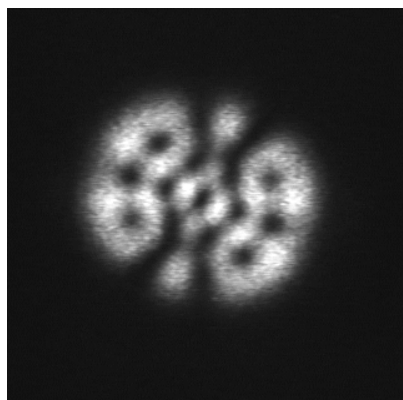
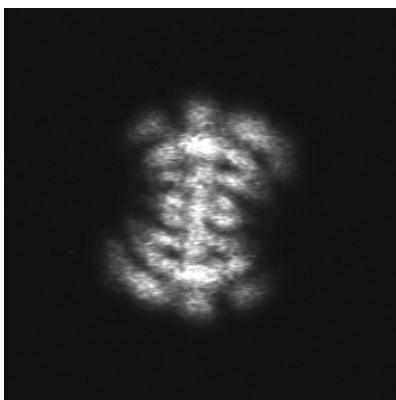


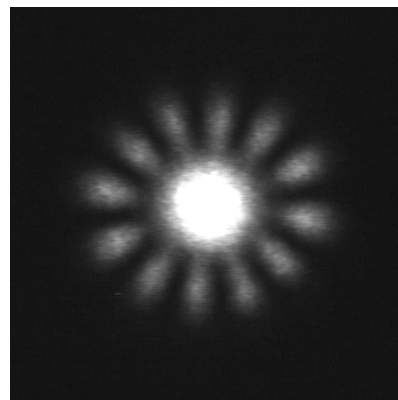
Sborník příspěvků



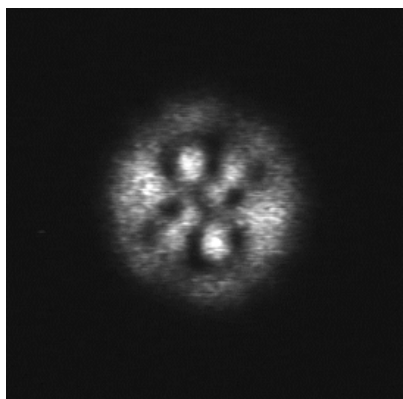
Motýl



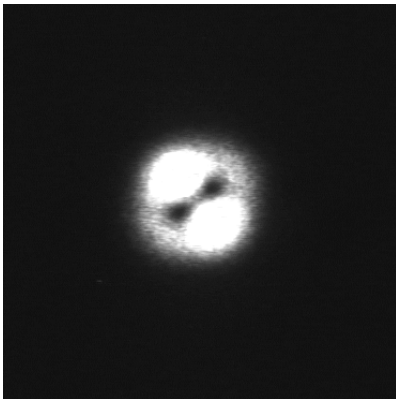
Totemový bůžek



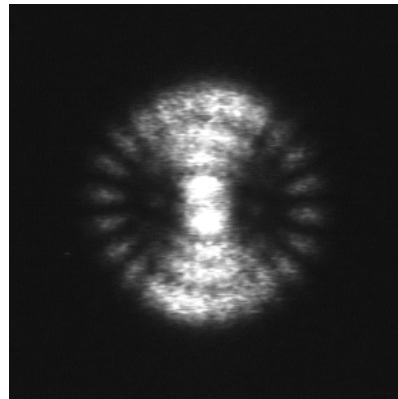
Slunce



Runa



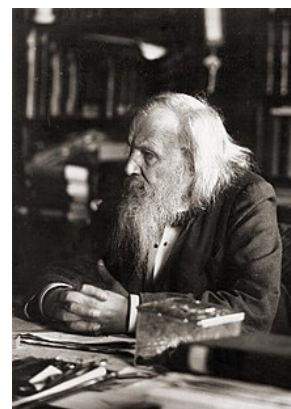
Želvy Ninja

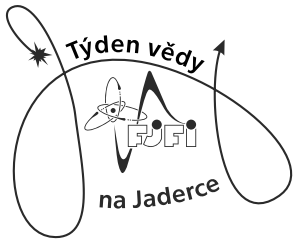


**Přesýpací hodiny
s horizontem**

”Ve vědě se nesmíme podřizovat tomu, co se nám z jednoho či druhého pohledu jeví jako přitažlivé, ale tomu, co reprezentuje shodu teorie s experimentem..”

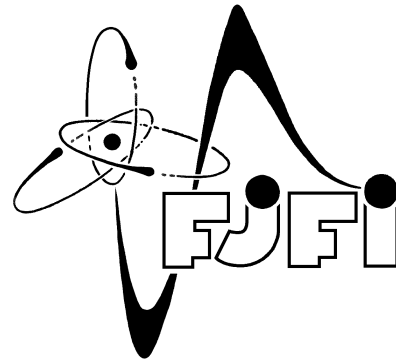
Dmitrij I. Mendělejev (150 let periodické tabulky prvků)



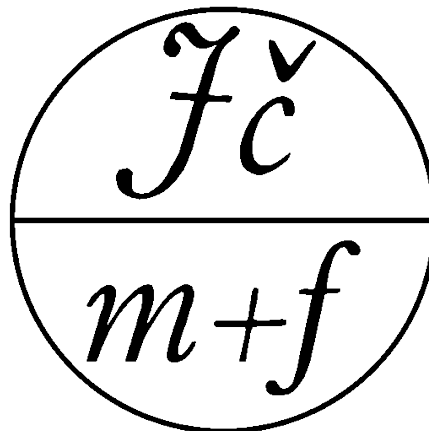


Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2019

Poděkování za laskavou podporu



a



Slovo úvodem

Milí přátelé, obouváme třetí gumy a rozjíždíme další dekádu setkání středoškolských studentů v univerzitním prostředí Jaderky.

Aktuální statistika vypadá takto: Letošní ročník tvořilo 26 komnat Pevnosti Břehyard (+ selfie a závěrečná aktivita), 47 miniprojektů, 12 exkurzí, 20 přednášek a 5 diskuzních párty pro vás, 155 studentů.

Tradičně děkuji všem vedoucím komnat Pevnosti Břehyard, garantům úloh, přednášejícím, vedoucím exkurzí, krupierům na Kasinu a zvláštní poděkování patří podpoře fakulty FJFI.

Letos tady děkuji mé pobočnici :-) Kateřině Jirákové, že dokázala v rámci možností skloubit svoji vědeckou práci s organizací TV@J - a že to je výživná záležitost.

Fakt je, že Týden vědy je náročná záležitost a celý týden tlačím čas a těším se na závěr, kdy budu vědět, že jste zase doma v bezpečí z té Prahy. Ale vaše přítomnost na Břehovce je nesmírně osvěžující a velmi se těším, že příští léta uvidím na chodbách Jaderky pár žlutých trik - TV@J dokument roku 2019 těch z vás, kteří si nás zvolí jako vstupní bránu do excitujícího badatelského světa.

Mějte se.

18. 6. 2019

Vojtěch Svoboda



Očekávání a obavy

Očekávání	Obavy
Fyzika (na škole to jde pomalu)	Uspávač Svobody – Had
Dobrá oběd	Obava z výbuchu reaktoru
Exkurze	AZ5
Čajový dýchánek u Tokamaku	Obava z ubytování
Společné sprchy	Společné sprchy
Odvést si mSv	
Nakousnutí věcí inspirujících k dalšímu studiu	
Obohacení jako Uran	

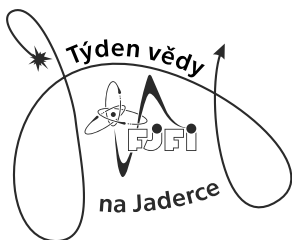
Titulní obrázek na obálce sborníku:

Na obrázcích se nachází složeniny několika příčných módů, které vznikly během měření skupiny Rezonátor, když se účastníci za pomoci různého nastavování laserového rezonátoru snažili dosáhnout základních příčných módů.

Contents

Poděkování	3
Slovo úvodem	4
Program Týdne vědy 2019	8
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	10
Příspěvky	15
Značení ligandů ^{68}Ga pro medicínské aplikace (Lenka Janská, Bára Cihlová, Helena Petráňová,)	15
Simulace provozu JE typu ABWR (Ota Michálek, Maxmilián Holler,)	19
3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin (Andrea Durčáková, Lukáš Frk, Lukrécia Zemanová,)	23
Balmerova série vodíku (Václav Špička, Dominik Duchek, Filip Vrto, Jan Divila,)	27
Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření? (Vincent Stuchlý, Tereza Roztočilová, Marek Štefaník,)	30
Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů (Vojtěch Remiš, Kateřina Rosická, Marek Fürst, Jan Poštulka,)	34
Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů (Alžběta Kopecká, Jiří Šejnoha, Jakub Zeman,)	38
Okno do fyziky elementárních částic (Šimon Pošta, Ladislav Krpálek, Anežka Bakočová,)	42
Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu (Jana Maršálková, Kateřina Kuthanová,)	46
Analýza lidského chování během evakuace (Jan Svoboda, Jakub Kislinger, Adam Tomi,)	51
Počítačové zobrazování fraktálních množin (Jakub Herec, Lucie Abigail Kopelentová, Jiří Klásek, Kamil Belán,)	55
Měření spektra gama záření scintilačním počítačem (Jaroslav Žukov, Vladimíra Kimlová, Václav Polcar, Martin Znamenáček,)	59
Jak poznat dávku z barvy gelu? (Miroslav Groh, Tomáš Toman, Matěj Bureš,)	63
Detekce gravitačních vln na detektoru LIGO (Maximilian Eška, Daniela Kropáčková, Tibor Staněk, Jakub Dorňák, Aneta Pjatkanová, Karel Lintimer,)	65
Get ready for Krakatit (Anna Robbová, Jiří Prikner, Matej Kiska,)	69
Programování na kvantovém počítači (Aleš Horák, Jan Provazník, Adéla Mládková, Jiří Šáda,)	72
Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření (Eva Michálková, Lucie Peterková, Nina Bezúchová, Klára Kadlčková,)	76
Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo (Oliver Pospíšil, Michal Schulmeister, Filip Šrámek, Michaela Loudová,)	80
Malá velká data (Bohdana Prchlíková, Patrik Mitterpach, Daniel Sůva, Petr Kolář,)	84
Postavme si mlžnú komoru (Václav Svoboda, Vilém Boušek, Dario Mikuš,)	87
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně (Edvard Sidoryk, Nikola Eva Mádlová, Petra Urgačová,)	92
Výbojkově čerpaný neodymový laser se zesilovačem (Ján Glut, Michal Němec, Magdalena Benešová, Adam Seidl,)	96

Měření Heisenbergovy relace neurčitosti (Štěpán Meister, Jakub Vinklárek, Martin Hajný,)	101
Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu (Barbora Baštářová, Filip Solař,)	106
Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice (Zdeněk Plešek, Sophia Klímová, Dominik Hanke, Ondřej Taut, Jakub Ferenčík, Dominik Švarc,)	112
Přepřacování ozářeného jaderného paliva – separace lanthanoidů a minoritních aktinoidů (Zdeněk Zapletálek, Ondřej Haluza, Nela Sedláčková,)	116
How to test if quantum theory is correct? (Jozef Skokan, Patrik Zavoral, Benedikt Janda, Tomáš Galnor,)	120
Radioimunoanalýza (Martina Pivková, Erika Žitniaková,)	124
Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti (Kristýna Kamenářová, Eliška Durstová, Simona Velichová, Kateřina Navrátilová,)	128
Výpočet radonového indexu pozemku aneb Proč měl praotec Čech popojít o pár kilometrů dále (Robert Gemrot, Martina Daňková, Petra Vozábová, Romana Roblíková,)	134
Narušování symetrie v laserovém rezonátoru (Kristína Júlia Jarinová, Lucie Kundratová, Jakub Macura,)	138
Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámý prášek? (Sára Balatková, Michaela Arnoštová, Ivana Štencová,)	142
Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači (Martin Birošćák, Martin Hudećek,)	146
Procházka na síti (Adam Červenka,)	151
Slow Control System (Jana Demjanćuková, Tadeáš Poliak,)	155
Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás (David Hovorka, Patrik Štíbr, Ondřej Tomášik, Jiřina Frýbortová,)	161
Jak nám pomáhají tenké vrstvy? (Robert Alexander Klem, Michal Matoulek, Petr Kristen,)	165
Tenké vrstvy (Ngoc Hung Hoang,)	169
Termoluminiscenční dozimetrie (Marián Moravćek, Jan Stehlík, Tibor Malinský,)	173
Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I (Lukáš Hejna, Ondřej Švihnos, Jakub Petrášek, David Pluhař,)	177
Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II (Štěpán Skalka, Daniel Staník, Jan Masák, Antonín Rousek,)	181
Počítačové simulace turbulentního proudění (Jiří Gebauer, Martin Švanda, Markéta Hanušková, Jáchym Horák,)	186
Virtuální simulátor lineárního urychlovače (Zuzana Fialková, Tereza Vitoušová, Daniel Příbyl, Amálie Dostalíková, Vítězslav Havlíček,)	190
Simulace provozu JE typu VVER-440 (Štěpán Tichý, Barbora Dudová,)	194
Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1 (Hana Šumšalová, Ondřej Brhlík, Karel Týr,)	198
Postavte si laserový zaměřovač (Kateřina Lojdová, Ondřej Novák, Tomáš Reichl,)	202
Monte Carlo simulace šíření nebezpečného viru (Jakub Michna, Denisa Hanušková, Jaroslav Frühauf, Miroslav Matějćek,)	206



Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2019

Program Týdne vědy 2019

- Neděle 16. 6.
 - 10.00-11.00** Registrace
 - 11.00-11.30** Otevření Týdne vědy
 - 11.30-11.50** Úvodní úvaha o vědecké komunikaci
 - 11.50-12.30** Organizace TV@J
 - 12.30-14.00** Pauza na oběd
 - 14.00-15.30** Populární přednášky
 - 16.00-19.00** Pevnost Břehyard
 - od 19.00** Ubytování na kolejích
- Pondělí 17. 6.
 - 9.00-16.30** Miniprojekty (seznámení, řešerše, příprava, realizace)
 - 16.30-17.50** Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J
 - 16.30-17.50** Alternativní přednášky pro absolventy minulých ročníků TV@J
 - 19.00-20.30** Fakultativní program - divadelní představení studentů Pražské konzervatoře 'Histerikon'
- Úterý 18. 6.
 - celý den** Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku)
 - 18.00** Uzávěrka návrhů titulního obrázku sborníku a nahrání příspěvků do sborníku
- Středa 19. 6.
 - 8.30-10.00** Hlavní zvaná přednáška
 - 10.30-11.50** Vědecká prezentace II pro nováčky na TV@J
 - 10.30-11.50** Alternativní přednášky pro absolventy minulých ročníků TV@J
 - 12:00-13:30** Pauza na oběd
 - odpoledne** Exkurze
 - 17.30-19.30** Diskuzní párty
 - 20.00** Uzávěrka nahrání prezentací pro minikonferenci
- Čtvrtek 20. 6.
 - 9.00-10.30** Prezentace miniprojektů I
 - 11.00-12.30** Prezentace miniprojektů II
 - 12.30-14.00** Pauza na oběd

14.00-15.30 Presentace miniprojektů III

16.00-17.00 Presentace miniprojektů IV

18.00-21.00 Kasino (závěrečný společenský večerní program na fakultě)

• Pátek 21. 6.

9.00-10.15 Presentace miniprojektů V

10.45-12.00 Presentace miniprojektů VI

12.00-12.15 Závěr

12.15 Zakoňčení 21. ročníku TV@J

12.30-13.30 Oběd

Exkurze

- Tokamak GOLEM.
- Výzkumný a zkušební letecký ústav v Letňanech.
- Leksellův gamma nůž.
- Z-pinč.
- Tokamak COMPASS.
- Ústav fyziky atmosféry AV ČR.
- Fyzikální ústav - Cukrovarnická.
- Protonové centrum.
- Thomayerova nemocnice - radioterapie.
- Školní reaktor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT.
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR.
- ELI.

Seznam všech přednášek

- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Základní motivační a organizační přednáška k TV@J.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Badatelská komunikace - motivace pro TV@J.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J - jak na prezentace a publikace.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace II pro nováčky na TV@J - jak na prezentování.
- Ing. Ondřej Grover: Termojaderná fúze.
- doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D.: Chemie a záření.
- Ing. Vítězslav Jarý, Ph.D.: Jak se scintilátory detekovat ionizující záření? Rychle, účinně a levně..
- RNDr. Martin Vlk, Ph. D.: Radiofarmaka - současná diagnostika i terapie.
- Mgr. Josef Ondřej: Matematika v kasinu.
- Ing. Richard Švejkar: Laser – malířský štětec, nástroj nebo zbraň?.
- Ing. Ondřej Novák: Havárie v jaderné energetice.
- Ing. Aleš Materna, Ph.D.: Pevné, pevnější, nejpevnější.
- prof. Ing. Edita Pelantová, CSc.: Výzvy, které před matematiku staví výpočetní technika.
- prof. Dr. Ing. Michal Beneš: Termodynamika bruslení.
- Ing. Aleš Wodecki: Matematické modelování dynamiky tekutin.
- Ivo Kraus, prof. RNDr. DrSc.: Inženýr a vědec Leonardo da Vinci.
- Ing. Jan Čepila, Ph.D.: Kolik kvarků je v protonu?.
- Ing. Patrik Urban: Po stopách kvantové gravitace.
- Ing. Richard Švejkar: Lasery kolem nás.
- Ing. Martin Plajner: Za zrcadlem datové analýzy.
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Energetika ČR včera, dnes a zítra.
- RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D.: Mezinárodní rok periodické soustavy prvků: Osazenstvo, milníky a zajímavosti.
- doc. RNDr. Jan Mlynář, Ph.D.: Amatéri a profesionálové ve fyzice.
- Ing. Petra Osmančíková Ph.D.: Ionizující záření v medicíně.
- doc. Ing. Miroslav Virius, CSc.: Pravda a lež ve fotografii digitálního věku.

Miniprojekty a jejich garanti z FJFI

- Ing. Kateřina Jiráková: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I.
- Ing. Jaroslav Čerovský: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II.
- Bc. Elisabeth Andriantsarazo: Měření Heisenbergovy relace neurčitosti.
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu VVER-440.
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu ABWR.
- Mgr. Hana Bártová: Jak poznat dávku z barvy gelu?.
- Ing. Vítězslav Jarý, Ph.D.: Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření?.
- Ing. Michal Sakmár: Radioimunoanalýza.
- Ing. Kateřina Fialová: ^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně.
- doc. RNDr. Jan Vybíral, Ph.D.: Malá velká data.
- Ing. Josef Schmidt, Ph.D.: Detekce gravitačních vln na detektoru LIGO.
- Ing. Martin Matys: Monte Carlo simulace šíření nebezpečného viru.
- Ing. Richard Švejkar: Postavte si laserový zaměřovač.
- Ing. Ondřej Novák: Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1.
- Ing. Ondřej Novák: Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu.
- Ing. Vojtěch Stránský: Get ready for Krakatit.
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti.
- Ing. Tereza Hanušová: Virtuální simulátor lineárního urychlovače.
- Ing. Jana Vacková: Analýza lidského chování během evakuace.
- Ing. Martin Malý, Ing. Jan Stránský, Ph.D.: 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin.
- Ing. Jiří Martinčík, Ph.D.: Termoluminiscenční dozimetrie.
- Aurél Gábris, PhD: How to test if quantum theory is correct?.
- doc. Dr. Ing. Milan Šišor: Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice.
- Ing. Jan Adámek: Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu.
- Ing. Jaroslav Čech, Ph.D.: Jak nám pomáhají tenké vrstvy?.
- prof. Dr. RNDr. Miroslav Karlík: Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů.
- Ing. Barbora Dršková: Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření.
- Ing. Jakub Klinkovský: Počítačové simulace turbulentního proudění.
- Ing. Petr Pauš, Ph.D.: Počítačové zobrazování fraktálních množin.
- Ing. Patrik Urban: Programování na kvantovém počítači.
- doc. Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D.: Postavme si mlžnou komoru .
- Ing. Ondřej Faltys: Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo.
- Ing. Jakub Cimerman: Měření spektra gama záření scintilačním počítačem.
- Ing. Lukáš Holub: Slow Control System.
- RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D.: Přeprogramování ozářeného jaderného paliva – separace lanthanoidů a minoritních aktinoidů.
- Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D.; Ing. Milan Burda; doc. Dr. Ing. Ivan Richter: Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači.
- Ing. Jan Pokorný, Mgr. Petr Veselý Ph.D.: Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů.
- Ing. Josef Blažej, Ph.D.: Narušování symetrie v laserovém rezonátoru.
- Ing. Karel Veselský, Jan Kratochvíl: Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás.
- Ing. Adam Říha: Výbojkově čerpaný neodymový laser se zesilovačem.

- Ing. Jiří Čapek, Ph.D.: Tenké vrstvy.
- Ing. Karel Trojan: Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámý prášek?.
- Bc. Lucie Vítková: Výpočet radonového indexu pozemku aneb Proč měl praotec Čech popojít o pár kilometrů dále.
- Ing. Ota Zaplatílek: Okno do fyziky elementárních částic.
- Ing. Veronika Valová: Značení ligandů ^{68}Ga pro medicínské aplikace.
- Ing. Václav Zatloukal, Ph.D.: Procházka na síti.
- Ing. Michal Špaček: Balmerova série vodíku.

Minikonference

MINIKONFERENCE - Břehovka, čtvrtek a pátek:

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

Předsedající: Petr Kolář

9:00 Co je chytré osvětlení a jak souvisí s nejmodernějšími detektory ionizujícího záření?

9:15 Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu

9:30 Měření spektra gama záření scintilačním počítačem

9:45 Jak poznat dávku z barvy gelu?

10:00 Get ready for Krakatit

10:15 Narušování symetrie v laserovém rezonátoru

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

Předsedající: Zdeněk Plešek

9:00 Procházka na síti

9:15 Tenké vrstvy

9:30 Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

9:45 Výpočet radonového indexu pozemku aneb Proč měl praotec Čech popojít o pár kilometrů dále

10:00 Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači

10:15 Programování na kvantovém počítači

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

Předsedající: Daniel Příbyl

11:00 ^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně

11:15 Výbojkově čerpaný neodymový laser se zesilovačem

11:30 Využití zpozděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu

11:45 Radioimunoanalýza

12:00 Slow Control System

12:15 Jak nám pomáhají tenké vrstvy?

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

Předsedající: Nela Sedláčková

11:00 Termoluminiscenční dozimetrie

11:15 Simulace provozu JE typu ABWR

11:30 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin

11:45 Balmerova série vodíku

12:00 Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření

12:15 Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámý prášek?

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

Předsedající: Ondřej Tomášik

14:00 Počítačové simulace turbulentního proudění

14:15 Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

14:30 Značení ligandů ^{68}Ga pro medicínské aplikace

14:45 Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo

15:00 Malá velká data

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

Předsedající: Petra Vozábová

14:00 Postavme si mlznou komoru

14:15 Přepřacování ozářeného jaderného paliva – separace lanthanoidů a minoritních aktinoidů

14:30 How to test if quantum theory is correct?

14:45 Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás

15:00 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM II

Čtvrtek: společné přednášky v Aule 103

Předsedající: Adam Červenka

16:00 Monte Carlo simulace šíření nebezpečného viru

16:15 Počítačové zobrazování fraktálních množin

16:30 Měření Heisenbergovy relace neurčitosti

16:45 Virtuální simulátor lineárního urychlovače

17:00 Pozvánky na různé akce

Pátek: společné přednášky v Aule 103

Předsedající: Kateřina Rosická

9:00 Postavte si laserový zaměřovač

9:15 Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů

9:30 Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice

9:45 Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

10:00 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM I

10:15 Okno do fyziky elementárních částic

Pátek: společné přednášky v Aule 103

Předsedající: Anna Robbová

11:00 Analýza lidského chování během evakuace

11:15 Detekce gravitačních vln na detektoru LIGO

11:30 Simulace provozu JE typu VVER-440

11:45 Ukončení TV@J

12:00 Rozchod

Značení ligandů ^{68}Ga pro medicínské aplikace

B. Cihlová, Akademické gymnázium, Praha,
bara.cihlova2017@agstepanska.cz

L. Janská, Gymnázium a SOŠ Plasy, lenka-janska@seznam.cz

H. Petráňová, První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové,
petranova.helena@gmail.com

Abstrakt:

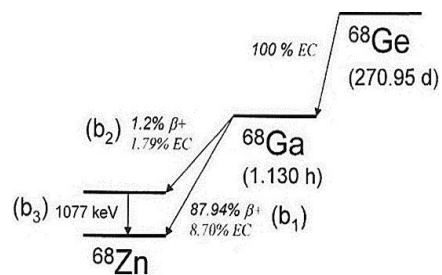
Radiofarmaka značená ^{68}Ga se používají k diagnostice onemocnění v nukleární medicíně. Zdrojem ^{68}Ga je eluát ($^{68}\text{GaCl}_3$), získaný z radionuklidového generátoru $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. Eluát je následně použit pro značení azamakrocyclických ligandů (např. DOTA, NOTA). Připravené komplexy lze použít přímo jako radiofarmakum nebo navázat na různorodé látky (proteiny, nanočástice aj.). Cílem miniprojektu bylo stanovení optimálních reakčních podmínek pro značení ligandu NOTA. Komplexační činidlo se nám podařilo kvantitativně označit ^{68}Ga za stanovených reakčních podmínek.

1 Úvod

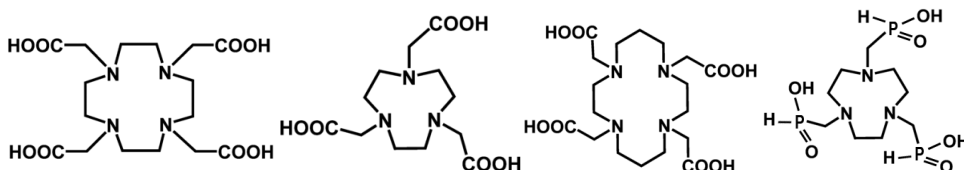
Galium-68 (^{68}Ga) je pozitronový zářič s poločasem přeměny 68 minut, který je díky krátkému poločasu přeměny vhodným β^+ zářičem pro využití v pozitronové emisní tomografii (PET) [1].

^{68}Ga se přeměňuje na stabilní zinek (^{68}Zn) emisí pozitronu při β^+ přeměně (Obr. 1). V těle pacienta pozitron urazí jen několik málo milimetrů a anihiluje s elektronem za vzniku dvou fotonů o energii 511 keV. Fotony odlétají v přímém úhlu 180° a jsou zachyceny koincidenčně, na detektorech rozmístěných kolem pacienta.

Hlavním zdrojem galia-68 je radionuklidový generátor, který využívá kratšího poločasu přeměny dceřiného radionuklidu, než má radionuklid mateřský. Mateřský radionuklid germanium-68 (^{68}Ge) je imobilizován na sorbentu (např. oxid titaničitý) a postupnou elucí dochází k vymývání galia-68 [2]. Získaný eluát ($^{68}\text{GaCl}_3$) lze využít ke značení např. makrocyclických ligandů [3]. Kationt kovu $^{68}\text{Ga}^{3+}$ je zakomplexován vhodným ligandem. Mezi využívané komplexační činidla patří např. NO2A- P^{BP} a azamakrocyclické ligandy jako DOTA, NOTA, TETA, TRAP (Obr. 2).



Obr. 1 Rozpadové schéma ^{68}Ge .
EC – electron capture



Obr. 2 Struktury sloučenin v pořadí DOTA, NOTA, TETA, TRAP

V nukleární medicíně slouží ligandy jako nosiče radionuklidu při výrobě radiofarmak, tj. radioaktivně označených léčiv např. [^{68}Ga]-DOTATOC. Takto označený ligand se naváže na specifickou látku (tzv. vektor), která zajistí navázání na protein v cílené části těla. Vektory jsou často např. nanočástice (NP) nebo protilátky navázané pomocí vhodného můstku linker/spacer, které se mohou selektivně vázat na některé nádorové tkáně. Značení galiem-68 je zvláště vhodné pro PET zobrazování neuroendokrinních nádorů s využitím označených analogů somatostatinových receptorů [1]. Zatím není využíván na odděleních nukleární medicíny v České republice.

Tento miniprojekt se věnuje eluci radionuklidového generátoru $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ a následnému značení ligandu NOTA získaným eluátem za námi zvolených podmínek.

2 Přístroje, pomůcky a chemikálie

Přístroje: Canberra AR 2000 – TLC skener, laboratorní vibrační míchačka, generátor $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$, pH metr, ionizační komora, termostatovaný blok

Chemikálie: ligand NOTA, kyselina citronová, acetátový pufr, kyselina chlorovodíková

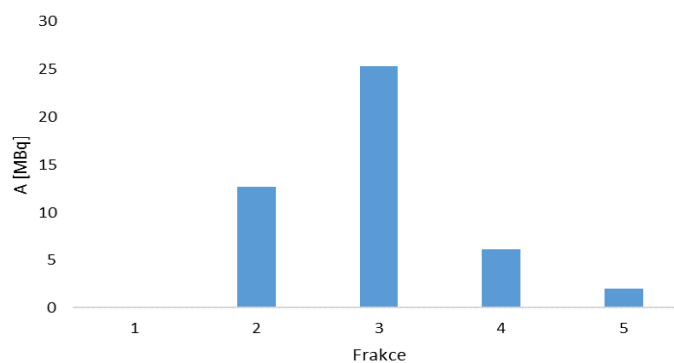
Pomůcky: TLC desky a vyvíjecí komůrky, vialky, automatické pipety

3 Postup práce

Úkoly:

1. Provedení eluce generátoru $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$
2. Provedení značení ligandu při zvoleném pH
3. Stanovení optimálních podmínek značení ligandů pomocí TLC

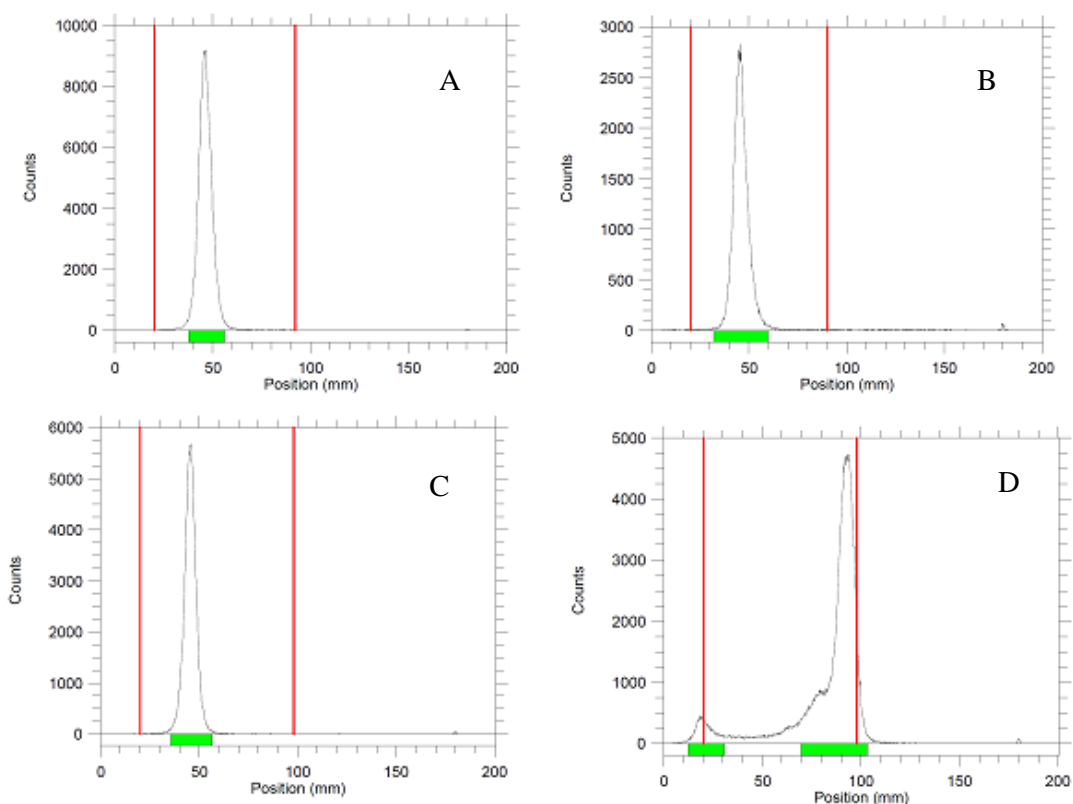
Do zavíracích mikrozkušavek jsme napipetovaly 1 ml acetátového pufru (pH 3,5; 4,5; 5,5), 50 μl ligandu NOTA (koncentrace 1 mg/ml). V další fázi jsme provedly frakcionovanou eluci (Obr. 3) generátoru $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ pomocí 0,1M kyseliny chlorovodíkové. Z pěti frakcí jsme vybraly vialku (1 ml) s největší aktivitou, ($A = 25,3 \text{ Bq}$). Následně jsme ke každému vzorku přidaly 250 μl eluátu ($^{68}\text{GaCl}_3$) a změřily jejich aktivitu. Vzorky jsme vložily do termostatovaného bloku a ponechaly inkubovat při teplotě 95 $^{\circ}\text{C}$ po dobu 15 minut. Připravily jsme si čtyři TLC desky, na tři jsme nanesly 10 μl každého vzorku a na poslední 10 μl standardu (eluátu). TLC desky byly vyvíjeny v 0,1M kyselině citronové, která sloužila jako mobilní fáze. Poté jsme provedly radiochemickou detekci TLC desek na přístroji AR 2000 – TLC skener. Na závěr jsme změřily pH každého vzorku (Tab. 1), při kterém probíhala komplexace ligandu s galiem-68.



Obr. 3: Graf frakcionované eluce

Tab. 1: Naměřené hodnoty pH acetátového pufru, A_{vz} - aktivita vzorku, pH směs - pH reakční směsi při značení, G - výtěžky značení

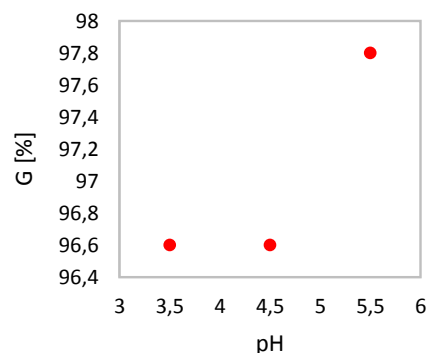
pH pufr	A_{vz} [MBq]	pH směs	G [%]
3,5	5,9	1,2	96,6
4,5	5,9	3,5	96,9
5,5	5,9	4,6	97,8



Obr. 4: Chromatogramy komplexace ligandu NOTA a ^{68}Ga při zvolených pH: A - pH 3,5; B - pH 4,5; C - pH 5,5; D standard

4 Diskuse

V této úloze jsme se seznámily se značením ligandu NOTA galiem-68. Z příložených chromatogramů (Obr. 4) je zřejmé, že se nám podařilo ve všech případech označit ligand NOTA za námi zvoleného pH (3,5; 4,5; 5,5) a teploty (95°C). Největší výtěžnosti (97,8 %) jsme dosáhly při pH pufru 5,5.



Obr. 5 Výtěžek značení (G) ligandu NOTA ^{68}Ga na pH pufru

Závěr

Přesvědčili jsme se, že použitý ligand NOTA je vhodný ke značení galiem-68 za námi zvoleného pH. Takto označený ligand by se mohl navázat na specifickou látku (vektor), která je schopna konkrétně zacílit požadovanou tkáň či místo, které chceme zobrazit pomocí PET.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za možnost si vyzkoušet práci v kontrolovaném pásmu, přípravu radiofarmak a práci s generátorem $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ v rámci Týdne vědy. Za pomoc a cenné rady při vypracování tohoto miniprojektu děkujeme paní Ing. Veronice Válové.

Reference:

- [1] MUELLER, D. – BREEMAN, W. A. P. – et al.: *Radiolabeling of DOTA-like conjugated peptides with generator-produced ^{68}Ga and using NaCl-based cationic elution method* Nature, 2016, pp. 1057-1066
- [2] ROESCH F.: *Maturation of a Key Resource – The Germanium-68/Galium-68 Generator: Development and New Insights* Current radiopharmaceuticals, 2012, pp. 202-211
- [3] VELIKYAN I.: *^{68}Ga -Based Radiopharmaceuticals: Production and Application Relationship* Molecules, 2015, pp. 12914-12943

Simulace provozu JE typu ABWR

M. Holler*, O. Michálek**

*Gymnázium Jakuba Škody, Přerov

**Gymnázium Olgy Havlové, Ostrava-Poruba

*maxmilian.holler@gmail.com, **ota.michalek@gmail.com

Abstrakt:

Práce popisuje simulaci provozu JE typu ABWR využívanou pro výuku budoucích jaderných inženýrů. Pochopení průběhů parametrů během simulace běžného provozu, poruchových i havarijních stavů jsou fundamentální pro správný provoz bloku. Cílem práce bylo vyzkoušet si práci operátora a řešení nepředvídatelných situací za provozu.

1 Úvod

Simulátory JE se používají jak pro detailní představení chování elektrárny pro studenty, tak pro průběžné školení profesionálů. Umožňují simulovat jak běžný provoz, tak havárie, které by na reálné elektrárně mohly ohrozit bezpečnost celého komplexu a okolí. Většina havarijních simulací tak dnes probíhá právě na takových simulátorech.

2 Provoz jaderné elektrárny

Termodynamika v elektrárnách

Většina elektráren využívá ve svém provozu zákonitostí termodynamiky. Nejčastěji se jedná o přeměnu určitého druhu energie na energii elektrickou, někdy také dochází k využití vyrobeného tepla pro ohřev vody – teplárny. Nejúčinnějším cyklem z hlediska termodynamiky je Carnotův cyklus. Této účinnosti se snaží každý koncept elektrárny (i spalovacích motorů) co nejvíce přiblížit.

Pro potřeby popisu elektráren z hlediska termodynamiky jsou nejdůležitější dva termodynamické zákony: „1. energii (teplo) nelze vyrobit, ale pouze přeměnit“ a „2. Těleso o nižší teplotě nemůže předávat energii tělesu o vyšší teplotě“ Jaderné elektrárny získávají energii z vazebné energie jádra atomu pomocí štěpné jaderné reakce.

Jaderná reakce

Při štěpných jaderných reakcích jsou v reaktoru štěpeny atomy jaderného paliva na 2 produkty s nižším protonovým číslem při uvolnění 2 až 3 neutronů, které dále pokračují v řetězové reakci, a dalších částic. Reaktory nejčastěji užívají tzv. tepelných neutronů, které díky své nízké kinetické energii (tj. rychlosti) lépe reagují s atomy prostředí. Z hlediska palivového cyklu jsou však efektivnější reaktory využívající tzv. rychlé neutrony, jejichž vysoké energetické hodnoty umožňují využívat izotop uran-238 namísto mnohem vzácnějšího uranu-235. Provoz a konstrukce těchto reaktorů je však náročný na bezpečnost, materiály a technologii, a proto v dnešní době existují převážně v experimentální podobě.

Reaktor typu ABWR

Reaktor typu ABWR (Advanced Boiling Water Reactor), nebo také pokročilý varný reaktor, je jeden z reaktorů III. generace. Funguje na principu ohřevu vody do bodu varu při daném tlaku a dalším chlazením paliva parovodní směsí. V aktivní zóně tvořená pára je od vody separována a přímo pohání turbíny napojené na generátor, který z mechanické energie tvoří elektrickou. Tato koncepce má několik výhod i nevýhod na rozdíl od běžných koncepcí tlakovodních reaktorů. Dnes se elektrárny typu ABWR používají například v Japonsku a ve výstavbě jsou i v dalších zemích.

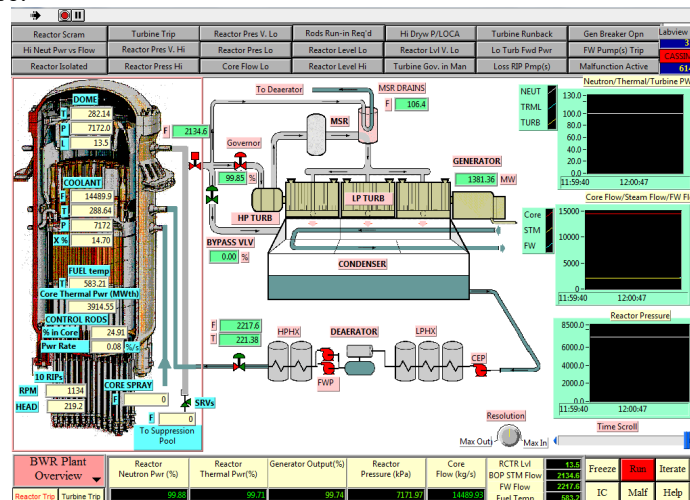
Řízení bloku JE

Základním principem řízení bloku jaderné elektrárny je rovnováha či změny v rovnováze mezi tepelnou energií produkovanou v aktivní zóně a energií odváděnou v chladícím okruhu v součtu s energií uvolňovanou na turbíně, resp. elektrickém generátoru. V případě bloku s varným reaktorem je pak řízen neutronový, resp. tepelný, výkon reaktoru. Výkon ABWR je možno regulovat průtokem moderátoru, zasouváním regulačních tyčí a obsahem kyseliny borité rozpuštěné v moderátoru (ta se však v případě koncepce ABWR používá pouze při odstavení reaktoru). Vliv na výkon reaktoru mají také efekty plynoucí z principů fyzikálních dějů – například koncentrace xenonu, který snižuje reaktivitu, teplota paliva apod. Důležitým parametrem je suchost parovodní směsi, jedná se o podíl páry a vody proudící aktivní zónou. Zpětné vazby, které se projevují při provozu reaktoru musí mít záporný efekt pro splnění bezpečnostních požadavků.

3 Praktická část – simulace

Rozhraní simulačního softwaru

Rozhraní simulátoru IAEA bloku ABWR zobrazuje množství panelů, které dohromady popisují stav celého bloku z různých pohledů. Na obrázku (Obr. 1) můžeme vidět schéma celého bloku. V dolní liště se zobrazují aktuální hodnoty několika důležitých parametrů – neutronový výkon reaktoru, tepelný výkon reaktoru, výkon generátoru, tlak v reaktoru a průtok chladiva reaktorem, výšku hladiny a střední teplotu paliva. V levé části je vidět schéma reaktoru, kde se z námi sledovaných parametrů nachází suchost – X – která má vliv na výkon reaktoru. V horní části panelu se nachází kontrolky, které se v případě konkrétní poruchy rozsvítí žlutou nebo červenou barvou. V pravé části obrazovky se nachází tři černé panely, kam se pro přehled operátora během simulace průběžně vykreslují křivky veličin v závislosti na čase.

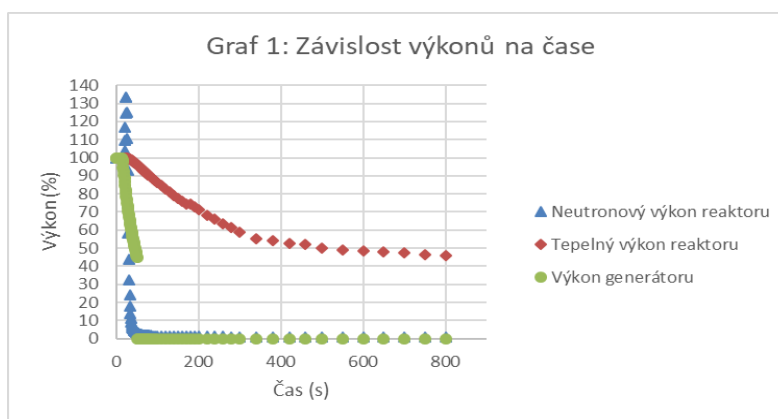


Obr. 1: Simulátor IAEA bloku ABWR – BWR Plant Overview

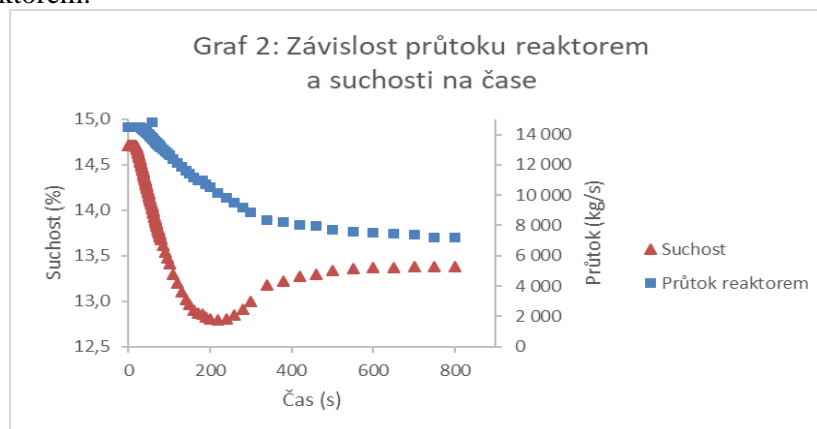
Simulace výpadku turbogenerátoru

Jedním z nejdůležitějších komponentů jaderné elektrárny po reaktoru je turbogenerátor. Jedná se o několik těles turbín, spojených na společné hřídeli rotoru, která otáčí rotorem alternátoru a přeměňuje tak tlakovou a tepelnou energii páry proudící lopatkovaním turbíny na elektrickou energii – střídavý proud. Při výpadku turbogenerátoru je potřeba páru, vznikající kvůli zbytkovému tepelnému výkonu v palivu, odvést pomocí bypassu, jelikož by jinak docházelo ke vzrůstu tlaku v reaktoru. Provedli jsme tedy simulaci výpadu turbogenerátoru (dále TG) při nominálním výkonu reaktoru.

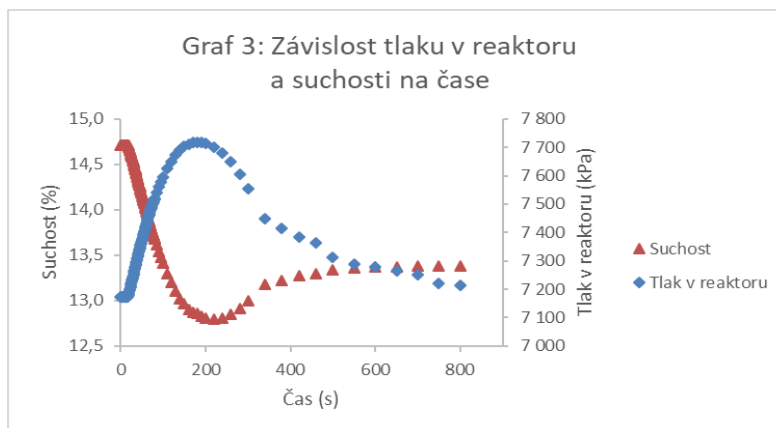
Graf 1 zobrazuje časový průběh neutronového a tepelného výkonu reaktoru společně s výkonem generátoru. Můžeme vidět, že v 10. sekundě, kdy došlo k výpadku TG (výkon generátoru klesl rychle na nulu), došlo k razantnímu vzrůstu hodnoty neutronového výkonu reaktoru. Po nárůstu nad 113 % začal být bezpečnostním systémem reaktor odstaven, avšak vlivem rychlosti dějů stoupl výkon reaktoru chvilkově až na 140 %. Tepelný výkon klesal nejdéle. Zbytkové teplo bylo postupně odváděno stále vznikající parou pomocí přepouštěcího ventilu do kondenzátoru a do chladicího okruhu.



V Grafu 2 můžeme vidět závislost suchosti – množství páry v aktivní zóně reaktoru – společně s průtokem chladiva reaktorem v závislosti na čase. Při výpadku TG došlo ke zvýšení tlaku a tím rychlému snížení suchosti – to zvýšilo výkon reaktoru až k jeho odstavení. Kvůli odstavení reaktoru, a tedy snížení jeho výkonu pak byl snižován průtok chladiva reaktorem.



Při výpadku TG začal prudce stoupat tlak v reaktoru, vznikající parovodní směs totiž neměla kam odcházet. Zvyšující se tlak tak zvýšil teplotu varu moderátoru, který se tak přeměňoval na páru v menším množství – začala klesat suchost (viz Graf 3). Ve chvíli, kdy se vliv tlaku a bypassu vyrovnal, došlo k postupnému snižování tlaku v reaktoru.



4 Shrnutí

Vyzkoušeli jsme si práci operátora, kromě výpadku TG jsme si vyzkoušeli i běžný provoz a havarijní situace. Mezi další havárie, které jsme si vyzkoušeli například – chybné vysunutí regulačních tyčí, úplná ztráta napájení bloku, havarijní odstavení reaktoru aj. Velkou výhodou dnešní doby je možnost simulace, která snižuje pravděpodobnost potenciálních havárií, jelikož jsou operátoři schopni se zaškolit mimo ostrý provoz. Další výhodou je velká automatizace bezpečnostních systémů, které zajišťují uvedení reaktoru do stabilního a bezpečného stavu bez zásahu člověka v případě sebemenší chyby a zabránění havárii.

Poděkování

Děkujeme Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D. za pomoc, podnětné připomínky a nápady, které nám během práce poskytoval.

Reference:

- [1] KOBYLKA, Dušan. *Technická termodynamika s řešenými příklady*. České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05902-9.
- [2] IAEA: *Boiling Water Reactor Simulator with Active Safety Systems – User Manual*, IAEA, 2011

3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin

Andrea Durčáková¹, Lukrécia Zemanová², Lukáš Frk³
Přírodovědné GYMNÁZIUM PRIGO, Ostrava¹
CÍRKEVNÍ GYMNÁZIUM NĚMECKÉHO ŘÁDU, Olomouc²
Gymnázium Nad Alejí, Praha³
lukrecia.zemanova@gmail.com

Abstrakt:

Naším cílem bylo určit strukturu proteinu lysozymu pomocí difrakčních metod makromolekulární krystalografie a poté experimentem ověřit fázový diagram. Ze zpracovaných difrakčních dat se podařilo stanovit atomární model lysozymu. Fázový diagram vyšel s drobnými odchylkami.

1 Úvod

Proteiny jsou jednou ze základních stavebních jednotek lidského těla, které se bez těchto komplexních molekul, složených z aminokyselin, neobejde. Proteiny se však nenachází jen v lidském těle, ale u všech živých organismů. Náš zkoumaný protein lysozym je jedním z nich.

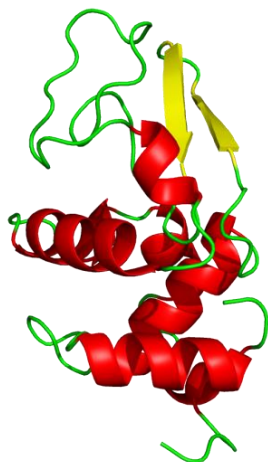
Lysozym má antibakteriální účinky [1] a schopnost narušovat bakteriální stěnu. Nachází se například v lidských hlenech, slzách, v mateřském mléce živočichů, ale i ve vaječném bílku, kde chrání zárodek před bakteriemi. Právě lysozym z vaječného bílku byl předmětem našeho zkoumání.

Tento protein jsme zkoumali několika způsoby: Měřením v difraktometru a experimentálním určováním fázového diagramu.

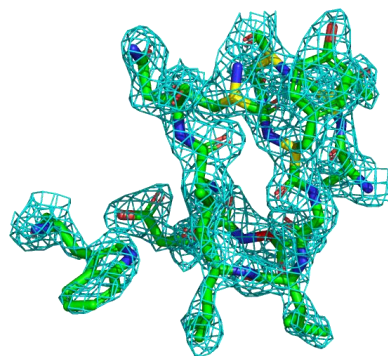
2 Tělo příspěvku

První ze způsobů zkoumání je měření krystalizační *in situ* difraktometrem, kdy jsme si připravili vzorky sedících kapek na krystalizační destičku pomocí přístroje Gryphon (Art Robins). Následně jsme ji vložili do krystalizačního hotelu RI1000 (Formulatrix), kde probíhalo focení vzorků a pozorování růstu krystalů. Následně byla destička vložena do difraktometru D8 Venture (Bruker), kde jsme pomocí paprsku rentgenového záření měřili difrakční záznamy s difrakčními stopami. Pomocí těchto stop jsme sestrojili atomární model lysozymu. Některé snímky byly obtížné na provedení, protože při otočení destičky pro měření v některých případech krystaly spadly dolů. Data se měřila z 23 krystalů, z nichž použito bylo 9, kdy ostatní data nebyla dost kvalitní. Fázový problém jsme vyřešili metodou molekulárního nahrazení, jako model byla použita struktura lysozymu z koňského mléka (PDB 2EQL). Pomocí Fourierovy transformace se vypočítala elektronová hustota a pomocí té se určila poloha jednotlivých atomů a samotný atomární model. Model bylo třeba manuálně upravit.

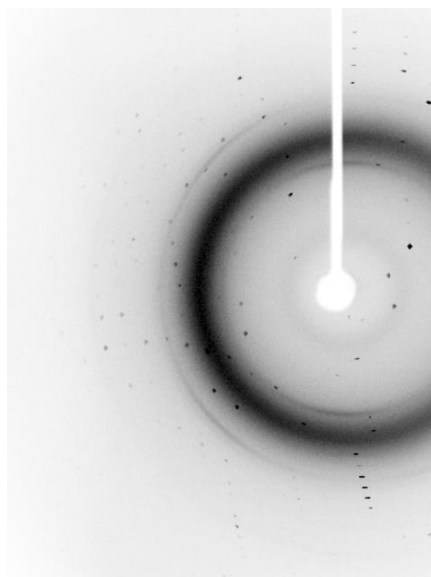
Podařilo se nám určit atomární model lysozymu (Obr. 1, 2) pomocí difrakčních snímků (Obr. 3).



Obr. 1 – Atomární model lysozymu – sekundární struktura



Obr. 2 – Atomární model lysozymu (detail aktivního místa) – tyčkový model v mapě elektronové hustoty



Obr. 3 – Difrakční snímek krystalu lysozymu

Jako druhý způsob jsme zvolili krystalizaci pomocí difuze par s uspořádáním visící kapky. V tomto experimentu jsme si namíchali různé koncentrace lysozymu konkrétně 80, 60, 40 a 20 mg/ml. Jako pátý jsme používali roztok lysozymu o koncentraci 100 mg/ml, ze kterého jsme míchali již zmíněné koncentrace. Dále jsme připravili srážedlo složené z octanu sodného pH 4,6, chloridu sodného (NaCl) a vody, o různých koncentracích (viz tabulka 1), které jsme později využili na přípravu visících kapek (celkem 90). Celkem se ho v rezervoáru nacházelo 500 μ l. Visící kapky jsme připravovali pomocí pipet, kdy jsme nanесли 1 μ l roztoku proteinu a 1 μ l připraveného srážedla. Vzorky jsme nechali přes noc krystalizovat (cca 17 hodin) a následně zkoumali a porovnávali s fázovým diagramem.

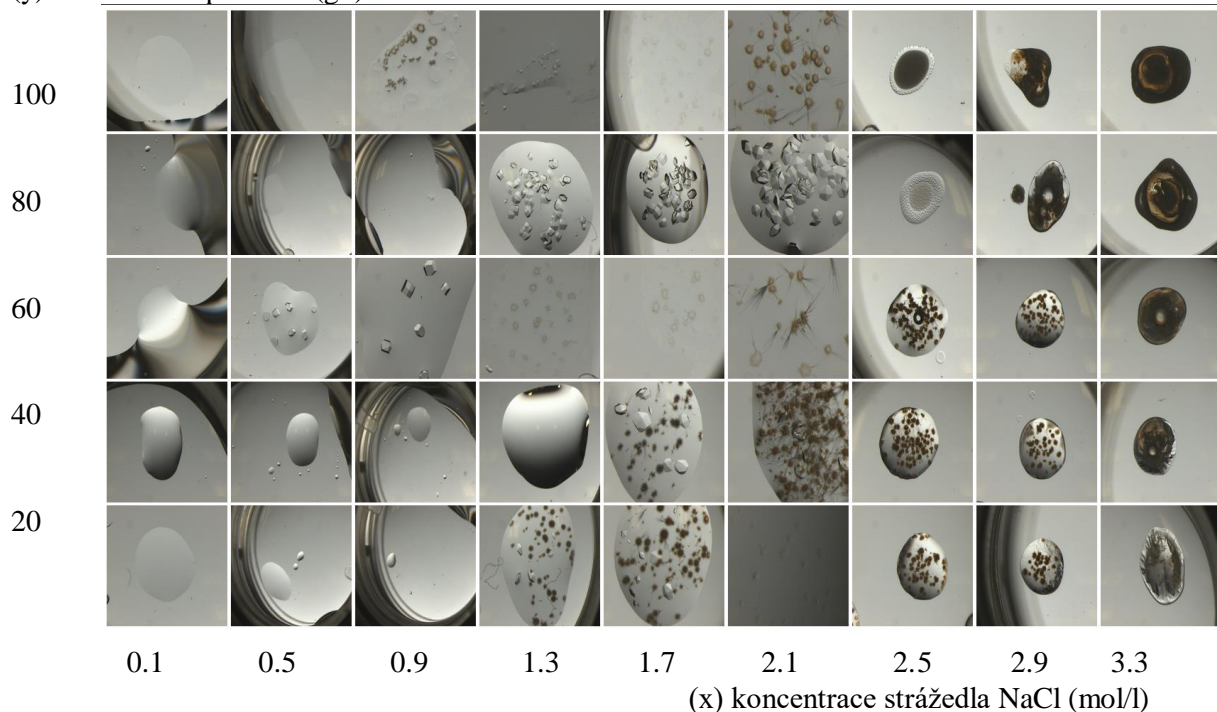
Náš experiment s fázovým diagramem vyšel podle očekávání s pár odchylkami. V tabulce 1 jsou znázorněny výsledky experimentu.

Někde se nám stanovené podmínky nepovedlo zachovat, některé kapky se slily do jedné a výsledek byl lehce odlišný od očekávání.

Byly pozorovány prázdné kapky – ty s nejnižší koncentrací roztoků; krystaly a jehlicovité krystaly – vyšší koncentrace roztoků; sferolity a sraženiny – nejvyšší koncentrace roztoků.

Tabulka 1

(y) koncentrace proteinu (g/l)



3 Shrnutí

Během naší dvoudenní práce se nám podařilo stanovit strukturu proteinu lysozym z vaječného bílku pomocí difrakčních metod. Také se nám povedlo ověřit fázový diagram použitím metody difuze par s uspořádáním visící kapky s drobnými odchylkami.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našim úžasným vedoucím projektu Janovi Stránskému a Martinovi Malému. Dále také Vojtěchovi Svobodovi a Kateřině Jirákové za organizaci Týdne vědy na Jaderce, bez kterých bychom tady nebyli. A jako poslední bychom chtěli poděkovat naší největší zahraniční podpoře Joelovi L. Sussmanovi.

Reference:

- [1] HUGHEY, V. L. – JOHNSON, E. A.: *Antimicrobial activity of lysozyme against bacteria involved in food spoilage and food-borne disease* Applied and environmental microbiology vol. 53, 1987, pp. 2165-70.

Balmerova série vodíku

Jan Divila; Gymnázium Zlín – Lesní čtvrť; mastermigg@seznam.cz

Dominik Duchek; SPŠ Stavební Plzeň; duchek.dominik@post.cz

Václav Špička; Gymnázium Varnsdorf; abcvasa007@gmail.com

Filip Vrto; Gymnázium Jakuba Škody Přerov; vrtof@seznam.cz

Abstrakt

Vodík je nesmírně důležitým a nejčastěji se vyskytujícím prvkem ve vesmíru (např. ve hvězdách či mlhovinách). Jedná se o prvek s nejjednodušší atomární stavbou obsahující pouze jeden proton s jedním elektronem. Díky tomu se vodík stal častým předmětem pozorování. Naše skupina používala vodík jako medium ve výbojce pro účely spektrometrie.

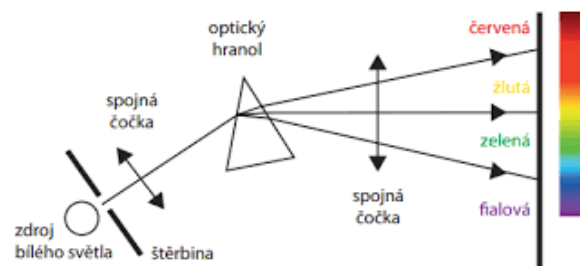
Úvod

Tělesa mohou zářit buď díky nárůstu teploty, nebo díky emisi fotonů. Elektrony se mohou nalézat pouze v určitých, diskretních energetických hladinách a obvykle se nacházejí v základním stavu. Pokud atom přijme určité kvantum energie, dojde k excitaci elektronu na vyšší energetickou hladinu. Při změně této hladiny zpět do základního stavu se uvolňuje určité kvantum energie v podobě emisního záření, které je pomocí hranolu nebo optické mřížky rozložitelné na spektrální čáry. Pro každý prvek je typické určité uspořádání čar emisního spektra, jehož analýza se využívá ve spektrometrii. Pro lidské oko je viditelné elektromagnetické záření o vlnové délce 380-750 nm. U vodíku se jedná o čtveřici emisních spektrálních čar (červená, azurová, modro-fialová, fialová), jimž říkáme Balmerova série.

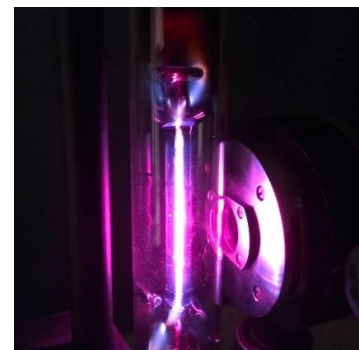
Během tohoto miniprojektu bylo našim cílem teoreticky se seznámit se světlem a jeho částicovou/vlnovou podstavou, problematikou spektrometrie a jednoduchým kvantovým modelem (např. princip stojaté a de Broglieovy vlny či princip diskretních energetických hladin). Také jsme se chtěli zabývat experimentálním měřením vlnových délek spektrálních čar vodíku a následným porovnáním naměřených výsledků s vypočtenými a tabulkovými hodnotami.

Metodika

K měření jsme využívali goniometr, plynové výbojky, optický hranol a difrakční mřížku.



[1] Goniometr – spektroskop, schéma



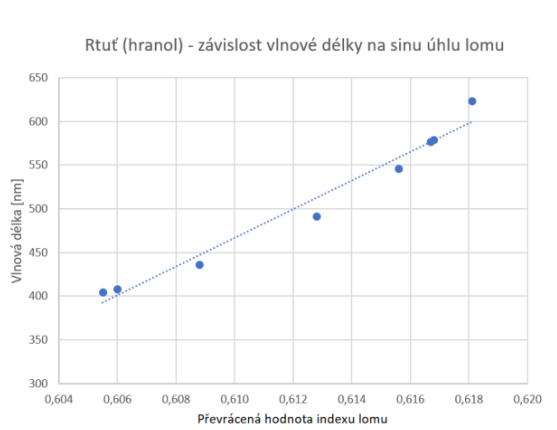
[2] Vodíková výbojka

Spektroskop je optické zařízení sloužící k rozkladu záření na jednotlivé složky spektra a umožňuje jejich pozorování. Skládá se z kolimátoru, který usměrňuje rozbíhavé paprsky, aby dopadly na optický hranol nebo na difrakční mřížku. Tyto optické prvky rozloží světlo, které dále putuje dalekohledem až k oku pozorovatele.

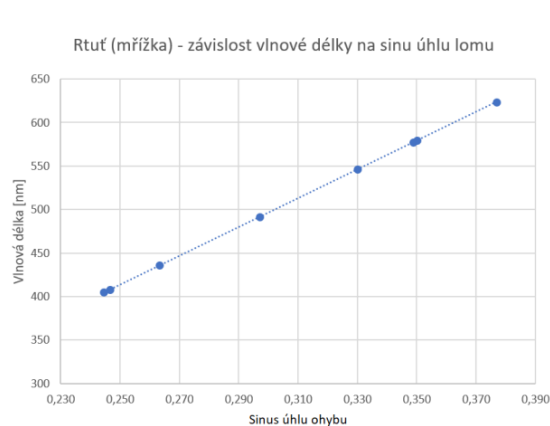
Výbojka je uzavřená trubice naplněná plynem obsahující sadu elektrod, díky jejímž výbojům dochází k excitaci atomů plynu. Ty následně uvolňují energii ve formě záření, které je charakteristické pro daný plyn.

Experimentální měření

Při experimentech jsme využívali optický hranol, ale také difrakční mřížku a porovnávali výsledky jimi získané. Před spektrální analýzou vodíku bylo nejdříve nutné zjistit úhly lomu ve spektru rtuti, abychom kalibraci získali lineární závislost vlnové délky a úhlu lomu. Závislost pevně určených vlnových délek spektrálních čar u rtuti a sinu úhlu lomu jsme pomocí metody nejmenších čtverců proložili přímkou. Z toho následně bylo možno pozorováním spektrálních čar vodíku určit sinus úhlu lomu, který posloužil ke konečnému určení vlnových délek čar v Balmerově sérii.



Graf 1 – rtuť (hranol)



Graf 2 – rtuť (mřížka)

Výsledky a závěr

Barva	Vlnová délka (tabulková) [nm]	Vlnová délka (vypočítaná) [nm]	Měření na hranolu			Měření na mřížce		
			Výsledek [nm]	Rozdíl proti tabulkám		Výsledek [nm]	Rozdíl proti tabulkám	
				Absolutní [nm]	Relativní		Absolutní [nm]	Relativní
červená	656,3	656	615	41,4	0,060	656,1562	0,1438	0,0002
azurová	486,1	486	508	22,1	0,045	485,9469	0,1531	0,0003
modrofialová	434,0	434	444	10,1	0,020	434,6801	0,6801	0,0016
fialová	410,2	410	-	-	-	412,2630	2,0630	0,0050

Změřené úhly vodíkových spektrálních čar jsme využili pomocí empirických vzorců pro rozklad světla mřížkou a hranolem. Tyto hodnoty jsme dosazovali do zkalibrovaných závislostí. Algebraickými úpravami vzorců pro odstředivou sílu, Coulombovu sílu, de Broglieho vlnovou délku, podmínky stojaté vlny na kruhu a celkové energie elektronu v elektrostatickém poli jsme dokázali odvodit

$$\text{Bohrův vzorec } E = -\frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2 n^2}.$$

Porovnáním s tabulkovými hodnotami jsme zjistili, že náš výpočet vlnových délek byl poměrně přesný. Při praktickém provedení experimentu bylo měření s optickým hranolem méně přesné než měření s difrakční mřížkou, u hranolu jsme nezaznamenali fialovou spektrální čáru.

Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat Ing. Michalu Špačkovi za úžasné vedení našeho miniprojektu a pomoc s experimenty, v neposlední řadě také celé FJFI ČVUT za pravidelné konání Týdne vědy.

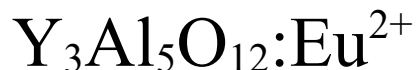
Zdroje

[1]

http://www.trebesin.cz/projekty/OPPA/dokumenty/4_PRA_Emisn%C3%AD_spektra_r%C5%AFzn%C3%BDch_zdroj%C5%AF..pdf

[2] vlastní fotoarchiv

Teplotní závislost časové odezvy



V. Stuchlý – Gymnázium Josefa
Jungmanna, Litoměřice

T. Roztočilová – Gymnázium Joachima
Barranda, Beroun

M. Štefaník – Masarykovo gymnázium,
Příbor, p. o.

marek.stefanik@gypri.cz

Abstrakt:

Scintilační materiály ve specifických aplikacích potřebují fungovat rychle v řádu nanosekund. Proto je třeba znát časovou odezvu, kterou jsme pro konkrétní materiál $Y_3Al_5O_{12}:Eu^{2+}$ (YAG) měřili pomocí časově rozlišené luminiscenční spektroskopie metodou *time correlated single photon counting*. Dalším důležitým parametrem je teplotní stabilita emise, kterou jsme ověřovali v teplotním intervalu 77 K – 467 K s použitím dusíkového kryostatu.

1 Úvod

Ionizující záření je možné detekovat pouze díky jeho interakci s hmotou. K tomu se nejhojněji využívají scintilační materiály, které se řadí mezi luminiscenční materiály. Při pohlcení ionizujícího záření dochází k

luminiscenci, při níž se uvolňují fotony viditelného světla. Ty poté můžeme jednoduše zachytit a převést na elektrický signál pomocí fotodetektoru. Fotony se emitují díky tomu, že elektrony v energetických pásích jsou ionizujícím zářením excitovány do vyšších pásů a při následné deexcitaci dochází k emisi světla o vyšší vlnové délce.

Scintilační materiály mají širokou škálu uplatnění v několika oborech, například ve fyzice vysokých energií, kde je třeba detekovat záření o nejvyšších energiích, např. v urychlovačích. Dále pak v lékařství hned pro několik zobrazovacích metod jako CT (computed tomography), SPECT (single photon emission computed tomography) a PET (positron emission tomography) a při bezpečnostní kontrole na letištích, v geologii nebo při mapování jaderných katastrof.

2 Experiment

Materiály a metody

Scintilační materiály jsou většinou anorganické krystaly a dále keramiky, skla nebo plasty. Příklady takovýchto materiálů jsou k vidění na obrázku 1. My jsme pro naše měření časové odezvy použili práškový scintilátor YAG dopovaný ionty Eu^{2+} .

Provedení experimentu

Připravili jsme si kryostat a tekutý dusík. Příprava spočívala v otevření kryostatu a nanesení stříbrné pasty, která zajišťuje tepelný přenos mezi vzorkem a kryostatem. Dále jsme nanесли práškový vzorek YAG a

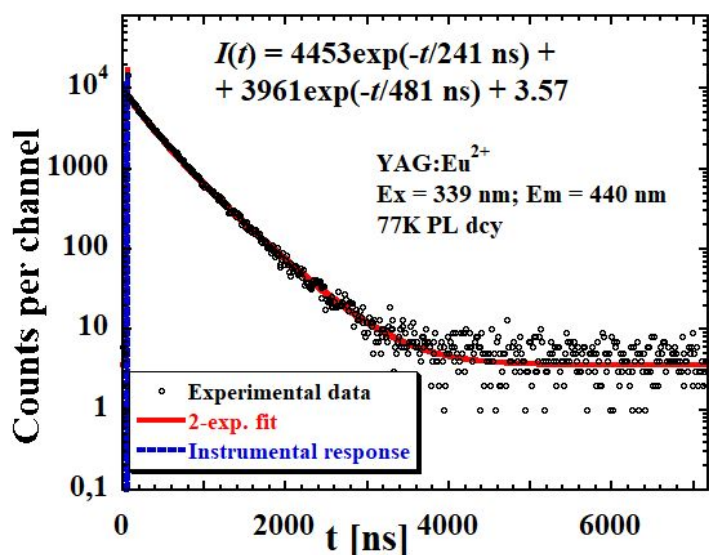
kryostat jsme připevnili k vakuové vývěvě a evakuovali jsme vzduch. Poté jsme kryostat vložili do měřicí aparatury, ke které jsme připevnili pulzní LED (339 nm). Součástí aparatury byl monochromátor a fotonásobič. Zpracování údajů probíhalo na počítači.

Před začátkem měření jsme do kryostatu napustili tekutý dusík a do cesty emisnímu světlu jsme vložili filtr blokující rozptýlené excitační světlo. Experimenty jsme měřili při teplotách od 77 K do 467 K s krokem 30 K. Při každé teplotě jsme zaznamenali křivku intenzity emisního světla v závislosti na čase, jejíž příklad při teplotě 77 K je na grafu 1 níže.

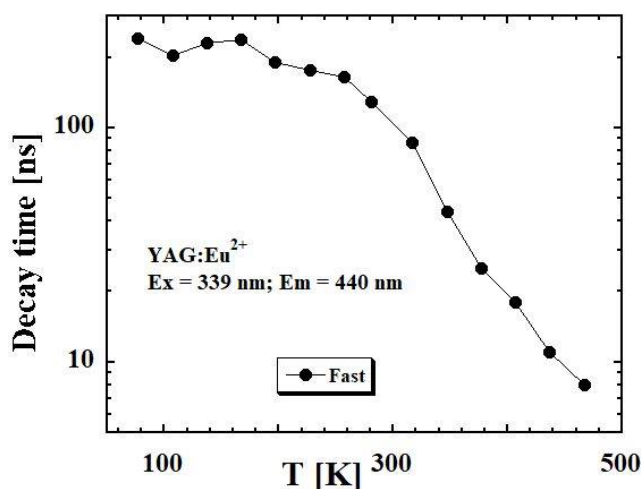
Diskuse a výsledky

Rychlost scintilačního odezvy je charakterizována dobou života τ , se kterou scintilační materiál reaguje na interakci ionizujícího záření. Vzhledem k tomu, že emise nenastává v jednom jediném okamžiku, ale je rozprostřená v čase, rozumí se touto dobou života τ takový čas od interakce, ve kterém se intenzita emise sníží na hodnotu $1/e$.

Graf 1



Graf 2



Na grafu 1 vidíme nafitovanou křivku změřenou při 77 K, přičemž experimentální data byla nafitována pomocí dvou exponenciálních funkcí ve tvaru:

$$I(t) = A_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} + \text{pozadí}$$

, kde A je amplituda a τ je doba života dané komponenty. Na grafu 2 vidíme celkovou teplotní závislost dob života scintilačního materiálu YAG:Eu²⁺, ze které vyplývá, že při nižších teplotách je doba života rychlejší komponenty konstantní a přibližně od 250 K se začíná zkracovat.

