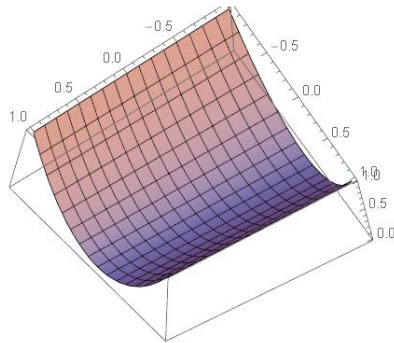
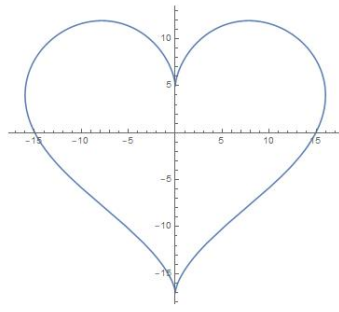


Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2022

Sborník příspěvků

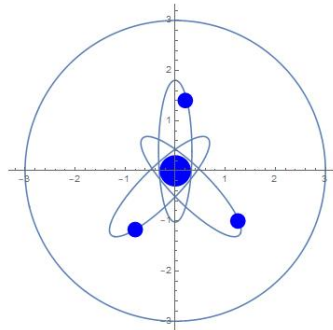
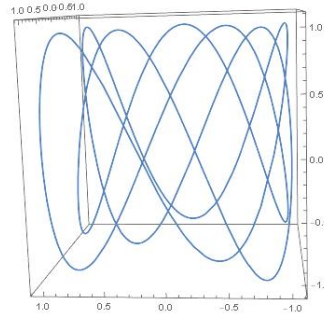
$$(16\cos(t)^3; 13\cos(t) - 5\cos(2t) - 2\cos(3t) - \cos(4t))$$

pro $-\pi < t < \pi$



$$z = x^2, y = 1$$

$$\begin{aligned} x &= \cos(3t + 0, 7) \\ y &= \cos(2t + 0, 2) \\ z &= \cos(7t + 0, 1) \end{aligned}$$

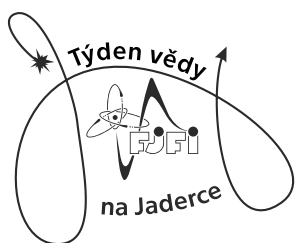


$$\begin{aligned} k: & (3\cos(t); 3\sin(t)) \\ a: & \left(\frac{\cos(t)}{3}, \frac{\sin(t)\sqrt{512+\sqrt{8}\pi}}{16}\right) \\ b: & \left(\sin\left(t + \frac{\pi}{6}\right) - \frac{\pi}{10}, \sin\left(t - \frac{\pi}{10}\right)\right) \\ c: & \left(\sin\left(t + \frac{5\pi}{6}\right) - \frac{\pi}{10}, \sin\left(t - \frac{\pi}{10}\right)\right) \\ d: & x^2 + y^2 < \frac{\pi^2}{100} \\ e: & \left(x + \frac{8}{10}\right)^2 + (y + 1,172)^2 < \frac{\pi^2}{400} \\ g: & (x - 1,25)^2 + (y + 1)^2 < \frac{\pi^2}{400} \\ h: & (x - 0,2)^2 + \left(\frac{0,6\sqrt{512+\pi^*}\sqrt{8}}{16}\right)^2 < \frac{\pi^2}{400} \end{aligned}$$

”Basic sciences provide the essential means to meet crucial challenges such as universal access to food, energy, health coverage and communication technologies..”

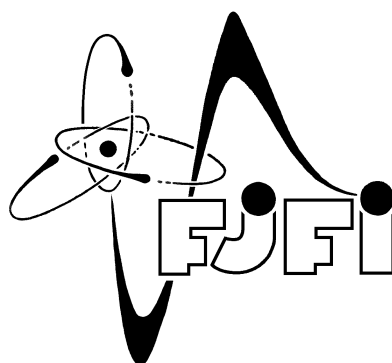
Michel Spiro, President of IUPAP (International Year of Basic Sciences for Sustainable Development)





Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2022

Poděkování za laskavou podporu



za podstatné finanční podpory MŠMT



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Akci věcně podpořili

vesmír

 **Prometheus**, spol. s r. o.

Mediální partner



Slovo úvodem

Milí přátelé, trochu jsme sice vypadli z rytmu, ale zdá se, že jsme se trefili do očekávání, že by ještě něco zajímavého na konci školního roku mohlo být zorganizováno pro středoškoláky a že se nám snad podařilo utišit oboustranný hlad jednak nás po setkání se šikovnou mladou, talentovanou a motivovanou krví a jednak vás, kteří toužíte po tom ještě se něco naučit, potkat nové zajímavé vrstevníky a ty ostatní, vyzkoušet si něco nového a třeba se i ztratit v Praze, viz očekávání a obavy letošního ročníku.

Aktuální statistika vypadá takto: Letošní ročník tvořilo 31 komnat Pevnosti Břehyard (+ pražská selfie a závěrečná aktivita), realizováno bylo 50 miniprojektů z původně navržených 60, 12 exkurzí, 12 přednášek a 6 diskusních párty pro vás, 150 studentů.

Tradičně děkuji všem vedoucím komnat Pevnosti Břehyard, garantům miniprojektů, přednášejícím, vedoucím exkurzí, krupíerům na Kasinu, různým pomocníkům a zvláštní poděkování patří podpoře fakulty FJFI. Opět mne velmi bere, když vidím mezi organizátory všech možných věcí bývalé účastníky Týdne vědy, nebo Fyzikálního týdne z dřívějších let.

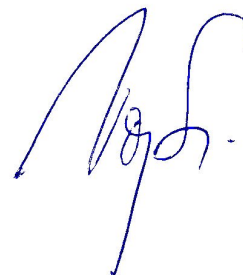
Letos byla klíčová produkční pomoc Karla, kterého vítám zpět na palubě TV@J a nově Veroniky Hendrychové. Dostat se zpět po dvouleté pauze do rytmu a vzpomenout si do detailů na vše podstatné pro zorganizování cca 1000 studentodnů programu bylo někdy dost kruté, ale vypadá to, že jsme to snad až na pár drobností dali. Taky jsme letos vrátili do hry appku a myslím, že se dobře osvědčila. Díky tedy Šimonu Svobodovi. Nové díky v tomto odstavci ještě patří Filipu Papouškovi, který na sebe vzal celou organizaci Pevnosti Břehyard a Kasina. Moc by mne potěšilo, kdybyste se na závěr přidali k mému poděkování a podpořili mě tak, aby Karel, Veronika, Šimon a Filip neztratili chuť pomoci s dalším ročníkem. VELMI jim letos děkuji, nedovedu si to bez nich představit a cítil jsem se v této spolupráci velmi komfortně.

Fakt je, že Týden vědy je náročná záležitost a celý týden tlačím čas a těším se na závěr, kdy budu vědět, že jste zase doma v bezpečí z naší péče. Ale vaše přítomnost na Břehovce je nesmírně osvěžující a velmi se těším, že příští léta uvidím na chodbách Jaderky pár růžových trik TV@J, dokument roku 2022 těch z vás, kteří si nás zvolí jako vstupní bránu do excitujícího badatelského světa.

Mějte se.

21. 6. 2022

Vojtěch Svoboda



Očekávání a obavy

Očekávání	Obavy
Že se něco naučím.	Pokazím něco.
Potkám nové lidi.	Práce do noci.
Vyzkouším si něco nového (vědeckou práci.)	Že nakonec půjdu na jinou VŠ.
Nový zájem.	Strahov (toaleták).
VŠ prostředí.	Ztratím se v Praze.
Pomůže mi to vybrat VŠ.	
Inspirace.	
Strahov.	
Ztratím se v Praze.	

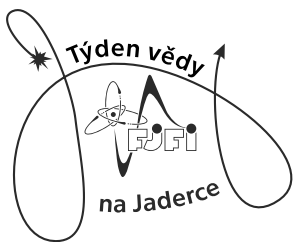
Titulní obrázek na obálce sborníku:

Miniprojekt Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice, grafy: srdce, lissajousův uzel, parabola, snaha o ztvárnění atomu z loga Týdne vědy.

Contents

Poděkování	2
Slovo úvodem	3
Program Týdne vědy 2022	7
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	9
Příspěvky	14
3D tisk a pevnost (Barbora Dolenská, Sára Herianová, Sandra Nesvetrová, Jaroslav Rozmuš,)	14
Simulace provozu JE typu ABWR (Lucie Gavlová, Ondřej Novák,)	18
Ramanova spektroskopie: pomocník alkoholika (Vladimíra Jiříčková, Štěpán Remeš,) . .	21
Chemické změny v důsledku ozáření - radiační chemie a fotochemie (Kateřina Rubišarová, Matěj Bureš, Daniela Kourková, Tomáš Motlík,)	25
Crystal structure solution using x-ray diffraction (Jan Holub,)	29
Super-resoluční fluorescenční analýza buněčného cytoskeletu (Aneta Moravcová, Lenka Konopová,)	33
Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy (Viktor Klacko, Petr Kozák, Atenea Zethnerová,)	37
Simulace urychlování iontů ELI laserem a jejich vizualizace ve Virtuální Realitě (Martin Bodorík, Nino Sládek,)	41
Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu (Ondřej Švihnos, Jan Adam Onderka, Jan Lepič, Jakub Savula,)	45
Počítačové zobrazování fraktálních množin (Adam Blažek, Dominik Novák, Vladimíra Brabcová,)	49
Jak poznat dávku z barvy gelu? (Eliška Zimolová, Barbora Maloňová, Miriam Melišová- Čugová, Michal Kosař,)	53
Jak horké je horké plazma? (Jáchym Buben, Kateřina Svačinová, Adam Šebek,)	56
Interference a difrakce světla (Daniel Cyrus, Martin Cajthaml, Anna Havlatová, Jiří Kozma,)	60
Nanostrukturovaný katalyzátor pro vodíkové technologie (Jáchym Hanáček, John Vít, Kristýna Horáčková,)	64
Kvantově chemické výpočty molekul (Jan Zrůst, Tomáš Urban, Jan Matěj Višňák,) . . .	68
The future of magnetogenetics (Sofia Zamanová,)	72
Stanovení vybraných prvků v meteorickém materiálu metodou AAS (Daniel Flaig, Linda Foučková, Ágnes Bednaříková,)	75
Kompaktní násobič vysokého napětí (Michal Slovák, Bohumil Brodský,)	79
Výbojkově čerpaný neodymový laser se zesilovačem (Karel Bednář, Dan Káčerek, Max- milian Ladislav Skuda, Jan Kaška,)	82
Co oční pohyby prozradí o strategii čtenáře? (Anna Vodáková, Kristýna Fulínová, Eva Czerneková, Jakub Müller,)	86
Virtuální onkologická ozařovna (Kristýna Budínová, Eliška Raidlová, Vanesa Vrbovcová, Jakub Šnajder,)	90
Studium městského tepelného ostrova Prahy (Ondřej Buben,)	94
How many solar panels do you need to cover your own electricity consumption? (Jaroslav Kraft, Lukáš Moravec,)	97

Thomsonova parabola a vliv elektrického a magnetického pole na jejím rozlišení (Daniel Čtvrtečka, David Bálek, Vojtěch Jančura,)	101
Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice (Daniel Pojhan, Alexandr Vondra, Jakub Radim Zbončák, Yahor Herashchanka, Martin Šilhavý, Erik Sabol,)	105
Počítačová grafika - pohled pod pokličku (Ema Štechová, Ivana Hronková, Pavel Hájek, Klára Patáková,)	109
Svět podivných jader (Denisa Trnková, Lukáš Jan, Jakub Vlček, Jeroným Kutáč,)	113
Quantum key distribution (Jakub Macíček, Pavel Pazdziora, Jan Štaffa,)	117
Radioimunoanalýza (Vítězslav Havlíček, Karolína Nejedlá, Pavel Savin,)	121
Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti (Matyáš Beran, Martin Zuzek, Richard Kapralčík, Adam Štrajt,)	125
Využití rezonance při zkoušení materiálů (Irena Smolíková, Miroslav Císař, Ladislav Antoži, Bára Jindrová,)	129
Měření rychlostí objektů pomocí laseru (Štěpán Šípal, Rafina Magomadova, Martin Kaplánek,)	133
Počítačové simulace pevných látek (Tomáš Toman, Matúš Púll, Vojtěch Kubát,)	136
Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy (Tamal Fejt, Lucie Finstrlová, Jan Buchmann,)	140
Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás (Lukáš Sluka,) .	143
Stabilizace laseru (Tomáš Chalas, David Havrlant,)	147
Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači (Pavel Kučera, Tomáš Holčák,)	150
Nature of Symmetry and Symmetry of Nature (Barbora Růžičková, Berenika Zemanová, Zuzana Grycová, Jakub Kulhavý, Martin Král,)	154
Jak nám pomáhají tenké vrstvy? (Lukáš Záruba, Mikuláš Fiala, Matyas Výchonský,) . . .	158
Termoluminiscenční dozimetrie (Václav Zajac, Pavel Prchal, Tomáš Dygrýn, Michaela Kočová,)	162
Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM (Adam Roštejnský, Monika Drexlerová, Vít Šimánek, Tomáš Březina,)	166
Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM (Petr Sluka, David Něníčka, Adam Míchal, Matyáš Bartaloš,)	170
Co je viskóznější, olej nebo čokoláda? (Jan Picmaus,)	174
Když se přeručí optický kabel, aneb jak fungují optická vlákna? (Jan Vojta, Adam Drmota, Tomáš Loukotka,)	178
Simulace provozu JE typu VVER-440 (Michal Hošek, Jiří Kožnar,)	182
Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1 (Lukáš Létal, Jan Adamec,)	186
The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water (Daniel Sváček, Jáchym Frydrych,)	190
Wienův filtr (Michal Friml, Josef Lezna, Aneta Piklová,)	194
Postavte si laserový zaměřovač (Veronika Bartáková, Marek Slovák, Matěj Dostál, Vojtěch Dvořák,)	198
Zlaté nanostruktury pro extrémní zesílení Ramanova signálu (Jan Kouřil, Vít Groulík, Veronika Hlomová,)	202



Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2022

Program Týdne vědy 2022

- Neděle 19. 6.
 - 10.00-11.00** Registrace
 - 11.00-11.30** Otevření Týdne vědy
 - 11.30-11.50** Úvodní úvaha o vědecké komunikaci
 - 11.50-12.30** Organizace TV@J
 - 12.30-14.00** Pauza na oběd
 - 14.00-15.30** Populární přednášky
 - 16.00-19.00** Pevnost Břehyard
 - od 19.00** Ubytování na kolejích
- Pondělí 20. 6.
 - 9.00-16.30** Miniprojekty (seznámení, řešerše, příprava, realizace)
 - 16.30-17.50** Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J
 - 19.30-21.00** Fakultativní program. Soubor z Ostravské konzervatoře: Velmi křehké stavy
- Úterý 21. 6.
 - celý den** Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku)
 - 18.00** Uzávěrka návrhů titulního obrázku sborníku a nahrání příspěvků do sborníku
- Středa 22. 6.
 - 8.30-10.00** Hlavní zvaná přednáška
 - 10.30-11.50** Vědecká prezentace II pro nováčky na TV@J
 - 12:00-13:30** Pauza na oběd
 - odpoledne** Exkurze
 - 17.30-19.00** Diskuzní párty
 - 19.30-21.00** Fakultativní program. Studenti Pražské konzervatoře: SEN s.r.o.
 - 20.00** Uzávěrka nahrání prezentací pro minikonferenci
- Čtvrtek 23. 6.
 - 8.55-10.30** Prezentace miniprojektů I
 - 11.00-12.30** Prezentace miniprojektů II
 - 12.30-14.00** Pauza na oběd
 - 14.00-15.15** Prezentace miniprojektů III

15.45-17.15 Presentace miniprojektů IV

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

- Pátek 24. 6.

9.00-10.30 Presentace miniprojektů V

11.00-12.00 Presentace miniprojektů VI

12.00-12.15 Závěr

12.15 Zakončení 22. ročníku TV@J

12.30-13.30 Oběd

Exkurze

- Tokamak GOLEM.
- Thomayerova nemocnice - radioterapie.
- Školní reaktor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT.
- (English) School fission reactor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT.
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR.
- Hvězdárna Ondřejov, Astronomický ústav AV ČR.
- IKEM.
- Výzkumný a zkušební letecký ústav v Letňanech.
- ÚJF AV ČR, v.v.i., Řež u Prahy.
- Laboratoř vysokých napětí FEL ČVUT.
- Elektrotechnický zkušební ústav, s.p..
- Fyzikální ústav - Na Slovance.

Seznam všech přednášek

- prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc.: Sluneční vítr a magnetické pole Země.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Základní motivační a organizační přednáška k TV@J.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Badatelská komunikace - motivace pro TV@J.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J - jak na prezentace a publikace.
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace II pro nováčky na TV@J - jak na prezentování.
- RNDr. Jana Brotánková, Ph.D.: Termojaderná fúze.
- Ing. Richard Švejkar, Ph.D.: Laser – malířský štětec, nástroj nebo zbraň?.
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: Pevné, pevnější, nejpevnější.
- doc. Ing. Ondřej Klimo, Ph.D.: Cesta k zapálení inerciální fúze.
- Ing. Ondřej Kořistka: Biologické účinky záření - ničí nebo léčí?.
- prof. Ing. Ladislav Musílek, CSc.: Radiation examines historical works of art.
- RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D.: Čím se zabývá jaderná chemie v roce 2022?.
- Aurél Gábris, PhD: Quantum computing, quantum supremacy.
- prof. Ing. Edita Pelantová, CSc.: Jak chytře zapisovat čísla?.

Diskusní párty

- Ing. Richard Švejkar, Ph.D.: Lasery kolem nás.
- RNDr. Martin Vlk, Ph.D.: Terapie onkologických onemocnění s využitím radionuklidů.
- RNDr. Jan Proška: Laserem ovládané nanočástice pro biomedicínské zobrazování, cílenou terapii a ultracitlivou sensoriku..
- prof. Ing. Igor Jex, DrSc.: SciFi a fyzika.
- Ing. Jana Kittnerová: Ukládání radioaktivních odpadů.
- RNDr. Karel Kolář, Ph.D.: Základy řízení letového provozu a nějaká fyzika kolem.

Miniprojekty a jejich garanti z FJFI

- Daniela Kropáčková: Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM.
- Bc. Filip Papoušek: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM.
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti.
- Ing. Richard Švejkar, Ph.D.: Postavte si laserový zaměřovač.
- Ing. Kateřina Pilařová, Ph.D.: Jak poznat dávku z barvy gelu?.
- Ing. Dušan Kobyłka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu VVER-440.
- Ing. Dušan Kobyłka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu ABWR.
- Ing. Adam Říha: Výbojkově čerpaný neodymový laser se zesilovačem.
- Ing. Lucie Marešová: Zlaté nanostruktury pro extrémní zesílení Ramanova signálu.
- Ing. Jan Drahekoupil, Ph.D.: Počítačové simulace pevných látek.
- doc. Dr. Ing. Milan Šňor: Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice.
- Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D.; Ing. Milan Burda; doc. Dr. Ing. Ivan Richter: Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači.
- Ing. Jan Adámek: Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu.
- Ing. Jaroslav Čech, Ph.D.: Jak nám pomáhají tenké vrstvy?.
- Ing. Ondřej Kovářik, Ph.D.: Využití rezonance při zkoušení materiálů.
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: 3D tisk a pevnost.
- Ing. Jiří Martinčík, Ph.D.: Termoluminiscenční dozimetrie.
- Ing. Jan Bárta, Ph.D.: Chemické změny v důsledku ozáření - radiační chemie a fotochemie.
- Ing. Dalibor Skoupil, Ph.D.: Svět podivných jader.
- Ing. Tereza Hanušová: Virtuální onkologická ozařovna.
- Ing. Karel Veselský, Ing. Jan Kratochvíl: Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás.
- Ing. Pavel Strachota, Ph.D.: Počítačová grafika - pohled pod pokličku.
- RNDr. Peter Kúš Ph.D., Mgr. Tomáš Hrbek: Nanostrukturovaný katalyzátor pro vodíkové technologie.
- Michal Červeňák: Kompaktní násobič vysokého napětí.
- Ing. Pavel Gajdoš: Wienův filtr.
- Ing. Miroslav Krůs, Ph.D.: Thomsonova parabola a vliv elektrického a magnetického pole na jejím rozlišení.
- Ing. Michaela Kozlová, Ph.D.: Měření rychlostí objektů pomocí laseru.
- RNDr. Martina Kekule, Ph. D.: Co oční pohyby prozradí o strategii čtenáře?.
- Mgr. Mikuláš Matoušek: Kvantově chemické výpočty molekul.
- Ing. Barbora Drtinová, Ph.D.: Stanovení vybraných prvků v meteorickém materiálu metodou AAS.
- Aurél Gábris, Ph.D.: Quantum key distribution.
- Ing. Lukáš Ondrák: Radioimunoanalýza.
- Mgr. Aleš Podolník, Ph.D.: Jak horké je horké plazma?.
- Bc. Lenka Hronová: Stabilizace laseru.
- Ing. Mgr. Martina Švábová, Ph.D., Ing. Olga Bičáková, Ph.D.: Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy.
- Ing. Martin Matys, Ing. Petr Valenta: Simulace urychlování iontů ELI laserem a jejich vizualizace ve Virtuální Realitě.
- Subhronel Chakrabarti, Ph.D.: Nature of Symmetry and Symmetry of Nature.
- Doc. Vitalii Zablotskii, DrSc: The future of magnetogenetics.

- Mgr. Adam Frtús, Mgr. Petra Elblová: Super-resoluční fluorescenční analýza buněčného cytoskeletu.
- Ing. Tetiana Lukianova: The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water.
- Mgr. Lukáš Bartík: Studium městského tepelného ostrova Prahy.
- Ing. Jaroslav Cihlár, Ph.D., Ing. Olga Bičáková, Ph.D.: Co je viskóznější, olej nebo čokoláda?.
- Mykhailo Khytko: How many solar panels do you need to cover your own electricity consumption?.
- Mgr. Cinthia Antunes Correa, PhD.: Crystal structure solution using x-ray diffraction.
- Ing. Aleš Vlk: Ramanova spektroskopie: pomocník alkoholika.
- Bc. Bára Jiříčková: Když se přeruší optický kabel, aneb jak fungují optická vlákna?.
- Ing. Petr Pauš, Ph.D.: Počítačové zobrazování fraktálních množin.
- Bc. Josef Bobek: Interference a difrakce světla.
- Ing. Kateřina Pachnerová Brabcová, Ph.D.: Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy.
- Ing. Pavel Suk: Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1.

