metrů. Pro měření dané závislosti jsme využili několik typů scintilačních detektorů. Následně jsme údaje zpracovali a došli jsme k závěru, že intenzita kosmického i terestrického záření závisí na nadmořské výšce.

# Úvod

Lidé jsou, stejně jako všechny ostatní organismy, každý den vystavováni radioaktivnímu záření. Nejedná se pouze o umělé zdroje, například z lékařského ozáření, ale i přírodní radioaktivní záření terestrické (pocházející ze Země) a záření kosmické. Právě záření kosmické bylo předmětem našeho zájmu. Zajímali jsme se o něj, jelikož některé jeho složky mohou být nebezpečné pro život člověka, zejména v případě leteckých posádek, protože jsou vystavovány jeho zvýšeným dávkám.

# 1 Teoretická část

Existují dva hlavní zdroje kosmického záření, a to Slunce a galaxie. Tyto zdroje vyzařují primární kosmické záření, které dopadá na atmosféru Země, následně s ní může interagovat a vzniká tak sekundární kosmické záření. Naše Země je chráněna nejen atmosférou ale i geomagnetickým polem, které dokáže některé částice odstínit [1].

Jedním ze zajímavých důsledků průniku kosmického záření do atmosféry je polární záře, která je tvořena excitovanými fotony. Fotony pocházejí z vysokoenergetických částic, které se na póly dostávají díky slabšímu magnetickému poli v místě vstupu siločar do povrchu Země [1].

Radioaktivní záření je nebezpečné pro lidský organismus, z toho důvodu má každá země své předpisy pro radiační ochranu. U nás se touto tematikou zabývá Státní úřad pro jadernou bezpečnost. V České republice je zákonem stanovená směrná hodnota efektivní dávky pro profesionální piloty létající nad osm kilometrů 1 mSv za rok. [2]. Pro srovnání, smrtelná dávka pro dospělého člověka, bez ohledu na dobu ozáření, je 7000 mSv [3].

### Historie

Na počátku minulého století vědce znepokojovalo svévolné vybíjení elektroskopů, které je důsledkem elektrické vodivosti vzduchu. Domnívali se, že zdroj záření pochází ze zemské kůry.

Z tohoto důvodu vynesl Theodor Wulf detektor na Eiffelovu věž a na základě svého měření došel k závěru, že existuje ještě jiný zdroj záření. Sám se bohužel neodhodlal k měření ve vyšších polohách. O několik let později Victor Hess opakovaně provedl měření pomocí horkovzdušného balonu až do výšky 5 km. Do výšky 800 m intenzita záření klesala, jak se předpokládalo. Zjištění, že od této výšky intenzita začala opět znovu narůstatat potvrdilo domněnky, že záření přichází z kosmu. Za svou práci získal posléze Nobelovu cenu [4].

Robert Millikan vyrobil elektrometr, který nepotřeboval lidskou obsluhu a mohl tak dosáhnout mnohem zajímavějších výsledků ve vyšších polohách. Po svých prvních měřeních popřel existenci záření z kosmu. Po opakování experimentu došel k závěru, že jeho původní měření byla zatížena značnou chybou. Změnil názor, záření nazval kosmické. Dále se vědci zabývali globálními charakteristikami kosmického záření [4].

# 2 Praktická část

### Metodika měření

Pro získání dat jsme využili letadlo typu Turbolet L-410 v intervalu dvou téměř třicetiminutových letů, do kterého jsme si s sebou vzali několik typů detektorů.

Prvním z nich byl scintilační detektor NB 3201, který pro měření využívá kombinaci anorganických (NaI) a organických materiálů (umělá hmota). Zároveň jsme využili dvou scintilačních detektorů GT-40, které měří gama záření a fungují na čistě anorganické bázi (NaI). Jeden z detektorů byl speciálně upraven pro měření kosmického záření. Oba však byly používány pro tento experiment vůbec poprvé, a tak byly kalibrovány na zemi. Dopady částic jsou v detektorech tříděny podle energií a zaznamenány do jednoho ze 1024 kanálů. Do obou detektorů je integrována GPS pro zaznamenání polohy a nadmořské výšky [5].

# 3 Výsledky





 $N = a \cdot e^{h \cdot b}$ ;  $a = 36 \pm 2$ ,  $b = (3.8 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$ 



Graf 3: Závislost počtu částic *N* na nadmořské výšce *h* do 1000 m  $N = a \cdot e^{h \cdot b}$ ;  $a = 81 \pm 7$ ,  $b = (-6 \pm 2) \cdot 10^{-4}$ 



Graf 4: Závislost počtu částic N na výšce h pro terestriální a kosmické záření

# 4 Diskuse

Z námi naměřených údajů vyplývá, že terestrické záření se zvyšující se nadmořskou výškou klesá a od 1000 metrů se již prakticky nevyskytuje. Naopak intenzita kosmického záření s nadmořskou výškou roste. Naměřené údaje plně odpovídají naší původní hypotéze a výsledkům týmů z předchozích ročníků.

Z abnormálních výsledků z detektorů GT-40 jsme usoudili, že buďto jsou nevhodné pro měření kosmického záření nebo byla data na zemi zkreslena zvýšeným přírodním radioaktivním pozadím, či kontaminací. Z tohoto důvodu jsme jimi naměřená data nepoužívali.

# 5 Závěr

V rámci miniprojektu se nám povedlo úspěšně naměřit intenzitu kosmického záření rozličnými detektory, posléze jsme určovali závislost teploty a vlhkosti na měření. Vystoupali jsme až do výšky 4890 m, kde nás opustila skupina několika dalších badatelů z oblasti parašutismu. Některé detektory jsme po pečlivém zvážení do výsledků nezahrnuli kvůli technickým potížím. Závěrem bychom proto chtěli celý miniprojekt zhodnotit jako přínosný sobě samým i lidstvu. Pokud jste to dočetli až sem, po prezentaci se neváhejte přihlásit o malou odměnu.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat celému týmu, který organizuje TV@J, a to především Ing. Dáše Kyselové za její pomoc, trpělivost, vedení celého projektu a ochotu vstávat ve čtyři ráno.

# Reference

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

[2] Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně. In: Sbírka zákonů České republiky

[3] REICHL, Jaroslav a kol. *Radioaktivní záření v organismu a veličiny s tím související* [online].[cit.19.6.2017].Dostupný na WWW:

http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/843-radioaktivni-zareni-v-organismu-a-veliciny-s-tim-souvisejici

[4] BOHÁČOVÁ, Martina. VESMÍR 79. *Kosmické záření* [online]. červenec 2000 [cit. 19.6.2017]. Dostupný na WWW: http://www.cts.cuni.cz/vesmir

[5] LOFBERG, Leif a kol. An Advanced Multipurpose Gamma-Ray Analyzer [online]. [cit. 19.6.2017]. Dostupný na WWW:
 http://radiationdetection.se/wp-content/uploads/2011/11/GT-40-final-RDS.pdf

# Rozsviťme mozek!

#### D. Friedrich

R. Čanigová

A. Robbová

Gymnázium Elišky Krásnohorské Ohradní 55, Praha 4, 143 00

1daniel.friedrich@gmail.com

Bilingválne gymnázium Milana Hodžu, Komenského 215, Sučany 038 52 **r.canigova@gmail.com** 

anna.robbova@seznam.cz

Církevní gymnázium Plzeň

Mikulášské náměstí 15, 326 00

#### Abstrakt:

Játra jsou nenahraditelným centrem metabolismu a regulátorem glukózové, acidobazické a teplotní homeostázy. Jsou ale životně důležitá i svou syntetickou, sekreční a obrannou funkcí a poškození jater může vést k vážným onemocněním jako je jaterní cirhóza, hepatitida, po sléze rakovina. V naší práci používáme fluorescenční optovláknový konfokální mikroskop, abychom ukázali, jak lze jejich příčinám porozumět – pomocí pozorování znaků zdravých tkání na buňkách potkana. Cílem naší práce je seznámit čtenáře se základními principy, pomocí níž můžeme studovat strukturu orgánů živých organismů, včetně zobrazení *in vivo* (pozorování jater nebo žaludku ve funkci).

# 1 Úvod

Fluorescenční mikroskopie využívá nejmodernějších poznatků lékařské fyziky, a to fluorescenci. Fluorescence je jev, kdy určité struktury ve tkáních reagují na světlo našeho laseru vyzářením světla o určitou vlnovou délku nižšího. Tento rozdíl (tzv. *Stokes shift*) nám pak může dávat informaci o různých látkách v pozorovaném vzorku.

Při pozorování živočichů se však na přirozenou fluorescenci (autoluminiscenci) spolehnout nemůžeme (to nám však zároveň dává kontrolu nad spektry, které v nich pozorujeme), různé struktury si ale můžeme zobrazit, pokud nalezneme fluorescenční látky, které budou vstřebány různými částmi tkání.

V našem experimentu toho docílíme za použití fluorescenčního optovláknového konfokálního mikroskopu Cellvizio Dual Band. Jako mikroskop *optovláknový* využívá pro přenos informací ze vzorku na monitor optická vlákna, a proto se v průběhu ztratí minimum informace. Je to mikroskop *konfokální* a proto světlo z těchto vláken prochází malou štěrbinou, pomocí níž lze přenášet podobu vzorku do 2D obrazu na monitoru. Předtím, než se světlo odrazí od vzorku, je světlo totiž zrcadly nakláněno do různých úhlů, tak, že získáme rozlišení několika bodů na jedno vlákno. Mikroskop je *fluorescenční*, a tak pomocí poloprostného zrcadla zároveň do vzorku vysílá světlo dané barvy (proto potřebujeme lasery, jejichž vlastosti známe) a zároveň můžeme pozorovat posunuté světlo, které vzorek svítí nazpět.

### 2 Pozorování

#### Postup

Ke studiu takových struktur laboratoře užívají potkany, protože zdravotní stavy, které studují je na nich možné pozorovat ve velkém. Náš potkan bol na začiatku uspaný pomocou anestetika isofloran, ktoré mu bolo podávané inhalačne počas celej dĺžky experimentu a držal

ho v spánku. Orgán, ktorý sme sa chystali zobrazovať sa nachádzal v pravej časti brušnej dutiny, konkrétne v okolí posledných rebier a tu sme viedli rez kožou. Keď sme sa dostali k svalovému tkanivu brušnej dutiny, rez sme potiahli pozdĺž tzv. bielej čiary, kde sa nachádzajú prevažne šľachovité úchyty svalov a tým pádom sa tam vyskytuje najmenšie krvácanie počas procesu. Keď sa pred nami otvorila brušná dutina zvieraťa, mohli sme pozorovať pečeň voľným okom. Takto by sme však nedokázali zobraziť jej štruktúru, pretože i keď pečeň obsahu aj niekoľko autoflouresčentných látok, obsahuje ich v dostatočne malom množstve na to, aby sme ich odmerať nedokázali a zároveň ich aj mohli z nášho merania vylúčiť.

Na to, aby ju naša sonda naopak dokázala zmerať sme najprv museli do brušnej dutiny aplikovať niekoľko kvapiek Akryflavínu, ktorý sa nám naviaže priamo do buniek. Toto farbivo je svojou farbou originálne oranžové, avšak my ho na nameraných výsledkoch vidíme v zelenom odtieni pretože počítač farby transformuje na RGB.

#### Pozorování orgánů

Keď sme po aplikácií farbiva priložili sondu na pečeň, na počítači sme dokázali rozoznať jej štruktúru až do hĺbky 60 mikrometrov. Dokázali sme pekne rozoznať zväzky buniek a pozorovať ako sa zbiehajú do už predtým spomínaných šesťuholníkových štruktúr.

Naskytlo sa nám však veľa čiernych miest, na ktorých sa mohli nachádzať buď cievy alebo žlčovody. Na to aby sme dokázali presne odlíšiť tieto dve možnosti bolo potkanovi do krvného obehu aplikované ďalšie farbivo, tentoraz Evans blue alebo Evansova modrá. Toto farbivo sa naviaže na krvné bielkoviny a následne prúdi celým telom. Zaujímavosťou je, že toto farbivo je veľmi silné a v priebehu pol hodiny boli modré potkanove orgány, rovnako ako mu omodrievali aj jeho končatiny.

Toto farbivo sme pod mikroskopom videli ako červené a tým dokázali rozoznať cievy od žlčovodov. Žlčovody zostali na našom obraze tmavé, pretože sa v nich nenachádzala žiadna krv s naviazaným farbivom, zatiaľ čo cievy sme dokázali sledovať vo výrazne červených odtieňoch.

Dokázali sme rozoznať malé vlásočnice, ktorými bolo popretkávané tkanivo a vo väčších cievach bol dokonca badateľný aj nepatrný pohyb červených krviniek.

#### Jiné

Na rozdiel od živočíšnych tkanív, rastlinné pletivá obsahujú vysoký pomer autofluoresčných látok. Keby chceme merať rastlinu rovnakým spôsobom, museli by sme buď vziať do úvahy všetky farbivá, ktoré obsahuje a následne ich vylúčiť alebo ich využiť v náš prospech. Preto keď sme skúmali pod mikroskopom lístok z rastliny, nemuseli sme mu dodávať žiadne farbivo a i tak sme mali viditeľný výsledok. Boli viditeľné žilky, ktoré sa v liste nachádzajú rovnako ako aj v prípade zvieracieho tkaniva. Okolie žiliek a vlastne väčšina listu mala pod naším mikroskopom červenú farbu. Z toho sa dá logicky vydedukovať, že chlorofyl dosahuje v našich meraniach vlnovú dĺžku červeného svetla. Taktiež sme na rastline narazili aj na akési zeleno-žiariace objekty ale tie sme neboli schopní ďalej identifikovať, keďže listy obsahujú množstvo podobných látok. Taktiež to mohlo byť spôsobené aj nejakými nečistotami na povrchu listu.

# 3 Výsledky

Po aplikaci obou barviv jsme získali zobrazení různých struktur v těle potkana. Dle popisu jednotlivých orgánů se nám podařilo určit nejen játra (obr.1), ale i tukové váčky, vnější obal žaludku a srst zapadlou do řezu (obr. 2), čímž jsme si potvrdili, že metodu fluorescenčního

mikroskopu lze použít k rozlišování orgánů, popřípadě různých dalších struktur a rozpoznat zdravou tkáň od například nádoru.



# 4 Shrnutí

Ukázalo se, že pomocí fluorescenční mikroskopie lze zobrazit rozdíly mezi mikroskopickou stavbou různých tkání (žaludek, játra, tukové buňky). Zároveň jsme si ukázali, že je možné sledovat jak pracují játra v reálném čase.

Táto metóda má širokú škálu využitia najmä v medicínskej sfére. Keďže je možné subjekt pozorovať za stavu celkovej anestézie, všetky životné funkcie mu fungujú tak, ako majú. Operujúci lekár by aj pomocou tejto metódy dokázal priamo na operačnom stole rozoznať zdravé tkanivo od poškodeného a rozhodnúť sa, ako ďalej postupovať. Metóda je momentálne výhodnejšia pre objekty, ktoré sa príliš nehýbu, pretože napríklad dýchanie dokáže narušiť a sťažiť pozorovanie. Do budúcnosti by sa však podobné problémy mohli odstrániť a tým zlepšiť celkové fungovanie a hlavne pracovanie s touto metódou.

# 5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali Jakubu Otáhalovi, MD, Ph.D., Assoc.Prof. za možnost účasti na pokusu a veškerou pomoc, kterou nám v souvislosti s realizací poskytl. Dále bychom chtěli poděkovat FJFI za možnost účasti na Týdnu vědy.



# <sup>99m</sup>Tc ZNAČENÉ LÉČIVÉ PŘÍPRAVKY PRO DIAGNOSTIKU V NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ

Hynek Loskot, Masarykovo gymnázium, Příbor<sup>1</sup>

Natálie Peterková, Gymnázium Jana Nerudy, Praha 1<sup>2</sup>

Tereza Přibylová, Gymnázium ALTIS, Praha 10<sup>3</sup>

Eliška Trojáková, Gymnázium Dr. Josefa Pekaře, Mladá Boleslav<sup>4</sup>

hynek.loskot@gypri.cz<sup>1</sup>

peterkova.ny@gmail.com<sup>2</sup>

pribylova-tereza@seznam.cz<sup>3</sup>

eliska.trojakova@seznam.cz<sup>4</sup>

#### Abstrakt

V nukleární medicíně jsou často využívaná radiofarmaka, která jsou značená radionuklidem <sup>99m</sup>Tc. Radionuklid <sup>99m</sup>Tc se získává nejčastěji z <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc generátoru, na kterém jsme sami měli možnost pracovat. Následně je roztok radionuklidu přidan do jednotlivých kitů (MDP, MAG<sub>3</sub>, Nanocoll a Ceretec); kitem se rozumí vialka obsahující již látku, která bude značena. U jednotlivých radiofarmak je pak určena jejich radiochemická čistota a zkontrolováno, zda vyhovuje v SPC (souhrn údajů o přípravku).

# 1 Úvod

Radiofarmaka jsou léčiva obsahující radionuklidy. Tyto radionuklidy slouží v lékařství jako zdroje záření, díky kterému můžeme provádět diagnostiku (např. scintigrafická vyšetření) a následně poté i terapii (např. onkologických onemocnění). Důležitým faktorem u radiofarmak je tzv. radiochemická čistota, která je jasně stanovena a musí být pro lékařské účely striktně dodržována. Radionuklidová čístota je poměr aktivity značeného komplexu k celkové aktivitě vzorku.

V našem případě byl použit radionuklid <sup>99m</sup>Tc s poločasem rozpadu 6 hodin a emitující záření γ. Jedná se o dceřiný nuklid <sup>99</sup>Mo, který se nejčastěji ziskává z <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc generátoru.

### 2 Potřeby a pomůcky

Pro syntézu radiofarmak byl využit generátor <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc, kity MDP, MAG<sub>3</sub>, Nanocoll, Ceretec, olověné kontejnery na uchovávání kitů, chromatografický papír (Whatman 1, ITLC SG), střička s vodou, jehly, injekční stříkačky, pinzeta, kádinky s acetonem, acetonitrilem a methanolem, AR-2000-TLC skener, vodní lázeň s nastavitelnou termoregulací. Jednotlivé kity včetně eluátu byly měřeny v ionizační komoře (obr. 1).

### **3** Postup

Eluce <sup>99m</sup>Tc z generátoru probíhala následujícím způsobem: k přípravě komplexu s <sup>99m</sup>Tc jsme za pomoci fyziologického roztoku eluovali <sup>99m</sup>Tc z <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc generátoru. Sejmuli jsme ochranný kryt ze vstupní jehly a nasadili jsme na něj vialku s fyziologickým roztokem (0,9 % NaCl). Na výstupní jehlu jsme nasadili ampuli v olověném stínícím krytu. Po naplnění ampule eluátem (technecistan sodný – Na<sup>99m</sup>TcO<sub>4</sub>) byla ampulka proměřena v detektoru (Obr. 1) a zjištěna celková aktivita eluátu 2,1 GBq. Z eluátu bylo pomocí injekční stříkačky odebráno přibližně 2,5 ml a vždy stejné množství bylo následně přidáno do jednotlivých kitů (Obr. 2).

Byly použity následující kity, u nichž byla proměřena jejich aktivita po přidání eluátu: MAG<sub>3</sub> (447 MBq), MDP (520 MBq), Nanocoll (424 MBq) a Ceretec (376 MBq). Kit MAG<sub>3</sub> byl po přidání eluátu přibližně 10 minut povařen ve vodní lázni a do kitu Ceretec byl přidán kobaltový stabilizátor (roztok soli kobaltu, který je součástí balení). Zbylé dvě ampulky byly po přidání eluátu promíchány a inkubovány za laboratorní teploty.



Obr. 1: Ionizační komora



Obr. 2: Kity

Následně jsme z každé lahvičky odebrali malé množství roztoku pomocí injekční stříkačky pro stanovení radiochemické čistoty připraveného komplexu <sup>99m</sup>Tc. Pro stanovení radiochemické čistoty byla použita papírová chromatografie (Tab. 1)

Eluát	Mobilní fáze	Nosič (stacionární fáze)	Retenční faktor	
MAG <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> CN:H <sub>2</sub> O (7:3)	Filtrační papír	0,0 - 0,5	
MDP	Fyziologický roztok	Gelman ITLC/SG	0,9 - 1,0	
	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> :H <sub>2</sub> O (9:1)	Filtrační papír	0,0 - 0,05	
Ceretec	Fyziologický roztok	Gelman ITLC/SG	0,8 – 1,0	
Nanocoll	CH <sub>3</sub> OH:H <sub>2</sub> O (11:3)	Filtrační papír	0,0	

Tab. 1: Tabulka použitých fází a nosičů pro chromatografii

Chromatogramy byly vyvíjeny v různých mobilních fázích (Tab. 1) a po ukončení vyvíjení proměřeny na přístroji AR-2000-TLC skener.

### 4 Výsledky

Připravili jsme eluát <sup>99m</sup>Tc o celkové aktivitě 2,1 GBq. Výsledky našeho měření jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2).

		kCPM		Čistota [%]	
KIT	Přidaná aktivita [MBq]	celková	region	požadovaná	dosažená
MAG <sub>3</sub>	446,8	114	342	95	99,7
MDP	520.1	18	16	95	97,8
	520,1	94	94	95	
Ceretec	375,6	142	100	90	70,3
Nanocoll	424,1	124	123	95	93,8

Tab. 2: Výsledky měření na chromatografu, kCMP je počet impulzu za minutu krát 1000.

Z tabulky vyplývá, že nejvyšší čistoty bylo dosaženo pro MAG<sub>3</sub> (Graf 1) naopak nejnižší hodnoty pro Ceretec (Graf 2). Čistota MDP (Graf 3 a 4) byla stanovena na základě rovnice (1), kde [<sup>99m</sup>Tc]MDP je procento aktivity komplexu <sup>99m</sup>Tc a MDP, *A* je procento aktivita hydrolyzovaného technecia a *B* je procento aktivity volného technecistanu. Nanocoll (Graf 5) požadované radiochemické čistoty nedosáhl. Radiochemická čistota byla stanovena na základě rovnice (2), kde  $CPM_{region}$  je počet impulzů za minutu v požadované oblasti, tzn. výskytu komplexu.

$$\%[^{99m}Tc]MDP = 100 - (A + B)$$
(1)

$$\check{c}istota~(\%) = \frac{CPM_{region}}{CPM_{celkem}} * 100~\%$$
(2)



Graf 1: Chromatogram MAG3

Graf 2: Chromatogram Ceretec



# 5 Diskuze

Radiofarmakum nemůže být podáno pacientovi, pokud roztok nedosahuje požadované radiochemické čistoty, neboť by snímky nebyly dostatečně kvalitní. Nečistota může vzniknout nenavázáním <sup>99m</sup>Tc na komplex, jeho hydrolýzou, použitím kitů po expirační době, popř. nepřesnou prací v laboratoři. U Ceretecu vnikly nepřesnosti z důvodu nedostatku eluátu <sup>99m</sup>Tc, bublinek v injekční stříkačce.