3 Shrnutí

Změřili jsme časovou odezvu scintilačního materiálu YAG:Eu²⁺ při různých teplotách a zjistili jsme, že při nízkých teplotách je časová odezva relativně konstantní, ale při vyšších teplotách klesá v důsledku nezářivých procesů.

Reference:

- [1] JARÝ, V. – PEJCHAL, J.: *SCINTILÁTORY KOLEM NÁS*. AKADEMIA, 2018,
- [2] Martin Nikl, Akira Yoshikawa. Recent R&D Trends in Inorganic Single-Crystal Scintillator Materials for Radiation Detection. *Advanced Optical Materials*. Volume 3(4), 2015, 463 - 481.

Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů

M. Fürst¹, J. Poštulka², V. Remiš³, K. Rosická⁴
G Christiana Dopplera¹, G Uničov², G Nymburk³, G J. Ortена Kutná Hora¹
furst@gchd.cz¹, jan.postulka16@seznam.cz², 12bremis@gym-nymburk.cz³,
kacka.rosicka@gmail.com⁴

Abstrakt

V našem miniprojektu jsme si dali za cíl vizualizovat tvary orbitalů nukleonů v atomovém jádře, a to jak ve sféricky symetrickém, tak v deformovaném případě. Pomocí grafického programu GNUPLOT jsme vygenerovali několik tvarů, přesvědčili se o vlivech jednotlivých parametrů a prozkoumali energii těchto orbitalů.

1 Úvod

V atomovém jádře se nacházejí protony a neutrony, které dohromady nazýváme nukleony. Stejně jako elektrony v atomovém obalu, i nukleony v jádře se chovají podle zákonů kvantové mechaniky, tedy veličiny, které je popisují, mohou nabývat pouze konkrétních diskretních hodnot. Jak jsou ale nukleony v jádře rozložené? To nemůžeme říct přesně, pouze s jakou pravděpodobností se nacházejí v daném místě. Naším cílem bylo vykreslovat tato rozložení pravděpodobnosti pomocí grafického programu GNUPLOT.

2 Teorie

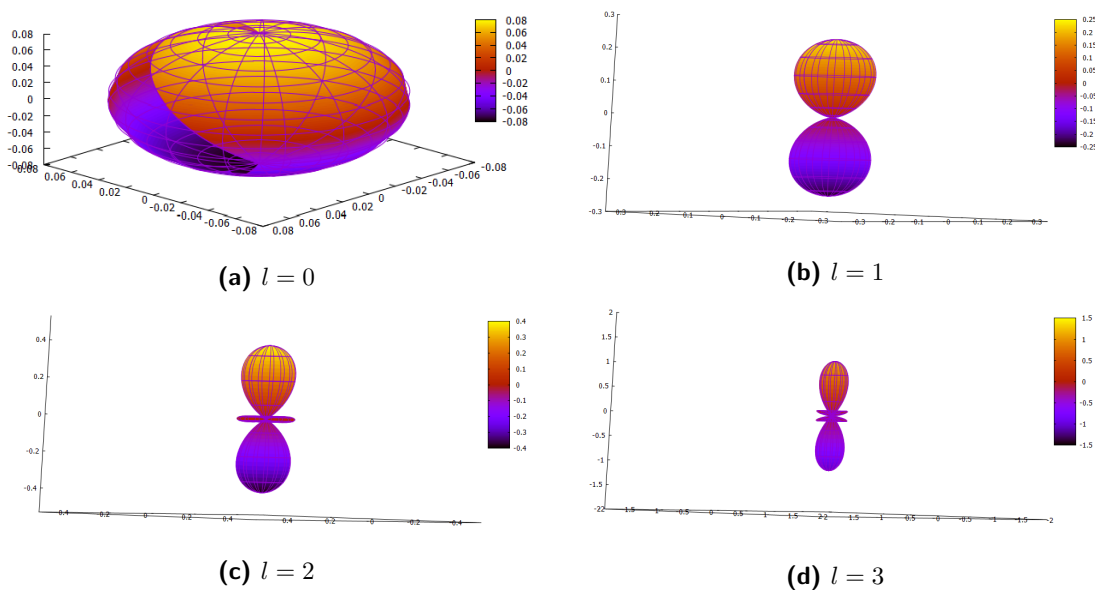
Jádro atomu je objektem mikrosvěta, tedy k jeho popisu musíme použít kvantovou mechaniku. V této teorii nejsou objekty částicemi ani vlnami, ale díky takzvanému *částicově-vlnovému dualismu* obojím zároveň. To znamená, že například proton nebo elektron může interferovat sám se sebou nebo se může nacházet na více místech zároveň díky takzvanému *principu superpozice*. Pravděpodobnou polohu nukleonu popisujeme pomocí vlnové funkce, jejíž druhá mocnina znamená pravděpodobnost výskytu nukleonu v prostoru. V momentě, kdy provedeme měření, vlnová funkce kolabuje a částice se objeví pouze v jednom bodě. V našem příspěvku jsme se zabývali dvěma situacemi, a to sféricky symetrickým stavem a deformovaným stavem. Ve sféricky symetrickém případě popisuje stav částice v jádře popisují 4 kvantová čísla – hlavní kvantové číslo n , orbitální kvantové číslo l určující moment hybnosti, magnetické kvantové číslo m určující projekci momentu hybnosti a spinové číslo s_z . Hlavní kvantové číslo n určuje velikost slupky a nabývá hodnot přirozených čísel, orbitální číslo nabývá hodnot 0 až n , magnetické číslo $-l$ až $+l$ a spinové číslo má hodnoty $-1/2$ nebo $+1/2$. Číslo slupky je zde určeno výrazem $N = 2n + l$. V deformovaném případě popisují stav částice opět 4 kvantová čísla, tentokrát hlavní kvantové číslo v rovině xy n_{\perp} , hlavní kvantové číslo v ose z n_z obě s hodnotami přirozených

čísel, moment hybnosti v rovině xy Λ a spinové číslo s_z nabývající hodnot $-1/2$ nebo $1/2$. Číslo slupky N je pak součtem hlavních kvantových čísel n_{\perp} a n_z v obou směrech. Deformací se rovněž mění energie částice, proto pro různé deformace nemusí množství energie odpovídat pořadí slupek.

3 Vizualizace

V naší práci jsme vizualizovali jádra pomocí vykreslování ploch se stejnou pravděpodobností výskytu nukleonu při různých hodnotách kvantových čísel.

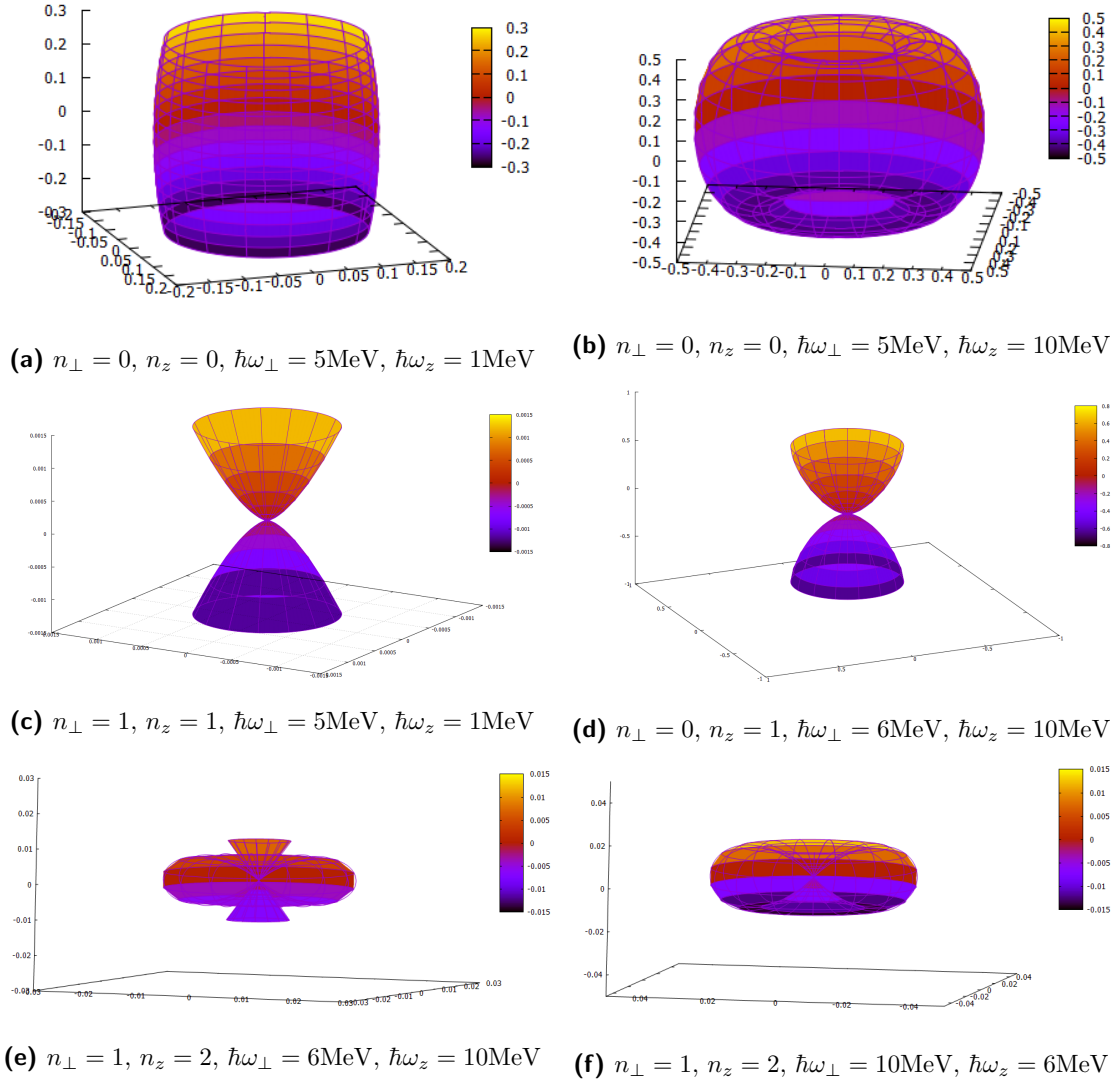
- Vizualizaci jsme realizovali pomocí programu GNUPLNOT, kam jsme zadávali vypočtené funkce pravděpodobnosti polohy ve sférických souřadnicích pro symetrická jádra a v cylindrických pro deformovaná jádra.
- Ve sféricky symetrickém případě jsme vizualizovali pouze 4 podoby orbitalů dle vedlejšího kvantového čísla l . Vykreslili jsme tedy různé podoby orbitalů pro vedlejší kvantová čísla 0, 1, 2 a 3 s výsledky na obrázku 1.



Obrázek 1: Sféricky symetrické orbitaly

V nesymetrickém případě kromě kvantových čísel ovlivňuje podobu orbitalu i míra deformace, tedy je mnohem více možných tvarů orbitalů. U deformace rozlišujeme dva typy, jeden s větším roztážením v rovině xy a druhý ve směru osy z . Kromě toho tvar ovlivňují i kvantová čísla n_{\perp} a n_z . Na obrázku 2 můžete vidět některé z námi vygenerovaných deformovaných tvarů orbitalů. Na obrázcích jsou z dobré viditelnosti různé rozměry os.

- Různě deformované orbitaly se navzájem liší nejen svým tvarem, ale i svou velikostí, což je způsobeno rozdílnou energií orbitalů pro daná kvantová čísla. Závislost energie orbitalu na poměru úhlových frekvencí kmitání v ose z a v rovině xy zobrazuje obrázek 3.



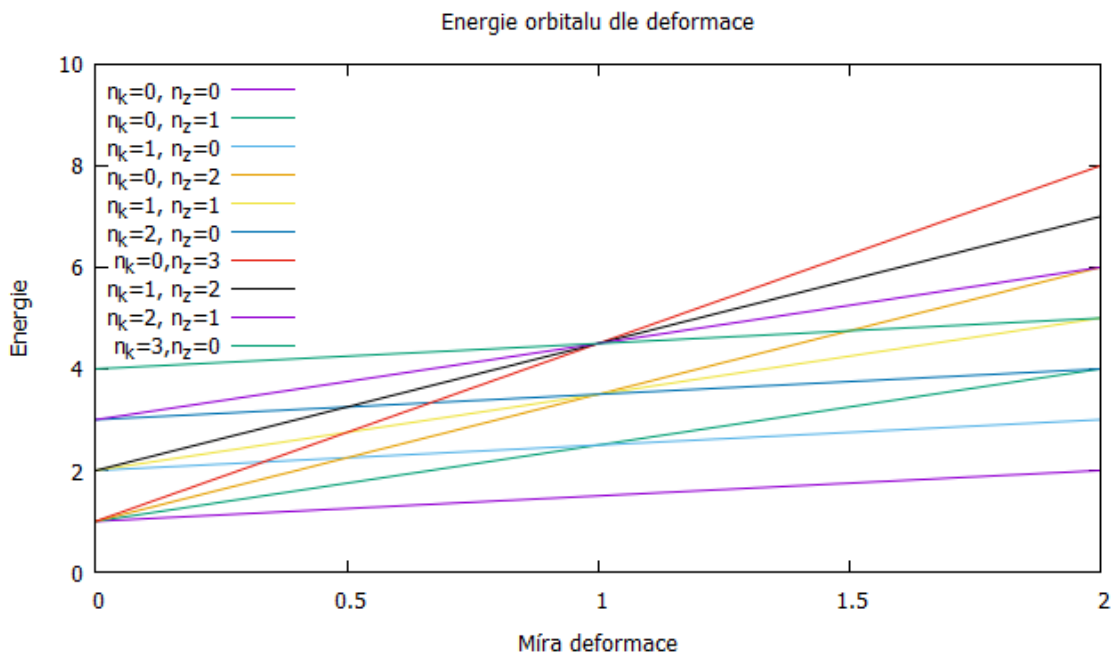
Obrázek 2: Deformované orbitály

4 Shrnutí

V našem miniprojektu jsme se pokusili vizualizovat sféricky symetrické i deformované orbitály nukleonů v jádře. Zjistili jsme, že na podobu orbitalu mají kromě kvantových čísel výrazný vliv i deformační činitelé.

Poděkování

Děkujeme našim vedoucím, Petru Veselému a Janu Pokornému za vysvětlení potřebné teorie a pomoc s technickým provedením vizualizace. Dále děkujeme všem organizátorům Týdne Vědy na Jaderce za možnost zúčastnit se této akce.



Obrázek 3: Závislost energie na míře deformace

Reference

- [1] P. Veselý *Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů*. http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~vesely/seminars/2019/Tyden_vedy/Miniprojekt_tyden_vedy.pdf. 2019.

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

J. Zeman¹, A. Kopecká², J. Šejnoha³

¹Gymnázium Jaroslava Heyrovského,

²Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm,

³Masarykovo Gymnázium Příbor

jakub_zeman@volny.cz,
betka.kopecka@seznam.cz
jiri.sejnoha@gypri.cz

Abstrakt:

Díky velmi malé vlnové délce elektronů a jejich difrakci v krystalech jsme schopni pozorovat objekty velké pouze několik nanometrů. Pomocí transmisní elektronové mikroskopie (TEM) můžeme zkoumat jak strukturu krystalů, tak rozmístění jednotlivých atomů. Z mikroskopu jsme získali difraktogramy a na jejich základě jsme určovali skutečnou strukturu krystalů. V naší práci jsme se zaměřili na vzorky hliníku (s jemnými a hrubými krystaly), železa a na slitinu NiTi.

1 Úvod

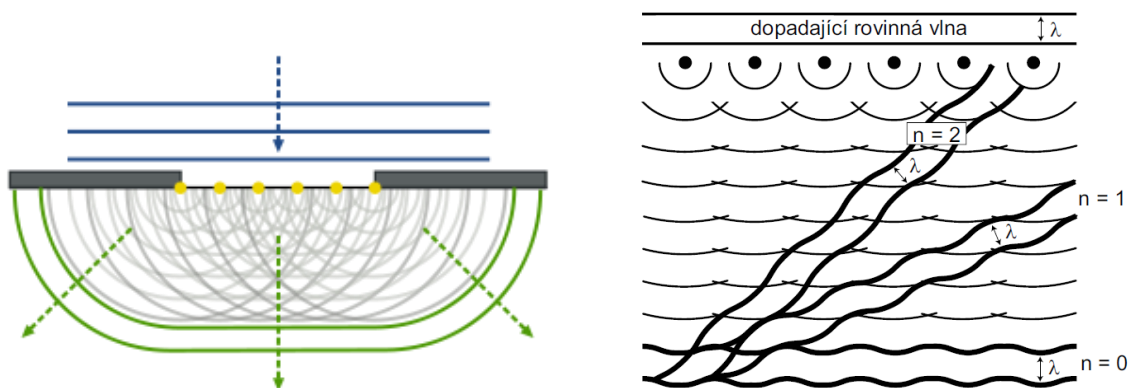
Difrakce elektronů a RTG záření na krystalech se využívá nejen v oblasti vědy a výzkumu, ale také při kontrole namáhaných materiálů (v letectví, strojírenství), v biologii a v dalších oborech. V případě elektronů – nabitých částic, které jsou odklány ze směru dopadu jádru atomů silnou Coulombovskou interakcí – je třeba studované vzorky ztenčit na tloušťku 30 až 400 nm.

2 Teorie

Základy difrakce

Difrakce (česky také někdy označovaná jako ohyb) je jev, kdy se vlnění po průchodu štěrbinou dostává i do oblasti geometrického stínu. To lze pozorovat u všech typů vlnění. Lze ji velice dobře pozorovat například u zvuku – vlnění se ohýbá za geometrický obrys všech překážek. Díky tomu můžeme zvuk slyšet za rohem. Ohyb je důsledkem Huygensova principu, při kterém se každý bod, do kterého vlnění dospěje, stává sám o sobě dalším zdrojem vlnění Obr. 1a. [2] S difrakcí souvisí také interference, což je skládání vln podle

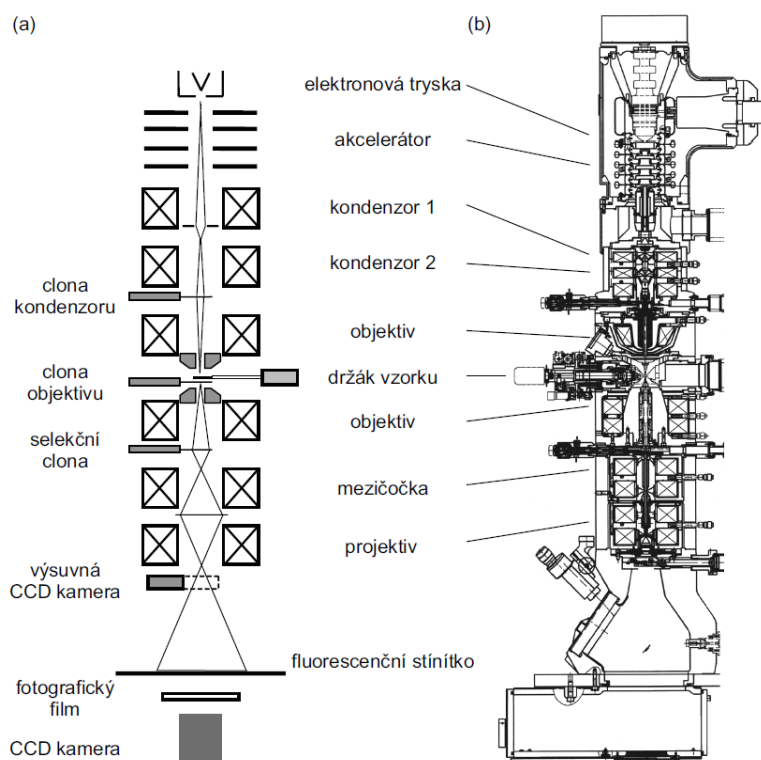
jejich fáze. Výsledkem interference je složené vlnění, které se v určitých oblastech vruší (destruktivní interference) a v jiných se zesílí (konstruktivní interference – obr 1a,b) [3].



Obr. 1. (a) Difrakce světla, jak ji popisuje Huygensův princip (každý bod na čele šířící se vlny lze chápat jako nový zdroj vlnění (sekundárních vln) [1], (b) difrakce na řadě atomů (difraktované svazky jsou výsledkem interference kulových vln vznikajících na každém atomu) [4].

Transmisní elektronový mikroskop

Transmisní elektronový mikroskop (TEM) využívá proudy elektronů k zobrazení struktur v řádu zlomků nanometrů, popřípadě i samotné atomy. Zobrazení těchto struktur nelze dosáhnout pomocí klasického mikroskopu, využívajícího pouze fotonů, jelikož fotony mají příliš velkou vlnovou délku.



Obr. 2. Schéma tubusu transmisního elektronového mikroskopu (a) a řez přístrojem JEOL (b) [4].

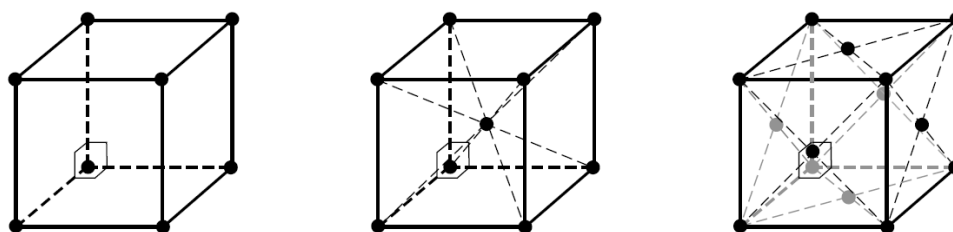
Na urychlení svazku elektronů se většinou používá napětí 200 kV. Uvnitř tubusu je vakuum, aby nedocházelo k rozptylu elektronů na molekulách plynu. Součástí tubusu je elektronová tryska, akcelerátor, kondenzorové čočky, objektiv, mezičočka, projekční čočka a pozorovací komora s fluorescenčním stínítkem. V dnešní době se již obraz neregistruje na fotografický film, ale využívá se digitální zobrazení. [4]

Difraktogramy

Pro měření krystalové mřížky se používají difraktogramy dvou typů. Kruhový difraktogram vzniká při difrakci na polykrystalickém vzorku s velikostí zrn 10 až 100 nm. Bodový difraktogram získáme v materiálech se zrny většími než 500 nm, umožňuje nám rozpoznat orientaci krystalové mřížky vůči směru dopadajícího elektronového svazku.

Krystalické mřížky

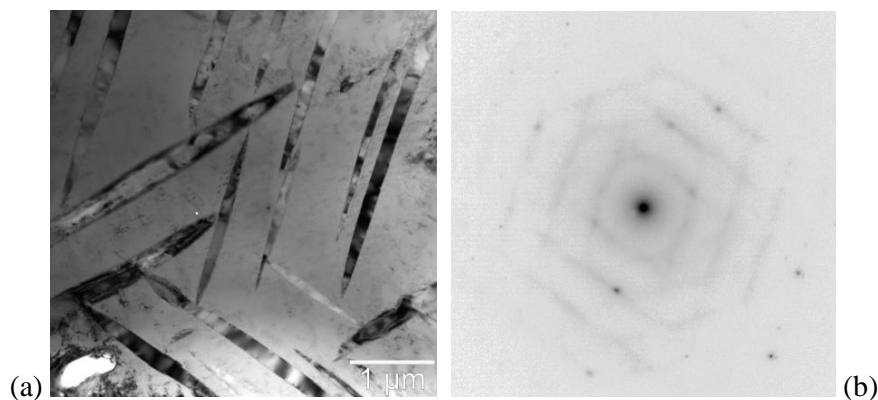
Pevné látky se v přírodě vyskytují ve formě amorfni (bez pravidelného vnitřního uspořádání) a krystalické. Ty se dále dělí na monokrystaly (v celém objemu vykazují translační symetrii elementární buňky krystalové mřížky) a polykrystaly (obsahují velké množství vzájemně náhodně orientovaných zrn). Celkem existuje sedm typů krystalových soustav. Nejčastějšími jsou ortorombická (kosočtverečná) nebo kubická (krychlová), se kterou jsme se setkali i v našem projektu. Krychlové soustavy se dále dělí podle přítomnosti dalších atomů v mřížce na prostou (primitivní), plošně centrovanou a prostorově centrovanou.



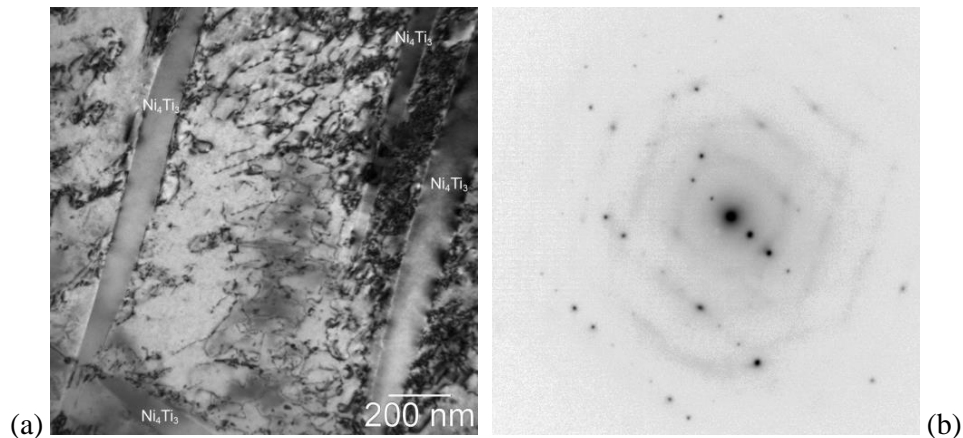
Obr. 3. Kubické krystalové struktury, zleva doprava: prostá, prostorově centrovaná a plošně centrovaná.

3 Měření

Pozorovali jsme slitinu NiTi (s vlastností tvarové paměti).



Obr. 4: (a) Snímek slitiny NiTi v rozptylovém kontrastu. Je vidět matici (majoritní zrno NiTi, šedá plocha) a částice fáze Ni_4Ti_3 čočkovitého průřezu, které v matici vznikají precipitací (transformací v pevné fázi), (b) odpovídající bodový difrakční obrazec matrice (jedná se o pouze o jedno zrno, tedy o monokrystal).



Obr. 5: (a) V difrakčním kontrastu jsou mezi částicemi Ni_4Ti_3 viditelné krátké černé čáry – dislokace; jsou to čarové poruchy krystalové mřížky vznikající buď při plastické deformaci slitiny vnějším napětím (tah, tlak, ohyb, válcování, redukce průřezu při tažení drátu) nebo v důsledku vnitřních napěťových polí vyvolaných růstem částic precipitátů (zde Ni_4Ti_3), (b) odpovídající difrakční obrazec částice Ni_4Ti_3 s romboedrickou (klencovou) mřížkou.

4 Shrnutí

V tomto miniprojektu jsme měli možnost se seznámit s prací s TEM a vyzkoušet si určování typů krystalových mřížek podle kruhových a bodových difraktogramů. Rovněž jsme mohli pozorovat krystalové poruchy (např. dislokace) ve slitině NiTi.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali celému realizačnímu týmu týdne vědy a obzvláště pak panu prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi za seznámení s danou problematikou, za jeho cenné rady a za poskytnutí obrazových příloh.

Reference:

- [1] Kolektiv autorů: Wikipedia, the free encyclopedia – Huygens – Fresnel principle (https://en.wikipedia.org/wiki/Huygens%20%80%93Fresnel_principle), citováno 18.6.2019
- [2] Kolektiv autorů: Wikipedia, the free encyclopedia – Difrakce (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Difrakce>), citováno 18.6.2019
- [3] Kolektiv autorů: Wikipedia, the free encyclopedia – Interference (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Interference>), citováno 18.6.2019
- [4] KARLÍK, Miroslav. *Úvod do transmisní elektronové mikroskopie*, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2011, strana 13.

Okno do fyziky elementárních částic

A. Bakočová, L. Krpálek, Š. Pošta

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

bakocovaanezka@seznam.cz, ladikkrpalek@gmail.com,
simaposta@seznam.cz

Abstrakt:

Těžiště tohoto miniprojektu spočívalo v popularizaci kvantové teorie, zvláště pak kvantové teorie pole se zaměřením na slabou interakci. Jmenovitě na interakci intermediálního Z^0 bosonu v leptonovém sektoru. Náš výzkum byl završen naměřením invariantní hmoty Z^0 bosonu s využitím Monte Carlo generátoru Herwig 7.

1 Úvod

Za elementární označujeme takové částice, které v současnosti považujeme za dále nedělitelné. Máme určitý model, z něhož vychází i naše další snažení v rámci tohoto projektu. Jedná se o takzvaný Standardní model částicové fyziky. Ten vysvětluje kvantové jevy na základě interakcí elementárních částic. Těmito částicemi jsou kvarky, leptony a intermediální bosony – zprostředkovávající silové interakce. Standardní model popisuje síly elektromagnetické, slabé a silné, nezahrnuje však síly gravitační.

Elektromagnetická síla je zprostředkována nehmotnými fotony γ , slabá síla bosony W^\pm a Z^0 a silná jaderná síla pomocí osmi gluonů g . Poslední ingrediencí Standardního modelu je Higgsův boson a i přestože nezprostředkovává žádnou z interakcí, pro teorii je nepostradatelný, neboť vysvětluje původ hmoty.

Existuje poměrně univerzální nástroj na získání pohybové rovnice, takzvaný Lagrangeův formalismus založený na Lagrangeově funkci, který obsahuje informaci o kinetické a potenciální energii námi studovaného systému. Kromě toho, že má Lagrangeův formalismus mnohá využití v klasické fyzice, dokonce jsou na něm založeny další pokročilé teorie jako je například kvantová teorie pole. Na rozdíl od kvantové mechaniky, která úspěšně popisuje především jednočásticový systém, je kvantová teorie pole schopna popisu interakce více částic. Klíčovou složkou bádání v oboru kvantové teorie pole je interakční Lagrangián L_{int} . My jsme se seznámili s interakčním Lagrangiánem slabé interakce.

Slabá interakce je zprostředkována intermediálními bosony W^\pm a Z^0 . Dochází v ní k interakci mezi jedním z těchto bosonů a dalšími částicemi. V rámci našeho projektu jsme se blíže seznámili s vektorovým bosonem Z^0 a jeho interakcí v leptonovém sektoru. Tato interakce je popsána následujícím Lagrangianem.

$$L = \frac{g}{2 \cos \theta_W} \bar{\Psi} \gamma^\mu (v - a\gamma_5) \Psi Z_\mu. \quad (1)$$

Rovnice (1) obsahuje interakci bosonu Z^0 se dvěma leptony, například dvojicí elektron pozitron $\bar{\Psi}$ a Ψ . Objevuje se zde také vazbová konstanta $\frac{g}{2 \cos \theta_W}$ vyjadřující míru významnosti slabé interakce. Dále se zde nachází vlnová funkce samotného bosonu Z_μ . Ve vzorci jsou dále obsaženy algebraická struktury $\gamma^\mu (v - a\gamma_5)$, které vyjadřuje narušení parity. Tento faktor vypovídá o narušení diskretní symetrie zrcadlení ve slabých interakcích.

2 Měření invariantní hmoty Z^0 bosonu

Zaměřili jsme se na interakce Z^0 bosonu. Neměli jsme reálná data, proto jsme použili Monte Carlo generátor, Herwig 7. Simulovali jsme 20000 událostí při těžišťové energii 13 TeV. Události jsme definovali jako srážku dvou protonů, při které vzniká Z^0 boson. Poté jsme je analyzovali. Zajímali jsme se o procesy, ve kterých jsme v koncovém stavu pozorovali právě dva leptony – například elektron-pozitronový pár nebo pár muon antimuon.

Z naměřených čtyř-hybností dvou vzniklých nabitých leptonů jsme zjistili čtyř-hybnost Z^0 bosonu a následně jsme spočetli invariantní hmotu Z^0 bosonu pomocí rovnice (2)

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m_z^2 c^4. \quad (2)$$

Kde \vec{p} značí tří-hybnost Z^0 bosonu a m_z invariantní hmotu Z^0 bosonu.

Histogram invariantních hmotností studovaného Z^0 bosonu jsme nejprve proložili Gaussovou funkcí (3)

$$f(x) = a e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

kde μ vyjadřuje střední hodnotu, tedy hodnotu, při které dosahuje Gaussova křivka svého maxima. Dále σ určuje směrodatnou odchylku a parametr a určuje výšku „peaku“. Gaussova funkce je hojně využívána v mnoha oborech matematiky a fyziky, ale pro analýzu těchto dat nebyla zcela ideální. Museli bychom kombinovat minimálně dvě Gaussovy křivky pro dosažení lepšího výsledku. Proto jsme se poté zaměřili na Breit-Wignerovo rozdělení (4)

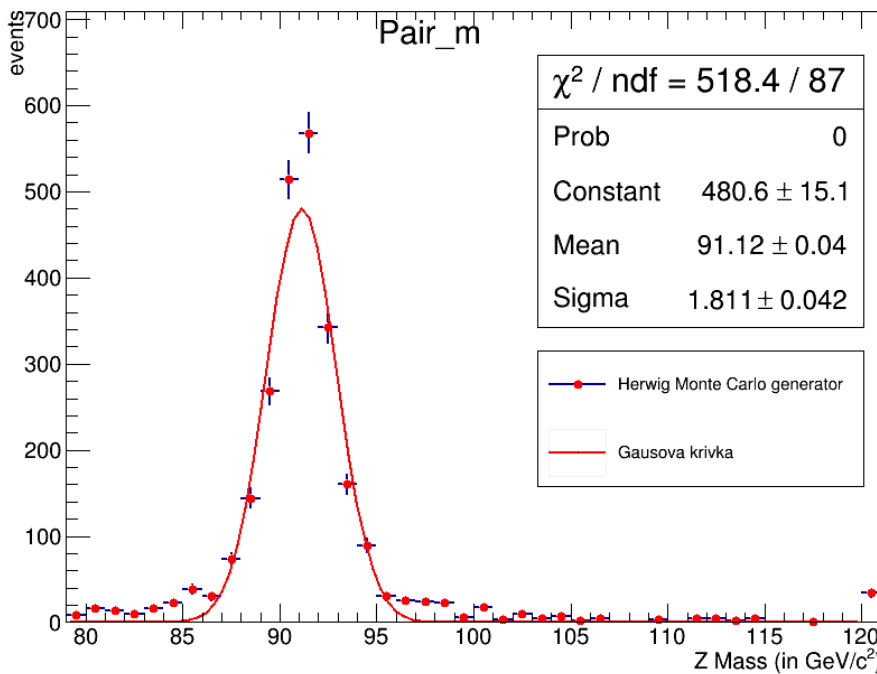
$$f(E) = C \frac{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}{(E - E_R)^2 + \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}. \quad (4)$$

V této rovnici vyjadřuje C konstantu, kterou jsme zároveň použili jako fitovací parametr p_0 . Dále E_R je energie rezonance, kterou jsme ztotožnili s parametrem p_1 a Γ je šířka rezonance přičemž $\frac{\Gamma}{2}$ jsme použili jako parametr p_2 .

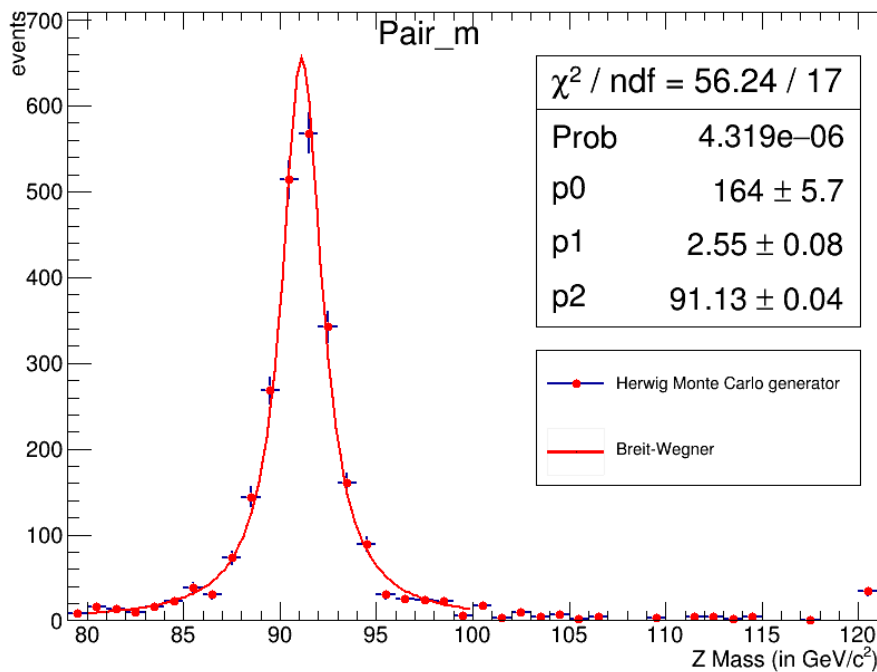
Breit-Wignerovo rozdělení naše výsledky vystihuje přesněji, nemá pouze statistický charakter, ale je podloženo fyzikální teorií.

Ze simulovaných dat a získaného fitovaného parametru p_2 Breit-Wignerova rozdělení jsme určili invariantní hmotu Z^0 bosonu m_z

$$m_z = (91.13 \pm 0.04) \frac{GeV}{c^2}.$$



Obr. 1: Rozložení invariantní hmoty Z^0 bosonu, simulovaná data jsou dále fitována Gaussovou funkcí



Obr. 2: Rozložení invariantní hmoty Z^0 bosonu, simulovaná data jsou fitována Breit-Wignerovým rozložením

3 Závěr

Seznámili jsme se s pokročilými fyzikálními teoriemi, především s principy v teorii pole se zaměřením na slabou interakci. Závěrem jsme změřili invariantní hmotu Z^0 bosonu $m_z = (91.13 \pm 0.04) \frac{\text{GeV}}{c^2}$.

4 Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat našemu vedoucímu Otovi Zaplatílkovi za obětavou pomoc a výborný výklad. Dále děkujeme organizátorům akce Týdne vědy.

Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu

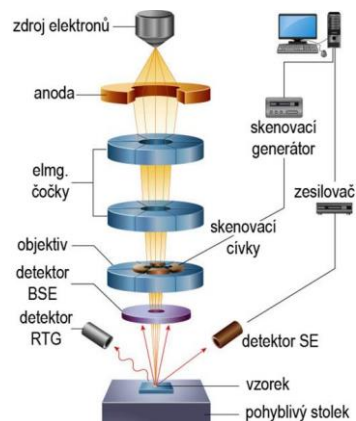
Kateřina Kuthanová
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
katerina.kuthanova@post.cz

Abstrakt

V této práci jsou shrnuty mé poznatky z miniprojektu týkajícího se využití řádkovacích elektronových mikroskopů na katedře materiálů na FJFI, ČVUT.

Úvod

Elektronové mikroskopy umožňují pozorovat mikrostrukturu materiálů a její vady ve velmi velkém zvětšení až 10 000 000x (transmisní mikroskopy), což je umožněno díky krátké vlnové délce elektronů. Elektronové mikroskopy dělíme na rastrovací (SEM) a transmisní (TEM). Zatímco rastrovací mikroskopy fungují na základě snímání produktů reakce dopadajícího svazku elektronů na pozorovaný povrch, transmisní mikroskopy tvoří obraz pomocí elektronů procházejících vzorkem. Jsou schopny dosáhnout většího zvětšení, ale příprava vzorků je výrazně náročnější. Na katedře materiálů FJFI ČVUT se používají rastrovací elektronové mikroskopy (viz. Obr.1), zejména na studium lomových ploch. Cílem této práce bylo dozvědět se něco o elektronové mikroskopii, stavbě, funkci a použití rastrovacího elektronového mikroskopu a pozorování lomové plochy slitinových trubiček.



Obrázek 1: Schema rastrovacího elektronového mikroskopu [1]

Vlastní práce

1) Rastrovací elektronový mikroskop

Rastrovací (též řádkovací) elektronový mikroskop (SEM (scanning electron microscope)) využívá ke zobrazení vzorku nejčastěji snímání sekundárních elektronů (SE (secondary electrons)) a zpětně odražených elektronů (BSE (back-scattered electrons)). Umožňuje mimo jiné pozorovat mikrostrukturu a vady v ní, jejich původ a důsledky. Je používán např. v materiálovém výzkumu.

Během našeho miniprojektu jsme měli k dispozici mikroskop JEOL JSM-IT500HR (viz. Obr. 2), který jako zdroj elektronů využívá wolframovou elektrodu (FEG). Má vysokou rozlišovací schopnost a umožňuje okamžitou analýzu vzorku díky vestavenému energiově disperznímu analyzátoru chemického složení. V ideálních podmínkách by elektrony měly procházet vakuem, kterého však nejsme schopni absolutně dosáhnout. Nevodivé vzorky (např. keramické) je potřeba pokrýt (napařit) jinou vodivou látkou (např. zlato).

2) Pozorování vrstev oxidů na dvou vzorcích trubiček ze slitin Zr

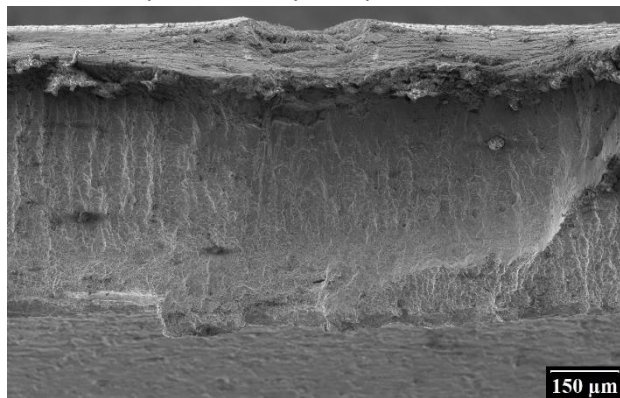
Pozorovaným předmětem našeho miniprojektu byla lomová hrana trubičky ze Zr slitiny, na jejímž povrchu se nacházela vrstva oxidu. Vzorky jsme pozorovali ve zvětšení 100 až 20 000x a byly provedeny analýzy jejich chemického složení.

První trubička (viz. Obr. 3a,b, 4a,b) ze slitiny Zr1%Nb byla exponována v páře 500°C po dobu čtrnácti dní. Vrstva oxidu zde byla výrazně menší a tvořila kratší sloupec. Druhá trubička (viz. Obr. 5a,b, 6a,b) byla ze slitiny Zr1%Sn exponována v páře 1200°C po

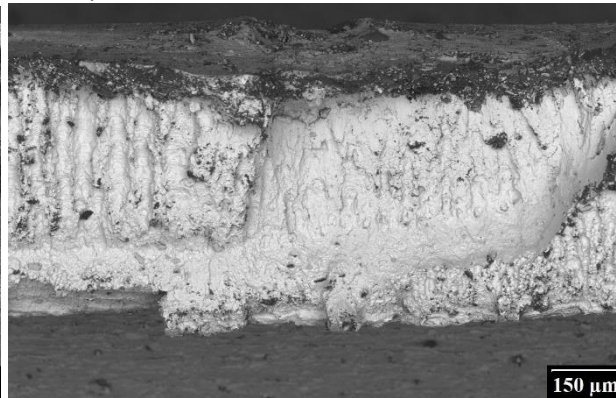


Obrázek 2: Mikroskop JEOL JSM-IT500HR [2]

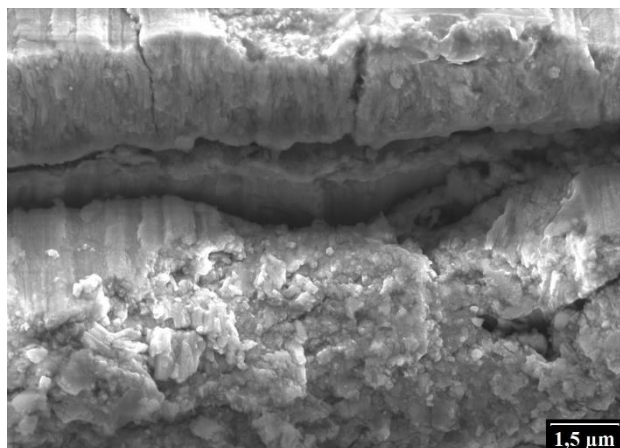
dobu pěti minut. Oxidová vrstva byla na tomto vzorku větší a tvořila protáhlé sloupce, na jejichž povrchu se nacházely částice s vyšším podílem kovu než v okolním prostředí.



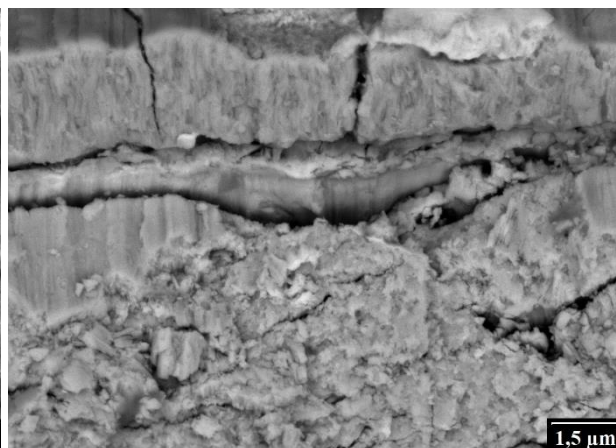
Obr. 3a: pohled na vzorek 1, zvětšení 100x, snímek SE



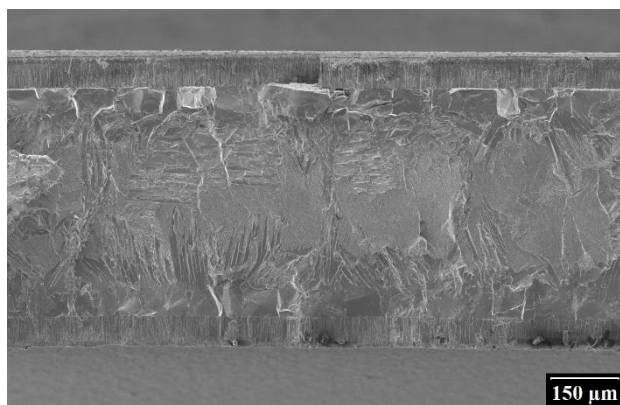
Obr. 3b: pohled na vzorek 1, zvětšení 100x, snímek BSE



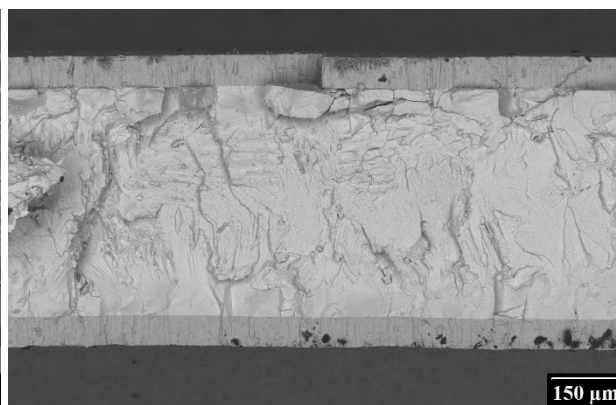
Obr. 4a: pohled na vzorek 1, zvětšení 10 000x, snímek SE



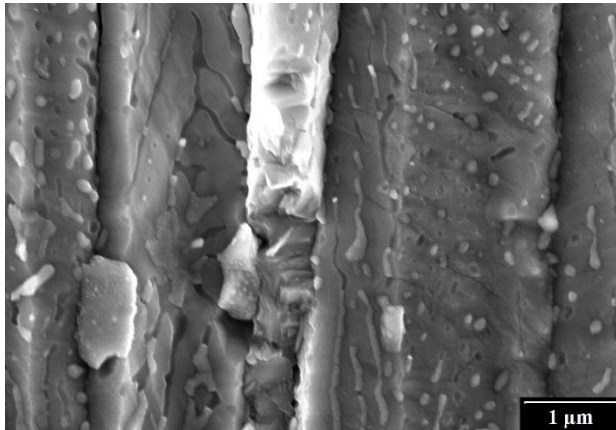
Obr. 4b: pohled na vzorek 1, zvětšení 10 000x, snímek BSE



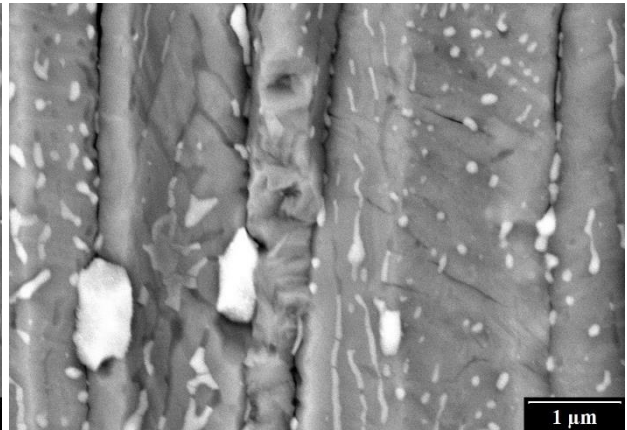
Obr. 5a: pohled na vzorek 2, zvětšení 100x, snímek SE



Obr. 5b: pohled na vzorek 2, zvětšení 100x, snímek BSE



Obr. 6a: pohled na vzorek 1, zvětšení 20 000x, snímek SE



Obr. 6b: pohled na vzorek 1, zvětšení 20 000x, snímek BSE

Závěr

Dozvěděla jsem se o principech fungování, funkci a použití rastrovacího elektronového mikroskopu. Získala jsem částečný přehled o problematice materiálového výzkumu a elektronové mikroskopie, naučila jsem se částečně pracovat s rastrovačím elektronovým mikroskopem, rozlišovat jednotlivé struktury a provést jejich analýzu.

Poděkování

Tímto bych rada podekovala Ing. Janu Adámkovi za skvělé vedení miniprojektu, užitečné rady a důležité připomínky při práci na projektu.

Obrázkové zdroje

- [1] Obrázek je dostupný z internetového zdroje: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1675-skenovaci-elektronovy-mikroskop>
- [2] Obrázek dostupný z internetového zdroje: https://www.jeol.co.jp/en/products/special_edition/2017/special01.html

Reference

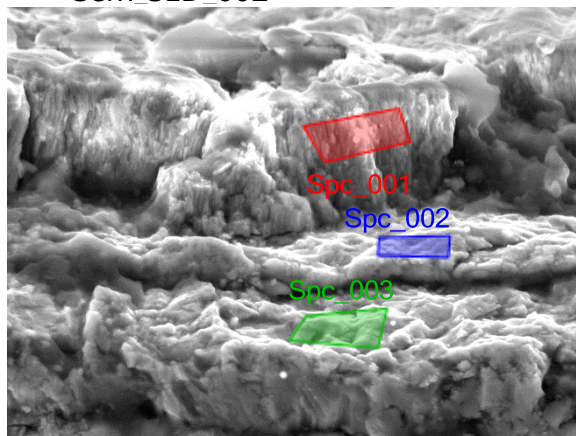
- Elektronová mikroskopie, VSCHT: http://old.vscht.cz/nmr/mol_model_bioinfo/lekce/mikroskopie.pdf
- Elektronový mikroskop. (14.6.2019). Wikipedie, otevřená encyklopedie. https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_microscope

Příloha 1 – ověření rozsahu oxidické vrstvy

Vzorek 1



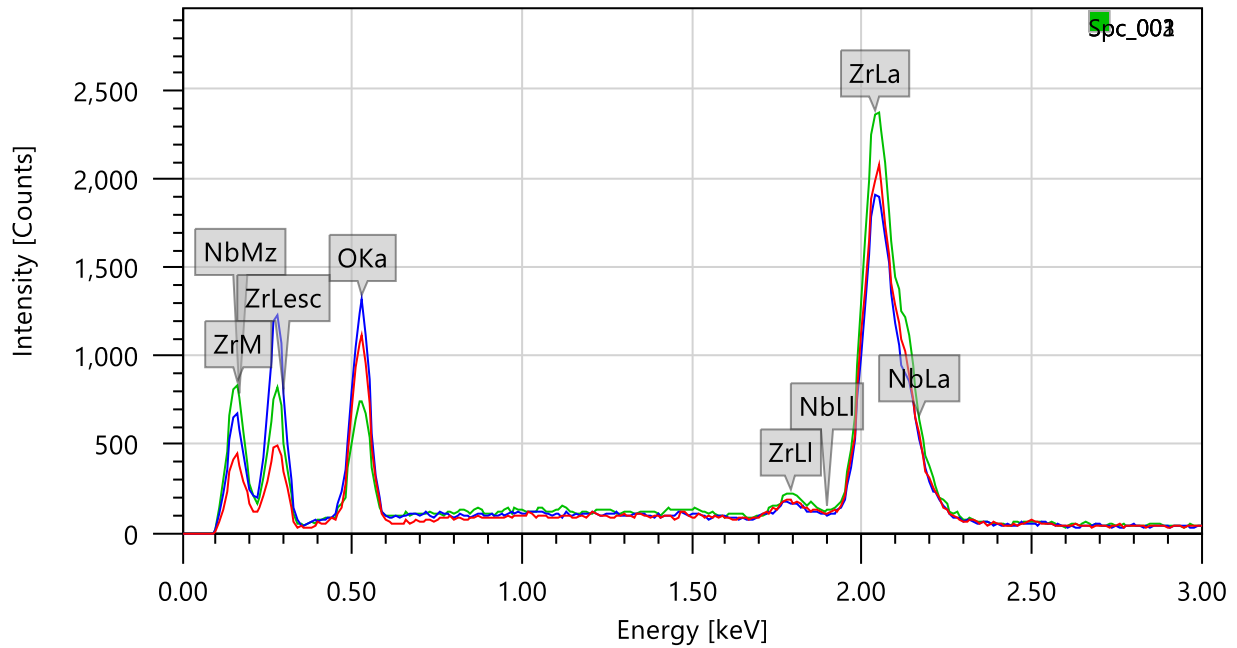
Sem SED 002



Signal SED
Landing Voltage 10.0 kV
WD 9.6 mm
Magnification x10,000
Vacuum Mode HighVacuum

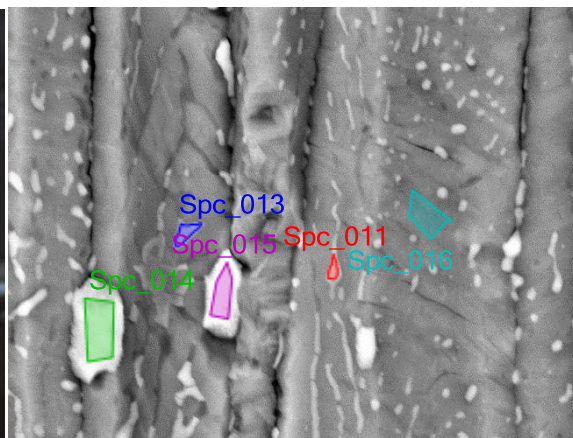
20 mm

1 μm

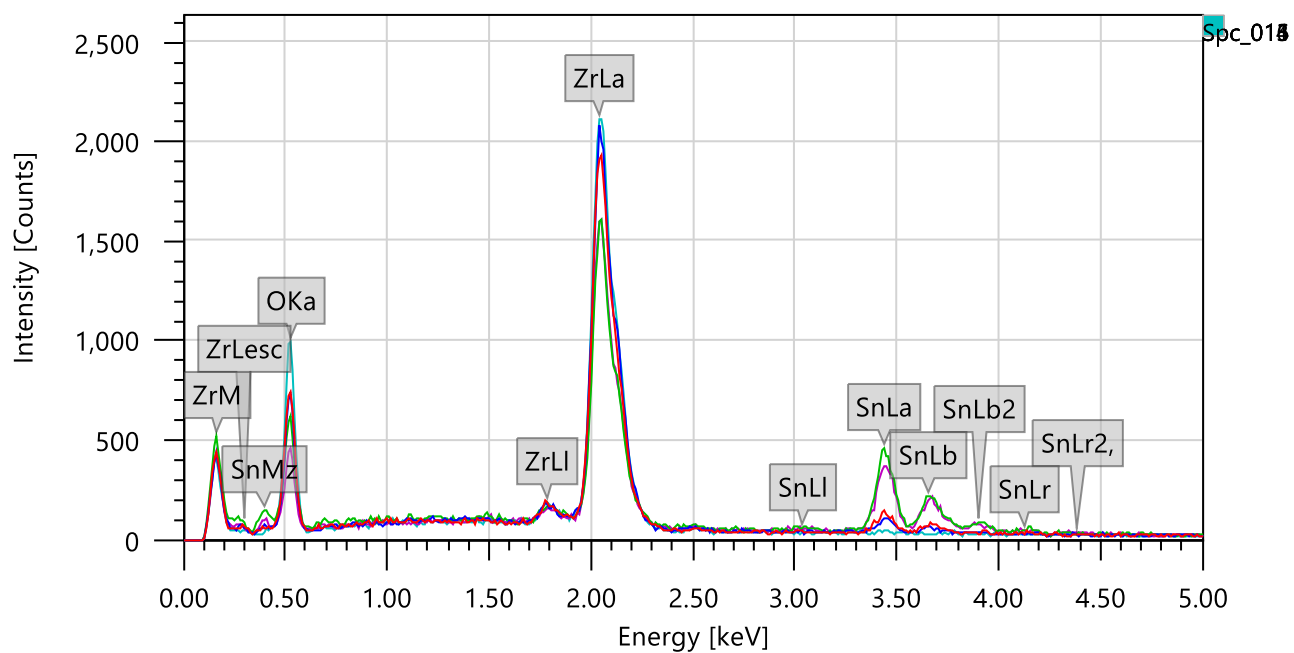


Spot	Energy [keV]	Intensity [Counts]
Spc_001	0.15	1,500
Spc_001	0.25	1,300
Spc_001	0.35	1,100
Spc_001	0.51	1,400
Spc_001	1.80	500
Spc_001	1.90	600
Spc_001	2.03	2,400
Spc_001	2.15	1,000
Spc_002	0.15	1,500
Spc_002	0.25	1,300
Spc_002	0.35	1,100
Spc_002	0.51	1,400
Spc_002	1.80	500
Spc_002	1.90	600
Spc_002	2.03	2,400
Spc_002	2.15	1,000
Spc_003	0.15	1,500
Spc_003	0.25	1,300
Spc_003	0.35	1,100
Spc_003	0.51	1,400
Spc_003	1.80	500
Spc_003	1.90	600
Spc_003	2.03	2,400
Spc_003	2.15	1,000

Příloha 2 – složení částic na povrchu zrn oxidu u vzorku 2



Signal BED-C
Landing Voltage 10.0 kV
WD 10.8 mm
Magnification x20,000
Vacuum Mode HighVacuum



Anaýza lidského chování během evakuace

J. Kislinger, J. Svoboda, A. Tomi
Gymnázium J. Vrchlického, Klatovy,
Gymnázium J. Š. Baara, Domažlice,
Gymnázium a obch. akademie, Mariánské Lázně

kislinger.j@seznam.cz, svoboda.honzik@post.cz, adam.tomi@email.cz

Abstrakt

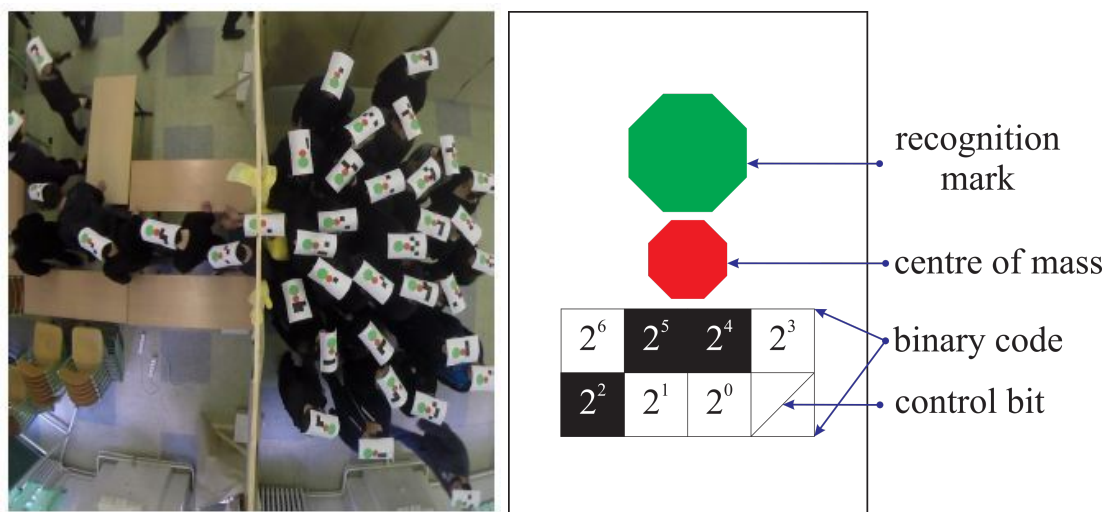
Kdykoliv se může stát, že se dostaneme do situace, ve které se bude potřebovat větší množství lidí dostat z nějaké místnosti. Tato studie je zaměřena na popis heterogenity v různých aspektech pohybu chodců (rychlosti, výběru trasy, nebo schopnosti protlačit se davem). Klíčovým bodem je čas strávený v místnosti v závislosti na uvedených veličinách.

1 Úvod

V dnešní době jsou evakuace stále častější. Proto se modelování pohybů osob pro predikci stává stále důležitější [3]. Pro jejich vylepšování zkoumáme reálné chování osob při opouštění místnosti. Zde se zaměříme na popis heterogenního davu při opouštění místnosti jedním východem. Budeme pracovat se dvěma hlavními objekty – trajektoriemi a osobami.

2 Původní experiment

V naší studii vycházíme z dat získaných při experimentu z roku 2016 [1]. Jednalo se o simulovanou evakuaci za pomoci studentů FJFI ČVUT v Praze. Ti byli pouštěni v různých intervalech do vybudované místnosti s jedním východem a na hlavách měli papír z důvodu identifikace na kamerovém záznamu (na obrázku 1). Proběhlo 10 kol vždy s rozdílnými podmínkami.



Obrázek 1: Záběr z experimentu (vlevo), identifikační kód (vpravo).

3 Veličiny

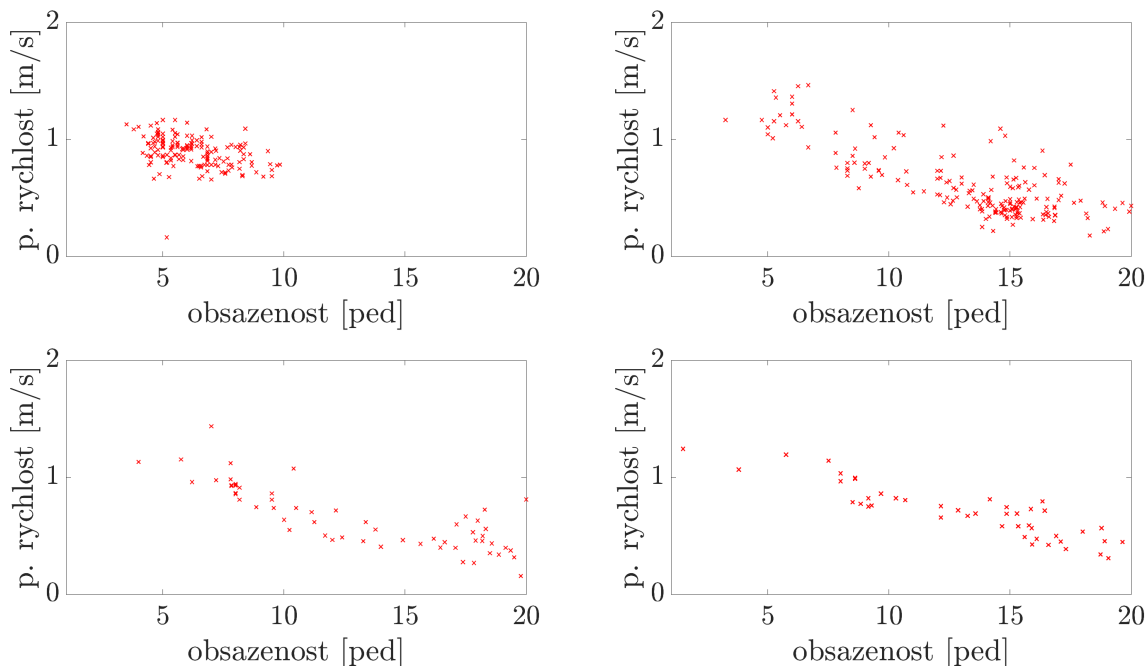
K popisu chování chodců při pohybu z místnosti je zapotřebí použít několik veličin získaných z kamerového záznamu. Základem je čas průchodu (tt) - čas strávený v místnosti. Z času průchodu a délky místnosti vyplývá průměrná rychlost, kterou se osoba pohybovala. Počet osob v místnosti (v určitém čase) se nazývá obsazenost. Poslední pro nás důležitou veličinou je tok osob z místnosti, který reprezentuje změnu počtu osob v místnosti za daný čas.

4 Analýza lidského chování

Ze všech kol jsme vybrali čtyři kola popisující odlišná chování davu: kolo 2 - plynulý pohyb; kolo 3 - stabilní shluk; kolo 7 - zvětšování davu; kolo 10 - zahlcení místnosti.

Rychlost pohybu chodců

Pro jednotlivá kola jsme do grafu vynášeli průměrné rychlosti v závislosti na obsazenosti (obrázek 2). V kole 2

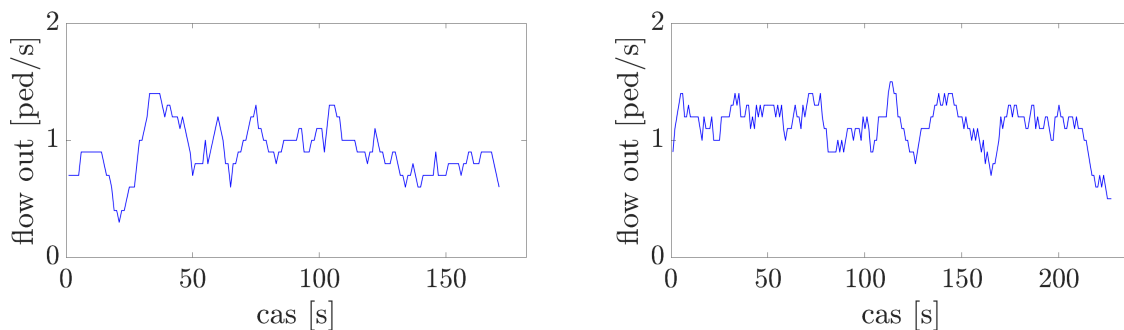


Obrázek 2: Průměrná rychlost chodců v závislosti na obsazenosti místnosti pro kolo 2 (vlevo nahoře), kolo 3 (vpravo nahoře), kolo 7 (vlevo dole) a kolo 10 (vpravo dole).

se obsazenost ustanovila kolem 7 osob - osoby plynule procházely a měly podobnou rychlost. V kole 3 obsazenost vzrůstala k 15 osobám, okamžik ustálení shluku, a v rychlosti je vidět sestupný trend. V kole 7 a 10 se vyskytuje stejná závislost s tím rozdílem, že počet osob se neustálí, ale stále roste.

Tok chodců z místnosti

Dále jsme zkoumali tok z místnosti. Grafy (obrázek 3) ukazují závislost na čase. Pro kolo 2 byl tok shodný s



Obrázek 3: Graf 5: kolo 2 (vlevo), Graf 6: kolo 7 (vpravo).

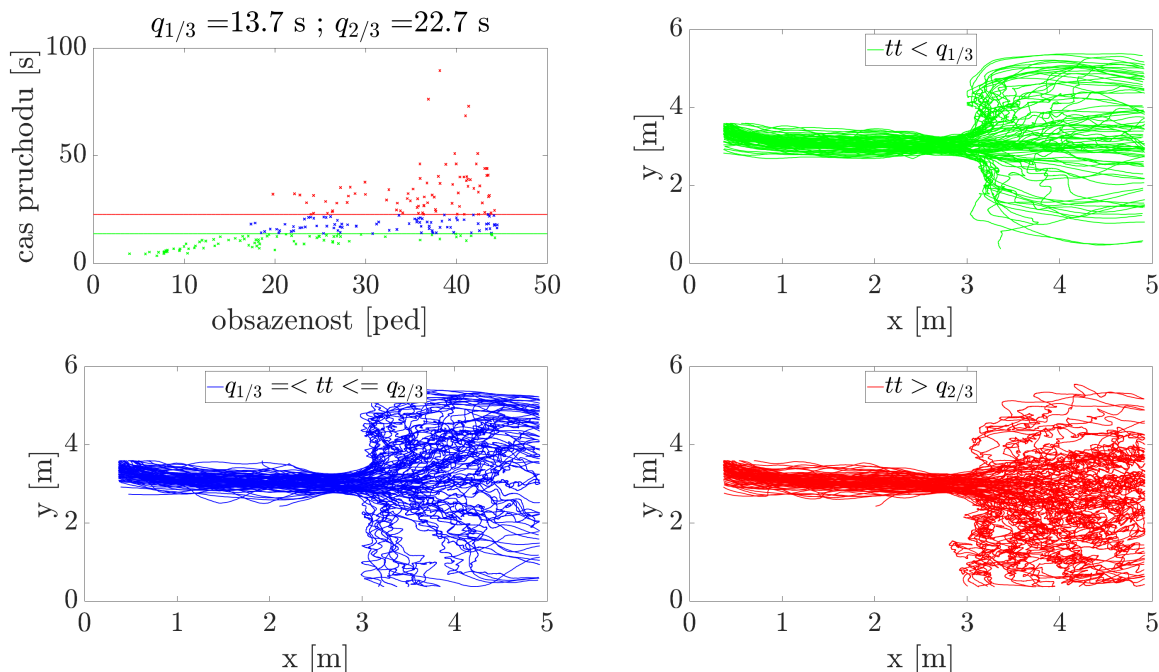
počtem lidí vcházejících do místnosti - počet lidí se v určitém okamžiku ustálil (viz). Tok je nižší než v ostatních

kolech z důvodu menšího počtu osob v místnosti. V kole 7 se tok od začátku pohybuje kolem jedné hodnoty - tok z místnosti se blíží kapacitě východu.

Analýza optimální strategie

Pro grafické zobrazení používáme trajektorie jednotlivců, které byly zaznamenány kamerou při sedmém kole experimentu. Ty jsme rozdělili dle času potřebného k průchodu celé místnosti do tří skupin dle třetinových kvantilů z důvodu stejného četnostního zastoupení ve všech skupinách. Všechny časy průchodů jsme vynesli do grafu v závislosti na obsazenosti.

V prvním grafu je většina trajektorií ze začátku evakuace, tj. před vytvořením davu, což je vidět na obrázku 4



Obrázek 4: časy průchodů v závislosti na obsazenosti (vlevo nahoře), trajektorie osob sedmého kola v místnosti rozdělené dle kvantilů (vpravo nahoře, dole vlevo i vpravo).

(vpravo nahoře). Při menší obsazenosti totiž osoba projde rychleji. Trajektorie, které prošly davem, se vyznačují klikatěním, tj. pohyb osoby a její hlavy stojící na místě, a jsou vidět na obrázku 4 (vlevo a vpravo dole). Na obrázku 4 (vlevo dole) je největší koncentrace po krajích davu a naopak na obrázku 4 (vpravo dole) jsou vedeny trajektorie hlavně středem. O osobách s trajektorií znázorněnou na obrázku 4 (vlevo dole) procházející středem můžeme říct, že jsou agresivnější a mají tendenci se protlačovat davem. Opakem jsou krajní trajektorie na obrázku 4 (vpravo dole).

5 Závěr

Nejrychleji se evakuují osoby bezprostředně po začátku evakuace. V tu chvíli se ještě nevytvořil dav a osoby mohou bez problému postupovat. S rostoucím počtem lidí v místnosti záleží na individuální strategii jedince. Část lidí se snaží protlačit davem - tyto osoby se dostanou k východu rychleji bez ohledu na zvolenou trasu. Zároveň z analýzy vyplynulo, že cesta po kraji davu je optimálnější. Došli jsme k závěru, že cesta k nejrychlejší evakuaci je kombinace těchto tří aspektů.

Poděkování

Naše poděkování si hlavně zaslouží Ing. Jana Vacková za poskytnutou pomoc při vypracování tohoto projektu. Další poděkování patří FJFI ČVUT v Praze a celému týmu TV@J 2019 za poskytnutí zázemí a vynikající organizaci akce.

Reference

- [1] Bukáček, Marek; Hrabák, Pavel; Krbálek, Milan. Microscopic travel-time analysis of bottleneck experiments. *Transportmetrica A: transport science*, 14, 375–391, 2018.
- [2] Bukáček, Marek; Vacková, Jana. Evaluation of pedestrian density distribution with respect to the velocity response. *Traffic and Granular Flow'17*, Springer, 2019.
- [3] Schadschneider, Andreas; Chowdhury, Debashish; Nishinari, Katsuhiro. *Stochastic transport in complex systems: from molecules to vehicles*. Elsevier, 2010.

Počítačové zobrazování fraktálních množin

J. Herec*, L. A. Kopelentová**, J. Klásek***, K. Belán****

*Gymnázium J. S. Machara, Brandýs nad Labem – Stará Boleslav;

**Gymnázium J. Ortena, Kutná Hora;

***Wichterlovo gymnázium Ostrava – Poruba;

****Gymnázium Třebíč

*her.jakub@seznam.cz

Abstrakt

Tato práce se zabývá zobrazováním fraktálů na počítači a jejich dimenzí. V práci jsou objasněny základní pojmy související s fraktály (např. Juliovy množiny, Mandelbrotova množina) a námi vytvořené 2D fraktály v programu pro tvorbu IFS fraktálů a 3D fraktály v Javascriptové knihovně Three.js. Jsou zde popsány také typy fraktálních dimenzí, a jak se počítají. Pro Mandelbrotovu množinu jsme vytvořili algoritmy pro obarvování jednotlivých bodů množiny. V práci jsme také popsali výpočet soběpodobnostní dimenze Mengerovy houby.