Minikonference

MINIKONFERENCE - Břehovka, čtvrtek a pátek:

Čtvrtek: společné přednášky v Aule 103

- Předsedající: Pavel Savin**
8.55 Zahájení konference
9.05 Co oční pohyby prozradí o strategii čtenáře?
9.20 Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice
9.35 Postavte si laserový zaměřovač
9.50 Nature of Symmetry and Symmetry of Nature
10.05 Pozvánky na různé akce

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

- Předsedající: Lukáš Jan**
11.00 Stanovení vybraných prvků v meteorickém materiálu metodou AAS
11.15 Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy
11.30 Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy
11.45 The future of magnetogenetics
12.00 Stabilizace laseru
12.15 Kompaktní násobič vysokého napětí

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

- Předsedající: Vítězslav Havlíček**
11.00 Kvantově chemické výpočty molekul
11.15 Crystal structure solution using x-ray diffraction
11.30 Studium městského tepelného ostrova Prahy
11.45 Co je viskóznější, olej nebo čokoláda?
12.00 Jak nám pomáhají tenké vrstvy?
12.15 Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

- Předsedající: Ladislav Antoži**
14.00 Thomsonova parabola a vliv elektrického a magnetického pole na jejím rozlišení
14.15 Wienův filtr
14.30 Jak poznat dávku z barvy gelu?
14.45 Interference a difrakce světla
15.00 Ramanova spektroskopie: pomocník alkoholika

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

- Předsedající: Tomáš Chalas**
14.00 Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1
14.15 The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water
14.30 How many solar panels do you need to cover your own electricity consumption?
14.45 Počítačové simulace pevných látek
15.00 Měření rychlostí objektů pomocí laseru

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 103

- Předsedající: Barbora Dolenská**
15.45 Simulace urychlování iontů ELI laserem a jejich vizualizace ve Virtuální Realitě
16.00 Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači
16.15 Super-resoluční fluorescenční analýza buněčného cytoskeletu
16.30 Zlaté nanostruktury pro extrémní zesílení Ramanova signálu

Čtvrtek: paralelní přednášky v Aule 115

Předsedající: Jakub Müller

- 15.45 Využití rezonance při zkoušení materiálů
- 16.00 Radioimunoanalýza
- 16.15 Svět podivných jader
- 16.30 Simulace provozu JE typu ABWR

Pátek: paralelní přednášky v Aule 103

Předsedající: Matuš Púll

- 9.00 Simulace provozu JE typu VVER-440
- 9.15 Jak horké je horké plazma?
- 9.30 Quantum key distribution
- 9.45 3D tisk a pevnost
- 10.00 Počítačové zobrazování fraktálních množin
- 10.15 Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

Pátek: paralelní přednášky v Aule 115

Předsedající: Štěpán Šípál

- 9.00 Výbojkově čerpaný neodymový laser se zesilovačem
- 9.15 Termoluminiscenční dozimetrie
- 9.30 Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM
- 9.45 Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu
- 10.00 Virtuální onkologická ozařovna
- 10.15 Když se přeruší optický kabel, aneb jak fungují optická vlákna?

Pátek: společné přednášky v Aule 103

Předsedající: Karolína Nejedlá

- 11.00 Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
- 11.15 Nanostrukturovaný katalyzátor pro vodíkové technologie
- 11.30 Chemické změny v důsledku ozáření - radiální chemie a fotochemie
- 11.45 Počítačová grafika - pohled pod pokličku
- 12.00 Ukončení TV@J
- 12.30 Rozchod

Pevnost materiálů PLA a PETG vytištěných na 3D tiskárně

B. Dolenská, S. Herianová, S. Nesvetrová, J. Rozmuš
FJFI ČVUT, Trojanova 13, Praha 2, 120 00
sarah.04@seznam.cz

Abstrakt:

Příspěvek shrnuje výsledky měření pevnosti dvou odlišných polymerních materiálů určených pro 3D tisk. Cílem práce bylo vymodelovat v programu FreeCAD zkušební tělesa, vytisknout je na 3D tiskárně a následně je podrobit tahové zkoušce. Zkoumali jsme pevnost filamentů PLA a PETG; tyto materiály byly následně porovnány s údaji v technickém listu výrobce.

1 Úvod

3D tisk je rychle se rozvíjející se obor mající široké uplatnění v průmyslu. V dnešní době je k dispozici mnoho technologií, které umožňují tisknout vrstvu po vrstvě pro různé typy materiálů. Díky příznivé ceně je tisk na bázi polymerů dostupný i pro domácí použití.

Volba materiálu pro tisk je dána nejen cenovou dostupností, ale i požadovanými vlastnostmi materiálu. Tiskaře především zajímají mechanické vlastnosti daného polymeru, kterými jsou kupříkladu pevnost nebo odolnost vůči zatížení.

Kyselina polymlečná (PLA) a kopolymer polyetylantereftalátu glykolu (PETG) patří mezi nejčastěji využívané materiály pro domácí tisk. Oba materiály jsou levné a poměrně snadno tisknutelné. PETG je navíc pro svou vysokou houževnatost a dobrou teplotní odolnost vhodný pro tisk levných mechanických dílů.

V příspěvku jsou pro oba materiály prezentovány a interpretovány výsledky základní zkoušky mechanických vlastností – zkoušky tahové.

2 Materiály a metody

2.1 PLA a PETG

Základní mechanické vlastnosti deklarované výrobcem [1], [2] shrnuje Tab. 1 a Tab. 2.

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti materiálu PLA

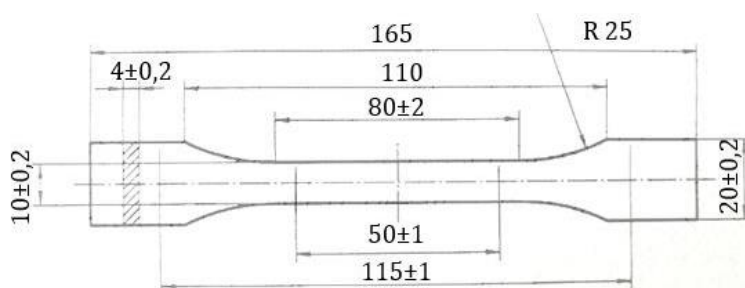
Vlastnosti/směr tisku	Horizontální	Vertikální
Pevnost v tahu [MPa]	51 ± 3	59 ± 2
Modul pružnosti v tahu [GPa]	$2,3 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,1$

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti materiálu PETG

Vlastnosti/směr tisku	Horizontální	Vertikální
Pevnost v tahu [MPa]	47 ± 2	50 ± 1
Modul pružnosti v tahu [GPa]	$1,5 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$

2.2 Geometrie zkušební tělesa

Možné tvary zkušební tělesa předepisuje norma ISO 527-2 [3]. V této studii byl použit nejběžnější typ A, jehož tvar a rozměry jsou na Obr. 1.



Obrázek 1 Geometrie zkušební tělesa pro tahovou zkoušku [3]

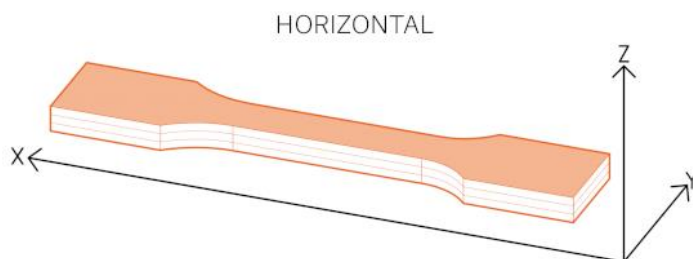
2.3 Tisk zkušební tělesa

Pro tisk zkušební tělesa byla použita tiskárna Prusa i3MK3S+. Počítačový model tělesa byl vytvořen v programu FreeCAD 019, z něhož byl následně exportován pomocí souboru *.stl do programu PrusaSlicer verze 2.4.2. Nastavení parametrů tisku shrnuje Tab. 3.

Tabulka 3 Nastavení parametrů tisku

Materiál/Parametr	Výška vrstvy	Teplota trysky	Teplota podložky
PLA	0,20 mm	215 °C	60 °C
PETG	0,20 mm	250 °C	90 °C

Orientace jednotlivých vrstev materiálu v tělese je zřejmá z Obr. 2.



Obrázek 2 Orientace tiskových vrstev materiálu ve zkušebním tělese [2]

Tisk jednoho zkušební tělesa trval 43 minut. Celkem bylo vytištěno 6 těles z materiálu PLA a 6 těles z materiálu PETG.

2.4 Tahová zkouška

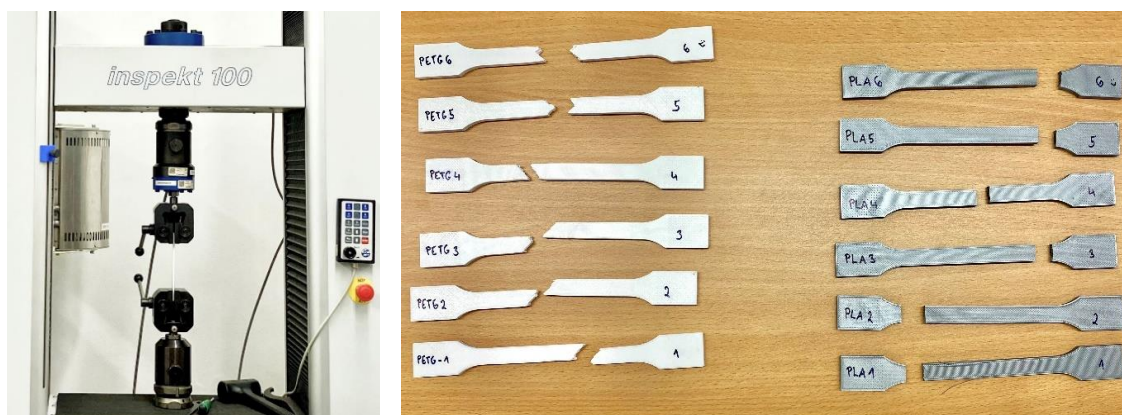
Tahové zkoušky byly provedeny za pokojové teploty na zkušebním stroji Inspekt 100. Způsob uchycení těles v čelistech stroje je zřejmý z Obr. 3 a). Rychlost posuvu příčnicku byla nastavena na 10 mm/min. Mez pevnosti materiálu R_m byla stanovena pomocí vztahu

$$R_m = \frac{P_{max}}{bh},$$

kde P_{max} je maximální síla dosažená v průběhu zkoušky, b je šířka a h je tloušťka.

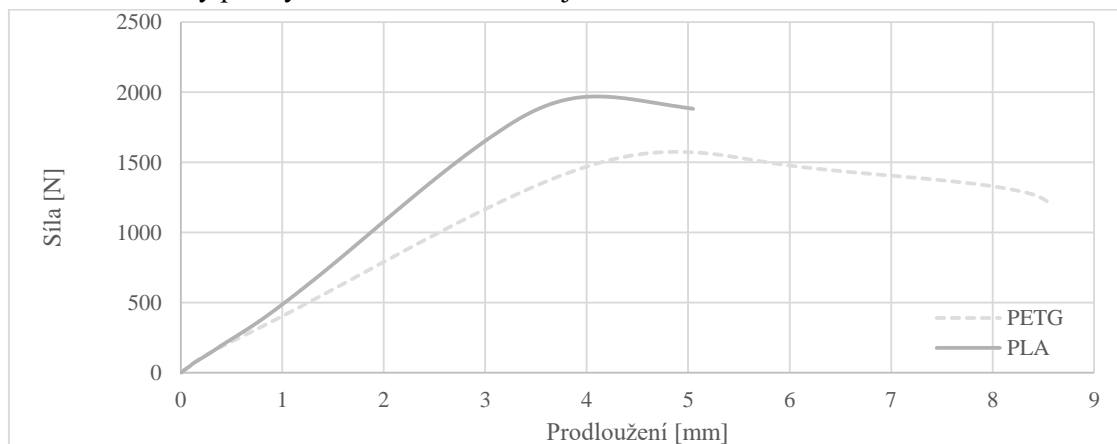
3 Výsledky a diskuze

Celkem bylo provedeno 6 měření pro každý materiál. Tvar a umístění lomu po tahových zkouškách je zřejmý z Obr. 3 b).



Obrázek 3 a) Zkušební těleso PETG 1 v přístroji Inspekt 100, b) Porušená zkušební tělesa

Záznam zkoušky pro vybraná zkušební tělesa je na Obr. 4.



Obrázek 4 Závislost zatěžující síly na prodloužení tělesa PLA (plná) a PETG (čárkovaná)

Všechny výsledky jsou souhrnně uvedeny v Tab. 4 a Tab. 5.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty pro materiál PLA

PLA	1	2	3	4	5	6
b [mm]	10,00	10,03	9,98	10,06	10,02	10,06
h [mm]	4,11	4,10	4,06	4,02	4,11	4,08
P_{\max} [N]	1969,8	2062,6	2155	2144,8	2124,8	2116,6
S [mm ²]	41,10	41,12	40,52	40,44	41,18	41,04
R_m [MPa]	47,93	50,16	53,19	53,04	51,60	51,57

Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro materiál PETG

PETG	1	2	3	4	5	6
b [mm]	9,96	9,97	9,92	9,96	9,93	9,94
h [mm]	4,09	4,15	4,02	4,13	3,98	4,09
P_{\max} [N]	1574,8	1529,4	1583,4	1546,2	1726,2	1617,8
S [mm ²]	40,74	41,38	39,88	41,13	39,52	40,65
R_m [MPa]	38,66	36,96	39,71	37,59	43,68	39,79

Měřením jsme určili, že materiál PLA je pevnější než materiál PETG. Výsledky pro materiál PLA odpovídají údajům uváděným výrobcem. Výsledky naměřené pro materiál PETG se s údaji uvedenými výrobcem rozporují; naměřené hodnoty jsou o 16 % nižší. K odchylkám měření mohlo dojít v důsledku citlivosti materiálu na podmínky tisku.

Z Obr. 3 b) je patrné, že lom u materiálu PLA je rovný a kolmý k ose zatěžování, zatímco u PETG je lomová plocha členitá.

4 Shrnutí

Experimentálně bylo zjištěno, že mez pevnosti materiálu PLA je 51,24 MPa a PETG je 39,40 MPa. PLA je tak pevnější než PETG, což je v rozporu s hodnotami deklarovanými výrobcem vlákna.

Poděkování

Děkujeme doc. Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytnutí materiálů a zapůjčení přístrojů. Děkujeme též Ing. Karlu Tesařovi a Ing. Anežce Jančové za cenné rady a trpělivost.

Reference

- [1] Technický list Prusament PLA. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370479/technicky-list.pdf>
- [2] Technický list Prusament PETG. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370491/technicky-list.pdf>
- [3] ČSN ISO 527-2

Simulace provozu jaderné elektrárny typu ABWR

O. Novák*, L. Gavlová**

*Gymnázium AOA Mariánské lázně

**Lékařské a přírodovědné gymnázium PRIGO

*o.novak6@seznam.cz; **lucie.gavlova@gmail.com

Abstrakt:

Příspěvek pojednává o simulaci provozu jaderné elektrárny typu ABWR. Simulací si autoři zkusili, jakým způsobem automatické systémy řeší různé druhy poruch. Cílem práce bylo vyzkoušet si práci operátora jaderné elektrárny za typického provozu, abnormálních i havarijních stavů.

1 Úvod

Simulátory jaderné elektrárny se v dnešní době využívají k proškolení řídicího personálu jaderné elektrárny, školní výuce a modelování situací při běžném provozu jaderné elektrárny. Simulátory jaderné elektrárny se od sebe odlišují druhem elektrárny a náročností simulace. Mezi hlavní výhody simulátorů patří možnost vyzkoušení si havarijních situací bez reálného rizika. V tomto článku je rozebrána simulace jaderné elektrárny typu ABWR.

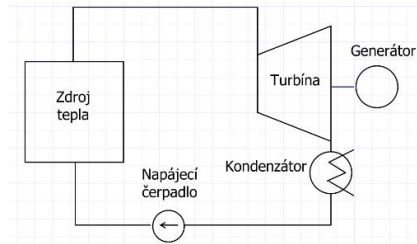
2 Teorie štěpení uranu

V jaderné elektrárně se jako palivo na výrobu energie využívá UO_2 , které je uloženo v palivových tyčích. Uran je zde zastoupen v podobě obohaceného uranu, kde ^{235}U zaujímá 3-5 % podíl. Štěpení probíhá v aktivní zóně reaktoru, kde jsou atomy uranu vystaveny toku neutronů. Poté, co atom uranu absorbuje neutron, dochází k rozštěpení atomu uranu na 2-3 odštěpky, 3 neutrony a další částice. Rychlé neutrony ze štěpení je nutné zpomalit pomocí moderátoru. Při zpomalování dochází ke ztrátám neutronů, avšak zbylé neutrony narazí do dalších jader uranu, čímž dochází ke kontinuální řetězové reakci.

3 Jaderná elektrárna typu ABWR

Jedná se o jediný varný reaktor 3. generace. Má pouze jeden vnitřní okruh. Výkon reaktoru je řízen za pomoci průtoku vody v aktivní zóně a regulačních tyčí.

První reaktory typu ABWR byly postaveny v elektrárně Kashiwazaki Kariwa v Japonsku, avšak z důvodu přírodních katastrof a zvýšení bezpečnostních požadavků se již od roku 2013 postupně upravují, aby nedošlo k dalším haváriím a byla dodržena všechna opatření.



Obrázek 1. schéma elektrárny ABWR

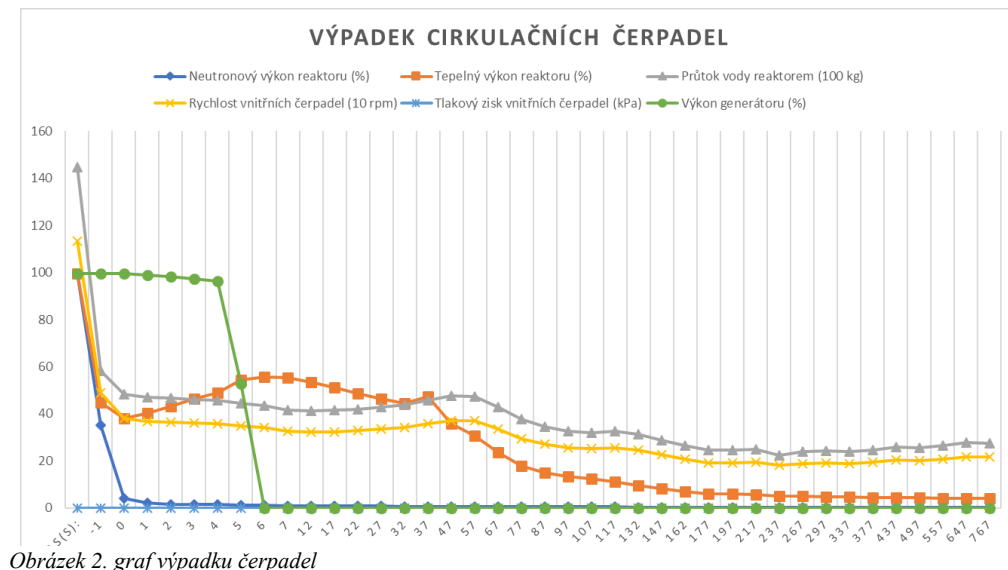
4 Simulované situace

V rámci našeho miniprojektu jsme měli za úkol nasimulovat a pozorovat jak běžný provoz, tak různé poruchy, které by se mohly vyskytnout při provozu jaderné elektrárny typu ABWR.

Pozorovali jsme reakci systému např. při úniku z parního kolektoru, či výpadku cirkulačních čerpadel. Porovnali jsme i automatické a manuální snížení výkonu na 70 % a následné zvýšení výkonu na původních 100 %.

Výpadek cirkulačních čerpadel

Při výpadku cirkulačních čerpadel dochází ke snížení průtoku vody v aktivní zóně. Z důvodu většího výkonu reaktoru než je při sníženém průtoku povoleno, dochází z bezpečnostních důvodů k odstavení reaktoru za využití regulačních tyčí (viz modrá křivka obr. 2). Po odstavení reaktoru se snižuje tlak v reaktoru a zvyšuje se suchost páry. Postupně dochází k poklesu výkonu elektrického generátoru a poté k odstavení turbín (viz zelená křivka obr. 2), což má za následek zvýšení tlaku v reaktoru. Tlak je následně redukován otevřením přepouštěcí stanice do kondenzátorů. Voda čerpaná z kondenzátorů nadále ochlazuje reaktor i za pomoci přirozené regulace.



5 Shrnutí

Simulace nám přinesla pohled do reálného provozu jaderné elektrárny typu ABWR. Zároveň nás i utvrdila v přesvědčení, že při řízení jaderné elektrárny je řídicí systém nejlepším přítelem člověka. Mnohdy totiž dokáže zareagovat rychleji a přesněji, než člověk, čímž zamezí mnoha potenciálním nehodám.

Poděkování

Panu Dušanu Kobylkovi za konzultace a poskytnuté materiály.

Reference

- [1] KOBYLKA, Dušan. *Týden vědy 2022 – Jaderné elektrárny*. ČVUT v Praze
- [2] World nuclear association [online]. [Cit. 2022-06-21]. Dostupné: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-power.aspx>

Ramanova spektroskopie: pomocník alkoholika

Štěpán Remeš¹, Vladimíra Jiříčková²

Gymnázium Christiana Dopplera¹

Gymnázium Jaroslava Vrchlického Klatovy²

stepanremes7@gmail.com¹, jirickova.vladimira@seznam.cz²

Abstrakt

Methanol je životu nebezpečná látka, která se může vyskytovat v alkoholických nápojích. Naším cílem bylo určit zapomocí Ramanovy spektroskopie kalibrační křivku z naměřených dat předem namíchaných roztoků methanolu s ethanolem o různých poměrech a podle ní určit koncentraci roztoku s neznámým poměrem methanolu s ethanolem a nakonec ověřit, zda se nevyskytuje methanol v komerčních či domácích lihovinách.

1 Úvod

1.1 Methanol a ethanol

Methanol CH_3OH je nejjednodušší alkohol, jedná se o uhlovodíkový zbytek methyly, na který je navázána alkoholová skupina. Oproti tomu ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ je alkoholem ethanu.

Ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ je lidstvu známý již od starověku, kdežto methanol, nejjednodušší alkohol, byl objeven teprve v novověku. Methanol vzniká při kvašení v malém množství. Pokud se ale nápoj destiluje špatně, může se methanol koncentrovat, což není bezpečné.

Samotný methanol je sice pro lidské tělo neškodný, ale za přítomnosti enzymu alkoholdehydrogenázy se oxiduje na formaldehyd a dále s aldehyddehydrogenázou na kyselinu mravenčí, která je pro lidský organismus velmi nebezpečná - hromadí se kyselina mravenčí v sítnici může zapříčinit oslepnutí, ve větších dávkách i smrt.

Naštěstí se ale ethanol váže na alkoholdehydrogenázu silněji než methanol, tudíž působí jako protijed. Ethanol se metabolizuje na acetaldehyd a dále na kyselinu octovou, která zdaleka není tak nebezpečná jako kyselina mravenčí.

1.2 Ramanova spektroskopie

Molekuly vibrují (mění se délka a úhel chemických vazeb) a každá velmi specificky. Tyto vibrace je možné změřit pomocí dvou spektroskopií - infračervené a Ramanovy (tyto metody jsou komplementární).

Když na molekulu posvítíme infračerveným zářením, excituje se na vyšší vibrační hladinu a tam již zůstane. V Ramanově spektroskopii nesvítíme na molekulu infračerveným paprskem, ale viditelným laserem. Fotony laserového svazku se na molekule nepružně rozptylují. Foton předává molekule část své energie a ta se excituje do vyššího vibračního stavu. Tuto změnu energie rozptýleného fotonu, která odpovídá energii kmitu dané vazby, následně měříme a dokážeme tak určit o kterou vazbu se jedná.



