

Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2025

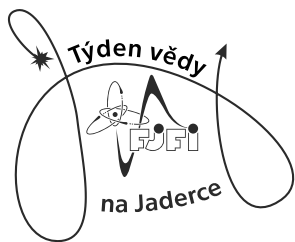
Sborník příspěvků



"The Analytical Engine weaves algebraic patterns just as the
Jacquard loom weaves flowers and leaves."

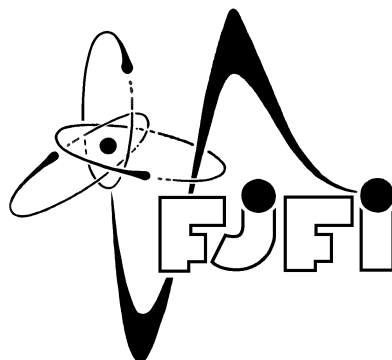
*Ada Lovelace, 210 let od narození, matematička a první
programátorka. (Ročník opět věnujeme ženám ve vědě.)*





Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2025

Poděkování za laskavou podporu



Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy, Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou Českého vysokého učení technického, The Kellner Family Foundation, skupinou ČEZ a Visibility.cz .



Akci věcně podpořili časopis Vesmír, nakladatelství Prometheus a Eukleides.cz



Slovo úvodem¹

”Komu jej budeme věnovat, jakápak bude barva trika?”

Tak končil úvodník loňského sborníku – a už známe odpovědi.

Letošní, jubilejní 25. ročník Týdne vědy tvořilo:

19 komnat Pevnosti Břehyard + závěrečné scénky, 49 miniprojektů, 10 exkurzí, 22 přednášek a 5 diskusních párty. To vše pro vás – 130 studentů v azurových trikách.

Zápis do kroniky by letos možná vypadal takto: z produkce odešel Karel, a tak nezbyl čas na novou koncepci. Ale na obzoru se rýsuje Ondra a to mi připadá velmi nadějně pro další život Týdne vědy.

Těšíme se na zítřejší Planetárium. A uvidíme, zda se večer na Kasinu skutečně rozeznějí housle – jak zaznělo v očekáváních a obavách.

Tímto symbolicky završuji čtvrtstoletí organizace této akce. Konzervativní odhad říká: dva týdny čistého času každý rok... takže možná rok života. A stálo to za to. Vaše pobývání na Jaderce je nesmírně osvěžující. Moc si to užívám.

Takže ... děkuji všem vedoucím komnat, garantům miniprojektů, přednášejícím, vedoucím exkurzí, krupierům, pomocníkům... a také fakultě FJFI za trvalou podporu. A především organizaci, letos hlavně Bára, Šimon, Věrka a Ondra. Moc děkuji,

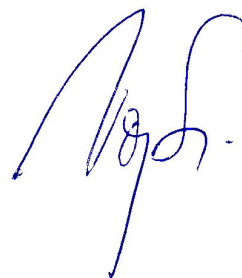
Rád bych příště předal štafetu hlavního organizátora do dobrých rukou a s úlevou se přesunul do méně zodpovědné role.

A tak se ptám znovu: Komu budeme věnovat příští ročník? Jakápak bude barva trika?

Mějte se a naviděnou.

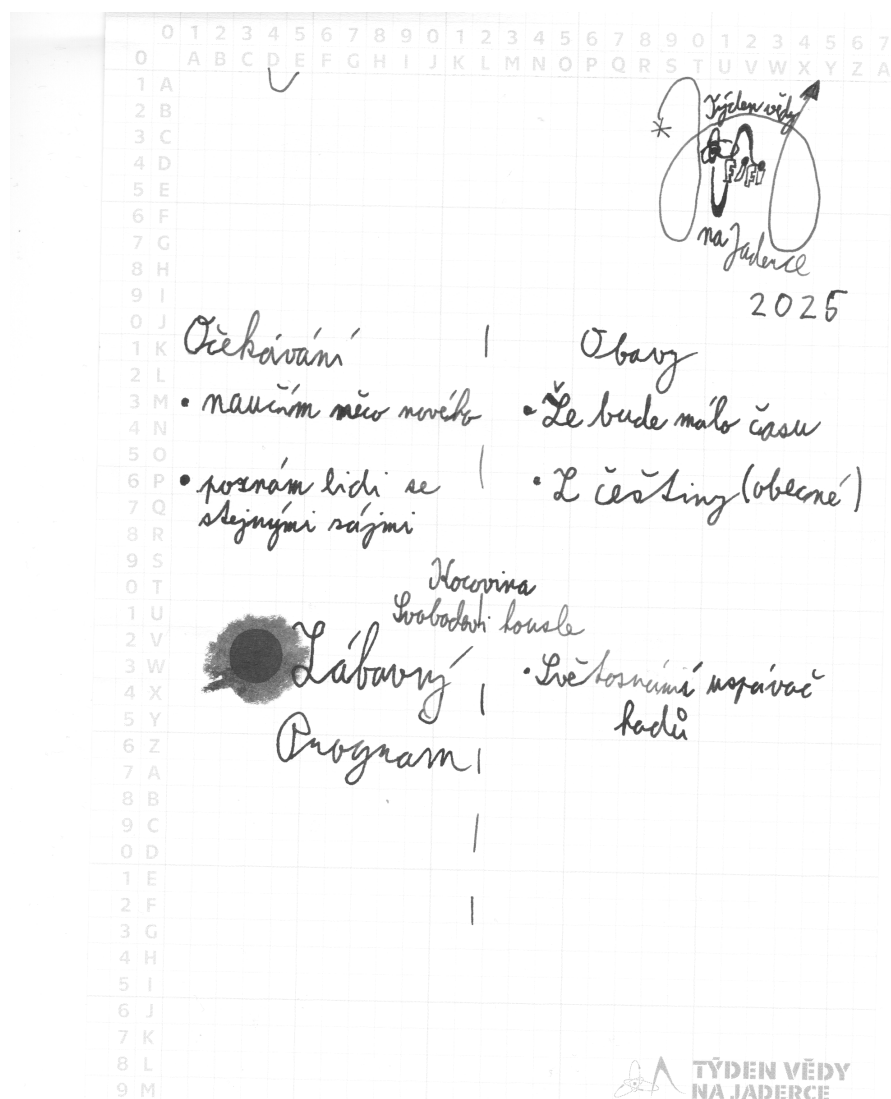
24. 6. 2025

Vojtěch Svoboda



¹s pomocí ChatGPT

Očekávání a obavy s kterými studenti přijžděli na letošní TV@J.



Titulní obrázek na obálce sborníku:

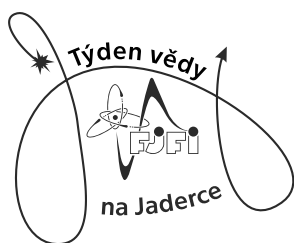
Miniprojekt Luminiscence - V experimentu byla zkoumána luminiscence kyseliny borité a fluoresceinu za různých teplotních podmínek. Byly porovnány optické projevy vzorků v klidovém stavu a po zahřátí nad plamenem kahanu.

Contents

Poděkování	2
Slovo úvodem	3
Program Týdne vědy 2025	8
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	9
Příspěvky	14
3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin (Zuzana Kolouchová, Ondřej Tichý, Veronika Korolova, garant: Ing. Jan Stránský, Ph.D.)	14
3D tisk a pevnost (Václav Kotyza, Barbora Pikešová, garant: doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.)	18
Atmosféra pod lupou: Radioaktivní otisky Země a vesmíru (Anna Vachutková, Viktor Matějka, garant: Ing. Miroslav Hýža, Ph.D.)	22
Cestující plamen – studium excitabilních médií (Rémi Petit, Sibyla Řezníčková, garant: RNDr. Ing. Michal Jex, Ph.D.)	26
Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie (Adam Miczka, Linda Lapčíková, Lucie Hlavatá, garant: Ing. Kristýna Havlinová)	29
Chirality, Life, and Magnetic Field (Anastasija Kulakovskaja, Matin Sanginov, garant: doc. Vitalii Zablotskii, DrSc)	33
Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků? (Magdaléna Křížová, Kateryna Driuchenko, garant: RNDr. Martina Kekule, Ph.D.)	37
Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR) (Kryštof Švehla, garant: Ing. Kryštof Kadlec)	41
Determination of Calibration Curves for Control Rods of the VVER-1000 Reactor (Jakub Valenta, Jakub Dalecký, garant: Ing. Ondřej Lachout)	45
Domácí spektrometr: Věda na dosah ruky (Andreas Wolf, Natalie Puliková, Jaroslav Kraft, Veronika Kristová, garant: Ing. Jan Kratochvíl, Ing. Dominika Popelová, Ing. Karel Veselský)	48
Fotochemie uranu – jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod? (Matyáš Jakubíček, Janka Fícelová, Theo Strižík, Ester Gangnusová, garant: Ing. Alžběta Horynová)	52
How to find the crystal structure of a material? (Martin Kalda, garant: Mgr. Cinthia Antunes Correa, Ph.D.)	56
Jak funguje PET aneb člověk jako zářič (Denisa Čechová, Martin Kluger, Štěpán Dubský, garant: Bc. Daniel Adamčík, Bc. Vojtěch Bártek)	59
Jak neutronové zrcadlo ovlivňuje chod reaktoru? (Klára Nabiová, Tat Ha Noi Nguyen, Ondřej Smolík, garant: Bc. Josef Sabol)	63
Jak ochránit polymerní materiály před rozmary živlů (Matyáš Beran, Radim Klíma, Sasha Blank, Vojtěch Tichý, garant: Bc. Martin Kolář, Ing. Jakub Skočdopole Ph.D.)	67
Jak pomocí vlastních čísel ochočit Fibonacciho králíky (Matuš Martinec, Jakub Mynář, Jakub Kíni, Kristýna Mičková, garant: doc. Ing. Ľubomíra Dvořáková, Ph.D., Ing. Petr Ambrož, Ph.D.)	71
Jak poznat dávku z barvy gelu? (Amálie Lukešová, garant: Ing. Kateřina Pilařová, Ph.D.)	75
Jak přeměnit světlo na hmotu? (Adriana Väterová, Jana Bursová, Štěpánka Černá, Hana Zemanová, garant: Ing. Martin Jirka, Ph.D.)	79

Jak si postavit vlastní urychlovač částic (a pochopit, jak funguje) (Bianca Tomková, Jakub Král, Štěpán Brát, Jan Vospálek, garant: Ing. Kamil Augsten, Ph.D.)	83
Jak stárne cementový materiál? Vrásky neřeší, hlavně že drží pohromadě... (Štěpán Werenyckyj, Nicol Samsonová, Lea Magdalena Škultéty, garant: Ing. Barbora Drtinová, Ph.D. (Bc. Erik Marenčák))	87
Kvantové korelace ve službách kryptografie (Richard Daniel Maštovský, Adam Brůna, Lukáš Balon, Jakub Vojtek, garant: Ing. Jaroslav Novotný, Ph.D.)	91
Lasery a speciální optické jevy (Linda Tománková, Jan Smyčka, garant: Ing. Michal Jelínek, Ph.D.)	95
Luminiscence: Charakteristika luminiscenčních vlastností na základě experimentů (Petr Adámek, Lucie Pobořilová, Vendula Štefaníková, garant: Ing. Ondřej Holas)	99
Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámou látku aneb co je to za bílý prášek? (Júlia Alžbeta Moncollová, garant: Ing. Jiří Čapek, Ph.D.)	103
Lze simulovat fyziku pomocí neuronových sítí? (Lukáš Hradečný, David Šafrata, Jana Fišerová, Ondřej Matýšek, garant: Bc. Filip Bartoš)	107
Markovovy rozhodovací procesy aneb jak se vypořádat s nejistotou (Josef Větrovský, Wojciech Bureš, Jakub Kuchařík, garant: Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.)	111
Měření vlastností turbulence plazmatu na tokamaku GOLEM (Andrej Macek, Robin Beer, garant: Ing. Petr Mácha, Bc. Václav Sedmidubský)	115
Modelování biologických struktur z experimentálních synchrotronových dat (garant: prof. Ing. Petr Kolenko, Ph.D.)	119
Může příliš mnoho chladiva v jaderném reaktoru vadit? (Ema Lorencová, Šárka Sotonová, Lucie Kohoutková, Anh Linh Tranová, garant: Bc. Josef Sabol)	123
Numerická aproximace závislostí z nepřesných dat (měření) (Barbora Salajová, Felicitas Estella Holtslag, garant: doc. Ing. Jan Pšikal, Ph.D.)	127
Plasma fluctuations in tokamak discharges (Julie Hořínková, Eliška Rojíková, garant: Dr. Gergo Pokol, PhD)	131
Počítačová grafika – pohled pod pokličku (Yuliia Oliichuk, Lucie Rottová, Václav Hudský, garant: Ing. Pavel Strachota, Ph.D.)	135
Postavte si laserový zaměřovač (Tomáš Kučera, Jakub Farník, Oliver Beer, garant: Ing. Adam Říha, Ph.D.)	139
Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách (Ondřej Chytil, Lukáš Machatý, Hana Vitulová, garant: Ing. Miroslav Myška, Ph.D.; Ing. Ota Zaplatílek)	143
Radioaktivní zařízení, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti (Natálie Hušková, Rej Hrenovica, Tobiáš Zgabaj, Ondřej Hartman, garant: Ing. Miloš Tichý, CSc.)	147
Rozpoznávání číslic pomocí neuronových sítí (Ondřej Nevěřil, garant: Ing. Jiří Löffelmann)	151
Simulace provozu JE typu ABWR (Pavel Barta, Josef Marek, garant: Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.)	155
Simulace provozu JE typu VVER-440 (Veronika Böhmová, Vladyslava Dirluhian, garant: Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.)	159
Šíření neutronů prostředím (Maxmilián Musil, Jakub Šrámek, garant: Ing. Ondřej Huml, Ph.D.)	163
Small-scale ChatGPT - generování textu pomocí neuronových sítí (Marie Zášková, Beáta Marková, garant: Ing. Jiří Löffelmann)	167
Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně (Lukáš Vojtek, Vít Holoubek, Šimon Poslední, Alta Boor, garant: Ing. Jan Rataj, Ph.D.)	171

Studium produkce podivných jader (Kateřina Hermannová, Jakub Sivák, Anežka Ježková, garant: Ing. Dalibor Skoupil, Ph.D.)	175
The Influence of Moderator Parameters on the VVER-1000 Reactor (Thanh Huyen Do, Anna Janíková, garant: Ing. Ondřej Lachout)	179
Vizualizace čísel (Kryštof Buršík, Antonín Trnka, Samuel Župka, Alexander Košťál, garant: Ing. Lukáš Heriban)	183
Vlastnosti materiálů počítané z prvních principů (metoda ab-initio) (Jakub Kubica, Jiří Klier, Oliwia Wantulok, Jakub Kutscherauer, garant: Mgr. Jaroslav Hamrle, Ph.D.) . .	187
Vrtichvost – simulátor magnetických ostrovů v tokamaku (Klára Jenišťová, garant: RNDr. Jana Brotánková, Ph.D.)	191
Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy (Vojtěch Stluka, garant: Ing. Mgr. Martina Švábová, Ph.D.; Ing. Olga Bičáková, Ph.D.)	195
What is inside the surprise kinderegg? A hands on introduction to CT scanning, postprocessing and visualization (Marek Číhala, Zuzana Grycová, garant: MSc. Noah Schäfer)	198
Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM (Jiří Strítěský, Adam Selke, Nikola Zdeňková, garant: Bc. Daniela Kropáčková)	202



Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2025

Program Týdne vědy 2025

Program TV@J

- Neděle
 - 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
 - 19.00 a dále: Ubytování na kolejích
- Pondělí
 - 09.00-16.30: Miniprojekty (seznámení, rešerše, příprava, realizace)
 - 16.30-17.50: Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J
 - 16.30-17.50: Alternativní přednášky pro ty, co jsou na TV@J poněkoliště
 - 18.00-20.00: Večerní program
- Úterý
 - 09.00-18.00: Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku)
 - 18.00: Uzávěrka nahrání příspěvků do sborníku
 - 18.00: Uzávěrka návrhů titulního obrázku sborníku (fakultativní soutěž)
- Středa
 - 08.30-10.00: prof. Ing. Zuzana Masáková, Ph.D.: Víte, proč zlomek $22/7$ tak dobře aproximuje číslo π ?
 - 10.30-11.50: Darren Copeland, MSc.: Introduction to scientific communication in English – a general introduction to public speaking at conferences
 - 10.30-11.50: Alternativní přednášky pro ty, co jsou na TV@J poněkoliště
 - 12.00-13.30: Pauza na oběd
 - 13.00 a dále: Exkurze
 - 17.30-19.00: Diskuzní párty
 - 20.00: Uzávěrka nahrání prezentací pro minikonferenci
 - 20.00: Uzávěrka uploadu posterů
- Čtvrtek
 - 08.30-09.30: Prezentace miniprojektů I (plénium)
 - 09.30-09.45: Univerzitní stipendia, The Kellner Family Foundation

- 09.45-10.15: Kávová přestávka
- 10.15-11.45: Prezentace miniprojektů II (paralelní sekce)
- 11.45-13.00: Pauza na oběd
- 13.00-14.00: Prezentace miniprojektů III (paralelní sekce)
- 15.00-16.30: Planetárium
- 18.00-21.00: Kasino (závěrečný společenský večerní program na fakultě)

- Pátek

- 08.30-10.00: Prezentace miniprojektů IV (posterová sekce)
- 10.00-10.30: Kávová přestávka
- 10.30-12.00: Prezentace miniprojektů V (plénium)
- 12.00-12.30: Závěr
- 12.30: Zakončení ročníku TV@J
- 12.30-13.30: Oběd

Exkurze

- ELI BEAMLINES
- Hvězdárna Ondřejov – Perkův dalekohled
- Laboratoř nanoskopie & Laboratoř optických biosenzorů – Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR
- Laboratoř urychlovače Van de Graaff
- Proton Therapy Center
- Simulátor řízení letového provozu ESCAPE-Light
- Školní reaktor VR-1 a podkritický reaktor VR-2 FJFI ČVUT
- Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.
- Svět kapalných krystalů a laboratoř elektronové mikroskopie – FZU AV ČR (Na Slovance)
- Tokamak GOLEM

Seznam všech přednášek

- doc. RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D.: Čím se zabývá jaderná chemie v roce 2025?
- Darren Copeland, MSc.: Intro to the scientific communication – general introduction to public speaking
- prof. Ing. Ladislav Musílek, CSc.: Jaderné zbraně
- Mgr. Jaroslav Hamrle, Ph.D.: Jak popsat materiál pomocí kvantové mechaniky
- Ing. Josef Bobek: Large Hadron Collider - Proč byl postaven 27km tunel za 100 miliard?
- Ing. Alena Zavadilová, Ph.D.: Laser-Induced Breakdown Spectroscopy a uran (nejen v přírodních vodách)
- doc. Ing. Radek Fučík, Ph.D.: Matematické modelování přírodních a medicínských procesů
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: Pevné, pevnější, nejpevnější
- Barbora Růžicková: Pozvánka na studentské soustředění TCN (tábor organizovaný SU FJFI)
- RNDr. Petr Chaloupka, Ph.D.: Pozvánka na Turnaj mladých fyziků
- Ing. Anna Jelínek Michaelidesová, Ph.D.: Radiobiologie
- prof. Ing. Tomáš Čechák: Radiometrické datování - Historie Země a lidstva

- Ing. Ondřej Kořistka, MBA: Radonový tanec v jeskyních aneb predikce zemětřesení skrz anomální signály
- Ing. Ondřej Kořistka, MBA: Terénní dozimetrie aneb střípky z radostí a strastí jaderného fyzika
- Ing. Ondřej Ficker, Ph.D.: Termojaderná fúze
- Ing. Barbora Drtinová, Ph.D.: Ukládání radioaktivního odpadu.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace I – jak na prezentace a publikace
- prof. Ing. Zuzana Masáková, Ph.D.: Víte, proč zlomek $22/7$ tak dobře aproximuje číslo π ?
- Organizace TV@J: Vyhodnocení a udělení cen z Pevnosti Břehyard.
- Ing. Ondřej Kořistka, MBA: Výpočetní tomografie očima fyzika, biologa a matematika
- doc. Ing. Lubomíra Dvořáková, Ph.D.: Wythoffova hra aneb zraněná dáma
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Základní motivační a organizační přednáška k TV@J

Diskusní párty

- Ing. Lenka Frýbortová, Ph.D.: Co je vlastně ta jaderná bezpečnost a jak na ni
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Energetika ČR včera, dnes a zítra
- RNDr. Věra Krajčová, Ph.D.: Nanoskopie a nanosvět
- Ing. Ondřej Kořistka, MBA: S čertem špatně, bez čerta hůř! Nebo ne?
- Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.: Teorie her

Miniprojekty a jejich garanti

- Ing. Jan Stránský, Ph.D.: 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: 3D tisk a pevnost
- Ing. Miroslav Hýža, Ph.D.: Atmosféra pod lupou: Radioaktivní otisky Země a vesmíru
- RNDr. Ing. Michal Jex, Ph.D.: Cestující plamen – studium excitabilních médií
- Ing. Kristýna Havlinová: Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie
- doc. Vitalii Zablotskii, DrSc: Chirality, Life, and Magnetic Field
- RNDr. Martina Kekule, Ph.D.: Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?
- Ing. Kryštof Kadlec: Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR)
- Ing. Ondřej Lachout: Determination of Calibration Curves for Control Rods of the VVER-1000 Reactor
- Ing. Jan Kratochvíl, Ing. Dominika Popelová, Ing. Karel Veselský: Domácí spektrometr: Věda na dosah ruky
- Ing. Alžběta Horynová: Fotochemie uranu – jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod?
- Mgr. Cinthia Antunes Correa, PhD.: How to find the crystal structure of a material?
- Bc. Daniel Adamčík, Bc. Vojtěch Bártek: Jak funguje PET aneb člověk jako zářič
- Bc. Josef Sabol: Jak neutronové zrcadlo ovlivňuje chod reaktoru?
- Bc. Martin Kolář, Ing. Jakub Skočdopole Ph.D: Jak ochránit polymerní materiály před rozmary živlů
- doc. Ing. Lubomíra Dvořáková, Ph.D., Ing. Petr Ambrož, Ph.D.: Jak pomocí vlastních čísel ochočit Fibonacciho králíky
- Ing. Kateřina Pilařová, Ph.D.: Jak poznat dávku z barvy gelu?
- Ing. Martin Jirka, Ph.D.: Jak přeměnit světlo na hmotu?

- Ing. Kamil Augsten, Ph.D.: Jak si postavit vlastní urychlovač částic (a pochopit, jak funguje)
- Ing. Barbora Drtinová, Ph.D. (Bc. Erik Marenčák): Jak stárne cementový materiál? Vrásky neřeší, hlavně že drží pohromadě...
- Ing. Jaroslav Novotný, Ph.D.: Kvantové korelace ve službách kryptografie
- Ing. Michal Jelínek, Ph.D.: Lasery a speciální optické jevy
- Ing. Ondřej Holas: Luminiscence: Charakteristika luminiscenčních vlastností na základě experimentů
- Ing. Jiří Čapek, Ph.D.: Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámou látku aneb co je to za bílý prášek?
- Bc. Filip Bartoš: Lze simulovat fyziku pomocí neuronových sítí?
- Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.: Markovovy rozhodovací procesy aneb jak se vypořádat s nejistotou
- Ing. Petr Mácha, Bc. Václav Sedmidubský: Měření vlastností turbulence plazmatu na tokamaku GOLEM
- prof. Ing. Petr Kolenko, Ph.D.: Modelování biologických struktur z experimentálních synchrotronových dat
- Bc. Josef Sabol: Může příliš mnoho chladiwa v jaderném reaktoru vadit?
- doc. Ing. Jan Pšikal, Ph.D.: Numerická aproximace závislostí z nepřesných dat (měření)
- Dr. Gergo Pokol, PhD: Plasma fluctuations in tokamak discharges
- Ing. Pavel Strachota, Ph.D.: Počítačová grafika – pohled pod pokličku
- Ing. Adam Říha, Ph.D.: Postavte si laserový zaměřovač
- Ing. Miroslav Myška, Ph.D.; Ing. Ota Zaplatílek: Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
- Ing. Jiří Löffelman: Rozpoznávání číslic pomocí neuronových sítí
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu ABWR
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu VVER-440
- Ing. Ondřej Huml, Ph.D.: Šíření neutronů prostředím
- Ing. Jiří Löffelman: Small-scale ChatGPT - generování textu pomocí neuronových sítí
- Ing. Jan Rataj, Ph.D.: Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně
- Ing. Dalibor Skoupil, Ph.D.: Studium produkce podivných jader
- Ing. Ondřej Lachout: The Influence of Moderator Parameters on the VVER-1000 Reactor
- Ing. Lukáš Heriban: Vizualizace čísel
- Mgr. Jaroslav Hamrle, Ph.D.: Vlastnosti materiálů počítané z prvních principů (metoda ab-initio)
- RNDr. Jana Brotánková, Ph.D.: Vrtichvost – simulátor magnetických ostrovů v tokamaku
- Ing. Mgr. Martina Švábová, Ph.D.; Ing. Olga Bičáková, Ph.D.: Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy
- MSc. Noah Schäfer: What is inside the surprise kinderegg? A hands on introduction to CT scanning, postprocessing and visualization
- Bc. Daniela Kropáčková: Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

Minikonference

• Úvodní plenární blok

čtvrtek 8.30-9:30, Břehová aula 103, předsedající: Jaroslav Kraft

- ◇ 8:30 – Jak stárne cementový materiál? Vrásky neřeší, hlavně že drží pohromadě...
- ◇ 8:45 – Numerická aproximace závislostí z nepřesných dat (měření)
- ◇ 9:00 – Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?
- ◇ 9:15 – Chirality, Life, and Magnetic Field

• Paralelní ústní sekce

čtvrtek 10:15-11:45, Břehová aula 103, předsedající: Jakub Kutscherauer

- ◇ 10:15 – Měření vlastností turbulence plazmatu na tokamaku GOLEM
- ◇ 10:30 – Počítačová grafika – pohled pod pokličku
- ◇ 10:45 – Jak ochránit polymerní materiály před rozmary živlů
- ◇ 11:00 – Fotochemie uranu – jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod?
- ◇ 11:15 – Postavte si laserový zaměřovač
- ◇ 11:30 – Studium produkce podivných jader

• Paralelní ústní sekce

čtvrtek 10:15-11:45, Břehová aula 115, předsedající: Karolína Faitová

- ◇ 10:15 – Domácí spektrometr: Věda na dosah ruky
- ◇ 10:30 – Markovovy rozhodovací procesy aneb jak se vypořádat s nejistotou
- ◇ 10:45 – Small-scale ChatGPT - generování textu pomocí neuronových sítí
- ◇ 11:00 – The Influence of Moderator Parameters on the VVER-1000 Reactor
- ◇ 11:15 – Luminiscence: Charakteristika luminiscenčních vlastností na základě experimentů
- ◇ 11:30 – Jak neutronové zrcadlo ovlivňuje chod reaktoru?

• Paralelní ústní sekce

čtvrtek 13:00-14:00, Břehová aula 103, předsedající: Kateřina Hermannová

- ◇ 13:00 – Může příliš mnoho chladiwa v jaderném reaktoru vadit?
- ◇ 13:15 – Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM
- ◇ 13:30 – Vizualizace čísel
- ◇ 13:45 – Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

• Paralelní ústní sekce

čtvrtek 13:00-14:00, Břehová aula 115, předsedající: Jakub Kíni

- ◇ 13:00 – Simulace provozu JE typu ABWR
- ◇ 13:15 – Lze simulovat fyziku pomocí neuronových sítí?

- ◇ 13:30 – Šíření neutronů prostředím
- ◇ 13:45 – 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin

• Poster session

Pátek 8:30-10:00

- Jak přeměnit světlo na hmotu?
- 3D tisk a pevnost
- Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy
- Vlastnosti materiálů počítané z prvních principů (metoda ab-initio)
- How to find the crystal structure of a material?
- Cestující plamen – studium excitabilních médií
- Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně
- What is inside the surprise kinderegg? A hands on introduction to CT scanning, postprocessing and visualization
- Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámou látku aneb co je to za bílý prášek?
- Jak poznat dávku z barvy gelu?
- Modelování biologických struktur z experimentálních synchrotronových dat
- Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR)
- Jak funguje PET aneb člověk jako zářič
- Atmosféra pod lupou: Radioaktivní otisky Země a vesmíru
- Determination of Calibration Curves for Control Rods of the VVER-1000 Reactor
- Plasma fluctuations in tokamak discharges
- Vrtichvost – simulátor magnetických ostrovů v tokamaku
- Lasery a speciální optické jevy
- Rozpoznávání číslic pomocí neuronových sítí

• Závěrečný plenární blok

pátek 10:30-12:00, Břehová aula 103, předsedající: Klára Nabiová

- ◇ 10:30 – Jak pomocí vlastních čísel ochočit Fibonacciho králíky
- ◇ 10:45 – Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách
- ◇ 11:00 – Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie
- ◇ 11:15 – Kvantové korelace ve službách kryptografie
- ◇ 11:30 – Simulace provozu JE typu VVER-440
- ◇ 11:45 – Jak si postavit vlastní urychlovač částic (a pochopit, jak funguje)

3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin

Z. Kolouchová ¹, V. Korolova ², O. Tichý ³

¹Gymnázium ALTIS, Praha; zuzanakolouchova07@gmail.com

²Gymnázium a obchodní akademie Bučovice;
korolyova.nika22@gmail.com

³Gymnázium ALTIS, Praha; tichy.ondra07@gmail.com

Odborný garant; Ing. Jan Stránský, Ph.D.; BTU AV ČR

Abstrakt:

Cílem našeho dvoudenní práce bylo určit strukturu proteinu, a to konkrétně cytoplazmatického enzymu, lysozymu. Součástí naší práce byla příprava jeho krystalků, dále pak na základě dat z rentgenové difrakce určování elektronovou hustoty. Z té jsme pak konečně zrekonstruovali i finální strukturu pozorované bílkoviny.

1 Úvod

Na úvod pro úplné porozumění tématu je nutné zopakovat několik základních informací nejen o proteinech jako životně důležitých sloučeninách, ale také i o námi zkoumaném lysozymu.

Proteiny jsou biomakromolekulární látky, které jsou tvořeny dlouhými řetězci aminokyselin. Tyto látky mají v našem těle nespočet funkcí. Některé jsou základní stavební jednotkou například našich vlasů (keratin), zatímco bez obranné funkce jiných proteinů by bylo pro nás život nemožný (imunoglobulin).

Mezi tyto obranné proteiny patří i námi zkoumaný lysozym. Tato bílkovina je tvořena řetězcem 129 aminokyselin. V lidském těle jej nalezneme například v našich slinách, v přírodě pak třeba ve vaječném bílku. Tento enzym katalyzuje rozklad polysacharidových řetězců v buněčných stěnách bakterií, a tím je způsobuje jejich smrt.

Znalost struktur proteinů je pro lidstvo a výzkum důležitá z mnoha důvodů od vývoje nových léčiv až po například pokrok v genetickém inženýrství

2 Krystalizace proteinu

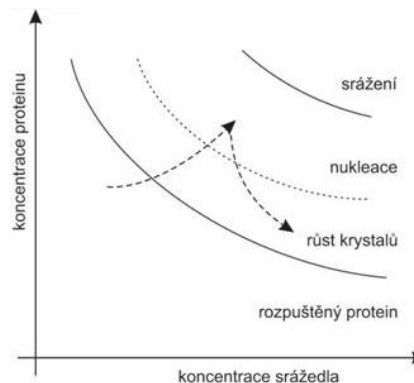
Běžným způsobem zjišťování struktur proteinů je pomocí difrakce rentgenového záření od krystalové mřížky pozorovaného proteinu. Stejným způsobem jsme postupovali i my vašem experimentu.

Existuje několik způsobů, jak takový krystal vypěstovat, my si vybrali níže popsanou metodu visící kapky.

2. 1 Princip a proces krystalizace

Krystalizace je proces fázové přeměny, během kterého se částice uspořádávají do pravidelné krystalické mřížky. Tento proces nastává, když dosáhneme limitu nasycení roztoku závisících na mnoha faktorech od změny koncentrace proteinu, přes změnu pH až po užití srážecí činidla. Za ideálních podmínek pak roztok vylučuje pevné látky právě v té žádoucí krystalické formě.

Krystalizace samotná probíhá ve fázích počínající nukleací, tedy vznikem krystalizačních jader. Tato jádra jsou pak stabilní a schopná spontánního růstu. Stupeň přesycení zakreslujeme do fázového diagramu, kde přesycení rozdělujeme do tří stupňů. Nejvyšším stupněm je oblast precipitační, kde se tvoří sraženiny a pro nás tedy není žádoucí. Další zónou je oblast labilní, kde chceme krystalizaci iniciovat. Vytvořením jader v labilní oblasti se sníží koncentrace proteinu a dostaneme se tak do té nejméně přesycené pro nás nejideálnější zóny, a tou je oblast metastabilní, kde probíhá už jen růst krystalů.



Obrázek 1- fázový diagram

2. 2 Metoda visící kapky

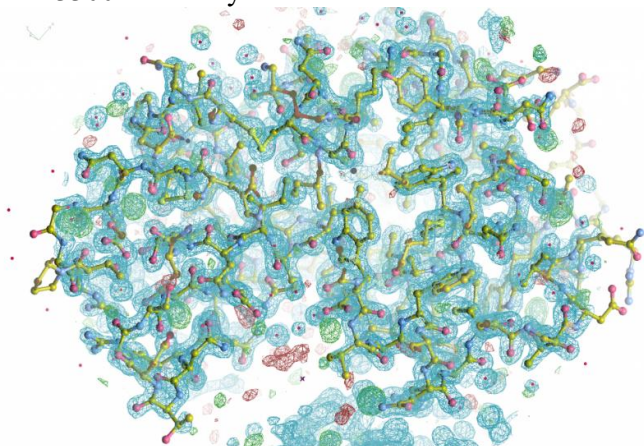
Tato metoda využívá principu difuze par, probíhající díky jednoduché osmóze, kdy se postupně zvyšuje koncentrace proteinu a precipitačního činidla v malé kapce, dokud nedojde k přesycení. Tato kapka visí na vnitřní straně víčka uzavíracího rezervoáru s matečným roztokem. Metoda je poměrně jednoduchá na provedení a mimo to také dobře pozorovatelná.

Abychom dosáhli požadované krystalizace, nutností je zajistit správné poměry mezi složkami matečného roztoku. Jeho součástí je nějaké precipitační činidlo, ta pak mají různé podoby. Může se jednat o soli, organická rozpouštědla či polymerní látky, jako je námi použitý PEG (polyethylenglykol). Další důležitou složkou je pak sůl, která narušuje vodní ochrannou vrstvu proteinů a snižuje jeho rozpustnost. My použili klasickou kuchyňskou sůl. Další složkou pak byl octan fungující jako pufr.

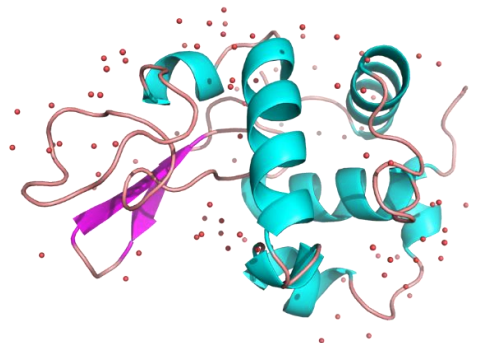
3 Provedení

Cílem naší práce bylo zmapování fázového diagramu, a tím ověření jeho pravdivosti v praxi. Pracovali jsme na třech destičkách o velikosti 3x5, tedy se 180 námi připravenými vzorky. Ve sloupcích jsme pak měnili koncentraci proteinu a v řádcích koncentraci soli. Celkový objem matečného roztoku byl vždy 400 μ l na 4 kapky. Z nich dvě v poměru proteinu a matečného roztoku 1:1 a dvě v poměru 1:2. Koncentrace rozpuštěného lysozymu byly 20, 40, 60, 80, 100 mg/ml. Gradient koncentrace soli byl 0,5M. Použili jsme tedy 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 M soli

S jedním ze vzorků s poměry 1:1 lysozymu s koncentrací 50 mg/ml s matečným roztokem složeným z 1M NaCl, 50 mM octanu sodný pH 4,0 a 30 % PEGu 3350 jsme pak prováděli rentgenovou difrakci. Jako první musel být krystal z kapky vyrybařen pomocí smyčky na pinu o průměru 100 μm a dále zamražen ve vialce v kapalném dusíku. Difrakce pak probíhala v rentgenovém difraktometru. Z difrakčního obrazce jsme poté zanalyzovali data a zkonstruovali strukturu lysozomu za pomoci specializovaného programu (XDS, CCP4) a více než 13300 naměřených reflexí.



Obrázek 2 – mapa elektronové hustoty



Obrázek 3 – stužkový model molekuly lysozymu

4 Shrnutí

Výsledkem naší práce je níže vložená koláž na obrázku č. 4 ukazující úspěšnost krystalizace v závislosti na koncentraci rozpouštědla a proteinu. Z fotek můžeme pozorováním vyvodit závěr, že ideálním rozpětím je koncentrace soli na 1M a 40 mg/ml lysozymu až po 1,5 M po 60 mg/ml proteinu za správně nastavených podmínek. Při nízkých koncentracích nukleace neproběhla naopak při vysoké koncentraci se vytvořily sraženiny.

Výsledkem druhé části experimentu je pak výše vložená struktura jednoho z krystalů lysozymu (obrázek 2 a 3).

Získaná data byla publikována v databázi ZENODO na adrese <https://doi.org/10.5281/zenodo.15731146>

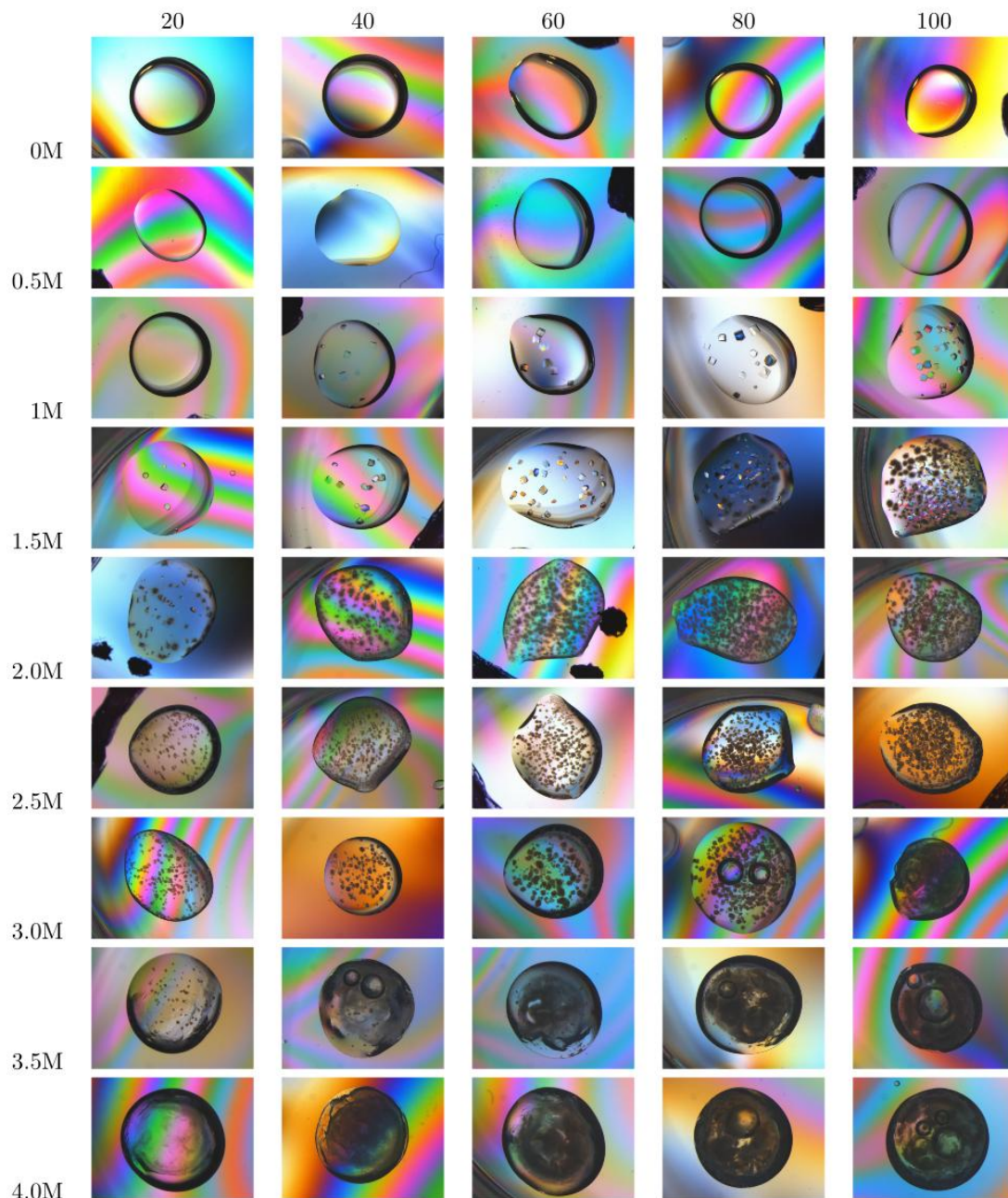
Poděkování

Především děkujeme našemu supervizorovi Ing. Janu Stránskému, Ph. D za odborné vedení tohoto projektu, prohloubení našich dosavadních vědomostí a otevřený, trpělivý přístup k nám při snaze správně vypočítat koncentrace a pochopit zdánlivě nepochopitelné. :)

Také samozřejmě děkujeme všem organizátorům Týdne vědy na FJFI ČVUT v Praze za příjemnější poslední předprázdninových dnů.

Reference

- [1] K čemu se lysozym používá? Online. Dostupné z: <https://cz.gygaoyuanbio.com/info/what-is-lysozyme-used-for-88895764.html>. [cit. 2025-06-24].
- [2] MARKOVÁ, Klára. *Krystalizace a strukturní charakterizace stabilních variant halogenalkandehalogenasy DhaA*. Online, Bakalářská práce. Brno, 2015. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/gcq3f/Bakalarska_prace_-_finalni_pdf.pdf. [cit. 2025-06-24].
- [3] KUTÁ SMATANOVÁ, Ivana. *Krystalizace biologických makromolekul*. Online. Dostupné z: <https://www.xray.cz/kryst/difrakce/iva/krystalizace.htm>. [cit. 2025-06-24].x



Obrázek 4 – Krystalizační fázový diagram v praxi, na horizontální ose je koncentrace proteinu (mg/ml), na vertikální ose je koncentrace soli (M)

3D tisk a pevnost

B. Pikešová¹, V. Kotyza²

¹ G JV Klatovy; barapikesova@gmail.com

² G dr. A. Hrdličky, Humpolec; vaclavkotyza@icloud.com

O. Garant, školitel; doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.

Abstrakt:

Cílem studie bylo experimentálně ověřit mez pevnosti v tahu tří populárních filamentů pro FDM 3D tisk (PLA, PLA-blend, PETG) a dodatečně zhodnotit vliv orientace vláken. Standardizované zkušební těleso (ČSN ISO 527-2) bylo vytištěno na tiskárně Prusa i3 MK3S+ a testováno na tahovém stroji. Naměřené hodnoty odpovídají hodnotám výrobce Prusament s odchylkou do $\pm 5\%$. Podélná orientace vláken zvýšila pevnost PLA o $\approx 20\%$. U PLA blend rozhodovala o druhu lomu rychlost deformace.

1 Úvod

Aditivní výroba z termoplastů umožňuje rychlou a levnou tvorbu prototypů, avšak takto vytisknuté předměty vykazují obvykle horší mechanické vlastnosti. Komerční filamenty se prodávají s tabulkovými hodnotami, které však často postrádají nezávislé ověření. Tato práce tyto údaje verifikuje a porovnává pevnost tří filamentů. Doplnkově je zkoumán vliv orientace vláken.

2 Použité materiály a způsoby tisku

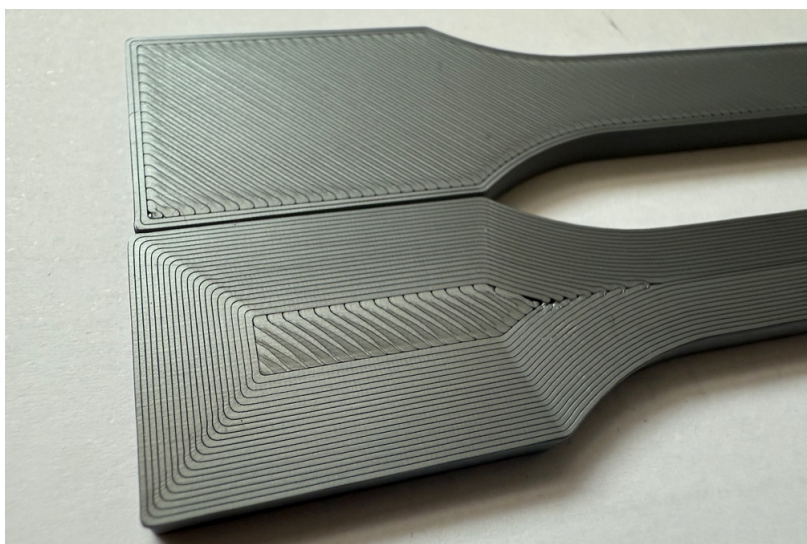
Testovali jsme tři různé filamenty – PLA, PETG a PLA blend. Všechny filamenty pocházejí od výrobce Prusament (Prusa Research)

PLA (*polylaktid*) je biologicky rozložitelný polyester vyráběný z kukuřičného nebo cukrového škrobu. Je tuhý, snadno tisknutelný, ale křehký.

PETG je kopolymer PET (polyethylentereftalátu) s glykolovou úpravou, která zlepšuje houževnatost a snižuje křehkost.

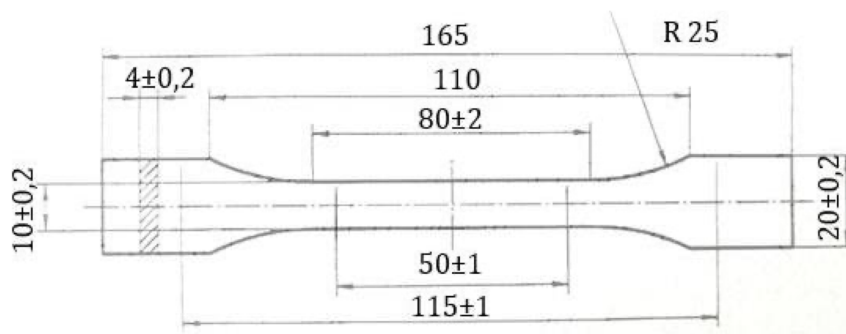
PLA blend je modifikovaný PLA s příměsemi pro vyšší pružnost a odolnost, přičemž si zachovává snadné tiskové vlastnosti PLA.

Všechny vzorky jsme tiskli s parametry uvedenými na technickém štítku výrobce. Dále jsme vyzkoušeli tisk jednoho vzorku z PLA jiným způsobem, a to tak, aby vlákna byla podélná na směr tažení. Toho jsme docílili nastavením počtu stěn na 20.



Obrázek 1, Vytisknuté vzorky, vzorek níže s podélnými vlákny

Vzorky jsme tiskli na tiskárně Prusa i3MK3S+, navrhli podle normy ČSN ISO 527-2, v programu Autodesk Fusion, stl soubor byl poté otevřen v Prusaslicer kde jsme nastavili parametry tisku.



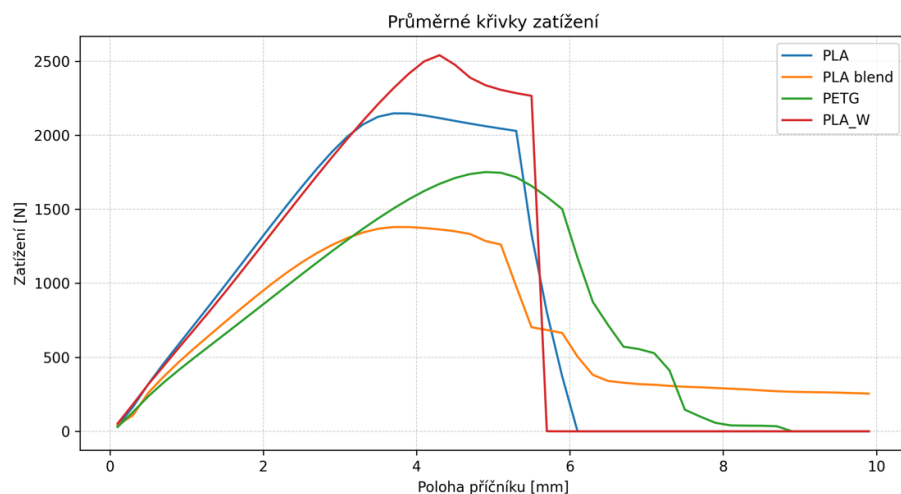
Obrázek 2, Schéma vzorku pro tahovou zkoušku [1]

3 Výsledky

Označení	Udávaná pevnost v tahu [MPa]	Námi naměřená pevnost v tahu [MPa]
PLA	51 ± 3	$53,8 \pm 0,5$
PLA (podélná vlákna)	-	63,6
PLA blend	32 ± 2	$34,6 \pm 1,0$
PETG	47 ± 2	$43,9 \pm 1,0$

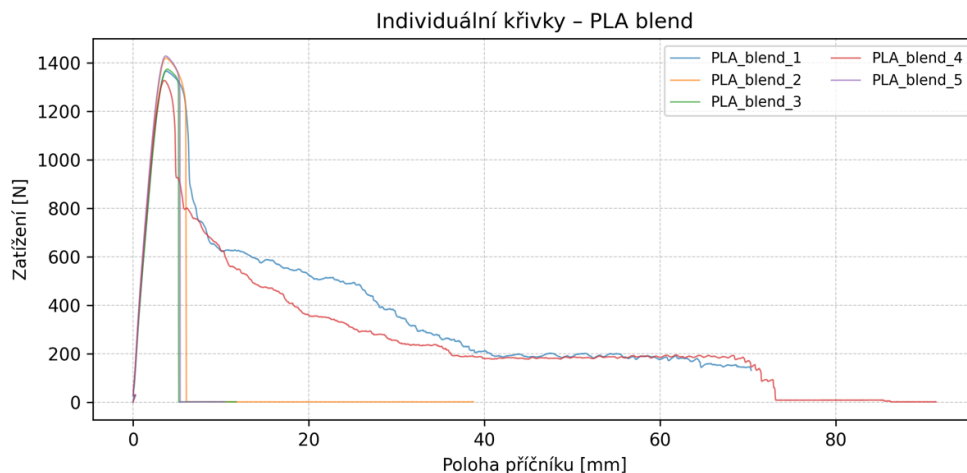
Tabulka 1, udávané a naměřené pevnosti v tahu [2], [3], [4]

Naměřené pevnosti odpovídají udávaným hodnotám výrobce. PLA dosáhlo očekávané hodnoty, PLA s podélnými vlákny vykázalo značně vyšší pevnost. Toto bylo očekávané, jelikož na rozdíl od ostatních vzorků zde vrstvy od sebe neodlepujeme ale jednotlivá vlákna se musí přetrhnout. U PLA blend jsme naměřili mírně vyšší hodnotu, u PETG byla zase hodnota nižší. Rozdíly by se dali vysvětlit chybami v měřící metodě, tisku, UV poškozením nebo vlhkostí/stářím filamentu.



Graf 1, Průměrné křivky zatížení

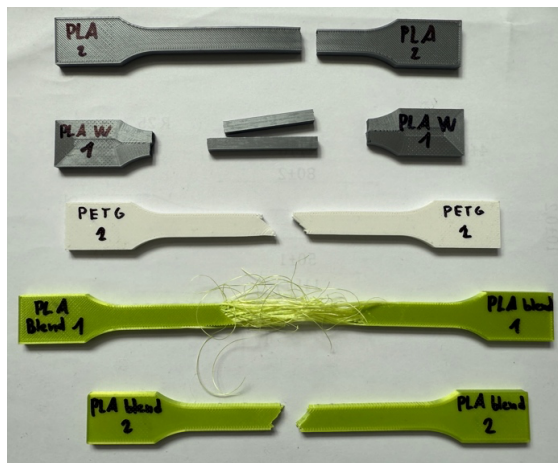
Na grafu 1 vidíme rozdíly v průbězích jednotlivých druhů filamentu při natahování. Je zde vidět rozdíl v houževnatosti – PLA je křehčí, po dosažení maximální síly se po krátkém natažení náhle přetrhne. U PETG a PLA blend vidíme postupný pokles síly před roztržením.



Graf 2, Individuální křivky – PLA blend

Na grafu 2 vidíme jednotlivé křivky vzorků z PLA blend. Jsou zde vidět 2 různé progrese. Vzorky byly natahovány odlišnou rychlostí, pokud rychlost byla větší než 40 mm/min, vzorek se přetrhnul krátce po dosažení maximální síly. Při nižších rychlostech se vzorek nepřetrhl a dosáhnul několikanásobně většího prodloužení. Pokles dějící se od 15 do 40 mm byl způsoben přetrháváním vláken z vnitřní výplně, od 40 mm zůstávali jen vlákna ze stěn která díky své orientaci umožnila ještě delší natažení.

Na vzorkách po tahové zkoušce (Obrázek 3) jsou vidět rozdílné typy lomů. PLA díky své vyšší křehkosti selhalo rovinným lomem. U vzorku PLA tištěného výhradně z podélných vláken došlo k několika lomům současně. PETG, který je houževnatější, má lom s větší plochou. Podobný charakter má také PLA blend tažený vyšší rychlostí (viz spodní část obrázku). Při nižší rychlosti natahování u téhož materiálu jsme však pozorovali výrazně větší protažení a postupné přetrhávání vláken.



Obrázek 3, vzorky po tahové zkoušce

4 Shrnutí

V této práci jsme porovnali pevnost v tahu tří různých materiálů pro 3D tisk (PLA, PETG, PLA blend) a ověřili vliv orientace vláken na mechanické vlastnosti. Naměřené hodnoty odpovídají nebo se blíží údajům výrobce. Nejvyšší pevnost jsme zaznamenali u PLA s podélnými vlákny, což potvrzuje význam orientace při vrstvení. U PLA blend se projevil vliv rychlosti natahování na prodloužení vzorku. PETG vykázal větší houževnatost a postupný lom oproti PLA. Práce potvrdila hodnoty naměřené výrobcem, některé s mírnými rozdíly. Také jsme zjistili, že orientace vláken má značný vliv na pevnost – zde jsme upozorovali 20% navýšení.

Poděkování

Děkujeme doc. Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení projektu, vysvětlení veškeré problematiky, poskytnutí 3d tiskárny a dalších věcí nutných k realizaci projektu. Dále bychom poděkovali Ing. Ondřeji Kovařikovi, Ph.D. za vysvětlení a seznámení s operací stroje na tahové zkoušky a organizátorům TV@J za celou akci.

Reference

- [1] ČSN EN ISO 527-2. Plasty – Stanovení tahových vlastností
- [2] Prusament PLA datasheet - https://prusament.com/wp-content/uploads/2022/10/PLA_Prusament_TDS_2021_10_EN.pdf
- [3] Prusament PLA blend datasheet - <https://www.prusa3d.com/file/938568/prusament-pla-blend-technical-data-sheet.pdf>
- [4] Prusament PETG datasheet - https://storage.googleapis.com/prusa3d-content-prod-14e8-wordpress-prusament-prod/2023/10/9f8d2165-tds_prusament-petg_n_en.pdf

Atmosféra pod lupou: Radioaktivní otisky Země a vesmíru

V. Matějek ¹, A. Vachutková ²

¹ Střední škola Letecká Kunovice; matejekv@gmail.com

² Masarykovo gymnázium Příbor; vachutkova.anna@seznam.cz

Garant: Miroslav Hýža; SÚRO v.v.i.

Abstrakt

Radionuklidy přítomné v ovzduší představují důležitou složku radiačního pozadí, jehož sledování je klíčové pro hodnocení stavu životního prostředí a ochranu obyvatelstva. Tyto radionuklidy pocházejí jak z přirozených zdrojů (kosmogenní a terestriální radionuklidy), tak z činnosti člověka (např. z jaderných havárií, průmyslu či zkoušek jaderných zbraní). V rámci tohoto projektu byla provedena analýza vzorků ovzduší s cílem stanovit množství a složení radionuklidů. K detekci a identifikaci radionuklidů byla použita metoda gamma spektrometrie, která umožňuje neinvazivní a přesné stanovení radionuklidů na základě jejich charakteristického gama záření. Výsledky měření poskytují přehled o aktuálním složení radionuklidů ve sledované oblasti a přispívají k dlouhodobému monitoringu radiační situace v atmosféře.

1 Úvod

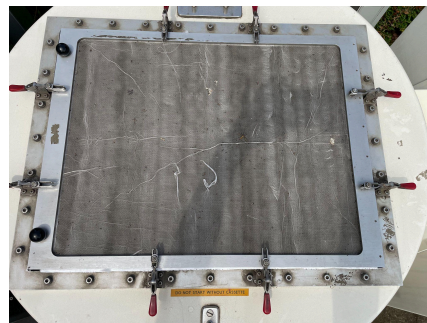
Radioaktivita je přirozeným jevem, který provází naši planetu od jejího vzniku. Je způsobena samovolným rozpadem nestabilních atomových jader, při kterém dochází k emisím ionizujícího záření. Toto záření má schopnost měnit strukturu hmoty, a proto je z hlediska životního prostředí i zdraví obyvatelstva předmětem dlouhodobého výzkumu a monitoringu. Radionuklidy přítomné v ovzduší mohou pocházet z různých zdrojů. Mezi přirozené zdroje patří kosmogenní radionuklidy, vznikající interakcí kosmického záření s atmosférou (např. **Be-7**, **Na-22**), a terestriální radionuklidy, vznikající jako dceřiné produkty v rámci přirozených rozpadových řad uranu a thoria (např. **Pb-212**, **Bi-214**). K antropogenním zdrojům patří především radionuklidy vzniklé při jaderných zkouškách, haváriích jaderných zařízení či při provozu jaderného průmyslu (např. **Cs-137**, **I-131**, **Sr-90**). Sledování složení a koncentrace radionuklidů v ovzduší je důležité z hlediska ochrany obyvatelstva a životního prostředí. Cílem tohoto projektu je seznámení se s problematikou gama spektrometrické analýzy atmosférických aerosolů a jejím využití v rámci Radiační monitorovací sítě ČR.

2 Materiály a metody

K odběru a přípravě vzorku atmosférických aerosolů jsme využili vysokoobjemové odběrové zařízení JL-900 Snow White (obr. 1); filtr FPM 1545 (obr. 2) a hydraulický lis Bernardo HWP 60. K měření dávkového příkonu byl využit radiometr RP-2000A. K samotné analýze jsme pak využili polovodičový detektor HPGe s relativní účinností na 1,33 MeV 100% a rozlišením 2,1 keV. Data z detektoru jsme vyhodnotili za pomoci softwaru Genie 2000. Se zpětným modelováním trajektorií jsme se seznámili v programu HYSPLIT.

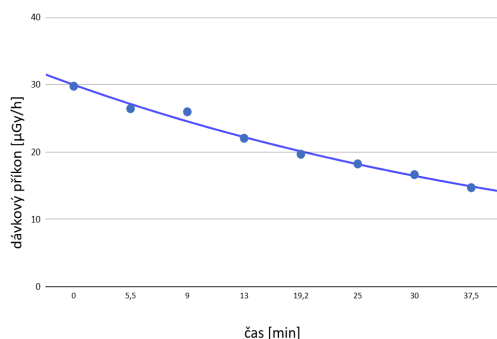


(1) Zařízení JL-900 Snow White

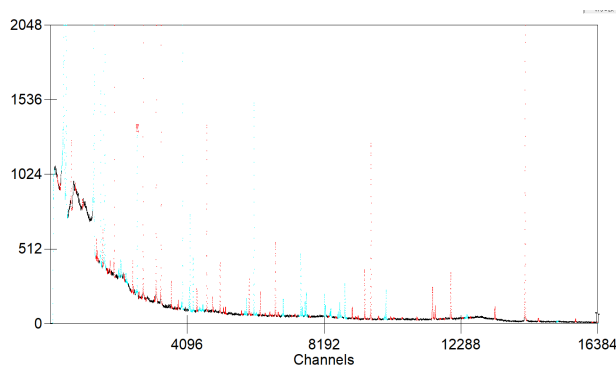


(2) Filtr FPM 1545

Samotné získávání vzorku probíhalo na zařízení JL-900 Snow White po dobu 74 hodin a celkový objem vzduchu prosátého přes filtr činil 54 333 m³. Vzorek pro měření jsme připravili slisováním a řádným označením odebraného filtru. Na připraveném vzorku jsme nejprve pomocí radiometru RP-2000A ověřili přítomnost krátkodobých radionuklidů. Tyto radionuklidy vznikají jako dceřinné produkty rozpadu radonu (Rn-222 a Rn-220), který je v ovzduší přítomen v poměrně významném množství. Následná kvalitativní a kvantitativní analýza probíhala pomocí polovodičového detektor HPGe, kde proběhlo 4414 sekund dlouhé měření, jehož výsledkem bylo spektrum gama (obr. 3). V získaném spektru jsme se na základě energií jednotlivých píků pokusili identifikovat některé radionuklidy, jejichž přítomnost jsme očekávali.



(3) Graf poklesu dávkového příkonu



(4) Gama spektrum

3 Výsledky

Pro ověření přítomnosti krátkodobých dceřiných produktů (zejména Pb-214 a Bi-214) jsme v průběhu jedné hodiny pomocí radiometru RP-2000A zaznamenávali hodnoty dávkového příkonu, který se s časem snižuje na základě rovnice pro exponenciální pokles $DP = DP_0 * e^{-\lambda * t}$. Výsledkem měření je graf poklesu dávkového příkonu (obr. 3) a také odhad poločasu přeměny, který byl však v našem konkrétním případě vyšší než poločas Pb-214 nebo Bi-214, což je způsobeno přítomností dalších prvků, zejména Pb-212 a Bi-212.

Při kvalitativní analýze jsme podle našeho předpokladu ve spektru (obr. 4) zaznamenali kosmogenní radionuklid Be-7 a některé izotopy olova, jež jsou součástí rozpadových řad. V rozporu s naším očekáváním jsme ve spektru neodhalili přítomnost K-40, což bylo pravděpodobně způsobeno příliš krátkou dobou měření. Pro kvantitativní analýzu, která vyjadřuje množství radionuklidu jako aktivitu jsme nadále využili pouze radionuklid Be-7. U izotopů olova jsme s ohledem na krátký poločas rozpadu kvantitativní analýzu neprováděli. K výpočtu aktivity jsme využili známý vzorec $A = P / (t * \gamma * \epsilon(E) * V)$ kde P je celková plocha píku, t délka měření, γ výtěžek dané energetické linky, $\epsilon(E)$ účinnost detektoru pro danou energii a V prosátý objem. Tímto výpočtem byla zjištěna objemová aktivita 4,247 mBq/m³. Veškeré námi zjištěné údaje byly pomocí vyhodnocovacího softwaru Genie 2000 (obr.5) vyhodnoceny jako odpovídající.

Hodnoty zjištěné výše zmíněným způsobem by, například při zjištění nadlimitních hodnot, bylo možné využít pro zpětné matematické modelování, které by na základě atmosférických údajů mohlo pomoci s odhadem šíření uniklé radioaktivní látky a přímo určit místo, kde k případnému úniku došlo. My jsme pro demonstrační účely využili hybridní jednočásticový Lagrangeův integrovaný trajektorový model HYSPLIT (obr.6). Na základě atmosférických dat dodaných do modelu jsme zjistili, že radionuklid Be-7 mohl do Prahy doputovat se severu.

```
*****
****  NUCLEIDE IDENTIFICATION REPORT  ****
*****

Sample Title:      Týden vědy
Nuclide Library Used: W:\CALFILES\Knihovny\N_233.nlb

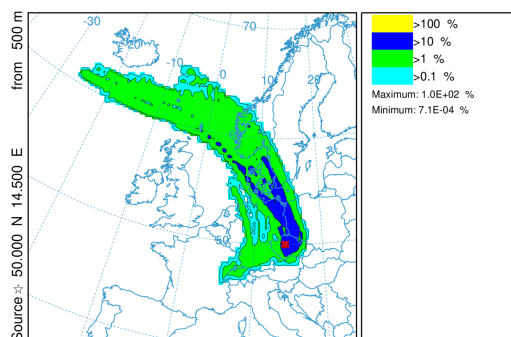
.....  IDENTIFIED NUCLIDES  .....

Nuclide  Id   Energy   Yield   Activity   Activity
Name     Conf   (keV)    (%)     (Bq /m3 )  Uncertainty
-----
Be-7     0.924   477.60*   10.44    4.427325E-03  1.159788E-04

* = Energy line found in the spectrum.
@ = Energy line not used for Weighted Mean Activity
Energy Tolerance : 1.000 keV
Nuclide confidence index threshold = 0.30
Errors quoted at 1.000 sigma

Interference Corrected Activity Report      23.06.25 14:02:41      Page 51
```

(5) Nuclide report v Genie 2000



(6) Frekvenční distribuce zpětných trajektorií za 72h

6 Závěr

Provedená gama spektrometrická analýza vzorků ovzduší vedla k detekci kosmogenního radionuklidu Be-7 a některých izotopů olova z přirozených rozpadových řad. Vzhledem ke krátké době měření nebyl ve spektru detekován K-40, jehož přítomnost jsme původně očekávali. Kvantitativní analýza byla provedena pro Be-7, u něhož byla stanovena objemová aktivita 4,247 mBq/m³. U izotopů olova nebyla kvantitativní analýza vzhledem k jejich krátkému poločasu rozpadu realizována. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí softwaru Genie 2000 a odpovídají očekávaným hodnotám pro danou lokalitu. V rámci projektu jsme se seznámili se základními principy spektrometrie gama, zejména pak v oblasti kvalitativní a kvantitativní analýzy radionuklidů v atmosférických aerosolech. Seznámili jsme se také s možnostmi zpětného modelování trajektorií úniků radioaktivních látek do ovzduší.

7 Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat vedoucím našeho miniprojektu Miroslavu Hýžovi a Mahuleně Kořistkové za veškerou podporu při práci na našem projektu. Dále patří díky všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

8 Reference

1. SÚRO, v.v.i. Monitorování radionuklidů v ovzduší. Státní ústav radiační ochrany. [Online] <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi>
2. SÚRO, v.v.i. Odběrové zařízení. Státní ústav radiační ochrany. [Online] <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi/odberove-zarizeni>
3. A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J. B. Stunder, M. D. Cohen, and F. Ngan NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System [Online] <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

Cestující plamen - studium excitabilních médií

S. Řezníčková¹ and R. Petit²

¹Gymnázium Tachov; sibarez@seznam.cz

²Gymnázium Prachatice; remipetit@post.cz

RNDr. Ing. Michal Jex, Ph.D. KF FJFI ČVUT

Abstrakt

Excitabilní média jsou systémy, ve kterých se vzruch může šířit pouze s časovým omezením kvůli nutnosti "zotavení" jednotlivých buněk systému. V rámci projektu jsme vytvořili jednoduchý model v Pythonu, který simuluje šíření excitace v diskretním cyklickém prostoru. Následně jsme prováděli pokusy se lehkým benzinem do zapalovačů v cyklických strukturách, porovnávali jejich chování s výstupy modelu a nakonec vypočítali průměrnou rychlost šíření plamene v kruhovém 3D modelu. Cílem bylo ukázat, jak se jednoduchý nelineární systém může chovat komplexně a repetitivně.

1 Úvod

Excitabilní média jsou dynamické systémy, které se vyskytují v mnoha oblastech přírodních věd - od šíření akčního potenciálu v nervové tkáni až po šíření požáru v krajině. Typickým rysem těchto systémů je to, že každé místo může být aktivováno (excitováno) pouze po určité době zotavení, což vede ke komplexnímu prostorově-časovému chování. Systém se tak dělí do tří stavů: 1) relaxovaný - připraven k šíření signálu, 2) excitovaný: aktuálně signál šíří, 3) refrakterní: předal signál a nastává doba regenerace před přijetím nového signálu. Takové systémy často vykazují jevy jako jsou rotující vlny, oscilace nebo stabilní vzory.

2 Materiály a metody

2.1 Numerický model

V jazyce Python jsme vytvořili jednoduchý buněčný automat s diskretními stavy, který simuluje šíření lesního požáru, ve kterém každá buňka mřížky mohla být v jednom ze tří již zmíněných stavů: relaxovaném (zelená), excitovaném (hořícím - červená) a refrakterním (vyhořelém - šedá). Přejít mezi stavy byl určen jednoduchými pravidly založenými na přítomnosti sousedních excitovaných buněk a době zotavení. Mřížka byla vizualizována pomocí knihovny PyGame a byla upravena tak, aby v některých směrech umožňovala cyklické šíření (periodicita řádku).

Simulace ukázala, že za vhodného výběru cyklické dráhy dochází k pravidelnému šíření excitace v uzavřené smyčce - tzv. "cestujícímu plameni", který se opakuje díky tomu, že buňky se po daném časovém kroku zregenerují. Odkaz pro kód naší simulace se nachází na: https://github.com/loloremi8/travelling_flame

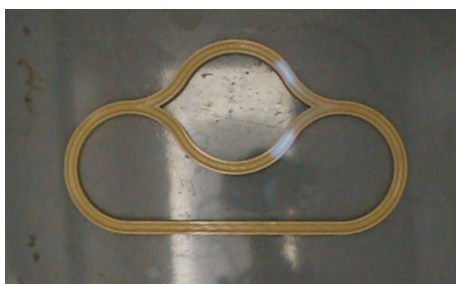


Obrázek 1: Vizualizace v Pythonu - snímek 1

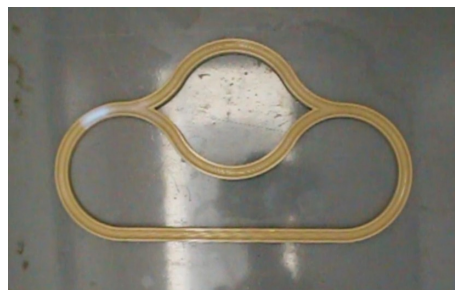
Obrázek 2: Vizualizace v Pythonu - snímek 2

2.2 Experimentální část

Experiment spočíval v zapalování lehkého benzínu (pro "bezpečnost" v digestoři), který je vhodný pro své hořlavé páry, v kruhových nebo smyčkových kanálech různých 3D modelů (kruhový, smyčkový, paprskový, spirálovitý). Pohyb plamene byl zaznamenáván staticky umístěnou kamerou a ukázal, že skutečně může vzniknout trvalý, pohybující se vzruch - podobně jako v simulaci. V některých případech plamen zhasl, pokud neměl dostatečný prostor k obnově. V cyklických modelech docházelo k vyrušení protijdoucích plamenů při vzájemném střetu. Při vyšším počtu blízko sousedících drah, či při nadměrné přítomnosti par, hořlavé páry skupinově vzplanuly a celý systém "vyhořel", což odpovídá "vyčerpání" média v modelu.