# 6 Závěr

Seznámili jsme se s prací s <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc generátorem. Připravili jsme 4 radiofarmaka, z nichž 2 (MDP, MAG<sub>3</sub>) splňují požadovanou radiochemickou čistotu, tudíž by mohla být podána pacientům.

# Poděkování

Radi bychom poděkovali RNDr. Martinovi Vlkovi, Ph.D., Bc. Michalovi Sakmárovi, Ing. Ekaterině Kuklevě, Bc. Veronice Valové za cenné rady a FJFI ČVUT za poskytnutí prostor a vybavení.

# Reference

[1] N. N. GREENWOOD, N.N. - EARNSHAW, A., Chemie prvků 1. díl, 1. vydání 1993

[2] MAJER, V.: Základy jaderné chemie, 1.vydání 1961

# Zobrazování hmyzu uvězněného v jantaru

Emma Bielokostolská<sup>1</sup> Thi Thu Hien Nguyenová<sup>2</sup> Veronika Scholzeová<sup>3</sup>

Bilingválne gymnázium Milana Hodžu, Komenského 215, Sučany
 2 Gymnázium, Česká Třebová, Tyršovo náměstí 970
 3 Gymnázium Trutnov, Jiráskovo náměstí 325

1 e.bielokostolska@gmail.com

2 leorise@seznam.cz

3 veronikascholzeova@seznam.cz
#### Abstrakt

Cílem naší práce bylo zobrazit mušku v jantaru za pomocí záření X. K zobrazování jsme použily jak techniku transmisní radiografie (využívá absorpci záření X v látce), tak techniku využívající fázové posunutí. Obě techniky jsou v článku vysvětleny. Výsledkem je snímek očištěný od všech artefaktů, na kterém jsou patrné všechny články mušky – hlavička, tělo, zadeček. Na snímku je trochu patrná nožička, ale křidélka již zobrazená nejsou.

## 1. Úvod

Cílem naší práce bylo zobrazit hmyz uvězněný v jantaru pomocí paprsků X (rentgenového záření). Součástí naší práce bylo též vysvětlení pojmu rentgenové záření a princip jeho detekce. Tyto znalosti jsme použily k odstranění nežádoucích artefaktů z výsledných obrázků.

#### 2. Metodika

Na začátku jsme se seznámily se zobrazovacím systémem, který se skládá z rentgenky, detektoru záření X ve formě tenkého scintilátoru a CCD kamery, která tento scintilátor monitoruje (viz obr. 1). Poté jsme spustily měření, 10 Light snímků (při zapnutí rentgenky a s pozorovaným objektem), 10 Flat snímků (při zapnutí rentgenky a bez pozorovaného objektu) a 10 Dark snímků (bez rentgenky a bez pozorovaného objektu). Každý snímek trval 5 minut. Po načtení všech snímků, jsme odstranily artefakty a nežádoucí šumící pixely (výsledky na konci práce).







(Linhart, V., 2017)

#### Obr. 2 a 3, zobrazovací systém a jantar s hmyzem

#### Teoretická část 3.

#### 3.1. Jantar

Jantar je uhlíkatá nerostná látka. Jedná se o mineralizovanou pryskyřici třetihorních jehličnanů starou nejčastěji kolem 50 milionů let. Chemické složení jantaru je  $C_{10}H_{16}O$ . Nejběžnější barva jantaru je zlatavě žlutá, ale nalézají se i jiné odrůdy. [1]

#### 3.2. Paprsky X

Paprsky X neboli rentgenové záření je forma elektromagnetického záření pocházející z elektronového obalu o vlnových délkách 10 nanometrů až 1 pikometr. Využívá se při lékařských vyšetřeních a v krystalografii. Jedná se o formu ionizujícího záření a jako takové může být nebezpečné. [2]

Zdrojem rentgenového záření je obvykle elektronka, nazývaná rentgenka. Z rozžhavené záporné katody jsou termálně emitovány elektrony směrem ke kladné anodě. Mezi katodou a anodou je připojeno vysoké napětí, které uděluje elektronům vysokou rychlost. Při dopadu elektronů na anodu se většina jejich energie mění v teplo. Část energie dopadajících elektronů se mění na energii rentgenového záření, které vystupuje z anody. Rentgenové záření ionizuje vzduch, vyvolává světélkování některých látek (scintilace), způsobuje zčernání fotografického filmu a působí také na živé organismy. Záření prochází různými látkami, ale je jimi více nebo méně pohlcováno. [3]



Obr. 4 a 5, refrakce rentgenového záření

(Bielokostolská a kol., 2017)

Existují dva typy rentgenového záření tzv. brzdné rentgenové záření a charakteristické rentgenové záření. [2]

#### 3.2.1. Brzdné rentgenové záření

Rychle letící elektrony se po dopadu na terč brzdí a dochází ke změně jejich dráhy. Energie, kterou elektrony při průchodu terčem ztratily, se vyzáří ve formě tzv. brzdného rentgenova záření. Toto záření je charakteristické širokým, spojitým energetickým spektrem. [2]



3.2.2. Charakteristické rentgenové záření

Volný elektron z okolí narazí na jiný elektron v atomu, oba elektrony vyletí do okolístanou se z nich volné elektrony. Prázdné místo nahradí elektron z vyššího elektronového obalu, elektrony se přemisťují do té doby, dokud ve valenční vrstvě není o elektron méně, nakonec ta si ho nahradí z okolí. Spektrum charakteristického záření je čárové, neboť spektrální čáry jsou typické pro každý element.



Obr. 7, charakteristické rentgenové záření (Zdroj: http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm)



#### 3.3. Artefakty

Při zobrazování vznikají na snímcích rozmanité artefakty (deformace výsledného obrázku), které jsou způsobeny různými rušivými jevy. První z nich je přímá interakce fotonů záření X se CCD kamerou. Toto se projevuje jako intenzivní bílé tečky, které jsou nahodilé po snímcích. Dalším jevem jsou špatně fungující pixely CCD kamery (pixely nefunkční a šumící). Pokud pixel nefunguje, tak se to projeví jako černé tečky na snímku. Šumící pixel se projevují jako bílé tečky, které snímku od snímku nemění svojí polohu. Posledním artefaktem je vzor kruhových linií přes celý obrázek. Tento jev je způsoben různou detekční účinností scintilátoru v různých místech. Pravděpodobně souvisí s broušením scintilátoru.

#### 3.4. Druhý snímků

Pro odstranění artefaktů je potřeba změřit tři typy snímků. Prvním z nich je tzv. Dark snímek, který má za úkol odstranit signál ze CCD kamery způsobeným termální emisí elektronů. Tento snímek je měřen při vypnutém zdroji rentgenového záření. Druhým je tzv. Flat snímek, který má za úkol vyrovnat nehomogenitu svazku záření X a nehomogenitu odezvy detektoru. Tento snímek je měřen při zapnutém rentgenovém záření a bez pozorovaného objektu. Posledním z nich je tzv. Light snímek, který je měřen při zapnuté rentgence a objektem umístěným na vhodné pozici.

## 4. Výsledky

Na obrázcích 9-10 jsou zobrazeny naše výsledky. Na prvním snímku jsou zobrazena hrubá data, proto snímek obsahuje veškeré artefakty. Druhý snímek byl staticky zpracován a byly odstraněny artefakty způsobené přímou interakcí fotonů záření X s CCD kamerou (počet bílých teček výrazně poklesl). Na třetím snímku je finální produkt po odstranění všech artefaktů na základě změření obrázků Light, Flat a Dark. Tyto snímky jsou důkazem, že je vždy vhodné data statisticky zpracovat.



Obr. 9a Light snímek, hrubá data

(Linhart, V., 2017)



Obr. 9b Light snímek, který má odstraněné artefakty způsobené přímou interakcí fotonů záření X s CCD kamerou s vyloučením (Linhart, V., 2017)

Obr. 10, Light snímek, bez artefaktů

(Linhart, V., 2017)

## 5. Závěr a diskuze

Na tomto projektu jsme se dozvěděly spoustu informací o rentgenovém zařízení, a jak ho využít v praxi. Dále jsme si ujasnily rozdíly mezi všemi druhy záření. Pomocí záření X (rentgenového záření) jsme zhotovily 30 snímků o 3 typech (Light, Flat a Dark). Z těchto snímků jsme zhotovily jeden výsledný (viz obr. 10). Výsledný snímek po zbarvení všech artefaktů zobrazuje mušku uvězněnou v jantaru. Na snímku je dobře patrné tělo mušky, náznak nožičky, která je trochu vidět díky technice zobrazování, která využívá jev zvaný fázové posunutí. Křidélka zřetelné nejsou, protože jsou moc tenká.

Práce nás motivovala k dalšímu bádání a zjišťování nových informací. Dále nám poskytla možnost spolupráce v týmech, a to ve vědeckém prostředí, komunikaci mezi členy a navíc otestovala naši dochvilnost a efektivitu, jakou vykonáváme v naší práci.

## Poděkování

Rády bychom tímto poděkovaly především našemu vedoucímu práce Ing. Vladimíru Linhartovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc, cenné rady, věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích a za všechnu podporu.

#### 6. Reference

[1] Jantar (on-line) [cit. 19. 6. 2017]

Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jantar

[2] Rentgenové záření (on-line) [cit. 19. 6. 2017].

Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenov%C3%A9\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD

- [3] RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ (on-line) [cit. 19. 6. 2017]
  Dostupné z: <u>https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/fyzika.htm</u>
- [4] Jaderná a radiační fyzika (on-line) [cit. 19. 6. 2017]

Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm

# Příprava nanočástic stříbra pomocí UV záření a záření gama

# Karolína Bergelová , Ondřej Buček, Michal Farana (Prvnix@email.cz)

## Abstrakt

V popisovaném experimentu jsme se pokusili vytvořit nanočástice stříbra. Příprava nanočástic stříbra probíhala radiační metodou. Zářením gama jsme ozařovali vodný roztok dusičnanu stříbrného v přítomnosti stabilizátoru Tritonu X-100. Přítomnost nanočástic jsme testovali UV/VIS spektrofotometrií. Nanočástice Ag<sup>0</sup>, jsme však nenašli, pravděpodobně proto, že vzorky byly vystaveny příliš malé dávce záření (Max 1 kGy).

## Úvod

Nanočástice jsou částice o velikostech od 1-100 nm, které svou velkou reakční plochou nabízejí výhodné reakční vlastnosti. V popisovaném experimentu se pokoušíme vytvořit nanočástice stříbra, a spojit tak výhodné reakční vlastnosti nanočástic s fungicidními, algicidními a bakteriocidními vlastnostmi stříbra.

## Příprava

Do devadesáti osmi mililitrů destilované vody jsme za stálého míchání na magnetické míchačce přidali dva mililitry stoprocentního stabilizátoru (Triton X-100) a získali tak dvouprocentní roztok stabilizátoru. Po přidání dusičnanu stříbrného (1,7 gramů) jsme získali 0,1 M matný bílý roztok, který se po přidání 1 mM modifikátoru se (0,4 gramů) zbarvil do žluta, přičemž se stal čirým.



Vytvořili jsme celkem pět vzorků, z nichž jeden byl kontrolním vzorkem "nula" se kterým jsme dále nepracovali. Zbylé čtyři vzorky jsme nechali ozařovat zářením gamma v Gammacellu 220. Vzorky byly vyndány po různých dobách ozařování, Vzorek 1: 3 hodin (105 Gy), Vzorek 2: 6,5 hodin (227 Gy), Vzorek 3: 22 hodin (770 Gy), Vzorek 4: 26,5 hodin (927 Gy).



#### Závěr

Přítomnost nanočástic stříbra by indikoval plazmonový pík okolo 420 nanometrů, který jsme nenašli. Neuspěli jsme pravděpodobně z důvodu nízké dávky, kterou naše vzorky dostaly (nejvíce kolem 1 kGy). Jiné reprodukce tohoto pokusu referují o pozitivních výsledcích při dávkách od 4 kGy.

### Využití

Materiál je zatím ve výzkumu, a tedy praktické využití v této chvíli není. Nicméně se v budoucnosti uvažuje o využití fungicidních, algicidních a baktericidních vlastností například jako příměs do nátěrů, jako je třeba hydrofobní nátěr "Porosil" firmy AQUA obnova staveb s.r.o.

## Poděkování

Rádi bychom poděkovali Rostislavu Silberovi a Patriku Beckovi za jejich pomoc a podporu při miniprojektu

# Reference

https://staryweb.fns.uniba.sk/fileadmin/user\_upload/editors/actaenvi/ActaEnv i\_2015\_1/01\_Rihova\_Ambrosova\_et\_al\_Acta2015\_1.pdf https://is.muni.cz/th/357138/prif\_b/Biologicke\_ucinky\_nekterych\_nanomater ialu.pdf http://nanosystemy.upol.cz/upload/31/panacek\_rusava\_2011.pdf Příprava a vlastnosti radiačně indukovaného nanostříbra - Bc. Vlasta Zdychová Raduační příprava nanostříbra v prostředí asociativních koloidů – Patrik Beck

## Stínění neutronů

Veronika Deketová, Simona Gabrielová, Ondřej Holas Gymnázium Velké Meziříčí, Gymnázium Jírovcova Gymnázium Matyáše Lercha veronikadeketova@seznam.cz, simcagab@seznam.cz, pro2nux@gmail.com

20. 6. 2017

#### Abstrakt

Ke stínění neutronů je možné použít různé materiály, jejichž efektivita stínění byla zkoumána pomocí metody zdroj ( $^{241}$ AmBe) – materiál – detektor. Pro rozlišení rychlých a tepelných neutronů byla měření prováděna za střídavého použítí Cd plechu u detektoru. Nejlepšího stínění neutronů bylo dosaženo za použití PEB a Cd plechu.

# 1 Úvod

Vzhledem k možným nežádoucím účinkům neutronů na lidský organismus je důležité jejich stínění. Rychlé neutrony interagují v tkáních pružným rozptylem na jádrech lehkých prvků. Pomalé a tepelné neutrony nejčastěji reagují s tkání dvěma způsoby: za uvolnění protonu nebo  $\gamma$  záření. Tímto způsobem dochází k produkci škodlivého sekundárního ionizujícího záření.

Běžným postupem při stínění neutronů je prvotní zpomalení rychlých neutronů ke zvýšení pravděpodobnosti jejich následné absorbce. Naším cílem bylo zjistit, jak efektivní jsou vybrané druhy materiálů při stínění neutronů.

#### 2 Teoretická část

Pravděpodobnost libovolné interakce neutronu s jádrem je popisována pomocí mikroskopického účinného průřezu  $\sigma$  [cm<sup>2</sup>]. Počet těchto interakcí za 1 s v tenkém terčíků tloušťky X [cm] a plochy S [cm<sup>2</sup>] je dán reakční rychlostí R:

$$R = \sigma \cdot I_0 \cdot N \cdot S \cdot X \tag{1}$$

kde  $I_0$  je intenzita svazku neutronů  $[\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$  nalétávajících na terč a N je hustota terčových jader  $[\text{cm}^{-3}]$ .

Makroskopický účinný přůře<br/>z $\Sigma~[{\rm cm}^{-1}]$ charakerizuje "ochotu" terčového materiálu interagovat s neutrony a definován:

$$\Sigma = \sigma \cdot N \tag{2}$$

Po průchodu tenkým terčíkem tloušťky X je intenzita původního svazku  $I_0$  zeslabena na intenzitu svazku neutronů, které neinteragovali:

$$I(X) = I_0 e^{-\Sigma_t X} \tag{3}$$

Tento vztah byl v praktické části použit pro výpoče<br/>t $\Sigma_t,$ který charakterizuje daný materiál.

#### 3 Materiály a metody

Zdroj neutronů byl umístěn do stínění z borovaného polyethylenu, ve kterém byl ponechán otvor pro jejich průchod. Za otvor byly pokládány stínící materiály. Následoval z části zakrytý detektor CANBERRA 65NH45 (vysoce citlivá <sup>3</sup>He komora) viz Obr. 2. Z důvodu odstínění rozptýlených neutronů z okolních materiálů byl za detektor umístěn kadmiový plech. K měření bylo využito <sup>241</sup>AmBe zdroje neutronů s poločasem rozpadu 432 let a multikanálový analyzátor TEMA DA-310. Pro rozlišení tepelných a rychlých neutronů bylo každé měření navíc zopakováno s vloženým kadmiovým plechem mezi detektorem a stínícím materiálem. Použité stínící materiály<sup>1</sup> jsou na Obr. 1, jejich tloušťky v Tab. 1.



Obrázek 1: Použité materiály pro stínění neutronů

Materiál	H <sub>2</sub> O	$D_2O$	$H_3BO_3$	Pb	beton	PEB	Cd plech
Tloušťka [cm]	17	17	17	5	10	8	0,1

Tabulka 1: Tloušťka stínících materiálů

### 4 Popis a nastavení měřící aparatury

Měřící aparatura je zachycena na Obr. 2. Nastavení analyzátoru je patrné z Obr. 3, zde jsou popsány parametry ovlivňující zpracování signálu. Předmětem článku není další přesné specifikování těchto parametrů, přestože mohou dané měření ovlivnit. Doba měření byla nastavena na 10 minut, vysoké napětí na 1 285 V (viz Obr. 3).

 $<sup>^1\</sup>mathrm{Použitý}$  beton byl vyroben firmou ENVINET a jedná se o model HD325 o hustotě 3250 kg/m³.

Měření se zakrytým a odkrytým detektorem (pomocí Cd plechu) bylo provedeno za cílem rozlišení tepelných a rychlých neutronů, jelikož Cd dobře stíní tepelné neutrony. Odečtením dvou takto získaných hodnot (bez Cd plechu a s plechem) jsme následně schopni vypočítat intenzitu tepelných neutronů. Zároveň byla provedena diskriminace od 450. kanálu z důvodu omezení se pouze na detekci neutronů (odebrání vlivu  $\gamma$  záření).



Obrázek 2: Popis měřící sestavy



Obrázek 3: Nastavení měřící sestavy

## 5 Výsledky

V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty naměřené intenzity svazků neutronů za jednotku času. Z tabulky je patrné, že celkového nejlepšího stínění bylo dosaženo za použití Cd plechu a borovaného polyethylenu, jelikož je zde nejnižší hodnota intenzity neutronů. Cd plech nejlépe stínil tepelné neutrony. Rozdílnost hodnot intenzit zakrytého detektoru bez stínění a nezakrytého detektoru se stínením pomocí Cd plechu je možné vysvětlit

rozptylem neutronů Cd plechem. Rozptýlené neutrony nebyly vyloučeny z měření. Krycí Cd plech a stínící Cd plech nebyly identické a může tedy docházet k rozdílům v těchto parametrech.

Materiál	$I_c[\mathbf{cm}^{-2}\cdot\mathbf{s}^{-1}]$	$I_r [\mathbf{cm}^{-2} \cdot \mathbf{s}^{-1}]$	$I_t [\mathbf{cm}^{-2} \cdot \mathbf{s}^{-1}]$
Bez stínění $(I_0)$	1411	1068	342
H <sub>2</sub> O	1066	600	466
D <sub>2</sub> O	1104	687	416
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	959	607	352
Pb	1174	825	349
Beton	1056	702	354
PEB	950	628	321
Cd plech	1301	1029	272

Tabulka 2: Naměřené hodnoty intenzit I

Kapalné stínící materiály vykazují převážně moderující účinky, což znamená snížení počtu rychlých neutronů z důvodu úbytku jejich energie a přesunu do tepelné oblasti způsobující navýšení počtu tepelných neutronů. Záporné hodnoty pseudomakroskopického účinného průřezu tepelných neutronů v Tab. 3 představují jejich navýšení.

Materiál	$\left(\frac{I_0}{I}\right)_c$	$\left(\frac{I_0}{I}\right)_r$	$\left(\frac{I_0}{I}\right)_t$	$\Sigma_c  [\mathrm{cm}^{-1}]$	$\Sigma_r  [\mathrm{cm}^{-1}]$	$\Sigma_t  [\mathrm{cm}^{-1}]$
H <sub>2</sub> O	1,32	1,78	0,73	0,0165	0,0339	- 0,0181
$D_2O$	1,28	1,55	0,82	0,0144	0,0259	- 0,0115
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,47	1,76	0,97	0,0227	0,0332	- 0,0016
Pb	1,20	1,29	0,98	0,0367	0,0516	- 0,0036
Beton	1,34	1,52	0,97	0,0289	0,0419	- 0,0032
PEB	1,49	1,70	1,07	0,0494	0,0662	0,0082
Cd plech	1,08	1,04	1,26	0,8055	0,3659	2,3135

Tabulka 3: Efektivita stínění  $\frac{I_0}{I}$ a pseudomakroskopický účinný průřez $\Sigma$ 

#### 6 Závěr a diskuse

Ke stínění neutronů byla použita sada 7 materiálů a pomocí měření intenzity svazku neutronů byla měřena jejich efektivita. Jako nejlepší materiál pro celkové stínění neutronů se ukázal Cd plech a borovaný polyethylen, který se běžně k těmto účelům používá. Voda navyšovala počet tepelných neutronů z důvodu absorbce energie rychlých neutronů a jejich přesunutí do tepelné oblati.

Pseudomakroskopický účinný průřez byl použit k objektivnímu srovnání materiálů, jelikož umožňuje porovnat materiály nezávisle na jejich tlouštce a zároveň makroskopický účinný průřez z dané geometrie aparatury nejsme schopni určit kvůli současné detekci roptýlených neutronů.

# Poděkování

Předně děkujeme Ing. Ondřeji Humlovi, Ph.D., který nás do problematiky uvedl a dále jí nás prováděl. Naše díky patří i všem organizátorům TV@J 2017 a FJFI ČVUT.

## Počítačová grafika: pohled pod pokličku

David Horský Gymnázium Jaroslava Heyrovského, Praha david\_horsky@centrum.cz

> Tomáš Sláma Gymnázium Turnov, Turnov tomas.slama.131@gmail.com

> > Jakub Medek Gymnázium Turnov medekjak@gmail.com

Filip Nácovský Gymnázium Dvůr Králové, Dvůr Králové nad Labem filip.nacovsky@gmail.com

#### Abstrakt:

Práce je zaměřena na grafické modelování 3D grafiky v programu POV-Ray.

# 1 Úvod

K práci vědce bezesporu patří kromě nacházení odpovědí na problémy také vizualizace výsledků. Za cíl jsme si proto stanovili naučit se pracovat s programem POV-Ray, který se používá na vizualizaci 3D scén.

Finální produkt naší práce by měla být scéna ulice, mezi jejíž dílčí komponenty patří dům, cesta, strom, lavička a mnoho dalších, na kterých budeme pracovat každý zvlášť. Výsledek zkompletujeme dohromady a z různých pohledů vyrenderujeme.

### 2 Modelování 3D ulice

Jak jsme postupovali v návrhu jednotlivých objektů.