Obrázek 1: Fotografie použitého spektrometru Reinshaw inViatm

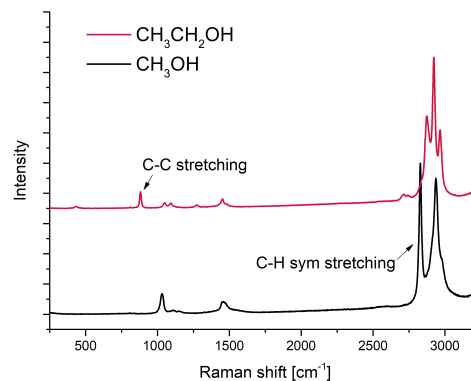
Výstupem Ramanovy spektroskopie je tedy spektrum, který ukazuje závislost rozdílu vlnové délky rozptýlených fotonů oproti původním fotonům. Každá molekula má své specifické píky v Ramanově spektru, které opovídají různým kmitům vazeb. Toho se využívá například při identifikaci drog, my ji použili pro identifikace methanolu v roztoku a jeho množství.

2 Popis práce

Začali jsme měřit Ramanovy spektra pro roztoky o známých koncentracích methanolu s ethanolem.

Tabulka 1: Specifické peaky methanolu a ethanolu

Látka	$k[\text{cm}^{-1}]$	typ kmitu
Methanol	2829	C-H sym stretching
Ethanol	882	C-C stretching



Obrázek 2: Ramanův posun methanolu a ethanolu

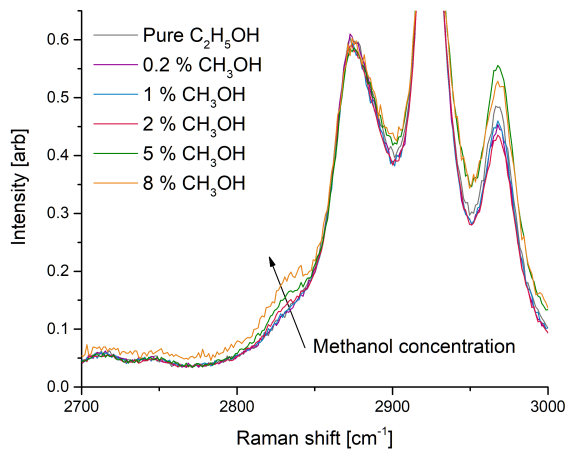
Kde k je relativní vlnočet.

Dále jsme vypočítali plochu pod vybranými peaky. Tyto hodnoty jsme dali mezi sebou do poměrů a zanesli je do grafu. Tím jsme určili kalibrační křivku, jejíž vzorec je:

$$y = 18.97\ln(x) + 2.89 \quad (1)$$

Kde y je objemový poměr methanolu ku ethanolu a x poměr ploch pod grafem peaků methanolu a ethanolu. Z tohoto vzorce jsme spočítali objemový poměr neznámého vzorku.

Nakonec jsme měřili Ramanův posun lihovin zakoupených v obchodě a z domácí výroby (vodka, rum, víno, vínovice a jiné domácí pálenky). Protože jsme žádný methanol nebyli schopni identifikovat (viz. výsledky), postupným přikapáváním methanolu do roztoku ethanolu jsme určili hranici, kdy už jsme schopni ho rozpoznat.



Obrázek 3: Detekce methanolu je možná od 2 %

3 Výsledky a diskuze

Určili jsme, že v neznámém vzorku bylo 36 ± 1 % methanolu. Odchylka byla spíše způsobena samotným pipetováním, než naším výpočtem. Dále jsme ověřili kvalitu vybraných lihovin jak z obchodu, tak z domácí výroby.

Ve všech vzorcích bylo nedetekovatelné množství methanolu. Měření methanolu v neprůhledných vzorcích (rum a víno) nám znemožnila silná fotoluminiscence. Také jsme při některých měřeních detekovali peaky způsobené částicemi kosmického záření.

4 Závěr

Podářilo se nám úspěšně pomocí kalibrační křivky, vytvořené za použití spekter různě namíchaných vzorků ethanolu s methanolem, určit poměr ethanolu s methanolem neznámého vzorku. Dále jsme zjistili, že methanol jsme schopni identifikovat ve vzorcích od minimální meze 2 % a toto stopové množství jsme v žádném z testovaných lihovin neobjevili.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat především panu Ing. Aleši Vlkovi za vedení při práci.

5 Reference

[1]H. Vaskova. *Spectroscopic Determination of Methanol Content in Alcoholic Beverages*. 2014.

Vznik kyseliny salicylové v důsledku ozáření

K. Rubišarová, Wichterlovo gymnázium, Ostrava-Poruba,
rubika815@wigym.cz;

M. Bureš, Gymnázium Děčín, Děčín,
matej.bures@gymnaziumdc.cz;

T. Motlík, Gymnázium Česká Lípa, Česká Lípa,
motlikt@student.gym-cl.cz;

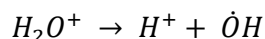
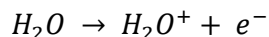
D. Kourková, Střední průmyslová škola Třebíč, Třebíč,
kourkovad.05@spst.eu

Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu bylo sledovat vznik OH radikálů ve vodě, která je vystavena ionizujícímu záření. Ozařovali jsme roztok kyseliny benzoové, která sloužila jako senzor vzniku OH radikálů tak, že reagovala na kyselinu salicylovou, kterou jsme detekovali pomocí její vlastnosti luminiscence. Pro srovnání jsme použili roztok kyseliny benzoové s propan-2-olem, vychytávačem OH radikálů. V přítomnosti propan-2-olu nebyla pozorována žádná luminiscence, což dokazuje, že kyselina salicylová nebyla ve vzorku přítomná.

1 Úvod

S ionizujícím zářením se každý setkává dennodenně – toto záření může na živé organismy působit škodlivě. Nejpravděpodobnější interakcí je štěpení vody (radiolýza) v buňce a vznik OH radikálů [2]:

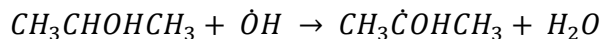


Radikály poté rychle reagují s DNA, organelami a dalšími látkami v buňce, což může mít za následek poškození buňky či její smrt.

V rámci našeho miniprojektu jsme sledovali vznik OH radikálů. Jejich přítomnost byla potvrzena reakcí s kyselinovou benzoovou na kyselinu salicylovou. Vznik kyseliny salicylové jsme sledovali díky její vlastnosti luminiscence, jejíž intenzita byla měřena spektrofotometrem.

Kyselina benzoová je slabým luminoforem, zatímco kyselina salicylová je excitovaná při 295 nm a emituje široké a intenzivní emisní spektrum s maximem 410 nm. [1]

Pro porovnání jsme použili roztok kyseliny benzoové s propan-2-olem, vychytávačem OH radikálů, tedy látky, která velmi rychle reaguje s těmito radikály. [3]



2 Přístroje, pomůcky a chemikálie

Přístroje: analytické váhy; rentgenový ozařovač SCIOX Beam; spektrofluorimetr FluoroMax;

Pomůcky: odměrná baňka; křemenná kyveta se čtyřmi leštěnými stěnami; automatické pipety; parafilm; 15 ml centrifugační zkumavky (polypropylen); reakční zkumavky;

Chemikálie: Kyselina benzoová (C_6H_5COOH); voda (H_2O); propan-2-ol (C_3H_8O)

3 Praktická část – postup práce

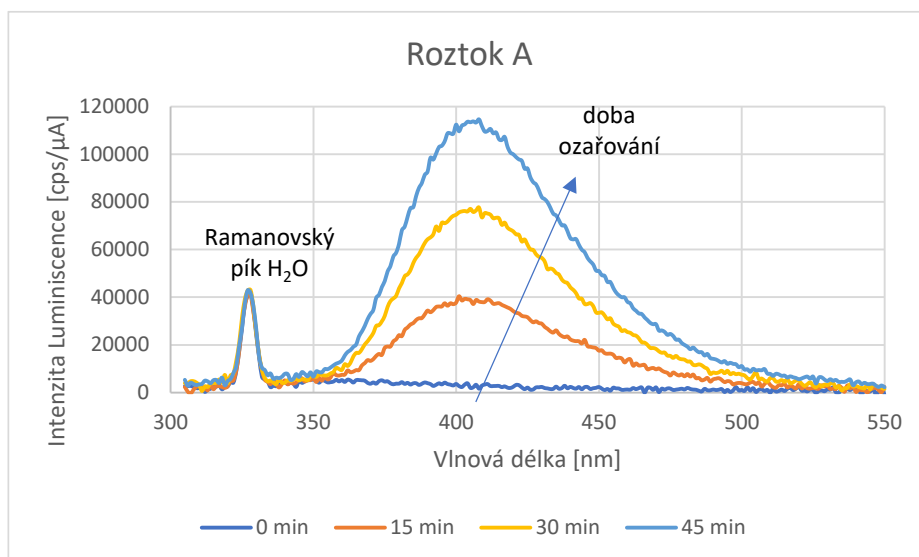
Úkoly:

1. Přípravení roztoku kyseliny benzoové (A) a kyseliny benzoové s vychytávačem OH radikálů propan-2-olem (B)
2. Ozařování roztoků rentgenovým zářením a odběr vzorků
3. Měření a analýza luminiscenčních vlastností vzorků

Na analytických vahách jsme navážili 0,122 g kyseliny benzoové do 500 ml odměrné baňky a rozpuštěním ve vodě jsme připravili roztok o molární koncentraci 2×10^{-3} mol/l. S pomocí automatických pipet jsme odměřili 7,5 ml roztoku kyseliny benzoové, doplnili na 15 ml vodou a tím připravili roztok A. Roztok B jsme připravili z 7,5 ml kyseliny benzoové, 1,5 ml propan-2-olu a doplnili na 15 ml vodou (koncentrace propan-2-olu: 1,3 mol/l).

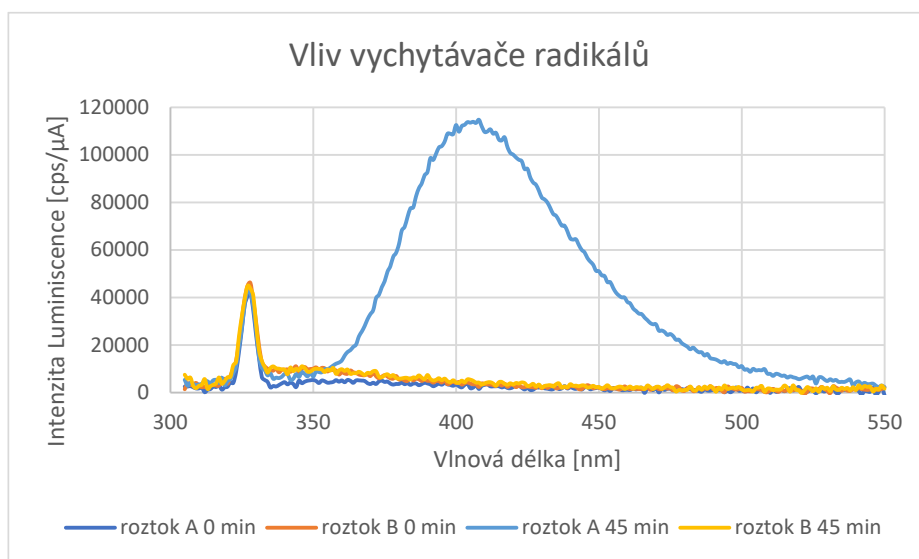
Roztoky A i B jsme vložili na orbitální třepačku do komory rentgenového ozařovače, ve kterém jsme roztoky po uzavření dveří ozařovali rentgenovým zářením (wolframová anoda, napětí 150 kV, proud 13,5 mA) po dobu 15 min. Z roztoků jsme odebírali vzorky, první před ozařováním a další vždy po určitém intervalu ozařování (15, 30 a 45 min). Odebrané vzorky o objemu 0,2 ml jsme dále naředili vodou 15krát, tj. na celkový objem 3 ml.

Každý vzorek jsme postupně přelili do vymyté a vyleštěné křemenné kyvety a vložili do spektrofluorimetru. Změřili jsme emisní spektra vzorků pro excitační vlnovou délku 295 nm, tzn. vzorek byl ozařován UV zářením a v důsledku fluorescence látek ve vzorku obsažených (kyselina salicylová) vyzářil světlo ve viditelné oblasti. Vlnová délka 295 nm byla zvolena proto, že je nejúčinnější v buzení emisního spektra kyseliny salicylové. [1] Na základě změřených dat jsme sestrojili grafy vývoje emisního spektra vzorků s dobou ozařování.



Obrázek 1 - emisní spektra ozářených roztoků kyseliny benzoové

Na Obr. 1 je zobrazena závislost intenzity detekovaných fotonů vyzářených ze vzorků na jejich vlnové délce, tj. emisní spektrum. Při přibližně 320 nm můžeme vidět pík symbolizující Ramanovský rozptyl vody¹, zatímco široké maximum kolem 410 nm představuje emisi kyseliny salicylové. Na grafu vidíme čtyři emisní spektra každá pro jiný vzorek s jinou dobou ozařování – v neozářeném roztoku (0 min) není kyselina salicylová přítomná, zatímco v ostatních vzorcích roste její koncentrace, a tedy intenzita emise, přibližně lineárně.



Obrázek 2 - srovnání emisních spekter roztoku A a B (roztok B obsahuje vychytávač OH)

Obr. 2 zobrazuje srovnání emisních spekter ozářených a neozářených roztoků A a B, kdy v roztoku B (obsahujícím propan-2-ol) můžeme vidět před i po ozáření podobný tvar křivky – žádná kyselina salicylová nevznikla, všechny OH radikály zreagovaly s propan-2-olem.

¹ Ramanovský rozptyl vody je vzdálený 3500 cm^{-1} od excitačního záření (295 nm).

4 Závěr

Pozorovali jsme vznik OH radikálů po ozáření roztoku kyseliny benzoové rentgenovým zářením s pomocí měření luminiscence vznikající kyseliny salicylové. V naměřených emisních spekter vzorků jsme pozorovali intenzivní emisní maximum při 410 nm (odpovídající kyselině salicylové). Intenzita tohoto maxima s dobou ozařování přibližně lineárně rostla.

Ve vzorku s propan-2-olem nebyla pozorována kyselina salicylová, což dokazuje absenci OH radikálů, z důvodu rychlé reakce propan-2-olu s OH radikály.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za možnost si vyzkoušet práci ve vědecké laboratoři, ozařování vzorků v rentgenovém ozařovači a měření emisních spekter ve spektrofotometru v rámci Týdne vědy. Za pomoc a cenné rady při vypracování tohoto miniprojektu děkujeme Ing. Janu Bártovi, Ph.D.

Reference

- [1] Jankowski Joseph, Kieber David, Mopper Kenneth. Nitrate and Nitrite Ultraviolet Actinometers, Photochem. Photobiol., 70, 319-328, 1999.
- [2] Ferradini Christiane, Jay-Gerin Jean-Paul. The effect of pH on water radiolysis: a still open question – a minireview, Res. Chem. Intermed., 26 549-565, 2000.
- [3] NDRL/NIST Solution Kinetics Database [<https://kinetics.nist.gov/solution/>]

Zjišťování krystalové struktury sacharózy rentgenovou difrakcí

J. Holub

Wichterlovo Gymnázium, Ostrava-Poruba

holuja815@wigym.cz

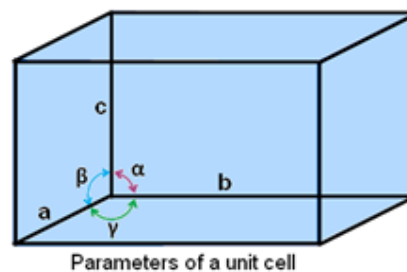
Abstrakt:

Pomocí rentgenové (RTG) difrakce byla zjišťována struktura krystalu sacharózy, disacharidu nejčastěji používaného sladidla v České republice. K dosažení cíle byl použit monokrystalový difraktometr Gemini s detektorem Atlas a informace byly zpracovávány v programech CrysAlis PRO, Jana 2020 a Diamond 4.0. Vybraný vzorek byl měřen za pokojové teploty (298 K).

1 Úvod

Znalost krystalových struktur látek může být nanejvýš cenná, protože tyto struktury často vypovídají o vlastnostech dané látky. Látky s podobnou strukturou krystalu mají velmi často i podobné vlastnosti. Tímto vším se zabývá vědecký obor zvaný krystalografie (z řeckého *krystallos* (led, krystal) a grafein (psát)).

Krystalická struktura se popisuje pomocí tzv. elementární buňky, což je jednotka, která se v krystalu opakuje. Elementární buňky se dělí podle délek stran a úhlů mezi nimi, tzv. mřížkových parametrů.



Obrázek 1: Krystalová buňka s parametry. a, b, c jsou délky hran a α , β , γ jsou úhly mezi nimi.

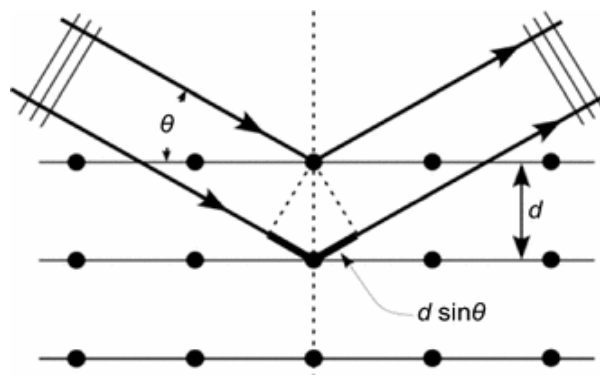
Nejznámější a nejpoužívanější krystalografickou metodou je rentgenová difrakce, která se dále dělí podle druhu zpracování vzorku, tento projekt je však pouze zaměřen na monokrystalickou difrakci. Rentgenová difrakce využívá ohybu paprsků RTG záření při průchodu vzorkem. Odražené paprsky spolu navzájem interagují a skládají se jako vlny. Skládají se celkem dvěma způsoby, destruktivně a konstruktivně. Destruktivní skládání vln se projevuje u paprsků s rozdílnou fází a má většinový podíl na veškerém skládání vln.

Konstruktivní skládání nastává u paprsků, které mají stejnou fázi a nastává jen pod určitými úhly dopadajícího záření. Tyto úhly se dají spočítat pomocí Braggova zákona

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

Jelikož jsou pro jednotlivé druhy krystalů určité konkrétní hodnoty, můžeme pomocí těchto informací odhadnout struktury. Difrakce umožňuje také zjištění chemického složení látky

jak kvalitativního, tak kvantitativního, této možnosti nebylo v projektu využito.

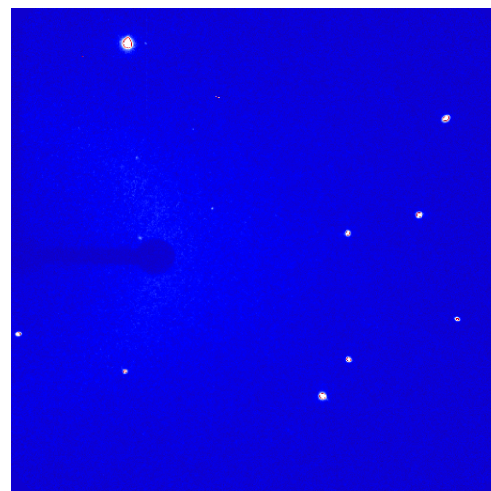


Obrázek 2: Znárodnění odrazu paprsků se stejnou fází

2 Postup a výsledky

Z balení cukru krystal pořízeného v supermarketu byl pod mikroskopem vybrán ideální vzorek sacharózy. Bylo nezbytné, aby se jednalo o monokrystal o průměru menší než 1 milimetr a bez povrchových trhlin a nečistot. Kdyby byly vybrány jako vzorek dva srostlé monokrystaly, docházelo by ke špatnému ohybu paprsků a data by nebyla použitelná. Povrchové trhliny na krystalu by rovněž ovlivňovaly výsledek, a to štěpením paprsků. Krystal byl poté pomocí vteřinového lepidla upevněn na držák (skleněnou kapiláru) a umístěn do difraktometru Gemini

Difraktometr byl kalibrován tak, aby paprsek mířil vždy do centra krystalu. Jako zdroj RTG záření byl zvolen zdroj s mědí, který vyzářoval záření o vlnové délce 154 pm. Přístroj pořídil snímky difrakce RTG záření v krystalu z mnoha úhlů. Získané snímky se pak v programu CrysAlis PRO analyzovaly a výsledek byly rozměry hran a vnitřní úhly elementární buňky krystalu. Konkrétní získané rozměry pro elementární buňku sacharózy jsou zapsány v Tabulce 1.

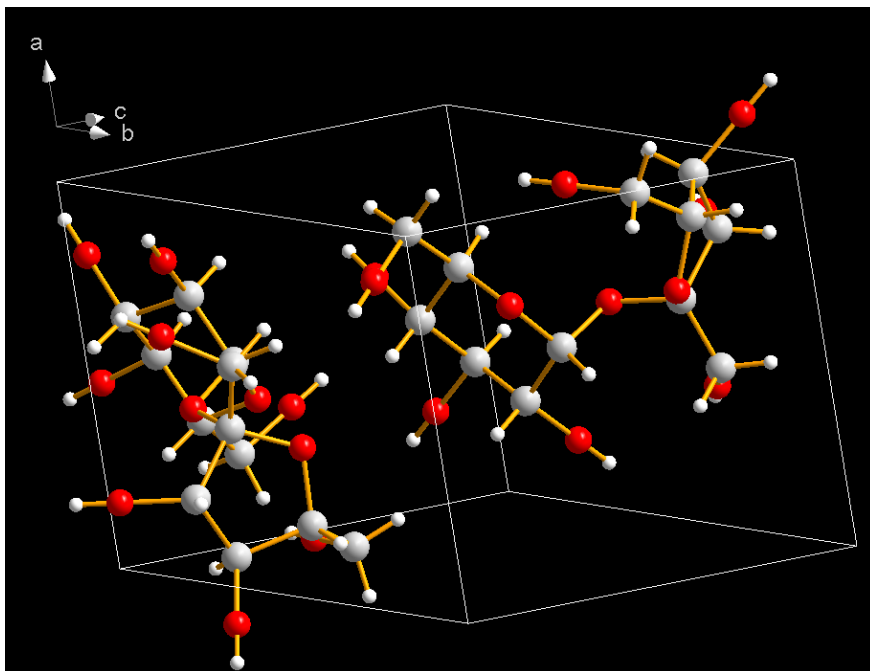


Obrázek 3: Snímek pořízený detektorem RTG záření. Světlé tečky jsou konstruktivně složené RTG paprsky. Stín je způsoben vzorkem a držákem.

Tabulka 1: získané hodnoty mřížkových parametrů

Délky stran (v pm)			Velikost úhlů (v °)		
a	b	c	α	β	γ
771,9 (3)	866 (3)	1 081,6 (4)	90	102,96 (4)	90

Jelikož je sacharóza velká organická molekula, proto by se mohla v elementární buňce různě uspořádat, ovšem jen jedno jediné uspořádání je to správné. Tento problém byl řešen pomocí dat získaných díky CrysAlis Pro a programů Jana 2020 a Diamond 4.0.



Obrázek 4: Molekuly sacharózy ve své elementární buňce

3 Shrnutí

Pomocí rentgenové difrakce se snadno zjistila krystalová struktura sacharózy a uspořádání molekul v ní. Bylo tím ověřeno, že vybraný postup je velmi účinný a praktický pro zjišťování struktury krystalických látek.