Obrázek 3: Cestování plamene - snímek 1



Obrázek 4: Cestování plamene - snímek 2

2.3 Výpočet rychlosti

Videa z fotoaparátu o frekvenci 50 snímků za vteřinu jsme exportovali do počítače a následně jsme analyzovali počet snímků potřebných k uražení určené dráhy. Kvůli jednoduchosti jsme zvolili plechový kruhový model o průměru 15.6 cm. Jelikož se nejedná o model s jasným uzavřením, plamen se šířil oběma směry a přesně v polovině dráhy se jednotlivé plameny střetly a vyrušily. Měřili jsme tedy dráhu o polovině celého obvodu, $s = 24.5 \text{ cm} = 0.245 \text{ m}$. Dalším faktorem byla koncentrace benzínových par, které ovlivňovaly rychlost šíření plamene. Průměrnou naměřenou a vypočítanou rychlostí šíření plamene vyšla $v = 0.92 \pm 0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obrázek 5: Měření rychlosti plamene na plechovém kruhu

3 Výsledky a diskuse

Simulace i experiment ukázaly, že i jednoduchý systém s jasně danými pravidly může vykazovat komplexní a opakující se chování. Periodické šíření plamene v kruhové smyčce se podařilo pozorovat jak numericky, tak fyzicky. Překvapivě dobře odpovídala doba "vyhoření a zotavení" v modelu reálné době, kdy plamen znovu dokázal zapálit danou část okruhu.

4 Závěr

V projektu se nám podařilo propojit jednoduchý numerický model s fyzickým experimentem a demonstrovat tak základní chování excitabilních médií. Model pomocí buněčného automatu dobře vystihl klíčové rysy, jako je šíření vzruchu a nutná doba regenerace. Experimentálně jsme ověřili, že podobné chování lze pozorovat i u plamene v cyklické geometrii. Tento přístup nabízí dobrý výchozí bod pro hlubší studium nelineárních systémů a šíření vln v různých prostředích - od chemických reakcí až po biologické tkáně. Do budoucna by bylo možné model rozšířit o více stavů nebo pracovat s reálnými parametry fyzikálních systémů.

Poděkování

Největší poděkování patří vedoucímu našeho miniprojektu, Ing. Michalovi Jexovi a dále děkujeme ČVUT FJFI za uskutečnění Týdne vědy.

Odkazy

1. KIER, L. B.; SEYBOLD, P. G.; CHENG, C.-K. *Modeling Chemical Systems using Cellular Automata*. Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3657-6.
2. MIKHAILOV, A. S. *Excitable Media, Foundations of Synergetics I*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1990. ISBN 978-3-642-97271-3.

Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie

L. Hlavatá¹, L. Lapčíková², A. Miczka³

¹ G a SOŠ Rokycany; hlaluc43@gasos-ro.cz

² Masarykovo G Příbor; linda.lapcikova@gypri.cz

³ SPŠCH Akademika Heyrovského Ostrava;
23miczkaa@zak.spsch.eu

Ing. Kristýna Havlinová, školitel; KJCH FJFI ČVUT

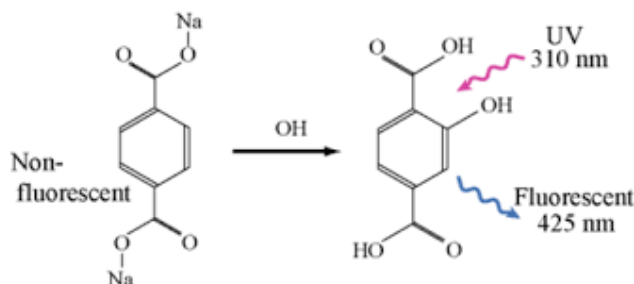
Abstrakt:

Cílem bylo porovnat množství kyseliny 2-hydroxytereftalové (vzniklé reakcí kyseliny tereftalové s OH radikály) v závislosti na době ozařování ionizujícím zářením s přidaným ethanolem a bez něj.

1 Úvod

Při dopadu ionizujícího záření na vodu dochází k radiolýze, při níž vznikají vysoce reaktivní OH radikály i další produkty. Radikály jakožto vysoce reaktivní částice reagují s prostředím, což může značně ovlivnit biomolekuly v živých systémech, a narušit tak jejich funkci.

Pro stanovení závislosti koncentrace OH radikálů na době působení ionizujícího záření byla použit vodný roztok kyseliny tereftalové (TPA), která reaguje s OH radikály za vzniku kyseliny 2-hydroxytereftalové (HTPA), jež vykazuje luminiscenční vlastnosti využitě pro analýzu. Tyto výsledky byly následně porovnány s roztokem TPA s přidaným ethanolem (EtOH), který vychytává OH radikály vzniklé působením ionizujícího záření.

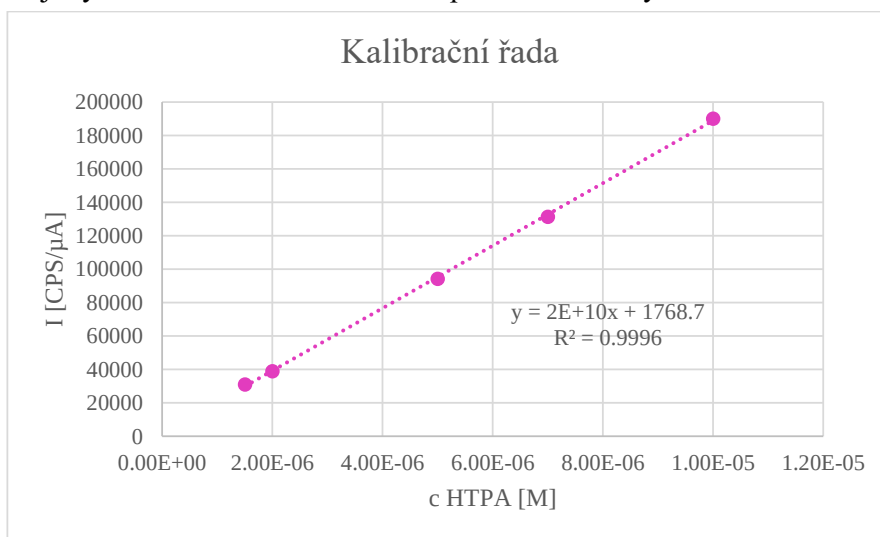


Obrázek 1: Schéma reakce TPA s OH radikálem za vzniku luminiskující HTPA.

2 Blahodárné účinky alkoholu

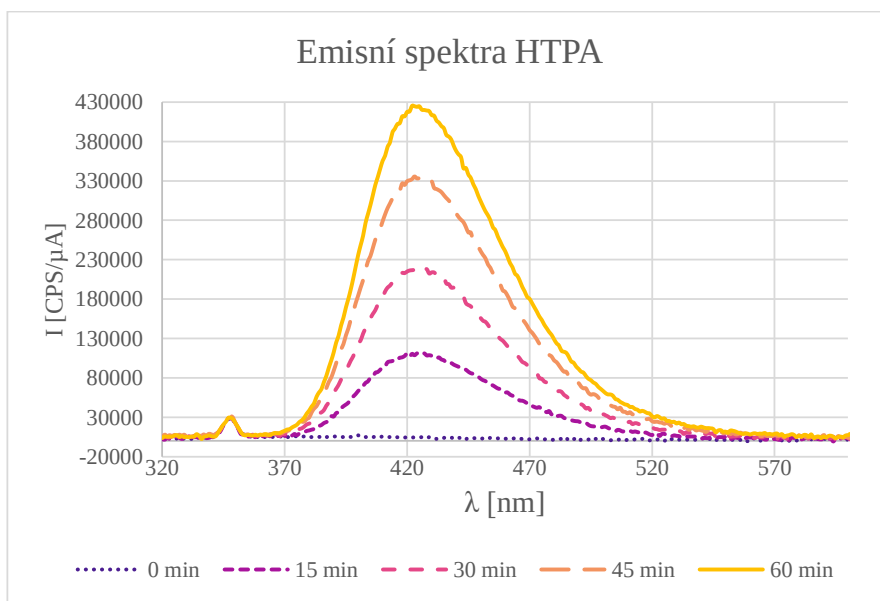
Do 200ml baňky byl připraven roztok TPA o koncentraci $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ s roztokem NaOH o koncentraci $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, který byl přidán z důvodu lepší rozpustnosti TPA ve vyšším pH. Nejprve byl odebrán vzorek o objemu 10 ml a následně o objemu 9,98 ml, do něhož bylo přidáno 0,02 ml EtOH. Z obou vzorků bylo před ozařováním odebráno 200 μl . Během samotného ozařování rentgenovým zářením se specifikacemi 195 kV, 20 mA a s 4mm Al filtrem bylo čtyřikrát odebráno 200 μl v 15min intervalech pro každý ze vzorků.

Pomocí spektrofluorimetru FluoroMax 4+ byla sestavena kalibrační řada vzorků HTPA o známé koncentraci, jež byla využita pro určení koncentrace HTPA v ozařovaných vzorcích. Na stejném přístroji byla následně měřena i emisní spektra ozařovaných vzorků.



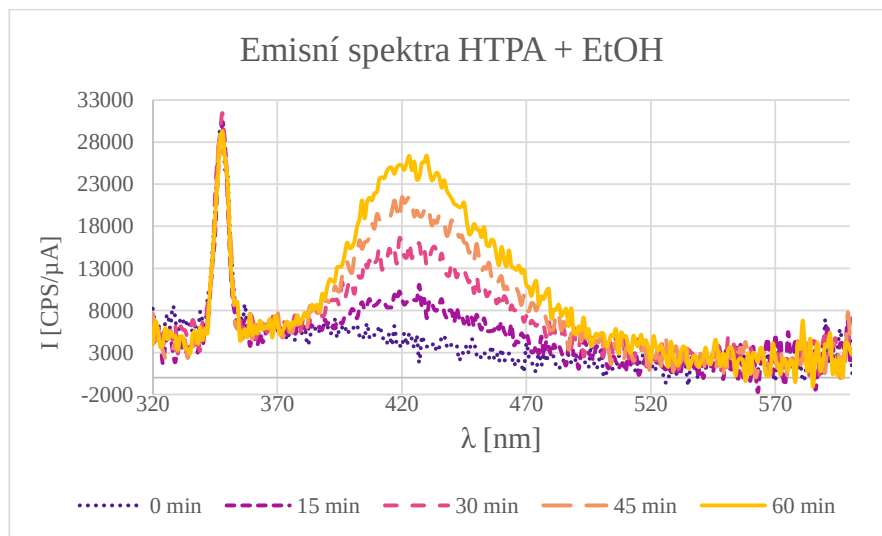
Obrázek 2: Graf kalibrační křivky závislosti intenzity na koncentraci HTPA.

Na obrázku 2 je patrný lineární růst intenzity luminiscence s koncentrací HTPA v intervalu $1,5 \cdot 10^{-6}$ až $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Daný graf (obr. 2) je zkonstruovaný z hodnot intenzit v emisním maximu při 422 nm.



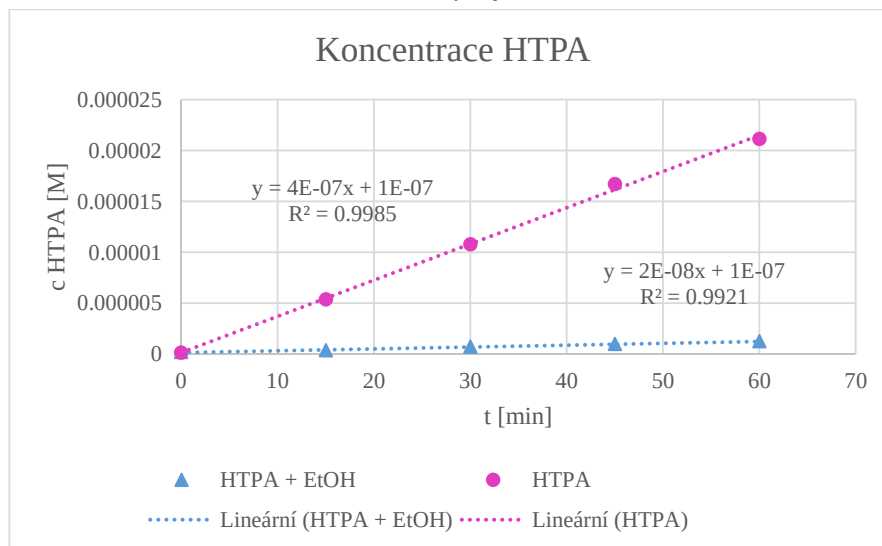
Obrázek 3: Graf emisního spektra HTPA v závislosti na délce ozařování.

Na obrázku 3 se v oblasti 345 nm nachází Ramanovský peak způsobený rozptylem excitačního záření na vodě. Intenzita emise se zvyšuje s dobou ozáření.



Obrázek 4: Graf emisního spektra HTPA s EtOH v závislosti na délce ozáření.

Na obrázku 4 se v oblasti 345 nm nachází Ramanovský peak způsobený rozptylem excitačního záření na vodě. Intenzita emise se zvyšuje s dobou ozáření.



Obrázek 5: Graf srovnání koncentrací HTPA ve vzorku s EtOH a bez něj.

K výpočtu koncentrace HTPA zobrazené v grafu (obr. 5) byla využita rovnice $y = 2E+10x + 1768,7$ (obr. 2). Z obrázku 5 je patrné, že koncentrace HTPA v roztoku byla mnohonásobně nižší a stoupala pomaleji ve vzorku s přidaným EtOH. Ethanol tedy efektivně vychytal většinu OH radikálů vzniklých radiolýzou vody během ozáření.

3 Shrnutí

Bylo zjištěno, že při působení ionizujícího záření dochází ke vzniku OH radikálů, což bylo dokázáno přeměnou TPA na HTPA, jejíž přítomnost byla detekována fluorescenční

spektrometrií. Koncentrace HTPA rostla s dobou ozáření a byla výrazně nižší ve vzorku s přidaným EtOH, z čehož plyne, že alkoholi se pouze jen chrání před účinky ionizujícího záření. V medicíně by se tedy mělo zvažovat, zda-li pít (a chránit se), či nepít (např. při radioterapii).

Poděkování

Vřelé poděkování patří vedoucí našeho miniprojektu, Ing. Kristýně Havlinové, dále děkujeme FJFI a ČVUT a především Ing. Vojtěchu Svobodovi CSc. za uskutečnění Týdne vědy, také MŠMT za finanční podporu celé akce.

Reference

- [1] H. Hayashi et al. *Comparison of OH Radical Concentration Generated by Underwater Discharge Using Two Methods*. <https://doi.org/10.34343/ijpest.2016.10.01.024>. 2016.
- [2] V. Čuba et al. *Praktikum z radiační chemie a fotochemie*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06384-2.

Chirality, Life, and Magnetic field

M. Sanginov, A. Kulakovskaja

anastasiija.kulakovskaja@gmail.com

matin.sanginov@gmail.com

Garant: Vitalii Zablotskii, DrSc (Fyzikální ústav AV ČR)

What Is Chirality?

Chirality is a property of asymmetry. An object is **chiral** if it cannot be superimposed on its mirror image—just like our left and right hands. In physics, chemistry, biology, and even architecture, chirality determines how systems function and evolve. But **why does nature prefer one “hand” over the other?**



Cosmic Chirality: Spiral Galaxies

The majestic spiral galaxies, such as M77, exhibit chiral symmetry on a cosmic scale. The spiral arms swirl in a particular direction—a shape explained by gravitational compression acting on magnetic fields, gas, and dust.

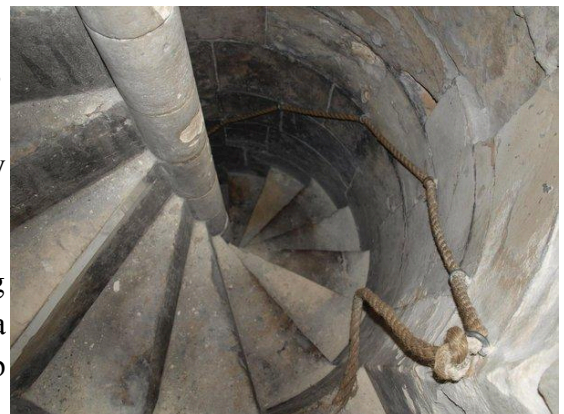
— These galactic structures hint that chirality isn't limited to molecules or life, but may be a fundamental cosmic feature.

—A supermassive black hole at the center draws in matter while magnetism organizes it in spiral patterns. Magnetic fields, again, guide handedness.

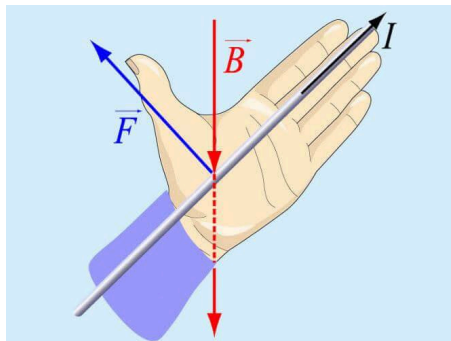
Why Do Spiral Staircases Go Anti-Clockwise?

Historically they have been built this way because they were in castles and defended buildings.

Most people are right handed; therefore an attacking swordsman coming up the stairs would be at a disadvantage as his right hand is restricted (he can't stab or swing his sword around the central pillar).



Can You Explain “Left” to an Alien?



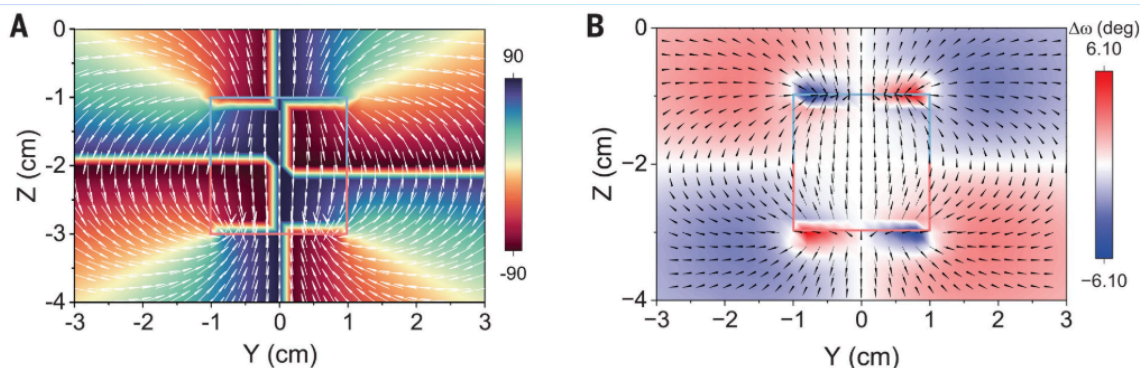
This question was famously explored by physicist Richard Feynman. Imagine trying to explain “left” and “right” to an alien via radio—it would be impossible without referencing physical laws that break mirror symmetry. Only certain forces in nature (like the weak nuclear force) distinguish left from right. Without chirality in physics, “left” and “right” would be meaningless.

Chirality in Physics: Magnetic Fields

Magnetic fields can exhibit chiral structures. For example, when an electric current flows through a wire or conductor, it creates a magnetic field that twists in a particular direction, depending on the current’s flow.

The Left-Right Asymmetry of Magnetic Fields

Magnetic field lines curve with a clear directionality (via the left-hand or right-hand rule). These fields, especially in chiral configurations like quadrupole magnets, can influence how materials—especially nanoparticles—self-organize.



Recent breakthroughs (e.g. Li et al., Science 2023) show that chiral quadrupole magnetic fields can guide the formation of chiral superstructures in magnetic nanoparticles. The magnetic field’s twist is transferred to matter at the nanoscale—creating self-assembled left- or right-handed formations.

CHIRALITY IS A SIGNATURE OF LIFE

Homochirality in Biology

Every protein in our body is made using left-handed amino acids. All DNA spirals to the right. This consistency is called homochirality, and it's a universal feature of life on Earth. Even small changes in chirality can render molecules biologically inactive. A mirror version of DNA or proteins would not function in current life systems.

Origin Theories of Biological Chirality

Magnetic Fields Hypothesis:

Strong magnetic fields—such as those near neutron stars—could have influenced early molecules to favor one chirality over another. Magnetic surfaces can selectively interact with electrons depending on spin, creating a molecular preference.

Circularly Polarized Light (CPL):

Light that spirals (left or right) can destroy one mirror form of amino acids slightly faster than the other. Regions in space, like the Orion Nebula, emit CPL during star formation. This could have led to an excess of left-handed amino acids arriving on Earth via meteorites.

Meteorite Evidence:

Studies have shown that certain meteorites contain more left-handed amino acids—suggesting the bias began in space, before Earth even formed.

Chirality in Organisms

Fun Fact: The snail *Fruticicola lantzi* exists in both right- and left-coiled forms—but the right-coiled form is significantly more viable in nature.

Human Brains and Bodies also exhibit asymmetry:

Our organs are not symmetrically placed. Brain hemispheres control different functions. Even cell division has chiral bias.

Even art isn't immune: The mirrored version of Raphael's Sistine Madonna feels noticeably different—visual perception is sensitive to chirality.



Could Mirror Life Exist?

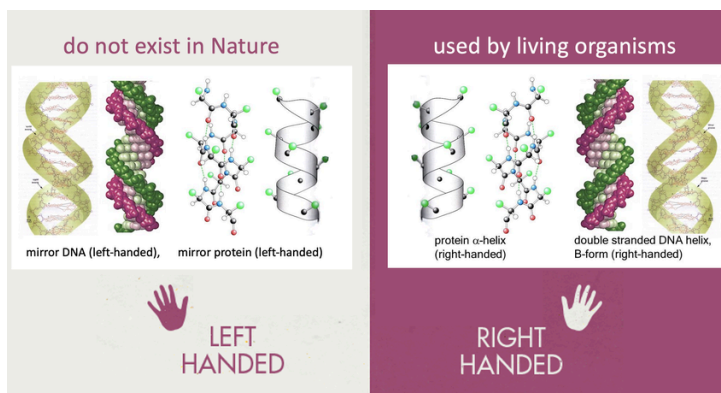
Biochemically, a mirror version of life—with right-handed amino acids and left-handed DNA—could function in theory. However: Life evolved gradually from simpler molecules. Evolution cannot spontaneously invert all chiral systems. Mirror life is unlikely to evolve naturally on Earth.

Laboratory Creation of Mirror Life

Synthetic biology is pushing the boundaries of what life can be. In recent years, researchers have begun developing the tools needed to design mirror organisms—living systems built entirely from molecules of opposite chirality to those used by life on Earth. This includes using D-nucleotides to construct right-handed DNA and D-amino acids to build right-handed proteins—mirror images of the L-forms found in all known life.

Scientists have also synthesized mirror enzymes, which only function with mirror molecules. These enzymes could power entirely reversed metabolic pathways, supporting mirror cells with their own biochemistry. Some teams are even working on building genetic systems from the ground up, completely in reverse chirality—an approach that could lead to the creation of self-sustaining mirror life forms.

This is no longer just theory. Research groups are actively developing partial mirror systems in laboratory settings. The overarching goal is to explore the origins of chirality in life, but also to build orthogonal biology—life forms that cannot exchange genetic information or interact biochemically with natural organisms. Such systems could have applications in medicine, biotechnology, or even space exploration, where contamination by terrestrial microbes must be avoided.



Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?

M. Křížová¹, K. Driuchenko²)

¹ G Dr. A. Hrdličky, Humpolec; MagdalenaKrizova13@gmail.com

Vědecké lyceum, Uzhorod; katja20081983@gmail.com

Martina Kekule; KDF MFF UK

Abstrakt:

Pomocí metody eyetrackingu jsme realizovaly dvě studie zkoumající práci s vizuálním materiálem. První z nich pozorovala, jak si lidé prohlíží obrázky hudebních žánrů a zda to souvisí s jejich vztahem k danému žánru. Měřily jsme celkovou dobu fixace na obrázky uspořádané v tabulce 2x3. Výsledky ale naznačují, že větší roli hrál kontrast a členitost obrázků. Druhá studie zkoumá vliv vizuální podobnosti čísel v maticích 12x12 na dobu fixace pohledu. Pomocí metody eyetrackingu byly analyzovány reakce účastníků na matice, které obsahovaly jedno změněné číslo, lišící se od základního čísla jak absolutní hodnotou, tak vizuální podobností. Při hledání méně podobného čísla byly účastníci rychlejší a vykazovali delší sakády.

1 Úvod

Studium vizuálního vnímání čísel je důležitou součástí kognitivní psychologie, protože ovlivňuje mnoho kognitivních procesů, od rychlého čtení až po matematické výpočty. Pro objektivní zkoumání tohoto procesu se často používá metoda eye-trackingu – technologie, která umožňuje přesně měřit pohyby očí. Pomocí eye-trackingu lze nejen zaznamenat, na které prvky se člověk soustředí, ale také určit dobu fixace pohledu, což je ukazatel složitosti zpracování informace. Eye-tracking se široce používá v různých oblastech, jako je marketing (analýza efektivity reklamních materiálů), usability (hodnocení uživatelské přívětivosti rozhraní), neurovědy (výzkum neuronálních mechanismů zrakového vnímání) a kognitivní psychologie (studium kognitivních procesů).

2 Cíle a metoda průzkumu

Cíle průzkumu

V rámci miniprojektu jsme sledovaly dva cíle využití metody oční kamery v průzkumu zabývajícím se sledováním vizuálního materiálu.

1. Sledování atraktivních obrázků lidé často věnují více pozornosti. Cílem této části průzkumu bylo zjistit, zda lidé, kteří preferují daný hudební žánr budou věnovat více pozornosti obrázkům hudebníků tohoto žánru. Konkrétně zda budou věnovat více

času příslušným obrázkům, tj. celková doba fixace na obrázky preferovaného žánru bude vyšší než u druhého žánru.

2. Vizualní vnímání čísel je důležitým aspektem kognitivních procesů. Tato studie se zaměřuje na zkoumání toho, jak vizuální podobnost čísel ovlivňuje dobu fixace pohledu při prohlížení číselných matic. Předpokládáme, že čísla, která jsou si vizuálně podobná (například 6 a 9, 41 a 14), budou vyžadovat více času na zpracování a v důsledku toho delší dobu fixace pohledu. Dále nás zajímalo, zda se prodlouží reakce v případě méně podobných čísel.

Testovaný materiál

1. Respondentům byly ukazovány tabulky 2x3 obrázků, kdy se tři vztahovaly k jednomu žánru hudby a tři k jinému. Jednalo se o Klasickou hudbu, Dechovku, Metal a Pop. Obrázků bylo šest, protože jsme se chtěly vyhnout layoutu s obrázkem uprostřed (přirozeně má více pozornosti). Ze stejného důvodu byly žánry rozmístěny co nejvíce symetricky. Zároveň jsme obrázky barevně upravily, aby žádný nevyčníval. Celkem jsme vytvořily 6 tabulek, jednu pro každou možnou dvojici žánrů.
2. Účastníci experimentu řešili několik úkolů, jejichž cílem bylo najít odlišné číslo v matici 12x12 identických čísel. Mezi úkoly patřilo hledání 6 mezi devítkami (dvakrát), 6 mezi osmičkami, 6 mezi jedničkami, 41 mezi čtrnáctkami, 23 mezi čtrnáctkami, 28 mezi dvaceti třemi a 21 mezi dvaceti třemi. Hledaná čísla byla v tabulce umístěna náhodně (generátor náhodných čísel v MS Excel).

Účastníci průzkumu

Studie se zúčastnilo 5 žen a 8 mužů různého věku, kteří studují nebo pracují na MFF UK. Někteří z účastníků měli brýle.

Průběh testování oční kamerou

Účastníci absolvovali třífázový test, každé fázi předcházely instrukce. Po pětibodové kalibraci systému sledování očí ovládali test pouze pohybem očí, bez verbálních odpovědí. V první části prohlíželi sérii obrázků a přecházeli mezi nimi tlačítkem. Ve druhé hledali odlišné číslo mezi ostatními. Třetí část tvořil dotazník o hudebních preferencích, kde vybírali mezi různými žánry (např. klasika vs. pop, pop vs. metal).

Sledování očních pohybů probíhalo na oční kameře TobiiTX300 s frekvencí snímání 300 Hz. Nebyla použita opěrka brady. Za validní byla považována data, kdy bylo zachyceno alespoň 90 % pozic očí. Data byla vizualizována v software TobiiPro 3.2.

3 Výsledky

3.1. Hudební žánr

Změřily jsme celkový čas při prohlížení obrázků. Tabulka 1 uvádí celkovou dobu fixace pro jednotlivé žánry a preference jednotlivých účastníků. Kvůli malému objemu dat budeme dále diskutovat jen skupiny 8 a více respondentů, kteří měli u dané dvojice žánrů společnou preferenci, tj. skupiny preference metal (vs. dechovka), pop (vs. dechovka) a klasika (vs. dechovka). Dále jsme posuzovaly image saliency (která část obrázku nejvíce přitahuje pozornost). K tomu jsme využily Itti-Koch model v programu Wolfram Mathematica. Konkrétně jsme použily příkaz s parametry:

ImageSaliencyFilter[img, Method -> {"Itti", {2, 3, 4}, {3, 4}}];

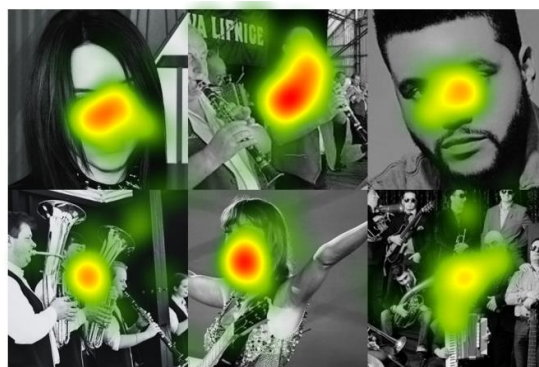
Ukázka výstupu pro kombinaci popu a dechovky je na obrázku 1.

preference	metal			dechovka			metal			klasika		
počet respondentů	8			3			4			7		
	respondent	metal	dechovka	respondent	metal	dechovka	respondent	metal	klasika	respondent	metal	klasika
	Rec 02	9,865	3,17	Rec 01	2,083	1,183	Rec 06	0,62	1,226	Rec 01	1,15	2,353
	Rec 03	9,675	12,354	Rec 08	3,44	2,593	Rec 07	2,926	2,493	Rec 02	3,386	1,987
	Rec 04	1,696	1,648	Rec 13	2,209	2,193	Rec 10	2,04	1,89	Rec 03	1,743	3,526
	Rec 05	10,128	6,982				Rec 11	0,98	1,45	Rec 04	0,273	1,443
	Rec 06	2,063	3,09							Rec 05	5,603	5,09
	Rec 07	3,672	2,303							Rec 08	1,62	2,546
	Rec 10	3,885	2,576							Rec 13	1,733	1,935
	Rec 11	1,833	2,023									
preference	metal			pop			dechovka			pop		
počet respondentů	5			6			3			8		
	respondent	metal	pop	respondent	metal	pop	respondent	dechovka	pop	respondent	dechovka	pop
	Rec 02	4,124	3,723	Rec 01	1,93	1,634	Rec 06	1,654	0,531	Rec 01	1,718	1,617
	Rec 06	0,922	1,823	Rec 03	2,23	3,203	Rec 10	1,988	1,703	Rec 02	2,413	2,204
	Rec 07	4,426	4,49	Rec 04	0,926	1,475	Rec 11	1,11	1,848	Rec 03	3,532	3,004
	Rec 10	2,233	2,565	Rec 05	5,606	6,378				Rec 04	1,469	0,857
	Rec 11	1,846	1,588	Rec 08	1,533	2,039				Rec 05	5,243	5,126
				Rec 13	1,721	1,61				Rec 07	2,512	1,801
										Rec 08	2,531	0,91
										Rec 13	2,316	1,752
preference	dechovka			klasika			klasika			pop		
počet respondentů	1			10			5			4		
	respondent	dechovka	klasika	respondent	dechovka	klasika	respondent	klasika	pop	respondent	klasika	pop
	Rec 10	2,398	2,008	Rec 01	1,52	1,713	Rec 01	1,754	1,864	Rec 06	1,068	1,743
				Rec 02	1,01	2,222	Rec 02	0,577	1,579	Rec 07	2,505	2,167
				Rec 03	4,244	4,064	Rec 03	3,443	3,583	Rec 08	1,49	1,931
				Rec 04	0,397	1,521	Rec 11	0,802	2,004	Rec 10	1,541	2,512
				Rec 05	5,612	3,059	Rec 13	1,65	2,032			
				Rec 06	1,79	0,846						
				Rec 07	2,695	1,253						
				Rec 08	2,723	2,345						
				Rec 11	2,075	1,76						
				Rec 13	1,222	1,474						

Tabulka 1. Čas strávený prohlížením obrázků ve vztahu k preferencím respondentů. Jedná se o celkovou dobu fixace v sekundách. Žlutě jsou zvýrazněny případy, kdy výsledky odpovídaly naší hypotéze, tedy u preferovaného žánru byla doba fixace vyšší.



Obrázek 1. Výstup programu Wolfram Mathematica pro zkoumání image saliency (Pop vs. dechovka).



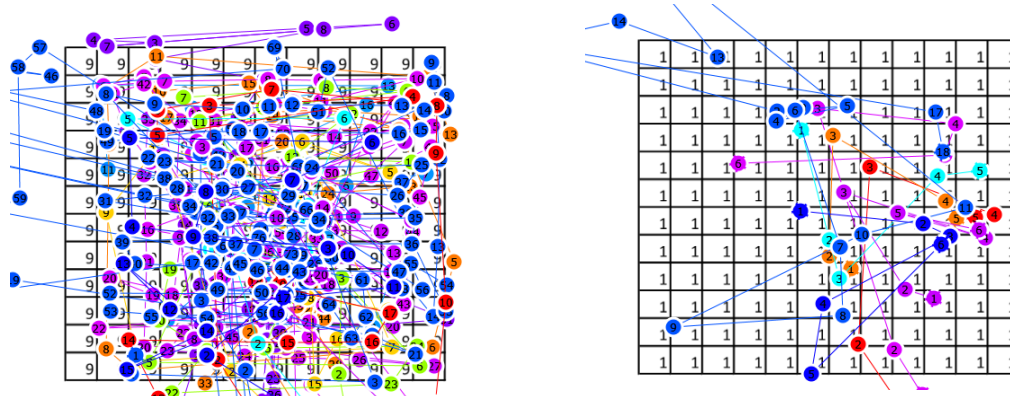
Obrázek 2. Mapa pozornosti všech účastníků při prohlížení obrázků žánru Pop vs. dechovka

3.2. Vyhledávání čísel

Změřili jsme dobu, kterou účastníci potřebovali k vyhledání čísel v různých pozadích. Průměr, medián a 1. a 3. kvartil celkového času pro všechny účastníky je uveden v Tabulce 2. Dále jsme kvalitativně posoudili velikost sakád (viz příklad na obrázku 3), která se v případě vyhledávání v sobě tvarově méně podobných číslech zvětšila. To ukazuje na lepší možnost zapojení periferního vidění.

Vyhledání čísla	6 na pozadí čísel 9- malé	6 na pozadí čísel 9 - velké	6 na pozadí čísel 8	6 na pozadí čísel 1	41 na pozadí čísel 14	23 na pozadí čísel 14	28 na pozadí čísel 23	21 na pozadí čísel 23
Ozn. úlohy	9,6 malé	9,6 velké	8,6	1,6	14,41	14,23	23,28	23,21
Průměr/s	12,95	5,13	3,59	2,36	24,11	4,11	4,62	4,35
Medián/s	10,314	4	2,832	1,673	23,555	2,423	2,576	3,942
1. kvartil/s	6,533	2,91	2,109	1,2445	7,0785	1,3615	1,8665	2,0965
3. kvartil/s	19,059	6,445	4,7885	2,9275	26,2545	3,847	4,2045	5,6015

Tabulka 2. Celkový čas řešení jednotlivých úloh zaměřených na vyhledávání čísel



Obrázek 3. Gazeplot všech účastníků, kteří vyhledávali číslo 6 mezi č. 9 (vlevo) a mezi č. 1 (vpravo).

4 Shrnutí a diskuze

Nejprve jsme zkoumaly, zda lidé při prohlížení obrázků věnují větší pozornost těm, které souvisejí s jejich oblíbeným hudebním žánrem. Ukázalo se však, že rozhodující byl spíše vizuální vzhled obrázků než emoční odezva. Například dechovce účastníci věnovali více času, i když ji preferovali nejméně, pravděpodobně kvůli její větší vizuální členitosti a kontrastu. To potvrzuje i analýza image saliency na obrázku 1 (srovnání s žánrem pop). Například image saliency pro Metal vs. Dechovku ukazuje na podobnou výraznost u obou žánrů. V tomto případě také většina lidí s preferencí metalu žánru opravdu věnovala více času obrázkům metalu. Odhadujeme tedy vliv bottom-up pozornosti. Z rozhovorů vyplynulo i působení top-down pozornosti – někteří účastníci věnovali více času méně známým žánrům v očekávání např. paměťového úkolu. Druhá část výzkumu se zaměřila na vliv vizuální podobnosti čísel na hledací čas a charakteristiku sakád v úloze s maticí 12×12. Podobná čísla (např. 6 mezi 9) prodlužovala hledání a vedla ke kratším sakádám, zatímco méně podobná čísla (např. 6 mezi 1) umožnila rychlejší hledání a delší sakády, což ukazuje na efektivní využití periferního vidění. Nejobtížnější bylo hledání 41 mezi 14, nejjednodušší pak 21 mezi 23. Výsledky potvrzují, že vizuální podobnost významně ovlivňuje efektivitu vizuálního vyhledávání.

5 Reference

- [1] Holmqvist, Kenneth & Andersson, Richard. (2017). *Eye-tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures*.

Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LiDAR)

K. Švehla¹

¹ Střední průmyslová škola, Klatovy, nábřeží Kapitána Nálepky 362;
svehlakrystof@gmail.com

O. Garant: Kryštof Kadlec

Abstrakt:

Práce se zabývá využitím mikročipového Q-spínaného laseru Nd:YAG/V:YAG s vlnovou délkou 1338 nm k realizaci jednoduchého systému LiDAR. Byly měřeny parametry tohoto laseru a byla ověřena možnost měření vzdálenosti pomocí odrazu laserového impulsu a analýzy zpoždění signálu na osciloskopu. Výsledky potvrdily, že tato metoda je funkční a vhodná pro demonstraci principu LiDARu.

1 Úvod

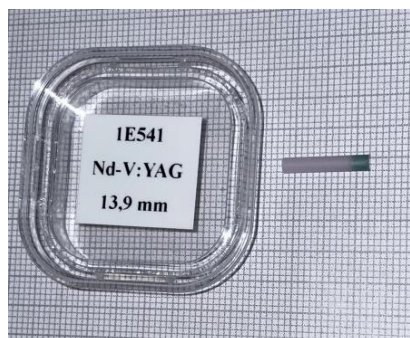
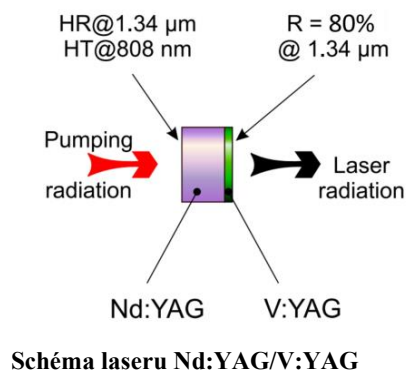
Q-spínané lasery umožňují generovat nanosekundové impulsy s vysokou energií. Takovéto lasery mohou nacházet mnoho různých uplatnění. Jedna z aplikací je dálkové měření vzdálenosti pomocí metody LiDAR (Light Detection and Ranging). Je to metoda založená na principu odrazu krátkého laserového impulsu od objektu a měření doby jeho zpětného návratu. Tato technologie nachází široké uplatnění v autonomních vozidlech, geodézii či meteorologii. Cílem našeho projektu bylo otestovat, zda lze pro jednoduchý model LiDARu použít záření mikročipového Q-spínaného laseru Nd:YAG/V:YAG s vlnovou délkou 1338 nm, které téměř spadá do oblasti, která je považována za bezpečnou pro oko (eye-safe). Záření na této vlnové délce se totiž dobře absorbuje ve vodě a oční tkáni, včetně očního sklivce, čímž je minimalizováno riziko poškození zraku.

2 Popis naší měřicí soustavy

V této kapitole bude popsáno, jaký laser jsme použili, jak vypadal jeho čerpací systém a jakým způsobem jsme měřili vzdálenost metodou LiDAR.

2.1 Popis a parametry laseru

Používali jsme mikročipový Q-spínaný laser Nd:YAG/V:YAG, který vyzařoval ve spektrální oblasti 1,3 μm . Náš laser měl tvar válce s průměrem $d = 2,5 \text{ mm}$. Skládal se z aktivního prostředí Nd:YAG a satureovatelného absorbéru (Q-spínače) V:YAG, které byly spojeny. Zrcadla (plochá) laserového rezonátoru byla napařena na konce krystalu. Celková délka (délka rezonátoru) byla $l = 14 \text{ mm}$. Počáteční transmise absorbéru V:YAG na laserové vlnové délce 1338 nm byla $T = 72 \%$. Odrazivost výstupního (polopropustného) zrcadla rezonátoru na vln. délce 1338 nm byla $R = 80 \%$. Koncentrace aktivních iontů neodymu byla $c = 1 \text{ at. \% Nd/Y}$.



2.2 Popis čerpacího systému

Laser byl čerpán AlGaAs laserovou diodou Coherent na vlnové délce 808 nm v pulzním režimu a podélném směru. Záření mělo délku impulzu 500 μ s a opakovací frekvenci 100 Hz. Jako zdroj pro laserovou diodu jsme použili LDD 50 (Laser Diode Driver). Provozní proud byl 43 A a teplota diody se držela okolo 32 °C.

2.3 Měřicí pomůcky

Během charakterizace záření laseru byl použit filtr FEL1000 k odfiltrování zbytkového záření z čerpací diody (FEL1000 odfiltruje záření pod 1000 nm). Ke změření středního výkonu jsme použili powermetr THORLABS PM100USB a sondu THORLABS PM16-401. Délku a časový průběh laserového impulzu jsme měřili pomocí osciloskopu TEKTRONIX TDS 3052B a InGaAs fotodiody (FGA10). Profil svazku jsme měřili křemíkovou CCD kamerou WinCamD. Vyzařované spektrum laseru jsme naměřili InGaAs mřížkovým spektrometrem od Stellarnetu (DWARF-STAR).

2.4 Popis měření vzdálenosti metodou LiDAR

Měření probíhalo tak, že jsme nejprve pomocí děliče svazku rozdělili laserový paprsek (impulz) na dva. Jeden z nich (referenční) dopadal rovnou na fotodiodu. Druhému paprsku jsme umístili do cesty stínítko v dané vzdálenosti a nechali jsme ho šířit k němu a zpět do fotodiody. Následně jsme pomocí osciloskopu získali časy, za které se paprsek referenční i odražený od stínítka vrátil do fotodiody. Tím jsme našli časový rozdíl mezi impulzy, což nám dalo potřebnou časovou hodnotu pro výpočet vzdálenosti mezi děličem a stínítkem pomocí vzorce $s = c \cdot t / 2$ (c – rychlost světla, t – časový rozdíl při šíření paprsku tam i zpět).

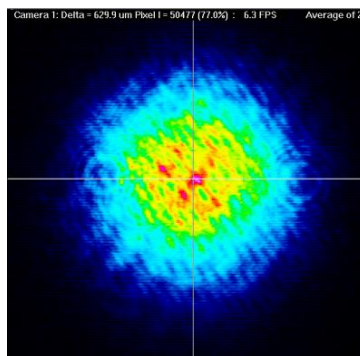
3 Měření

V této kapitole najdete naše výsledky měření.

3.1 Výstupní parametry laseru

Naměřená hodnota středního výkonu laserového záření byla 15,4 mW. Naměřená doba trvání laserového impulzu (FWHM) byla 2 ns. Energii E a špičkový výkon P laserového impulzu jsme vypočítali podle vzorečků: $E = P_{\text{str}} / f$ a $P = E / T$ (P_{str} – střední výkon, f – frekvence čerpání, T – doba trvání generovaného impulzu). Vypočtená hodnota energie a špičkového

výkonu byly 154 μJ a 77 kW. Naměřená vlnová délka laserového záření byla 1338 nm. Fotografie příčného profilu laserového svazku je níže.



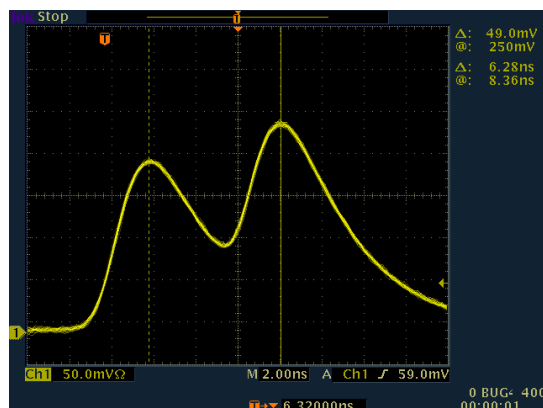
Příčný profil svazku laseru

3.2 Výsledky měření vzdálenosti

Měření vzdálenosti metodou LiDAR bylo provedeno pro čtyři různé vzdálenosti. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce níže. Časové zpoždění impulzů, které bylo sledováno na osciloskopu je znázorněno na obrázku níže. Lze říct, že metoda LiDAR dává relativně přesné výsledky s odchylkou několika centimetrů. Měření by bylo možné zpřesnit použitím ještě kratších laserových impulzů.

vzdálenost (m)	čas (ns)	vzdálenost LiDAR (m)
1	6,28	0,94
1,5	9,52	1,43
2,7	18,1	2,72
4,4	32,4	4,86

Tabulka s výsledky měření vzdálenosti metodou LiDAR



Obrázek zaznamenaného časového zpoždění impulzů

4 Shrnutí a závěr

Cílem práce bylo ověřit, zda lze mikročipový Q-spínaný laser Nd:YAG/V:YAG s vlnovou délkou 1338 nm využít pro měření vzdálenosti metodou LiDAR. Pomocí děliče svazku, fotodiody a osciloskopu jsme měřili časový rozdíl mezi referenčním a odraženým impulzem. Na základě těchto údajů jsme vypočítali vzdálenost. Laser generoval krátké impulzy (2 ns) s energií 154 μ J a středním výkonem okolo 15 mW. Výsledky potvrdily, že laser je vhodný pro jednoduchý LiDAR systém. V budoucnu lze systém dále zdokonalovat a rozšiřovat.

Poděkování

Chtěl bych velice poděkovat Kryštofu Kadlecovi za jeho podporu a přátelský, profesionální přístup. Také bych rád poděkoval FJFI za umožnění výzkumu v rámci projektu a KLFF za poskytnutí prostoru.

Reference

- [1] ZAYHOWSKI, John J. Microchip lasers. *Optical materials*, 1999, 11.2-3: 255-267.
- [2] SIEGMAN, Anthony E. *Lasers*. University science books, 1986.
- [3] JELÍNKOVÁ, H., et al. Anterior eye tissue transmission for the radiation with the wavelength from eye safe region. *Laser Physics Letters*, 2005, 2.12: 603.
- [4] WIKIPEDIE. Lidar — Wikipedie: Otevřená encyklopedie. 2023. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidar>. [Online; navštíveno 24. 06. 2025].

Stanovení kalibračních křivek v reaktoru VVER-1000

Jakub Dalecký¹, Jakub Valenta²

¹ Gymnázium Voděradská, Praha

² Gymnázium Jateční, Ústí nad Labem

Ondřej Lachout, KJR FJFI ČVUT

Abstrakt:

Naše práce se zaměřovala na simulaci reaktoru v programu NRC PARCS. Zabývali jsme se určováním kalibračních křivek na reaktoru VVER-1000 a zkoumáním, jak zasunutí kontrolních tyčí ovlivňuje tvar této křivky a jaké tvary mají dané křivky pro různé skupiny regulačních tyčí.

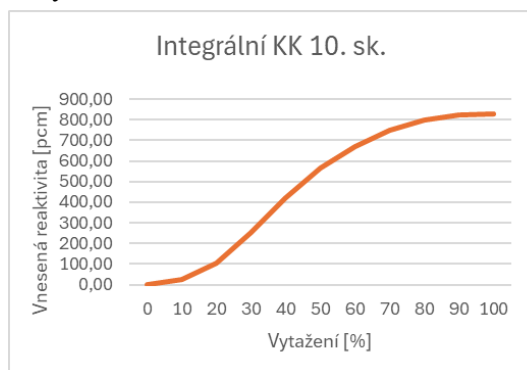
1. Teorie

1.1. Řízení reaktoru

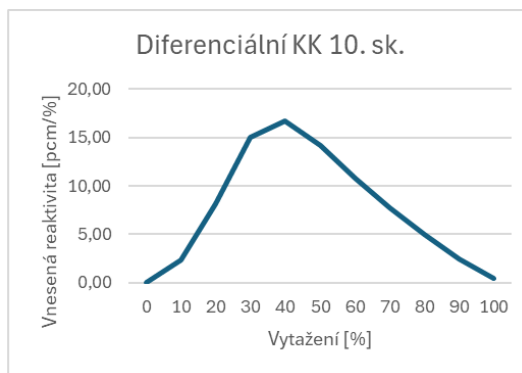
Reaktor VVER-1000 (např. JE Temelín) je zařízení, které využívá štěpné řetězové reakce, produkující teplo k přeměně na energii elektrickou. Reaktor má definovaný tepelný výkon, který je třeba neustále monitorovat a regulovat. Regulace se provádí primárně regulačními tyčemi, ale výkon lze řídit i koncentrací kyseliny borité, která se ale používá pro dlouhodobé efekty.

1.2. Kalibrační křivka (KK)

e křivka, která znázorňuje vliv (váhu) regulačního orgánu, v závislosti na vytažení tyče neboli axiální pozici. Integrální KK stanovuje celkový vliv tyče, zatímco diferenciální pak míru této váhy. Diferenciální KK lze určit derivací té integrální.



Obr. 1: Integrální KK 10. Skupiny



Obr. 2: Diferenciální KK 10. Skupiny

2. Výpočet, postup analýzy

2.1. Zadání, získání dat

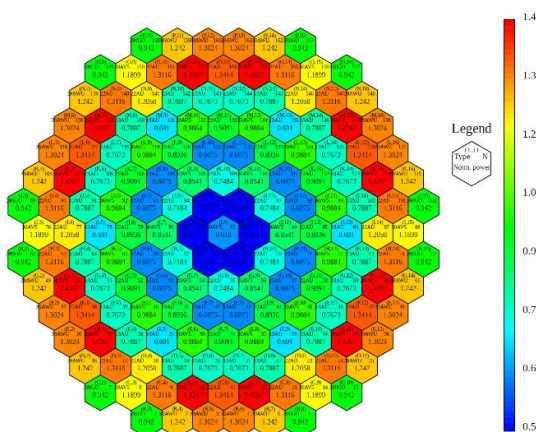
Úkolem bylo zjistit tvar kalibračních křivek pro jednotlivé regulační skupiny a odvodit jejich tvarování. Program je pomocí dvougrupové neutronové difúzní rovnici schopen vypočítat stav kritičnosti v několika iteracích podle zadání, kam jsme rozepsali pozice skupin (10 nezávislých výpočtů s krokem jedné skupiny 10 %, neboli 35 cm). Program¹ nám kromě axiálního offsetu vrátil hodnoty koeficientu násobení k_{eff} , který má vzorec:

$$k_{eff} = \frac{\text{počet neutronů v nové generaci}}{\text{počet neutronů v předešlé generaci}}$$

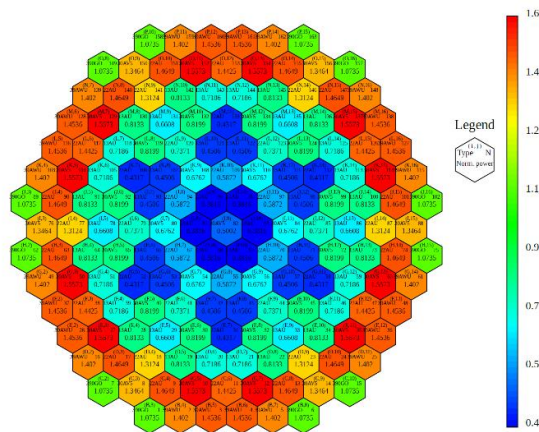
Z něj můžeme říct, že pokud je K_{eff} větší než 1, reaktor výkon roste. Pokud je roven 1, výkon se nemění. Pokud je výkon menší než 1, výkon klesá. Z něj byla odvozena reaktivita (v jednotkách pcm – vynásobení 10^5)

$$\rho = \frac{k_{ef} - 1}{k_{ef}} \cdot 10^5 [pcm]$$

Ze které jsme schopni kalibrační křivky sestavit, sestavením grafu v závislosti na axiální pozici. Integrální křivka se skládá postupným sčítáním hodnot reaktivity, diferenciální odečítáním hodnot reaktivity mezi sebou. Například, relativní výkon skrz reaktor vypadá při vysouvání 10. Skupiny vypadá takto:



Obr. 1: Před zasunutím 10. Skupiny

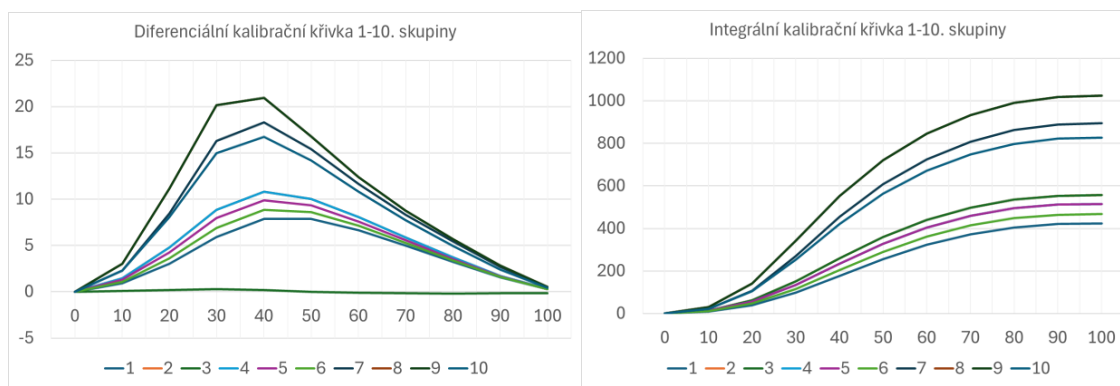


Obr. 2: Po zasunutí 10. Skupiny.

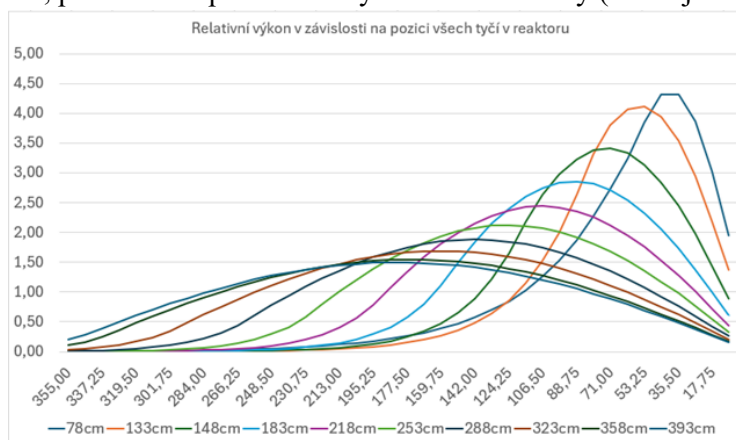
V Obr. 2 si povšimnout přerozdělení výkonu v okolí kazet 10. Skupiny (za poklesu výkonu 10. Skupiny samotné), což může být velice nebezpečné, kvůli možnému varu vody, který v reaktoru VVER nesmí nastat.

3. Výsledky, Závěr

Na tomto obrázku je vidět porovnání všech integrálních křivek po jednotlivých skupinách. Rozdílné vlivy jsou z důvodu, že každá skupina je umístěna do jiné části reaktoru, a výkon je v reaktoru nerovnoměrně rozložený (viz Obr. 1 a 2)



Kalibrační křivky ukazují vliv, který je úměrný velikosti části skupiny, která se nachází nejbližší k aktivní zóně. Zároveň jsme vytvořili graf relativního výkonu v závislosti na pozici regulačních orgánů, při simulaci pádu všech tyčí do aktivní zóny (havarijní ochrany):



Obr. 1: Relativní výkon vůči všem pozicím tyčí v reaktoru.

4. Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat našemu garantovi Ondřeji Lachoutovi a jeho kolegovi Josefu Sabolovi za jasné vysvětlení základů reaktorové fyziky a za veškerou jejich podporu a čas který nám věnovali.

5. Reference

[1] LACHOUT, Ondřej a NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. PARCS Model VVER-1000. Verze 3.6.6. Dostupné [zde](#).

Domácí spektrometr: Věda na dosah ruky

N. Puliková¹, J. Kraft², A. Wolf³, V. Kristová⁴

¹ SPŠ Otrokovice, tř. Tomáše Bati 1266; natalie.pulikova@gmail.com

² G Příbram, Legionářů 402; kraft.jarda@gmail.cz

³ G Christiana Dopplera, Zborovská 621, Praha 5; wolf@gchd.cz

⁴ G a SOŠ Mikulov, Komenského 7; v.kristova@gssmikulov.cz

Ing. Jan Kratochvíl, Ing. Dominika Popelová, Ing. Karel Veselský; KLFF FJFI

Abstrakt:

Světlo je základem celé optiky a jeho rozložení na jednotlivé složky je jednou ze základních metod, jak popsat vlastnosti svazku. Díky ní jsme schopni zjistit energii, barvu, původ a mnoho jiných vlastností světelného zdroje. Jelikož jsou komerčně dostupné spektrometry poměrně drahé, vyskytuje se zde možnost si sestavit vlastní z běžně dostupných materiálů a za pochopení základní optiky. Tento článek obsahuje jeden z možných přístupů k tvorbě spektrometru, jehož výsledkem je funkční přístroj, který samozřejmě není srovnatelný s těmi profesionálními, ale pro mnoho aplikací je dostačující.

1 Úvod

Spektrometr je přístroj, který měří intenzitu jednotlivých vlnových délek ve zkoumaném záření. Při měření viditelného záření se pohybujeme v intervalech 390-760 nm a můžeme se dostat až do námi neviditelné části, buď do ultrafialové oblasti 100-390 nm nebo do infračervené oblasti 760-3000 nm. Současné spektrometry se pohybují v řádech deseti tisíců korun a tudíž to není nejlevnější přístroj (70 000 Kč). Proto například pro střední školy je výhodnější si spektrometr postavit. A tak se naším cílem stalo sestavit jednoduchý a levný spektrometr pomocí dostupných materiálů. Což zahrnovalo nejen stavbu, ale i kalibraci spektrometru na základě zdrojů záření o známé vlnové délce a ověření přístroje v laserové laboratoři.

2 Základní pojmy

- **Difrakce (ohyb světla)** – při interakci světla se štěrbínou o velikosti blíží se jeho vlnové délce, se štěrbina na základě Huygensova principu chová jako nový “zářič”.
- **Interference** je jev, při kterém spolu interagují vlny a na základě vzájemného fázového posunu se zesilují, nebo zeslabují.
- **Difrakční mřížka** - materiál s pravidelnými vrypky, na kterých dochází k difrakci a každý vryp se tak chová jako bodový zdroj světla. Úhel α , pod kterým dochází k interferenci vln ze sousedních vrypů do maxima závisí na vlnové délce světla λ a vzdálenosti d vrypů od sebe (DVD nosič má 1350 vrypů na mm). Tuto závislost

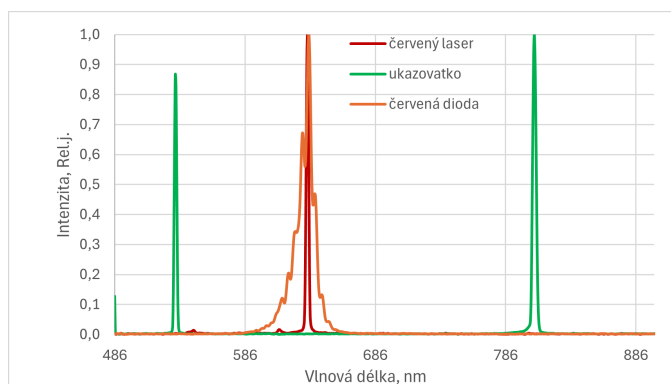
popisuje mřížková rovnice - vztah (1), kde m je difrakční řád. Na difrakční mřížce se tedy svazek polychromatického světla rozloží podle vlnových délek.

$$d \cdot \sin \alpha = m \cdot \lambda \quad (1)$$

- **Odraz** - po dopadu paprsku světla na povrch pod úhlem α se paprsek odráží pod úhlem α' , který je stejně velký, ale na opačné straně roviny dopadu, která je kolmá na povrch.
- **Křemíková dioda** - polovodičová součástka, které se snižuje odpor na základě fotoefektu.

3 Referenční spektrometr

- jakožto referenci pro naše měření jsme použili laboratorní spektrometr StellarisNet BLUE-Wave.



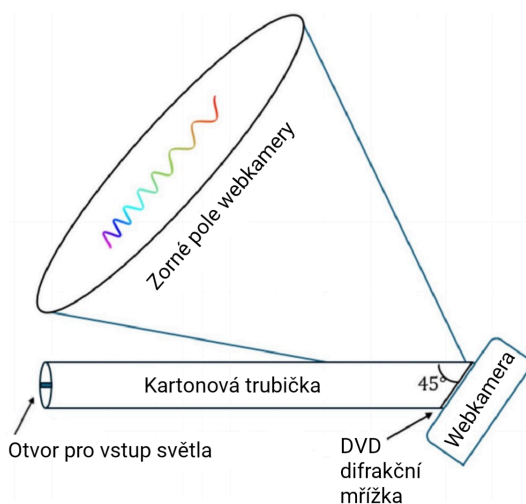
Obrázek 1 - Spektra naměřená referenčním spektrometrem.

4 Výroba

a) Pomůcky

- Levná webkamera - v této práci byla použita Logitech HD Webcam C270
- Prázdné DVD
- Kartonová trubička
- Černá akrylová barva
- Lepicí páska
- Program Theremino Spectrometer - dostupný zdarma na https://www.theremino.com/en/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_V5.0.zip

b) Schéma



Obrázek 2 - Schéma domácího spektrometru. Upraveno z [1].

c) Postup

- 1) Odstřihli jsme část DVD u okraje, protože vrypy jsou zde nejvíce rovnoběžné. Následně jsme odlouppli svrchní průhlednou vrstvu DVD od spodní odrazivé vrstvy. Průhlednou vrstvu jsme nalepili přes čočku webkamery pomocí oboustrannné lepicí pásky tak, aby byly vrypy orientovány svisle.

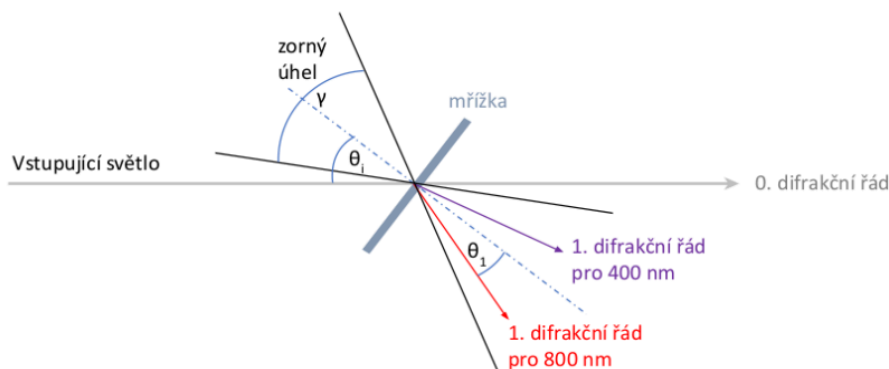


Obrázek 3 - Překrytí kamery difrakční mřížkou z DVD.

- 2) Změřili jsme zorný úhel webkamery tak, že jsme kolmo ke kameře postupně přibližovali papír a v momentě kdy zakryl celý záběr kamery jsme vzdálenost papíru od kamery změřili (vzdálenost a). Díky znalosti poloviny šířky papíru (vzdálenost b) jsme podle vztahu (2) vypočítali úhel β záběru kamery.

$$\beta = 2(\tan^{-1} \frac{b}{a}) \quad (2)$$

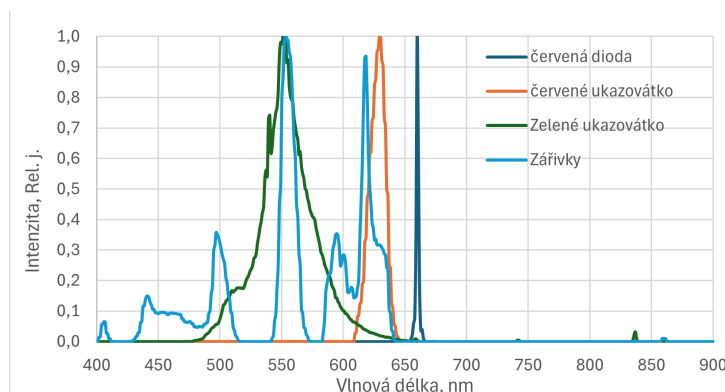
- 3) Pomocí mřížkové rovnice (1) lze vypočítat ideální úhel dopadu světla na mřížku tak, aby se světlo v rozsahu vlnových délek 400-800 nm ohýbalo do prvního difrakčního řádu pouze v rozmezí daném zorným úhlem webkamery. Podle [1] se maximum modrého světla nachází pod úhlem 33° , maximum červeného světla pod úhlem 61° , tudíž ideální úhel dopadu světla na kameru je zhruba 45° . Úhel dopadu musí být zároveň větší než je polovina zorného úhlu kamery, aby nultý difrakční řád, ve kterém se světlo nerozkládá, do zorného úhlu nedopadal.



Obrázek 4 - Výpočet ideálního úhlu dopadu světla.

- 4) Kartonovou trubičku jsme na konci seřízli zhruba pod úhlem 45° a zevnitř jsme jí natřeli černou barvou, aby se od vnitřního povrchu co nejméně odráželo světlo. Trubicu jsme seříznutým koncem přiložili na webkameru s mřížkou a upevnili izolepou.
- 5) Přes druhý konec trubice jsme přehnuli alobal a vyřízli jsme do něj svislou šterbinu jako vstup do spektrometru.
- 6) Nakonec jsme spektrometr zkalibrovali v programu Theremino Spectrometer pomocí dvou laserů o známých vlnových délkách.

5 Naměřené hodnoty našeho spektrometru



Obrázek 5 - Spektra

vlastním spektrometrem.

naměřená

6 Diskuse

Výsledný přístroj má jistě své chyby, které mají spousty příčin. Jak již levná povaha jeho výroby i použitých materiálů, tak i přesnost konstrukce. Velmi důležitým parametrem je však i samotná vybraná webkamera. Moderní kamery obsahují velké množství filtrů, například na útlum infračerveného záření. Díky němu jsou schopny v jejich běžné aplikaci minimalizovat odlesky od slunečních paprsků. Při měření spektra jsou ovšem kontraproduktivní a všechny z těchto filtrů přispívají ke zhoršení přesnosti spektrometru. Proto je třeba použít starou a levnou kameru. S tím souvisí i citlivost křemíkových diod kamery na různé vlnové délky a obecné parametry, jako rovnoměrná citlivost napříč senzory. Důležitým faktorem je i výroba a tvar štěrbin, jenž by měla v ideálním případě propouštět stejně intenzivně všechny součásti difraktovaného světla. V poslední řadě stojí za to zmínit odstínění co největšího množství světla, které se může odrazit od špatně zbarvené trubice nebo být propuštěno špatnou izolací od okolí.

7 Shrnutí

Projektem jsme byli schopni dokázat naše předpoklady a vytvořit funkční přístroj, který je oproti komerčním cenově mnohem dostupnější. Jeho výsledná kvalita záleží zejména na použitých součástkách a preciznosti, dokáže tak dosáhnout vyšších kvalit, než jsme původně očekávali.

Poděkování

Děkujeme FJFI za akci Týdne vědy a možnost účastnit se na tomto miniprojektu, Ing. Janu Kratochvílovi, Ing. Dominice Popelové dále Vojtěchu Svobodovi CSc. za osobní mentoring ve tvorbě sborníkového příspěvku. Nesmíme zapomenout na Huygense a firmu Sony za technické a fyzikální umožnění tohoto projektu.

Reference

- [1] G. Cahill. *A low cost and simple webcam spectrometer for exploring the visible wavelengths of light*. 2024. Physics Education. 59. 053001. 10.1088/1361-6552/ad5d45.

Fotochemie uranu – jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod?

M. Jakubíček¹, E. Gangnusová², J. Fichelová³ a T. Stržížík⁴

¹G ALTIS, Praha; matyajakubicek@gmail.com

²MSŠCH, Praha; ester.gangnusova@gmail.com

³G Cyrila Daxnera, Vranov nad Topľou; janka.ficelova15@gmail.com

⁴G ALTIS, Praha; stanleywejtasa@gmail.com

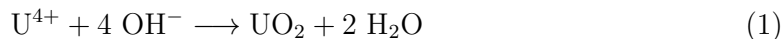
Ing. A. Horynová, školitel; KJCH FJFI ČVUT

Abstrakt

V rámci miniprojektu jsme se zaměřili na odstranění uranu ze vzorku „odpadní vody“ - mírně kyselého roztoku dusičnanu uranylu. Pomocí UV záření jsme fotochemicky redukovali rozpustnou uranylovou sůl a převedli ji tak do formy, která se vysrážela a snadno odfiltrovala. Původní koncentraci se podařilo snížit na čtvrtinu.

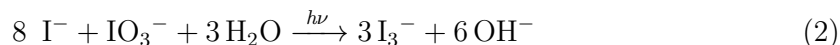
1 Úvod

Uran se nejčastěji vyskytuje v oxidačních stavech IV a VI (UO_2^{2+}) a méně stabilních stavech V (UO_2^+) a III. Uran ve formě IV+ je stabilní jen v kyselém roztoku (pH kolem 0,5). V zásaditějším prostředí pak takový uran hydrolyzuje a sráží se na oxid urančitý.



Vzhledem k cíli naší práce, vysrážet uran ze vzorku odpadní vody, pro nás bude vyšší pH ideálním prostředím. Uran UO_2^{2+} v roztoku jasně žlutou barvu a zeleně luminiskuje po vystavení UV záření. Ne vždy se však elektron po excitaci vrací do původní hladiny vyzářením fotonu tzv. fluorescencí. K relaxaci může dojít hned několika způsoby. Jako příklad uveďme rezonanční přenos energie, kolize s ostatními molekulami či právě fotochemické reakce, jichž jsme využili v tomto projektu. Světlo excituje molekulu a ta pak reaguje s molekulou další ve snaze dosáhnout stavu relaxace.

Pro stanovení koncentrace jsme použili jodid-jodičnanový aktinometr, který jsme připravili smícháním 0,1M jodičnanu draselného, 0,6M jodidu draselného a 0,01M tetraboritanu sodného. Aktinometr funguje na principu měření intenzity světla, v našem případě UV záření, na základě monitorované probíhající fotochemické reakce se známým kvantovým výtěžkem (počet přeměněných molekul na absorbovaný foton).