1 Úvod

Fraktály jsou geometrické obrazce, které se objevují nejen v matematice, ale i v přírodě kolem nás. Fraktál je útvar, jehož části jsou si navzájem podobné (viz soběpodobnost). Cílem naší práce bylo zobrazení těchto útvarů pomocí počítačových programů. Metody počítačového modelování fraktálních množin se využívají například v 3D grafice nebo biologii.

2 Fraktály

Fraktální dimenze

Dimenze fraktálů nemusí být celé číslo. Existují 3 typy fraktálních dimenzí: soběpodobnostní, mřížková a Hausdorffova dimenze. Prvními dvěma typy jsme se zabývali v naší práci.

Soběpodobnostní dimenze

Tento typ fraktální dimenze lze spočítat pouze tehdy, když je fraktál ryze soběpodobný, tj. když ho lze rozdělit na několik menších částí, které jsou všechny zmenšené kopie daného fraktálu. Soběpodobnostní dimenze se vypočítá vzorcem

$$D = \frac{\log a}{\log \frac{1}{s}}, \quad (1)$$

kde D je hodnota dimenze, a je počet dílů fraktálu vzniklých při první iteraci (= nahrazení jednodušší části fraktálu např. úsečka, trojúhelník složitější částí), s je měřítko zmenšení, tj. kolikrát se zmenší jednu část fraktálu při 1 iteraci. Podle definice soběpodobnostní dimenze je možné, aby fraktály ležící v 2D prostoru měly libovolnou kladnou hodnotu fraktální dimenze, tedy i více než 2. Pro Mengerovu houbu (viz níže) jsme vypočítali soběpodobnostní dimenzi:

$$D = \frac{\log a}{\log \frac{1}{s}} = \frac{\log 20}{\log 3} = 2.727$$

Při první iteraci vznikne 20 dílů, proto je v čitateli $\log 20$, a rozměr nejmenší krychle se zmenší třikrát, proto je ve jmenovateli $\log 3$. V literatuře [1] jsme si ověřili, že výsledek je správný.

Mřížková dimenze

Na rozdíl od soběpodobnostní dimenze lze mřížkovou dimenzi vypočítat pro libovolný útvar, ale nelze vyjádřit ji přesně. Celý útvar umístíme do mřížky s buňkami velikosti s a spočteme, v kolika buňkách mřížky leží nějaká část fraktálu – číslo N . N je závislé na s , platí tedy: Čím menší číslo s , tím je výpočet dimenze přesnější. Po zvolení určité mřížky si vytvoříme graf funkce

$$y = \frac{\log N}{\log \frac{1}{s}}. \quad (2)$$

Vzniklé body aproximujeme přímkou, pro kterou můžeme vypočítat směrnici (určena sklonem přímky vůči ose x), a ta směrnice odpovídá výsledné mřížkové dimenzi.

Trojrozměrné fraktály

Fraktály v přírodě jsou ve dvourozměrném i třírozměrném prostoru. Počítačovým modelováním lze vysledovat průběh některých přírodních jevů, který se fraktálům blíží. Pomocí Javasriptové knihovny Three.js jsme se pokusili vytvořit Mengerovu houbu, která se tvoří odebíráním krychlí z jedné větší krychle (viz obr. 2).

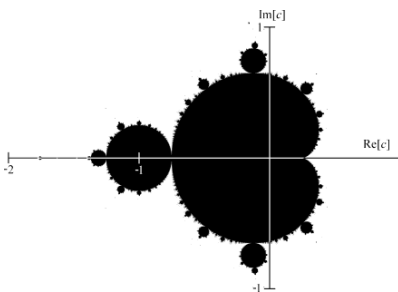
Fraktály se používají ke generování texturovaných povrchů, krajin a jiných složitých modelů [2]. Jejich využití je široké – v geografii se využívají k mapování, v medicíně k simulaci šíření nádorů i funkce biologických struktur a ve filmovém průmyslu ke generování scén.

Mandelbrotova množina

Mandelbrotova množina má obdobnou definici s množinami Juliovými, tyto zmíněné množiny lze matematicky vyjádřit dle iterace funkce

$$z_{n+1} = z_n^2 + c, \quad (3)$$

kde ve funkci (1) proměnné z_n a c leží v Gaussově rovině. Mandelbrotovu množinu v komplexní rovině lze vidět na Obrázku 1.



Obrázek 1 Mandelbrotova množina [3]

```
function barvy()
{
  for (var i=0; i<10; i++)
  {
    red[i] = i*20;
    green[i] = 0;
    blue[i] = 0;
  }
  for (var i=0; i<10; i++)
  {
    red[10+i] = 0;
    green[10+i] = i*20;
    blue[10+i] = 0;
  }
  for (var i=0; i<10; i++)
  {
    red[20+i] = 0;
    green[20+i] = 0;
    blue[20+i] = i*20;
  }
  for (var i=0; i<10; i++)
  {
    red[30+i] = i*20;
    green[30+i] = i*10;
    blue[30+i] = 0;
  }
  for (var i=0; i<10; i++)
  {
    red[40+i] = 0;
    green[40+i] = i*20;
    blue[40+i] = i*10;
  }
  for (var i=0; i<10; i++)
  {
    red[50+i] = i*25;
    green[50+i] = 0;
    blue[50+i] = i*20;
  }
}
```

V této práci bylo dosaženo generování a obarvování Mandelbrotovy množiny v Javascriptu. Výsledné obrázky Mandelbrotovy množiny lze vidět v kapitole 3. Mandelbrotova množina byla také barvena a byl vytvořen přiřazovací algoritmus, který přiřazuje 8-bitové barvy na základě počtů iterací funkce (3). V této práci na to byla vytvořena funkce barvy. [4]

Dále byla vytvořena funkce na změnu barvy dle úhlu hodnoty z_n , kde n je poslední prvek dané posloupnosti) v komplexní rovině. Přiřazení úhlů k proměnným x a y zajišťuje funkce calcAngleDegrees.

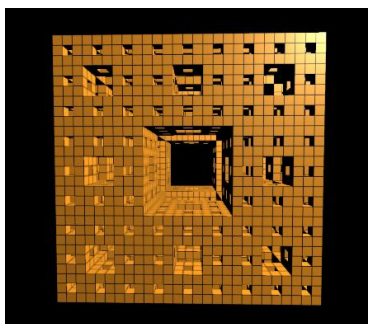
```
function calcAngleDegrees (x, y)
{
  x+Math.PI;
  y+Math.PI;
  return Math.atan2(y, x)*180 / Math.PI;
}
```

K převodu z radiánů na úhly byla zavedena proměnná uhel.

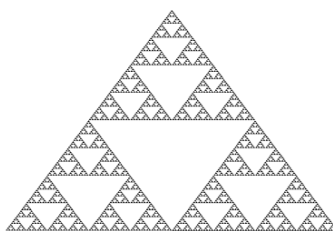
```
var uhel = calcAngleDegrees(lasty,lastx);
uhel=uhel+180;
uhel=uhel/360*maxIter;
color=Math.floor(uhel);
setPixel(x,y, red[color], green[color], blue[color]);
```

3 Výsledky

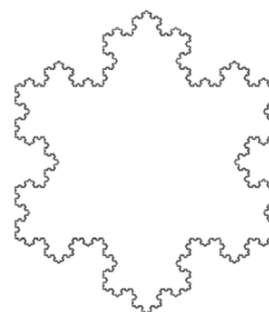
Výsledkem naší práce jsou počítačem vygenerované fraktální obrázky.



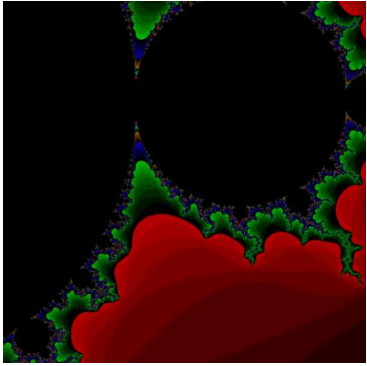
Obrázek 2 Mengerova houba



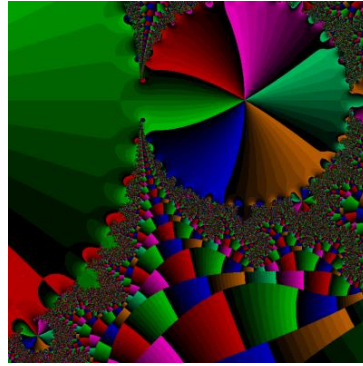
Obrázek 3 IFS Sierpiňského trojúhelník



Obrázek 4 Kochova vločka



Obrázek 5 Mandelbrotova množina po aplikování 8-bitových barev



Obrázek 6 Mandelbrotova množina s barvami dle úhlů



Obrázek 7 IFS kapradí

4 Závěr

Pochopili jsme teoretický základ různých dimenzí, pomocí kterých se fraktály popisují. Úspěšně jsme vygenerovali několik fraktálů, jak za pomoci Javascriptu s knihovnou three.js, tak pomocí IFS programu. V případě Mandelbrotovy množiny jsme upravili Javascript pro generování barev a následně vytvořili funkci pro přiřazování 8-bitových barev dle úhlů. Rádi bychom se při další příležitosti věnovali fraktální kompresi a dekompresi obrázků.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za poskytnutí prostor, Ing. Petru Paušovi, Ph.D. za odborný dohled a týmu TV@J 2019 za organizaci akce.

Reference:

- [1] Weisstein, Eric W.: Menger Sponge. MathWorld — A Wolfram Web Resource
- [2] TURNER, Martin J. *Modelling nature with fractals*. [online] 1998. Imaging Research Centre, SERC, De Montfort University, Leicester. [cit. 2019-06-18] Dostupné z: <https://plus.maths.org/content/modelling-nature-fractals>.
- [3] Mandelset hires. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Mandelset_hires.png
- [4] PAUŠ, Petr. *Počítačová analýza fraktálních množin*. Praha, 2004. Rešeršní práce. ČVUT FJFI. Vedoucí práce M. Beneš.

Měření spektra gama záření scintilačním počítačem

Martin Znamenáček, Gymnázium ALTIS,
znamenacek.martin@email.cz

Jaroslav Žukov, Škola při velvyslanectví Ruska, zukov55@email.cz

Vašek Polcar, Gymnázium Plasy, p.vaclav15@seznam.cz

Vladimíra Kimlová, Gymnázium Plasy,
vladimira.kimlova@seznam.cz

Abstrakt:

V rámci projektu jsme si vyzkoušeli práci na scintilačním počítači, jež nám umožnila lepší pochopení chování gama záření heterogenních látek. Cílem práce je identifikace neznámého prvku na základě jeho gama spektra. Dále je zkoumáno šíření gama spektra skrz olovené destičky, a to do momentu, kdy dojde k útlumu fotopíku ^{137}Cs . Zároveň je měřena závislost počtu impulsů na tloušťce olovených destiček.

1 Úvod

Gama záření – elektromagnetické vysokoenergetické ionizující záření s vlnovou délkou kratší než 124 pm, jehož energie fotonu je vyšší nežli 10 keV. Na rozdíl od méně energetického rentgenového záření jsou pro vznik gama záření potřeba přechody v atomových jádrech. Přestože vzniká společně s alfa a beta zářením, proniká nejlépe do materiálů.

V pokusu jsme se snažili scintilátorem změřit jednotlivá gama spektra čtyř známých rozdílných prvků. Posléze jsme data zanesli do grafů, ve kterých jsme porovnávali energetické hodnoty fotopíků, což umožnilo pojmenování pátého neznámého prvku.

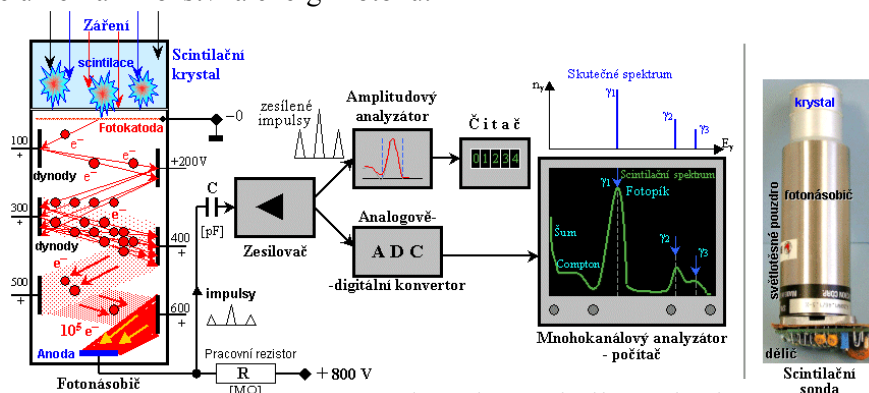
2 Scintilační detektor

Měření gama záření není možné provést přímo, a proto jsme použili scintilační detektor, jenž se skládá z luminiscenčního scintilátoru a fotonásobiče.

Scintilátor je krystal, na který dopadají fotony gama záření, které na něm předávají svou energii elektronům atomů krystalu, a tak dochází k jejich ionizaci a excitaci.

Následnou deexcitací dochází k vyzařování fotonů viditelného světla, jenž jsou světlovořiči převedeny do fotonásobiče.

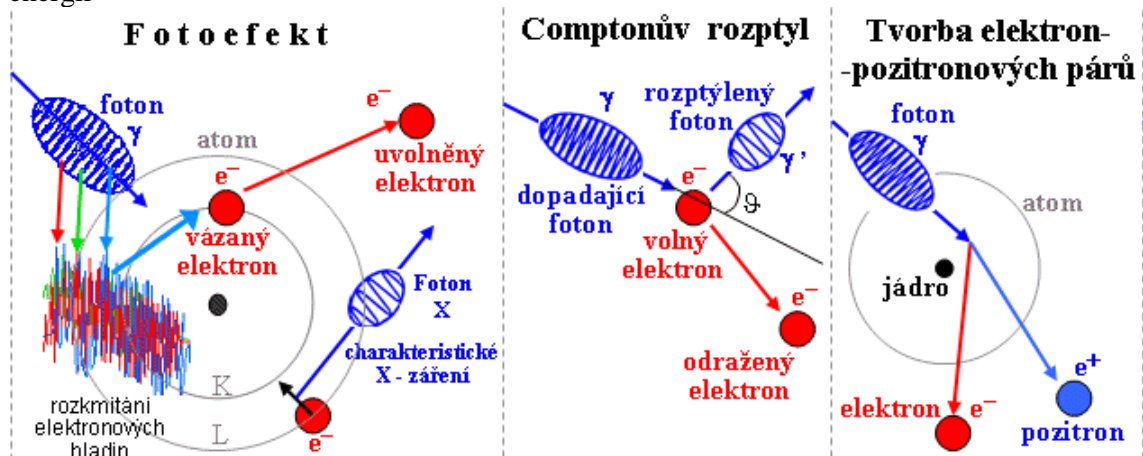
Úlohou fotonásobiče je samotné impulsy znásobit a transformovat na elektrický impuls. Záblesky na fotokatodě uvolní velmi malé množství elektronů, které se kaskádovitě násobí na dynodách pod vysokým napětím. Vytvoří se tak měřitelný elektrický impuls, jehož intenzita je úměrná množství a energii fotonů.



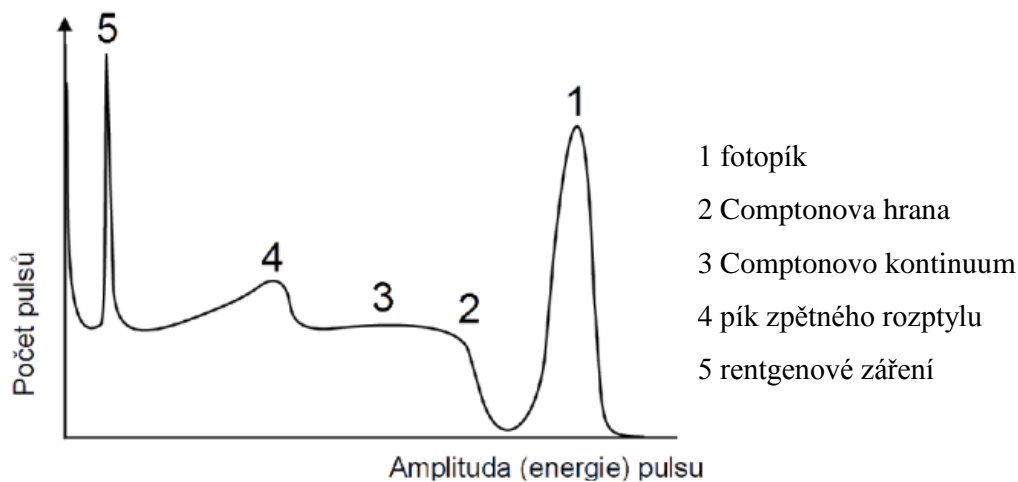
Obrázek 1: Scintilační detektor

Existují 3 základní procesy, při nichž fotony předávají energii elektronům:

1. Fotoefekt – foton předá veškerou svou energii, čímž zaniká a dochází k emisi elektronu
2. Comptonův rozptyl – foton se odchýlí ze své dráhy, a to pod náhodným úhlem rozptylu, přičemž předá část své energie, která se u elektronu přemění na kinetickou
3. Tvorba elektron-pozitronových párů – při dostatečné energii (ideálně v poli jádra $\sim 0,1637$ pJ) se foton může přeměnit na dvojici elektron-pozitron, jež nese jeho kinetickou energii



Obrázek 2: Interakce gama záření



Obrázek 3: Spektrum gama záření

3 Metodika

Pomůcky

Scintilační detektor, zdroj vysokého napětí NL2410, multikanálový analyzátor PHYWE, osobní počítač, zdroje gama záření, olověné destičky, program Measure

Pracovní postup

Měřili jsme spektra zářičů a sbírali data pomocí programu Measure. Nejdřív jsme naměřili jednotlivá spektra ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{60}Co a ^{241}Am , pak jsme změřili spektra neznámého zářiče a spektra pozadí v místnosti. Doba každého z měření byla 20 min.

Z naměřených spekter jsme odečetli pozadí a určili polohu fotopíků, ty jsme poté nafitovali Gaussovou funkcí. Souřadnice na x-ové ose středů fotopíků jsme porovnali s tabulkovými hodnotami. Sestrojili jsme kalibrační přímku.

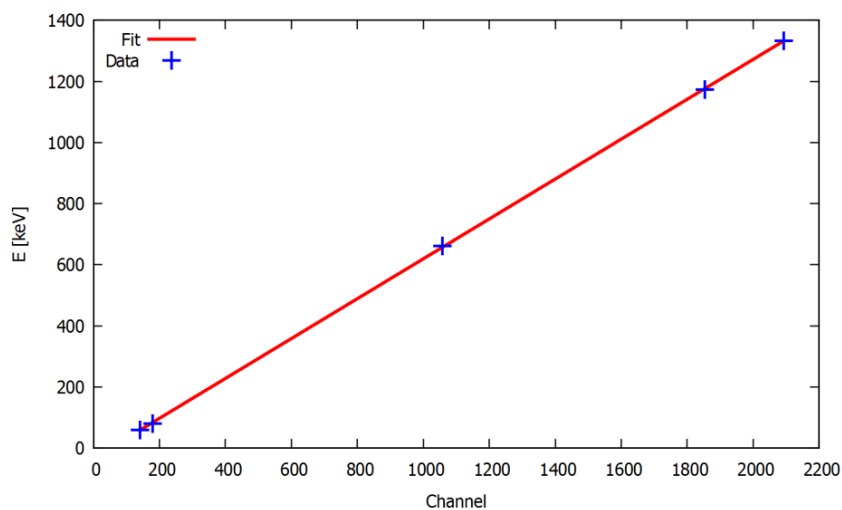
Následně jsme přeměřovali hodnotu gama záření u ^{137}Cs při průchodu olověnými destičkami, jejichž počet byl zvyšován v pětiminutových intervalech. Tloušťku jednotlivých destiček jsme určili pomocí posuvného měřítka.

4. Výsledky

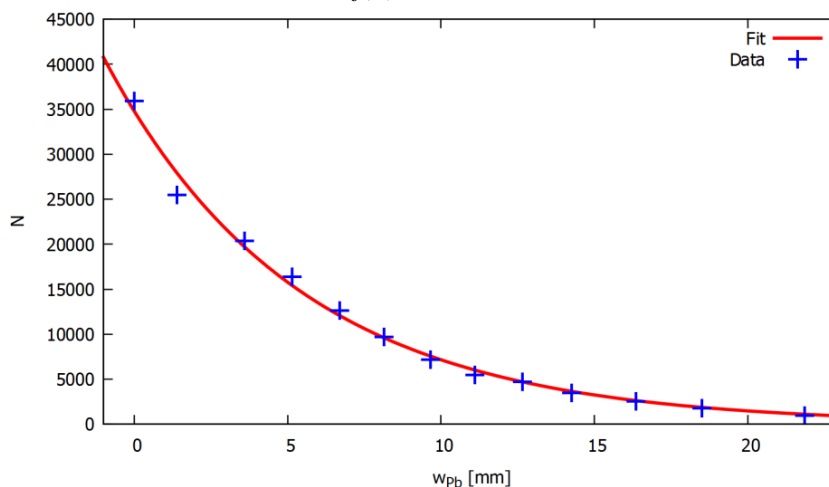
prvek	počet P	tEP ₁ [keV]	nEP ₁ [keV]	ΔnEP ₁ [keV]	tEP ₂ [keV]	nEP ₂ [keV]	ΔnEP ₂ [keV]
^{60}Co	2	1173,2	1176	5	1332,5	1332	5
^{137}Cs	1	661,64	657	4	-	-	-
^{133}Ba	2	80	84	3	302	516	3
^{241}Am	1	60	59	3	-	-	-

^{54}Mn	1	834,827	834	4	-	-	-
------------------	---	---------	-----	---	---	---	---

Tabulka 1: Naměřené (n) a tabulkové (t) hodnoty píků (P) jednotlivých zářičů



Obrázek 4: Kalibrační přímka, jejíž hodnoty byly určeny proložení lineární funkcí $f(x) = 0,653x - 33$



Obrázek 5: Závislost útlumu na tloušťce materiálu, data byla proložena funkcí $f(x) = 34800 \cdot e^{-0,158x}$

5. Diskuse

Naměřené hodnoty se z velké části shodovaly s hodnotami tabulkovými. Výjimkou byl druhý fotopík ^{133}Ba , jehož hodnota se značně lišila - jako důvod jsme určili jeho nepravidelnost a nevyraznost, jež znemožnily přesné proložení Gaussovy křivky. Dále mohla tato chyba vzniknout při odečítání pozadí, neboť tato hodnota byla naměřena s časovou prodlevou.

Neznámý zářič jsme z přehledu gama zářičů určili jako ^{54}Mn , jelikož je energie jeho gama záření nejbližší tabulkovým hodnotám a jeho poločas rozpadu je 303 dní, a proto je vhodný pro použití v projektu.

Chybovost u olova byla zapříčiněna jednak nepřesnostmi v měření času v krátkém intervalu. Dále pak vzduchovými kapslemi mezi nerovnými destičkami.

6. Shrnutí

Kalibrační přímku jsme sestavili pomocí zářičů ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{60}Co a ^{241}Am . Tabulka 1 obsahuje informace, ze kterých jsme při sestrování kalibrační přímky vycházeli.

Neznámý zářič jsme určili jako ^{54}Mn na základě porovnání s tabulkovými hodnotami.

Díky naměřeným hodnotám jsme byli schopni určit exponenciálu útlumu gama záření při průchodu olovem, jež ukazuje, jak se mění počet impulsů v závislosti na tloušťce olova.

7. Poděkování

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

8. Reference:

[1] *Scintilátory kolem nás: věda kolem nás výzvy a otázky*. Praha 1: Středisko společných činností AV ČR, 2017, (62). ISSN 2464-6245.

[2] ULLMANN, Vojtěch. Detekce a spektrometrie ionizujícího záření. *Astronuklfyzika: Detekce Spektrometrie* [online]. [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>

[3] *Gamma Energy (keV)* [online], 13. 3. 2018, <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/bio431/genergies.html>

[4] *Měření spektra gama záření scintilačním detektorem* [online], 13. 3. 2018, https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/420/mod_resource/content/16/Gamma%20230218.pdf

Jak poznat dávku z barvy gelu?

Tomáš Toman, Matěj Bureš, Miroslav Groh
FJFI ČVUT, Břehová 78/7, 110 00 Praha-Staré Město
bures.matej2004@gmail.com

Abstrakt:

Po přečtení tohoto článku budete vědět, jak si namíchat/vyrobít Frickeho gelový dozimetr a jak mění barvy v závislosti na velikosti dávky radiace.

Ústa příspěvku

Na tento projekt jsme se přihlásili, jelikož Matěje baví chemie a Mirka a Tomáše tam přehlásili.

Střeva příspěvku

Ingredience:

Použili jsme želatinu a destilovanou vodu jako základ gelu, kyselinu sírovou, která rozpustila Mohrovu sůl, dále jsme použili xylenovou oranž, která zbarvila gel.

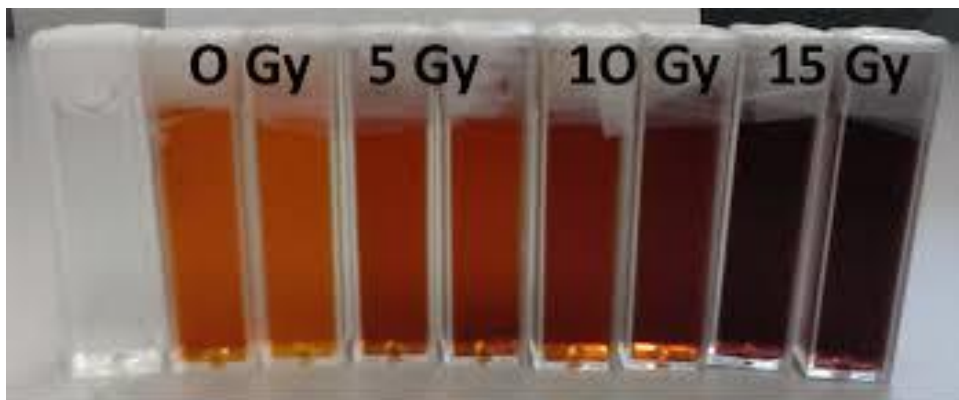
Postup:

Nejdříve jsme vytvořili základ gelu z destilované vody a želatiny. Dále jsme rozpustili Mohrovu sůl v kyselině sírové. Smíchali jsme xylenovou oranž se základem a nakonec jsme napipetovali správný poměr směsi kyseliny a soli do obarveného základu. Rozlili jsme gel do kyvet.

Gel v kyvetách jsme dali ztuhnout do lednice na 15 minut. Poté jsme kyvety ozářili v Gammacellu ve fakulním sklepě a po čase jsme je postupně vyndávali. Po dokončení ozařování jsme analyzovali absorbanční gelu ve spektrofotometru.

Výsledky:

Gel změnil barvu podle toho jakou dávku radiace dostal.(viz. obrázek)



Konečník příspěvku

Při dokončení projektu jsme přišli na to, že čím déle necháme gel ozařovat tím tmavší odstín bude mít.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat naší vedoucí, slečně Haně Bártové, za pomoc při výpočtech i praktických činnostech v laboratoři.

Detekce gravitačních vln na detektoru LIGO

Jakub Dornák¹, Maximilian Eška², Daniela Kopáčková³,
Karel Lintimer⁴, Aneta Pjatkanová⁵, Tibor Staněk⁶

¹dornak.k7@gmail.com, ²maximilian.eska@gmail.com, ³danikropack@seznam.cz

⁴karel.lintimer@seznam.cz, ⁵a.pjatkanová@gmail.com, ⁶tibor.stanek@gmail.com

Abstrakt

Tato práce se soustředí na technický a matematický princip detekce gravitačních vln. Využili jsme měření z detektoru LIGO a k analýze dat jsme použili Fourierovu transformaci, která má široké využití i v jiných oborech.

1 Úvod

Rok po publikování obecné teorie relativity, přichází Albert Einstein s dalším převratným tvrzením, předpovídá existenci gravitačních vln. Tyto vlny by měly vznikat v případě, že dojde k nerovnoměrné změně tvaru hmotného tělesa, jež svou existencí zakřivuje časoprostor ve svém okolí. K takovému jevu může dojít například v případě splynutí dvou vzájemně se obíhajících černých děr, případně neutronových hvězd. Na potvrzení existence gravitačních vln jsme si museli počkat téměř sto let, tedy do roku 2015, kdy došlo k jejich první detekci na detektoru LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory).

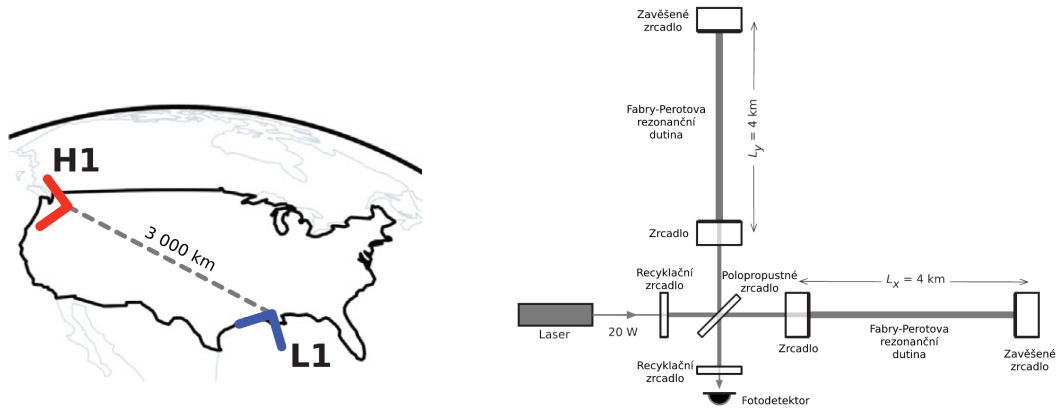
2 LIGO

Interferometr LIGO se skládá ze dvou stejných detektorů, umístěných v Hanfordu a Livingstonu ve Spojených státech amerických, viz [1](#) vlevo. Vzájemná vzdálenost těchto detektorů činí 3000 km, což umožňuje ověřování správnosti signálů. Detektory se skládají ze dvou navzájem kolmých ramen, každé o délce 4 km, v nichž je po celou dobu udržováno vysoké vakuum (jedná se o největší vakuovou aparaturu na světě). Na začátku je laserem o výkonu okolo 20 W vyslán paprsek, který se následně v polopropustném zrcadle rozdělí na dva. Na koncích ramen se tyto paprsky odrazí od zavěšených zrcadel a putují zpět k polopropustnému zrcadlu, kde spolu interferují a dopadají na fotodetektor, viz [1](#) vpravo. Díky Fabry-Perotově rezonanční dutině jsou paprsky na cestě zpět mnohokrát odraženy, čímž se až 300 krát zvýší citlivost detektoru.

Pokud detektorem prochází gravitační vlna, dojde ke změně délky ramen, rozdílné interferenci paprsků a v důsledku toho poklesu intenzity výsledného paprsku dopadajícího na fotodetektor. Změnu délky ramen můžeme popsat pomocí relativního prodloužení h :

$$h = \frac{\Delta l}{l},$$

kde Δl je vzdálenost, o kterou se posunula ramena při průchodu gravitační vlny a l je původní vzdálenost ramen (4 km).



Obrázek 1: *Vlevo*: Mapa umístění detektorů. *Vpravo*: Schéma detektoru LIGO. Převzato z [1]

3 Fourierova transformace

Jakákoliv periodická funkce může být zapsána nekonečným součtem sinů a kosinů s vhodně zvolenými parametry.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=0}^{\infty} [a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)] \quad (1)$$

Při sečtení dostatečného množství součtu sinů a kosinů se libovolně přiblížíme původní funkci. K výpočtu jednotlivých parametrů používáme tyto vztahy:

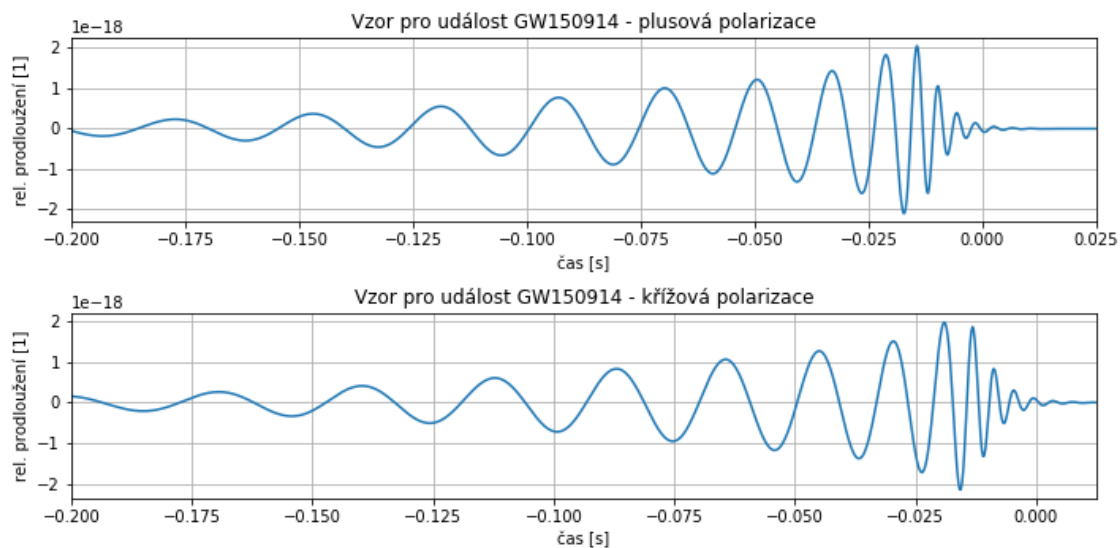
$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(kx) dx, \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(kx) dx. \quad (2)$$

Fourierova transformace se používá k reprezentaci signálu pomocí amplitud jednotlivých frekvencí a_k, b_k .

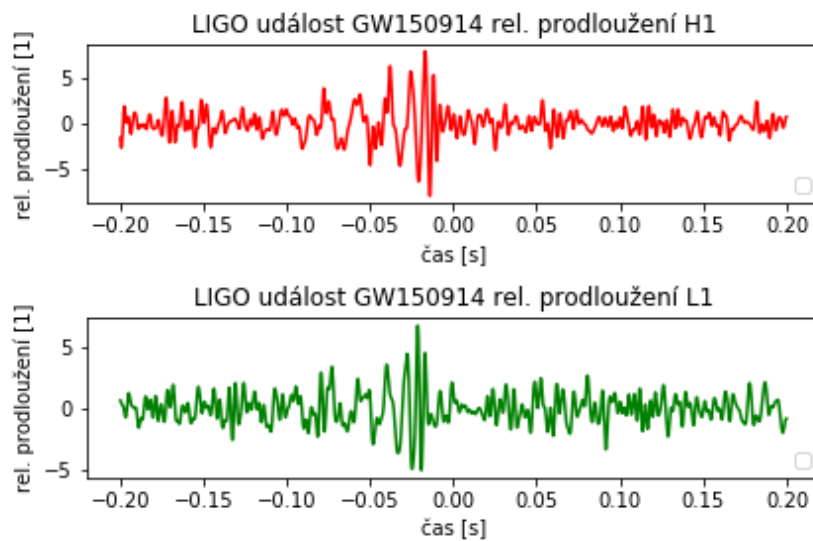
V praxi se tato metoda používá v spektroskopii různého druhu, úpravě signálu (ladění starých televizí, aj.) nebo ke komprimování fotek ve formátu JPEG. Obecnější verze Fourierové transformace se využívá i při analýze signálu gravitačních vln, jako v našem případě.

4 Výsledky

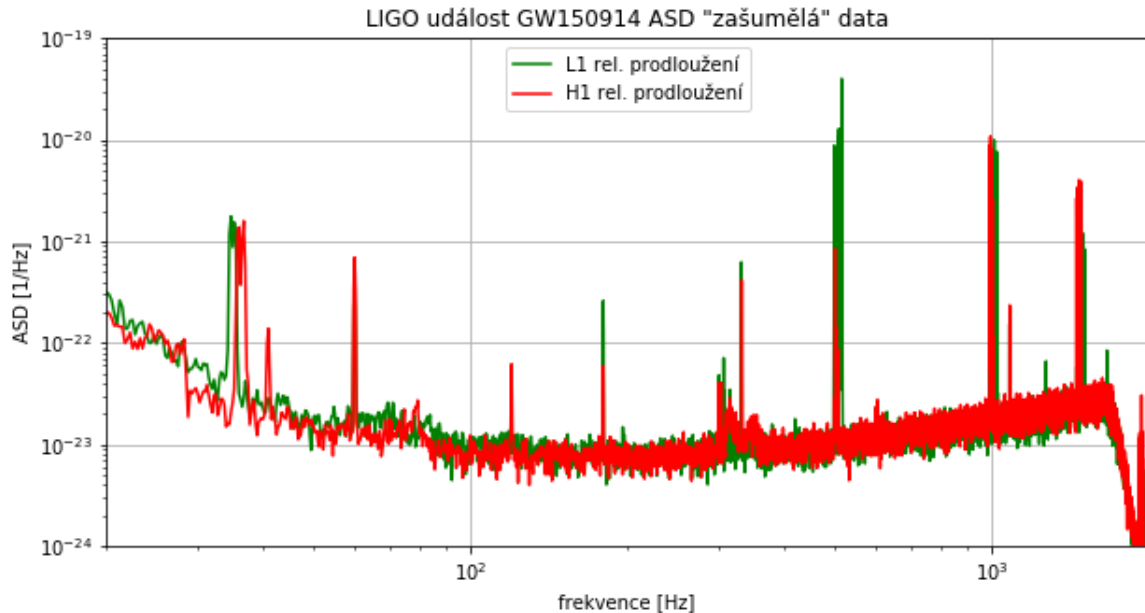
Srážka dvou černých děr GW150914 zaznamenaná detektorem LIGO Hanford (H1) a Livingston (L1). Pro analýzu dat jsme měli k dispozici vzorový graf (viz obr. 2) vytvořený počítačovou simulací, který jsme porovnávali s naměřenými hodnotami (viz obr. 3). Výsledkem byl profil téměř shodný se vzorovým a znázorňující srážku dvou černých děr ke které došlo 14. 9. 2015 v 9:50:45. U těchto hodnot jsme museli odstranit nežádoucí šum vymazáním určitých vlnových délek/frekvencí, které jsou znázorněny na obr. 4.



Obrázek 2: Vzorový profil gravitační vlny vytvořený počítačovou simulací.



Obrázek 3: Naměřená data po odstranění frekvencí vzniklých vlivem vnějších faktorů.



Obrázek 4: Frekvenční spektrum znázorňující naměřené hodnoty včetně šumových frekvencí.

5 Shrnutí

Zreprodukovali jsme první zaznamenání gravitační vlny na detektoru LIGO. K úpravě signálu jsme použili Fourierovu transformaci a další analýzou jsme získali graf, který téměř odpovídal grafům nasimulovaných událostí.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali rodičům za finanční podporu, Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za poskytnutí prostorů a vedoucímu miniprojektu Ing. Josefu Schmidtovi, Ph.D. za vedení naší práce během miniprojektu.

Reference

- [1] B. P. Abbott. *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*. Phys. Rev. Lett. **116** 061102 (2016). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>.
- [2] B. P. Abbott. *Binary Black Hole Mergers in the First Advanced LIGO Observing Run*. Phys. Rev. X **6** 041015 (2016). <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.6.041015>
- [3] P. Kulhánek. *Gravitační vlny byly konečně polapeny*. https://www.aldebaran.cz/bulletin/2016_06_gra.php.

Get ready for Krakatit

Anna Robbová, Církevní gymnázium Plzeň (Mikulášské nám.
15, Plzeň); anna.robbova@seznam.cz

Matej Kiska, Bilingválne gymnázium Liptovský Mikuláš
(Komenského 10, Liptovský Mikuláš); matkokiska@gmail.com

Jiří Prikner, Gymnázium Václava Beneše Třebízského
(Smetanovo nám. 1310, Slaný); astroziza02@gmail.com

Abstrakt:

Cílem tohoto miniprojektu v ELI Beamlines bylo změřit jak betonový blok společnosti NUVIA stíní ionizující záření v našem případě pocházející z Cs 137 a Co 60, celý experiment nasimulovat v softwaru Fluka a výsledné hodnoty porovnat.


1 Úvod


Náš miniprojekt probíhal v ELI Beamlines, jednom ze tří center mezinárodního projektu ELI (Extreme Light Infrastructure) a zároveň největším výzkumném centru v historii ČR. Z plánovaných čtyř laserů (včetně L4 - Krakatitu, nejvýkonnějšího laseru na světě) jsou zatím v provozu dva, L1 a L3 (Lucifer) s výkony 5 TW a 1,5 PW, dostatečnými na to, aby při experimentech vznikalo nezanedbatelné množství ionizujícího záření; radiační ochrana, téma tohoto miniprojektu, je proto namístě.

2 Experiment

Naším úkolem bylo změřit záření ze dvou zdrojů, cesia 137 a kobaltu 60, a jeho stínění betonovým blokem společnosti NUVIA. K dispozici jsme měli metr, detektor RT-30 společnosti GEORADiS, oba zdroje a jednu betonovou cihlu. Určili jsme si vzdálenosti za stíněním i před ním a provedli v nich měření nejprve se slabším cesiem, posléze i s kobaltem. Dále jsme pokračovali simulací stejné situace v softwaru Fluka založeném na metodě Monte

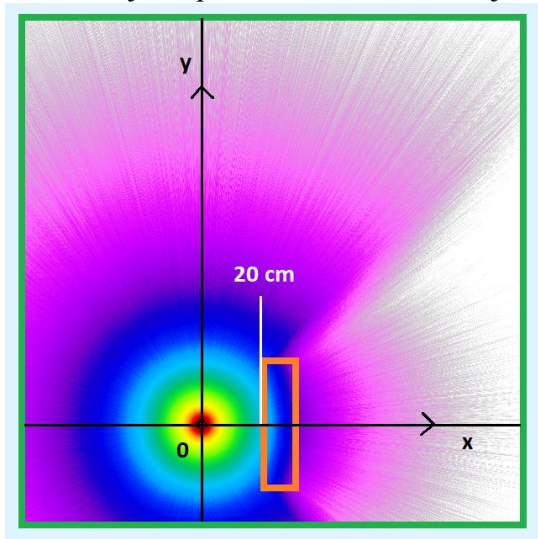
Carlo (v této situaci postupné simulaci určitého počtu částic). Vymodelovali jsme desku stolu, blok a zdroj v počátku souřadnicových os o následujících parametrech přibližně odpovídajících skutečnosti:

 Stůl - 160x160x2,5 cm

 Betonový blok - 10x40x20 cm (vzdálenost od zdroje - 20 cm)

Zdroj - Cs ($A = 295,4$ kBq); Co ($A = 323,2$ kBq)

Prostředí - vzduch



3 Výsledky

Cs 137

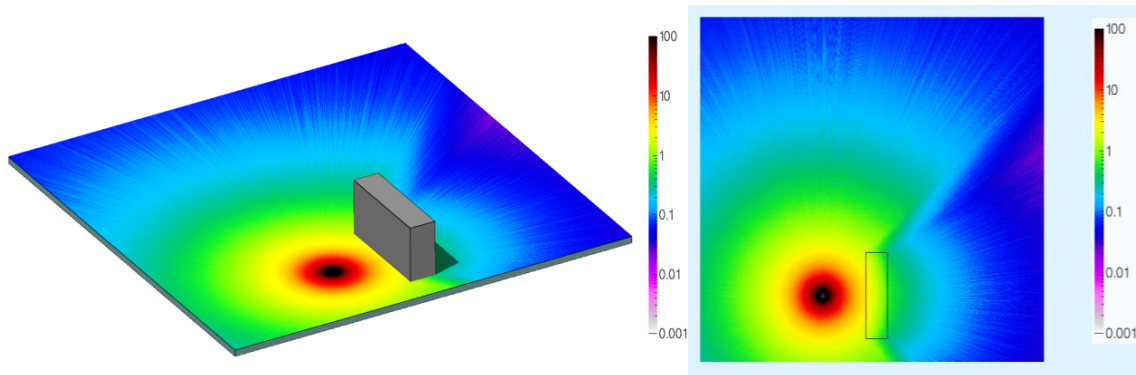
Se stíněním						Bez				
Vzdálenost (cm)	30	35	45	55	65	x	5	30	35	28
Měření (μSv/h)	0,08	0,05	0,06	0,03	0,03	x	3,40	0,30	0,20	0,35
Simulace (μSv/h)	0,11	0,09	0,05	0,03	0,02	x	4,80	0,33	0,23	0,31

Co 60

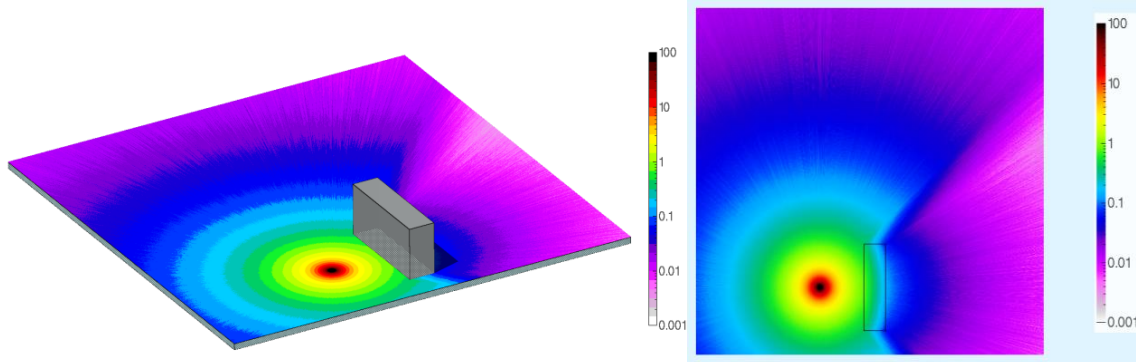
Se stíněním						Bez				
Vzdálenost (cm)	30	35	45	55	65	x	5	30	35	28
Měření (μSv/h)	0,46	0,30	0,20	0,15	0,12	x	13,30	1,10	0,83	1,30
Simulace (μSv/h)	0,61	0,40	0,27	0,20	0,14	x	21,40	1,43	1,10	1,50

Dle očekávání dávkový příkon se vzdáleností od zdroje klesá. Betonový blok prokázal dobré stínící vlastnosti (patrné na obr.1 a 2). záření nejvíce zeslabuje na okrajích, kam dopadá pod úhlem a musí tak překonat více materiálu. Kobalt je několikanásobně silnějším zdrojem než cesium, proto jeho záření snáze prochází betonovým blokem.

Námi naměřené hodnoty se většinou mírně lišily od hodnot nasimulovaných, odchylky zarážející velikosti se objevily jen třikrát. Odlišnosti si vysvětlujeme tím, že jsme simulaci značně zjednodušili (na desku stolu, zdroj a betonový blok), použili v ní informace materiálů z databáze a chybami v měření. V případech obou zdrojů došlo k největším odchylkám ve vzdálenosti 5 cm což bylo patrně způsobeno zanedbáním objemu detektoru.



Obrázek 1: Simulace dávkového příkonu kobaltu 60 (μSv/h)



Obrázek 2: Simulace dávkového příkonu cesia 137 (μSv/h)

4 Shrnutí

V rámci miniprojektu se nám podařilo změřit i nasimulovat šíření ionizujícího záření a jeho stínění betonovým blokem. Naměřené hodnoty většinou odpovídaly simulovaným, občasné odchylky si vykládáme jako chybu měření, důsledek nepřesnosti měření hodnoty pozadí či zanedbání objemu detektoru při simulaci.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali FJFI, organizátorům Týdne vědy na Jaderce, ELI Beamlines a především Vojtěchu Stránskému za vedení tohoto miniprojektu.

Reference:

Stránky ELI Beamlines: <https://www.eli-beams.eu/>

Kód Fluka: <http://www.fluka.org/fluka.php>

Prezentace Radiační ochrana pro začátečníky (V. Olšovcová, R. Truneček)

Prezentace Fluka basics (S. Bechet)

Prezentace ELI Beamlines (V. Stránský)

Programování na kvantovém počítači

Adéla Mládková¹, Aleš Horák², Jan Provazník³, and Jiří Šáda⁴

¹AG Štěpánská, Praha, a.mladek@email.cz

²Střední průmyslová škola Třebíč, horak.alda@seznam.cz

³Gymnázium Voděradská, j.a.n.provaznik@email.cz

⁴Gymnázium Voděradská, jiri.sada@gmail.com

Abstrakt

V našem miniprojektu jsme se podívali na rozdíly mezi klasickým a kvantovým počítáním. Demonstrovali jsme je pomocí Deutschova algoritmu v prostředí IBM Q, zpřístupňujícím reálný kvantový počítač a dokázali tak, že kvantový počítač může být efektivnější než ten klasický.

1 Úvod

Ještě donedávna se všechny informace zpracovávaly na počítačích reprezentujících data jako jedničky a nuly. V některých případech však operace dělané na klasických počítačích trvají příliš dlouho a s příslibem kratšího času potřebného k provedení výpočtů začal výzkum počítačů využívajících kvantovou mechaniku. V tomto miniprojektu se pokusíme demonstrovat na příkladu Deutschova algoritmu, že kvantové počítače mohou být v některých úlohách efektivnější.

2 Klasické počítání

2.1 Binární soustava

Běžné počítače pracují s informacemi, reprezentovanými pomocí bitů. Bit je jednotka informace, která může nabývat hodnoty 1 nebo 0, z čehož plyne název binární soustava – existují v ní jen dvě hodnoty. Obvyklý způsob reprezentace přirozeného čísla n v binární soustavě funguje takto

$$n = 2^0 c_0 + 2^1 c_1 + 2^2 c_2 + 2^3 c_3 + 2^4 c_4 + \dots \quad (n)_2 = \dots c_4 c_3 c_2 c_1 c_0, \quad (1)$$

$$25 = 1 + 2 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 8 \cdot 1 + 16 \cdot 1 \quad (25)_2 = 11001, \quad (2)$$

tedy číslo n rozepíšeme do mocnin čísla 2 a jednotlivé bity $c_i \in \{0, 1\}$ určují, zda se daná mocnina v rozkladu vyskytuje. Naopak, pokud chceme vědět hodnotu v binární soustavě zapsaného čísla v desítkové soustavě, sečteme všechny mocniny čísla 2, jímž odpovídá bit s hodnotou 1.

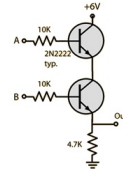
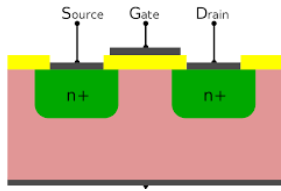
2.2 Tranzistor

Tranzistor má tři kontakty, z nichž dva jsou pracovní (Source, Drain) a jeden je řídicí (Gate). Na Drain přivedeme proud a na kontakt Source připojíme zařízení. Aby do zařízení tekla proud, musíme přivést napětí do řídicího kontaktu Gate. Uvnitř tranzistoru se tak udělá tenká vrstva vodivého pásu, kudy mohou procházet elektrické náboje. Gate tedy kontroluje vodivost obvodu. Skládáním tranzistorů lze vytvářet fyzické realizace logických operací (viz níže).

2.3 Základní operace v binární soustavě

V binární soustavě pracujeme s bity - číslicemi které mohou nabývat pouze hodnot 1 nebo 0, a tím reprezentovat logickou pravdu či nepravdu. S nimi pak lze provádět logické operce pomocí logických hradel (operací). Hodnota na výstupu je funkcí všech hodnot na vstupu.

Pracujeme například s dvoubitový (binárními) logickými hradly AND, OR, XOR, NAND a NOR, jejichž pravdivostní hodnoty zobrazuje následující tabulka



Obrázek 1: Ze Source teče proud do Drain pouze tehdy, Obrázek 2: Napojení dvou tranzistorů v do série teče-li proud skrze Gate, Zdroj: www.wikipedia.cz vytváří logickou operaci AND mezi jejich Gaty

A	B	AND	OR	XOR	NAND	NOR
1	1	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	0
1	0	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1

Obrázek 3: Binární operace na dvou bitech

3 Kvantové počítání

3.1 Kvantová mechanika

Kvantová mechanika vznikla počátkem 20. století a zabývá se popisem částic, pro něž neplatí klasické fyzikální zákony. Charakteristické kvantové jevy jsou třeba to, že některé veličiny kvantové fyziky (například energie atomu anebo spin) mohou nabývat hodnot pouze z diskrétní množiny - říkáme, že jsou *kvantované*.

Dalším jevem je *superpozice*, která vyjadřuje, že kvantový objekt může existovat ve více stavech (např. energetických) najednou. Podstatný je také vliv měření (pozorovatele), které silně zaahuje do systému. Měření způsobuje kolaps superponovaného stavu měřeného objektu do jedné konkrétní možné realizace.

Dalším z důležitých jevů je *kvantová provázanost* (entanglement), kdy při měření jedné částice (v našem případě qubitu) okamžitě získáme i hodnotu druhé částice, bez toho abychom jí měřili. Provázání je podstatné pro kvantové programování, šifrování a kvantovou teleportaci.

3.2 Pravděpodobnosti a qubit

Qubit je komplexní vektor ve tvaru $|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, kde $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$ a $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ a $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, jsou tzv. *bazické stavy*, přičemž požadujeme, aby platilo $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Pravděpodobnost naměření $|q\rangle$ ve stavu $|0\rangle$ je $P(|q\rangle \rightarrow |0\rangle) = |\langle 0|q\rangle| = |\alpha|^2$ a ve stavu $|1\rangle$ je $|\beta|^2$.

3.3 Základní operace a hradla

Protože jsou qubity vektory, lze na ně působit vektorovými transformacemi, například rotacemi, zrcadlením anebo škálováním (které v případě kvantových operací zakázeme). Všechny operace jsou reverzibilní jako důsledek toho, že nemění velikost vektoru.

- Operace na jednom qubitu

1. Operátor X převádí $|0\rangle$ na $|1\rangle$ a $|1\rangle$ na $|0\rangle$

$$\text{QNOT} \equiv X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{3}$$

2. Hadamardův operátor H ze stavů $|0\rangle, |1\rangle$ udělá superpozice

$$H = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}, \quad H|0\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}, \quad H|1\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \tag{4}$$

- Operace na dvou qubitech

1. CNOT pracuje na kvantovém registru skládajícím se ze dvou qubitů. CNOT funguje tak, že když první qubit je $|1\rangle$ tak se druhý qubit se neguje.

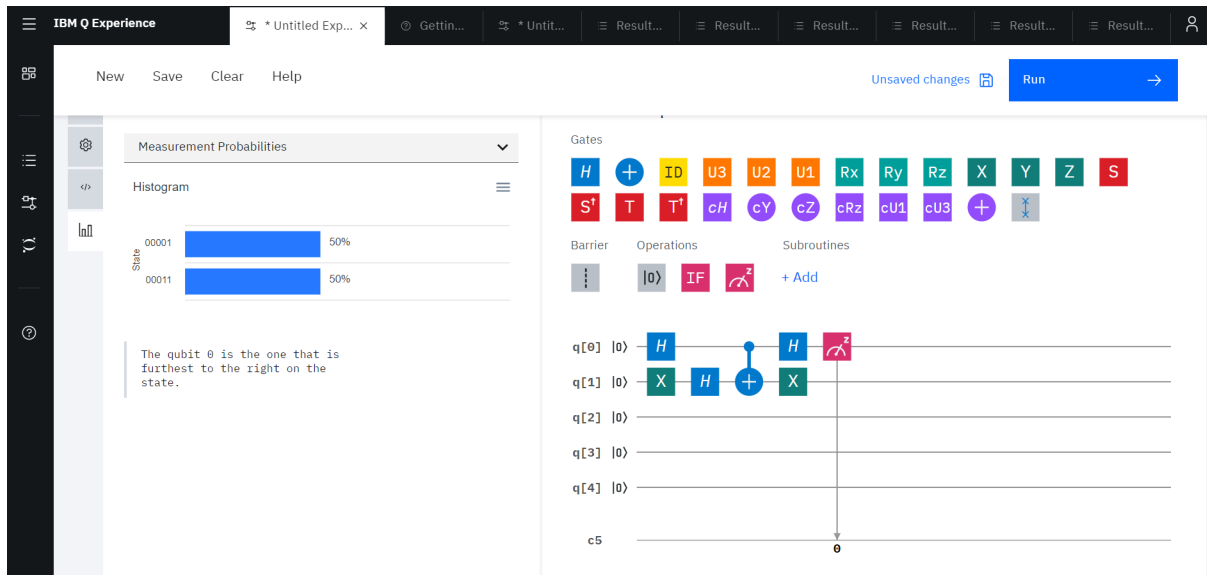
$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$ q_1\rangle$	$ q_2\rangle$	CNOT
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 00\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 01\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 11\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 10\rangle$

Obrázek: Hradlo CNOT v maticové podobě (vlevo), logická tabulka pro CNOT (vpravo).

4 Programování na kvantovém počítači IBM Q

Společnost IBM zpřístupnila webové rozhraní, kde lze vytvářet a testovat kvantové algoritmy a odeslat je k vyhodnocení na reálném kvantovém počítači.



Obrázek 4: Webové rozhraní IBM Q

4.1 Deutschův algoritmus

Deutschův algoritmus je nejjednodušší příklad toho, že kvantové počítače jsou schopny výpočtů, které efektivitou přesahují schopnosti klasických počítačů. Nejjednodušeji to lze demonstrovat na problému, kdy chceme určit, zda je nějaká jednobitová funkce konstantní nebo balancovaná, aniž bychom věděli co se uvnitř funkce děje. V běžném počítači bychom potřebovali provést dvě měření, pro hodnotu 1 a 0. Pomocí Deutschova algoritmu je však možné tuto informaci zjistit pouze jedním měřením.

Algoritmus si předvedeme na čtyřech jednoduchých funkcích. Existují čtyři základní funkce, které lze provést na jednom bitu:

1. Konstantní

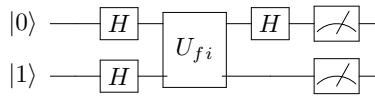
- f_1 nezávisle na vstupu vrátí 0
- f_2 nezávisle na vstupu vrátí 1

2. Balancovaná

- f_3 vrátí hodnotu vstupního bitu
- f_4 vrátí opačnou hodnotu vstupního bitu

Testovací obvod je vyobrazen na Obrázku 5, kam za U_{f_i} dosadíme kvantovou implementaci testované funkce (postupně všechny čtyři) a budeme měřit výsledné hodnoty obou qubitů. Testované funkce můžeme implementovat pomocí následujících základních kvantových hradel

- $U_{f_1} |q_1\rangle |q_2\rangle = |q_1\rangle |q_2\rangle$
- $U_{f_2} |q_1\rangle |q_2\rangle = |q_1\rangle X(|q_2\rangle)$
- $U_{f_3} |q_1\rangle |q_2\rangle = \text{CNOT}(|q_1\rangle |q_2\rangle)$
- $U_{f_4} |q_1\rangle |q_2\rangle = \text{CNOT}(|q_1\rangle X(|q_2\rangle))$

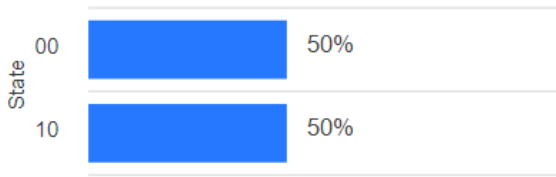


Obrázek 5: Schéma Deutschova algoritmu

4.2 Experimentální výsledky

Na kvantovém počítači jsme pomocí Deutschova algoritmu spustili zmíněné čtyři základní funkce. Jejich výsledky vypadaly takto:

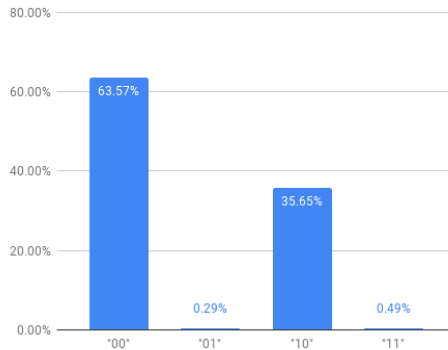
- U_{f_1}, U_{f_2} možné stavy $|00\rangle, |01\rangle$
- U_{f_3}, U_{f_4} možné stavy $|10\rangle, |11\rangle$



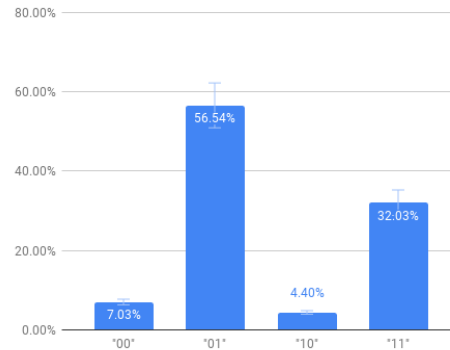
Obrázek 6: Výsledek simulací na IBM Q pro funkce U_{f_1}, U_{f_2}



Obrázek 7: Výsledek simulací na IBM Q pro funkce U_{f_3}, U_{f_4}



Obrázek 8: Reálné výsledky Deutschova algoritmu z kvantového počítače IBM Q pro funkce U_{f_1}, U_{f_2}



Obrázek 9: Reálné výsledky Deutschova algoritmu z kvantového počítače IBM Q pro funkce U_{f_3}, U_{f_4}

Z experimentálních i statistických výsledků lze pozorovat, že pro zjištění, zda je funkce balancovaná nebo konstantní stačí změřit první qubit. Pokud má hodnotu 1, funkce je balancovaná, v opačném případě je konstantní. Na reálném kvantovém počítači si můžeme všimnout, že nastaly stavy, které jsme nepředpověděli, jelikož v realitě se potýkáme se šumem a chybami kvantového počítače.

5 Závěr

Seznámili jsme se základy kvantového počítání a osvojili si Deutschův algoritmus, pomocí kterého můžeme u libovolné funkce na jenom bitu zjistit, zda-li je konstantní nebo balancovaná efektivněji než na běžném počítači.

6 Reference

<http://www.physics.muni.cz/~tomtyc/kvantovka.pdf>
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/731-kvantova-mechanika>

Dávka v mléčné žláze při mamografickém vyšetření

¹L. Peterková, ²K. Kadlčková, ³N. Bezúchová, ⁴E. Michálková

¹Wichterlovo gymnázium, Ostrava-Poruba

lucie.peterkova@volny.cz

²Gymnázium Brno, Křenová

klara.kadlckova@hotmail.com

³Střední sportovní škola, Banská Bystrica

ninabezuchova@gmail.com

⁴Gymnázium Olgy Havlové, Ostrava-Poruba

eva.michalkova@seznam.cz

Abstrakt:

Náš miniprojekt se týká diagnostické metody aplikované v nemocnicích, při níž se využívá speciální RTG přístroj – mamograf. Mamografie je speciální rentgenová metoda využívající schopnost tzv. měkkého záření odlišit i jemné změny v hustotě tkáně. Oblasti se zvýšenou hustotou a nehomogenitami jsou specifické pro nádorový proces. V průběhu vyšetření pacienta dochází i k jeho ozáření, což může mít nežádoucí účinky. Pro odhad rizika plynoucího z ozáření využíváme fyzikální veličinu střední dávky v mléčné žláze. Tato dávka byla stanovena pro čtyři různé „pacientky“. Výsledky jsou zpracovány ve formě grafů a tabulky. Námi naměřené hodnoty byly vzájemně porovnány.

1 Úvod

Mamografie patří mezi základní radiologické screeningové a diagnostické metody vyšetření prsu. Provádí se pomocí speciálního RTG přístroje, tzv. mamografu. Od běžného RTG se mamograf liší například rentgenkou či užíváním komprese. V dnešní době se velmi často využívají techniky digitální mamografie.

Rakovina prsu je způsobena růstem rakovinných buněk v prsní tkáni a je hned po rakovině kůže nejčastěji diagnostikovaným nádorovým onemocněním. Může se objevit jak u mužů, tak u žen, ale u žen se objevuje nesrovnatelně častěji. Screening je doporučen ženám od 45 let výše s opakováním jednou za dva roky. Neustálá osvěta v posledních letech našťastí situaci kolem rakoviny prsu mění podstatně k lepšímu. Stále častěji je mnoho nádorů nalezeno v počátečních stádiích, kde je šance na úplné uzdravení téměř stoprocentní a úmrtnost na rakovinu prsu se významně snižuje.

Ozařování tkáně v průběhu vyšetření může mít nežádoucí účinky. Střední dávka v mléčné žláze D_G je veličinou vyjadřující riziko nežádoucích účinků pro mamografické vyšetření. D_G se stanovuje z dopadající kermy (bez zpětného rozptylu) na povrchu fantomu s využitím konverzního a korekčních faktorů závislých na polotloušťce.

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

Dopadající kerma K_i je definována jako kerma ve vzduchu měřená na centrální ose svazku v místě vstupu svazku do pacienta. Započítává se však pouze dopadající záření, nikoliv zpětně rozptýlené záření. Konverzní faktor g převádí dopadající kermu na střední dávku v mléčné žláze pro prs s 50% glandularitou a použití Mo/Mo spektra rentgenky, korekční faktor c koriguje na glandularitu odlišnou od 50% glandularity a korekční faktor s koriguje na spektrum rentgenky odlišné od kombinace Mo/Mo.

Pro stanovení výsledného DG je nutné znát tloušťku komprimovaného prsu, kombinaci anoda/filtr (např. Mo/Mo), napětí a polotloušťku (HVL) pro dané nastavení parametrů.

2 Experimentální část

2.1 Materiály a pomůcky

Při měření byl použit mamografický přístroj Planmed Sophie (rentgenka s molybdenovým terčíkem i filtrem), elektrometr Standard Imaging, detektor ionizační komora Exradin typu A11 TW Standard Imaging, fantom PMMA (desky), sada Al filtrů, univerzální stojan, délkové měřidlo, tlakoměr a teploměr.

2.2 Postup měření

PMMA fantom byl umístěn na mamograf místo prsu. Do vzdálenosti přibližně 20 cm nad fantom byl připevněn detektor, který byl následně připojen k elektrometru. Byla změřena přesná vzdálenost mezi fantomem a zdrojem záření (d_2) a mezi detektorem a zdrojem záření (d_1). Poté byl nastaven mamografický přístroj. U všech měření byla použita clona vymežující pole 24 x 30 cm s ohniskem 0,3 mm. Celkově byla provedena čtyři měření. Pro první dvě měření bylo napětí nastaveno na 27 kV a součin proudu a času na 40 mAs. Pro další dvě měření bylo napětí nastaveno na 35 kV a součin proudu a času na 100 mAs. Dalšími měřeními se parametry byla tloušťka prsu a věk „pacientek“. Pro každé nastavení byl třikrát ozářen PMMA fantom a elektrometrem změřen náboj na detektoru. Ze tří změřených hodnot náboje byly vypočítány průměr (M), který byl následně použit při výpočtu kermy ve vzduchu ve vzdálenosti d_1 od zdroje záření.

$$K_a(d_1) = M \cdot N_{Ka} \cdot k_Q \cdot k_{TP}$$

N_{Ka} se rovná kalibračnímu koeficientu, který byl pro tento přístroj stanoven na $3,127 \times 10^7$ Gy/C pro napětí 27 kV a $3,101 \times 10^7$ Gy/C pro napětí 35 kV. Korekční faktor na kvalitu svazku k_Q zanedbáváme a korekční faktor na teplotu a tlak k_{TP} vypočítáme podle vzorce:

$$k_{TP} = \frac{p_0(273,15 + T)}{p(273,15 + T_0)}$$

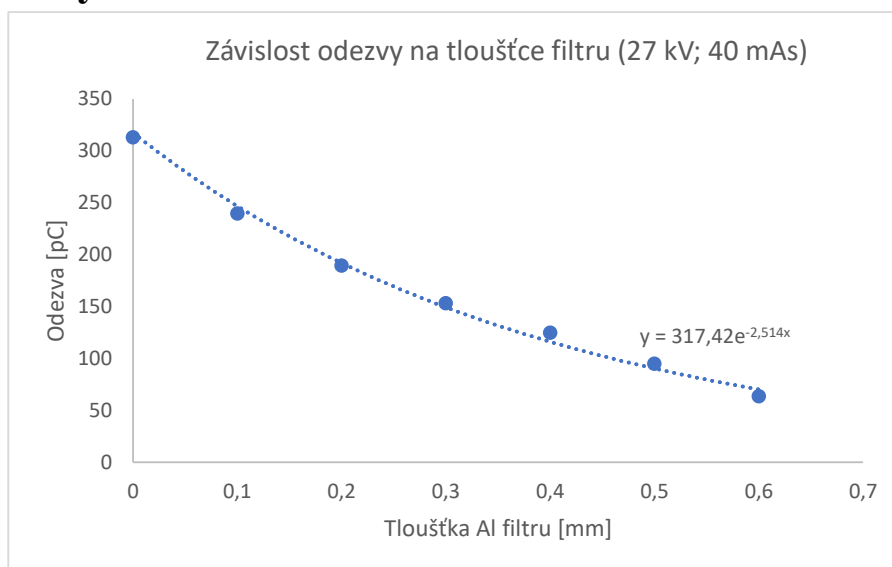
kde p_0 a T_0 jsou hodnoty, při kterých byl detektor kalibrován a p a T jsou hodnoty, které byly naměřeny při experimentu: $p = 989$ hPa; $T = 26^\circ\text{C}$.

Dopadající kermu K_i určíme ze známých vzdáleností d_1 a d_2 a hodnoty $K_a(d_1)$:

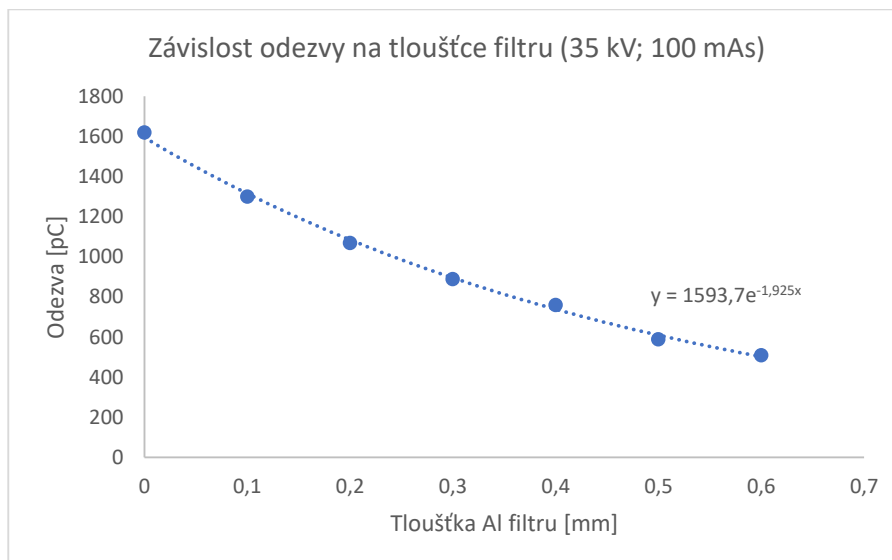
$$K_i = K_a(d_1) \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

Pro výpočet dávky je potřebná znalost polotloušťky HVL, protože právě na ní závisí hodnoty konverzního faktoru g a korekčního faktoru c . HVL charakterizuje kvalitu svazku a je udávána v mm Al. Byla sestavena aparatura tak, že přibližně 40 cm od zdroje záření byl umístěn detektor. Ten byl následně ozářen a na elektrometru byla přečtena hodnota náboje. Následně byl nad detektor umístěn Al filtr o tloušťce 0,1 mm. Poté byl detektor znovu ozářen a byla přečtena hodnota náboje. Podobným způsobem jsme pokračovali, dokud nebyla nad detektorem vrstva silná 0,6 mm. Z naměřených hodnot byly vytvořeny grafy (Graf 1, Graf 2) a zjištěny předpisy funkcí.

3 Výsledky



Graf 1: Závislost odezvy na tloušťce filtru při 27 kV a 40 mAs



Graf 2: Závislost odezvy na tloušťce filtru při 35 kV a 100 mAs

Maximální náboj při 35 kV činil 1620 pC, zatímco při 27 kV činil 313 pC. Polotloušťka při 35 kV činila 0,352 mm Al a při 27 kV činila 0,281 mm Al. Ze známé polotloušťky a hodnoty dopadající kermy byla rovněž určena střední dávka v mléčné žláze D_G . Tento výpočet byl proveden pro čtyři různé „pacientky“. Vstupní i výstupní parametry jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 1).

H [cm]	U [kV]	P_{It} [mAs]	věk	HVL [mm Al]	c [-]	s [-]	g [-]	K_i [mGy]	D_G [mGy]
6	27	40	43	0,281	1,083	1	0,126	6,402	0,874
6	35	100	48	0,352	1,076	1	0,154	32,715	5,421
10	27	40	53	0,281	1,311	1	0,071	6,905	0,645
10	35	100	58	0,352	1,299	1	0,087	34,71	3,936

Tabulka 1: Vstupní a výstupní parametry použité při měření dávky v mléčné žláze, H je tloušťka komprimovaného prsu, P_{It} je součin proudu a času

4 Závěr

Lze tedy usoudit, že výsledná dávka závisí na konverzních a korekčních faktorech. Dávka při stejném nastavení přístroje je pro větší prs nižší, neboť stejné množství záření se rozptýlí ve větším prostředí. Dávka také závisí na korekčním faktoru c , který se liší dle věku pacientky. S rostoucím věkem pacientky roste i velikost dávky záření. Snižováním hodnot napětí a součinu proudu a času na přístroji se dávka výrazně sníží. Získaný obraz už však nemusí být dostatečně kvalitní. Z důvodu jiného nastavení přístroje (materiálu anody či filtru) a kvůli různému stavu přístrojů nemůžeme porovnávat námi naměřenou dávku s dávkou u reálných pacientek.