Poděkování

Děkuji garantce projektu Mgr. Cinthii Antunes Correa, PhD. za odbornou pomoc při vypracování projektu a organizátorům Týdne Vědy na Jaderce za možnost na projektu pracovat.

Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to LATEX*.
<https://mirrors.nic.cz/texarchive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.
- [2] Crystal Lattice and Unit Cell Class 12 Chemistry. *Excellup A Brief Introduction* [online].
Dostupné z:
https://www.excellup.com/class_12/chemistry_12/SolidState_CrystalLattice.aspx

- [3] Jendrzewska, I., Zajdel, P., Pietrasik, E. *et al.* Application of X-ray powder diffraction and differential scanning calorimetry for identification of counterfeit drugs. *Monatsh Chem* **149**, 977–985 (2018). <https://link.springer.com/article/10.1007/s00706-018-2193-z>
- [4] C. Hammond. *The Basics of Crystallography and Diffraction*. ISBN 978–0–19–954645–9
- [5] Petricek, V., Dusek, M. & Palatinus, L. (2014). *Z. Kristallogr.* 229(5), 345-352. DOI 10.1515/zkri-2014-1737 "Crystallographic Computing System JANA2006: General features"

Super-resoluční fluorescenční analýza buněčného cytoskeletu

P. Elblová¹, M. Uzhytchak¹, A. Frtús¹, L. Konopová², A. Moravcová³

Fyzikální ústav Akademie věd ČR¹

Gymnázium Jateční Ústí nad Labem²

Střední průmyslová škola Třebíč³

elblova@fzu.cz, uzhytchak@fzu.cz, frtus@fzu.cz, lenkonop@seznam.cz,
anetka.moravcova1@seznam.cz

Abstrakt:

Práce představuje rozeznávání sub-celulárních struktur a přípravu buněk kultivací a pasážováním.

1 Úvod

Eukaryotická buňka - základní stavební a funkční jednotka živých organismů. Lidské tělo se skládá z přibližně 200 typů buněk, které jsou různě uzpůsobeny k plnění určité funkce. Mezi základní složky eukaryotické buňky patří plazmatická membrána, endoplazmatická membrána, Golgiho aparát, vakuola, cytoskelet, centrozom, ribozom, jadérko, jádro, peroxizom, lysozom, mitochondrie.

Cytoskelet - soustava vláknitých bílkovinných útvarů, která má opěrnou a pohybovou funkci. Významnou roli hraje při dělení buňky. Existují tři typy cytoskeletárních útvarů: mikrotubuly, mikrofilamenta a střední filamenta.

- **Mikrotubuly** - dlouhé duté trubice, tvořeny proteinem tubulinem skládající se ze dvou podjednotek α a β . V živočišných buňkách mikrotubuly vycházejí z organizačního centra z (centrozom) nacházející se poblíž jádra.

Hlavní funkce: určovat pozice membránových buněčných organel řídit transport uvnitř buňky.

- **Mikrofilamenta** (neboli aktinová filamenta) - šroubovitě polymery proteinu aktinu.

Hlavní funkce: Podílet se na buněčném pohybu prostřednictvím buněčného povrchu například fagocytóza.

- **Střední filamenta** (neboli intermediární filamenta) - tvořeny vláknitými molekulami bílkovin. Jsou nejpevnějšími a nejodolnějšími ze všech tří typů cytoskeletárních struktur.

Hlavní funkce: Zajistit pevnost buněk.

2 Konfokální mikroskopie

Konfokální mikroskopie je založena na schopnosti určitých molekul emitovat světlo ve viditelné oblasti elmag. spektra. Aby bylo emise docíleno, je nutné těmto emitujícím molekulám dodat relativně velkou dávku energie. Toho je docíleno ozařováním vzorku silným laserem. Díky několika úpravám je dnes konfokální mikroskop schopen zobrazit objekty až o velikosti 120 nm. Konfokální mikroskop umožňuje sledování živých buněk v kulturách a analýzu různých buněčných funkcí naživo (např. analýza mitochondrií, poškození buněčné membrány a lysozomů; hodnocení potenciálu mitochondriální membrány a analýzu cytoskeletonu. Konfokální mikroskop Olympus IX83 využívá k excitaci fluorescenčních značek lasery, a kromě běžné struktury fluorescenčního mikroskopu obsahuje tzv. "pinhole", a tedy "štěrbinu", která umožňuje odfiltrovat veškerou nepotřebnou emisi světla, která nepochází ze sledované fokální roviny.

Buňky se připravují kultivací a pasážováním (odebráním staré a přidáním nového kultivačního média). Takto připravené buňky se promyjí a zafixují paraformaldehydem a permeabilizují se 0,5 % Tritonem X-100. Následně se přidají fluorescenční protilátky navazující se na proteiny cytoskeletu a mezi řetězce DNA.

Použili jsme metodu konfokální mikroskopie, abychom posoudili velikost buněk a jejich jader. Pomocí software ImageJ jsme se upravovali a zpracovávali obdržené konfokální fotografie.

3 Shrnutí

Během návštěvy Laboratoře biofyziky na FZÚ AV ČR, jsme se naučili základní práci s buněčnými kulturami, jako například pasážování, počítání a kultivování buněčných liniích. Kromě toho jsme připravili vzorky na imunofluorescenci pomocí protilátek a fluorescenčních značek. Použitím konfokální mikroskopie jsme analyzovali cytoskeletární struktury a buněčná jádra. Pomocí analytického softwaru ImageJ jsme měřili velikost buněk a jader, z kterých jsme udělali aritmetický průměr a zanesli do grafů.

Jádro HeLa	Buňka HeLa	Jádro Alexander	Buňka Alexander	Jádro HuH7	Buňka HuH7
μm	μm	μm	μm	μm	μm
16,5887	29,322682	16,91263043	27,20408696	18,30784	39,586

Hodnoty jsou aritmetickým průměrem všech měření

Poděkování

Všem organizátorům Týdne vědy. Vedoucím našeho projektu.

Reference

B-Tubulin D2N5G

<https://www.cellsignal.com/products/primary-antibodies/b-tubulin-d2n5g-rabbit-mab/15115>

ActinGreen 488 Ready Probes

<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/R37110>

Hoechst 33342 solution

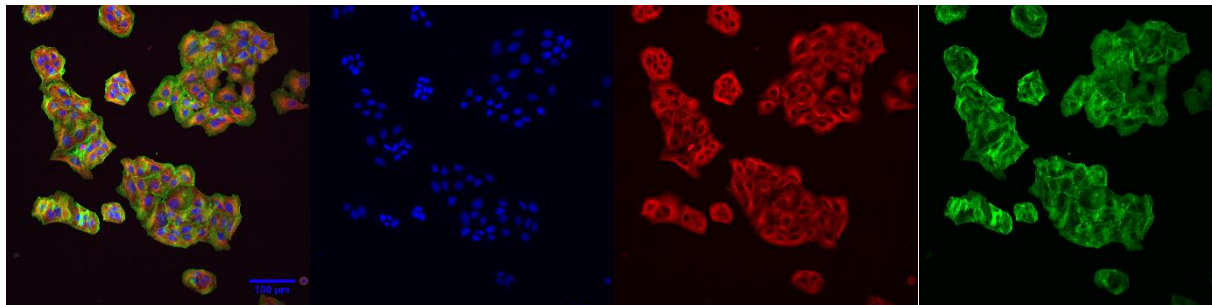
<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/H3570>

Alexander buňky 20x

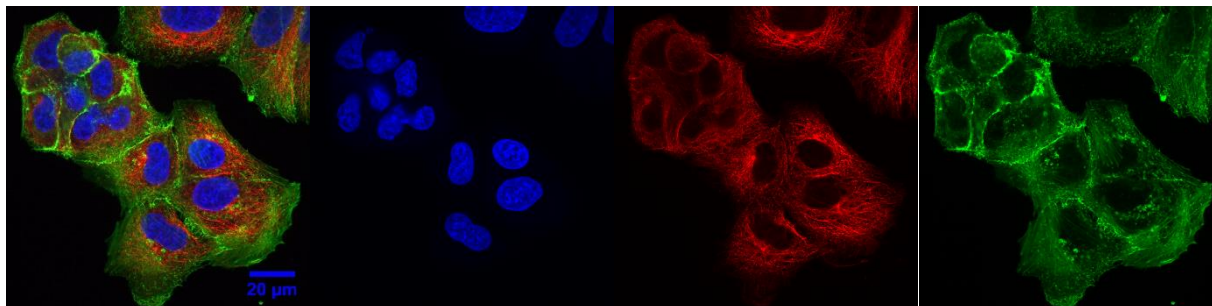
Jádro

β -Tubulin

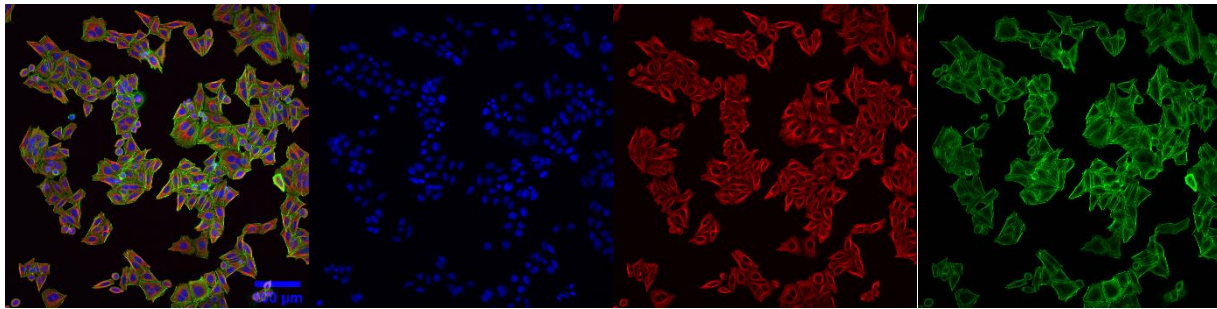
F-aktin



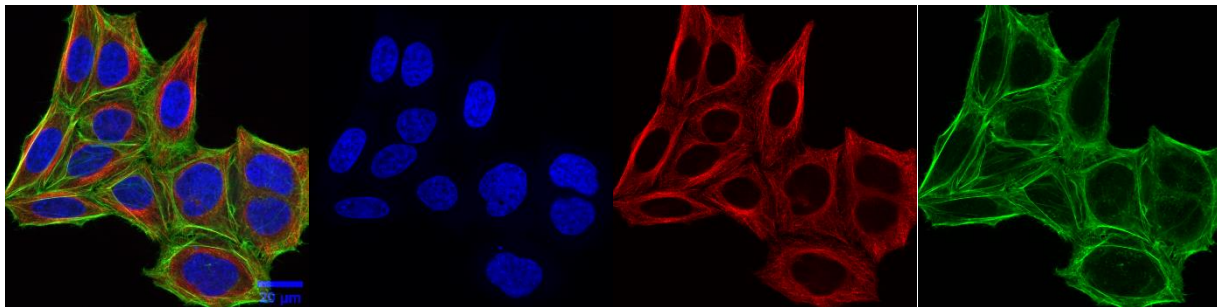
Alexander buňky 100x



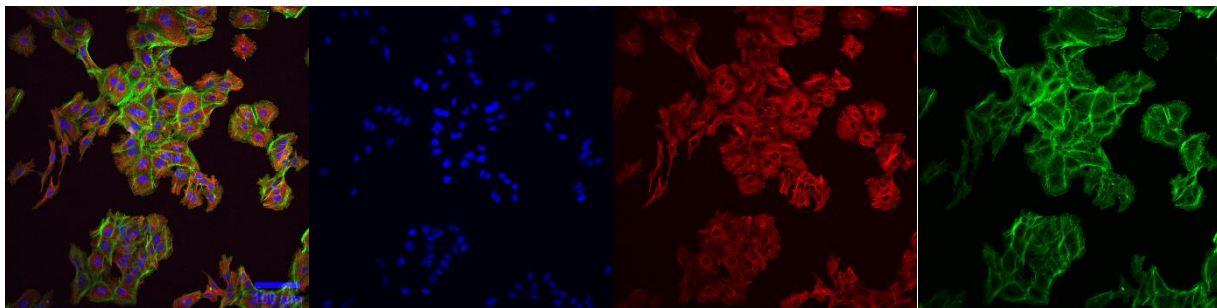
HeLa buňky 20x



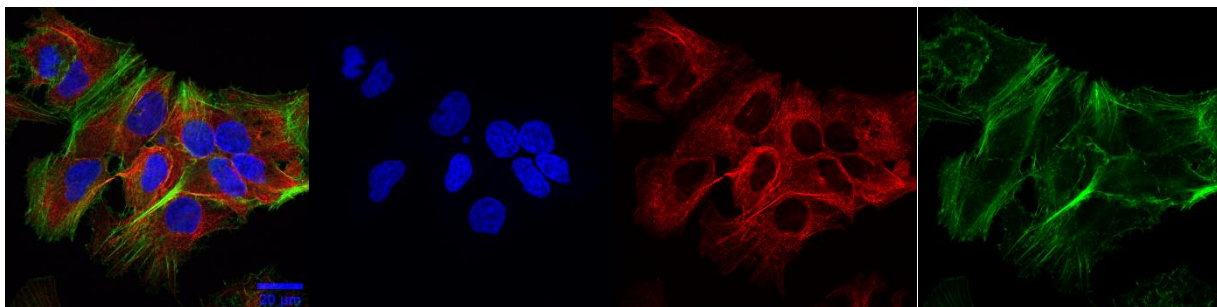
HeLa buňky 100x



HuH7 buňky 20x



HuH7 buňky 100x



Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy

A. Zethnerová¹, P. Kozák², V. Klacko³

Arcibiskupské gymnázium Praha¹, Gymnázium Písek², Gymnázium
Olgy Havlové Ostrava³

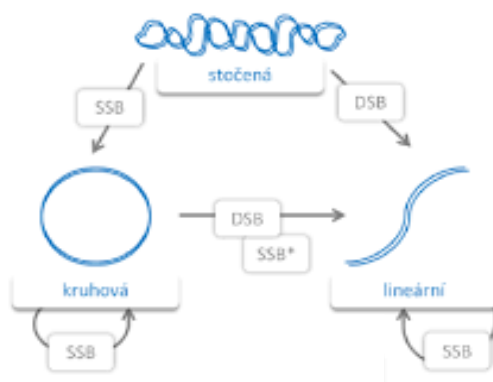
atenea.zethnerova@gmail.com¹, petrkozak123@seznam.cz²,
viktorklacko@icloud.com³

Abstrakt:

Práce se zabývá vlivem alkoholu na stupeň poškození plasmidové DNA ionizujícím zářením. Pomocí metody agarózové elektroforézy jsme zpracovali devět ozářených vzorků o různé koncentraci etanolu, které jsme následně vyhodnotili v programu Luthien. Po zpracování dat jsme dokázali, že alkohol do určité míry působí jako radioprotektivum.

1 Úvod

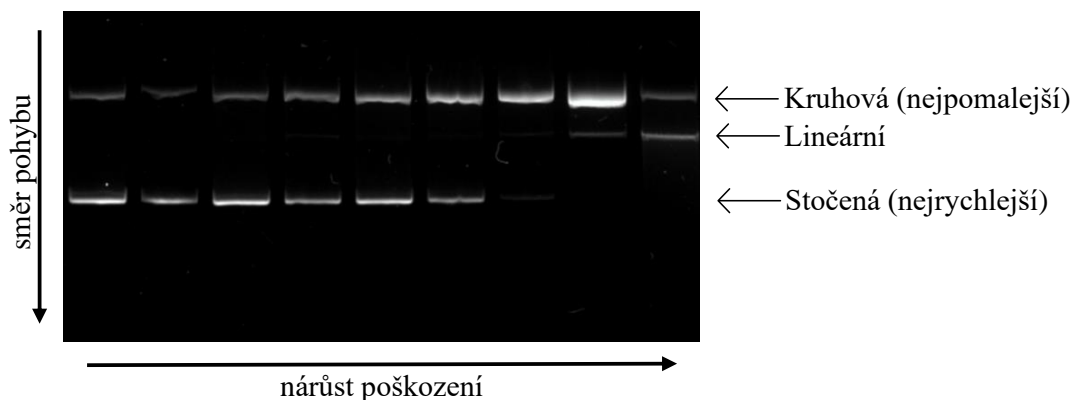
Molekula deoxyribonukleové kyseliny (DNA) je nosičem genetické informace živých organismů. Její vnitřní vazby i vazby s buněčnými bílkoviny definují její komplexní prostorové uspořádání. Poškození DNA, vystavením škodlivému gama záření může mít fatální následky pro celý lidský organismus, což často ústí i ve smrt. V některých specifických situacích nebo povoláních musíme člověka co nejlépe před radioaktivitou chránit, a to odstíněním, vzdáleností a snížením doby vystavení na minimum. Existují i látky, které nás do určité míry dokážou před radiací ochránit, mimo jiné k nim patří etanol.



Obrázek 1: Přehled různých konformací plasmidové DNA

V pokusu jsme požíli plasmidovou DNA. Plazmid je malá část DNA vyskytující se volně v cytoplazmě bakterií. Působením ionizujícího záření můžou na DNA vznikat různá poškození. Na plasmidech podle typu a rozsahu poškození vznikají tři konformace – stočená nepoškozená forma bez zlomů, kruhová s jedním, nebo několika od sebe dostatečně vzdálenými jednoduchými zlomy a lineární s dvojným zlomem. Tyto konformace jsou vyobrazené na obrázku 1.

K zjištění účinnosti etanolu jakožto radioprotektiva DNA lze použít agarózovou elektroforézu. Principem agarózové elektroforézy je migrace záporně nabitých buněčných DNA ke kladnému pólu anody, kdy se molekuly DNA oddělují v závislosti na rozdílných konformacích plasmidu. Rozdílná pohyblivost těchto forem v agarózovém elektroforetickém systému zajišťuje vizuální demonstraci poškození jednotlivých vzorků, DNA je zviditelněna fluorescenčním barvivem. Na obrázku 2 je znázorněno rozdělení různých konformací plasmidové DNA pod vlivem elektrického pole.



Obrázek 2: Rozdělení konformací plasmidové DNA vlivem elektrického pole.

2 Praktická část

Materiály a metody

Nejdříve jsme si připravili 1 % agarózový gel. K přípravě gelu jsme navázili 0,4 g agarózy SERVA a přidali 40 ml TAE pufry. Gel jsme uvařili, přidali SYBR Green I v poměru 1:10000 a nechali chladnout za pokojové teploty.

Následovala příprava vzorků DNA z odsoleného plasmidu Pbr322 s 4361 bázovými páry. Do každého vzorku s celkovým objemem 12 μ l jsme dali 100 ng DNA a jiné množství etanolu. Množství použitého etanolu je uvedeno v tabulce 1.

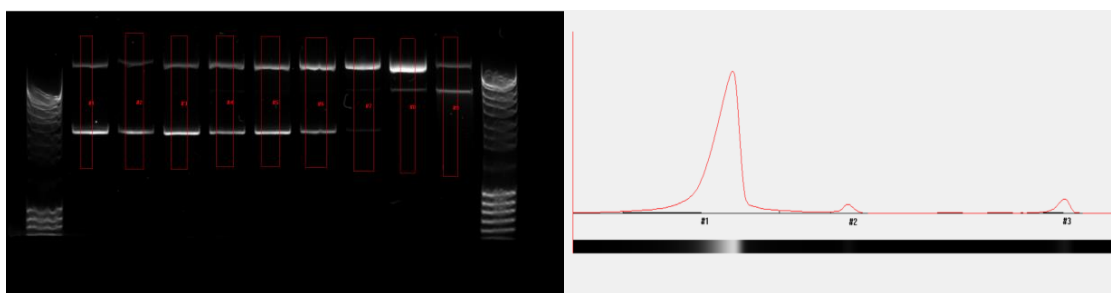
Vzorek plasmidu	Etanol (objemová %)
1	25,000
2	10,000
3	2,500
4	1,000
5	0,250
6	0,100
7	0,025
8	0,010
9	0,000

Tabulka 1: Objemové procentuální zastoupení etanolu ve vzorcích

Následovalo ozáření vzorků gama zářičem ^{60}Co dávkou 50 Gy. Pro doručení této dávky bylo potřeba mít vyjetý od stínění ozařovač po dobu 18 minut a 52 sekund. Doba ozařování radionuklidem se stále prodlužuje, jelikož se radioaktivní izotop rozpadá a má tak menší aktivitu.

Po ozáření jsme do každého vzorků přidali 2 μl loading pufru. Do připravené horizontální lázně vyplněné 0,5x TAE pufrům jsme přesunuli vychladlý gel. Do gelu jsme nanесли pomocí pipety vzorky a poté připojili na hodinu na zdroj o napětí 100 V a nechali DNA migrovat v elektrickém poli.

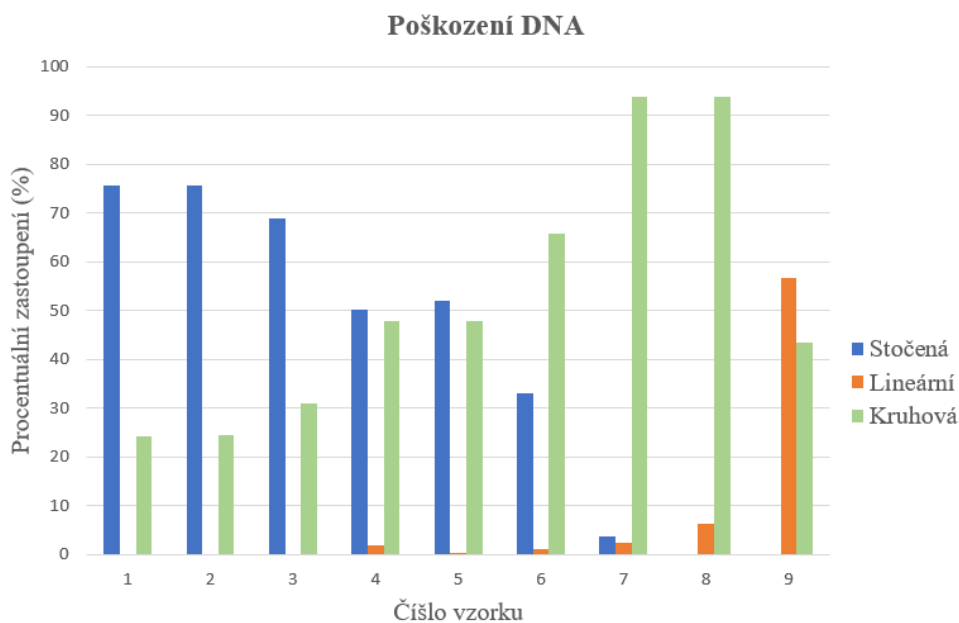
Po ukončení migrace se gel vyfotil na UV stolku a zastoupení jednotlivých konformací plasmidu v každém vzorku bylo vyhodnoceno programem Luthien. Na obrázku 3 je znázorněn postup vyhodnocení gelu. Nejprve se vyberou na gelu oblasti jednotlivých vzorků a tím vzniknou grafy, kde píky znázorňují jednotlivé konformace plasmidu. Píky se zintegrují a tím se dostane procentuální zastoupení jednotlivých konformací pro každý vzorek.