2 Přístroje a pomůcky

Při naší práci jsme využívali ozařovací aparaturu (3 rtuťové výbojky), analytické váhy (Kern, 0,01 mg), centrifugu (Thermo Scientific), UV Vis spektrofotometr (Varian, Cary 100 Conc). Dále vakuovou filtrační aparaturu s filtrem o velikosti pórů 0,45 μm a standardní chemické laboratorní vybavení. Použité chemikálie byly následující: výchozí roztok dusičnanu uranylu v HNO_3 o koncentraci 100mM, mravenčan amonný (Sigma-Aldrich, 99,995 %), jodid draselný (Sigma-Aldrich, 98 %), jodičnan draselný (Sigma-Aldrich, 98 %) a tetraboritan sodný (Lachema, 99,0 %).

3 Postup experimentu

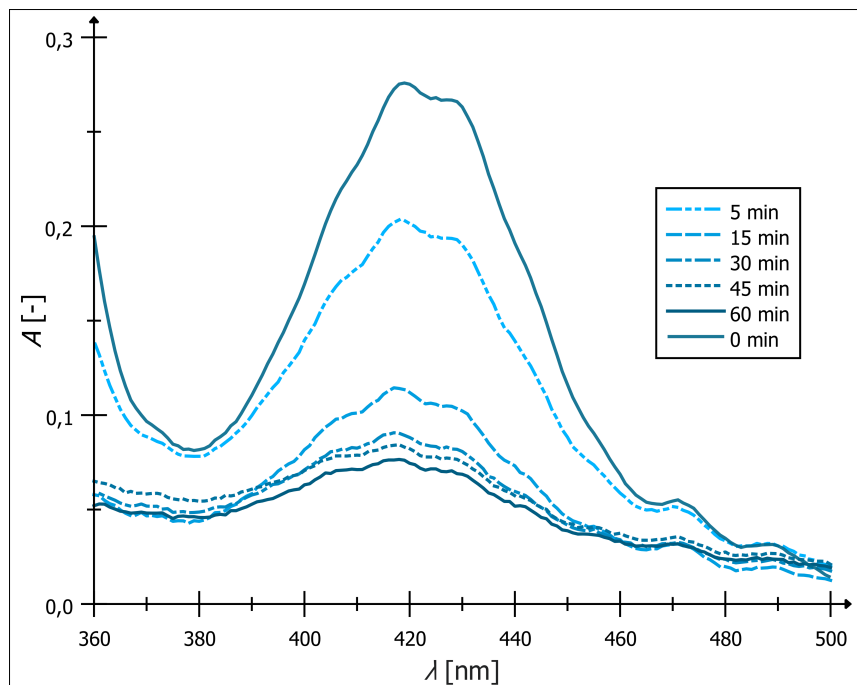
Zásobní roztok jsme 10krát zředili na koncentraci 10mM, poté navázili čtyřnásobný molární nadbytek mravenčanu amonného 24,7 mg, který jsme poté smísili s 10 ml roztoku dusičnanu uranylu. Vzorek jsme následně vložili do ozařovací aparatury s rtuťovými výbojkami po dobu 60 minut. Vždy po uplynutí určitého časového intervalu jsme roztok zcentrifugovali po dobu 3 minut s odstředivou silou 4863 g. Pozorovali jsme vznik sraženiny, která se usazovala na dně. Pipetou jsme odebrali část vzorku (přibližně 3 ml) do kyvety pro měření absorpčních spekter v UV-Vis oblasti. Měřený roztok jsme pak vždy vrátili do ozařovací ampule. Vzorky k měření byly takto odebírány v časech ozařování 5, 15, 30, 45 a 60 minut. Následně jsme připravili roztok jodid-jodičnanového aktinometru a rozdělili jej do pěti vzorků s různými dobami ozařování: 0; 30; 45; 60; 75 sekund. Spektrofotometricky jsme stanovili koncentraci trijodidového aniontu měřením absorbance při 352 nm. Naše práce pokračovala filtrací UO_2 a pomocí rentgenového difraktometru jsme identifikovali, co při separaci vzniklo.

4 Výsledky a diskuze

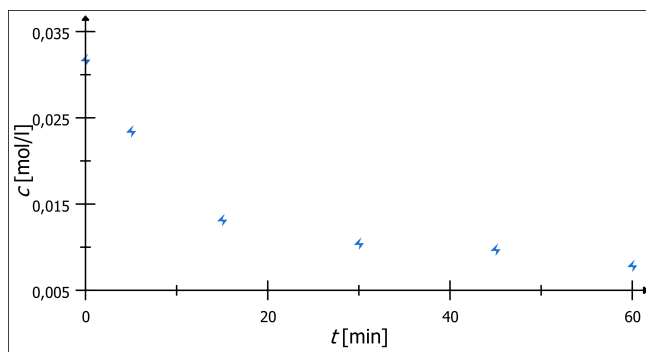
Z obr. 1 je patrné, že s rostoucí dobou ozařování dochází k úbytku uranylového iontu, což je způsobeno redukcí vznikem sraženiny. Na obr. 2 je vidět, že rychlost úbytku uranylu v roztoku v čase klesá. Je tedy patrné, že kvantový výtěžek závisí na koncentraci reaktantu. Výsledná koncentrace po ozařování je 25 % původní hodnoty.

Ze směrnice na obr. 3 jsme zjistili tok fotonů v reakčním objemu $6,9 \cdot 10^{15} \cdot \text{s}^{-1}$. Uvažovali jsme kvantový výtěžek aktinometru 0,71 dle [2].

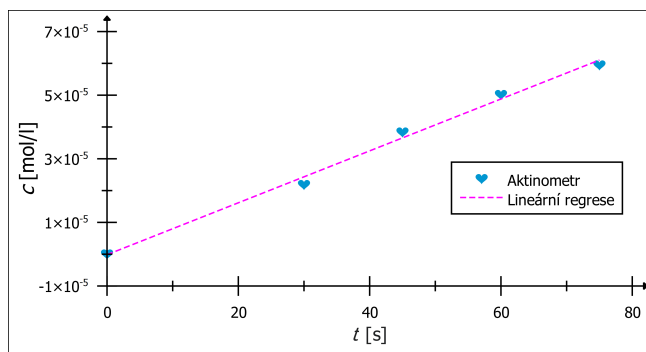
Pro filtraci získané usazeniny jsme použili vakuovou filtrační aparaturu. Po dokončení filtrace nám zbyla jemná, fialovo-hnědá sraženina. Tuto sraženinu jsme připevnili ke sklíčku a podrobili jsme ji rentgenové difrakční analýze, ze které jsme získali data na obr. 4. Z nich je patrné, že vzorek obsahuje hydratovaný oxid uranový, který je pravděpodobně v malém množství produktem oxidace sraženiny na vzduchu. Podle zbarvení sraženiny lze usuzovat, že jde o oxid uraničitý, který ale na difraktogramu identifikovat nelze pravděpodobně proto, že není přítomen v dostatečně krystalické formě. Široký pás v levé části spektra je způsoben lepicí páskou, která byla použita k přichycení vzorku.



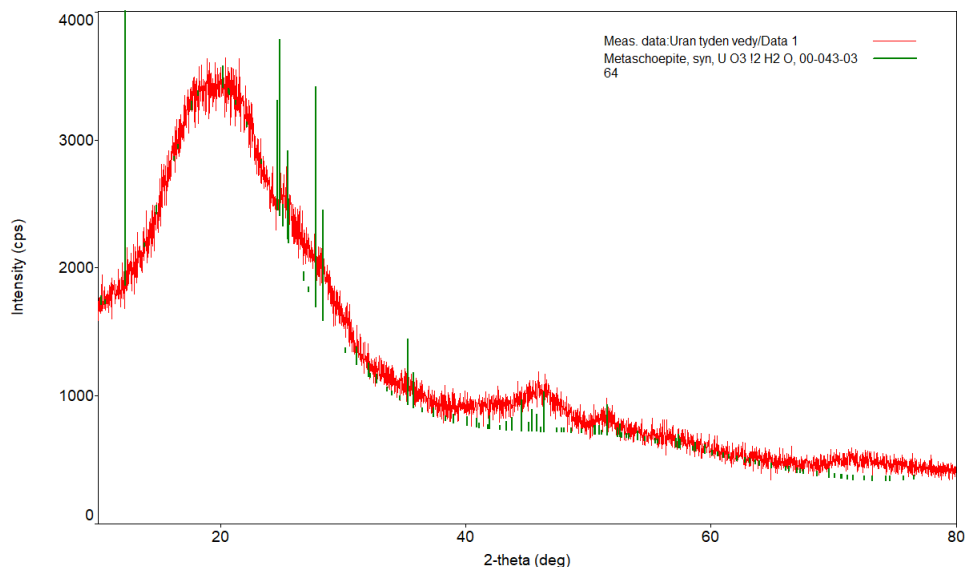
Obrázek 1: Absorpční spektrum uranylového iontu po různé době ozařování.



Obrázek 2: Závislost koncentrace uranylového iontu na čase ozařování.



Obrázek 3: Závislost koncentrace trijodidového aniontu na čase ozařování aktinometru.



Obrázek 4: Rentgenový difraktogram odfiltrované sraženiny. Přímé svislé čáry odpovídají záznamu z databáze pro hydratovaný oxid uranový (metaschoepit).

5 Závěr

Při naší práci jsme stanovili, že pomocí UV záření je možná separace uranu z odpadových vod pomocí fotochemické redukce až na čtvrtinu původní koncentrace za námi použitých podmínek. Uranový čtyřmocný kation se úspěšně vysrážel a byl vakuově odfiltrován. Dle barvy je sraženina pravděpodobně oxid uraničitý, ale rentgenovou difrakční analýzou byla potvrzena pouze přítomnost produktů jeho oxidace.

Poděkování

Děkujeme všem organizátorům i sponzorům Týdnu vědy, celé fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské a naší skvělé školitelce Ing. Alžbětě Horynové.

Reference

1. MCCLESKEY, T. M.; FOREMAN, T. M.; HALLMAN, E. E.; BURNS, C. J.; SAUER, N. N. Approaching zero discharge in uranium reprocessing: Photochemical reduction of uranyl. *Environmental Science and Technology*. 2001. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1021/es001078i>. [cit. 2025-06-24].
2. GOLDSTEIN, S.; RABANI, J. The ferrioxalate and iodide-iodate actinometers in the UV region. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2008. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.06.006>. [cit. 2025-06-24].

How to find the crystal structure of a material? /Jak najít krystalovou strukturu materiálu?

Martin Kalda

G Tišnov; martin.kalda07@gmail.com

O. Garant, Mgr. Cinthia Antunes Correa PhD.; KDM MFF UK

Abstrakt:

Tento článek pojednává o krystalografii a stanovování krystalické struktury pomocí difraktometru. Ukážeme si, jak jsme pomocí refraktometru a programu Jana2020 byli schopni sestavit model molekuly ze kterých se skládá neznámá krystalická látka z korku od vína a její elementární buňky.

1 Úvod

Fyzikální vlastnosti materiálů jsou velmi důležitá část každodenního života každého z nás. Jednou z hlavních věcí, které rozhodují o vlastnostech materiálu je jeho krystalická mřížka například její defekty nebo struktura její elementární buňky. Tedy jsme se pokusili stanovit krystalickou strukturu vzorku za pomoci difraktometru a programu Jana2020.

2 Difrakce

Difrakce je jevem, jenž nastává, když se vlnění ohýbá okolo překážky. V našem případě se jedná o rentgenové záření, které se ohýbá o atomy, které jsou v krystalické struktuře, kterou chceme pozorovat. Důvod ohybu rentgenového záření v tomto případě je jeho interakce s elektronovými obaly atomů.

3 Metodika

Z neznámé krystalické látky jsme museli napřed získat dostatečně malý vzorek, aby jeho velikost nepřekážela přesnosti měření a poté jsme jej připevnili na skleněnou jehlu lepidlem.

Použili jsme čtyř kruhý refraktometr Gemini ultra a pro maximální přesnost měření jsme zjistili, jak se chová snímač refraktivního záření bez toho, aby byl vzorek snímán, aby program poté mohl srovnat hodnoty a vyhodnotit údaje správně. Poté jsme přístroj spustili při nastavených hodnotách: vlnová délka $\lambda = 0.71073\text{nm}$ a teplotě $T = 293\text{K}$ a celkový čas měření byl 1h 23m.

Po dokončení měření jsme naměřené hodnoty vložili do programu Jana2020. Poté jsme museli využít Cambridge Crystallographic Data

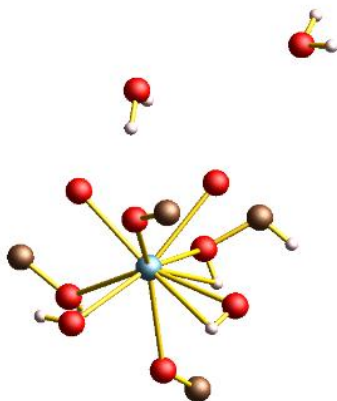


Obrázek 1 krystalická látka

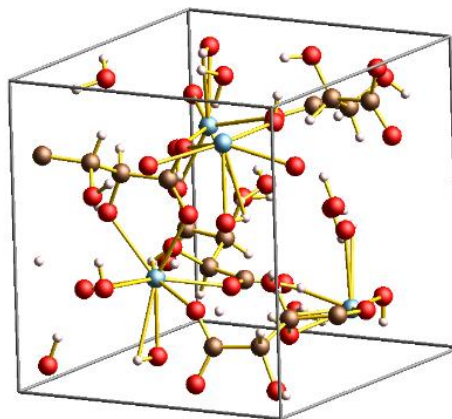
Centre a Inorganic Crystal Structure Database ze kterých jsme zjistili, která sloučenina se podobá nejvíce naší krystalové struktuře. A s těmito informacemi jsme provedli další výpočty pomocí softwaru Jana2020. Program používal způsob výpočtu superflip který pozmění náhodně strukturu a poté zhodnotí, jestli je přesnější než ta předešlá.

4 Výsledky

Program vyhodnotil že tato struktura je ta nejpřesnější tedy máme molekulu $C_4 H_{10} Ca_1 O_{10}$ tato molekula tvoří krystaly, které jsou orthorhombické kvůli tomu, když jsme si rozdělili krystalovou strukturu na a,b,c které udávají rozměry elementární buňky ve třech směrech. Tak nám vyšlo že $a=9.2103$ $b=9.6172$ $c=10.5533$ a úhly které svírají mezi sebou jsou všechny 90° . Tedy by elementární buňka měla vypadat jako na obrázku 3.



Obrázek 2 molekula vzorku



Obrázek 3 elementární buňka

*vápník-modrý kyslík-červený uhlík-hnědý vodík-bílý

5 Diskuse

Při výpočtech z našich dat se stalo to, že se vodík ve skupině OH vyskytoval na více možných pozicích toto mohlo být způsobeno tím, že náš krystal nebyl a také měl drobné nedokonalosti. Pro další bádání by bylo obohacující využít kvalitnější krystal s méně nedokonalostmi.

6 Shrnutí

Námi pozorovaný krystalická látka byla $C_4 H_{10} Ca_1 O_{10}$ tedy jsme využili refrakce k zjištění složení látky a také krystalické struktury. Tato metoda díky své přesnosti a schopnosti zobrazit krystalickou strukturu látek nám pomáhá pochopit a vylepšit materiály okolo nás.

Poděkování

Moc děkuji vedoucí miniprojektu Mgr. Cinthia Antunes Correa PhD. za vstřícný a přátelský přístup a také organizátorům Týdne vědy na Jaderce, za poskytnutí této příležitosti se seznámit s tímto tématem.

Reference

- [1] <https://www.aimil.com/Resources/ResourceFile/1090.pdf>
- [2] *Xray diffraction*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_diffraction#:~:text=X%2Dray%20diffraction%20is%20a,the%20energy%20of%20the%20waves. [cit. 2025-06-24].
- [3] <https://icsd.products.fiz-karlsruhe.de/en/about/about-icsd>
- [4] *Unit cell*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Unit_cell. [cit. 2025-06-24].

Jak funguje PET aneb člověk jako zářič

D. Čechová¹, M. Kluger², Š. Dubský³

¹ Gymnázium Plasy; cechovad.08@gsplasy.cz

² Gymnázium Tišnov; mrtnklgr@seznam.cz

³ Gymnázium Plasy; dubskys.07@gsplasy.cz

Bc. Daniel Adamčík, Bc. Vojtěch Bártek; KDAIZ FJFI ČVUT

Abstrakt:

PET neboli pozitronová emisní tomografie je průkopnická diagnostická metoda využívající principu anihilace pozitronu jehož 2 vzniklé fotony utváří obraz zaznamenaný v detektorech. Naším cílem bylo pomocí 2 detektorů určit pozici 2 radioaktivních zdrojů.

1 Úvod

Nádory se často skrývají i v těch největších útrobach lidského těla. K tomuto problému pomáhá lékařům přístroj zvaný PET a jeho princip probíhá následovně. Pacientovi trpícímu potenciálním nádorem je do těla vpravena glukóza s navázanou radioaktivní látkou. Tato “radioaktivní glukóza” se kumuluje v místě nádoru, poněvadž nádor potřebuje výrazné množství energie (sacharidů). Odtud radioaktivní látka pomocí přeměny vytvoří pozitrony, které posléze reagují s elektrony, a tak nastává anihilace. Anihilací vznikají fotony, které jsou stavebními kameny pro záchyt signálu detektorem a následného vytvoření obrazu.

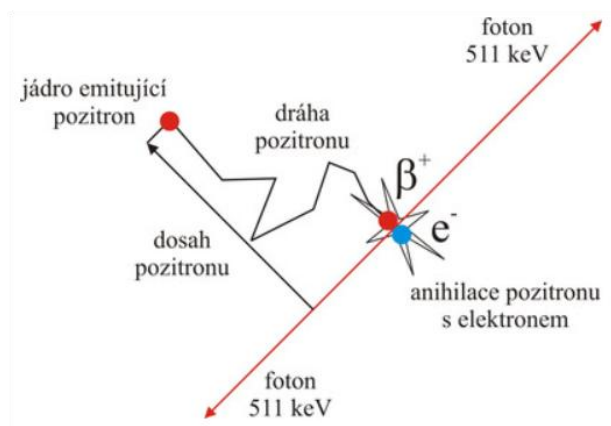
2 Pozitron

Pozitron e^+ - kladně nabitá antičástice elektronu, která vzniká 2 způsoby. Prvním způsobem je radioaktivní přeměna (rozpadem protonu vzniká neutron, neutrino, pozitron), druhým pak vznik elektron-pozitronového páru, kdy vysokoenergetický foton se sráží s atomem a následně vzniká hmota v podobě elektron-pozitronového páru.

3 Anihilace

Tento jev nastává při spojení částice s její antičásticí, během tohoto procesu obě původní částice zanikají a dochází ke vzniku částic nových.

Při miniprojektu využíváme anihilaci pozitronu – spojuje se pozitron s elektronem, načež se uvolní energie v podobě fotonů. Tyto fotony se rozdělí do 2 směrů a společně svírají úhel přibližně 180 stupňů. Takovéto fotony nabývají stejné energie 511 keV a jsou stavebními kameny pro záchyt detektory a tvorbu obrazu.



Obrázek 1: schéma anihilace

4 Zdroj

Jak bylo zmíněno, pro PET je klíčová přítomnost pozitronů, které anihilují s elektrony, čímž vznikají dva fotony o energii 511 keV. K zajištění přítomnosti pozitronů je potřeba určitý zdroj – β^+ zářič. V medicínské praxi, pro kterou je PET typická, by mohl být reprezentovaný např. ^{18}F ($T_{1/2} = 110\text{min}$) navázaným na glukóze. Pro náš experiment se zdrojem stal ^{22}Na . Proton se β^+ rozpadem přeměňuje na ^{22}Ne a vzniká právě pozitron (β^+ záření), neutron a elektronové neutrino viz rovnice (1).



Ačkoli by tento radionuklid, díky svému poločasu přeměny $T_{1/2} = 2,6$ let, byl při hledání nádorů a následné rekonvalescenci nepraktický (pacient by musel v nemocnici strávit mnohem více času než při užití ^{18}F), pro náš experiment byl dostačující.

5 Detektor

V PET se využívají tzv. scintilační detektory, které sledují koincidence (detekce dvou fotonů z jedné anihilace, která umožňuje určit směr, odkud pocházejí) fotonů. Fyzikální a chemické vlastnosti scintilačních materiálů zásadně ovlivňují detekční charakteristiky, jako jsou účinnost registrace fotonů o energii 511 keV, hygroskopičnost, hustota krystalu, délka scintilačního záblesku a časové rozlišení. Pokud máme dostatečné časové rozlišení, můžeme využít metodu Time-of-Flight (TOF), kde se dá určit i přibližná pozice anihilace a tím pádem značně vylepšit kvalitu obrazu.

V experimentu jsme použili detektor NaI(Tl). Ačkoli svými vlastnostmi neodpovídá standardům medicínské praxe, pro nás byl dostatečný. Za vhodnější je považován např. detektor LSO (lutetium-oxyortosilikát).

6 Princip tvorby obrazu v PET/rekonstrukce obrazu

Fotony, které jsou zaznamenány detektory, jsou následně převáděny do počítače, který posléze vytváří obraz na základě matematických principů. K rekonstrukci obrazu lze využít dvě metody, jimiž jsou zpětná projekce anebo iterativní rekonstrukce obrazu, která poskytuje lepší obraz, ale je matematicky více komplexní než zpětná projekce (filtrovaná), jejíž využití není v dnešní době tak časté.

Soubor projekcí snímaných z různých úhlů tvoří dvourozměrné pole označované jako sinogram (připomíná sinusoidu). Při rekonstrukci obrazu metodou zpětné projekce jsou jednotlivé hodnoty z projekcí rozprostřeny přes odpovídající pixely v obraze. V každém pixelu se následně akumulují příspěvky ze všech projekcí, které se zprůměrují, a tím vzniká výsledný obraz. Pokud je počet projekcí malý, dochází k výskytu charakteristického hvězdicového artefaktu, který lze částečně potlačit aplikací vhodného filtru.

7 Experiment

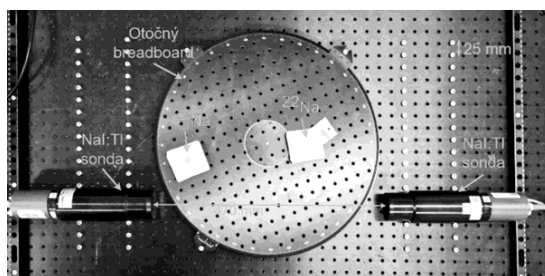
7.1 Pomůcky

2x zdroj IZ typu EG-3, polystyrenový fantom, breadboard s připravenými pozicemi pro umístění sond, otočný breadboard, 2x 2^a scintilační sonda NaI(Tl) s patičí, 2x zesilovač Ortec 570, 2x časový jednokanálový analyzátor Ortec 551, převodník času na amplitudu Ortec 566, mnohokanálový analyzátor, propojovací kabely, PC

7.2 Měření

V prvním kroku experimentu jsme umístili 2 zdroje záření do náhodných pozic na otočném breadboardu a přikryli polystyrenovým fantomem. Cílem bylo určit jejich pozici bez zvednutí fantomu. Pro určení pozice zdrojů záření, musíme detektory „zkontrolovat“ celou oblast, a jelikož jsou vždy umístěné naproti sobě, stačí breadboardem otáčet postupně až o 180°.

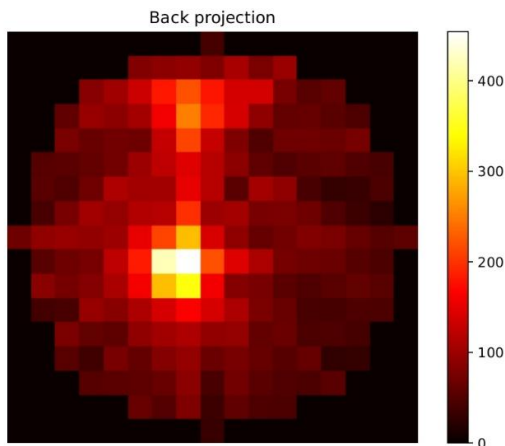
Nejprve jsme umístili sondy do 1. připravené pozice na obou stranách a provedli měření. Poté jsme obě sondy přesunuli do 2. pozice a opět měřili. Takto jsme postupovali až do 17. pozice s tím, že jsme si výsledky zapisovali do tabulky. Po změření všech pozic v daném úhlu jsme breadboard otočili o 15°. Celkem jsme tedy měření zahájili 204x.



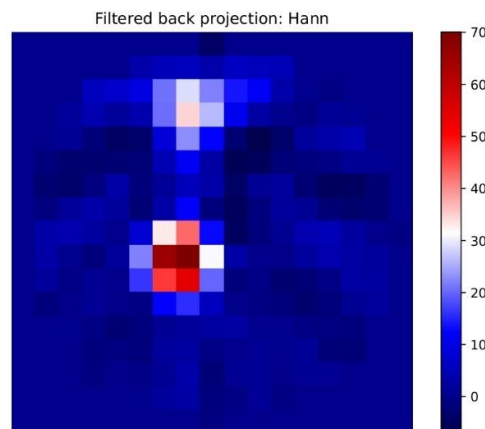
Obrázek 2: Sondy ve 3. pozici

7.3 Výsledky

Z nasbíraných dat nám vzešel obrázek, na kterém jsou pozice zdrojů pod fantomem relativně zřejmé, viz obrázek 3. K doladění nejasností jsme využili ještě filtry, které pozice zdrojů ještě více zvýraznily, viz obrázek 4. Z obrázků je zřejmé, že se jeden ze zdrojů nachází přibližně uprostřed a druhý o kus výše.



Obrázek 3: bez filtru



Obrázek 4: s filtrem

8 Závěr

V rámci našeho experimentu se nám podařilo cíl splnit, jelikož byly námi lokalizovány oba radiační zdroje.

Poděkování

Chtěli bychom touto cestou poděkovat garantům našeho miniprojektu Bc. Vojtěchu Bártkovi a Bc. Danielu Adamčíkovi za supervizi. Děkujeme rovněž organizátorům Týdnu vědy na Jaderce 2025.

Reference

- [1] KLINIKA NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY LÉKAŘSKÉ FAKULTY UP. *Principy PET*. Online. Dostupné z: <http://old.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/pozitronova-emisni-tomografie/principy-pet/#c8201>. [cit. 2025-06-24].
- [2] Skripta: TRNKA, Jiří. *Radiologická fyzika a technika v nukleární medicíně* [PDF]. Praha, 2018, KDAIZ FJFI ČVUT [cit. 2025-06-24].
- [3] BÁRTEK, Vojtěch. *Princip PET*. Online, prezentace. 2025. [cit. 2025-06-24].
- [4] KOTYKOVÁ, Monika. *Demonstrace principu pozitronové emisní tomografie – návod* [PDF]. Praha, 2023, ČVUT [cit. 2025-06-24].

Jak neutronové zrcadlo ovlivňuje chod reaktoru?

K. Nabiová¹, O. Smolík², T. H. N. Nguyen³

¹ G Ústí nad Labem, Jateční 22; nabiova.klara@gmail.com

² G Opatov, Praha; ondsmo.u@zaci.gopat.cz

³ G V. Hlavatého, Louny; nguyentathanoi@gmail.com

J. Sabol, školitel; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt:

Tato práce byla zaměřena na studium ideálních materiálů pro výrobu reflektoru. Dále byl zkoumán vliv tloušťky reflektoru na koeficient násobení, podle kterého se posuzuje kritičnost/stav reaktoru.

1 Úvod

Při řízené štěpné reakci v jaderných reaktorech může docházet k úniku neutronů z aktivní zóny reaktoru, což vede ke snížení kritičnosti reaktoru. Aby se zabránilo úniku neutronů, používají se tzv. reflektory. Nacházejí se v okolí aktivní zóny a fungují jako neutronová zrcadla, která odrážejí část neutronů zpět do reaktoru a udržují tak štěpnou reakci. Ideální materiály pro výrobu reflektoru musí mít vysoký účinný průřez pro rozptyl a nízký účinný průřez pro zachyt. Reflektory dělíme na lehké a těžké podle prvků, ze kterých jsou vyráběny. Mezi těžké řadíme např. ocel, ZrSi_2 , WC. Naopak lehké reflektory (např. H_2O , D_2O , grafit) se využívají i jako moderátory pro zpomalování neutronů. [1]

2 Metody

Ve stochastickém softwaru Serpent 2 byl simulován model jaderného reaktoru VVER-440, který využívá jako palivo směs uranů s 4,38% obohacením uranu 235 ve formě UO_2 [2]. Při každém výpočtu bylo vygenerováno 10 000 neutronů, které interagovali v aktivní zóně, případně narážely do vrstvy reflektoru, jehož materiál a tloušťka byl v programu volen tak, abychom porozuměli vlivu těchto parametrů na koeficient násobení.

3 Koeficient násobení

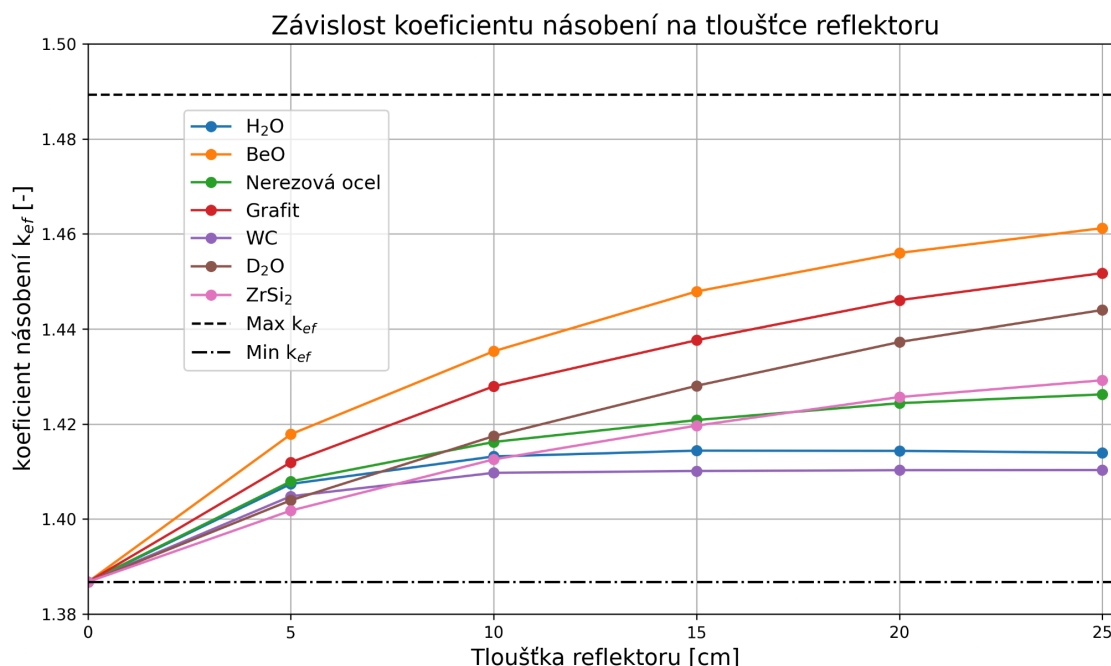
Koeficient násobení vyjadřuje poměr mezi počtem neutronů v současné generaci N_i oproti předchozí generaci N_{i-1} neboli stav reaktoru. Při hodnotách menších než jedna (<1) je reaktor v podkritickém stavu, při hodnotách větších než jedna (>1) je v nadkritickém stavu a při hodnotě rovné jedné je reaktor v kritickém stavu, kdy počet nových neutronů je stejný jako v předchozí generaci.

4 Materiály

Lehké materiály jsou dnes nejčastější volbou při stavbě reaktorů, jelikož se vyznačují velkou dostupností. Problém těžké i lehké vody vězí v tom, že jádro se musí udržovat na relativně nízké teplotě (asi 300 °C při tlaku 15 MPa), aby voda zůstala v kapalném stavu. Grafit zase na vzduchu oxiduje, což je řešeno potažením povrchu karbidem křemíku, který má velice podobné vlastnosti a chrání grafit před oxidací [3]. Oxid beryllnatý (BeO) byl zatím použit jen v několika experimentálních reaktorech, protože se jedná o poměrně novou sloučeninu. Jeho hlavní nevýhodou je vysoká toxicita, která ztěžuje i jeho výrobu [4].

Těžké materiály se ještě v reaktorech nepoužívají, protože stejně jako beryllium nejsou příliš prozkoumané. Výjimku tvoří ocel, která se řadí k těžkým materiálům, ale je běžně používána v reaktorech jako nádoba, ve které stojí samotný reaktor, takže funkce reflektoru je spíše vedlejší. Nejvíce se zvažuje karbid wolframu (WC), který se do náročného prostředí reaktorů velice hodí. Jako těžký kov dobře odráží neutrony ale zároveň nemění jejich energii plus teplota tání okolo 3400 °C umožňuje jeho využití v rychlých reaktorech i fúzních reaktorech. Problém tohoto materiálu tkví v jeho ceně několikrát přesahující cenu olova, způsobené jeho vzácností a energeticky náročnou výrobou. [3] Poslední uvažovanou látkou je ZrSi_2 respektive podobné sloučeniny zirkonu a křemíku v jiných poměrech (Zr_3Si_2 , atd). Tyto látky se nevyznačují nějakou specifickou vlastností jako ostatní materiály, ale zároveň nenesou ani jejich negativa. [4] Mají poměrně vysoký bod tání, jsou zdravotně nezávadné, jednoduše vyrobitelné a cenově dostupné. Ze všech zmíněných látek jsou úplně nejméně prozkoumané a i když vykazují ideální vlastnosti reflektoru ještě se neví, jak reagují na vystavení podmínkám uvnitř reaktoru.

5 Výsledky

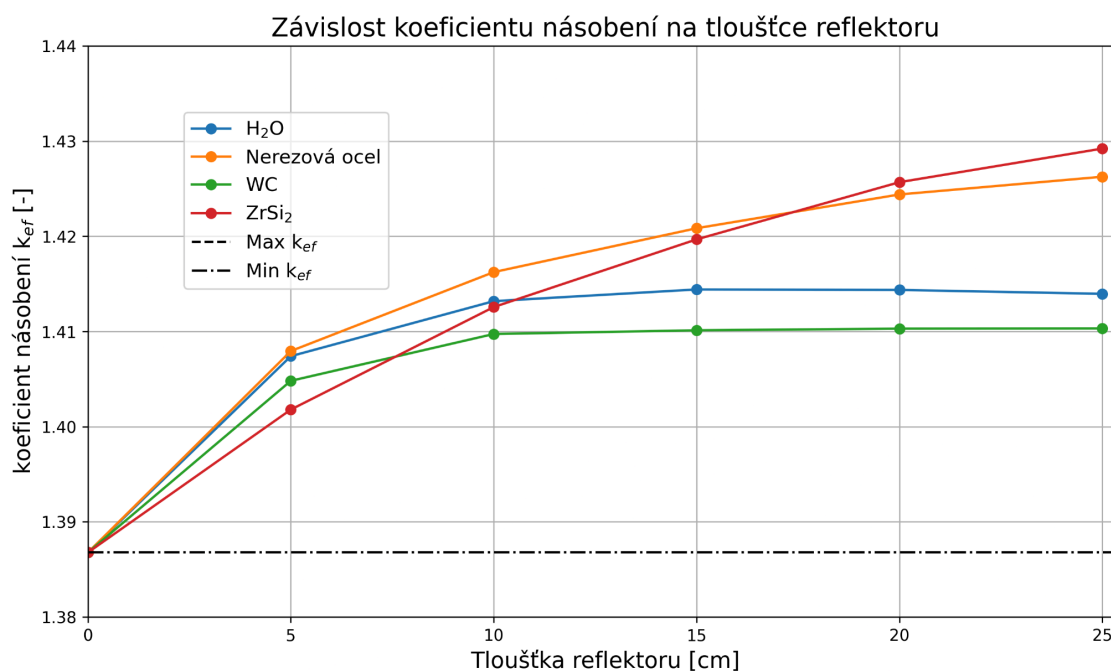


Maximálního koeficientu násobení lze dosáhnout, pokud se veškeré neutrony, které dopadly na reflektor, odráží se stejnou rychlostí zpět do aktivní zóny. Pokud v reaktoru není použit reflektor, tedy všechny neutrony opustí aktivní zónu, dosahuje koeficient násobení minimálních hodnot. Jedná se o pouhé abstrakty, které nám program dokázal nastínit a které jsme použili k ověření správnosti našeho měření.

I přesto, že H_2O a D_2O jsou chemicky stejné látky, vyplývá z grafu, že jejich fyzikální vlastnosti jsou výrazně odlišné. H_2O silně absorbuje neutrony, naopak D_2O neutrony prakticky nepohlcuje a vlastnostmi se hodí spíše jako reflektor (viz graf výše). Jeho zisk je ale vysoce nákladný, a proto se nevyužívá tak hojně.

Mezi nejlepší materiály pro výrobu reflektorů řadíme ty, které mají při malé tloušťce vysoký koeficient násobení. Z grafu vyplývá, že se jedná o BeO , grafit a D_2O . Tato vlastnost je dána nízkou parazitní absorpcí neutronů, která se projevuje např. u oceli nebo H_2O .

Materiály, které rychle konvergují k maximálnímu koeficientu násobení (viz graf níže), mají obvykle nižší difúzní délku, což je střední vzdálenost, kterou neutrony urazí v materiálu před absorpcí. Difúzní délka vodíku je přibližně 2,6 cm, grafitu přibližně 60 cm. To znamená, že reaktory, které jako reflektor využívají grafit (reaktory typu RBMK) jsou daleko větší než ty, které využívají H_2O (VVER 440).



6 Shrnutí

Funkce reflektoru v okolí aktivní zóny je velice užitečná pro efektivní chod jaderného reaktoru. Díky reflektorům se např. snižují rozměry aktivních zón a celkově jaderných reaktorů, prodlužuje se životnost reaktoru, protože neutrony, které by interagovali s reaktorovou nádobou a poškozovali by ji, jsou vráceny do aktivní zóny. Z výše uvedených grafů je zřejmé, že tloušťka reflektoru a jeho materiál mají zásadní vliv na koeficient násobení.

Poděkování

Velké poděkování patří inženýru Josefu Sabolovi, garantovi našeho miniprojektu, jeho obětavý duch a pevné nervy nám pomohli docílit vytyčeného cíle. Děkujeme také Katedře jaderných reaktorů za poskytnutí prostorů a výpočetních kapacit. Další velké díky patří Ing. Vojtěchu Svobodovi CSc. a jeho organizačnímu týmu za pořádání této chaotické akce.

Reference

- [1] KUBÍČEK, Jan. *Simulace neutronového pole kolem reaktoru VVER*. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. [online]. [cit. 2025-06-24] Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/33154>
- [2] ČEZ, a.s. Technologie a zabezpečení. In: *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2025-06-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/technologie-a-zabezpeceni>
- [3] WILSON, K. a R.A. JACOBS. *Reflector saving in thermal reactors*. *Nuclear Engineering and Design* [online]. 1970, **13**(2), 239–248. ISSN 0029-5493. [cit. 2025-06-24]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0029549370901603>. Dostupné také z: [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(70\)90160-3](https://doi.org/10.1016/0029-5493(70)90160-3)
- [4] APAKA, Gedeon a KEBEDE, Amanuel. *An Improved Linearization Technique for Solving Optimal Reactive Power Dispatch*. [online]. 2024 [cit. 2025-06-24]. Dostupné z: <https://engrxiv.org/preprint/view/3438/6159>

Depozice tenkých vrstev na polymery

R. Klíma¹, M. Beran², V. Tichý³ a S. Blank⁴

¹G. Boskovice; klima.r@email.cz

²G. dr. A. Hrdličky Humpolec; matybe91@seznam.cz

³SPŠ Třebíč; vojtech@vojtech.cz

⁴G. Blovice; sashablank@seznam.cz

Martin Kolář, Jakub Skočdopole, školitelé; KIPL FJFI ČVUT

Abstrakt

Práce představuje měření tloušťky nanosených vrstev oxidu titanu pomocí metody IJD (Ionized jet deposition) za různých podmínek. K měření se využívá metody AFM (Atomic force microscopy). Jedná se o relativně nové odvětví se spoustou probíhajících výzkumů.

1 Úvod

Tenké vrstvy jsou široce využívané a zkoumané technologie v mnoha oblastech průmyslu. Tyto vrstvy dokáží měnit a kombinovat vlastnosti materiálů v závislosti na své tloušťce. V dnešní době se jedná o intenzivně zkoumanou oblast fyziky.

Metoda depozice tenkých vrstev IJD využívá ionizovaného plynu a různých podmínek pro vytvoření požadované vrstvy. Tento experiment se zabývá závislostí tloušťky nanosené vrstvy na použitém napětí pro výboje.

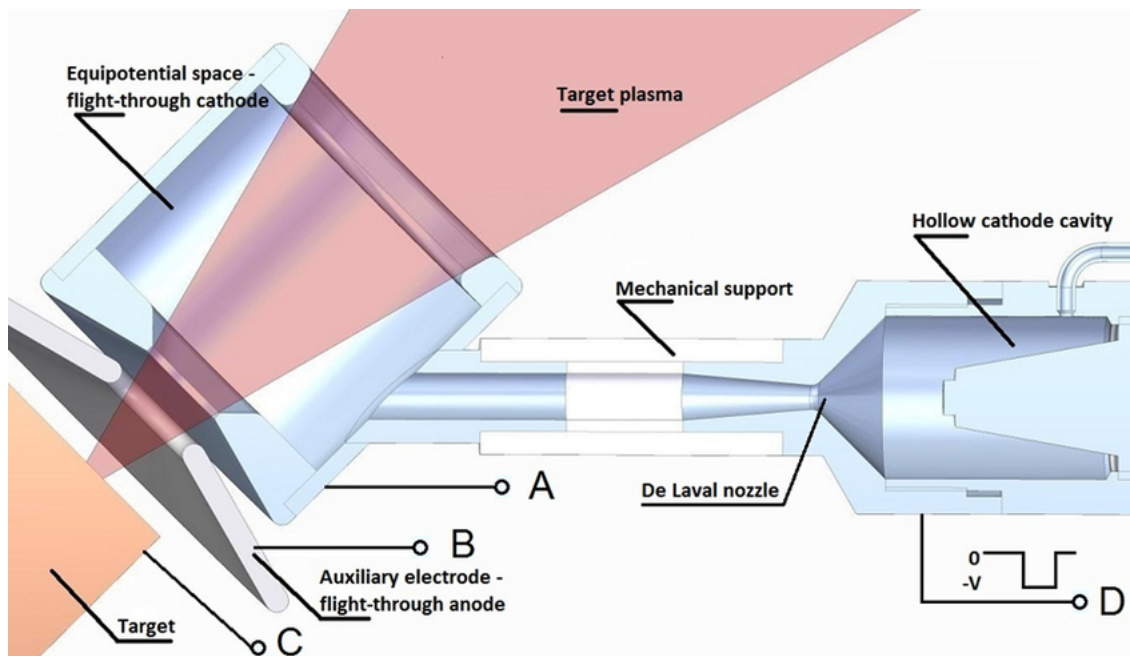
2 Metody

1. Ionized jet deposition (IJD)

Metoda IJD je založena na vyrážení atomů ze zdrojového terčíku pomocí ostřelování elektrony. Tyto vyražené atomy jsou následně zachycovány na substrát - materiál, na který vrstvu nanášíme. Zdrojem elektronů je pulzní ionizace plynu.

Depozice probíhá ve vybraném plynu za velmi nízkého tlaku, jelikož přítomný plyn může ovlivnit deponovaný materiál - např. při depozici Ti v O_2 vzniká vrstva TiO_2 .

Tloušťka vzniklé vrstvy závisí na použitém napětí, frekvenci, tlaku i délce průběhu depozice.



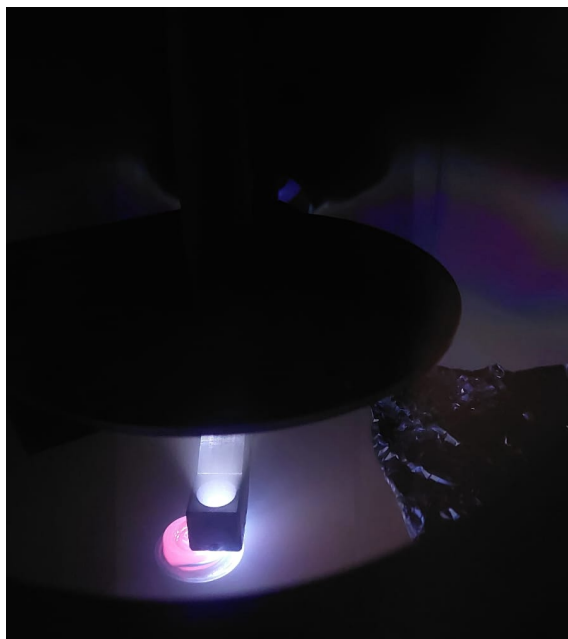
Obrázek 1: Schéma metody IJD

2. Atomic force microscopy (AFM)

Metoda měření AFM je velmi přesnou metodou zkoumání povrchů, která využívá mikroskopické sondy, která je vychylována při pohybu po povrchu vzorku. Tyto výchylky jsou měřeny na základě změn rezonanční frekvence v rameni sondy.

3 Experiment

V první části experimentu jsme metodou IJD deponovali vrstvy oxidu titanu na 3 polykarbonátové substráty. Před depozicí byl každý substrát náležitě vyčištěn mýdlem, vodou a izopropyl alkoholem, a připevněn na vytištěnou destičku, která byla umístěna do vakuové komory. První minuta depozice byla odstíněna kovovou fólií kvůli možnému znečištění povrchu terčíku. Poté proběhla 9 minutová depozice na substrát. Pro každý substrát bylo použito jiné urychlovací napětí na kondenzátorech. Po ukončení depozice byl substrát vyjmut z vakuové komory a uložen. Podmínky průběhu každé depozice byly zapsány do deníku.



Obrázek 2: Pohled do komory v průběhu experimentu

Druhá část experimentu spočívá v analýze vrstvy pomocí metody AFM. Vzorek byl umístěn do stroje, který byl poté zkalibrován. Následně bylo provedeno měření rozdílu výšky mezi substrátem a vrstvou na hranici přechodu vytvořeného odlepením pásky. Výsledky obsahující data průchodu hrotu v pruzích byly upraveny v náležitých programech a zapsány.

4 Výsledky

Na substrátu byl jasně pozorovatelný rozdíl mezi místy, kde byla nebo nebyla nanесena nanovrstva. Místa zasažená byla zbarvena tmavě stříbrně, pod úhlem byla pozorovatelná interference světla na tenké vrstvě

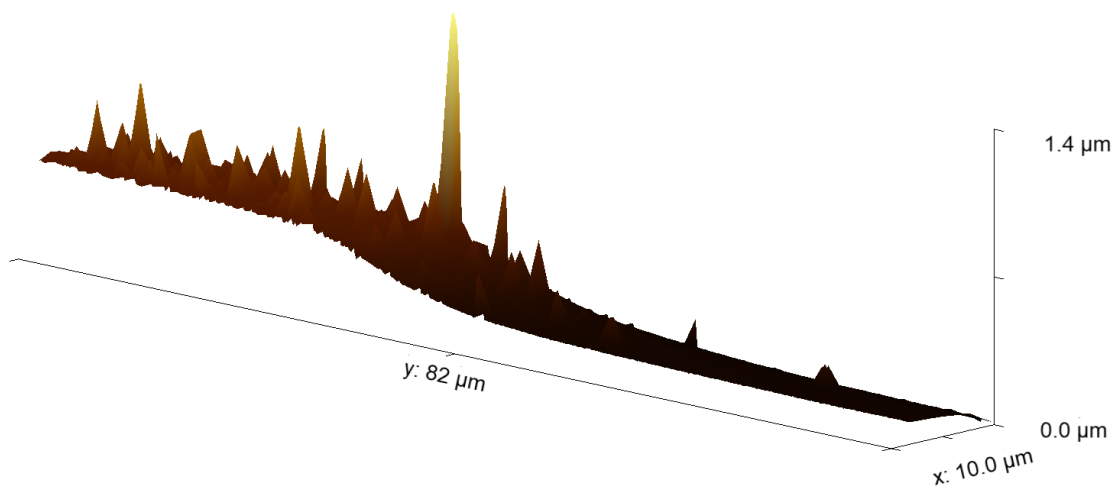
Po provedení měření tloušťky vrstev jsme získali tyto výsledky:

Tabulka 1: Naměřené tloušťky tenkých vrstev

U [kV]	13	15	17
Tloušťka v maximu [nm]	120	200	326
Tloušťka mezi extrémů [nm]	47	186	191
Tloušťka v minimu [nm]	15	46	51

Ze získaných dat jasně vyplývá závislost tloušťky vrstvy na použitém napětí, ostatní podmínky IJD byly zachovány. Vyšším napětím tedy nanесeme tlustší vrstvu materiálu v důsledku většího proudu elektronů. Hodnoty mezi maximy a minimy se výrazně liší svou vzdáleností od extrémů, jelikož jejich poloha vůči maximu (tedy středu nanесeného kruhu) nebyla vždy stejná.

Při experimentu s nejvyšším napětím se část plastové destičky pod substrátem roztavila v důsledku vysoké energie proudu elektronů.



Obrázek 3: 3D zobrazení výsledků ze maxima měření 17 kV

5 Závěr

Pomocí metody IJD jsme deponovali tenké vrstvy na 3 substráty, přičemž jsme pro každý vzorek použili jiné napětí. V závislosti na napětí se deponovala vrstva. Při vyšším napětí se deponovalo více materiálu než při nižším.

Poděkování

Chceme poděkovat M. Koláři a J. Skočdopoli, našim garantům, za jejich trpělivost a spolupráci. Déle také celému organizačnímu týmu TV@J za organizaci akce.

Odkazy

1. JAKUB SKOČDOPOLE Ladislav Kalvoda, P. N. M. N. Preparation of polymeric coatings by ionized jet deposition method. *Springer Nature*. 2018. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11696-018-0426-6>. [cit. 2025-06-24].
2. KOLÁŘ, M. *Optimalizace depozičních parametrů tenkých vrstev Nitridu Titanu připravených metodou IJD*. 2025. Dipl. pr. ČVUT FJFI.
3. SKOČDOPOLE, J. *Studium naprašování velmi tvrdých tenkých vrstev metodou IJD na podložky z legovaných ocelí s přihlédnutím k aplikacím ve zdravotnictví*. 2017. Dipl. pr. ČVUT FJFI.
4. SKOČDOPOLE, J. *Výzkum tenkých funkčních vrstev připravených metodou ionizační tryskové depozice*. 2023. Dis. pr. ČVUT FJFI.

Jak pomocí vlastních čísel ochočit Fibonacciho králíky

Kíni Jakub¹, Martinec Matúš², Mičková Kristýna³ a Mynář Jakub⁴

¹Gymnázium Tišnov; kinikuba@gmail.com

²Gymnázium F. Švantnera, Nová Baňa; matus.martinec79@gmail.com

³Gymnázium a SOŠ, Plasy; kiki.2007@seznam.cz

⁴Gymnázium Boskovice; zakopo185@gmail.com

doc. Ing. Ľubomíra Dvořáková, Ph.D. a Ing. Petr Ambrož, Ph.D.; KM FJFI ČVUT

Abstrakt

V této práci jsme se zaměřili na přiblížení známého matematického příkladu, modelu růstu populací králíků, zvaného „Fibonacciho králíci.“ Cílem je objasnit pojmy lineární algebry, tím přiblížit zmíněný příklad a vytvořit příklad z reálného života založený na podobném principu.

1 Úvod

Pojmy jako Fibonacciho posloupnost či zlatý řez, odkazující na italského matematika Leonarda z Pisy zvaného Fibonacciho, slyšel již snad každý. Fibonacci (asi 1170–1250) ve své knize Kniha o abaku („Liber abaci“) vyložil, na svou dobu hluboce, problematiku řešení lineárních a kvadratických rovnic. Dvanáctá kapitola této knihy obsahuje také mnoho rozmanitých úloh, včetně úlohy o králících, kterou jsme již zmiňovali. Právě význam této úlohy se zasloužil o to, že se Fibonacciho jméno navždy zapsalo do dějin matematiky (podrobněji v [2].)

V první části jsme se zabývali přiblížením pojmů lineární algebry (čerpali jsme z [1]), konkrétněji maticemi a operacemi s nimi. Dále jsme se věnovali vlastním číslům, vlastním vektorům a diagonalizovatelnosti. Hlavním cílem druhé části bylo představit úlohu o Fibonacciho králících a vytvořit úlohu podobnou.

2 Teorie

2.1 Maticový počet

Matice definujeme jako obdélníková či čtvercová schémata čísel a v této práci jsou základním nástrojem při výpočtech. V celé práci využíváme čtvercové matice (množinu $n \times n$ matic s komplexními prvky značíme $\mathbb{C}^{n,n}$) a jednosloupcové obdélníkové matice, tedy vektory (množinu n -složkových vektorů značíme $\mathbb{C}^n$). Matice označujeme velkým zdvojeným písmenem např. $\mathbb{M}$ a vektory malým písmenem se šipkou, např. $\vec{x}$. Prvky matice i vektorů zapisujeme do tabulky v kulaté závorce, např.

$$\mathbb{M} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}, \quad \vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}.$$

Důležitou operací pro naši práci bylo násobení matic mezi sebou a s vektory. Abychom matice mohli násobit, musí se počet sloupců první matice rovnat počtu řádků druhé matice. Násobení matic 2×2 :

$$\mathbb{A}\mathbb{B} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} \end{pmatrix},$$

násobení matice vektorem:

$$\mathbb{A}\vec{x} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \end{pmatrix}.$$

Pro každou čtvercovou matici určujeme charakteristickou číselnou hodnotu – determinant. Determinant je číslo, které přiřazujeme ke čtvercové matici a které vyjadřuje určité vlastnosti této matice, například zda má inverzi nebo jak ovlivňuje objem při lineární transformaci. Definice determinantu pro matice 2×2

$$\text{je-li } \mathbb{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad \text{pak } \det \mathbb{A} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}.$$

Pokud je determinant matice nulový, nazýváme matici singulární. Když je determinant různý od nuly, matici říkáme regulární. Ke každé regulární matici $\mathbb{A}$ existuje matice inverzní $\mathbb{A}^{-1}$, tedy matice, pro kterou platí $\mathbb{A}\mathbb{A}^{-1} = \mathbb{A}^{-1}\mathbb{A} = \mathbb{I}$, kde $\mathbb{I}$ je tzv. jednotková matice, tedy matice s 1 na diagonále a 0 na ostatních pozicích.

2.2 Vlastní čísla a diagonalizovatelnost

Zde se budeme zabývat vlastními čísly, která můžeme zařadit do tzv. spektrální teorie. V rámci této teorie se setkáváme s pojmy, jakými jsou mimo vlastní čísla i vlastní vektory a diagonalizovatelnost matic.

Nejprve definujeme vlastní čísla: Nechť je dána matice $\mathbb{A} \in \mathbb{C}^{2,2}$. Číslo $\lambda \in \mathbb{C}$ nazveme vlastním číslem matice $\mathbb{A}$ když existuje vektor $\vec{x} \in \mathbb{C}^2$, $\vec{x} \neq \vec{0}$, takový že $\mathbb{A}\vec{x} = \lambda\vec{x}$. Vektor $\vec{x}$ nazýváme vlastním vektorem matice $\mathbb{A}$ příslušející λ . Pro číslo λ platí, že je vlastním číslem matice $\mathbb{A} \in \mathbb{C}^{2,2}$ právě tehdy, když $\det(\mathbb{A} - \lambda \cdot \mathbb{I}) = 0$. Z toho plyne, že matice $\mathbb{A} \in \mathbb{C}^{2,2}$ může mít dvě různá vlastní čísla, anebo jedno dvojnásobné vlastní číslo.

Matice $\mathbb{A} \in \mathbb{C}^{2,2}$ je diagonalizovatelná, právě když existuje regulární matice $\mathbb{X}$ taková že $\mathbb{A} = \mathbb{X}\mathbb{D}\mathbb{X}^{-1}$, přičemž platí, že

$$\mathbb{D} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}, \quad \mathbb{X} = (\vec{x}_1 \quad \vec{x}_2),$$

kde λ_1 a λ_2 jsou vlastní čísla matice $\mathbb{A}$ a $\vec{x}_1$ a $\vec{x}_2$ jsou jim příslušné vlastní vektory.

Pokud je $\mathbb{A}$ diagonalizovatelná, můžeme snadněji počítat její mocniny

$$\begin{aligned} \mathbb{A}^n &= \underbrace{(\mathbb{X}\mathbb{D}\mathbb{X}^{-1})(\mathbb{X}\mathbb{D}\mathbb{X}^{-1}) \dots (\mathbb{X}\mathbb{D}\mathbb{X}^{-1})}_{n \text{ krát}} = \\ &= \mathbb{X}\mathbb{D} \underbrace{\mathbb{X}^{-1}\mathbb{X}}_{\mathbb{I}} \mathbb{D} \underbrace{\mathbb{X}^{-1}\mathbb{X}}_{\mathbb{I}} \dots \underbrace{\mathbb{X}^{-1}\mathbb{X}}_{\mathbb{I}} \mathbb{D}\mathbb{X}^{-1} = \mathbb{X}\mathbb{D}^n\mathbb{X}^{-1}, \end{aligned}$$

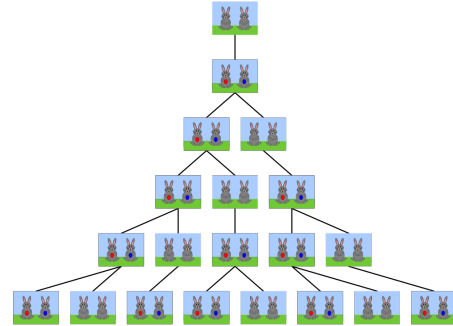
protože mocnina diagonální matice je diagonální matice, jejíž diagonální prvky jsou příslušnými mocninami diagonálních prvků matice původní.

3 Praxe

3.1 Fibonacciho králíci

Mějme idealizovaný matematický model množení populace králíků řídicí se následujícími pravidly (ilustrace z [3]):

- 1) Vlastníme jeden dospělý pár králíků.
- 2) Každý měsíc se každému dospělému páru narodí jeden mladý pár králíků.
- 3) Každý mladý pár dospívá jeden měsíc a další měsíc se množí.
- 4) Králíci neumírají a neustále se množí.



Naším cílem je s využitím matic určit počet dospělých a mladých párů králíků v n -tém měsíci. Označíme si počet dospělých párů v n -tém měsíci d_n a mladých m_n .

Pro první měsíc platí, že $d_1 = 1$ a $m_1 = 0$. Z pravidel množení vyplývá: $d_{n+1} = d_n + m_n$ a $m_{n+1} = d_n$, pomocí matic

$$\begin{pmatrix} d_{n+1} \\ m_{n+1} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}}_{=: \mathbb{A}} \begin{pmatrix} d_n \\ m_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^2 \begin{pmatrix} d_{n-1} \\ m_{n-1} \end{pmatrix} = \dots = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^n \begin{pmatrix} d_1 \\ m_1 \end{pmatrix}.$$

K umocnění využijeme diagonalizovatelnosti matice. Spočítáme vlastní čísla a vlastní vektory $\mathbb{A}$

$$p_{\mathbb{A}}(\lambda) = \begin{vmatrix} 1 - \lambda & 1 \\ 1 & -\lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 - \lambda - 1 = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2},$$

tedy $\lambda_1 = \tau = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ a $\lambda_2 = \tau' = \frac{1}{\tau}$. Vlastní vektory příslušné λ_1 a λ_2 jsou: $\begin{pmatrix} 1 \\ -\tau \end{pmatrix}$ a $\begin{pmatrix} 1 \\ -\tau' \end{pmatrix}$.

Máme tedy matici $\mathbb{X}$, spočítáme-li (z definice) matici k ní inverzní, dostaneme

$$\mathbb{X} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -\tau & -\tau' \end{pmatrix}, \quad \mathbb{X}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{pmatrix} \tau & 1 \\ -\tau' & -1 \end{pmatrix}.$$

Dostáváme

$$\mathbb{A}^n = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^n = \mathbb{X} \mathbb{D}^n \mathbb{X}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -\tau' & -\tau \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau^n & 0 \\ 0 & (\tau')^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau & 1 \\ -\tau' & -1 \end{pmatrix}$$

a tedy

$$d_n = \frac{\tau^n - (\tau')^n}{\sqrt{5}} \quad \text{a} \quad m_n = \frac{\tau^{n-1} - (\tau')^{n-1}}{\sqrt{5}}.$$

3.2 Další možnost využití

Matice a vlastní čísla lze využít v analýze událostí, které se běžně dějí mezi námi. Za použití matic jsme s pomocí naší garantky řešili úlohu podobnou Fibonacciho králíkům, ovšem složitější.

Úloha zní následovně: Ve světě propukla virová epidemie, populace se dělí na 3 skupiny lidí. Nakažené (označujeme a), přenašeče (označujeme b) a nemocné (označujeme c). Pravidla šíření nákazy:

- 1) Na začátku je 1 přenašeč.
- 2) Nakažený se stává po měsíci nemocným a zároveň přenašečem.
- 3) Přenašeč zůstává po měsíci přenašečem a zároveň se mu podáří nakazit další osobu.
- 4) Nemocný zůstává pořád nemocným a zároveň vždy někoho nakazí. Není možné zemřít ani se vyléčit.

Úkolem je vypočítat počet nemocných, nakažených a přenašečů za n měsíců.

Maticová formulace těchto pravidel je:

$$\begin{pmatrix} a_{n+1} \\ b_{n+1} \\ c_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ c_n \end{pmatrix}, \quad \text{kde } b_1 = 1 \text{ a } a_1 = c_1 = 0.$$

Aplikací obdobného postupu, jako u Fibonacciho králíků, dospějeme k následujícím explicitním vzorcům:

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{6}(2^n + 2(-1)^n), \\ b_n &= \frac{1}{6}(2^n + 3 + (-1)^{n-1}), \\ c_n &= \frac{1}{6}(2^n - 3 + (-1)^{n-1}). \end{aligned}$$

Tedy celosvětová populace se nakazí za méně než 3 roky.

4 Závěr

V této práci jsme se zabývali pojmy lineární algebry, které jsme postupně rozebrali. Také jsme se pokusili osvětlit příklad zvaný „Fibonacciho králíci.“ Bylo by na místě se v budoucnu nadále zabývat obdobnými příklady z reálného života. V teoretické části jsme se hlavně zabývali maticemi 2×2 , ale můžeme vše uplatnit i u matic vyššího řádu

Poděkování

Rádi bychom poděkovali doc. Ing. Ľubomíře Dvořákové, Ph.D. a Ing. Petru Ambrožovi, Ph.D., kteří nám přiblížili toto zajímavé téma a pomohli se zpracováním celého projektu.

Odkazy

1. DVOŘÁKOVÁ, Ľ. *Lineární algebra 2*. Skriptum ČVUT, 2020.
2. SEIBERT, J. Dvě setkání s Fibonacciho čísly. *Učitel matematiky*. 1994, roč. 2, s. 8–12. Dostupné také z: <https://dml.cz/handle/10338.dmlcz/152758>.
3. *Fibonacciho posloupnost*. [B.r.]. Dostupné také z: https://czwiki.cz/Lexikon/Fibonacciho_posloupnost. [cit. 2025-06-24].

Jak poznat dávku z barvy gelu?

A. Lukešová

G Žďár nad Sázavou; amylukesova@gmail.com

K. Pilařová, školitel; KDAIZ FJFI ČVUT

Abstrakt:

Cílem mé práce bylo vyzkoušet funkčnost již dříve připravených sloučenin pro výrobu Frickeho dozimetru s xylenolovou oranží (FeXO) a poté samotná výroba dozimetru a proměření změn viditelného spektra barev způsobených oxidací iontů při ozařování.

1 Úvod

Pomocí dozimetru měříme dávky ionizujícího záření, tedy množství energie, které látka pohltí. V tomto projektu je látka gel obsahující železnaté kationty. Ozáření se kationty Fe^{2+} oxidují na kationty Fe^{3+} . Díky reakci Fe^{3+} s xylenolovou oranží vidíme změnu barvy ze žluté až po fialovou. Tyto kationty se ale mohou s časem měnit i vlivem okolí. Je tedy třeba látky připravovat těsně před použitím, a poté se výsledky dají změřit pomocí spektrofotometru, díky kterému zjistíme výslednou dávku ozáření.

2 Provedení experimentu

2.1 Složení dozimetru

<i>Látka</i>	<i>Chemický vzorec</i>	<i>Relativní molekulová hmotnost</i>	<i>Koncentrace</i>
		<i>Mr</i>	<i>c [mM]</i>
želatina	$(\text{C}_{17}\text{H}_{32}\text{N}_5\text{O}_6)_x$	402,47	124,38
xylenolová oranž	$\text{C}_{31}\text{H}_{28}\text{N}_2\text{O}_{13}$	760,58	0,1
Mohrova sůl	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	392,47	0,5
Kyselina sírová	100 % H_2SO_4	98,07	25

2.2 Xylenolová oranž

Nejprve jsem zkoušela funkčnost předpřipravené xylenolové oranže. Oranž jsem zkusila zředit destilovanou vodou, a vzhledem k tomu, že výsledný roztok měl místo požadované žluté barvy spíše barvu červenou, bylo třeba připravit oranž novou.

Na filtračním papírku jsem si navážila 0,019 g XO, následně prášek nasypala do 10 ml odměrné baňky a pomocí pipety jsem na 10 ml doplnila destilovanou vodou. Tento

výsledný roztok jsem otestovala tak, že jsem indikátor po 0,5 ml rozdělila do tří kádinek a dolila na 10 ml třemi typy vody – destilovanou, vodou z kohoutku v Břehové a vodou z kohoutku na Chodově.

Roztok v kádince s destilovanou vodou zůstal žlutý, zatímco ve dvou ostatních se zabarvil do růžova – čímž dokázal funkčnost připravené xylenolové oranže a taky výskyt železa v kohoutkové vodě.

2.3 Mohrova sůl

Podobný pokus jsem dělala i s roztokem Mohrovy soli. Měla jsem k dispozici tři různé starší vzorky roztoku této soli s kyselinou sírovou, každý jsem dala do své kádinky po 12,5 ml a přidala 1 ml nově připraveného roztoku XO. Tyto roztoky jsem rozlila do kyvet a dala do spektrofotometru, abych zjistila, jak vysokou mají absorbanci. Měření ukázalo, že absorbance byla opravdu vysoká, což by bylo na pokus nevhodné, bylo tedy potřeba připravit roztok nový.

Na filtračním papírku jsem si navážila 0,039 g XO, následně prášek nasypala do 100 ml odměrné baňky se zředěnou kyselinou sírovou a promíchala do rozpuštění krystalků. Pomocí pipety jsem na 100 ml doplnila destilovanou vodou.

2.4 Příprava dozimetru

Připravila jsem 10% roztok želatiny. Nejprve jsem navážila 2 g želatiny, které jsem následně přidala do 18 ml destilované vody v kádince. Následně jsem želatinu zahřívala na plotýnce, dokud neměla kolem 55 °C a byla plně rozpuštěna.

Celkový objem měl být 25 ml, stanovila jsem si ho tak, že od každé ze čtyř dávek (0 Gy, 6 Gy, 12 Gy, 18 Gy) byly dva vzorky asi po 3 ml – tedy 8 vzorků.

Odměřila jsem 1 ml xylenolové oranže (z 2,5 mM zásobního roztoku) a přidala do něj 12,5 ml roztoku Mohrovy soli s kyselinou sírovou (z 50 mM zásobního roztoku).

Vychladlou želatinu jsem nalila do připraveného roztoku z předchozího kroku tak, aby výsledný objem byl 25 ml.

Tento roztok jsem rozdělila do 8 kyvet.

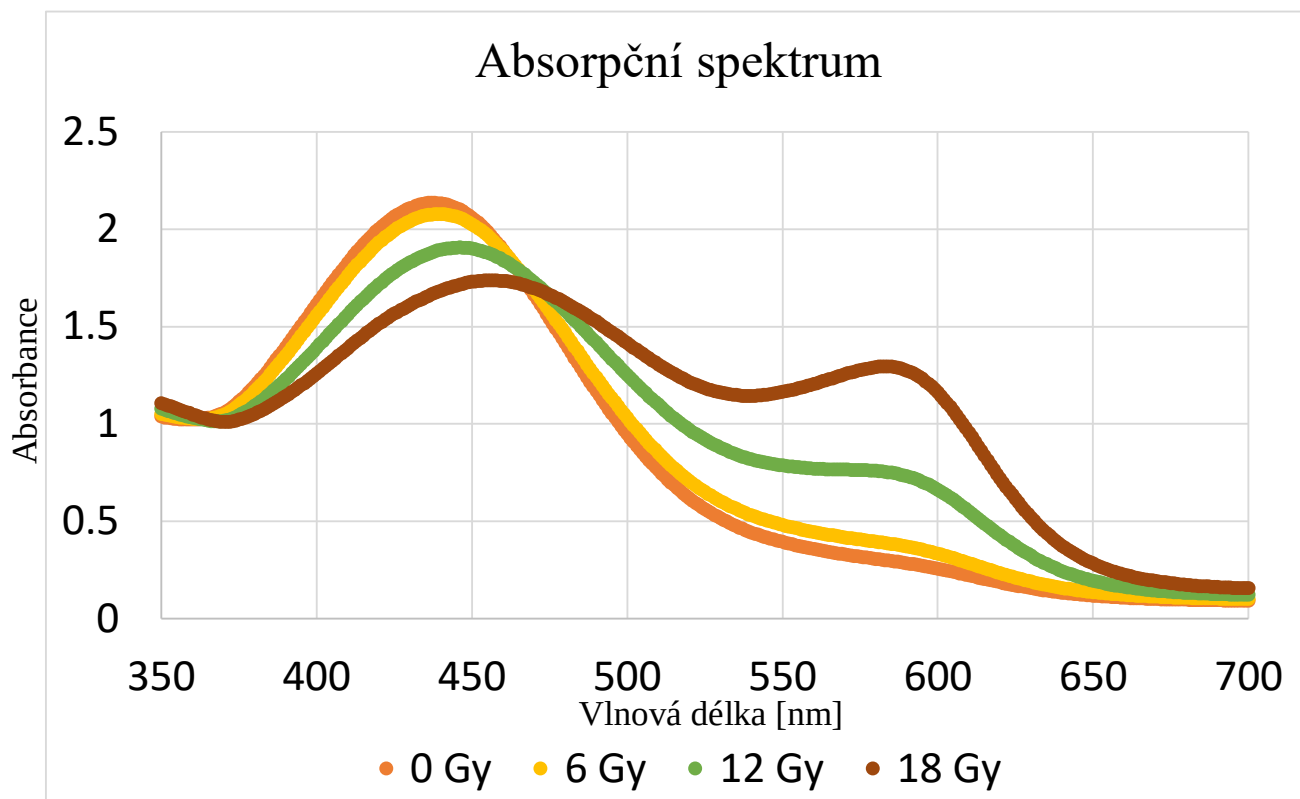
2.5 Ozařování v přístroji Gamacell

Vzorky jsem vložila do přístroje a vždy po 30 minutách jsem vyndala dva vzorky. První dva vzorky dostaly dávku 6 Gy, další dva 12 Gy a poslední dva 18 Gy.

2.6 Vyhodnocení na spektrometru

Vzorky jsem změřila ve spektrofotometru v rozsahu 350–700 nm u všech vzorků.