Poděkování

Tímto bychom chtěly poděkovat Ing. Barboře Drškové za pomoc a podporu při práci na tomto miniprojektu. Velké díky patří také všem organizátorům Týdne vědy 2019.

Reference:

- [1] KOZUBÍKOVÁ, P., STEINER, M., VESELSKÝ, T.: *Stanovení střední dávky v mléčné žláze*, Siemens, 2013, s. 3–6.
- [2] INSTITUT BIostatIKY A ANALÝZ: *Mamo.cz*: Mamografický screening [online]. ©2015. [cit. 2019-06-18]
- [3] OPPELT, A.: *Imaging Systems for Medical Diagnostic*, Siemens, 2005, S. 393–404.
- [4] DROBÍLKOVÁ, D.: *Hodnocení radiační zátěže pacienta při diagnostických výkonech*, 1. lékařská fakulta UK, 2011, s. 36–39

Výpočet obsahu plošných obrazců pomocí metody Monte Carlo

Michaela Loudová^[1], Oliver Pospíšil^[2], Filip Šrámek^[3],

Michal Schulmeister^[4]

^[1]Gymnázium Vodňany

michaela.loudova1@gmail.com

^[2,3,4]Přírodovědné gymnázium PRIGO

oliver.pospisil44@gmail.com

filip.sid.2004@gmail.com

schulmeister.michal3@seznam.cz

Abstrakt

Metoda Monte Carlo se využívá v mnoha oborech například v jaderné a částicové fyzice, termodynamice, statistické fyzice, finanční matematice, předpovědi počasí, filmových efektech a počítačové grafice. V našem miniprojektu jsme používali metodu Monte Carlo u tří počítačových simulací např. určení Ludolfova čísla. Používali jsme k tomu generátor pseudonáhodných čísel programovacích jazyků MATLAB a R.

1 Úvod

Již na základní škole jsme se učili počítat obsahy ploch různých jednoduchých obrazců, jako jsou čtverce, obdélníky, kruhy a mnoho jiných. K těmto výpočtům jsme využívaly různé, jednoduše odvoditelné vzorce. K výpočtu obsahu plochy pod funkcemi používáme určitý integrál. Jeho výpočet často bývá složitý (u implicitně zadaných funkcí ho mnohdy nelze spočítat).

Mezi nejúspěšnější metody numerického výpočtu obsahu obrazců patří metoda Monte Carlo. Principem metody Monte Carlo je generování co největšího počtu pseudonáhodných rovnoměrně rozdělených (viz [1]) čísel, přičemž sledujeme, zda generovaná čísla padají pod graf funkce či nikoliv.

2 Postup

Celá metoda Monte Carlo spočívá v generování dvojic rovnoměrně rozdělených pseudonáhodných čísel. Ta spolu vytvoří souřadnice v obdélníku, který bude v ideálním případě definovaný oborem hodnot a definičním oborem křivky, pod kterou chceme spočítat obsah. Podle geometrické definice pravděpodobnosti spadne rovnoměrně vygenerovaný bod v tomto obdélníku pod křivku s pravděpodobností:

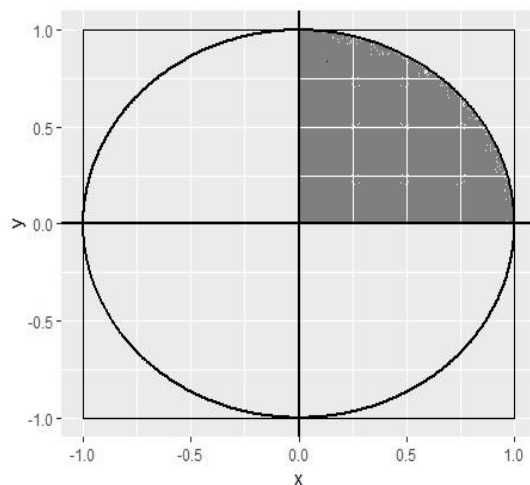
$$P \approx \frac{S'}{S}, \quad (1)$$

kde S' je obsah plochy pod hranicí křivky a S je obsah obdélníku.

3 Simulace

3.1 Odhad Ludolfova čísla π

Součástí tohoto projektu byla úloha, ve které jsme se pokoušeli odhadnout velikost Ludolfova čísla π . Při řešení této úlohy jsme generovali rovnoměrně pseudonáhodná čísla X a Y , která byla souřadnicemi bodů uvnitř čtverce o straně délky 2 se středem v bodě $[0,0]$. Do tohoto čtverce byl vepsán kruh s poloměrem 1. Pro zjednodušení jsme omezili výpočet na první kvadrant. Počítač vygeneroval v rámci obrazce náhodné body, jejichž rozdělení na ploše obrazce bylo rovnoměrné.



Obr. 1: Grafické znázornění zadání úlohy.

Nechť N' je počet pseudonáhodných bodů vygenerovaných ve čtvrtkruhu a N je celkový počet vygenerovaných bodů v jednotkovém čtverci, tj. $N > N'$. Z geometrické definice pravděpodobnosti plyne, že platí $P \approx \frac{N'}{N}$ tedy podle (1) platí, že $\frac{S'}{S} = \frac{N'}{N}$. Z toho dále plyne $S' = S \frac{N'}{N}$. V našem případě platí, že $S = 1$ a $S' = \frac{\pi}{4}$, a proto dostáváme odhad $\pi = 4 \frac{N'}{N}$.

N	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
Odhad π	2.4	3.52	3.08	3.1372	3.13612	3.14362	3.141001

Tab. 1: Odhad čísla π v závislosti na N .

3.2 výpočet plochy pod explicitně zadanou funkcí

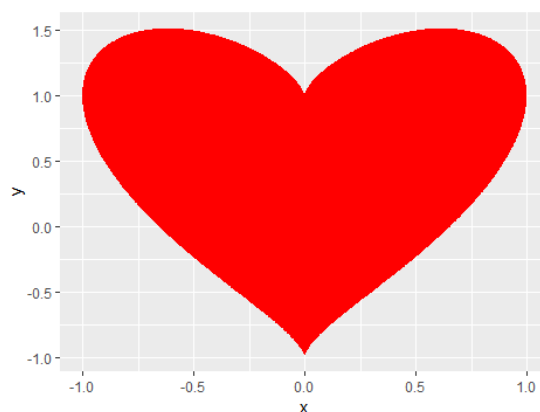
Plochu pod křivkou $f(x) = \sin^2(x)\cos^3(x)$, $x \in \langle 0; \frac{\pi}{2} \rangle$, lze spočítat určitým integrálem jako:

$$S = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2(x)\cos^3(x) dx = \left\{ \begin{array}{l} \sin(x) = t \\ \cos(x) dx = dt \end{array} \right\} = \int_0^1 t^2(1-t^2) dt = \int_0^1 t^2 dt - \int_0^1 t^4 dt = \left[\frac{t^3}{3} \right]_0^1 - \left[\frac{t^5}{5} \right]_0^1 = \frac{1}{3} - \frac{1}{5} = \frac{2}{15}.$$

Tuto plochu jsme dále odhadli Monte Carlo metodou, tj. v obdélníku jsme generovali pseudonáhodná čísla $[X_i, Y_i]$ a pokud platilo, že $Y_i < f(X_i)$, pak bod padl pod křivku. Celkový počet bodů pod křivkou jsme značili N' a symbolem N pak celkový počet všech rovnoměrně vygenerovaných bodů v obdélníku. Obsah plochy je dán jako: $S' \approx \frac{N'}{N} S$.

3.3 výpočet plochy pod implicitně zadanou funkcí

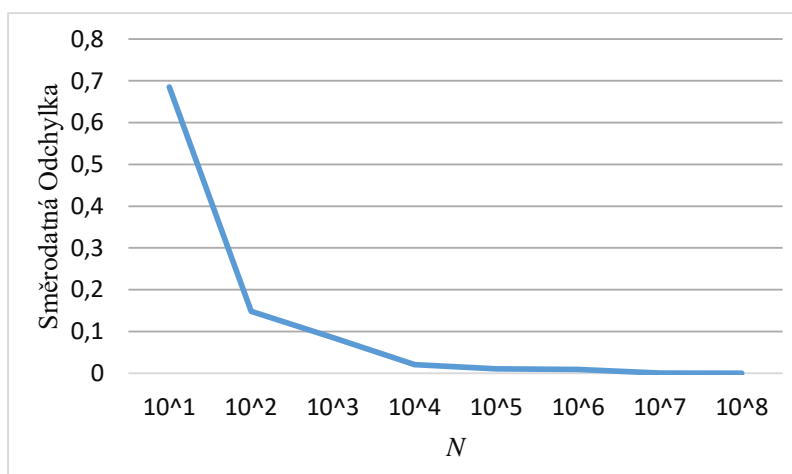
Ne každou funkci jsme schopni vyjádřit v explicitním tvaru. Takovéto funkce nazýváme implicitní. Implicitní funkce nelze integrovat, tedy zjistit jejich obsah analytickým způsobem. Pro výpočet jejich obsahu je tedy využití metody Monte Carlo nezbytné. My jsme zjišťovali obsah obrazce znázorněného na obr.2., který je definován předpisem $x^2 + (y^2 - \sqrt[3]{x^2})^2 = 1$. Inspiraci k výpočtu obsahu srdíčka jsme získali [2].



Obr. 2: Grafické znázornění křivky.

	N	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
Odhad	1	3	2.95	3.145	3.1405	3.13756	3.13619	3.139498	3.13855
	2	2	2.8	3.005	3.1235	3.15425	3.138585	3.140115	3.13866
	3	2.5	3.05	3.22	3.1015	3.11295	3.13621	3.137992	3.13852
	4	3	3.15	3.315	3.151	3.13525	3.138835	3.138271	3.13823
	5	2.5	2.85	3.175	3.136	3.14015	3.110205	3.13944	3.13823
	6	3.5	3.1	3.1	3.1095	3.1441	3.13821	3.139299	3.13859
	7	3	3	3.15	3.1705	3.14555	3.137275	3.138516	3.13862
	8	3.5	2.85	3.07	3.1445	3.1342	3.139985	3.13796	3.13847
	9	4.5	2.95	3.195	3.1435	3.1419	3.13952	3.139316	3.13854
	10	3	3.27	3.185	3.116	3.1403	3.13925	3.1375	3.13857
Arit. Průměr		3.05	2.997	3.156	3.13365	3.138621	3.1354265	3.1387907	3.1384986
Směr. Odchylka		0.6851602	0.1482528	0.0853685	0.0209696	0.0106939	0.0089581	0.0008531	0.0001496

Tab. 2: Odhad obsahu plochy v závislosti na N .



Obr. 3: Směrodatná odchylka v závislosti na N .

4 Shrnutí

V rámci našeho příspěvku jsme zjistili, že metoda Monte Carlo je efektivním způsobem výpočtu plochy pod křivkou, která je jak explicitně tak i implicitně zadána. Tuto efektivitu metody odvozujeme na základě tří různých simulací.

První, tedy výpočet Ludolfova čísla π , nám ukázala, že s rostoucím počtem pseudonáhodně generovaných čísel náš odhad konverguje k jeho skutečné hodnotě. Druhá se zabývala problematikou určení plochy pod křivkou $f(x) = \sin^2(x)\cos^3(x)$, $x \in \langle 0; \frac{\pi}{2} \rangle$, prostřednictvím metody Monte Carlo.

Poslední ze simulací počítala plochu pod křivkou, která je zadána implicitně, tj. že ji nejsme schopni explicitně vyjádřit. U poslední z výše zmiňovaných úloh jsme se dále zabývali přesností našich odhadů. Z obr. 1 lze pozorovat klesající směrodatnou odchylku v závislosti na rostoucím počtu rovnoměrně pseudonáhodně generovaných čísel.

První dvě zmíněné úlohy lze spočítat přesně prostřednictvím určitého integrálu, nicméně analytický způsob vyžaduje nalezení primitivní funkce, tento výpočet může být velmi složitý a tak Monte Carlo metoda představuje vhodnou alternativu k výpočtu určitého integrálu. A sice takovou, že porovnává počet pseudonáhodně generovaných čísel, které dopadnou pod křivku s celkovým počtem všech generovaných čísel. Množinou, v níž jsme rovnoměrně generovali čísla, byl obdélník. Toto porovnávání čísel jsme použili ke stanovení plochy pod křivkou.

Celý miniprojekt se nám velmi líbil, hlavně v tom, že jsme se seznámili s programovacími jazyky, které jsme neznali a „osahali“ si matematiku na reálných a snadno představitelných situacích. Mimoto jsme zjistili, že aplikační potenciál metody Monte Carlo je značný, jak je patrné např. z práce [3].

Poděkování

Reference

- [1] J. Anděl, *Základy matematické statistiky*, MatfyzPress (2011).
- [2] L. Dvořáková, *Metoda Monte Carlo*, *Rozhledy matematicko-fyzikální*.*
- [3] T. Leskiv, *Simulace Monte Carlo – informační zdroj rizikového rozhodování*, Fakulta Dopravní, ČVUT (2015).

*Tato práce ještě nebyla publikována.

Malá velká data

Petr Kolář*, Daniel Sůva**, Bohdana Prchliková***, Patrik Mitterpach****

Gymnázium Milevsko*, Gymnázium Stříbro**, Gymnázium Děčín***, Středná športová škola Banská Bystrica****

petr.kolar@gymnazium-milevsko.cz, daniel.suva@goas.cz,
bohdana.prchlikova@seznam.cz, patrikmitterpach@gmail.com

Abstrakt:

Naším cílem bylo seznámit se se základní metodou strojového učení a poté aplikovat náš model na data ze serveru Kaggle.com, týkající se analýzy materiálů, potenciálně využitelných pro konstrukci solárních panelů.

1 Úvod

Při strojovém učení vyžadujeme, aby náš model dával užitečné předpovědi o datech, se kterými nepřišel do styku. Toho se snažíme dosáhnout na základě informací z dat, která mu poskytneme a která mají labely, to znamená, že známe jejich správné výstupy. My jsme použili základní metodu učení s učitelem (supervised learning), regresi. Obecně se snažíme minimalizovat nějakou funkci, udávající chybu v našem odhadu, v našem případě jsme použili metodu nejmenších čtverců (least squares). Na to je potřeba určitý matematický aparát, především z lineární algebry.

2 Kaggle

Kaggle.com je platforma, aktuálně vlastněna společností Google, sloužící pro prediktivní modelování a analytické soutěže. Uživatelé se v těchto soutěžích snaží vytvořit co nejefektivnější model pro předvídání a popis datových souborů. Datové soubory a zadání soutěže jsou nahrávány uživateli a společnostmi, které nabízejí nejúspěšnějším řešitelům finanční ocenění. Na základě vzorku s výsledky se řešitelé snaží o sestavení co nejefektivnějšího modelu pro zbytek poskytnutých dat. Tyto předpovědi jsou porovnány se skutečnými výsledky a na základě velikosti odchylky je sestaven žebříček. Server také vytváří komunitu, kde si uživatelé navzájem mohou radit, diskutovat a rozvíjet své stávající schopnosti.

3 Metody

Vstupní data uspořádáme do matice X , výstupní data, která známe do vektoru y . Nyní hledáme vektor α , který má tvar jako y , obsahuje koeficienty (váhy) a když ho budeme násobit maticí X ,

dostaneme vektor opět stejného tvaru, který bude mít co možná nejmenší euklidovskou vzdálenost od vektoru y .

Minimalizace euklidovské vzdálenosti je ekvivalentní s použitím metody nejmenších čtverců.

$$\min_{\alpha \in \mathbb{R}^d} \|y - X\alpha\|^2$$

Vztah pro optimální α , když ho zjistíme, umíme pro nové inputy jednoduše předpovědět outputy.

$$\alpha = (X^T X)^{-1} X^T y.$$

O něco rafinovanější metodou je tzv. Tichonovova regularizace, při jejím použití penalizujeme i velikost α . Ukazuje se, že velké α se nechovají dobře na testovacích datech, ačkoliv při tréninku může toto větší α dávat o něco málo lepší výsledky.

$$\min_{\alpha \in \mathbb{R}^d} \|y - X\alpha\|^2 + \lambda \|\alpha\|^2$$

Vztah pro α se nepatrně liší.

$$\alpha = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T y$$

Při obou zmíněných metodách předpokládáme lineární závislost výstupních dat na vstupních. Toho se zbavíme například použitím metody Kernel Ridge Regression, která při násobení matic X a X^T nahrazuje skalární součin $\langle x, x' \rangle$ nelineární funkcí.

$$e^{-\|x-x'\|^2/2}$$

4 Aplikace

Námi zpracovávaná data se týkala průhledných polovodičů, vydaných firmou NOMAD, která hledá materiál pro nové solární panely, který musí být co nejvíce energeticky výhodné a mít co nejdelší životnost. Jednotlivé materiály byly popsány 12 parametry, které se týkaly chemického složení (obsah Al, Ga, In, O v molekule) a typu krystalické struktury (vzdálenost a vzájemná poloha atomů). Pomocí metody Kernel Ridge Regression jsme našli vztah mezi zadanými

hodnotami a požadovanými parametry, díky kterému jsme pak byli schopni přesněji předpovídat parametry dalších materiálů.

5 Shrnutí

Naši původní chybovost 0,1205 jsme postupnou optimalizací našeho postupu zredukovali na 0.0625, nejlepším výsledkem je 0,0368. Náš algoritmus dosahoval poměrně dobrých výsledků, nicméně hlavním přínosem pro nás bylo rozšíření znalostí z lineární algebry, v základech strojového učení a v práci v Matlabu.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali doc. RNDr. Janu Vybíralovi, Ph.D. za výuku a pomoc při projektu, dále Bc. Anně Doležalové a Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za organizaci Týdne vědy.

Reference:

<https://www.kaggle.com/deepak2873/nomad-transparent-conductor-ensembled-regressors>

ERNHARD SCHOLKOPF, ALEXANDR SMOLA, KLAUS-ROBERT MULLER
Kernel principal component analysis 1997 pp 583 - 588

Postavme si mlžnou komoru

V. Boušek*, V. Svoboda**, D. Mikuš***

*Gymnázium Ch. Dopplera, Praha; vilda4169@seznam.cz

**Gymnázium J. Š. Baara, Domažlice; vsvoboda201@gmail.com

***Bilingválne gymnázium M. Hodžu, Sučany;

mikusdario@gmail.com

Abstrakt

Z důvodu přítomnosti kosmického záření a záření přirozeného radioaktivního pozadí jsme neustále vystavováni částicím ionizujícího záření. Toto záření není našimi smysly postřehnutelné, existují ale prostředky, díky kterým jsme schopni toto záření detekovat. Jedno z těchto zařízení je mlžná komora. Funkční mlžnou komoru je možné sestavit z volně dostupných materiálů. V této práci jsme se zaměřili na to, jak sestavit funkční mlžnou komoru a dosáhnout tak stavu, při kterém je možné pozorovat částice ionizujícího záření.

1. Základní pojmy a vztahy

Wilsonova mlžná komora je přístroj, který zachytává ionizující záření. Ionizující záření je takový druh záření, jehož částice mají energii dostatečnou na ionizaci atomu. Toto záření je děleno na čtyři podkategorie: těžké, středně těžké, lehké a fotonové. Nejlépe s mlžnou komorou interagují částice Alfa (těžké záření), protony (těžké záření), mezony (středně těžké záření) a částice Beta mínus neboli elektrony (lehké záření).

Částice Alfa: Alfa částice se skládají z dvou protonů a dvou neutronů. Jsou produkty rozpadu některých radioaktivních prvků (^{40}K , ^{220}Rn ...). Je to jádro hélia. Mají velmi krátký dolet a obvykle nepřeletí více než pár milimetrů. Alfa částice je možné zachytit pomocí mlžné komory. Všechny alfa částice zachycené mlžnou komorou jsou alfa částice, které vznikly uvnitř komory. To je způsobeno jejich velmi krátkým doletem, je téměř nulová pravděpodobnost, že by se Alfa částice dostala přes stěny mlžné komory

Částice Beta: Beta částice reprezentují buď elektrony, nebo pozitrony. Tyto částice jsou mnohem lehčí, než částice Alfa, proto mají mnohem delší dolet (cca 1m). Převážná většina beta částic zachycených v naší komoře pochází z beta rozpadů radioaktivních prvků uvnitř komory.

Mion: Mion vzniká přirozeně při rozpadu pionu. Piony vznikají v horních vrstvách atmosféry v důsledku interakce kosmického záření s atmosférou. Piony se velmi rychle, v průběhu několika nanosekund, rozpadají. Vzniklé miony se rovněž velmi rychle rozpadají (asi 2,2 mikrosekundy). Protože se však pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla, dochází u nich ke znatelným relativistickým jevům, jmenovitě dilataci času. V důsledku dilatace času žijí déle a dokonce dopadají na zemský povrch. Toto je jediným typem částice, který pochází ze záření kosmického pozadí, jenž může

2. Mlžná komora

Mlžná komora je jedno z nejstarších, nejjednodušších a nejlépe dostupných zařízení používaných na detekci a zobrazování průletů ionizujících částic.

S prvním nápadem na vytvoření mlžné komory přišel na konci 19. století T. R. Wilson, skotský vědec a meteorolog. Wilson byl fascinován mraky a tvorbou mraků, svůj meteorologický výzkum aplikoval v praxi. Wilsonovým cílem bylo reprodukovat podmínky vzniku mraků. Za

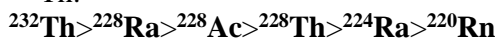
tímto cílem vytvořil zařízení složené z několika lahví, které mu dovozovaly expanzí objemu snížit tlak a teplotu v komoře. Tomuto typu mlžné komory se říká expanzní komora a je to první a nejjednodušší typ mlžné komory. Expanze vzduchu způsobila vznik kapiček vody, a to i přes to, že se v komoře nacházel přefiltrovaný vzduch, tedy vzduch zbaven nečistot, tedy potenciálních kondenzačních jader. To ho přivedlo k myšlence, že i ionty se mohou chovat jako kondenzační jádra. Wilson za svůj vynález mlžné komory získal v roce 1927 Nobelovu cenu.

Jeho mlžná komora ale měla i své nevýhody, bylo v ní například možné pozorovat částice, jen krátce po provedení expanze. Proto o několik let později vznikla komora difusní. Tento typ komory používáme při dnešním experimentu. Tato komora měla výhodu delšího pozorování, protože na rozdíl od expanzní komory jsou přítomné páry zásadní pro pozorování doplňovány kontinuálně.

Existuje několik druhů záření, které se kolem nás vyskytují každý moment. Nejdůležitější rozdělení je podle původu záření. Dva druhy dle tohoto rozdělení jsou záření kosmického pozadí a záření přirozeného radiačního pozadí. Záření kosmického pozadí na rozdíl od záření přirozeného radiačního pozadí pochází z vesmíru. Když dorazí do atmosféry, začne prudce ionizovat částice, do kterých po cestě narazí. Tyto ionizované částice pak spustí řetězovou reakci sériových ionizací, která vyústí v tzv. spršku sekundárního kosmického záření. Částice vzniklé takovýmto procesem jsou miony, elektrony, nebo fotony. Z těchto částic ale v naší komoře zachytíme pouze miony, protože Beta částice se k nám v důsledku své malé hmotnosti nedostanou, nebo neprojdou stěny mlžné komory.

Druhým typem pozorovatelného záření je záření přirozeného pozadí, to vzniká v prostoru kolem nás.

Mezi největší přirozené zdroje ionizujícího záření patří Radon (^{220}Rn) a Draslík (^{40}K). Těmto zdrojům záření jsme vystaveni po celý život, každý den. Radon je vázán v půdě a uvolňuje se ve formě plynu ve stavbách. Tento izotop Radonu vzniká rozpadem izotopu Thoria ^{232}Th :



Občas se ale stane zvláštní událost, která je spojena s dalším rozpadem ^{220}Rn na stabilní ^{208}Pb .
 $^{220}\text{Rn}(55,6\text{s}) \rightarrow ^{216}\text{Po}(0,145\text{s}) \rightarrow ^{212}\text{Pb}(10,64\text{h}) \rightarrow ^{212}\text{Bi}(60,55\text{min}) \rightarrow ^{212}\text{Po}(0,299 \times 10^{-6}\text{s}) \rightarrow ^{208}\text{Tl}(3,05\text{3min}) \rightarrow ^{208}\text{Pb}$

Při těchto rozpadech až na ^{212}Bi probíhá α přeměna, u zmíněného ^{212}Bi probíhá β^- přeměna. Časy v závorkách jsou poločasy rozpadu jednotlivých izotopů. Jak můžete vidět, tak doby poločasů jsou velmi krátké, což může způsobit téměř okamžitý rozpad částice. Pokud všechny tři rozpady proběhnou velmi rychle, pozorujeme tři stopy Alfa částic velmi blízko sebe. Draslík ^{40}K je izotopem standartního draslíku ^{39}K , jeho poločas přeměny je okolo 1,25 miliardy let. U tohoto izotopu probíhá jak β^- (uvolňuje se elektron, přeměna na ^{40}Ca) tak i β^+ (uvolňuje se pozitron, přeměna na ^{40}Ar) rozpad. Draslík ^{40}K je přítomen v zemské kůře, kde jeho průměrný obsah činí přibližně 0,003%. Díky takové koncentraci se jedná o jeden z nejrozšířenějších radionuklidů na světě. ^[1]

Princip

Částice kosmického pozadí neustále prolétají naší atmosférou, cestou interagují s částicemi hmoty. Při těchto interakcích dochází k ionizaci atomů. Ionizace je proces, při kterém předá ionizující částice část své energie elektronu jiného atomu až do takové míry, že elektron opustí el. Obal atomu. To dá vzniknout páru elektron, kationt. To je velmi důležité, tyto tímhle způsobem vzniklé ionty fungují, jako kondenzační jádra pro změnu skupenství metastabilní látky. To znamená, že když těmito párami projde ionizující částice, nechá za sebou, podél své trajektorie mnoho kationtů, na kterých se díky kondenzaci vytvoří kapičky. My tedy pozorujeme silnou kondenzaci par v okolí trajektorie částice.

Kondenzační čáry zanechané jednotlivými druhy částic se liší.

Metastabilní stav

Metastabilní stav je stav látek, při kterém se látka nachází v jiné fázi, než ve které se má podle fázového diagramu při dané teplotě a tlaku nacházet. Tohoto stavu docílíme pouze při nedostatku zárodečných center, jako např. částic prachu, shluky molekul, ionty. Pokud se v látce v metastabilním stavu nachází nedostatek zárodečných center, tak ihned po přidání dodatečného množství zárodečných center ihned dojde ke skupenské přeměně. V naší komoře se to projeví následovně: v komoře se nachází kapičky zkondenzované páry, avšak ihned po průletu částice a následném vytvoření iontů se vytvoří kolem iontů další kondenzát. Při následném přidání těchto jader do směsi dochází k intenzivní a náhlé látkové přeměně. Příkladem je třeba přesycená pára, utajený var, nebo podchlazená pára.

3. Stavba mlžné difuzní komory

Pomůcky

Suchý led: Na chlazení mlžé komory používáme “suchý led”, což je CO_2 v pevném skupenství, při teplotě -78 celsia, používáme ho kvůli jeho dostupnosti, V našem experimentu jsme použili suchý led od firmy Linde zakoupený ve formě pelet.

Isopropylalkohol ($\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$): K fungování mlžné komory je potřeba přesycená pára, kterou získáváme odpařováním isopropylalkoholu ze stropu mlžné komory. Používáme jej kvůli jeho vysoké těkavosti a funguje lépe než methanol, či ethanol. Dále jako IPA.

Styrodur: Extrudovaný polystyren, v naší mlžné komoře je použit jako izolace suchého ledu. Součásti ze styroduru jsou vyřezány z 3 cm tlustých plátů.

Hliníková podložka: Na suchý led jsme posadili desku z hliníku, ta byla z jedné strany nabarvena černě, aby kontrastovala s kapičkami alkoholu a stopy tak byly lépe viditelné.

Europřevrka: Klasická plastová šedá europřevrka. V našem experimentu slouží jako báze, do které vložíme izolaci a ve které bude celý experiment probíhat.

Akušroubovák: Akušroubovák jsme použili k vyvrtání děr pro nýty do podstavy faunária

Nýty: Slouží k připevnění filce na dno faunária

Faunarium: Slouží jako hlavní komora pozorování, nachází se zde také páry IPA.

Filc: Po napuštění, IPA slouží k dávkování alkoholových par, jde nahradit jakoukoliv látkou.

Zdroj světla: Jako zdroj světla potřebný pro zobrazení kapiček alkoholu jsme použili Cree XPE diodu. Tento zdroj světla je pro tento pokus optimální, tohle světlo nám dovoluje vidět kapičky, zároveň neoslňuje.

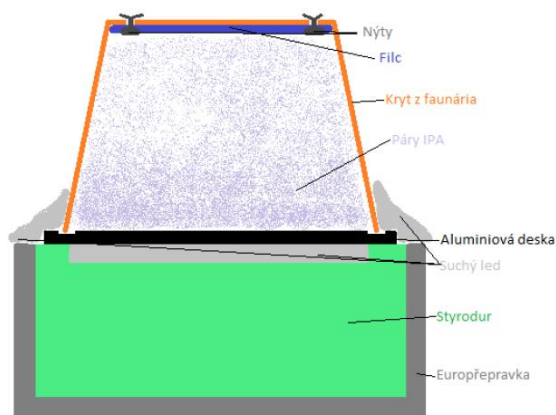
Zdroj záření: Ve druhém experimentu jsme do komory položili zdroje záření, nejdříve zářič z Americia (^{241}Am) a následně i punčošku z Thoria (^{232}Th)

Postup stavby

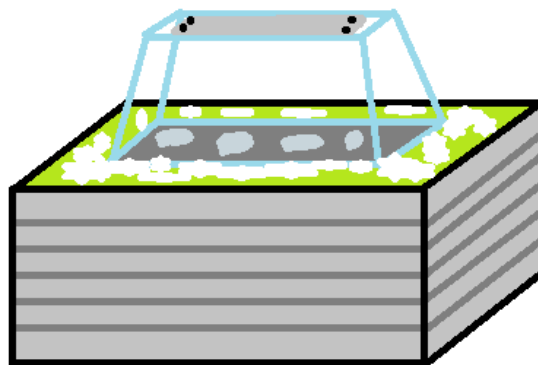
Nejprve jsme vyřezali ze Styroduru potřebné díly k sestavení izolace, vyřezaná díly musejí být rovné, aby nedošlo k naklonění hliníkové desky. Tyto vyřezané části naskládáme do europřevrky. Díly do sebe musí sedět, aby nedocházelo k úniku chladu. Kryt jsme sestrojili z plexisklového faurária, do kterého jsme vyvrtali 4 díry 1,5 cm od hrany podstavy pro nýty, které držely filc na dně faunária. Po připevnění filcu jsme byli připraveni na další fázi, přidání isopropylalkoholu a suchého ledu, tuto část jsme již prováděli v zatemněné laboratoři.

Na připravenou část s izolací jsme nasypali peletky suchého ledu, do vrstvy cca 1 cm tlusté. Suchý led jsme zde nasypali kvůli vzniku podchlazené páry a chlazení hliníkové podložky, kterou jsme na něj položili. Po položení začala hliníková destička vydávat pisklavý nepřijemný zvuk, který byl způsoben náhlou, prudkou změnou teploty. Isopropylalkohol jsme nanášeli pomocí rozprašovače na okna na filc (circa 40 dávek), který jej nasál. Po přiklopení krytu jsme

na hrany opět nanесли Isopropylalkohol a obsypali novou vrstvou suchého ledu. Museli jsme počkat několik minut, aby se ustálily vnitřní podmínky uvnitř komory, následně jsme namířili několik zdrojů světla na podložku a v kuželu jejich světla jsme po 10-12 minutách začali pozorovat první stopy částic.



Obr. 1: Průřez komorou.



Obr. 2: Schema komory.

4. Experiment

Při experimentu jsme dodržovali striktní bezpečnostní zásady. Po celou dobu jsme měli nasazené ochranné brýle, jako prevence před vniknutím ISA do očí. Při manipulaci s ISA, suchým ledem a při manuální práci na komoře jsme měli nasazené ochranné pracovní rukavice. Chránili jsme se tak proti omrzlinám z kontaktu se suchým ledem, kontaminací toxickým IPA a v neposlední řadě mechanickému poškození způsobeném nešikovnou manipulací s náradím a komorou. Experiment je nutno provést v temné místnosti, ale musí být otevřené okno, či zajištěno jiné větrání, IPA je těkavý a toxický.

Provedli jsme celkem tři experimenty. V prvním provedeném experimentu jsme sestavily paralelně dvě komory, obě jsme zásobili IPA a suchým ledem. Tento experiment nepřinesl téměř žádné výsledky. V komoře se sice vytvořily kapičky z kondenzované páry, avšak na přítomnost částic již nereagovala, tj. při průchodu částice nedošlo k zobrazení stopy.

Druhý experiment, již byl mnohem úspěšnější, obě komory jsme odklopili, vyčistili a opět jsme je naplnili IPA, do jedné jsme umístili Americiový zářič, do druhé Thoriovou punčošku. Obě komory nyní ukazovaly alespoň nějaké výsledky. Nebylo to však jen přiblížením dvou typů zářičů, ale i příhodnějšími podmínkami v komoře. Je velmi důležité, aby byla komora správně vymrzlá, nižší teplota stimuluje torbu sytých par, a tím ulehčuje následné pozorování průletů částic. Také je velmi důležité mít čistou komoru, pokud se v ní nachází nečistoty, tak na nich dochází ke skupenské přeměně sytých par. Tím se snižuje jejich koncentrace a tedy i velikost stopy prošlých částic.

Kvůli přítomným zářičům byla kvantita pozorovaných částic také velká.

Při třetím experimentu jsme se rozhodli vyzkoušet vytvořit mlžnou komoru z kelímku na pivo Lobkowitz. Do kelímku jsme položili toaletní papír, jež jsme saturovali IPA. Tento kelímek jsme otočili na zmrzlou desku a následně nechali ustálit. Situace se ustálila po cca třech minutách. Pozorovali jsme vytvoření kapek par. Po relativně krátké době došlo i k pozorování

průletu Alfa částice. Úspěch této komory připisujeme v době měření již téměř dokonale vymrzlé hliníkové podložce.

5. Závěr

Podářilo se nám vyrobit a sestavit funkční mlžnou komoru. Pozorovali jsme ionizující záření z přirozeného pozadí a také z radioaktivních zdrojů. Nejzajímavější bylo pozorování postupného rozpadu **Rn>Po>Pb**.



Obr. 3: Tři Alfa částice vznikající postupným rozpadem **Rn>Po>Pb**

6. Poděkování

Děkujeme pánovi doc. Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D. za vedení našeho projektu. FJFI ČVUT za nádherný týden plný zajímavostí a poznání.

7. Použitá literatura

KUČERA, Petr. MOŽNOSTI EXPERIMENTŮ S DIFÚZNÍ MLŽNOU KOMOROU [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/5386/1/DP.pdf>. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Karel Rauner.
USAČEV, Sergej. Experimentálna jadrová fyzika. Bratislava: Nakladateľství technické literatury, n. p. Praha, 1982. ISBN 63-559-82.

^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně

Nikola Eva Mádlová, První soukromé jazykové gymnázium, Brandlova 875, 500 03
Hradec Králové 3, madlova.nikola@psjg-hk.cz
Edvard Sidoryk, Křesťanské gymnázium, Kozinova 1000, 102 00
Praha 10, edvard.sidoryk@seznam.cz
Petra Urgačová, United World Collage Li Po Chun, Sai Sha Road 10, Hong Kong Ma
On Shan, petra.urgacova@gmail.com

Abstrakt:

Práce ^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně se zabývá přípravou radiofarmak, jež se uplatňují ve SPECT diagnostice onemocnění na klinikách nukleární medicíny. Zvolená radiofarmaka jsou preparáty obsahující ^{99m}Tc , jež disponuje vhodnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi pro diagnostiku v nukleární medicíně.

Praktická část miniprojektu se sestávala jak ze syntézy samotného radiofarmaka, tak z využití analytických metod, jež napomohly sledovat radiochemickou čistotu připravených sloučenin. V rámci metodiky byly využity komerčně dodávané kity. V souladu se správnou laboratorní praxí byly připraveny celkem 3 přípravky: MAG_3 kit, Nanocoll a TechneScan DMSA, u nichž byla pomocí tenkovrstevné chromatografie ověřena radiochemická čistota. U všech sloučenin přesahovala hodnota radiochemické čistoty 96 %, což je velice zdařilý výsledek.

Úvod

Sloučeniny ^{99m}Tc jsou aplikovány v nukleární medicíně (SPECT, scintigrafie) za účelem diagnostiky širokého spektra onemocnění. Zdrojem tohoto izotopu je radionuklidový generátor ^{99}Mo - ^{99m}Tc eluovaný fyziologickým roztokem. Cílem našeho miniprojektu bylo zhotovit eluát ^{99m}Tc , použít jej pro přípravu samotného radiofarmaka a ověřit čistotu připraveného léčiva.

1 Teoretická část

1.1 Generátor ^{99}Mo - ^{99m}Tc

Radionuklidový generátor ^{99}Mo - ^{99m}Tc je systém dvou radionuklidů, mateřského ^{99}Mo a dceřiného ^{99m}Tc , jež jsou vzájemně spjaty posuvnou radioaktivní rovnováhou. V rámci našeho miniprojektu byl upotřeben generátor využívající pro separaci radionuklidů princip chromatografie.

Tento generátor je konstruován následovně: Al_2O_3 je jakožto stacionární fáze umístěn ve skleněné kolonce. ^{99}Mo je na oxidu hlinitém ukotven ve formě MoO_4^{2-} . Kolona je následně promyta 0,9% roztokem chloridu sodného, čímž je z ní vymyto ^{99m}Tc ve formě TcO_4^- [1].

1.2 Chemie značení ^{99m}Tc

Technecium je obsaženo v eluátu získaném z generátoru, vyskytuje se však ve formě $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ v oxidačním stavu 7+ a není tudíž schopno tvořit požadované sloučeniny přímo. Právě z toho důvodu jej musíme zredukovat vhodným redukčním činidlem. Nejčastěji

používanými redukčními činidly jsou např. chlorid cínatý či vlnan cínatý. Redukční činidlo je zpravidla přítomno v komerčních kitech a pro označení farmaka stačí k lyofilizátu v ampulce přidat techneciový eluát.

V rámci přípravy tzv. horkých kitů je využívána tzv. transchelatace, která je založena na rozdílné stabilitě dvou komplexních sloučenin. Jakmile je do kitu přidán technecistan, dojde k redukcí Tc^{7+} a formuje se komplex slabého ligandu s ^{99m}Tc , který při zahřátí zpravidla opouští vazbu jako první a dochází k tvorbě požadovaného komplexu [1,2].

1.3 Radiochemická čistota

Radiochemická čistota je nejčastěji ověřována za použití TLC a je definována jako poměr aktivity i -tého komplexu - A_i k celkové aktivitě všech nečistot, jež jsou přítomny [3].

$$P_{RCH} = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Radiochemická čistota je finálně ověřena radiochemickou detekcí, která se primárně provádí radiochromatografem, do něhož je vložena TLC deska [3].

2 Praktická část

Metodická část miniprojektu se sestávala ze syntézy radiofarmaka ^{99m}Tc a stanovení radiochemické čistoty tohoto přípravku.

2.1 Chemické látky a přístroje

V rámci praktické části byly použity specifické chemické látky a přístroje.

- **Přístroje** = TLC skener, generátor $^{99}Mo/^{99m}Tc$, ionizační komora (PTW-Curiementor 2), magnetická míchačka s ohřevem a teplotním čidlem (Ika C-MAG HS7).
- **Látky** = kit TechneScan DMSA, methylethylketon, kit Nanocoll, mobilní fáze methanol:voda 85:15, MAG_3 kit, mobilní fáze acetonitril:voda 7:3, , fyziologický roztok (roztok chloridu sodného), eluát $Na^{99m}TcO_4$, chromatografické papíru ITLC-SG, ITLS-SA a Whatman č. 1

2.2 Syntéza ^{99m}Tc značených radiofarmak

2.2.1 Eluce $^{99}Mo/^{99m}Tc$ generátoru

Technecium-99m bylo získáno elucí z generátoru $^{99}Mo-^{99m}Tc$ (viz 1.1) ve formě technecistanu. Nejprve byl sejmout ochranný kryt ze vstupní a výstupní jehly, při čemž na jehlu vstupní byla nasazena zásobní vialka s připraveným fyziologickým roztokem (0,9% roztok NaCl ve vodě). Evakuovanou eluční vialku jsme umístili do oloveného stínícího krytu („kostelíku“). Následně byl kryt s ampulkou napíchnut na výstupní jehlu. Eluce byla pozorována a po jejím skončení byla vialka s eluátem v oloveném krytu vyjmuta a výstupní jehla opět zakryta. Následovalo měření aktivity eluátu ionizační komorou.

2.2.2 Značení radiofarmaka

Vialka s ^{99m}Tc byla ponechána v „kostelíku“ a ampulka s příslušným kitem byla vložena do oloveného krytu. Z jímací vialky byl odebrán 1 ml technecia do injekční stříkačky a došlo k měření aktivity roztoku v ní. Poté byl roztok ve stříkačce doplněn 4 ml fyziologického

roztoku. Následně byl roztok pomocí vpichu přenesen do kitu. Poté byla opět změřena aktivita a obsah lahvičky byl promíchán. Byly označeny 3 kity: TechneScan DMSA, Nanocoll a MAG_3 kit. Dva studené kity (TechneScan DMSA, Nanocoll) byly ponechány v olověných krytech a byly inkubovány po dobu 15 min, zatímco horký kit (MAG_3 kit) byl zahříván k 120 °C po dobu 15 min za pomoci přístroje Ika C-MAG HS7.

2.3 Radiochemická čistota - TLC

Pro určení radiochemické čistoty jsme použili metodu chromatografie na tenké vrstvě neboli Thin Layer Chromatography (TLC). Připravená radiofarmaka byla nanášena stříkačkou v podobě malé kapky na start TLC destičky. Ve stacionární fázi byly použity specifické chromatografické papírky vhodné pro jednotlivé kity, tedy silikagel na skleněných vláknech pro TechneScan DMSA, silikagel na skleněných vláknech impregnovaných kyselinou salicylovou pro Nanocoll a Whatman č. 1 pro MAG_3 kit. Jako mobilní fáze byla použita různá rozpouštědla a to methylethylketon pro TechneScan DMSA, methanol:voda v poměru 85:15 pro Nanocoll a acetonitril:voda v poměru 7:3 pro MAG_3 . Po vyvinutí chromatogramů byly destičky naskenovány radiochromatografem a vyhodnoceny v programu WinScan.

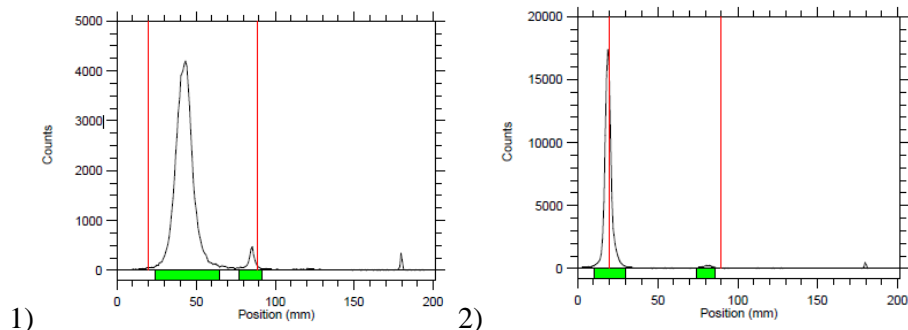
3 Výsledky

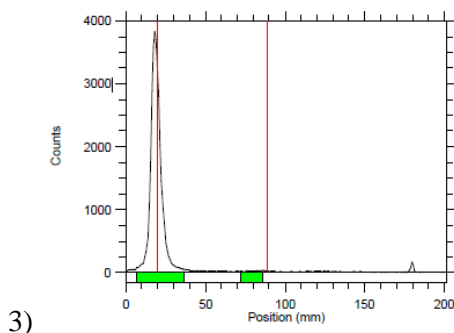
Během práce byly syntetizovány celkem 3 přípravky. U všech přípravků byla pomocí ionizační komory měřena jejich aktivita.

Tabulka 1: Syntetizované přípravky a jejich aktivity

Přípravek	Celková aktivita
MAG_3 kit	158,5 MBq
Nanocoll	146,6 MBq
TechneScan DMSA	152,4 MBq

Radiochemická čistota přípravků byla také studována. Čistota farmaka MAG_3 , jež byla připravena v horkém kitu, dosahovala 96,08 %, zbylých 3,92 % tvořil nezredukovaný technecistan (2. peak). Čistota přípravku Nanocoll dosáhla 97,84 %, kdy zbylých 2,16 % byl opět nenavázaný technecistan. Čistota preparátu TechneScan DMSA činila 98,90 % s pouhým 1,1% technecistanu. Na všech grafech se také v rozmezí 150-200 objevuje 3. peak, jedná se avšak o nečistotu na detektoru.





Obr. 1: Radiochemická čistota farmak MAG₃ kit (1), Nanocoll (2) a TechneScan DMSA (3)

4 Diskuse

Všechny vyhodnocené procentuální hodnoty byly v požadovaném rozmezí radiochemické čistoty >95 %. Přesto nám grafy ukázaly výskyt nečistot, a to především při použití kitu MAG₃, jehož čistota byla nejnižší a to 96,08 %. Zaznamenané nečistoty mohou být nezredukováné nebo hydrolyzované technecium. Je možné, že se do evakuované vialky dostal při vpichu okolní vzduch, který zapříčinil oxidaci již zredukováného technecia, což považujeme za hrubou chybu. Další hrubé chyby pramení z naší nezkušenosti. Kit MAG₃ byl ze staré výroby, kde bylo doporučeno s vialkou netřepat, neboť se z pryžové zátky mohou uvolnit nechtěné látky, což jsme kvůli nevědomosti nedodrželi. Svoji roli hraje i stáří kitu a způsob skladování.

5 Shrnutí

Tato práce se zabývá zhotovením eluátu ^{99m}Tc z radionuklidového generátoru ⁹⁹Mo-^{99m}Tc a následnou výrobou samotného radiofarmaka na bázi ^{99m}Tc. Stanovené cíle byly úspěšně splněny, jelikož se radiofarmaka podařilo úspěšně zhotovit v dostatečné čistotě.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Kateřině Fialové za množství cenných rad, času a trpělivosti, které nám byla ochotna věnovat jak při laboratorní činnosti, tak při vypracování miniprojektu. Rádi bychom také vyjádřili vděk RNDr. Martinu Vlkovi, Ph.D za poskytnutí zázemí na Katedře jaderné chemie FJFI.

Reference

- [1] SAHA, G. B.: Fundamentals of Nuclear Pharmacy. 5. vyd., ISBN 0-387-40360-4, Springer, New York 2004.
- [2] VÉRTES, A., NAGY, S., KLENCŠÁR, Z., Eds.: Handbook of Nuclear Chemistry, ISBN 1-4020-1316-7, Vol. 4, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2003.
- [3] KOHLÍČKOVÁ, M., JEDINÁKOVÁ-KŘÍŽOVÁ, V., MELICHAR, F.: Chem. Listy 92, 643 (1998).

Výbojkově čerpaný neodýmový laser se zesilovačem

Magdalena Benešová¹, Adam Seidl², Ján Glut³, Michal Němec⁴

¹VOŠ a SPŠE Plzeň, *benesovam@spseplzen.cz*

²Nový PORG Praha, *seidladam@novyporg.cz*

³EGJT Liptovský Mikuláš, *jano.glut@gmail.com*

⁴Gymnázium Vídeňská Brno, *michaelnemec47@gmail.com*

Abstrakt

V rámci experimentální úlohy byly proměřovány časové a energetické charakteristiky výbojkově čerpaného Nd:YAG laseru v režimech volné generace a Q-spínání. Dále byla zkoumána závislost zesílení laserového pulsu Nd:YAG zesilovače na energii buzení a v závěru byla pomocí nelineárního optického krystalu KDP transformována energie záření základní harmonické frekvence (1064 nm) do okem viditelné oblasti 2. harmonické frekvence (532 nm).

1 Úvod

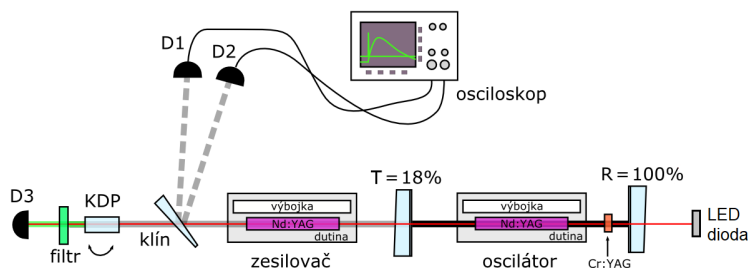
Krystal Nd:YAG je tvořen aktivními ionty neodymu, které poskytují možnost zesílení optického záření v matici yttrito-hlinitého-granátu YAG ($Y_3Al_5O_{12}$). Nd:YAG laser byl poprvé na světě zprovozněn v roce 1964 skupinou J. E. Geusica v Bellových laboratořích ve Spojených státech amerických. Dodnes bylo s tímto aktivním prostředím dosaženo velké množství možných operací od kontinuálního režimu až po režim generace velmi krátkých impulsů. Laser generuje záření v blízké infračervené části elektromagnetického spektra a jeho využití je velice široké od průmyslu: laserové vrtání, řezání, svařování, žíhání, značkování; přes medicínu: odstranění šedého zákalu, redukce nitroočního tlaku až po vojenské účely. V současné době se jedná o nejpoužívanější laser na světě. [1], [2]

2 Naměřené výsledky

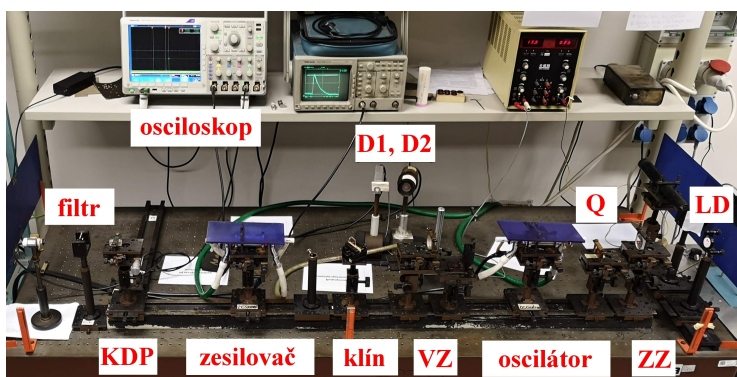
2.1 Parametry laserového rezonátoru a použité měřicí přístroje

Optický rezonátor byl tvořen dvojicí rovinných zrcadel. Zadní zrcadlo mělo odrazivost $R_1 \simeq 100\% @ 1064 \text{ nm}$ a výstupní zrcadlo $R_2 = 82\% @ 1064 \text{ nm}$. Délka sestaveného rezonátoru byla $L = 53 \text{ cm}$.

Na obrázku 1 je nakreslené zjednodušené schéma experimentálního uspořádání a na obrázku 2 následuje fotografie sestaveného laserového systému.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma experimentální sestavy. D1–D3 – detektory pro měření energie a délky pulsu. [2]



Obrázek 2: Fotografie uspořádání Nd:YAG laserového systému se zesilovačem a popisem jednotlivých součástí. D1 – fotodioda snímající časový průběh záření, D2 – pyroelektrický měřič energie s citlivostí $S = 15,8 \text{ V/J}$, LD – trasovací laserová dioda, VZ – výstupní zrcadlo, ZZ – zadní zrcadlo, Q – satureovatelný absorber Cr:YAG pro pasivní Q-spínání, KDP – krystal pro generaci druhé harmonické frekvence.

2.2 Měření výstupních charakteristik Nd:YAG laserového záření

Optické buzení laseru zajišťovala xenonová výbojka napájená externím vysokonapětovým zdrojem skládajícím se z kondenzátoru o kapacitě $C = 100 \mu\text{F}$ a cívky. Energie budícího záření za předpokladu ideální transformace elektrické energie na optickou energii výboje E_b byla z dané kapacity kondenzátoru C a napětí zdroje U_b vypočítána podle vztahu

$$E_b = \frac{1}{2} C U_b^2. \quad (1)$$

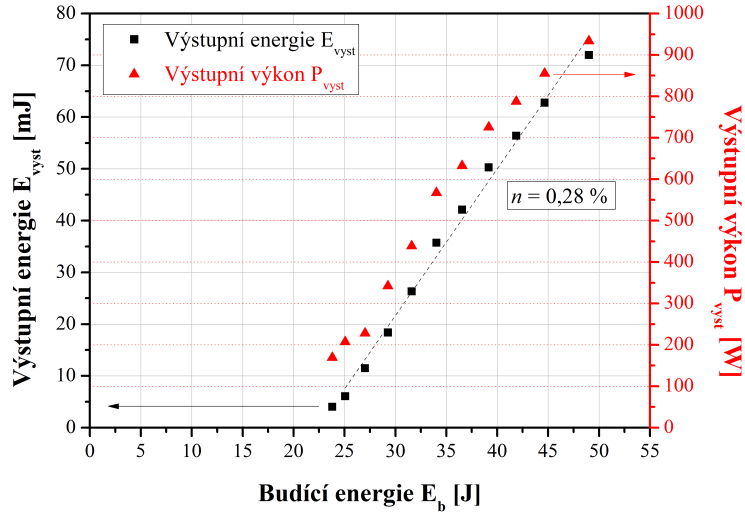
Energie a délka pulsu byla detekována nepřímou odrazem optického klínu s odrazivostí $R = 4 \%$ umístěného v ose generovaného laserového svazku. Na energetické sondě s citlivostí $S = 15,8 \text{ V/J}$ byla přidělena ještě matnice s transmitancí $T = 62 \%$. Z tohoto důvodu byla výstupní energie Nd:YAG laseru E_{vyst} přepočítána z naměřeného napětí na osciloskopu U_{vyst} podle vztahu

$$E_{\text{vyst}} = \frac{U_{\text{vyst}}}{S \cdot T \cdot R}. \quad (2)$$

Střední výstupní výkon P_{vyst} byl vypočítán z podílu výstupní energie pulsu E_{vyst} a jeho celkové délky t_p

$$P_{\text{vyst}} = \frac{E_{\text{vyst}}}{t_p}. \quad (3)$$

Graf naměřené závislosti výstupní energie E_{vyst} a výstupního výkonu P_{vyst} na energii budícího záření výbojky E_b je uveden na obrázku 3.

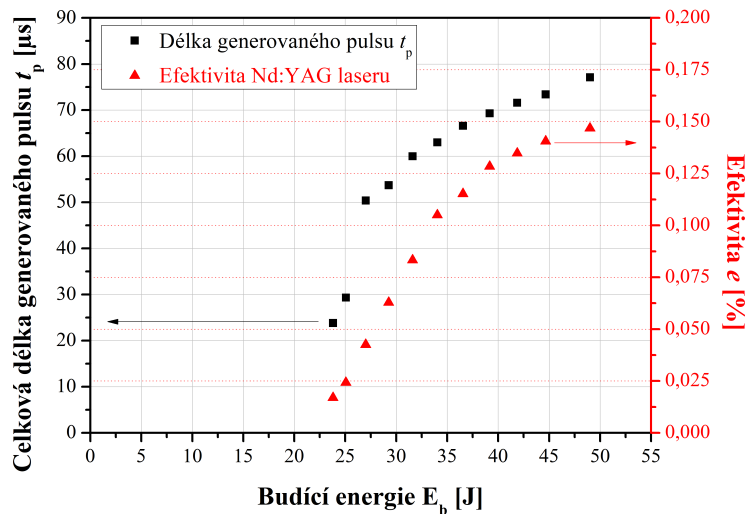


Obrázek 3: Graf závislosti výstupní energie (černě) a výstupního výkonu (červeně) na energii budícího záření výbojky. n – diferenciální účinnost.

Z naměřené závislosti výstupní energie E_{vyst} na energii buzení E_b byla následně vypočítána efektivita Nd:YAG laseru n

$$n = \frac{E_{\text{vyst}}}{E_b}. \quad (4)$$

Výsledný graf závislosti efektivity a délky generovaného pulsu na budící energii je uveden na obrázku 4.



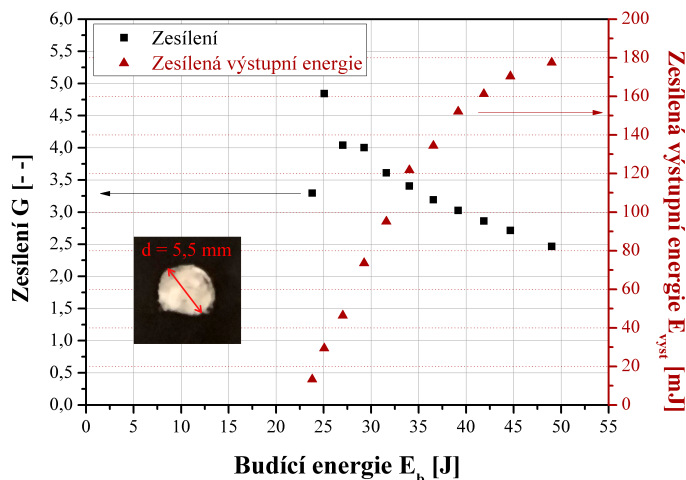
Obrázek 4: Graf závislosti celkové délky generovaného pulsu t_p v režimu volné generace (černě) a efektivit e Nd:YAG laseru (červeně) na energii budícího záření E_b .

2.3 Zesilování laserového záření Nd:YAG zesilovačem

Zesílení G jednorůchodového laserového zesilovače bylo vypočítáno z naměřených hodnot energie na vstupu E_{vst} a na výstupu E_{vyst} zesilovače podle vztahu

$$G = \frac{E_{vyst}}{E_{vst}}. \quad (5)$$

Graf závislosti zesílení laserového zesilovače a výstupní energie po zesílení na energii buzení je zobrazen na obrázku 5.



Obrázek 5: Graf závislosti zesílení jednorůchodového Nd:YAG laserového zesilovače G (černě) a výstupní energie zesíleného záření (červeně) na energii buzení. Na fotografii vlevo je pro ilustraci zaznamenána stopa svazku s vyznačeným průměrem d .

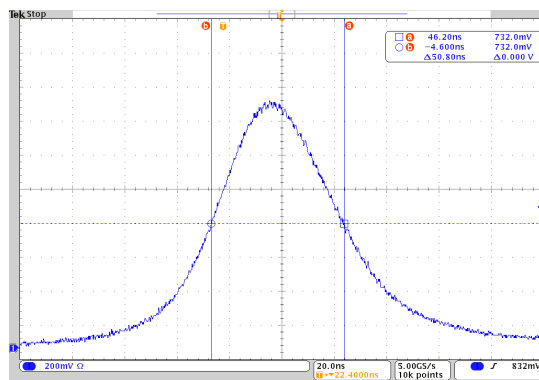
Pro výstupní výkon $P_{vyst} = 2,3$ kW byla na fotocitlivý papír zaznamenána téměř kruhová stopa generovaného laserového svazku s průměrem $d = 5,5$ mm. Tomuto průměru odpovídá plocha svazku o velikosti $A = 0,237$ cm². Následně byla vypočítána plošná hustota výkonu laserového záření W podle vztahu

$$W = \frac{P_{vyst}}{A}. \quad (6)$$

Vypočítaná hustota záření vychází $W = 9,7$ kW/cm².

2.4 Charakterizace krátkých Q-spínaných pulsů

Pro generaci krátkých pulsů byl do rezonátoru vložen krystal saturovatelného absorbéru Cr:YAG, který díky své nelineární absorpci umožnil provozovat laser v režimu pasivního Q-spínání. Na obrázku 6 je zaznamenán časový průběh jednoho Q-spínaného pulsu. Délka a energie tohoto impulsu byla z důvodu odchylek těchto parametrů mezi jednotlivými pulsy měřena statisticky z průměru deseti měření. Průměrná energie Q-spínaného pulsu s odpovídající střední kvadratickou odchylkou byla $E_Q = (26,2 \pm 2,6)$ mJ s průměrnou délkou pulsu $\tau_Q = (48,8 \pm 2,4)$ ns. Tomu odpovídá špičkový výkon $P_{peak} = (539 \pm 64)$ kW.



Obrázek 6: Oscilogram Q-spínaného pulsu.

3 Diskuze a závěr

V rámci experimentální úlohy byly proměřovány základní charakteristiky laserového záření výbojkově čerpaného Nd:YAG laseru. Maximální dosažená výstupní energie ve volně běžícím režimu byla $E_{\max} = 72 \text{ mJ}$ a délkou pulsu $t_p = 77,1 \mu\text{s}$. Tomu odpovídal střední výstupní výkon $P_{\max} = 933,4 \text{ W}$. Diferenciální účinnost laserového systému byla $\eta = 0,28 \%$. Vyšší účinnosti laserového systému by bylo možné dosáhnout například při použití čerpání aktivního prostředí Nd:YAG laserovou diodou.

V další části bylo proměřováno zesílení G jednorůchodového laserového zesilovače. Z naměřené závislosti zesílení na budící energii vychází, že k největšímu zesílení $G_{\max} = 4,84$ dochází při budící energii $E_b = 25 \text{ J}$. Maximální zesílená energie výstupního záření zesilovače byla $E_{z\max} = 177,5 \text{ mJ}$. Pro tuto energii byla také zaznamenána plocha generovaného svazku, které odpovídala hustota laserového záření $W = 9,7 \text{ kW/cm}^2$.

Následně byl do rezonátoru přidán krystal Cr:YAG zajišťující pasivní Q-spínání s generací krátkých pulsů o délce $\tau_Q = (48,8 \pm 2,4) \text{ ns}$ a energii $E_Q = (26,2 \pm 2,6) \text{ mJ}$, čemuž odpovídal špičkový výkon $P_{\text{peak}} = (539 \pm 64) \text{ kW}$.

Na závěr byly Q-spínané pulsy nasměrovány do nelineárního krystalu KDP (KH_2PO_4), ve kterém docházelo ke konverzi blízkého infračerveného záření Nd:YAG laseru o vlnové délce $\lambda = 1064 \text{ nm}$ do viditelné části spektra o dvojnásobné frekvenci záření (tj. poloviční vlnové délce $\lambda = 532 \text{ nm}$). Záření v zelené části viditelného spektra jsme pozorovali na stínítku za infračerveným filtrem nepropouštějícím záření o vlnové délce $\lambda \geq 1 \mu\text{m}$.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům TV@J za možnost tvorby vlastního článku a za prostředky pro jeho vytvoření.

Literatura

- [1] M. Vrbová, *Oborová encyklopedie Lasery a moderní optika*, Prometheus, ISBN 80-8549-56-9, 1994.
- [2] A. Říha, *Návod k miniprojektu č. 43*, online: http://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/fyztyd/evergreen/MPs/19/MP_Neodymovy_laser.pdf, 2019.

Měření Heisenbergovy relace neurčitosti

M. Hajný, J. Vinklárek, Š. Meister

ČVUT - Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

me@martinhajny.me, jakub.vinklarek@seznam.cz, meistepa@gmail.com

Abstrakt

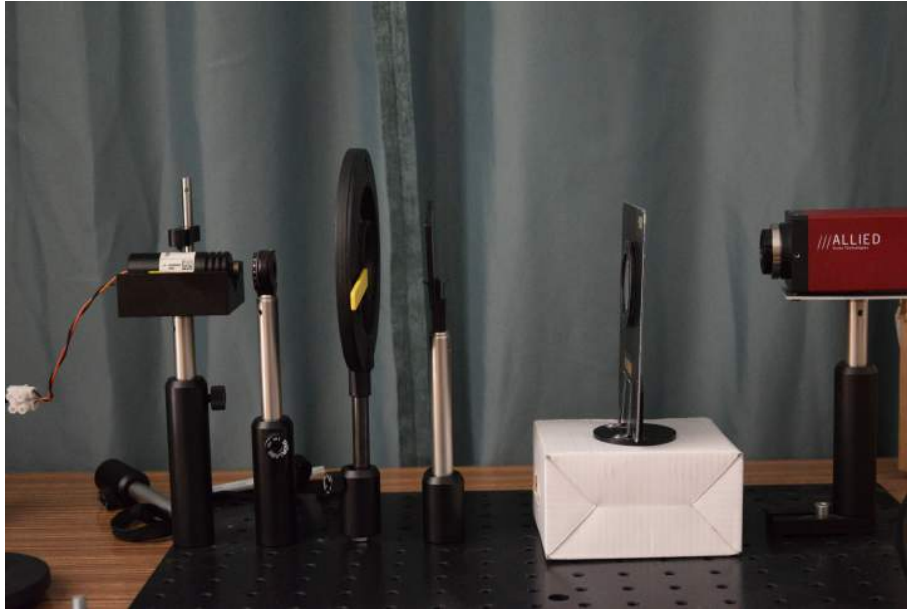
Cílem naší práce bylo experimentálně ověřit Heisenbergovu relaci neurčitosti. Pomocí laseru a štěrbinu jsme na senzoru vytvořili difrakční obrazec, který jsme následovně analyzovali v programovacím jazyce python. Naměřená data po numerickém zintegrování potvrdila Heisenbergovu teorii.

1 Úvod

Kvantová fyzika se zabývá částicemi v mikrosvětě. Ty se velmi často chovají zcela kontraintuitivně a proto je nutné teorie ověřovat s ještě větší důkladností, než na poli klasické, newtoniánské, mechaniky. Náš tým dostal za úkol ověřit tzv. Heisenbergův princip neurčitosti. Ten tvrdí, že není možné zároveň, s dokonalou přesností, určit některé dvojice vlastností. Snad nejnázornější a nejjednodušší na vysvětlení je dvojice poloha-hybnost. Tedy, chceme-li precizně zjistit polohu částice, musíme použít dostatečně krátkou vlnovou délku, menší než poloměr částice. Pokud však částici takovýmto zářením zasáhneme, přirozeně změním její hybnost. Tím že jsme hybnost změnili již nemůžeme změřit její původní hodnotu. A naopak, pokud změříme přesně hybnost, nemůžeme přesně určit polohu.

2 Metodika měření

Jedním ze základních principů kvantové fyziky je tzv. dualita. Říká, že částice se mohou chovat jako vlny a zároveň že vlny se mohou chovat jako částice. Umístíme-li mezi laser a senzor štěrbinu, vytvoří se na senzoru tzv. difrakční obrazec. A právě pomocí něj budeme dokazovat Heisenbergův princip neurčitosti. Aparaturu, která je vyfocena na obrázku 1, jsme museli doplnit o čočku s ohniskovou vzdáleností +100 mm, která difrakční obrazec zaostříla do detektoru. Protože náš detektor byl přesycen, museli jsme snížit množství dopadajících fotonů umístěním dvou polarizačních filtrů s vzájemnou odchyklou polarizačních rovin o cca 80 stupňů.



Obrázek 1: Použitá aparatura na zachycení difrakčního obrazce. Komponenty zleva: laser, dvojice polarizačních filtrů pro snížení světelné intenzity laseru, štěrбина, konvexní čočka s ohniskovou vzdáleností +100mm, fotonový CCD detektor.

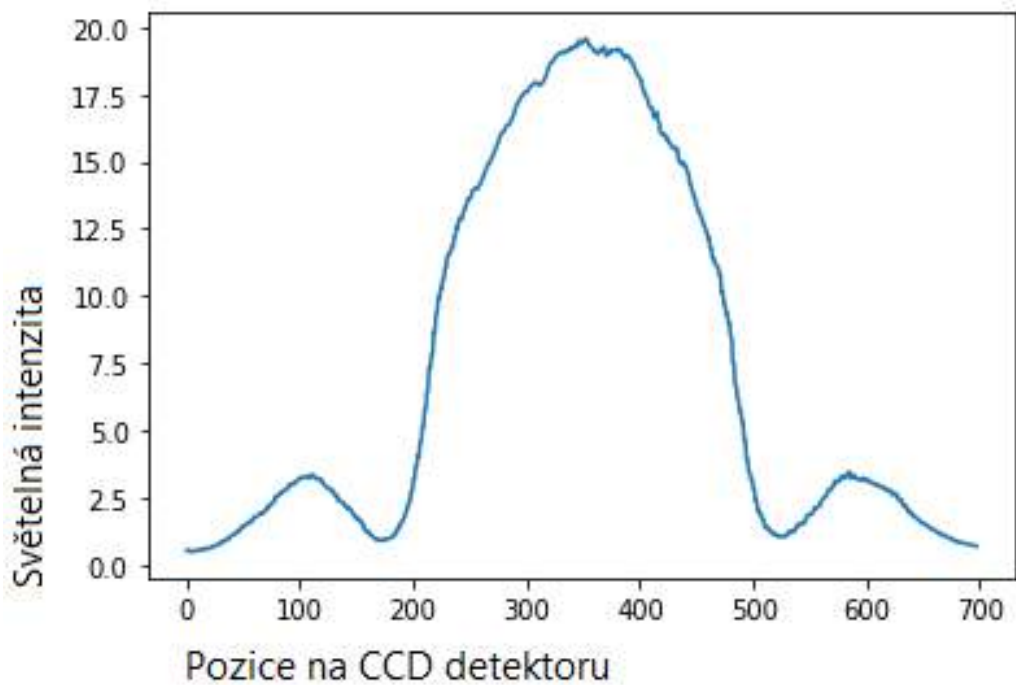
3 Numerická analýza difrakčního obrazce

Difrakční obrazec, který je na obrázku 2, byl zpracován programem v programovacím jazyce python. Ten sečetl světelnou intenzitu v každém sloupci pixelů a vytvořil graf, který je na obrázku 3.

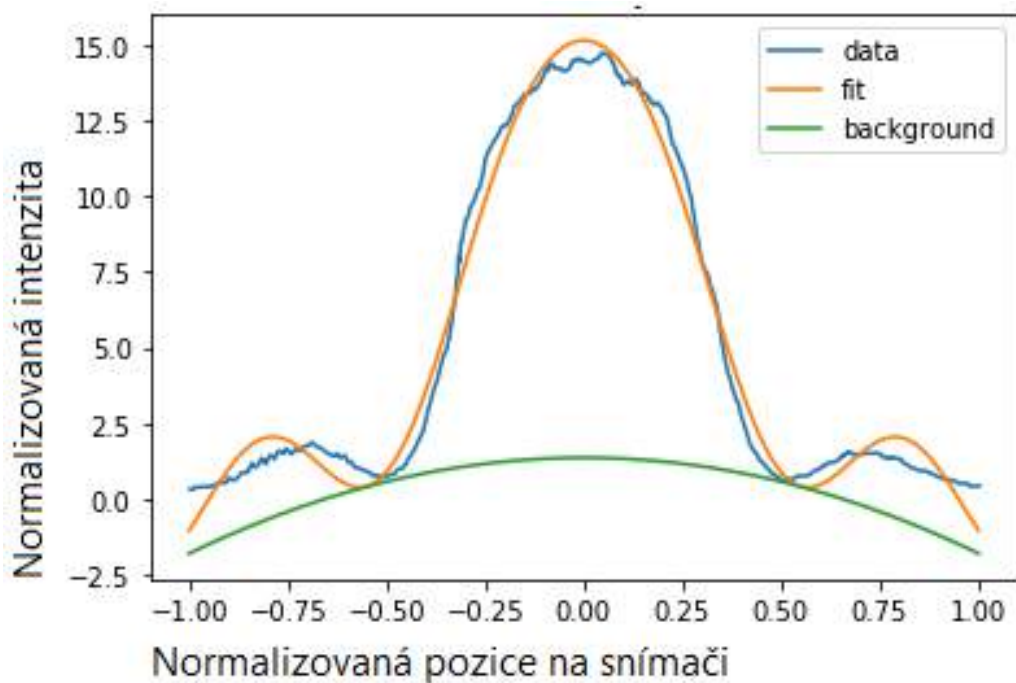


Obrázek 2: Difrakční obrazec na CCD detektoru.