Obrázek 3: Zpracování gelu programem Luthien

Výsledky

Procentuální zastoupení jednotlivých forem plasmidu pro každý vzorek jsme si vyexportovali do MS Excelu a připravili graf na obrázku 4, kde je patrné, že se snižující se koncentraci etanolu ve vzorku dochází k vyššímu poškození plasmidové DNA.



Obrázek 4: Procentuální zastoupení různých konformací plasmidu pro ozářené vzorky s různým obsahem etanolu.

Diskuse

Provedli jsme experiment pro zjištění, zda má alkohol radioprotektivní účinky. Zjistili jsme a potvrdili hypotézu, že alkohol při vyšší koncentraci zabraňuje rozsáhlejšímu poškození DNA. Etanol vychytává volné radikály a potlačuje nepřímý efekt záření. Za normálních podmínek nám však alkohol v krvi proti záření moc nepomůže, koncentrace alkoholu, která je schopna zablokovat kompletně záření je tak vysoká, že by člověk daleko dříve zemřel na otravu alkoholem nežli na následky ionizujícího záření. Experiment tak byl spíše záležitostí pro zajímavost než pro reálné využití.

3 Závěr

Na modelovém systému plasmidové DNA jsme prokázali, že alkohol funguje jako radioprotektivum. Kdyby množství alkoholu potřebné k dosažení tohoto účinku nebylo letální, tak bychom si vsadili na alkoholika. Bohužel však realita je jiná. V případě jaderné katastrofy, by alkoholikovi alkohol pomohl pouze v tom, že by umíral veselý.

Poděkování

Poděkování za konzultaci, provedení projektem a ochotu patří naší supervizorce Ing. Anně Jelínek Michaelidesové Ph.D. Velké díky patří také všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

Reference

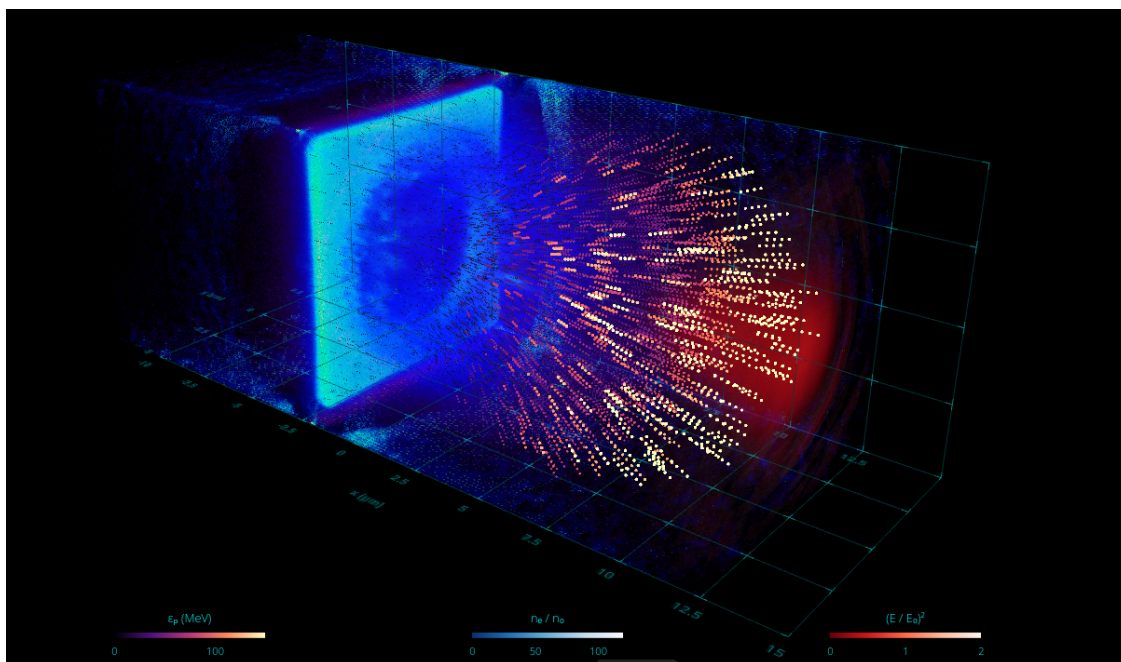
- [1] Plazmid. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Plazmid>
- [2] Sborník TV@J 2018. Týden vědy na Jaderce [online]. Praha, 2018 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/2018/output/sbornik/proceeds.pdf>
- [3] Materiály k úloze od Ing. Kateřiny Pachnerové Brabcové Ph.D., ODZ ÚJF AV ČR

Simulace urychlování iontů ELI laserem a jejich vizualizace ve Virtuální Realitě

N. P. Sládek*, M. Bodorík**

Gymnázium Veľká okružná 22, Žilina 01001

ninkopeter@gmail.com*, matik.bodorik@gmail.com**



Obrázok 0: Vizualizácia konečnej simulácie v prostredí virtuálnej reality.

Abstrakt:

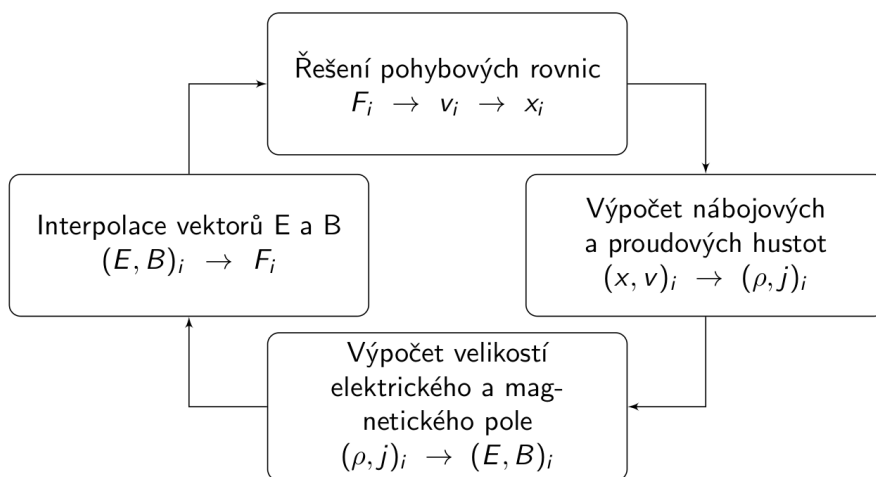
3D simulácia interakcie vysoko-intenzívneho laseru s kryogenickým vodíkom slúžiacim ako terč. Vizualizácia zobrazuje urýchlené protóny, ktoré dosahujú energiu viac ako 200 MeV. Simulácia bola vypočítaná na superpočítači IT4Innovations pomocou kódu EPOCH. Vizualizovanie bolo 3D a boli pozorované mechanizmy Target Normal Sheath Acceleration (TNSA) a Radiation Pressure Acceleration (RPA).

1 Úvod

Urýchľovanie iónov je jedným z popredných výskumných odborov. V rámci nášho projektu sme zavítali do ELI Beamlines v Dolných Bržezanoch neďaleko Prahy. Simulácia urýchľovania iónov na titáno-safirovom lasery ELI Beamlines by nám mala: ukázať a vizualizovať energetické spektrum protónov, priebeh interakcie a rozloženie v priestore. Následný výskum v tomto odbore pomôže v rôznych socioekonomických oblastiach ako sú liečba rakoviny, produkcia izotopov pre PET, generovanie zväzkov neutrónov, diagnostika pamiatok a ďalšie ...

2 Materiály a metódy

Začiatok prípravy simulácie urýchľovania iónov laserom spočíval s pochopením základných parametrov pre interakciu laseru s plazmou. Zadané parametre sme spočítali pomocou programu MATLAB a zadali do vstupného súboru pre numerickú simuláciu. Použili sme metódu Particle-in-cell (PIC), ktorá spočíva v tom, že sa simulujú elektrické a magnetické pole na mriežke a voľne pohybujúce sa makročastice. V prvom kroku sa riešia pohybové rovnice definované Lorentzovou silou. V druhom, výpočet hustoty náboja prúdovej hustoty na mriežke. Tretí krok je vypočítanie veľkostí elektrického a magnetického pola riešením Maxwellových rovníc. Štvrtý krok je interpolácia elektrického a magnetického poľa z mriežky na súradnice častíc vo vnútri buniek. Kroky je prehľadne vidno v nasledujúcom diagrame (obr. 1).



Obrázok 1: Výpočetný cyklus metódy PIC. Zdroj [2]

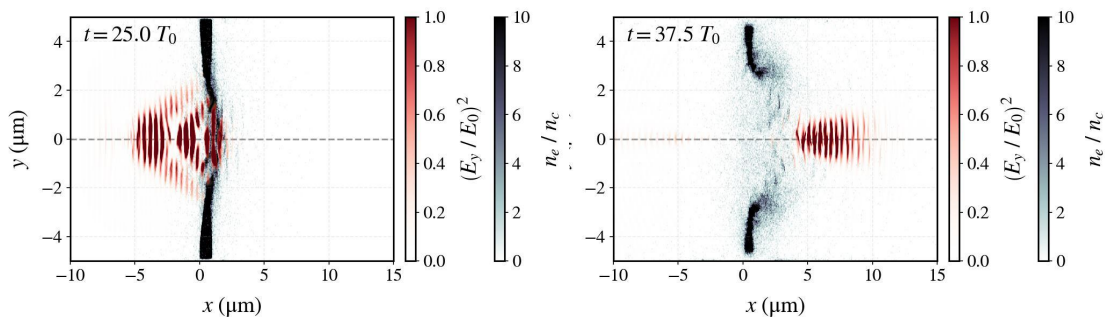
Parametre zadané do simuláci:

Laser - L3 ELI Beamlines		Terč - Kryogénny vodík	
Intenzita	$1 \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$	Elektrónová hustota	$5.36 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
Vlnová dĺžka	800 nm	Elektrónová hustota	$30 \cdot n_c$
Periódá	2,69 fs	Hrúbka	1 μm
Šírka zväzku(FWHM)	3 μm	Výška	10 μm
Dĺžka pulzu	$\sin^2(t)$ 64 fs (Gauss. \approx 30 fs)	Dĺžka	10 μm
Kritická hustota (n_c)	$1.74 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$		

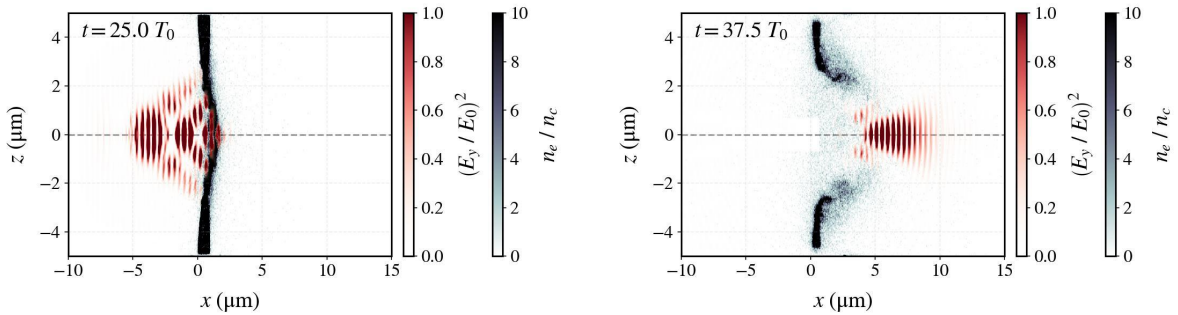
Táto metóda je implementovaná v open-source kóde EPOCH [1], ktorý je napísaný v jazyku Fortran a vyvinutý na Univerzite Warwick. Tento kód umožňuje 1D, 2D a 3D simulácie. V tomto projekte sme použili 3D verziu.

3 Simulácia

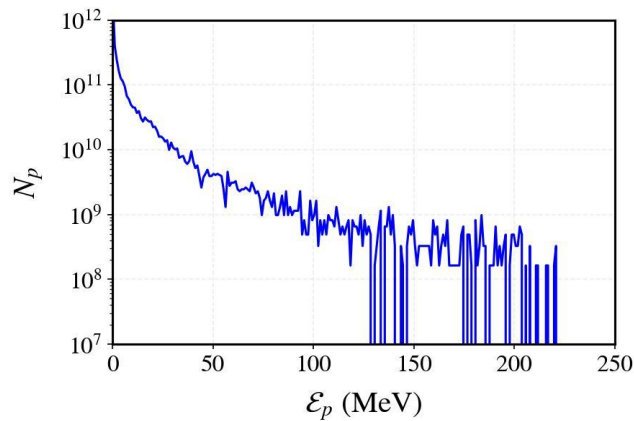
Numerická simulácia kódu EPOCH[1] prebiehala na Ostravskom superpočítači Karolína v centru IT4Innovations , proces zabral na 1024 jadrách 1h na výpočet. Následné dáta sme vizualizovali pomocou programov: ParaView, Jupyter Notebook (obr. 2-4) a VBL aplikácia na virtuálnu realitu (obr. 0).



Obrázok 2: 2D rez 3D simulácie zobrazujúci intenzitu laseru a elektrónovú hustotu vodíkového terča v čase 25 periód T a v čase 37,5 periód T . Pohľad so súradnicami x a y . V tejto rovine je vidieť efekt polarizácie laserového pulzu, ktorý sa prenáša do hustoty častíc.



Obrázok 3: 2D rez 3D simulácie zobrazujúci intenzitu laseru a elektrónovú hustotu vodíkoveho terča v čase 25 periód T a v čase 37.5 periód T . Pohľad so súradnicami x a z .



Obrázok 4: Energetické spektrum protónov zo simulácie v čase 50 periód T .

4 Zhrnutie

Počas našej dvojročnej práce sa nám podarilo napočítať simuláciu a vizualizovať priebeh interakcie laseru s terčom a energetické spektrum protónov aj vo virtuálnej realite (obr. 0). Daná energia výsledných protónov je vhodná na protónovú terapiu avšak divergencia zväzkov je príliš vysoká.

Pod'akovanie

Na záver by sme sa chceli poďakovať našim garantom projektu Martinovi Matysovi a Petrovi Valentovi. Ďalej ešte Vojtěchovi Svobodovi, Karlovi Kolářovi a Veronike Hendrychovej za organizáciu Týdne vědy. Simulácia bola umožnená pomocou grantu e-INFRA CZ (ID:90140)

Referencie

- [1] T. D. Arber, K. Bennett, C. S. Brady, et al., Plasma Phys. Contr. Fus. 57, 113001 (2015)
- [2] Martin Matys. Částicové simulace vlivu složení terče na urychlování iontu ultraintenzivními femtosekundovými laserovými impulzy. Praha, 2014. Bakalárska práca. ČVUT v Praze , FJFI

Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu

Jan Lepič¹, Jan Adam Onderka², Jakub Savula³, Ondřej Švihnos⁴

¹ Gymnázium Strakonice, honzik.lepic@seznam.cz

² Střední průmyslová škola Třebíč, onderkaj.04pst.eu

³ Gymnázium, Č. Budějovice, Jírovцова 8, savulaj@jirovcovka.net

⁴ Gymnázium Děčín, ondrej.svihnos@seznam.cz

Abstrakt:

Tento příspěvek přiblíží elektronovou mikroskopii, konkrétně pak skenovací elektronový mikroskop a některá jeho využití.

1 Úvod

Elektronový mikroskop se od světelného liší ve způsobu zobrazení zkoumaného vzorku. Světelný mikroskop funguje na principu průchodu fotonů skrze soustavu čoček, které tvoří spojnou čočku. Elektronový mikroskop využívá k zobrazení vzorku elektrony usměrněné elektromagnetickým polem. Jelikož je vlnová délka elektronů menší než vlnová délka fotonů, můžeme pomocí elektronového mikroskopu pozorovat vzorek při podstatně větším zvětšení.

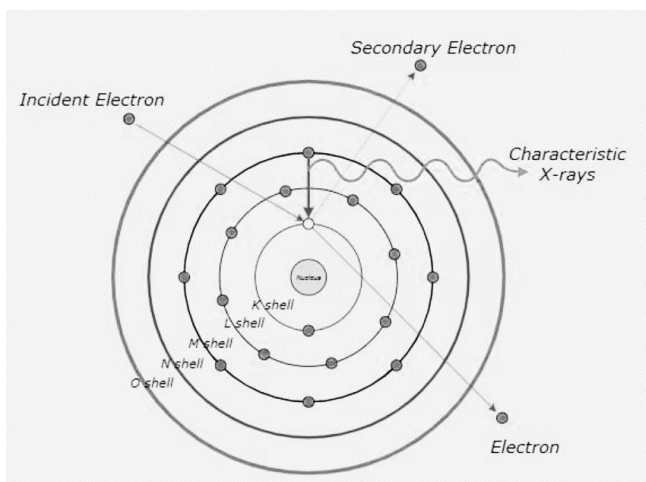
V tomto miniprojektu jsme zkoumali vzorek wolframového prášku a wolframové pseudoslitiny pomocí elektronového řádkovacího mikroskopu JEOL JSM 5510 LV. Cílem bylo zjistit jejich složení, strukturu a materiálové vady. Tyto slitiny se používají na stínění a jako munice do protipancéřových střel.

Motivací k účasti na tomto miniprojektu pro nás bylo vyzkoušet si práci se skenovacím elektronovým mikroskopem a zajímalo nás jeho využití v souvislosti s materiály. Chtěli jsme se také dozvědět, jak určovat chemické složení vzorku pomocí energiově disperzní analýzy.

2 Teorie

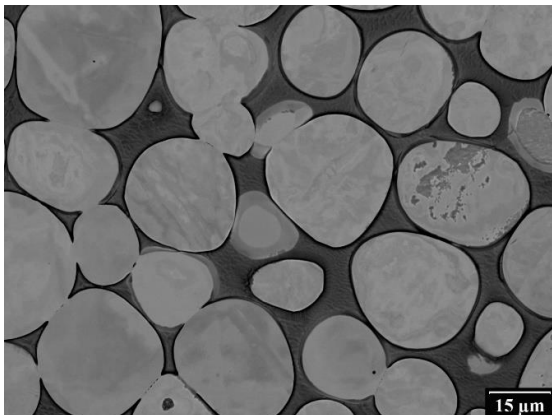
Skenovací elektronový mikroskop (SEM)

Dopadající elektronový paprsek interaguje s povrchem vzorku do hloubky několika μm . Některé elektrony se odrazí, jiné zapříčiní vznik sekundárních elektronů, tedy vyrazí elektron z atomu vzorku. Znázorněno na obrázku 1.

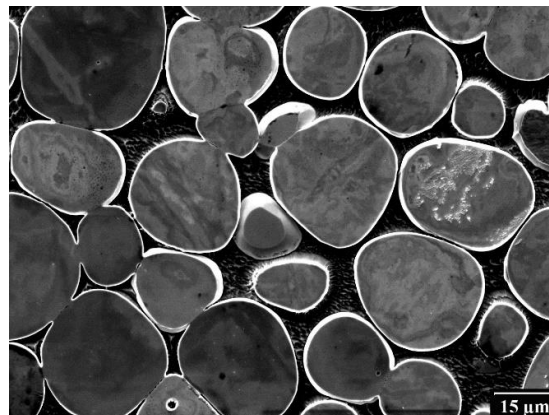


Obrázek 1

Odražené a sekundární elektrony jsou detekovány a na základě jejich intenzity je sestaven obraz. Intenzita odražených elektronů je přímo úměrná protonovému číslu atomů, tedy atomy s větším protonovým číslem jsou na snímku světlejší.



Obrázek 2



Obrázek 3

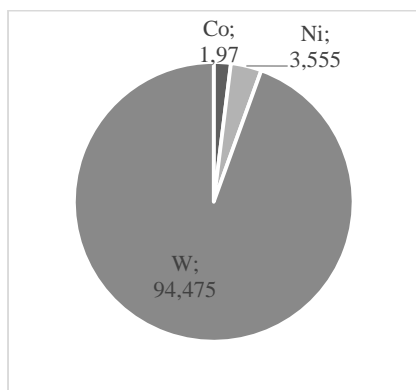
Slinutý wolfram s niklem a kobaltem – nalevo obraz ze zpětně odražených elektronů, napravo obraz ze sekundárních elektronů.

Energiově disperzní spektrometrie (EDS)

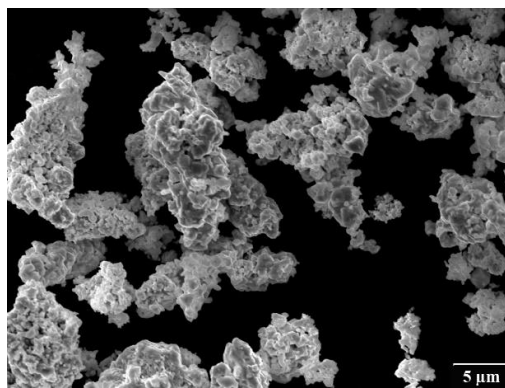
Při dopadu elektronů na vzorek vzniká, kromě zpětně odražených a sekundárních elektronů, rentgenové záření. Energie těchto fotonů závisí na druhu atomu, proto je možné pomocí prvkové analýzy EDS zjistit kvalitativní i kvantitativní zastoupení prvků ve vzorku. Při použití etalonu o známém složení lze dosáhnout přesnosti kvantitativní analýzy na desítky hmotnostních procent.

3 Výsledky

Skenováním pomocí zpětně odražených elektronů jsme zjistili zrnitou povahu prášku (obr. 4). Energiově disperzní analýzou jsme zjistili poměrné chemické složení (viz graf 1).

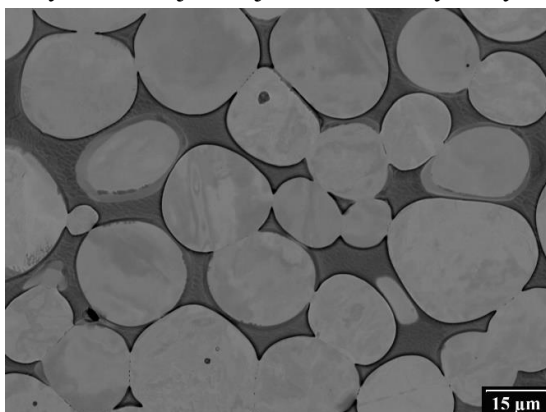


Graf 1 složení prášku v hmotnostních %

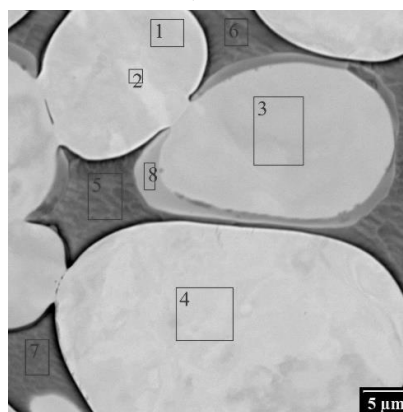


Obrázek 4

Dalším vzorkem byl příčný řez tyče pseudoslitiny wolframu, kobaltu a niklu, který byl vibračně vybroušen pro pozorování. Pozorovali jsme strukturu koulí a matrice (obr. 5) a prvkovou analýzou EDS jsme zjistili složení vybraných oblastí (tabulka 1, obr. 6).