2.7 Výsledky experimentu



graf 1: Závislost absorbance gelového dozimetru na vlnové délce

3 Shrnutí

To, že nebudou předpřipravené roztoky fungovat, bylo očekávané, protože byly připravené již před několika měsíci. Železnaté ionty se totiž dokáží na železité oxidovat nejen ionizujícím zářením, ale i světlem či teplem. Čerstvě připravený dozimetr fungoval tak jak měl a dosáhla jsem požadovaných výsledků – škály barev od žluté, která postupně tmavne.

Poděkování

Děkuji paní Ing. Kateřině Pilařové, Ph.D., za uvedení do této problematiky a pomoc při zpracování tématu do sborníku a posteru. Také děkuji Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za umožnění účasti na Týdne vědy na Jaderce a za možnost realizace tohoto miniprojektu.

Reference

- [1] PILAŘOVÁ Kateřina, Interní materiály k úloze, KDAIZ FJFI ČVUT, 2025.

Jak přeměnit světlo na hmotu?

J. Bursová¹, Š. Černá², A. Väterová², H. Zemanová³

¹ G Ústavní, Praha; bursovaj@ggg.cz

² G Jana Palacha, Mělník; 180806@gjp-me.cz, 180832@gjp-me.cz

³ G. Christiana Dopplera, Praha, zemanovah@gchd.cz

M. Jirka, školitel; KLFF

Abstrakt:

Práce se zabývá zefektivněním teoretické tvorby hmoty a antihmoty formou snížení potřebné síly využitého pole. Zabývá se porovnáním lineární a radiální polarizací užitého laseru. Závěrem je, že při použití radiální polarizace se generuje výrazně větší množství částicových párů.

1 Úvod

Na přelomu 19. a 20. století během krize klasické fyziky byla definována teorie relativity a kvantová mechanika. Na ně v roce 1928 navázal britský matematik a fyzik Paul Dirac, který předpověděl existenci pozitronů^[1], tedy elektronů s kladným nábojem, jež jsou elementárními částicemi antihmoty. Na Diracův výzkum bylo zanedlouho navázáno a existence pozitronů, a tedy i antihmoty, se tak v roce 1938 potvrdila.

Rozvoj kvantové fyziky umožnil Julianovi Schwingerovi roku 1951 předpovědět možnost vytvoření hmoty a antihmoty z vakua. Vakuum je teoretický prostor, kde se zdánlivě nenacházejí žádné částice. Dle Heisenbergova principu neurčitosti je však vakuum tvořeno částicemi virtuálními. Virtuální částice jsou částice existující po tak krátkou chvíli, že nestihnou vyprodukovat energii. Podle Schwingera je právě díky virtuálním částicím ve vakuu možné vytvořit hmotu a antihmotu za pomoci silného pole. Na základě jeho teorie má záření potřebné k vytvoření hmoty z vakua intenzitu 10^{29} W/cm². Pole o zmíněné intenzitě získalo označení Schwingerovo limitní pole^[2].

Jeho dosažením bychom zdánlivě z ničeho mohli vytvořit elektrony a pozitrony – tedy hmotu a antihmotu. Pro sestrojení Schwingerova pole je nezbytné mít zdroj o velké intenzitě. Zdrojem nejsilnějšího pole jsou v současnosti lasery tvořící proud fotonů se stejným směrem a vlnovou délkou. Nejsilnější sestrojený laser má intenzitu pole 10^{23} W/cm².^[3] K dosažení limitního pole by bylo potřeba navýšit tuto intenzitu ještě o 10^6 W/cm².

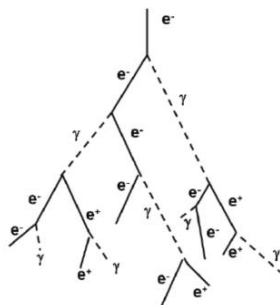
V roce 1934 Gregory Breit a John A. Wheeler předpověděli možnost vytvoření hmoty a antihmoty i při nižší intenzitě pole, než je nezbytná k vytvoření Schwingerova limitního pole, a uvedli jej jako Breit-Wheelerův proces^[4]. Tento proces spočívá v upravení podmínek

experimentu, kdy se zárodečná částice negeneruje ze samotného vakua, ale je již přítomna na počátku experimentu. Proces byl použit při realizaci dosud jediného úspěšného experimentu^[5]. Při něm bylo v roce 1997 ve Stanfordu za pomoci laseru a urychlovače částic vytvořeno několik málo částic. Od té doby již nebyl zopakován.

2 Simulace kaskády elektron-pozitronových párů

Při radiální polarizaci kmitá elektrické pole ve směru šíření elektromagnetické vlny, při lineární polarizaci kmitá kolmo na směr šíření.

Cílem je vytvořit kaskádu – tvorbu nových částic a antičástic lavinovou reakcí.



Obrázek 1: lavinová reakce elektron-pozitronů ^[6]

Hlavním problémem tvorby kaskády je síla F elektrického pole E působící na elektron (a jeho náboj $-e$) při různých polarizacích. Jelikož má elektron záporný náboj, je touto silou odpuzován z oblasti silnějšího pole. Rovnice níže popisuje tuto problematiku.

$$F = (-e)E$$

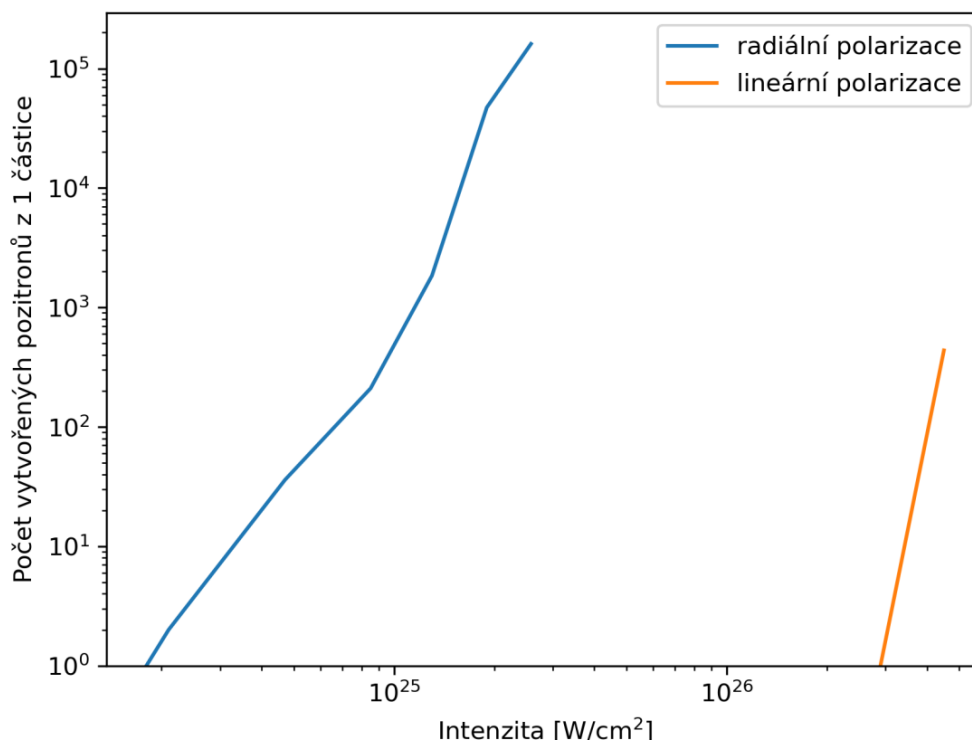
Z tohoto důvodu budeme studovat vliv různých polarizací na kaskádu.

2.1 Metoda

Kvůli komplexnosti numerických výpočtů jsme užili numerický simulační program Smilei^[7]. Výpočet byl proveden na počítačích v národní síťové infrastruktuře – MetaCentrum^[8]. Celkem jsme počítali 12 úloh, výpočet každé z nich trval přibližně 20 minut a pro každou bylo využito 512 CPU. Následně jsme výsledky zpracovali v Pythonu.

2.2 Výsledky a diskuse

Sledovali jsme, kolik vznikne párů na jeden elektron, výsledky simulací jsme poté vnesli do grafu níže:



Obrázek 2: graf závislosti počtu vytvořených částic na intenzitě

Graf přiložený ve výsledcích ukazuje větší účinnost radiální polarizace nad lineárně orientovanou. To z toho důvodu, že radiální polarizace udržuje elektron uvnitř elektrického pole, zůstane oscilovat na přímce a „neuteče“.

Z grafu lze sice vidět, že derivace radiální polarizace je nižší než lineární, ale pro náš výzkum je důležitá pouze hranice, odkud se křivka na ose x zvedne. Udává totiž množství potřebné intenzity k vytvoření o více než 100 % nových částic, než bylo na počátku, což je hlavním cílem rešerše.

Je samozřejmě více lepších možností, jak experiment provést. Například by se dalo využít více interagujících impulzů z více stran, u kterých lze předpokládat, že by ještě omezily pohyb částice.

3 Shrnutí

Vzhledem k exponenciální povaze křivky závislosti počtu vytvořených částic na intenzitě pole je radiální polarizace pro tvorbu částic výrazně účinnější než polarizace lineární. Další zásadní odlišností povah pozorovaných polarizací je potřebná intenzita k rozběhnutí kaskády. V případě lineární polarizace je k tomu potřebná intenzita mnohem větší. Z těchto výsledků je patrné, že pro přípravu hmoty a antihmoty je využití radiální polarizace efektivnější ku potřebné intenzitě pole.

Poděkování

Děkujeme FJFI a celému organizačnímu týmu Týdne vědy za možnost účastnit se tohoto miniprojektu. Zvláštní dík patří Ing. Martinu Jirkovi Ph.D. za vedení našeho zábavného a velmi obohacujícího projektu.

Reference

- [1] Dirac, The Quantum Theory of the Electron. Proceedings of the Royal Society A, 117, 778. (1928)
- [2] Schwinger, "On Gauge Invariance and Vacuum Polarization". Phys. Rev. 82, 5 (1951)
- [3] Yoon et al. "Realization of laser intensity over 10^{23} W/cm²," Optica 8, 630-635 (2021)
- [4] Breit and Wheeler, "Collision of Two Light Quanta," Phys. Rev. 46, 1087 (1934)
- [5] Burke et al., "Positron Production in Multiphoton Light-by-Light Scattering," Phys. Rev. Lett. 79, 1626 (1997)
- [6] La Rocca, "The Use of Avalanche Photodiodes in High Energy Electromagnetic Calorimetry", Advances in Photodiodes, 251 (2011)
- [7] SMILEI: <https://smileipic.github.io/Smilei/>
- [8] MetaCentrum: <https://metavo.metacentrum.cz/>

Jak si postavit vlastní urychlovač částic

Štěpán Brát¹, Jakub Král², Bianca Tomková³ a Jan Vospálek⁴

¹BPA Trutnov

²SPŠE Ječná, Praha

³G Konstantínova 2

⁴G Zikmunda Wintra Rakovník; JanVospalek@email.cz

K. Augsten, školitel; KDAIZ FJFI ČVUT

Abstrakt

Tento článek se věnuje urychlovačům částic. Vysvětluje principy funkce, rozdíly mezi jednotlivými typy (lineární a kruhový). Součástí je i jednoduchý návod, jak si postavit vlastní model urychlovače částic za využití Faradayova zákona elektromagnetické indukce a Lenzova zákona.

1 Úvod

Urychlovače částic jsou všude kolem nás. Využívají se v medicíně, průmyslu, výzkumu, ale i k detekci výbušnin či skenování nákladu vozidel. Dokonce i staré CRT obrazovky se dají považovat za urychlovače. Urychlovače částic mohou mít mnoho podob, tvarů, velikostí i funkcí, podle kterých se dělí. Naším cílem bylo vytvořit model kruhového urychlovače částic, na kterém bychom mohli veřejnosti a ostatním studentům demonstrovat fyzikální principy, díky kterým urychlovače částic fungují.

2 Co je to urychlovač částic?

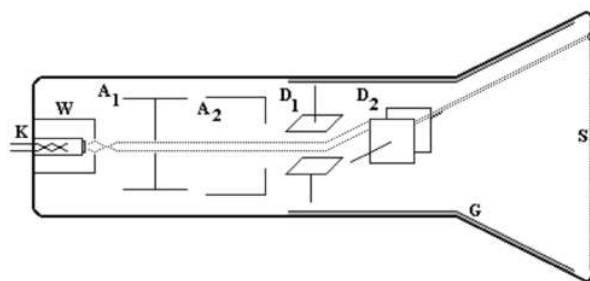
Urychlovač částic je zařízení, které pomocí silového pole (např. elektrického, magnetického) urychluje nabitě částice (např. elektrony, protony). Kinetická energie částice je přímo úměrná velikosti intenzity pole. V případě elektromagnetického pole vychází činnost urychlovače z principu práce elektrického pole a z Coulombova zákona, který definuje sílu mezi elektricky nabitými tělesy.

2.1 Typy urychlovačů

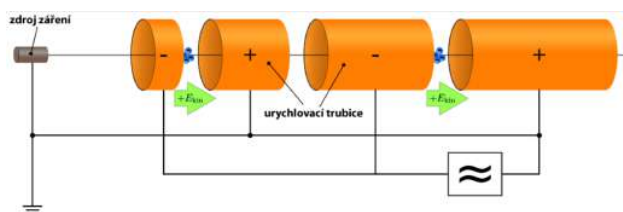
Urychlovače se dělí se podle charakteristiky elektromagnetického pole, které může být statické nebo proměnné. Mezi nejjednodušší elektrostatické urychlovače patří například obrazovky u starých televizí, viz Obrázek 1.

Dále je možné urychlovače dělit podle dráhy částic na lineární nebo kruhové. Zatímco v kruhových urychlovačích částice opisuje kruhovou dráhu, lineární urychlovače produkují částice letící po rovných dráhách, viz Obrázek 2.

Pro dosažení vysokých energií urychlených částic se používají kruhové urychlovače, velmi často typ synchrotron, schematický nákres je na obrázku 3. Nabitě částice zatáčí



Obrázek 1: Schéma urychlovače v CRT monitoru. K - rozžhavená katoda, vyzařující elektrony emisí, W - otvor k usměrnění elektronů, $A_{1,2}$ - anody urychlující elektron, $D_{1,2}$ - vychylující destičky, S - stínítko (obrazovka). Převzato z [1].



Obrázek 2: Lineární urychlovač - schéma. Převzato z [2].

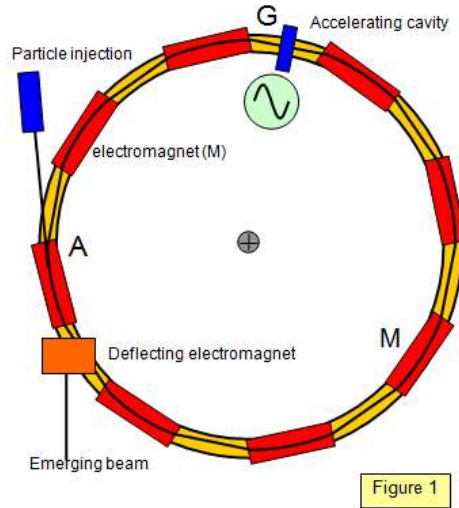
vlivem výkonných elektromagnetů. Během zatáčení vzniká tzv. synchrotronové záření, kdy zejména lehké částice jako elektrony ztrácejí energii na zakřivených drahách. Dráhu korigují elektromagnety, které jsou často tvořeny supravodiči (při teplotě blížící se 0 K mají nulový elektrický odpor a vytváří velmi silná magnetická pole o intenzitě v jednotkách Tesla). Elektromagnety také pomáhají např. při fokusaci či korekcím drah jednotlivých částic ve svazku. Jeden z nejznámějších synchrotronů je LHC.

3 Jak funguje náš model?

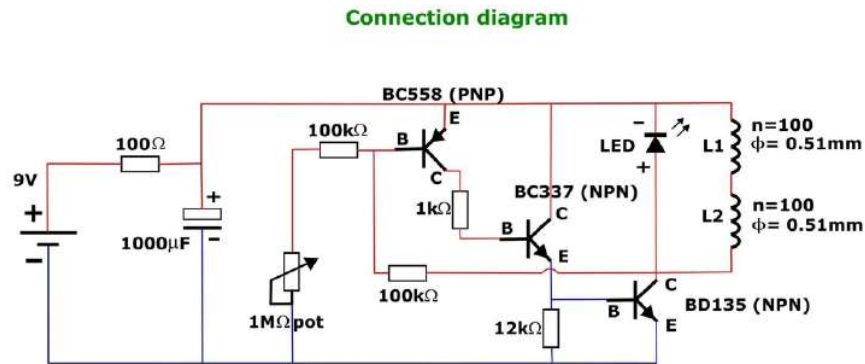
3.1 Elektrická část

Obvod, znázorněný na Obrázku 4, má jednoduchý účel: při přiblížení kuličky k cívce obvod zvýší proud cívkami. Změna proudu cívkami vyvolá změnu intenzity magnetického pole cívky, která se projeví působením přitažlivé síly na kuličku a jejím následného zrychlení. Jakmile kulička upustí cívku, obvod obrátí směr proudu v cívce. Obrácení směru proudu se projeví působením odpudivé síly na kuličku a jejím dalším zrychlením. Podrobný popis funkce obvodu:

- *Napájení:* Rezistor 100 Ω spolu s kondenzátorem 1000 μF zabezpečují napájení obvodu a ochranu zdroje (9 V baterie). Kondenzátor 1000 μF filtruje výkyvy napájecího napětí. Rezistor 100 Ω chrání napájecí zdroj (9 V baterie) před zkratem.
- *Oscilace:* Tranzistor BC558 spolu s cívkami L1, L2 a kondenzátorem 1000 μF tvoří jednoduchý elektronický oscilátor. Odporovým trimrem můžeme upravit pracovní bod tranzistoru BC558 a nastavit obvod tak, aby kulička udržovala optimální rychlost.



Obrázek 3: Schéma kruhového urychlovače, synchrotronu. Převzato z [3].



Obrázek 4: Schéma zapojení obvodu urychlovače, převzato z [4]

- *Spínání LED*: Tranzistor BC558 je zapojený jako spínač. Sepnutí tranzistoru BC558 vyvolá sepnutí dalších tranzistorů, což ve výsledku vede k připojení napájecího napětí k anodě LED, která se rozsvítí pokaždé, kdy se na cívce naindukuje záporné napětí.

3.2 Fyzikální jevy

Model urychlovače využívá Faradayův zákon elektromagnetické indukce a Lenzův zákon. Kulička je urychlena elektromagnetickým polem. V dráze kuličku udržují kolejničky. Pokaždé, kdy kulička projde cívkou, naindukuje se v cívce elektrické napětí - dáno Faradayovým zákonem (1) a Lenzovým zákonem. Kulička slouží jako zpětná vazba pro rezonanční obvod – před cívkou indukuje napětí a zesiluje magnetické pole, za cívkou indukuje záporné napětí, které způsobí opačné magnetické pole, a kulička dál zrychluje. Když odpor vzduchu vyrovná zrychlení dodané cívkami, rychlost kuličky se ustálí.

$$u_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Model, na Obrázku 5, ukazuje, že i bez silných magnetů nebo vysokého napětí lze pomocí základních fyzikálních principů demonstrovat urychlování těles – v tomto případě pomocí pohybující se magnetické kuličky.



Obrázek 5: Model kruhového urychlovače, synchrotronu. Vlevo před stavbou, vpravo hotový funkční model.

4 Závěr

Ukázali jsme si, jak fungují urychlovače částic a jak se dělí. Profesionální urychlovače jsou komplexní, výkonné a využívají supravodivé magnety. Sestavili jsme si model kruhového urychlovače, který demonstruje princip synchrotronu a na kterém lze ukázat Faradayův zákon elektromagnetické indukce.

Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat našemu školiteli panu Ing. Kamilu Augstenovi, Ph.D. za skvělé vedení miniprojektu a celému organizačnímu týmu Týdne vědy na Jaderce.

Odkazy

1. *Katodové a kanálové záření, obrazovka :: MEF — fyzika.jreichl.com* [<http://fyzika.jreichl.com/main/article/view/284-katodove-a-kanalove-zareni-obrazovka>]. [B.r.]. [Accessed 24-06-2025].
2. *Urychlovače částic — Eduportál Techmania — edu.techmania.cz* [<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/urychlovace-castic>]. [B.r.]. [Accessed 24-06-2025].
3. *schoolphysics :: Welcome :: — schoolphysics.co.uk* [https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Nuclear%20physics/Accelerators/text/Synchrotron_/index.html]. [B.r.]. [Accessed 24-06-2025].
4. *Particle Accelerator Demo — instructables.com* [<https://www.instructables.com/Particle-Accelerator-Demo/>]. [B.r.]. [Accessed 24-06-2025].

Kočkolit vs cement

L. M. Škultéty, Š. Werejnyckij, N. Samsonová

G Karla Čapka

Masarykova střední chemická

G Matyáše Lercha

Garant: Ing. Barbora Drtinová, Ph.D., Bc. Erik Marenčák, školitel; FJFI

Abstrakt:

Inženýrské bariéry, bentonit a cementové materiály, v současnosti podléhají rozsáhlému výzkumu jejich vlastností pro vybudování plánovaného hlubinného geologického uložště vyhořelého jaderného paliva v ČR. CEC je jednou ze základních vlastností jílových materiálů tedy i bentonitu. Byla stanovena CEC čtyř různých bentonitů pomocí metodiky s Cu-TETA na UV-vis spektrofotometru, ze kterých byla nejvyšší u kočkolitu. Z hlediska sopce kationtů se tedy kočkolit jeví jako nejvhodnější bentonitový materiál pro hlubinné ukládání. Nejpravděpodobněji se totižto jedná o bentonit sodný, který má obecně vyšší hodnoty CEC než vápenaté nebo hořečnaté bentonity, které se v ČR přirozeně nachází. Kromě ale CEC se musí brát do úvahy i další faktory a je možné celkově říci, že sodné bentonity nejsou nejvhodnějšími kandidáty pro hlubinné uložště v ČR. U cementových materiálů pomocí AAS byla stanovena doba, za kterou se vzorek CEM I dostal do rovnovážného stavu s cesiem a proto může být aplikována na budoucí sorpční experimenty.

1 Úvod

Látky, které budeme ukládat do hlubinných ložisek rozdělujeme do dvou skupin. První skupina je vyhořelé palivo z jaderných elektráren, které je vysoce aktivní a to i z hlediska tepelného záření. To je jeden z důvodů, proč je třeba pro vyhořelý jaderný odpad používat specifické metody a materiály.

Druhou skupinou je radioaktivní odpad, který dělíme do více skupin podle aktivity, poločasu rozpadu a skupenství. Ten pochází například z nemocničních přístrojů, továrních přístrojů nebo i kontaminovaných prostředků jako jsou laboratorní rukavice.

Těchto látek se nejsme schopni bezpečně zbavit, a proto jsou uloženy do povrchových a nebo do hlubinných ložisek – právě materiály pro výstavbu ložisek se budeme zabývat.

Problémem je, že v takové hloubce (cca 500-1000 m) vždy proudí voda, která by mohla kontejnery s radioaktivním zdrojem zkorodovat a rozšířit radioaktivní látky do životního prostředí. Proto musíme kontejner izolovat inženýrskými bariérami, kterými jsou cementové materiály a bentonit.

Naším cílem je zkoumat sorpční vlastnost cementového materiálu v čase. Stanovení doby, za kterou se materiál dostane do rovnovážného stavu se stanovovaným iontem je nezbytné pro

sorpční experimenty a tím pádem i pro stanovení rozdělovacího poměru při různých podmínkách. A také změřit výměnou kapacitu kationtů různých druhů bentonitů a tím zhodnotit, který ze zkoumaných bentonitů je teoreticky nejvhodnější pro hlubinné ukládání z hlediska výměny kationtů. Kationtová výměnná kapacita vyjadřuje maximální množství kationtů, které materiál je schopen přijmout resp. vyměnit. Tato vlastnost je klíčová při zamezení migrace radioaktivních látek do životního prostředí. Tím že bentonity mají obecně vysoké hodnoty CEC velmi efektivně dokáží sorbovat radioaktivní látky ve formě kationtů a taky podzemní vodu. Při sorpci vody tyto materiály dokážou několikanásobně zvětšit svůj objem a tím vyplnit případné poruchy materiálu.

2 Metody

1. Cementové materiály – kinetika sorpce

Nejprve si vytvoříme dvě skupiny roztoků o různém poměru fází a to 100 l/kg a 800 l/kg. Ty jsme ještě dělili na další skupiny dle dvou různý počátečních koncentrací cesia: $c_0 = 1 \times 10^{-3}$ M nebo 1×10^{-5} M.

Poté je necháme kontaktovat po různě dlouhé časové úseky cca 1-22 h.

Následně vzorky centrifugujeme (při 10 000 rpm na 10 min) a tím oddělíme kapalnou složku, kterou jsme odpipetujeme.

Ty jsme poté zředíme 100× na koncentraci vyhovující použitého přístroje AAS (atomová absorpční spektrometrie). Byly připraveny 3 kalibrační roztoky chloridu cesia o koncentraci 1, 3, 5 mg/l, díky kterým jsme získáme absolutní výsledky koncentrací a následně dopočítáme %ADS:

$c(M)$ Molární koncentrace = $c(ppm)/1000/Ar(Cs)$ (a také zohlednění příp. ředění)

q Koncentrace v pevné složce = $c_0 - c$

procento sorpce..... %ADS = $q/c_0 \cdot 100$

2. Bentonity - CEC

Navážíme vzorky bentonitu A, B, C, D.

A..... bentonit 2017 (pytel 5)

B..... hořečnatý bentonit

C.... Bentonite Hills

D.... kočkolit

Připravíme zásobní roztok 0,01M Cu-TETA z roztoku modré skalice a chelatačního činidla TETA (triethylentetraamin).

Připravíme kalibrační škálu Cu-TETA o koncentracích 0,0001 M až 0,01M. Zkontaktujeme 20 ml zásobního roztoku se vzorky bentonitů přes noc a pak dáme do centrifúgy (10 000 rpm po dobu 10 min). Mezitím jsme si pomocí UV-vis spektrofotometru změřili absorpční křivku Cu-TETA a určili vlnovou délku, při které má absorpční maximum - pracovní vlnová délka viz Graf č.1. Při této vlnové délce (583 nm) jsme následně měřili absorbanci kalibračních roztoků a z nich vytvořili kalibrační křivku. Poté jsme u centrifúgovaných vzorků oddělili kapalnou fázi od pevné a následně měřili jejich absorbanci. Z rovnice kalibrační křivky byla následně spočtena koncentrace jednotlivých roztoků a vypočtena CEC pro jednotlivé bentonity.

3 Výsledky

Bentonit

Největší CEC měl kočkolit, protože se pravděpodobně jedná o bentonit sodný, který má obecně vyšší CEC, protože sodné kationty tvoří nejslabší vazby oproti např. hořečnatým nebo vápenatým iontům, které se nachází v našich bentonitech – bentonit 2017 (Ca-Mg bentonit). Proto se tedy může jevit by byl vhodným kandidátem pro hlubinné ukládání v ČR, ale sodné bentonity se u nás přirozeně nenachází, a proto by bylo extrémně nevýhodné z finančního hlediska uměle vyrábět nebo importovat potřebné velké množství tohoto typu bentonitu.

Nejmenší měl naopak ten z Bentonite Hills, což je proto, že jako jediný vzorek není průmyslově zpracovaný - zhomogenizovaný, nadrcený na jemnou velikost, zbaven nečistot (přišel ve formě kusu horniny přímo z Utahu). Červinka et al. 2019 kromě jiného stanovili CEC BCV 2017 na 60,9 – 63,7 meq/100 g [1]. Což je porovnatelné s našimi výsledky.

Tabulka č. 1: Zhrnutí měření bentonitových vzorků CEC.

Bentonit:	BCV_2017	BCV_2017	BCV_Mg	BCV_Mg	Bentonite Hills	Bentonite Hills	Kočkolit	Kočkolit
Značení:	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Vlhkost (%):	9,29	9,29	8,2	8,2	6,26	6,26	11,26	11,26
Teoretická navažka (g):	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,56	0,56
Mokrý navažka (g):	0,5547	0,5471	0,544	0,5418	0,533	0,5319	0,5562	0,5581
Suchá navažka (g):	0,5032	0,4963	0,4994	0,4974	0,4996	0,4986	0,4936	0,4953
Cu-TETA (g):	20,2343	20,2231	20,1503	20,1199	20,1403	20,0423	20,1015	20,1284
absorbance:	0,3789	0,3865	0,3624	0,3686	0,4334	0,4230	0,0419	0,0355
c (M):	2,54E-03	2,59E-03	2,43E-03	2,47E-03	2,91E-03	2,84E-03	2,73E-04	2,30E-04
CEC (meq/100 g):	59,46	59,84	60,66	60,48	56,94	57,34	78,22	78,41
CEC prumer (meq/100 g):	59,65		60,57		57,14		78,32	

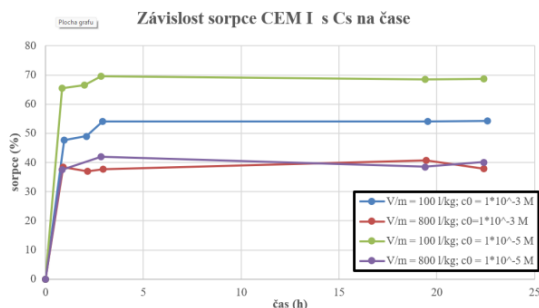
Vzhledem k tomu že u cesia došlo k ustálení rychlosti sorpce (a desorbce) ve velmi malém časovém úseku nebylo možné vždy zachytit začátky logaritmické křivky. Čas ustálení:

Pro poměr 100 l/kg a c: 1×10^{-5} rychlost sorpce po 52 min již byla v rovnovážném stavu.

Pro poměr 800 l/kg a c: 1×10^{-5} rychlost sorpce po 2,8h už byla v rovnovážném stavu.

Pro poměr 100 l/kg a c: 1×10^{-3} rychlost sorpce po 2,8h už byla v rovnovážném stavu.

Pro poměr 800 l/kg a c: 1×10^{-3} rychlost sorpce 54 min již byla v rovnovážném stavu.



Procento sorpce se pohybovalo v rozmezí 35-70 % v souvislosti s poměry a koncentracemi.

4 Shrnutí

Stanovením CEC metodikou s Cu-TETA na UV-vis spektrofotometru různých bentonitových vzorků jsme zjistili, že nejvyšší kapacitu má kočkolit a nejmenší neupravený vzorek z lokace Bentonite Hills v Utahu. Z hlediska sorpce kationtů a vody se zdá být kočkolit nejefektivnějším kandidátem pro využití v hlubinném ukládání radioaktivních odpadů. Výsledek stanovení CEC BCV 2017 je porovnatelný se studií o charakterizaci tohoto bentonitu.

U cementových materiálů kontaktováním různých poměrů CEM I s různě koncentrovanými roztoky cesia bylo pomocí AAS zjištěno, že do rovnovážného stavu se nejrychleji dostali vzorky s $V/m = 100 \text{ l/Kg}$ a $c_0 = 1 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ a $V/m = 800 \text{ l/Kg}$ a $c_0 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ M}$. Ostatní vzorky se dostali do rovnovážného stavu po cca 3 hodinách. Získali jsme dobu potřebnou pro dosažení rovnovážného stavu mezi vzorkem CEM I a cesiem. Tato doba může být použita pro potenciální další sorpční experimenty.

5 Reference

- [1] ČERVINKA, Radek, VAŠÍČEK, Radek a kol. Kompletní charakterizace bentonitu BCV 2017. Husinec: ÚJV Řež, a. s., 2018. Technická zpráva č.419/2019.

Kvantové korelace ve službách kryptografie

R. D. Maštovský, A. Brůna, J. Vojtek, L. Balon

GMHS Praha, GYOA Pelhřimov, Gymnázium Brno-Řečkovice,
SPŠOA JŠ Frýdek-Místek POJFM

Ing. Jaroslav Jelínek PhD., ČVUT

Abstrakt:

Kvantový počítač je výpočetní zařízení, které využívá principů kvantové mechaniky k provádění výpočtů. Cílem naší práce bylo vygenerování soukromého klíče s využitím simulátoru a kvantového procesoru IBMQ a následné zašifrování a dekodování zprávy.

1 Vernamova šifra

Vernonova šifra je jednoduchý (**avšak bezpečný**) typ symetrického šifrování, který používá bitový klíč stejně dlouhý jako šifrovaná zpráva. Každý znak je převeden na bitový řetězec, který je poté zašifrován tak, že se binárně sečte s klíčem bit po bitu (operace XOR). Výsledkem je šifrovaný text, který se dá přecíst jen pomocí rozšifrování stejným klíčem, opět operací XOR.

Tato šifra je neprolomitelná, za předpokladu, že klíč je : **a)** *udržen v tajnosti* **b)** *stejně dlouhý jako zpráva (tedy se neopakuje)* **c)** *je použit jen jednou* **d)** *je skutečně náhodný*.

V praxi se ale moc nepoužívá. Udržení jednoho dlouhého, náhodného klíče v tajnosti po dlouhou dobu je poněkud nepraktické, proto se používá v situacích, kde bezpečnost je naprostou prioritou.

2 Kvantová mechanika

Kvantové počítače využívají kvantových systémů, kde existuje poměrně přesná kontrola nad 2 dobře definovanými stavy. Ty reprezentují analogii stavů 0 a 1 v klasickém registru počítače. Může být využito například spinu elektronů, polarizace fotonů či atomu v základním a excitovaném stavu. V našem případě jsme použili kvantový počítač od IBM, jehož qubity jsou 2 kolektivní stavy elektronového plynu v supravodivém stavu Josephova přechodu. Mezi něž pod elektrickým napětím kvantově tunelují elektrony.

Kvantový počítač pracuje se superpozicemi stavů 0 a 1 ($\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$), které nazýváme stavy 1 qubitu. Až když skončí výpočet je výsledek změřen a interpretován. Tuto superpozici mohou interpretovat ve dvou různých bázích, 0/1 a +/-, kde ta superpozice je pak zapsána jako $\alpha|+\rangle + \beta|-\rangle$, kde α je složka superpozice nuly/+ a β je složkou superpozice jedničky/-. Mezi bázemi se dá přecházet, ale samotné měření musí být provedeno v bázi stavů 0/1.

2 qubity mohou být ve stavu $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle$ ale i v jejich libovolné superpozici $|\varphi\rangle = \alpha_1|00\rangle + \alpha_2|01\rangle + \alpha_3|10\rangle + \alpha_4|11\rangle$.

Pro náš projekt je ještě důležité kvantového provázání. Pro provázané stavy, Anglicky entanglement, je charakteristické, že výsledky lokálního měření na jednotlivých qubitech jsou silně korelované. Provázání částice lze kvantifikovat, tedy 2 částice mohou být minimálně až maximálně provázané.

3 Kvantový přenos klíče

Tento algoritmus, jehož označení je **BBM92**, používá několik logických bran. Používá jednoqubitové a dvouqubitové brány, Hadamardova brána (**H**) a $i+j$ modulo 2 (**CNOT**). Ještě je užitečná X/NOT brána, která obrací hodnotu jednoho qubitu.

X/NOT - $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$; v maticové formě $\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$, kdy $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ a $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

H - $|0\rangle \rightarrow |+\rangle$ a $|1\rangle \rightarrow |-\rangle$, v maticové formě $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$

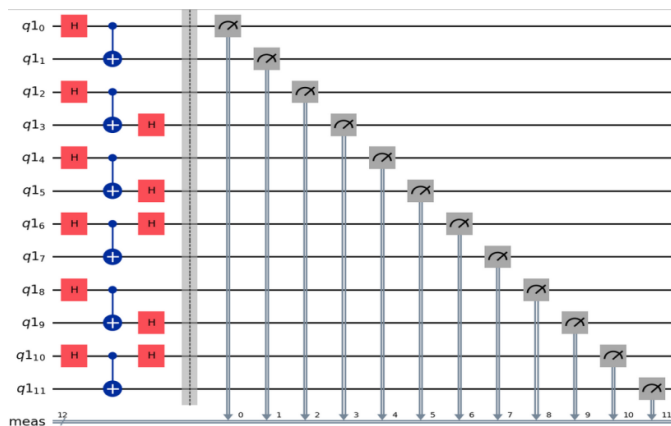
CNOT - $|i, j\rangle \rightarrow |i, i \oplus j\rangle$

Algoritmus¹

1) Potřebuji klíč o délce **n** pro zaslání zprávy o délce **n**. Vygeneruji $2n$ provázaných párů kvantových částic (například **fotonů**) $|e\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[|00\rangle + |11\rangle]$.

2) Uvažujme 2 strany komunikace, A a B, tedy Alice a Bob. Alice a Bob vygenerují $2n$ dlouhý náhodný bitový string $A(i)$ a $B(i)$. Pokud bude mít $A/B(i)$ na pozici č.10 hodnotu 1, budou příslušné fotony z provázaného páru měřeny v bázi +/-, pokud 0, tak v bázi 0/1. Toto aplikuje Alice a Bob na každý svůj provázaný foton, kterých je **také $2n$** .

3) Mají své výsledky měření **provázaných fotonů**. Nyní si pošlou navzájem nezabezpečeným kanálem své náhodné bity $A/B(i)$, které reprezentují, v kterých bázích měřili provázané fotony. V místech, kde se shodují bity $A/B(i)$, si Alice a Bob ponechají výsledné měření provázaných fotonů. Ostatní výsledky zahodí. Nikdy si veřejně nesdílí výsledek měření fotonů, jen si sdělí bázi ve které měřili. Když se shodují v měřené bázi, shoduje se jim i výsledek měření. **Takto vygenerují stejný bitový string délky $2n$** , který je požadovaným soukromým klíčem.



¹Algoritmus aplikovaný na 6 párů provázaných částic reprezentující bity klíče

Další výhodou této metody je to, že pokud útočník se snaží zachytit provázaný foton a poslat ho dále Alici či Bobovi, ovlivní tím míru provázanosti, což můžou Alice či Bob poznat a zahodit klíč. Tudíž nemusí ani Alice, ani Bob věřit samotnému zdroji provázaných fotonů. Stačí ověřit, jestli jsou opravdu provázané.

4 Simulace

Než jsme zkusili funkčnost opravdového kvantového počítače, provedli jsme simulaci na normálním. Instrukce pro simulaci i pro kvantový počítač musí být podány v programovacím jazyce Python (verze 3). Bylo použito prostředí Anaconda s knihovnou Qiskit [1]. Pro simulátor jsme měli v programu nastavených 12 použitých qubitů. Dále v simulaci² jsme měli 2 nastavitelné chyby v počítání, tzv. Depolarizační error a Pauliho error. Nastavili jsme oba na 2% šanci (chyby). Ještě byla jedna nastavitelná chyba, a to v měření, kterou jsme ale vypli.

```
encodedMessage = encode(stringToBinary(secretMessage.lower()),keyAlice)
decodedMessage = binaryToString(decode(encodedMessage,keyBob))

print(secretMessage)
print()
print(decodedMessage)
```

Odpalte raketu na Iran

odpalte ra etu na iran

²Ukázka simulace

5 IBMQ

Program jsme poslali na kvantový počítač IBMQ-Brisbane [2] o 127 qubitech, ale použili jsme jen 20 nejlepších. Přesto je ale chybovost na opravdovém počítači mnohem vyšší, navíc existuje chyba v měření. Proto naproti simulaci, kdy zpráva byla většinou prakticky čitelná, někdy i perfektní, jsme od IBMQ dostali prakticky nečitelný výsledek³.

```
result = retrieveResultsQPU(jobIdArray)

measuredValuesAlice, measuredValuesBob = processMeasurementResult(result)
keyAlice, keyBob = selectKeys(bitStringAlice, bitStringBob, measuredValuesAlice, measuredValuesBob)

encodedMessage = encode(stringToBinary(secretMessage.lower()),keyAlice)
decodedMessage = binaryToString(decode(encodedMessage,keyBob))

print(secretMessage)
print()
print(decodedMessage)

ahoj ahoj ahoj
oh mm j cuekte
```

³Ukázka, kdy nám vyšlo jen druhé písmeno správně

6 Shrnutí

Seznámili jsme se s základy kryptografie, kvantové mechaniky a informatiky. Experimentovali jsme s kvantovým přenosem klíčů typu BBM92, nejdříve na simulátoru, poté na pravém kvantovém procesoru platformy IBMQ. Zjistili jsme, že ač jsou aplikace mnohé, v současnosti nejdou používat bez robustního kódu, kvůli velké chybovosti při výpočtu a měření.

7 Poděkování

Na závěr bychom rádi poděkovali našemu garantu Ing. Jaroslavu Jelínkovi PhD. za skvělé vedení, pomoc a vysvětlení. Také děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

8 Reference

- [1] <https://docs.quantum.ibm.com/guides>
- [2] <https://quantum.ibm.com/>

Lasery a speciální optické jevy

Linda Tománková¹, Jan Smyčka²,

¹G Boskovice; lindatomankova@email.cz

²G Uničov; jansmycka@seznam.cz

Školitel: Ing. Michal Jelínek, PhD.; KLFF FJFI ČVUT

Abstrakt

Cílem této práce bylo naměření parametrů Nd:YAG laseru, jako jsou závislosti energie čerpání a výstupní energie laseru na vstupním proudu laserové diody, časové a spektrální charakteristiky. Zabývali jsme se také generací laserových impulsů metodou Q-spínání a nelineárními optickými jevy, mezi které patří např. generování vyšších harmonických frekvencí.

1 Úvod

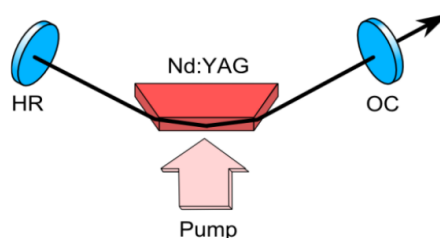
Laser je optický zdroj elektromagnetického záření. Světlo z laseru je na rozdíl od světla přirozených zdrojů koherentní.

Laser se skládá z aktivního prostředí, zdroje čerpání a rezonátoru, který je tvořen soustavou zrcadel. Dopadající záření zdroje čerpání do aktivního místa způsobí vybuzení elektronů do vyšší energetické hladiny – excitaci. Tento stav je však nestabilní a elektrony přecházejí zpět na nižší energetickou hladinu, přičemž dojde k vyzáření kvanta energie ve formě fotonu. Tyto fotony následně interagují s dalšími elektrony, čímž spouštějí tzv. stimulovanou emisi fotonů, se stejnou frekvencí a fází. Díky umístění aktivní části laseru do rezonátoru, tvořeného například zrcadly, dochází k odrazu fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi, a tím dochází k zesilování toku fotonů. Výsledný světelný svazek pak opouští rezonátor průchodem skrze výstupní polopropustné zrcadlo.

2 Popis aparatury

Pracovali jsme s laserem tvořeným laserovou diodou (Jenoptik JOLD-200-QPNN-1L), která generuje záření na vlnové délce 808 nm. Dioda byla napájena zdrojem Ostech, který tvořil impulsy s opakovací frekvencí 5 Hz a s délkou impulsu 100 – 300 μ s.

Aktivním prostředím byl krystal Nd:YAG lichoběžníkového tvaru, který umožňuje generovat záření na různých vlnových délkách, nejznámější je 1064 nm. Laserový rezonátor byl tvořen 2 zrcadly – totálně odrazným zrcadlem HR (High Reflection) a polopropustným zrcadlem OC (Output Coupler).



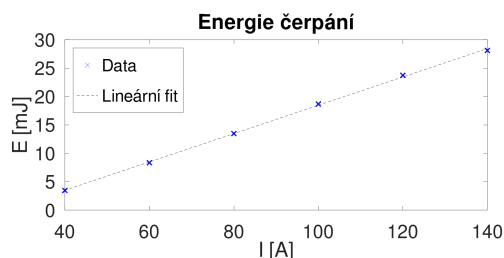
3 Výsledky

3.1 Měření parametrů laseru

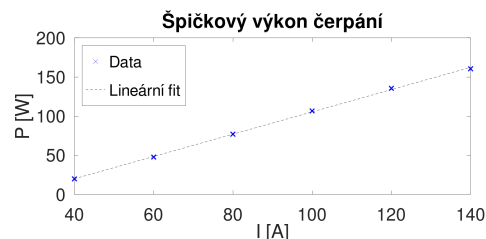
Nejprve jsme změřili výstupní energii čerpání v závislosti na vstupním proudu laserové diody, jak je vidět na obrázku 1a. Poté jsme energii čerpání přepočítali na špičkový výkon, abychom graf mohli porovnat s katalogovým listem laserové diody:

$$P = \frac{E}{\tau} \quad (1)$$

P je špičkový výkon, E již zmiňovaná energie a τ je délka impulsu, kterou jsme změřili pomocí osciloskopu. Časový záznam impulsu je zobrazen na obrázku 2. Z grafu vidíme, že je to přibližně $175 \mu s$.

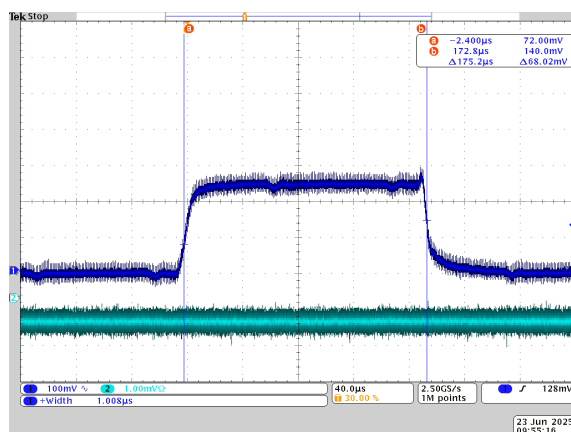


(a) Závislost energie čerpání E na vstupním proudu I .



(b) Závislost špičkového výkonu čerpání P určeného podle vztahu 1 na vstupním proudu I .

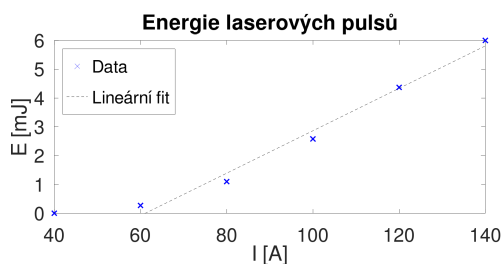
Obrázek 1: Grafy závislostí energie a špičkového výkonu čerpání.



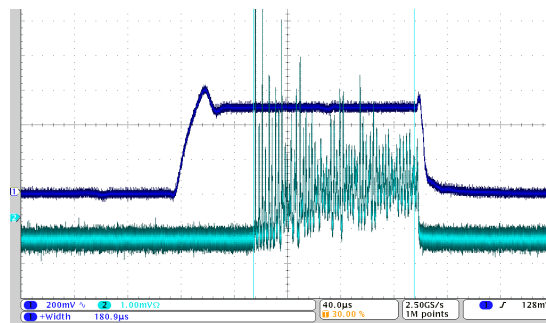
Obrázek 2: Časový záznam laserového impulsu zobrazeného osciloskopem, jehož délka je $175,2 \mu s$ (tmavě modrá).

Jako další jsme změřili výstupní energii laserového záření v závislosti na proudu a pomocí osciloskopu jsme zobrazili časový průběh čerpacího i laserového záření (viz obrázek 3).

Při proudu 140 A je energie čerpání 28,1 mJ a výstupní energie laseru je 6,0 mJ. Poměrem těchto energií dostaneme konverzní účinnost našeho laseru, která vychází na přibližně 21 %. Maximální možnou účinnost získáme z poměru vlnových délek laserové diody a výstupního záření.

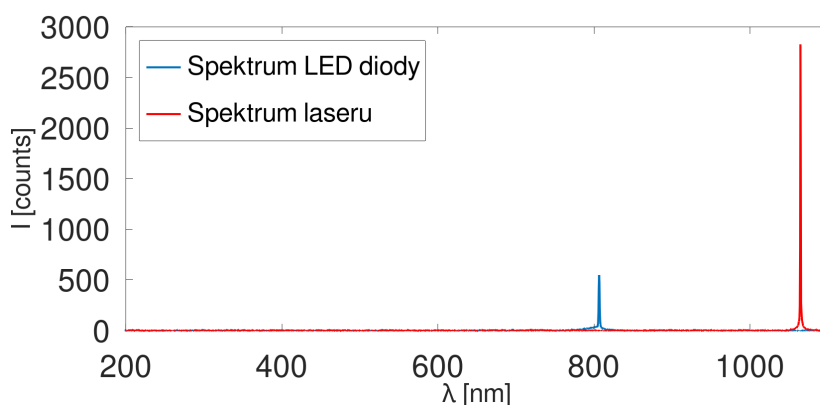


(a) Závislost energie laserových impulsů na vstupním proudem proložená přímkou.



(b) Časový průběh čerpacího (kanál 1, tmavě modrý) a laserového záření (kanál 2, světle modrý).

Obrázek 3: Energie a délka laserových impulsů ve volně běžícím režimu.



Obrázek 4: Na obrázku je zobrazené spektrum (závislost relativní intenzity záření na vlnové délce λ) laserové diody, která vyzařuje světlo o vlnové délce 808 nm, a spektrum našeho laserového čerpání, jehož vlnová délka je 1064 nm.

Vlnové délky záření laserové diody a laseru jsme měřili spektrometrem. Spektra jsou zobrazena na obrázku 4. Poměr vlnové délky laserové diody (808 nm) a laserového svazku (1064 nm) vychází na přibližně 76 %, což je tedy maximální konverzní účinnost daná kvantovým defektem.

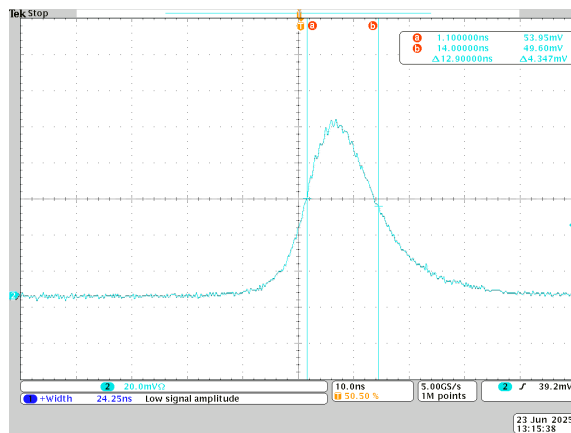
3.2 Q-spínání

Q-spínání je metoda, kterou můžeme dosáhnout kratších laserových impulsů s větším špičkovým výkonem. Činitel jakosti optického rezonátoru záměrně zvyšuje ztráty v rezonátoru a zabraňuje tak dřívější stimulované emisi.

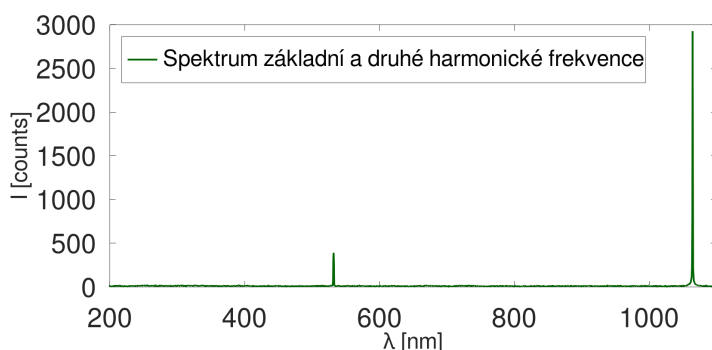
Délku impulsu jsme dokázali zkrátit až na 12,9 ns, jak můžeme vidět na obrázku 5.

3.3 Speciální optické jevy

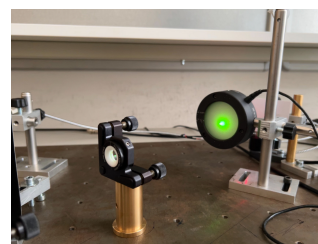
Mezi nelineární optické jevy patří např. generování vyšších harmonických frekvencí. Toho lze docílit tak, že svazek projde skrz speciální krystal, který musí být např. správně říznut. My jsme měli k dispozici LiIO_3 . Na jedné straně vstupuje do krystalu svazek s vlnovou délkou 1064 nm a na druhé straně vystupuje generovaná druhá harmonická frekvence, tj. záření s vlnovou délkou 532 nm, což odpovídá zelené barvě.



Obrázek 5: Časový průběh zkráceného laserového impulsu zobrazeného pomocí osciloskopu.



(a) Ve spektru je zobrazena základní frekvence laseru (1064 nm) a generovaná druhá harmonická frekvence (532 nm).



(b) Fotografie laserového záření, který vystupuje z nelineárního krystalu.

Obrázek 6: Generování druhé harmonické frekvence.

4 Závěr

Změřili jsme parametry laseru – závislost energie čerpání a energie laseru na vstupním proudu. Osciloskopem jsme zobrazili časový průběh impulsu a určili jeho dobu trvání. Pomocí jednoduchého vztahu jsme přepočítali energii čerpání na špičkový výkon čerpání a vytvořili jeho závislost na proudu. Pro proud 140 A vychází špičkový výkon na přibližně 160,6 W, což v rámci 10% odchylky odpovídá katalogovému listu laserové diody.

Poměrem energie laseru a čerpání jsme získali účinnost našeho laseru – 21 % při vstupním proudu 140 A.

Metodou Q-spínání jsme impuls dokázali zkrátit z přibližně 175 μ s na 13 ns a také jsme pomocí krystalu LiIO_3 vygenerovali druhou harmonickou frekvenci. Takže z původně infračerveného paprsku vznikl viditelně zelený (s vlnovou délkou 532 nm).

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu školiteli, kterým byl Ing. Michal Jelínek, PhD., za výborné vedení, vysvětlení a trpělivost. Také děkujeme organizátorům Týdne vědy, že nám umožnili se zúčastnit této skvělé akce.

Náhled do světa luminiscence

Lucie Pobořilová¹, Vendula Štefaníková², Petr Adámek³

¹Masarykovo gymnázium Příbor; lucie.poborilova@gypri.cz

²Masarykovo gymnázium Příbor; vendula.stefanikova@gypri.cz

³Gymnázium Brno-Řečkovice; xadamp@gyrec.cz

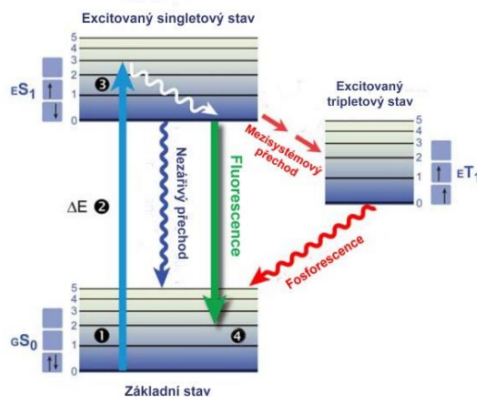
Ing. Ondřej Holas, školitel; KJCH FJFI ČVUT

Abstrakt

V tomto miniprojektu jsme badatelsky orientovanou výukou nahlédli do světa luminiscence. Pomocí několika praktických pokusů jsme poznali základní vlastnosti luminiscence, ukázali si jednotlivé typy luminiscence nebo také prokázali, že luminiscence existuje všude kolem nás.

1 Úvod - O luminiscenci obecně

Luminiscence je jev projevující se zářením, aniž by látka dosáhla teploty potřebné pro tepelnou emisi světla. Jde o proces založený na excitaci do vyšší energetické hladiny a následné de-excitaci zpět do hladiny nižší za vyzáření fotonu. Chceme-li pochopit tento jev, musíme nahlédnout do Jablonského diagramu.



Obrázek 1: Jablonského diagram

V základním stavu (označeno jako gS_0) se daný vzorek s luminiscenčními vlastnostmi nachází v nejnižším energetickém stavu za dané teploty. Následuje absorpce záření (možno zajistit např. osvětlením vzorku UV zářením). Absorpce UV záření způsobí excitaci elektronu do vyšší energetické hladiny - tzv. excitovaného stavu (označeno jako eS_1). Molekula je v tomto okamžiku "nabuzena UV světlem a je připravena zářit." Tento stav je velmi

krátkodobý. Následuje přechod do základní energetické hladiny v podobě fluorescence - molekula ztrácí přebytečnou energii a začne viditelně zářit. Jakmile UV světlo vypneme, záření ihned zmizí.

Alternativou je pak mezisystémový přechod do excitovaného tripletového stavu - aby se elektron mohl deexcitovat a vrátit se do původního stavu, musí dojít k otočení spinu elektronu. Tomuto jevu se říká fosforescence. V praxi se fosforescence projevuje delším časem vyhasínání záření i po vypnutí zdroje záření. Toto je jeden ze dvou způsobů dělení luminiscence tedy podle délky emise záření (fluorescence, fosforescence), druhý je dle způsobu vybuzení (např. fotoluminiscence, elektroluminiscence, radioluminiscence, tribo-luminiscence, atd.).

2 Praktická část

Provedli jsme velké množství pokusů, jejichž cílem bylo porozumět luminiscenci, zjistit, co ji způsobuje, jaké jsou druhy luminiscence. Také jsme zjišťovali, kde všude kolem nás se nachází, které předměty každodenního života vykazují luminiscenci a k čemu se dá luminiscence využít. Ze všech pokusů zmiňujeme pět nejvýznamnějších, které nejlépe demonstrují uvedené principy.

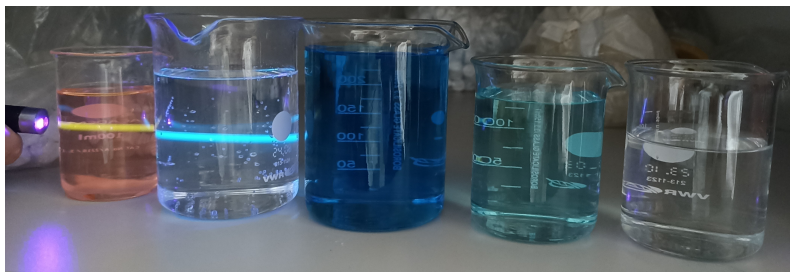
2.1 Vybuzení luminiscence

1. Materiály a postup:

Zkoumali jsme čtyři vzorky, na které jsme svítili třemi lasery o různých vlnových délkách (modrý, zelený, žlutý), vzorky: voda, roztok modrého barviva E131, Tonic, ethanol s látkou eosin z červené fixy. Pro potvrzení hypotézy jsme vzorky prosvítili UV lampou a spočítali energii záření laserů.

2. Pozorování - shrnutí:

Použité lasery mají různou vlnovou délku, což ovlivňuje schopnost vybudit luminiscenci. Nejméně reaguje červené světlo (největší vlnová délka, nejmenší energie) - nedostačuje na vybuzení luminiscence. Nejvíce pak modré - nejmenší vlnová délka, největší energie. Dále z pozorování vyplývá, že barva luminiscence nezávisí druhu laseru, ale na energii laseru - musí mít větší energii než vyzářené světlo. Proto červený paprsek nevybudil luminiscenci u žádného vzorku a eosin vždy vyemitoval žluté světlo. Následně jsme pomocí vzorce $E = \frac{hc}{\lambda}$ vypočítali energii fotonu daného laseru, které jsme doplnili do tabulky.



Obrázek 2: Vzorky: eosin s ethanolom, Tonic, roztok modré barvivo (silný a slabý), voda

Roztok	Červený laser	Zelený laser	Modrý laser	Laser	Vlnová délka	Energie
Eosin (červené barvivo)	-	žlutá	žlutá	Červená	650 ± 10 nm	1,91 eV
Tonic	-	-	světle modrá	Zelená	532 ± 10 nm	2,33 eV
Modré barvivo (E131)	-	-	-	Modrá	405 ± 10 nm	3,06 eV
Voda	-	-	-			

Obrázek 3: Pozorování luminiscence a výsledky výpočtů

V Tonicu jsme při svícení modrým laserem pozorovali luminiscenci, jelikož obsahuje chinin. Látky způsobující luminiscenci mají aromatické jádro – konjugovaný systém dvojiných vazeb.

2.2 Zhášení luminiscence

1. Materiály a postup:

Prováděli jsme extrakci chlorofylu z listů levandule. K listům jsme přidali ethanol a rozmělnili je v třecí misce s pomocí pískových zrn, která lépe narušila strukturu buněk a pomohla uvolnění chlorofylu. Směs jsme poté přefiltrovali a prosvítili UV lampou. Následně jsme část roztoku odlili a zředili vodou.

2. Pozorování a shrnutí:

Po ozáření luminiskuje chlorofyl červenou barvou a to jak chlorofylový extrakt, tak i samotné listy levandule. Výrazně více ale luminiskovala spodní strana listů, protože na srvcní straně probíhá více fotosyntézy, která spotřebovává energii potřebnou k deexcitaci. Chlorofylový extrakt zředěný s vodou žádnou luminiscenci nevykazoval, excitovaný chlorofyl místo luminiscence předal energii do vody.

2.3 Tvorba fluorescenční zkumavky

1. Materiály a postup:

V tomto experimentu jsme použili kyselinu boritou a fluorescein. Do tří třecích misek jsme umístili stejné množství kyseliny borité a různé koncentrace fluoresceinu. Látky jsme zamíchali, umístili do tří zkumavek a zahřívali nad kahanem. Následně jsme zahřáté vzorky nechali zchladnout. Souběžně jsme smíchali původní vzorek (kys. boritá + fluorescein) s vodou.

2. Pozorování a shrnutí:

Horkých zkumavky neluminiskovaly silně, po vychládnutí vykazovaly silnou zelenou až světle modrou luminiscenci. Po osvětlení vzorků UV zářením a následným odebráním UV záření vzorek s vodou okamžitě zhasl, vzorky ve zkumavkách nějakou dobu svítily a postupně zhasínaly. Tento experiment je důkazem existence fosforescence - v době zhasínání látek ve zkumavkách dochází k otočení spinu elektronu, aby mohl de-excitovat na nejnižší energetickou hladinu.

2.4 Syntéza triboluminiscenčního komplexu

1. Materiály a postup:

Jde o Bis(pyridin)trifenylfosfinthiokyanátomědný komplex. Přípravovali jsme jej z thiokyanatanu mědného a trifenylfosfinu. Komplex jsme zahřívali na konkrétní teplotu. Po zahřátí jsme přikápli pyridin, ve kterém se sloučeniny rozpustily. Výsledná

směs po určité době částečně zkrystalizovala a krystaly byly odfiltrvány a vysušeny.

2. Pozorování a shrnutí:

Směs zpočátku neluminiskuje, je tedy zahřáta na vysokou teplotu a při vysoké teplotě se této látce nepodařilo vykazat luminiscenci. Po vychladnutí luminiscenci již vykazuje. Samotné krystaly byly uschovány do nádoby a po prošťechání začaly luminiskovat - jde o tzv. triboluminiscenci. Je to jev, při kterém látka vyzařuje záření v důsledku mechanického působení a světlo vzniká narušením struktury látky.

2.5 Luminiscence kolem nás

1. Materiály a postup:

Připravili jsme si pět kádinek, v první jsme nechali v ethanolu rozpustit růžové barvivo z fixu, v druhé žluté barvivo z fixu v ethanolu, v třetí kurkumu v ethanolu, do čtvrté jsme nalili energetický nápoj, do páté jsme vložili skořápky vajíčka s kyselinou chlorovodíkovou. Následně jsme pozorovali zkumavky pod UV zářením.

2. Pozorování a shrnutí:

Látka zodpovědná za luminiscenci v energetickém nápoji a v banánech v čokoládě, se nazývá riboflavin (vitamín B2). Závěrem lze říci, že je luminiscence všude okolo nás a má velmi široké a významné využití. Principů luminiscence můžeme využít v praxi např. u bankovek - ochranné prvky proti padělání, dále občanské průkazy, kreditní karty, cestovní pasy - účelem je zachování autenticity daného dokladu. Další využití např. svítící náramky pro děti.

3 Shrnutí

Cílem našeho miniprojektu bylo pochopení principů luminiscence z několika experimentů. Badatelskou metodou jsme zjistili, jak funguje, zjistili jsme, kolik běžných předmětů vykazuje luminiscenci. Seznámili jsme se s různými typy (fotoluminiscence, fosforescence, triboluminiscence..). Zjistili jsme, že luminiscence je všude kolem nás.

Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali našemu školiteli Ing. Ondřeji Holasovi za veškeré znalosti, které nám svým skvělým přístupem předal a organizátorům Týdne vědy na Jaderce za tuto skvělou a komplexní akci zaměřenou na jadernou fyziku a chemii.

Reference

1. URBANOVSKÁ, R. *Syntéza derivátů pyrimidinu jako nových fluorescenčních značek: Diplomová práce*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. Dostupné také z: https://theses.cz/id/qwv7ly/Urbanovsk_Radka_Diplomov_prce_2015.pdf. [cit. 2025-06-24].
2. JAN, V. *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. Průhledy. Praha: Academia, 2014. ISBN 978-80-200-2394-0, [cit. 2025-06-24].

Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámou látku aneb co je to za bílý prášek?

J. A. Moncolová

Gymnázium Antona Benroláka Senec: julia.moncolova@gab.sk

O. Garant, školitel; Jiří Čapek

Abstrakt:

Kryštalické látky tvoria kryštálovú mriežku, ktorú vieme pomocou rentgenovej difrakcie, meranej difraktometrom, skúmať. Difrakčný záznam každej látky je jedinečný, tým pádom je možné ju jednoznačne identifikovať. Pomocou tejto znalosti bolo možné určiť neznámu látku – zmes práškov cukru, soli a kyseliny citrónovej.

1 Úvod

Pomocou rentgenovej difrakcie skúmame povrchy kryštalických látok a ich fázové zloženie. Je to vlastne interferencia rentgenového žiarenia, dopadajúce na pravidelné štruktúry kryštálu skúmaného objektu. Táto metóda sa využíva v rôznych oboroch ako napríklad kriminológia, farmaceutika, strojárstvo.

Látky sa delia na amorfné a kryštalické (kde častice sú pravidelne usporiadané), tie sa delia na monokryštály a polykryštály. Vnútri monokryštálov je usporiadanie častíc periodicky/pravidelne opakované. Polykryštály sa však skladajú z množstva drobných kryštálov - zŕn, v ktorých sú častice pravidelne usporiadané, ale poloha týchto zŕn je náhodná.

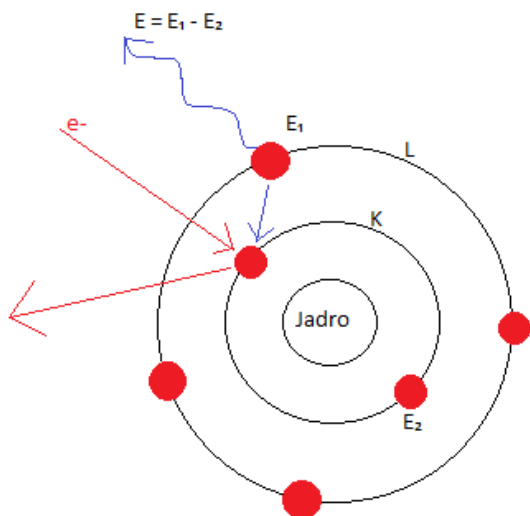
V tejto práci skúmame prášky, ktoré sú polykryštály. Cieľom je zistiť, či pomocou rentgenovej difrakcie ide jednotlivé prášky v zmesi identifikovať.

2 Difraktometer

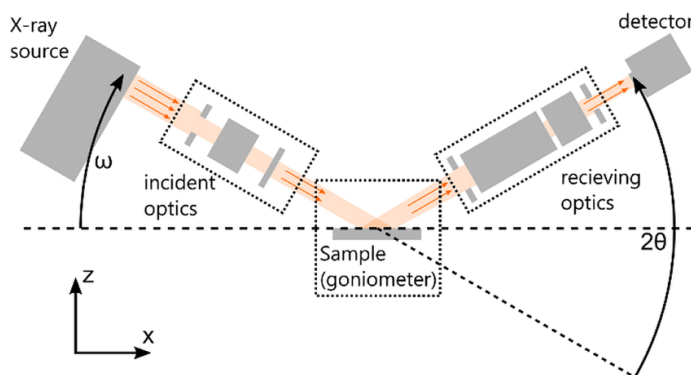
Difraktometer, ktorým realizujeme rentgenovú difrakciu, sa skladá z detektora na zaznamenávanie interferencií vln, goniometra na nastavenie si pozície detektora a skúmaného objektu a hlavne zdroj rentgenového žiarenia.

Rentgenové žiarenie v difraktometri vzniká tak, že Wolframové vlákno, správajúce sa ako katóda, vysiela elektróny na anódu. Pod anódou sa nachádza chladič – meď (skvelý vodič tepla) a tá sa chladí vodou (ktorá chladí cca 6 litrov za minútu). Elektróny dopadajúce na anódu, v kvázi vyhodia elektrón z elektrónovej vrstvy, na obrázku je to vrstva K, tým je daný atóm nestabilný, preto elektrón z vrstvy L sa posunie o vrstvu nižšie a nahradí vyhodенý elektrón. Lenže elektróny na vzdialenejších vrstvách majú väčšiu energiu ako elektróny na bližších

vrstvách, takže keď elektrón prejde z vrstvy L na vrstvu K, zostane mu nejaká energia, ktorej sa potrebuje zbaviť – vyžaruje ju ako rentgenové vlnenie, ktorého energia je ovplyvnená materiálom anódy.



Obrázok 1: Znážornenie vzniku rentgenového žiarenia v difraktometri - vlastné spracovanie



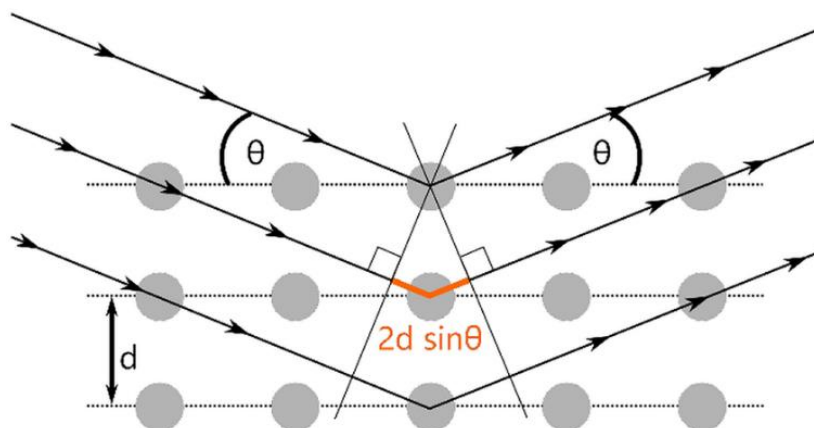
Obrázok 2: Components of a diffractometer – George F. Harrington, José Santiso – prevzaté z (1).

3 Braggova rovnica

Difrakcia rentgenového žiarenia sa dá interpretovať ako odraz od kryštalických rovin (obr. 3). Na základe interferencie takto odrazených vln sú zaznamenané maximá. Použitím Braggovej rovnice

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

kde λ (lambda – vlnová dĺžka použitého žiarenia) máme zadanú ako konštantu; θ je uhol sklonu vlnenia, ktoré si určíme - zistujeme vlastne d . d je vzdialenosť medzi kryštalickými rovinami (obr. 3).