## 2.1 Počítačový program POV-Ray

POV-Ray je volně dostupný program, který slouží k tvorbě 3D grafiky. Renderuje scénu popsanou v jazyce SDL, který obsahuje definice objektů a umožňuje také základní programovací konstrukce (proměnné, cykly atd.). Scény se skládají ze základních geometrických útvarů, které se dají transformovat a kombinovat množinovými operacemi. Každý útvar se definuje geometrickými vlastnostmi a vzhledem povrchu. Každá scéna má nastavenou kameru (odkud je daná scéna viditelná) a dále zdroje světla. Světlo se šíří scénou podle zákonů geometrické optiky. Díky tomu jsou objekty viditelné, tvoří se stíny atp.

### 2.2 Domy

Autor: Tomáš Sláma

Byly vytvořeny dva typy domů (s rovnou a šikmou střechou), které se skládají z několika hlavních komponent.

Okna byla vytvořena vyříznutím menšího kvádru z většího a na toto místo byl vložen další kvádr s texturou skla. Dveře byly vytvořeny obdobně, jen s tím rozdílem, že místo textury skla používají texturu dveří.

Oba zmíněné komponenty jsou na obou domech identické, jediný rozdíl je v hlavním kvádru. Hlavní kvádr domu se šikmou střechou je dvěma rovinami nahoře oříznut "do pyramidy" a na jeho vrchol je následně vložena střecha (další dva kvádry). Dům s rovnou střechou je řešen tak, že se ze základního obdélníku vyřízne nahoře menší.

## 2.3 Lavička

Autor: Jakub Medek

Jako základ lavičky jsem použil kvádr s texturou dřeva – dřevěná laťka. Tu jsem několikrát nakopíroval a otočil. Nakonec jsem na každou stranu přidal nohu lavičky, která je tvořena pěti šedými kvádry.



#### 2.4 Auta

Autor: Filip Nácovský

Automobil byl vymodelován pomocí několika jednoduchých útvarů – kvádry a válce. Vzhledem k osové souměrnosti automobilu byla modelována pouze jedna polovina automobilu a druhá se dotvořila automaticky pomocí zrcadlení objektů. Základ auta tvoří dva kvádry. Jeden kvádr je zkosen pomocí množinového rozdílu s jiným, správně

nasměrovaným kvádrem. Okna jsou kvádry vsazeny zboku, zpředu a zezadu. Zpředu je kvádr pootočený, aby vyhovoval zkosení karosérie. Přední boční okna jsou zkoseny pomocí stejného kvádru jako karosérie. Do podvozku jsou pomocí množinového rozdílu kvádru a dvou válců utvořeny otvory na kola. Kola jsou vsazena do těchto otvorů. Kulatá světla



jsou válce vsazeny zpředu, hranatá světla jsou kvádry vsazeny zezadu.

#### 2.5 Lampy a stromy

Autor: David Horský

Lampa byla vymodelována z válců a kuželů. Sloup je složen ze dvou válců o různých poloměrech spojených kuželem. Na sloup navazuje rameno (válec) zakončené svítilnou. Svítilna je množinový rozdíl válce a kužele se zdrojem světla těsně pod ní.

Strom byl vymodelován z válce a koulí. Kmen je tvořen válcem s dřevěnou texturou. Koruna je tvořena pomocí cyklu, který náhodně vkládá koule do určené oblasti, takže je pro každý strom jedinečná. Koule obsahuje texturu s imitací listí.

### 2.6 Sestavení finální scény

Autor: Jakub Medek a spol.

Po dokončení tvorby jednotlivých objektů následovalo zhotovení kompletní scény. Všechny objekty se nasázely do jedné scény, částečně s pomocí náhodných čísel a cyklů k rozmnožení objektů.



# 2.7 Výsledek



Nakonec bylo důležité nastavení pohledu kamery – kde se nachází a kam směřuje.

**Obrázek 1 - Ulice ve dne** 



Obrázek 5 - Noční pohled z lavičky

# 3 Shrnutí

Finální produkt našeho dvoudenního snažení je sbírka fotografií námi vytvořené ulice. Scény zobrazují ulici jak v noci, tak ve dne – toto se projevuje změnou světla a oblohy.

Kromě hmatatelného výsledku jsme získali zajímavé zkušenosti s prací s programem POV-Ray a programovacím jazykem SDL. Také jsme se něco dozvěděli o základních principech fotorealistického renderování 3D scén.

# Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu supervizorovi Ing. Pavlu Strachotovi, Ph.D., který nás uvedl do problematiky a který nám po celou dobu projektu radil a pomáhal. Také jsme vděčni celému organizačnímu týmu Týdnu vědy FJFI ČVUT za možnost vyzkoušet si vědeckou činnost a FJFI ČVUT za možnost využití jejich pracovišť a hardwaru.

# **Reference:**

[1] POV-Ray. URL: https://www.povray.org/ [cit. 2017-06-20].

## Radioimunoanalýza

N. Hrobařová, První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové M. Osowski, První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové Janka Motešická, Gymnázium vo Vranove nad Topľou Zuzana Petrová, Gymnázium vo Vranove nad Topľou Filip Jozefov, Gymnázium vo Vranove nad Topľou V. Löffelmann, Gymnázium Litoměřická

hrobarova.nela@psjg-hk.cz

#### Abstrakt

V rámci našeho projektu jsme zvolili radioimunoanalytickou techniku, která se využívá v lékařství. Základním principem je imunochemická reakce antigenu se specifickou protilátkou, která je značená radionuklidem, v našem případě <sup>125</sup>*I*. Výsledkem práce je stanovení koncentrace antigenu za pomoci kalibrační křivky, která byla sestrojená na základě roztoků o známé koncentraci.

## 1. Úvod

Radioimunoanalýza (RIA) zahrnuje metody radioizotopové mikroanalýzy, jejichž základem je imunochemická reakce antigenu se specifickou protilátkou. Tato metoda se provádí *in vitro* v přítomnosti vhodné radioaktivně značené sloučeniny jako radioindikátoru, který umožňuje kvantitativní stanovení na základě určení distribuce aktivity. Jedná se o kompetitivní imunoreakci, kde značený antigen soupeří s neznačeným antigenem o vazebná místa na protilátce. Radioimunologické metody jsou význačné svojí přesností a citlivostí (citlivost se pohybuje mezi ng a pg), díky tomu pro stanovení stačí malé objemy vzorků (10 – 100  $\mu$ l). Lze s jejich pomocí teoreticky stanovit každou látku, ke které lze připravit odpovídající protilátku. Konkrétní antigeny lze stanovit ve vzorcích krve, moči, mozkomíšního moku a dalších tělních tekutin.

Nevýhodou však je, že specifita nemusí být absolutní, mohou se vyskytovat konkurenční imunochemické reakce (zkřížená reaktivita). Také je nutné vzít v potaz, že protilátky jsou látky s biologickou aktivitou, která disipuje v přítomnosti zdroje ionizujícího záření. Toto je především v důsledku radiolytických procesů, vedoucích k modifikaci, či destrukci použitého skeletu.

Ke značení se nejčastěji používají radionuklidy  ${}^{125}I$ ,  ${}^{3}H$ ,  ${}^{14}C$ . V našem případě byl použit  ${}^{125}I$ , vzhledem k vysoké schopnosti se navázat na organické sloučeniny a dlouhému poločasu rozpadu (59 dní). Zkoumali jsme dva hormony, a to: AFP (Alfafetoprotein) a hCG (Choriogonadotropin) – hormony vyskytující se při těhotenství a určující správný vývoj plodu.

#### 2. Princip (RIA, IRMA)

#### RIA

Při této metodě používáme látku X, proti které máme stanovenou specifickou protilátku A a radioaktivně značenou látku  $X^*$ .

Při smíchání A, X vznikne specifický komplex A - X, v případě značené látky analogicky komplex  $A - X^*$ , přičemž rovnovážné konstanty pro oba děje jsou shodné. Pokud tedy připravíme komplex  $A - X^*$ a k němu přidáme roztok obsahující stanovovanou látku X dojde k vytěsnění části molekul  $X^*$  a tím pádem vznikne z původního  $A - X^*$  komplex A - X. Čím vyšší bude koncentrace přidané látky X, tím menší hodnota radioaktivity bude obsažena v komponentách obsahujících protilátku, které nakonec slouží k vlastnímu vyhodnocení.

#### IRMA

IRMA (imunoradiometrická analýza), je metoda podobná RIA, ale rozdíl je v tom, že IRMA využívá dvou protilátek (neznačené a další značené radioaktivním izotopem 125I), k zjištění koncentrace hormonu ve vzorku. Po přidání vzorku do zkumavky obsahující neoznačené protilátky se stanovovaná látka imobilizuje navázáním na protilátky, které jsou na stěně zkumavky. Tímto procesem vzniká komplex látka-protilátka. Po odsátí zbytku měřeného roztoku se do zkumavky přidá roztok se značenými protilátkami, které reagují s předtím vzniklými komplexy tak, že na každý komplex se naváže právě jedna značená protilátka. Tím pádem je možné, z množství navázaných značených protilátek, určit pomocí měřeni radioaktivity, jaká je koncentrace stanovované látky.

#### 3. Postup

Prvním krokem bylo umístění 8 zkumavek do stojánku. Všechny zkumavky (T, C, K1 – K5/K6) obsahovaly protilátku proti hCG/AFP. Do zkumavek K1 – K5/K6 jsme přidali 50  $\mu$ l kalibrátoru (roztok se známou koncentrací hCG/AFP). Nakonec jsme do všech zkumavek přidali radioindikátor. Vše jsme promíchali na vibrační míchačce a vložili na třepačku. Tam jsme zkumavky inkubovali po dobu 45 minut.

Po inkubaci jsme ze zkumavek K1 – K5/K6 a neznámého vzorku C odsáli kapalinu a pipetou přidali 2 ml promývacího roztoku. Kapalinu jsme poté opět do sucha odsáli. Ve zkumavce T zůstal roztok, který sloužil k výpočtu.

Na měřící soupravě se stanovovala hodnota pozadí. Poté jsme provedli samotné měření zkumavek. Každou zkumavku jsme měřili 3 krát po dobu 60 sekund. Získané hodnoty jsou uvedené v tabulce (Tab. 1 – 4). Uvedené hodnoty jsou zapsány již s odečteným pozadím (17 cps). Pro demonstraci vytvořila každá skupina graf s jinou závislostí. První skupina, která měla AFP (Alfafetoprotein), na ose X vynesla logaritmus koncentrace (UI/ml) a na ose Y bylo procento navázané aktivity (vazebnost). Vazebnost jsme zjistili z hodnoty počtu impulsů (B/T), kde B je aktivita vázaná na protilátku, T je celková aktivita. Druhá skupina měla hCG a na ose X vynesla koncentraci (UI/l) a na ose Y byla vazebnost v procentech. Koncentrace neznámých vzorků byly spočítány na základě regresních rovnic, které jsou uvedené v grafech (Graf. 1,2).

# 4. Výsledky

## První skupina

	koncentrace [UI/ml]	1. měření [cps]	2. měření [cps]	3. měření [cps]	průměr [cps]
K1	0	2	1,0	0,0	1,0
K2	4,9	12	14,0	13,0	13,0
K3	20,4	36	35,0	36,0	35,7
K4	90,0	125	127,0	121,0	124,3
K5	218,0	137	135,0	135,0	135,7
C1	-	22	22,0	13,0	19,0
Т	0	558	555,0	562,0	558,3

Tabulka 1 Naměřené aktivity experimentu 1 (cps – počet impulzů za sekundu)

Tabulka 2 Vypočtené hodnoty experimentu 1

zkumavka	K2	K3	K4	K5
c [UI/ml]	4,9	20,4	90	218
Poměr	0,02	0,06	0,22	0,24
Vazebnost [B/T, %]	2,33	6,37	22,27	24,3

Výsledků jsme dosáhli v log-lin závislosti:

Výpočet koncentrace C1:

(y+9.422) / 14.775 = x

x = 7.244 UI/ml



Graf 1 Závislost vazebnosti na logaritmu koncentrace

## Druhá skupina

	koncentrace [IU/ml]	1. měření [cps]	2. měření [cps]	3. měření [cps]	průměr [cps]
K1	0	2	1	0	1,00
K2	8,2	5	5	5	5,00
K3	27,4	10	10	11	10,33
K4	82	19	17	19	18,33
K5	274	84	84	85	84,33
K6	820	227	232	230	229,67
C1	-	12	13	12	12,33
Т	0,0	755	766	758	759,67

Tabulka 4 Vypočtené hodnoty experimentu 2

zkumavka	K1	K2	K3	K4	K5	K6
koncentrace [UI/ml]	0	8,2	27,4	82	274	820
poměr	0,00	0,01	0,04	0,11	0,36	1,08
vaznost	0,00	1,08	3,61	10,79	36,07	107,94

Výsledků jsme dosáhli výpočtem:

x = (y - 0.209)/0,0368

x = 38.44 UI/ml



Graf 2 Závislost vazebnosti na koncentraci

## 5. Závěr

Při těchto experimentech se ukázalo, jak lze stanovit koncentraci AFP a hCG v neznámém vzorku. Výsledky byly získané z rovnice lineární regrese, která popisuje závislost procenta vazebnosti na logaritmu koncentrace v případě stanovení látky AFP a závislost procenta vazebnosti na koncentraci v případě stanovení hCG. Bylo zjištěno, že koncentrace neznámého vzorku AFP byla 7,22 UI/ml a koncentrace hCG byla 38,44 UI/ml.

## Poděkování

Chtěli bychom vyjádřit svůj vděk Fakultě jaderného a fyzikálního inženýrství, katedře jaderné chemie a též vedoucímu práce Bc. Michalovi Sakmárovi, Ing. Ekaterině Kukleve a RNDr. Martinovi Vlkovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a připomínky.

# Reference

 [1] COLE, L.A. Quantitative hCG Assays. *Human Chorionic Gonadotropin* [online]. Elsevier, 2010,
 [cit. 2017-06-20]. ISBN 9780123849076. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123849076000190

[2] CHAPMAN, R.S. Immunoassays In Clinical Chemistry (Principles Of Immunoradiometric Assays) [online]. London [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\_Public/29/024/29024304.pdf

# Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

# K. Pražáková, První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové F. Svoboda, Gymnázium Velké Meziříčí L. Valica, Gymnázium Varšavská, Žilina

#### Abstrakt:

Radioaktivní záření může být při vyšších intenzitách pro člověka zdraví škodlivé, proto je potřeba jej měřit a stínit. Prvním cílem práce bylo experimentálně zjistit dolet  $\alpha$  částic ve vzduchu a spočítat jejich energii. Výsledek odpovídá tabulkovým hodnotám. V rámci druhého pokusu byly otestovány stínící vlastnosti vybraných materiálů (olovo, hliník, měď, ocel) a jejich kombinací. Na základě naměřených dat byly stanoveny jejich polotloušťky, jejichž hodnoty jsou mírně vyšší než hodnoty uvedené v odborné literatuře.

# 1 Úvod

Práce se zabývá radioaktivním zářením, konkrétně jeho vlastnostmi, zdrojem, měřením a stíněním. V prvním experimentu je cílem změřit dolet  $\alpha$  částic ve vzduchu z různých vzdáleností a spočítat jejich kinetickou energii. V druhé úloze je měřena schopnost různých materiálů stínit radioaktivní  $\gamma$  záření. Je ukázáno, kolik procent záření jednotlivé materiály propustí. Pomocí teoretického exponenciálního vztahu pro zeslabení se pokusíme spočítat polotloušťku vybraných materiálů a porovnat je se známými hodnotami.

## 2 Radioaktivní záření

Radioaktivita je děj, při kterém se rozpadá a mění nestabilní jádro atomu. Vznikají atomy s menším protonovým číslem. Za stabilní jádra obecně považujeme jádra, u kterých platí poměr A/Z >2. V přírodě se vyskytuje 250 - 290 nuklidů 92 prvků – po uran. Prvky nad uranem jsou syntetické, nazývané transurany. Největším stabilním prvkem je 209Pb. Radioaktivní záření se dělí na částicové – např. protony, neutrony a elektromagnetické – fotony.

#### Typy záření:

#### o Záření α

Toto záření tvoří proud heliových jader hélia. Přebytečná energie mateřského jádra se rozdělí mezi hmotu alfa částice, kinetickou energii alfa částice a dceřiného jádra a doprovodné  $\gamma$  záření vzniklé deexcitací jádra, přičemž  $\alpha$ -částice a  $\gamma$  záření mohou mít různou energii.

#### o Záření β

Tohle záření je tvořeno proudem elektronů nebo pozitronů. Mý vyšší pronikavost jako alfa záření. Přebytek energie mateřského jádra je rozdělená mezi hmotu beta částice, kinetickou energii beta a neutrina a doprovodné gama záření.

#### o Záření γ

Záření je zprostředkováno proudem vysokoenergetických fotonů. Je tady uplatněný vlnověkorpuskulární dualismus. Z pohledu elektromagnetického záření tvoří jen malou část. Přebytek energie mateřského jádra se v tomto případě vyzáří v podobě elektromagnetického záření o vysoké frekvenci, avšak gama záření doprovází také alfa a beta rozpad.

#### **Detektory radiace:**

- Plynové ionizace plynu a jeho vybíjení na elektrodách
- Scintilační fluorescence a detekce světelného záblesku
- Polovodičové "ionizace" v pevné fázi
- Fotografické chemická reakce jako při klasické fotografii
- Kalorimetrické ionizace, zbrzděné elektrony ohřejí látku
- Termoluminiscenční excitace elektronů do metastabilního stavu

### 3 Měření doletu α částic ve vzduchu

Prvním úkolem bylo změřit dolet  $\alpha$  částic ve vzduchu. Měřilo se pomocí povrchově bariérového křemíkového polovodičového detektoru. Zdrojem záření byl izotop <sup>241</sup>Am s poločasem rozpadu 433 let. Cílem bylo změřit počet  $\alpha$  částic, které doletěly k detektoru a nebyly zastaveny vzduchem. Měření bylo provedeno pro různé vzdálenosti mezi zdrojem a detektorem, každé po dobu 300 sekund. Detektor měřil nejenom  $\alpha$  částice, ale celé spektrum záření. Započítávali jsme pouze část spektra, která obsahuje částice  $\alpha$ . Ty měly v tomto případě nejvyšší energii. Naměřené hodnoty byly korigovány, aby se očistily od chyb geometrie soustavy.

$$N_{kor} = \frac{4\pi (d+s)^2}{P} N_{m \, \text{e}\, \tilde{r}}, \ [d] = mm$$

Výsledky jsou zobrazeny v Grafu 1.



Graf 1 - Klesání intenzity alfa částic

Průsečíkem osy x s přímkou jsme získali bod  $R_s$  a vzdálenost, ze které se působením vzduchu nedostanou k detektoru částice alfa. Poté mohla být pomocí Geigerova empirického vztahu:

$$R_s = 0,318 E_k^{3/2}$$

spočítána kinetická energie α částic, která vyšla 5,46 MeV. V porovnání se známou hodnotou z odborných zdrojů (5,486 MeV) vyšla poměrně přesně.

### 4 Stínění γ záření

Druhým úkolem bylo zjistit a porovnat, jak různé materiály stíní  $\gamma$  záření. Zdrojem záření bylo <sup>137</sup>Cs. K dispozici byly tabulky olova, hliníku, mědi a oceli o různých tloušťkách. Všechny měření jsme měřili 2x pro různé rozsahy energií. První měření (diskriminace 690) zahrnovalo veškeré  $\gamma$  záření (i to, které ztratilo energii interakcí s okolím). Druhé měření (diskriminace 2200) zahrnovalo jenom  $\gamma$  záření, které ze zdroje přímo doletělo na detektor. Znázorněné diskriminace a jejich rozsah ukazuje Graf 2. V Tabulce 1 je uvedeno, kolik procent záření dopadlo na detektor při stínění jednotlivými tloušťkami různých materiálů. U některých materiálů vyšlo, že materiál propustil větší hodnotu, než byla propuštěna při měření bez jakéhokoli stínění. To vzniklo tím, že detektor lépe snímá záření s nižší energií, kterou způsobilo procházení záření skrz materiál; a také nepřesností měření.



Graf 2 – Spektrum záření

Materiál	Tloušť ka	Nezastíněné záření	Nezastíněné záření
	[mm]	(Diskriminace 690)	(Diskriminace 2200)
žádné stínění		100.00%	100.00%
olovo	9	53.00%	47.03%
olovo	16	25.01%	22.06%
olovo	24	10.72%	9.48%
hliník	4	100.37%	94.24%
hliník	17	92.29%	77.03%
měď'	3	101.88%	85.13%
měď'	11	95.86%	54.42%
ocel	2.5	102.74%	86.58%
Cu (11), ocel (2.5)	13.5	81.49%	47.00%
Cu (11), ocel (2.5), Pb (24),	42.5	5.55%	4.12%
Al (5)			
Cu (11), ocel (2.5), Pb (24)	37.5	5.83%	4.12%
Pb (24), ocel (2.5), Cu (11)	37.5	6.85%	5.99%

#### Tabulka 1 – Materiály a kolik záření jimi prošlo

Byl proveden výpočet polotlouštěk jednotlivých materiálů, (polotloušťka =veličina, která popisuje, kolik materiálu je potřeba na odstínění intenzity záření na polovinu původní hodnoty). K tomu byly použity údaje změřené u vybraných tlouštěk materiálů pro danou diskriminaci. Využit byl vzorec  $I=I_0*e^{-\mu t}$ . Z výsledků byl udělán aritmetický průměr a hodnoty jsou porovnány se známými hodnotami pro 2 různé energie. Porovnání je pouze orientační, protože nemůžeme určit přesnou energii. Byly totiž měřeny částice s různou energií. U hliníku vyšly odlišné hodnoty, což mohlo být způsobeno mnoha důvody. Výsledky znázorňuje Tabulka 2.

Materiál Průměrn polotloušť		Tabulkové hodnoty (0,5 MeV)	Tabulkové hodnoty (1 MeV)	
Olovo (690)	0.834	0.396	0.816	
Olovo (2200)	0.921	0.396	0.816	
Hliník (2200)	0.151	2.236	4.225	

Tabulka 2 - Polotloušťka

Podle experimentu bylo zjištěno, že nejlepším materiálem pro zeslabení γ záření je olovo. Také bylo ukázáno, že různé materiály zeslabují záření s různou energií. Záleží i na pořadí, jak jsou materiály seřazeny.

## 5 Závěr

Experimentálně byl zjištěn dolet  $\alpha$  částic a stínící schopnosti vybraných materiálů. V prvním úkolu byl naměřen dolet  $\alpha$  částic z izotopu <sup>241</sup>Am ve vzduchu a spočítána jejich kinetická energie. Vypočítaný výsledek 5,46 MeV odpovídal tabulkovým hodnotám 5,486 MeV. V rámci druhého pokusu byly otestovány stínící vlastnosti vybraných materiálů (olovo, hliník, měď, ocel) a jejich kombinací. Zdrojem záření bylo <sup>137</sup>Cs. Jako nejlepší stínící materiál se ukázalo olovo. Údaje o stínění pomocí všech materiálů pro různé diskriminace jsou uvedeny v Tabulce 1. Na základě

naměřených dat byly stanoveny polotloušťky vybraných materiálů, jejichž hodnoty byly mírně vyšší než hodnoty uvedené v odborné literatuře. Spočítané hodnoty polotlouštěk jsou v Tabulce 2.

## Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervisorovi projektu Ing. Ondřeji Novákovi za vedení naší práce a za cenné rady. Také bychom chtěli poděkovat celému organizačnímu týmu Týdne vědy v čele s Ing. Vojtěchem Svobodou, CSc. a Vojtěchem Fišerem.

# **Reference:**

[1] GERDNT, J. - PRŮŠA P.: Detektory ionizujícího záření, skripta České vysoké učení technické, 2011

- [2] NOVÁK O.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti, prezentace (prezentace určená pro užití na tomto projektu)
- [3] Polotloušťky různých látek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-06-20]

## Využití rezonance při zkoušení materiálů

A. Trojanová<sup>1</sup>, D. Vagner<sup>2</sup>, S. Vlk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, Špitálská 2, Praha 9; anezka.trojanova@gmail.com
 <sup>2</sup>SPŠ SE, Dukelská 13, České Budějovice; david.vagner@centrum.cz
 <sup>3</sup>SPŠ Strojnická, 17. listopadu, Olomouc; svata.vlk@gmail.com

#### Abstrakt

V projektu jsme se seznámili s moderním způsobem měření únavy materiálů pomocí rezonance. Materiál byl namáhám v ohybu a byl v něm vytvořen vrub. Tento způsob by v dohledné době mohl velmi zkrátit, zlevnit a usnadnit zkoušení materiálů.

# 1. Úvod

V praxi jsou konstrukční materiály zatěžovány různými faktory. Kvůli namáhání musí být materiály před použitím zkoušeny. Zpočátku byly prováděny hlavně testy pevnosti v tahu, které vznikají na trhacím stroji, a jejich výsledkem je tahový diagram. V letectví a dalších oborech je však více vyžadována zkouška únavové odolnosti – opotřebování opakováním zatěžovací síly.

V minulosti měla únava materiálu na svědomí mnoho vážných nehod, naštěstí je dnes zkouškami částečně eliminována.

# 2. Únavové zkoušky

Únava je typ poškození materiálu vznikající při cyklickém zatěžování, které způsobuje lokální plastickou deformaci. Pokud takovýto předmět nepřestaneme namáhat, dojde k šíření trhlin a těleso může v krajním případě ztratit soudržnost. Např. v letectví způsobuje únava materiálu cca 90% nehod způsobených selháním materiálu.

Existuje více možností, jak zkoušku únavy provést. Nejstarší zkouškou je tzv. únava za rotace. Nejčastější řešení spočívá ve využití servo-hydraulického pulsátoru. Tím jsme schopni dosáhnout frekvence namáhání asi max. 10 Hz. To je však nejen velmi pomalý (při 10<sup>6</sup> cyklech), ale i nákladný (velké testovací těleso i stroj) způsob testu. Délku trhliny lze sledovat posuvným mikroskopem, potenciálovou metodou, či komplianční metodou (všechny jsou ale buď složité, nebo zdlouhavé). Nové a inovativní řešení, které poprvé publikoval Golub [1], se zakládá na rezonanci, a to přímo v testovaném tělese.

Výhoda rezonance je malé množství dodané energie (těleso stačí rozkmitat, dále jen udržovat), nízká cena (možnost testovat i malý předmět na malém stroji), možnost automatizace (délka trhliny je známa v průběhu testu) a malá velikost materiálu (tam, kde se musí s materiálem šetřit,...).



Obr. 1 Rezonanční únavový strojek SF-test vyvinutý na KMAT

## 3. Teorie měření

Cílem měření je stanovit závislost rychlosti šíření únavové trhliny na její hnací síle charakterizované faktorem intenzity napětí K, tedy v(K).

 $K = \sigma \sqrt{\pi a} f$  kde  $\sigma$  je napětí ve vzorku, a je délka trhliny a f je tzv. tvarová funkce zohledňující geometrii tělesa

V průběhu měření je nutné zaznamenávat délku trhliny, počet cyklů a zatížení vzorku. Derivací délky trhliny podle počtu cyklů získáme rychlost jejího šíření a podle výše uvedeného vzorce spočítáme K.

### 4. Měření

Materiál, jenž hodláme podrobit bádání je nutno upravit do podoby miniaturních vzorků, tzv. sirek (tj. kvádřík 3x4x20mm), ve kterých jsou naříznuty vruby (sloužící jako základ pro tvorbu trhliny). Sirku upneme z obou stran do čelistí a pomocí vlasce je připevníme do polohy, ve které mohou volně kmitat (viz. Obr. 1).

Samotné měření řídí počítač s programem, jež využívá zpětnou vazbu z akcelerometrů na čelistech. Program se chová jako složitější pid (proporcionálně-integračně-derivační) regulátor. Pro rozkmitání v chtěném směru je nutné znát tzv. mód kmitání, který udává, v jakém směru těleso kmitá při dané frekvenci (pro náš pokus 140 až 160 Hz). Ta je určena početně, avšak pouze přibližně. Rezonanci zajistí pouze fázový posun 90° mezi vlastním kmitáním a buzením, to také zajišťuje řídící program.

V průběhu měření cyklické střídání ohybu postupně zvětšuje trhlinu v materiálu. Počítač se stará o to, aby faktor intenzity napětí postupně rostl. Toto zvětšování K vede ke zvětšování rychlosti šíření trhliny. Z těchto dvou hodnot lze sestavit graf (obr. 2).



*Obr. 2 Rychlost šíření únavové trhliny v závislosti na faktoru intenzity napětí. Body reprezentují naměřená data. Data dostupná v [3, 4] jsou zobrazena křivkami.* 

Při příliš rychlém šíření trhliny hrozí prasknutí vzorku, proto je test u konce. Vzorek poté dolomíme a zkoumáme na mikroskopu (obr. 3). Při velkém zvětšení je možné viděti vícero vzorů, zejména tzv. vějířky (vznikající při malé rychlosti) a striace (vzniklé při velké rychlosti). Tvorba vzorů je vidět i na výše přiloženém grafu (při přechodu se sklon křivky změní).









*Obr. 3 snímky z elektronového mikroskopu: Nahoře souhrnný pohled; Dole striace Vlevo mat. 7075, vpravo mat. 2024* 

# 5. Shrnutí

Získané výsledky naznačují významně nižší rychlost šíření únavové trhliny v materiálu 2024. Zatímco rychlost šíření trhliny v mat. 7075 je srovnatelná s [3], materiál 2024 vykazuje podstatně nižší rychlost šíření, než je uvedena v [4]. Materiál 2024 má mnohem lepší vlastnosti, než bylo očekáváno pravděpodobně vlivem specifického tepelně-mechanického zpracování. Díky malé finanční i časové náročnosti provedeného typu únavových zkoušek lze v dohledné době očekávat rozvoj této metody, či její větší rozšíření do světa.

## 6. Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT za TV@Jaderce, především pak ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a celému organizačnímu týmu. Dále bychom chtěli poděkovat vedoucímu našeho projektu ing. Ondřeji Kováříkovi, Ph.D. a celé katedře materiálů FJFI.

# 7. Reference

- [1] V. P. Golub, V. P. Butseroga, A. D. Pogrebnyak, Study of the kinetics of fatigue cracks by the method of differential compliance. Int Appl Mech 1995;31:1018-25. http://dx.doi.org/10.1007/BF00847262.
- [2] O. Kovarik, A. Janca, J. Siegl, Fatigue crack growth rate in miniature specimens using resonance, International Journal of Fatigue. (2017). doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.02.015.
- [3] Edwards PR, Newman Jr JC. Short-crack growth behaviour in various aircraft materials. NASA Langley Research Center; 1990. AGARD-R-767.
- [4] Wanhill RJH. Characteristic stress intensity factor correlations of fatigue crack growth in high strength alloys: reviews and completion of NLR investigations 1985-199. National Aerospace Laboratory NLR; 2009. NLR-TP-2009-256.

## Rentgenofluorescenční analýza

#### M. Crhánová, L. Nagy, A. Hrušková

Gymnázium komentského, Havířov, Gymnázium Vyškov, Vyškov michaela.crhanova@seznam.cz, ladislaviinagy@gmail.com, ada.hru@seznam.cz

#### Abstrakt:

Za pomocí radionuklidové nebo rentgenofluorescenční analýzy jsme schopni zjistit, z čeho se skládají různé předměty. V práci jsme popsali, jak tato metoda funguje a mimo jiné jsme si i ověřili, z jakých prvků a v jakém poměru je složená česká dvacetikoruna.

# 1 Úvod

Celý život jsme obklopeni předměty, jejichž přesné složení neznáme. Kvůli této neznalosti nás můžou obchodníci přesvědčit o pravosti padělků například historických artefaktů. Pravost předmětů se může určit rentgenofluoresceční metodou, kterou jsme zjišťovali pravost složení stříbrného přívěsku ve tvaru koně. Dále jsme si ověřili garantované poměrové složení české dvacetikoruny.

#### 2 Postup

Použili jsme metodu rentgenfluorescenční analýzy. Princip metody spočívá na fotoelektrickém jevu a detekci charakteristického záření. Atom určitého prvku vyzáří, při vnějším pusobení elektromagnetického záření, elektron z nižšího orbitalu. Chybějící elektron je nahrazen elektronem z vyššího orbitalu a při přechodu vyzáří záření o určité charakteristické energii, jejíž velikost je rovna rozdílem energií v různých hladinách. Podle toho na jakou hladinu elektrony přeskakují, rozlišujeme Kα a Lα záření. Kα záření vzniká při přechodu elektronu z L vrstvy do K vrstvy a Lα záření vzniká při přechodu elektronu z M vrstvy do L vrstvy. Podle hodnoty vyzářené energie se posléze určuje, o jaký prvek se jedná.





Měření se provádí na zařízení, které je tvořeno zdrojem rentgenového záření a

Naším prvním úkolem bylo provést energetickou kalibraci. Kalibrace se provádí proto, abychom jednotlivým kanálům (t.j. část osy x) přiřadili energetickou hodnotu a následně mohli určovat prvky v měřených vzorcích.

Obrázek 2: Schéma měřicího přístroje

Naším druhým úkolem bylo využít kalibrace z prvního úkolu a zjistit prvkové složení nějakého předmětu. K měření jsme si vybrali přívěšek ve tvaru koně. Vyšlo nám, že se jedná o převážně stříbrný přívěšek, s příměsí mědi.



Poslední úkol byl změřit kalibrační standardy mosazi, sestavit kalibrační rovnici a poté určit poměr zinku a mědi ve dvacetikoruně. První jsme změřili obsah ploch pod jednolivými píky mědi a zinku v jednotlivých standardech a poté jsme k nim přiřadili odpovídající procentuální zastoupení prvku ve standardu. Poté jsme dali do poměru jak plochy píků tak procentuálního zastoupení a z nich jsme sestavili kalibrační rovnici y = 0.8993x + 0.1095. Z této rovnice jsme pak vypočítali procentuální poměr zinku a mědi v dvacetikoruně (předtím jsme změřily plochy píků a dali je do poměru). Poté jsme pomocí rovnice y=100x/(1+x)vypočítali procentuální zastoupení.

					Poměr	
Plochy pík	ů [impulsy]	Poměr ploch	Procentuální zastoupení		zastoupení	
Zn	Cu	Zn:Cu	Zn %	Cu %	Zn:Cu %	Vzorek
541356	834931	0.65	40.2	58.7	0.68	300B
344838	904727	0.38	31.15	66.85	0.46	301B
201631	993456	0.20	21.5	72.75	0.29	302B
95888	1028039	0.09	14.5	78.8	0.18	303B
310945	941308	0.33	28.9	71.1	0.41	20 Kč

#### 3 Závěr

Provedli jsme energetickou kalibraci programu. Zjistili jsme, že měřený vzorek přívěsku ve tvaru koně je vyroben ze stříbra s příměsí mědi. Provedli jsme kvantitativní kalibraci aparatury pomocí mosazných standardů. Měřením a výpočtem jsme se téměř shodli (Zn:Cu =28,9:71,1) s procentuálním zastoupením zinku a mědi v české dvacetikoruně, garantované Českou národní bankou (Zn:Cu = 30:70).

## Poděkování

Děkujeme našemu vedoucímu miniprojektu Ing. Jiřímu Martinčíkovi, Ph.D. za pomoc s miniprojektem. Dále bychom chtěli poděkovat FJFI ČVUT za poskytnutí prostoru a potřebnému vybavení. V neposlední řade bychom chtěli poděkovat organizátorům Týdne vědy na Jaderce za poskytnutí možnosti tento projekt vypracovat.

#### **Reference:**

[1] 20 Kč. *Česká národní banka* [online]. Česká národní banka, 2017 [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <u>https://www.cnb.cz/cs/platidla/mince/mince\_20czk.html</u>

# Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách – simulace na počítači

Kateřina Nosková<sup>1</sup>, Marie Hledíková<sup>2</sup>, Sebastian Hlavatý<sup>1</sup> <sup>1</sup>První soukromé jayzkové gymnázium Hradec Králové; Brandlova 875, Hradec Králové <sup>2</sup>Gymnázium Velké Meziříčí; Sokolovská 27, Velké Meziříčí <u>noskova.katerina@psjg-hk.cz</u> <u>hledikova@gvm.cz</u> <u>hlavaty.sebastian@psjg-hk.cz</u>

#### Abstrakt:

Tento miniprojekt se zabývá šířením světla v klasických strukturách a nanostukturách a modelováním pomocí numerických nástrojů. V práci je poukazováno na vliv vlnové povahy světla a ukázán přiklad šíření světla ve fotonickém krystalu.

# Úvod

Světlo je elektromagnetické vlnění a optické vlastnosti materiálu se popisují pomocí indexu lomu. Index lomu prakticky znamená rychlost světla v materiálech a slouží také k výpočtu odrazu a lomu. Pomocí různých materiálů a struktur tak lze světlo vést a měnit jeho vlastnosti. Mezi moderní struktury, které se v poslední době používají, se řadí tzv. nanostruktury. To jsou takové stuktury, které mají menší rozměry, než je vlnová délka použitého záření, takže v řádu stovek nanometrů. Mezi ně se řadí fotonické krystaly, což jsou struktury s periodickým rozložením indexu lomu, jejichž komponenty mají charakteristický rozměr menší než vlnová délka světla. Díky tomu představuje omzení pro fotony v analogii jako krystalová mříž pro elektrony.

## 1 Proč se používá počítačová simulace?

Mezi hlavní důvody užívání simulace v tomto oboru patří nákladnost a složitost výroby nanostruktur. Metoda "pokus omyl" není přijatelná, protože funkčnost výsledné součástky by nebyla optimální nebo by součástka nemusela vůbec fungovat. Šíření světla ve strukturách, jejiž rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou použitého záření, nelze popsat pomocí pravidel geometrické optiky kvůli vlnové podstatě světla. Je nutné použít Maxwellovy rovnice, které se analyticky dají vyřešit jen pro jednoduché struktury. Proto používáme simulační software.

Pro účely simulace jsme použili programy Lumerical FDTD Solutions [1] a PhotonDesign CrystalWave [2], které jsou založeny na metodě konečných diferencí v časové doméně (inite-difference time-domain – FDTD [3]).
Pro ilustraci nutnosti použití numerického modelování jsme nejprve využili příkladu, ve kterém se modeluje jev totálního odrazu. Při vlnové délce 0,4  $\mu$ m a periodě struktury 20  $\mu$ m se světlo na rozhraní mezi vzduchem (*n*=1) a křemenem (*n*=1,5) odráží podle pravidel geometrické optiky. Dochází k totálnímu odrazu (viz obrázek č. 1). Avšak při vlnové délce 4  $\mu$ m již převládají jevy vycházející z vlnové postaty světla a tudíš se nemůžeme řídit geometrickou optikou (viz obrázek č. 2).



Obrázek č. 1 Nastává totální odraz



Obrázek č. 2 Nenastává totální odraz

# 2 Výsledky modelování

V prvním případě jsme modelovali šíření světla ve fotonickém krystalu. Zvolili jsme takovou vlnovou délku (3 µm), která pro danou konfiguraci fotonického krystalu spadá do tzv. zakázaného pásu, který se rozkládá mezi vlnovými délkami 2,38 µm a 3,48 µm. To znamená, že světlo o takové vlnové délce se krystalem nešíří. Toho se využívá při vytváření vlnovodů bez výrazných ztrát. A my jsme vytvořili vlnovod ve tvaru srdce (viz obrázek č. 4).



Obrázek č. 3 Pásový diagram se zakázaným pásem





Obrázek č. 5 Rozložení pole

Ve speciálně vytvořené klasické struktuře se za pomoci jevu lomu světla vytvořila rezonance světelného pole ve tvaru několika kuliček. Materiál, kterým se světelná vlna šíříla, měl index lomu 1,4 a kruh, do kterého vlna zaústila, měl index lomu 3. Kvůli využití pouze klasické struktury je možno vidět velký únik světla mimo vyvtvořené kruhy, v porovnání s použitím fotonického krystalu, kde ztráty pozorovatelné nejsou.



Obrázek č. 6 Rezonance světla

# Shrnutí

Pozorovali jsme meze platnosti geometrické optiky. Zjistili jsme, že pro struktury s rozměry srovnatelnými s vlnovou délkou použitého světla je nutné využít numerické metody založené na řešení Maxwellových rovnic. Provedli jsme několik počítačových simulací.

# 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] Lumerical Solutions, Inc. <u>http://www.lumerical.com/tcad-products/fdtd/</u>

[2] Photon Design Ltd, https://www.photond.com/products/crystalwave.htm

[3] YEE K.: "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 14 (3): 302–307, 1966.

# Synchrotronem k léčivům: modeluj si sám

Soňa Burešová, Gymnázium Jaroslava Heyrovského, Praha, sonka.buresova@gmail.com Kristína Szabová, Gymnázium, Varšavská cesta 1, Žilina, k.szabova98@gmail.com Vladimír Lukačko, Gymnázium, Varšavská cesta 1, Žilina, v.lukacko1@gmail.com

#### Abstrakt:

Enzymy jsou jedny z nejdůležitějších látek v lidském těle. Jestliže se nám podaří zjistit jejich strukturu, můžeme lépe pochopit jejich vlastnosti a způsob, kterým interagují s ostatními molekulami. My jsme zvolili metodu monokrystalické difrakce na urychlovači synchrotronu. Na základě difrakčních dat jsme určili strukturu enzymu i léčiva navázaného do aktivního centra enzymu.

### 1 Úvod

Cílem našeho miniprojektu bylo zjistit strukturu enzymu nukleasy z difrakčních dat monokrystalu. Tato data byla naměřena na synchrotronu Bessy II v Berlíně. Synchrotron je kruhový urychlovač částic, převážně elektronů nebo pozitronů. Tyto částice se urychlí na rychlost blízkou rychlosti světla a získají velkou energii. Zakřivením trajektorie urychlovaných částic lze tuto energii využívat ke strukturnímu studiu.

### 2 Výsledky

Synchrotron se skládá ze tří částí: lineárního urychlovače, boosteru a kruhového prstence. Po obvodu celého synchrotronu se nachází speciální měřicí stanoviště vybavená různými detektory. Zkrystalizovaný enzym zde byl ozářen elektromagnetickým zářením. Krystaly se používají kvůli své opakující se struktuře. Na jednotlivých atomech dochází k rozptylu svazku. Dopadem svazku na krystal se vytvoří difrakční obrazec, který je zaznamenán na pozičně citlivém detektoru. S krystalem otáčíme, abychom získali informace o vnitřní struktuře v podobě difrakčních dat ze všech úhlů.

Pomocí programu iMOSFLM<sup>1</sup> jsme získaná data zpracovali a identifikovali dvoučetnou symetrii. Aby byly výsledky průkaznější, museli jsme změnit rozlišení na 1,8 Å. Výsledky ze zpracování dat jsou uvedeny v tabulce 1. Reprezentativní difrakční snímek je uveden v obrázku 1.



Obrázek 1: Vzorek difrakčních dat

💌 Result				
Summary data for	Project: New	Crystal: N	lew Dataset:	New
Low resolution limit High resolution limit		Over 45.9 1.8	all InnerSh 3 45.93 0 9.00	nell OuterShel 1.84 1.80
Rmerge (within I+/I-) Rmerge (all I+ and I-) Rmeas (within I+/I-) Rmeas (all I+ & I-) Rpim (within I+/I-) Rpim (all I+ & I-) Rmerge in top intensity Total number of observa Total number unique Mean((I)/sd(I)) Mn(I) half-set correlat	bin tions ion CC(1/2)	0.10 0.12 0.14 0.14 0.09 0.07 0.04 7993 2187 9. 0.99	$ \begin{array}{cccccc} 6 & 0.028 \\ 1 & 0.037 \\ 4 & 0.039 \\ 2 & 0.044 \\ 6 & 0.027 \\ 3 & 0.024 \\ 1 & -1 \\ 1 & 650 \\ 2 & 192 \\ 1 & 23.9 \\ 4 & 0.997 \\ 2 & 0.027 \\ \end{array} $	0.642 0.702 0.861 0.820 0.569 0.420 - 4606 1269 2.1 0.645
Multiplicity		100.	99.7 7 3.4	3.6

Tabulka 1: Výsledky zpracování dat

Struktura byla vyřešena metodou molekulárního nahrazení pomocí struktury podobného enzymu multifunkční nukleasy TBN1 z rajčete<sup>2</sup>. Celý následný proces řešení struktury byl monitorován na hodnotách takzvaného R faktoru. Startovací hodnoty R/R free byly 0,51/0,51. V mapě elektronové hustoty byly nalezeny nesrovnalosti modelu s experimentem, proto byl využit program ARP/wARP<sup>3</sup> k automatickému vylepšení modelu s cílem zvýšit shodu modelu s experimentem. Po tomto kroku hodnoty R/R free klesly na 0,24/0,27. Dále jsme museli programem vylepšený model manuálně upravit, například změnit polohu atomů, které nesouhlasily s mapou elektronové hustoty, nebo nahradit chybně určenou aminokyselinu správnou. Rovněž byly lokalizovány tři ionty zinku, které se podílí na tvorbě aktivního místa (R/R free -0,21/0,23).



Obrázek 2: Nesrovnalosti modelu s experimentem

Závěrem byl lokalizován ligand (potenciální léčivo) ve zbývající mapě elektronové hustoty, byly namodelovány zbývající molekuly vody. Výsledný R/R free nám vyšel 0,16/0,20. Tyto hodnoty nejsou absolutními, závisí na konkrétní struktuře, ale obecným cílem signalizujícím správnost modelu je hodnota nižší než 0,20.



Obrázek 3: Výsledná struktura enzymu

### 3 Shrnutí

Monokrystalová strukturní analýza je velmi důležitý způsob zjišťování struktury bílkovin. Využívá se při vývoji nových materiálů, nanotechnologií, ale také nových léčiv. Téměř každé léčivo produkované farmaceutickými firmami bylo vyvinuto na základě této analytické metody. Na tuto aplikaci jsme se zaměřili a nalezli jsme léčivo deaktivující enzym nukleázu.