Obrázek 5



Obrázek 6

Místo měření	W	Co	Ni
1	98,7	0,5	0,8
2	99,5	0,3	0,2
3	99,38	0,39	0,23
4	99,52	0,25	0,22
5	49,06	16,62	34,31
6	50,73	15,53	33,74
7	56,83	13,19	29,98
8	98,83	0,43	0,74

Tabulka 1

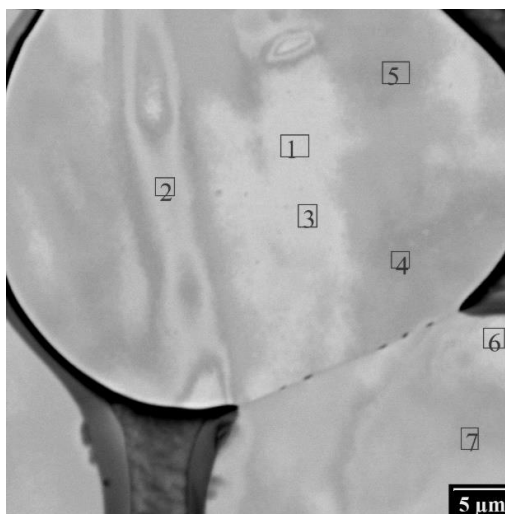
Světlé koule jsou složeny výhradně z wolframu a matrice obsahuje přibližně polovinu hmotnosti wolframu a stejný poměr kobaltu a niklu jako výchozí prášek.

Na obr. 2 a obr. 3 (rozdíl bec a se) můžete vidět nejasné hranice mezi koulí a matricí. Analýzou složení jsme zjistili, že jsou totožné s koulí. Zjistili jsme, že se jedná o jev způsobený přípravou vzorku. Měkčí matrice byla odbroušena z kulového vrchlíku a vytvořil se reliéf.

Další anomálie jsme pozorovali na řezech jednotlivými koulemi, jejich složení nebylo homogenní (viz obr. 7).

Místo měření	Co	Ni
1	0,1	0
2	0,34	0,23
3	0,23	0,17
4	0,36	0,32
5	0,18	0,3
6	0,17	0,09
7	0,19	0,15

Tabulka 2



Obrázek 7

Provedli jsme energiově disperzní analýzu označených míst (obrázek 7), která se významně lišila kontrastem. Zjistili jsme, že složení kolísá a v místech s tmavším odstínem je nižší obsah wolframu (tabulka 2).

4 Shrnutí

Vyzkoušeli jsme si práci s elektronovým mikroskopem a pochopili jeho princip. Pozorovali jsme tvary zrn wolframového prášku. Z výsledků prvkové analýzy energiově disperzní spektrometrie (EDS) wolframového prášku vyplynulo, že se jedná o již kompletní směs k výrobě pseudoslitiny. Zjistili jsme, že žádná wolframová koule v pseudoslitině není složením homogenní a obsahuje v různých místech různé množství niklu a kobaltu.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za možnost vyzkoušet si práci se skenovacím elektronovým mikroskopem v rámci Týdne vědy na Jaderce. Děkujeme panu Ing. Janu Adámkovi za pomoc při přípravě a zpracování tohoto miniprojektu.

Reference

[1] Obrázek 1: <https://studylib.net/doc/8126264/energy-table-for-eds-analysis>

Fraktální množiny a jejich zobrazení

D. Novák, V. Brabcová*, A. Blažek**

Gymnázium Veľká okružná Žilina

Střední průmyslová škola Ostrov*

Gymnázium Veľká okružná Žilina**

donnberg5@protonmail.ch

brabvl@ms.spsostrov.cz *

adamynos219@gmail.com **

Abstrakt

Cieľom našej práce bolo zoznámenie sa s fraktálnymi množinami. Základnou jednotkou fraktálnej množiny je fraktál. Fraktál je geometrický objekt, ktorý je sebedobný; to je objekt, ktorý vyzerá rovnako pri akomkoľvek zväčšení. Zamerali sme sa na ich matematické vlastnosti a ich zobrazenie pomocou počítačových programov. Počítali sme dimenzie niektorých fraktálov, ako sú Cantorova množina, Kochova krivka, Sierpinského trojuholník a mnoho ďalších; zobrazovali sme Mandelbrotovu a Juliove množiny pomocou programovacieho prostredia JavaScript a aplikovali sme na ne niektoré farbiace algoritmy.

1 Úvod

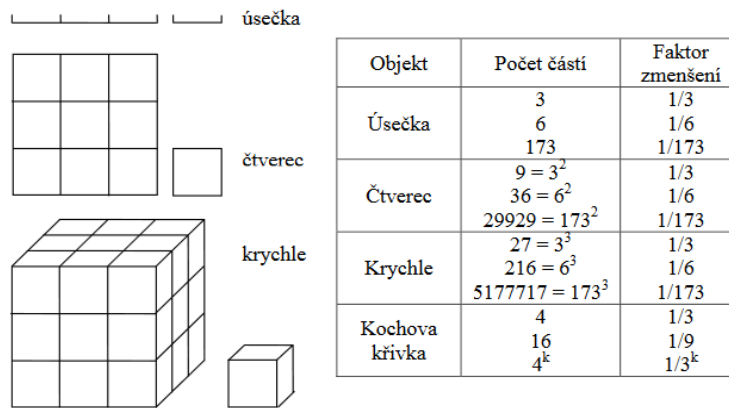
Fraktál je geometrický objekt, ktorého menšie časti sú podobné celku. Táto vlastnosť sa nazýva sebedobnosť. Práve pomocou tejto vlastnosti rozoznávame fraktály nie len v matematike, ale aj v reálnom svete. Takto si môžeme všimnúť, že sebedobné sú napríklad hory, lesy, lúky a kopce, stromy a rastliny (obr. 1).

2 Matematika fraktálov

Fraktálne dimenzie

Geometrickým objektom okrem ich topologickej dimenzie pripisujeme aj dimenziu fraktálnu. Fraktálna dimenzia umožňuje popísať stupeň zložitosti objektu podľa toho, ako rýchlo rastie jeho dĺžka, obsah a objem v závislosti na veľkosti meradla, podľa ktorého meriame [1]. Existuje niekoľko spôsobov na zisťovanie dimenzií fraktálov podľa štruktúry: sebedobnostné dimenzie, mriežkové dimenzie alebo Hausdorffova dimenzia.

Pri zisťovaní dimenzií sme používali sebedobnostné dimenzie:



Obrázek 1: Sebepodobnost' niektorých objektov

Z obrázku (obr. 1)[1] vyplýva, že medzi počtom častí N a faktorom zmenšenia s existuje vzťah $N = 1/s^D$, kde D je dimenzia objektu. Vyjadrením D získame rovnicu $D = \frac{\ln N}{\ln \frac{1}{s}}$, ktorou vypočítame dimenziu objektu.

Výpočet dimenzií

Cantorova množina (obr. 3) vznikne rozdelením úsečky na 3 rovnaké časti a odstránením strednej časti. Tento proces sa opakuje donekonečna. Takto s faktorovým zmenšením $s=1/3$ vzniknú 2 časti $N=2$. Dosadením do vzorca pre výpočet dimenzie dostaneme vzťah

$$D = \frac{\ln 2}{\ln 3} \approx 0,6309 .$$

Kochova krivka (obr. 4) vzniká rozdelením úsečky na 3 rovnaké časti a nahradením strednej časti dvoma úsečkami, ktoré sú rovnako dlhé ako tretina úsečky a zvierajú uhol 60° . S faktorovým zmenšením $s=1/3$ vzniknú 4 časti $N=4$. Platí vzťah

$$D = \frac{\ln 4}{\ln 3} \approx 1,2619 .$$

Zaujímavým príkladom fraktálu je aj pravouhlá verzia Kochovej krivky (obr. 5). Tá je zložená z 8 častí, ktoré majú dĺžku rovnú jednej štvrtine z pôvodnej úsečky. To znamená, že s faktorovým zmenšením $s=1/4$ nám vznikne 8 častí $N=8$ [4]. Pre dimenziu objektu platí vzťah

$$D = \frac{\ln 8}{\ln 4} = 1,5$$

3 Zobrazení fraktální množiny v komplexních číslech

Kromě klasických fraktálů, jako jsou například Cantorova a Kochova množina, existují fraktály v komplexní rovině. Kvůli složitosti výpočtů bylo možné objevit fraktální množiny v komplexních číslech až s nástupem výpočetní techniky. Jako příklad patří mezi tyto fraktály Mandelbrotova a Juliova množiny. [2]

Mandelbrotova množina

Mandelbrotova množina je nelineární deterministický fraktál. Používá se například ke generování textur a trojrozměrných modelů krajiny v počítačové grafice.

Bylo dokázáno, že její hranice má fraktální dimenzi 2 [3]. Je vytvořena pomocí iterace funkce komplexní paraboly podle vztahu:

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

kde z_n je posloupnost komplexních čísel a c je počáteční komplexní číslo.

Juliovy množiny

Juliovy množiny jsou vytvořeny pomocí iterace funkce komplexní paraboly podle vztahu pro výpočet Mandelbrotovy množiny, kde z_n je posloupnost komplexních čísel a c je konstanta.

Je jich nekonečně mnoho. Dělí se na spojitě a nespojitě podle toho, zda konstantu zvolíme uvnitř nebo vně Mandelbrotovy množiny.

Počítačové zobrazení

Pro počítačové zobrazování fraktálních množin se mohou použít různé metody a programovací jazyky. V našem případě pro zobrazení Mandelbrotovy a Juliovy množiny jsme použili jazyk JavaScript a komponentu Canvas.

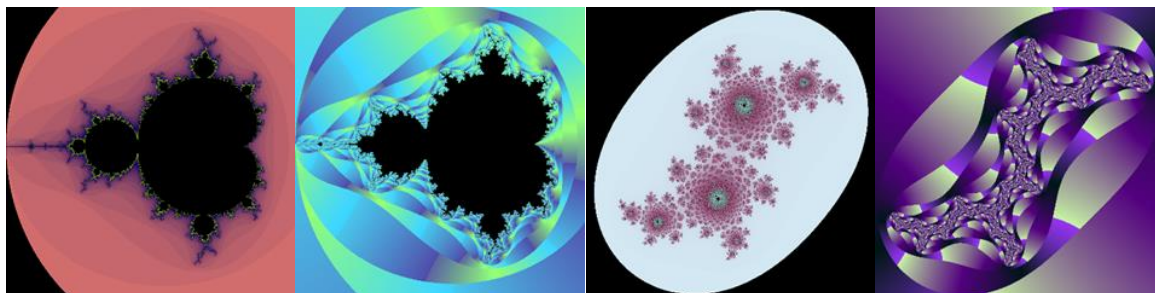
Barvy jsme přiřadili podle počtu iterací a podle únikového úhlu.

Na snímku (obr. 1) vpravo je ukázka kódu pro zobrazení Mandelbrotovy množiny s obarvením podle počtu iterací. Pro zobrazení Juliovy množiny v kódu změníme proměnné $c1$ a $c2$ na předem danou konstantu a počáteční hodnotu posloupnosti vložíme do proměnných xn a yn .

Pro obarvení podle únikového úhlu je nutné změnit návratovou hodnotu funkce z počtu dosažených iterací na úhel posledního komplexního prvku posloupnosti za pomoci funkce atan2 .

```
function testMandel(re, im) {
  var c1 = re;
  var c2 = im;
  var xn = 0;
  var yn = 0;
  var it = 0;
  var tmp = 0;

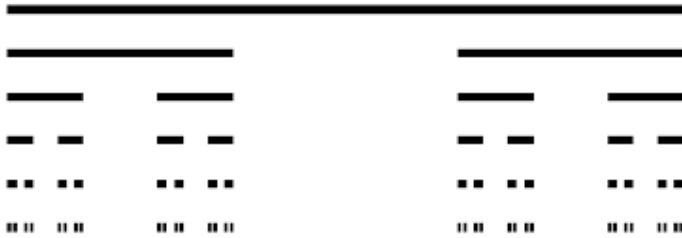
  while (it < maxIter) {
    tmp = xn * xn - yn * yn;
    yn = 2.0 * xn * yn + c2;
    xn = tmp + c1;
    if (xn * xn + yn * yn > 4.0) break;
    it++;
  }
  if (it == maxIter) it = 0;
  return it;
}
```



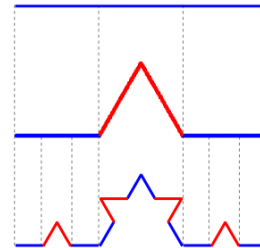
Obrázek 2: Zobrazení Mandelbrotovy a Juliovy množiny s obarvením podle iterace a únikového úhlu.

4 Zhrnutie

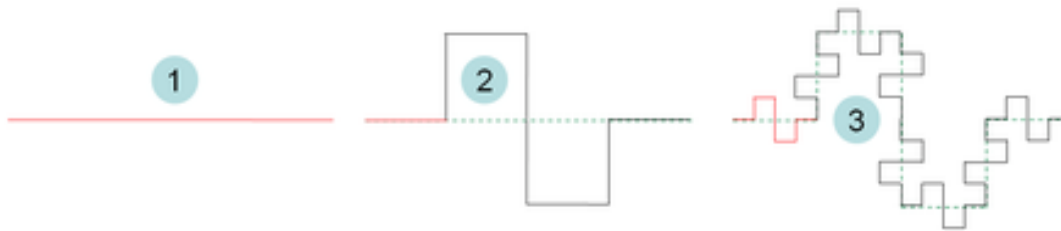
Pomocou programov pre zobrazovanie fraktálnych množín ako sú Chaos a Fractal sa nám podarilo zobrazit' a vypočítat' sebedobnostné dimenzie niektorých fraktálnych množín. Pomocou programovacieho jazyka JavaScript a komponentu Canvas sme dokázali vytvorit' program pre zobrazovanie Mandelbrotovej množiny a Juliových fraktálnych množín.



Obrázek 3: Cantorova množina



Obrázek 4: Kochova krivka



Obrázek 5: Pravouhlá verzia Kochovej krivky

Poděkování

Poděkovat' by sme sa chceli najmä Petrovi Paušovi, nášmu supervisorovi, za výklad učiva a spoluprácu a pomoc pri pracovaní na miniprojekte.



[5]

Reference

- [1] Petr Pauš *Počítačové generování fraktálních množin*.
<https://geraldine.fjfi.cvut.cz/~pausp/tv2022/PDF/1-reserse.pdf> 2003/2004.
- [2] [online]. Dostupné z:
<http://www.fit.vutbr.cz/~tisnovpa/publikace/diplomka/doc/node39.html> (1999)
- [3] Shishikura, Mitsuhiro (1998). "The Hausdorff dimension of the boundary of the Mandelbrot set and Julia sets". *Annals of Mathematics. Second Series*. 147 (2): 225–267. arXiv:math.DS/9201282. doi:10.2307/121009. JSTOR 121009. MR 1626737. S2CID 14847943..
- [4] 3Blue1Brown *Fractals are typically not self-similar* (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=gB9n2gHsHN4>
- [5] Náš generátor Mandelbrotovy a Juliových množin
<https://geraldine.fjfi.cvut.cz/~pausp/tv2022/mandel-julia.html> (2022)

Jak poznat dávku z barvy gelu?

Michal Kosař; Gymnázium, Turnov; michalkosar2021@seznam.cz

Barbora Maloňová; SPŠ Třebíč; malonovab.05@spst.eu

Miriam Melišová; SG Dneperská; melisova.mirka@gymbosak.sk

Eliška Zimolová; SPŠ Třebíč; zimolovae.05@spst.eu

Abstrakt:

Cílem naší práce bylo vytvořit funkční Frickeho dozimetr s xylenolovou oranží (FeXO) a poté podle barvy vzorku stanovit dávku záření. Barvu gelu jsme získali díky oxidaci iontů železa při ozáření.

1 Úvod

Pomocí dozimetru měříme dávky ionizujícího záření. Měříme celkové množství energie, které látka pohltila. V našem případě byla látka speciální gel s obsahem železných kationtů. Zářením se kationty Fe^{2+} mění na kationty Fe^{3+} a díky tomuto jevu vidíme barvu, kterou následně můžeme změřit ve spektrofotometru. Pomocí výsledků z něj dokážeme zjistit dávku záření.

2 Popis experimentu

2.1. Recept na dozimetr

Ingredience na dozimetr		
množství	chemikálie	vzorec
0,1 mM	xylenolová oranž	$\text{C}_{31}\text{H}_{28}\text{N}_2\text{O}_{13}$
0,5 mM	Mohrova sůl	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
25 mM	kyselina sírová	H_2SO_4
5 %	želatina	$(\text{C}_{17}\text{H}_{32}\text{N}_5\text{O}_6)_x$
	destilovaná voda	H_2O

Připravili jsme 10% roztok želatiny. Jako první jsme navážili 2 g želatiny a odměřili 18 ml vody. Následně jsme želatinu po kouskách zamíchali do vody a poté dali v kádince rozpustit. Želatinu jsme dali rozpouštět na plotýnku. Za stálého míchání jsme ji rozežřáli na 55°C a počkali, než se želatina plně rozpustila.

Pak jsme odměřili celkový objem výsledného produktu. Potřebovali jsme gel na 8 kyvet. Do každé kyvety přišly cca 3 ml gelu. Proto jsme odměřili 25 ml.

Odměřili jsme 1 ml xylenolové oranže (z 2,5 mM zásobního roztoku) a přilili do něj 12,5 ml roztoku kyseliny sírové a Mohrovy soli (z 50 mM a 1mM zásobního roztoku).

Nalili jsme želatinu do roztoku, který jsme si připravili v předchozím kroku. Výsledný objem musí být 25 ml!

Roztok jsme rozdělili do 8 kyvet a dali na 15 minut ztuhnout do lednice.

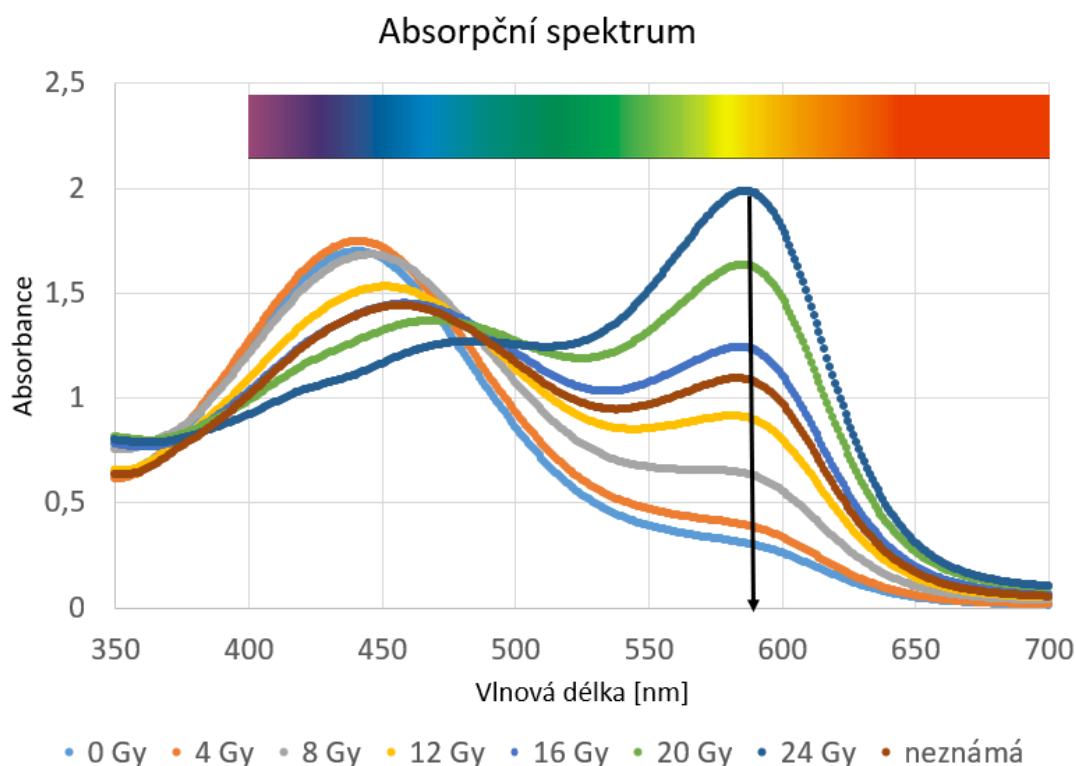
2.2. Ozařování v přístroji Gamacell

Vzorky jsme vložili do přístroje a přesně po 12 min a 46 s jsme vyňali jeden vzorek. Tento vzorek dostal dávku 4 Gy. Toto opakujeme v pravidelných intervalech, při čemž „neznámý vzorek“ měl nepravidelný čas vyjmutí.

2.3. Vyhodnocení na spektrofotometru

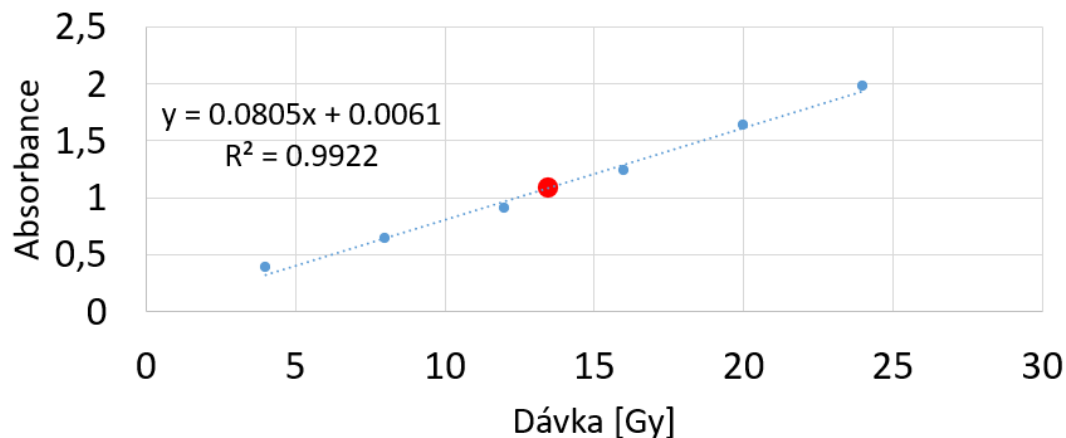
Změřili jsme spektrum v rozsahu 350-750 nm všech vzorků. Vybrali jsme vlnovou délku 586 nm pro konstrukci kalibrační křivky.

2.4. Výsledky experimentu



Graf 1: Závislost absorpance gelového dozimetru na vlnové délce

Kalibrační křivka



Graf 2: Závislost absorpance gelového dozimetru na dávce

Na základě rovnice z kalibrační křivky jsme určili neznámou dávku $13,5 \pm 0,8$ Gy.

3 Závěr

Dozimetr se nám velmi povedl a ukázkově fungoval. Odezva FeXO dozimetru velmi závisí na teplotě a rychle se mění s časem. Proto se tento dozimetr nepoužívá v praxi, ale jen pro výukové účely.

Poděkování

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

Reference

[1] Návod k úloze Jak poznat dávku z barvy gelu.

Jak horké je horké plazma?