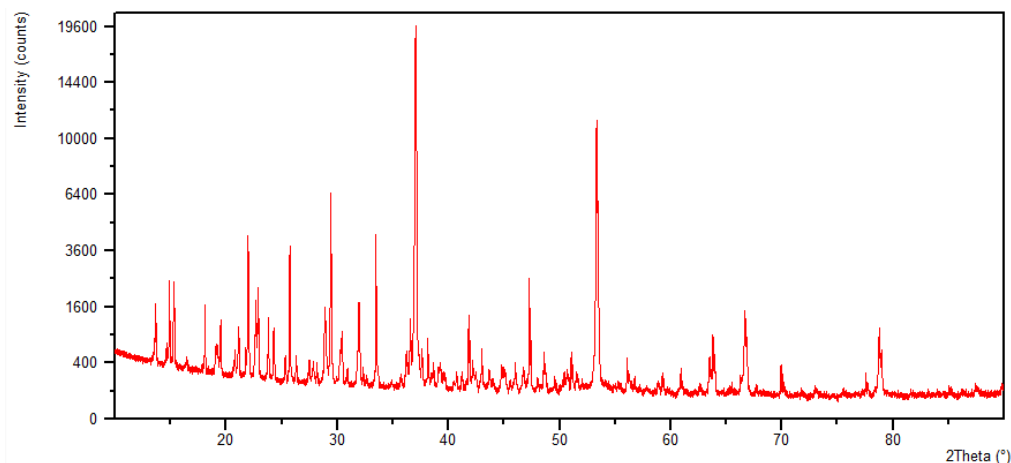


Obrázok 3: Visualisation of Braggs equation - George. Harrington, José Santison - prevzaté z (1)

4 Výsledky a diskusia

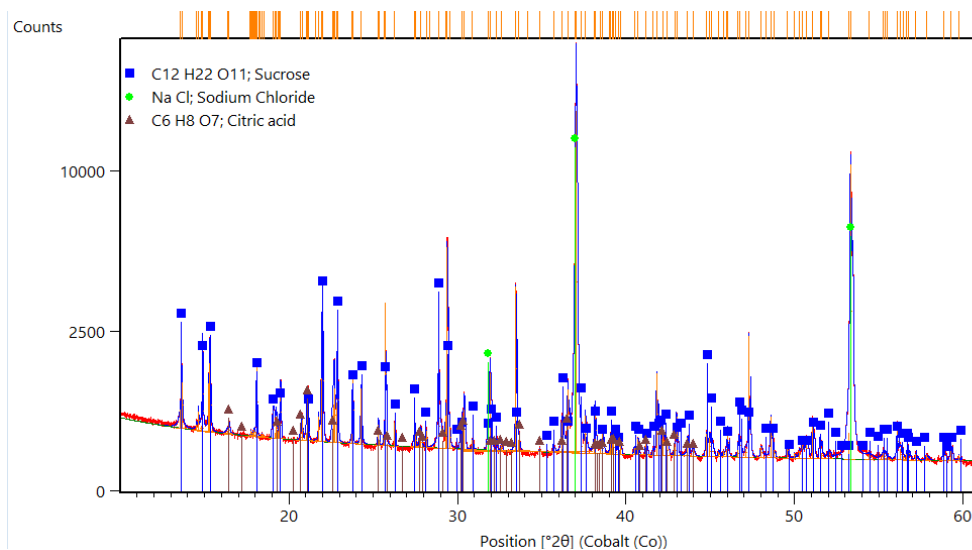
Hodnoty namerané difraktometrom sa dajú znázorniť buď 1D (čo je použité v tejto práci), alebo 2D (pri polykryštáloch vznikajú kružnice označujúce maximá). Úloha je zistiť podľa nameraného difrakčného záznamu o akú zmes práškov ide. Vieme, že v zmesi sa nachádzajú tri rôzne prášky bieleho sfarbenia.

Pri meraní bola použitá kobaltová anóda, rozsah merania boli 10° až 90° 2θ , jeden krok bol $0,008^\circ$ pričom jeden krok trval 45 sekúnd. Týmto meraním sme získali tento difrakčný záznam (obr. 4), ktorý bolo nutné ďalej spracovať – označiť pozadie, maximá a nastaviť systémovú analýzu na naše výsledky, aby sme vedeli podľa databázy čo najpresnejšie určiť, o aké prášky ide.



Obrázok 5: difrakčný záznam zmesi práškov

Každý prvok, zlúčenina má jedinečný interferenčný záznam, vďaka čomu vieme určiť skúmanú látku a jej fázu. Systém porovnal výsledky tohto merania (hodnoty d) s databázovými údajmi, na základe čoho vyhodnotil pravdepodobné komponenty našej zmesi. Systém porovnával s všetkými možnými zlúčeninami a látkami. Avšak najvyššia zhoda bola menej ako 50%. Tým pádom bolo nutné si porovnať difrakčný záznam vyhodnotených látok s našim záznamom a spraviť vlastné vyhodnotenie.



Obrázok 6: Fázová analýza zmesi práškov

Na základe porovnaní sa došlo k záveru, že v práškovej zmesi sa nachádza sacharóza (cukor), chlorid sodný (soľ) a kyselina citrónová (obr. 5).

Pri porovnávaní našich výsledkov a databázovej zhode sa objavili určité odchýlky, ktoré mohli vzniknúť buď teplotnou rozťažnosťou, napätím alebo nehomogénnym vzorkom. Tieto odchýlky dokážu posúvať maximami a intenzitami. Pri budúcich meraniach je potrebné dbať na homogénnosť vzorku.

5 Zhrnutie

Rentgenová difrakcia je účinná metóda na zistenie fáz kryštalických látok. Funguje na princípu odrazania sa od mriežok kryštalickej látky, čo zaznamenáva difraktometer ako difrakčný záznam. Výsledkom merania bola fázová analýza neznámej zmesi práškov a určenie presných komponentov danej zmesi na základe tohto difrakčného záznamu pomocou Braggovej rovnice a za využitia jedinečnosti každého difrakčného záznamu.

Podakovanie

Ďakujem môjmu garantovi Jiří Čapkovi za odborné vedenie a pomoc pri realizácii miniprojektu. Ďalej ďakujem organizátorom TV@J a Vojtěchovi Svobodovi za možnosť zúčastnenia sa tohto miniprojektu a samotnej akcii ako aj sponzorom akcie.

Reference

- [1] George F. Harrington a José Santiso. Back-to-Basics tutorial: X-ray diffraction of thin films (online). https://www.researchgate.net/publication/355201732_Back-to-Basics_tutorial_X-ray_diffraction_of_thin_films 2021, referencované 24.6.2025
- [2] Králová R., Novotná Z., Budinský R. Rentgenová difrakce - okno do materiálu (online). http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/rtg_difrakce/zuzstr1.html, referencované 24.6.2025

Lze simulovat fyziku pomocí neuronových sítí?

D. Šafrata¹, O. Matyšek², L. Hradečný³ a J. Fišerová⁴

¹GEVO Sázavská; david@klan.cz

²G ALTIS, Praha; ondramat007@gmail.com

³G Cihelní, Frýdek-Místek; hradečnýlukas@gmail.com

⁴G Olomouc Hejčín; fiserovaj@gytool.cz

Garant: Bc. Filip Bartoš; KM FJFI ČVUT

Abstrakt

Asi každý už slyšel o neuronových sítích, jak generují text, obrázky, rozpoznávají předměty a další. Ale lze je použít i pro simulaci fyzikálních jevů? Odpověď je ano. My jsme se rozhodli nasimulovat distribuci teploty v homogenní čtvercové desce, což je problém z oblasti parciálních diferenciálních rovnic.

1 Úvod

S rozvojem neuronových sítí v posledních dekáдах přirozeně vyvstává otázka, jestli je možné je použít k simulování fyzikálních jevů. Jeden z problémů řešitelných tímto způsobem je např. šíření tepla. My jsme zvolili šíření tepla ve 2D. To je charakterizované touto rovnicí (ve 2D tvaru):

$$\frac{\partial T}{\partial t}(t, x, y) = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(t, x, y) + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}(t, x, y) \right), \quad t \in [t_0, t_k], \quad x, y \in [0, L], \quad (1)$$

kde T je teplota, která je závislá na čase a na x -ové a y -ové souřadnici desky. Proměnná t značí čas a x, y jsou prostorové souřadnice. Tato závislost je přirozená – teplota se nemusí nutně rovnat ve všech bodech desky v jednom čase, stejně jako se nemusí rovnat v jednom bodě v jiných časech. Jinými slovy, teplota se mění v prostoru i v čase, což odpovídá konceptu distribuce tepla.

Naše hodnoty spadají do určitých intervalů, hraniční hodnoty času jsou t_0 , tedy počáteční čas, a t_k , tedy koncový čas. Prostorové proměnné x, y musí ležet uvnitř naší čtvercové desky, takže obě spadají do výše uvedeného intervalu, kde L je délka strany čtverce, který představuje naši desku. Koeficient α závisí na vybraném materiálu v simulaci, je to tzv. tepelná difuzivita. Fyzikálně se řídí vztahem $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$, tedy podíl tepelné vodivosti a součinu měrné tepelné kapacity a hustoty daného materiálu.

Jelikož se jedná o parciální diferenciální rovnici (PDE), je nutné mít určité podmínky. Podmínky máme dvě, počáteční a okrajovou. První je tzv. Dirichletova okrajová podmínka, která má tvar

$$T(t, x_b, y_b) = 0,$$

kde $t \in [t_0, t_k]$ a (x_b, y_b) jsou body z okraje čtverce $[0, L] \times [0, L]$ představujícího naši desku. Říká tedy, že ve všech okrajových bodech bude vždy teplota zafixována na nule.

Druhá podmínka nám říká, jak vypadá počáteční stav naší simulace, tedy hodnoty pro všechna přípustná x, y v čase t_0 . Jako počáteční podmínku jsme zvolili

$$T(t_0, x, y) = \sin(\pi x) \sin(\pi y), \quad x, y \in [0, L].$$

2 Neuronové sítě

Na konstrukci architektury neuronové sítě jsme použili knihovnu PyTorch, která slouží pro práci a vývoj neuronových sítí a modelů se strojovým učením a je již optimalizovaná pro paralelizaci výpočtů na grafické kartě.

Učení neuronové sítě funguje na bázi postupného upravování vah na základě tzv. ztrátové funkce, která udává chybu rozdílů mezi predikcí a analytickou hodnotou, přičemž lze najít lokální minimum této funkce, a tudíž snížit chybovost neuronové sítě. Fyzikou informovaná neuronová síť (PINN) se liší v tom, že do ztrátové funkce jsou zakomponované fyzikální zákony, a proto lze naučit neuronovou síť jak simulovat danou situaci bez porušení fyzikálních zákonů. Na výpočet ztrátové funkce využíváme tzv. mean squared error, která pracuje s kvadráty odchylek od správných hodnot. Ztrátová funkce L je definovaná vztahem

$$L = \sum_{i=1}^{N_{rov}} \left(\frac{\partial \hat{T}(t_i, x_i, y_i)}{\partial} - \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(t, x, y) + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}(t, x, y) \right) \right)^2 + \sum_{j=1}^{N_{poč}} \left(\hat{T}(t_0, x_j, y_j) - \sin(\pi x_j) \sin(\pi y_j) \right)^2 + \sum_{k=1}^{N_{okr}} \hat{T}(t_k, x_k, y_k)^2$$

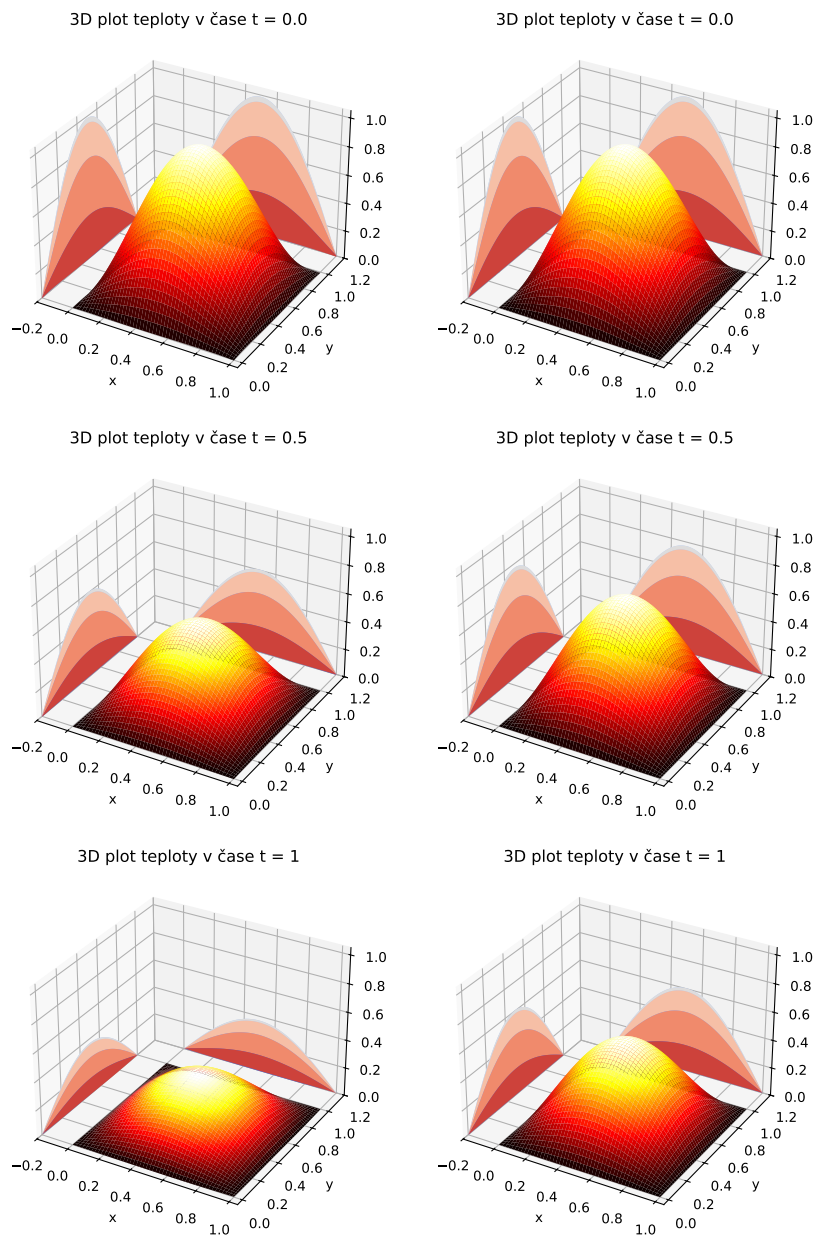
Simulace PDEs pomocí neuronových sítí má oproti numerickým přístupům jednu podstatnou výhodu a tou je škálování problému do vyšších dimenzí, tedy přidávání nezávislých proměnných, na kterých je zkoumaná proměnná závislá. I při vyvíjení našeho programu jsme nejdříve vyřešili problém v 1D. Následné přidání dimenze, tedy přesun problému do 2D, již nepředstavovalo velký problém.

Neuronové sítě ale mají samozřejmě mnoho parametrů, od kterých se odvíjí jejich náročnost, ale i přesnost jejich výsledků. Mezi tyto parametry patří počet vrstev neuronů v naší síti a i počet neuronů v jednotlivých vrstvách sítě, jinými slovy velikost naší sítě. Dále tu máme parametry týkající se samotného trénování, tedy učení, naší neuronové sítě. Mezi ně patří tzv. koeficient trénovacího kroku, který udává, jak rychle budeme měnit váhy neuronové sítě, a počet trénovacích iterací, tedy kolikrát budeme upravovat váhy neuronové sítě.

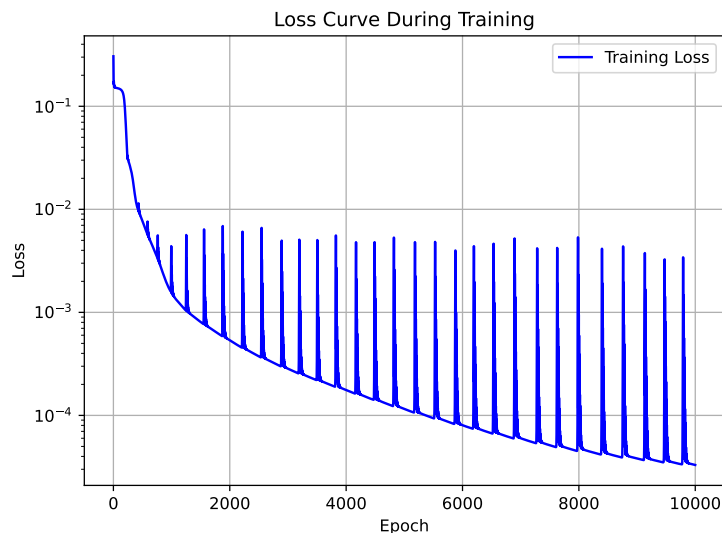
3 Výsledky

Náš model je plně propojená neuronová síť a obsahuje 3 skryté vrstvy o 50 neuronech a jeden výstupní neuron. Používáme aktivační funkci hyperbolický tangens na aktivaci neuronů. Pro optimalizaci ztrátové funkce jsme využili optimizer Adam s rychlostí učení 10^{-3} a s 10000 epochami. Dohromady jsme na trénování použili 8000 kolokačních bodů, 400 bodů pro okrajové podmínky a 400 bodů pro počáteční podmínky. Hodnotu pro difuzní konstantu jsme použili $\alpha = 0.05$.

Z těchto výsledků je zřejmé, že neuronová síť dokáže aproximovat teplotu desky v závislosti na pozici. Zároveň se aproximace liší více při vyšších hodnotách t . Ztrátová funkce rovněž dosahuje relativně nízkých hodnot vůči počátečním hodnotám ztrátové funkce.



Porovnání aproximace teploty neuronové sítě (vlevo) a správné hodnoty (vpravo) v časech $t = 0, 0.5$, a 1 v závislosti na pozici.



Hodnoty ztrátové funkce v závislosti na počtu iteračních kroků.

4 Závěr

Naše práce spočívala v simulaci neuronovou sítí vedení tepla v jednodimenzionální homogenní tyči a v dvoudimenzionální homogenní čtvercové desce neuronové sítě informované fyzikou. Řešili jsme rovnici vedení tepla. Neuronová síť se úspěšně naučila aproximovat teplotu v závislosti na poloze na tyči a čase a na desce s nízkou hodnotou ztrátové funkce. Naše simulace potvrdily, že lze simulovat fyziku pomocí neuronových sítí, a že není nutné používat existující data k trénování, pokud naučíme neuronovou síť používat fyzikální zákony na své aproximace.

Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali našemu garantovi Bc. Filipovi Bartošovi za odborné vedení našeho miniprojektu. Dále děkujeme Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za poskytnutí prostor a hardwarového vybavení.

Markovovy rozhodovací procesy aneb jak se vypořádat s nejistotou

W. Bureš¹, J. Větrovský² a J. Kuchařík³

¹Polské gymnázium, Český Těšín; 18wojtek8@gmail.com

²SPŠE Ječná, Praha; vetrovskyfe@seznam.cz

³Gymnázium Karla Čapka, Dobříš; jakub.kucharik@post.cz

V. Jarý, školitel; KSI FJFI ČVUT

Abstrakt

Markovovy rozhodovací procesy jsou využívány k výběrům optimálního rozhodnutí ve stavových prostorech, ve kterých se vyskytují náhodné jevy. Naším cílem bylo vytvořit program, který by s využitím Markovových procesů a algoritmu iterace hodnot byl schopen vypočítat optimální strategii. Následně jsme sledovali chování programu v různých případech tohoto prostoru.

1 Úvod

Deterministickým prostorem chápeme takový prostor, kde dovedeme předvídat další krok. Ve stochastickém prostoru se naše akce řídí pravděpodobností. Nemůžeme si tak být jisti naším příštím stavem, ani nemůžeme předpokládat, že se do nějakého konkrétního stavu v nějakou chvíli dostaneme. Právě k práci se stochastickým prostorem využíváme Markovovy rozhodovací procesy, díky nimž zjistíme, jaká akce je v daném stavu optimální.

2 Markovovy řetězce

Předstupněm Markovových rozhodovacích procesů jsou tzv. Markovovy řetězce. V Markovově řetězci nezávisí předpověď dalšího stavu na žádném předchozím stavu, pouze na stavu aktuálním. Typickým řetězcem může být předpověď počasí na další den.

3 Markovovy rozhodovací procesy

Naopak Markovovy rozhodovací procesy závisí na předchozích stavech a odměnách těchto stavů.

Matematicky je Markovův rozhodovací proces uspořádaná čtveřice $(S, A, P(\cdot, \cdot), R(\cdot, \cdot))$, kde:

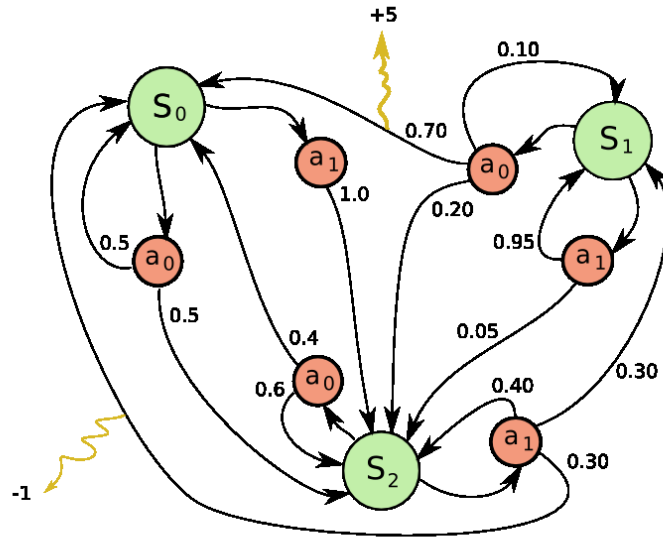
- S je konečná množina stavů
- A je množina akcí v každém stavu

- $P_a(s, s')$ je pravděpodobnost, že se při akci a dostaneme ze stavu s do stavu s' , říkáme jí matice přechodu
- $R_a(s, s')$ je užitek (cena), kterou dostaneme po přechodu do stavu s' ze stavu s

Hlavním cílem Markovových procesů je najít takovou strategii, která nám s nejvyšší pravděpodobností zajistí nejvyšší odměnu. Strategii označíme π , kde $\pi(s)$ nám dává akci, kterou bychom měli volit ze stavu s . Takovou strategii dovedeme najít pomocí maximalizování střední hodnoty sumy odměn přes všechny procesy. Můžeme to zapsat jako:

$$E\left(\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R_{a_t}(s_t, s_{t+1})\right) \quad \text{kde zvolíme } a_t = \pi(s_t), \quad (1)$$

kde γ je diskontní faktor splňující $0 < \gamma \leq 1$. V praxi znamená to, že když $\gamma < 1$, tak čím delší je naše strategie, tím menší máme odměnu.



Obrázek 1: Příklad jednoduchého Markovova rozhodovacího procesu [4]

4 Přístup

V naší aplikaci jsme využili přístup tzv. iterace hodnot. Začínáme s maticí $V(s)$, která obsahuje sumy odměn, na začátku nastavené na hodnotu nula. V každém kroku algoritmus prochází celé pole a vypočítává ji pro každý stav $V(s)$ podle následujícího vzorce:

$$V(s) := R(s) + \gamma \max_a \sum_{s'} P_a(s, s') V(s'). \quad (2)$$

Tento krok provede několikrát, např. desettisíckrát. Podle Bellmanova teorému [1] každá suma zpravidla zkonverguje k určité hodnotě. Díky opakované iteraci přes matici a postupnému přepočítávání hodnot pro jednotlivé stavy dochází k tomu, že se do pozdějších stavů promítá závislost jejich odměny na předchozích stavech. Tímto způsobem je možné efektivně modelovat optimální cestu v prostoru.

5 Program

Výsledkem práce je aplikace napsaná v jazyce C++, která dovede simulovat Markovovy procesy, resp. dovede na základě mapy s dvěma absorbčními (koncovými) stavy (jeden proherní, jeden výherní) vypočítat a následně vykreslit výsledky strategie π pro každý stav, tzn. jaká akce by měla být v daném stavu provedena. Množinu akcí jsme jasně definovali na 4 možnosti, pohyb nahoru, dolů, doleva a doprava. Pravděpodobnost vybrané akce je vždy p , pokaždé s pravděpodobností $(1 - p)/2$ pro vykonání dvou vedlejších akcí, např. při akci "pohyb nahoru" s pravděpodobností 80% je pravděpodobnost 10% pro vykonání akce "pohyb doleva" a také 10% pro akci "pohyb doprava". Dalším výstupem aplikace je *csv* soubor v přesně definovaném formátu. Tento soubor pak lze nahrát do aplikace pro vizualizaci výsledků, která je napsána v jazyce *Java*.

>	>	>	+
85.1819	89.4007	93.1507	100
^	#	^	-
81.4319		68.3562	-100
^	<	<	<
77.2132	73.4632	69.5624	47.3888

Obrázek 2: Strategie při $R_a = -3$

6 Naše výsledky

Zkoumali jsme nejvýhodnější strategie při různých odměnách a pravděpodobnostech úspěšného vykonání akce. Při našem bádání jsme narazili na následující případy. Ve všech případech, není-li řečeno jinak, předpokládáme pravděpodobnost úspěšnosti vybrané akce $p = 80\%$.

1. Nastavíme-li pravděpodobnost vybrané akce na $p = 100\%$, bude se algoritmus chovat stejně jako v deterministickém prostoru. Tedy půjde takovou cestou, aby se co

nejrychleji dostal k výhernímu absorbčnímu stavu.

2. Nastavíme-li odměnu přechodu na všechny neabsorbční stavy $R_a = 0$ nastane na některých polích fascinující situace, kdy je výhodnější "narážet do zdi". Stane se tak ve stavech, kdy takový postup omezí možnost spadnutí do proherního absorbčního stavu.
3. Nastavíme-li $R_a < 0$ program "platí" za to, že zůstává na místě. Bude tak činit riskantnější rozhodnutí.
4. Nastavíme-li $R_a \ll 0$ program vyhodnotí, že je výhodnější co nejrychleji ukončit hru a svou cestu tak navede do nejbližšího absorbčního stavu. Ten byl v našem případě proherní.
5. Nastavíme-li $R_a \gg 0$ nejvýhodnějším se stane vyhnout se výhře i prohře. Odměna za zůstání na místě je zkrátka lepší.

7 Závěr

Nedeterministické procesy najdeme na každém rohu. Markovovy procesy nejsou jen skvělým pomocníkem při hledání cest ve stochastickém prostoru, nachází široké využití např. ve zpětnovazebném učení. Toho se využívá, neznáme-li pravděpodobnosti či užítky akcí. Náš program tak pokrývá jen střípek jejich skutečné aplikace.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu garantovi Vladimíru Jarému za možnost účastnit se tohoto miniprojektu a za nové věci, které jsme se díky němu naučili. Děkujeme i organizátorům TV@J za vytvoření skvělé akce pro budoucí matematiky, vědce, inženýry apod.

Odkazy

1. BELLMAN, R. A Markovian decision process. *Journal of Mathematics and Mechanics*. 1957, roč. 6, č. 5, s. 679–684.
2. HOWARD, R. A. *Dynamic Programming and Markov Processes*. Cambridge, MA: MIT Press, 1960.
3. SHESKIN, T. J. *Markov chains and decision processes for engineers and managers*. CRC press, 2016.
4. MISTWIZ. *Example of Markov Decision Process (MDP) transition automaton*. 2006. Dostupné také z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Markov_Decision_Process_example.png.

Měření parametru plazmatů na tokomaku GOLEM pomocí elektrických sond

A. Macek¹, R. Beer²

¹ G Opatov, Praha; andmac.m@zaci.gopat.cz

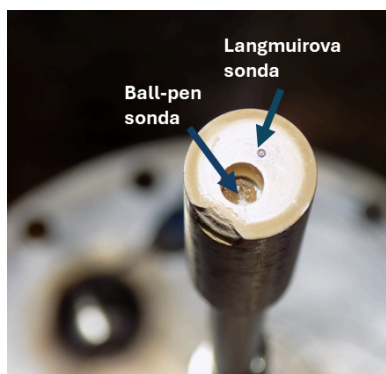
² SPŠ Zengrova, Ostrava; beerrobin24@gmail.com

O. Garanti, školitelé; Bc. V. Sedmidubský, Ing. P. Mácha, KF JFI ČVUT

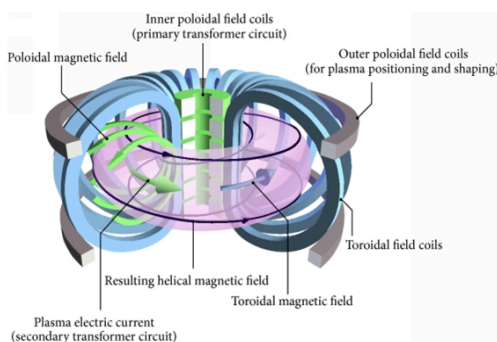
Abstrakt:

Studium okrajové oblasti plazmatu je klíčové pro pochopení chování plazmatu v tokomaku. Teplota a hustota jsou základní parametry popisující plazma a k jejich měření se používá celá řada technik. V tomto projektu je naším cílem provést ve vodíkovém plazmatu měření elektronové teploty a hustoty pomocí tří technik. Pomocí elektrických sond byla změřena elektronová teplota v okrajové oblasti plazmatu o velikosti až 15 eV a iontová hustota až $2,5 \cdot 10^{18} m^{-3}$. Pomocí proudu plazmatem a napětí na závit byla pomocí Spitzerovy formule určena centrální elektronová teplota až 100 eV. K analýze byl použit programovací jazyk Python.

1. Úvod



Obr. 1: Sondová hlavice



Obr. 2: Schéma tokamaku

Od počátku minulého století se lidé snaží pochopit a replikovat termonukleární fúzi. Výsledkem by pak měla být výroba elektřiny, která je levná a ekologicky nezávadná. V dnešní době se vědci pokouší o fúzi v plazmatu, které musí být kvůli extrémním teplotám udržováno ve speciálních přístrojích, např. takzvaných tokamacích.

Tokamak (Obr. 2) je zařízení, které pomocí magnetického pole udržuje plazma v “magnetické nádobě” a tím udržuje plazma v bezpečné vzdálenosti od stěn komory. V minulosti se lidé snažili udržet plazma v magnetických zrcadlech, ale tam částice unikaly konci. Z tohoto důvodu má komora v tokomaku tvar toroidu, tedy prstence.

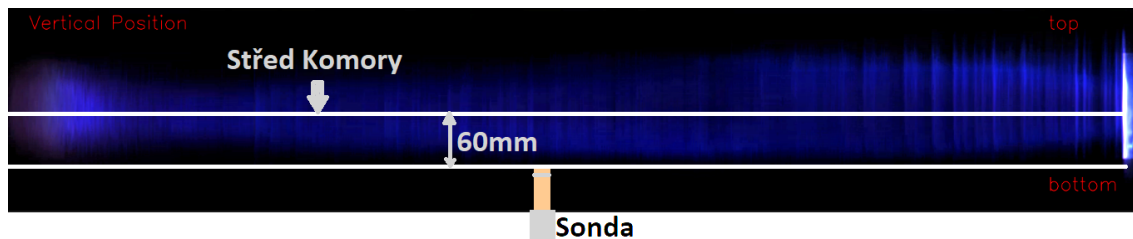
Cílem našeho miniprojektu je změřit teplotu elektronů v plazmatu elektrickými sondami, srovnat různé metody, jak teplotu získat a z hodnot vypočítat hustotu iontů v plazmatu. K dispozici máme Tokamak GOLEM [1], ve kterém jsou umístěny Langmuirova a Ball-pen [2] elektrická sonda na společné sondové hlavici (Obr. 1).

2. Měření teploty

Provedli jsme 8 výbojů, průměrné hodnoty makroskopických parametrů plazmatu jsou:

Napětí na závit	Uloop = 5,48 V (průměr)
Toridální magnetické pole	Bt = 0,44 T (průměr)
Proud plazmatem	Ip = 4,43 kA (průměr)

Obr. 3 znázorňuje pozici sondy vůči plazmatu. Sonda se nachází ve spodní části komory. Vzdálenost je měřena od středu komory.



Obr. 3: Pozice sondy vůči plazmatu

2.1. Teplota ze základní diagnostiky

Nejdříve jsme změřili proud plazmatem a napětí na závit ze základní diagnostiky. Ty jsme dosadili do Spitzerovy formule pro Tokamak GOLEM

$$T_e(0, t) = 0.9 \cdot \left(\frac{I_p(t)}{U_l(t)} \right)^{2/3}, [eV; A, V]$$

Toto měření tedy nevychází z dat elektrických sond a reprezentuje centrální elektronovou teplotu (Obr. 4).

2.2. Teplota z VA charakteristiky

Dalším způsobem, jak vypočítat elektronovou teplotu, je použít tzv. fitování voltampérové (VA) charakteristiky (Obr. 5 a 6). Pro 4 parametrový fit VA charakteristiky jsme použili funkci:

$$I = I_{sat}^+ \cdot \left[1 - \beta \left(\frac{U - U_{fl}}{T_e} \right) - \exp \left(\frac{U - U_{fl}}{T_e} \right) \right]$$

2.3. Rychlé měření teploty z plovoucích potenciálů

Třetím způsobem, jak vypočítat teplotu elektronů v místě sond, je pomocí plovoucích potenciálů z LP a BPP na kombinované sondové hlavici a kalibrační konstanty α (Obr. 6).

$$T_e = \frac{U_{fl}^{(BPP)} - U_{fl}^{(LP)}}{\alpha^{(LP+BPP)}}$$

3. Měření hustoty iontů

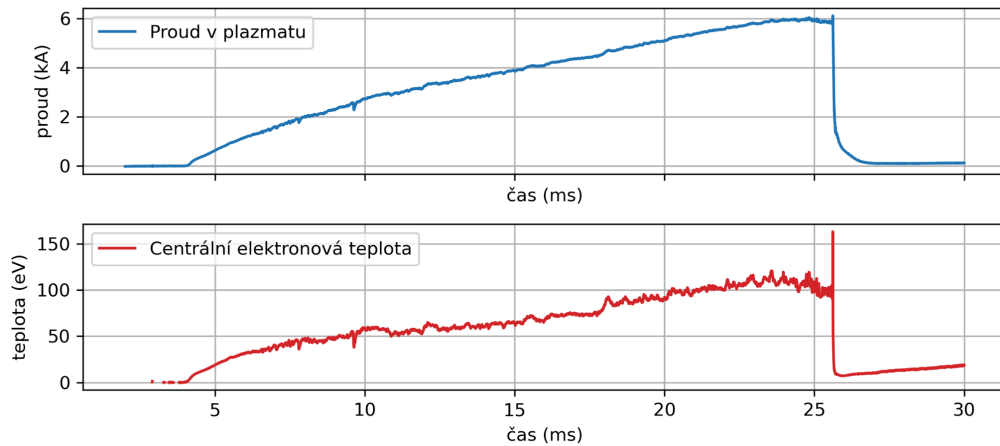
Veličiny měřené pomocí VA charakteristik jsme aplikovali na výpočet iontové hustoty, za předpokladu že $T_i = T_e$.

$$n_i = f(T_e, I_{sat}^+) = \frac{I_{sat}^+}{e \cdot c_s^i \cdot S_{probe}}$$

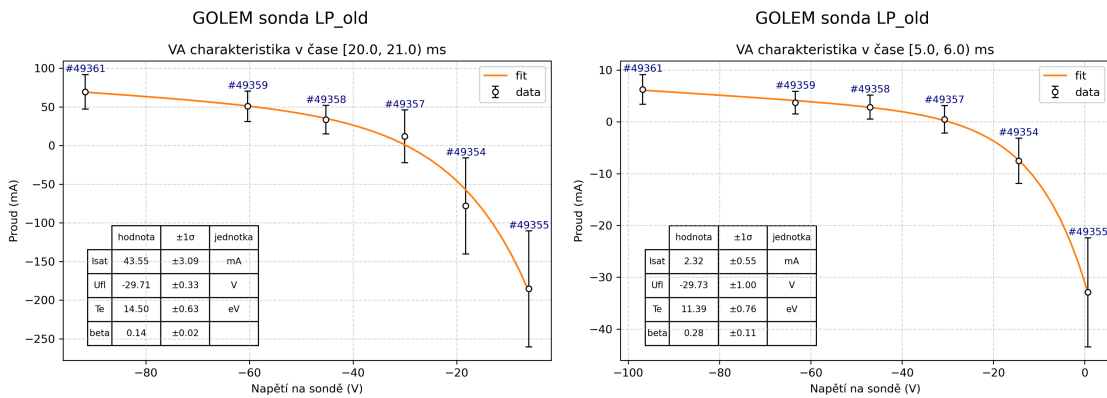
$$(c_s^i)^2 = \frac{\gamma k_B T_i}{m_i} \approx \frac{2 \cdot e \cdot T_e [eV]}{m_i} \quad (\text{assumes } T_i = T_e)$$

4. Výsledky

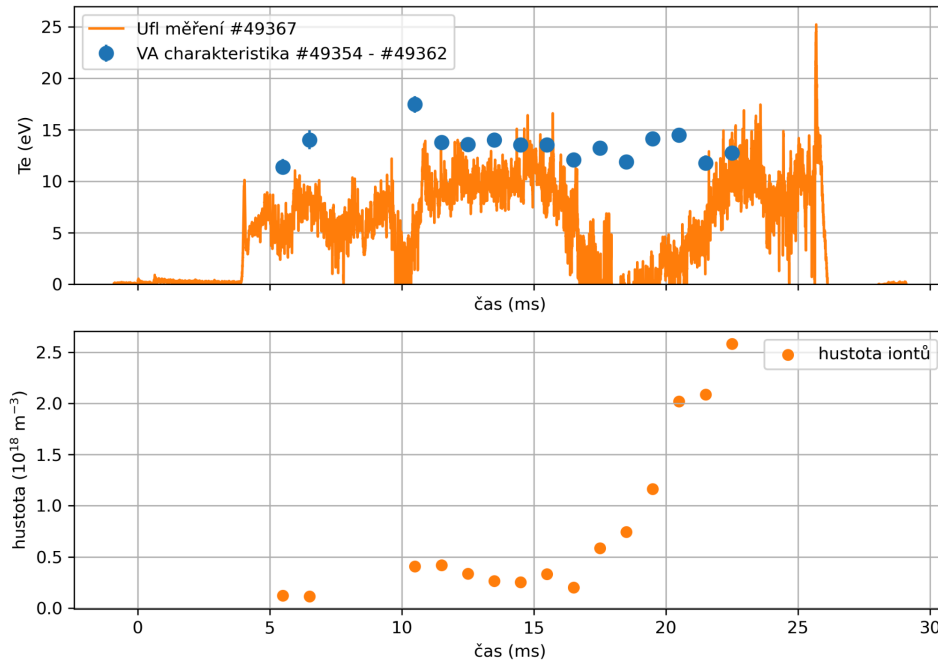
Teplota elektronů ve středu plazmatu #49367



Obr. 4: Časový vývoj proudu plazmatem a centrální teploty



Obr. 5: Příklad změřených VA charakteristik včetně parametrů fitu



Obr. 6: Časový vývoj elektronové teploty a hustoty

5. Shrnutí

Cílem našeho projektu bylo změřit hustotu iontů a teplotu 3 různými způsoby, což se nám podařilo. Jednotlivá měření teploty v zásadě korelují s očekávanými hodnotami. Různá měření ze sond si navzájem odpovídají až na interval mezi 17. a 22. milisekundou. Předpokládáme, že tato chyba je způsobena parazitním signálem, pravděpodobně ze stabilizace plazmatu.

Z našich výsledků vyplývá, že by měla proběhnout kalibrace sond, pro zmenšení rozdílu mezi různými měřeními.

Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat našim odborným garantům, kteří nám výrazně pomohli s přípravou našeho projektu.

Také děkujeme FJFI ČVUT za poskytnutí zázemí pro projekt.

Reference

- [1] Svoboda, Vojtech & Pokol, G & Réfy, Dániel Imre & Stockel, J. & Vondrášek, G. Former tokamak CASTOR becomes remotely controllable GOLEM at the Czech Technical University in Prague.
- [2] Adamek, Jiri & Ionita, C. & Schrittwieser, Roman & Stockel, J. & Tichy, Milan & Oost, G.. (2005). Direct measurements of the electron temperature by a ball-pen/langmuir probe. 3. 2214-2217.

Modelování biologických struktur z experimentálních synchrotronových dat

K. Faitová ¹, D. Horák ²

¹ G. Na Vítězné pláni, karolina.fait@seznam.cz

² G. Příbram, horak.daniel.80@gmail.com

O. prof. Ing. Petr Kolenko, Ph.D. (KIPL), FJFI

Abstrakt:

Modelování biologických struktur z experimentálních dat poskytuje reálné údaje o jejich 3D struktuře, která určuje jejich funkci. V projektu jsme se snažili určit 3D struktury proteinů inzulinu a lysozymu z difrakčních snímků získaných z experimentálních měření na berlínském synchrotronu Bessy II. light source. Pomocí programu CCP4 jsme vypočítali mapu elektronové hustoty, podle které jsme vymodelovali do struktury odpovídající aminokyseliny.

1 Úvod

Struktura proteinu determinuje jeho funkci, proto objasnění jeho 3D uspořádání hraje významnou roli v pochopení jeho role v chemických reakcích a biologických soustavách. V dnešní době se dá 3D struktura proteinů zjistit dvěma odlišnými způsoby: z experimentálních dat nebo predikcí 3D struktury ze známé sekvence aminokyselin.

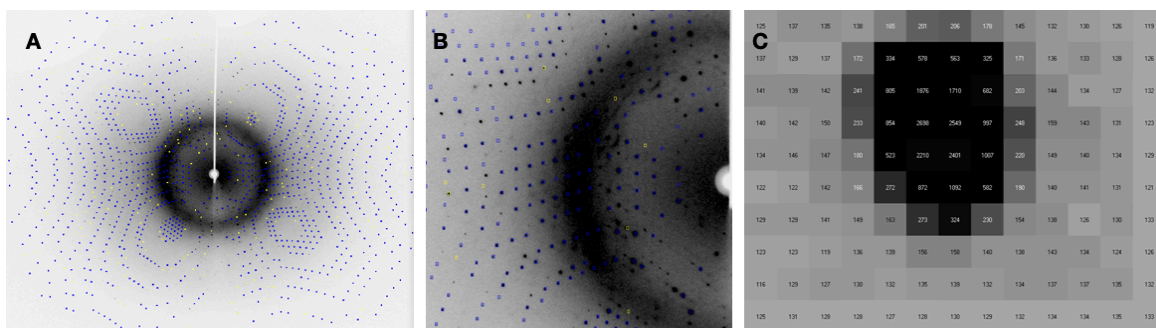
V rámci našeho miniprojektu jsme modelovali strukturu proteinů inzulinu a lysozymu z difrakčních dat naměřených na berlínském synchrotronu Bessy II. light source.

2 Od snímku ke struktuře

V synchrotronu se vytváří světelný paprsek, který po průchodu zkrystalizovaným vzorkem vytvoří difrakční obrazce na detektoru. Jednotlivé difrakční obrazce, respektive zčernání intenzit, reflektují uspořádání elektronů v krystalické mřížce (viz obr. 1).

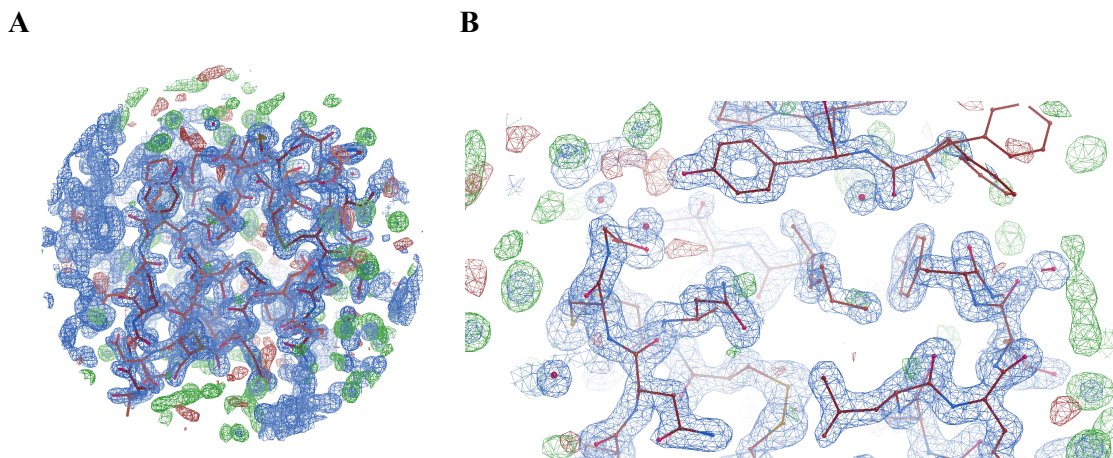
Měření se provádí z mnoha úhlů, aby se získala data o celé prostorové struktuře. Při měření difrakce pouze na jedné vlnové délce dochází k tzv. fázovému problému, protože jsou naměřeny pouze intenzity a nikoli fáze, tudíž nelze určit prostorové uspořádání elektronů.

Pro překonání tohoto problému se při modelování používá tzv. molekulární nahrazení, kdy se využije již dříve naměřený ale nekompletní model, získaný například měřením více vlnovými délkami.



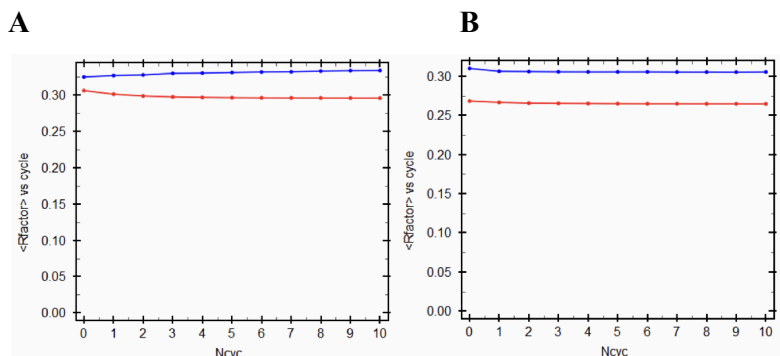
Obr. 1 Difrakční snímek molekuly inzulinu ze synchrotronového měření. 1b) detail interferencí, modře úplné interference (získané z jednoho snímku), žlutě částečné interference (z více snímků) 1c) detail interferencí s naměřeným počtem signálů

Přepočítáním interferencí z difrakčních snímků a pomocí dostupného nekompletního modelu vznikla prostorová mapa elektronové hustoty (viz obr. 3), na které je vidět, kde ve struktuře jsou umístěny elektrony. Ze vzniklých tvarů se dá odhadnout, jaké aminokyseliny se vyskytují v daném řetězci.



Obr. 3 Namodelované peptidové řetězce v programu WinCooT, část molekuly inzulinu. Molekula inzulinu je reprezentovaná tyčinkovým modelem. Barevné sítě značí spočítanou elektronovou hustotu. Na modře zbarvených lokalitách se vypočítaná elektronová hustota shoduje s vytvořeným modelem, na zelených místech v modelu elektrony schází a na červených naopak přebývají. 3b) detail z 3a)

Po ručním upravování aminokyselin ve struktuře následovala rafinace neboli upřesňování pomocí programu Refmac5, který se výpočtem snaží upravit model, aby se více shodoval s experimentálními daty. K vyjádření úspěšnosti úprav modelováním se používá tzv. R-faktor. Ten vyjadřuje míru neshody modelu s experimentem.



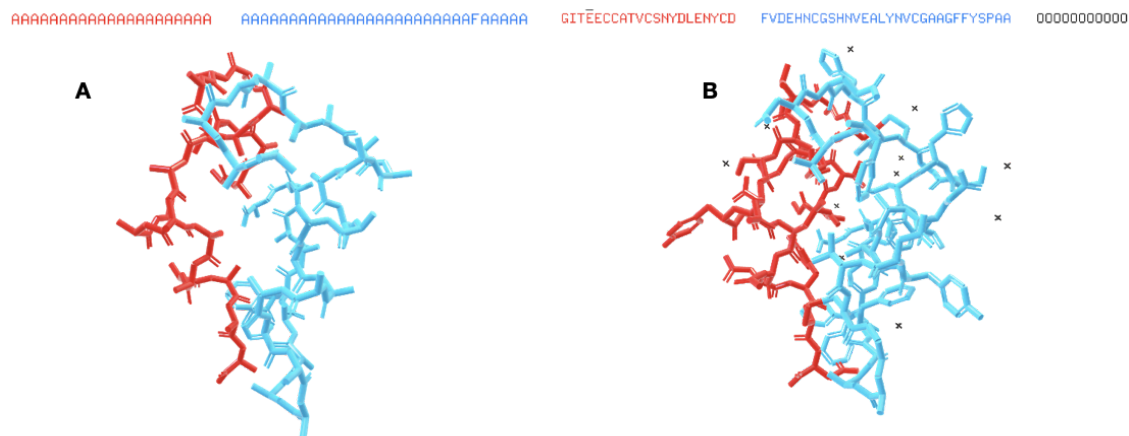
Obr. 4 Grafické znázornění změny R-faktoru před úpravami (a) a po opakovaném ručním modelování a rafinování (b)

K modelování jsme používali programový software CCP4, konkrétně Phaser pro molekulární nahrazení, Coot pro vizualizaci a upravování aminokyselin a Refmac pro následnou rafinaci.

3 Inzulín

Inzulín je hormon peptidového typu, který je nezbytný pro přenos glukózy z krve do buněk.

Náplní tohoto podprojektu bylo nalézt správné postranní řetězce za pomoci předem spočtených elektronových hustot z difrakčních snímků a počátečního modelu. Veškeré aminokyseliny alanin (viz obr. 4A) jsme nahradili novými aminokyselinami s postranním řetězcem pasujícím do mapy elektronové hustoty (viz obr. 4B).

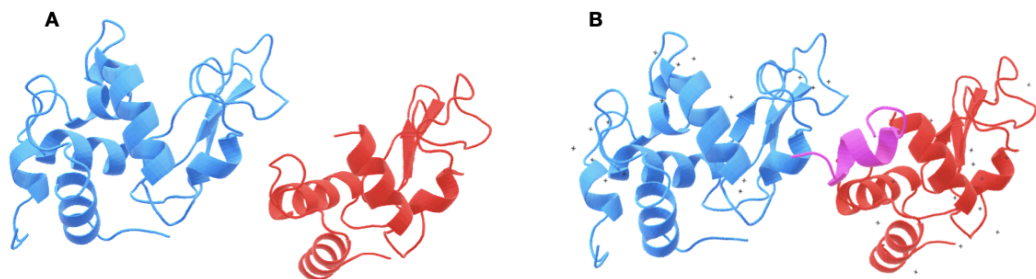


Obr 4. 3D modely insulínu a) počáteční model tvořený výhradně alaniny b) model s správně doplněnými postranními řetězci

4 Lysozym

Lysozym je enzym schopný narušit integritu buněčné stěny prokaryot. Díky této jeho vlastnosti hraje v těle důležitou roli jakožto mechanismus nespecifické imunity při ochraně těla před patogeny.

V části věnované tomuto enzymu jsme se snažili dopočítat finální 3D strukturu nekompletního modelu za pomoci předem naměřených a spočítaných elektronových hustot z synchrotronových snímků. (viz obr. 5)



Obr. 5 Ukázky 3D modelů lysozymu a) zadaný nekompletní model lysozymu. b) struktura doplněná o fialovou část

Shrnutí

Pomocí experimentálně naměřených dat ze synchrotronu a nekompletního modelu jsme úspěšně namodelovali aminokyseliny do struktur molekul inzulinu a lysozymu.

Poděkování

Velmi děkujeme garantu našeho projektu panu prof. Ing. Petru Kolenkovi, Ph.D. a Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za organizaci akce Týden vědy na Jaderce.

Reference

- [1] J. Agirre a kolektiv. The *CCP4* suite: integrative software for macromolecular crystallography. *Acta Cryst D***79**, 449-461, 2023. www.ccp4.ac.uk
- [2] P. Emsley, B. Lohkamp, W.G. Scott, K. Cowtan. Features and Development of *Coot*. *Acta Cryst. D***66**, 486-501, 2010. www2.mrc-lmb.cam.ac.uk/personal/pemsley/coot/
- [3] A. Faust a kolektiv. Tutorial for learning and teaching macromolecular crystallography. *J. Appl. Cryst.*, **43**, 1230-1237, 2010.
- [4] G.N. Murshudov a kolektiv. REFMAC5 for the refinement of macromolecular crystal structures. *Acta Cryst. D***67**, 355-367, 2011.

Může příliš mnoho chladiva v jaderném reaktoru vadit?

A. L. Tranová¹, Š. Sotonová², L. Kohoutková³ a E. Lorencová⁴

¹G Brno, tř. Kpt. Jaroše, p. o.; anhlinh@email.cz

²G Špitálská, Praha; sarka.sotonova@gmail.com

³Masarykovo G, Plzeň; kohoutkova.lucie08@gmail.com

⁴GSOŠ Podbořany; 2emma.lawrence7@gmail.com

Josef Sabol; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt

Tato práce se zabývá vlivem změny rozteče palivových proutků na koeficient násobení v jaderném reaktoru. Pomocí programu Serpent 2.2.1 byl vytvářen jednoduchý model reaktoru a byly prováděny výpočty pro různé rozteče proutků. Kromě základního modelu s lehkou vodou jako moderátorem byly zkoumány i další látky využívané v jaderné energetice. Zvláštní pozornost byla věnována jevu podmoderovanosti a přemoderovanosti u lehké vody a vysvětlení, proč se tento efekt neprojevuje u těžké vody.

1 Úvod

Při konstrukci jaderného reaktoru je kladen důraz na mnoho technických parametrů, jako např. na rozteč mezi palivovými proutky. S větší roztečí proutků se v reaktoru pohybuje větší množství chladiva, případně moderátoru, přičemž úlohou moderátoru je zpomalovat neutrony při jejich interakci s atomy a úkolem chladiva je odvod tepla. V některých reaktorech je využita stejná látka pro moderaci i chlazení, to se týká zejména lehkovodních reaktorů. V jiných se tyto úlohy rozdělují, např. z důvodu toho, že moderátorem může být i pevná látka (př. grafit). Výsledkem působení moderátoru je zvýšení pravděpodobnosti štěpení při interakci neutronu se štěpným jádrem a udržení štěpné řetězové reakce. Cílem práce bylo proto zjistit, jak rozteč mezi palivovými proutky (a tím i množství moderátoru) ovlivňuje účinnost jaderného reaktoru. K naplnění cíle byl vytvořen zjednodušený model reaktoru v programu Serpent 2 a byla provedena simulace štěpení, kde model zahrnoval palivo ve formě tyčí obklopené moderátorem.

Pro popis míry štěpení se využívá koeficient násobení k , který je vyjádřen vztahem 1

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}, \quad (1)$$

kde N_i je počet neutronů současné generace a N_{i-1} je počet neutronů předchozí generace. Právě změna koeficientu násobení byla sledována v průběhu simulace.

2 Simulace

2.1 Uvažované parametry

Pro simulaci byl vybrán jaderný reaktor VVER-1000 s průměrem palivové paletky 7,844 mm vycházejícím z parametrů jaderné elektrárny Temelín. Reaktor má rozteč mezi proutky 1,275 cm, v simulaci je proto uvažována rozteč mezi 1,0 cm a 4,0 cm. [1]

Jako palivo je v reaktorech VVER-1000 využit oxid uraničitý (UO_2) s 3,8% obohacením U-235 o provozní hustotě 10,7 g/cm³ za teploty 300 °C a tlaku 15 MPa. [2] Tyto parametry byly převzaty pro účely simulace.

V simulaci je uváženo více druhů moderátorů, přičemž referenčním byla lehká voda H_2O o provozní hustotě 0,73 g/cm³ [1]. Dále byla uváženy jiné moderátory při 20 °C, a to lehká voda H_2O o hustotě 1,00 g/cm³, těžká voda D_2O o hustotě 1,11 g/cm³, BeO o hustotě 3,01 g/cm³, ZrH_2 o hustotě 5,73 g/cm³ a směs lehké vody a těžké vody v hmotnostním poměru 1:1. Hustoty lehké vody, těžké vody, grafitu, BeO a ZrH_2 byly převzaty z tabulek, hustota směsi byla vyčíslena na 1,05 g/cm³ pomocí vzorce 2

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i=0}^{i < n} \frac{\omega_i}{\rho_i}}, \quad (2)$$

kde n značí počet zastoupených látek ve směsi, ρ značí hustotu směsi, ρ_i značí hustotu dílčí látky s indexem i pro $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ a ω_i značí poměrové zastoupení látky s indexem i .

2.2 Modelování

K simulaci byl využit program Serpent 2.2.1, který metodou Monte Carlo umožňuje simulaci pohybu neutronů v jaderném reaktoru. Program náhodně generuje dráhy neutronů a následně modeluje děje pomocí souřadnic částic ve 3D prostoru. [3]

Na základě skutečnosti, že simulace jednoho prostředí trvala na dostupném zařízení v rozmezí 2 až 10 minut, se v Serpentu simulovalo prostředí pro rozteč palivových proutků od 1,0 cm do 4,0 cm s krokem 2 mm. Pro jeden druh moderátoru tedy vznikla sada 16 údajů.

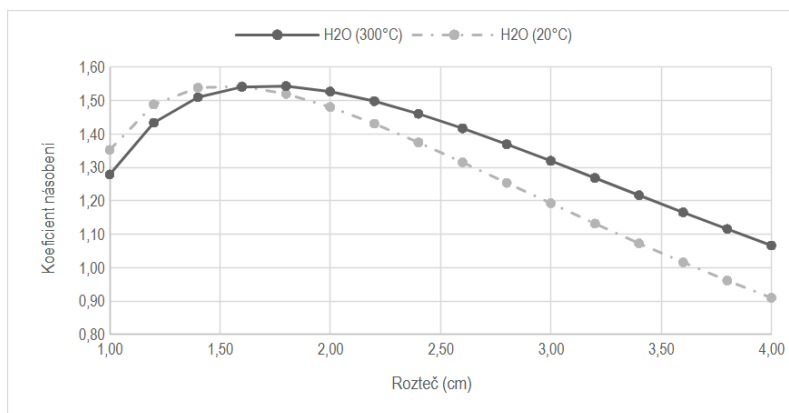
Materiály v reaktoru jsou definovány pomocí protonového a nukleonového čísla jednotlivých prvků obsažených v materiálu a jejich atomovým poměrovým zastoupením. Tyto údaje byly ponechány konstantně v průběhu jedné série testů a měnila se pouze rozteč.

2.3 Výsledky experimentu

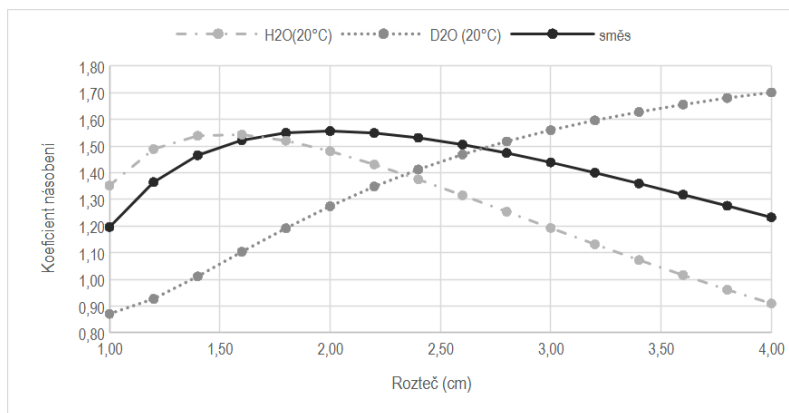
Výstupem simulace v Serpentu jsou vypočtené koeficienty násobení. Na obrázku 2 si lze všimnout, že křivky reprezentující lehkou vodu a směs lehké vody s těžkou vodou nabývají lokálního maxima, přičemž pro lehkou vodu při standardní teplotě 20 °C nastává při rozteči 1,6 cm a pro směs při rozteči 2,0 cm. Při nižší rozteči nejsou neutrony dostatečně

zpomaleny a dochází tak k podmoderovanosti reaktoru a při vyšší rozteči absorpční schopnost moderátoru převažuje nad tou moderační, zde tedy dochází k přemoderovanosti reaktoru.

Jev přemoderovanosti není na obrázcích 2 a 3 pozorovatelný u těžké vody, jelikož deuterium má mnohem nižší absorpční schopnosti, uvádí se účinný průřez pro záchyt tepelných neutronů 600krát nižší než pro protium v lehké vodě. [4],[5] Stejně se chová i ZrH_2 , který obsahuje protium. Graf těžké vody tedy vykazuje stoupající charakter pro vyšší rozteč palivových proutků. Analogické vysvětlení lze najít u grafitu a oxidu beryllnatého.



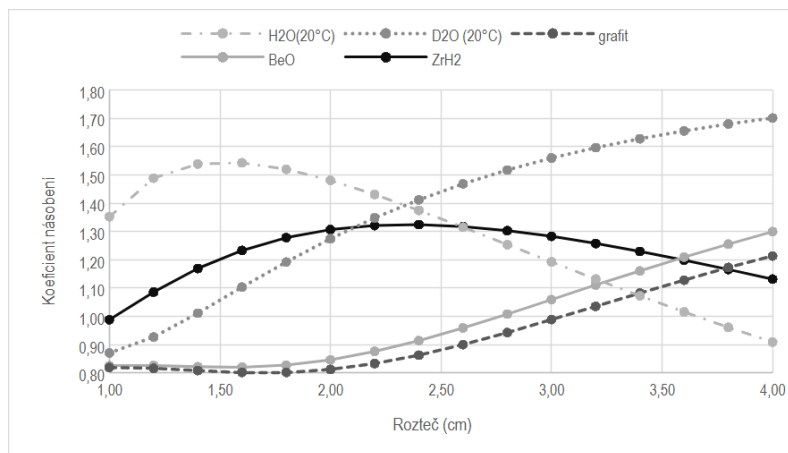
Obrázek 1: Koeficienty násobení pro různé rozteče, přičemž voda při standard. podmínkách 20 °C má posunuté maximum k vyšší rozteči. To lze odůvodnit vyšší hustotou (při nižší teplotě) molekul.



Obrázek 2: Koeficienty násobení pro různé rozteče pro lehkou a těžkou vodu a jejich směs.

2.4 Diskuse

Z výsledků simulace vyplývá, že příliš mnoho chladiva může v reaktoru vadit, např. u lehké vody nebo u směsi lehké vody s těžkou vodou, kde dochází pouze k posunutí maxima koeficientu násobení k vyšší hodnotě rozteče. Přemoderovanost pro měřené hodnoty rozteče sice nenastává u těžké vody díky vlastnostem deuteria, ovšem produkce čisté těžké vody je velmi náročná a nákladná, nemusí proto být vhodným řešením. [6]



Obrázek 3: Koeficienty násobení pro všechny moderátory zkoumané v práci kromě směsi lehké a těžké vody.

3 Závěr

Cíle práce byly splněny. Byly analyzovány moderátory využívané v jaderné energetice a vliv jejich množství na výkon reaktoru. Výsledek práce by v budoucnu mohl sloužit jako podklad pro rozšíření simulace na jiné typy reaktoru a k optimalizaci moderátorů a chladičů.

Poděkování

Rády bychom věnovaly poděkování našemu školiteli Josefu Sabolovi za odbornou konzultaci v průběhu vypracovávání projektu a FJFI ČVUT za poskytnutí prostor, ve kterých jsme simulaci mohli vypracovat. Bylo nám ctí se projektu zúčastnit.

Odkazy

1. WESTINGHOUSE. VVER-1000 Fuel Products. 2018. Dostupné také z: <https://westinghousenuclear.com/media/vi0p2out/vver-1000-fuel-products.pdf>.
2. SHMELEV, A. Assessment of the possibility for large-scale ²³⁸Pu production in a VVER-1000 power reactor. *Nuclear Energy and Technology* 9(4). 2023. Dostupné také z: <https://doi.org/10.3897/nucet.9.117199>.
3. Serpent: a Continuous-energy Monte Carlo neutron and photon transport code. 2024. Dostupné také z: <https://serpent.vtt.fi/serpent/>.
4. KAPLAN, L.; RINGO, G. R.; WILZBACH, K. E. Thermal Neutron Absorption Cross Section of Deuterium. 1952. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.87.785>.
5. MENG, L. J. Principles of Radiation Protection. 2020. Dostupné také z: <https://serpent.vtt.fi/serpent/>.
6. SHARMA, B. Nuclear Reactors: Moderator and Reflector Materials. In: 2001. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01126-8>.

Numerická aproximace závislostí z nepřesných dat (měření)

B. Salajová¹ and F. E. Holtslag²

¹G Litoměřická, Praha; salajova.bara@gmail.com

²G Jana Opletala, Litovel; felilala@email.cz

J. Pšikal, školitel; KLFF FJFI ČVUT

Abstrakt

Tento miniprojekt se věnuje numerické aproximaci závislosti z nepřesných dat fyzikálního měření. Zpravidla lze naměřená data popsat danou závislostí, která obsahuje určité konstanty. V případě závislosti účinných průřezů rezonančního rozptylu neutronů $g(E_i)$ na jejich energii E_i se v závislosti nachází právě tři konstanty. Ty lze nalézt pomocí metody nejmenších čtverců. Díky ní lze získat soustavu tří nelineárních rovnic, kterou lze následně vyřešit Newton–Raphsonovou metodou pro získání hledaných parametrů.

1 Úvod

Fitování dat je problém, se kterým se setkávají vědci po celém světě. Problém, jak z tabulky plné čísel získat hledanou závislost, je řešitelný numericky. Nejjednodušším řešením je naměřené hodnoty lineárně interpolovat, ale to obvykle nevede k nejpřesnějším výsledkům.

Pokud je možné měřené veličiny matematicky popsat určitým vztahem, tak lze pro aproximaci využít metodu nejmenších čtverců. Tato metoda se řadí mezi jedny z nejpřesnějších. Snaha je, aby byla data proložena funkcí $f(x)$, která minimalizuje velikost funkcionálu S . Pro ten platí [1]:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} [y_i - f(x_i)]^2} \quad (1)$$

σ_i - absolutní chyba měření

y_i - naměřená hodnota pro dané x_i

$f(x_i)$ - hodnota hledané funkce f pro dané x_i

n - počet pozorovaných hodnot

K nalezení minima nelineární funkce se využívá derivace. Pro derivaci dané funkce v minimu platí, že je rovna nule.

Tato práce se věnuje aproximaci dat z měření účinného průřezu rezonančního rozptylu neutronů $g(E_i)$ v závislosti na jejich energii E_i pomocí metody nejmenších čtverců. Tuto závislost popisuje vztah:

$$g(E) = f(E) = \frac{a_1}{(E - a_2)^2 + a_3} \quad (2)$$

kde a_1, a_2 a a_3 zastupují neměnné konstanty. Právě tyto konstanty bylo cílem určit z předem naměřených dat s využitím programu Python a Maple.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_i (MeV)	0	25	50	75	100	125	150	175	200
$g(E_i)$ (MB)	10.6	16.0	45.0	83.5	52.8	19.9	10.8	8.3	4.7
σ_i (MB)	9.34	17.9	41.5	85.5	51.5	21.5	10.8	6.29	4.14

Tabulka 1: Experimentálně změřená data [2]

2 Aproximace dat

Prvním krokem při zpracovávání dat bylo určit, kdy bude funkcionál S nejmenší. To nastane ve chvíli, kdy bude výraz

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} [y_i - f(x_i)]^2 \quad (3)$$

v minimu. Jelikož jsou známa z měření právě hodnoty y_i , neboli $g(E_i)$, a hodnoty x_i , neboli E_i , tak hledané neznámé představují konstanty a_1, a_2 a a_3 . Hodnoty E_i a $g(E_i)$ se nacházejí v tabulce 1 pro všech devět měření. Výraz (3) lze přepsat do následujícího tvaru:

$$\tilde{S} = \sum_{i=1}^9 \frac{1}{\sigma_i^2} [g(E_i) - f(a_1, a_2, a_3)]^2 \quad (4)$$

u kterého jsou hledány koeficienty a_1, a_2 a a_3 takové, aby byl výraz (4) minimální. Jak již bylo řečeno výše, tak tento stav nastane ve chvíli, kdy budou parciální derivace výrazu (4) podle a_1, a_2, a_3 nulové. Proto platí:

$$\frac{\partial \tilde{S}}{\partial a_1} = 0, \quad \frac{\partial \tilde{S}}{\partial a_2} = 0, \quad \frac{\partial \tilde{S}}{\partial a_3} = 0. \quad (5)$$

Tyto derivace byly vyjádřeny v programu (systém počítačové algebry) Maple. Díky tomu byla získána soustava tří rovnic o třech neznámých (6)-(8):

$$h_1 = \sum_{i=1}^9 \frac{g(E_i) - \frac{a_1}{(E_i - a_2)^2 + a_3}}{\sigma_i^2 [(E_i - a_2)^2 + a_3]} = 0 \quad (6)$$

$$h_2 = \sum_{i=1}^9 \frac{\left(g(E_i) - \frac{a_1}{(E_i - a_2)^2 + a_3}\right) a_1 (E_i - a_2)}{\sigma_i^2 [(E_i - a_2)^2 + a_3]^2} = 0 \quad (7)$$

$$h_3 = \sum_{i=1}^9 \frac{\left(g(E_i) - \frac{a_1}{(E_i - a_2)^2 + a_3}\right) a_1}{\sigma_i^2 [(E_i - a_2)^2 + a_3]^2} = 0 \quad (8)$$

Tyto rovnice byly následně řešeny Newton–Raphsonovou metodou. Ta je založena na principu linearizace rovnic pomocí parciálních derivací jejich levých stran. Pro okolí určitého bodu platí tzv. Taylorův rozvoj, kde je pro malou velikost možné zanedbat vyšší členy řady. Díky tomu lze vytvořit lineární soustavu rovnic, kterou lze řešit pomocí matic (9). První matice zleva se nazývá Jacobiho matice a značí se $\mathbf{J}$. Pro tento způsob je ale potřeba nejprve určit přibližný odhad neznámých a_1, a_2, a_3 , které se budou metodou následně zpřesňovat.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial a_1} & \frac{\partial h_1}{\partial a_2} & \frac{\partial h_1}{\partial a_3} \\ \frac{\partial h_2}{\partial a_1} & \frac{\partial h_2}{\partial a_2} & \frac{\partial h_2}{\partial a_3} \\ \frac{\partial h_3}{\partial a_1} & \frac{\partial h_3}{\partial a_2} & \frac{\partial h_3}{\partial a_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta a_1^{(k)} \\ \delta a_2^{(k)} \\ \delta a_3^{(k)} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} h_1(\vec{a}^{(k)}) \\ h_2(\vec{a}^{(k)}) \\ h_3(\vec{a}^{(k)}) \end{pmatrix} \quad (9)$$

Díky tomu lze zjistit $\vec{\delta a}$, tedy zpřesnit předchozí řešení.

$$\vec{a}^{(k+1)} = \vec{a}^{(k)} + \vec{\delta a}^{(k)} \quad (10)$$

Nové přesnější řešení získáme:

$$\vec{a}^{(k+1)} = \vec{a}^{(k)} - \left[\mathbf{J} \vec{h}(\vec{a}) \right]^{-1} \cdot \vec{h}(\vec{a}^{(k)}) \quad (11)$$

Tato metoda byla provedena v Pythonu s 10 iteracemi. Jacobiho matice $\mathbf{J}$ byla vypočtena metodou centrální difference. Počáteční hodnoty parametrů byly odhadnuty následovně:

$$\vec{a}^{(0)} = \begin{pmatrix} 44\,000 \\ 75 \\ 440 \end{pmatrix}$$

Po aplikování metody vyšly konečné hodnoty parametrů:

$$\vec{a}^{(10)} = \begin{pmatrix} 70878.19256022 \\ 78.1875406 \\ 875.2339167 \end{pmatrix}$$

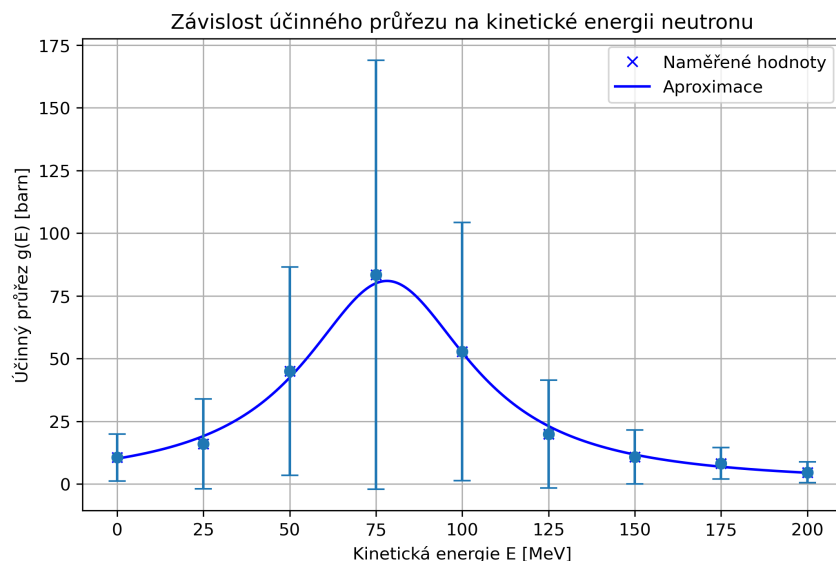
3 Závěr

Pomocí metody nejmenších čtverců a Newton–Raphsonovy metody byla nalezena funkce, která bez velké odchylky fituje naměřená data účinného průřezu rezonančního rozptylu neutronů $g(E_i)$ v závislosti na jejich energii E_i . Hodnoty parametrů byly zpřesněny z prvotního odhadu deseti iteracemi. Výsledný vztah pro hledanou závislost je:

$$f(E) = \frac{70\,878}{(E - 78)^2 + 875} \quad (12)$$

Přesné hodnoty parametrů a_1, a_2, a_3 pro naměřená data jsou:

$$\vec{a}^{(10)} = \begin{pmatrix} 70878.19256022 \\ 78.1875406 \\ 875.2339167 \end{pmatrix}$$



Obrázek 1: Naměřené hodnoty včetně absolutních chyb a graf fitované funkce

Poděkování

Rády bychom poděkovali za možnost účastnit se během TV@J tohoto miniprojektu. Především chceme poděkovat našemu školiteli J. Pšikalovi za všechnu pomoc při řešení a zpracování.