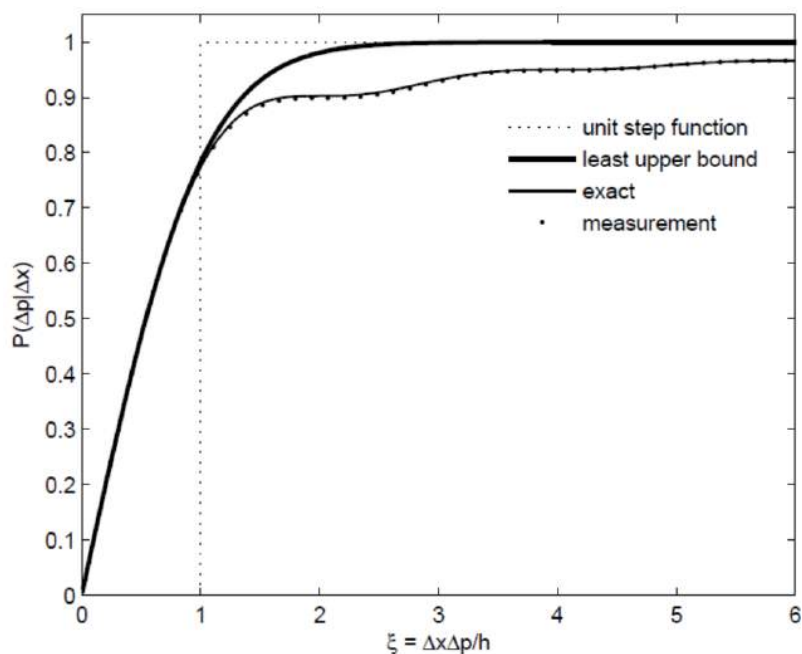
Graf bylo nejprve nutné oříznout a vycentrovat, aby při integraci nedošlo ke zkreslení. Původně jsme tuto úpravu neučinili a zkreslení bylo tak velké, že jsme překročili nerovnost Heisenbergovy relace. Z tohoto důvodu jsme program upravili a následně ořezávali ručně, čímž jsme data vylepšili a integrace pak proběhla podle očekávání. Následně jsme graf proložili fitovací funkcí, čímž jsme získali obrázek 4. Tento obrázek pak program integroval, čímž jsme získali závislost na obrázku 6. Tato závislost nám říká, s jakou pravděpodobností nalezneme události za Heisenbergovou hranicí. Její předpověď je vidět na obrázku 5.



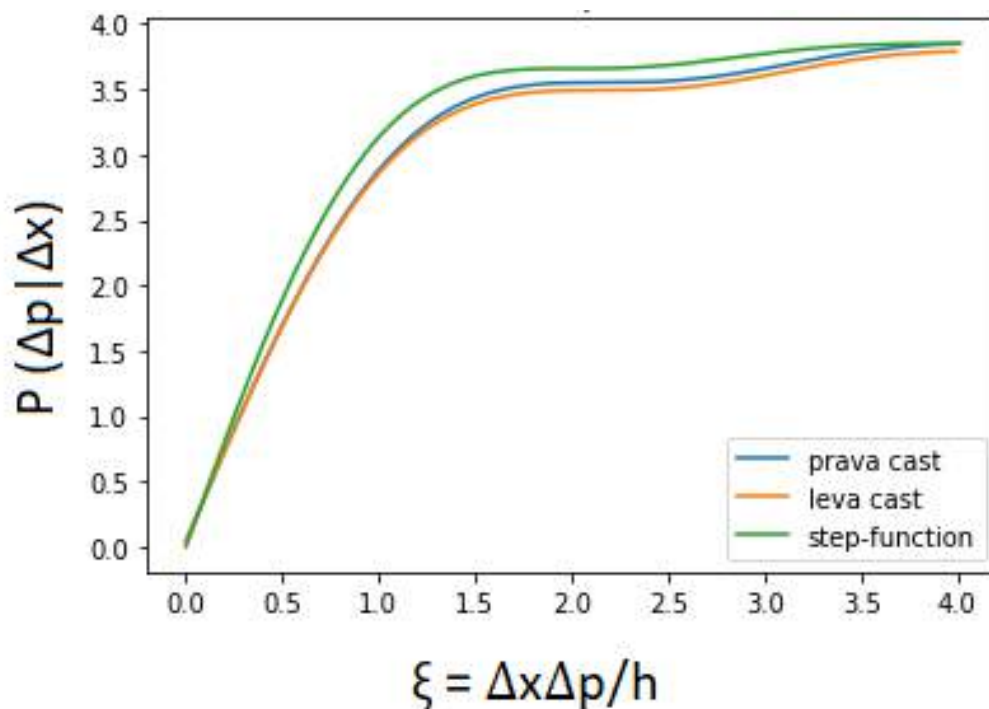
Obrázek 3: Graf sečtené světelné intenzity. V Heisenbergově relaci představuje pravděpodobnostní rozdělení hybnosti fotonů.



Obrázek 4: Proložená závislost fitovací funkcí. Od závislosti bylo odečteno pozadí a oříznuté kraje pro jednodušší integraci.



Obrázek 5: Vypočtené pravděpodobnostní rozdělení z Heisenbergovy relace. Tečkovaná a linie s názvem Unit step function znázorňuje Heisenbergovu nerovnost. Závislost s názvem Least upper bound znázorňuje hranici, za níž nelze jít dále s přesností měření. Poslední závislost představuje naměřená data. Zdroj [2].



Obrázek 6: Numericky integrovaná závislost z obrázku 4. Zelená funkce představuje Unit step function z grafu 5.

4 Shrnutí

Naměřili jsme závislost světelné intenzity na poloze, kterou jsme následně integrovali, abychom získali předpovězené pravděpodobnostní rozdělení podle obrázku 5. Naše práce byla velmi zajímavá a podnítila v nás spoustu zajímavých podnětů k budoucímu přemýšlení. Naše výsledky odpovídají tomu co předpověděl Werner Heisenberg.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské, za poskytnutí zázemí našemu výzkumu, pythonímu guru Tomášovi Zikmundovi za půlnoční opravy kódu. A hlavně Bětce za úžasnou podporu. A kafe.

Reference

- [1] H.J. Greenberg. *A Simplified Introduction to L^AT_EX*. <http://www.ctan.org/tex-archive/help/Catalogue/entries/simplified-latex.html?action=/tex-archive/info/simplified-latex/>. 1999.
- [2] Winfrid Görlich, Ingo Hoffmann, and Thomas Schürmann *Single-slit diffraction and the heisenberg principle for position and momentum, 2008*.
- [3] Thomas Schürmann *A single particle uncertainty relation. 2003*.

Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu

B. Baštářová, Gymnázium Blovice, Blovice, barullinka2@gmail.com

F. Solař, První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové,
solar.filip@psjg-hk.cz

Ing. Ondřej Novák, ondrej.novak@fjfi.cvut.cz

Abstrakt:

Cílem tohoto projektu bylo stanovit obohacení nebo hmotnost vzorků přírodního uranu na základě měření zpožděných neutronů, které se uvolní při rozpadu jader vzniklých štěpením.

1 Úvod

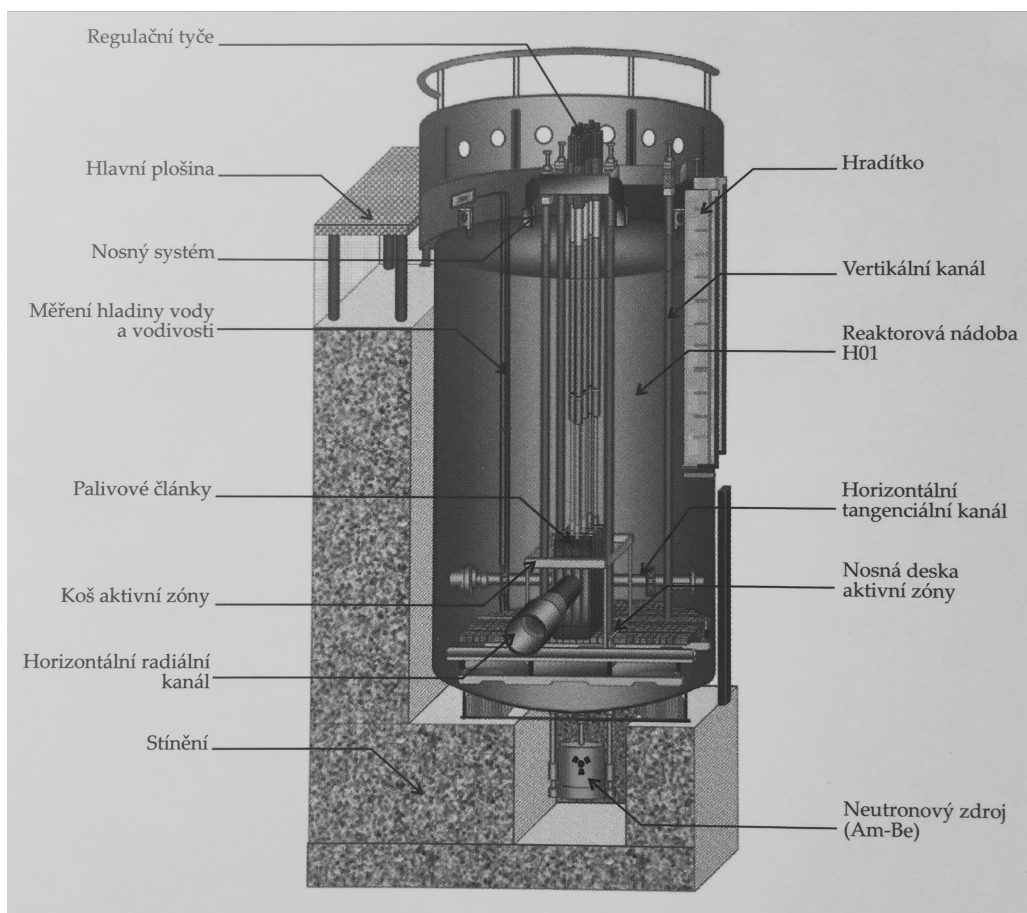
Obohacení uranu nelze stanovit chemicky. Lze využít metody detekce zpožděných neutronů, která může pomoci určit kromě obohacení i hmotnost a koncentraci izotopů uranu. Odezva detektoru je přímo úměrná množství ^{235}U ve vzorku.

Školní reaktor VR-1

Školní reaktor VR-1 tzv. Vrabec patří mezi nejdůležitější zařízení pro výuku výukových a vědecko-výzkumných experimentů. Také slouží i k výcviku obsluhy studentů zabývajících se problematikou jaderné energetiky. Reaktor VR-1 se řadí mezi reaktory nulového výkonu. Parametry jaderného reaktoru VR-1 jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Parametry reaktoru VR-1 (zdroj: Rataj a kolektiv, 2016)

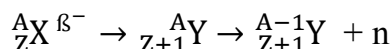
Parametry reaktoru Vr-1	
Výkon	Tepelný výkon 100 W
	Krátkodobě až 500 W
Palivo	typ IRT-4M, obohacený ^{235}U na 19,7 %
Stínění	voda a těžký beton
Chladivo	demineralizovaná voda
Regulační systém	5-7 absorpčních tyčí
	3 bezpečností tyče
	2 regulační tyče
	0-2 experimentální tyče
Nezávislá výkonová ochrana	4 borové detektory
Neutronový zdroj	Am-Be, 186 GBq



Obr. 1: Schéma reaktoru VR-1 (propagační materiál FJFI, 2019)

Vznik zpožděných neutronů

Vzorek je vystaven štěpné reakci, která probíhá v aktivní zóně reaktoru. Po vystavení vzorku X štěpné reakci dojde k excitovanému stavu jader vzorku X, aby se jádra dostala na stabilní energetickou hladinu, uvolní neutron. Tomuto neutrony se říká zpožděný.



A_ZX – předchůdce mateřského jádra

β^- – záření beta mínus

${}^A_{Z+1}Y$ – mateřské jádro

${}^{A-1}_{Z+1}Y$ – výsledné jádro

Zpožděné neutrony a jejich efekt na chování jaderného reaktoru nejvíce prostudoval G. R. Keepin, který rozdělil zpožděné neutrony do šesti skupiny na základě podobnosti jejich mateřských jader. Typickým dělicím znakem těchto jader je poločas rozpadu a podíl vyzářených neutronů. Rozdělení se používá dodnes.

Detekce zpožděných neutronů

Po uplynutí stanovené doby ozařování je vzorek přesunut do detekčního systému, který je připojen k analyzátoru EMK-310. Analyzátor je ovládán pomocí počítač, na kterém jsou zpracovávána naměřená data. Pomocí programu EMK-310 lze určit četnost zpožděných neutronů za požadovaný čas.

2 Praktická část

Obohacení přírodního uranu

První část experimentu byla založena na měření obohacení vzorků přírodního uranu. Obohacení bylo vypočítáno na základě známé závislosti - četnosti a míry obohacení.

Postup měření

Pomocí potrubní pošty, fungující na principu podtlaku, se jeden z různě obohacených vzorků přírodního uranu dostal do ozařovacího kanálu v aktivní zóně. Vzorek byl ozařován po dobu 400 sekund a stejnou cestou a principem byl přemístěn do detektoru. Detektor zaznamenal

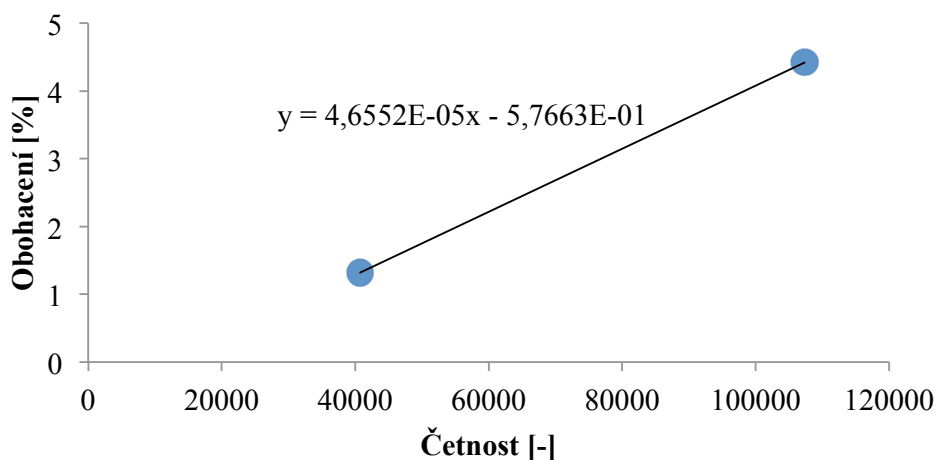
četnost vylétajících zpožděných neutronů za dobu 200 sekund. Počet vylétajících zpožděných neutronů klesal exponenciálně. Měření probíhalo celkem třikrát. Při čemž u posledního vzorku nebylo známo obohacení, byla naměřena pouze četnost. Pomocí hodnot získaných z prvních dvou měření, byla sestaven graf (Graf 1) lineární funkce. Předpis lineární funkce byl použit pro výpočet obohacení posledního vzorku. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 2.

Tabulka 2: Obohacení uranu

Vzorek	Četnost	Obohacení	Čas ozařování	Čas měření v detektoru
1	40742	1,32 %	400 s	200 s
2	107334	4,42 %	400 s	200 s
3	80446	3,17 %	400 s	200 s

Výsledky

Hodnota obohacení posledního vzorku byla stanovena na 3,17 %. Od udávané hodnoty se měření liší o 0,15 %.



Graf 1: Obohacení uranu

Hmotnost přírodního uranu

Druhá část experimentu byla založena na měření hmotnosti vzorků přírodního uranu. Hmotnost byla vypočítána na základě známé závislosti - četnosti a hmotnosti.

Postup měření

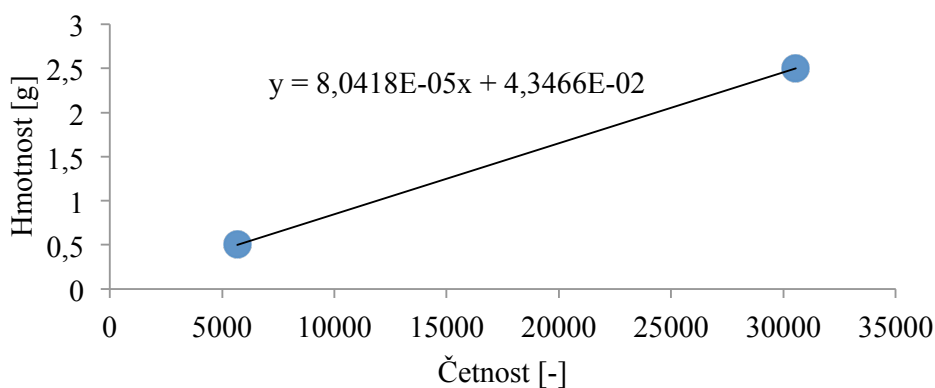
Pomocí potrubní pošty, fungující na principu podtlaku, se jeden ze vzorků rozdílné hmotnosti přírodního uranu dostal do ozařovacího kanálu v aktivní zóně. Vzorek byl ozařován po dobu 400 sekund a stejnou cestou a principem byl přemístěn do detektoru. Detektor zaznamenal četnost vylétajících zpožděných neutronů za dobu 200 sekund. Počet vylétajících zpožděných neutronů klesal exponenciálně. Měření probíhalo celkem třikrát. Při čemž u posledního vzorku nebylo známá hmotnost, byla naměřena pouze četnost. Pomocí hodnot získaných z prvních dvou měření, byla sestaven graf (Graf 2) lineární funkce. Předpis lineární funkce byl použit pro výpočet hmotnosti posledního vzorku. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Hmotnost uranu

Vzorek	Četnost	Hmotnost	Čas ozařování	Čas měření v detektoru
1	5677	0,5 g	400 s	200 s
2	30547	2,5g	400 s	200 s
3	17173	1,42 g	400 s	200 s

Výsledky

Hmotnost posledního vzorku byla stanovena na 1,42 g. Od udávané hodnoty se měření liší o 0,1 g.



Graf 2: Hmotnost uranu

3 Závěr

Pomocí metody detekce zpožděných neutronů byly u dvou různých vzorků stanoveny míra obohacení případně hmotnost. Výsledky měření obohacení jsou uvedeny v Tabulce 2. Výsledky měření hmotnosti jsou uvedeny v Tabulce 3. Odchylku měření od oficiálně uváděných hodnot lze označit za přijatelnou. Pro zpřesnění měření by bylo třeba naměřit více referenčních vzorků, případně prodloužit čas ozařování a detekce.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Ing. Ondřeji Novákovi za vedení projektu a jeho cenné rady. Dále bychom chtěli poděkovat Katedře jaderných reaktorů Českého vysokého učení technického v Praze za možnost vypracovat tento projekt. A také organizátorům akce Týden vědy na Jaderce 2019.

Reference

Rataj a kolektiv - RATAJ, Jan, Ondřej HUML a Lubomír SKLENKA. Experimentální neutronová a reaktorová fyzika: laboratorní cvičení. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05904-3.

Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace

D. Hanke¹, Z. Plešek², D. Švarc³, J. Ferenčík⁴, S. Klímová⁵, O. Taut⁶

¹Dvořákovo gymnázium a Střední odborná škola ekonomická,

²Masarykovo gymnázium Příbor, ³Gymnázium Christiana Dopplera,

Praha, ⁴Gymnázium Pardubice, Dašická 1083, ⁵Gymnázium Jana

Keplera, Praha 6, ⁶Gymnázium a SOŠ Plasy

¹22ahanke@dgkralupy.eu, ²zdenek.plesek@gypri.cz,

³dominiksvarc01.gmail.com, ⁴felycz.dev@gmail.com,

⁶ondrejtaut@seznam.cz

Abstrakt:

Počítačové algebraické systémy se v praxi využívají pro řešení problémů, které není praktické řešit lidskými silami. V rámci miniprojektu jsme v tomto systému úspěšně implementovali několik úloh.

1. Úvod

V praxi se při řešení různých fyzikálních úloh setkáváme s řadou problémů. Někdy je potřeba použít výpočetní techniku a úlohu numericky vyčíslit, ale to není vždy dostačující. Proto můžeme využít algebraických počítačových systémů, které jsou schopné operovat s výrazy stejným způsobem jako člověk. V rámci miniprojektu jsme se s jedním z těchto systémů, *Wolfram Mathematica*, seznámili a implementovali v něm řešení určitých matematických problémů.

Wolfram Matematika

Wolfram Mathematica je programovací jazyk pro implementaci zápisů s ním asociované prostředí, schopné jejich řešení. Program je schopen provádět řadu výpočtů, řešit rovnice, kreslit grafy funkcí a mnoho dalšího.

2. Řešení základních středoškolských problémů

Wolfram Mathematica můžeme použít k řešení různých matematických problémů, které běžně řešíme na střední škole. Teď se podíváme na řešení typického problému lineárních rovnic, které najdete ve sbírkách.

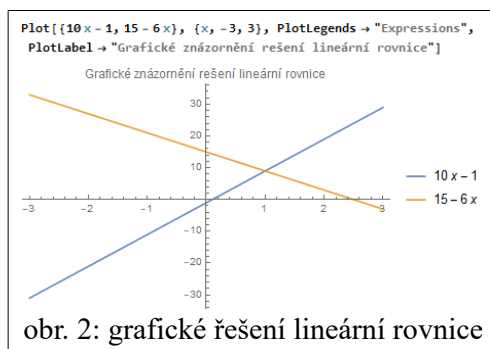
Rovnici $10x - 1 = 15 - 6x$ můžeme řešit ve Wolframu následovně:

```
Solve[10 x - 1 == 15 - 6 x, x]
```

```
{{x -> 1}}
```

obr. 1

Tuto rovnici by bylo možné také řešit graficky. Tento druh řešení je složitější na zápis i na vyhodnocení, protože zde může nastat lidská chyba při zjišťování hodnoty neznámé z průsečíků funkce levé a pravé strany rovnice.



Stejným způsobem, pouze za užití jiných příkazů, můžeme řešit nerovnice nebo příklady s absolutní hodnotou.

$\frac{15x-4}{2} < 1+6x$	$ 5-2x < 1$
In[5]:= Reduce[(15 x - 4) / 2 < 1 + 6 x]	In[23]:= Reduce[Abs[5 - 2 x] < 1, x, Reals]
Out[5]= x < 2	Out[23]= 2 < x < 3

obr. 3: rovnice s absolutní hodnotou a jejich řešení

Soustavy rovnic se dají řešit dvojitým způsobem.

$$\begin{aligned} x + y &= 13 \\ y - z &= 5 \\ x - z &= 2 \end{aligned}$$

obr. 4: řešená soustava rovnic

Ve tvaru ve kterém je dostanete nebo je lze přepsat do matic. Řešení maticemi bych v případě používání Wolframu nedoporučoval, protože může nastat lidská chyba v případě přepisu. Jednodušší je tedy ponechat tvar který dostaneme...

```
Solve[{x + y == 13, y - z == 5, x - z == 2}, {x, y, z}]
```

```
{{x -> 5, y -> 8, z -> 3}}
```

obr. 5: Standartní tvar

```
MatrixForm[{{1, 1, 0, 13}, {0, 1, -1, 5}, {1, 0, -1, 2}}]
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 13 \\ 0 & 1 & -1 & 5 \\ 1 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}$$

obr. 6: Maticový tvar

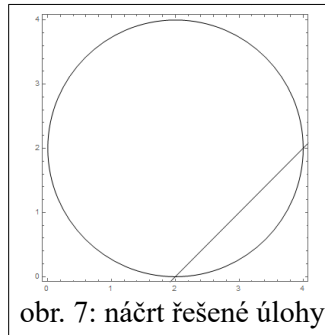
3. Analytická geometrie

Wolfram Mathematica se dá použít i pro výpočet a reprezenetaci analytické geometrie. Jedním z ukázkových příkladů je výpočet průsečíků a kružnice.

Obecnou rovnicí kružnice je $(x-m)^2+(y-n)^2=r^2$. Obecná rovnice přímky je $ax+b=y$. Úloha se řeší dosazením rovnice přímky za y v rovnici kružnice a dosazením hodnot. Výsledek pak jsou možné hodnoty x . Po jejich dosazení do rovnice přímky lze i získat hodnoty y .

Postup řešení ve Wolframu:

Vytvoření náčrtu:



Příkaz *Graphics* vytvoří reprezentaci objektů, které jsou mu vloženy jako argument. V tomto případě byly argumenty:

- `Circle[{2,2},2]`,
- `InfiniteLine[{0,-2},{1,1}]`

`Circle[{2,2},2]` vytvoří kružnici o středu `{2,2}` a poloměru 2.

`InfiniteLine[{0,-2},{1,1}]` vytvoří přímku z bodu `{0,-2}`, která má směrový vektor `{1,1}`.

Samotný výpočet:

Výpočet je v Wolframu poměrně jednoduchý. Prvním krokem je zapsat rovnici a říct programu, které znaky má nahradit hodnotami.

```
(x - m) ^2 + (y - n) ^2 == r^2 /. {m -> 2, n -> 2, r -> 2, y -> x - 2}
(-4 + x) ^2 + (-2 + x) ^2 == 4
```

obr. 8: vložení hodnot

Na prvním řádku je zadána rovnice a příkaz k nahrazení znaků hodnotami. Další řádek pak obsahuje výstup programu. Chceme-li nyní získat hodnotu x , použijeme příkaz `Solve[výraz]`.

```
Solve[(-4 + x) ^2 + (-2 + x) ^2 == 4]
{{x -> 2}, {x -> 4}}
```

obr. 9: řešení X ve Wolframu

Výstupem pak jsou přípustitelné hodnoty x , 2 a 4. Chceme-li také získat hodnoty y , dosadíme tyto hodnoty do výchozí rovnice přímky $x-2=y$.

```

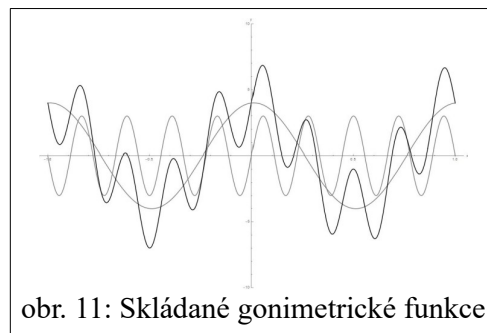
y = x - 2 /. {{x -> 2}, {x -> 4}}
{y = 0, y = 2}

```

obr. 10: řešení Y ve Wolframu

4. Vykreslení goniometrických funkcí

Wolfram, jak už bylo naznačeno v předchozích oddílech je schopen vykreslovat grafy funkcí. Zde spadají i goniometrické funkce, které je Wolfram schopen skládat.



obr. 11: Skládané goniometrické funkce

5. Šikmý vrh

Oštěp je vržen počáteční rychlostí v pod úhlem q .

Odpor vzduchu je zanedbán. Budeme zkoumat průběh vrhu pro různé hodnoty parametrů v, q . Program *Wolfram Mathematica* kreslí grafy s nastavitelnými parametry.

$$h = \frac{v^2 \sin^2(q)}{2g}$$

obr. 12: vzorec maximální výšky

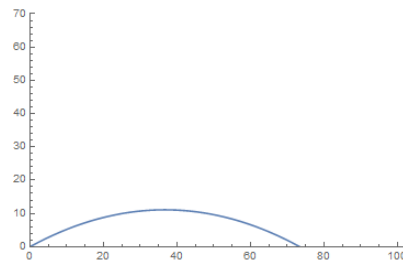
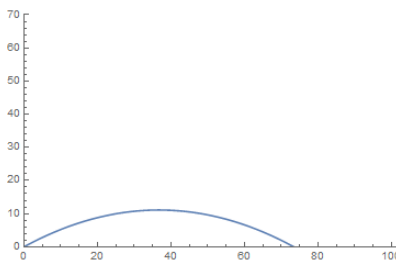
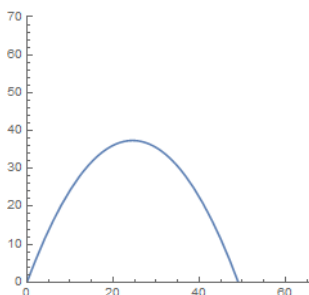
$$d = \frac{2v^2 \sin(q) \cos(q)}{g}$$

obr. 13: dolet oštěpu

$$y(x) = \tan(q)x - \frac{g x^2}{2(v^2 \cos^2(q))}$$

obr. 14: rovnice popisující trajektorii oštěpu

Jak z následujících obrázků jasně vyplývá, dolet oštěpu je největší při 45° :



6. Závěr

Cílem miniprojektu bylo seznámit se Algebraickými počítačovými systémy, především Wolfram Mathematica, což se nám úspěšně povedlo. Dále jsme demonstrovali typ úloh, které jsou Wolframem Mathematica řešitelné.

7. Poděkování

Chtěli bychom poděkovat doc. Dr. Ing. Milanu Šiňorovi za jeho pomoc při tvorbě naší práce.

Přepřerování ozářeného jaderného paliva – separace lanthanoidů a minoritních aktinoidů

Nela Sedláčková¹, Ondřej Haluza², Zdeněk Zapletálek³
Gymnázium Jiřího z Poděbrad¹, Gymnázium Děčín²,
Gymnázium Jakuba Škody³

e-mail: nelca.sedlackova@seznam.cz¹,
ondra.haluza2001@seznam.cz², zapletalek.z@gmail.com³

Abstrakt:

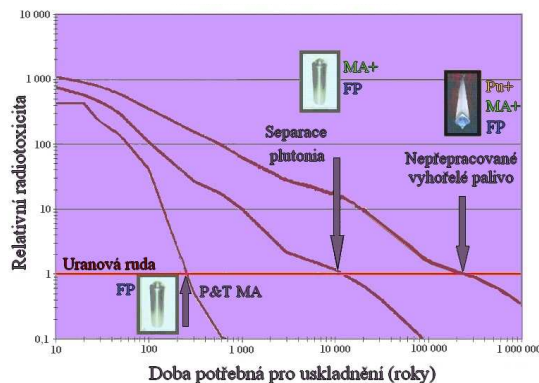
Tato práce se zabývá přepřerováním ozářeného jaderného paliva s využitím separační metody – kapalinové extrakce. Dochází k oddělení minoritních aktinoidů od lanthanoidů, které značně přispívají k radiotoxicitě. Byla provedena metoda SANEX (Selective Actinide Extraction). Vzorky byly analyzovány na alfa a gama spektrometru a byly sledovány závislosti na koncentraci HNO₃, koncentraci extrakčního činidla CyMe₄-BTPPhen a na době kontaktování jednotlivých fází.

1 Úvod

Přestože se sklady radioaktivního jaderného odpadu stále plní, neexistuje efektivní způsob jak jej dále využít. To je společně s možností radiační havárie jednou z největších nevýhod jaderných elektráren. Nicméně toto vyhořelé palivo má potenciál na recyklaci. Metoda SANEX umožňuje oddělení méně radioaktivních lanthanoidů od minoritních aktinoidů, které lze přimísit do MOX (Mixed Oxides) používaných v lehkovodních reaktorech. Uzavření palivového cyklu by vedlo k ekologizaci jaderné energie.

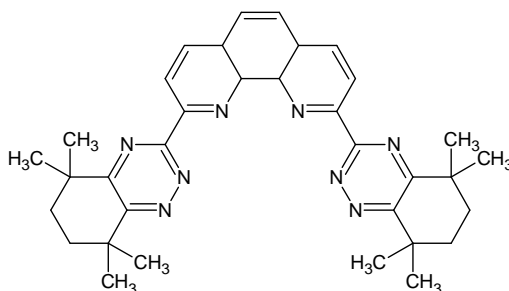
2 Teorie

Ozářené jaderné palivo se skládá z aktinoidů, lanthanoidů a dalších štěpných produktů. Lanthanoidy začínají prvkem lanthan a nabývají hodnoty protonového čísla 57-71, zatímco aktinoidy prvkem aktinium a nabývají hodnot protonového čísla 89-103. Ozářené jaderné palivo při vyjmutí obsahuje stále 93 % ²³⁸U, přibližně 0,7 % štěpitelného ²³⁵U a 1 % Pu a 0,1 % minoritních aktinoidů. Minoritní aktinoidy způsobují dlouhodobou radioaktivní toxicitu vyhořelého paliva, která se pohybuje v řádu statisíců až milionů let. [1]



Jak je zobrazeno na grafu č. 1, první možností je počkat, dokud se radionuklidy nepřemění na neradioaktivní nuklidy. Naopak druhou možností je přepracování ozářeného jaderného paliva, čímž by se zkrátila doba čekání řádově o desetitisíce let a bylo by umožněno do určité míry znovu efektivněji využít toto vyhořelé palivo.

Při procesu **SANEX** se odstraňují minoritní aktinoidy z ozářeného paliva. Pro separaci minoritních aktinoidů od lanthanoidů se používají dusíkatá činidla, např. CyMe₄-BTPhen, které na sebe vážou ionty extrahovaných kovů. To je zobrazeno na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1: Vzorec CyMe₄-BTPhen

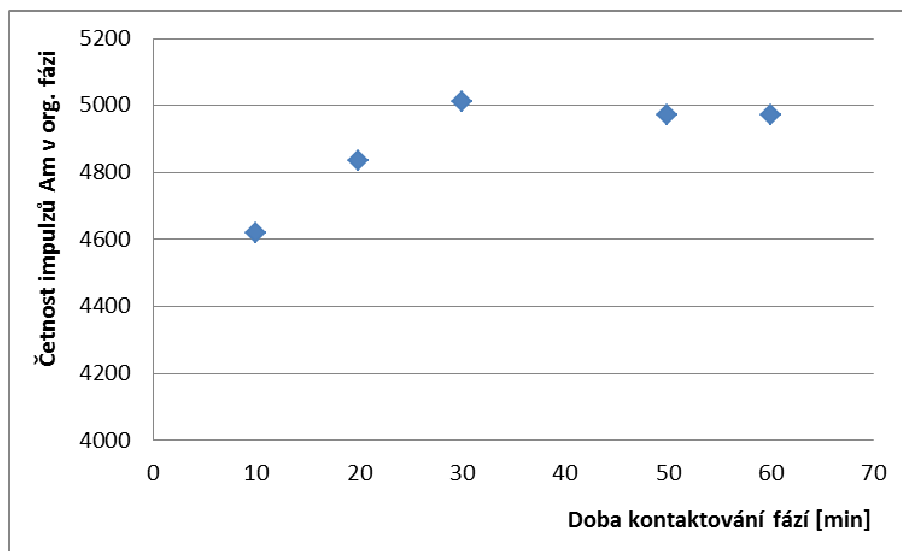
Mezi další procesy patří i proces zvaný **PUREX** (Plutonium Uranium Redox Extraction), kde jsou kovové ionty U^{+VI} a Pu^{+IV} separovány z vysoce kyselých roztoků HNO₃ do organické fáze, která obsahuje tributylfosfát jako extrakční činidlo. Tento proces se v současnosti využívá v průmyslovém měřítku a je jím přepracována zhruba 1/3 ozářeného paliva. [2]

3 Metodologie a výsledky

Vzorky lanthanoidů (Eu) a aktinoidů (Cm, Am) byly přidány do roztoku HNO₃ a byly pomocí třepačky kontaktovány s organickou fází - roztokem CyMe₄-BTPhen, na který se radionuklidy vážaly. Byly vytvořeny vzorky o různých koncentracích kyseliny, nebo extrakčního činidla, a nebo byly fáze třepány různou dobu. Tyto vzorky byly po třepání odděleny a změřeny na alfa a gama spektrometru.

1) Kinetika extrakce sledovaných kovů

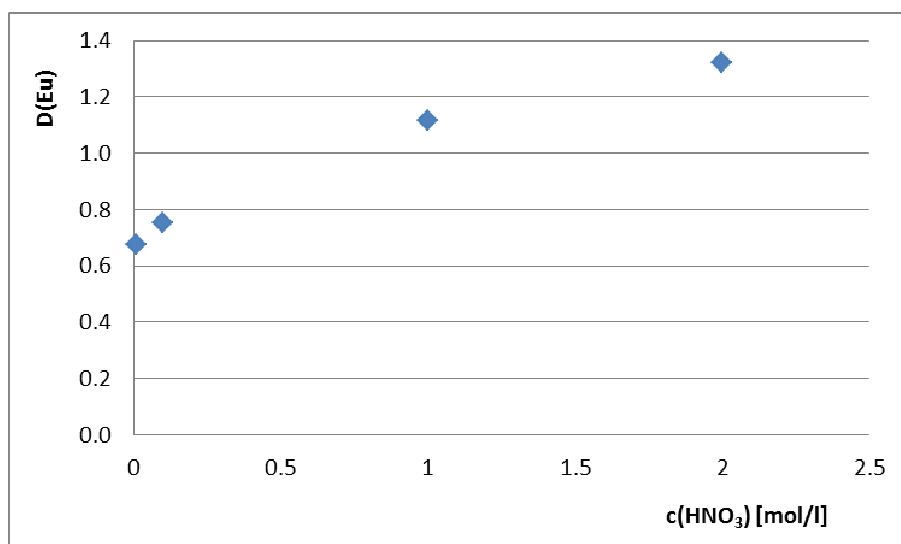
Jedním z důležitých parametrů je rychlost ustanovení chemické rovnováhy. Proto byla zkoumána časová závislost přechodu kovů z vodné do organické fáze. Byly sledovány časy 10 – 20 – 30 – 40 – 50 a 60 minut. V grafu č. 2 je vynesena závislost četnosti impulzů Am v organické fázi na době kontaktování fází. Z uvedených hodnot lze vidět, že rovnováha byla ustanovena do 30 minut.



Graf č. 2: Závislost četnosti naměřených impulzů pro Am na době kontaktování. Org. fáze: 5 mmol/l CyMe₄-BTphen, aq. fáze: 1 mol/l HNO₃.

2) Závislost rozdělovacích poměrů na koncentraci HNO₃

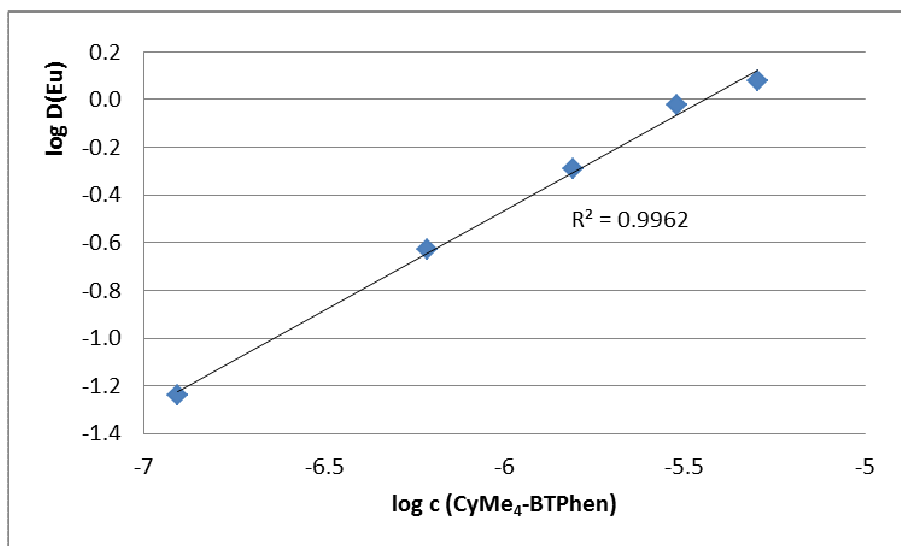
Dále byl zkoumán vliv koncentrace rozdělovacích poměrů pro kovy na koncentraci HNO₃. Rozdělovací poměr je definován jako koncentrace radionuklidu v organické fázi dělená koncentrací radionuklidu ve vodné fázi. Ukázka pro závislost $D_{(Eu)}$ na $c_{(HNO_3)}$ je zobrazena na grafu č. 3. Z něj vyplývá, že s rostoucí koncentrací HNO₃ rostou hodnoty rozdělovacího poměru pro Eu ve sledované oblasti 0,01 – 0,1 – 1 a 2 mol/l HNO₃.



Graf č. 3: Závislost rozdělovacího poměru pro Eu na koncentraci HNO₃. Org. fáze: 5 mmol/l CyMe₄-BTPhen.

3) Závislost rozdělovacích poměrů na koncentraci extrakčního činidla

V grafu č. 4 je zobrazena logaritmická závislost rozdělovacího poměru pro europium na koncentraci extrakčního činidla CyMe₄-BTPPhen. Získaná data mají vysoký koeficient regrese (0,99). Získané výsledky byly ve shodě dřívějšími studii, že ion europia tvoří komplexy se dvěma molekulami CyMe₄-BTPPhen. [2]



Graf č. 4: Závislost rozdělovacího poměru pro Eu na koncentraci CyMe₄-BTPPhen.

4 Shrnutí

Naučili jsme se pracovat v radiochemické laboratoři, prohloubili znalosti o radioaktivních látkách a o vybavení laboratoře a měřili radioaktivní vzorky a vyhodnocovali spektra. Zkoumali jsme tři hlavní faktory, které jsou důležité při studiu separace různých kovů. Seznámili jsme se s metodami zpracování ozářeného jaderného paliva.

Poděkování

Poděkování mně a sobě samým. Děkujeme Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za organizaci Týdne vědy na Jaderce.

Reference:

- [1] DISTLER, P.: *Studium extrakčních systémů pro separaci lanthanoidů a minoritních aktinoidů*. Disertační práce. ČVUT v Praze, 2017.
- [2] PANAK, P. – GEIST, A.: *Complexation and Extraction of Trivalent Actinides and Lanthanides*. Chemical Reviews - American Chemical Society, 2013, 113 (2), 1199–1236.

How to test if quantum theory is correct?

Tomas Galnor^[1], Benedikt Janda^[2], Jozef Skokan^[3], Patrik Zavoral^[4]

[1] Gymnazium Jakuba Skody

[2] Gymnazium Sokolov

[3] Bilingvalne Gymnazium Milana Hodzu

[4] Gymnazium Christiana Dopplera

[1] tomas.galnor@seznam.cz

[2] benjanda@seznam.cz

[3] josephmcbrofst@gmail.com

[4] patz@tuta.io

Abstract

Via an envelope analogy we illustrated photon polarization and hence deduced Bell's inequalities. According to non-quantum physics, those have to be satisfied. Afterwards we showed in a quantum computer environment that the inequality is actually being violated.

1. Introduction

In the early 20th century, there were two opinions about quantum theory. One of them supposed that all of quantum mechanics is unpredictable and we can only know the probability of some phenomena, and the second supposed that we will be able to calculate some of the quantum phenomena in the same way as any other phenomenon. Bell came up with inequalities, those have to be satisfied to prove that the second opinion is correct. Quantum systems, such as in quantum computers, can however violate this inequality. To prove that the first opinion is correct we did experiments simulating photon diffraction using quantum computers for studying violations of Bell's inequality. We measured the probability of two photons having the same polarization after diffraction and passing through a polarizer.

2. The Envelope Analogy

Let there be a big envelope (photon source) containing two medium-size envelopes (photon streams) - each containing 3 papers (photons). Each of them has blue/red dot (binary 0/1) on it, representing polarization plane directions. Respective papers' dots are anti-correlated, i.e. is always the opposite color.

We distribute the medium-sized envelopes to two observers, **Alice** and **Bob**. They both choose a random paper from their envelopes. Due to the rules of the papers' generation, we can distinguish several scenarios:

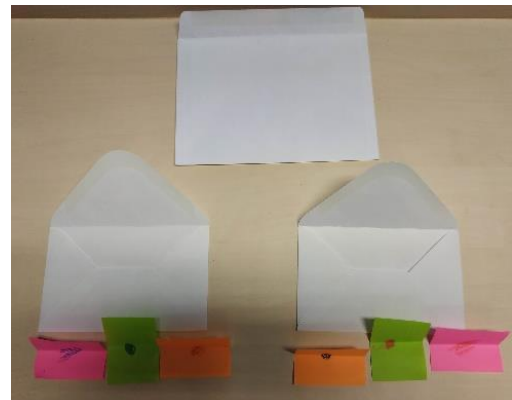


Fig. № 1: The envelopes

Scenario	Paper A	Paper B	Likelihood
№ 1	B B B	R R R	W_1
№ 2	B B R	R R B	W_2
№ 3	B R B	R B R	W_3
№ 4	B R R	R B B	W_4

$$W_n \geq 0$$

$$\sum W_n = 1$$

Fig. № 2: Scenarios

Now, let $p(nx, my)$ be the probability of Alice finding a color x dot on the n -th paper and Bob finding a color y dot on the m -th paper or vice versa.

An instance of Bell's inequality:

$$p(1r, 2r) + p(1r, 3r) \geq p(2r, 3r)$$

Substituting:

$$p(1r, 2r) = \frac{1}{18}(W_3 + W_4)$$

$$p(1r, 3r) = \frac{1}{18}(W_2 + W_4)$$

$$p(2r, 3r) = \frac{1}{18}(W_2 + W_3)$$

Results in:

$$\frac{1}{18}[(W_3 + W_4) + (W_2 + W_4)] \geq \frac{1}{18}(W_2 + W_3)$$

Yielding:

$$2W_4 \geq 0$$

Which was initially given.

3. Experiment

3.1 Setup

We used IBM's quantum computer in Melbourne to study violations of Bell's inequalities. The specific qubits used were pairs 0, 1 and 12, 13 – the qubits with the lowest error rate at the time of measurement (Figure № 3) – using a sample size of 8192 shots per measurement. The code used involved testing different polarizer angles, specifically 0, $\pi/4$ and $3\pi/4$ radians (Figure № 4). First, a simulated pair of photons, represented by the qubits, is released. Each simulated photon then passes through one of these polarizers and is measured. The measurements show us the probability of the simulated photons having equal polarization. We estimated the probability using the frequency of the phenomenon. These probabilities serve as input for Bell's inequality to show us whether a violation has occurred. And if Bell's inequality is violated in a quantum environment, quantum theory predictions are correct.

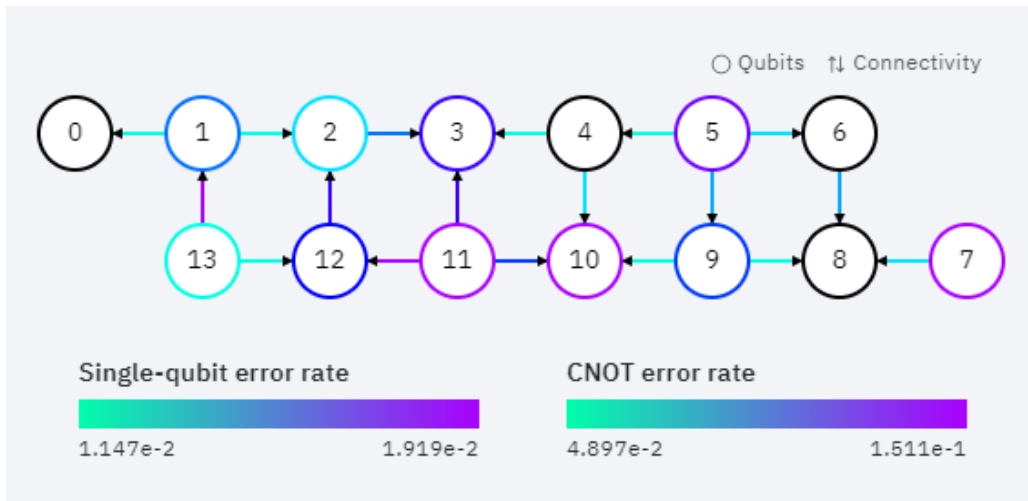


Fig. № 3: Qubit error rate

Circuit editor