K. Svačinová, Gymnázium Voděradská, Praha,
kacenska.svacinova@gmail.com

A. Šebek, SPŠ Chemická, Brno,
adamsebek.chem@gmail.com

J. Buben, Gymnázium Jana Nerudy, Praha,
jachym.buben@outlook.cz

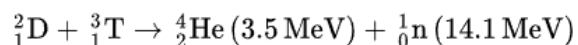
Abstrakt:

Cílem našeho miniprojektu je seznámit se s problematikou termojaderné fúze, jejího využití v tokamaku a s měřením teploty plazmatu pomocí Langmuirovy metody sondou. Nejdříve jsme si vysvětlili teoretické záležitosti měření velmi vysoké teploty a následně jsme analyzovali data ze simulací sond přes program, vytvořený v programovacím jazyce Python. Při analýze jsme použili čtyřparametrické fitování, a ukázali jsme jeho výhody oproti fitování bez lineárního členu.

1. Úvod

V moderní době, kdy pořád narůstá poptávka po elektřině, která se zároveň neustále zdražuje, je na místě začít hledat nějaký další zdroj elektrické energie. Tento nový zdroj by měl být hlavně efektivní, ale také šetrný k našemu životnímu prostředí. Jedním z takových řešení je právě tokamak. Slovo tokamak pochází z ruštiny a je to akronym pro toroidní komoru v magnetických cívkách. Jedná se o fúzní reaktor, který by měl být schopen vytvářet energii pomocí nukleární fúze.

Termonukleární fúze probíhající v plazmatu v budoucích fúzních elektrárnách bude představovat nejúčinnější, stabilní, bezpečný, téměř nevyčerpatelný a zároveň nízkemisní způsob výroby elektrické energie. Při termojaderné fúzi dochází k slučování atomových jader lehčích prvků v jádra prvků těžších a při tom se uvolňuje energie. Přesně takhle to funguje ve hvězdách, ale jak se zdá, není tak lehké si pořídit jednu takovou hvězdu k nám na Zemi. Uvnitř tokamaku dochází k sloučení deuteria a tritia a vzniká helium a neutron. Vzniklý neutron vyletí ven a předá energii chladicímu médiu (divertor). Ta odvede teplo a předá jej vodě, která v plynném skupenství pohání turbínu.



Plazma je čtvrté skupenství hmoty které známe a je nejrozšířenější ve vesmíru. Je to kvazineutrální plyn složený z nabitých a neutrálních částic, který vykazuje kolektivní chování [1]. Tento plyn má velkou teplotu a je elektricky vodivý z důvodu, že obsahuje volné nosiče náboje, které mohou elektrický proud vést. Plazma, které se uvnitř tokamaku nachází ve vakuové komoře tvaru prstence, potřebuje určité podmínky ke své existenci. Je zapotřebí velká

teplota, vysoký tlak a určitá doba udržení fúze, což je právě důvod, proč je to tak náročné. V přírodě stačí obrovský tlak v nitru hvězd, ale na Zemi musíme zvolit jinou taktiku a to zahřát plazma na vysokou teplotu. Tyto podmínky určuje tzv. Lawsonovo kritérium [2]. To nám vyjadřuje energetickou bilanci reakce jaderné fúze. Jde vlastně o to, aby tokamak vytvářel více energie než přijímá a také aby se plazma v něm dokázalo “zapálit” a běžel bez dalších impulzů.

2. Měření teploty plazmatu

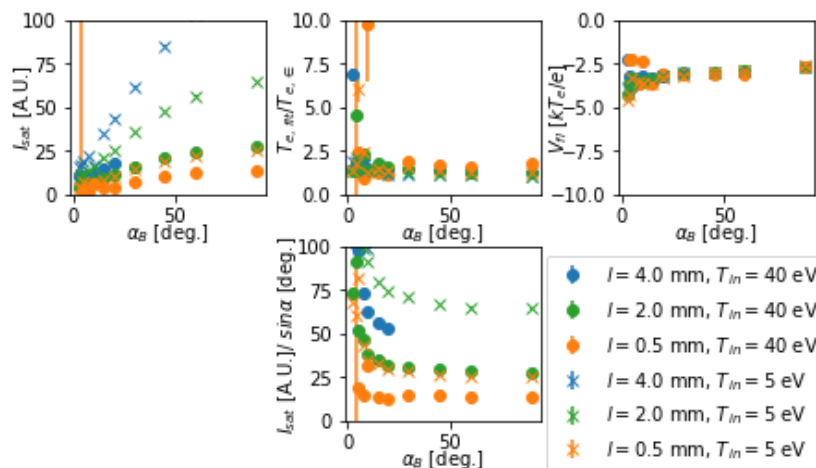
Teorie

V plynu v tepelné fázi se vyskytují částice všech rychlostí a pravděpodobnostní rozdělení těchto rychlostí je známo jako Maxwelllovo rozdělení. Šířku tohoto rozdělení můžeme charakterizovat konstantou T , kterou nazveme teplota. Po vyjádření z několika základních fyzikálních vztahů a integrálních rovnic získáváme převodní faktor: $1 \text{ eV} = 11\,600 \text{ K}$. [1] Jednotka elektronvolt usnadňuje práci vědcům zkoumajícím vlastnosti plazmatu, neboť se za ni mohou schovat vysoké hodnoty teplot v kelvinech. Teplotu plazmatu lze měřit několika způsoby: sondovým měřením (Langmuirova metoda) [3], optickými metodami [4,5], za pomoci hmotového spektrometru (korpuskulární diagnostika) [6]. Náš projekt se věnuje sondovému měření a zpracování dat vzniklých počítačovou simulací takového měření.

Sondové měření je nejstarší metoda pro zkoumání teploty a vlastnosti plazmatu, vyvinuta Langmuirem a Mott-Smittem. Spočívá v tom, že speciálně upravenou elektrodu, tzv. sondu, vložíme do plazmatu v elektrickém poli. [3] Měření probíhá na okraji plazmatu [4]. Jedná se o metodu aktivní, a proto jsou kladeny nároky na tvar, velikost a vlastnosti materiálu, z něhož je vyrobena, protože sonda interaguje přímo s plazmatem.

Zpracování dat

Jak již bylo výše zmíněno, naše data pochází z počítačové simulace provedené modelem sondy SPICE2 garantem našeho miniprojektu [8]. Z nich jsme získali data o normalizovaném potenciálu (napětí) na sondě a o celkovém proudu, který měří sonda. Na rozdíl od normálních měření na tokamaku, v simulaci získáváme i hodnotu proudu kladných iontů (tedy kladná hodnota) a elektronů (tedy záporná hodnota) (viz graf 2). Součtem těchto dvou veličin získáme celkovou hodnotu proudu (který měří sonda). Také si nasimulujeme délku sondy a teplotu plazmatu.



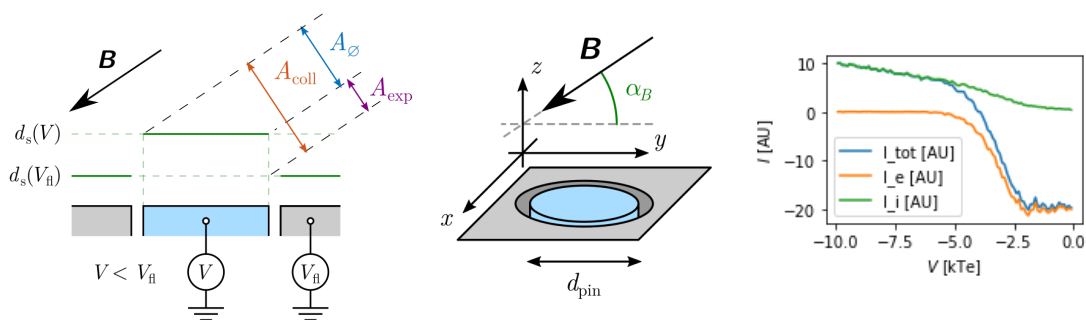
Graf 1 - Závislosti veličin na úhlu mag. pole při různých teplotách plazmatu a délkách sondy

Nyní použijeme tato data na voltampérovou charakteristiku a tím se získá specifický graf (graf 2). Z predikcí vyplývá vztah:

$$I(V) = I_{sat} \left[1 - \exp\left(-\frac{e(V - V_{fl})}{k_B T_e}\right) \right]$$

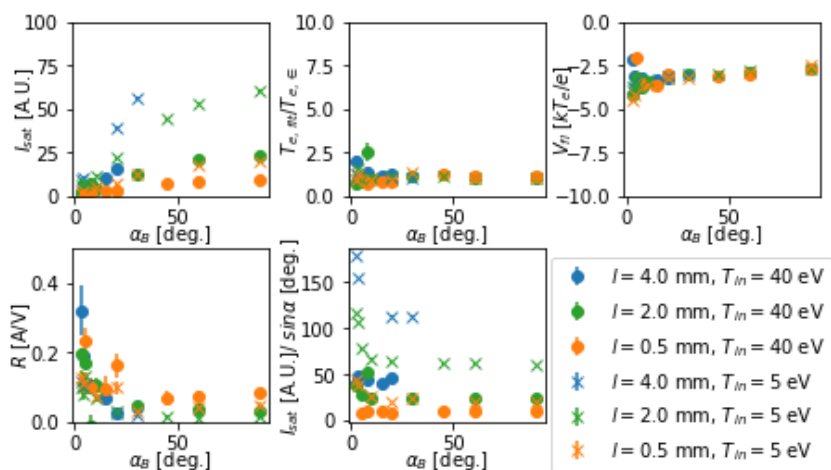
Kde I je měřený proud, I_{sat} je saturovaný proud iontů (na který se proud ustaluje při snižování napětí na sondě), e je elementární náboj, V_{fl} plovoucí potenciál, V je napětí na sondě, k_B je Boltzmannova konstanta a T_e je elektronová teplota.

Z výše zmíněných hodnot nás budou zajímat hlavně I_{sat} , T_e a V_{fl} . Jelikož máme funkční hodnoty a známe teoretický předpis, použijeme fitovací program (v Pythonu, v knihovně *scipy*), který nám vrátí hodnoty parametrů (tedy předpis funkce přibližně odpovídající funkčním hodnotám). Z nich získáme hodnotu saturovaného proudu iontů, elektronovou teplotu a hodnotu potenciálu, při kterém se vyrovná iontový a elektronový proud (plovoucí potenciál). Z těchto hodnot jsme schopni vypočítat modely vztahů jednotlivých veličin (viz graf 1).



Obr. 1 - Úhel magnetického pole, průřez a v prostoru, převzato z [8].

Graf 2 - voltampérová charakteristika sondy.



Graf 3 - Závislost veličin na úhlu mag. pole po použití čtyřparametrického fitování

Zde je dobré si všimnout prvního a čtvrtého grafu. Ve čtvrtém grafu vidíme, že u úhlů blízkých se nule jsou velké nepřesnosti ve velikosti saturovaného proudu (hodnoty stoupají). Čtvrtý graf používá stejné hodnoty jako první, ale dělí je sinem úhlu, pod kterým je mag. pole otočeno k sondě. Tím se odstraňuje efekt rozdílu ploch na které dopadá plazma (viz obr. 1),

který způsobuje nerovnost proudu na sondě (kontakt s více částicemi). Rozdíl ploch je způsoben rozdílem plovoucího napětí a napětí na sondě, který potom vytváří delší stěnovou vrstvu (výběžek vpřed)(ve které se urychlují ionty a odráží elektrony) v plazmě. Nerovnoměrné rozdělení zrychlení elektronů a iontů ale způsobuje, že při snižování potenciálu na sondě níže od plovoucího potenciálu se proud neustaluje na saturovaném proudu iontů, ale lineárně stoupá (viz. nízké hodnoty grafu 2). Proto jsme pokročili k dalšímu kroku, kdy měníme teoretický předpis na:

$$I(V) = I_{sat} \left[1 - \exp\left(\frac{e(V-V_{fl})}{k_b T_e}\right) \right] + R(V - V_{fl})$$

Tedy přičítáme lineární funkci, která nám lineární nárůst odstraní [9] (čtyřparametrické fitování). V grafu 3 je tato úprava zohledněna, rozdíl veličin bez úpravy je ukázán v grafu 1. Zde můžeme přidat i koeficient R (sklon lineární závislosti), která v grafu 2 nevystupuje.

3. Shrnutí

Z nasimulovaných dat jsme analýzou v programovacím jazyce Python spočítali hodnoty koeficientu R v různých podmínkách. Ukázali jsme, že použití čtyřparametrického fitování výrazně zpřesní hodnoty veličin měřených sondou a to zejména teploty a saturovaného proudu oproti použití bez koeficientu R .

Poděkování

Děkujeme FJFI za možnost se zúčastnit Týdne vědy, našemu vedoucímu projektu Aleši Podolníkovvi za seznámení s tématem, poskytnutí materiálů a pomoc s programováním a v neposlední řadě také panu Svobodovi za skvělou přednášku o prezentování a zpracovávání vědeckých článků.

Reference

- [1] F. F. Chen. *Úvod do fyziky plazmatu*. Academia, ČSR, 1977.
- [2] J. D. Lawson 1957 *Proc. Phys. Soc. B* **70**, 6–10
- [3] H. M. Mott-Smith, I. Langmuir 1926 *Phys. Rev.* **28** 727
- [4] R. J. Fonck et al. 1983 *Appl. Phys. Lett.* **42** 239
- [5] P. Bilkova et al. 2018 *JINST* **13** C01024
- [6] R. Ochoukov et al. 2020 *Rev. Sci. Inst.* **91** 063506
- [7] L. Schmiedt, M. Jílek: *Diagnostika plazmatu* [online]. In: *Úvod do fyziky plazmatu MFF UK*. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/s4r/plazma/>
- [8] A. Podolník. *Study of probe diagnostics of tokamak edge plasma via computer simulation*, disertační práce. Praha, MFF UK, 2019.
- [9] J. P. Gunn et al. 1995 *Rev. Sci. Inst.* **66** 154

INTERFERENCE A DIFRAKCE SVĚTLA

J. Kozma¹, A. Havlatová¹, M. Cajthaml², Daniel Cyrus³

¹Gymnázium, Ústí nad Labem, Jateční 22

²Gymnázium Václava Hraběte, Hořovice, Jiráskova 617

³Střední škola Teleinformatiky, Ostrava, Opavská 12

kozma.jiri@seznam.cz, annahavlatova@icloud.com,
martin.the.cajthaml@gmail.com, Gdanycz@seznam.cz

Abstrakt

Zaměřili jsme se na experimentální dokazování vlnové podstaty světla, a to především na jeho schopnost interference a difrakce. Pomocí navrhnuté optické soustavy a He-Ne laseru jsme zrealizovali řadu pokusů odkazujících se na Michelsonův interferometr, Keplerův dalekohled a v neposlední řadě na rozptyl světla na šterbině, respektive na optické mřížce. Hlavním cílem se stala analýza získaných dat společně se zamyslením nad aplikací výše uvedených experimentálních procedur v běžném životě.

1 Úvod

Jest znán konsenzus, že elektromagnetické vlnění, v našem případě viditelné světlo, má duální charakter – někdy se chová jako proud částic (fotonů) a jindy opět jako záření. Druhý zmíněný způsob nahlížení hraje pro naši práci ústřední roli. Díky principu superpozic (tj. konstrukčního a destruktivního skládání) jsme při sérii dále uvedených pokusů vytvořili na stínítku interferenční obrazce, ze kterých jsme sbírali (např. pomocí pásmového metru či mikrometrického šroubu) údaje k bližšímu zkoumání.

Použitý He-Ne laser generuje světlo o vlnové délce $\lambda = 633$ nm. V matematických formulacích se odkazujeme právě na tuto hodnotu jako vlnovou délku světla vyslaného ze zdroje Z . Další potřebné parametry (popřípadě schémata) experimentálního rozložení jsou uvedeny buď v infografice, nebo přímo v textu.

Interferenci rozlišujeme od difrakce tím, že se během ní skládají vlny vyslané z diskrétních (tj. rozlišitelných bodových) zdrojů. Zatímco u difrakce dochází k zesílení nebo zeslabení kvůli skládání vln ze spojitě rozložených zdrojů. Pro nás je však důležité, že se oba principy chovají podle Maxwellových rovnic pro elektromagnetické vlny.

2 Interference a difrakce světla

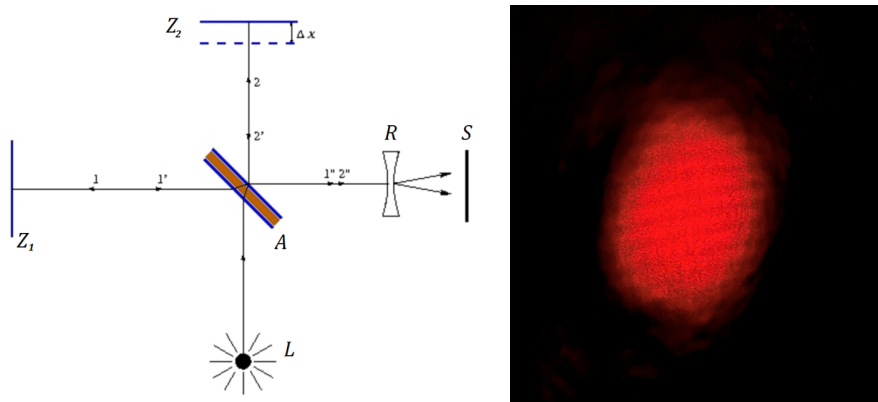
Interference a difrakce světla se dá využít u mnoha experimentálních metod např. v krytalografii (při pozorování proteinů) nebo v astrofyzice (u zaznamenávání gravitačních vln). My jsme pozorovali interferenční obrazce a na základě měření jsme změřili vlnovou délku světla, mřížkovou konstantu a rozměry malých objektů.

2.1 Michelsonův interferometr

Aparaturu Michelsonova interferometru (viz. Obrázek 2 vlevo) jsme zkompletovali především abychom vypočítali a též numericky ověřili korelaci mezi změnou polohy posuvného zrcadla Δx vzhledem k ostatním konstituentům aparatury a počtu tranzicí interferenčních maxim Δn . Takto naměřená závislost nám udává vlnovou délku

$$\lambda = \frac{2\Delta x}{\Delta n}.$$

Interferenční maxima a minima lze vidět na Obrázku 2 vpravo.



Obrázek 1: Michelsonův interferometr (levo) a interferenční obrazec na stínítku (pravo).

Číslo pokusu	Δx [nm]	Δn	λ [nm]
1	2000	5	800
2	3000	10	600
3	4000	14	571
4	6000	30	400
5	6200	31	400

Tabulka 1: Výsledky naměřeného posunu zrcadla Δx a počtu tranzicí interferenčních maxim Δn a k nim odpovídající vypočítaná vlnová délka laseru λ .

Pomocí měření na Michelsonově interferometru jsme naměřili, že vlnová délka He-Ne laseru je $\lambda = (550 \pm 70)$ nm. Výchozí naměřená data jsou uvedena v Tabulce 1.

Na stejném principu Michelsonova interferometru fungují přístroje na detekci gravitačních vln (viz program LIGO a VIRGO), které pozorují srážky černých děr a neutronových vězd.

2.2 Difrakce na optické mřížce

V následujícím experimentu jsme věnovali pozornost difrakci světla ($\lambda = 633 \text{ nm}$) na optické mřížce obsahující $600 \text{ vrypů} \cdot \text{mm}^{-1}$. Paprsky vyslaného elektromagnetického záření prochází mřížkou tak, že některé projdou přímo, ale jistá část z nich se na vrypu ohýbá a dává tak možnost světlu interferovat. Vztah mezi úhlem jednotlivých maxim je dán

$$\sin \vartheta_{\max} = \frac{m\lambda}{d},$$

kde m je řád maxima ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \lfloor \frac{d}{\lambda} \rfloor$) a d je vzdálenost mezi jednotlivými vrypy.

Řád maxima	h [cm]	l [cm]	$\sin \theta$	d [mm]
1. řád	32	78,5	0,377	596
2. řád	98	78,5	0,780	616

Tabulka 2: Vzdálenosti prvního a druhého řádu maxima od nultého maxima h , vzdálenost mřížky od stínítka l a knim vypočítaná hodnota mřížkové konstanty.

Mřížkovou konstantu jsme určili jako $d = (610 \pm 10) \text{ mm}^{-1}$. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2.2.

2.3 Difrakce na štěrbině a na kruhovém otvoru

V těchto dvou pokusech se jedná o stejný princip difrakce světla. Paprsek laseru narazí na překážku (v našem případě na štěrbinu či na kruhový otvor), začne se z každého bodu šířit v elementárních vlnoplochách, tj. všemi směry. Vznik interferenčních maxim a minim záleží na interferenci světla. Jediným rozdílem je tedy geometrický obraz, jež vznikne na stínítku.

Pro difrakci na štěrbině máme vztah pro sinus úhlu m -tého minima od nultého maxima

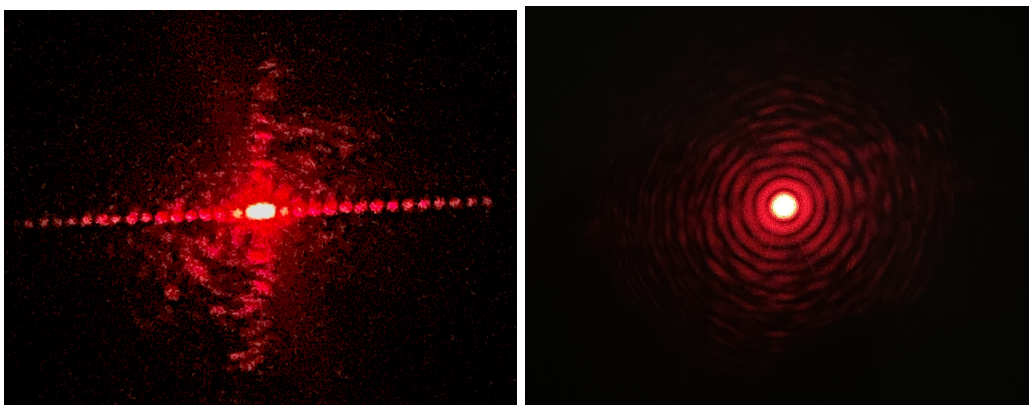
$$\sin \vartheta_{\min} = \frac{m\lambda}{D},$$

kde $m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \lfloor \frac{D}{\lambda} \rfloor$ a D je šířka štěrbiny.

Pro difrakci na kruhovém otvoru lze odvodit vztah pro první třiminima

$$\sin \vartheta_1 = 1,219 \frac{\lambda}{R}, \quad \sin \vartheta_2 = 2,233 \frac{\lambda}{R}, \quad \sin \vartheta_3 = 3,238 \frac{\lambda}{R},$$

kde R je průměr kruhového otvoru.



Obrázek 2: Difrakční obrazec štěrbině (levo) a kruhového otvoru (pravo).

Cílem našich pokusů bylo vypočítat šířku překážky světla. V případě difrakce na štěrbině nám vyšlo $R = (0,62 \pm 0,01)$ mm. V případě kruhového otvoru jsme došli k $D = (1,06 \pm 0,07)$ mm. Toto měření můžeme porovnat s měřením na milimetrovém šroubu $R = (0,620 \pm 0,005)$ mm a mikroskopu $D = (1,0525 \pm 0.0025)$ mm.

Poznatky z tohoto typu difrakce jsou velmi důležité hlavně v pokusech na dvojtštěrbině, které byly v historii významné hlavně při studiu superpozice v kvantové mechanice.

3 Shrnutí

V prvním experimentu jsme naměřili vlnovou délku laseru $\lambda = (550 \pm 70)$ nm. Přičemž skutečná hodnota vlnové délky vyslaného světla je $\lambda = 633$ nm.