Odkazy

1. PŠIKAL, J. *Aplikované numerické metody - cvičení (12ANM)* [<https://jpsikal.github.io/anm>]. 2025. Accessed: 2025-06-24.
2. R. H. LANDAU M. J. Páez, C. C. B. *Computational Physics (Problem Solving with Python)*. WILEY-VCH GmbH, Německo, 2024.

Plasma fluctuations in tokamak discharges

E. Rojíková, J. Hořínková

Všeobecné a sportovní gymnázium; rojik23@gvimperk.cz

Mendelovo gymnázium Opava; Julie.Horinkova@seznam.cz

O. Garant, školitel; Gergo Pokol, ČVUT (CTU) FJFI

Abstract:

This work discussed the analysis of tokamak discharges. Its goal was to determine fluctuations of plasma properties. It also contains basic instructions to help estimate discharge input, so the investigation of plasma's properties in tokamak discharges can be continued and reproduced in the future.

Introduction

Our goal was to learn how to recognize different types of plasma fluctuations and oscillations, using various analysis methods, including Fourier analysis and measurement error theory.

This research wouldn't be possible without a tokamak. A Tokamak is a device that creates a toroidal magnetic field, used as a magnetic container for storing high-temperature plasma. This type of device was invented to harvest nuclear-fusion power.

We were collecting data at the local tokamak GOLEM at the Czech Technical University in Prague. We were able to see different types of fluctuations and record their data. The primary objective of this experiment is to identify the types of plasma oscillations present in tokamak shots. Turbulent flows are the main transport mechanism in the magnetic helical field in the tokamak. These appear in most signals as continuous fluctuations with a wide range of frequencies. The transport in tokamaks is sometimes transient, appearing only as short-time bursts in fluctuations. The plasma waves can also contribute to the fluctuations, having a long-time duration and a well-defined frequency.

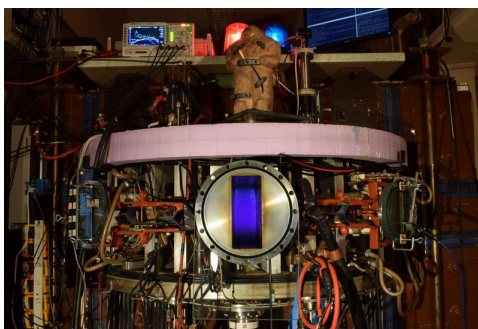


Figure 1: Tokamak GOLEM

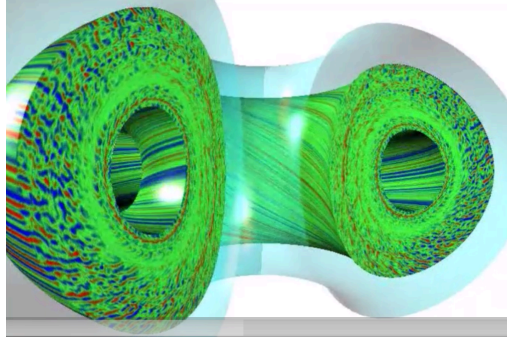


Figure 2: Numerical simulation of plasma turbulence of DIII-D tokamak by GYRO code

Body of miniproject

1.1. Materials and methods

During this research, we utilized Golem with the help of a page dedicated to the use (aka Tokamak remote Control room). Crucial for embodying what happened in the tokamak during shots and characteristic of plasma, was Python, more exactly Jupyter. We gathered our data from the Tokamak Golem plasma parameters page, which unveiled all the important sets of information. For the assessment of plasma fluctuations, Mirnov coils are required.

1.2. Results - data analysis

In the future, the plasma stream in fusion reactors should be as stable as possible to prevent the chamber from any damage and extend the confinement.

1.2.1 Discharges with plasma

Via remote access to a controller of the tokamak Golem we were able to set the parameters for the discharges in subsequent tables. We aimed to imitate shots produced in the work of Tomáš Markovič [1].

Plasma discharges	Toroidal field capacitor U_Bt [V]	Current drive capacitor U_cd [V]	Current drive delay t_cd [us]	Gass pressure p_H [mPa]	Actual gass pressure p [mPa]
#49321	800	450	1000	10	9.89
#49325	585	400	1000	10	9.95
#49328	585	400	1100	15	14.8
#49341	585	400	2000	15	14.8

Plasma discharges	Plasma lifetime t_p [ms]	Maximum toroidal field B_t [T]	Maximum plasma current I_pmax [kA]	Safety factor q_a	Maximum average temperature of electrons T_e [eV]
#49321	13.16	0.39	5.07	6.083	65.442
#49325	14.66	0.32	7.48	3.757	138.412
#49328	14.54	0.32	6.82	4.041	121.032
#49341	13.81	0.32	5.96	4.843	97.982

Table 1+2: Input of shots used for discharges with plasma

In Tables 1 and 2, we have summarized the basic properties of the discharges we performed on the Golem tokamak, which successfully contained plasma.

One of the main targets of our attention was 16 Mirnov coils, whose task is to get an overview of plasma fluctuations. Mirnov coils register magnetic field perturbations. Throughout the remote access site, we gathered information about Mirnov coils.

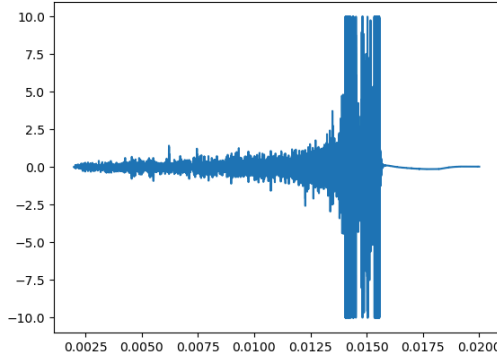


Figure 3: Raw signal measured from Mirnov coil 15, shot number 49328.

Figure 3 shows the raw signal of our most successful shot. We can observe non-constant amplitude, and the signal amplitude is starkly increasing toward the end.

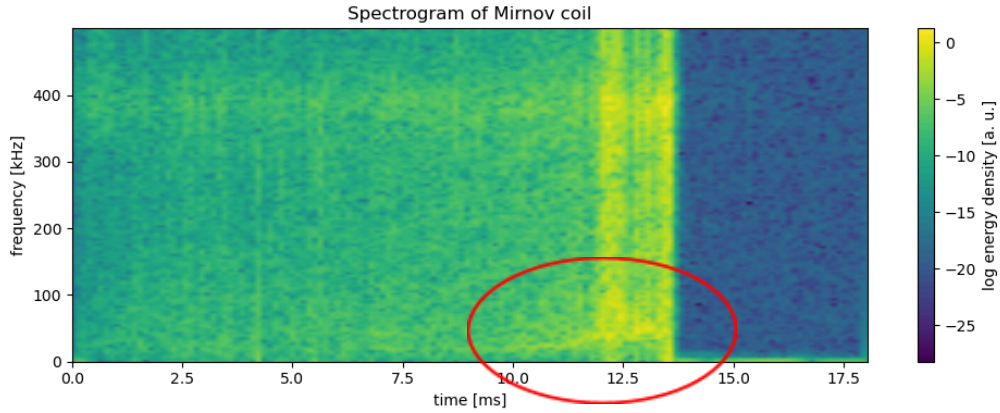


Figure 4: Spectrogram of the data from the raw signal absorbed from 15th Mirnov coil of the discharge number 49328. The most prominent narrow-band oscillation of coils in our attempts is encircled.

The spectrogram in Figure 4 is a product of windowed Fourier analysis applied to the raw data (Figure 3). These kinds of oscillations are observable: narrow-band (horizontal = constant frequency, long-time period), broad-band fluctuations (scattered everywhere), and bursts (vertical = very-short time period, changing frequency).

The most important for our analysis are the narrow-band oscillations indicating a high degree of synchronization and coherent magnetic field. The most prominent oscillation is located between 10 and 13.75 milliseconds of the discharge. This oscillation has a continuously rising frequency, ranging from 15 to 60 kHz, and exhibits the highest level of energy density for a short period during this shot. Narrow-band oscillations, unlike broad-band ones, are approximately concentrated around one frequency. Towards the end of the discharges (as shown in the graph in Figure 4), the frequency of oscillations increases. This phenomenon signifies the similarity to discharge number 10579 of Tomáš Markovič [1].

1.2.2. Discharges without plasma

No Plasma	Toroidal field capacitor U _{Bt} [V]	Current drive capacitor U _{cd} [V]	Current drive delay t _{cd} [us]	Gas pressure p _H [mPa]	Actual gas pressure p [mPa]
#49330	585	400	11000	15	14.9
#49334	585	400	5500	15	10.1
#49314	370	550	1000	10	14.8
#49320	370	550	1100	10	10.1

Table 3: Input of shots used for discharges without plasma

Failed attempts are shown in Table 3. Despite trying to follow input properties, half of our shots failed due to a lack of convenient conditions prerequisite for plasma creation, pinpointing the importance of short current drive delay and sufficient voltage in both capacitors.

1.3. Discussion

When it comes to reproducibility, this experiment is not completely reproducible. Processes in tokamaks are self-governing, even discharges with the same input may have different results. Data and results can be reused in the next tokamak discharges. Valuable might be data from tables 1, 2 and 3 for determining what conditions should subsist in the chamber. Despite the hard reproducibility, we were successful in observing similar phenomena. Narrow-band plasma oscillations in our outcomes, indicative of a coherent field, were studyable.

Summary

This work's aim was to estimate the behaviour of plasma fluctuation in the tokamak Golem during discharges. For detecting signals, we utilized 16 Mirnov coils, and for processing collected signals, we used the windowed Fourier analysis method. All three kinds of plasma oscillations (narrow-band, bursts and broad-band) were observable.

Acknowledgement

We would like to thank our supervisor, Mr. Gergo Pokol and the organizers of The Week of Science at Jaderka for letting us work on this project.

References

- [1] MARKOVIČ, Tomáš. *Measurement of Magnetic Fields on GOLEM Tokamak*. Online, Diploma thesis, vedoucí Ing. Ivan Duran, Ph.D. Praha: Czech Technical University in Prague, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, 2012. Dostupné z: https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/FTTF/DP_Tomas_Markovic.pdf. [cit. 2025-06-23].
- [2] POKOL, Gergő. *Plasma fluctuations in tokamak discharges*. Online, Elektronická prezentace Powerpoint. Praha: Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, 2025. [cit. 2025-06-23].

Počítačová grafika – pohled pod pokličku

*L.Rottová, **V Hudský, ***Y. Oliichuk

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

*lucie.rottova07@gmail.com; Gymnázium Ústavní

**vasek.hudsky@gmail.com; Gymnázium dr.V Šmejkalů

***podmyshkyn228@gmail.com; Gymnázium Arabská

Abstrakt

Účelem tohoto miniprojektu je vytvoření jednoduché 3D scény za využitím počítačové grafiky prostřednictvím programu POV-Ray. Výsledkem práce je algoritmický popis 3D scény, která znázorňuje model počítačové učebny. V závěru práce jsme vytvořili pohledy na scénu z různých úhlů.

1 Úvod

Rozhodli jsme se pracovat v programu POV-Ray, který využívá programovací jazyk screen description language (SDL). V SDL můžeme pomocí jednoduchých geometrických tvarů (kvádr, koule, válec,...) a jednoduchých funkcí (transformací v prostoru, škálování, booleovské operace) vytvořit složité objekty. Vytvořili jsme grafický model počítačové učebny 105 v budově FJFI v ulici Trojanova. Práci jsme si rozdělili a samostatně jsme vypracovali jednotlivé objekty (monitor, židle, stůl, klávesnice, myš). Poté jsme je spojili do finální scény, jejímž základem byl model samotné místnosti. Do této místnosti jsme pak importovali objekty a rozmístili jsme je na správná místa.

2 POV-Ray

POV-Ray (Persistence of Vision Ray Tracer) je freeware program, který vznikl na začátku 90.let. Od té doby nabyl mnoha nových funkcí, ale také si zachoval svou jednoduchost. Základem programu je možnost vytvoření 3D scény pomocí SDL a poté vyrenderování dané scény za použití metody sledování paprsku (ray tracing). Na rozdíl od mnoha novodobých programů na vytváření 3D grafiky (např. Blenderu), POV-Ray nemá grafický editor, tedy všechny objekty musí být manuálně vytvořeny a umístěny pomocí kódu. SDL je "turingovsky kompletní", dá se s ním tedy naprogramovat cokoliv. Pro uživatele je velmi užitečná například možnost použití cyklů, které lze použít pro přidávání mnoha stejných objektů v rámci pár řádků místo manuálního umísťování. POV-Ray ukládá SDL skripty v souborech s příponou .pov.

3 Ray Tracing

Ray tracing (v češtině sledování paprsku) je metoda renderování, která vytvoří paprsky v bodě kamery, které se dále pohybují v prostoru, interagují s objekty podle jejich charakteru (zrcadlo odrazí paprsek, zatímco černý objekt ho kompletně pohltí), dokud buďto nejsou kompletně pohlceny, nebo nedojdou ke zdroji světla. Díky tomu, že tento typ renderování simuluje šíření světla v reálném prostředí, umožňuje realistické zobrazení scény včetně různých světelných efektů, jako například nepřímého osvětlení předmětů. Na druhou stranu je tato metoda velmi výpočetně náročná, a proto donedávna nebyla využívána pro zobrazování v reálném čase.

4 Jednotlivé objekty

V následujících sekcích popíšeme modelování jednotlivých objektů ve scéně kromě stolu a myši, jejichž vytvoření bylo triviální.

4.1 Místnost

Autor: Lucie Rottová

Místnost je vytvořena pomocí několika boxů (kvádrových objektů), které tvoří podlahu, tři stěny a strop. Každá stěna má také svojí vlastní barvu a texturu, aby co nejvíce připomínala reálný povrch. V pravé a levé stěně jsou dále udělána okna "vyříznutím" boxu do již existující stěny (operace difference). Tabule je na zadní stěně třídy a je také udělána jako kvádrový objekt s tmavě zelenou barvou. Světla na stropu jsou také kvádrové objekty, které jsme "rozsvítili" přidáním světelných zdrojů těsně pod ně. Díky tomu to vypadá, že světla opravdu svítí.

4.2 Židle

Autor: Lucie Rottová

Židle se skládá ze čtyř nohou, sedadla a opěrátko. Nohy židle jsou dělané jako boxy, které jsou symetricky zopakované. Sedadlo i opěrátko vznikly jako průnik dvou koulí (funkce intersection), opěrátko je ještě otočené o 90 stupňů v ose z a trochu roztáhlé nahoru, aby vypadala celá židle realističtěji (obr. 1a).

4.3 Klávesnice

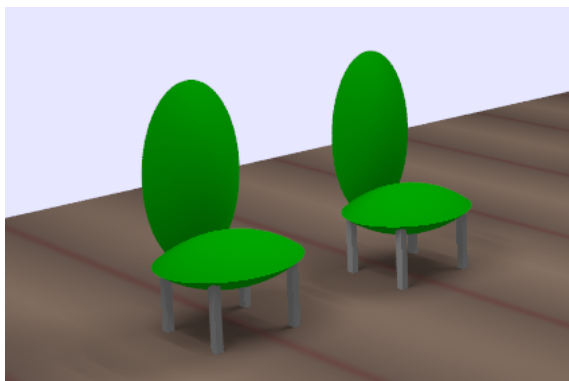
Autor: Yuliia Oliichuk

Tělo klávesnice a mezerník jsou modelovány pomocí kvádrů, které jsou vhodně škálovány a umístěny. Tlačítka jsou generována a rozmístěna pomocí dvou vnořených cyklů (obr. 2). Každé tlačítko je tvaru válce. Výsledek je vidět na obr. 1b.

4.4 Monitor

Autor: Václav Hudský

Monitor se skládá ze 3 komponentů: podstava, která je tvořena válcem, stojánek, který je



(a) Model židle



(b) Model monitoru, klávesnice a myši

Obrázek 1: Pohledy na jednotlivé objekty ve scéně

```
#declare grid = union {
  #local n = 10;
  #local y1 = 2;
  #while (y1 <= n)
    #local x1 = 0;
    #while (x1 <= n)
      sphere {
        <x1/n, 0, y1/n>, 0.03
        pigment{color rgb white}
      }
    #local x1 = x1 + 1;
    #end
  #local y1 = y1 + 1;
  #end
}
```

Obrázek 2: Použití vnořených cyklů `while` v jazyce SDL

tvořen zkoseným válcem, a obrazovkou. Obrazovka je tvořena pomocí 2 kvádrů, z nichž jeden představuje hlavní tělo obrazovky a druhý symbolizuje samotný displej. Tento kvádr má na sobě texturu domovské obrazovky Windows.

5 Finální scéna

Autor: Václav Hudský

Po vytvoření všech dílčích objektů jsme je spojili. Nejdříve jsme na stůl umístili monitory, myši a klávesnice a poté k němu přidali židle. Následně jsme tento výtvar pomocí dvou vnořených cyklů vložili několikrát po místnosti (do mřížky 3×2). Nakonec jsme doplnili i učitelský stůl.

Po umístění objektů jsme si všimli divných ostrých stínů. To jsme napravili vyměněním jednoduchých "žárovek" za plošné světelné zdroje, které tvoří měkké stíny.

Několik pohledů na scénu je zobrazeno na obr. 3.

6 Závěr

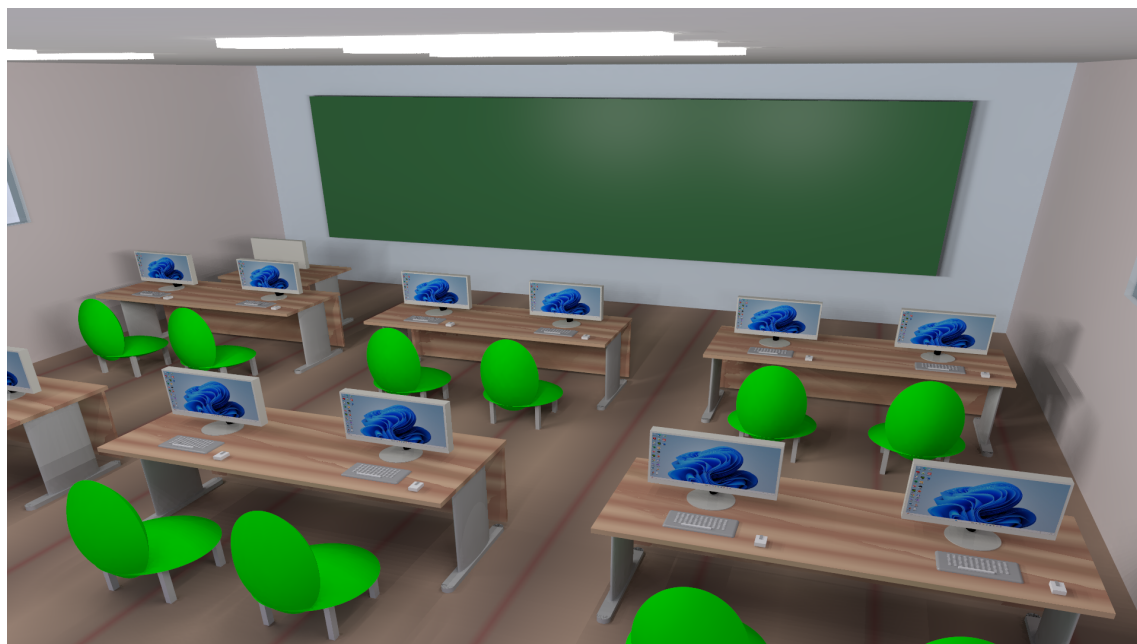
Výsledek práce je model vybavené počítačové učebny. Díky miniprojektu jsme se naučili pracovat s programem POV-Ray, zjistili, jak funguje renderovací algoritmus ray tracing a naučili se skládat jednoduché geometrické objekty do složitějších realistických předmětů.



(a) Učitelský stůl



(b) Pohled zezadu



(c) Šikmý pohled

Obrázek 3: Předloha a výsledná vyrenderovaná scéna

Poděkování

Děkujeme za pomoc a rady našemu vedoucímu miniprojektu Pavlovi Strachotovi a také FJFI a všem zúčastněným za organizování tohoto velmi přínosného a zábavného Týdne vědy na Jaderce.

Zdroje

- [1] POV-Ray dokumentace <https://www.povray.org/documentation/3.7.0/>

Postavte si laserový zaměřovač

O. Beer*, J. Farník** T. Kučera***

*SŠ řemesel Frýdek-Místek, Pionýrů 2069, 738 01, Frýdek-Místek

**SPŠ, OA a JŠ Frýdek-Místek, 8. října 1598, 738 01, Frýdek-Místek

***Gymnázium Jírovcova 8, 1788/8, 371 61, České Budějovice

acktorxd@gmail.com/farnikj@pojfm.cz/**kucerat@jirovcovka.net

Abstrakt

Jak vlastně fungují lasery a co se skrývá uvnitř malých laserových ukazovátek, které má doma skoro každý? V tomto miniprojektu na tyto otázky odpovíme nejen teoreticky, ale hlavně prakticky – společně si sestrojíme pulzní laser s aktivním prostředím na bázi iontů erbia (Er^{3+}) v krystalu Er:YAG. Tento laser bude pracovat na oku bezpečné vlnové délce $\lambda \approx 1623 \text{ nm}$ s maximálním výkonem $P_{\text{max}} = 181 \text{ mW}$. Zaměříme se na měření výstupních vlastností – konkrétně vlnové délky, výkonu, časového průběhu pulzů a příčného profilu svazku. Experimentálně ověříme absorpci pomocí optického systému simulujícího **lidské oko** a prověříme **skutečnou bezpečnost tohoto zařízení**.

1 Úvod

LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (zesilování světla stimulovanou emisí záření) má několik unikátních vlastností. Mezi tyto vlastnosti patří: koherence, nízká rozbíhavost, vysoká hustota výkonu záření a monochromaticnost. Laser má tři základní stavební prvky. Prvním je aktivní prostředí – potřebujeme krystal, který bude laserové záření zesilovat. V našem případě používáme krystal Er:YAG. Dalšími stavebními prvky při konstrukci laseru jsou buzení a chlazení. Laserová dioda je chlazená vodou a krystal v pulzním režimu je pasivně chlazený vzduchem. Aby krystal při buzení nevydával příliš velké teplo, rozdělíme si 100 ms na dvě části. 10 ms krystal budíme a 90 ms čekáme. Tímto se ujistíme, že se krystal nebude přehřívat a my nebudeme muset používat externí chladič. Třetím stavebním blokem je optický rezonátor tvořený dvojicí zrcadel, z nichž je jedno částečně propustné. První laser byl sestrojen v roce 1960, Theodorem Maimanem v USA. S laserem operujícím na naší vlnové délce jsme se mohli setkat teprve v polovině 80. let. V reálném světě se můžeme setkat s využitím Er:YAG laserů např. při odstraňování šedého zákalu, léčbě akné, měření vzdálenosti a ve spektroskopických měřeních.

2 Měřicí přístroje, experimentální uspořádání a postup měření

2.1 Měřicí přístroje

Čerpání laserová dioda s proudovým zdrojem LDC 1000. Pulzní režim, vlnová délka přiteplotě diody $T_{\text{LD}} = 26^\circ\text{C}$ byla $\lambda_{\text{LD}} = 1526 \text{ nm}$, délka pulsu $t_{\text{LD}} = 10 \text{ ms}$ a opakovací frekvence $f = 10 \text{ Hz}$.

Výkon záření sonda PowerMax a wattmetr FiledMate. Maximální naměřený výstupní výkon laserové diody při maximálním budícím proudu $I_{\text{LD}} = 40 \text{ A}$ byl $P = 1,57 \text{ W}$.

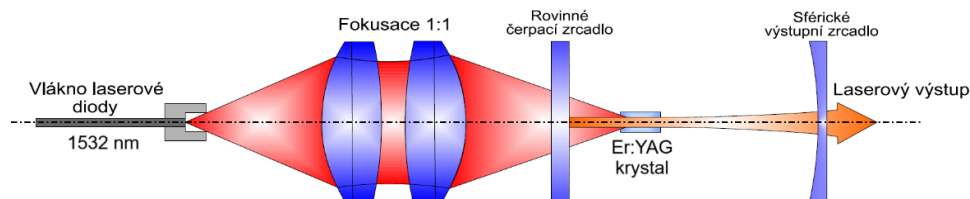
Časový průběh proudu laserovou diodou a generovaného záření – fotodioda PDA30B-EC. Zobrazení na osciloskopu TDS2012B (100 MHz, vzorkovací frekvence: 1 GS/s).

Spektrum čerpacího a generovaného záření – snímáno do optického vlákna a přivedeno do spektrometru RedWave se spektrálním rozsahem 900-2300 nm.

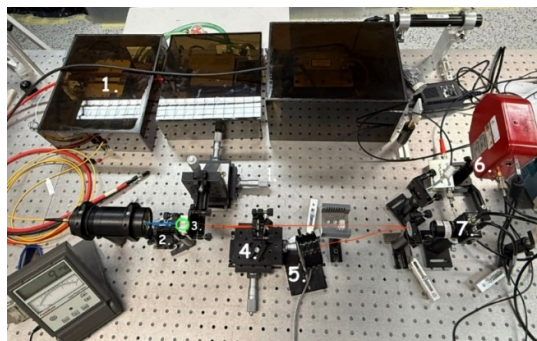
Prostorová struktura generovaného svazku – CCD pyrokamera PYROCAM IV

2.2 Experimentální uspořádání a parametry laserového rezonátoru

Aktivní prostředí bylo tvořeno krystalickou mřížkou yttrito-hlinitého granátu dopovaného třímocnými ionty erbia Er^{3+} s koncentrací 0,5 at. % Er:YAG (konkrétně $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} = \text{Er:YAG}$). Krystal měl tvar malého válce o průměru 5 mm a délce 10 mm. Optický rezonátor byl složen ze dvou zrcadel – **první (rovinné) zrcadlo** bylo téměř úplně propustné pro čerpací záření z laserové diody (~ 1526 nm), ale zároveň silně odrazivé ($R_1 \approx 100$ %) pro generované, očekávané laserové záření (1600-1700 nm). Na výstupu bylo použito **druhé sférické (duté/konkávní) zrcadlo** s poloměrem křivosti $r = 150$ mm, které mělo odrazivost $R_2 \approx 96$ % a propustnost $T_2 \approx 4$ % pro generované záření (tedy pro 1600-700 nm), což umožnilo malou část generovaného záření vyvést ve formě výstupního svazku. K nastavení rezonátoru jsme využili odrazy z viditelného svazku He-Ne laseru ($\lambda_{\text{He-Ne}} \approx 633$ nm, červená barva), který se odrážel od jednotlivých prvků optického rezonátoru zpět na clonku umístěnou ve svazku He-Ne laseru. Zjednodušené schéma podélného čerpání aktivního prostředí Er:YAG pomocí laserové diody přes fokusační optiku (2 čočky) je zobrazeno na Obr. 1. Čerpací dioda byla provozována při teplotě 26 °C v pulzním režimu s délkou pulzu 10 ms a opakovací frekvencí 10 Hz. Fotografie sestaveného laserového systému je na Obr. 2 (He-Ne laser se nachází v pravém horním rohu).



Obr. 1. Zjednodušené schéma experimentální sestavy. [3]

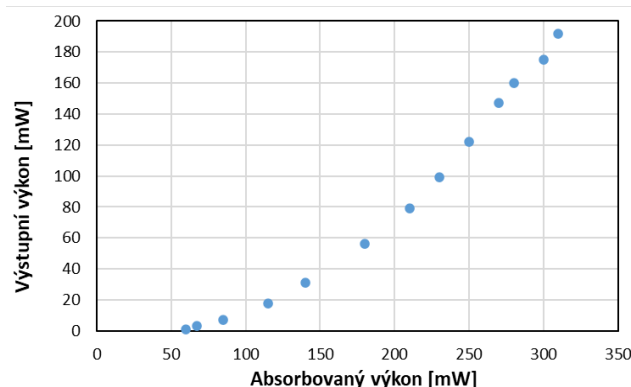


Obr. 2. Fotografie experimentálního uspořádání: 1. čerpací dioda; 2. čerpací zrcadlo; 3. krystal $\text{Er}^{3+}:\text{YAG}$; 4. polopropustné zrcadlo; 5. wattmetr; 6. pyrokamera; 7. fotodioda připojená k osciloskopu.

3 Naměřené výsledky a diskuse

3.1 Měření výstupního výkonu a účinnosti Er:YAG laseru

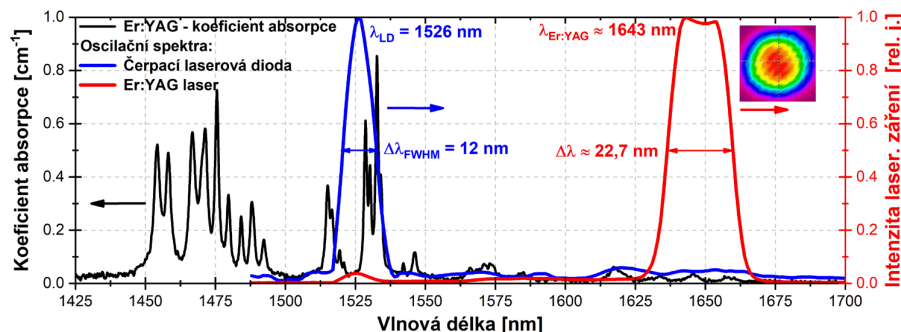
Nejprve byla naměřena závislost výstupního výkonu Er:YAG laseru na různých hodnotách čerpacího výkonu, který byl řízen zvyšováním budicího proudu laserové diody I_{LD} . Maximální dosažený výstupní výkon byl $P_{\text{max}} = 181$ mW při výkonu záření absorbovaného v krystalu $P_{\text{abs.}} = 310$ mW. Pro výpočet tohoto absorbovaného výkonu v aktivním prostředí bylo potřeba změřit výkon čerpacího záření po průchodu vstupním zrcadlem (P_2 , tj. na vstupu do krystalu Er:YAG) a poté neabsorbovaný výkon čerpacího záření prošlého za tímto aktivním prostředím (P_1 , tj. za krystalem). Výkon záření absorbovaného v krystalu byl následně určen jako rozdíl těchto dvou hodnot: $P_{\text{abs.}} = P_2 - P_1$. Závislost výstupního výkonu $P_{\text{výst.}}$ na vypočítaném absorbovaném výkonu čerpacího záření $P_{\text{abs.}}$ je znázorněna na Obr. 3. Z naměřených hodnot vychází diferenciální účinnost sestaveného Er:YAG laserového systému $\eta = 64$ %.



Obr. 3. Graf závislosti výstupního výkonu na absorbovaném výkonu sestaveného laserového systému Er:YAG. Diferenciální účinnost laseru: $\eta = 64 \%$.

3.2 Prostorová struktura svazku a spektra budícího a generovaného záření Er:YAG laseru

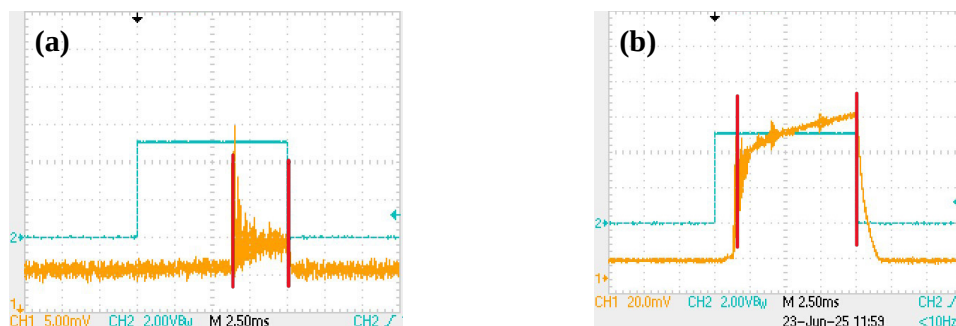
Pomocí dvojice vláknových spektrometrů jsme změřili spektrum čerpacího a generovaného záření Er:YAG laseru. Centrální vlnová délka záření budícího laseru byla $\lambda_{LD} = 1526$ nm a generovaného záření Er:YAG laseru $\lambda_{Er:YAG} = 1642$ nm. Šířky spekter budícího a generovaného záření měřené na polovině maxima intenzity (FWHM – z angl. *Full Width at Half Maximum*) byly $\Delta\lambda_{FWHM LD} = 12$ nm a $\Delta\lambda_{FWHM Er:YAG} = 22,7$ nm. Následně jsme pomocí pyrokamery zaznamenali prostorovou strukturu generovaného laserového svazku, která je společně se spektry generovaného záření uvedena na Obr. 4.



Obr. 4. Naměřené absorpční spektrum krystalu Er:YAG (černě), záření čerpací laserové diody (1526 nm, modře) a generovaného laserového záření Er:YAG laseru (1642 nm, červeně) doplněné o prostorovou strukturu generovaného svazku v pravém horním rohu.

3.3 Časový průběh generovaného laserového záření

Polovodičovou fotodiodou PDA30B-EC s odpovídajícími optickými filtry připojenou k osciloskopu byly zaznamenány časové průběhy proudu budící laserovou diodou a intenzity generovaného záření. Záření bylo generováno se zpožděním zhruba 2 ms po náběžné hraně proudu budící diodou při maximálním výkonu. Délka pulzu generovaného záření naměřená na prahu intenzity byla zhruba 7,5 ms. Časové průběhy laserového záření z Er:YAG systému jsou uvedeny na Obr. 5.



Obr. 5. Časové průběhy generovaného laserového záření (kanál 1 – žlutě) a budícího proudu procházejícího laserovou diodou (kanál 2 – modře). Proud laserovou diodou: **(a)** $I_{LD} = 9 \text{ A}$, **(b)** $I_{LD} = 40 \text{ A}$.

4 Absorpce laserového záření v optickém systému simulujícím lidské oko

Na závěr jsme na optickém systému simulujícím lidské oko demonstrovali absorpci generovaného záření Er:YAG laseru v okolí vlnové délky 1643 nm, a tedy relativní bezpečnost tohoto záření před průnikem na oční sítnici. K tomuto účelu byly použity kyvety různých tloušťek (5, 10 a 20 mm) naplněné mírně slanou vodou zamíchanou šroubovákem. Měřen byl výkon bez a s těmito kyvetami, z čehož byl následně dopočítán výkon záření absorbovaný ve vodě. Za kyvetou o tloušťce 5 mm došlo k poklesu výkonu ze 181 mW na 8 mW, u kyvety s tloušťkou 10 mm na 3 mW a u 20 mm tlusté kyvety na 1 mW. To odpovídá útlumu zhruba 95,6 % pro 5 mm, 98,3 % pro 10 mm a 99,4 % pro 20 mm vody.

5 Diskuse a závěr

Závěrem lze potvrdit, že oční sítnice v oku tvořeném vodou přibližně z 98 % a při typickém průměru oka kolem ~24 mm [3], by neměla být laserovým zářením o vlnové délce 1643 nm ohrožena. Při dlouhodobém vystavení oka tomuto záření však nelze vyloučit jiné trvalé oční vady například na rohovce a čočce, v důsledku absorpce energie v těchto předních strukturách oka.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům (hlavně rodině Svobodových) a sponzorům Týdne vědy na Jaderce 2025 za důvěru a možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři, tvorby vlastního článku, za prostředky pro jeho vytvoření a také Ing. Adamu Říhovi za vedení miniprojektu a velkou ochotu při zpracování výsledků a tvorbě příspěvků do sborníku.

Literatura

- [1] ZHARIKOV, E. V., ZHEKOV, V. I., KULEVSKII, L. A., MURINA, T. M., OSIKO, V. V., PROKHOROV, A. M., SAVEL'EV, A. D., SMIRNOV, V. V., STARIKOV, B. P. a TIMOSHECHKIN, M. I.: Stimulated emission from Er^{3+} ions in yttrium aluminum garnet crystals at $\lambda = 2.94 \mu\text{m}$. *Soviet Journal of Quantum Electronics* [online]. 1975, **4**(8), 1039. ISSN 0049-1748. Dostupné z: doi:10.1070/QE1975v004n08ABEH011147
- [2] KIMURA, Y. a NAKAZAWA, M.: Lasing characteristics of Er^{3+} -doped silica fibers from 1553 up to 1603 nm. *Journal of Applied Physics* [online]. 1988, **64**(2), 516–520. ISSN 0021-8979. Dostupné z: doi:10.1063/1.341990
- [3] ŠVEJKAR, R., ŘÍHA, A., NĚMEC, M. a VESELSKÝ, K.: Postavte si laserový zaměřovač [online], dostupné z: http://richardsvejkar.cz/assets/tyden_vedy_2024_navod.pdf

Produkce Z bosonu v simulovaných p + p srážkách

Hana Vitulová¹, Lukáš Machatý², Ondřej Chytil³

¹GOA Bučovice; hana.vitulova@seznam.cz

²Gymnázium Mozartova; machaty.lukas@seznam.cz

³Masarykovo gymnázium Vsetín; ondrej.chytil@student.mgvsetin.cz

Ing. O. Zaplatílek, Ing. M. Myška Ph.D., KF JFI ČVUT

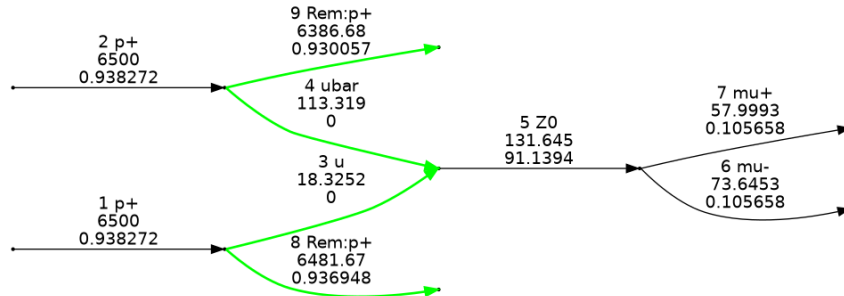
Abstrakt

Práce se věnuje simulaci protonových srážek v LHC (Large Hadron Collider) urychlovači za vzniku Z bosonů. Jedná se o vhodnou částici pro studium fyziky mikrosvěta. Cílem je stanovit základní vlastnosti tohoto bosonu pomocí metody Monte Carlo programu Herwig 7. Určili jsme hmotnost, rozpadovou šířku a pozorovali symetrii pseudorapidity a četnost jetů.

1 Úvod

1.1 Z boson

Z boson je jedna z elementárních částic Standardního modelu. Společně s W^+ a W^- bosony to jsou zprostředkující částice slabé jaderné interakce. Jeho spinové číslo je 1 a nemá elektrický náboj, je tedy svojí vlastní antičásticí. Jeho klidová hmotnost odpovídá přibližně 91,19 GeV, což z něho dělá třetí nejtěžší elementární částici. Délka života je zhruba $3 \cdot 10^{-25}$ s a rozpadá se s největší pravděpodobností na kvarky. Často se využívá ke kalibraci různých detektorů díky známé hmotnosti a čistému detektrovanému signálu v leptonovém kanále s muony. Základem takové interakce protonů je kvark anti-kvarková anihilace za vzniku Z bosonu. Herwig nám dle partonové distribuce vybral kvarky u a $\bar{u}$, jak je zobrazeno na Obr. 1. Tuto část srážky doprovází množství dalších procesů a jevů, takže výsledkem je velké množství částic, nejen pár $\mu^- \mu^+$.



Obrázek 1: Produkce a následný rozpad Z bosonu

1.2 Lagrangián

Matematickým základem popisu interakce Z bosonu a vzniklého páru $\mu^-\mu^+$, ale obecně i dalších intrakcí v rámci Standardního modelu, je Lagrangián. Přičemž řešením Lagrangiánu dostáváme vlnovou funkci, jejíž kvadrát reprezentuje pravděpodobnost procesu.

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

2 Monte Carlo simulace protonových srážek

Vzhledem k absenci urychlovače částic jakožto LHC jsme se museli uchýlit k alternativnímu řešení. Pro nás to znamenalo, že jsme museli využívat Monte Carlo generátor Herwig7 [1], který jako jeden z mála dokáže vygenerovat požadované srážky částic a simulovat tak prostředí kolize. Samotný program Herwig7 jsme ovládali na dálku s pomocí softwaru PuTTY, neboť běžel na výpočetním clusteru ukrytém na FJFI.

Samotný Z boson má mnoho rozpadových módů [2], ovšem v rámci našeho projektu jsme uvažovali pouze případ, kdy se rozpadá dle vzoru jako $pp \rightarrow Z \rightarrow \mu^-\mu^+$, což zabírá pouhých 3,36 % všech možností. Tuto možnost jsme tedy uskutečnili upravením samotného skriptu, kdy jsme zakomentovali možnosti rozpadu na ostatní možnosti.

Při generaci srážek jsme si mohli díky skriptům v jazyce C++ [3] navolit libovolný počet srážek. V našem případě jsme pracovali v rozmezí 10 000 – 50 000 srážek. Tato data jsme následně analyzovali a zjistili potřebné věci – spektrum hmotnosti samotného Z bosonu, rapiditu vylétávajících částic vzniklých v rozpadu, kolik jetů se zformovalo z barevně nabitých kvarků a příčnou hybnost Z bosonu.

3 Výsledky a diskuze

3.1 Spektrum hmotností

Odvozené spektrum invariantní hmotnosti Z bosonu v obr. 2 jsme dále proložili hladkou křivkou – fitovali jsme hladkou funkcí – pro Gaussovo normální rozdělení (2) a Bright-Wiegnerovo rozdělení (3). Námi fitované parametry pro kýženu invariantní hmotnost Z bosonu jsme ztotožnili s parametrem μ , x_0 . Dalším kýženým parametrem byla rozpadová šířka Z bosonu Γ . Invariantní hmotnost činila $(90,99 \pm 0,01)$ GeV; rozpadová šířka nám vyšla $(2,87 \pm 0,04)$ GeV.

$$\text{Gauss}(x, \mu, \sigma) = A e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

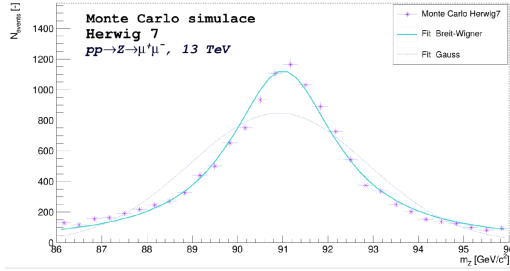
$$\text{Bright-Wiegner}(x; A, \Gamma, x_0) = A \frac{\frac{\Gamma}{2}}{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2 + (x - x_0)^2} \quad (3)$$

3.2 Příčná hybnost

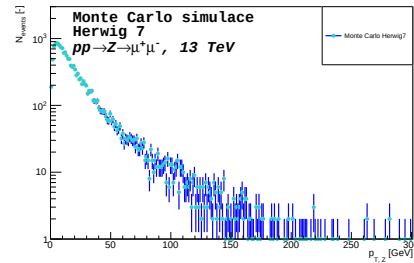
Tato Lorentzovsky invariantní veličina se vyznačuje tím, že je kolmá na srážku. Důležitým poznatkem je, že příčná hybnost se vyskytuje vždy u částic, které zinteragují.

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad (4)$$

Narozdíl od z-ové složky hybnosti se příčná hybnost nemůže skládat z pozůstatků protonů, které pouze proletí ve směru srážky a nebudou interagovat.



Obrázek 2: Spektrum invariantní hmotnosti Z bosonu



Obrázek 3: Závislost příčné hybnosti na generovaných eventech

3.3 Pseudorapidita

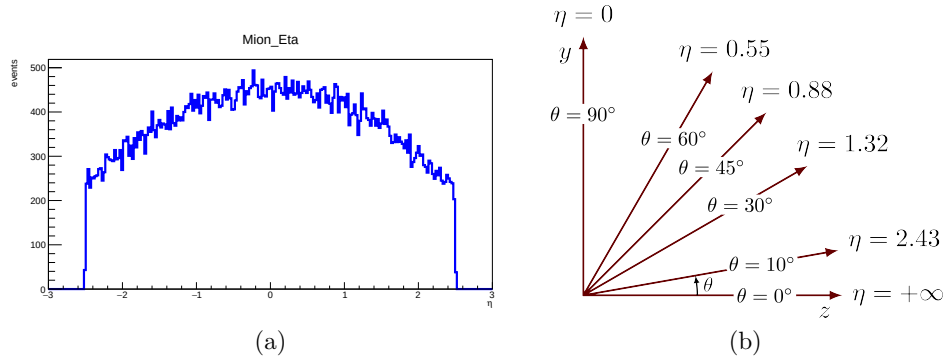
Pseudorapiditu lze chápat jako funkci azimutálního úhlu nově vzniklé částice od osy protonového svazku. Jejím účelem je popsat směr vzniklé částice a je invariantní vůči změnám souřadnic v podélném směru pro relativistické částice. Pseudorapiditu lze vypočítat podle vztahu (5).

$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (5)$$

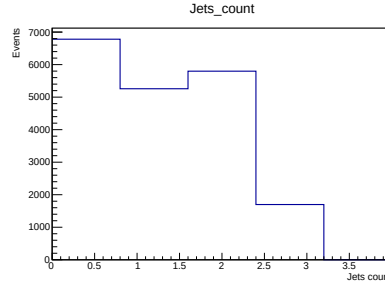
Nejprve jsme pomocí programu Herwig 7 vygenerovali simulaci srážek protonů, při kterých došlo ke vzniku bosonu Z a následnému rozpadu na leptonový pár μ^- a μ^+ . Pomocí čtyřhybnosti jednotlivých leptonů jsme určili pseudorapiditu každé částice. Analyzovali jsme data a přišli k výsledku přibližné symetrie záporných a kladných hodnot, přičemž většině srážek náležela hodnota eta přibližující se nule.

3.4 Jety

Při srážce protonů vzniká masa částic – kvarků, gluonů a leptonů. Kvarky však neexistují samostatně, tvoří vázané objekty, tzv. hadrony, ve kterých se kvarky váží po dvou, třech nebo pěti. Procesu vzniku hadronů říkáme hadronizace. Tento proces si můžeme představit na příkladu silné barevné struny, která při natažení začíná praskat a v místě porušení vzniká pár kvark – antikvark, který se následně váže ke kvarkům původním, a vzniká tak barevně neutrální hadron. Jet je tedy velké množství hadronů vyzářených v jednom daném směru.



Obrázek 4: Pseudorapidita vzniklých částic



Obrázek 5: Závislost počtu vzniklých jetů na eventech

4 Závěr

Pomocí Monte Carlo generátoru srážek částic Herwig 7 jsme určili invariantní hmotnost Z bosonu $(90,99 \pm 0,01)$ GeV a vypočítali jsme jeho šířku $(2,87 \pm 0,04)$ GeV, což je o 15 % více, než uvádí Particle Data Group [2]. Pozorovali jsme také, že vyjma Z bosonu jsou proton-protonovými srážkami produkovány další částice, které vyčítáme hromadně jako shluk částic tvaru kužele označovaný jako jet. Naše výsledky jsme dále porovnávali s referenčními hodnotami z Particle Data Group.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Miroslavu Myškovi a Otovi Zaplatílkovi za odborné vedení mini-projektu, výklad tématu a příjemný přístup.

Odkazy

1. BELLM, J. et al. Herwig 7.1 Release Note. 2017. Dostupné z arXiv: 1705.06919 [hep-ph].
2. NAVAS, S. et al. Review of particle physics. *Phys. Rev. D*. 2024, roč. 110, č. 3, s. 030001. Dostupné z DOI: 10.1103/PhysRevD.110.030001.
3. O. ZAPLATILEK, M. M. *Týden vědy - Z boson* [online]. 2025. [cit. 2025-06-24]. Dostupné z: https://gitlab.cern.ch/ozaplati/TydenVedy/-/tree/master?ref_type=heads. Accessed on 24 June 2025.

Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

O. Hartman¹, R. Hrenovica², N. Hušková³,

T. Zgabaj⁴

¹ SZŠ a OA Klatovy; ondrahartman07@gmail.com

² Gymnázium, SOŠ a PTK, s.r.o.; rej.hrenovica@gmail.com

³ Gymnázium V. B. Třebízského, Slaný, huskova.natalie@seznam.cz

⁴ Gymnázium Františka Palackého, Valašské Meziříčí;
tzgabaj@gmail.com

Garant: Ing. M. Tichý, CSc.; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt:

Cílem tohoto miniprojektu bylo seznámit se s radioaktivním zářením, jeho jednotlivými druhy a metodami jejich detekce. V rámci práce jsme se zaměřili na dolet α částic a prostup γ záření různými materiály, přičemž jsme si tyto jevy ověřili pomocí experimentů.

1 Úvod

Radioaktivita je samovolný rozpad nestabilních atomových jader, při které dochází k přechodu z vyššího energetického stavu do nižšího. Záření nemusí vznikat pouze samovolným rozpadem jader, ale může být také vyvoláno lidskou činností, například v jaderných reaktorech nebo urychlovačích částic.

Radioaktivní záření lze rozdělit na částicové a elektromagnetické. α záření se skládá ze dvou protonů a dvou neutronů, což znamená, že jde o proud jader helia. Přebytečná energie se při jeho vzniku přeměňuje na hmotu α částice, její kinetickou energii, kinetickou energii dceřiného jádra a často i na doprovodné γ záření. β záření tvoří proud elektronů nebo pozitronů. Zde se přebytečná energie přeměňuje na hmotu β částic, jejich kinetickou energii, energii neutrina a někdy také na γ záření. Přebytek energie se v γ záření uvolňuje v podobě elektromagnetického záření, tj. proudu fotonů. Každé z těchto záření má své vlastní specifické vlastnosti.

2 Měření doletu a energie α částic a měření zeslabení γ záření různými materiály

Během práce jsme měřili dolet a následně energii záření α emitovaného zdrojem tvořeným z Am-241 pomocí detektoru MiniPIX TPX EDU a schopnost určitých materiálů zeslabovat záření γ emitovaného zářičem tvořeným z Cs-137 pomocí scintilačního detektoru NaI (Tl).

2.1 Měření doletu a energie α částic

Měřili jsme počet částic evidovaných na detektoru v závislosti na vzdálenosti zdroje záření. Naměřené hodnoty jsme následně zkorigovali pro prostorový úhel plochy detektoru, abychom získali hodnotu celkového počtu částic. Pro výpočet jsme použili následující vztah.

$$N = \frac{4\pi d^2}{P} N_m$$

Kde N je celkový počet částic, d je vzdálenost detektoru od zdroje, P je plocha detektoru a N_m je počet částic evidovaných detektorem.

Měření jsme prováděli ve vzdálenostech 19,7-39,7 mm. Plocha detektoru byla 280 mm². Jednotlivá měření se lišila o 1 mm. Každé měření probíhalo 1 minutu. Ze získaných hodnot jsme vytvořili graf závislosti počtu α částic na vzdálenosti detektoru a zářiče. Vzniklý graf jsme proložili polynomicou funkcí čtvrtého řádu. Souřadnice x inflexního bodu pak přibližně odpovídá vzdálenosti doletu α částic. K numerickému vyhodnocení druhé derivace funkce a inflexního bodu jsme použili ChatGPT-4o.

Následně jsme určili energie α částic Geigerova empirického vztahu pro dolet ve vzduchu.

$$E_k = \left(\frac{R_s}{0,318}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Kde E_k je energie částice α , R_s je vzdálenost doletu a 0,318 cm·MeV⁻¹ je koeficient specifický pro vzduch.

2.2 Měření zeslabení γ záření různými materiály

Cílem měření zeslabení γ záření z Cesia-137 v olověné kobce (jehož energie je 662keV) bylo vypočtení μ (lineární absorpční koeficient) a dokázání, že se zvětšující se tloušťkou stínění, dochází ke snižování intenzity záření.

Zkoumali jsme pronikavost skrze různé materiály, konkrétně hliníkové, železné a olověné destičky o určité tloušťce, které jsme postupně instalovali mezi zářič a scintilační detektor NaI (TI).

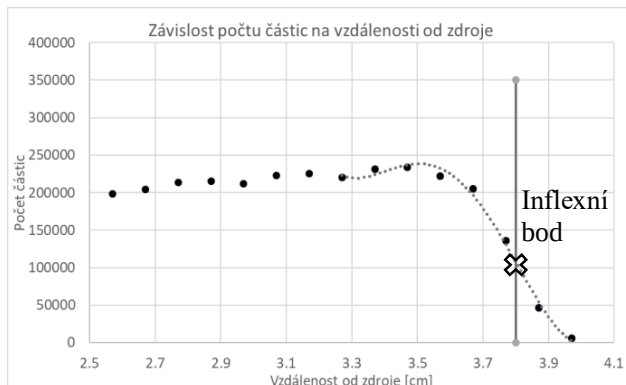
Po nainstalování jsme otevřeli stínění zdroje a nechali detektor zaznamenávat záření γ po dobu 45 sekund, poté opět uzavřeli a navýšili tloušťku stínícího materiálu o další vrstvu. Zaznamenané údaje jsme zpracovali v programu Microsoft Excel do příslušných tabulek a grafů při použití vzorce $I = I_0 e^{-\mu x}$ a následným zlogaritmováním vznikl $\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x$ a dosazením do grafu jsme zjistili hodnotu trendu, tedy velikost μ .

V tomto vzorci je I intenzitou záření se zastíněním, I_0 je intenzitou záření bez zastínění, e je Eulerovo číslo, μ je lineárním absorpčním koeficientem a x je polotloušťkou stínění.

3 Výsledky a diskuze

3.1 Výsledky měření doletu a energie α částic

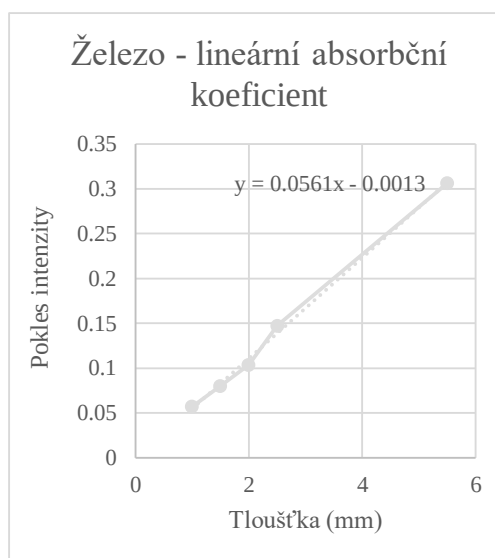
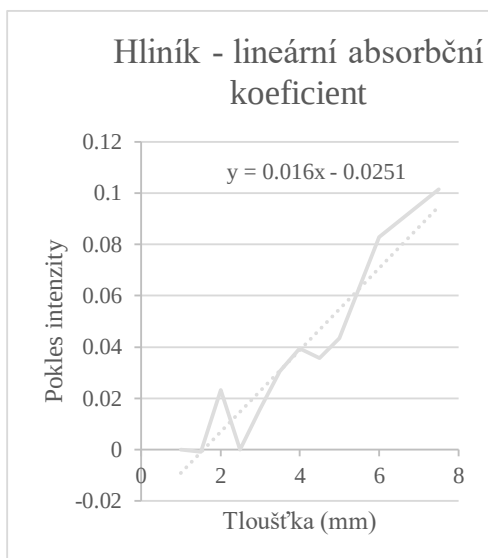
V grafu je zaznamenána závislost počtu α částic a vzdálenosti detektoru od zdroje a také je vyznačen inflexní bod proložené křivky.

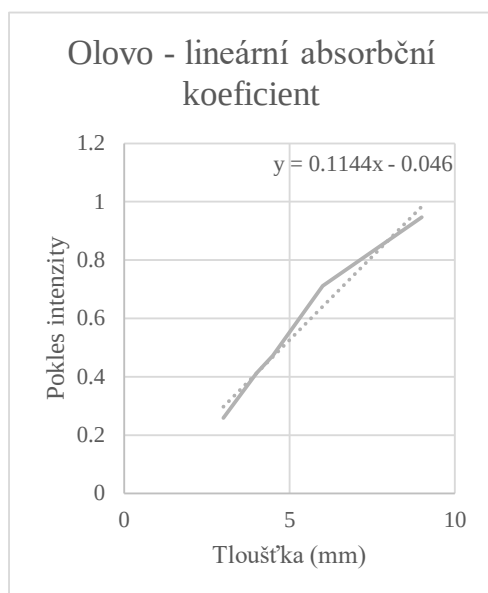


Naměřený dolet α je tedy přibližně 3,81 cm, což se liší od hodnot z literatury 4,06 cm, tzn. o 6,2 %. Naměřená energie α částic je přibližně 5,23 MeV, což se liší od hodnoty z literatury 5,46 MeV tzn. o 4,2 %. Hodnoty pro dolet a energii α částic z literatury jsou váženým průměrem tří různých píků α částic. Námi použitý detektor nedokáže tyto částice od sebe odlišit. Rozdíly byly pravděpodobně způsobeny statistickými chybami a chybami měření. Chyby měření byly způsobeny pravděpodobně evidováním některých α částic jako elektronů nebo mionů. Přesnost měření by bylo možné výrazně zvýšit jeho opakováním a měřením pro více různých vzdáleností.

3.2 Výsledky měření pronikavosti γ záření

Na následujících grafech můžete pozorovat výslednou hodnotu μ u jednotlivých materiálů.





Prvek	Naměřené μ	μ z literatury	Procentuální výchylka
Hliník	0,016	0,0207	23 %
Železo	0,0561	0,0593	6 %
Olovo	0,1144	0,1306	13 %

4 Shrnutí

V tomto miniprojektu jsme zjišťovali dolet α -částic a vliv různých materiálů a jejich tloušťek na zeslabení záření γ . Možné nepřesnosti mohou být způsobeny detekcí částic α jako jiné částice v prvním experimentu, či pomalejším zavřením kobky u druhého experimentu. Navzdory chybám měření se podařilo ověřit přibližné hodnoty podle očekávání.

5 Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat panu garantovi Ing. Miloši Tichému, CSc. nejen za skvělé vedení, ale i trpělivost a pomoc s celým miniprojektem. Dále bychom chtěli poděkovat Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze za poskytnutí prostor a prostředků pro provedení experimentů. Naše díky samozřejmě patří i FJFI ČVUT v Praze za pořádání akce Týden vědy na Jaderce a také všem jejich sponzorům.

Reference

- [1] TICHÝ, Miloš. *Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti*. Online. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/napln/mp-materialy/uvod-do-radioaktivity-2025.pdf>. [cit. 2025-06-23].
- [2] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 7. Prometheus, 2024. ISBN 978-80-7196-572-5.
- [3] UNIVERSITY OF ILLINOIS URBANA-CHAMPAIGN. *Linear attenuation coefficients, and Atomic attenuation coefficient*. Online. Dostupné z: https://courses.physics.illinois.edu/npre441/sp2020/lctr%20notes/lecture_chapter4_2020_att_coefficient_photons.pdf [cit. 2025-06-24].
- [4] IAEA. *IAEA Isotope Browser*. [mobilní aplikace]. Vienna: International Atomic Energy Agency, dostupné z: <https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/Isotope-Browser.aspx> [cit. 2025-06-24].

Rozpoznávání číslic pomocí neuronových sítí

Ondřej Nevěril¹

¹G Zábřeh; ondra.neveril@centrum.cz

Ing. Jiří Löffelmann, školitel; KLFF FJFI ČVUT

Abstrakt

Cílem tohoto projektu bylo vytvoření neuronové sítě, jež bude schopna rozpoznávat ručně psané číslice z otevřeného datasetu. Klíčovým prvkem bylo správné nastavení parametrů neuronové sítě s cílem dosáhnout co nejvyšší přesnosti.

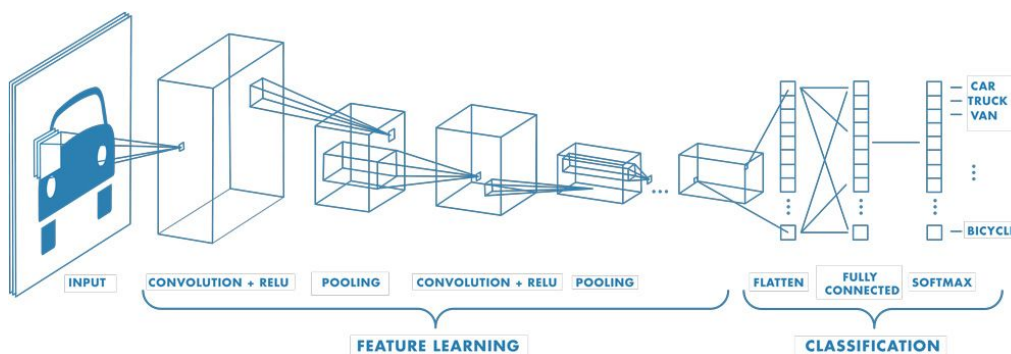
1 Úvod

Jedním z možných využití neuronových sítí a strojového učení je rozpoznávání obrazu. Jednoduchým příkladem je dataset MNIST [1], jež obsahuje 60000 záznamů ručně psaných číslic standardizované podoby. Jsou psány bílou barvou na černém pozadí a mají rozměry 28×28 pixelů.

Tyto číslice mohou být snadno rozpoznány neuronovou sítí, jež se natrénuje na trénovací části datasetu a následně se potvrdí její přesnost na testovacím datasetu. Cílem projektu bylo dosáhnout přesnosti 99 %, což je hodnota, která vzhledem k povaze některých obrázků, může snadno překonat i člověka.

Přestože tento dataset je velice známý a má řadu lepších řešení, je dobrým příkladem pro naučení se práce s konvolučními neuronovými sítěmi a výhodami jejich využití.

2 Konvoluční neuronové sítě

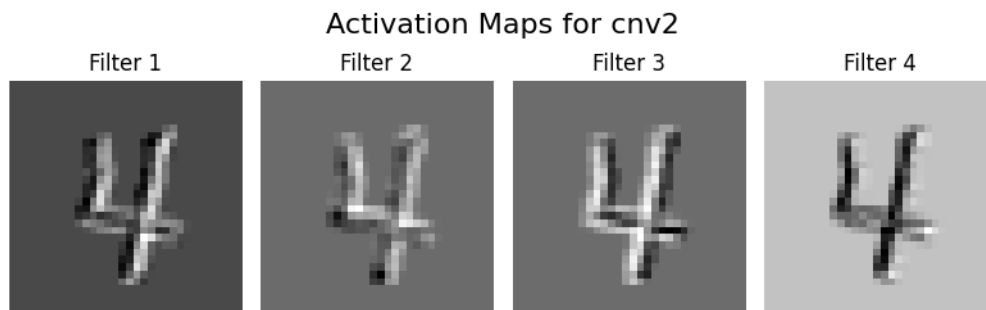


Obrázek 1: Ukázka konvoluční neuronové sítě

Konvoluční neuronové sítě fungují na následujícím principu: ve vstupním obrázku si vytvoří „okno“ (kernel) o velikosti několika pixelů a pomocí těchto pixelů přepočítá

všechny body obrázku. Následně tímto „oknem“ posouvá tak, aby postupně pokrylo celý obrázek.

Funkčnost konvoluční vrstvy lze zlepšit zvýšením počtu kanálů, neboť díky tomuto je neuronová síť schopná pozorovat i složitější vzory. Pro redukci nepotřebných informací by měla následovat další vrstva, zvaná pooling. Jejím účelem je vybrat maximální hodnotu mezi sousední pixely a zredukovat tak velikost obrázku. Díky vhodnému kombinování těchto vrstev se předá mnohem více informací, které poté může zpracovat běžná neuronová síť, které tak stačí mnohem méně vrstev.

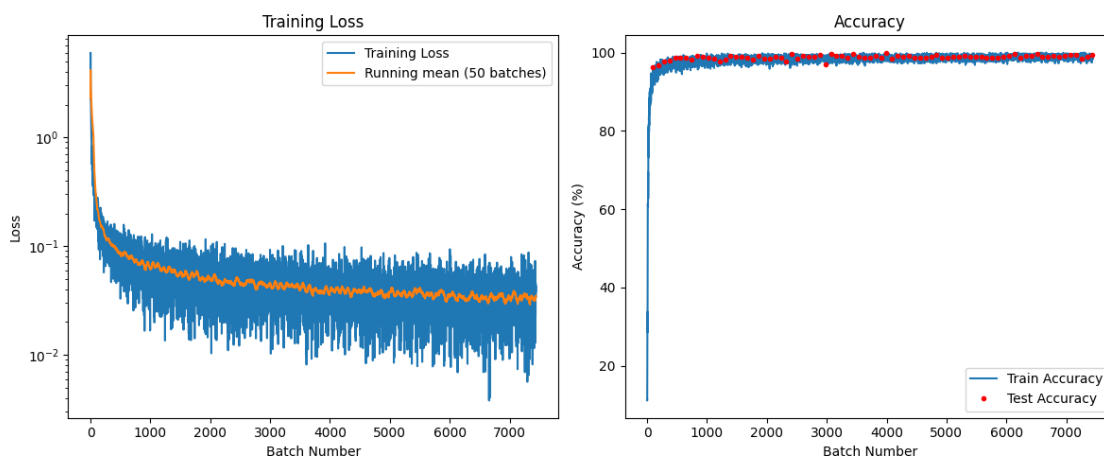


Obrázek 2: Číslice 4 pohledem různých filtrů konvoluční sítě

3 Metodika

V průběhu práce jsem se snažil vytvořit vhodnou architekturu neuronové sítě tak, abych dosáhl co nejvyšší spolehlivosti. Klíčové tedy bylo správné nastavení parametrů jednotlivých částí neuronové sítě, převážně u konvoluční vrstvy.

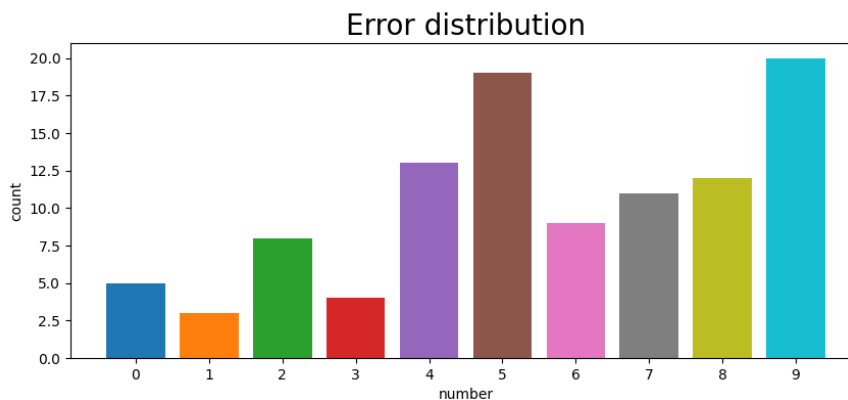
Prvním úkolem bylo vytvořit jednoduchou neuronovou síť na bázi vícevrstvého perceptronu, tedy základní neuronové sítě s několika skrytými vrstvami. Při použití 300 neuronů v každé skryté vrstvě se mi podařilo dosáhnout úspěšnosti 94 %, která předčila původní očekávání.



Obrázek 3: Vlevo – Chybovost v průběhu učení konvoluční sítě, Vpravo – Přesnost testovacích datasetů po jednotlivých epochách

Následně jsem použil konvoluční neuronovou síť tvořenou střídavě dvěma konvolučními vrstvami a dvěma maxpooly, dále následovanou perceptronem o jediné vrstvě. Během trénování sítě se úspěšnost testovacího setu pohybovala okolo 98 až 99 % (Obrázek 3). Po natrénování 80 epoch nakonec činila přesnost rozpoznávání 99.13 %. Ještě vyšších hodnot by bylo možné dosáhnout lepší volbou parametrů a také použitím hlubší sítě. Zde jsem však již narážel na problém kvůli vyčerpání paměti dostupného procesoru a grafické karty serveru vývojového prostředí Google Colab.

Analýza chybovosti jednotlivých cifer pak vede k závěru, že nejčastěji k chybám docházelo u cifry 9, která může být zaměněna např. s ciframi 3, 4, 8 a naopak cifra 4 může být snadno zaměněna za cifru 9, a dále cifry 5, místo které neuronová síť často předvídala 3, nebo 6.