### Poděkování

Rádi bychom tímto poděkovali Ing. Petru Kolenkovi, Ph.D z Katedry inženýrství pevných látek Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za odborný dohled a pomoc při experimentu.

### Reference

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

[2] Koval', T., Lipovova, P., Podzimek, T., Matousek, J., Duskova, J., Skalova, T., Stepankova, A., Hasek, J., Dohnalek, J. Plant multifunctional nuclease TBN1 with unexpected phospholipase activity: structural study and reaction-mechanism analysis. *Acta. Cryst.* D69, 213-226 (2013).

[3] Langer GG, Hazledine S, Wiegels T, Carolan C, Lamzin VS. Visual automated macromolecular model building. *Acta. Cryst.* D69, 635-641 (2013).

### Jak nám pomáhají tenké vrstvy

I. Horáková\*, V. Kodat\*\*, K. Černá\*\*\*

\*Gymnázium Olgy Havlové, Ostrava-Poruba ivana.horakova3@gmail.com \*\*SPŠ strojní a elektrotechnická Dukelská 13, České Budějovice vitekkodat@gmail.com \*\*\*Gymnázium Česká 64, České Budějovice babocka.cerna@volny.cz

#### Abstrakt:

Práce se zabývá zjišťováním vlastností tenkých vrstev, konkrétně tloušťky, Youngova modulu a tvrdosti. Pro určení tloušťky byla použita metoda kalotest a pro stanovení tvrdosti a Youngova modulu metoda indentace. Proměřeno bylo pět různých materiálů. Dle očekávání jsme zjistili, že tvrdost ochranných vrstev, jejichž tloušťka byla v řádu jednotek mikrometrů, byla několikanásobně tvrdší než tvrdost substrát.

# 1 Úvod

Tenkými vrstvami jsou nazývány materiály o tloušťce od desítek nm po desítky μm. V současnosti jsou využívány za účelem zlepšení fyzikálních, chemických a technologických vlastností základního materiálu. Konkrétně se může jednat například o tvrdé povrchy obráběcích nástrojů, tepelné bariéry leteckých motorů, absorpční vrstvy v solárních elektrárnách, atd. [1] Současně vede jejich používání k finančním úsporám, kdy drahý materiál tenké vrstvy tvoří pouze malou část celkového objemu součástky. Cílem miniprojektu je určit tvrdost, Youngův modul a tloušťku tenkých vrstev nanesených různými metodami.

### 2 Experimentální postup

Byly studovány vrstvy TiN, multivrstvy Ti-TiN a Cr-CrN nanesené metodou fyzikální depozice z plynné fáze a vrstva galvanicky nanesené mědi. Všechny vrstvy byly naneseny na ocelovém substrátu, jehož vlastnosti byly také určeny.

Měření tloušťky vrstev bylo provedeno metodou kalotest [2]. Tato metoda je založena na vybroušení kulové dutiny do tenké vrstvy pomocí rotující kuličky, která materiál otírá. Změřením geometrických charakteristik (obr. 1) vzniklé kulové dutiny můžeme určit tloušťku vrstvy *s* pomocí vztahu:

$$s = \frac{xy}{2R}$$

Kde *R* je poloměr použité kuličky a vzdálenosti *x* a *y* jsou definovány na obrázku 1.



Metodou nanoindentace [3] byla určena tvrdost a Youngův modul studovaných multivrstev a ocelového substrátu. Tato metoda je založena na vtlačování diamantového hrotu (trojboký jehlan) do povrchu materiálu. Vlastnosti materiálů jsou vyhodnoceny z naměřeného záznamu síla – hloubka vtisku. Tvrdost materiálu je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Z naměřených dat je spočítána pomocí vztahu:

$$H = \frac{F_{max}}{A_c}$$

Kde  $F_{max}$  je maximální síla a  $A_c$  je promítnutá plocha vtisku.

Ze závislosti síla – hloubka vtisku lze určit také hodnoty Youngova modulu, který popisuje elastickou závislost mezi deformací a napětím na vzorku. Maximální aplikovaná síla při těchto testech byla 10 mN.

### 3 Výsledky a diskuze

Výsledky měření tloušťky tenkých vrstev jsou shrnuty v tabulce 1. Celková tloušťka vrstev se pohybuje v rozmezí od 3,63 µm do 6,35 µm. Vrstvy připravené průmyslově (Cu,TiN) měly větší rozptyl výsledků. Tyto vrstvy byly méně pravidelné a zároveň ani substrát nebyl dokonale rovný (obr. 2a). Studované multivrstvy připravené laboratorně byly pravidelnější. Pokusili jsme se změřit i tloušťku jednotlivých vrstev systému Ti-TiN (obr. 2b). Vrstvy titanu měly tloušťku

přibližně 150 nm a vrstvy nitridu titanu přibližně 510 nm. Měření tloušťky těchto vrstev bylo na hraně rozlišitelnosti metody kalotest.

	<b>C</b> 11		Ti-TiN		Cr-CrN	TiN
	Cu	celkem	TiN	Ti		
tloušťka [µm]	4,72	3,98	0,51	0,15	6,35	3,63
- odchylka	0,73	0,19	0,08	0,02	0,15	0,45

Tabulka 1: Tloušťka tenkých vrstev



Obr. 2: Vybroušené dutiny v povrchu (a) Cu, (b) mutlivrstvy Ti-TiN

Tvrdost a Youngův modul multivrstev a ocelového substrátu je v tabulce 2. Ukázka vtisku v ocelovém substrátu a křivky síla – hloubka vtisku jsou na obrázku 3. Mechanické vlastnosti multivrstev jsou vzájemně srovnatelné a výrazně vyšší než vlastnosti ocelového substrátu (tvrdost až pětkrát). Jedná se o očekávaný výsledek, protože účelem multivrstev je ochrana substrátu.

	Ti-TiN	Cr-CrN	Ocel
Tvrdost [MPa]	17405	17490	3431
- odchylka	2557	2262	106
Youngův modul [GPa]	294	289	219
- odchylka	32	25	8

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti multivrstev a ocelového substrátu



Obr. 3: (a) Vtisk v ocelovém substrátu, (b) křivky síla - hloubka vtisku

### 3 Shrnutí

Metodami kalotest a nanoindentace byla určena tloušťka a mechanické vlastnosti tenkých vrstev. Tloušťka studovaných vrstev se pohybovala okolo 4  $\mu$ m a tvrdost ochranných multivrstev výrazně převyšovala tvrdost ocelového substrátu. Tato měření potvrdila užitečnost tenkých vrstev, které mohou být využity mimo jiné k ochraně substrátu před mechanickým poškozením.

# Poděkování

Děkujeme Ing. Jaroslavu Čechovi za vedení našeho projektu a FJFI za umožnění účasti na Týdnu vědy.

# **Reference:**

- [1] http://www.ateam.zcu.cz/tenke\_vrstvy\_sma.pdf [online 20.6.2017]
- [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

Z. Sosnová Gymnázium Pierra de Coubertina, Tábor zdendasosnova@gmail.com

#### Abstrakt:

V článku je vysvětlen princip termoluminiscenční dozimetrie. Jsou představeny dva hlavní úkoly – seznámení se se základem termoluminiscenční dozimetrie včetně sestavení kalibrační křivky a experimentální určení dávky z neznámě ozářené skupiny dozimetrů. Práce je provedena s dozimetry typu LiF:Mg,Ti, komerční označení TLD-1000.

# 1 Úvod

Termoluminiscenční dozimetrie je metoda určení dávky, kterou přijalo těleso od zdroje ionizujícího záření. Tato metoda může být aplikována v mnoha odvětvích, mezi které patří dozimetrie životního prostředí, datování historických nálezů nebo lékařství.

Cílem miniprojektu bylo seznámení s touto metodou termoluminiscenční dozimetrie, sestavení kalibrační křivky a určení neznámé dávky, kterou byla ozářena jedna sada dozimetrů.

### 2 Postup experimentu

### 2.1 Princip termoluminiscenční dozimetrie

Při ozáření některých pevných látek ionizujícím zářením, může dojít v její struktuře k vratným změnám. Tyto změny se projevují tím, že látka po zahřátí vyzařuje světlo. Množství světla je do jisté míry úměrné energii, kterou ionizující záření látce předalo. Tento jev je nazýván termoluminiscence. Fyzikální vysvětlení tohoto jevu vychází z pásového modelu pevných látek, viz Obrázek 1.

Je-li elektronu předána energie, která je větší než jeho vazebná energie, dochází k vytržení elektronu z valenčního pásu. Elektron přechází až do vodivostního pásu. Vytvoří se tak kladně nabitá díra a volně pohyblivý elektron. Většina elektronů se vrací zpět do původní polohy a kladná díra zaniká. Určitá část elektronů však zůstane zachycena v elektronových pastech, jejichž příčinou jsou poruchy krystalické mřížky nebo příměsi v látce. Chceme-li uvolnit elektron z této pasti, musíme mu opět dodat energii. Elektron poté opět excituje do vodivostního pásu a vrací se zpět do valenční vrstvy. Při přechodu mohou nastat dva případy. Elektron buď část své potenciální energie přímo uvolní ve formě elektromagnetického záření, nebo předá část své energie luminiscenčnímu centru, které tuto energii transformuje v energii

světelnou. V případě termoluminiscence je vysvobozování elektronu z elektronové pasti způsobeno postupných zahříváním materiálu.



Obrázek 1: Pásový model pevných látek

### 2.2 Materiál a použité přístroje

Při experimentu byly používány dozimetry typu TLD-1000 (LiF s přímesí Mg a Ti). Tyto dozimetry byly rozděleny do pěti skupin po sedmi. Jedna skupina nebyla ozářena. Ostatní byly ozářeny dávkami 2 Gy, 4 Gy, 6 Gy a poslední skupina neznámou dávkou (kterou bylo třeba určit) v ozařovači GammaCell 220 (Obrázek 2). Dávkový příkon tohoto ozařovače je v současné době cca 25,7 Gy/h, z této hodnoty tedy byl také určen ozařovací čas jednotlivých skupin dozimetrů. Ozářené TLD byly následně postupně vkládány do TLD readeru Harshaw 3500 (Obrázek 3). Dozimetry se zde zahřívaly na kovové destičce až na teplotu 260 °C. Světelný luminiscenční signál byl zachycen a zesílen fotonásobičem. Tento signál byl dále zpracován a vyhodnocen v počítači. Vyhodnocení z počítače obsahovalo graf a další číselné údaje (ukázka obrazovky viz Obrázek 4).



Obrázek 2: Radionuklidový ozařovač Gamacell 220



Obrázek 3: TLD reader Harshaw 3500 + notebook

Data Acquisition		encolorement and an an an a				
	20.6.2011 1	439.35 1 5_3 TV_66		_		
37.19 µC	f		601			
R0I2 R0I3	6000,0		501			
R04 ECC R0F	\$ 5000,0		40	Temp		
7 pA	4000,0 1 3000,0		301	value -		
oling 55 °C	2000,0		201	đ		
520 pA	1000,0	$\sim$	10			
	0,0	100	150 200			
		Charter				
er 08						
oler 15 °C over Closed						
nut. Heading douments or	-0-J					

Obrázek 4: Obrazovka ovládacího a vyhodnocovacího software k TLD readeru

### 2.3 Zpracování výsledků z TLD readeru

Z údajů v TLD readeru byla pro další postup využita hodnota celkového elektrického náboje na výstupu z fotonásobiče v TLD readeru. Na naměřených hodnotách dále byla provedena jednoduchá statistická analýza dat – výpočet aritmetických průměrů, směrodatných odchylek jednotlivých hodnot i průměrné hodnoty, atd, a byl sestaven graf závislosti pr;m2rn0 TL odezvy [ $\mu$ C] na absorbované dávce [Gy], viz Obrázek 5. Body v grafu (Obrázek 5) byly proloženy přímkou – kalibrační křivkou – která lze popsat matematicky TL odezva [ $\mu$ C] = *14,934 D*[Gy] - *2,1152*. Na základě znalosti rovnice kalibrační křivky a TL odezvy neznámě ozářené sady TL dozimetrů byla určena dávka, kterou neznámě ozářená sada dozimetrů obdržela. Tato dávka byla určena hodnotou 2,7±0,15 Gy. Z této hodnoty dále vyplývá, že pokud byla i tato sada ozářena na ozařovači Gammacell 220 (dávkový příkon 25,7 Gy/h), ozařovací čas byl 378±20s. Neznámá dávka je označena na grafu (Obrázek 5) červeným kolečkem.



Obrázek 5: Sestrojená kalibrační křivka TLD dozimetrů

### 3 Shrnutí

Během miniprojektu byly vysvětleny a procvičeny základní principy termoluminiscenční dozimetrie, sestavení kalibrační křivky a využití této křivky pro určení dávky záření u neznámě ozářené sady TLD dozimetrů.

V rámci plnění úkolů byly ozářeny dozimetry na ozařovači Gamacell 220 a vyhodnoceny s pomocí TLD readeru Harshaw 3500. Naměřená data byla podrobena jednoduché statistické analýze vedoucí na sestavení kalibrační křivka a následného určení dávky neznámě ozářené sady termoluminiscenčních dozimetrů. Dávka byla určena hodnotou 2,7±0,15 Gy.

# Poděkování

Poděkování patří panu Ing. Tomáši Urbanovi za vedení projektu a strávený čas při dohlížení na zpracování údajů.

### **Reference:**

[1] Návod k úloze Termoluminiscenční dozimetrie, KDAIZ FJFI ČVUT v Praze

# Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I

### S. Buryšková\*, L. Nechyba\*\*, D. Komárek\*\*\*

\*Gymnázium Matyáše Lercha, Brno \*\*Gymnázium Jana Ámose Komenského, Nové Strašecí \*\*\*Masarykovo gymnázium, Příbor

### simona.buryskova@seznam.cz

#### Abstrakt:

Práce se zabývá diagnostikou plazmatu na tokamaku GOLEM. Pomocí různých diagnostických zařízení bylo měřeno napětí na jeden závit, derivace proudu v komoře a plazmatu, magnetická indukce magnetického pole a charakteristická spektrální čára vyzařování vodíku  $H_{\alpha}$ . Z naměřených dat byla pomocí programovacího jazyka Python2 určena doba udržení plazmatu, elektronová teplota a hustota. Nejvyšší teplota, jíž bylo dosaženo, byla 100 eV, v plazmatu tedy nemohlo dojít k zapálení termojaderné fúze.

# 1 Úvod

Představte si, že byste mohli mít malou hvězdu přímo vedle sebe v pozemských podmínkách a využívat ji jako zdroj energie. Přesně toto může lidstvu umožnit zvládnutí termojaderné fúze, neboli slučování jader. K fúzi dochází při velmi vysokých teplotách, kdy se hmota nachází ve stavu plazmatu. Aby se termojaderná fúze dala využít jako zdroj energie, je potřeba plazma udržet dostatečně dlouhou dobu a to zatím neumíme. Cílem našeho miniprojektu bylo provést experiment na tokamaku GOLEM a dosáhnout co nejlepších parametrů plazmatu (vysoká teplota a dlouhá doba udržení). Článek seznamuje čtenáře postupně s tokamakem GOLEM, použitými metodami diagnostiky plazmatu, dosaženými výsledky experimentu a na závěr je uvedena i diskuse dosažených výsledků.

# 2 Diagnostika plazmatu na tokamaku GOLEM

#### 2.1. Tokamak GOLEM

Tokamak GOLEM na FJFI ČVUT je zařízením pro udržení plazmatu za pomoci magnetického pole. Slouží primárně ke studijním účelům. Skládá se z vakuové komory ve tvaru toroidu, v níž se tvoří plazma, a cívek, které tvoří toroidální magnetické pole. Magnetické pole se vytváří také kolem plazmatu. V důsledku působení obou magnetických polí se částice v plazmatu pohybují po šroubovicovité trajektorii. Vakuová komora se plní vodíkem nebo heliem, což jsou neutrální plyny, které je třeba zionizovat, aby došlo k vytvoření plazmatu. Ohřev plazmatu je realizován ohmickým ohřevem pomocí elektrického

proudu indukovaného v plazmatu. Před výbojem je elektrická energie akumulována v kondenzátorech, které jsou poté vybíjeny do cívek. Jedna kondenzátorová baterie je vybita do toroidálních cívek, které vytváří toroidální magnetické pole. Druhá baterie je vybíjena do primárního vinutí transformátoru, které zajišťuje ohřev plazmatu.

#### 2.2. Materiály a metody

Na tokamaku GOLEM jsme absolvovali jeden experimentální den. Před zahájením experimentu jsme komoru osadili diagnostikami: kruhovým vodičem pro měření napětí na jeden závit, Rogowského cívkou pro měření derivace proudu, cívkou pro měření derivace indukce magnetického pole a fotodiodou. Signál z diagnostik jsme přivedli do čtyřkanálového osciloskopu RIGOL. Před každým výbojem byla komora zčerpána na vakuum s hodnotou tlaku řádově  $10^{-4}$  Pa. Poté byl napuštěn pracovní plyn vodík. Následně jsme pomocí webového rozhraní nastavili parametry výboje (tlak pracovního plynu, napětí mezi deskami kondenzátorů, napětí na cívkách, časový rozdíl začátku vzestupu intenzity elektrického a magnetického pole). Získaná data jsme zpracovali pomocí programovacího jazyka Python2.

#### 2.3. Výpočty

Na základě dat naměřených Rogowského cívkou při vakuovém výboji jsme spočítali odpor komory tokamaku, hodnota odporu  $R_{ch} = 1 \cdot 10^{-2} \Omega$ . Ze znalosti odporu a celkové hodnoty proudu  $I_{tot}$  jsme určili proud, který protékal plazmatem  $I_{pl}$  ze vztahu:

 $I_{pl}(t) = I_{tot}(t) - U_{I}(t) / R_{ch}$ 

Poté jsme ze Spitzerovi formule dopočítali elektronovou teplotu  $T_e$ :

$$T_e(0,t) = (0,7\frac{I_{pl}(t)}{U_l(t)})^{2/3}$$

Ze stavové rovnice pro počáteční tlak pracovního plynu jsme odhadli elektronovou hustotu

*n* a celkovou tepelnou energii plazmatu  $W_{th}$ :

$$W_{th} = \frac{1}{3} n k_B T_e(0,t) V$$

A výslednou dobu udržení jsme spočítali jako:

$$\tau_{E}(t) = \frac{W_{th}}{P_{loss}} ,$$

kde  $P_{loss}$  je ztrátový výkon. Doba udržení vyjadřuje charakteristický čas, za který by při daném ztrátovém výkonu unikla energie plazmatu. Při výpočtu jsme předpokládali, že ztrátový výkon je roven ohmickému příkonu. Tento předpoklad platí, pokud se energie plazmatu nemění (využili jsme hodnoty energie a výkonu v okolí maxima).



Obrázek 1: Shora: vývoj napětí na jeden závit  $U_I$ ; indukce toroidálního magnetického pole  $B_t$ ; celkový proud  $I_{tot}$ , proud plazmatem  $I_{pl}$  a komorou  $I_{ch}$ ; signál fotodiody s  $H_{\alpha}$  filtrem; elektronová teplota  $T_e$ 

#### 2.2. Diskuse

Podařilo se nám dosáhnout dlouhé doby udržení plazmatu (100 mikrosekund) díky tomu, že kondenzátory pro ohřev plazmatu byly nabity na nižší napětí (450 V), což způsobilo nízký ztrátový výkon, a díky dostatečně vysokému tlaku pracovního plynu (28 mPa), za něhož je hustota částic, a tedy celková energie plazmatu, vyšší. Naše výpočty doby udržení se lišily od výpočtů provedených automatickým systémem zpracování dat tokamaku GOLEM (46,8 mikrosekund), který využívá průměru hodnot přes celý čas života plazmatu. Přesnější je výpočet s využitím hodnoty maxima tepelné energie plazmatu (náš výpočet). Elektronová teplota však nebyla dostatečně vysoká pro zapálení termojaderné fúze.

### 3 Shrnutí

Na tokamaku GOLEM jsme naměřili parametry plazmatu a komory zaznamenané na osciloskopu. Pomocí programovacího jazyka Python2 jsme zpracovali data a vypočítali dobu udržení plazmatu, teplotu plazmatu, energii plazmatu, průběhy indukce toroidálního magnetického pole, průběh napětí a proudu v závislosti na čase. Zjistili jsme, že automatický systém zpracování dat počítá nepřesné hodnoty doby udržení plazmatu.

# Poděkování

Naše poděkování patří Ondrovi Groverovi a Járovi Krbcovi za vedení našeho miniprojektu, také za jejich trpělivost a cenné rady při zpracování experimentu. Chceme poděkovat Vojtěchu Svobodovi za to, že nás seznámil s Golemem a za organizaci celého Týdne vědy na Jaderce. Děkujeme také katedře fyziky FJFI ČVUT za financování tokamaku GOLEM.

# **Reference:**

- [1] FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI *Vysokoteplotní plazma na tokamaku GOLEM* [cit. 20. 6. 2017] Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/15/Basics/uloha13A.pdf
- [2] TOKAMAK GOLEM *Webová databáze výstřelů*, [cit. 20. 6. 2017] Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/"číslo výstřelu"

# Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku Golem

Lucie Sladká, VOŠ, SPŠ a JŠ s právem SJZ, Kutná Hora, sladlu1@seznam.cz

Veronika Rečková, Gymnázium Jura Hronca, Bratislava Boženy Němcové 13, veronika.reckova13@gmail.com Jan Buryanec, Gymnázium Dobruška, BurdisXD1998@seznam.cz

#### Abstrakt:

Náplní našeho miniprojektu bylo se naučit se základními diagnostikami vysokoteplotního plazmatu. Pomocí těchto diagnostik jsme byli schopni změřit potřebná data k určení některých vlastností plazmatu. Dále jsme se snažili o dosažení největší elektronové teploty a zároveň co nejdelší doby udržení plazmatu na základě širokého výběru možných parametrů tokamaku.

# 1 Úvod

V tomto laboratorním cvičení jsme si mohli ukázat důkaz toho, že je možné v pozemských podmínkách realizovat tzv. termojadernou fúzi stejnou jako v naší nejbližší hvězdě Slunci. Tato problematika a výzkum v oblasti plazmatu a termojaderné fúze je velmi aktuální téma, protože se lidstvo snaží najít nové alternativní zdroje energie. Odpovědí by mohli být právě fúzní elektrárny, které by jednak nevyprodukovali tolik nebezpečného odpadu, a také by byli bezpečné oproti klasickým jaderným elektrárnám. V rámci našeho miniprojektu jsme pomocí příslušných diagnostik měřili teplotu tohoto plazmatu a dobu udržení. V závěru tohoto cvičení jsme se snažili co nejvíce maximalizovat tyto parametry.