```

1  OPENQASM 2.0;
2  include "qelib1.inc";
3  qreg qubits[14]; // our qubits
4  creg memory[14]; // regular bits
5  x qubits[12];    // write 1
6  x qubits[13];    // write 1
7  h qubits[13];    // superposition 0-1
8  cx qubits[13],qubits[12]; // if qubits[13] is 1, flip qubits[12]
9  // => now they are intertwined
10
11 h qubits[13]; // "rotation
12 t qubits[13]; // in an abstract
13 h qubits[13]; // space"
14 measure qubits[12] -> memory[12]; // measure
15 measure qubits[13] -> memory[13]; // measure

```

Fig. № 4: our IBMQ program

3.2 Results

We defined the variable Q by the ratio of the right-hand and left-hand side of Bell's inequality:

$$p(\alpha_0, \beta_0) + p(\beta_0, \gamma_0) \geq p(\alpha_0, \gamma_0)$$

$$Q = \frac{p(\alpha_0, \gamma_0)}{p(\alpha_0, \beta_0) + p(\beta_0, \gamma_0)}$$

Where α, β, γ represent the various angles of the polarizers, and $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ represent the polarization of the photons after passing through the polarizers. Analyzing results from different qubits we found multiple values of Q (Figure № 5).

Measurement #	1	2	3	4
Q	1,349	1,224	1,127	1,086

Fig. № 5: Experiment outcomes

Since the value of Q was greater than 1 in all cases, a violation of Bell's inequality occurred every time. We also looked at the differences produced by horizontal and vertical polarization and found that a violation only occurred with one of them.

4. Conclusion

We have constructed an experiment on IBM's quantum computer that simulates the state of polarized photons with detectors. When executed, the data shows the system violates Bell's inequalities. Altogether this proves that quantum systems can violate the Bell's inequality. To genuinely demonstrate quantum physics predictions are valid, the two qubits used in this experiment would need to be far away.

Acknowledgements

We wish to express our thanks to Aurel Gabris, Ph.D. for giving us initial grasp into the problematics, for leading us through the project and for his patience. We also want to mention and thank IBM for providing access to their quantum computer. We would also like to whole-heartedly thank the organizers of TV@J.

References

- [1] "IBM Q experience". Quantum Experience. IBM. Retrieved 18 July 2019.
- [2] J. Bell: On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, *Physics* 1 3, 192-200 (1964)
- [3] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?" *Physical Review*, 47 (10): 777-780 (1935)
- [4] D. Bohm: *Quantum Theory*, Prentice-hall, Englewood Cliffs, page 29 and chapter 5 section 3 and chapter 22 section 19 (1951)

Rádioimunoanalýza

E. Žitniaková, M. Pivková

Evanjelické gymnázium Banská Bystrica, Skuteckého 118/5

erika.zitniakova14@gmail.com, martina.pivkova@gmail.com

Abstrakt:

Základom rádioimunológie je imunochemická reakcia antigénu so špecifickou protilátkou označenou rádionuklidom. Táto metóda sa používa v klinických oblastiach endokrinológie, toxikológie, imunológie a mnohých ďalších. Hlavnou úlohou nášho projektu bolo zistiť koncentráciu hormónu hCG pri neznámych vzorkách na základe zostrojenia kalibračnej krivky.

1. Úvod

Technika rádioimunoanalýzy je veľmi často používaná v medicíne na stanovenie rôznych hormónov a antigénov v biologických materiáloch ako napr. krvné sérum, mozgovomiechový mok alebo moč.

Imunorádioizotopové metódy sa vyznačujú vysokou citlivosťou a špecifickosťou. Citlivosť je na úrovni nanogramov až pikogramov. Ďalšou výhodou je, že na analýzu je potrebné veľmi malé množstvo vzorky a praktické prevedenie je relatívne jednoduché. Na druhej strane nevýhodou môže byť, že špecificita môže byť ovplyvnená konkurenčnými imunochemickými reakciami. Taktiež biologická aktivita a imunoreaktivita molekuly môže byť znížená z dôvodu vlastnej inkorporácie rádioaktívnej zložky.

Pri metóde RIA máme stanovenú látku X, špecifickú protilátku A a rádioaktívne označenú látku X*. Premiešaním roztoku vzniká komplex A-X alebo A-X*. Rovnovážne konštanty sú v oboch prípadoch rovnaké. Čím vyššia bude koncentrácia pridanej látky X, tým bude menšia koncentrácia X* a namerané hodnoty rádioaktivity budú tiež klesať.

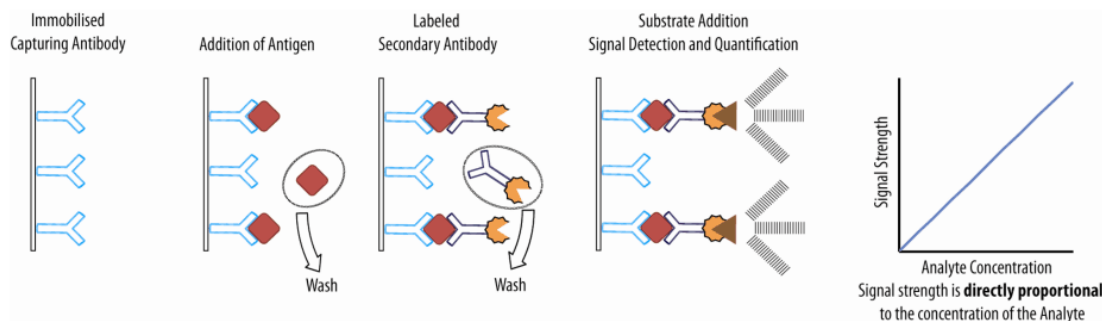
Okrem RIA metódy existujú ešte modifikácie tejto metódy. Jednou z často používaných metód je IRMA. Rozdiel medzi klasickou RIA metódou a IRMA spočíva v tom, že pri IRMA používame dve protilátky. Jedna protilátka je neoznačená a nachádza sa na stene skúmavky A a druhá protilátka je rádioaktívne označená A*. Po pridaní stanovovanej látky X vzniká komplex A-X, potom sa pridáva označená protilátka A* a vzniká tzv. sandwich A-X-A*. Na rozdiel od metódy RIA v tomto prípade aktivita so zvyšujúcou sa koncentráciou látky X rastie. Túto metódu sme použili pri našom meraní, jej nevýhodou však je, že izolácia a príprava rádioaktívne označenej a neoznačenej protilátky sú náročné.

Na označenie protilátok sa používajú rádionuklidy, hlavne ^{125}I , ^3H , ^{14}C . V našom prípade bol použitý ^{125}I , z dôvodu jeho vysokej schopnosti viazať sa na organické zlúčeniny a dlhému polčasu rozpadu, ktorý je okolo 60 dní. Pri tejto úlohe sme stanovovali hormón hCG

(Choriogonadotropin), ktorý sa používa pri diagnostike tehotenstva a naznačuje správny vývoj zárodka.

Obrázek 1 sandwich komplex

(http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=2613&typ=html)



2. Materiály a metódy

K dispozícii sme mali kalibrátory obsahujúce hormón hCG 0,1,2,3,4,5, neznáme vzorky C1, C2, rádioaktívny indikátor, a skúmavky, ktoré mali povrch potiahnutý tenkým filmom protilátky.

Tabulka 1 zadané hodnoty koncentrácií hCG pre jednotlivé kalibrátory

Kalibrátory	Koncentrácia hCG (IU/L)
0	0
1	8,20
2	27,4
3	82,0
4	274
5	820

Do pripravených skúmaviek sme dávkovali 50 μ L hCG a následne sme pomocou pipety pridali 200 μ L rádioaktívne označenej protilátky. Rádioaktívnu protilátku sme pridali aj do skúmavky T, do ktorej nebolo pridané hCG.

Potom boli skúmavky inkubované na orbitálnej trepačke. Inkubácia trvala 45 minút za stáleho miešania (>280 kmitov/min.) pri teplote 20-25 $^{\circ}$ C.

Po inkubácii sme obsah skúmaviek vyliali a pomocou pasteurovej pipety odsali zvyšok kvapaliny. Výnimkou bola skúmavka T, ktorá slúžila na stanovenie celkovej aktivity. Následne sme do skúmaviek priliali 2 ml premývacieho roztoku, ktorý bol opäť odsatý. Posledným krokom postupu bolo meranie početnosti (počet impulzov za sekundu). Okrem ôsmich skúmaviek bolo merané aj pozadie pričom všetky merania prebiehali tri krát a následne boli zpriemerované (Tab.2).

3. Výsledky a diskusia

Tabulka 2 Výsledky meraní počtu impulzov za sekundu [cps]

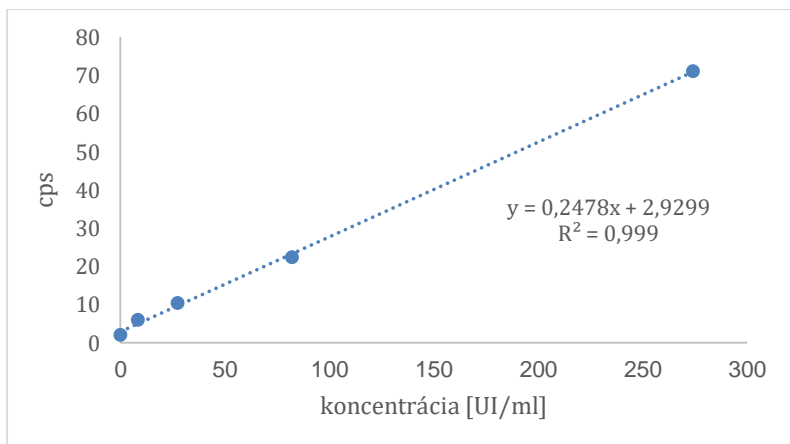
	1.meranie(cps)	2.meranie(cps)	3.meranie(cps)	Priemer(cps)
Pozadie	19	19	20	19,34
T	107	107	106	106,67
0	22	21	21	21,34
1	27	25	25	25,67
2	29	29	30	29,34
3	42	41	42	41,67
4	79	80	82	80,34
5	147	153	150	150
C1	27	27	25	26,34
C2	61	59	59	59,67

Z nameraných hodnôt sme odpočítali priemer pozadia a získali sme hodnotu počtu impulzov za sekundu (cps) (Tab.3). Pomocou týchto informácií sme zostavili graf závislosti koncentrácie hCG na cps. Do grafu sme nezahrnuli hodnoty skúmavky 5, z dôvodu veľkej odchýlky. Po jej vyčlenení sme získali lineárnu závislosť. Na záver sme vďaka rovnici regresie získanej z grafu, vypočítali koncentrácie hCG neznámych vzoriek.

Tabulka 3 Vypočítané hodnoty experimentu

	c[UI/ml]	logc	cps	B/T
0	0	0	2	0.003125
1	8.2	0.913814	6	0.009375
2	27.4	1.437751	10.34	0.016156
3	82	1.913814	22.34	0.034906
4	274	2.437751	71	0.110938
5	820	2.913814	130	0,204172

Graf 1 Závislosť koncentrácie hCG na cps



Výpočty koncentrácie hCG neznámych vzoriek:

$$Y=0.2478x+2.9299$$

$$C1: 7-2.9299/0.2478=16.42494$$

$$C2: 40.34-2.9299/0.2478=149.5969$$

4. Zhrnutie

Vďaka tomuto projektu sme mali možnosť si vyskúšať prácu s IRMA imunorádioizotopovou metódou. Výsledkom experimentu bolo zistenie koncentrácie hCGv neznámych vzorkách. Vo vzorke C1 s 26,34 cps bola koncentrácia hCG 16,42 UI/ml a vo vzorke C2 s 59,67cps bola koncentrácia 149,6 UI/ml. K výsledkom sme sa dopracovali pomocou kalibračnej krivky.

5. Pod'akovanie

Naša vďaka patrí vedúcemu nášho projektu Ing. Michalovi Sakmárovi za pomoc a podporu. Ďalej by sme sa chceli poďakovať všetkým organizátorom Týdne vedy na Jaderce 2019 obzvlášť Ing. Kateřine Jirákovéj a hlavnému organizátorovi Ing. Vojtěchovi Svobodovi, CSc za poskytnutie priestoru pre rozvoj mladšej generácie.

6. Referencie

- [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] Imunoreakce se značenými protilátkami URL: <http://imunologie.lf2.cuni.cz/soubory_vyuka/imunoreakce.pdf> > [cit. 2019-06-18]

Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

E. Durstová*, K. Kamenářová**, K. Navrátilová***,
S. Velichová****

*Gymnázium, nám. Odboje 304, 544 01 Dvůr Králové nad Labem
edurstova@gmail.com

**Gymnázium a JŠ s právem státní jazykové zkoušky Zlín, nám. T. G.
Masaryka 2734-9, 760 01 Zlín
kristyna.kam@seznam.cz

***První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové,
Brandlova 875, 500 03 Hradec Králové
navratilkata@gmail.com

**** První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové,
Brandlova 875, 500 03 Hradec Králové
simona.velichova@gmail.com

Abstrakt:

V našem projektu jsme zkoumaly dolet částic alfa ve vzduchu v různých vzdálenostech a zeslabení záření gama prostřednictvím rozličných materiálů.

1 Úvod

Radioaktivní záření je důsledkem aktivity/přeměny jádra. Tento proces z velké části závisí na pravděpodobnosti, která přímo souvisí se stabilitou či nestabilitou jádra. Atomové jádro se skládá z kladného protonu a neutrálního neutronu, kde působí dvě fundamentální síly – elektromagnetická a silná jaderná interakce. Zatímco elektromagnetická síla disponuje nižší silou a delším rozsahem, silná jaderná přesně naopak – působí s větší intenzitou, ale na krátké vzdálenosti.

Cílem prvního úkolu bylo změření doletu alfa částic a ověření jejich počáteční kinetické energie. Cílem druhého úkolu bylo porovnat schopnost různých materiálů zeslabit gama záření a ověřit teoretický exponenciální vztah pro zeslabení, dále stanovit koeficient zeslabení a porovnat ho s hodnotami uvedenými v literatuře.

2 Pokusy

Pokus č. 1: Měření doletu alfa částice ve vzduchu

Záření alfa je proud kladně nabitých letících jader helia. V Úloze č. 1 jsme měly za cíl změřit dolet alfa částic a ověřit počáteční energii. Jako zdroj jsme k měření využily Am^{241} , dále jsme potřebovaly povrchově bariérový křemíkový polovodičový detektor, předzesilovač s napájením, amplitudový analyzátor a multikanálový analyzátor PHYWE zapojený na notebook s programem Measure. Při měření jsme počítaly s tím, že počet alfa částic v závislosti na vzdálenosti od zdroje je úměrný ploše píku v multikanálovém analyzátoru. [1,2]

Korigovanou četnost píků vypočítáme pomocí vztahu:

$$N_{kor} = \frac{4\pi (d + s)^2}{P} N_{m\ddot{e}r}$$

- d [mm] – vzdálenost detektor – zdroj
- s [mm] – zapuštění detektoru (=2,5 mm)
- P [mm²] – plocha detektoru (=6 mm²)
- $N_{m\ddot{e}r}$ – počet částic, které doletí na detektor

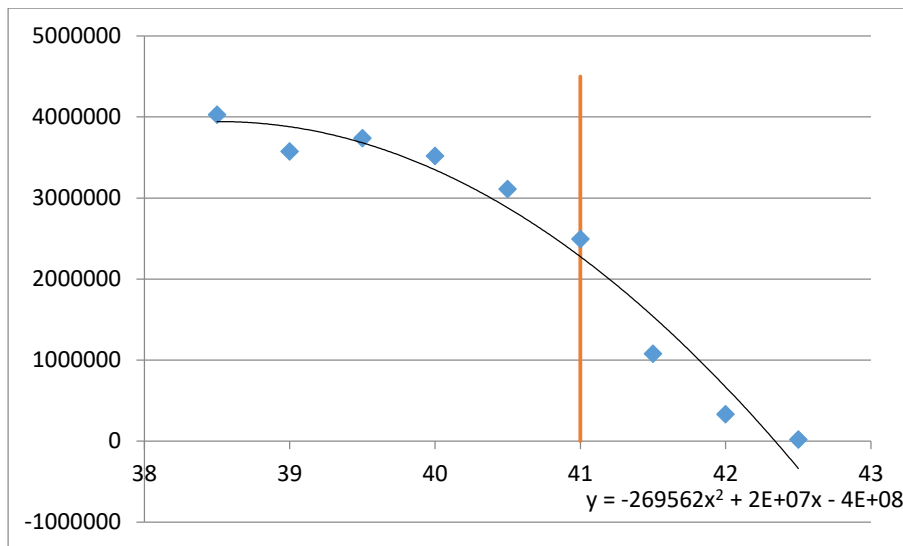
Tento vztah koriguje naměřené četnosti se vzdáleností se zmenšující se úhel, pod kterým detektor vidí“ zdroj.

Měření jsme začínaly na vzdálenosti 32,5 mm. Ze začátku jsme navyšovaly vzdálenost vždy o jeden milimetr, později pouze o půl milimetru. Výsledky měření a korekce jsou v Tabulce 1 a Grafu 1.

Tabulka 1: Naměřené a korigované hodnoty četností

Vzdálenost - nastavená [mm]	Vzdálenost - skutečná [mm]	$N_{m\ddot{e}r}$	N_{kor}
30	32.5	2240	4955339
31	33.5	2096	4779452
32	34.5	1183	2778087
33	35.5	1774	4286708
34	36.5	1744	4332926
35.5	38	1584	4097139
35	37.5	1653	4219355
36.5	39	1346	3573153
36	38.5	1537	4027880
37.5	40	1292	3517746
37	39.5	1390	3737265
38	40.5	1128	3109611
38.5	41	893	2492168
39	41.5	381	1076255
39.5	42	116	331626.5
40	42.5	6	17357.3

V Tabulce č. 1 jsou obsaženy vypočítané a naměřené hodnoty, týkající se korigované četnosti píků.



Graf 1: Závislost počtu alfa částic na vzdálenosti detektoru od zdroje

Z Grafu 1 vyplývá, že dolet alfa částic ve vzduchu je 41 mm. Dále jsme pomocí Geigerova vztahu určili počáteční kinetickou energii alfa částic ze zdroje:

$$R_S = 0,318E_{k0}^{3/2}$$

- R_S – dolet alfa částice

S tímto vzorcem a výpočty jsme došli k výsledku 5,42 MeV.

Pokus č. 2: Měření zeslabovacího koeficientu záření gama na různých materiálech

Teorie a cíl úkolu

Gama je vysokofrekvenční typ elektromagnetického záření neboli proud fotonů. Tyto částice se pohybují rychlostí světla, mají nulovou klidovou hmotnost a jsou elektricky neutrální. Pro tento typ záření je ze zmíněných důvodů charakteristická vysoká pronikavost. Ve srovnání se zářením alfa, které lze odstínit pouhým listem papíru, potřebujeme v tomto případě velmi silné štíty, jako jsou slitiny kovů s velkou hustotou, například olovo. Čím vyšší hustota a tloušťka štítu, tím více a lépe je záření odstíněno. Průchod gama záření materiálem popisuje exponenciální funkce s parametrem zeslabení (značka μ). [1]

Právě otázkou pronikavosti a možnosti odstínění gama záření jsme se zabývaly v tomto úkolu. Cílem měření bylo porovnat schopnost různých materiálů zeslabit gama záření a ověřit teoretický exponenciální vztah pro zeslabení. Dále stanovit koeficient zeslabení a porovnat ho s hodnotami uvedenými v literatuře.

Metodika

Pro měření jsme použily multikanálový analyzátor DA304 s počítačem, držák na stínící destičky a destičky z hliníku (značka Al), mědi (značka Cu) a olova (značka Pb) o tloušťkách od 0,5-10,5 mm a nakonec Cs^{137} jako zářič. [2]

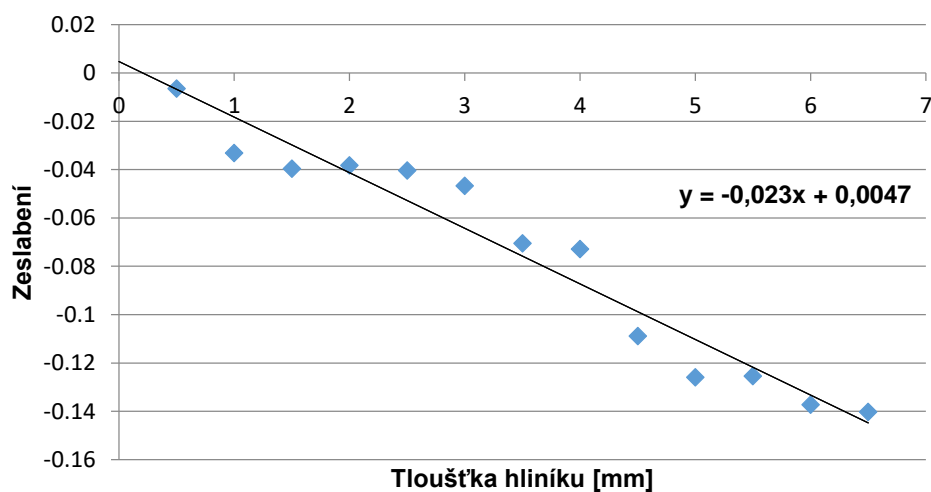
Postup měření

Do přístroje byl vložen zdroj Cs^{137} . Ten emitoval gama záření, které bylo z bezpečnostních důvodů částečně stíněno olovem a vedeno přímo ke štěrbině, za kterou se nacházel detektor. Některé fotony byly pohlceny, jinde gama záření prošlo. Postupným vrstvením tenkých plátů třech různých kovů mezi zdrojem a detektorem, konkrétně hliníku, mědi a olova, se snižovala intenzita prošlého gama záření.. Pro každý použitý kov jsme tímto způsobem získaly stupnici závislosti stínění na tloušťce materiálu.

Aritmetický průměr naměřených hodnot různých tlouštěk materiálů byl vydělen aritmetickým průměrem naměřené hodnoty četnosti bez média, tím se rozumí nulové stínění. Poměr těchto dvou hodnot byl následně zlogaritmován a výsledná hodnota byla vnesena do grafu v závislosti na tloušťce materiálu. Změřené výsledné hodnoty jsme proložily trendovou spojnici. Směrnice trendu je lineární zeslabovací koeficient μ .

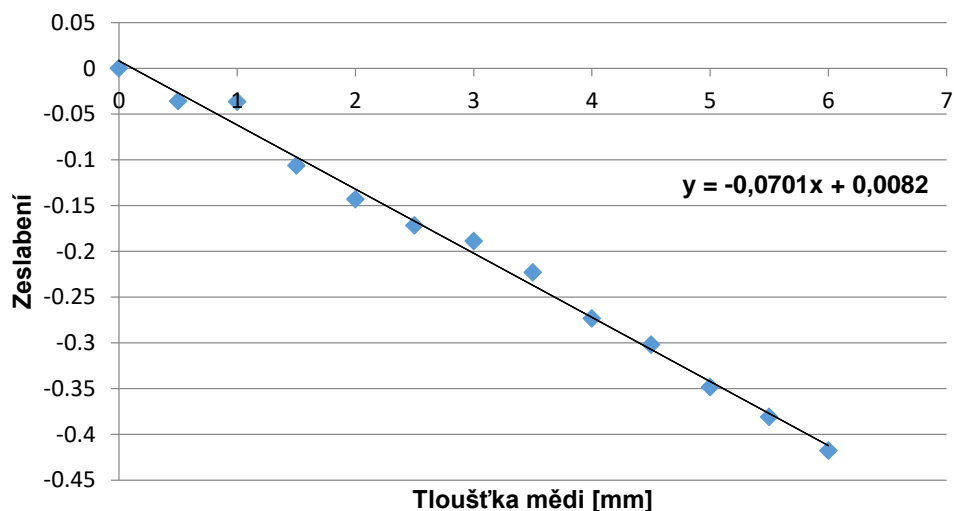
Výsledky

Všechny tři grafy použité níže zobrazují závislost zeslabení gama záření na tloušťce použitého materiálu. Lineární koeficient zeslabení poté určuje hodnota směrnice trendu.



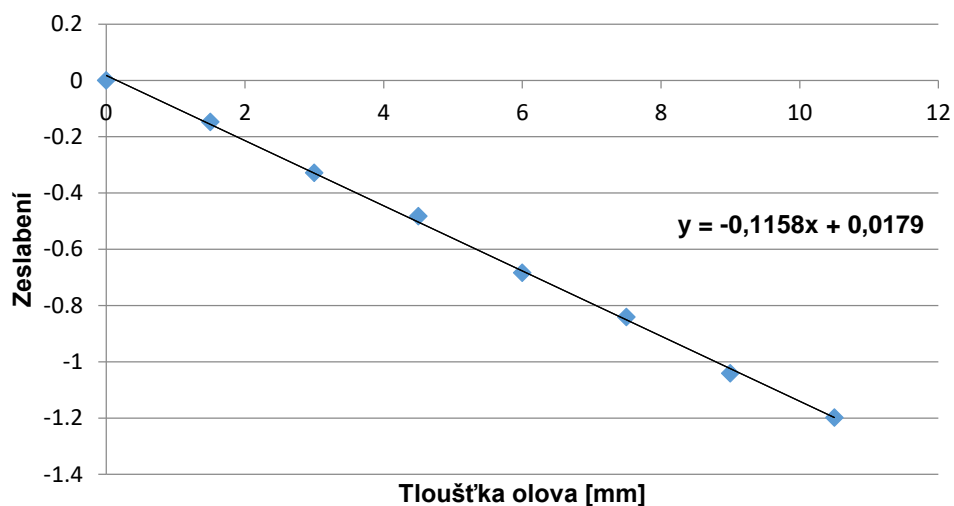
Graf 2: Zeslabení gama záření za použití hliněných destiček

Jak můžeme vidět v prvním grafu, hodnota lineárního zeslabovacího koeficientu je 0,023.



Graf 3: Zeslabení gama záření za použití měděných destiček

Z druhého grafu bylo zjištěno, že hodnota lineárního zeslabovacího koeficientu je v tomto případě 0,0701.



Graf 4: Zeslabení gama záření za použití olověných destiček

Třetí graf zobrazuje hodnotu lineárního zeslabovacího koeficientu 0,1158.

Po ukončení našeho měření jsme vyhledaly hodnoty lineárního zeslabovacího koeficientu uvedených v literatuře [5] pro energie gama z Cs^{137} (662 keV) a porovnali je s hodnotami, jež jsme naměřily při experimentu.

Tabulka 2 : Porovnání hodnot uvedených v literatuře s naměřenými hodnotami [3]

Materiál	μ [mm^{-1}]	μ_0 [mm^{-1}]
Hliník (Al)	0,0261	0,023
Měď (Cu)	0,0618	0,0701
Olovo (Pb)	0,6376	0,1158

Pro hliník jsme naměřily hodnotu $0,023 \text{ mm}^{-1}$, pro měď $0,0701 \text{ mm}^{-1}$ a pro olovo $0,1158 \text{ mm}^{-1}$. Tyto hodnoty se liší od těch tabulkových zejména kvůli chybám v měření, které jsou hlavně způsobeny rozptýleným gama zářením.

3 Shrnutí

Při prvním pokusu jsme měřením došly k hodnotám zobrazených v Tabulce 1, které se vztahují k doletu alfa částic. Dále jsme vypočítaly počáteční kinetickou energii, jejíž hodnota je $E_{k0} = 5,42 \text{ MeV}$. Pokud tuto hodnotu porovnáme s hodnotou energie z odborné literatury [4] - $E_{k0} = 5,48 \text{ MeV}$ – tak můžeme říci, že výsledky měření byly přesné. [4]

Ve druhém úkolu byla porovnána schopnost třech různých materiálů zeslabit záření gama a zároveň byl ověřen teoretický vztah pro zeslabení. Odchytky od hodnot z literatury jsou relativně malé, vzhledem k jednoduchému použitému vybavení.

4 Poděkování

Naše poděkování patří hlavně panu Ing. Miloši Tichému CSc., vedoucímu našeho miniprojektu, za předání znalostí a informací, které byly klíčové k vypracování této práce.

Další dík přísluší organizátorům akce Týdne vědy na Jaderce za příležitost podívat se do odborných pracovišť a vyzkoušet si práci vědce.

Reference:

- [1] - TICHÝ M. Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti, 2018
- [2] – TICHÝ M. Návody k laborkám, 2019
- [3] - SEDLÁČEK, Michal. *Detekce záření ZS 2018/19*. Praha, 2018. FJFI.
- [4] – NCRP Report No.58, 2nd Edition, February 1985 [cit 12. Jan. 2019]
- [5] - Attenuation of Gamma Radiation from ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir , and ^{226}Ra in Various Materials Used in Radiotherapy [online]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3109/02841866509133082>

Měření radonového indexu pozemku

M. Daňková¹, R. Gemrot², R. Roblíková³, P. Vozábková³,
kontakt: vozabova@gchd.cz

¹ Klasické a španělské Gymnázium, Brno-Bystrc

² Gymnázium Komenského Havířov

³ Gymnázium Christiana Dopplera, Praha 5

18. června 2019

1 Abstrakt

Radon je radioaktivní plyn obsažený v půdě, který se přeměňuje na těžké kovy – olovo a polonium. Tyto kovy se na vdechovaných prachových částicích dostávají do plic, kde se usazují a mohou způsobovat rakovinu plic. Vlivem radonu působí na člověka více ionizujícího záření než ze všech ostatních přírodních zdrojů dohromady. S vlivem radionuklidů v našem těle či kosmickým zářením nic nenaděláme, ovšem před nežádoucími vlivy ionizujícího záření způsobeným radonem se dá chránit. Nebezpečný může být v budovách, kde se může hromadit a poškozovat lidské zdraví. Je tedy důležité před výstavbou domu určit množství radonu v podloží stavebního pozemku a případně provést náležitá ochranná opatření.

2 Úvod

V rámci našeho miniprojektu jsme měřili radonový index pozemku v Praze-Nuslích na Státním ústavu radiální ochrany. Radonový index je veličina, která udává, kolik radonu z podloží se dostává do prostředí nad povrchem. Radon je zdraví škodlivý plyn a nebezpečný může být v zaizolovaných budovách, které nevětrají a radon se v nich kumuluje. Aby se mohlo zabránit škodlivým efektům tohoto radioaktivního plynu, měl by se před výstavbou budovy určit radonový index podloží stavební parcely.

Pro výpočet radonového indexu pozemku jsme měřili dvě veličiny. Objemová aktivita radonu (OAR) udává, kolik radonu se v půdě vyskytuje. Hodnota plynopropustnosti nám říká, jak rychle se vzduch ze země, a v něm i obsažený radon, dostává na povrch. Obě veličiny jsme naměřili na několika různých místech v různých hloubkách. Naším cílem bylo co nejpřesněji určit hodnotu radonového indexu a zjistit, zda má Státní ústav radiální ochrany na vlastním pozemku bezpečno.

3 Postup měření

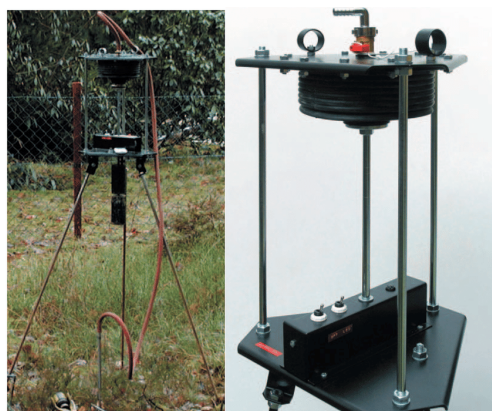
Nejdříve jsme si na měřeném pozemku připravili 6 testovaných míst. Na tato místa jsme zatloukli speciální duté tyče do předem stanovené hloubky ($h = 80$ cm). Tyče sloužily jako „tunel“ přivádějící půdní vzduch na povrch, který jsme dále analyzovali.

Poté jsme určili plynopropustnost k na daném místě pomocí přístroje JOK, pro kterou platí[2]:

$$k = \frac{\mu V}{F t \Delta p} \quad (1)$$

Kde $\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ je dynamická viskozita vzduchu, $V = 0,002 \text{ m}^3$ je objem nasátého vzduchu přístrojem, $F = 0,149$ je geometrický faktor, t je čas, za který přístroj vzduch nasál a $\Delta p = 2160 \text{ Pa}$ je tlaková diference závislá na počtu závaží na přístroji.

Přístroj JOK je zobrazen na obrázku 1. Gumová trubička se nasadila na tyč a přístroj se zapnul, přičemž jsme měřili čas t , za který přístroj nasál objem V vzduchu.



Obrázek 1: Příklad přístroje JOK používaného k měření plynopropustnosti půdy [4].

Dále jsme určili OAR pomocí měřicího systému ERM-3, který je zobrazen na obrázku 2. Nejdříve jsme změřili radiační pozadí samotné komory. Přesně 150 ml vzduchu z půdy jsme nasáli pomocí injekční stříkačky do vyvakuované měřicí komory o objemu 250 ml, kterou jsme poté doplnili okolním vzduchem, aby v komoře nebyl podtlak. Po patnácti minutách od nabrání vzduchu jsme změřili OAR v komoře pomocí přístroje. Po dvou stech minutách jsme provedli kontrolní měření OAR v komoře. Toto kontrolní měření by mělo vyjít stejně jako měření po 15 minutách (po přepnutí přístroje do módu pro měření v radioaktivní rovnováze, která nastává po 200 minutách).



Obrázek 2: Měřicí systém ERM-3 používaný k měření objemové aktivity radonu [5].

Z hodnot plynopropustnosti a objemové aktivity radonu jsme vypočítali radonový potenciál (RP), pro který platí [2]:

$$RP = \frac{OAR - 1}{-\log k - 10} \quad (2)$$

Z hodnoty radonového potenciálu se stanovuje radonový index pozemku – pokud je $RP < 10$, pak je radonový index nízký, pokud je $10 \leq RP < 35$, je radonový index střední. Pokud RP přesáhne hodnotu 35, hovoříme o vysokém radonovém indexu.

4 Naměřené hodnoty

Měření jsme rozdělili do několika částí. Kromě určení radonového indexu pozemku jsme se zaměřili i na nalezení závislosti radonového potenciálu a plynopropustnosti na hloubce. Posledním bodem miniprojektu bylo ověření, zda je opravdu důležité mít v ionizační komoře správný, atmosferický tlak.

4.1 Radonový index pozemku

Při určování radonového indexu pozemku jsme odebírali vzduch z celkem šesti různých míst v hloubce 80 cm pod zemí. Naměřené hodnoty radonového potenciálu a plynopropustnosti se poměrně hodně (až padesátkrát) lišily na různých místech (viz obrázek 3).

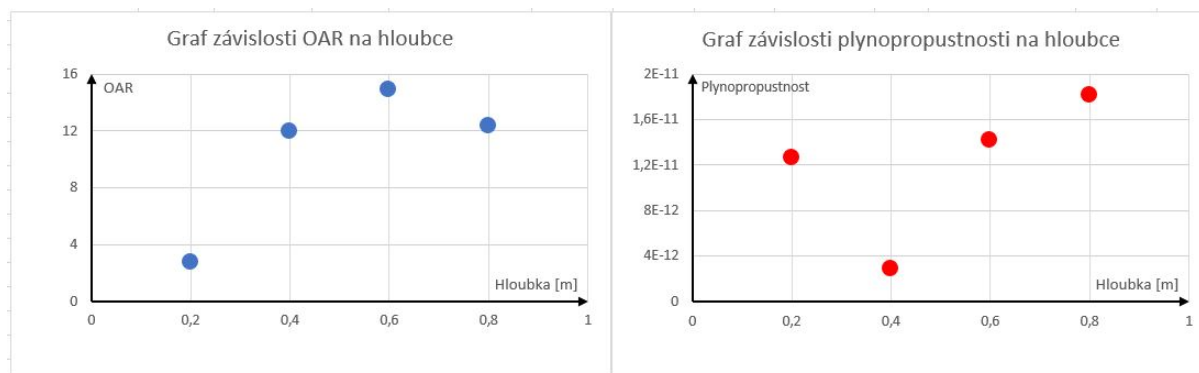
bod	pozadí IK [kBqm ⁻³]	OAR [kBqm ⁻³]				plynopropustnost radon - JOK		RP	RI
		15min	200min			t[s]	hodnota [m ²]		
1	0,2	18,1	20,5	19,1	16,5	4,5	2,4E-11	27,6	střední
2	0,0	16,4	0,8	1,7	1,0	6,1	1,8E-11	20,6	
3	0,5	12,3	1,4			6,0	1,8E-11	14,6	
4	0,5	13,8	0,7			4,3	2,5E-11	20,6	
5	0,7	16,6	14,2	15,1	15,0	88,0	1,2E-12	7,8	
6	0,9	4,9	0,1			156,0	7,0E-13	1,4	

Obrázek 3: Tabulka s naměřenými daty pro určování radonového indexu pozemku.

V tabulce 3 chybí některé hodnoty měření po dvou stech minutách neboť jsme nedopatřením nedověřeli měřicí komory a radon z nich unikl. Důsledkem toho byla naměřena velmi nízká hodnota OAR. Jelikož komory nebyly utěsněny, nemělo smysl je dále přeměřovat. Chyba v nedověření komory neměla velký vliv na měření po patnácti minutách, jelikož za tak malý časový úsek radon nestihl uniknout. Radonový index pozemku nám vyšel jako střední.

4.2 Závislost radonového potenciálu a plynopropustnosti na hloubce

Při měření této závislosti bylo důležité odebírat všechny vzorky z jednoho místa. Zkoumali jsme celkem čtyři různé hloubky – 20 cm, 40 cm, 60 cm a 80 cm. Z naměřených hodnot jsme sestavili grafy na obrázku 4.



Obrázek 4: Grafy závislostí OAR a plynopropustnosti na hloubce

Z prvního grafu jde vidět, že je opravdu vhodné měření provádět v hloubce 80 cm, aby nedošlo k podhodnocení měření (v hloubkách 20 cm a 40 cm je radonový potenciál nižší, protože radon z mělkých vrstev vyprchá).

Z druhého grafu bychom mohli odhadnout, že zemina pod pozemkem není z jednoditého materiálu. V hloubce 40 cm jsme naměřili plynopropustnost o poznání nižší, než v ostatních hloubkách. V této hloubce bychom tedy pravděpodobně našli nějakou hustší nepropustnou půdu (například jílu).

4.3 Vliv podtlaku v komoře na měření

Nakonec nás zajímalo, jak mohou být výsledky ovlivněny špatným měřením. Vzorky vzduchu jsme opět nabrali z jednoho místa. První komoru jsme správně naplnili 150 ml půdního vzduchu a přidáním 100 ml vzduchu z okolí tak, abychom v komoře měli normální (atmosferický) tlak. Ve druhé komoře jsme nechali podtlak. Vyšlo nám, že hodnota špatně změřeného radonového potenciálu (v komoře s podtlakem) je přibližně o třetinu menší než skutečná hodnota. Takto podhodnocené výsledky mohou v některých případech ohrozit efektivnost ochranných opatření na budově.

5 Diskuze

Radonový index na pozemku Stáního ústavu radiační ochrany naše měření určilo jako střední. Největší chyba měření byla zřejmě způsobena lidskou chybou. Ať už se jedná o nedovřené komory a ztrátu celé série měření po 200 min, špatně změřený čas na stopkách při určování plynopropustnosti či tyč zatlučená do nepřesné hloubky. Za nepřesnost měření je ale zodpovědná i chyba v přístrojích – výrobce uvádí okolo 10% [1]. Další vlivy můžeme považovat za zanedbatelné. Statickou chybu měření jsme určili jako 3 procenta.

6 Závěr

Radonový index pozemku se nám podařilo úspěšně změřit a určit jako střední a stavba v této lokalitě by tedy nevyžadovala nějaká zvláštní ochranná opatření. K měření nám stačily dva jednoduše ovladatelné přístroje, několik železných tyčí a kladivo. Takto lze za pomoci pár výpočtů a hrubé síly určit radonový index a zamezit tak případným zdravotním komplikacím obyvatel parcely.

7 Poděkování

Rádi bychom tímto poděkovali vedoucí našeho miniprojektu Lucii Vítkové za aktivní přístup a Státnímu ústavu radiační ochrany za zapůjčení přístrojů potřebných k měření a za poskytnuté zázemí.

Reference

- [1] FROŇKA, O. Měřicí systém RM-2 zařízení pro monitorování objemové aktivity radonu v půdním vzduchu – uživatelská příručka [online]. [cit. 2019-06-18].
- [2] Doporučení stanovení radonového indexu pozemku, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, prosinec 2017.
- [3] Přírodní radioaktivita a problematika radonu, SÚRO, v.v.i. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz> [cit. 2019-06-18].
- [4] Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/FIGURE-A1-Photographies-du-RADON-JOK-permeametre-a-air_fig32_317100259 [cit. 2019-06-18].
- [5] Radon RM2 [online]. [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <http://www.radon.eu/rm2.html>.

Narušování symetrie v laserovém rezonátoru

L. Kundratová , J. Macura, K. J. Jarinová
GJŠ Zlín, Gymnázium Jírovcova 8 České Budějovice, SŠŠ Banská
Bystrica

lucie.kundratova@pksoft.org, macura.jakub11@seznam.cz,
kristina.jarinova1@gmail.com

Abstrakt:

Širším cílem projektu bylo seznámit se s fungováním laseru, zejména s funkcí rezonátoru v pevnolátkových laserech, prakticky si vyzkoušet rozladování zrcadel a naučit se záznam a práci s obrazovými daty. Podařilo se nám zaznamenat příklady základních příčných módů v souladu s teoretickými předpoklady.

1 Úvod

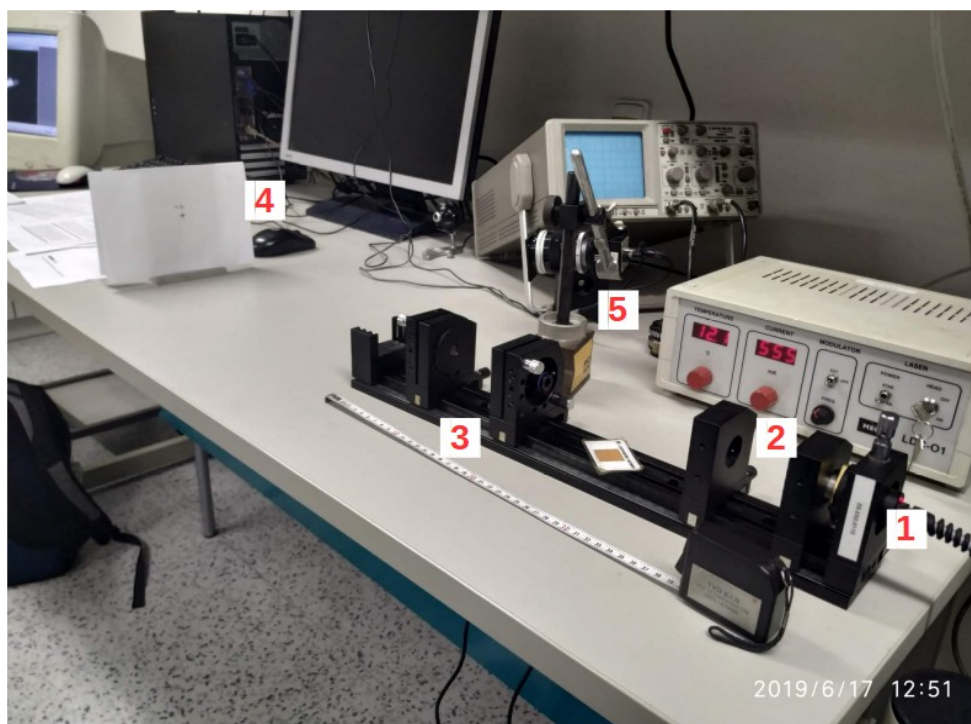
V našem miniprojektu jsme se zaměřili na výzkum optických vlastností elektromagnetického záření a jeho interakcí s látkovým prostředím. Konkrétně jsme se věnovali pozorování a zaznamenání příčných módů laserového rezonátoru. Teoretický model [1] poskytuje popis ve formě hermito-gaussovských módů, cílem našeho miniprojektu bylo, kromě jiného, tuto teorii vizualizovat.

2 Použitá aparatura

Měření jsme prováděli na aparatuře, která sestávala z následujícího:

1. čerpací polovodičový laser, který vyzařuje na vlnové délce 808 nm, má říditelný protékající proud
2. optika – dvě spojné čočky sloužící k usměrnění čerpacího záření do aktivního prostředí,
3. rezonátor
 - rovinné a kulové (polopropustné) zrcadlo s poloměrem 100 mm
 - aktivní prostředí připevněné k rovinnému zrcadlu tvořené yttrito-hlinitým granátem dopovaným atomy neodymu
4. stínítko ve vzdálenosti 55 cm od předního zrcadla,
5. kamera – křemíková CCD kamera.

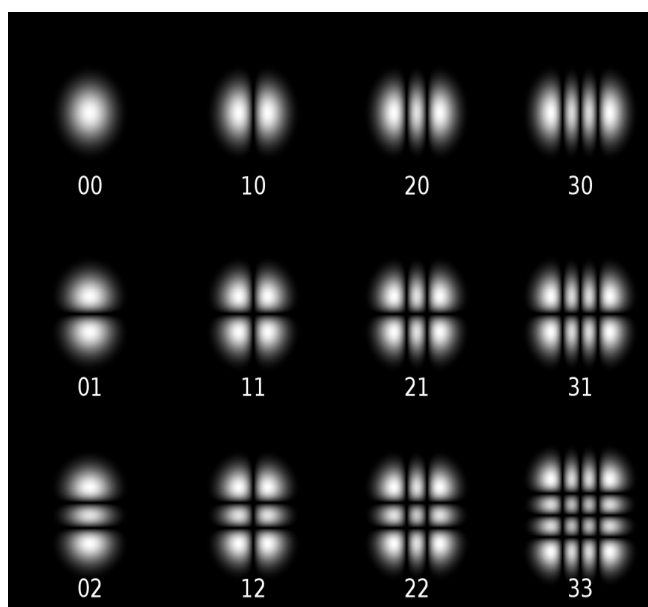
Námi sestavený laser vyzařoval na vlnové délce 1064 nm. Tato blízká infračervená délka není pozorovatelná prostým okem, ale je možné ji zaznamenávat křemíkovou kamerou.



Obrázek 1: Použitá aparatura

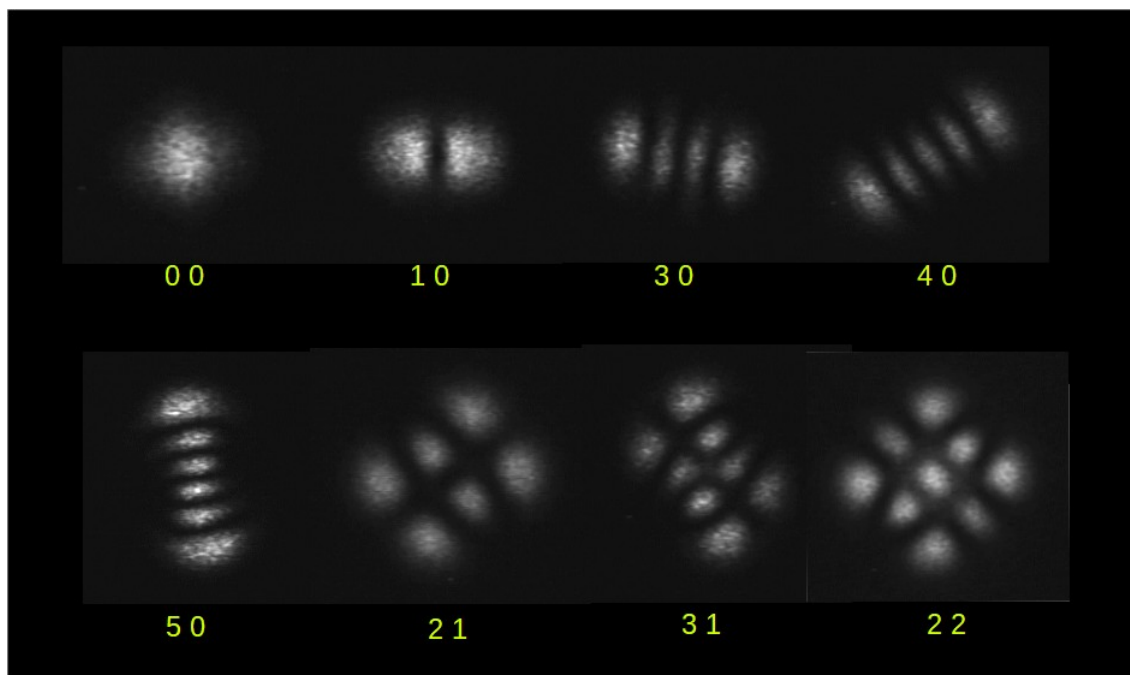
3 Postup

Po sestavení celé měřicí aparatury laser generoval záření v základním příčném módu. Pomocí otáčení stříbrných stavěcích šroubů jsme rozlaďovali úhly natočení zrcadel s očekáváním výsledku zobrazení hermito-gaussovských módů. Jejich teoretické průběhy jsou na obrázku 2.



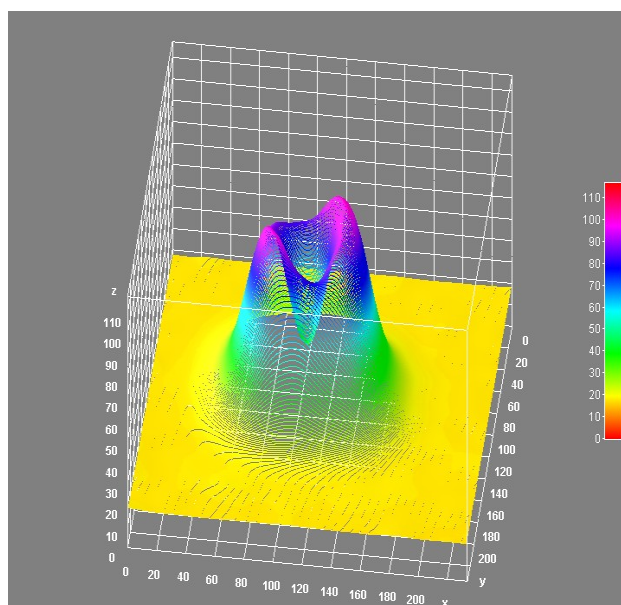
Obrázek 2: Teoreticky vypočítané hermito-gaussovské módy, převzato z Wikipedia, Rectangular transverse mode patterns $TEM(mn)$ — wikipedia, the free encyclopedia, 2019. [Online; accessed 18-June-2019].

Většinu základních módů se nám pečlivým nastavováním podařilo dosáhnout. Jak je vidět z obrázku 3, naměřené výsledky odpovídají teoretickým očekáváním. Jelikož stavěcí šrouby netvořily přesně pravouhlou soustavu, jsou naše výsledky různě pootočené.

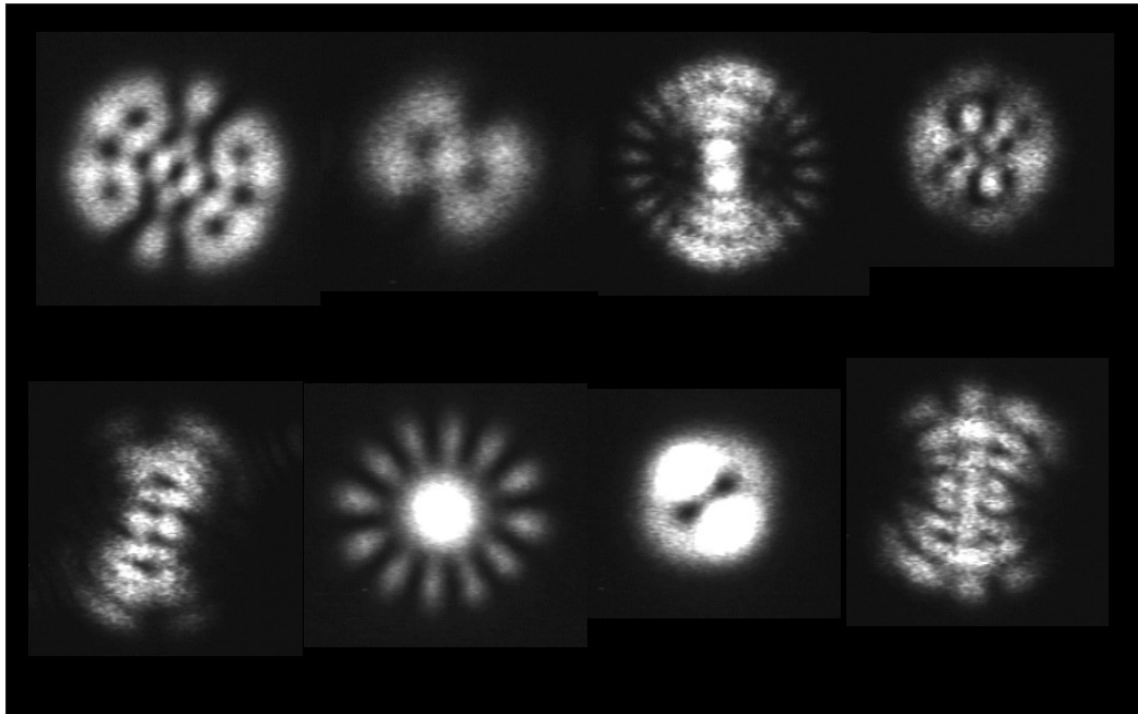


Obrázek 3: Výsledky našeho měření

Během měření jsme ovšem nedosahovali pouze základních hermito-gaussovských módů, nýbrž zejména při intenzivnějším čerpání jsme pozorovali také komplexní směsi mnoha vyšších módů, jak je zobrazeno na obrázku 5.



Obrázek 4: 3D zobrazení středově symetrického příčného módu, kde intenzita světla je reprezentována osou z



Obrázek 5: Směsi mnoha příčných módů

4 Shrnutí

Díky práci s pevnolátkovým laserem jsme pochopili, jak takovýto laser funguje, princip stimulované emise a funkci rezonátoru v laseru. Následně se nám též povedlo získat několik příkladů příčných módů rezonátoru. Osvojili jsme si základní techniky zpracování obrazu.

Poděkování

Děkujeme panu Ing. J. Blažejovi, Ph.D. za jeho odborné vedení při zpracování našeho miniprojektu a motivaci k následnému studiu fyziky.

Reference:

[1] SALEH, B.: *Základy fotoniky* John Wiley & Sons, 1991, str 109 - 112.

Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámý prášek?

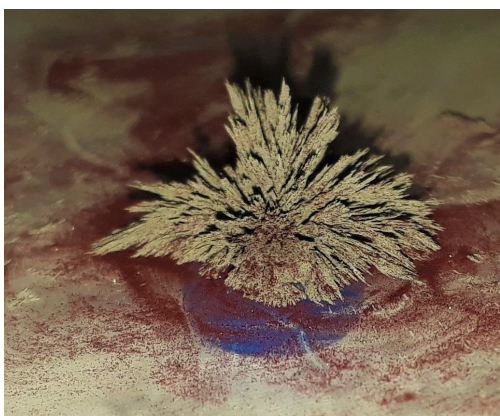
M. Arnoštová*, I. Štencová*, S. Balatková**
Gymnázium Nad Alejí, Nad Alejí 1952, Praha 6*
Gymnázium Sokolov, Husitská 2053, Sokolov**
misa.arnostova@seznam.cz

Abstrakt:

V tomto projektu jsme se seznámily s principem fungování rentgenové difrakce. Touto metodou jsme analyzovaly neznámý prášek, který jsme obdržely na začátku projektu. Zjistily jsme tím chemické složení prášku včetně modifikací jednotlivých prvků a poté jsme zjistily i jejich hmotnostní poměr.

1 Úvod

Rentgenová difrakce je metoda používaná k určení polohy atomů v molekule neboli k určení krystalické mřížky pomocí difrakce rentgenových paprsků od vzorku. Podle těchto získaných informací jsme schopni poté určit složení látky a hmotnostní poměr prvků v ní. Pomocí rentgenové difrakce jsme také schopni zjistit jednotlivé modifikace prvků ve vzorku, které se nedají zjistit běžnou chemickou analýzou. Tato metoda je nedestruktivní, tudíž je hojně používaná např. ve farmakologii nebo průmyslu obecně. V našem případě jsme pomocí rentgenové difrakce určily složení a hmotnostní poměr látek nám neznámého prášku, viz obrázky 1 a 2, a zkusily si tím využitelnost této metody.



Obrázek 1: Neznámý prášek



Obrázek 2: Neznámý prášek

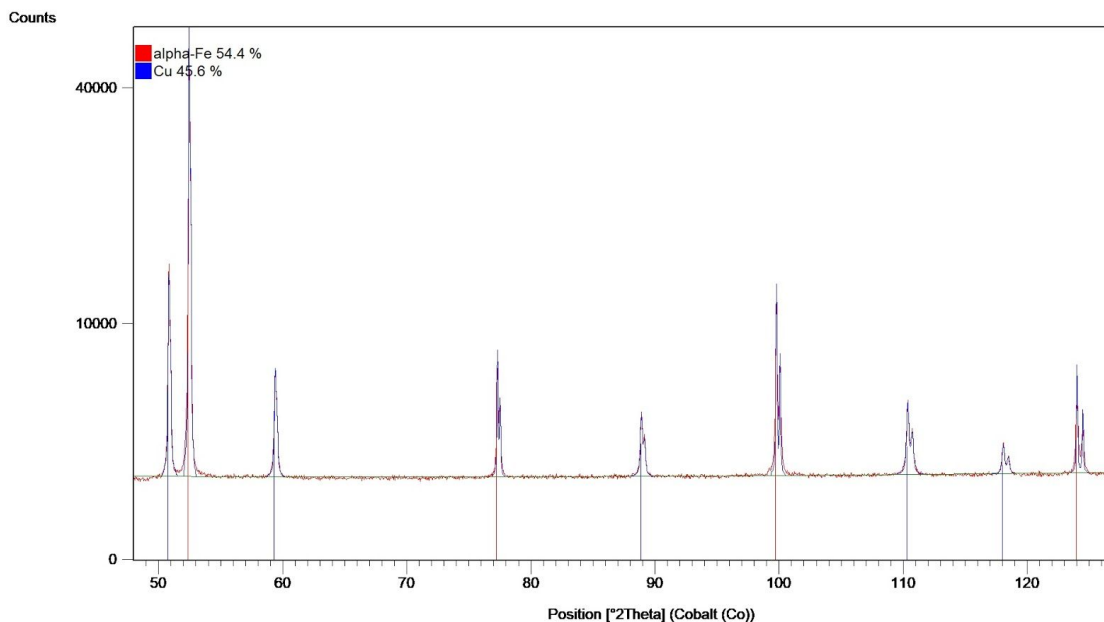
2 Metody a výsledky

Rentgenová difrakce je metoda při níž pomocí rentgenky vyšleme proud fotonů na vzorek, při čemž dojde k difrakci rentgenového záření, které zaznamenáváme na detektoru. Difrakci můžeme interpretovat pomocí Braggovy rovnice. Měříme tím závislost intenzity na úhlu dvě theta. Z pozic difrakčních maxim určíme mezirovinovou vzdálenost.

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$$

“Rentgenovou difrakci v krystalech vnímáme jako odraz atomovými rovinami. Odraz nastává tehdy, mají-li vlny rozptýlené atomy v rovnoběžných rovinách stejnou fázi, přičemž dráhový rozdíl při rozptylu na sousedních rovinách musí být roven celistvému počtu n vlnových délek.” [1]

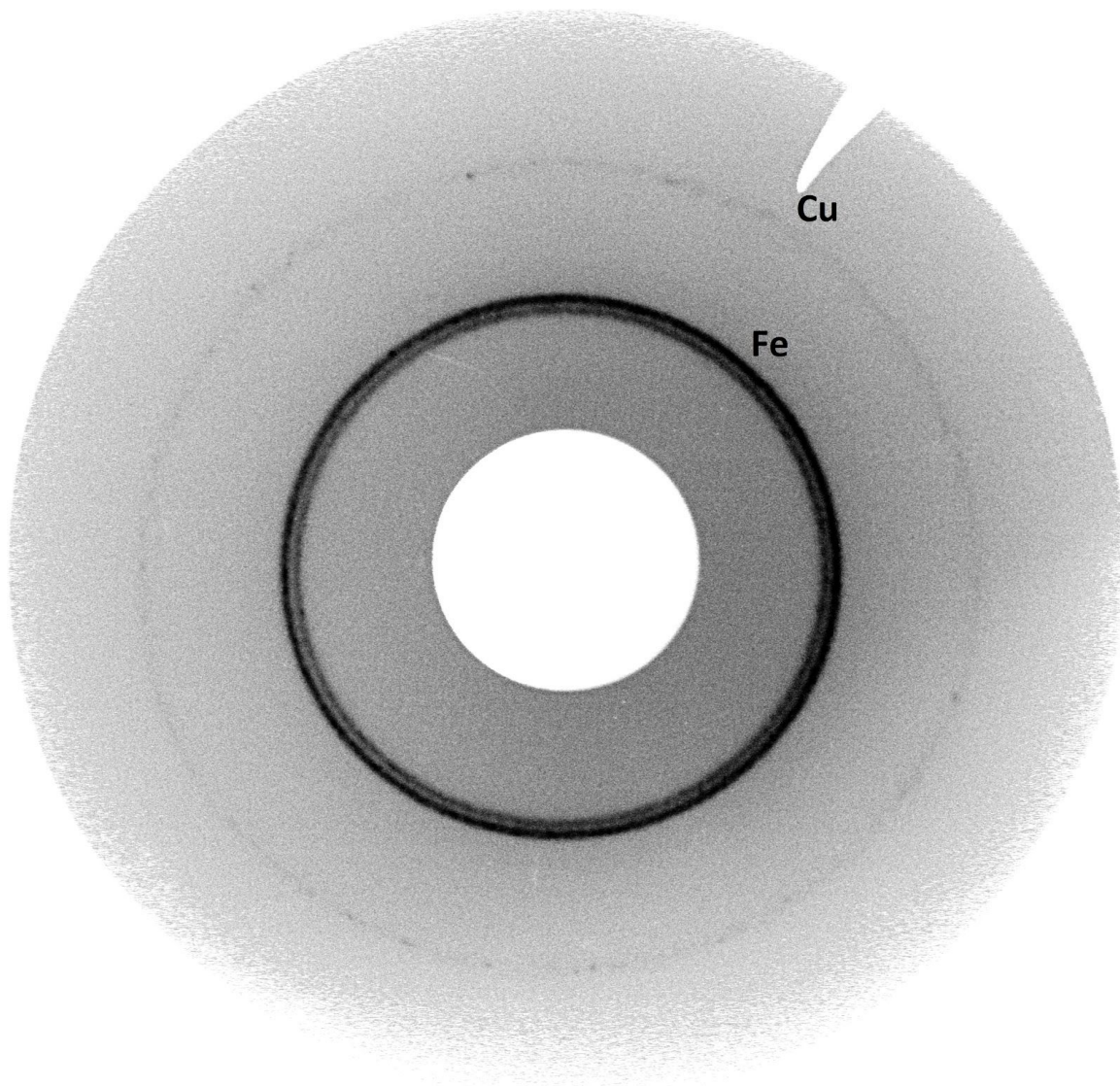
Počítač vytvoří graf difrakce dané látky, viz obrázek 3, kde se podle třech největších vrcholů intenzity záření neboli píků, navrhuje shoda s látkami z databáze. Shodu zpřesňujeme pomocí zadávání ovlivňujících faktorů, až dojdeme k co nejpřesnějšímu výsledku analýzy. Toto je vlastně průběh kvalitativní RTG difrakce, kdy zjišťujeme složení látky. Pak se pomocí Rietveldovy metody zjišťuje hmotnostní či objemový poměr chemických látek ve vzorku., což je kvantitativní metoda RTG difrakce.



Obrázek 3: Difrakční záznam neznámého prášku

Náš výsledek jsme si ještě ověřili pomocí difrakční Debyeovy-Scherrerovy metody a chemickou analýzou vzorku.

Debyeova-Scherrerova metoda promítá difrakci na folii umístěnou v rovinné či kuželové kazetě. Proud fotonů dopadá na rovinu vzorku pod úhlem 90° , difrakční linie jsou průsečnicemi kuželových ploch s rovinou folie [1]. Na folii jsou zaznamenány pouze píky příznačné pro určitý prvek. Tloušťka a kontinuita kružnic na folii poté určuje jak vypadá přednostní orientace fází ve vzorku. Obraz na folii je poté přenesen do počítače a pomocí databáze se přiřazují jednotlivé prvky a jejich modifikace k liniím na folii, viz obrázek 4.



Obrázek 4: Difrakční kroužky neznámého prášku

Pomocí difrakce jsme analyzovaly neznámý prášek. Kvalitativní RTG analýzou jsme určily chemické složení prášku. Našly jsme shodu s dvěma fázemi a to s mědí a magnetickým feritem (alpha železem), což nám potvrdila i chemická analýza prášku.

Pomocí Rietveldovy metody jsme provedly kvantitativní RTG analýzu a tím jsme určily hmotnostní poměr mědi a feritu v prášku. Námi naměřený poměr byl 54,4% feritu a 45,6% mědi.

3 Diskuze

Citlivost analýzy pomocí RTG difrakce závisí především na reálné struktuře fáze ve vzorku, volbě použitého záření, kvalitou difrakčního záznamu a nejmenším množstvím fáze ve vzorku. Chemická analýza určila hmotnostní zastoupení feritu a mědi jako 61% feritu a 39% mědi, což je přibližně 6% odchylka od našeho výsledku. Nepřesnosti výsledku nastaly v našem případě kvůli manipulaci se vzorkem a jeho přípravě, navíc byla pokaždé analyzována jiná část vzorku.

4 Shrnutí

Rentgenovou difrakcí prášku jsme jej úspěšně a rychle analyzovaly. Vyzkoušely jsme si práci s difraktometry a s jejich vstupními a výstupními programy a zpracovaly jsme výsledky. Určily jsme přesné chemické složení a atomovou strukturu prášku a s menší odchylkou jsme určily hmotnostní procento látek v prášku.

Poděkování

Děkujeme za odbornou pomoc garantu projektu Ing. Karlu Trojanovi a organizátorům Týdne vědy na Jaderce za příležitost zúčastnit se práce na tomto miniprojektu.

Reference:

- [1] Kraus, Ivo.: Úvod do strukturní rentgenografie. Academia, 1985, 46-47;126-127.

Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách: fototermální zahřívání v plazmonických nanostrukturách

Martin Hudeček
Gymnázium Duhovka,
Praha 7
hudecmar1@duhovkagymnazium.cz

Martin Birošćák
Střední průmyslová škola elektrotechniky a informatiky,
Ostrava
martin.bir@spseiostrava.cz

Abstrakt:

Za určitých podmínek mají kovové nanočástice schopnost zvýšené absorpce světla, a tak se stávají zdrojem tepla – termoplazmonika. V tomto článku jsme se zabývali závislostí tvaru struktury na jeho schopnosti pohlcovat laserové záření a snažili jsme se replikovat výsledky článku *Z. J. Coppens, W. Li, D. G. Walker, and J. G. Valentine, "Probing and Controlling Photothermal Heat Generation in Plasmonic Nanostructures," Nano Letters, vol. 13, pp. 1023-28, 2013.* K simulaci jsme použili metodu FDTD (simulační nástroj Lumerical, program Device který řeší rovnici přenosu tepla). Z nasimulovaných dat jsme došli k tomu, že struktury tvaru diablolo mají lepší absorpční schopnosti než struktury typu dipole, což souhlasí se zmíněným článkem.

1 Úvod

Schopnost povrchových plazmonů uvěznit elektromagnetickou energii v subvlnových strukturách přitahuje pozornost vědců z důsledku velkého lokálního elektromagnetického pole. Jedním z nedostatků spojených s povrchovými plazmony je však to, že ztráta odporového tepla v kovových strukturách může často omezit funkčnost zařízení. V jiných oborech bylo věnováno mnoho úsilí minimalizaci tepelných ztrát, kdežto v termoplazmonice je snahou vytvořit malá místa s vysokou indukovanou teplotou, což má mnohé aplikace, například nanochemie (katalýza), fototermální zobrazování a lékařské terapie. Jako cíl jsme si určili seznámit se s touto problematikou a porovnat schopnosti indukovat teplotu dvou částí.

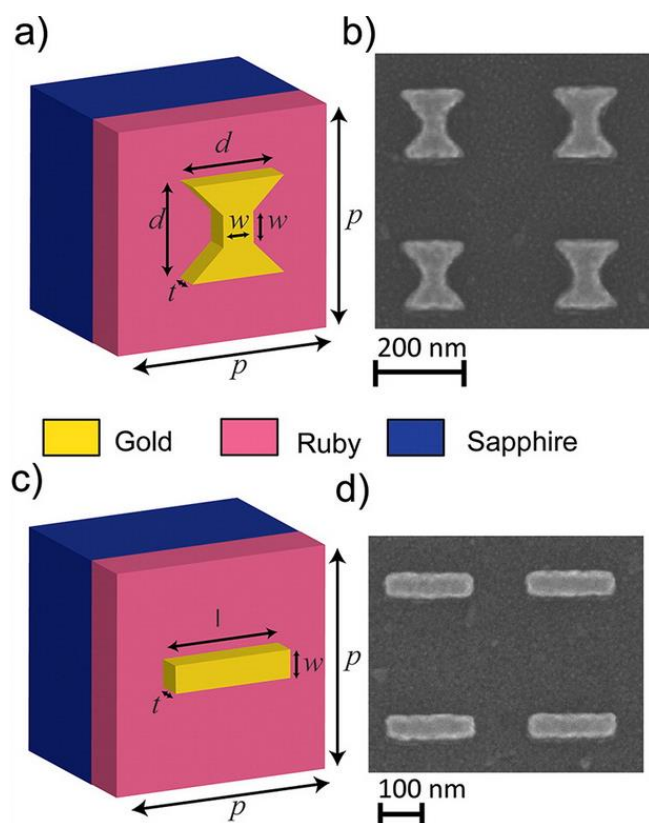
2 Metoda

Výpočet proběhl ve dvou krocích. Nejprve se spočítala optická část pomocí metody FDTD (Finite-difference time-domain), která řeší Maxwellovy rovnice. Tím jsme zjistili optickou absorpci, kterou jsme vypočítali vztahem $0.5 \varepsilon_0 \omega |E|^2 \text{imag}(\varepsilon)$, kde ε_0 je permitivita vakua, ω je frekvence záření, E je elektrická intenzita a ε je permitivita materiálu. Tato optická absorpce se použila v dalším kroku.

Pro výpočet tepelné části se využily rovnice šíření tepla – implementovaná pomocí metody konečných elementů. K simulaci byly použity programy od firmy Lumerical (www.lumerical.com). Laserový puls o výkonu 1mW a vlnové délce 1.064 μm jsme aproximovali rovinou vlnou.

2 Zkoumané struktury

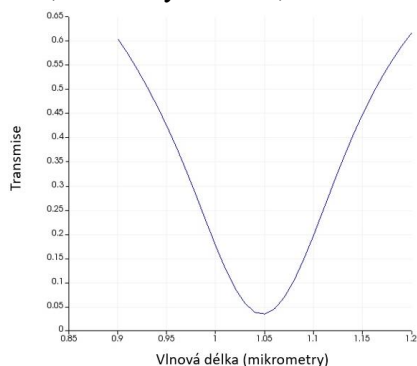
Na obrázku č. 3 jsou zobrazené zkoumané struktury. Struktura a) se nazývá diablo, struktura c) se nazývá dipole. Jsou složeny z částic zlata na rubínovém substrátu. Na obrázku a) a c) je vykreslena pouze jedna perioda, ve skutečnosti se jedná o periodické pole většího počtu struktur, což naznačují obrázky b) a d) získané z elektronového mikroskopu.



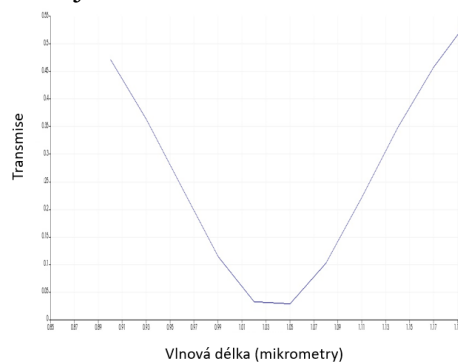
1. Tvary struktur, převzato z článku [1], parametry: $p = 340 \text{ nm}$, $d = 150 \text{ nm}$, $w = 50 \text{ nm}$, $t = 50 \text{ nm}$, $l = 215 \text{ nm}$

3 Výsledky

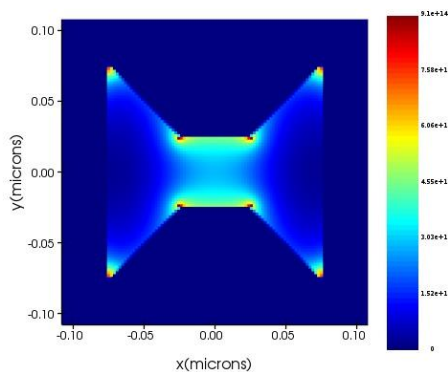
Nejdříve jsme spočítali transmisní charakteristiky (viz obrázek č. 1,2) zkoumaných struktur. Reflexe je oproti transmisi o několik řádu menší, proto jsme ji nezjišťovali. Zjistili jsme, že transmise se blíží k nule v okolí vlnové délky 1.064 nm, což znamená, že zde je největší absorpce záření. Toto indikuje, že tyto struktury rezonují v okolí této vlnové délky a vybudily se lokalizované plazmony na těchto strukturách. Následně jsme pro danou vlnovou délku spočítali absorpci podle výše zmíněného vzorce, výsledky jsou zobrazeny na obrázcích č. 4, 5. Lze vysledovat, že struktura *diabolo* místy absorbuje více záření.



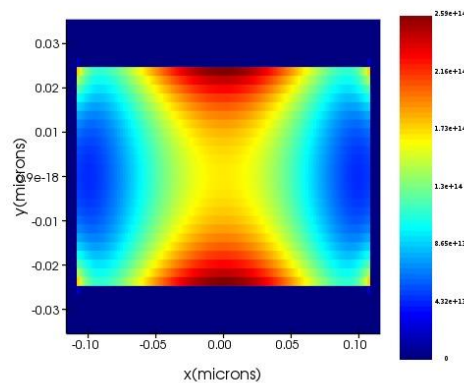
2. Spektrální závislost transmise pro strukturu diabolo.



3. Spektrální závislost transmise pro strukturu dipole.

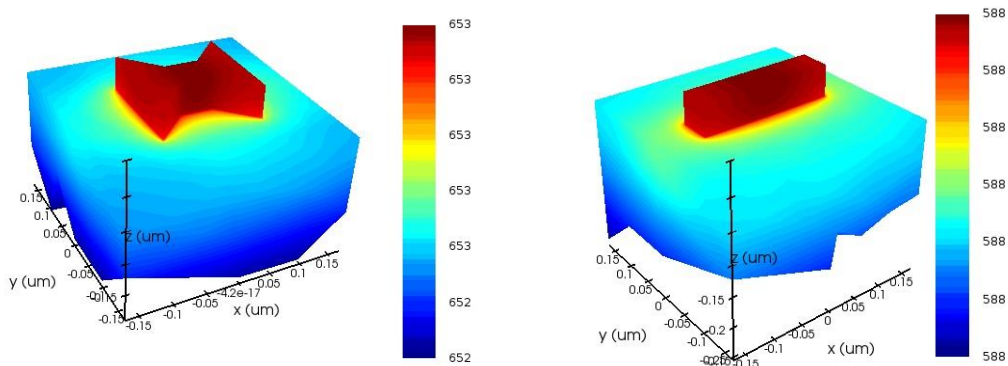


4. Rozložení absorpce uvnitř struktury diabolo



5. Rozložení absorpce uvnitř struktury dipole

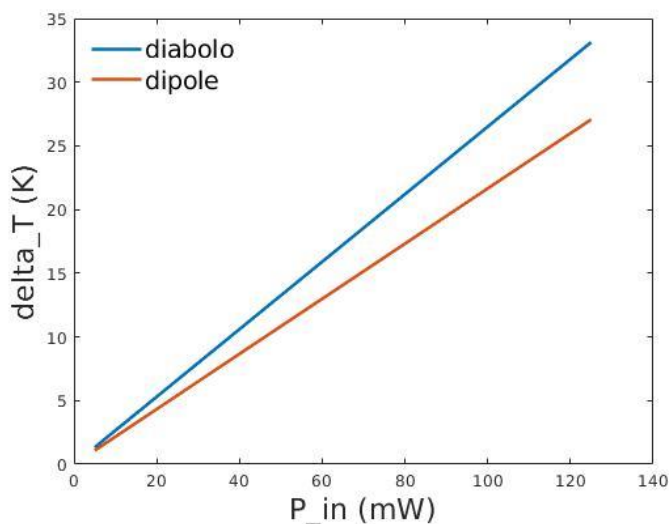
Na obrázcích č. 5. a 6. lze vypořadovat, že struktura diabolo generuje více tepla, než struktura dipole. Zároveň jde vidět, že v nejbližším okolí struktury není pokles teploty veliký. Okolní prostředí má teplotu 300 Kelvinů.



4. Prostorová distribuce teploty [K] ve struktuře diabol

5. Prostorová distribuce teploty [K] ve struktuře dipole

V předchozích částech jsme používali výkon 1mW, nyní jsme zkoumali, co se stane, budeme-li zvyšovat výkon až na 120 mW. Toto lze vidět na obrázku níže. Na ose y je vykreslen rozdíl mezi teplotou pro 1mW a aktuální hodnotou výkonu. Opět lze vidět, že struktura diabol se zahřívá rychleji než struktura dipole.



6. Rozdíl mezi teplotou pro 1mW a teplotou pro aktuální výkon

3 Shrnutí

Na základě provedených simulací jsme se seznámili s jevem lokalizované plazmonové rezonance, která se projevuje unikátními vlastnostmi zvýšené absorpce v oblasti rezonančních frekvencí. To ve svém důsledku vede k výraznému zahřátí struktury při interakci s laserovým zářením na rezonanční vlnové délce. Tento jev má řadu uplatnění například při protinádorové fototermální terapii. Naše simulace odpovídají článku [1].

Poděkování

Děkujeme Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a Ing. Kateřině Jirákové za organizování akce Týden vědy na FJFI. Děkujeme Ing. Milanovi Burdovi, doc. Ing. Ivanu Richterovi Dr. a Ing. Pavlovi Kwiecienovi, Ph.D. za vedení naší práce.

Reference:

- [1] Coppens J, Li W, Walker D. G, Valentine J. G. *Probing and Controlling Photothermal Heat Generation in Plasmonic Nanostructures*, Nano Letters 2013 pp. 1023-28

Procházka na síti

Adam Červenka
Masarykovo gymnázium, Příbor, p. o.,
Jičínská 528, 742 58 Příbor
adam.cervenka@gypri.cz

Cílem tohoto článku je použít teorii náhodných procházek na grafech k popisu chování cestujícího, který se náhodně pohybuje po zjednodušeném modelu pražské tramvajové sítě.

I. ÚVOD

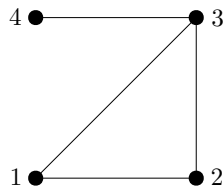
Grafy, nebo-li sítě, jsou matematickým vyjádřením vztahů v soustavě pomocí vrcholů a hran. Teorie grafů má široké spektrum využití, a to v teorii komplexních systémů, zejména v oblasti informačních technologií. Úvodu do teorie grafů se věnujeme v sekci II.

Součástí teorie grafů jsou i náhodné procházky po síti (viz sekce III). Ty zkoumají pohyb náhodně se pohybujících entit. Takovým náhodným pohybem je např. pouť tzv. opilého námořníka, který vzhledem ke svému stavu volí kroky zcela náhodnými směry.

V sekci IV se věnujeme pohybu po síti 17 pražských tramvajových zastávek. Za pomoci počítače můžeme zjistit, s jakou pravděpodobností bude po určitém počtu kroků náhodně pohybující se cestující nacházen na konkrétní zastávce.

II. ZÁKLADY TEORIE GRAFŮ

Graf je množina N vrcholů, které jsou spojeny hranami.



Obrázek 1: Příklad grafu o 4 vrcholech a 4 hranách

Umístění hran mezi vrcholy je popsáno tzv. *adjacenční maticí*. Adjacenční matice je tabulka $N \times N$ definovaná tak, že na i -tém řádku v j -tém sloupci, pozice (i, j) , je číslo, které odpovídá počtu hran, které spojují vrcholy i a j . (Tedy 0 pokud vrcholy nejsou spojeny, 1 pokud jsou spojeny právě 1 hranou atd.) Např. pro

graf z obr. 1 je adjacenční matice

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

V matici A^k , kde k je počet kroků, leží na pozici (i, j) této matice číslo, které značí počet různých cest, kterými se lze dostat z vrcholu i do vrcholu j v k krocích. (Násobení matic je definováno v příloze A.)

Stupeň vrcholu i , $st(i)$, je definován jako počet hran vystupujících z vrcholu i .

Matice přechodu P se získá z adjacenční matice tak, že každý její i -tý řádek vydělíme $st(i)$. Např. matice přechodu odpovídající adjacenční matici (1) je

$$P = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & \frac{1}{3} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

III. NÁHODNÁ PROCHÁZKA

Označme počáteční pozici chodce jako i , této pozici přiřadíme vektor $\langle i | = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$, kde číslo 1 je na i -tém místě. Pravděpodobnost přechodu z vrcholu i do vrcholu j je hodnota matice přechodu P na pozici (i, j) .

Pravděpodobnosti nalezení chodce na jednotlivých vrcholech jsou potom složkami řádkového vektoru $\langle i | P$. Každý další krok získáme násobením maticí P zprava. Po k krocích budou tedy pravděpodobnosti nalezení chodce určeny vektorem $\langle i | P^k$.

Po mnoha krocích se výraz $\langle i | P^k$ blíží limitnímu stacionárnímu stavu $\langle v |$, který nezávisí na počátečním stavu i . Pro tento stav platí

$$\langle v | P = \langle v |, \quad (3)$$

tedy dalším krokem se stacionární stav nemění.

Ze struktury grafu lze snadno stacionární stav vyčíst. Platí totiž, že

$$\langle v | j \rangle = \frac{st(j)}{\sum_{i=1}^N st(i)}, \quad (4)$$

kde $|j\rangle$ je sloupcový vektor, který má na j -té pozici číslo 1 a na ostatních má nuly.

IV. PŘÍKLAD: PRAŽSKÁ TRAMVAJOVÁ SÍŤ

Vybrali jsme 17 pražských tramvajových zastávek, jež považujeme za vrcholy grafu, spojení mezi nimi zajišťují tramvajové spoje. Každé 2 zastávky jsou spojeny hranami, jejichž počet odpovídá počtu přímých tramvajových spojů mezi zastávkami. Zavedeme pravidlo o tom, že pokud cestující narazí na jednu ze 17 zastávek, vystoupí a použije náhodně vybraný spoj.

Již při prozkoumání obr. 2 si můžeme povšimnout, že nejvíce spojů jezdí na Karlovo náměstí. Z rovnice (4) plyne, že právě na této zastávce se po dostatečném množství kroků bude cestující nejpravděpodobněji nacházet, a to bez ohledu na počáteční zastávku.

Zkusme naopak řešit úlohu pro konečný počet kroků. Mějme cestujícího, který začne svou cestu na Pohořelci (č. 1). Nás zajímá nejmenší počet kroků, po kterém se bude cestující nejpravděpodobněji nacházet na Karlově náměstí (č. 10). Hledáme tedy nejmenší k takové, že $\langle 1|P^k|10\rangle < \langle 1|P^k|j\rangle$, $\forall j \neq 10$. Pro takto velké matice se využití počítačového softwaru stává nezbytností. My jsme pro výpočet použili program *Wolfram Mathematica*. Tak tedy spočítáme, že nejmenší počet kroků pro vyplnění podmínky je právě 6 kroků.

V. ZÁVĚR

Pro studium náhodných procházek po síti jsme užívali jak teoretické znalosti, tak i počítačové výpočty. Je zajímavé, že řešení pro malý počet kroků je mnohem komplikovanější než řešení pro velký, až nekonečný, počet kroků.

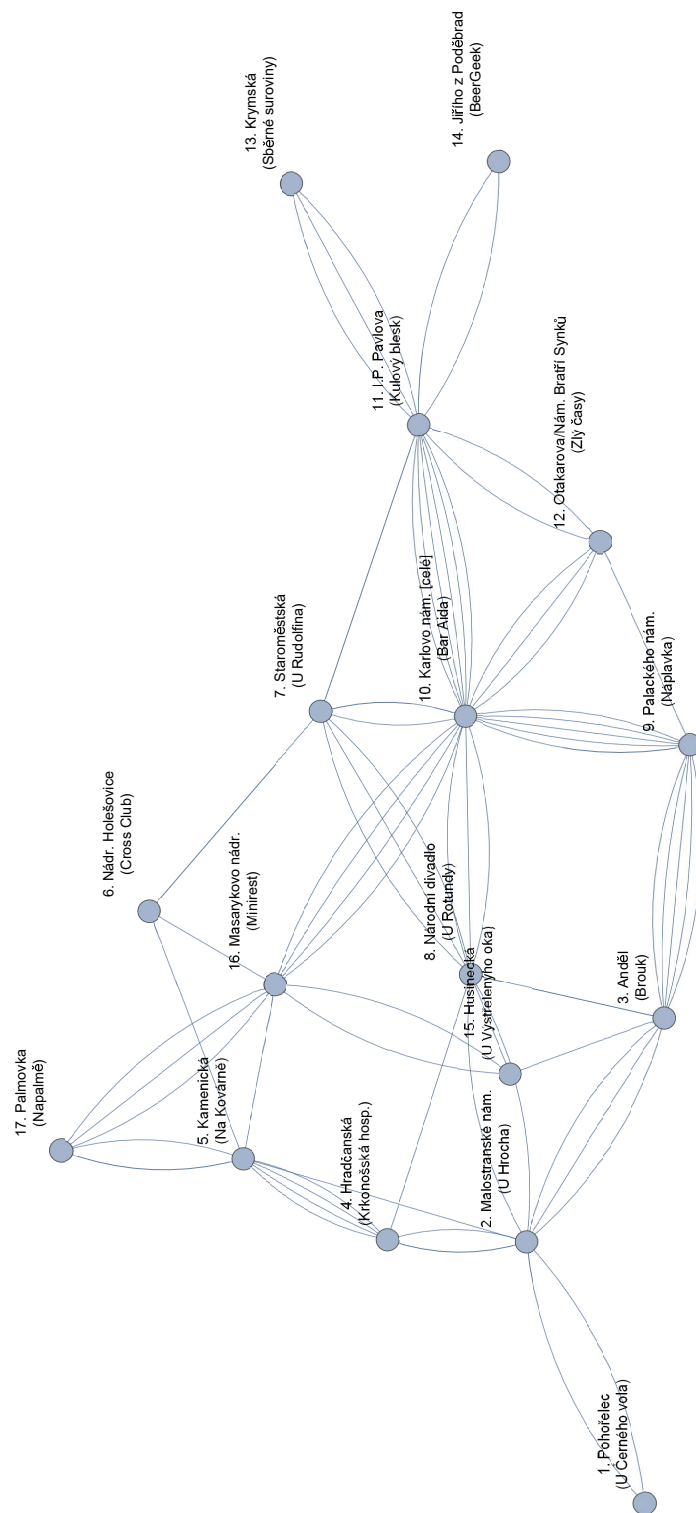
Příloha A: NÁSOBENÍ MATIC

Mějme matici A o rozměrech $m \times n$ a matici B o rozměrech $n \times r$. Prvky matice A označíme $A_{i\ell}$ a prvky matice B jako $B_{\ell j}$, kde $i = 1, \dots, m$; $\ell = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, r$. Prvek matice AB na pozici (i, j) je roven

$$\sum_{\ell=1}^n A_{i\ell} B_{\ell j}. \quad (\text{A1})$$

Například spočtěme:

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 4 \end{pmatrix}. \quad (\text{A2})$$



Obrázek 2: Vybrané zastávky pražské tramvajové sítě, tento graf obsahuje 17 vrcholů a 69 hran, nejvyšší stupeň má Karlovo náměstí, $st = 23$.

Slow Control System

J. Demjančuková¹ and T.Poliak²

¹ Gymnázium Na Vítězné pláni, Praha

² Střední průmyslová škola, Trutnov

Abstrakt

V dnešní době existuje spousta způsobů, jak kontrolovat experimentální a průmyslová zařízení. Jedním z těchto způsobů je použití EPICS/Python Soft IOC, který v tomto projektu využíváme pro vytvoření aplikace na kontrolu a monitorování jednoduchého LED obvodu.

1 Úvod

Narozdíl od DAS (Data Acquisition System), který si zakládá na nahrávání a digitalizaci událostí v řádech milisekund, se Slow Control System používá pro kontrolu a monitorování technických zařízení v časových škálách v rozmezí několik sekund až po několik hodin. Často slouží ke kontrole a monitoringu komponent, jako jsou:

- vysokonapěťové moduly
- tlakoměry
- teplotní senzory
- RF detektory
- PID regulátory, atd.

2 Back-end

2.1 EPICS

Jednou z klíčových částí Slow Control System je **EPICS** (Experimental Physics and Industrial Control System)[2]. Jedná se o soubor softwarových nástrojů a aplikací, které poskytují infrastrukturu pro vybudování kontrolních systémů, a využívají ho například:

- částicové urychlovače (SLAC, iThemba, atd.)
- velké experimenty (Fermilab, LIGO, atd.)
- teleskopy (Gemini, Keckovy dalekohledy, atd.)

Takovéto systémy pak musí často spravovat desítky až stovky vzájemně propojených počítačů, mezi kterými probíhá komunikace. Tato komunikace může být monitorována a řízena z kontrolní místnosti nebo dokonce vzdáleně přes internetové připojení. Pro komunikaci mezi různými počítači používá EPICS techniku client/server a publish/subscribe, kdy jedna skupina počítačů sbírá data a takto posbíranou informaci pak předá jiné skupině přes Channel Access Network Protocol.

EPICS může interagovat se softwarem, který je schopný s tímto Channel Access protokolem komunikovat. V tom případě daný software většinou obsahuje rozšíření, která umožňují podporu Channel Access, což má např. Matlab, Python, Labview, Perl, atd. V našem případě jsme použili programovací jazyk Python, který obsahuje balíček **epics**. Tento balíček nabízí různé funkce, moduly a třídy pro interakci s Channel Access, stejně tak i PV objekt, který reprezentuje **Process Variable**.

2.2 Python Soft IOC

Problémem s balíčkem epics je fakt, že může s process variable jenom pracovat, ale není schopný ji vytvořit. Jedním z možných řešení je pak použít **Python Soft IOC**[3]. Jedná se o nástroj, který plně vytvoří a spustí EPICS IOC v rámci programovacího jazyka Python, a skládá se z:

- **pythonioc** (EPICS IOC provázaný s Python interpretem)
- **softioc** (přidružená knihovna)

Jednoduchá demonstrace Pythonu Soft IOC je znázorněna na obr.(1).