Obrázek 4: Četnost jednotlivých cifer mezi chybně vyhodnocenými obrázky

4 Závěr

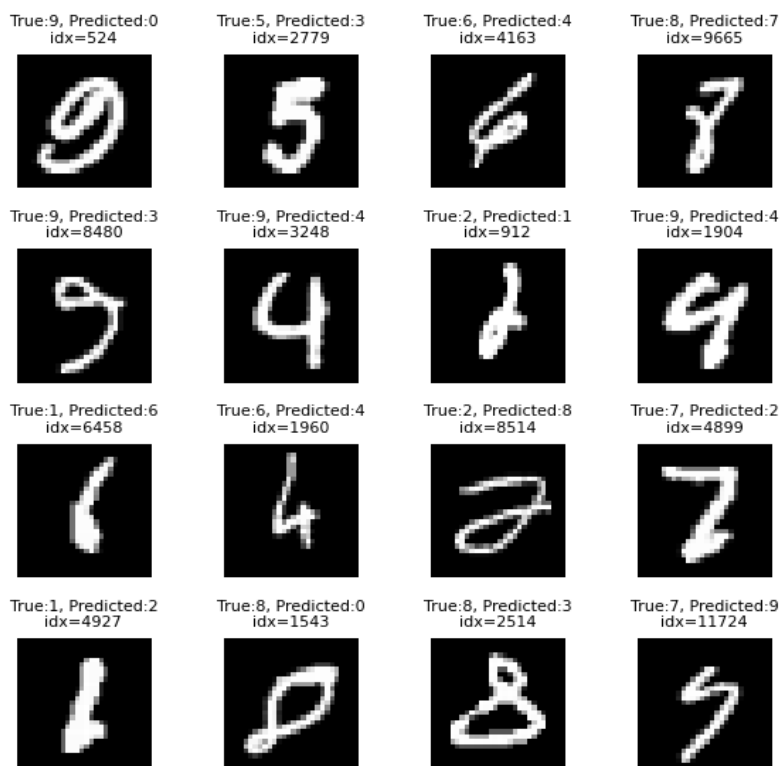
Podarilo se mi navrhnut a natrénovat neuronovou síť určenou k rozpoznávání ručně psaných číslic. Původně vytyčeného cíle se podařilo dosáhnout, neboť výsledná úspěšnost činila 99.13 %.

Díky analýze konkrétních chybně vyhodnocených číslic jsem ovšem dospěl k závěru, že lepší přesnost ani nešlo očekávat, neboť chyba nastala převážně u číslic, které byly napsány tak, že s jejich vyhodnocováním by i člověk mohl mít problém. V článku [2] je dokonce uvedeno, že lidská úspěšnost se pohybuje pouze okolo 97 %, svoji neuronovou síť tak můžu prohlásit alespoň za úspěšnější, než jsou schopnosti člověka rozeznávat ručně psané číslice.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem organizátorům týdne vědy na Jaderce a ČVUT za poskytnutí prostorů. Speciální díky patří odbornému garantovi Ing. Jířímu Löffelmannovi, bez jehož vedení a pomoci bych to nikdy sám nezvládl.

Selected Misclassified Samples



Obrázek 5: Příklady chybně vyhodnocených číslic a jejich správná řešení

Odkazy

1. LECUN, Y.; CORTES, C.; BURGESS, C. J. *The MNIST Database of Handwritten Digits* [<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>]. 1998. Accessed: 2025-06-24.
2. LECUN, Y.; BOTTOU, L.; BENGIO, Y.; HAFFNER, P. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*. 1998, roč. 86, č. 11, s. 2278–2324. Dostupné z DOI: 10.1109/5.726791.

Proč to nebouchá? aneb LOCA v ABWR

P. Barta¹, J. Marek²

Matiční gymnázium Ostrava; bartap123@seznam.cz

Baku International School, Baku; josefmrk2007@gmail.com

Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.; KJR FJFI

Abstrakt:

Simulace reakce bezpečnostních systému na trhlinu v reaktorové nádobě typu ABWR. Po identifikování praskliny systémem dojde k odstavení reaktoru a jeho izolaci (odpojení od okruhu a napojení na havarijní okruh), zastavení turbogenerátoru a zapnutí havarijních systémů, které mají za úkol bezpečně chladit reaktor pomocí havarijních čerpadel.

1 Úvod

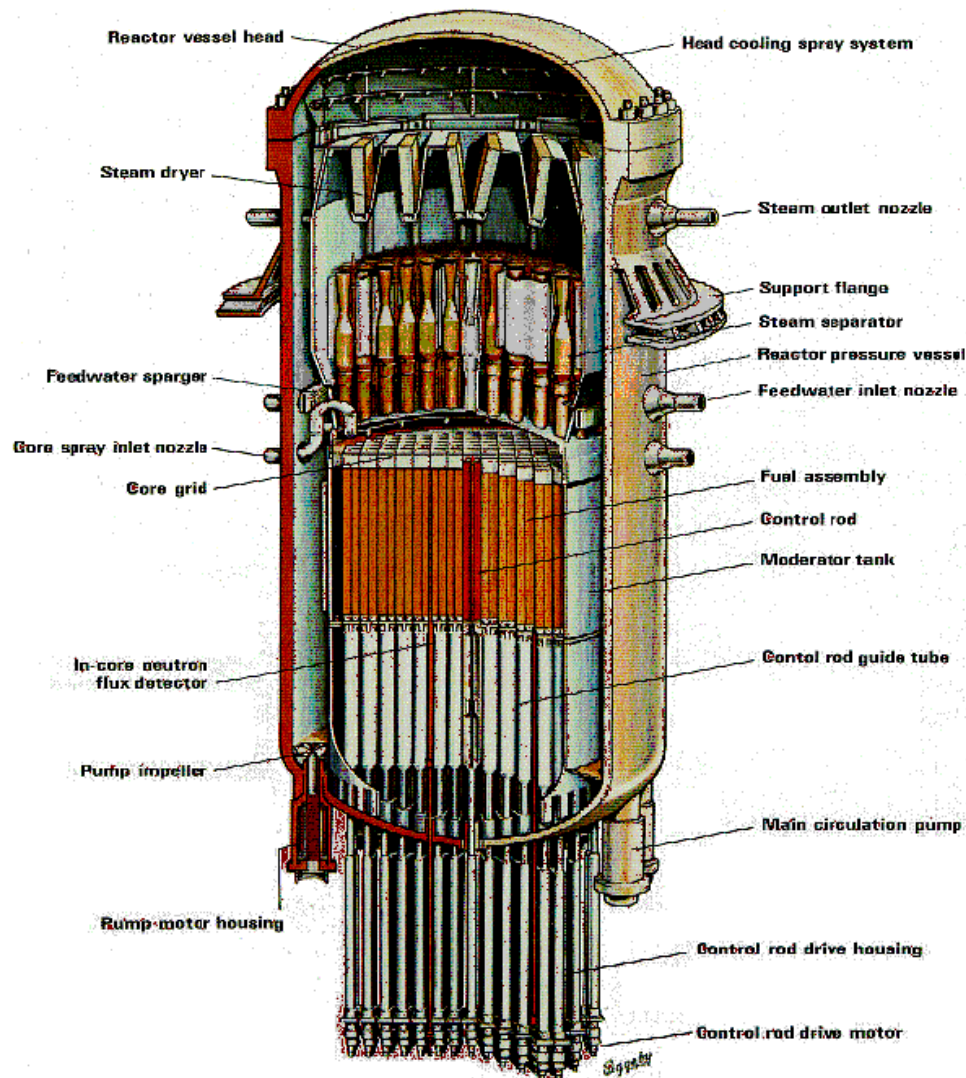
V energetických jaderných reaktorech vzniká pomocí jaderného štěpení velké množství tepelné energie, kterou je zapotřebí odvádět pomocí chladiva, které v případě reaktoru typu **ABWR** představuje směs vody a páry. Pokud chybí přítomnost této směsi, tak může dojít k nevratným poškozením, kterým se snaží zabránit bezpečnostní systémy jaderných elektráren.

Ve vzácných případech může dojít k protržení tlakové nádoby reaktoru, což vede k úniku chladiva mimo tlakovou nádobu, to má za důsledek ztrátu chladiva neboli loss of coolant accident (**LOCA**). Z důvodu nutnosti chlazení reaktoru a možného úniku radiace patří tato havárie mezi nejhorší, a proto na ní musí být elektrárna a systémy připravené už z projektu. A toto je důvod, proč jsme si vybrali tuto havárii k popisu. Jak to že to nebouchá? Jaké jsou bezpečnostní opatření (systémy)? Může za to **Krteček**, který si spletl cestu?

2 Středně velká trhlina v reaktorové nádobě

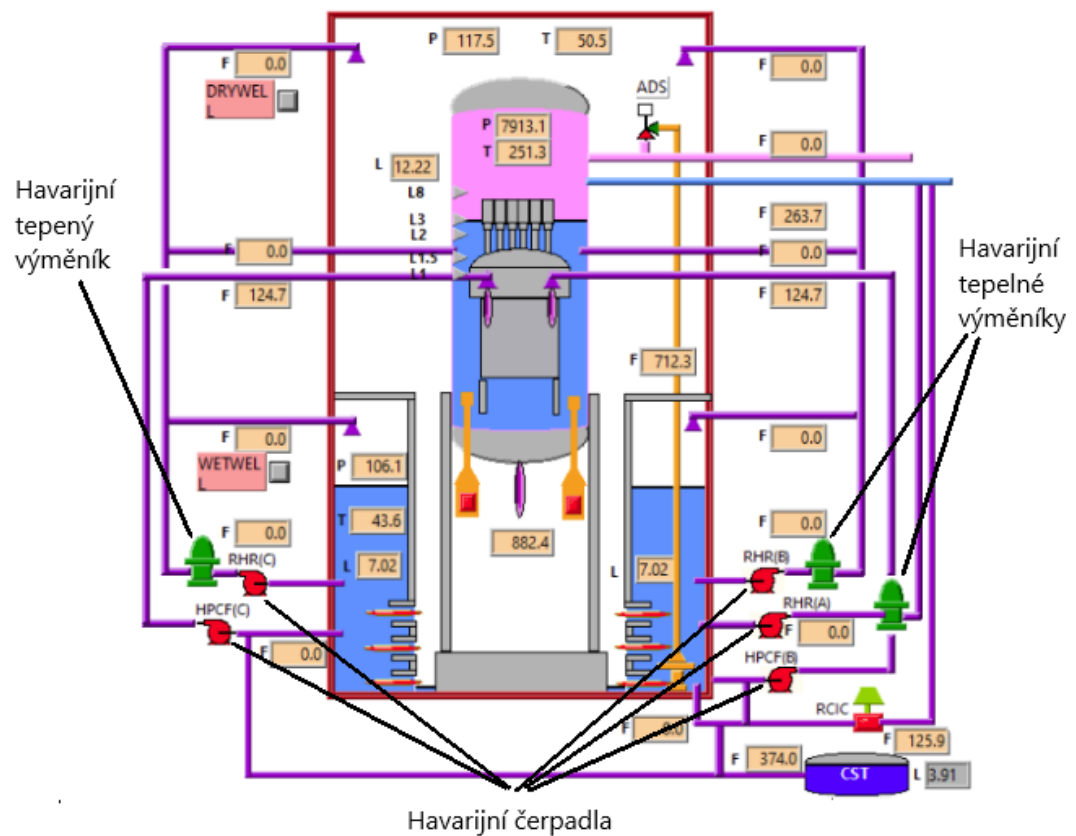
- Trhlina v reaktoru byla simulována v simulátoru IAEA Generic Boiling Water Reactor Simulator. Simulovali jsme havárii **LOCA** o síle úniku 800 kg/s.
- V případě této havárie je nutné co nejdříve odstavit reaktor pomocí systému havarijního odstavení (zasunutí všech tyčí do reaktoru) a zajistit jeho dostatečné chlazení. U systému **ABWR** (viz obrázek) se toto většinou dělá havarijními čerpadly (viz obrázek),

zavřením ventilu přívodu páry do turbogenerátoru.



- Začínáme s reaktorem typu **ABWR** (viz obrázek) při 100 % výkonu, tlaku 7172 kPa a teplotě paliva 583 °C. Po chvíli v simulátoru inscenujeme havárii **LOCA** s průtokem 800 kg/s. Začínáme pozorovat pokles tlaku a vzrůstající únik chladiva ve spodní části reaktorové nádoby Krteček? Začíná klesat hladina vody v reaktoru, což má za důsledek snížení tlaku v reaktoru, což vede ke zvýšení objemu páry v aktivní zóně. Výkon reaktoru se snižuje z důvodu navýšení množství páry v aktivní zóně (snížení moderace). Lehce se zvyšuje tlak a teplota v kontejnmentu což vyvolá automatické **odstavení** reaktoru zasunutím absorpčních tyčí. Také se zapnou havarijní systémy kontejnmentu, které zajišťují chlazení reaktoru, kontejnmentu a také bezpečnou hladinu vody v reaktoru (viz obrázek) pomocí havarijních čerpadel. Neutronový výkon reaktoru jde drasticky dolů kvůli zasouvání řídicích tyčí. Také se otevře přívod chladiva přímo do aktivní zóny. Reaktor se izoluje, což má za důsledek velké zvýšení tlaku v reaktoru i v kontejnmentu. Dochází k odčerpávání z nouzové nádrže CST (nouzové nádrže kondenzátu) do reaktoru (viz obrázek). Dochází k otevírání bypass valve (k odtlačování potrubí turbíny) a výkon turbíny klesá. Turbína nedodává elektrickou energii, tím pádem vypadávají napájecí čerpadla. V reaktoru je velmi málo vody. Začíná lehce klesat průtok prasklinou z důvodu snížení tlaku v reaktoru a zvýšení tlaku v

kontejnmentu. Odvod zbytkového tepla bude zajištěn přes havarijní systémy kontejnmentu.



3 Shrnutí

- Zabezpečovací systémy jsou schopné bezpečně odstavit reaktor a minimalizovat škody, i když je tento typ havárie velmi vzácný a v realitě se nikdy v takovém rozsahu nestal.
- Jak to že, to nebouchá? - Můžou za to bezpečnostní systémy, které nedovolí překročení tlaku nad bezpečnou hladinu.
- Jaké jsou bezpečnostní systémy (opatření)? Automatické odstavení reaktoru pomocí absorpčních tyčí, dostatečné chlazení reaktoru pomocí havarijních čerpadel a výměníků a také nouzová zásoba chladiva.
- Může za to **Krteček**, který si spletl cestu? Ano, pokud by se dokázal prokopat minimálně pěti metry betonu. (nic není nemožné)

Poděkování

Ing. Dušan Kobyłka, Ph.D. za pomoc s tvorbou

Ing. Vojtěch Svoboda, Csc. za organizaci akce Týden Vědy na Jaderně

Reference

[1] IAEA Generic Boiling Water Reactor Simulator

Simulace provozu JE typu VVER-440

V. Böhmová¹, V. Dirluhian²

Katedra jaderných reaktorů FJFI ČVUT

¹G Jírovcova, České Budějovice; ver.bohm@gmail.com

²SOS SOU Zámek Kuřim, Kuřim; vladyslavadir@gmail.com

Garant, Ing. Dušan Kobylka Ph.D.; KJR FJFI

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá simulací provozu jaderného elektrárny typu VVER 440/213 a její konstrukci. Cílem projektu bylo analyzovat chování systémů při různých provozních, abnormálních a havarijních stavech na základě úloh v programu SPVS EDU. Dále příspěvek obsahuje podrobnější popis jedné z úloh, a to výpadku HCČ.

1 Úvod

Tlakovodní reaktor VVER-440 je jaderný reaktor sovětského návrhu řady VVER s elektrickým výkonem 440 MW a tepelným výkonem 1375 MW. Toto zařízení je technicky náročné na obsluhu, proto se k výcviku operátorů používá velké množství trenažérů a simulátorů, jako je ten, se kterým jsme také pracovali.

V rámci projektu jsme pomocí simulátoru pozorovaly chování JE v nominálním, abnormálním a havarijním provozu, se kterým jsme následně porovnávaly havarijní scénáře. Prošli jsme deset úloh, kde nám například vypadla hlavní cirkulační čerpadla, obě turbíny či všechna napájecí čerpadla.

2 Reaktor typu VVER – 440

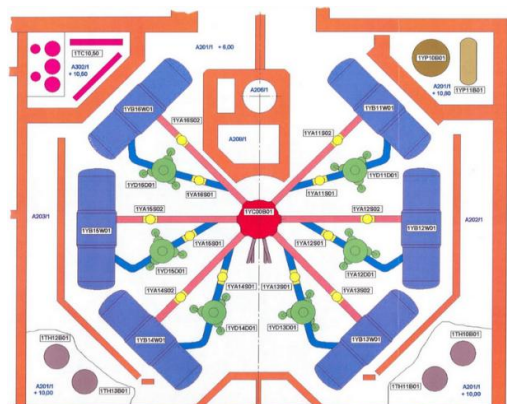
Primární Okruh JE

Primární okruh je v podstatě uzavřený vysokotlakový systém zaplněný demineralizovanou vodou, ta slouží zároveň jako chladivo i moderátor neutronů. Objem chladiva se mění v závislosti na teplotních změnách celého okruhu, a to vyvolává změny v tlaku, v primárním okruhu se tento problém řeší kompenzátozem objemu, pojišťovacími ventily, barbotážní nádrží a systémem doplňování.

Skládá se z reaktoru, ve kterém dochází k přeměně jaderné energie na tepelnou, a to řízenou štěpnou reakcí v palivu. Reakce je řízena sedmi regulačními kazetami, dalších třicet se

používá pouze v havarijních situacích. Tyto kazety mají jak absorpční, tak palivovou část. Palivových souborů se zde nachází 349 a každý obsahuje 126 palivových prutů.

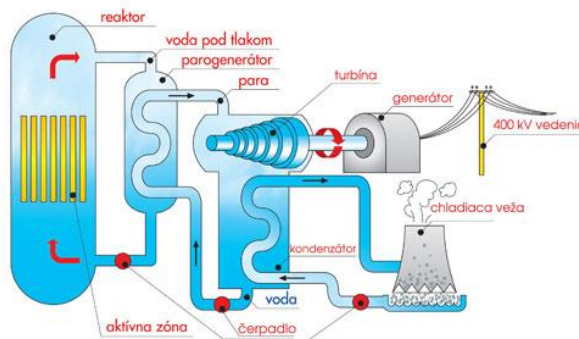
Dále se skládá ze šesti cirkulačních smyček, které zajišťují cirkulaci chladiva primárním okruhem přes aktivní zónu reaktoru, čímž odvádí teplo horkou větví dále do parogenerátoru, tam dochází k výměně tepla do sekundárního okruhu. Chladivo poté pokračuje přes hlavní cirkulační čerpadla zpátky do reaktoru studenou větví (viz obrázek 1). Každá větev dále obsahuje hlavní uzavírací armatury používané k okamžitému uzavření určité části. (Sborník JM EDU, 2024) (Kobylka, 2025)



Obrázek 1: Schéma primárního okruhu (Bárta, 2008)

Sekundární okruh

Sekundární okruh elektrárny tvoří klíčovou součást systému pro přeměnu tepelné energie na elektrickou. Voda v parogenerátoru se pomocí přivedeného tepla z primárního okruhu mění v páru, ta se shromažďuje v hlavním parním kolektoru. Dále pokračuje na vysokotlaké díly dvou paralelních turbín, z nichž pokračuje na nízkotlaké díly přes separátor – přehřívač, a následně do kondenzátoru, kde pára kondenzuje. Kondenzát se dále vede do napájecí nádrže skrze nízkotlakou regeneraci a pokračuje vysokotlakou regenerací zpátky do parogenerátoru (viz Obrázek 2). (Sborník JM EDU, 2024)



Obrázek 2: Schéma sekundárního okruhu

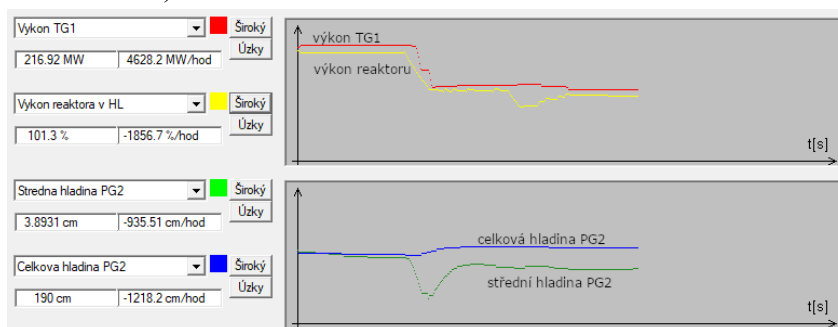
3 Simulace Provozu

K simulaci byl použit program SPVS EDU (výrobce: VUJE a.s.) sloužící k výcviku operátorů reaktoru a běžící na čtyřech počítačích. Z toho dva slouží k ovládání primárního okruhu a další dva k ovládání sekundárního. (Kobylka, 2025)

Simulace výpadku 2 a 6 hlavních cirkulačních čerpadel

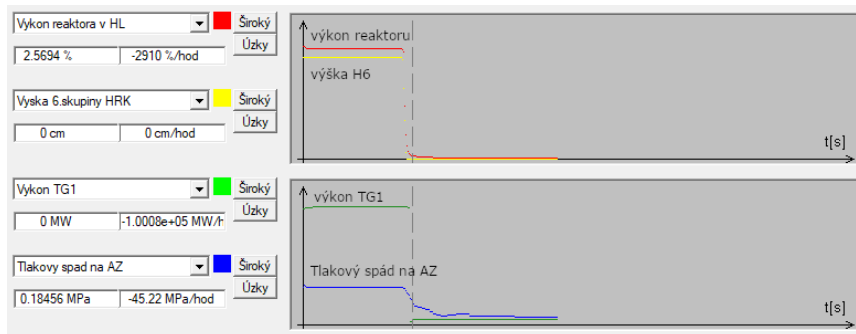
V rámci mini projektu byl simulován výpadek dvou a šesti hlavních cirkulačních čerpadel. Následkem toho byl buď snížený výkon či reaktor plně odstaven.

V prvním případě v čase 100 s vypadne 2. a 5. čerpadlo. První se spustí ochranný systém, který snižuje výkon reaktoru, dále na 130 sekundě se výkon turbín snížil na 137 MW z původních 220 MW, a výkon reaktoru se snížil na 65,3 % nominálního výkonu, což je skoro o půlku. Skupina H6 HRK (6. skupina Havarijních regulačních kazet) se zasunula a spustily se elektro ohříváky na kompenzátoru objemu. Ve 210 s započal zpětný průtok ve 2. a 5. smyčce z důvodu vyššího tlaku na vstupu do reaktoru. V reálné situaci by operátor mohl uzavřít uzavírací armatury a tím zpětný průtok zvrátil. Na konci se výkon reaktoru snížil na polovinu. (viz Obrázek 3)



Obrázek 3: Graf simulace výpadku 2 HCČ (SPVS EDU)

V druhém případě v 91 s vypadlo 1., 2. a 5. čerpadlo, zapne se HO-3 a HO-4 (Systémy omezení výkonu reaktoru). Výkon reaktoru se snížil minimálně, ale začala se zasouvat H6 HRK (6. skupina Havarijních regulačních kazet). V 93 s nastal výpadek zbylých tří čerpadel, zapnulo se HO-1 (Systém rychlého odstavení reaktoru), výkon reaktoru se snížil na 47,3 % a kompenzátor objemu začal vyrovnávat tlak v reaktoru. Pak v čase 99 s se odstavily obě turbíny (TG1 a TG2). Teploty na vstupu a výstupu aktivní zóny se vyrovnaly a reaktor běžel na 2,6 % a minimální výkon nastal ve 231 s.



Obrázek 4: Graf simulace výpadku všech HCČ (SPVS EDU)

4 Shrnutí

Pomocí simulátoru jsme měly možnost simulovat různé situace (např. únik z kompenzátoru objemu, úplnou ztrátu napájení VS bloku a únik PO – SO) včetně námi popsané a změně

parametru primárního a sekundárního okruhu při nichž. Taky jsme měli možnost nahlédnout na tréninkový program pro operátory elektrárny.

Poděkování

Moc děkujeme FJFI a Katedře Jaderných Reaktorů za organizaci a možnost zúčastnit týdnu vědy a Ing. Dušan Kobylka Ph.D. za odborné vedení a vysvětlení technologií elektráren.

5 Reference

- Bárta, M. (2008). Rozbor měření teplot a tlaků na hlavních cirkulačních smyčkách VVER-440. *Bakalářská práce*. Praha: KJR FJFI ČVUT.
- Kobylka, D. (2025). Prezentace projektu týdne vědy. Praha.
- Sborník JM EDU. (2024). ČEZ, a.s.
- SPVS EDU. (nedatováno).

Šíření neutronů prostředím

J. Šrámek¹ and M. Musil²

¹G Boskovice; j.sram3k@gmail.com

²G Altis, Praha; musilmaxmusil398@gmail.com

Ing. Ondřej Huml, Ph.D.; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt

Práce zkoumá účinky prostředí na svazek neutronů a následné změny pohybových (energetických a směrových) vlastností v důsledku neutronových interakcí s danými prostředími. Experiment byl prováděn s jednoduchou aparaturou (vizte obr.4) tvořenou zdrojem neutronového záření, vhodnými detektory neutronů (orientovanými na tepelné a rychlé neutrony) a testovaným prostředím (PE 3-9 cm, Cd, Pb 5-10 cm).

1 Úvod a cíle práce

Cílem této práce je měřit a zpracovat data průniku neutronů skrze různé materiály. Toto téma je nesmírně důležité, a to jak v teoretickém oboru, tak i v praxi, například moderace neutronů v jaderném reaktoru stojí a padá právě na průniku neutronů skrze modrační materiály. Mnoho dalších oborů by se bez těchto dat neobešlo.

Pro nás je ale nyní nejdůležitější, že při průchodu neutronů prostředím mohou nastat primárně 4 scénáře:

- a) neutron proletí skrz beze změny
- b) nastane rozptyl - neutron narazí do jádra, předá kinetickou energii a změní svou dráhu
- c) neutron je absorbován při srážce s jádrem za vzniku nového izotopu (např.: množivé reakce)
- d) násobící reakce - při srážce dojde k uvolnění více neutronů (např.: štěpení)

2 Teoretická část

2.1 Neutrony

Neutron je elementární částice bez elektrického náboje s klidovou hmotností srovnatelnou s hmotností protonu. Neutron je složen ze dvou down a jednoho up quarku a má poločíselné spinové číslo.

Teoreticky se jedná o radioaktivní částici s poločasem přeměny, ale to jen v případě, že

se nenachází v jádře atomu. Radioaktivní přeměna neutronů je však poměrně vzácný jev vzhledem k rychlostem, jež neutrony běžně dosahují.

Na kinetických energiích (rychlostech) jednotlivých neutronů pak závisí pravděpodobnost a druh jejich interakcí při srážce s materiálem. Neutrony dělíme na rychlé s kinetickou energií od stovek keV ($v \approx 5000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$) a tepelné (pomalé) s kinetickou energií od jednotek eV níže.

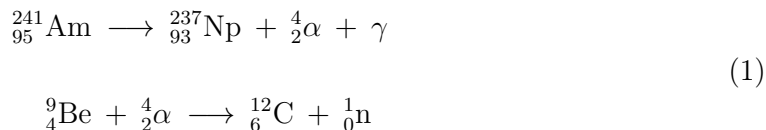
Tabulka 1: Tabulka informací o neutronu

$\mathbf{m_n}$	Hmotnost	$[\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}]$	940
$\mathbf{s}$	Spin	$[-]$	$\frac{1}{2}$
$\mathbf{T_{1/2}}$	Poločas přeměny bez jádra	$[\text{s}]$	887

2.2 Zdroj neutronů

Neutrony se nachází v jádrech atomů a k jejich získání musí proběhnout určitý typ jaderné reakce. Nejběžnějšími zdroji neutronů jsou radionuklidové zdroje - jde o směs vhodných lehkých prvků (Be, C) a radionuklidů (např.: Am, Pu), u kterých dochází k rozpadu radionuklidu vyzářením částice nebo energie, která následně inicuje reakci v jádru lehčího prvku, při které se uvolní neutron.

V našem experimentu byla použita směs AmBe. Dále neutrony vznikají například i v urychlovačích částic nebo jaderných reaktorech.



2.3 Detektor neutronů

Z podstaty neutronů vyplývá, že nemohou ionizovat prostředí, kterým prolétají. Proto je nelze přímo detekovat. Lze ovšem ke klasickému detektoru nabitých částic přidat vrstvu materiálu, která při interakci s neutronem uvolní nabitou částici, kterou je poté možné detekovat (např.: změnou napětí nebo zábleskem). V naší práci jsme použili scintilační detektory na bázi ZnS(Ag) s konvertory ${}^6\text{Li}$ a H.

3 Praktická část

3.1 Pomůcky a materiály

- Zdroj neutronů (AmBe) v odstíněném kontejneru
- Scintilační detektory ZnS(Ag)+H pro rychlé neutrony a ZnS(Ag)+ ${}^6\text{LiF}$ pro tepelné neutrony
- Zdroj γ záření (Cesium-137) pro kalibraci detektorů
- Multikanálový analyzátor DA-310 od firmy TEMA

- 3x PE bloky o šířce 3 cm, PE (+B) blok o šířce 10 cm, 2x Pb bloky o šířce 5 cm, Cd tenká destička
- Polohovací plošina, lepící páska

3.2 Postup

Přistavili jsme polohovací stůl ke kontejneru do vhodné polohy a položili na něj detektor $\text{ZnS}(\text{Ag})+\text{H}$.

Následně jsme změřili tok neutronů bez překážek.

Poté jsme zkalibrovali detektor pomocí Cesia-137 (diskriminace γ záření).

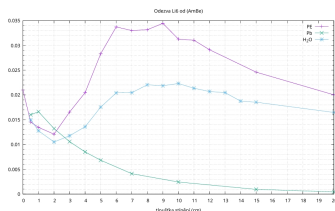
Připevnili jsme detektor na připravené místo a spustili měření.

Postupně jsme v pětiminutových intervalech proměřili konfigurace: PE 3 cm, PE 6 cm, PE 9 cm, PE (+B) 10 cm, PE 9cm + Cd (před sestavou), PE 9 cm + Cd (za sestavou), Cd, Pb 5 cm, Pb 10 cm.

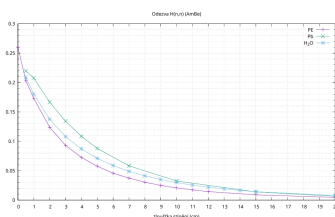
Poté jsme celý proces zopakovali s detektorem $\text{ZnS}(\text{Ag})+^6\text{LiF}$.

Výsledky jsme zaznamenali a vyhodnotili.

3.3 Výsledky simulací



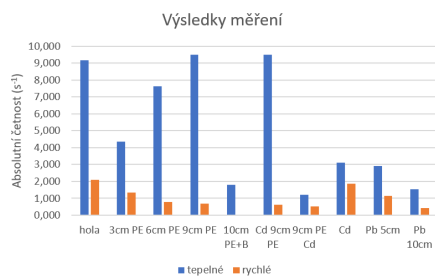
Obrázek 1: Simulace Monte Carlo metodou, měřič $\text{ZnS}(\text{Ag})+^6\text{LiF}$ [1]



Obrázek 2: Simulace Monte Carlo metodou, měřič $\text{ZnS}(\text{Ag})$ [1]

3.4 Výsledky a diskuze

Naměřené hodnoty byly v souladu s předpoklady a simulací pomocí metody Monte Carlo. Při detekci tepelných neutronů pomocí detektoru $\text{ZnS}(\text{Ag})+\text{H}$ byla absolutní četnost u polyethylenu mnohem vyšší, protože tento materiál neutrony kromě odklánění i moderuje (lehká jádra, zákon zachování hybnosti) a s širší vrstvou materiálu se absolutní četnost po počátečním propadu začne zvedat. Kadmiová destička funguje jako dobrý filtr tepelných neutronů (vysoký efektivní průřez), proto při přiložení destičky přímo před detektor četnost markantně klesla. Při přiložení kadmiové destičky přímo před zdroj není úbytek tak



Obrázek 3: Zpracovaná data z měření

vysoký, protože rychlé neutrony projdou skrz a poté se v široké PE vrstvě zpomalí. Při použití deseticentimetrového bloku PE s adovaným borem nastal vysoký pokles, protože bor je schopný velkou část neutronů vychytat (absorbce).

Při měření rychlých neutronů absolutní četnost kontinuálně klesá kvůli zpomalování a odražení neutronů z původního směru toku.

U olova je vidět v obou měřeních znatelný pokles kvůli rozptylovým reakcím. Případné menší odchylky mohly nastat z důvodu mírně rozdílných časů měření. Větší chyba (např.: pohnutí zdrojem nebo měřičem) v průběhu měření nenastala.



Obrázek 4: Detektor ZnS(Ag)

4 Závěr

Výsledky byly v souladu s předpoklady. Potvrdila se myšlenka moderace lehkými jádry vodíku v polyethylenu a trend měření odpovídal simulaci. Olovo odstiňovalo neutrony kvůli rozptylovým reakcím, kadmium kvůli vysokému účinnému průřezu. Větší chyba v průběhu měření nenastala.

Poděkování

Děkujeme Ing. Ondřeji Humlovi. Také děkujeme KJR a FJFI za organizaci a příležitost.

Odkazy

1. HUML, O. *Simulace neutronů Monte Carlo metodou*. [B.r.]. [cit. 2025-06-24].

Small-scale ChatGPT - generování textu pomocí neuronových sítí

B. Marková¹, M. Zášková²

¹ POJ-FM; beatamarkova@icloud.com

² G Ústavní, Praha 8; mzaskodna@gmail.com

Ing. Jiří Löffelmann, školitel; Doktorand na FJFI, obor Počítačová fyzika

Abstrakt:

Tento miniprojekt se zaměřuje na generování českých jmen pomocí jednoduché rekurentní neuronové sítě (RNN) implementované v knihovně PyTorch. Sít' byla trénována na datasetu zveřejněném Ministerstvem vnitra ČR obsahující oficiální seznam jmen, přičemž cílem bylo vytvořit nová, realisticky znějící česká jména. V článku popisujeme použitou architekturu, metodu trénování i způsob generování výstupu. Výsledky ukazují, že i jednoduchá RNN dokáže vytvářet slova s fonetickými znaky češtiny a strukturou blízkou skutečným jménům.

1 Úvod

V posledních letech se generativní modely na bázi hlubokého učení těší velkému zájmu jak ve výzkumu, tak v populárních aplikacích. Typickým příkladem jsou modely schopné generovat texty, obrázky, nebo jména. Česká jména se vyznačují specifickou strukturou a fonetikou, což z nich činí zajímavý datový zdroj pro trénink jednoduché jazykové RNN.

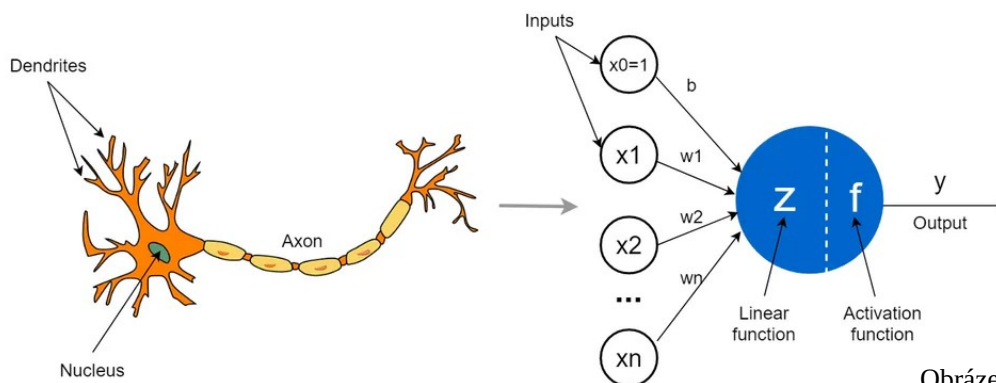
Cílem projektu bylo ověřit, zda jednoduchý neuronový model bez pokročilé architektury (např. LSTM) dokáže zachytit pravidelnosti v datech českých jmen a generovat jejich realistické varianty.

2 Neuronové sítě (Neural Network, NN)

Neuronové sítě jsou jednou z metod učení strojů a mezi další se řadí například **statistické metody** nebo **genetické algoritmy**. Hlavní problematikou je **klasifikace prvků do tříd podle údajů/příznaků**, které byly počítači prezentovány v minulosti.

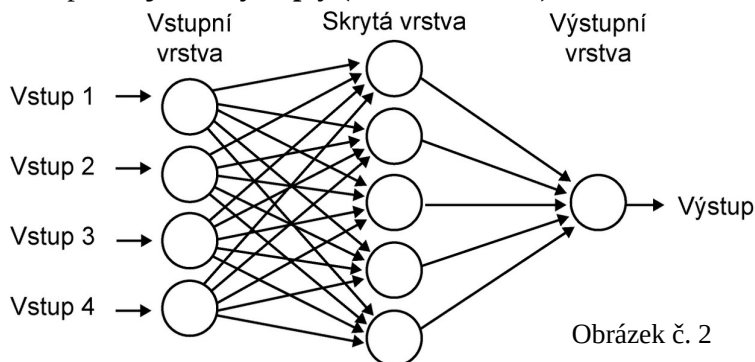
Abychom mohli napodobit proces kognitivních funkcí, musíme nejdříve pochopit fungování mozku samotného. Vzorem umělé neuronové sítě je proto **chování neuronů v mozku**.

Umělá neuronová síť je struktura určená pro **distribuované paralelní zpracování dat**. Skládá se z umělých neuronů (**=perceptronů**), jejichž volným předobrazem je biologický



Obrázek č. 1

neuron (viz obrázek č. 1). Neurony jsou vzájemně **propojeny synaptickými vazbami** (viz obrázek č. 2) a navzájem si předávají signály a transformují je pomocí **aktivačních neuronových funkcí f**. Neuron má **libovolný počet vstupů x_i** , které mají každý různou váhu w_i , ale pouze **jeden výstup y** (viz obrázek č. 1).



$$y = f\left(\sum_{i=1}^N (w_i x_i) - \vartheta\right)$$

y...výstup
f...aktivační funkce
 w_i ... váha vstupu
 x_i ...vstup
 ϑ ...práh neuronu

Obrázek č. 2

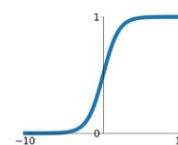
Existuje několik druhů **aktivačních neuronových funkcí** (Tanh, Sigmoid nebo ReLu, my jsme použili třetí zmíněnou) a každá z nich má jiný průběh – v každé situaci se tedy může hodit jiná.

Neuronové sítě samotné se také dále dělí a každý typ má své specifické aplikace – například **LSTM (Long Short-Term Memory networks)**, které tok informací redukuje a nepoužité informace si nechávají pro pozdější využití, by se hodily například na překlad textu.

My jsme ale pro splnění našeho cíle použili **RNN**, tedy **rekurentní neuronové sítě**, a to hlavně kvůli jejich **sekvenčnímu zpracování dat**. Jednotlivé vstupy zpracovávají nezávisle na sobě a „učí se“ z nich, jinými slovy si ukládají různé korelace mezi prvky/znaky pro budoucí použití, založenému na pravděpodobnostech.

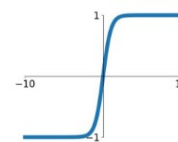
Sigmoid

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$



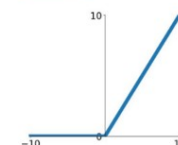
tanh

$$\tanh(x)$$



ReLU

$$\max(0, x)$$



3 Generování českých jmen pomocí RNN

3.1 Použité materiály a nástroje

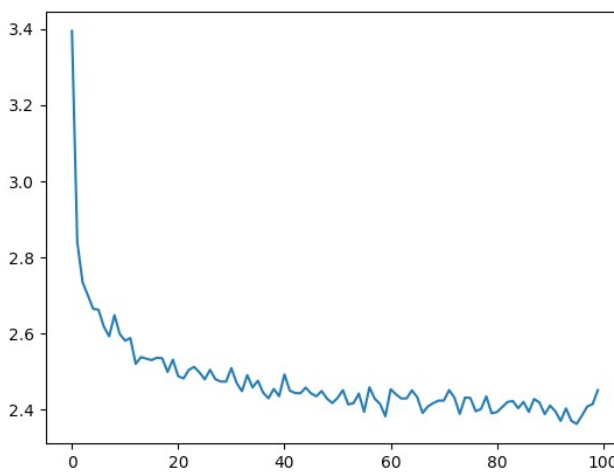
Hlavním zdrojem dat byl otevřený dataset *Seznam jmen k 2025-05-31* zveřejněný na webu Ministerstva vnitra ČR. Dataset byl načten a očištěn – odstranili jsme nevhodné znaky a zachovali pouze první jméno z každého záznamu. Celkově tak vznikl soubor několika tisíc jmen, která byla dále normalizována (např. první písmeno velké, zbytek malý).

Použili jsme programovací jazyk Python, knihovnu PyTorch a jednoduchý RNN model tvořený třemi lineárními vrstvami s nelineární aktivací ReLU a výstupní funkcí LogSoftmax.

3.2 Architektura a trénink modelu

Model byl navržen jako rekurentní síť bez použití složitější paměťové struktury. Jména byla převedena na vektorový zápis pomocí one-hot kódování a trénována písmeno po písmenu.

Trénink probíhal po dobu 50 000 iterací metodou stochastického gradientního sestupu s ručně nastavenou „rychlostí učení“. Ztráta byla počítána jako průměrná hodnota přes jednotlivá písmena jména.



Graf postupně klesajících ztrát (chyb)

3.3 Výsledky

Po natrénování modelu jsme generovali nová jména z různých počátečních písmen. Pomocí „temperature“ parametru bylo možné ovlivnit náhodnost generovaných jmen – vyšší hodnota vedla k větší variabilitě.

Ukázka výstupů:

Ačkoliv vygenerovaná jména neexistující, často zní foneticky i strukturálně věrohodně.

teplota: 0.3

Ananan
Čarin
Dorin
Elan
Frin
Gerin
Harin
Inarin
Minn
Olan
Řana
Šarin
Ułana
Xana
Yarin
Zelan

teplota: 0.9

Annila
Člilinie
Dunen
Ehetty
Fy
Geyaanka
Herěr
Ilenng
Malie
Odinsos
Ř
Šanga
Urisi
Xia
Yidali
Zleriskor

teplota: 1.6

AYgacçoguarraq
Čve
Dedněbikae
Emamiden
Frinalien
Gilllilla
HoŠetomuuk
IkujivWiensane
Mžtss
Onm
Řatesz
ŠGa
Užusena
X
Yalfefár
Zfta

3.4 Diskuse

I přes jednoduchost modelu bylo možné zachytit některé jazykové vzory v českých jménech. Např. zakončení „-slav“, „-ka“, „-ík“ se vyskytovala i v generovaných výstupech. Naopak bez použití LSTM/GRU vrstev model často selhával u delších jmen nebo při udržení složitějších fonetických struktur.

Výrazné zlepšení kvality by pravděpodobně přinesl přechod na LSTM architekturu a využití embeddingů místo one-hot vektorů.

4 Shrnutí

Cílem miniprojektu bylo vytvořit jednoduchý generátor českých jmen na bázi rekurentní neuronové sítě. Podařilo se nám:

- Načíst a zpracovat reálný dataset českých jmen,
- Navrhnout a natrénovat RNN model v PyTorch,
- Generovat nová, relativně realistická jména.

Projekt ukázal, že i základní neuronová architektura dokáže pracovat s jazykovými vzory a vytvářet smysluplné výstupy. Do budoucna by bylo vhodné rozšířit architekturu o pokročilejší vrstvy, zavést metriku hodnocení „realističnosti“ jmen a případně model trénovat odděleně pro mužská a ženská jména.

Poděkování

Děkujeme Ing. Jiřímu Löffelmannovi za umožnění tohoto miniprojektu v rámci Týdne vědy na Jaderce a za znalosti, které nám za tento krátký čas předal. Dále děkujeme samotným organizátorům TV@J.

Reference

- [1] Úvod do neuronových sítí, FJFI
<https://loepa01.github.io/TVJBook/materialy/00-uvod-nn.html>
- [2] Kubicek.AI, Jednotlivé druhy neuronových sítí v AI a na co se hodí
<https://www.kubicek.ai/neuronove-site/>
- [3] Simulace neuronové sítě, TensorFlow
<https://playground.tensorflow.org/#activation=tanh&batchSize=10&dataset=circle®Dataset=reg-plane&learningRate=0.03®ularizationRate=0&noise=0&networkShape=4,2&seed=0.57348&showTestData=false&discretize=false&percTrainData=50&x=true&y=true&xTimesY=false&xSquared=false&ySquared=false&cosX=false&sinX=false&cosY=false&sinY=false&collectStats=false&problem=classification&initZero=false&hideText=false>

Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů pomocí manganové lázně

¹A. Boor, alta.boor@outlook.com

²V. Holoubek holoubekvitek@seznam.cz

³S. Poslední simonposledni@gmail.com

⁴L. Vojtek lukas.vojtek@centrum.cz

¹ SOŠ IT Bratislava / ² Gymnázium a obchodní akademie Bučovice / ³ Gymnázium Christiana Dopplera / ⁴ Gymnázium třída Kapitána Jaroše, Brno

Pracoviště KJR Troja, V Holešovičkách 2/747, 180 00 Praha 8

Abstrakt:

Cílem naší práce bylo změřit intenzitu radionuklidového zdroje neutronů, konkrétně americium-berylíového zdroje, pomocí metody manganové lázně. Podobná metoda se běžně využívá pro kalibraci různých zdrojů neutronů pro výzkum či průmyslové využití. V průběhu práce jsme nejprve ozařovali vodný roztok síranu manganatého a poté pomocí polovodičového detektoru sledovali dávku a energii emitovaného gama záření. Tato data jsme pak analyzovali a zjistili intenzitu neutronového zdroje.

1. Úvod

Měření a charakterizace neutronových zdrojů jsou klíčové pro řadu vědeckých, průmyslových i medicínských aplikací, např. v kalibraci a diagnostice. Přesnost stanovení intenzity neutronového záření zásadně ovlivňuje výsledky a interpretaci následných měření a experimentů. K dosažení spolehlivých výsledků při našich měřeních jsme využili zařízení, která jsou popsána níže:

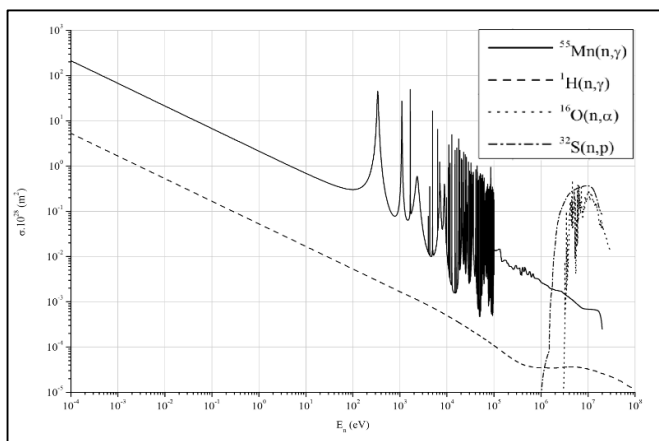
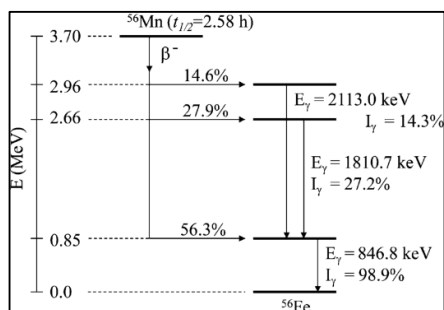
AmBe (americium-beryllium) zdroj neutronů (viz Obr. 1) využívá alfa záření z izotopu ^{241}Am k produkci neutronů reakcí s beryliem. Když částice alfa z rozpadů americia zasáhne jádro ^9Be , může dojít k jaderné reakci $^9\text{Be}(\alpha, n)$, při které vzniká neutron a ^{12}C . Tento proces je nezávislý na externím napájení, takže AmBe zdroje se často používají jako kompaktní a spolehlivé neutronové zdroje v průmyslu (např. v nedestruktivním testování) nebo ve výzkumu (např. při kalibraci detektorů). Typicky produkují rychlé a tepelné neutrony a také doprovodné gama záření. Jejich nevýhodou je malý výkon, např. oproti jaderným reaktorům.



Obr. 1 – radionuklidové zdroje neutronů

Manganová lázeň (viz Obr. 2 a 4) je zařízení sloužící k měření neutronů za využití neutronové aktivační analýzy. Princip jeho funkce spočívá v reakci ^{55}Mn s tepelnými neutrony za vzniku ^{56}Mn . (viz Obr. 5) Ten se s poločasem 2.58 hodiny rozpadá na ^{56}Fe za současné emise gamma fotonů (viz Obr. 3). Lázeň má podobu kulaté nádoby naplněné vodným roztokem síranu manganatého. Pro změření aktivity vzorku odebraného z lázně je vzhledem k intenzitě a citlivosti detektoru na této energii vhodná gamma linka o energii 846.8 keV.

Obr. 3 – rozpadové schéma manganu-56

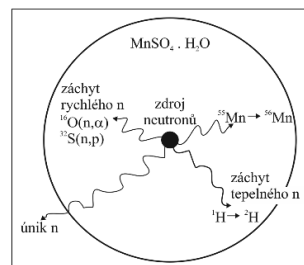


Obr. 5 – graf účinných průřezů pro neutrony

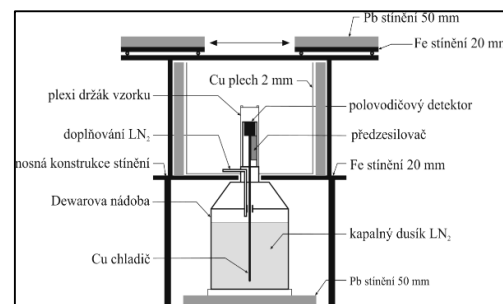
HPGe detektor (High Purity Germanium) je polovodičový detektor určený k velmi přesné detekci a spektrometrii gama záření. Gama fotony pronikají do krystalu z vysoce čistého germania, kde interagují hlavně fotoelektrickým jevem, Comptonovým rozptylem nebo tvorbou elektron-pozitronových párů. Tyto interakce vytvářejí elektrony a díry, které se pohybují v důsledku elektrického pole detektoru a vytvářejí měřitelný elektrický signál. Velikost signálu odpovídá energii dopadajícího gama fotonu, což umožňuje analýzu gamma spektra. Výhodou HPGe detektorů je jejich vysoká přesnost, ale je potřeba je chladit pomocí kapalného dusíku a izolovat je od okolního záření stíněním z mědi a olova.



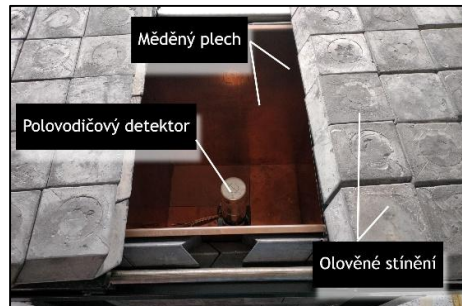
Obr. 2 – manganová lázeň, vodný roztok MnSO_4



Obr. 4 – schéma manganové lázně



Obr. 6 – schéma gamma spektrometru



Obr. 7 – konstrukce gamma spektrometru na KJR, uprostřed je HPGe detektor

2. Metodika měření:

2.1. Přístroje a zařízení:

- manganová lázeň
- polovodičový gamma spektrometr
- Marinelliho nádoba (viz Obr. 8)



Obr. 8 - Marinelliho nádoba

2.2. Postup měření:

1. Vložení zdroje neutronů do suchého kanálu ve středu manganové lázně a zaznamenání času
2. Ozařování lázně po dostatečně dlouhou dobu (3 dny = 28 násobek poločasu rozpadu ^{56}Mn)
3. Vyjmutí zdroje neutronů a zaznamenání času
4. Promíchání roztoku pomocí vzduchových bublin
5. Vypuštění nepromíchané kapaliny z ventilu a vypouštěcí hadičky do odpadní nádoby
6. Vypuštění části ozařeného roztoku do dvou Marinelliho nádob.
7. Zvážení nádob se vzorky a zaznamenání hodnot.
8. Změření aktivity každé nádoby na polovodičovém gamma spektrometru, kdy každou nádobu měříme dvakrát.
9. Výpočet emisí neutronů zdroje

3. Výpočet:

Pro výpočet aktivity vzorků jsme využili následujícího vzorce:

$$A = N_0 \cdot RR = \frac{S(E_\gamma) \cdot \lambda \cdot \frac{t_{real}}{t_{live}}}{(1 - e^{-\lambda \cdot t_1}) \cdot e^{-\lambda \cdot (t_2 - t_1)} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{real}}) \cdot \varepsilon_{eff}(E_\gamma) \cdot I_\gamma(E_\gamma)}$$

$S(E_\gamma)$ – plocha pod píkem

t_1 – doba ozařování

$t_2 - t_1$ – doba chlazení

t_{real} – doba měření

t_{live} – doba měření s opravou na mrtvou dobu

$\varepsilon_{FEP}^\gamma(E_\gamma)$ – absolutní detekční účinnost detekčního systému

$I_\gamma(E_\gamma)$ – intenzita sledované gama linky vztažená na jeden rozpad zkoumaného radioaktivního jádra (pravděpodobnost emise gama záření)

Poté jsme vypočítali aktivitu celé nádoby a zjistili celkovou intenzitu zdroje:

$$S = \frac{A}{f(1 - f_1 - f_2 - L)}$$

A – aktivita manganové lázně

f – podíl tep. neutronů zachycených Mn ku neutronům zachyceným ostatními jádry

f_1 – podíl neutronů prodávajících reakce (n,α) na O, reakce (n,α) a (n,p) na S

f_2 – podíl neutronů ze zdroje ztracených v samotném zdroji a v dutinách

L – podíl neutronů ze zdroje uniklých z lázně

4. Výsledky

vzorek 1 měření 1: $177000 \pm 5000 \text{ s}^{-1}$

vzorek 1 měření 2: $167000 \pm 5000 \text{ s}^{-1}$

vzorek 2 měření 1: $172000 \pm 5000 \text{ s}^{-1}$

vzorek 2 měření 2: $172000 \pm 5000 \text{ s}^{-1}$

průměrná hodnota: $172000 \pm 2500 \text{ s}^{-1}$

hodnota z kalibračního listu: $186200 \pm 5500 \text{ s}^{-1}$

odchylka od hodnoty z kalibračního listu: 6,5 %

5. Diskuze

Celková nejistota měření při započítání všech faktorů je asi 2,8 %.

Níže uvádíme ty které na ní měly největší podíl:

Nejistota spektrometru:

Zásadní vliv na přesnost měření měla statistická nejistota detekce záření způsobená vzhledem k nízké aktivitě vzorku (okolo 155 bq/s), zaznamenal pouze nižší tisíce fotonů. To vedlo k nejistotě cca 2 %. Pro zpřesnění doporučujeme provádět měření delší dobu a vícekrát jej opakovat.

Hustota lázně:

Hustota lázně se mohla mírně lišit od doby kdy byla posledně naměřená, kvůli doplňování lázně. Pro zpřesnění doporučujeme změřit hustotu lázně na více desetinných míst před provedením měření.

Objem lázně:

Použitá lázeň není přesně kalibrovaná na objem, což snižuje přesnost výsledku. Pro zpřesnění výsledků doporučujeme přesněji změřit objem lázně.

Použití lepící pásky:

Pro upevnění víka nádoby byla využita lepící páska, která mohla zvýšit hmotnost zváženého vzorku. Z ní jsme odečetli pouze nám známou hmotnost nádoby, ale ne hmotnost pásky. Odhadujeme chybu v řádu desetin procenta. Pro zpřesnění výsledků doporučujeme zvážit i pásku.

Odchylka od hodnoty z kalibračního listu je 6,5 %, což by vzhledem k vypočítané nejistotě mohlo značit systematickou chybu, přesto je výsledek dostatečně přesný, aby potvrdil funkčnost použité metody.

6. Reference

[1] Prezentace – Ing. Jan Rataj, Ph.D. (2025) **Stanovení intenzity RN zdroje neutronů metodou manganové lázně (Týden vědy na Jaderce 2025)

[2] Comparison and Contrast Between XRF and NAA - Scientific Figure on ResearchGate. Dostupné na: https://www.researchgate.net/figure/Decay-scheme-of-Mn-56-created-from-neutron-capture_fig15_236850154

Závěrem děkujeme panu Ing. Ratajovi, Ph.D. a celému týmu TV@J za možnost realizace tohoto projektu.

Studium produkce podivných jader

K. Hermannová¹, A. Ježková² a J. Sivák³

¹G J. Božka, Český Těšín; hermannova.katerina@gmct.cz

²G Christiana Dopplera, Praha; anez.jezkova@gmail.com

³G Dobruška, Dobruška; jakub.sivak.js@seznam.cz

Ing. D. Skoupil, Ph.D., garant; ÚJF AV ČR

Abstrakt

Tento miniprojekt se zabývá podivnými částicemi a studiem procesů, ve kterých vzniká hyperon Λ a kaon K^+ pomocí Feynmanových diagramů a numerických výpočtů. Věnuje se kalkulaci amplitudy a diferenciálního účinného průřezu různých dějů, v nejnižším řádu poruchového rozvoje.

1 Úvod

Standardní model částic rozlišuje tři generace kvarků. V první se nachází kvarky u (up) a d (down), ze kterých jsou složeny nukleony v běžném jádře, tzn. proton (uud) a neutron (udd). Druhou tvoří kvarky s (strange) a c (charm) a do třetí se řadí kvarky t (top) a b (bottom). V hyperonech je jeden z kvarků nahrazen kvarkem s ; jako příklad uveďme hyperon Λ (uds). Tyto částice patří mezi baryony. Mezi podivné mezony, tvořené kvarkem a antikvarkem se řadí například nabitý kaon K^+ ($u\bar{s}$), který byl první objevenou podivnou částicí. Jako hyperjádra označujeme jádra, která obsahují alespoň jeden hyperon.

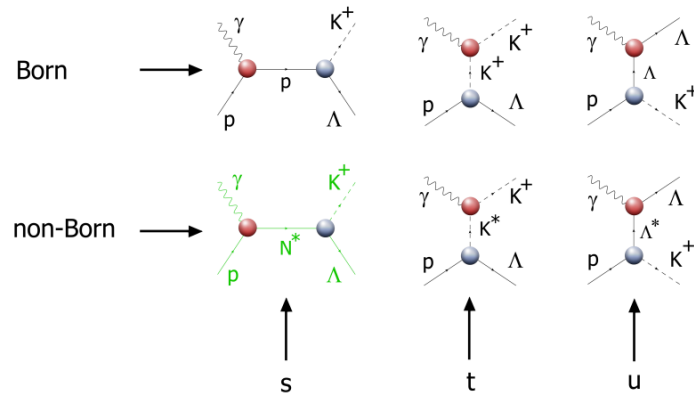
Objev podivnosti částic vycházel ze zkoumání kosmického záření. Byla zpozorována produkce nových baryonů a mezonů, z jejíž četnosti šlo usoudit, že za jejich vznikem stojí silná interakce. Rozpadem pozorovaných částic vznikaly nukleony či piony, tedy silně interagující částice s krátkou střední dobou života – řádově 10^{-23} s. Zdánlivý paradox však spočíval v době trvání rozpadu – byla delší, než 10^{-10} s, což by –za předpokladu, že je rozpad též produktem silné interakce– nemělo být možné. Očekávaná doba byla o alespoň 10 řádů kratší. Zavedlo se tedy nové kvantové číslo – *podivnost* (značené S – strangeness), invariantní v silných a elektromagnetických interakcích, ale proměnlivé ve slabých. Nukleony a piony mají $S = 0$, mezon K^+ má $S = +1$ a hyperony Λ a Σ mají $S = -1$. Ze zákona zachování kvantových čísel je zřejmé, že podivné částice ve srážkách obyčejných hadronů (tedy pionů či nukleonů) vznikají vždy v párech.

2 Postup práce

2.1 Feynmanovy diagramy

Feynmanovy diagramy nám v této práci sloužily hlavně jako pomůcka při konstrukci invariantní amplitudy M a pro popis procesu fotoprodukce hadronů K^+ a hyperonu Λ . Po konstrukci amplitudy musíme vzít její absolutní hodnotu a pak ji umocnit na

druhou, abychom z komplexního čísla dostali reálné číslo. Tato hodnota je úměrná diferenciálnímu účinnému průřezu (tj. pravděpodobnost rozptylu částic terčíkovou částicí do infinitezimálního úhlu, tedy prakticky konkrétního směru).



Obrázek 1: Bornovské a non-Bornovské diagramy fotoprodukce K^+ a hyperonu Λ . Rozdíl mezi nimi spočívá ve výměně částic; pokud jsou excitované, jedná se o non-Bornovský diagram. Jediným diagramem, který vytváří rezonanční struktury, je non-Bornovský diagram s výměnou nukleonové rezonance. Všechny ostatní diagramy přispívají do pozadí reakce. Obrázek převzat z [4].

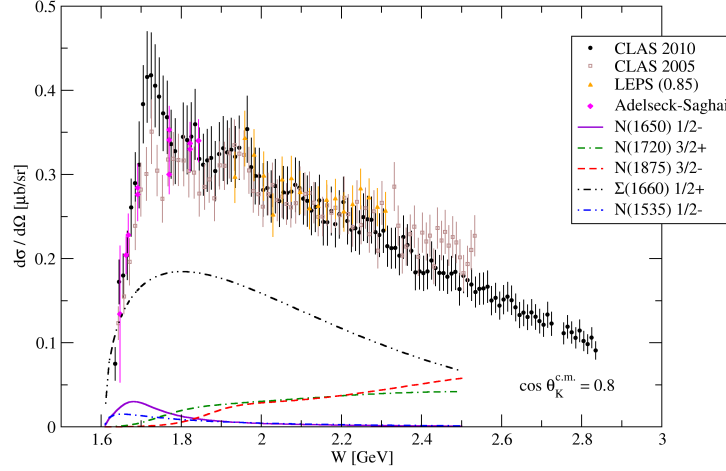
Do výpočtu musely být zahrnuty všechny možné způsoby průběhu fotoprodukce, viz obr. 1. Pro diferenciální účinný průřez tedy platí: $\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim |\sum_i \bar{M}_i|^2$, kde $|\bar{M}|^2 = |\bar{M}_p|^2 + |\bar{M}_{K^+}|^2 + \dots + M_p M_{K^+}^* + M_p M_{\Lambda}^* + \dots$. Dále by bylo vhodné zmínit, že jsme prováděli výpočty na nejnižším řádu poruchového rozvoje a pro jednoduchost jsme stupeň volnosti v QCD nechali na hadronové úrovni.

2.2 Modely

Modely nám sloužily pro výpočty účinného průřezu, kde jsme si napevno stanovili hodnotu úhlu $\theta_K^{c.m.}$, tj. úhel výletu kaonu v těžišťové soustavě a měnila se nám jen energie analyzované interakce. Používali jsme tři různé modely: SL_L [5], KM [6] a BS1 [7]. SL_L a KM jsou starší a nafitované pomocí dat z dřívějších experimentů, od kterých se upustilo ve prospěch novějších, přesnějších dat. Z tohoto důvodu se jejich závěry liší od experimentálních výsledků více, než novější model BS1. V modelu SL_L dominují hyperonové rezonance a těch nukleonových nemá mnoho, proto se jeho křivka jeví hladší.

Na obr. 2 si můžeme povšimnout experimentálních dat, ale narozdíl od grafu na obr. 3 jsme přidali křivky pro nukleonové rezonance a jednu rezonanci Σ . K tomu jsme použili model BS1. Povšimněme si, že rezonance nukleonů mají jiný tvar, než ta sigmy. Nukleonové rezonance mají tvar běžné rezonance s jedním výraznějším vrcholem; některé mají pravé rameno, které se nepřibližuje nule, což je způsobeno jejich vyšším spinem. Závislost invariantní amplitudy na vysokoenergetické hybnosti roste pro částici se spinem $n + \frac{1}{2}$ takto: $M \sim q^{2n}$, kde M je invariantní amplituda a q je čtyřhybnost. Proto vidíme, že křivky částic s vyšším spinem s rostoucí energií neklesají k nule, ale buď rostou (pro spin $\frac{5}{2}$), nebo se moc nemění (pro spin $\frac{3}{2}$). Dále bychom mohli zmínit rezonance kaonu, které v grafu nejsou ukázány, ale výrazně by rostly s energií a vysokých hodnot by začaly nabývat po 2.5 GeV.

Na obr. 3 porovnáváme experimentální výsledky s výsledky získanými výpočtem z modelu. Můžeme si povšimnout, že všechny modely se nám rozcházejí s experimentálními



Obrázek 2: Na tomto obrázku vidíme graf závislosti dif. účinného průřezu na energii při hodnotě $\cos \theta_K^{c.m.} = 0.8$. Výpočty byly provedeny s modelem BS1, data pocházejí z kolaborací CLAS [1, 2], LEPS [3] a z [8].

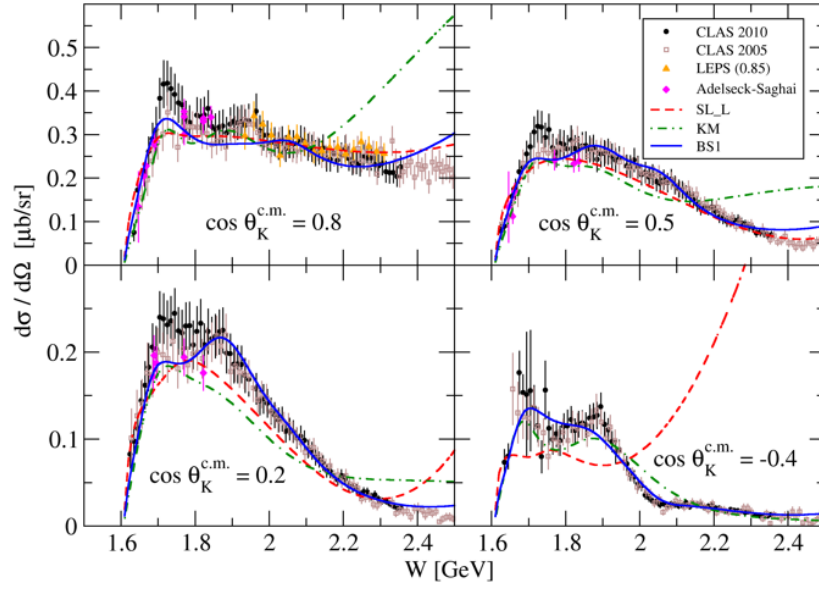
Částice	Hmota (MeV)	Šířka (MeV)	J^P
$N(1535)1/2^-$	1535	150	$1/2^-$
$N(1650)1/2^-$	1655	150	$1/2^-$
$N(1720)3/2^+$	1720	270	$3/2^+$
$N(1875)3/2^-$	1875	220	$3/2^-$
$\Sigma(1660)1/2^+$	1660	100	$1/2^+$

Tabulka 1: Seznam rezonancí, které vyobrazují v grafu na obr. 2 křivky.

daty ve vyšších energiích, neboť pro ty nejsou fitované. Dále si můžeme všimnout že část dat z experimentu CLAS 2010 v oblasti energie $W=1,7$ GeV se nám s modely neshoduje, ale zároveň se nepřekrývá s daty z jiných experimentů z čehož můžeme uvažovat, že chyba je na straně experimentu a ne modelu. Je viditelné, že diferenciální účinný průřez je větší pro nižší úhly. Produkce hyperjader prostřednictvím fotoprodukce hyperonů se proto studuje zejména v této oblasti úhlů.

3 Závěr

Studium produkce podivných částic nám pomáhá blíže porozumět mnohým z mezičásticových interakcí jaderné fyziky, například baryon-baryonové interakci, kterou zkoumáme prostřednictvím hyperjader, jejichž vazebnou energii ovlivňuje. Hyperon je v jádře jakousi příměsí, která mění strukturu jaderné hmoty a vnáší nám tak nový vhled do principu jaderných struktur. Pomocí numerických výpočtů jsme analyzovali pravděpodobnost rozptylu částic během fotoprodukce – procesu, který je jedním ze zdrojů hyperonů. Seznámili jsme se s Feynmanovými diagramy a zabývali jsme se amplitudou různých procesů, jejíž hodnota poskytuje četné informace o dynamice jejich průběhu.



Obrázek 3: Zde vidíme čtyři grafy závislosti dif. účinného průřezu na energii pro různé velikosti úhlu $\theta_K^{c.m.}$. Výpočty byly provedeny s modely Saclay-Lyon [5], Kaon-MAID [6] a BS1 [7].

Poděkování

Předně bychom chtěli poděkovat Ing. Daliboru Skoupilovi, Ph.D. za odborné vedení tohoto miniprojektu, dále ÚJF AV ČR v Řeži za poskytnuté prostory a také všem organizátorům Týdne Vědy na Jaderce.

Literatura

1. BRADFORD, R. Differential cross sections for $\gamma + p \rightarrow K^+ + Y$ for Λ and Σ^0 hyperons. *Phys. Rev. C* 73, 035202. 2006.
2. MCCracken, M. E. Differential cross section and recoil polarization measurements for the $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$ reaction using CLAS at Jefferson Lab. *Phys. Rev. C* 81, 025201. 2010.
3. SUMIHAMA, M. The $\vec{\gamma} p \rightarrow K^+ \Lambda$ and $\vec{\gamma} p \rightarrow K^+ \Sigma^0$ reactions at forward angles with photon energies from 1.5 to 2.4 GeV. *Phys. Rev. C* 73, 035214. 2006.
4. SKOUPIL, D. *Svět podivných jader*. 2025. (Prezentace pro TV@J).
5. DAVID, J. C. Electromagnetic production of associated strangeness. *Phys. Rev. C* 53, 2613. 1996.
6. T. MART, C. B. N and Δ resonances. *Phys. Rev. C* 61, 012201(R). 1999.
7. D. SKOUPIL, P. B. Photoproduction of $K\Lambda$ on the proton. *Phys. Rev. C* 93, 025204. 2016.
8. R. A. ALDESECK, B. S. Photo- and electroproduction of strangeness. *Phys. Rev. C* 42, 108. 1990.

Vliv parametrů moderátoru na reaktor VVER-1000

T. H. Do¹, A. Janíková²

¹ SPŠS Plzeň; dot@spsstav.cz

² G. Křenová, Brno; annajanikova37@gmail.com

O. Lachout, školitel; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt:

V této práci jsme s využitím modelu reaktoru VVER-1000 vytvořeného pomocí deterministického kódu PARCS simulovali funkci reaktoru a zjišťovali, jaký vliv mají měnící se parametry moderátoru na reaktivitu. Tyto vlivy jsme se zároveň snažili interpretovat a porovnat s našimi předpoklady.

1 Úvod

Moderátor hraje v reaktorové fyzice klíčovou roli. Proto je nutné mít prostředky, jak očekávat chování reaktoru při změnách v parametrech moderátoru. Takto zajistíme bezpečné řízení reaktoru za běžných i havarijních podmínkách.

1.1 Základní pojmy

1.1.1 Moderátor

V reaktoru funguje moderátor jako látka, která pružnými srážkami zpomaluje neutrony, aby dosáhly požadované nižší energie nutné ke štěpení uranu. V reaktorech typu VVER- 1000 je k tomuto účelu využita lehká voda H₂O. [1]

1.1.2 Reaktivita

Pro popis bilance neutronů v aktivní zóně reaktoru používáme pojmy efektivní koeficient násobení (k_{ef}) a reaktivita (ρ). Efektivní koeficient násobení je definován jako poměr neutronů v určité generaci a generaci předchozí, viz rovnice (1). Udává tak zdali více neutronů vzniká při štěpení nebo zaniká absorbcí a unikem, teda jestli počet nových neutronů klesá či stoupá. [2] Pro $k_{ef} = 1$ je reaktor v kritickém stavu, pro $k_{ef} < 1$ je reaktor podkritický a pro $k_{ef} > 1$ je reaktor nadkritický.

$$k_{ef} = \frac{N_i}{N_{i-1}}, (1) [3]$$

kde N_i je počet neutronů v současné generaci a N_{i-1} je počet neutronů v předchozí generaci.