### 2 Práce se základními diagnotikami

#### 2.1 Příprava na měření

V první řadě museli naši lektoři připravit pracovní prostředí tokamaku, jako vyčerpání pracovní komory tokamaku, oživení systému apod. Tomu se říká tzv. pomalá fáze. Ve fázi druhé jsme už měli za úkol osadit tokamak základními diagnostikami, které jsme poté připojili k digitálnímu čtyřkanálovému osciloskopu. Osadili jsme tedy tokamak čtyřmi různými diagnostickými zařízeními. Použili jsme vodič zvaný flux loop osazený podél komory v toroidálním směru pro zjištění průběhu napětí na závit, Rogowského pásku pro zjištění průběhu napětí jehož integrací získáme proud plazmatem, dále tzv. cívečku pro měření toroidálního magnetického pole a nakonec fotodiodu díky nichž budeme schopni zjistit jak dlouho bylo plazma přítomné v komoře. Po usazení všech zmíněných diagnostik nastala tzv. super rychlá fáze a to už samotné střílení z tokamaku.

#### 2.2 Sběr dat

Při prvním sběru dat jsme si museli příslušně nastavit všechny kanály našeho osciloskopu pro další sběr dat. Data se nám automaticky přeposílala do školní databáze a poté jsme mohli s nimi dále pracovat.

#### 2.3 Zpracování dat

Použitelná data úspěšných výbojů jsme dále zpracovávali a vykreslovali do grafů pomocí programovacího jazyka Pythton. Data jsme zbavovali možných naměřených chyb v podobě šumů a dalších možných chyb měření.

#### 2.3.1 Vzorečky použité pro výpočty

Průběh napětí na závit pro vakuový výstřel je dán rovnicí:  $U_l(t) = R_{Ch} \cdot I_{tot}(t)$ 

kde R<sub>Ch</sub> = odpor komory, U<sub>l</sub>(t) = napětí na závit, I<sub>tot</sub>(t) = celkový proud změřený Rogowského páskou.Celkový měřený proud je součtem proudu plazmatem a proudu komorou: I<sub>tot</sub>(t) = I<sub>pl</sub>(t) + I<sub>ch</sub>(t).

Tedy pro proud plazmatem platí:  $I_{pl}(t) = I_{tot}(t) - U_l(t)/R_{ch}$ . Pro výpočet teploty plazmatu pro tokamak golem platí vztah:  $T_e(0,t) = \left(0,7 \cdot \frac{I_p(t)}{U_l(t)}\right)^{\frac{2}{3}}$  [eV; A, V]

 $T_e$  = elektronová teplota,  $I_p$  = proud plazmatem,  $U_l$  = napětí na závit v transformátoru

Mezi další parametry patří elektronová hustota, kterou lze vyjádřit vztahem:  $\overline{n}=2po/k_B \cdot T_{ch}$ [počet částic/*m*<sup>3</sup>,Pa, K]

kde n = průměrná hustota,  $p_0$  = tlak neutrálního plynu,  $k_B$  = Boltzmanova konstanta,  $T_{ch}$  = teplota komory

Zdrojem ohřevu plazmatu na tokamaku GOLEM je pouze ohmický ohřev daný vztahem:  $P_{OH}(t) = R_p(t) \cdot I_p^2(t) = U_l \cdot I_p(t)$ 

kde  $P_{OH}$  = ohmický výkon,  $R_p$  = odpor plazmatu,  $I_p$  = odpor plazmatu

Celkovou tepelnou energii plazmatu  $W_{th}$  spočteme z ekvipartičního teorému:  $W_{th}(t){=}1/3nk_{B}T_{e}(0,t)V\left[J;m^{-3},K,m^{3}\right]$ 

Na základě znalosti energie plazmatu  $W_{th}$  a ohmického příkonu  $P_{OH}$  lze ze zákonu zachování energie spočíst energetické ztráty plazmatu:  $P_{loss}(t) = P_{OH}(t) - \Delta W_{th} / \Delta t$ . Protože neznáme  $P_{loss}$  ale pouze ohmický příkon pro výpočet doby udržení energie  $\tau_E(t)$ 

definovanou jako:  $\tau_{E}(t) \equiv W_{th}(t) / P_{loss}(t)$ 

použijeme okamžik kdy je energie plazmatu maximální a jeho časová změna rovna nule. Poté platí  $\tau_{E}(t) \equiv W_{th}(t)/P_{OH}(t)$ 

#### 2.4 Naměřená data v grafech



#### 2.5 Výsledky

Při pokusu se nám podařilo zrealizovat pár úspěšných výbojů a jeden nejlepší výše uvedený z nich jsme prozkoumali blíže a určili jsme dané parametry. V prvním grafu můžeme vidět vývoj velikosti napětí na závit, dále v druhém grafu lze vidět vývoje elektrického proudu protékajícím plazmatem a komorou a I(tot) reprezentuje součet těchto proudů naměřený z rogowského cívky, ve třetím si můžeme povšimnout vývoji vyzařovaného záření v komoře při reakci a nakonec v posledním grafu je vývoj teploty plazmatu. Teplota plazmatu byla spočtena přibližně okolo 50-60 elektronvoltů v centru plazmatu. Elektronová hustota nám vyšla přibližně 9.6e18 částic/m<sup>3</sup>, celková tepelná energie plazmatu 2,2 J a doba udržení 412 mikrosekund.

# 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

Tímto bychom chtěli poděkovat katedře fyziky za umožnění přístupu k tokamaku a jeho provozu.

# **Reference:**

[1] Fyzikální praktikum FJFI. Vysokoteplotní plazma na tokamaku GOLEM Dostupné na internetu: <u>http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/15/Basics/uloha13A.p</u> df

[2] Tokamak GOLEM. Webová databáze výstřelů http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/"číslo výstřelu"

# Rozhodování strojů a za pomocí strojů (UI)

M. Zatloukal, K. Tauchmanová, M. Pitr, F. Geib Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT michalzatloukalit@google.com, klara.tauchmanova@gmail.com, mpitr@stredoskolskaunie.cz, filip9geib@gmail.com

#### $\mathbf{Abstrakt}$

Tato práce má za cíl ukázat efektivitu modelu umělé inteligence, která pracuje s bayesovskou sítí, na fyzikálním experimentu s nakloněnou rovinou. Umělá inteligence měla za cíl předpovědět kongifuraci experimentu na základě výstupních hodnot, s využitím obrácení důsledku a příčiny. K naučení rozhodování sítě jsme použili vzorek 150 měření. Přesnost předpovědi jsme dále otestovali na vzorku 12 testovacích dat. Ta byla uspokojivá a pohybovala se na rozmezí od 58,3 % až 91,6 %. V závěru práce navrhujeme možné způsoby zlepšení tohoto modelu.

# 1 Úvod

V dnešní době jsme na počátku velkých proměn ve způsobu dělby práce. Stále více pracovních míst se automatizuje, za účelem dosáhnutí větší produktivity. Umělá inteligence nabízí možnosti, které mnohokrát přesahují lidské schopnosti. Je schopná rozhodovat se mnohem efektivněji a na základě většího množství dat, než jakýkoliv člověk. Častým nástrojem umělé inteligence jsou neuronové sítě. My jsme se zabývali jiným nástrojem bayesovskou sítí, která nám navíc umožňuje lépe porozumět interním procesům při rozhodování.

### 2 Umělá inteligence

Umělou inteligenci lze chápat jako nástroj schopný usuzovat na základě předložených vstupů. Tento úsudek lze využít k samostantnému rozhodování, k řízení různých systémů, nebo k radám expertů, kterým může například ušetřit čas analýzou velkého množství dat. Příkladem může být využití umělé inteligence ve zdravotnictví, kde při poskytnutí anamnézy pacienta je systém schopen předpovědět nejpravděpodobnější nemoci a navrhnout vhodnou léčbu. Avšak finální rozhodnutí vždy závisí na člověku. Tento fakt je spojen s tím, že důvěra v systémy umělé inteligence a jejich globální rozšíření není v současnosti dostatečně rozšířená na to, aby mohly tyto systémy rozhodovat zcela samostatně ve všech oblastech lidské činnosti. Na druhou stranu v některých oblastech se již blížíme do fáze, kdy můžeme předat plnou zodpovědnost automatizovanému systému, jako se to například děje v odvětví automatického řízení vozidel.

Pokud chceme vytvořit funkční systém umělé inteligence, musíme:

Provést analýzu problému, který bude systém řešit, s cílem identifikovat vstupy a výstupy

- Zvolit vhodný nástroj
- Navrhnout strukturu modelu, dle zvoleného nástroje
- Stanovit parametry modelu (učením z dat nebo expertním rozhodováním)

### 3 Bayesovské sítě

Bayesovská síť je pravděpodobnostní model, který je jedním z nástrojů umělé inteligence. Funguje na principu Bayesovy věty. Základním stavebním kamenem je obrácení příčiny a důsledku podmíněné pravděpodobnosti pomocí následujícího vzorce:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} ,$$

kde A značí příčinu a B následek. Například: Posuzujeme leteckou nehodu. Jevem A značíme selhání motoru letadla a jevem B pád letadla. Pravděpodobnosti P(A) a P(B), čili pravděpodobnosti samotného pádu letadla a poruchy motoru jsme schopni snadno určit ze statistik předešlých havárií. Stejně tak můžeme z těchto dat určit podmíněnou pravděpodobnost P(B|A), což je pravděpodobnost pádu letadla při selhání motorů. Jsme však v situaci, kde posuzujeme novou nehodu a víme pouze, že letadlo již spadlo. Nyní nás zajímá obrácený vztah a to je P(A|B), čili jaká je pravděpodobnost, že pád letadla způsobilo právě selhání motorů.

### 4 Experiment

Cílem našeho experimentu bylo vytvoření modelu schopného rozhodnout o parametrech reálného systému. Tento systém představovala nakloněná rovina, z které byly spoustěny míčky různých vlastností, a dojezdová dráha, na které se pozoroval jejich pohyb. Jednotlivá měření se lišila různými konfiguracemi povrchu dojezdové dráhy, míry sklonu nakloněné roviny a druhů míčků. Experiment jsme prováděli na dvou typech povrchů: na nízkém kancelářském koberci a kachličkové dlažbě. K dispozici jsme měli pět druhů míčků: pinpongový, tenisový, malý basketbalový, molitanový a gumový míček. Nakloněnou rovinu bylo možné sestavit do tří různých poloh, každou s jinou mírou sklonu. Výstupními hodnotnami experimentu byly čas pohybu míčku a vzdálenost, kterou míček urazil. Sestava našeho experimentálního vybavení je zobrazena na obrázku níže.



Cílem navrhovaného systému umělé inteligence bylo na základě vložení výstupních hodnot určit nastavení konfigurace reálného systému, tj. druh míčku, povrch a sklon roviny. Naším nástrojem umělé inteligence byla bayesovská síť. Nejprve bylo třeba vytvořit strukturu závislostí pro výše zmíněné veličiny. Struktura, kterou jsme pro náš účel navrhli je zachycena na obrázku níže.



Aby byla umělá inteligence schopná rozhodovat, stanovili jsme parametry modelu procesem učení z dat získaných měřením experimentu. Celkem jsme realizovali 150 měření za tímto účelem. Bayesovskou síť jsme naučili standardním EM algoritmem. Výsledkem učení je stav na obrázku níže. Zde je vidět, že uzly výchozího nastavení mají rovnoměrné rozdělení, což odpovídá realizovaným experimentům. U uzlů času a vzdálenosti vidíme směs normálních rozdělení, která vzniká smícháním gausových křivek pro jednotlivé kombinace vstupních parametrů.



### 5 Výsledky

Pro testování úspěšnosti rozhodování umělé inteligence jsme použili testovací data 12 měření, která byla naměřena odděleně. Umělá inteligence byla schopna předpovědět správný druh míčku u 58,3 %, povrch u 91,6 % a sklon u 58,3 % případů. Model rozhodoval na základě nejpravděpodobnější hodnoty, jako je vidět například na obrázku níže, kde je výstup z modelu při zadaných testovacích hodnotách (t = 8.86 s, s = 3,35 m).



### 6 Závěr

V našem experimentu se nám i přes malé množství učebních dat podařilo vytvořit poměrně spolehlivý model umělé inteligence. Při získávání učebních i testovacích dat jsme se setkali s velkým množstvím nepřesností měření. Tento faktor výrazně ovlivňoval schopnost modelu rozhodovat se. I přes výše zmíněné komplikace se nám podařilo ukázat efektivitu bayesovských sítí. Jedním z možných způsobů jak zlepšit rozhodování modelu by bylo zvýšit přesnost měření dat, anebo přidáním další veličiny charakterizující reálný systém.

# Poděkování

Poděkování bychom chtěli vyjádřit panu Ing. M. Planjnerovi za odborné vedení a konzultace. A celému týmu lidí zastřešujících akci Týden vědy.

### Reference

[1] J. Vomlel. Úvod do bayesovských sítí http://staff.utia.cas.cz/vomlel/slides/presentacemedic-info-new-1250.pdf.

# Stolní urychlovače elektronů v laserovém plazmatu

### J. Turza \*

M. Iurchenko\*\* Gymnázium Velké Meziříčí, Sokolovská 27, Velké Meziříčí\* ZŠ Brána jazyků, Uhelný trh 4, Praha 11000 \*\* turzajan@email.cz\* m.iurchenko@seznam.cz\*\*

#### Abstrakt:

Přemýšleli jste někdy jak urychlit elektron bez použití obrovských urychlovačů? Náš miniprojekt se zaměřuje na problematiku urychlování elektronů v laserovém plazmatu. Pro tuto analýzu jsme si vybrali metodu particle-in-cell a za pomocí počítače jsme provedli simulace wakefieldů a injekcí. Povedlo se nám předpovědět urychlení elektronů až na energii 290 MeV na vzdálenosti pouhých 1.8 mm.

# 1 Úvod

Urychlovače částic nemusí být pouze zařízení obrovských rozměrů, jejichž konstrukce a provoz stojí nemalé finanční prostředky. Alternativní technické řešení spočívající v interakci ultrakrátkého a extrémně intenzivního laserového impulzu s plynovým terčíkem dokáže vygenerovat elektronové svazky velmi vysokých energií už na urychlovací vzdálenosti několika milimetrů. I s laserovým systémem se tedy náš urychlovač vejde na (velký) stůl. Simulovali jsme urychlovací proces s numerickým výpočtem a podívali jsme se i do laboratoře v centru PALS, kde takové věci dokážou experimentálně uskutečnit.

### 2 Analýza dat

#### Motivace

Tato metoda urychlování elektronů by mohla v budoucnu nahradit konvenční urychlovače elektronů. Její výhoda spočívá v jednoduchosti, velikosti a nízké ceně oproti standardním radiofrekvenčním urychlovačům částic. V rámci tohoto miniprojektu chceme zjistit vzdálenost, po kterou mohou být elektrony efektivně urychlovány při daných parametrech laseru a prostředí. Hodláme odhadnout také energii, na kterou může být tento elektronový svazek urychlen.

#### Definování pojmů

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, tj. zesilování světla stimulovanou emisí záření. Je to optický zdroj elektromagnetického záření, světlo je z něho vyzařováno ve formě koherentního svazku.

Wakefield (brázdová vlna) – je to elektronová plazmová vlna, která se šíří za intenzivním laserovým impulsem prostupujícím skrz plynový terč. Má charakter periodicky se měnících oblastí s velkou intenzitou elektrického pole, kterým mohou být zachycené elektrony urychleny.

Plasma - je čtvrté skupenství hmoty, vzniká zahřátím a ionizací plynu, skládá se z iontů a elektronů, což vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynu, či roztržením molekul (ionizací).

#### Proč používáme laser

Díky laseru můžeme velmi malé množství energie (např.: 1 J) koncentrovat do velmi malého prostoru a krátkého časového okamžiku. Intenzita námi uvažovaného elektromagnetického záření je až ve výši řádově 10<sup>19</sup> W. cm<sup>-2</sup>.

### Metoda

Prováděli jsme simulace urychlování elektronů za pomocí metody particle-in-cell (PIC) na 32jádrovém počítači nobel5, který je umístěn na Katedře fyzikální elektroniky. Urychlování elektronů v plazmatu spočívá ve vystřelení laserového impulsu do plynného terče a následné injekci elektronů do bubliny vznikající za laserovým impulsem. Dosáhnout injekce není vůbec jednoduché, proto se hledají nové způsoby, jak nahradit nejistou samovolnou injekci. Injekce může proběhnout vystřelením druhého laserového impulsu do plynu v protiběžném směru.

### Výsledky

Nejprve jsme prováděli jednoduché simulace vytváření lineárního a nelineárního wakefieldu (viz obrázek č. 1, 2), jednoduché simulace samovolné injekce nebo injekce slabším protiběžným svazkem s padesátinovou intenzitou. Ta nás zaujala nejvíce, a proto jsme potom přistoupili k větší simulaci s těmito podmínkami. Zlepšili jsme ovšem výrazně numerické parametry simulace, tedy rozlišení mřížky a zvětšení simulační oblasti. Výpočet každé z jednoduchých simulací trval asi 15 minut, zatímco simulaci protiběžné injekce jsme museli nechat běžet přes noc, protože trvala asi 10 hodin.

	Lineární wakefield	Nelineární wakefield	Samovolná injekce	Protiběžná injekce
Velikost ohniska	14 µm	14 µm	14 µm	14 µm
Délka impulsu	30 fs	30 fs	30 fs	30 fs
Hustota elektronů	3. 10 <sup>24</sup> m <sup>-3</sup>	3. 10 <sup>24</sup> m <sup>-3</sup>	3. 10 <sup>25</sup> m <sup>-3</sup>	5. 10 <sup>24</sup> m <sup>-3</sup>
Buňky	2400 x 120	2400 x 120	2400 x 120	3750 x 300
Energie	0.07 J	1.2 J	5 J	1.2 J + 0.17 J
Max. energie	bez injekce	bez injekce	190 MeV *	290 MeV
Konec simulace	1.8 ps	1.8 ps	1.8 ps	18 ps

\* (energie bude ještě stoupat, protože jsme po dobu simulace nedosáhli středu bubliny)



Obrázek 1: Lineární wakefield



Obrázek 2: Nelineární wakefield



Obrázek 3-6: Vývoj sledovaných veličin v čase. Jsou to hustota elektronů, intenzita laserového svazku a energie urychlených elektronů.

Tyto čtyři obrázky jsou ze simulace protiběžné injekce. Na prvním obrázku vidíme dva laserové impulsy, za silnějším (vlevo) vzniká nelineární wakefield, zatímco za druhým, který je slabší, vzniká lineární wakefield. Impulsy se poté potkají a na druhém obrázku vidíme střetnutím vyvolanou injekci. K tomuto střetu došlo v čase 250 fs. Na třetím obrázku již můžeme vidět urychlující se elektronový svazek, kterému značně stoupá energie a to až na hodnotu 46 pJ (290 MeV), které dosáhne v čase 6.1 ps. Do doté doby urazí dráhu 1.8 mm. Je třeba poznamenat, že ve skutečnosti urychlovanému elektronu nenarůstá rychlost, ale energie. Toto vyplývá ze speciální teorie relativity. Na čtvrtém obrázku vidíme, že se elektronový svazek postupuje směrem kupředu vůči impulsu). Zároveň také vidíme, že impuls slábne a v bublinách za ním došlo k dalším injekcím (toto je většinou nechtěný jev, kterému lze předcházet výstřelem dalšího mírně opožděného laserového impulsu, který zbaví první impulsu tohoto nechtěného elektronového svazku).

# Shrnutí

Na počítačích jsme prováděli simulace lineárního a nelineárního wakefieldu, a později i simulace samovolné a protiběžné injekce. Zjistili jsme, že toto může být alternativní cesta jak urychlovat elektrony, která nevyžaduje velké materiální náklady ani spoustu místa jako standardní radiofrekvenční urychlovače. Elektrony jsme totiž urychlovali až na energii 290 MeV interakcí intenzivního laserového pulsu s plynným terčem o tloušť ce 2 mm. V budoucnu doufáme, že se tato metoda stane dostupnější a rozšířenější a tím napomůže základnímu výzkumu.

# Poděkování

Předně děkujeme Ing. Vojtěchu Hornému a doc. Ondřeji Klimovi, kteří nás touto problematikou provedli a zároveň bychom chtěli poděkovat organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

# **Reference:**

[1] Klimo, O., Simulace laserového urychlování částic na superpočítačích: <u>http://pi.fjfi.cvut.cz/mini/Simulace\_laseroveho\_urychlovani\_castic\_na\_superpocitacich/Blank</u>.<u>html</u>, navštíveno 20. 6. 2017

[2] Esarey, E., C. B. Schroeder, and W. P. Leemans. "Physics of laser-driven plasma-based electron accelerators." *Reviews of Modern Physics* 81.3 (2009): 1229.

[3] Lehe, R., et al. "Optical transverse injection in laser-plasma acceleration." *Physical review letters* 111.8 (2013): 085005.

# Simulace jaderné elektrárny s reaktorem VVER-440

J. Slabihoudek<sup>1</sup>, M. Rzehulka<sup>2</sup> <sup>1</sup>Gymnázium J. K. Tyla, Hradec Králové, <sup>2</sup>Wichterlovo gymnázium, Ostrava-Poruba jakub.slabihoudek@seznam.cz

20. června 2017

#### Abstrakt

Článek stručně seznamuje s jaderným reaktorem VVER-440 a simulací elektrárny na něm založené s využitím programu SimEd. Konkrétně popíšeme simulaci ručního snížení výkonu od reaktoru k turbíně, jehož průběh popíšeme z hlediska časového průběhu jednotlivých veličin popisujících stav primárního a sekundárního okuhu a činnosti jednotlivých systémů.

### 1 Úvod

U nákladných a složitých projektů, ke kterým jaderná elektrárna patří, je dobré mít předem jistotu, že daný návrh bude fungovat. Vzhledem ke složitosti řešení a množství fyzikálních jevů provázejících provoz je nutné používat počítačové simulátory. Takovézo kódy matematicko-fyzikálně řeší rovnice popisující fyzikální děje. Další výhoda simulátoru je pro výcvik. Na blokové dozorně elektrárny se chyby netolerují, na počítači to však nevadí, což z něj dělá skvělý výcvikový prostředek. Naše simulace sloužila k seznámení s reaktorem a poznání fyzikálních vztahů mezi jednotlivými veličinami (teploty, tlaky,...). Řešili jsme více úloh, včetně modelů některých havarijních stavů,

### 2 Jaderná elektrárna s reaktorem VVER 440

Budeme se zabývat elektrárnou s reaktorem typu VVER 440 (Vodou chlazený a Vodou moderovaný Energetický Reaktor) modifikací V213 (momentálně se používá např. v Dukovanech nebo Mochovcích). Reaktor je tlakovodní, proto se elektrárna člení na tři okruhy – na primární, sekundární a chladící. V primárním je jaderný reaktor, který funguje jako zdroj tepla, v sekundárním je hlavně turbína a generátor realizující Rankin-Clausiův cyklus, který vyrábí elektřinu, a chladící okruh odvádí nízkopotenciální kondenzační teplo.