```
#!/home/lukas/Apps/epics/modules/pythonIoc/pythonIoc
# Import basic softioc framework
from softioc import softioc, builder

# Create PVs
builder.SetDeviceName('TEST')
builder.stringIn('01', initial_value = 'This is a test')

# Run the IOC.
# This is boilerplate, and must always be done in this order,
# and must always be done after creating all PVs.
builder.LoadDatabase()
softioc.iocInit()
softioc.interactive_ioc(globals())
```

Obrázek 1: Příklad kódu, který vytváří process variable

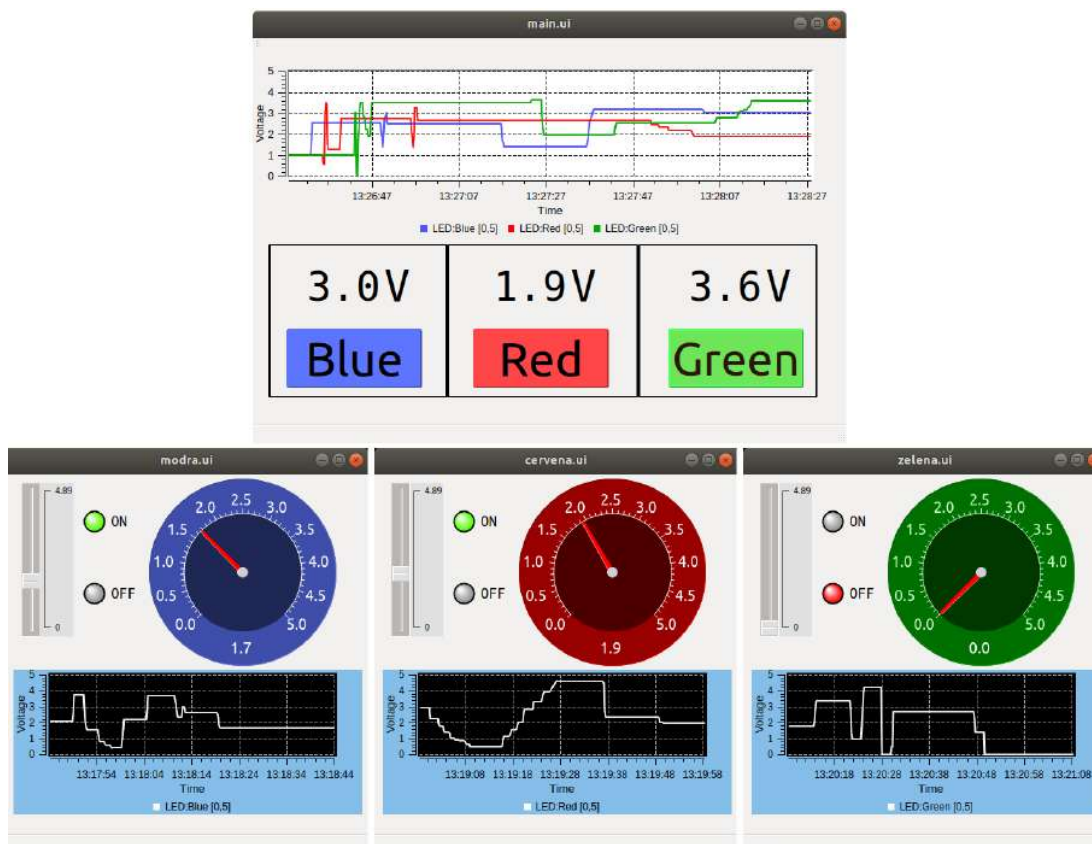
První řádek kódu obsahuje výše zmíněný pythonIoc, za kterým se skrývá EPICS IOC a prostředí Pythonu.

Na třetím řádku je vidět knihovnu softioc, pomocí které se vytváří daná process variable s názvem TEST:01.

3 Front-end

3.1 QTDesigner

Pro GUI (Graphic User Interface) jsme použili QTDesigner software. Jedná se o program ze skupiny Qt Tools, který pomocí QtWidgetů navrhuje a vybuduje GUI. Tento software pracuje na principu "what you see is what you get", kdy uživatel v podstatě nemusí psát žádný kód, a většinu aplikace vybuduje přetahováním a uspořádáváním widgetů, na které následně připojí už vytvořené process variable.



Obrázek 2: Front-end výsledné aplikace

4 BeagleBoard

BeagleBoard je nízkonapěťový open-source jednodeskový počítač od firmy Texas Instrument. Pracuje s open source softwarem v jeho OMAP3530 system-on-chipu a má stejné funkce jako základní počítač. OMAP3530 obsahuje ARM Cortex-A8 CPU, který může spustit Linux, Minix, FreeBSD, OpenBSD, RISC OS nebo Symbii. BeagleBoard má vestavěnou paměť 256 MB flash paměti na svém chipu a 256 MB paměti RAM. Vývojová deska může být napájena USB konektorem, nebo jiným zdrojem do 5 V. Protože je deska nízkonapěťová, nepotřebuje žádné chladiče. V našem projektu jsme použili pro ovládání LED diod vývojovou platformu Beaglebone Black, viz. obr.(3), což je jedna z verzí Beagle-Boardu. Parametry BeagleBone Black jsou tyto:

- Frekvence(MHz) - 1000
- Pamět(SDRAM) - 512 MiB
- CPU - Cortex-A8 + Dual PRU
- GPU - PowerVR SGX530
- Rozměry - 86,4 x 54,3
- Audio výstup - Micro-HDMI
- Video výstup - Micro-HDMI
- USB port - 1 x Standard A host port
- Je schopný vyprodukovat napětí do 5 V a proud mezi 210 a 460 mA

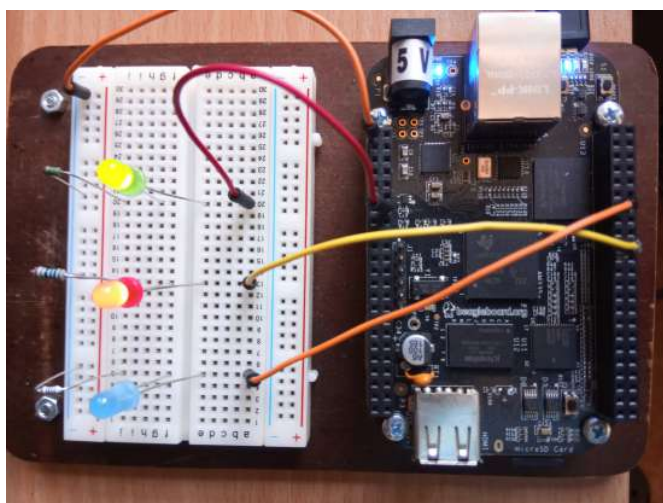


Obrázek 3: Beaglebone Black [1]


5 LED Obvod

Na obr.(4) je vidět zapojení tří LED diod do BeagleBone Black, se kterým jsme pracovali. Kladný pól LED diod jsme zapojili do PWM pinu v Beaglebone Black a záporný pól jsme zapojili přes rezistory v rozmezí od 51Ω do 120Ω do DGND (ground) pinu v Beaglebone Black. V obvodu koluje proud, který se chová podle Ohmova zákona

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$



Obrázek 4: Zapojení obvodu LED diod a Beaglebone Black

P9				P8		
Function	Physical Pins	Function		Function	Physical Pins	Function
DGND	1 2	DGND	MMCI_DAT6	3 4	MMCI_DAT7	
VDD 3.3 V	3 4	VDD 3.3 V	MMCI_DAT2	5 6	MMCI_DAT3	
VDD 5V	5 6	VDD 5V	GPIO_65	7 8	GPIO_67	
SYS 5V	7 8	SYS 5V	GPIO_69	9 10	GPIO_68	
PWR_BTN	9 10	SYS_RESET	GPIO_45	11 12	GPIO_44	
UART4_RXD	11 12	GPIO_60	EHRPWM2B	13 14	GPIO_26	
UART4_TXD	13 14	EHRPWM1A	GPIO_47	15 16	GPIO_46	
GPIO_48	15 16	EHRPWM1B	GPIO_27	17 18	GPIO_65	
SPI0_CS0	17 18	SPI0_D1	EHRPWM2A	19 20	MMCI_CMD	
I2C_SCL	19 20	I2C_SDA	MMCI_CLK	21 22	MMCI_DAT5	
SPI0_DO	21 22	SPI0_SLCK	MMCI_DAT4	23 24	MMCI_DAT1	
GPIO_49	23 24	UART1_TXD	MMCI_DAT0	25 26	GPIO_61	
GPIO_117	25 26	UART1_RXD	LCD_VSYNC	27 28	LCD_PCLK	
GPIO_115	27 28	SPI1_CS0	LCD_HSYNC	29 30	LCD_AC_BIAS	
SPI1_DO	29 30	GPIO_112	LCD_DATA14	31 32	LCD_DATA15	
SPI1_SCLK	31 32	VDD_ADC	LCD_DATA13	33 34	LCD_DATA11	
AIN4	33 34	GND_ADC	LCD_DATA12	35 36	LCD_DATA10	
AIN6	35 36	AIN5	LCD_DATA8	37 38	LCD_DATA9	
AIN2	37 38	AIN3	LCD_DATA6	39 40	LCD_DATA7	
AIN0	39 40	AIN1	LCD_DATA4	41 42	LCD_DATA5	
GPIO_20	41 42	ECAPWMO	LCD_DATA2	43 44	LCD_DATA3	
DGND	43 44	DGND	LCD_DATA0	45 46	LCD_DATA1	
DGND	45 46	DGND				

LEGEND	
Power, Ground, Reset	
Digital Pins	
PWM Output	
1.8 Volt Analog Inputs	
Shared I2C Bus	
Reconfigurable Digital	

Obrázek 5: Beaglebone Black pinout diagram[1]

6 Závěr

V rámci tohoto projektu jsme sestavili jednoduchý LED obvod, pro který jsme naprogramovali front-end a back-end aplikaci, díky které dokážeme tento LED obvod ovládat a monitorovat. Pro back-end jsme použili Python Soft IOC, který v sobě kloubí EPICS IOC a programovací jazyk Python. Front-end jsme vytvořili pomocí softwaru QtDesigner, který funguje na principu "what you see is what you get". Jako zdroj napětí pro LED obvod posloužil BeagleBone Black, který poskytuje napětí do 5 V.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu odbornému garantovi Ing. Lukášovi Holubovi za předané znalosti, ochotu a trpělivost při vypracovávání tohoto projektu. Také bychom chtěli

poděkovat organizátorům TV@J 2019 za uskutečnění této akce.

Reference

- [1] *BeagleBone* beagleboard.org/
- [2] *EPICS* <https://epics.anl.gov/>
- [3] *Python Soft IOC* controls.diamond.ac.uk/downloads/python/pythonSoftIoc/2-10/html/pythonsoftioc.html

Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás

Ondrej Tomášik
Gymnázium J. G. Tajovského
Tajovského 25, 974 01
o.s.tomasik@gmail.com

Patrik Štíbr
SPŠ Ostrov
Klínovecká 1197, 363 01
patrikstibr@seznam.cz

David Hovorka
SPŠ Ostrov
Klínovecká 1197, 363 01
czdahovorkacz@gmail.com

Jiřina Frýbortová,
CMG Prostějov
Komenského 17
frybortova@cmgpv.cz

Abstrakt:

Cílem miniprojektu bylo dozvědět se o zdrojích optického záření, se kterými se setkáváme v běžném životě, jako jsou lasery, LEDky, zářivky i slunce. Změřili jsme časové, spektrální, prostorové a výkonnostní charakteristiky různých optických zdrojů.

1 Úvod

Každý z nás se denně setkává s optickými zdroji záření, jako jsou zářivky, LED, Slunce, lasery a tak dále. Každý z těchto zdrojů má různé vlastnosti, jakými jsou například vlnová délka, výkon, časový průběh a prostorový charakter. A jednotlivé zdroje se těmito vlastnostmi odlišují. Záření z některých zdrojů není okem viditelné, ale může být nebezpečné. Kupříkladu UV záření ze Slunce, nebo výkonná laserová ukazovátka, která jsou volně dostupná a mohou nebezpečným zacházením poškodit náš zrak. Na miniprojektu jsme se zabývali odhalováním celého spektra záření a jeho škodlivostí.

V úvodu jsme dostali základní informace v krátké prezentaci, jaké existuje záření, jaké spektrum záření vidí lidské oko, nebo jaké záření škodí našemu zraku. Dále jsme přešli do laboratoří na krátkou ukázkou odborných pracovišť a samotných laserů. Hlavní část práce spočívala v měření hlavně spektra jednotlivých zdrojů (vyzařovaných vlnových délek). Dále jsme měřili vyzařovaný výkon a časový a prostorový průběh

2 Měření základních charakteristik optických zdrojů

1. Vybrané zdroje a měřící přístroje

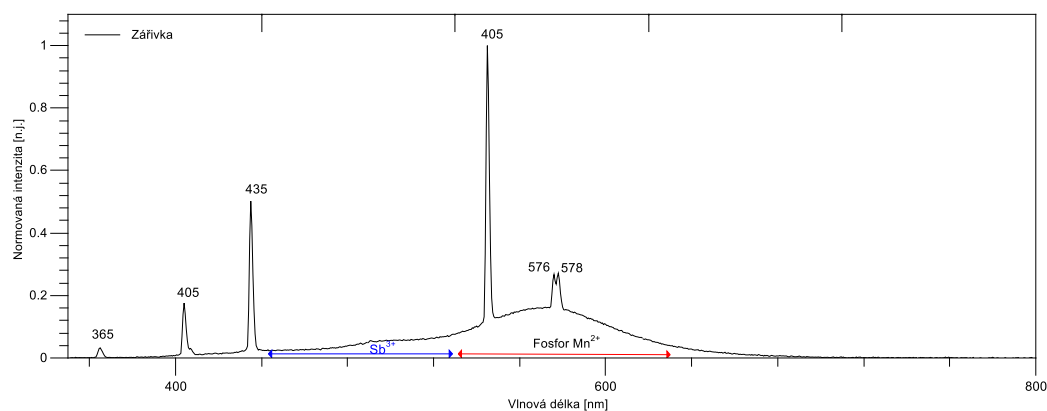
Měřili jsme následující zdroje: Sluneční záření, zářivku bílou LED diodu, laserové ukazovátka (červené, zelené a modré), červený a zelený helium-neonový (He-Ne) laser, počítačovou myš a dálkový ovladač. K měření spektrálních charakteristik jsme použili spektrometry Black-wave a Blue-wave od firmy StellarNet s rozlišovací schopností 1,6 nm.

K měření výkonu jsme použili sondu PS-19 spolu s Wattmetrem EPM2000e od firmy Molectron. Časové charakteristiky jsme zaznamenávali pomocí Osciloskopu TDS 3032 od firmy Tektronix a křemíkové fotodiody. Profil jsme měřili s CCD kamerou WinCamD UCD23

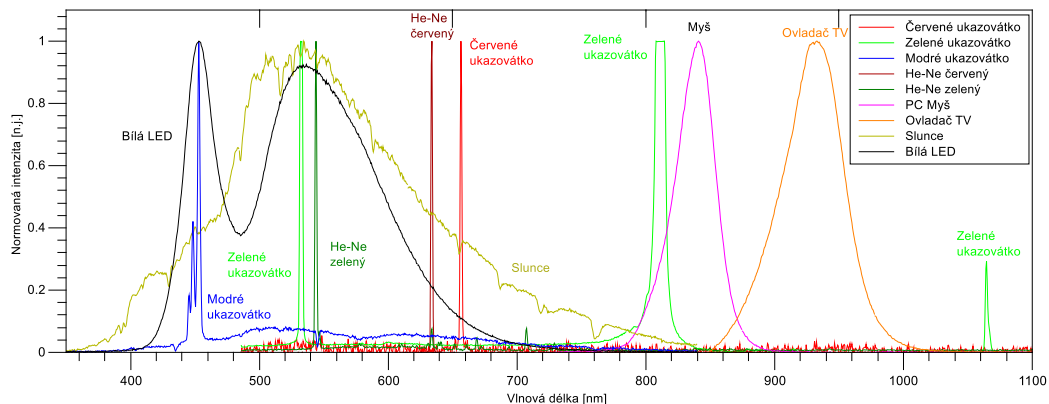
2. Výsledky měření a diskuse

Záření z uvedených zdrojů jsme postupně přiváděli optickým vláknem umístěným v držáku s fokusační čočkou do příslušných spektrometrů připojených k počítači. Pomocí programu SpectraWiz jsme tato spektra zaznamenali a zobrazili do grafů na obrázcích 1 a 2. Vlnové délky a šířky jednotlivých spekter jsme uvedli do tabulky 1 spolu s výkony naměřenými wattmetrem. U vybraných zdrojů (ovladač, zářivky, počítačová myš) jsme změřili časový průběh vyzařování. Výsledky jsou zobrazeny v grafech na obrázku 3. Dále jsme změřili profil svazku He-Ne laseru a dvou laserových ukazovátek, profily jsou zobrazeny na obrázku 4.

Na obrázku 1 je samostatně zobrazeno spektrum zářivek místnosti. V zářivkách dochází k doutnavému výboji a následnému záření v UV oblasti. Stěny trubice jsou opatřeny fosforem obsahujícím mangan Mn^{2+} a antimon Sb^{3+} transformujícím UV záření na viditelné světlo. Ve spektru na obrázku 1 lze pozorovat úzké spektrální čáry odpovídající vyzařování par rtuti a široké spojité spektrum vyzařované luminoforem, které vnímáme jako bílou barvu zářivek [1]. Spektra ostatních zdrojů jsou zobrazena v grafu na obrázku 2. Z obrázku je patrné, že nejširší spektrum odpovídá záření ze slunce, navíc je z důvodu omezeného rozsahu spektrometru zobrazena jen jeho malá část. Křivka dosahuje maxima na 534,5 nm, což odpovídá podle Wienova posunovacího zákona $\lambda_{max} = 2898/T$ ($\mu m, K$) teplotě 5 422 K. Odhadli jsme skutečnou teplotu povrchu slunce (5780 K) s chybou menší než 7 % [2]. Nejužší spektra, (řádově jednotky nm), odpovídají laserům. Vyzařování v úzkém okolí jedné vlnové délky je jejich charakteristickou vlastností. Spektra He-Ne laserů jsou ve skutečnosti patrně ještě užší, naměřená šířka je omezená rozlišovací schopností spektrometrů (1,6 nm). Spektra LED, tedy i zdroje záření v ovladači a počítačové myši, jsou široká řádově desítky nm. Výjimkou je bílá LED, jejíž spektrum je tvořeno užší čarou v modré oblasti a širším spektrem pokrývajícím téměř celou viditelnou oblast. Bílá LED ve skutečnosti vyzařuje v modré oblasti a její povrch je pokrytý luminoforem podobně jako v případě zářivek. Zajímavým zdrojem jsou laserová ukazovátká. Vysoký výkon, (zde kolem 100 mW, ale snadno lze sehnat i výkonnější) je velmi nebezpečný pro zrak. Navíc zelená laserová ukazovátká vyzařují neviditelné infračervené záření, které může i nevědomky poškodit sítnici a často není dostatečně odfiltrováno, jako je tomu v případě námi měřeného ukazovátká.



Obrázek 1: Spektrum zářivky

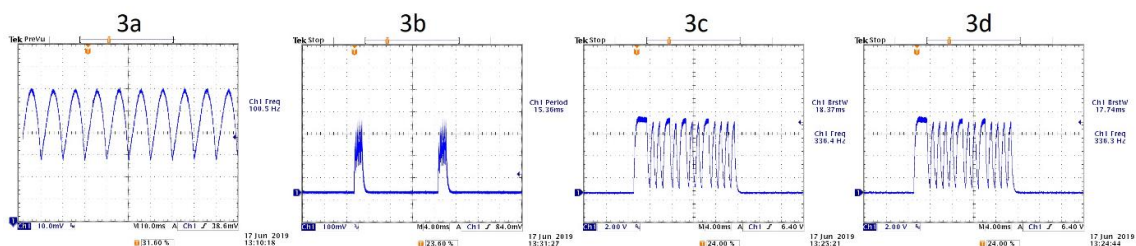


Obrázek 2: Spektrum vybraných zdrojů optického záření

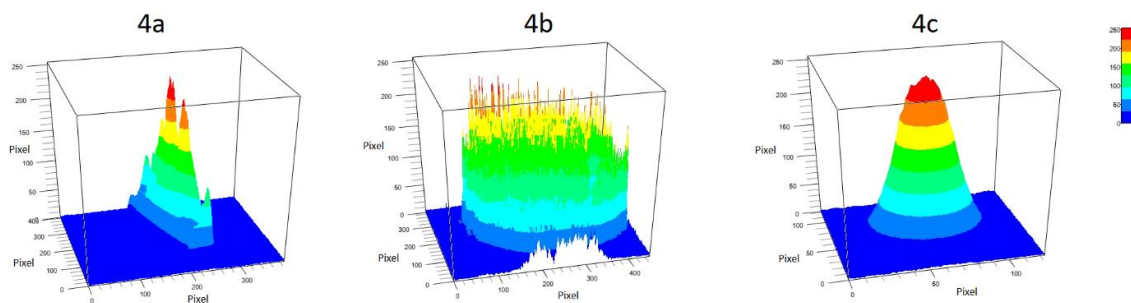
Tabulka 1: Výkon, vlnová délka a šířka čáry vybraných zdrojů

Zdroj záření	Výkon [mW]	Vlnová délka [nm]	Šířka čáry [nm]
Slunce	-	534,5	-
Bílá LED	4,6	453; 536	32,5; 98,4
Červené ukazovátko	123,4	656,5	1,3
Modré ukazovátko	0,9	453	2,1
Zelené ukazovátko	80	532,5; 808; 1064,5	2,1; 8,7; 1,7
He-Ne laser červený	0,4	634	1,2
He-Ne laser zelený	0,8	544	1,3
Myš	0,5	841	3,3
ovladač	3,7	933	4,5

Na obrázku 3 jsou zobrazeny časové průběhy záření zářivky, myši a dálkového ovladače. Zářivka (obr. 3a) má periodický průběh s frekvencí 100,5 Hz co odpovídá usměrněnému průběhu napětí ze sítě. Záření myši (obr. 3b) má periodu 15,4 ms, což umožňuje plynulé snímání jejího pohybu po podložce. Na obr. 3c a 3d je časový průběh signálů z dvou různých tlačítek ovladače, jejichž různý průběh může televizor vyčíst a provést požadovanou akci.



Obrázek 3: Časové průběhy záření zářivky (3a), PC myši (3b), ovladače TV (3c a 3d)



Obrázek 4: Prostorové profil laserových svazků: modré ukazovátka (4a), zelené ukazovátka (4b), zelený He-Ne laser (4c)

Na obrázku 4 pro ilustraci prostorové profily laserových svazků. Na obr. 4a je profil modrého ukazovátka, který má obdélníkový tvar s více maximy. Na obr. 4b je profil svazku zeleného laserového ukazovátka, který má cylindrický tvar. Profil svazku znázorněný na obrázku 4c je ze zeleného He-Ne laseru, jenž má dobře definovaný Gaussovský tvar. Pro tento svazek jsme z měření jeho průměru ve třech různých vzdálenostech vypočítali jeho přibližnou divergenci 3,1 mrad, skutečná divergence měla být přibližně 1,7 mrad.

3 Shrnutí

V rámci miniprojektu jsme byli obohaceni o znalosti, díky kterým jsme změřili vlastnosti různých optických zdrojů, jako například jejich vlnovou délku (spektrum), výkon a jejich intenzitu. Také jsme pomocí osciloskopu změřili časové průběhy signálu tlačítek ovladače, kde jsme díky různým časovým průběhům dokázali rozeznat různá tlačítka. Jako další jsme se dozvěděli, že výkon některých laserových ukazovátek je příliš velký a mohl by poškodit zrak.

Poděkování

Velmi bychom chtěli poděkovat našim odborným poradcům Ing. Karlu Veselskému a Ing. Janu Kratochvílovi za odbornou pomoc při našem projektu. Dále děkujeme fakultě FJFI a ČVUT za zorganizování této akce, a také škole SPŠ Ostrov za finanční podporu pro tuto akci.

Reference:

- [1] [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FLUORESCENT_LAMP](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp)
- [2] [HTTPS://CS.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/WIENŮV_POSUNOVACÍ_ZÁKON](https://cs.wikipedia.org/wiki/Wienův_posunovací_zákon)

Jak nám pomáhají tenké vrstvy

R. A. Klem¹, P. Kristen², M. Matoulek³

Gymnázium Brno, Křenová, příspěvková organizace¹

Gymnázium Děčín, příspěvková organizace²

Jiráskovo gymnázium, Náchod, Řezníčkova 451³

klemrobert7@gmail.com¹

petrkristen8@gmail.com²

michal.matoulek1@seznam.cz³

Abstrakt:

Práce krátce seznamuje se smyslem využití tenkých vrstev a popisuje metody využívané v praxi ke zjišťování jejich vlastností. Těmito vlastnostmi jsou tloušťka, tvrdost a Youngův modul. Z měření, která jsme provedli vyplývá, že ochranné tenké vrstvy nanášené na předměty z běžných materiálů mají výrazně větší tvrdost umožňující jejich lepší využití.

1 Úvod

Vrstvu materiálu považujeme za tenkou, pokud má tloušťku mezi desítkami nanometrů až několika mikrometry. V dnešní době jsou hojně využívány za účelem zlepšení vlastností materiálů při zachování přijatelné ceny.

Jako příklad lze uvést optiku, kde nanosením tenké vrstvy na čočku můžeme redukovat nežádoucí odrazy, zvýšit tvrdost či zlepšit odolnost proti nečistotám. Ve zdravotnictví se nanáší např. na kloubní náhrady, v elektrotechnickém průmyslu na konektory, či ve strojírenství na brusné a řezné nástroje [1].

Během našeho miniprojektu jsme využili metodu kalotest pro měření tloušťky vrstev a metodu nanoindentace pro měření tvrdosti a Youngova modulu pružnosti.

2 Materiály a metody

Měření tloušťky byla provedena na vrstvách nitridu titanu na bitu a na galvanicky nanesené mědi na oceli, dále pak na multivrstvách nitridu titanu s titanem a nitridu chromu s chromem. Tloušťka byla zjištěna metodou kalotest (obr. 1), která spočívá ve vybroušení kulového vrchlíku do studované vrstvy pomocí ocelové kuličky po přidání brusné suspenze.

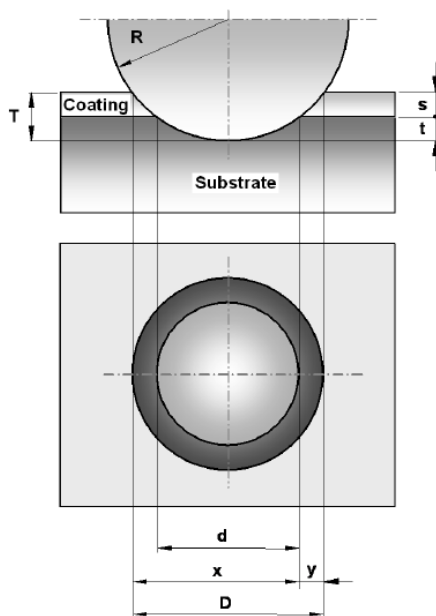


Obr. 1 – Uspořádání metody pro měření tloušťky – Kalotest [2].

Tloušťka vrstvy s se spočítá vztahem:

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

kde R je poloměr kuličky a x a y jsou geometrické rozměry definované na obrázku 2.



Obr. 2 – Geometrie vybroušené dutiny [3].

Tvrdość a modul pružnosti multivrstev nitridu titanu s titanem a nitridu chromu s chromem a substrátu z korozivzdorné oceli AISI 304L byly stanoveny metodou nanoindentace založené na vnikání diamantového hrotu do tenké vrstvy. Hloubka vtisku nesmí být větší, než 1/10 tloušťky vrstvy, jinak by došlo k ovlivnění měření vlastnostmi substrátu. Hrot měl tvar trojbokého jehlanu (Berkovichův indentor).

V průběhu celého testu je zaznamenávána hloubka vtisku a aplikovaná síla. Data byla zpracována metodikou Oliver-Pharr [4]. Tvrdość se dopočítá pomocí vzorce:

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

kde F_{max} je maximální aplikovaná síla a A je promítnutá plocha vtisku spočtená z kontaktní hloubky a přesné znalosti tvaru hrotu.

Redukovaný Youngův modul E_r , který zahrnuje elastické vlastnosti jak měřeného materiálu, tak diamantového hrotu, je stanoven vztahem:

$$E_r = \frac{S \sqrt{\pi}}{2 \beta \sqrt{A}}$$

kde S je kontaktní tuhost (směrnice počátku odlehčující části indentační křivky), β je konstantní korekční faktor zohledňující geometrii hrotu (pro Berkovichův hrot $\beta = 1,034$). Při znalosti Youngova modulu (E_i) a Poissonova čísla (ν) diamantu a Poissonova čísla zkoumaného materiálu (ν) se Youngův modul (E) zjistí dle vzorce:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$$

3 Výsledky a diskuze

Tloušťka studovaných vrstev se pohybovala v jednotkách mikrometrů a výsledky prezentuje tabulka 1. Vzorek TiN/Ti (obr. 3) byl připraven v laboratoři, zatímco TiN na obrázku 4 pochází z průmyslové výroby, tudíž má, jak je patrné z obrázku, i nižší kvalitu, která se projevila větším rozptylem naměřených hodnot.

Tab. 1 – Výsledky měření tloušťky.

	TiN/Ti	TiN	CrN/Cr	Cu
celková tloušťka [μm]	3.97 ± 0.13	2.13 ± 0.98	5.90 ± 0.03	3.82 ± 0.55
tloušťka jedné vrstvy TiN [μm]	0.58 ± 0.01	–	–	–



Obr. 3 – Vybroušená dutina v multivrstvě TiN/Ti.

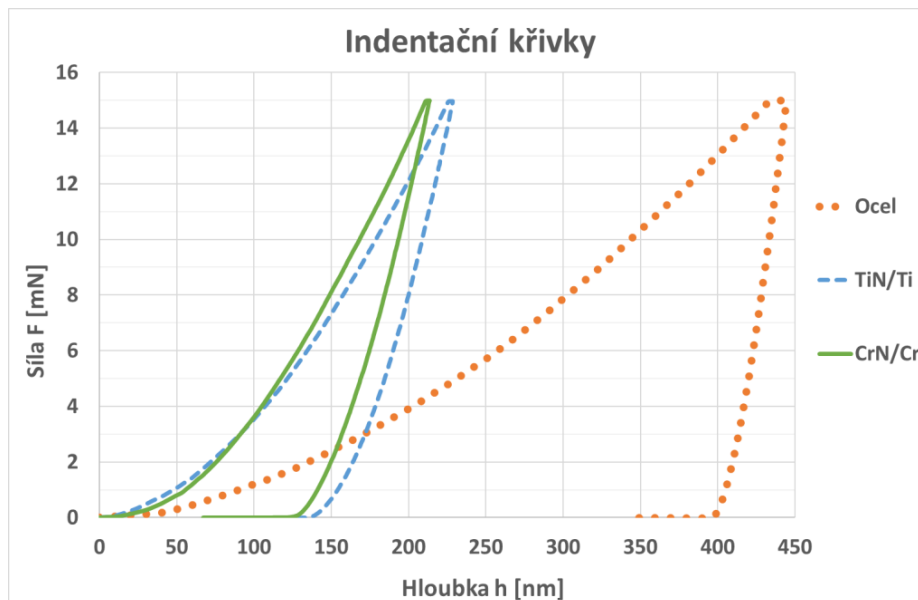


Obr. 4 – Vybroušená dutina v průmyslově vyrobené vrstvě TiN.

Ukázka indentačních křivek síla-hloubka vtisku je na obrázku 5 a výsledky měření tvrdosti a Youngova modulu jsou shrnuty v tabulce 2. Ověřili jsme, že nanášené tenké vrstvy, konkrétně TiN/Ti a CrN/Cr jsou výrazně tvrdší než substrát (ocel) a mají větší modul pružnosti. Při porovnání TiN/Ti a CrN/Cr jsme zjistili mírně větší tvrdost i modul pružnosti u multivrstvy CrN/Cr.

Tab. 2 – Výsledky měření tvrdosti (H) a Youngova modulu (E)

	TiN/Ti	CrN/Cr	ocel
H [GPa]	15.56 ± 3.50	17.98 ± 2.97	3.28 ± 0.12
E [GPa]	268.01 ± 41.09	290.07 ± 31.52	203.21 ± 12.41



Obr. 5 – Typické indentační křivky.

4 Shrnutí

V miniprojektu jsme změřili vlastnosti několika tenkých vrstev a prokázali, že tenké vrstvy prokazatelně zlepšují mechanickou odolnost běžně používaných materiálů, což vede k prodloužení životnosti zařízení a jejich využití je ekonomicky výhodné.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Jaroslavu Čechovi, Ph.D. za čas, který nám ochotně věnoval, a především pak za odborné vedení naší skupiny.

Reference:

- [1] http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf (ONLINE 18. 6. 2019)
- [2] <http://www.directindustry.com/prod/anton-paar/product-16352-1866864.html> (ONLINE 18. 6. 2019)
- [3] *Calotest User manual*, CSM Instruments, 2011, 21 p.
- [4] OLIVER, W. C. – PHARR G. M.: *Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology*. Journal of Materials Research 19, 2004, pp. 3–20.

Tenkové vrstvy

N. H. Hoang

Gymnázium a SOŠ dr. Václava Šmejkala, Stavbařů 2857/5, Ústí nad Labem
hoangjosef@gmail.com

18. června 2019

Abstrakt

Tenkové vrstvy o mikrometrové tloušťce našly uplatnění v různých oborech – elektronice, energetice, ale i v běžném životě. Tato práce se zabývá tvorbou tenké vrstvy relativně novou metodou nanášení *Ionised Jet Deposition (IDJ)* – přenesením materiálu pomocí elektrického výboje. Vzniklá tenká vrstva je následně charakterizována s využitím rentgenové difrakce pro určení krystalické struktury a tloušťky vrstvy.

1 Úvod

Velké množství materiálů často vyžaduje různé povrchové úpravy pomocí tenkých vrstev. Tyto úpravy mohou sloužit jako ochrana (v případě ochranného povrchu železných tyčí v jaderném reaktoru), poskytovat nové, případně vylepšené vlastnosti (antireflexní vrstvy na sklech brýlí nebo vodivý povrch displejů dotykových zařízení) nebo mohou mít čistě dekorativní účel (zejména vrstvy zlatavé barvy). Tenké vrstvy v nich použité mají tloušťku nejčastěji v řádu mikrometrů. Mohou být nanášeny různými způsoby, od nejjednoduššího nástřiku přes galvanické pokovení a elektroforézu až ke složitějším přístrojovým depozicím. V našem projektu se zabýváme tenkou vrstvou nitridu titanu – nanesením metodou *Ionised Jet Deposition (IJD)* používající přenos materiálu pomocí elektrického výboje a následnou analýzou krystalické struktury a tloušťky vrstvy, kde se využívá rentgenové difrakce.

2 Příprava vrstvy

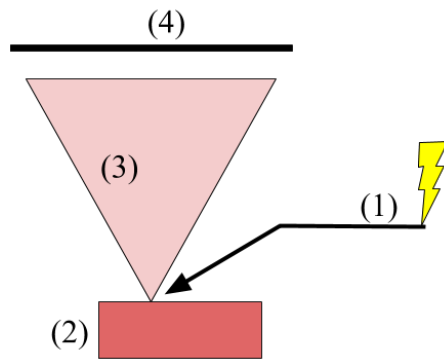
Nitrid titanu

Nitrid titanu TiN je tmavý hnědý prášek, nejčastěji se však využívá v hladkých vrstvách, ve kterých má zlatavou barvu. Kromě jeho dekorativní barvy se využívá i jeho odolnosti a tvrdosti, například v ochranných površích chirurgických nástrojů, medicínských implantátů a strojních součástí, například vrtáků. [3]

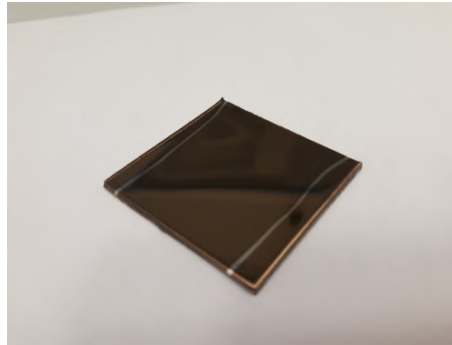
Metoda Ionised Jet Deposition

Metoda nanášení Ionised Jet Deposition spočívá ve vytvoření elektrického výboje (1), kterým ostřelujeme terčík (2) z materiálu, který chceme nanést. V našem případě se

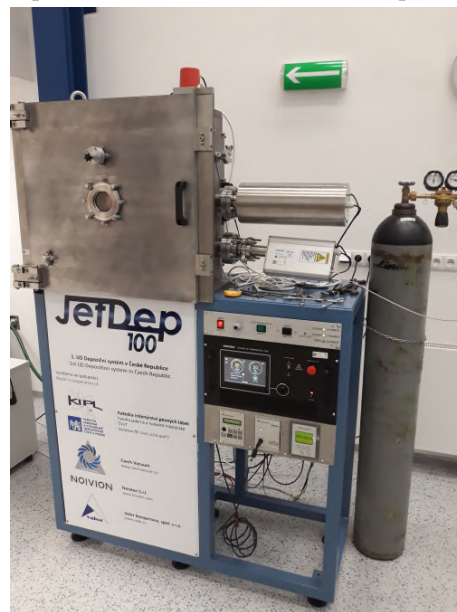
jedná o kovový titan (v průběhu depozice se sloučí s dusíkem přítomným v komoře za vzniku nitridu titanu). Po zasažení dochází k povrchové explozi materiálu a jeho emisi do okolí (3) ve formě plazmy. Ta se pak uchycuje na žádaný substrát (4) a vzniká tenká vrstva o složení shodném s terčíkem, nebo kombinovaném s přítomným pracovním plynem (v našem případě tedy dusíkem).



(a) Schéma procesu



(b) Vzniklá vrstva TiN (zlatavá barva) na ocelovém podkladu (stříbrolesklý)



(c) Přístroj na IJD, celkový pohled

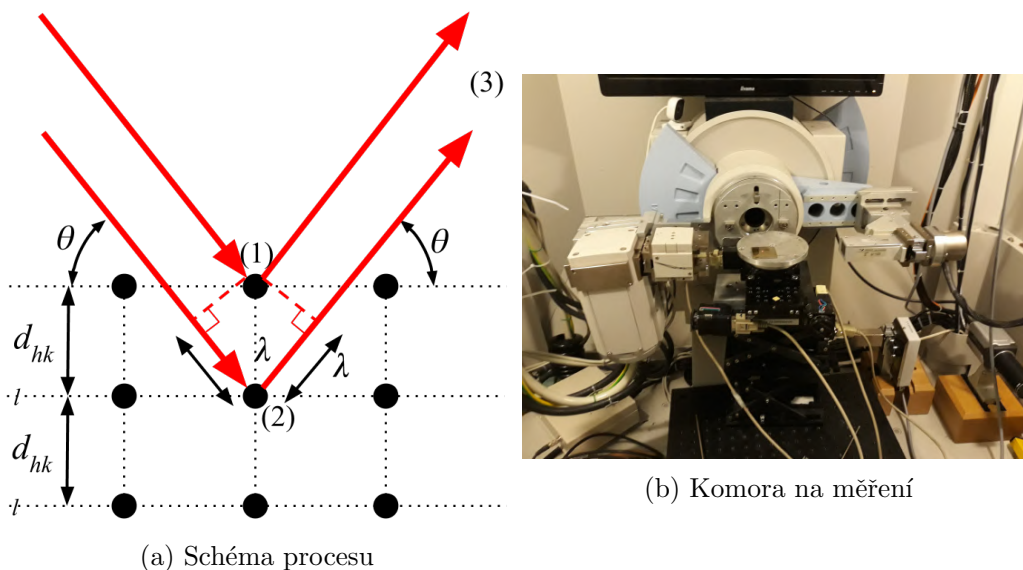
Obrázek 1: Ionised Jet Deposition

3 Rentgenová difrakce

K analýze vytvořené tenké vrstvy se využívá rentgenové difrakce dle obr. 2a. Příchozí koherentní rentgenové záření se rozptyluje na částicích v různých rovinách (označených obecně Millerovými indexy hkl krystalické mřížky (1 a 2), jejich dráhy jsou ale různé a po rozptylu spolu budou interferovat/difraktovat (3). Z geometrie pak můžeme zjistit vzdálenost mezi těmito rovinami na základě známé vlnové délky a úhlu θ , na kterých

došlo ke konstruktivní interferenci dle Braggovy rovnice:

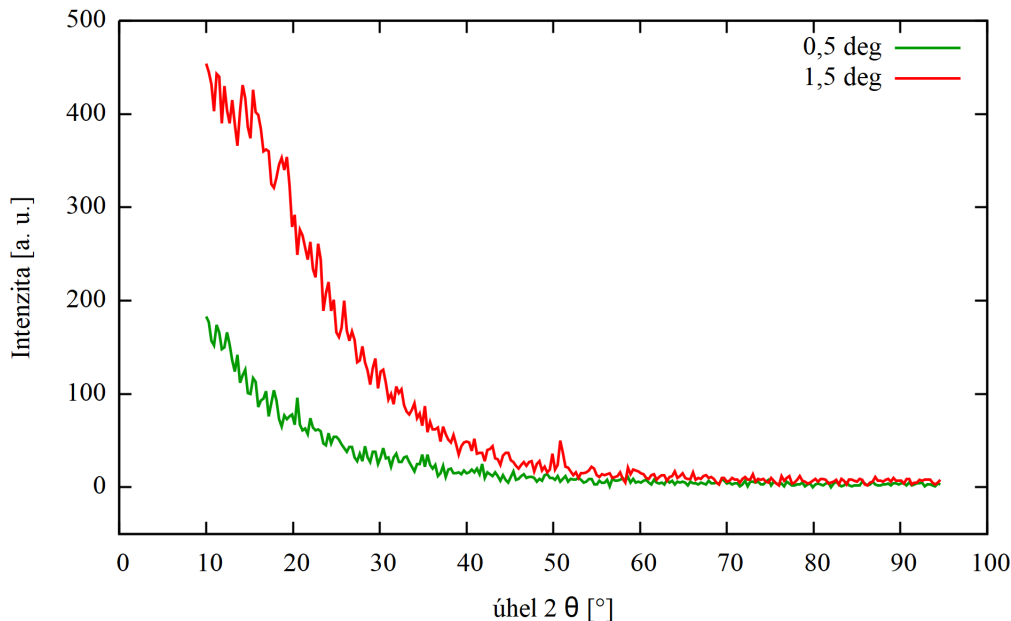
$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$$



Obrázek 2: Rentgenová difrakce

U rentgenové difrakce máme dva různé způsoby: symetrickou a asymetrickou. U symetrické se pohybují zdroj rentgenového záření i detektor a používá se obecně na zkoumání krystalické struktury ve větší hloubce (jednotky až desítky μm), také měří pouze roviny v krystalech, které jsou rovnoběžné se zkoumaným povrchem. Asymetricky způsob spočívá v pohybu pouze detektoru, zdroj záření zůstává pod nízkým úhlem (jednotky stupňů) a umožňuje měřit všechny roviny v krystalech nezávisle na jejich orientaci. Také neproniká tak hluboko (řádově pouze stovky nanometrů), tento způsob je narozdíl od symetrického schopen zaznamenat i takto tenké vrstvy. [2]

Při měření krystalické struktury vytvořené tenké vrstvy jsme použili asymetrickou metodu, kde úhel zdroje záření byl $0,5$ a $1,5^\circ$ a detektor se pohyboval v úhlech $-$. Změřená intenzita rentgenového záření v závislosti na úhlu θ je na grafu na obr. 3. Vzhledem k absenci zřetelných difrakčních peaků lze usoudit, že TiN ve vrstvě je amorfního charakteru. Lze předpokládat, že toto bylo způsobeno příliš rychlým ochlazením materiálu, tedy nedošlo k vytvoření dostatečně velkých měřitelných krystalů. Dále jsme měřili tloušťku tenké vrstvy. Rentgenové záření se při průchodu vrstvou exponenciálně zeslabuje. Je tedy možné změřit intenzitu rentgenového záření na podložce bez nanesené vrstvy a s ní, a na základě rozdílu mezi intenzitami pak dopočítat tloušťku vrstvy. Tímto výpočtem jsme určili tloušťku vytvořené tenké vrstvy na $0,5 \mu\text{m}$ (dle [1] je chyba určení touto metodou přibližně 20 %).



Obrázek 3: Závislost intenzity difraktovaných RTG paprsků na úhlu při měření asymetrické rentgenové difrakce

4 Shrnutí

V rámci projektu byla vytvořena tenká vrstva TiN metodou Ionised Jet Deposition využívající přenos materiálu ve formě plazmatu generovaného elektrickým výbojem. U vzniklé vrstvy byla následně charakterizována struktura a tloušťka vrstvy použitím asymetrické a symetrické rentgenové difrakce. Krystalická struktura nebyla naměřena, tedy předpokládáme vzhledem k procesu vzniku amorfni charakter. Tloušťka vrstvy byla měřena pomocí poklesu intenzity difraktovaných paprsků a byla určena na $(0,5 \pm 20\% \mu\text{m})$

Poděkování

Chtěl bych poděkovat lektorům projektu, Ing. Jiřímu Černému a Štěpánu Nekvindovi a Katedře inženýrství pevných látek za možnost zpracovávat toto velmi zajímavé téma. Dále bych chtěl poděkovat Týdnu vědy na Jaderce, Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a Ing. Kateřině Jirákové za pořádání této velmi zajímavé přínosné akce.

Odkazy

- [1] Kraus, Ivo. *Úvod do strukturní rentgenografie*. Academia, 1985.
- [2] Pecharsky, Vitalij K. a Zavalij, Peter Y. *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*. 2. vyd. Springer, 2009. ISBN: 978-0-387-09578-3.
- [3] Wikipedia contributors. *Titanium nitride* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online; accessed 18-June-2019]. 2019. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Titanium_nitride&oldid=900058937.

Termoluminiscenční dozimetrie

J. Stehlík¹, M. Moravčík², T. Malinský³

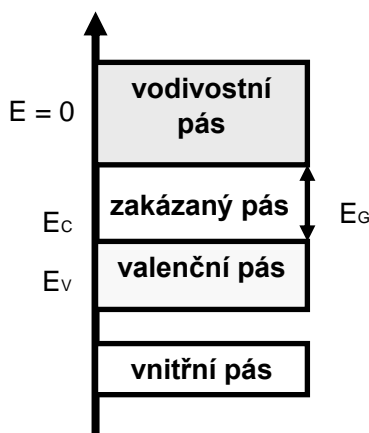
¹SPŠ Ostrov, ²EGJT Liptovský Mikuláš, ³PSJG v Hradci Králové

honzastehla1@atlas.cz

Úvod

Termoluminiscenční dozimetrie se využívá všude, kde se pracuje s ionizujícím zářením. V rámci bezpečnosti je nutné kontrolovat pracovníky, aby u nich nedocházelo k nadměrnému ozařování. Mohlo by totiž docházet k různým negativním změnám v organismu, což by mohlo vést až k samotné smrti. Stejně jako fyzici používají k ochraně dozimetrie, tak například chemici používají při práci gumové rukavice.

Při ozařování některých pevných látek dochází v jejich elektronových obalech k vratným změnám. Samotnou termoluminiscenci lze definovat jako jev, při kterém ozářená látka po zahřátí emituje fotony ve viditelném spektru, kde množství světla je do určité míry úměrné množství energie, které látka přijala. Když tyto látky absorbují ionizující záření, dochází k excitaci valenčních elektronů. Ty následně přeskočí do vyšších energetických hladin ve vodivostním pásu. Při zpětném návratu do vzniklých kladně nabitých děr se může stát, že elektron uvízne v energetických centrech zakázaného pásu tzv. pastí. Když takové látce dodáme množství energie, dojde k rekombinaci jejich elektronů v luminiscenčních centrech a následně emitují fotony (viz obr. 1) [1][2].



Obr. 1 Pásový model

Cílem této práce je zjistit druh závislosti mezi intenzitou luminiscence LiF a absorbovaného ionizujícího záření. Vedle toho jsme chtěli výsledky prověřit pomocí jednoho vzorku, který byl ozařován po dobu 500 s. Pokud bude sedět na výsledném grafu, tak měření proběhlo správně.

1 Metodika – použité přístroje

Vakuová pinzeta – aby nedošlo k nanesení různé špíny (prach, mastnota, kousky kůže aj.) na dozimetry, tak se používá vakuová pinzeta – ona špína by při měření intenzity luminiscence na Harshaw TLD 3 500 shořela. Ta funguje tak, že na konci je objekt připomínající injekci, v němž se vytvoří podtlak, a tak pevně uchopí požadovaný předmět.

Ozařovač GammaCell 220 - tento přístroj se používá k řízenému ozařování vybraných materiálů. Funguje tak, že materiál se vloží do válcového výtahu a uzavře. Výtah je spuštěn dolů, kde se nachází prsteneček radioaktivního ^{60}Co (viz obr. 2).

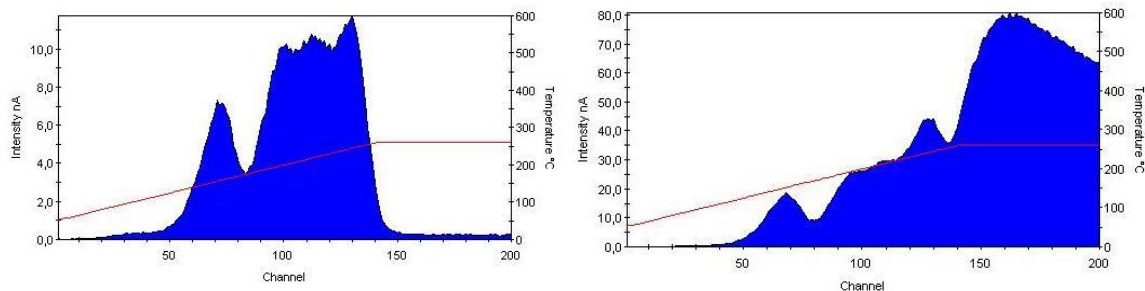


Obr. 2 GammaCell 220

Harshaw TLD 3 500 – se používá k měření luminiscence předmětů po stimulaci teplem. Na plechovou destičku je dán předmět, destička se postupně ohřívá od 50 °C do 260 °C. To způsobí, že vzorek začne emitovat fotony. Protože je snaha zachytit i to nejnepatrnější světlo, je do přístroje zabudován fotonásobič. Přístroj pak utvoří graf, na němž lze vidět jak křivku růstu teploty tak i luminiscence (viz obr. 3, 4 a 5).



Obr. 3 Harshaw TLD 3 500



Obr. 4, 5 Graf luminiscence (modrá plocha) a vyhřívací křivky (červená křivka)

2 Měření

Pro odvození závislosti intenzity luminiscence látky a absorbovaného ionizujícího záření byly zvoleny 4 skupiny, které byly vystaveny ionizujícímu záření po určitou dobu. Našimi vzorky byl LiF:Mg,Ti, který byl vystaven ionizujícímu záření v ozařovači GammaCell 220. V každé skupině bylo 10 tablet LiF pro přesnost následujících měření. Aby bylo zabráněno kontaminaci vzorků, byla použita vakuová pinzeta.

Jednotlivé lahvičky se vzorky měly být ozařované po takovou dobu, aby absorbovaná dávka byla 1, 3, 5 a 7 Grayů. K těmto skupinám byla přidána ještě jedna, u níž byla určena pouze doba ozařování. Ozařovač za jednu hodinu dokáže ozářit 27,91 Gy/hod, z čehož bylo vypočítáno, jak dlouho je potřeba ozařovat (viz hodnoty tabulku 1).

Tabulka 1 Požadovaná absorbovaná dávka a patřičná doba ozařování

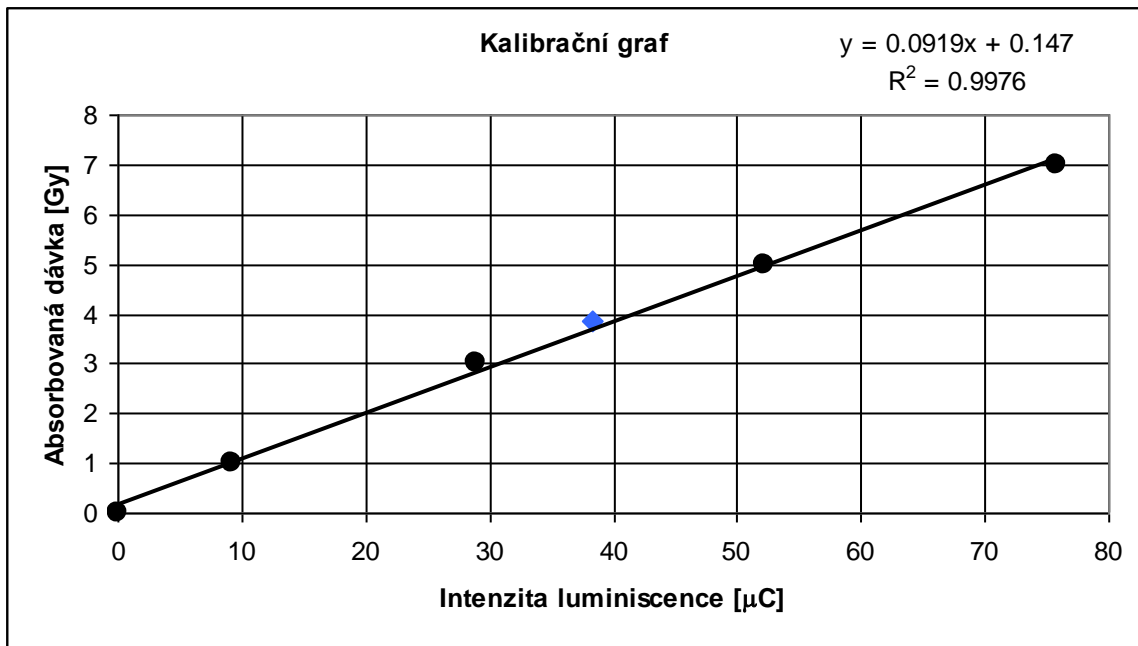
Absorbovaná dávka [Gy]	0	1	3	5	7	neznámá
Doba ozařování [s]	0	129	387	645	903	500

Aby měření netrvalo příliš dlouho, byly ozařovány skupiny současně. Společně byly dány do držáku, nechaly se ozařovat tu danou dobu a vždy, když uběhla vypočtená doba, byla jedna skupina vyndána a zbytek pokračoval.

Dalším krokem po ozáření bylo měření, kolik světla zvládne vyprodukovat po tepelné stimulaci. K měření luminiscence byl použit přístroj Harshaw 3 500. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány.

3 Výsledky

Naše měření proběhlo úspěšně. Na základě našeho měření jsme zjistili, že závislost mezi absorbovanou dávkou ionizujícího záření a intenzitou luminiscence je lineární. Funkci jsme vyjádřili předpisem $f(x) = 0,0919x + 0,147$. Výsledky byly dány do grafu (viz. graf 1).



Graf 1 Závislost absorbované dávky a intenzity luminescence

Kontrolní vzorek (viz modrý čtvereček v grafu) jsme ozářili neznámou dávkou. Stanovili jsme odezvu, která byla 38 μC a tu dosadili do rovnice. Výsledná dávka byla 3,66 Gy. Když jsme takto naměřenou hodnotu porovnali s hodnotou, která byla předpokládaná (3,88 Gy), zjistili jsme, že relativní odchylka je 14 %, což mohlo být způsobeno delším časem ozařování, nebo skutečností, že dozimetry jsou už staré.

4 Závěr

Podářilo se nám zjistit druh závislosti mezi intenzitou luminescence LiF a absorbovaného ionizujícího záření. Přesnost tohoto vztahu byla prověřena pomocí skupiny dozimetrů, která byla ozařena dávkou 3,7 Gy a srovnána s hodnotou vypočtenou z kalibrační rovnice pomocí naměřené hodnoty odezvy. Stanovená dávka je zobrazena v grafu.

Zdroje

[1] ADLIENĚ, Diana a Rūta ADLYTĚ. *DOSIMETRY PRINCIPLES, DOSE MEASUREMENTS AND RADIATION PROTECTION*. Kaunas University of Technology, Physics Department, Student ū g. 50, LT-51368 Kaunas, Lithuania, 2015. Kaunas University of Technology.

[2] ISO. (2015). *Guide for absorbed-dose mapping in radiation processing facilities*. ISO/ASTM 52303:2015.

Sondová měření na tokamaku GOLEM

L. Hejna¹, J. Petrášek², D. Pluhář³, O. Švihnos²

SPŠSE ČB¹, Gymnázium Děčín², Gymnázium Nový Bydžov³

david.pluhar@seznam.cz

Abstrakt:

Náš projekt se zabýval sondovými měřeními na tokamaku GOLEM. S kombinovanou sondou jsme měřili ve vzdálenostech od 100 do 42 mm od středu komory. Ball-pen sondou jsme změřili profil potenciálu plazmatu a zjistili jsme, že plazma se během výboje pohybuje nahoru. Tunelovou sondou jsme změřili Machovo číslo ve vzdálenosti 85 mm od středu komory a došli jsme k závěru, že plazma teče směrem k limiteru.

1. Úvod

V dnešní době se při výrobě elektrické energie potýkáme s mnohými problémy. Bez elektrické energie bychom už dnes nemohli být, protože ji využíváme každodenně. energii pobíráme z mnoha zdrojů, které však nejsou ideální. Například v uhelných elektrárnách se spaluje velké množství černého či hnědého uhlí, které do ovzduší vypouští oxid uhličitý, oxid siřičitý a popílek. Zároveň těžba uhlí v povrchových a hlubinných dolech je nebezpečná pro horníky. Tyto elektrárny spotřebovávají velké množství uhlí, jehož doprava je náročná a neekologická. Proto hledáme nové zdroje energie, které budou ekologičtější, levnější a dostupné pro všechny země.

Termojaderná fúze je energetický zdroj budoucnosti, na který se snaží přijít vědci po celém světě. Proto bychom chtěli investovat do tohoto výzkumu, aby bylo možné zkonstruovat fúzní elektrárny. Palivem v těchto elektrárnách bude deuterium-tritiová směs za teploty 150 milionů kelvinů. A tedy bude ve stavu plazmatu, extrémně horké látky tvořené ionty a elektrony.

Největší výzva fúzní elektrárny je udržet plazma. Jeden z typů fúzního reaktoru se nazývá tokamak. Plazma v tokamaku je uchováváno ve vakuové komoře, a ta má tvar prstence neboli toru. Tuto komoru obepínají magnetické cívky, kterým se říká toroidální cívky. Velikost pole těchto cívek v tokamaku dosahuje až několik tesla. Nabité částice se mohou volně pohybovat pouze ve směru magnetického pole, nikoli napříč. To znamená, že plazma může proudit pouze podél magnetického pole, a nemůže utéct ze středu komory.

Fyzika plazmatu v tokamaku je velice komplikovaná a stále probíhá intenzivní výzkum, kde se jí snažíme porozumět. Na tokamaku GOLEM jsme zkoumali vlastnosti okrajového plazmatu pomocí sond.

Z měření potenciálu plazmatu pomocí pokročilé elektrické sondy jsme ukázali, že plazma se během výboje pohybuje nahoru, a s pomocí tunelové sondy jsme zjistili, že plazma v okrajovém plazmatu teče v toroidálním směru k nejbližší stěně.

2. Měření

Měřili jsme potenciál a plovoucí napětí okrajových částí plazmatu. Hodnoty jsme získali pomocí kombinované sondy (vizte obrázek), která zahrnuje Langmuirovu, ball-pen a dvojitou tunelovou sondu. Sonda vstupuje do komory ze spodního portu a lze jí manipulovat ve vertikálním směru.

Langmuirova sonda je vodič, zavedený do plazmatu. Měření se provádí zavedením napětí mezi vodičem a zemí. Chtěli jsme měřit za plovoucího napětí, kdy má napětí na vodiči nulovou hodnotu. Sonda, s níž jsme měřili je však poškozená a neudává správné hodnoty.



Obrázek 1 Kombinovaná sonda

Ball-pen sonda obsahuje kónický hrot, zapuštěný ve válci z izolantu. Dokáže z magnetizovaného plazmatu vyčíst hodnotu potenciálu plazmatu. [Adámek, 2014]

Tunelová sonda, přesněji dvojitá tunelová sonda, je tvořena čtyřmi elektrodami, dvěma tunely a dvěma kryty. Tunel a kryt prakticky tvoří válec s jednou otevřenou podstavou. Sondy jsou k sobě připojeny kryty a otevřené podstavy směřují po (a proti) trajektoriích toroidního pohybu. Bývají pod záporným napětím, většinou -100 V a měří Machovo číslo. [Gunn, 2002] My jsme měřili na -76 V.

Potenciál plazmatu jsme měřili na ball-pen sondě a Machovo číslo na dvojitě tunelové sondě.

3. Zpracování dat

Námi naměřené hodnoty jsme zpracovávali v jazyku Python. Zdrojový kód je v příloze.

Výstřel	30885	30886	30887	30888	30890	30891	30892	30893
r (mm)	100	95	90	85	80	75	70	65

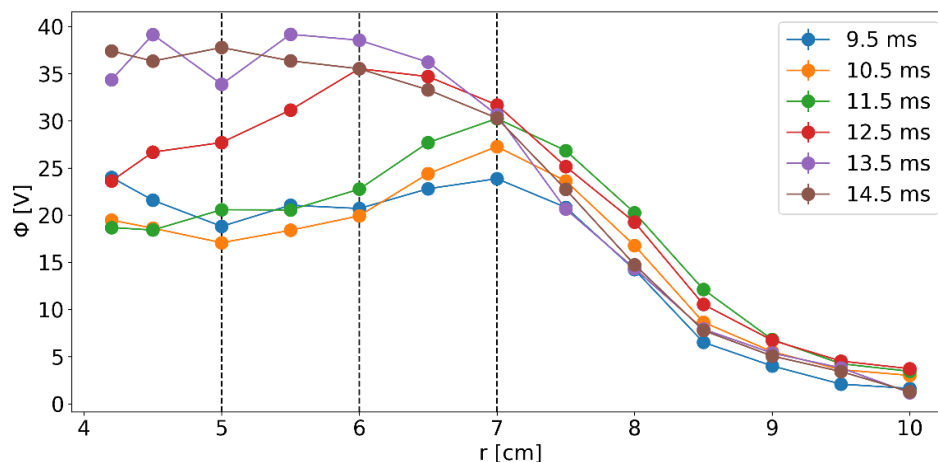
Výstřel	30894	30895	30896	30897	30898
r (mm)	60	55	50	45	42

r – vzdálenost od středu komory

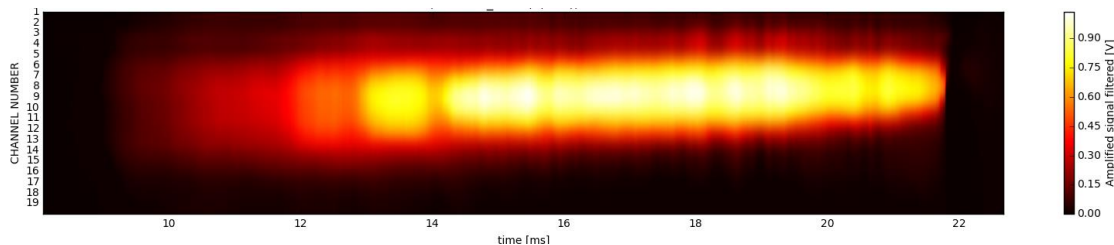
Provedli jsme 81 výstřelů na tokamaku GOLEM, mezi kterými jsme sondou pohybovali. Série výstřelů, kde jsme měřili potenciál plazmatu, je uvedena v tabulce výše.

Machovo číslo jsme měřili ve výstřelu číslo 30971.

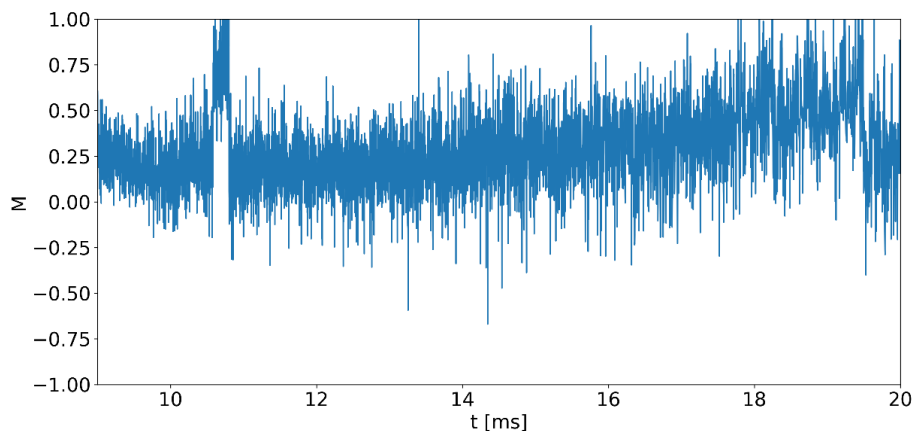
4. Výsledky



Profil potenciálu plazmatu je v obrázku nahoře. Obrázek ukazuje, jak se profil vyvíjí v závislosti na čase. Maximum se pohybuje směrem dovnitř do plazmatu. Tento výsledek je v souladu s bolometrickými měřeními, jejíž záznam je na následujícím obrázku.



Časový vývoj Machova čísla měřeného tunelovou sondou na pozici 85 mm ukazuje následující obrázek. Machovo číslo je kladné a dosahuje přibližně hodnoty 0,25 – 0,5. To znamená, že plazma teče směrem k limiteru přibližně čtvrtinou až polovinou iontozvukové rychlosti.



5. Shrnutí

Seznámili jsme se s tokamakem GOLEM, následně jsme prováděli měření pomocí kombinované sondy, jíž jsme změřili Machovo číslo a potenciál plazmatu. Potvrdili jsme bolometrická měření, plazma se během výboje vskutku pohybuje směrem nahoru. Ve stínu limiteru plazma teče směrem k nejbližšímu limiteru. Tím jsme udělali další krok k pochopení fyziky okrajového plazmatu. Fúzní reaktor je opět o něco blíže.

V dnešní době energetický průmysl ruší naši planetu. Ať už je to ničení krajiny těžbou, znečišťování ovzduší (oxid uhličitý, siřičitý, popílek), nákladné uložení jaderného odpadu, či počet úmrtí s těmito procesy spojený. Jako budoucnost je zde termojaderná fúzní elektrárna, která jako palivo používá pouze izotopy vodíku – deuterium a tritium, které jsou snadné k získání. A odpadní látky jsou snadné k likvidaci a dají se následně využít.

6. Poděkování

Rádi bychom poděkovali organizátorům TV@J a FJFI ČVUT, kteří nám umožnili na tomto projektu pracovat. Dále děkujeme vedoucímu projektu Ing. Kateřině Jirákové a odborným konzultantům Ing. Vojtěchovi Svobodovi, CSc. a RNDr. Janovi Stöckelovi, CSc.

7. Reference

http://golem.fjfi.cvut.cz/roperation/XXYYRemoteShots/Level_I/index.php

<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki>

<http://ocs.ciemat.es/EPS2019ABS/pdf/P1.1068.pdf>

<http://www.ipp.cas.cz/>

8. Přílohy

http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Diagnostics/ParticleFlux/PetiProbe/miniproject_TV@J_source_code.py – zdrojový kód

Odhad elektronové teploty na tokamaku GOLEM

Jan Masák - jan2001masak@gmail.com,
Antonín Rousek - tonikrousek@gmail.com,
Daniel Staník - sojmarkov@centrum.cz,
Štěpán Skalka - stepanskalka@gmail.com,
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

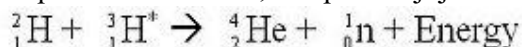
Abstrakt:

V této práci se zabýváme analýzou plazmatu z tokamaku GOLEM. Ze začátku ihned po objasnění základních pojmů a principů jako jsou například fúze a tokamak popisujeme postupy i výsledky našich měření. Zaznamenali jsme průběh napětí, proud v komoře a v plazmě, z čehož jsme dokázali vyvodit odpor plazmatu a z něj teplotu a posléze i dobu udržení.

1 Úvod a objasnění pojmů

Naším úkolem bylo vyzkoušet si práci na tokamaku GOLEM a poté se seznámit se základními diagnostickými metodami a jejich pomocí naměřit průběh základních parametrů plazmatu. Nejprve, než přejdeme k našim měřením je však třeba objasnit některé důležité pojmy.

Termojaderná Fúze: Jaderná fúze je reakce, probíhající obvykle za vysokých teplot, při které dojde ke sloučení dvou a více jader za uvolnění či pohlcení velkého množství energie. Tyto reakce jsou velice důležité a pohání hvězdy. Lidstvo se snaží fúzi provozovat v pozemských podmínkách, často za účelem jejího budoucího využití pro energetiku. V dnešní době se nejvíce uvažuje a zkoumá využití reakce deuteria a tritia při které vzniká helium, neutron a velké množství energie (v řádech MeV). Pro průběh reakce je třeba velmi vysoká teplota (stovky milionů kelvinů – což je ale pořád o dost méně, než potřebují jiné fúze).

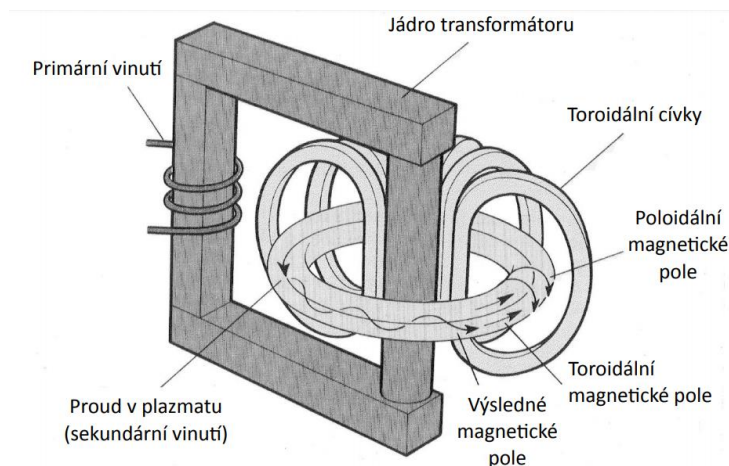


Problém spočívá v tom, že při takto obrovských teplotách bude náš pracovní plyn (směs deuteria a tritia) ve formě ionizovaného plynu – plazmatu.

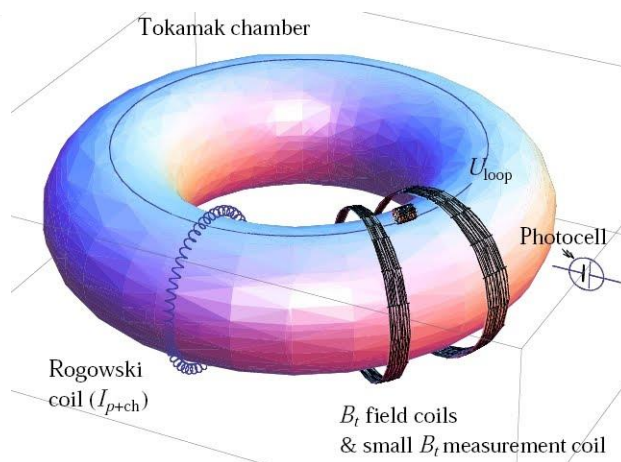
Plazma: Plazma je, jak již bylo zmíněno ionizovaný plyn, což znamená, že jednotlivé atomy plynu byly zionizovány (tj. zbaveny jednoho či více valenčních elektronů. Například teplem, zářením či srážkami). Dokonalé plazma je tedy směs iontů a elektronů. Existují plazma nízko a vysokoteplotní, naše plazma v tokamaku, ve kterém chceme zkoumat fúzi, je se svými stovkami milionů kelvinů plazma vysokoteplotní. Jeden z problémů, se kterým se musí tokamaky vyrovnávat spočívá v udržení plazmatu, plyn o takto vysoké teplotě odpaří libovolný materiál vyskytující se na zemi.

Tokamak: Tokamak je jedno z nejpokročilejších a nejnadějnějších řešení provozu jaderné fúze v zemských podmínkách. Zabránění kontaktu plazmatu řeší vhodnou konstrukcí a magnetickým polem. Komora, ve které chceme mít plazma má tvar toroidu, v něm totiž můžeme plazma „chytit do pasti“, kdy magnetickým polem zajistíme, aby plazmatu uvnitř toroidu levitovalo a nedotýkalo se stěn. Z vnější části vakuové komory je primární část transformátoru, kterou prochází proud, který se v čase mění. Sekundární částí tohoto transformátoru je právě plazma, jež je díky volným elektronům vodivé. Díky proměnnému proudu se mění magnetické pole v okolí primární části transformátoru a zapříčiňuje indukci

proudu (elektrického pole) v plazmatu. Tento indukovaný proud zapříčiňuje vznik magnetického poloidálního pole, které „omotává“ nádobu tokamaku a zabraňuje svými silovými účinky kontaktu plazmatu se stěnou nádoby (Obr.1). Svým účinkem také přispívají torodiální cívky okolo toroidu a vytváří superpozici s poloidálním mag. polem celkové magnetické pole kýžené helikální konfigurace. Celkové magnetické pole působí na plasma Lorentzovo silou $j \times B$, kde j je proudová hustota v plazmatu.



Obr. 1: Schéma tokamaku. Převzato z [1].



Obr. 2: Základní diagnostický systém tokamaku. Převzato z [1].

2 Základní diagnostiky

K měření základních údajů charakterizujících výboje v tokamaku jsme používali čtyři základní diagnostické nástroje (obr. 2), pomocí nichž jsme měřili napětí na závitěch, proud a torodiální magnetické pole v plazmatu společně s jeho elektromagnetickým vyzařováním.

Průběh napětí v plazmatu jsme zaznamenávali pomocí drátu, který jsme umístili jako závit sekundárního vinutí kolem magnetického jádra nad komorou. Napětí, které bylo shodné s tím v plazmatu, jsme pak mohli měřit díky magnetické indukci vyvolané v změnu magnetického pole transformátoru. Signál jsme následně digitalizovali a vynásobili kalibrační konstantou.

Na měření proudu plazmatem jsme používali Rogowského pásek, který jsme ovinuli kolem průřezu komory a opět měřili indukované napětí (obr. 2). Naměřené hodnoty odpovídaly změně celkového proudu, který probíhal komorou a plazmatem. Při analýze signálu jsme ho zintegrovali, opět upravili kalibrační konstantou a započítali vliv komory.

Torodiální magnetické pole jsme měřili cívkou umístěnou mezi cívkami vytvářejícími torodiální pole tokamaku (obr.2). Integrací výboje indukovaného napětí v cívce a jeho kalibrací jsme nakonec získali kýžený signál.

Údaje o elektromagnetickém vyzařování plazmatu jsme sbírali pomocí fotodiody. Fotodioda byla vybavena H_{α} filtrem, díky kterému jsme mohli oddělit spektrum pocházející z čistého plazmatu od záření nečistot a pozadí. Díky získaným datům jsme mohli přesněji odhadnout dobu udržení. [1]

3 Odhad teploty plazmatu

Z námi naměřených veličin, kterými jsou U_L , tedy napětí na závit, I_{tot} , proud protékající celým tokamakem, jsme se postupně propočítali až k teplotě elektronů v plazmatu.

K výpočtu teploty plazmatu naší metodou jsme potřebovali určit jeho odpor. Ten můžeme spočítat z obyčejného Ohmova zákona, neboť napětí i proud známe. Je zde však jediný problém, a to v tom, že I_{tot} zahrnuje proud protékající i komorou. Abychom tedy získali jen proud protékající plazmatem, bylo třeba zjistit odpor komory, a tedy i hodnotu proudu v samotné komoře. Odpor komory jsme získali z měření výstřelu v tokamaku bez plazmatu. Jeho hodnota se pohybuje okolo $R_k = 9,7 \text{ m}\Omega$. Odpor plazmatu tedy již snadno dopočítáme:

Pro proud čistě v plazmatu platí:

$$I_p = I_{tot} - I_k$$

Když rozepíšeme proud komorou pro známé hodnoty:

$$I_p = I_{tot} - \frac{U_L}{R_k}$$

A z toho odpor plazmatu:

$$R_k = \frac{U_L}{I_{tot} - \frac{U_L}{R_k}}$$

Mezi teplotou a odporem platí vztah, jehož odvození by bohužel bylo složité, ale po dosazení všech konstant platí následující vztah:

$$T_e = 0,9 \times R_k^{-\frac{2}{3}}$$

4 Odhad doby udržení energie

Primární cílem naší diagnostiky bylo získat data potřebná k odhadnutí doby udržení energie. Jedná o charakteristickou dobu chladnutí plazmatu a pro výzkum fúzních reaktorů esenciální, protože úzce souvisí s účinností tokamaku.