Reaktivita je relativní odchylka daného stavu od kritického stavu, viz rovnice (2). Uvádíme ji nejčastěji v procentech či v pcm (per cent mille). Pro účely naší práce je reaktivita prezentována v pcm.

$$\rho = \frac{k_{ef}-1}{k_{ef}}, \quad [4] \quad \rho(pcm) = \frac{k_{ef}-1}{k_{ef}} * 10^5 \quad (2)$$

2 Výsledky výpočtů

2.1 Základní nastavení parametrů

Při všech simulacích byly nastaveny parametry na hodnoty uvedené v Tabulce 1., s výjimkou danéhou zkoumaného parametru. Hodnoty zkoumaných parametrů byly vybrány tak, aby do určité míry odpovídaly reálnému fungování reaktoru a abychom předešli situacím, které by při reálném provozu byly nebezpečné (např. var chladiva).

Tabulka 1. - Základní nastavení parametrů

Parametr	Hodnota	Jednotka	Vysvětlení
POWER_LEV	1.0 / 100.0	%	Výkon reaktoru
SOLU_PSN	1214.3	pcm	Koncentrace bóru v moderátoru
INLET_ENT	554.15	K	Vstupní teplota vody
FLOW_RATE	111.3	kg/s	Průtok vody
EXIT_PRES	15.75	MPa	Výstupní tlak

2.2 Analyzované parametry

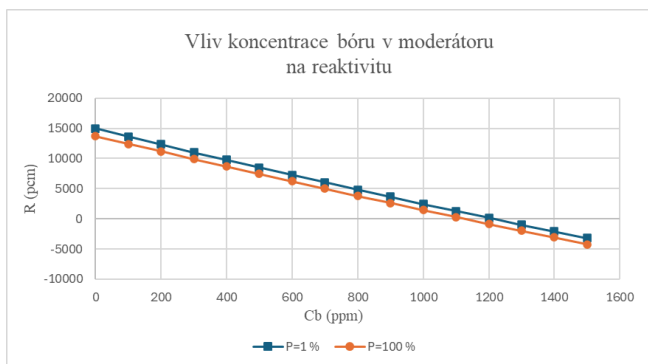
2.2.1 Výkon reaktoru

Pro všechny simulované parametry byl analyzován výkon reaktoru ve dvou výkonových hladinách:

- 1 % - pro zjištění chování parametrů při nízkém výkonu (minimální ohřev chladiva)
- 100 % - pro zjištění chování parametrů v plném výkonu

2.2.2 Koncentrace kyseliny borité

Kyselina boritá se do chladiva přidává za účelem pohlcení neutronů [5]. Je proto předpokládáno, že se zvyšující se koncentrací kyseliny borité se bude reaktivita snižovat. Při změně výkonu není očekávána změna v trendu závislosti reaktivity.

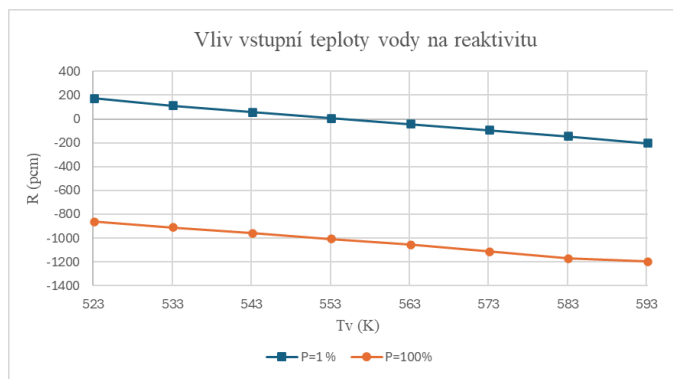


Obrázek 1. Vliv koncentrace bóru v moderátoru na reaktivitu

V nasimulovaných datech se ukazuje (viz Obrázek 1), že naše predikce chování byly správné. Reaktivita totiž lineárně klesá pro obě hladiny výkonu.

2.2.3 Vstupní teplota chladiva

S vyšší teplotou se snižuje hustota vody, čímž se zhoršují moderační schopnosti. Z tohoto důvodu bude klesat reaktivita a to především při vyšším výkonu. Teplejší voda totiž hůře odebírá teplo z paliva, tento efekt se projeví snížením reaktivity.

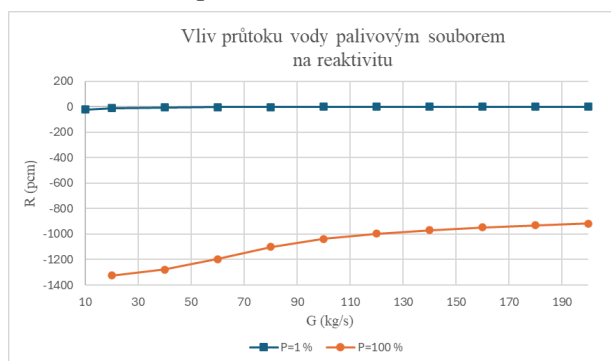


Obrázek 2. Vliv vstupní teploty vody na reaktivitu

Nasimulovaná data (viz Obrázek 2.) potvrzují naše předpoklady. V obou výkonových hladinách reaktivita v závislosti na zvyšující se teplotě klesá, přičemž při vyšším výkonu je reaktivita značně nižší. Vyšší výkon totiž způsobuje další ohřátí prostředí a tím i další snížení reaktivity.

2.2.4 Průtok vody palivovým článkem

Se zvyšujícím se průtokem vody se snižuje vystavení vody teplu z paliva. Snižuje se tak rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou chladiva. Studenější voda má lepší moderační schopnosti a tak reaktivita stoupá.

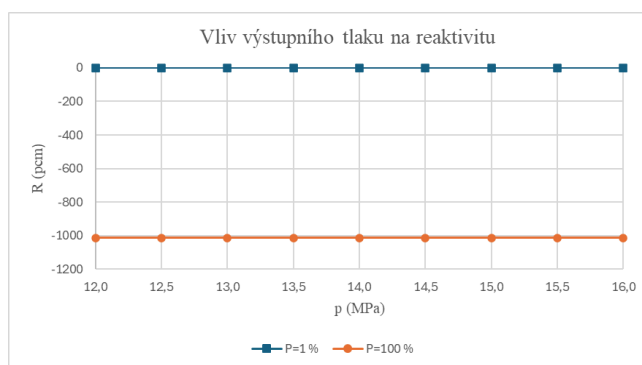


Obrázek 3. Vliv průtoku vody palivovým souborem na reaktivitu

Z dat (viz Obrázek 3.) lze vypožorovat, že předpokládaný trend se projevuje pouze na 100 % výkonu. To je způsobené tím, že při nízkém výkonu se palivo a následně voda neohřívá do takové míry, aby se vliv průtoku projevil.

2.2.5 Výstupní tlak

Zvyšování tlaku ovlivňuje pouze teplotu varu vody, ne však samotnou její teplotu. Proto neočekáváme velké změny v reaktivitě s měnícím se tlakem.



Obrázek 4. Vliv výstupního tlaku na reaktivitu

V naší simulaci však model s měnícím se tlakem nepočítá správně a výsledné hodnoty reaktivity jsou proto stejné pro všechny hodnoty tlaku na daných hladinách výkonu. Nejsou proto reprezentativní a nemohou ani vyvrátit naše předpoklady.

3 Shrnutí

Při simulaci jsme změnou daných parametrů zjišťovali jejich vliv na efektivní koeficient násobení a reaktivitu. Ty byly zaznamenány a trendy vysvětleny.

Poděkování

Závěrem bychom chtěli poděkovat všem, bez kterých by naše práce nevznikla. V první řadě panu garantovi Ing. Ondřeji Lachoutovi, Katedře jaderných reaktorů a všem organizátorům Týdne vědy.

Reference

- [1] *AKTIVNÍ ZÓNA REAKTORU VVER 1000*. Online. CEZ. Dostupné z: https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/zona_vver1.html. [cit. 2025-06-24].
- [2] BORRELLI, R.A. *Principles of nuclear engineering*. Online. 2015. Dostupné z: <https://uidaho.pressbooks.pub/nuclearengineering/>. [cit. 2025-06-24].
- [3] HANZLÍK, Jaroslav. *Využití několika vyhořívajících absorbátorů v jaderném palivu*. Online, Diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. Dostupné z: <https://naos-be.zcu.cz/server/api/core/bitstreams/f4dfa2b5-635c-46a9-872f-55354756472e/content>. [cit. 2025-06-24].
- [4] *Dlouhodobá kinetika aktivní zóny*. Online. Dostupné z: <https://www.physics.muni.cz/~blazkova/dp/Reaktor3.htm>. [cit. 2025-06-24].
- [5] Wiedenmann, D., Nordmann, F., & French Nuclear Energy Society - SFEN, 'Materials Science and Technology, Non Destructive Testing, Chemistry' Technical Section, 5 rue des Morillons, F-75015 Paris (France). (2012). The benefits of enriched boric acid in PWRs. Nuclear Plant Chemistry Conference, International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems (NPC 2012), Paris (France).[cit. 2025-06-24]

Vizualizace čísel

K. Buršík¹, A. Košťál², A. Trnka³, S. Župka⁴

¹G Ústí nad Orlicí; xbursik@gymuo.cz

²G Brno, třída Kapitána Jaroše; sascha.kostal@gmail.com

³GYOA Pelhřimov; trnka.antoska@gmail.com

⁴G Uničov; samzcz@email.cz

L. Heriban; KM FJFI ČVUT

Abstrakt

V tomto článku si ukážeme, jak lze čísla vyjadřovat jinak než pomocí běžných arabských číslic. Představíme si několik hlavních metod, jak toho dosáhnout, a také si ukážeme, jak vypadají obrazce, které jednotlivé způsoby vytvářejí.

1 Úvod

Vyzkoušeli jsme čtyři různé metody pro vizualizaci matematických konstant. Tři z nich vycházejí z želvičkové grafiky a pracují na principu řízeného otáčení a pohybu „želvy“, zatímco čtvrtá, tzv. květinová metoda, využívá polární souřadnice.

Každá z těchto metod nějakým způsobem převádí zadanou konstantu na posloupnost úhlů, která následně určuje tvar výsledného obrazce. Výsledné barevné vizualizace umožňují pozorovat některé skryté vlastnosti čísel, jako je například jejich iracionalita, nebo naopak blízkost racionálním aproximacím.

2 Želvičková metoda

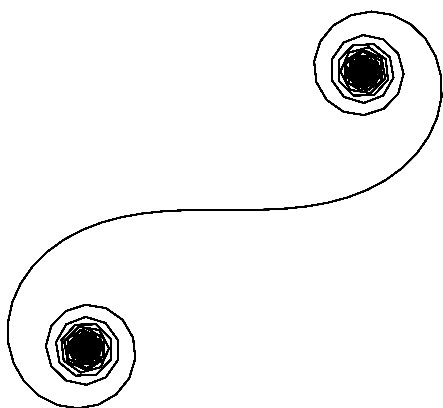
Želvičková metoda je typ kreslení grafik, při kterém používáme želvičky. A to tak, že želvičce přilepíme na krunýř propisku, a řekneme jí, aby vždy udělala krok vpřed, a pak se pootočila o zadaný úhel. Želvička tedy bude za sebou nechávat spojitou čáru, která se bude klikatit podle seznamu úhlů, který želvičce předložíme.

3 Eulerovy spirály

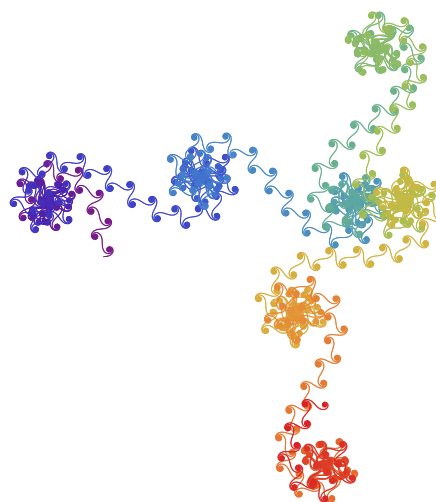
Eulerova spirála je útvar, který vznikne, pokud zapíchneme nůžky do koule na špičce a začneme vystřihávat proužek konstantní šířky do spirály, tedy tak aby se vždy jednou hranou dotýkal sám sebe.

Můžeme jí ale vytvořit i jinak, a to specifickou variantou želvičkové metody. Seznam úhlů lze napsat tak, že vezmeme libovolnou konstantu, a budeme jí popořadě násobit přirozenými čísly. Pokud konstanta bezezbytku dělí přímý úhel (180°), dostaneme hezkou

eulerovu spirálu.



Obrázek 1: Eulerova spirála



Obrázek 2: Spirála s parametrem ϕ

Taky hezké, ale navíc zajímavé věci se začnou dít, když zvolená konstanta přímý úhel nedělí. V takové situaci se želvička vždy, když dojde do středu ramena spirály, neotočí přesně zpátky, ale o něco více, a nová spirála, po které půjde pak, se tedy nebude překrývat s tou původní. Vznikne tedy řetěz překrývajících se spirál.

A největší divy želvička nakreslí, když naše konstanta bude iracionální – potom se řetěz nikdy neuzavře, a chudák želvička poleze do nekonečna a ještě dál. Můžeme tedy želvičku zneužít, aby nám odhadla, jestli je nějaké číslo iracionální, protože v takovém případě budeme vidět, že želvička se nikdy nevrací po trase, kterou už nakreslila.

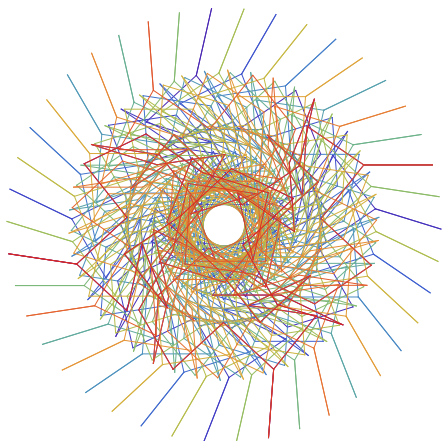
4 Geometrická Reprezentace

Pro tuto metodu použijeme dvě čísla: b je báze, ve které se pohybujeme, tedy na kolik stejných dílků je naše kružnice rozdělena. n bude naše číslo, které chceme ve zvolené bázi znázornit. Naše želvička má v tuto chvíli k dispozici úhel $\frac{2\pi}{b}$, o který se může otáčet. Pro každou číslici v $n = 0, a_1a_2...a_{m-1}a_m^1$ se želvička otočí o $\frac{2\pi a_k}{b}^2$ a nakreslí čáru o velikosti 1. Pro číslo $\pi = 3,1415...$ by se ve čtvrtém kroku želvička otočila o $\frac{2\pi 5}{b}$.

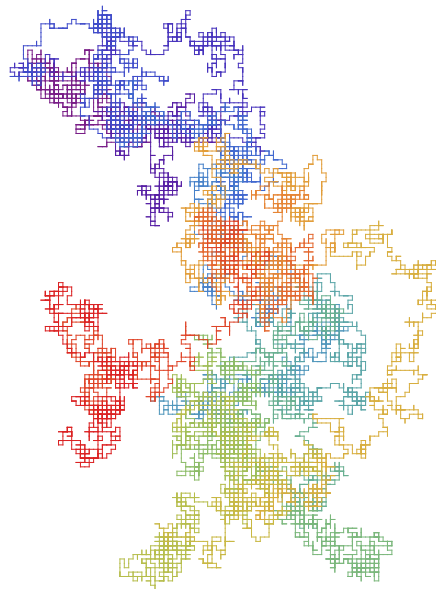
Zvolme si $b = 69$, želvička se nám bude otáčet po úsecích $\frac{360^\circ}{69} \approx 5.2^\circ$. Naše číslo $n \in \mathbb{Q}$, proto vytvoříme pravidelný tvar (obr. 3). Zvolíme-li si např. ϕ s $b = 4$, vznikne více sporadický útvar, přestože máme jednodušší bázi (obr. 4).

¹ m je poslední číslice, kterou chceme zobrazit

² k je krok, který želvička právě vykonává



Obrázek 3: $b = 69, n = 42$



Obrázek 4: $b = 4, n = \phi$

5 Metoda Substituce

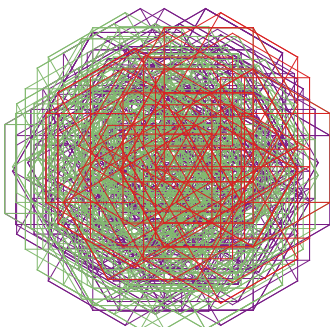
Tato metoda převádí čísla na obrazce pomocí opakované substituce. Na začátku si zvolíme dvě nebo více neznámých, například x a y . Pro tyto neznámé vytvoříme pravidla substituce.

Pro naše vizualizace jsme používali následující pravidla:

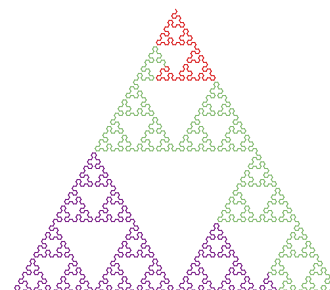
$$x \rightarrow y + x + y, \quad y \rightarrow x - y - x$$

Znaménka $+$ a $-$ zde hrají důležitou roli – reprezentují otočení „želvy“ doleva nebo doprava o předem určený úhel.

Tvorba obrazce začíná od počáteční proměnné a provádí se pevně daný počet iterací. Výsledkem je dlouhý řetězec příkazů, který lze vykreslit pomocí želví grafiky. Výsledný obrázek se může výrazně lišit v závislosti na zvolených pravidlech nebo úhlu otočení.



Obrázek 5: $+$ = 45 stupňů
 $-$ = 60 stupňů



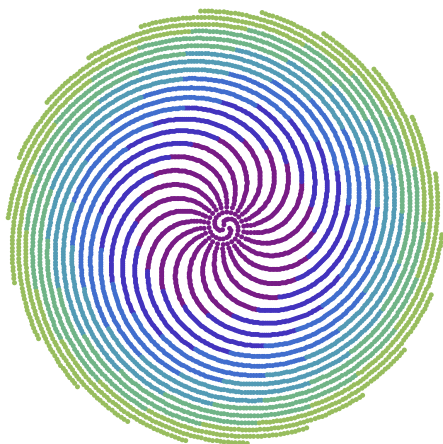
Obrázek 6: Sierpinského trojúhelníky

6 Květinová metoda

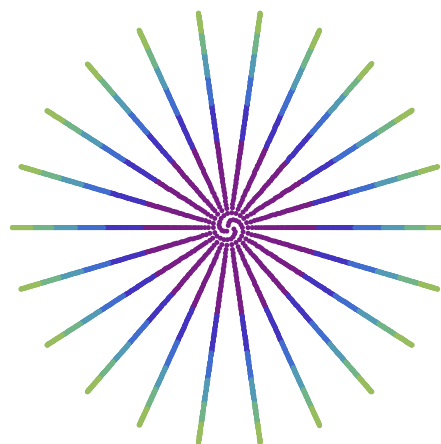
V této metodě zobrazujeme čísla pomocí polárních souřadnic. Každý bod v polárních souřadnicích je určen uspořádanou dvojicí reálných čísel, kde první číslo udává orientovaný úhel od osy X a druhé číslo vzdálenost od počátku.

Pro znázornění nějakého čísla ψ budeme postupovat následovně: dvojice bude vypadat jako $(\frac{2\pi k}{\psi}, \sqrt{k})^3$, kde vykreslíme bod pro každé $k \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$.⁴

Zde můžeme pozorovat rozdíly mezi racionálními a iracionálními čísly podle pravidelnosti rozložení bodů. Čím více je celá plocha pokryta, tím větší je pravděpodobnost, že číslo ψ je iracionální.



Obrázek 7: π



Obrázek 8: $\frac{22}{7}$

7 Závěr

Vizualizace čísel pomocí geometrických obrazců nám umožňuje nahlížet na matematické konstanty z nového úhlu. Namísto pouhých číslic získáváme často překvapivě krásné obrazy, ve kterých se odráží vlastnosti jednotlivých čísel. Tímto způsobem můžeme nejen esteticky ocenit strukturu čísel, ale také lépe porozumět pojmům, jako je iracionalita prostřednictvím jejich vizuálních projevů.

Poděkování

Na závěr bychom rádi poděkovali organizátorům *Týdne vědy na Jaderce*, díky nimž se tato akce mohla uskutečnit, a také vedoucímu našeho miniprojektu *Ing. Lukáši Heribanovi*.

³Vzdálenost $\sqrt{k}$ jsme zvolili, aby body nebyly příliš daleko od sebe, je samozřejmě možné zvolit i libovolnou jinou posloupnost vzdáleností.

⁴ m je počet bodů, které chceme zobrazit.

Ab initio výpočty elektronové struktury a magnetických vlastností Heuslerových slitin

J. Klier¹, J. Kubica², J. Kutscherauer³ a O. Wantulok⁴

¹G J. S. Machara; jakub.kutsch@email.cz

²G Ostrava-Hrabůvka; jakub.kubica@mensa.cz

³G Dr. Václava Šmejkal; jiri06klier@gmail.com

⁴G J. Božka; oliwia.wantulok@gmail.com

Mgr. J. Hamrle, Ph.D., školitel; KIPL FJFI ČVUT

Abstrakt

Pro efektivní návrh nových materiálů je klíčové porozumět elektronové struktuře pevných látek a jejího vlivu na vlastnosti daného materiálu. Účinným nástrojem pro tyto účely jsou ab initio výpočty. Tato práce se zaměřuje na ab initio výpočty Heuslerových slitin, konkrétně Co_2FeSi , Co_2FeAl , Co_2MnSi a Co_2MnAl . Byla zkoumána jejich pásová struktura a hustota náboje v krystalu, která byla poté dávana do vztahu s jejich magnetickými vlastnostmi.

1 Úvod

V současnosti lze pozorovat neustále rostoucí poptávku po vývoji nových funkčních materiálů s unikátními vlastnostmi, a to zejména v kontextu ekologické transformace průmyslu a vývoje pokročilých technologií. Pro jejich návrh se jako velmi účinný nástroj osvědčily ab initio výpočty (též výpočty z prvních principů), které umožňují predikci vlastností materiálů výhradně ze znalosti jejich atomárního složení a geometrické struktury. Díky nim tak lze z hledaných makroskopických vlastností odvodit potřebnou stavbu materiálu.

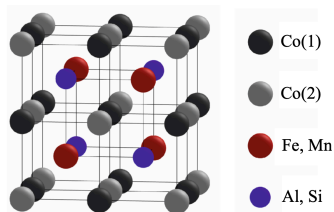
V této práci jsou zkoumány Heuslerovy slitiny, což jsou intermetalické fáze složené ze dvou až čtyř prvků, které představují perspektivní materiály zejména v oblastech spintroniky a senzoriky. Konkrétně byly studovány full-Heuslerovy slitiny Co_2FeSi , Co_2FeAl , Co_2MnSi a Co_2MnAl . Cílem pak bylo porovnat vliv substituce jednoho prvku ve struktuře na celkové elektrické a magnetické vlastnosti materiálu. Dále bylo cílem prozkoumat empirické Slaterovo-Paulingovo pravidlo, které předpokládá lineární závislost magnetického momentu $\mu_B M_t(Z_t)$ na počtu valenčních elektronů Z_t ve strukturní jednotce, kde $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J T}^{-1}$ je Bohrov magneton. Pro full-Heuslerovy slitiny je tento odhad $\mu_B M_t(Z_t) = \mu_B (Z_t - 24)$.

2 Zkoumané krystaly

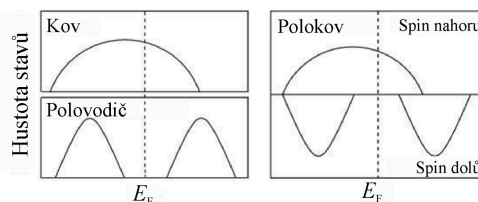
Full-Heuslerovy slitiny jsou ternární a mají strukturu $L2_1$, tvořenou čtyřmi plošně centrovanými podmřížkami (viz obrázek 1). V rámci této práce byly modelovány krystaly

Co_2FeSi , Co_2FeAl , Co_2MnSi a Co_2MnAl s mřížkovými konstantami 0,566 nm, 0,570 nm, 0,565 nm a 0,569 nm.

Na těchto krystalech byla zkoumáno, zda se jedná o vodiče, polovodiče, izolanty nebo polokovy. Polokovy se vyznačují tím, že pro jeden směr spinu se chovají jako vodiče, zatímco pro opačný směr jako polovodiče nebo izolanty. Na obrázku 2 je naznačena závislost hustoty stavů na energii pro kov, polovodič a polokov.



Obrázek 1



Obrázek 2

3 Metody

Prostor krystalu je rozdělen do sférických oblastí přiřazených jednotlivým atomům, přičemž ideální je takové uspořádání, kdy jsou tyto koule co nejvíce těsně přiléhající. Toto rozdělení umožňuje řešit vlnovou funkci pouze uvnitř těchto atomových sfér, čímž se výrazně snižuje výpočetní náročnost. Další optimalizaci výpočtu přináší využití symetrií v jednotkové buňce.

Hamiltonián valenčních elektronů zahrnuje kromě kinetické energie a potenciální energie od atomových jader také člen popisující výměnnou interakci elektronů, který se v rámci teorie funkcionálu hustoty (DFT) aproximuje pomocí nábojové hustoty. V této práci byla použita tzv. PBE aproximace (Perdew–Burke–Ernzerhof).

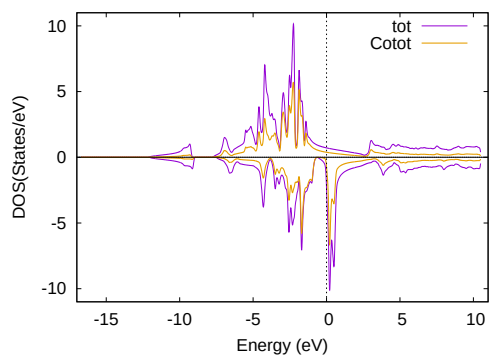
Významné zjednodušení výpočtů přináší také rozdělení elektronů na jádrové, které se neúčastní chemických interakcí, a valenční, které jsou modelovány přesnějšími metodami. K popisu vlnových funkcí valenčních elektronů se využívají Blochovy funkce, které reflektují periodickou strukturu krystalu.

Řešení bezčasové Schrödingerovy rovnice pak spočívá v hledání vlnové funkce jako lineární kombinace vhodně zvolených bází. Úloha se přepisuje do maticové formy, jejímž řešením získáme spektrum elektronových stavů – tedy závislost hustoty stavů na energii a pásovou strukturu materiálu.

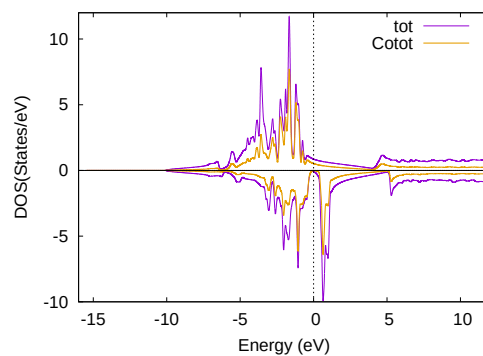
4 Výsledky

Pomocí ab initio výpočtů byla získána závislost hustoty stavů elektronů (DOS) na jejich energii. Tato závislost byla počítána pro elektrony spinu up i down odděleně, v grafu jsou poté obě varianty vizualizovány spin up v kladných číslech a spin down v záporných. Dále je zde zobrazena Fermiho hladina.

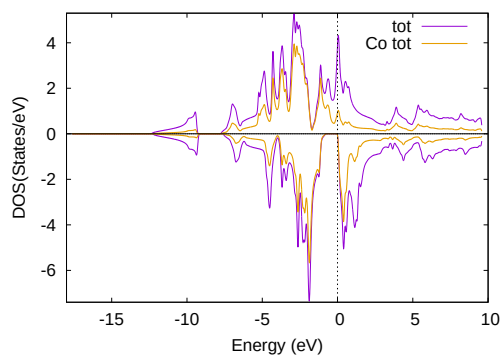
V případě Co_2FeSi a Co_2MnAl je vidět, že se jedná o vodivé materiály. Naopak u Co_2FeAl je zřejmé, že je to polokov. U Co_2MnSi se jeho povaha nepodařilo tímto způsobem jednoznačně určit, jelikož se jeho Fermiho hladina pohybuje na hranici.



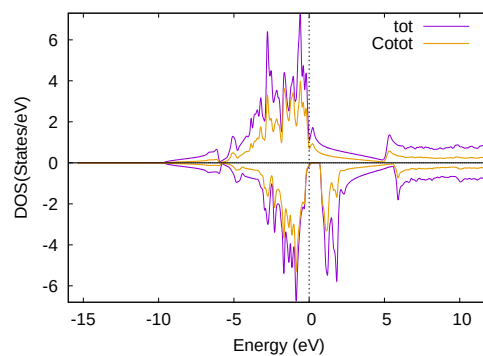
Obrázek 3: DOS Co_2FeSi



Obrázek 4: DOS Co_2FeAl

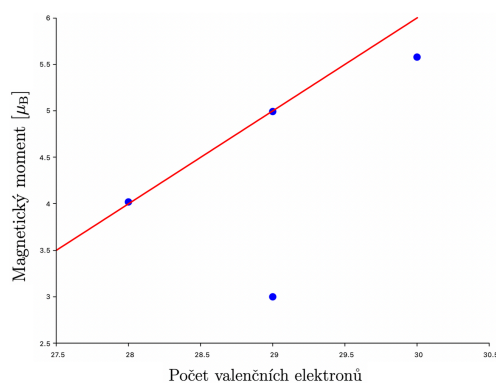


Obrázek 5: DOS Co_2MnSi



Obrázek 6: DOS Co_2MnAl

Pro ověření platnosti Slater-Paulingova pravidla pro vybrané slitiny byl sestaven graf, v němž je zobrazena empiricky odvozená závislost a vypočítané hodnoty magnetizace. Z něj vyplývá, že slitiny Co_2FeAl a Co_2MnAl vyhovují pravidlu, slitina Co_2FeSi s chybou okolo 7 procent. Co_2MnSi se Slater-Paulingovu pravidlu vymyká.



Obrázek 7: Závislost magnetického momentu elementární buňky na počtu valenčních elektronů

5 Závěr

V naší práci jsme se věnovali popisu full-Heuslerových slitin, konkrétně Co_2FeSi , Co_2FeAl , Co_2MnSi a Co_2MnAl , metodou ab initio. Vykreslili jsme závislosti hustoty stavů na energii.

Poděkování

Tímto bychom chtěli velmi poděkovat Mgr. Jaroslavu Hamrlovi, Ph.D. za to, že nám představil velice komplexní oblast vědeckého bádání za velmi krátký čas a to způsobem, že jsme ke konci stáže byli schopni vlastní práce bez cizí pomoci. Dále děkujeme Katedře inženýrství pevných látek FJFI ČVUT, že jsme mohli využívat jejich zázemí.

Odkazy

1. KUMAR, S.; KUMAR, D.; GUPTA, S. L.; VINAYAK, K. S. Ab initio study of the newly proposed full Heusler alloy Co_2CuAl : Insights from DFT. *Journal of Alloys and Compounds*. 2023, roč. 935, s. 168153. Dostupné z DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.168153.
2. ZITOUNI, A.; REMIL, G.; BOUADJEMI, B.; BENSTAALI, W.; LANTRI, T.; MATOUGUI, M.; HOUARI, M.; AZIZ, Z.; BENTATA, S. Insight into structural, electronic, magnetic, and elastic properties of full-Heusler alloys Co_2YPb ($Y = \text{Ti}, \text{V}, \text{Fe}, \text{Mo}$): An ab initio study. *JETP Letters*. 2020, roč. 112, č. 5, s. 290–298. Dostupné z DOI: 10.1134/S0021364020210052.
3. EL KRIMI, Y.; MASROUR, R. Comprehensive ab initio analysis of the structural, electronic, magnetic, and mechanical properties of the full-Heusler alloy Co_2FeAl using DFT calculations. *Computational Materials Science*. 2025, roč. 236, s. 112239. Dostupné z DOI: 10.1016/j.commatsci.2024.112239.
4. KATSNELSON, M. I.; MAZURENKO, V. V.; LICHTENSTEIN, A. I. Ab initio calculation of Hubbard U and Hund's exchange in full Heusler compounds. *Physical Review Materials*. 2022, roč. 6, č. 11, s. 114401. Dostupné z DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.6.114401.
5. GHEMID, S.; BENHELAL, O.; IBRIR, M.; BOUHEMADOU, A.; BIN-OMRAN, S. DFT-based investigation of the structural, magnetic, electronic, and elastic properties of full-Heusler Co_2VZn and half-Heusler CoVZn alloys. *European Physical Journal B*. 2021, roč. 94, s. 191. Dostupné z DOI: 10.1140/epjb/s10051-021-00193-4.

Vrtichvost, aneb prozkoumejme zákeřnosti tokamaků

K. Jenišťová¹

¹Gymnázium V.B. Třebízského; jenistova.klara05@gmail.com

J. Brotánková, školitel; KF FJFI ČVUT

Abstrakt

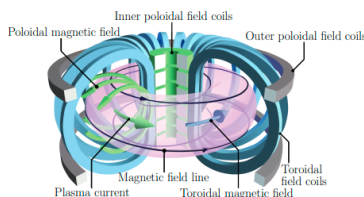
Náplní této práce je studium nestabilit v tokamacích za pomoci experimentálního zařízení „Vrtichvost.“ Vrtichvost je deset drátů uspořádaných po obvodu válce. Dráty prochází proud a celý Vrtichvost se točí. Dráty s proudem simulují proudové „hady“ v tokamaku, což je ohromná výhoda, jelikož známe přesné hodnoty a polohy proudu. Cílem výzkumu je zdokonalovat technologii tokamaků.

1 Úvod

V dnešní energetické situaci je potřeba hledat nové efektivní způsoby, jak nasytit poptávku. Právě proto se zabýváme termojadernou fúzí. Momentálně nejnadějnější realizací fúze je tokamak. Naším ústředním problémem budou nestability v tomto plazmatu, v našem případě magnetické ostrovy-proudový had, který si konzumuje vlastní ocas. Nahlédneme do oblastí fyziky plazmatu a do fyziky schované za měřením. To, co jsme si zažily, jsme aplikovaly na tokamaku Golem. Náš experiment bude tudíž sestávat hlavně z porovnávání dat na Vrtichvostu a Golemu, dále budeme sledovat rychlost Vrtichvostu ze spektrální analýzy.

2 Propojení Vrtichvostu a Golema

Tokamak je magnetická nádoba, ve které je udržováno horké plazma. V tokamacích jsou poloidální a toroidální cívky (obrázek 1). Poloidální cívky (neboli cívky toroidálního pole) udržují tvar plazmatu, toroidální cívky udržují polohu plazmatu. Nádoba tokamaku tvoří sekundární okruh transformátoru, díky kterému protéká plazmatem silný proud, který vytváří poloidální složku magnetického pole. Poloidální a toroidální pole se složí do tvaru šroubovice neboli helicity. Helicita je velice důležitá, brání se díky tomu separaci nábojů, šroubovice je promíchá. Kdyby v tokamaku nebyl indukovaný proud, helicity zmizí a plazma unikne. Proud je ale zároveň tím, co způsobuje nestability. Pro představu, stellarátory nepotřebují proud, jelikož jejich složitá geometrie rovnou zařizuje helicitu.



Obrázek 1: Schéma tokamaku [1]

Pro vysvětlení ostrovů potřebujeme znalost faktoru q [3]. Tento faktor říká, kolikrát oběhne jedna částice tokamak, aby se dostala na místo, odkud startovala. Není pro nás však žádoucí, aby se částice a potažmo plazma vracelo stále na stejná místa. Proto je ideální, pokud má faktor hodnotu iracionálního čísla, nebo čísla s dlouhým desetinným rozvojem.

Vrtichvost je znázorněn na obrázku 2. Je to válec s rozměry 12.8 cm v průměru a o výšce cca 12 cm, na kterém je upevněno 10 drátů zapojených střídavě stejnosměrným proudem nahoru a dolů. Má možnost se otáčet, budeme zde tudíž měřit rychlost. Rotační pohyb je umožněn výkonným motorem. Vrtichvost je obklopen 8 cívkami s 1000 závitů o průměru 8 mm a ve vzájemné vzdálenosti 7 cm. Točením Vrtichvostu se indukuje napětí v měřicích cívkách (v závislosti na hodnotě proudu, kterou si zvolíme). Zároveň cívky díky nestacionárnímu magnetickému poli mohou měřit magnetickou indukci, po zintegrování pole jako takové. Tímto dokážeme mapovat pohyb magnetických struktur a těchto znalostí využíváme v tokamacích.



Obrázek 2: Fotografie magnetického standu s Vrtichvostem v PlasmaLabu.

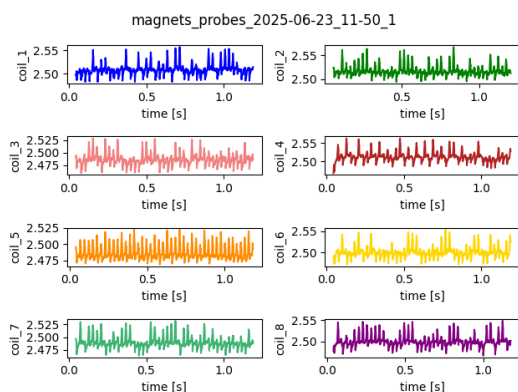
Napětí na cívce odpovídá časové změně magnetické indukce v místě cívky a je závislá na parametrech cívky:

$$U = -\frac{dB}{dt}S = -\frac{\mu S}{2\pi r} \frac{dI}{dt}, \quad (1)$$

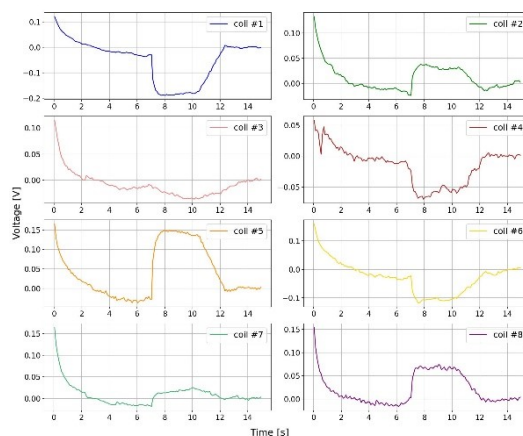
kde S je plocha cívky a r je vzdálenost od vodiče s proudem I (zdroj B). Abychom určily magnetické pole, musíme signál z cívky integrovat:

$$B(t) = -\frac{1}{S} \int_0^t U(\tau) d\tau \quad (2)$$

Během měření jsme si chtěli na Vrtichvostu vyzkoušet, po čem se máme dívat, při měření na Golemu jsme hledaly již samotné ostrovy. Na začátku bylo zajímavým jevem, kdy jsme na Vrtichvostu analyzovaly naměřená data za nulového proudu, obrázek 2. Navzdory očekávání jsme naměřily spousty píků, ty ale byly pouze artefakty elektroniky. Musely jsme tedy s tímto počítat při dalším zpracování dat. Měřily jsme dvěma metodami. První byla, kdy jsme měly v drátech střídavě různý proud (po integraci), a poté jeden stálý proud s rotujícím Vrtichvostem.



Obrázek 3: Šum z surových dat z Vrtichvostu.

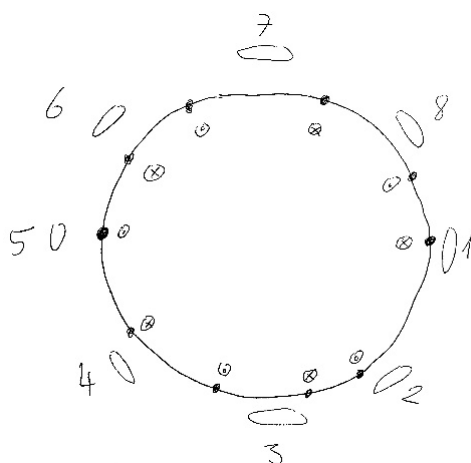


Obrázek 4: Průběhy magnetického pole ve Vrtichvostu po odečtení offsetu.

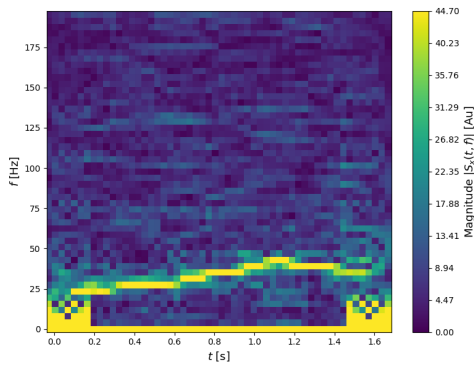
Na obrázku 4 jsou vyneseny analogově integrované signály z cívek. Můžeme vidět poklesy nebo vzestupy signálu, které korespondují se směrem proudu v drátech a blízkostí cívky. (schéma je na obrázku 5.) Například u cívky 3 nevidíme změnu, jelikož se nachází mezi dráty, cívka 1 a 5 mají obrácený směr.

Spektra ze signálu nám prozradí frekvence proudových struktur/magnetické aktivity. U Vrtichvostu jsme změřily frekvenci otáčení ze spektrogramu na obrázku 6. Z frekvence 20 – 30 Hz na spektrogramu usuzujeme na faktickou rychlost otáčení Vrtichvostu 4 – 6 Hz (10 drátů + 2 směry proudu.) Řádově stejná hodnota nám vyšla při analýze syrové hodnoty signálu.

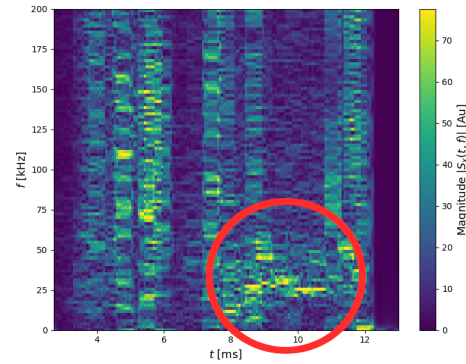
Nakonec jsme naměřily pár výstřelů na tokamaku Golem, kdy jsme zjistili, že je na něm toto měření poměrně zákeřné, neboť je zapotřebí mít nízké magnetické pole a vysoký proud. Při těchto podmínkách se často plazma vůbec nevytvoří. Nicméně jsme nejspíše našly právě nějakou zajímavou magnetickou aktivitu, možná dokonce ostrov - viz obrázek 7.



Obrázek 5: Schéma Vrtichvostu. Očíslované cívky a vyznačený směr proudu.



Obrázek 6: Spektrogram Vrtichvostu, cívka 4.



Obrázek 7: Spektrogram na Golem, #49376, cívka 4.

3 Shrnutí

V naší práci jsme se seznámily se zařízením simulujícím magnetické ostrovy Vrtichvostem. Naučily jsme se pracovat s magnetickými cívkami (surovým a integrovaným signálem) a diskutovaly jsme zdroje šumu a offset. Vše jsme použily při práci s tokamakem Golem. Pro další práci bych si dala za cíl najít optimalizované podmínky pro udržení plazmatu v tokamaku Golem a zároveň pro vytvoření ostrovů. Více pozornosti si také zaslouží vzorkovací frekvence sběrné elektroniky na Vrtichvostu.

Poděkování

Chtěla bych poděkovat paní Janě Brotánkové, Tomáši Plecháčkovi, Jakubovi Dlouhému a Josefu Větrovskému za cennou pomoc s Pythonem a zpracováním dat, Vojtěchu Svobodovi za poskytnutí tokamaku Golem a všem pořadatelům a organizátorům.

Práce probíhala na FJFI ČVUT v laboratoři PlasmaLab@CTU [4], Laboratoř horkého plazmatu a fúzní techniky, CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_017/0002248, zaměřené na výuku a diagnostik pro termojadernou fúzi a na tokamaku GOLEM [5], výukovém zařízení pro vzdělávání ve fúzi.

Odkazy

1. BERGSTRÖM, H.; HALLDESTAM, P. Optimization of tokamak disruption scenarios. 2022.
2. BAREŠ, O. *PlasmaLab at CTU - Magnetic diagnostics*. 2021. Bachelor thesis. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze.
3. WESSON, J. *Tokamaks Third Edition*. Clarendon Press - Oxford, 2004.
4. [B.r.]. Dostupné také z: <https://www.plasmalab.cz>.
5. [B.r.]. Dostupné také z: <http://golem.fjfi.cvut.cz/>.

Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy

Vojtěch Stluka¹

stlukav@arcig.cz

¹Arcibiskupské gymnázium v Praze, Korunní 2

Abstrakt:

Článek se zabývá možností náhrady aktivního uhlí sorbentem vyrobeným z biologicky degradovatelných zdrojů. Cílem tohoto projektu bylo pomocí pyrolýzy a následné aktivace zplyňováním oxidem uhličitým vyrobit aktivní uhlí ze zbytků odpadní biomasy a zjistit u něj jeho vlastnosti pomocí jadového čísla.

1 Úvod

Aktivní uhlí je bez větší nadsázky životu nezbytná látka. Setkáváme se s ním dennodenně, ať už je to ve formě tabletek užívaných proti laxativním onemocněním nebo jako filtry v úpravárnách pitné vody. Jeho nepřekonatelnou výhodou jsou sorpční vlastnosti, jichž dosahuje především díky velkému povrchu, jenž se pohybuje kolem 1 000 m² na gram této látky, a přítomností funkčních skupin, které umožňují tvorbu specifických vazeb pomocí různých sil, např. van der Waalsových sil, vodíkových můstků nebo elektrostatické interakce.

Jelikož se v současné době zavírají černouhelné doly, hlavní složka výroby, již bývá kamenné uhlí, se stává nedostupnou a hledají se jiné suroviny pro komerční výrobu. Jako nejlepší se v současné době jeví výroba tepelnou degradací odpadní biomasy, např. už běžící výroba ze skořápek kokosových ořechů. Po namletí se biomasa odplyňuje procesem pyrolýzy (tepelný rozklad bez přístupu vzduchu). Vzniklému produktu se říká biochar. Samotný biochar je pouhým okem nerozeznatelný od aktivního uhlí, nicméně jeho vlastnosti pro sorpce ještě nejsou plně optimální. Stále se v něm nachází navázané zbytky vody a jiných příměsí (dehtů), které se doposud neoddělily z matrice biocharu. Proto se následně aktivuje při vyšší teplotě na zmíněné aktivní uhlí. Proces aktivace sestává ze zahřátí vzorku na teplotu mezi 800 – 1 000 °C, kdy se jím zároveň prohání plyn (většinou vzduch, CO₂ nebo vodní pára), který významně urychluje reakci a pomáhá odstraňovat odpadní látky, které se tím uvolňují z pórů, a tím jsou čištěny. Za těchto podmínek je u uhlí možno dosáhnout největší plochy povrchu, a lze jej tak užít jako kvalitní adsorbent. [1]

Během reakce bez kyslíku dochází k rovnici (1):



pro případ aktivace CO₂. Výsledným produktem je tak aktivní uhlí a oxid uhelnatý.

2 Výroba aktivních sorbentů

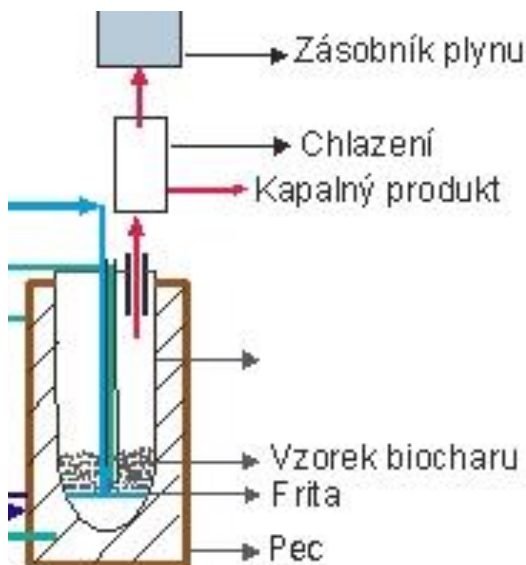
K výrobě aktivního uhlí byly v tomto případě použity následující kroky:

2.1 Úprava biomasy

Organické zbytky skořápek vlašských ořechů byly nejprve nadrceny na nožovém mlýně. Z nadrceného materiálu byla síťovou analýzou odseparována frakce vzorku <2 mm, která byla použita pro pyrolýzu. Produktem pyrolýzy byl biochar (RSC-600). Jeho následnou aktivací vznikl aktivovaný biochar (RSC-800). Vzorky vstupního materiálu, biocharu (RSC-600) a aktivovaného biocharu (RSC-800) o velikosti zrna $<0,2$ mm byly použity pro stanovení jodového čísla. Vzorek RSC-600 byl před vlastním měřením sušen po dobu tří hodin při 105 °C v sušárně.

2.2 Pyrolýza a aktivace vzorku

Již zmíněná takto upravená frakce skořápek vlašských ořechů <2 mm byla umístěna do křemenného reaktoru, utěsněna a následně zahřívána na teplotu 600 °C ve vertikální odporové peci. Během ohřevu došlo k odplynění vzorku a odparu vody a těkavých organických látek. Tyto složky byly od sebe odseparovány chlazením. Aby byl využit nejvyšší sorpční potenciál vzorku, byla nutná jeho aktivace. 50 g vzorku bylo nasypáno do křemenného reaktoru, ten byl vložen do vertikální odporové pece. Reaktor byl propláchnut dusíkem, aby byl odstraněn zbytek vzduchu z křemenného reaktoru nad vzorkem. Pec byla pomocí programu a zahřívána rychlostí 20 °C/min na 800 °C. Po dosažení této teploty uvnitř vzorku byl do reaktoru z tlakové lahve dávkován oxid uhličitý (CO_2) rychlostí $16 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ po dobu tří hodin.



Jak je patrné z obr. 1, aparatura byla tvořena pecí, reaktorem se vzorkem, plynovým přívodem a systémem odčerpávání plynu do plynojemu, z něž bylo provedeno kontrolní měření. Výtěžek aktivovaného biocharu byl $62,3 \text{ hm.}\%$. Dále se uvolnilo $5,5 \text{ hm.}\%$ kapalného podílu. Plyn a ztráty činí $32,2 \text{ hm.}\%$.

Obr.1: schéma aparatury pro aktivaci vzorku [2]

Tab.1: procentuální zastoupení majoritních plynů vznikajících v průběhu aktivace

	RSC1-800
CO (%)	54.45
CO ₂ (%)	32.01
H ₂ (%)	9.10
N ₂ (%)	2.64
CH ₄ (%)	1.75

2.3 Měření koncentrací plynů

Oddělení kapalných látek ze surového plynu probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni byl surový plyn vzdušně chlazen na teplotu okolí a došlo ke kondenzaci kapalných produktů. Ve druhém stupni byly za intenzivního chlazení etanolem při $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ odseparovány zbytky kapalného podílu ze surového plynu. Zchlazený plyn byl poté jímán do plynojemu o obsahu 130 dm^3 . Stanovení koncentrace uvolňovaných plynů během zahřívání v reaktoru bylo provedeno čidlem umístěným v plynojemu, zároveň byl plyn v plynojemu po skončení zplyňování odebrán do skleněných vzorkovnic a analyzován plynovou chromatografií na dvou přístrojích *Agilent Technologies 6890N* vybavených kapilárními kolonami ($25\text{ m}\times 0.25\text{ mm}$) s použitím plameno-ionizačního (FID) a tepelně vodivostního (TCD) detektoru. Plyny O_2 , N_2 a CO byly stanovené na koloně *HP-MOLSIV* ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) s nosným plynem He ($5\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$) použitím TCD. Podrobně je procentuální zastoupení vidět v tabulce 1.

2.4 Jodové číslo

Zároveň byl proveden test na jodové číslo dle normy *ASTMD4607*. Vzorek byl odvážen na analytických vahách. Pro odstranění síry, která by mohla interferovat se stanovením, byl vzorek po přidavku 10% HCl zahříván na kahanu a sloučen se 100 cm^3 jodinu (směs elementárního jodu a jodidu draselného ve vodě). Po přefiltrování byla titrací s thiosíranem sodným ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) zjištěna koncentrace jodu, který se nenavázal do pórů. Následně bylo vypočtena reziduální koncentrace a jodové číslo pro všechny tři vzorky: pro aktivovaný biochar $654\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, pro biochar $22\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, a konečně pro sušené skořápky $132\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$.

3 Závěr a diskuse

V průběhu práce se podařilo procesem zpracování a úpravy odpadní biomasy vyrobit vlastní aktivní uhlí, které mělo uspokojivou hodnotu jodového čísla, a dokázat tak, že kvalita aktivního uhlí vyrobeného z odpadní biomasy, co se sorpce týče, může konkurovat klasickému komerčně prodávanému aktivnímu uhlí.

Poděkování

Za teoretickou průpravu, vedení práce a sympatický přístup děkuji doktorkám Švábové a Bičákové a laborantce paní Borecké z Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR. Z prezentací prvních dvou jmenovaných jsem pak vycházel i při sepisování této práce.

Reference

- [1] M. Švábová et al. *Biochar as an effective material for acetone sorption and the effect of surface area on the mechanism of sorption*. Journal of Environmental Management 348 (2023)
- [2] O. Bičáková et al. *The effect of carbonization temperature on textural properties of sewage sludge-derived biochars as potential adsorbents*. Journal of Environmental Management 359 (2024)

What is inside the surprise kinderegg?

M. Číhala¹, Z. Grycová²

¹ Matiční G, Ostrava; cihalamarek@gmail.com

² G Botičská, Praha; zuzanagrycova6@seznam.cz

MSc. Noah Schäfer; UTEF CVUT

Abstract:

The aim of this project was to scan the kinderegg with a Computer tomograph, reconstruct the obtained projection images towards 3D images and to visualize and segment the toy out of the kinderegg while not opening the egg. In the end it was possible to see the serial number, google it and find out which toy was exactly in the kinderegg.

1 Introduction

X-ray is a kind of electromagnetic radiation with high energy. It passes easily through some materials (e.g. tissue) but has difficulty in others (e.g. metals). If a detector is put behind a scanned object, it is possible to take an image, which is commonly called X-ray radiography. However, due to high energy of X-rays, sensitive materials (e. g. tissue) can be damaged with repeated scanning. While this method only allows, to gain 2D images, there is the possibility to also obtain 3D images. By taking a lot of radiographs from different angles around the object, it is possible to calculate (“reconstruct”) 3D images. This process is called Computed Tomography (CT) imaging. This is the main difference from an X-Ray radiography, where only 2D images are obtained. However, during CT imaging, more radiation is emitted, since multiple projections are taken. CT is also generally less portable when compared to X-ray radiography devices. [1] [2]

It is known that CT scanning is commonly used in hospitals. CT scans are also used in paleontology, archeology and in industry etc.. Thanks to CT imaging, it is possible to find out the exact dimensions, composition and internal structure of a material. [3,4]

2 Materials

In order to scan and visualize the kinder surprise egg, multiple devices and softwares were used.

Each CT consists at least of these three essential parts (see Figure 1), which were used for obtaining the scan of the kinder surprise egg.

1. X-Ray Tube: For the scan, the X-ray tube L12531 by Hamatsu Photonics was used to generate the X-rays.
2. Detector: Dexela flat panel X-Ray detector

3. Radiation shield: Layer made from lead

The scanned object:

1. Kinder Surprise Egg: Sweet treat by Ferrero, made from chocolate with plastic toy inside

Furthermore to process the obtained projection data, the following software tool were used:

1. VG Studio reconstruction software: Software used for reconstructing the kinderegg projection data
2. Python Version 3.7.16: A common programming language used in research
3. Dragonfly Version 2024.01: Software used for visualizing and post processing the kinderegg images

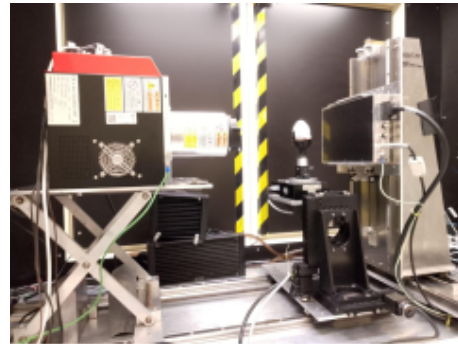


Figure 1: CT scanner

3 Methods

First of all, it was needed to prepare the CT geometry and calibrate the CT detectors. The exact distance between the X-Ray source and a kinderegg and the distance between the kinderegg and the detector were adjusted- our goal was maximising the area of the egg visible on the screen without leaving anything out, as visualized in Figure 2. In scanning, the parameter of 2400 projections with 0.15° difference between steps was used. After that a simplified reconstructing algorithm (filtered back projection) in Python and a more enhanced algorithm in VG studio was used, which processes the 2D images into sinograms and then into 3D visualization of the object.



Figure 2: 2D projection image of the kinderegg

In the software Dragonfly 3D world it was possible to look at the whole egg in a 3D view and manipulate the object. Although, it was necessary to remove (also called segmentation), the layer of chocolate and the plastic box inside the egg in the software, in order to see the toy inside. These unnecessary layers of kinderegg were cut and the toy appeared. With proper focus it was possible to read the serial number of the toy.

4 Results

In the end it was possible to read the serial number of the toy, which was VQ343. The toy was later identified via a website with a list of kinderegg toys [5].



Figure 3: Processed scan of the kinderegg. Note the readable model number.

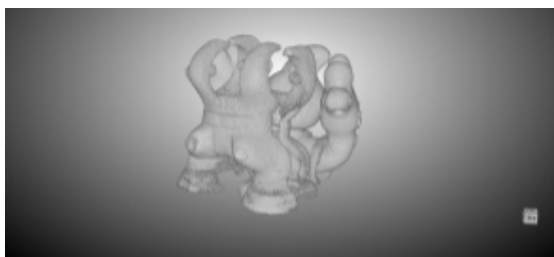


Figure 4: Processed scan of the kinderegg, now with the toy visible.



Figure 5: Original toy for comparison [5].

Acknowledgement

We would like to thank FJFI ČVUT for organising Týden vědy na Jaderce. We would also like to thank Noah Schäfer for his useful guidance.

References

- [1] 2.Mark A Haidekker - Medical Imaging Technology - Springer Nature 2013
- [2] 3.Nadine Barrie Smith - Introduction to Medical Imaging - Cambridge University Press 2010
- [3] High-resolution X-ray computed tomography in geosciences: A review of the current technology and applications. *Earth-Science Reviews*, 123, 1-17.
- [4] Sutton, M. D., Rahman, I. A., & Garwood, R. J. (2014). Techniques for Virtual Palaeontology. *John Wiley & Sons*.
- [5] VQ343. Online. In: Jukate collection. 2025. Dostupné z: <https://www.jukate.ru>. [cit. 2025-06-24].

Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

Jiří Strítěský¹, Adam Selke², Nikola Zdeňková³

¹Gymnázium, Pardubice, Mozartova 449; jistrites@gmail.com

²Gymnázium J. K. Tyla, Hradec Králové; adam.selke@gjkt.cz

³Gymnázium Luďka Pika, Plzeň; nzdenkova@gmail.com

O. Garant Ing. Daniela Kropáčková; KF FJFI ČVUT

Abstrakt

Tokamak byl a nadále zůstává nejslibnějším zařízením pro získávání elektrické energie z termojaderné fúze, což je reakce, při které dojde ke sloučení dvou jader za extrémně vysokých teplot. Právě tokamaky využívají kombinaci magnetických polí, kterým vysokoteplotní plazma udržují v centru komory a zabraňují kontaktu se stěnou nádoby. My jsme se v našem projektu snažili docílit co nejdelší doby trvání výboje a to na vůbec nejstarším operujícím tokamaku GOLEM. V průběhu práce se nám podařilo docílit i výbojů s dvojitým průrazem, které jsme se rozhodli blíže analyzovat.

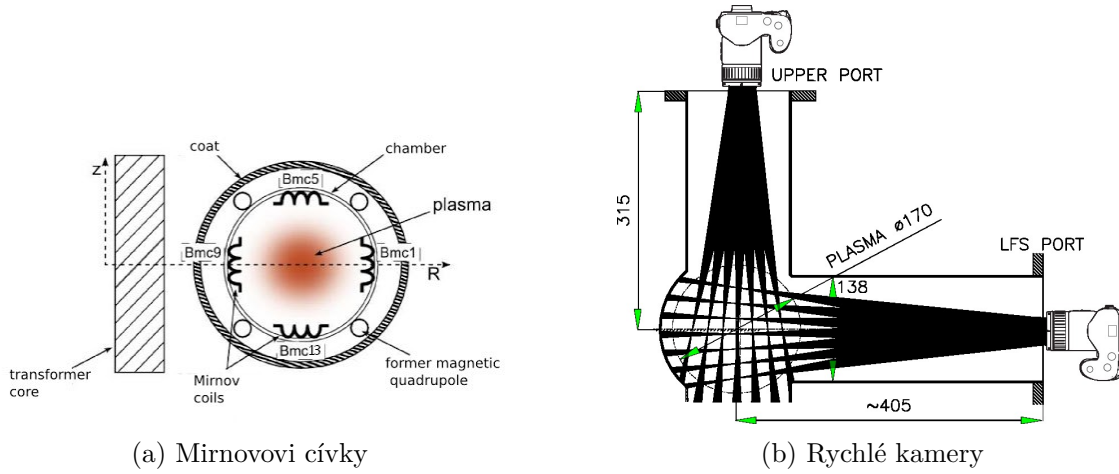
1 Úvod

Termojaderná fúze představuje potenciální zdroj elektrické energie. Pokud lidstvo dokáže úspěšně vytvořit termojaderný fúzní reaktor, o elektrickou energii již v podstatě nebude mít nouzi. Cílem výzkumu v této oblasti je tedy vybudování elektrárny, která bude efektivně produkovat elektrickou energii a nebude vytvářet škodlivé odpadní látky. Existují různé koncepty, které se většinou liší způsobem udržení plazmatu. Nejrozšířenějším z nich je právě tokamak, který k udržení plazmatu využívá kombinaci magnetických polí, jež drží plazma od stěn komory a stabilizují jej. V našich experimentech jsme se snažili udržet plazma ve středu komory pomocí úpravy proudu v cívkách horizontální a vertikální stabilizace. Zároveň jsme se tímto způsobem snažili o co největší prodloužení výboje.

2 Stabilizace plazmatu

2.1 Teorie

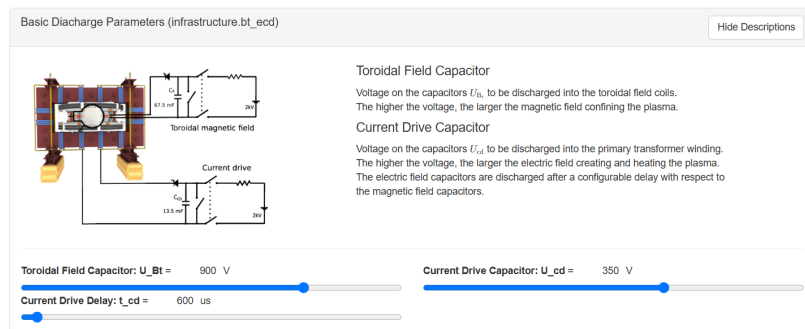
Tokamak GOLEM nacházející se na FJFI je tvořen vakuovou komorou kruhového průřezu a cívkami generující magnetické pole. Uvnitř je pomocí cívek vytvořeno toroidální magnetické pole. Změnou magnetického indukčního toku je v plazmatu indukován elektrický proud, který plyn zahřívá na několik stovek tisíc stupňů celsia. Etrémě horký ionizovaný plyn je poté různými silami vychylován. Změna jeho polohy může zmenšit jeho poloměr a nakonec vést až k zániku plazmatu nárazem o stěny.



Obrázek 1: Schéma umístění diagnostiky pro určování polohy plazmatu

2.2 Metody měření

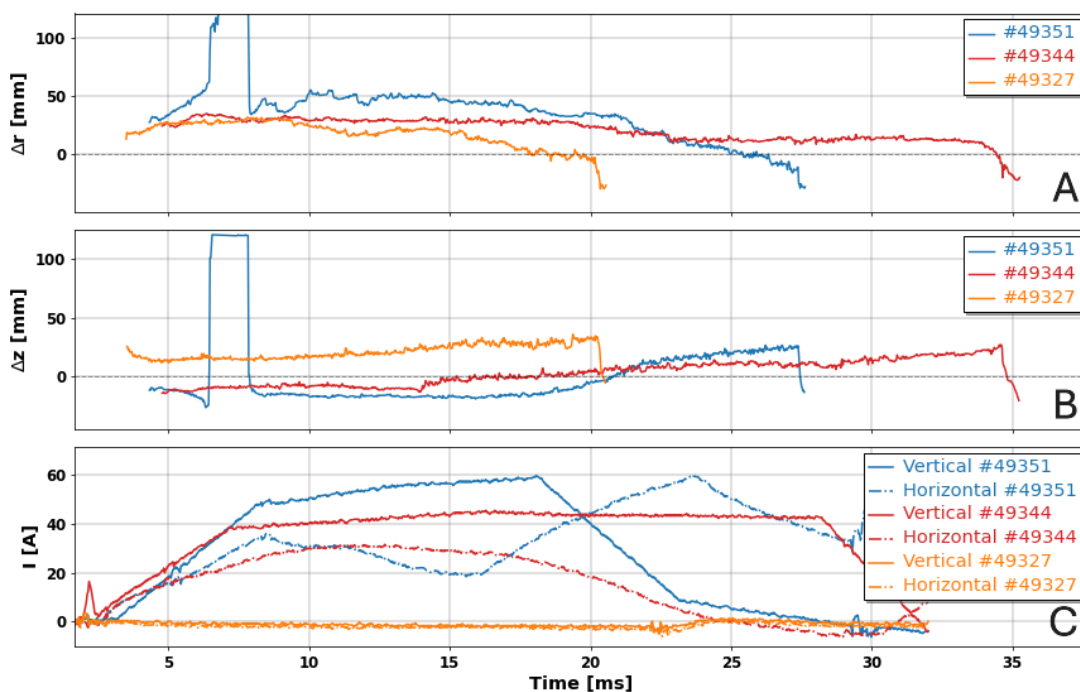
Samotný experiment jsme iniciovali přes webový velín (obrázek 2), který umožňuje nastavovat parametry výbojů (konkrétně se jednalo o napětí na kondenzátorech pro generaci toroidálního magnetického pole, U_{Bt} , pro generaci elektrického pole, U_{CD} , zpoždění se kterým se vybíjí kondenzátor pro elektrické pole, t_{CD} , tlak v komoře, p_{ch} , a předdefinovaný signál pro generaci proudu stabilizačními cívkami). Data získaná z experimentu jsme dále vyhodnocovali předem připraveným Python skriptem s využitím webové aplikace Jupyter notebook. Pohyb plazmatu byl měřen pomocí čtyř Mironovových cívek, které jsou umístěny v mezikruží ve stínu limiteru (obrázek 1a). Odchyly v poloze plazmatu můžeme naměřit ve dvou směrech: horizontálním - vlevo a vpravo od středu komory, vertikálním - nahoru a dolů. Jako další možnost kontroly polohy sloužily dvě rychlé kamery Photron MINI UX100. Jedna snímala plazma z boku komory (vertikální změny) a druhá z vrchu komory (horizontální změny), viz obrázek 1b. Posledním důležitým ukazatelem byla změna poloměru plazmatu. Ten jsme podle Pythagorovy věty vypočítali jako rozdíl původního poloměru a rozměru, který vznikl po složení vertikálních a horizontálních rozměrů.



Obrázek 2: Webový velín

2.3 Výsledky

Data vyhodnocená s využitím skriptu napsaného v jazyce Python jsme dále použili na zlepšení strategie udržení plazmatu v centru komory tokamaku. Pomocí změny proudu v stabilizačních cívkách tokamaku jsme negovali výchylky plazmatu od středu komory a prodlužovali tak délku výboje až na výsledných 31,27 ms. Tento výboj měl základní parametry $U_{Bt} = 900$ V, $U_{cd}=350$ V, $t_{cd} = 600 \mu s$ a $p_{ch} = 15$ mPa. Podařilo se nám také docílit dvojitého průrazu do plazmatu. Základní parametry tohoto výboje se lišily od našeho nejdelšího výboje pouze v tlaku, který činil 16 mPa. Oba grafy výbojů jsou na obrázku 3. Červeně - nejdelší, modře - dvojitý průraz a žlutě - referenční, bez stabilizace. Grafy jsou na obrázku postupně vykresleny pro horizontální polohu, vertikální polohu a v posledním je vykreslen průběh proudu ve stabilizačních cívkách. U modrého grafu v sekci A vidíme, že plazma prudce změnilo horizontální polohu a stejně tak v sekci B vertikální polohu, plazma tedy narazilo do stěny komory a zaniklo poprvé, ovšem v tokamaku byly vhodné podmínky i pro následný druhý průraz. U žlutého grafu v sekci A a B je vidět, že výboj bez stabilizace (viz sekce C, kde proud v cívkách je nulový) byl kratší oproti nejdelšímu výboji o 13,19 ms.



Obrázek 3: Grafy vybraných výbojů

2.4 Diskuze

Zapnutím stabilizace se nám podařilo prodloužit výboj z 18,08 ms na 31,27 ms. Oba výboje jsme prováděli po vyčištění komory, proto si myslíme, že nečistoty neměly tak negativní vliv na polohu a obecné parametry plazmatu. Dovolíme si tedy říct, že jsme dosáhli našeho primárního cíle, kterým bylo prodloužení doby trvání výboje. Při všech pokusech jsme prorazili, a to především díky dobře zvoleným základním parametrům výboje. Jediný základní parametr, který jsme se pokusili změnit, byl tlak plynu v komoře.

Provedli jsme výboje s tlakem 13 mPa a 14 mPa, které měly výrazně kratší dobu trvání než všechny naše ostatní pokusy, a proto jsme se rozhodli základní parametry, které se osvědčily, zachovat u výstřelů, ve kterých jsme se snažili dosáhnout delší doby trvání výboje.

3 Shrnutí experimentu

Úspěšně se nám podařilo zvládnout základy technologie stabilizace plazmatu a dovést náš nejdelší výboj až na délku 31,27 ms. Obecně jsme zhodnotili, že délka výboje mimo jiné záleží na vlivech uvnitř komory, které jsou těžko předvídatelné a lze je jen těžko ovlivnit. Samotná stabilizace je tak jednou z klíčových technologií k udržení plazmatu v tokamacích a jejím zdokonalováním se tak neustále přibližujeme k využití fúzní energie k produkci elektrické energie v budoucích fúzních elektrárnách.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za zorganizování skvělé akce, která nám umožnila nejen se vzdělávat a bádát, ale také si trochu užít a zkusit studentský život. Velmi si vážíme Vaší práce i energie co jste do akce vložil. Zvláštní poděkování pak patří naší garantce Daniele Kropáčkové za skvělé vedení, konzultace a pomoc na miniprojektu.

Reference

1. KOCMAN, J. *Řízení polohy plazmatického prstence na tokamaku GOLEM*. [B.r.]. Dostupné také z: https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/FTTF/DP_Jindrich_Kocman.pdf.
2. MARKOVIČ, T. *Measurement of Magnetic Fields on GOLEM Tokamak*. [B.r.]. Dostupné také z: https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/FTTF/DP_Tomas_Markovic.pdf.