#### 2.1 Primární okruh

V primárním okruhu se nachází reaktor, který díky v něm probíhající štěpné reakci ohřívá vodu, která je následně využita pro ohřev vody a tvorbu páry v sekundárním okruhu v parogenerátoru. Předáním tepla vodě v parogenerátoru se voda z primárního okruhu ochladí a je čerpána zpět do reaktoru. Jako palivo pro jaderný reaktor se používají tablety  $UO_2$ .

Tablety jsou umístěny v palivových proutcích, které se skládají do palivových kazet. Tyto tablety jsou z více jak 95% tvořeny <sup>238</sup>U, dále je v nich zastoupen <sup>235</sup>U, kterým se musí uran obohacovat, a ve velmi malém množství i <sup>234</sup>U. Právě izotop <sup>235</sup>U se v reaktoru štěpí nejčastěji na dva štěpné produkty, dva až tři neutrony a na energii ve formě kinetické energie uvolněných částic, jejichž zpomalováním se kinetická energie přeměňuje na tepelnou energii paliva a moderátoru. Samotný reaktor, který je spolu s parogenerátorem umístěný v hermetickém boxu, je tlakovou nádobou, která obsahuje aktivní zónu, v níž pobíhá štěpná reakce. Jeho výkon se reguluje pomocí regulačních tyčí, které jsou pro případ nouze doplněné bezpečnostními tyčemi, a změny koncentrace v chladivu rozpuštěné  $H_3BO_3$  Jako moderátor pro neutrony ze štěpení slouží voda, která slouží i jako chladivo a je přímo uvnitř reaktoru. Tepelný výkon reaktoru je 1375 MW (na Dukovanech je dnes výkon 1444 MW - navýšeno díky projektovým rezervám). Na 1 reaktor připadá 6 smyček (okruh s parogenerátorem a hlavním cirkulačním čerpadlem). K reaktoru přísluší zařízení ke kompenzaci objemu a tlaku.

#### 2.2 Sekundární okruh

Tento okruh začíná parogenerátorem, kde je vodou z reaktoru ohřívána voda na sytou páru, která roztáčí turbínu pohánějící generátor, který pak mechanickou energii turbíny přeměňuje na elektrickou energii. Pára z turbíny pak v kondenzátoru předává kondenzační teplo vodě chladícího okruhu. Zkondenzovaná voda pokračuje přes čerpadla a regenerační ohřev zpět do parogenerátoru. Hrubý elektrický výkon (bez odečtení spotřeby elektrárny) je 440 MW. Celý cyklus vody v sekundárním okruhu je Rankin-Clausiovým cyklem. Od bodu 5 k bodu 1 dochází ke zvýšení tlaku vody na čerpadle. Mezi body 1 a 2 dochází k ohřevu vody, od bodu 2 k bodu 3 je fázový přechod vody v páru. Mezi body 3 a 4 pára adiabaticky expanduje na turbíně. Od bodu 4 k bodu 5 probíhá kondenzace páry v kondenzátoru.



Obrázek 1: Základní Rankin-Clausiův cyklus v t-s diagramu a jeho zjednodušená realizace v sekundárním okruhu.

#### 2.3 Terciální okruh

Účelem tohoto okruhu je přijmutí kondenzačního tepla páry v kondenzátoru. Chladícím médiem je voda, která se při kondenzaci páry zahřeje a musí se zchladit v chladicích věžích.

# 3 Simulátor

Simulátor, se kterým si zkusíme pracovat, se jmenuje SimEd, který je zjednodušeným a pro počítače upraveným simulátorem používaným ve výcvikových střediscích. Simulátor máme nainstalovaný na čtyřech počítačích. Dva počítače představují řízení primárního okruhu a dva umožňují kontrolu sekundárního okruhu. Jeden z počítačů prvního okruhu je serverovým a právě přes něj se celý simulátor spouští. V každém z okruhů jsou dva počítače z toho důvodu, aby mohl jeden sloužit jako řídící pult, zatímco druhý počítač nám zobrazuje celkové schéma daného okruhu. Na schématech jsou červenou barvou zapnuté systémy, zelenou vypnuté.



Obrázek 2: Prostředí programu SimEd - schéma primárního okruhu

### 4 Průběh simulace

Výchozí situace zahrnovala reaktor v nominálním výkonu řízený automaticky v režimu N, což znamená řízení za účelem udržování konstantního výkonu pomocí neutronového toku. Začíná se vypnutím -p korektoru (hlídá změny tlaku a v případě změny zasáhne) u druhého turbogenerátoru. Pak přepneme 1. turbogenerátor do režimu p, tedy výkon turbogenerátoru se upraví podle tlaku hlavního parního korektoru. RCS se přepne z režimu N (udržování výkonu) do ručního řízení výkonu "od reaktoru", tedy výkon regulujeme zasouváním řídících tyčí 6. skupiny do aktivní zóny. Při zasunutí tyčí do reaktoru se snižuje počet neutronů v reaktoru (podkritický režim), tepelný výkon klesá a v důsledku toho klesne teplota chladiva na výstupu z aktivní zóny. S nižší střední teplotou primárního okruhu klesá objem a tlak chladiva. Tohoto si můžeme všimnout na kompenzátoru objemu. Při poklesu tlaku se zapnou elektroohříváky (topné spirály), z části vody se vytvoří pára a dojde ke zvýšení tlaku. Systém řízení udržuje konstantní tlak chladiva, aby vlivem vysoké teploty (pořád nad 270°C) nedošlo v primárním okruhu k varu.



Obrázek 3: Schéma primárního okruhu na konci simulace. Všimněme si zapnutých elektroohřívačů (červené obdélníky nahoře mírně vlevo). Modře zvýrazněné hodnoty jsou menší než normál - jde o výšku řídících tyčí, změnu teploty chladiva při průchodu aktivní zónou a výkon reaktoru (v procentech nominálního).



Obrázek 4: Schéma sekundárního okruhu na konci simulace. Nápadný je pokles výkonu turbíny 1 (vlevo) a menší tlak a výška hladiny v parogenerátorech - 6 čtverců v dolních rozích.

Změny v primárním okruhu vyvolávají změny v sekundárním okruhu. Nižší teplota

chladiva způsobuje menší výkon parogenerátoru (rychlost tepelné výměny je funkcí rozdílu teplot), proto vzniká méně páry, v důsledku čehož pozorujeme nižší tlak v parogenerátorech, rovněž hladina vody na sekundární straně parogenerátoru klesá. Na pokles tlaku v parním kolektoru reaguje řídící systém turbogenerátoru. Snižuje se pouze výkon 1. turbíny (je v režimu p - viz výše). Vždy je snaha držet konstantní výkon turbíny, aby pracovala co nejúčinněji. Proto se reguluje jen 1 turbína a druhá má konstantní otáčky.

Po dosažení požadovaného výkonu reaktoru jsme přepnuli do automatického režimu.

### 5 Shrnutí

Krom výše zmíněných úkolů jsme provedli více K našemu překvapení se jaderná elektrárna díky řídícím systémům řídí téměř sama, operátor na systémy "jen" dohlíží a zajišťuje mimořádné situace. Simulátor má k reálnému provozu dost daleko, na druhou stranu, je dobrým "startovním můstkem" pro studenty.

### Poděkování

Předem bychom chtěli poděkovat Panu Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D. za odborné vedení našeho miniprojektu, za ochotu, trpělivost a za cenné rady. Dále děkujeme FJFI za organizaci Týdne vědy.

### Reference

- [1] Skupina ČEZ: Jaderná energetika [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderneelektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html
- [2] Obrázky ze simulátoru
- [3] KOBYLKA, Dušan. Technická termodynamika s řešenými příklady. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05902-9.
# Postavte si laserový zaměřovač

T. Musil<sup>1</sup>, J. Řeha<sup>2</sup>, A. Schick<sup>3</sup>, B. Jiříčková<sup>4</sup> <sup>1</sup>Gymnázium Kolín, Žižkova 162, 280 31 Kolín 3 <sup>2</sup>Gymnázium Olgy Havlové, M. Majerové 1691, 708 00 Ostrava <sup>3</sup>SPŠST Panská 3, Praha 1 <sup>4</sup>Gymnázium Pierra de Coubertina, Náměstí Františka Křižíka 860, 391 01 Tábor bara.jirik@gmail.com

20. června 2017

#### Abstrakt

V této úloze bylo možné sestavit laserový systém v praxi využívaný v dálkoměrech a naměřit jeho výstupní charakteristiky. Dále si ověřit absorpci záření o vlnové délce 1,53  $\mu$ m ve vodě.

## 1 Úvod

Cílem našeho miniprojektu bylo sestavit a měřit laserový systém, který se v praxi používá jako zaměřovač nebo dálkoměr. Za tímto účelem jsme se vydali do laboratoře pevnolátkových laserů na Katedru fyzikální elektroniky FJFI ČVUT v Praze.

Nejprve jsme byli seznámeni s bezpečnostní práce s lasery a v laboratoři nám bylo vysvětleno, jak lasery fungují. Pracovali jsme s pevnolátkovým laserem Er:Sklo, který generuje vlnovou délkou 1,53  $\mu$ m, jež nachází využití v dálkoměrech, z toho důvodu, že je oku bezpečná. To proto, že nepronikne na sítnici lidského oka. Další výhodou je, že se tato vlnová délka dobře šíří vzduchem a je možné ji využívat v komunikacích.[1]

LASER je anglická zkratka pro zesilování světla stimulovanou emisí (LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). [2,3] Je to zařízení které generuje monochromatické, koherentní záření s velkým jasem a malou divergencí, přičemž se jedná o frekvenční rozsahy  $10^{11}$  -  $10^{17}$  Hz. [4] Laser je zařízení fungující na principech kvantové mechaniky, které popsal roku 1916 Albert Einstein. Zjednodušeně by se dalo říct, že pevnolátkový diodově čerpaný laser je zařízení využívající procesů absorpce, spontánní a stimulované emise fotonů. Kdy je nejprve absorbován čerpací foton, který excituje kvantové soustavy (atomy, molekuly a ionty) na vyšší energetické hladiny. Při sestupu této kvantové soustavy na nižší energetickou hladinu dochází ke spontánnímu vyzáření fotonu. Pokud je tato kvantová soustava při přechodu stimulována dopadajícím fotonem s vhodnými parametry dojde ke stimulované emisi, tedy vyzáření fotonů. Optický rezonátor laseru pak zesiluje stimulované záření a po překročení prahu generace laseru, dojde ke generaci laserového záření. [2,3]

## 2 Postup měření

Nejprve bylo potřeba sestavit laserový rezonátor a vyrovnat do jedné osy jeho jednotlivé prvky. Pro vycentrování laserového systému do jedné roviny jsme použili He–Ne laser a zpětné odrazy od jednotlivých prvků laserového systému (rovinné čerpací zrcadlo, sférické výstupní zrcadlo a aktivní prostředí). Systém jsme ladili do té doby, než se naváděcí svazek He–Ne laseru překrýval s jednotlivými odrazy od prvků laserového rezonátoru. Na obrázku 1 je vidět schéma laserového rezonátoru. Dále jsme za výstupní zrcadlo umístili fotodiodu PIN FGA10 (materiál čipu – InGaAs) s filtrem FEL1400, která byla připojena k osciloskopu Tektronix TDS3052B. Pomocí ladění výstupního zrcadla jsme dosáhli laserové akce, kterou jsme mohli sledovat na displeji osciloskopu. Po dosažení laserování jsme se snažili za pomoci ladění všech prvků laserového rezonátoru docílit co největšího výstupního výkonu.



Obrázek 1: Schéma laserového rezonátoru s aktivním prostředím Er:Sklo

Následně jsme za výstupní zrcadlo umístili částečně propustné zrcadlo, které odráželo 99 % dopadajícího laserového záření, toto záření směřovalo do výkonové sondy Coherent PS19Q. Ta byla zapojena do wattmetru Molectron EMP2000. Zbylé průchozí 1 % směřovalo na fotodiodu PIN FGA10 zapojené do osciloskopu. Od sklíčka výkonové sondy zbytek rozptýleného záření dopadal na optické vlákno, jež bylo připojeno ke spektrometru OceanOptics NIR512, kterým bylo měřeno spektrum laserového záření.

Za zvyšování čerpacího výkonu jsme měřili výstupní výkon záření zkonstruovaného erbiového laseru. Čerpacím zdrojem byla laserová dioda LIMO970, která emitovala záření o vlnové délce 967 nm. To bylo vedeno vláknem do fokusující optiky, ze které bylo směřováno do aktivního prostředí laseru, jak je vidět z obrázku 1. Po naměření výstupních charakteristik laserového systému bylo potřeba zjistit absorbovaný výkon v Er:Skle. Ten jsme získali z rozdílu výkonů naměřených před a za aktivním prostředím. Při těchto měřeních byla využita sonda Coherent PM3.

Abychom potvrdili, zda záření o vlnové délce  $1,53 \ \mu m$  může projít lidským okem (které je převážně tvořeno z vody) až na sítnici, umístili jsme za výstupní zrcadlo postupně několik kyvet různých tlouštěk (0,5; 1; 2 cm) naplněných vodou.

## 3 Výsledky a diskuze

Prvním úkolem našeho projektu bylo změřit výkonovou charakteristiku laserového systému, jejíž graf je vidět na obrázku 2. Ze získaných dat vyplývá, že diferenciální účinnost laseru je 14 % a maximální dosažený výstupní střední výkon byl 35,1 mW. Při měření délky pulsu byla zjištěna maximální délka laserového pulsu 2,89 ms viz obrázek 3. Dalším úkolem bylo změřit čerpací a výstupní vlnovou délku laserového záření, která je znázorněna na obrázku 4.

Finální částí našeho měření bylo otestovat absorpci laserového záření o vlnové délce 1,53  $\mu$ m ve vodě. K simulaci lidského oka nám sloužily tři kyvety o různých tloušťkách. Z našeho měření bylo zjištěno, že skoro veškeré záření je pohlceno již při tloušťce kyvety odpovídající přibližně polovině tloušťky (1 cm) lidského oka a jeho výkon je už neměřitelný.



Obrázek 2: Závislost výstupního na absorbovaném středním výkonu; T – teplota prostředí,  $\lambda_{laser}$  – vlnová délka zkonstruovaného laseru, f – opakovací frekvence čerpacího pulsu,  $\Delta t$  – délka čerpacího pulsu,  $\lambda_{cerpani}$ - čerpací vlnová délka



Obrázek 3: Časový průběh laserového pulsu – žlutá



Obrázek 4: Emisní spektrum čerpacího a výstupního záření

## 4 Závěr

Podařilo se nám sestavit laserový systém generující vlnovou délku 1,53  $\mu$ m a změřit jeho výstupní charakteristiky prezentované výše. Na základě těchto měření jsme zjistili, že laser má relativně malou účinnost – 14 % s maximálním výstupním výkonem 35 mW. Za pomocí kyvet naplněných vodou jsme potvrdili, že záření o vlnové délce 1,53  $\mu$ m nepronikne na sítnici lidského oka. Tudíž komerčně prodávané laserové dálkoměry využívající tuto vlnovou délku jsou bezpečné pro lidské oko.

# Poděkování

Chtěli bychom poděkovat TV@J za možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři.

## Reference

- B. Denker and E. Shklovsky, ed.: Handbook of solid-state lasers, Woodhead Publishing Limited, 80 High Street, Sawston, Cambridge CB22 3HJ, UK, 2013, ISBN 978-0-85709-750-7.
- [2] W. Koechner, *Solid-State Laser Engeneering*, Springer Science+Business Media, 2006, ISBN 0-387-29338-8.
- [3] R. Paschotta, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, Wiley-VCH, 2008, ISBN 978-3-527-40828-3.
- C. M. Teich and B.E.A. Saleh, Základy fotoniky, Wiley-interscience Publication, 1991, ISBN 0-471-83965-5.

# Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata?

J. Malinak SPŠST Panská 3, Praha 1 jiri.malinak@hotmail.com

#### Abstrakt

V této práci se zabývám metodou zeslabené totální reflexe, při níž se dají s pomocí optických pozorování zjišťovat vlastnosti elektronového obalu zkoumané látky. Naměřil jsem intenzitu odraženého světla od nanovrstvy zlata pod různými úhly. Vypočítal jsem plazmovou frekvenci zlata a následně koncentraci elektronů.

## 1 Úvod

Zlato má zajímavé vodivé a optické vlastnosti. Jejich původ se nachází v oblaku volných elektronů. Tyto elektrony nejsou pevně vázány na atom a volně se v látce pohybují. Jedná se o elektrony pocházející z 6s orbitalů. Já budu měřit koncentraci těchto volných elektronů.

Využiji metody zeslabené totální reflexe. Je to fyzikální postup, při kterém se využívá pozorování intenzity odraženého světla pod různými úhly.

## 2 Teorie

Elektronovou hustotu lze vypočítat pomocí plazmové frekvence zlata. Plazmová frekvence udává, pro které frekvence světla je daná látka propustná. Pokud je frekvence záření vyšší než plazmová frekvence, elektrony v látce nestíhají reagovat a materiál je tedy pro danou frekvenci světla průhledný. Když je frekvence nižší nežli plazmová, volné elektrony se stíhají přizpůsobovat elektrickému poli a kmitat s ním. Tím ho z materiálu vypuzují a zabraňují jeho šíření látkou. Plazmová frekvence je tedy bod, ve kterém je relativní permitivita rovna nule.

Relativní permitivitu je potřeba určit z Fresnelových rovnic. Ty popisují intenzitu odraženého a lomeného světla. [2]

Při úplném odrazu dochází k energetickým ztrátám. Tato energie je přeměněna do podélných kmitů plazmonů. Plazmon je kvazičástice. Ty si lze představit jako kolektivní pohyb elektronů. Nejedná se tedy o skutečnou částici, ale o zjednodušený popis mnohočásticového systému, který vykazuje stejné vlastnosti. [3]

# 3 Praktická část

### 3.1 Příprava vzorku

Na začátku bylo potřeba vytvořit vhodný vzorek zlata v podobě tenké nanovrstvy. Vytvořil jsem jej pomocí fyzikální depozice z plynné fáze, tedy metodou PVD. Při ní se roztaví kus kovu, nechá se odpařovat a poté zkondenzovat na potřebný povrch.

Pro nanášení zlata jsem připravil speciální sklíčko. Je u něj kladen důraz na to, aby jeho index lomu byl stejný jako index lomu hranolu, který v dalších krocích použiji. Poté jsem připravil vaničku se zlatem v podobě wolframového plíšku napojeného na elektrický proud. Ohmickým ohřevem se zvyšuje jeho teplota a zlato na něm se taví. Páry zlata jsou rozneseny po celém objemu komory a velmi rychle kondenzují na povrchy uvnitř. Na sklíčku se vytvořila tenká vrstva zlata o tloušťce zhruba 33 nm. Tento vzorek je již připravený na využití metodou ATR.

## 3.2 Měření

Vrstvu zlata na sklíčku jsem upevnil do nástavce, který jej přichytil k hranolu. Pro lehčí výpočet je vhodné, aby sklíčko i hranol měly stejný index lomu. K zamezení vytvoření vzduchové vrstvy mezi nimi jsem použil imerzní kapalinu. Celá soustava měla následující podobu (Obrázek 1).



Obrázek 1: Sestava ATR [1]

Paprsek z laseru vstupuje do hranolu, láme se a odráží od tenké vrstvy zlata. Odraz je snímán fotodiodou tak, že světlo v místnosti je vyrušeno a měříme pouze světlo z laseru. K tomu slouží takzvaný Lock-in zesilovač. Celý tento proces měření je automatizovaný. Úhly dopadu a odrazu jsou nastavovány krokovým motorem. Výstupem je graf závislosti intenzity odraženého světla na úhlu dopadu (Obrázek 2).



Obrázek 2: Výstupní graf s fitem

### 3.3 Výpočet

Nejprve vypočítám úhlovou frekvenci  $\omega$  světla odrážejícího se od vzorku zlata. Použil jsem laser o vlnové délce  $\lambda = 633 nm$ .

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} \tag{1}$$

Relativní permitivitu zlata  $\varepsilon_r$  jsem zjistil pomocí fitu modelu, který využívá Fresnelových rovnic. Ty popisují intenzitu lomeného a odraženého světla. Tento model také bere v úvahu několikanásobné odrazy světla. Dostal jsem hodnotu  $\varepsilon_r = -9, 5$ .

$$\omega_p = \omega \sqrt{1 - \varepsilon_r} \tag{2}$$

Plazmová frekvence mi vyšla  $\omega_p = 9,612 \cdot 10^{15} \ rad \cdot s^{-1}$ . Tuto hodnotu již stačí dosadit do vzorce pro výpočet elektronové hustoty n.

$$n = \frac{\omega_p^2 \varepsilon_0 m_e}{e^2} \tag{3}$$

Výsledná elektronová hustota vychází  $n = 2,902 \cdot 10^{28} m^{-3}$ . Na závěr jsem výsledek přepočítal na počet elektronů na počet atomů. Vyšlo mi, že se ve vzorku na jeden atom nachází 0,491 elektronů.

#### 3.4 Zhodnocení

Výsledné hodnoty nejsou zcela správné. Tabulková hodnota relativní permitivity pro vlnovou délku 633 nm totiž činí  $\varepsilon_r = -11, 75.$  [4] Tato chyba mohla vzniknout znečištěním vzorku zlata zbytkovými plyny ve vakuové komoře.

Další chyba vznikla zanedbáním komplexní části relativní permitivity zlata. Ta popisuje útlum oscilací plazmonů. Tento útlum vzniká především srážkami jednotlivých elektronů. Elektrony také nejsou úplně volné, ale jsou lehce vázány na jednotlivé atomy. Tato zanedbání mají za následek chybný výsledek.

Ve skutečnosti se nachází ve zlatě jeden volný elektron na jeden atom. Můj výsledek činil 0,491 elektronů na atom. I přesto považuji toto měření za úspěšně provedené.

## 4 Shrnutí

Naměřil jsem počet volných elektronů pomocí metody zeslabené totální reflexe. Toto měření ukázalo, že se zlato chová jako plazma. Nacházejí se v něm volné elektrony, které mají za následek jeho optické a vodivé vlastnosti.

Kromě mého měření se dá technologie ATR využít jako biosenzor. Pokud se na vrstvu zlata naváží některé biomolekuly, změní se index lomu. Tato změna se projeví posunutím spektra. Takto se dají detekovat například bílkoviny, nukleové kyseliny atd.