Dobu udržení energie lze vyjádřit jako

$$\tau_E = \frac{W_p}{P_z}$$

Celkové energii plazmatu W_p je rovna tlaková energie plazmatu, kterou můžeme s pomocí rovnice ideálního plynu definovat vztahem

$$W_p = pV = nkTV$$

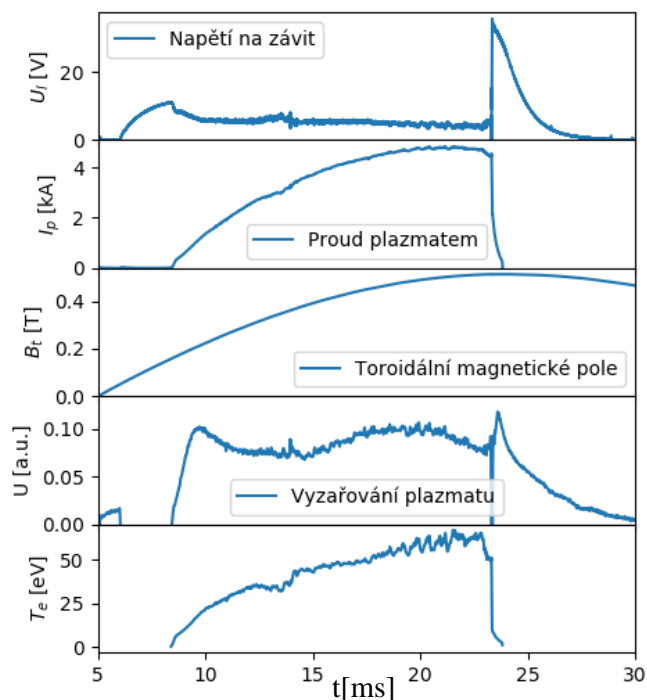
Jediným výkonem ohřevu P_o je v našem tokamaku ohmický ohřev, který je ve stavu energetické rovnováhy roven ztrátovému výkonu P_z . Pro ohmický ohřev pak platí jednoduchý vztah

$$P_o = U_L I_p$$

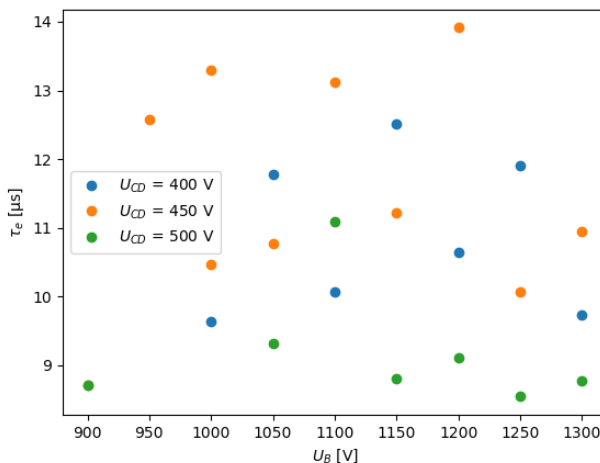
Kombinací výše uvedených vztahů můžeme odhadnout τ_E již pomocí naměřených veličin a platí tedy že

$$\tau_E = \frac{W_p}{P_z} = \frac{nkTV}{P_o} = \frac{nkTV}{U_L I_p}$$

Když jsme tento vztah implementovali do námi vytvořeného programu na analýzu dat, dostali jsme přibližné hodnoty doby udržení energie, které můžeme společně se základní diagnostikou vidět na obr. 3. Závislost doby udržení na nabití kondenzátorů napájejících cívky toroidálního magnetického pole je zobrazen na obr. 4 a nevykazuje žádné známky korelace.



Obr. 3: Grafy závislosti parametrů plazmatu na čase



Obr. 4: Závislost odhadu doby udržení na napětí kondenzátoru generujícího magnetické pole

4 Závěr

Podařilo se nám získat potřebná data, takže jsme z nich byli schopni vypočítat veličiny, které jsme hledali – elektronovou teplotu i dobu udržení plazmatu, a znázornit je v závislosti na čase a na napětí kondenzátoru generující toroidální magnetické pole. Naučili jsme se tak základní metody měření na tokamaku, pochopili základní principy tvorby a udržování plazmatu a zároveň se naučili ovládat výboje v tokamaku přes webové rozhraní. Při našich výbojích jsme dosáhli teploty až 60 eV, což odpovídá zhruba 700 000 K. V závislosti doby udržení plazmatu na napětí cívek jsme nenašli žádnou pravidelnost. Lze si však všimnout, že napětí U_{CD} již ovlivňuje tuto dobu s určitou pravidelností. Pro nejvyšší námi měřené napětí – 500V je doba udržení nejmenší (8-11 μ s). Jako optimální hodnotu jsme vyhodnotili napětí mezi 400 a 450 V, kde byla doba udržení nejdelší (až 14 μ s).

Poděkování

Úplně na závěr bychom chtěli všichni poděkovat všem organizátorům Týdne vědy a FJFI za zprostředkování tohoto miniprojektu a zejména Ing. Jaroslavu Čerovskému za dohled a cenné rady.

Reference

- [1] *The use of Nuclear Fusion Technology in the 21st Century*, 2010, https://www.weather.gov.hk/m/article_e.htm?title=ele_00315
- [2] *Vysokoteplotní plazma na tokamaku GOLEM*, 2018, <http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/Universities/CTU.cz/PRA2/15/Basics/uloha13A.pdf>
- [3] *Fykos – seriál 26. ročníku*, 2019, <https://fykos.cz/rocnik26/serial/start>

Počítačové simulace proudění tekutin

J. Gebauer¹, M. Hanušková², J. Horák³, M. Švanda⁴
¹Gymnázium Jana Nerudy, škola hlavního města Prahy
²Gymnázium Velké Meziříčí
³SPŠ Ostrov
⁴Arcibiskupské gymnázium
marsvanda@gmail.com

Abstrakt:

Projekt se zabývá studiem vzniku turbulentních proudů, které mohou vznikat při proudění kolem těles. My jsme se zabývali prouděním kolem válce, který jsme vytvořili, a pomocí vstupních parametrů ovlivňovali vznik turbulencí. Následně jsme výsledky zhlédli a zjistili zákonitosti mezi ovlivňujícími faktory (vstupní rychlost, viskozita, velikost a tvar překážky) a výsledným prouděním. Tento vztah popisuje Reynoldsovo číslo, kterému se v našem příspěvku budeme také věnovat.

1 Úvod

Když tekutina obtéká nějaký předmět, kromě „jednoduchého“ (laminárního) proudění může vzniknout i proudění turbulentní. Turbulence můžou působit problémy v dopravě (letadla auta...), případně ji znesnadňovat. Co stojí za tímto jevem?

V naší práci budeme chtít zjistit, co je turbulentní proudění, jak vypadá a kdy vzniká. Za jakých podmínek proudí tekutiny turbulentně a kdy jinak? Jak se dá proudění tekutin popsat a simulovat?

2 Simulace proudění tekutin

Teorie

Mezi základní rovnice hydrodynamiky patří Navierovy-Stokesovy rovnice, s jejich pomocí můžeme popsat proudění tekutin, které chceme zkoumat. Obecně není známé jejich analytické řešení a tudíž je můžeme řešit pouze numericky. Jde o dvě rovnice:

Zákon zachování hmotnosti:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

Zákon zachování hybnosti:

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v_i \mathbf{v}) = \rho f_i + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_j}$$

Pro nestlačitelné tekutiny můžeme předpokládat konstantní hustotu a získáme tedy podstatně jednodušší rovnice. Simulace, které jsme používali, pracovaly na principu těchto rovnic:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^n v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{\nabla p}{\rho} + \nu \Delta \mathbf{v}$$

Když tekutina obtéká předmět, vytvoří se laminární, nebo turbulentní proud. Laminární proud je běžný proud, přímý, proudnice se nemíchají. Turbulentní je chaotický proud, vytvářejí se víry a proudnice se míchají.

Který proud se vytvoří, záleží na Reynoldsově čísle. Jde o bezrozměrnou veličinu charakterizující proudění. Reynoldsovo číslo vystupuje v hydrodynamice velmi často, můžeme ho popsat takto:

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

Použité symboly:

ρ – hustota

f – vnější objemová síla

p – tlak

τ – tenzorová síla

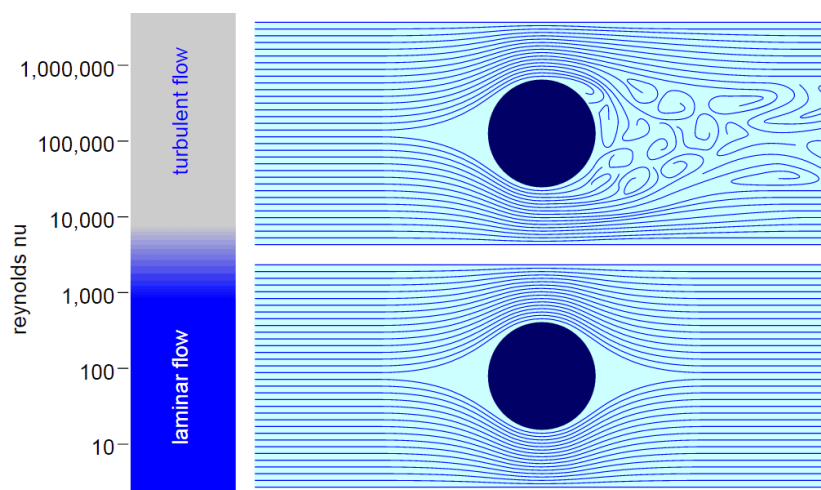
ν – kinematická viskozita

v – charakteristická rychlost (v našem případě vstupní rychlost)

d – charakteristická délka (v našem případě průměr válce)

Viskozita určuje „jak moc tekutina teče“. Například kinematická viskozita vzduchu je $1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, vody $1,04 \cdot 10^{-6}$ a medu $73,6 \cdot 10^{-6}$.

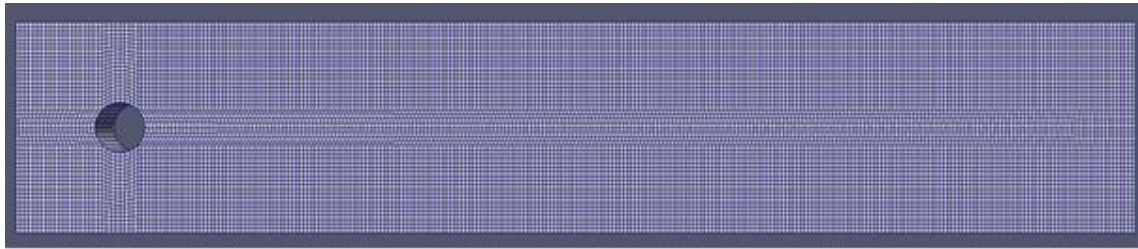
Pro vysoké Reynoldsovo číslo je proudění turbulentní, pro nízké laminární. Kritická hodnota (předěl mezi typy proudění) se liší pro různé kapaliny, potrubí, překážky, atd., proto se zjišťuje experimentálně.



Metody

Proudění jsme simulovali následujícím způsobem. Zvolili jsme oblast, kterou bude proudění procházet. Následně jsme určili tělesa, která se budou v této oblasti nacházet. Jednodušší tělesa se zapisují pomocí jejich souřadnic a pro složitější modely lze využít 3D grafické programy. Nyní si zvolíme výchozí parametry, zejména rychlost proudění a viskozitu. Poté oblast pokryjeme sítí, kde z každého dílku vyčteme jednu hodnotu pro každou veličinu. Proto s vyšší hustotou sítě roste přesnost simulace. Zvyšují se ovšem také požadavky na výkon počítače.

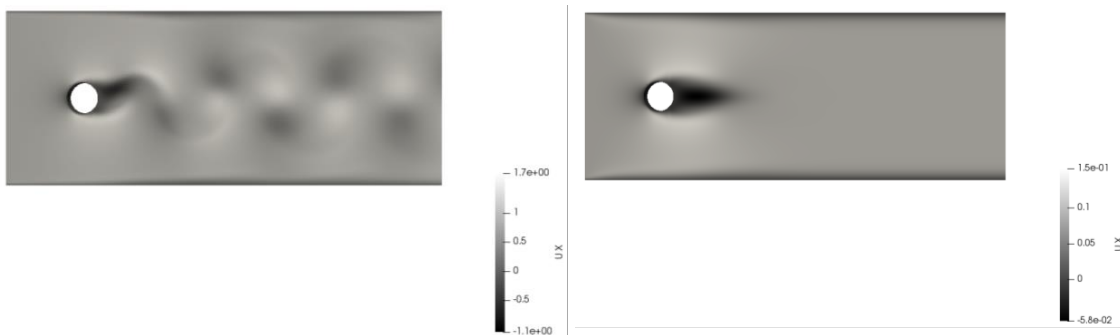
Poté již můžeme spustit simulaci, a to buď pomocí jednoho jádra procesoru, nebo paralelně pomocí více jader, což urychluje výpočty. Do tohoto momentu byly všechny naše kroky provedeny v programu OpenFOAM, výsledek jsme ovšem zobrazovali v programu ParaView.



(oblast pokrytá sítí)

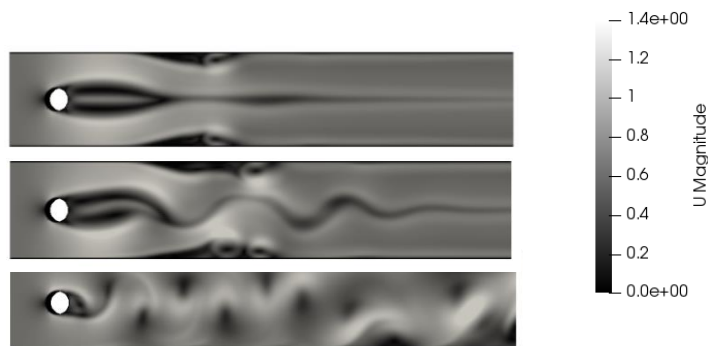
Výsledky

1. Reynoldsovo číslo: Typ proudu závisí na Reynoldsově čísle (viz Teorie). Toto jsme potvrdili a kritickou hodnotu jsme našli okolo 1 000.



(obr. 1 turbulentní proudění $Re=1400$; obr. 2 laminární proudění, $Re=140$)

2. Utvoření turbulentního proudění: Turbulentní proudění se nevytvoří hned, ale vzniká postupně (i když většinou velmi rychle). Nejdříve se utvoří jakýsi „stín“ či „ohon“ předmětu, který vypadá laminárně, ale po nějaké době se rozvlní a vytvoří se turbulentní proudění.



(čím světlejší je barva, tím rychleji tekutina proudí; obr. 1 „ohon“; obr. 2 rozvlnění; obr. 3 turbulentní proudění)

3. Vzdálenost zlomu: Pro stejné objekty (konkrétně válce stejného poloměru) je délka, kterou dosáhne ohon, ve chvíli kdy se rozvlní, vždy stejná bez ohledu na rychlost, viskozitu atd..

4. Nejistá hranice: Rychlost s jakou probíhá vznik turbulentní proudění (viz za 2.) opět záleží na Reynoldsově čísle (čím větší Re , tím rychleji vznikne). Ohon se stále protahuje a nakonec se rozvlní. U toho proudění, které jsme označili za laminární, se ohon také prodlužoval, avšak velmi pomalu. Je proto těžké určit, jaké proudění je laminární a jaké turbulentní. Pokud by se vytvořilo turbulentní proudění tam, kde jsme je označili za laminární, bylo by velmi pomalé a vytvářelo by se podstatně déle.

3 Shrnutí

Proudění všeobecně se dá popsat Navier-Stokesovými rovnicemi. S jejich pomocí je možné ho také simulovat. Charakter proudění určuje Reynoldsovo číslo. Proudění je turbulentní (chaotické, vířivé) pro vysoká Re a laminární pro nízká.

Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Jakubovi Klínkovskému za uvedení do problému a ukázkou práce s programy OpenFOAM a ParaView. Dále děkujeme organizátorům Týdne vědy za možnost zúčastnit se této akce.

Reference:

- [1] Reactor physics [online]. [citováno 18.června 2019], <https://www.reactor-physics.com/engineering/fluid-dynamics/laminar-flow-vs-turbulent-flow/>
- [2] Converter [online]. [citováno 18.června 2019], <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>
- [3] Converter [online]. [citováno 18.června 2019], <http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>
- [4] Converter [online]. [citováno 18.června 2019], <http://www.converter.cz/tabulky/kinematicka-viskozita.htm>
- [5] Výpočetní dynamika tekutin [online]. [citováno 18.června 2019], http://jlk.fjfi.cvut.cz/teaching/tyden_vedy_2019/
- [6] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Turbulentní proudění [online]. 2017 [citováno 18. 06. 2019]. https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Turbulentn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD&oldid=15389608

Virtuální simulátor lineárního urychlovače v medicíně

A. Dostalíková, Gymnázium Jakuba Škody, Přerov,
amalie.dostalikova@gmail.com

Z. Fialková, Canadian International School, Jesenice,
zfialkova@centrum.cz

V. Havlíček, Gymnázium Velké Meziříčí
vita.havlicek1@seznam.cz

D. Příbyl, Gymnázium Milady Horákové, Praha,
daniel.pribyl@email.cz

T. Vitoušová, Gymnázium Českolipská, Praha,
t.vitousova@email.cz

Abstrakt:

V rámci našeho miniprojektu jsme si vyzkoušeli práci s virtuálním medicínským urychlovačem, který se využívá pro nácvik ozařování zhoubných nádorů. Provedli jsme tři druhy kontrolních měření – výpočet dávky z měřeného náboje, hloubkové a horizontální. Pro zjištění hodnot jsme pracovali s programem VERT (Virtual Environment for Radiotherapy Training). Z výsledků vyplynulo, že urychlovač je správně nastaven a může být použit k ozáření pacienta.

1 Úvod

V průměru onemocní rakovinou každý třetí obyvatel České republiky a každý čtvrtý na ni zemře. V současné době se léčba nádorových onemocnění stále zlepšuje, neboť jsou vyvíjeny nové technologie a postupy. Jednou z metod používaných pro léčbu je radioterapie, která je založena na využívání ionizujícího záření. S pomocí lineárních urychlovačů dochází k urychlování elektronů a následnému vzniku fotonů, které jsou využívány k ozařování pacienta. Velmi důležitá je jejich pravidelná kontrola a vhodné nastavení. Cílem našeho miniprojektu byla revize správného fungování virtuálního urychlovače.

2 Metody a výsledky

Velmi důležité pro správné měření parametrů urychlovače je dodržení referenčních podmínek:

- vzdálenost středu ozařovaného objektu od zdroje fotonového záření musí být 100 cm
- pro energii elektronů 6 MV je potřebná vzdálenost izocentra od povrchu 5 cm, v případě 15 MV je nutná vzdálenost 10 cm
- velikost ozařovaného pole je 10 x 10 cm

2.1 Výpočet dávky

Cílem našeho prvního měření bylo ověřit, zda námi naměřená základní reálná hodnota odpovídá teoretické hodnotě 1 Gray (Gy). Pokud je odchylka výsledků menší než 2 %, je přístroj bezpečný k použití na pacientech a odpovídá správnému nastavení.

Použili jsme vodní fantom se dvěma ionizačními komorami. Gantry (rameno urychlovače) jsme nastavili na úhel 90° a provedli měření velikosti náboje. S pomocí softwaru jsme vypočítali reálnou dávku podle vzorce:

$$D = M_{raw} \times N_{D,W} \times P_T \times P_P \times P_{user}$$

$$P_T \times P_P = k_{T,P}$$

$$k_{T,P} = \frac{(273,15 + T) \times p_0}{(273,15 + T_0) \times p}$$

kde M_{raw} je náboj, $N_{D,W}$ kalibrační faktor, P_T a P_P jsou odchylky teploty a tlaku od standardních hodnot T_0 a p_0 .

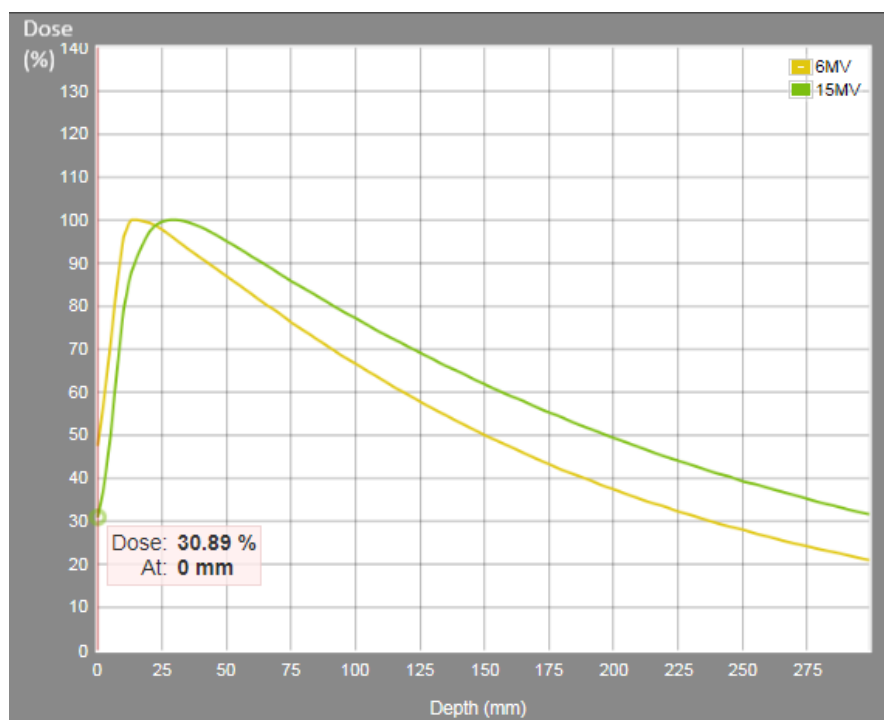
The screenshot shows the VERT Ion Calibration Chambers software interface. It features a dark grey background with teal accents. At the top, there are tabs for 'Measurement', 'Presenter', and 'Couch Control'. The 'Measurement' tab is active. On the left side, there are several input fields for measurement parameters: Beam Energy (15MV selected), Monitor Units (100), Field Size (10x10 cm), Depth (5 cm), SSD (95 cm), SCD (100 cm), Temperature (21.38 °C), and Pressure (100851 Pa). Below these is a 'Select Chamber for measurement' section with radio buttons for 'A (Standard)' and 'B (Field)', and a 'Polarising Voltage' field set to -250 V. At the bottom left, there is a 'Measure' button and a field for M_{raw} showing 9.5929 nC. On the right side, there is a 'Standard Temperature : 20°C, Pressure : 101325Pa' section. Below it, there are fields for $N_{D,W}$ (1.022e+8 Gy/C), P_T (1.0047), P_P (1.0047), and P_{user} (1). A 'Calculate' button is present. Below these fields, the formula $M = M_{raw} \times N_{D,W} \times P_T \times P_P \times P_{user}$ is displayed, followed by a 'Calculate' button and a field for M showing 0.98963 Gy. At the bottom right, there are 'Undo' and 'Clear' buttons.

Obr. 1: Záznam měření dávky

Výsledná dávka nám vyšla 0,98963 Gy, což splňuje možnou odchylku.

2.2 Hloubkové měření

Cílem našeho druhého zkoumání bylo zjistit množství dávky v závislosti na hloubce posuvné ionizační komory ve velkém vodním fantomu. Gantry jsme ponechali ve výchozí poloze 0° a provedli dvě hloubková měření s energiemi fotonů 6 a 15 MV.



Graf 1: Hloubková měření

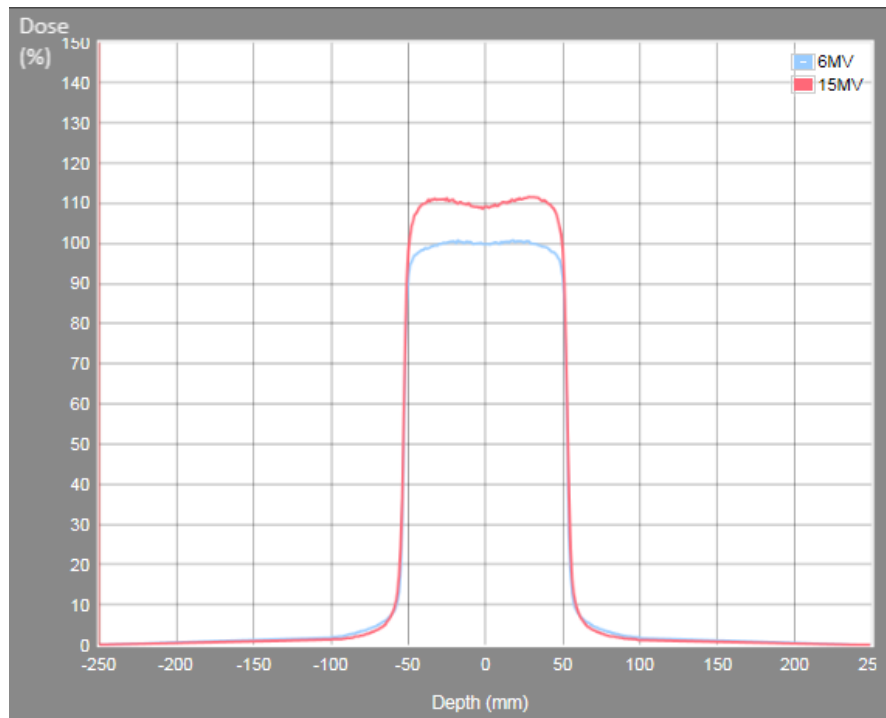
Hloubka ionizační komory	Dávka při energii 6 MV	Dávka při energii 15 MV
0 mm	51,99 %	30,89 %
100 mm	66,55 %	77,12 %
200 mm	37,37 %	49,31 %

Tab. 1: Výsledky hloubkového měření

Zjistili jsme, že pro zásah povrchového nádoru je vhodnější záření s nižší energií, jelikož je méně pronikavé. S rostoucí energií roste pronikavost záření.

2.3 Horizontální měření

Cílem našeho třetího měření bylo zjistit velikost dávky v závislosti na horizontální vzdálenosti od izocentra. Opět jsme využili velký fantom s posuvnou komorou, Gantry nastavené na úhel 0° a energie 6 a 15 MV.



Graf 2: Horizontální měření

Z grafu vyplývá, že záření opravdu dopadá na pole o velikosti 10 x 10 cm. Záření mimo toto pole je zanedbatelné a je způsobeno rozptylem fotonů. Ve středu je graf prohnutý, protože paprsky prochází homogenizačním filtrem, který záření v tomto místě zeslabuje.

3 Shrnutí

Při práci na miniprojektu jsme se seznámili s obsluhou lineárního urychlovače. Nejprve jsme ověřili, že základní dávka záření v izocentru přibližně odpovídá požadovanému 1 Gy. Následně jsme zjistili, že záření s vyšší energií je pronikavější a je proto vhodnější pro ozařování hlouběji uložených nádorů. V posledním měření jsme zaznamenali, že velikost ozařovaného pole odpovídá nastavení (10 x 10 cm). Celkově tedy lze konstatovat, že tento urychlovač je možné bezpečně použít.

Poděkování

Závěrem bychom rádi poděkovali naší vedoucí projektu Ing. Tereze Hanušové za předání cenných znalostí a pomoc při obsluze urychlovače. Poděkování také patří FJFI ČVUT a organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

Reference:

PODGORSAK, E. B.: *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. International Atomic Energy Agency 2005, pp. č. strany 147

Simulace provozu JE typu VVER - 440

B. Dudová*, Š. Tichý**

*Gymnázium Děčín Komenského náměstí 4
ve spolupráci s

**Gymnázium Jateční 22, Ústí nad Labem
steptich@seznam.cz

18. června 2019

Abstrakt:

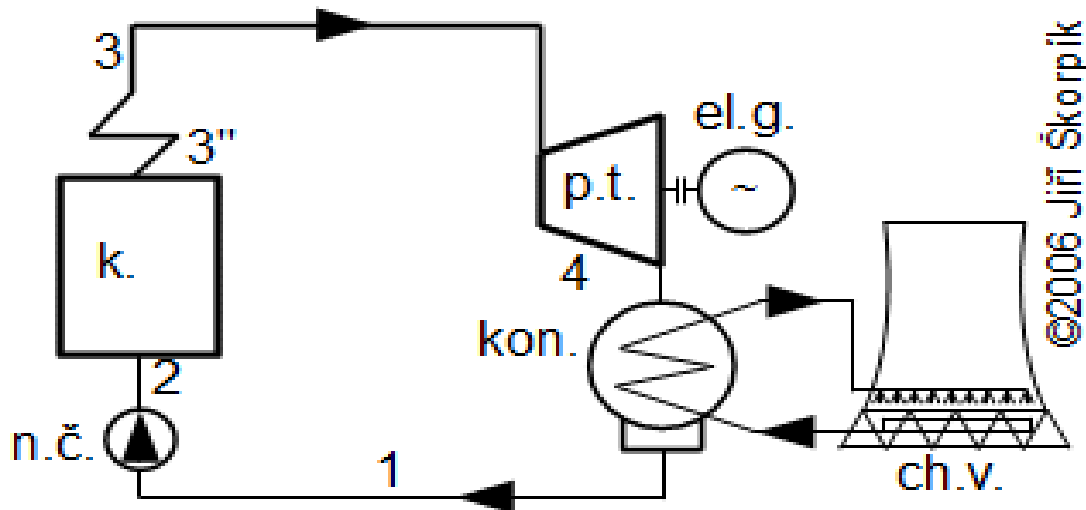
Článek popisuje principy konstrukce a provoz bloku JE s reaktorem typu VVER – 440 a simulaci jejího fungování pomocí programu SPVS EDU, kde jsme pozorovali automatickou odezvu systému na únik skrz ventily kompenzátoru objemu a zaznamenávali hodnoty jednotlivých veličin popisující stav reaktoru společně s primárním, sekundárním a chladícím okruhem a činnost jednotlivých systémů.

1 Úvod

Výstavba a provoz JE je investice na dlouhou dobu a u tak složitých projektů se vždy vyplatí cenově i časově nejdříve provést simulaci jednotlivých částí k zajištění maximální bezpečnosti a efektivity. Během provozu probíhá řada fyzikálních jevů, které mají bezprostřední vliv na provoz a stav celé soustavy. Tyto děje lze popsat a následně předpovídat pomocí matematicko–fyzikálních výpočtů. Jsou však tak složité, že je potřeba využít výpočetní techniky. Simulátory můžeme použít ke zkoumání chování systému během situací, které jsou buď moc nebezpečné nebo náročné navozovat v reálném provozu. Také přispívají k výcviku zaměstnanců dohlížejících na provoz. Náš tým zkoušel jak běžný provoz tak různé havarijní situace a odezvy systému na ně. V průběhu simulací jsme sledovali jednotlivé veličiny (teploty, výšky hladin, tlaky, výkony atd.) a vysvětlovali si jednotlivé vazby mezi nimi.

2 Princip tepelných elektráren

Všechny typy tepelných elektráren včetně těch jaderných fungují na stejném principu. Díky zdroji tepla se ohřívá podchlazená voda až k teplotě sytosti a následně vzniká pára, kterou je možné i přehřívát. (od bodu 2 k 3). Pára proudí na turbínu, kde v lopatkování expanduje a roztáčí tím rotor spojený s el. generátorem. Ten pak díky elektromagnetické indukci vytváří střídavý proud. (od bodu 3 k 4). Expanzí páry na turbíně se snižuje její tlak i teplota a po následném odebrání tepla v kondenzátoru kapalina zkondenzuje. (od bodu 4 k 1) Pak je pomocí čerpadel vháněna do tepelného výměníku a Rankin-Clausinův cyklus se opakuje. (od bodu 1 k 2). Takto jednoduchý cyklus se však v praxi nepoužívá a bývá pro zlepšení termické účinnosti modifikován a optimalizován. Možné cesty jsou: snížení tlaku v kondenzátoru, mezipřehřívání páry či regenerace páry.



Obrázek 1: Schéma základního Rankin-Clausova cyklu

Reaktor typu VVER-440

V jaderných elektrárnách je zdrojem tepla štěpná reakce, jenž probíhá v aktivní zóně reaktoru. Reaktor typu VVER-440 (Vodou chlazený a Vodou moderovaný Energetický Reaktor) má tlakovou nádobu válcovitého tvaru. Palivo ve formě malých tablet je sduřováno do palivových proutků a následně do souborů. Neutrony jsou cestou z proutku zpomaleny moderátorem-vodou. Ta musí být demineralizovaná a zbavena všech možných iontů. Neutron je zpomalován z toho důvodu, že účinný průřez pro reakci s izotopem uranu 235, který chceme v reakci štěpit, je za nižích energií větší. Při srážce neutronu s jádrem dochází k rozpadu na dva odštěpky a uvolňují se 2 až 3 neutrony (statisticky 2,4). Dále se uvolňují všechny druhy záření společně. Vzniklé částice pak odlétávají s určitou kinetickou energií, kterou předávají srážkami atomům prostředí a vzniká tak teplo. Reakci je třeba regulovat, jinak by rostla exponenciálně, k zabránění toho slouží absorbatory neutronů (bezpečností tyče např. s obsahem bóru či rozpuštěná kyselina boritá v ve vodě).

Primární okruh VVER-440

Voda za teploty přes 265°C a tlaku 12,26 MPa je cirkulačními čerpadly vháněna studenou smyčkou do reaktoru, kde je v aktivní zóně ohřívána, následně vystupuje teplou smyčkou ven s teplotou cca 295°C a putuje do parogenerátoru, zde se předáváním svého tepla vodě ze sekundárního okruhu, která se mění na páru, ochlazuje. Na okruh je napojen i kompenzátor objemu, který vyrovnává změny teploty a tlaku.

Sekundární okruh

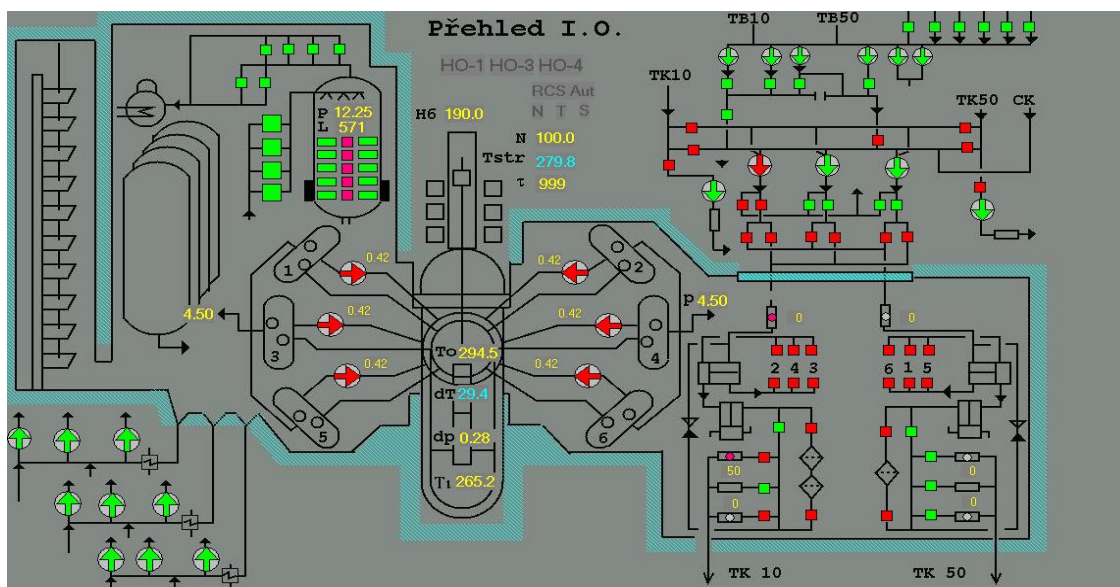
Pára po separaci vlhkosti putuje z parogenerátoru na vysokotlaký díl turbíny, kterou pára roztáčí, zatímco se sama expanduje a zchlazuje, dále pak pokračuje na nízkotlaké díly turbíny, kde probíhá stejný proces. Mezi turbínami dochází k separaci vlhkosti mezipřehřívání a část páry je rovněž při expansi odebírána pro regenerační ohřev. Následně vstupuje pára do kondenzátoru, kde zkondenzuje. Kondenzát je kondenzátními čerpadly hnán na nízkotlakou regeneraci a dále do napájecí nádrže. Za ní se nachází napájecí čerpadla, které zvýší tlak napájecí vody, a se dostává přes vysokotlakou regeneraci opět do parogenerátoru.

Chladicí okruh

V tomto okruhu přijme voda teplo od páry v kondenzátoru a následně ohřátá putuje do chladicích věží, kde je ochlazená a navrácí se zpět do kondenzátoru.

3 Simulátor

Simulační program SPVS EDU, který byl vyvinut pro JE Dukovany za účelem výcviku, pracuje paralelně na čtyřech počítačích, z nichž dva slouží pro sledování primárního okruhu a dva další pro kontrolu sekundárního. Ve dvojici jsme zkoušeli úlohy s běžným provozem bloku i různé havarijní scénáře, někdy jsme nechali systém sám, ať problém vyřeší a sami jsme jen zaznamenávali hodnoty a fyzikálně vysvětlovali, co se děje, jindy jsme řídili jednotlivé komponenty ručně. Na schématech jsou vypsány jednotlivé údaje. Červenou barvou pracující komponenty, zelenou vypnuté.

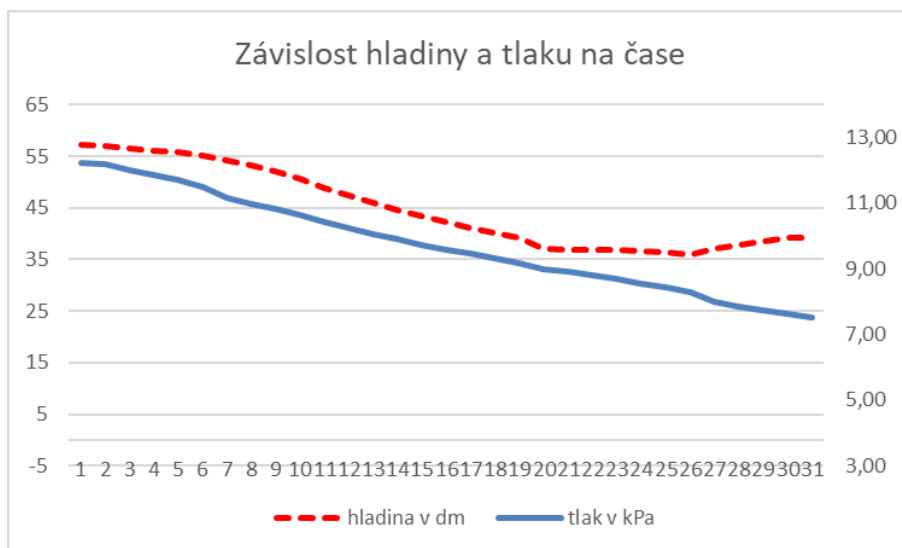


Obrázek 2: Schéma primárního okruhu v programu SPVS EDU

Simulace havárie na Three Mile Island

Dne 28. března 1979 došlo v USA k havárii na druhém bloku JE Three Mile Island ležící na stejnojmenném ostrově. Vlivem poruchy napájecích čerpadel se odstavil reaktor, přepouštěcí ventil kompenzátoru objemu, který dočasně odpouštěl páru se nedovřel, i když ukazoval v systému, že je. Tlak v okruhu začal klesat. Náš tým si zadal scénář havárie, kdy se u kompenzátoru objemu otevřou ventily a začne nevratně klesat tlak v primárním okruhu. Do systému jsme nezasahovali a nechali simulaci bez zásahů obsluhy. Současně jsme zaznamenávali v pravidelných intervalech hodnoty teploty, tlaku a výkonu na zařízeních v primárním i sekundárním okruhu. Systém řízení tlaku KO při poklesu tlaku zapnul elektroohříváky vody, aby se tlak dorovnal vytvořením další páry. Stále však tlak klesal a s ním i hladina, kvůli tvorbě páry, když systémy zaznamenaly změnu tlaku převyšujících 40 kPa, začaly se zasouvat regulační kazety a výkon reaktoru se začal snižovat, tím pádem se musel snížit výkon i na turbínách, jinak by začal klesat tlak i v sekundárním okruhu. Toto pokračovalo, dokud kompletně nezajely regulační kazety a výkon reaktoru neklesl na 8,9% nominálního výkonu, pak byly vyputy turbíny a točily se už jen setrvačně. Výkon reaktoru postupně klesl na méně než procento nominálního, ale neklesl na nulu, kvůli zbytkovému výkonu štěpných produktů z reakce, které se dále rozpadají. Kvůli snížení tlaku, začala vnikat v reaktoru pára, která vytlačuje vodu zpátky do kompenzátoru objemu, kde hladina začala

stoupat. Hlavní cirkulační čerpadla v primárním okruhu se v tuto chvíli z bezpečnostních důvodů vypla.



4 Shrnutí

Mimo výše zmíněnou havárii jsme si vyzkoušeli další situace. Dospěli jsme k závěru, že bezpečnostní a řídicí systémy jsou schopny většinu závad samostatně vyřešit, či reaktor bezpečně odstavit. Operátor by měl zasahovat jen ve výjimečných případech. Programová simulace nemůže nikdy plně nahradit zkušenost z reálného provozu, ale je to dobrá počáteční zkušenost pro studenty.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Panu Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D. a ostatním zaměstnancům KDJR za ochotu, trpělivost a předání mnoho bohatých zkušeností a rad, týkajících se simulací jaderných elektráren. Dále organizátorům Týdne vědy na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze.

Reference:

1 KOBYLKA, Dušan. *Technická termodynamika s řešenými příklady*. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05902-9.

Obrázek 1 zdroj: <http://www.transformacni-technologie.cz/06.html>

Obrázek 2 ze simulátoru

VUJE Trnava: *Návody ke cvičením na SPVS+EDU - Provozní stavy*, Trnava, 2007

VUJE Trnava: *Návody ke cvičením na SPVS+EDU, Likvidace abnormálních a havarijních stavů*, Trnava, 2008

Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

Hana Šumšalová, Karel Týr, Ondřej Brhlík
Masarykovo gymnázium, Jičínská 528, Příbor
Gymnázium Plzeň, Mikulášské náměstí 23, Plzeň
Střední průmyslová škola strojnická Olomouc, 17. listopadu 995/49, Olomouc
hana.sum@seznam.cz, chuck44@seznam.cz, brhlik2001@seznam.cz

Abstrakt:

V roce 1990 byl uveden do provozu reaktor VR-1, na něm probíhalo naše měření rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně. Za pomoci detektorů SNM 10 /13(B) a detektoru 05NH1 (He) jsme zjišťovali rozložení četnosti štěpných reakcí v různých částech aktivní zóny v periodě 80s.

1 Úvod

Cílem našeho experimentu bylo zjištění rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1 a zároveň tak experimentálně dokázat platnost difúzní rovnice v deskovém reaktoru. Z logické úvahy vyplývá, že nejvyšší tok neutronů by měl uprostřed aktivní zóny reaktoru, neboť tam probíhá nejvíce štěpných reakcí. Pro zjednodušení experimentu nebyla uplatněna korekce naměřených hodnot na mrtvou dobu detektoru. Informace o rozložení výkonu v aktivní zóně je velice důležitým údajem pro jeho provoz. Díky tomu je například možné zjistit očekávanou teplotu v aktivní zóně a s její pomocí rozhodnout, zda bude reaktor potřebovat externí chlazení či nikoliv.

2 Experimentální část

Princip štěpení

Neutrony se uvolňují při štěpení těžkých jader (^{235}U), jejich energie se pohybuje kolem 2MeV. Při srážce s moderátorem (H_2O) dochází k jejich zpomalování. Neutrony s energií 0,0253 eV (293,6K) se nazývají tepelné. Jejich kinetická energie je velmi podobná energii pohybu částic v prostředí. V reaktoru se nachází spektrum neutronů zasahující do přibližně osmi řádů. Maximální energie neutronů, produkovaných při štěpení uranu ^{235}U v jaderném reaktoru je přibližně 10 MeV. Spektrum se dále dělí na oblasti tepelných, epitermálních a rychlých neutronů.[1]

Reaktor VR-1

Reakce probíhá v tlakovodním jaderném reaktoru bazénového typu s nulovým výkonem. Jeho nominální tepelný výkon je 100W ($N=1\text{E}8 \text{ s}^{-1}$) a maximální 500W ($N=5\text{E}8 \text{ s}^{-1}$), což je zjevně nedostačující k ohřevu moderátoru a tím pádem není možné sledovat zpětné vazby od teplot paliva a moderátoru.. Palivem je ^{235}U (IRT-4M) s obohacením 19,7%. Moderátorem v reaktoru VR-1 je demineralizovaná voda. Dalšími komponentami reaktoru jsou například regulační tyče, které slouží k řízení reaktoru. Absorbátorem v regulačních tyčích je Cd. [2], [3]

Princip měření

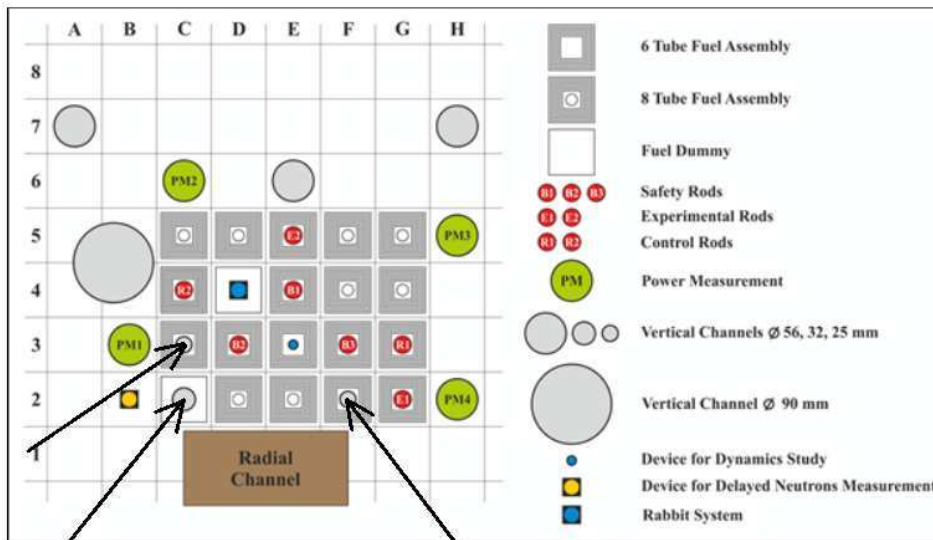
K měření rozložení hustoty toku neutronů se používají detektory SNM 10/13 (speciálního jaderného materiálu) a detektor 05NH1 (^3He). Uhlík s amorfní strukturou pokrytý vrstvou izotopu boru ^{10}B slouží jako dobrý detektor neutronů. Konverzní materiál (B, He) je schopen pohlcovat neutrony. Posléze vyzáří 2 druhy záření (α , γ). α částice je obecně nabitá částice, která je schopna vést elektrický proud. Ten je následně detekován elektronikou detektoru. Data měření odpovídající záření γ jsou poté z výsledku měření odstraněny. Přítomnost detektoru v aktivní zóně reaktoru způsobuje zvýšenou absorpci neutronů v aktivní zóně. Bez automatického řídicího systému by pak výkon reaktoru exponenciálně klesal. Zvýšenou absorpci neutronů automatický řídicí systém vykompenzoval povytažením jedné z regulačních tyčí.

Hustota toku neutronů je závislá na poloze. Maxima je přitom dosaženo ve středu aktivní zóny. Na základě řešení difúzní rovnice v deskovém reaktoru (palivo lze připodobnit k axiálnímu deskovému reaktoru) vyjde průběh výkonu (a tím i hustoty toku neutronů) velmi podobný funkci $\sinh x$. Ze středu aktivní zóny se uvolňuje nejvíce neutronů. Tyto neutrony ale ve větším množství neunikají do okrajů. Rychlé neutrony, které uniknou z palivového souboru do reflektoru, se mohou zpomalit a vrátit se zpět do paliva. Zde mohou způsobit další štěpení a zvýšit tak hustotu toku neutronů. To lze pozorovat v grafu jako tzv. reflektorový peak.

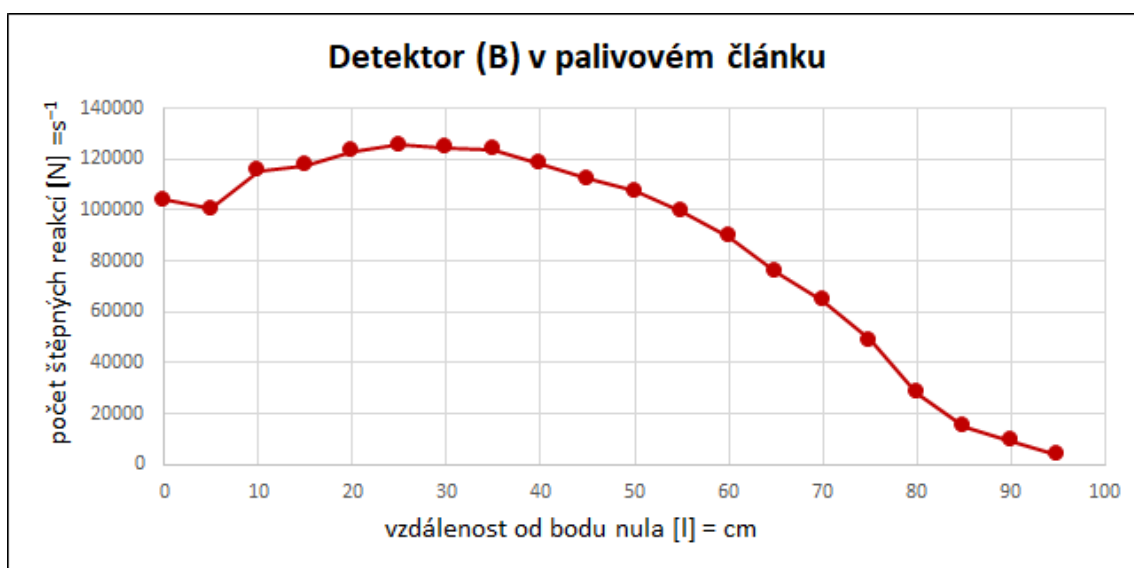
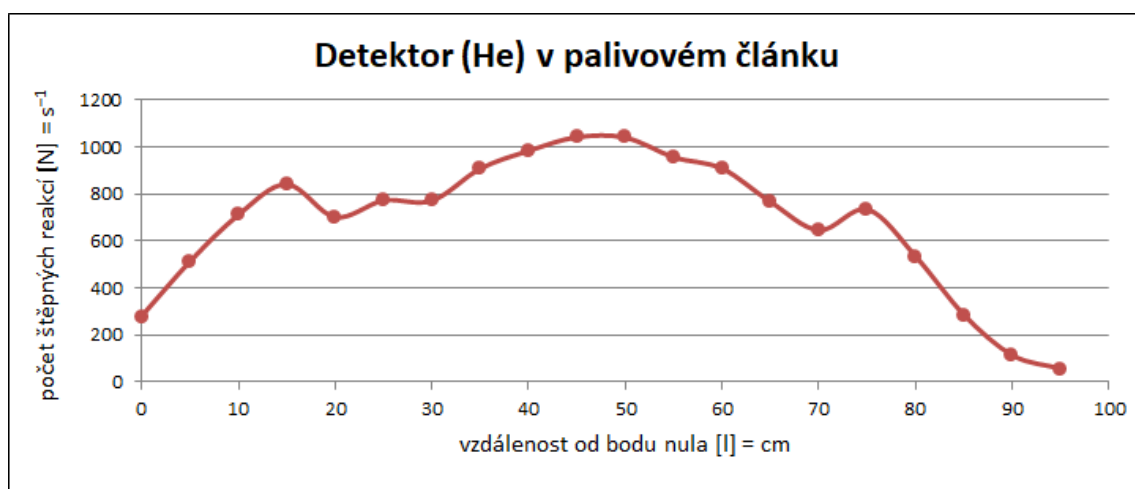
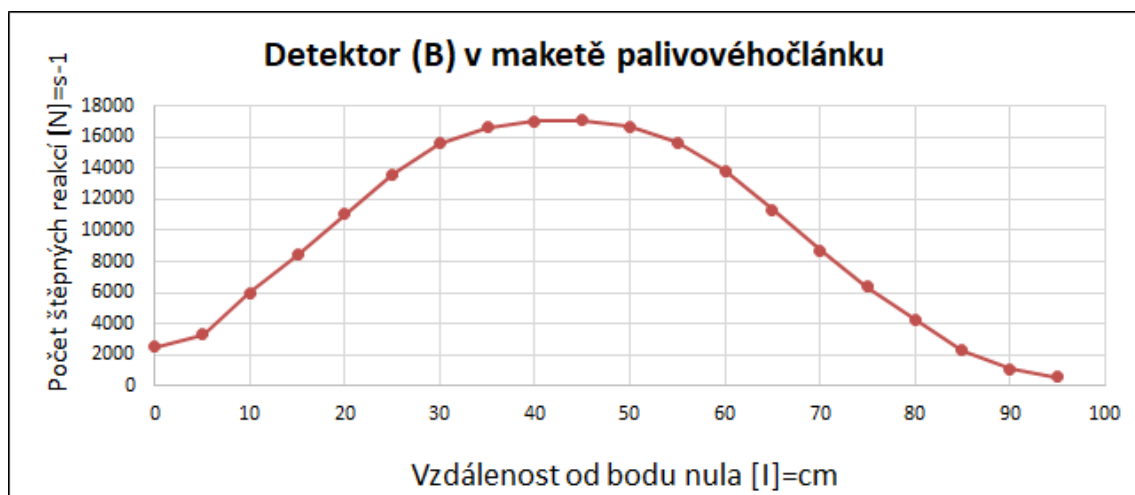
$$D\nabla^2\phi(\mathbf{r}, t) - \Sigma_a\phi(\mathbf{r}, t) + S(\mathbf{r}, t) = \frac{\partial n(t)}{\partial t}$$

Postup měření

Na dno reaktoru jsme za nominálního výkonu spustili 2 detektory SNM zavěšené na koaxiálním kabelu a 1 heliový detektor 05NH1 na koaxiálním kabelu. V průběhu vpravování detektoru je nutné dohlížet na hodnotu D (odchylka skutečného výkonu reaktoru od očekávaného), jež nesmí překročit hodnotu 25% a hodnotu v (rychlost změny výkonu), která nesmí překročit 6 %/s. V opačném případě dojde k automatickému odstavení reaktoru. Před měřením jsme museli nastavit vysoké napětí na 1500 V. Odečítání počtu impulzů jsme prováděli 19x po 5cm z počátečního bodu nula v časovém rozsahu 80s.



Suchým kanálem o průměru 25mm byl do palivového článku vpraven borový detektor, a další do makety palivového článku (32mm), poslední heliový detektor byl také zaveden do palivového článku. V programu EMK-310 (komerční software k analyzátoru DA-310) jsme byli schopni detekovat průměrné hodnoty štěpných reakcí za daný časový úsek, které jsme znázornili v následujících grafech.



3 Shrnutí

Měření prokázalo naše předpoklady. Relativní rozložení hustoty toku neutronů do grafu přibližně tvarově odpovídá grafu funkce $\sinh x$. Naměřené hodnoty pomocí borového detektoru v maketě palivového článku téměř přesně opisovaly graf funkce $\sinh x$. Na bocích grafu u měření heliovým detektorem umístěným do palivového článku jsme pozorovali dva vychýlené peaky. Ty byly způsobeny reflektorovým peakem. Na naměřených hodnotách pomocí borového detektoru v palivovém článku lze pozorovat mrtvou dobu, kterou jsme při měření zanedbávali a která se projevila jako skok v levé části grafu.

Poděkování:

Naše díky patří Ing. Pavlu Sukovi za vedení našeho miniprojektu, také Ing. Ondřeji Novákovi za pomoc při vypracování práce do sborníku a nemalé poděkování také všem organizátorům letošního ročníku Týdne vědy na Jaderce.

Reference:

- [1] KAREL MATĚJKA A KOLEKTIV.: *Experimentální úlohy na školním reaktoru VR-1* Vydavatelství ČVUT, 2005, pp. č.79.
- [2] Školní reaktor VR-1 [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: <http://www.reaktor-vr1.cz/cz/reaktor/popis>
- [3] *Reaktor LVR-15* [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: <http://reaktory.cvrez.cz/reaktor-lvr-15>

Postavte si laserový zaměřovač

K. Lojdová¹, O. Novák², T. Reichl³

¹Gymnázium Brno, Slovanské náměstí,

²Gymnázium a Obchodní akademie Mariánské Lázně,

³Gymnázium Voděradská

reichl@gymvod.cz

18.6.2019

Abstrakt

Cílem tohoto miniprojektu bylo sestavit pevnolátkový laser emitující záření o vlnové délce $1,53 \mu\text{m}$ bezpečné pro lidské oko a bezpečnost experimentálně ověřit. Dalším cílem bylo otestovat praktické využití laseru, a sice pro měření délky optického vlákna.

1 Úvod

Jedním z účelů této práce bylo sestavit pevnolátkový laser. Slovo laser je zkratkou složenou z anglických slov **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation. Jedná se o zařízení generující monochromatické a koherentní záření s velkým jasem a malou divergencí ve frekvenčním rozsahu 10^{11} - 10^{17} Hz [1]. Lasery je možno rozdělit dle typu aktivního prostředí na pevnolátkové, kapalinové, plynové a plazmatické. Předmětem našeho zájmu byl pevnolátkový laser využívající jako aktivní prostředí sklo dopované ionty erbia. Pro buzení aktivního prostředí jsme využili vysokovýkonný diodový laser o vlnové délce 975 nm. Vlnová délka záření emitovaného námi postaveným laserem byla $1,53 \mu\text{m}$, což je označováno jako oku bezpečné záření. Tato bezpečnost je dána nulovou transmisí daného záření ve vodě, která je primární složkou sklivce. Lasery jsou v dnešní době hojně využívány například v medicíně, vojenství, nebo průmyslu. Konkrétně lze laser využít například k měření vzdálenosti. [2]

2 Postup měření

Naše měření se sestávalo ze tří hlavních částí. Nejprve jsme sestavili laserový rezonátor, skládající se z rovinného čerpacího, sférického výstupního zrcadla a aktivního prostředí ve formě skla s příměsí erbia. Veškeré optické prvky jsme rovnali do jedné osy pomocí helium-neonového laseru, jehož záření o vlnové délce 632 nm jsme využili jako trasovací svazek. Poté jsme za rezonátor umístili fotodiodu (Thorlabs PDA20H-EC, rozsah 1-2,9 μm) připojenou k osciloskopu (Tektronix TDS3052B, 500 MHz) a jemnou manipulací s otočnými prvky jsme doladili výstupní zrcadlo, abychom na osciloskopu viděli signál indikující funkčnost laseru. Následně jsme fotodiodu nahradili wattmetrem a nadále ladili optické prvky rezonátoru za účelem dosažení co nejvyššího výstupního výkonu.

Po naladění laseru na maximální výstupní výkon jsme za výstup rezonátoru přidali fotodiodu a natočili wattmetr, aby část záření odrážel na fotodiodu. Poté jsme začali s měřením výstupního výkonu a délky pulzu laseru v závislosti na proudu protékajícím laserovou diodou. Po dokončení jsme za výstup umístili kameru a spektrometr za účelem určení profilu svazku a výstupní vlnové délky.

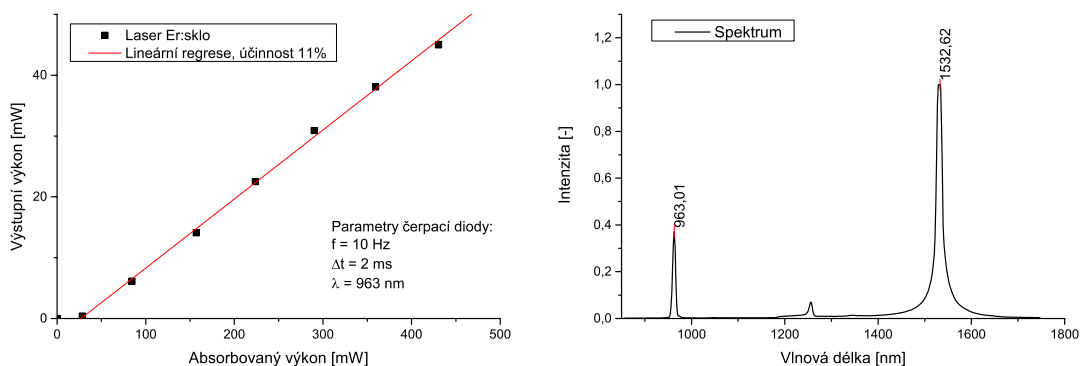
Druhou částí měření bylo určit míru pohlcení záření při průchodu vodou. Za výstupní zrcadlo rezonátoru jsme postupně umisťovali kyvety s různou tloušťkou vodního sloupce. Veškerý výkon byl pohlcen již nejtenčí kyvetou (tloušťka 5 mm) a z toho důvodu jsme wattmetr dále nevyužívali. Jelikož byla fotodioda velmi citlivá, bylo možné pozorovat signál na osciloskopu i za kyvetou s největší tloušťkou.

Po dokončení druhé části jsme se vrátili k části první, a to konkrétně v měření absorbovaného výkonu. Pro změření tohoto výkonu bylo třeba odstranit výstupní zrcadlo a změřit výkon za aktivním prostředím v závislosti na proudu procházejícím laserovou diodou. Poté jsme odstranili aktivní prostředí a provedli znovu stejné měření. Z rozdílu těchto dvou hodnot výkonů jsme určili výkon absorbovaný v aktivním prostředí.

Třetí část našeho měření spočívala ve využití komerčně dostupného laseru o stejné vlnové délce k určení délky cívky optického vlákna. Námi sestavený laser nebyl využit kvůli tomu, že nebyl schopen generovat dostatečně krátké pulzy. Svazek laseru byl rozdělen mezi fotodiodu a optické vlákno, na jehož konci byla umístěna druhá fotodioda. Na osciloskopu jsme následně změřili zpoždění signálu obou fotodiod.

3 Výsledky a diskuze

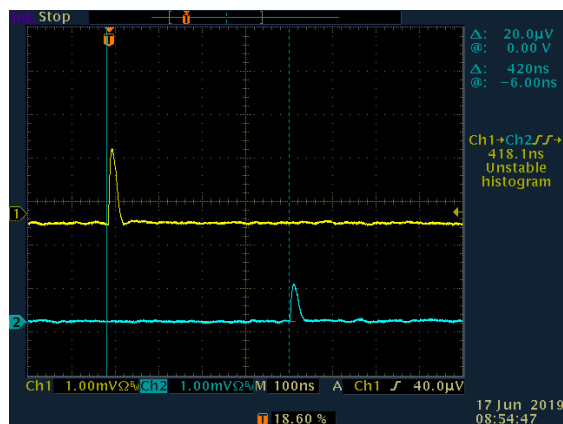
Výsledek prvního měření můžete vidět na Obr. 1. Z grafu vyplývá, že výstupní výkon je lineárně závislý na výkonu absorbovaném v Er:skle. Maximální výstupní výkon laseru byl 45 mW při absorbovaném výkonu 450 mW. Účinnost laseru byla 11 % z maximální teoretické hodnoty 63 %. Z naměřeného spektra zobrazeného v Obr. 1 lze vidět, že emitovaná vlnová délka námi zkonstruovaného laseru je 1533 nm. Druhé maximum nacházející se na vlnové délce 963 nm je zbytkové záření pocházející z čerpací diody.



Obr. 1: Výstupní charakteristiky laseru; vlevo – závislost výstupního na absorbovaném výkonu, vpravo – emisní spektrum laserové diody a zkonstruovaného laseru.

V druhém úkolu za použití kyvet, které simulovaly lidské oko, byl výstupní výkon neměřitelný již u kyvety s nejmenší tloušťkou, což je důkaz bezpečnosti použitého laseru pro lidské oko. Z toho důvodu jsou tyto lasery využívány v běžné praxi například pro měření vzdáleností.

Posledním úkolem bylo zjistit délku optického vlákna o indexu lomu 1,4 za využití laseru. Časový rozdíl mezi vysláním pulzu a jeho detekcí na konci vlákna byl 418 ns, viz Obr. 2. Výpočtem jsme zjistili, že vlákno měřilo 90 metrů.



Obr. 2: Měření délky optického vlákna; žlutá (horní) – signál před optickým vláknem, modrá (spodní) – signál za optickým vláknem.

4 Závěr

Podařilo se nám sestavit pevnolátkový diodově čerpaný laser využívající aktivního prostředí Er:Sklo. Ověřili jsme, že tímto laserem emitovaná vlnová délka $1,53 \mu\text{m}$ je oku bezpečná, neboť je pohlcena vodou v předních částech oka, a tedy nepronikne k sítnici a nepoškodí ji. Vyzkoušeli jsme si jedno z praktických využití tohoto typu laseru, a to měření vzdálenosti (délky optického vlákna).

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat TV@J za možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři.

Reference

- [1] W. Koechner, *Solid-State Laser Engineering*, Springer Science+Business Media, 2006, ISBN 0-387-29338-8.
- [2] R. Paschotta, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, Wiley-VCH, 2008, ISBN 978-3-527-40828-3.

Monte Carlo simulace šíření nebezpečného viru

¹J. Frühauf, ²M. Matějček, ³J. Michna, ⁴D. Hanušková
¹Gymnázium a SOŠ dr.V. Šmejkal, ²Gymnázium Strakonice
¹fruehauf.jaroslav@gmail.com, ²mirek.mat2@seznam.cz,
³Gymnázium Mikuláše Koperníka, ⁴Gymnázium Velké Meziříčí
³jmichna5@gmail.com, ⁴dend8@seznam.cz

Kontaktní email: Martin.Matys@fjfi.cvut.cz

Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo věrné ztvárnění šíření nebezpečného viru v předurčené populaci Lotka-Volterrovo modelem s Monte Carlo jevy. K danému účelu jsme využili program Matlab, ve které jsme programovali průběh uzavřené komunity skrze introdukci infikované skupiny. Díky této metodě a i pomocí dalších statistických postupů jsme nakonec užitečných dat dosáhli.

1 Úvod

Jako náš střed zájmu jsme si určili průběh smrtelného viru v přeúčtené skupině. Pro začátek jsme předurčili ideální podmínky, tudíž: skupina byla v dokonalé interakci bez rozporů, skupina byla ze 100% susceptibilní našemu viru, zdraví nebyli vůči infikovaným agresivní a že jak populace, tak studenti UK byli ochotni jeden s druhým interagovat.

Jakožto náš subjekt jsme tedy vybrali populaci České Republiky, s počáteční infekcí sestávající z 51 438 studentů Univerzity Karlovy (dle hodnot z r.2013).

Simulovali jsme tedy interakci těchto dvou skupin díky modelu predátor-kořist společně s pomocí Eulerovy metody a metody Monte Carlo.

2 Postup

Materiály a metody

Nejprve jsme se seznámili s modelem predátor-kořist, obecně známým jako Lotka-Volterrovy diferenciální rovnice rozšířený na tzv. Logistický model. Jde o jednoduchý model zabývající se právě vzájemnou interakcí mezi skupinami predátora a kořisti a zároveň jde o jeden z prvních pokusů o matematické zobrazení soužití druhů.^[1]

Následně jsme se seznamovali s programem Matlab a naučili se základní postupy při programování.

Pomocí tohoto programu jsme implementovali princip metody Monte Carlo, která pomocí pseudonáhodných čísel učuje střední hodnoty veličin, jež jsou výsledkem náhodného

děje. Je potřeba tyto simulace nechat proběhnout v dostatečném počtu, aby se data dala zpracovat stochastickými metodami do přesnějšího tvaru.^[2]

Pro naše simulace jsme použili základní hodnoty následující: populace ČR jakožto studovanou skupinu, 51 438 studentů UK jakožto základní skupinu infikovaných, nejdříve abstraktní hodnotu úmrtnosti a infekčnosti, později hodnoty dle morové epidemie z 17. století.

Naším cílem bylo dosažení nižší hodnoty infikovaných, než po vypuknutí, po době šesti let s náhodným počátkem a náhodně rostoucí efektivitou léčiva.

Všechny naše propočty stály na upravených vzorcích Lotka-Volterrova modelu řešených pomocí Eulerovy metody.^{[3][4]}

$$p_{x_1} = a_1 \left[1 - \frac{x_1(t) + x_2(t)}{K} \right] x_1 + c_l x_2(t) - b_1 x_1(t) x_2(t) + c_p$$

$$p_{x_2} = b_1 x_1(t) x_2(t) - x_2(t) [c_l + c_2]$$

$$x_1(t + 1) = x_1(t) + p_{x_1} dt$$

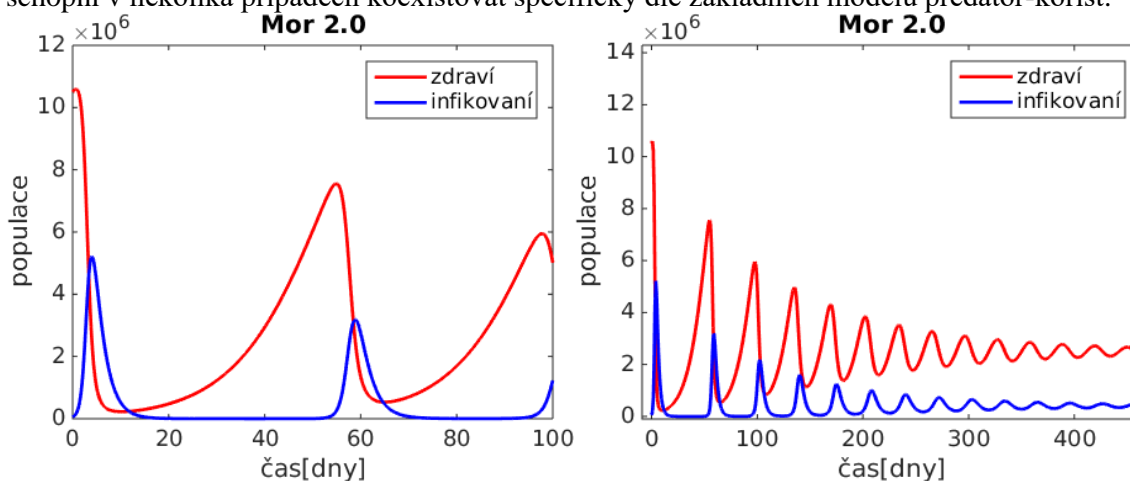
$$x_2(t + 1) = x_2(t) + p_{x_2} dt$$

Kde pro nás p_{x_1} a p_{x_2} figurují jako přírůstky skupin x_1 (populace zdravých) a x_2 (populace nemocných), a_1 je koeficient přirozeného růstu, c_l je náhodný koeficient efektivity léčiva, b_1 je infektivita nemoci, c_p je náhodný přírůstek (imigrace) a c_2 je koeficient mortality infikovaných.

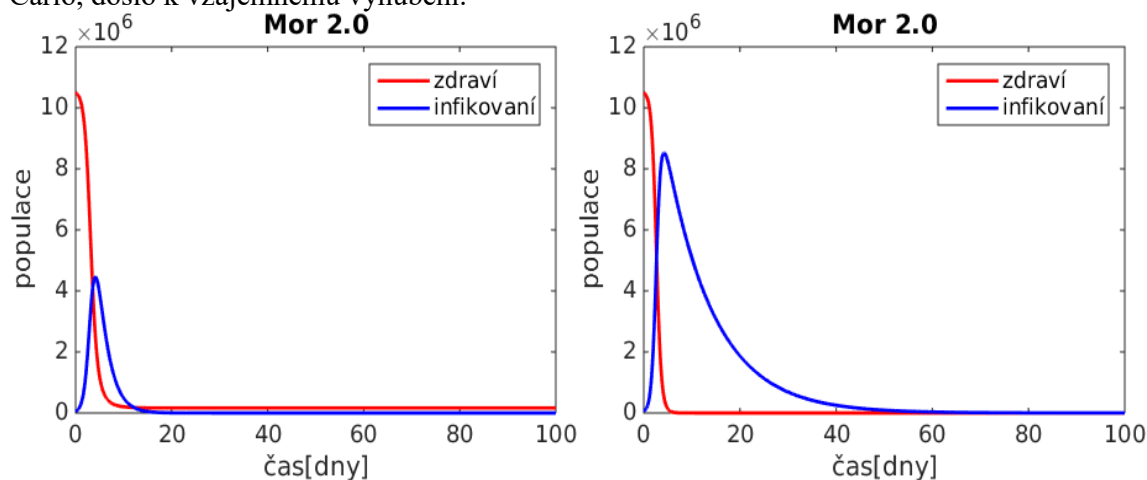
Hodnota imigrace závisela na předpokládané, nadměrně vysoké hodnotě v náhodném násobku v intervalu (0-1) * 50 000 každý rok, c_2 závisela explicitně na druhu nemoci, pro prvotní propočty bylo využito 0.1 a 0.2, později v realistickém (eliminacním) grafu moru byla dosazena hodnota 0.8.

Výsledky

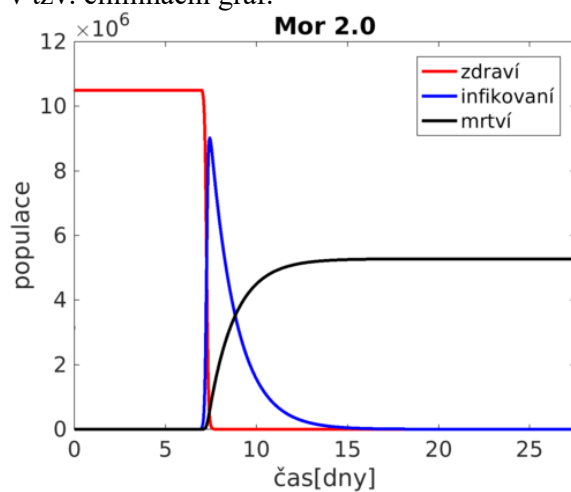
V prvotních vykresleních grafů jsme využívali pouze metody explicitní, bez implementace metody Monte Carlo a s přítomností extrémní schopnosti reprodukce populace. Dosáhli jsme několika překvapivých výsledků, a to těch, že lidé spolu s infikovanými byli schopni v několika případech koexistovat specificky dle základních modelů predátor-kořist.



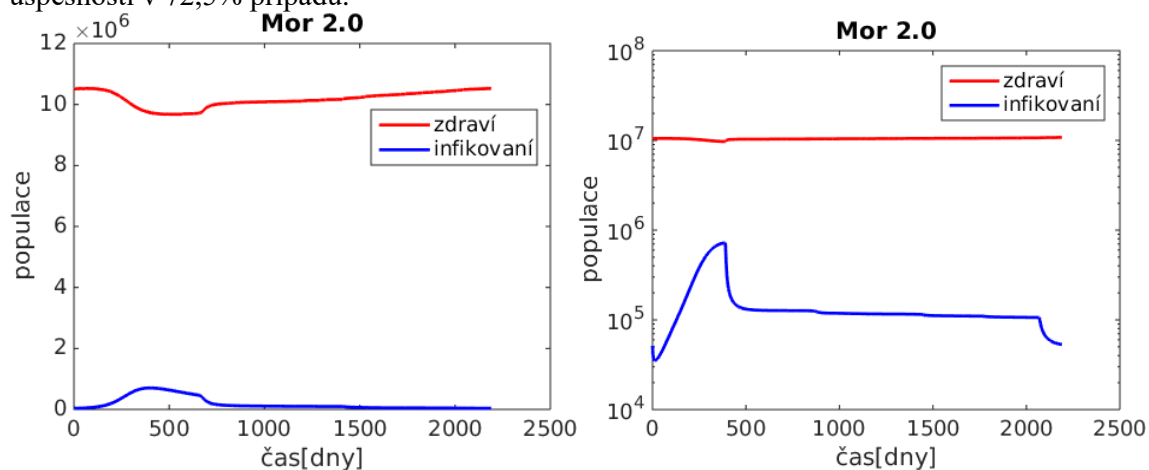
Dále jsme generovali populaci bez extrémní reprodukce, stále bez metody Monte Carlo, došlo k vzájemnému vyhubení.

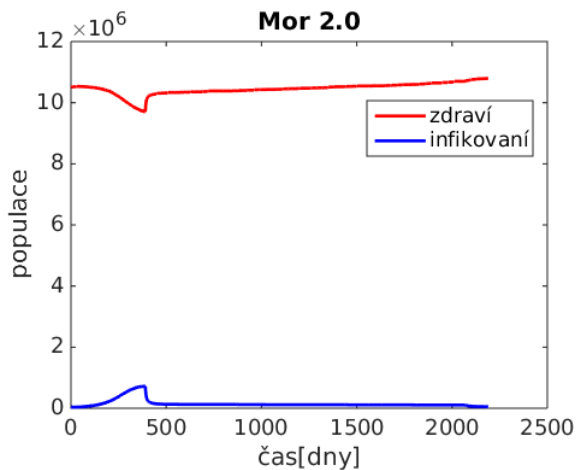


Naše další výsledky byly při přidání metody Monte Carlo spolu s hodnotami moru v tzv. eliminační graf.



V neposlední řadě jsme využili všech daných metod a vykreslili průměrné výsledky pro celkové vzorce (průměr z grafů během 10 simulací podle 100 opakování) s konečnou úspěšností v 72,5% případů.





I přes vložení našich pseudonáhodných hodnot, se, jak je vidět z většiny grafů, většinou populace ustálila pro určité hodnoty.

Diskuse

V rámci výsledků pro nás grafy byly překvapivé, hlavně kvůli implikovaném soužití infikovaných mezi zdravými, ovšem musíme tedy podotknout, že naše simulace nepředpokládají lidské chování a psychiku. Navíc tyto výsledky povětšinu času následují model predátor-kořist. Nepravděpodobnost celkového vyhubení specifické nemoci je také faktorem hodným zmínění.

3 Shrnutí

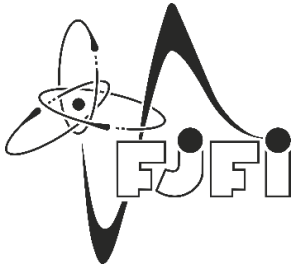
V našem experimentu jsme objevili, že infikovaní by mohli za určitých podmínek koexistovat s lidmi zdravými. Efektivního cíle jsme dosáhli v 72,5% simulací, je pro nás tedy určitou nadějí, že by lidstvo nemuselo být nutně vyhubeno, pokud by se takový patogen objevil a za předpokladu, že lidé by se po tomto objevu nevyhubili sami.

Poděkování

Otevřeně děkujeme našemu supervisorovi Martinovi Matysovi, jak za odhalení intrik Matlabu, tak i za vysvětlení potřebných operací a nakonec i za vřelý přístup při našem řešení. Následně děkujeme Vojtěchu Svobodovi na organizaci Týdne vědy a za kontaktování supervisorů.

Reference:

- [1] MATOUŠKOVÁ, K : *Lotka-Volterra Model Predátor Kořist*, Plzeň, 2009
- [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



Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Českého vysokého učení technického v Praze

alias naše *Jaderka*

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 mariáži; 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 www.jaderka.cz

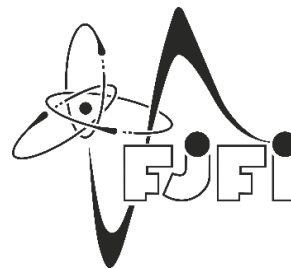
Oficiální web fakulty www.fjfi.cvut.cz

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 navazujícím magisterském 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 aplikaci 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 difrakční 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 přípravu 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 inženýrských 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 rozříděná experimentátorům. Katedra se rovněž věnuje včasné diagnostice Alzheimerovy choroby. 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 (<https://su.fjfi.cvut.cz/>). 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 vysokoškolačkem, 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.