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Levinskému za jeho pomoc a předané znalosti. Děkuji také organizačnímu týmu TV@J a především Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

## Reference

- Levinský, Petr. Interaction of NH3/N2 Mixtures with a PDMS-Based Chemo-Optic Transducer Layer. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [2] Kulhánek, Petr. Vlny v plazmatu, [cit. 20.6.2017], http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/plazma/waves.php
- [3] Kulhánek, Petr. Plazmon, [cit. 20.6.2017], http://www.aldebaran.cz/glossary/ print.php?id=581
- [4] Refractive index database, [cit. 20.6.2017], https://refractiveindex.info/?shelf= main&book=Au&page=Johnson

## Zombie apokalypsa – Monte Carlo simulace

<sup>1</sup>M. Jelínek, <sup>2</sup>E. Povolná, <sup>3</sup>Š. Balvínová, <sup>4</sup>M. Čechurová <sup>1</sup>Gymnázium Elišky Krásnohorské, Ohradní 55, Praha 4 <sup>2,3</sup>Gymnázium, Žitavská 2967, Česká Lípa <sup>4</sup>Gymnázium a SOŠ, Plasy, Školní <sup>1</sup><u>miki.29@seznam.cz</u>, <sup>2</sup><u>eliska.povolna@gmail.com</u>, <sup>3</sup><u>stepanka.balvinova@gmail.com</u>, <sup>4</sup><u>marketace@volny.cz</u>

#### Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo vytvořit věrnou simulaci problému typu predátorkořist. K tomuto účelu jsme použili program Matlab, ve kterém jsme programovali model uzavřené komunity a poté i ověřovali jeho funkčnost. Seznámili jsme se s metodou Monte Carlo a i pomocí dalších statistických postupů jsme nakonec funkční příklad společnosti napadené predátorem vytvořili.

# 1 Úvod

Zajímalo nás, jak by společnost obstála při zombie apokalypse. Potřebovali jsme model určité uzavřené komunity, která nebude podléhat vnějším vlivům. Vybrali jsme si společnost na nově kolonizované planetě, konkrétně na Marsu. Část z určitého počtu tamních kolonizátorů se v našem příběhu nakazila mikroorganismy z půdy, které v nich vyvolávaly přeměnu v zombie.

Dále jsme simulovali vývoj populací lidí a zombie při určitých podmínkách. Využili jsme model predátor-kořist společně s Eulerovou metodou a metodou Monte Carlo.

### 2 Postup

### Metody, program

Nejdříve jsme poznali model predátor-kořist. Model predátor-kořist, obecně nazýván i jako Lotko-Volterrovy diferenciální rovnice, je jednoduchý model zabývající se střetem predátora a kořisti, a zároveň jeden z prvních pokusů o matematické zobrazení druhového soužití. Jinými slovy jde o popis či zkoumání vývoje predátorů v závislosti na počtu zbývající populace.<sup>[1]</sup>

Následně jsme se seznámili s programem Matlab a naučili se v něm základní postupy. Matlab je program i programovací jazyk pro řešení matematických problémů.

Pomocí tohoto programu jsme pochopili princip metody Monte Carlo, která pomocí pseudonáhodných čísel určuje střední hodnotu veličiny, jež je výsledkem náhodného děje. Je potřeba nechat proběhnout dostatečné množství simulací, aby se mohla data zpracovat stochastickými metodami přesněji.<sup>[2]</sup>

Pro řešení Lotko-Volterrových rovnic jsme využívali Eulerovu metodu, kterou se řeší jednoduché diferenciální rovnice.<sup>[3]</sup>

### Simulace

Simulace proběhla v programu Matlab. Náš supervizor nám poskytl kostru simulace, kterou jsme značně upravili. Nadefinovali a naprogramovali jsme několik populací, které se vzájemně ovlivňovaly – lidé a zombie ve dvou různých fázích.

Lidé měli přirozený přírůstek, umírali v boji se zombie nebo se přeměňovali na zombie fáze 1.

Zombie fáze 1 jsou nově vzniklí zombie ještě s neúplnou přeměnou. Pro úplnou potřebují dostatek potravy, proto jsou agresivnější a jsou schopní přeměnit lidi.

Zombie fáze 2 už jsou agresivní méně a lidi jen zabíjí.

Po přidání Monte Carlo (pseudonáhodných) prvků bylo možné léčit zombie ve fázi 1 a šílený vědec občas snižoval populaci zombie obou fází. Ze Země každé dva roky (při přiblížení Země a Marsu) mohla připlout další kolonizační loď čítající dalších 10 tisíc pasažérů.



Výsledky



Obr. 3 Zprůměrovaný graf populací v časovém vývoji s pseudonáhodnými prvky (10 pokusů)

I při zahrnutí námi zvolených pseudonáhodných prvků se hodnoty populací po nějaké době ustálí. Jedinou výraznější změnu způsobuje léčba. Po připlutí nových kolonizátorů dojde k výrazným výkyvům, kdy populace střídavě klesají a stoupají, ale pak se stejně znovu poměrně ustálí.

### Diskuse

Výsledky byly poměrně nečekané. Zjistili jsme, že za námi zadaných podmínek by byli zombie schopní koexistovat s lidmi. Na první pohled se tyto výsledky nezdají příliš realistické, ale daly by se odůvodnit. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že lidé i zombie se adaptují a přibývá jich vždy úměrně tomu, kolik jich ubývá. Což funguje mezi predátorem a kořistí podobně i v přírodě – málokdy se druhy vzájemně vyhubí. Byli jsme omezeni výpočetními zdroji v učebně FJFI, proto jsme nemohli provést větší počet simulací.

# 3 Shrnutí

Zjistili jsme, že zombie by byli schopní za určitých podmínek koexistovat s lidmi. Nadějí do budoucna pro nás tedy může být, že kdyby se objevil predátor lidí, tak by lidstvo nemuselo být vyhubeno.

# Poděkování

Vřele děkujeme supervizorovi Martinovi Matysovi za nezbytnou pomoc při programování, Vojtěchu Svobodovi za organizování Týdne vědy a Mense Arnošta z Pardubic za poskytnuté stravování.

# **Reference:**

- [1] MATOUŠKOVÁ, K.: Lotka-Volterra Model Predátor Kořist. Plzeň, 2009. Dostupné také z: <u>http://num.kma.zcu.cz/galerie/MM-prace/Galerie%20MM%202009/Matouskova-%20Predator-korist.pdf</u>
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Monte\_Carlo\_method
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Lotka-Volterra\_equations
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Euler\_method



### Proč studovat na Jaderce?

- Výběr z pestrého spektra oborů a zaměření
- Řada oborů je na Jaderce unikátní v rámci ČR
- Již v 2. roč. Bc. studia se řada studentů zapojuje do 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
- Přístup k moderním technologiím, k výpočetní technice a Internetu
- Individuální a neformální kontakt studentů s 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

## Jaké uplatnění mají absolventi?

Absolventi Jaderky nemají problém s uplatněním – zvládají měřit laserem vzdálenost od Měsíce či propojovat počítačové sítě mezi mrakodrapy; umí 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.

## Kde se dozvím více? Čeho dalšího se můžu zúčastnit?

O fakultě se dá dozvědět více účastí na akcích, které pořádá. Jmenujme některé z nich

- Den otevřených dveří pořádá se dvakrát ročně, zpravidla v listopadu a v únoru
- Kurz z matematiky a fyziky pro přípravu ke studiu na technických VŠ od listopadu do března
- Úvodní soustředění Turnaje mladých fyziků v druhé polovině října
- Letní studentské soustředění TCN zpravidla v srpnu
- Nebo třeba opět za rok na Týdnu vědy na Jaderce

Web Jaderky pro středoškoláky <u>www.jaderka.cz</u> Oficiální web fakulty <u>www.fjfi.cvut.cz</u>

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Břehová 7, 115 19 Praha 1

# Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

# Českého vysokého učení technického v Praze



*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská* Českého vysokého učení technického v Praze (dále jen FJFI) poskytuje vysokoškolské vzdělání tradičně vysoké úrovně s individuálním přístupem k jednotlivým studentům.

### Historie

Fakulta byla založena v roce 1955 pod názvem *Fakulta technické a jaderné fyziky Univerzity Karlovy* v rámci československého jaderného programu, výuka na nově vzniklé fakultě byla zahájena 6. září 1955. Záhy se ukázalo, že jaderná technika není úzce spojena jen s jadernými obory, ale naopak vyžaduje úzké propojení matematiky, fyziky a chemie i přírodovědných oborů s technickou praxí. Proto fakulta postupně rozšiřovala svou působnost v matematických, fyzikálních a chemických oborech. Dostala se tím na rozhraní dvou tradičních vysokých škol, a to univerzity a techniky. Jako fakulta fyzikálně inženýrského charakteru proto byla v srpnu 1959 převedena z Karlovy univerzity pod České vysoké učení v Praze. Přičemž v červenci 1968 došlo ke změně názvu na nynější, tj. *Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská* ČVUT v Praze. Tento název již "Jaderce" zůstal. I když plně nevystihuje zmíněnou širokou paletu zaměření, lze tradiční název fakulty chápat téměř jako ochrannou známku, která zahrnuje oprávněnou hrdost na trvale vysokou kvalitu absolventů a podporuje vědomí pedagogů i studentů o příslušnosti k "*rodině Jaderňáků*". Být "Jaderňákem" vždycky něco znamenalo a stále znamená.

### Současnost

Výuka a výzkum na FJFI nyní tematicky 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. Zcela přirozeně a jednoznačně se při volbě názvu *studijního programu* na fakultě *akreditovaného*, zvolila *Aplikace přírodních věd*.

### Výzkumná centra

Při fakultě působí několik specializovaných pracovišť podporujících vědeckou činnost a výchovu mladých vědeckých pracovníků: školní jaderný reaktor VR-1, fúzní tokamak Golem, stanice laserového družicového radaru v Egyptě, Dopplerův ústav pro matematickou fyziku a aplikovanou matematiku, Česko-americké výzkumné centrum částicové fyziky BNL-CZ, Centrum fyziky ultra-relativistických jaderných srážek, Centrum aplikované fyziky a pokročilých detekčních systémů, multidisciplinární výzkumné centrum pokročilých materiálů AdMat, Centrum laserového plazmatu, Nanobiofotonika pro medicínu budoucnosti.

### Spolupráce se zahraničními univerzitami a institucemi

Fakulta prostřednictvím kateder spolupracuje s více než padesáti zahraničními univerzitami, s vědeckými institucemi z více než dvaceti zemí celého světa a s věhlasnými mezinárodními organizacemi typu CERN apod. Tyto kontakty umožňují studentům zapojení do mladých dynamických kolektivů s velkou profesní perspektivou i mimo akademickou sféru.

### Studium

Fakulta je složená z deseti kateder (viz níže), poskytuje vysokoškolské vzdělání formou řádného denního strukturovaného studia (bakalářské studium, titul Bc., navazující magisterské studium, titul Ing.). Studium probíhá formou přednášek, cvičení (seminárních a laboratorních), prostřednictvím odborných praxí a individuálních konzultací. Standardní délka studia je tři roky v bakalářském programu a tři roky v navazující magisterské m programu. Při splnění určitých podmínek lze absolvovat bakalářský a navazující magisterský program během pěti

let. Studium je zakončeno státní závěrečnou zkouškou spojenou s obhajobou diplomové práce. Tato práce má tvůrčí charakter a její příprava a zpracování probíhá v přímé návaznosti na konkrétní úlohy z praxe. Mezi vědeckou a pedagogickou prací je úzká vazba, přímé zapojení studentů do řešení vědecko-výzkumných programů a příprava na moderní kolektivní formy vědecké práce dává výuce unikátní rozměr.

## Přehled studijních oborů FJFI ČVUT V Praze

Bakalářské obory	Navazující magisterské obory
Matematické inženýrství Matematické modelování Matematická fyzika Aplikované matematicko-stochastické metody	Matematické inženýrství Matematická fyzika Aplikované matematicko-stochastické metody
Inženýrství pevných látek	Inženýrství pevných látek
Diagnostika materiálů	Diagnostika materiálů
Fyzika a technika termojaderné fúze	Fyzika a technika termojaderné fúze
Fyzikální elektronika	Laserová technika a elektronika Optika a nanostruktury
Matematická informatika	Matematická informatika
Informatická fyzika	Informatická fyzika
Aplikace softwarového inženýrství	Aplikace softwarového inženýrství
Jaderné inženýrství	Jaderné inženýrství
Experimentální jaderná a částicová fyzika	Experimentální jaderná a částicová fyzika
Dozimetrie a aplikace ionizujícího záření	Dozimetrie a aplikace ionizujícího záření Radiologická fyzika
Jaderná chemie	Jaderná chemie

### Bakalářské obory bez přímé návaznosti do magisterského studia

Laserová a přístrojová technika Fyzikální technika Aplikovaná informatika Radiologická technika

### Stručné profily kateder

### 1. Katedra matematiky (KM)

Katedra zajišťuje veškerou výuku matematiky pro všechny obory. Působí zde čtyři výzkumné skupiny:

GAMS – Skupina aplikované matematiky a stochastiky se zabývá studiem fyzikálních, biologických a sociálních systémů, metodami matematické statistiky, matematické analýzy a teorie pravděpodobnosti,

MAFIA – Skupina "Metody algebry a funkcionální analýzy v aplikacích" se věnuje výzkumu v oblasti matematické fyziky,

MMG – Skupina matematického modelování se věnuje modelování a numerickým simulacím komplexních jevů v high-tech designu, v ochraně životního prostředí a počítačové vědě.,

TIGR – Skupina teoretické informatiky se věnuje aktuálním tématům diskrétní matematiky s aplikacemi v informatice i fyzice.

### 2. Katedra fyziky (KF)

Katedra fyziky zajišťuje základní kurzy fyziky a fyzikálních praktik bakalářského studia a výuku partií fyziky navazujících na základní kurz. Výzkum na katedře je zaměřen na řadu problémů matematické fyziky, kvantové informace a komunikace, jaderné a částicové fyziky a fyziky plazmatu a tokamaků. Členové katedry a jejich

studenti spolupracují s řadou předních univerzit a vědeckých pracovišť v Evropě a ve světě včetně laboratoří v CERN, Brookhaven National Laboratory a JET. Pro vědecké a výukové účely provozuje katedra vlastní fúzní reaktor (tokamak) Golem.

#### 3. Katedra jazyků (KJ)

Katedra jazyků zajišťuje veškerou výuku jazyků pro všechny obory a studenty fakulty, od naprostých začátečníků, přes mírně pokročilé až po pokročilé lekce s rodilým mluvčím. Kromě toho se katedra podílí na výuce v oboru *Aplikovaná informatika*, který je zaměřený na zvládnutí technické a jazykové přípravy na vysokém stupni kvality a znalostí. Katedra nabízí výuku v angličtině, němčině, španělštině, francouzštině, v ruštině a výuku češtiny pro cizince.

#### 4. Katedra inženýrství pevných látek (KIPL)

Výuka vychází z nejdůležitějších poznatků klasické a kvantově mechanické teoretické a experimentální fyziky pevných látek. Je podávána formou specializovaných kurzů, zahrnuje popis a charakterizaci struktury pevných látek a jejich nejdůležitějších fyzikálních vlastností. Kurzy jsou tematicky členěny podle typu látek, jejich vlastností a analytických. Významná pozornost je věnována praktické laboratorní výuce a výuce soudobých postupů klasických a kvantově mechanických počítačových simulací kondenzovaných látek. Výuka se prolíná s vědecko-výzkumnou činností soustředěnou do sedmi specializovaných výzkumných laboratoří spolupracujících se špičkovými domácími a zahraničními výzkumnými a vzdělávacími institucemi.

#### 5. Katedra fyzikální elektroniky (KFE)

Katedra umožňuje studentům získat kromě obecného základu aplikované fyziky i hlubší znalosti a experimentální zkušenosti v oblasti fyziky a techniky laserů, klasické i kvantové elektronice, v moderní optice, fotonice, plazmonice, optoelektronice, mikroelektronice, v nanotechnologiích a nanostrukturách a v moderních technologiích obecně, v holografii či v technice a aplikací iontových svazků, apod. Katedra má dobře vybavené specializované laboratoře s moderní experimentální a výpočetní technikou i laboratoře pro praktickou výuku studentů (elektronika, optoelektronika a optika, laserová technika). Nové oblasti základního výzkumu vznikají na základě projektů studentů především v oblastech laserové fyziky a techniky, fyziky a aplikaci nanostruktur, fotoniky a plazmoniky, optického zpracování signálu, metamateriálů, rentgenové difraktivní optiky atd.

### 6. Katedra materiálů (KMAT)

Výuka je zakotvena v obecném matematicko-fyzikálním základu, na nějž navazují znalosti z fyziky pevných látek, aplikované mechaniky, lomové a počítačové mechaniky a dalších fyzikálních a matematických předmětů. Značný důraz je kladen na výuku experimentálních metod výzkumu vlastností materiálů. Studenti získávají i znalosti nezbytné pro tvůrčí využívání výpočetní techniky. Vědecko-výzkumná činnost katedry je založena na komplexním přístupu ke studiu porušování těles a konstrukcí, zahrnujícím fyzikálně metalurgické aspekty, aplikace lomové mechaniky, matematické modelování polí napětí a deformace, výzkum procesů porušování v mikroobjemu i pravděpodobnostní přístup ke studiu spolehlivosti systémů. Součástí katedry je fraktografické pracoviště, které má statut autorizované zkušebny českého leteckého průmyslu a výzkumu.

### 7. Katedra jaderné chemie (KJCH)

Při výuce chemie studenti získají teoretickou i praktickou průpravu ve všech základních chemických oborech, tj. ve fyzikální, anorganické, analytické, obecné a organické chemii a v biochemii. Studenti mají na výběr profilovat se v oblasti aplikované jaderné chemie, chemie životního prostředí a radioekologie, či jaderné chemie v biologii a medicíně. Studenti rovněž získají mezioborový přehled v matematice, fyzice a chemii. Vědecko-výzkumná činnost je zaměřena na radioekologii, výzkum chování radionuklidů v životním prostředí, separaci radionuklidů a těžkých kovů, radioanalytickou chemii, radiofarmaceutickou chemii, na zneškodňování odpadů, využití radiačně chemických metod, modelování separačních a migračních procesů a na použití radionuklidů a ionizujícího záření v medicínských disciplínách.

### 8. Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření (KDAIZ)

Obor *Dozimetrie a aplikace ionizujícího záření* klade důraz na experimentální jadernou fyziku a techniku, osobní dozimetrii, problematiku životního prostředí, dozimetrii jaderně energetických zařízení, metrologii záření

a aplikace ionizujícího záření ve vědě, technice, medicíně a dalších oborech. Obory *Radiologická fyzika* a *Radiologická technika* se zabývají aplikací ionizujícího záření a radionuklidů v radiodiagnostice, radioterapii a nukleární medicíně. Katedra se podílí na řešení vědeckovýzkumných úkolů jak v oblasti dozimetrie a ochrany před zářením, tak i ve vybraných oblastech aplikací ionizujícího záření. Členové katedry úzce spolupracují s vybranými pracovišti vysokých škol a výzkumných ústavů u nás i v zahraničí.

#### 9. Katedra jaderných reaktorů (KJR)

Vychovává posluchače v oboru *Jaderné inženýrství*. Student získá vědomosti základních fyzikálních, matematických a informatických disciplín, které jsou prohloubeny v oblasti jaderných technologií, jaderné energetiky a ochrany před ionizujícím zářením. Posluchači se mohou profilovat přímo podle požadavků praxe v oblasti jaderné energetiky a získají široké vědomosti v pokročilých disciplínách reaktorové a neutronové fyziky a termohydrauliky, které jsou zaměřeny na oblast teorie, konstrukce a provozu jaderných reaktorů. Kromě toho rovněž vzdělávání v praktických inženýrských znalostech stavby a provozu jaderných zařízení. Teoretická výuka je doplňována experimentální praxí v laboratořích a na školním jaderném reaktoru VR-1, který katedra jaderných reaktorů provozuje. K dispozici má i neutronovou laboratoř, praktická výuka je doplněna o úlohy ve spektrometrické laboratoři zaměřené na principy detekce neutronů a gama záření a základy neutronové aktivační analýzy. Vědecká činnost katedry se věnuje reaktorové a neutronové fyzice, bezpečnosti jaderných zařízení nebo výpočetním nástrojům pro analýzu jaderných reaktorů.

#### 10. Katedra softwarového inženýrství (KSI)

Studium je založené na průpravě v matematice, na základech ekonomie, marketingu, manažerství, fyziky, dvou světových jazyků a práva. Důraz je kladen na široké spektrum "počítačových" disciplín, od základů programování a algoritmizace, přes programovací jazyky Delphi, C++, databáze SQL, až po moderní jazyky jako je JAVA nebo XML. Je zde zastoupena i tvorba internetových aplikací apod. Absolvent je předurčen pracovat nejen jako řadový programátor či správce sítě, ale i jako vedoucí projektů, ředitel IT oddělení firem apod. Jednou z mezinárodních spoluprací je softwarové zabezpečení fyzikálního experimentu COMPASS v CERN. Členové týmu se starají o bezproblémový chod jednoho z největších databázových systémů, který musí být schopen v reálném čase zpracovávat data o velikosti 5 GB/s (tedy 1 DVD za vteřinu), ukládat je a poskytovat roztříděná experimentátorům. Katedra se rovněž věnuje včasné diagnostice Alzheimerovy chorobě. Cílem je umožnit včasné podání medikamentů a tím snížit projevy choroby a rychlost degenerace lidského mozku. Kromě toho se také katedra zaměřuje na počítačovou 3D analýzu obrazu mozku z PET, SPECT či MRI a její vyhodnocování, které lépe pomůže porozumět získaným datům.

### Studentské aktivity

Na fakultě působí Studentská unie při FJFI ČVUT (<u>https://su.fjfi.cvut.cz</u>/). Je to nezisková organizace, jejímž cílem je rozvoj studentských aktivit na FJFI. Obvyklým pojmenováním SU FJFI je milé *SUnie*. Vznikla za účelem poskytovat studentům fakulty i další povyražení, kromě studia matematiky a fyziky. *SUnie* je skupina kamarádů, kterým nejsou lhostejní jejich spolužáci. Vítá mezi sebe každého, kdo má jen trošku potřebu nebýt na škole sám. Neobešla by se bez podpory domovské fakulty, která jí poskytuje technické, a hlavně morální zázemí pro činnost. Vydává studentský časopis *Corpus Omne*. Pořádá spoustu "sranda akcí", z nichž vybíráme:

*Bažantrikulace* – neoficiální uvítání a křest studentů prvního ročníku FJFI. Po imatrikulaci se sice stanete vysokoškolákem, ale studentem FJFI teprve po Bažantrikulaci. Studenti jsou pasováni na Jaderňáka pomocí zlatého integrálu, přičemž složí slib a zapijí ho vodou z jaderného reaktoru.

"Jaderňácký průvodce po fakultě a okolí" – vydává se pro studenty prvního ročníku, pomáhá jim zorientovat se v novém prostředí.

*Letní studentské soustředění TCN* – zpříjemnění letních prázdnin. Poutavé přednášky, večerní kurzy matematiky, zajímavé noční hry, možnost seznámit se s lidmi, a s tím, jak to na FJFI chodí.

*Všejaderná fúze* – krycí název pro reprezentační ples FJFI, který se koná každý rok již skoro čtvrt století. Ples je tradičně uváděn divadelním představením z pera některého studenta, divadelní prkna též obsazují ochotníci z řad FJFI. Součástí programu je bohatá tombola a pochopitelně tanec.