Pokus s difrakcí světla na optické mřížce nám přinesl odečtenou hodnotu mřížkové konstanty a to $d = (610 \pm 10)$ mm⁻¹, kde hodnota uvedená výrobcem je $d = 600$ mm⁻¹.

Třetím pokusem jsme stanovili průměr kruhové štěrbině $D = (1,06 \pm 0,07)$ mm. Pod mikroskopem jsme změřili poloměr otvoru $D = (1,0525 \pm 0.0025)$ mm.

Během čtvrtého experimentu jsme získali velikost poloměru $R = (0,62 \pm 0,01)$ mm, kde hodnota odečtená z mikrometrického šroubu je $R = (0,620 \pm 0,005)$ mm.

Poděkování

Velký dík bychom chtěli vzdát všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce za nejen velice pestrý program přednášek, ale též i za inspiraci k napsání této práce. Především děkujeme supervizorovi našeho projektu, Josefu Bobkovi, který garantoval naše snažení.

Reference

- [1] Kolektiv KF. *Návod: Úloha 10 - Inteference a difrakce světla*. [Online, cit. 21. června 2022] <https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/fyztyd/2022/mp-soubory/10-Interference-a-ohyb-sv%C4%9Btla-220412.pdf>. 2010.

Nanostukturovaný katalyzátor pro elektrolýzu vody

J. Hanáček*; J. Vít**; K. Horáčková***

Gymnázium Praha 9, Českolipská 373*; Gymnázium Děčín,
Komenského náměstí 4**; Gymnázium Ústavní, Ústavní 400***
hanacekjaja@gmail.com

Abstrakt:

Práce představuje metody možného budoucího rozšíření vodíkového hospodářství, jakožto cesty k řešení nestability výkonu solárních a větrných elektráren. Zabývá se snižováním nákladů na výrobu PEM-WE elektrolýzérů metodou magnetronového naprašování. Díky této metodě se množství využitého iridia dá 30-ti násobně snížit.

1 Úvod

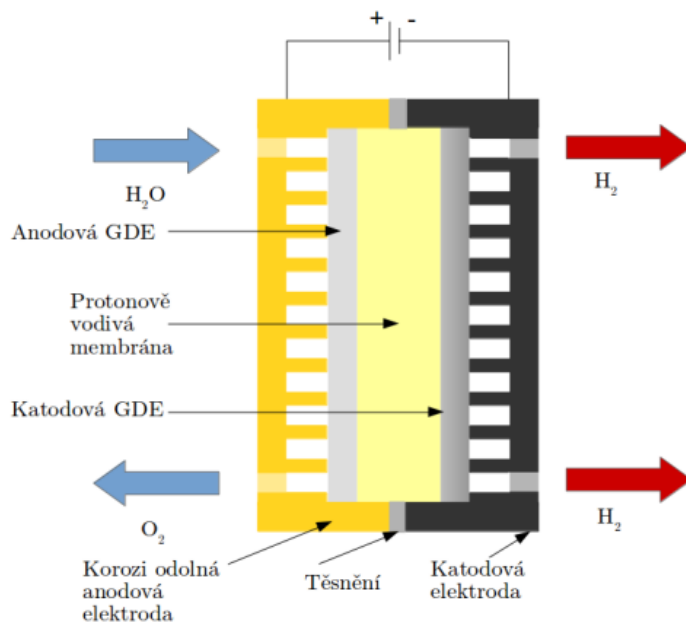
Energetika je zcela klíčovým komponentem pro fungování a rozvoj společnosti. V současné době jsou masově nejužívanějším energetickým zdrojem fosilní paliva. Ta ovšem nejsou vhodným zdrojem, neboť jich je na Zemi omezené množství, a nelze tedy zajistit dlouhodobě udržitelné pokrytí rostoucích potřeb energie. Další nevýhodou je výrazná produkce skleníkových plynů, spojená s jejich využíváním. Vzhledem k současné snaze o redukci emisí zplodin do ovzduší je užívání fosilních paliv neperspektivní i z politického a sociálního hlediska [1].

V posledních letech se klade velký důraz na energii z obnovitelných zdrojů, především z větrných a solárních elektráren. Tyto zdroje mají však podstatný nedostatek – kolísavost výkonu, způsobeného změnami slunečního svitu a větru. Slibným řešením do budoucna se jeví koncept využití vodíku jako energetického vektoru. V čase přebytku výkonu v síti se bude pomocí elektrolýzy z vody vyrábět vodík. Takto vyrobený vodík lze využít jako energetickou surovinu pro opětovné dodání výkonu zpět do sítě v časech nedostatku výkonu v síti. Souhrnně se tento proces nazývá vodíkové hospodářství.

Existuje řada různých typů elektrolýzérů, jako vhodný se jeví elektrolýzér s protonově vodivou membránou (PEM-WE — proton exchange membrane water electrolyzer), a to především díky schopnosti pracovat s velkými hustotami proudu, nízké provozní teplotě a vysoké čistotě vznikajících plynů. Za účelem dosažení maximální účinnosti se pro elektrolýzér s PEM užívají katalyzátory obsahující vzácné kovy, především platinu a iridium [2]. Jelikož se tyto ušlechtilé kovy vyskytují na zemi jen vzácně, je jejich cena velmi vysoká. Proto je žádoucí minimalizovat množství takto použitého materiálu. Jako jedna z vhodných metod se jeví magnetronové naprašování, které umožňuje připravovat definované, velmi tenké vrstvy a dosáhnout tak výrazně menšího obsahu vzácných kovů ve srovnání s chemickými metodami [2].

2 Elektrolyzátor vody s protonově vodivou membránou

Elektrolyzátor s PEM membránou (viz Obrázek 1) se skládá z elektrod, protonově vodivé membrány a z příslušných katalytických vrstev. Voda vstupuje do elektrolyzátoru na straně anody, kde se rozkládá na kyslík a vodík. Kyslík odchází v podobě molekul O_2 z reakce. Vodík zbavený elektronu, tedy proton, poté prochází skrze protonově vodivou membránu na katodu, kde probíhá reakce HER (Hydrogen evolution reaction) a vzniká molekulární vodík [1].



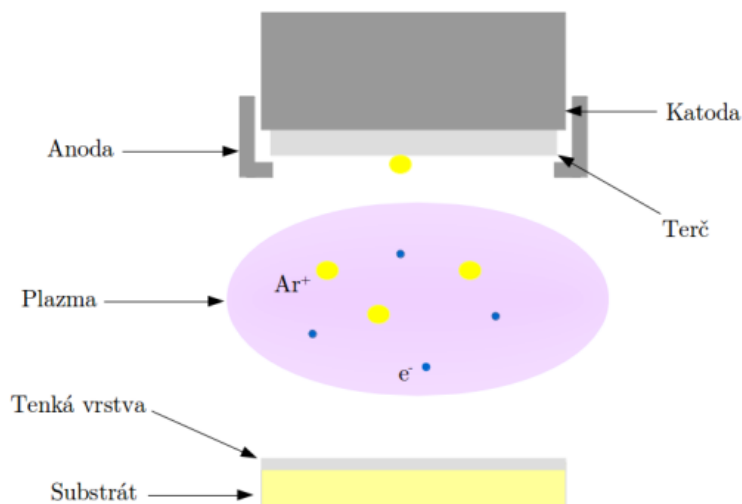
Obrázek 1- Schéma PEM-WE

3 Magnetronové naprašování

Standartní PEM membrány mají hladký povrch a katalyzátory jsou na ně nanášeny neefektivním způsobem, čímž dochází k vytvoření tlustší vrstvy, než je potřeba. Rychlost chemické reakce se odvíjí od povrchu, na kterém reakce probíhá. Řešení problému nabízí metoda magnetronového naprašování, která umožňuje zvětšení povrchu membrány leptáním za pomoci CeO_2 a snížením množství použitého katalyzátoru pomocí fyzikální depozice z plynné fáze.

Existuje řada typů magnetronového naprašování, fyzikální princip ovšem zůstává stejný. Uvažme tedy nejjednodušší případ nereaktivního stejnosměrného (DC — Direct current) naprašování v argonu (viz Obrázek 2). Při magnetronovém naprašování je na katodu přivedeno záporné napětí, anoda je uzemněna. Plyn je standardně alespoň částečně ionizován, obsahuje volné elektrony a ionty. Ty jsou následně urychlovány elektrickým polem a směřují ke katodě (ionty) a k anodě (elektrony). S rostoucím napětím se jsou urychlovány více. Při dosažení určité mezní hodnoty mají tolik energie, že jsou schopny ionizovat další atomy, nastává sekundární ionizace [3]. Ionty argonu jsou v elektrickém poli urychlovány ke katodě, kde po dopadu vyrazejí shluky atomů terče. Tyto shluky následně dopadají na substrát, vzniká tenká vrstva. V magnetronu jsou dále přítomny silné permanentní magnety, které zakřivují, a tedy i výrazně

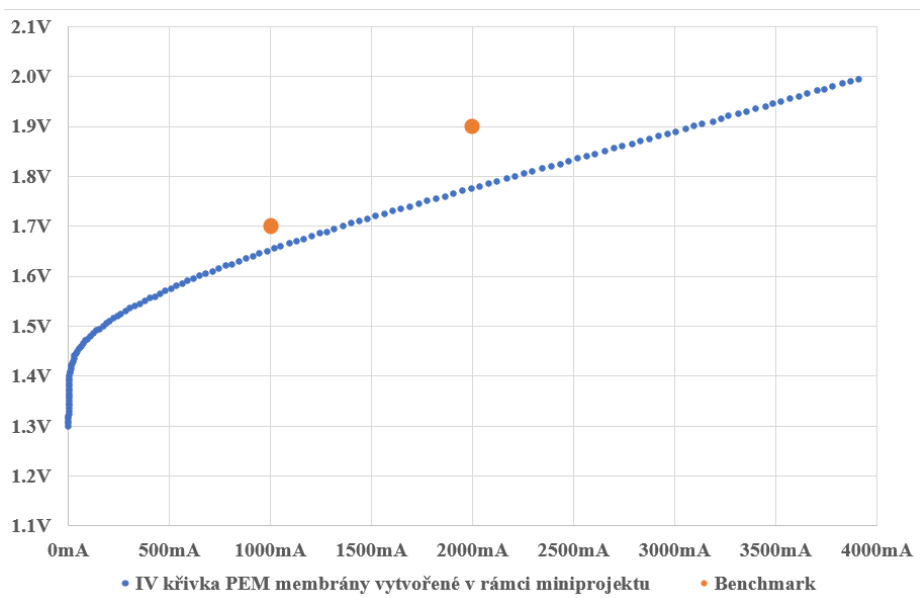
prodlužují dráhy elektronů směřujících k anodě. Elektron letící po delší dráze následně ionizuje větší počet atomů, více iontů bombarduje povrch terče a depozice je rychlejší [4].



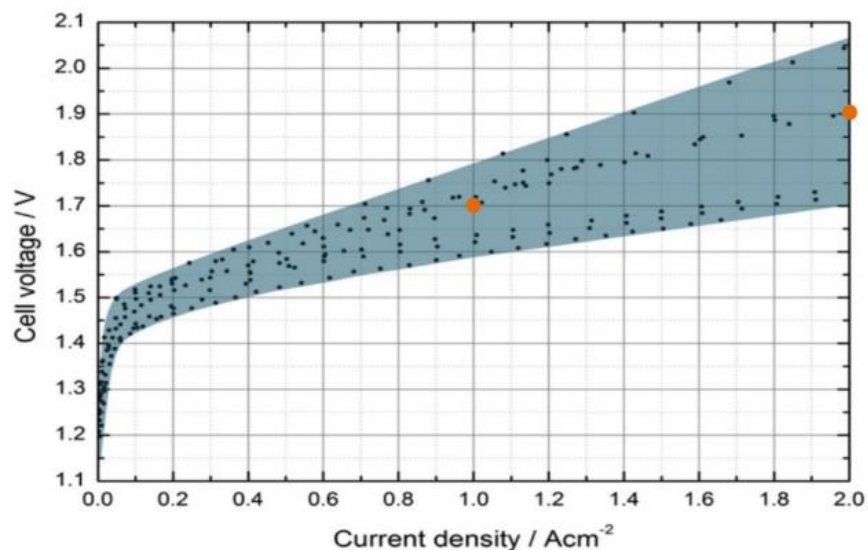
Obrázek 2 - Znárodnění procesu magnetronového naprašování

4 Výsledky a Diskuze

Množství vyrobeného vodíku je přímo úměrné velikosti proudu. Snahou je tedy docílit největšího proudu za co nejmenšího napětí. To zvyšuje účinnost, jelikož platí vztah $P=U \cdot I$. Účinnější membrány proto nebudou mít tak strmou křivku. Na grafu (viz Obrázek 3) je znázorněná IV křivka PEM membrány na jejíž výrobě jsme se v rámci miniprojektu podíleli. Velké body znázorňují průměrné hodnoty pro PEM-WE elektrolyzéry (viz obrázek 4). V porovnání s průměrnými hodnotami je tato membrána efektivnější. Zároveň bylo na výrobu použito 30x méně iridia.



Obrázek 3 - IV křivka membrány na jejíž výrobě jsme se podíleli



Obrázek 4 - Porovnání výkonu několika nedávno zveřejněných IV křivek

5 Shrnutí

Ověřili jsme, že za pomoci magnetronového naprašování a leptání je možné vytvořit minimálně stejně efektivní PEM membrána jako za použití standartních metod. Největším úspěchem je snížení množství iridia potřebného k výrobě. Tento výrobní postup je na dobré cestě k velkému rozšíření vodíkového hospodářství.

Poděkování

Děkuji jménem všech účastníků Peteru Kúšovi a Tomáši Hrbkovi, kteří nás s tímto tématem skutečně do hloubky seznámili. Velmi si vážíme toho, že jsme se mohli částečně podílet na experimentu a vyzkoušet si práci v laboratoři. Dále děkujeme organizátorům Týdne vědy, za umožnění tohoto zážitku.

Reference

- [1] Carol Olson and Frank Lenzmann. The social and economic consequences of the fossil fuel supply chain. *MRS Energy & Sustainability*, 3:E6, 2016.
- [2] Marcelo Carmo, David L. Fritz, Jürgen Mergel, and Detlef Stolten. A comprehensive review on PEM water electrolysis, 2013
- [3] T. Hrbek, Studium vlivu morfologie tenkovrstvého katalyzátoru na účinnost elektrolyzéry vody s protonově vodivou membránou, 2019
- [4] G. Bräuer. Magnetron Sputtering. *Comprehensive Materials Processing*, 4:57–73, 2014.
- [Obrázek 1] T. Hrbek, Studium vlivu morfologie tenkovrstvého katalyzátoru na účinnost elektrolyzéry vody s protonově vodivou membránou, 2019
- [Obrázek 2] Tamtéž
- [Obrázek 4] P. Kúš, Thin-film catalysts for proton exchange membrane water electrolyzers and unitized regenerative fuel cells, 2018

Kvantově chemické výpočty molekul

Tomáš Urban, Jan Matěj Višňák, Jan Zrůst

Střední průmyslová škola chemická, Brno, Vranovská 65

ttomas.urban@gmail.com

Gymnázium Mimoň, Mimoň, Letná 263

visnamat@gymi.cz

Gymnázium Botičská, Praha, Botičská 424

jan.zrust@gybot.cz

21. června 2022

Abstrakt

Naším cílem bylo pochopit a přinaučit se kvantové chemii a mechanice. Zjistit jak kvantová fyzika funguje a jak se s ní dá pracovat. Napočítali jsme různorodé příklady a vytvořili modely různých molekul, my se podělíme o pár z nich.

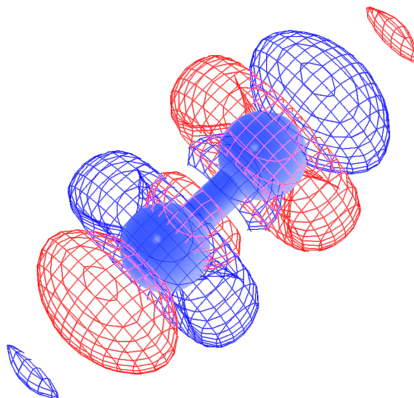
1 Úvod

V posledních letech se kvantová chemie a fyzika stala nepostradatelnou součástí našich vědomostí. S pomocí znalostí kvantové fyziky a výpočetních technologií dokážeme teoreticky zpracovat podobu atomů a molekul, společně i s jejich elektronovými orbitaly. Základní teorií je Schrödingerova rovnice, která vyjadřuje jak prostorový, tak časový vývoj vlnové funkce molekuly ψ v poli. Rovnici můžeme zapsat jako:

$$H|\psi\rangle = E|\psi\rangle$$

Jelikož je složité jen s kusem papíru a tužky vytvořit model molekul, natož orbitalů, používáme specifické počítačové programy. Pro vypočítávání mají počítače metod spoustu, ale tu základní, kterou jsme my používali, se nazývá HF (Hartree-Fock). Ovšem tato metoda není úplně přesná, ale i když se dokážeme dostat k nějakým solidním výsledkům, pořád dochází k aproximaci. Jedna z aproximací jest například to, že metoda HF řeší pohyb každého elektronu zvlášť v průměrném poli ostatních elektronů, než aby zobrazovala kružnici okolo molekuly či atomu. Zároveň nezahrnuje koordinaci pohybů elektronů. Ale proč to vlastně dělá? Teorie HF není výpočetně náročná - proto je také základní metodou, ne-li nejjzákladnější. Můžeme si to představit jednoduše - pokud momentálně potřebujeme na metro (řekněme že jsme v centru Prahy), prochází okolo nás spousta lidí. Nám je jedno přesně kudy jdou a moc nám nezáleží na jednotlivcích, soustředíme se jen na tu samotnou hromadu lidí, abychom se mohli skrz ten dav protlačit. A to samé dělá každý jiný člověk z toho davu. Abychom se přesunuli zpátky k procesu vytvoření modelu: po nám vytvořeném trojprostorovém modelu molekuly ve specializovaném programu dáme

polohy molekul a atomů do aplikace, která nám to všechno zpracuje a vyhodí celkovou energii i vlnovou funkci ψ ve formě orbitalů.



Obrázek 1: Molekulový orbital N_2

2 Praktické výpočty

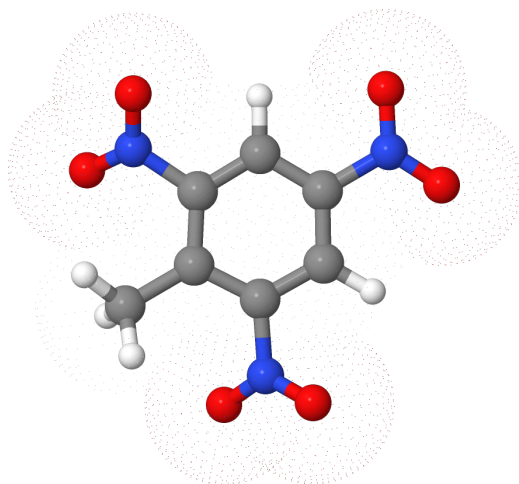
2.1 Reakce TNT

Pracovali jsme s už dříve zmíněnou metodou Hartree-Fock. K tomu jsme k vytváření 3D modelů používali Avogadro a Avogadro 2. Bez omezení jsme mohli postavit model jakékoli molekule. Pochopitelně se ale dostáváme do větších potíží pokud je molekula komplikovanější. Po tom co jsme si vytvořili model, jsme si našli souřadnice molekul a nechali ty data zpracovat aplikací Psi4. Sice by se dali informace zase otevřít Avogadrem, ale shledali jsme Jmol lepším programem. Jedna z prvních molekul, kterou jsme vytvořila je molekula dusíku na Obrázku 1. Přišli jsme ale také k složitějším příkladům, jako je například výbuch trinitrotoluenu neboli TNT. Vytvořili jsme si model TNT a zapřemýšleli, pokud bychom mohli vypočítat vytvořenou energii při reakci. Reakce vypadá asi takto:



látka	Energie [Ha]	mol	celkový součin molů s energií [Ha]	Rozdíl součinů [Ha]
tnt	-884,3760311	4	-3537,504124	-5,577367195
n2	-109,4369616	6		
h2o	-76,35738386	10		
co2	-188,4400068	7		
c	-37,74529054	21	-3531,926757	
kkca/mol	-874,9494787			
kJ/mol	-3660,844393			

Tabulka 1: Vypočítání energie

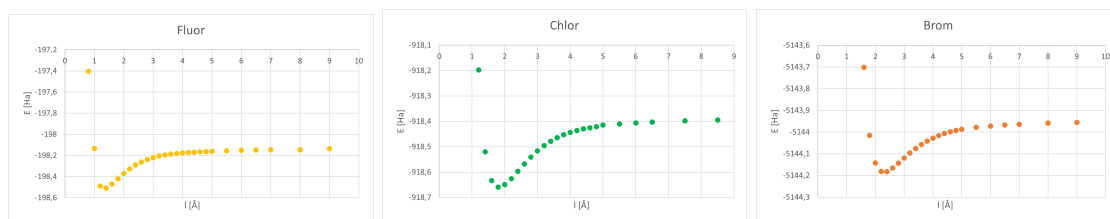


Obrázek 2: TNT

Po delší práci a podpoře našeho vedoucího práce jsme vypočítali kolik energie po reakci přebyde (Tabulka 1).

2.2 Disociační křivky

Po našem skoku z tématu formování molekul na reakce TNT jsme ihned skákali do dalšího tématu, a to byly disociační křivky. Na grafech [Obrázek 3] na ose y můžeme vidět potenciální energii atomů v jednotkách [Ha] a na ose x vzdálenost jader v jednotkách [Å].



Obrázek 3: Grafy disociačních křivek halogenů

3 Shrnutí

Naučili jsme se pracovat s programem psí čtyřka, jež nám pomohl zjišťování všelijakých informací o molekulách (energie molekuly, dipólový moment a celkové rozložení jader a elektronů v prostoru). Pomocí výpočtu jsem zjistili energetický výtěžek rozkladu molekuly TNT. Dále jsme propočítali disociační křivky prvních tří halogenů (F, Cl, Br), a hlavně tvary možných i nemožných molekul.

Poděkování

Děkujeme našemu vedoucímu projektu Mgr. Mikuláši Matouškovi za odbornou pomoc a podporu, fakultě FJFI i ČVUT za vůbec uskutečnění projektu a organizaci Týdne vědy. Také děkujeme ÚFCH-JH za poskytnutí prostoru a restauraci Slovanka za skvělou stravu.

Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to \LaTeX* . <https://mirrors.nic.cz/tex-archive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.
- [2] Avogadro: <https://avogadro.cc/>
- [3] Psi4: <https://psicode.org/>
- [4] Jmol: <http://jmol.sourceforge.net/>
- [5] NIST: <https://www.nist.gov/>

Budoucnost magnetogenetiky

Sofia Zamanová

Gymnázium Jana Nerudy, Praha

zamsophia5@gmail.com

Abstrakt:

Těžiště tohoto miniprojektu spočívalo v popularizaci magnetogenetiky, která je stále relativně neprozkoumaným oborem vědy. Předmět studie je zaměřen na chování buněk za přítomnosti vysoce gradientního magnetického pole, a jak toto pole je schopno ovlivnit diferenciaci kmenových buněk.

1 Úvod

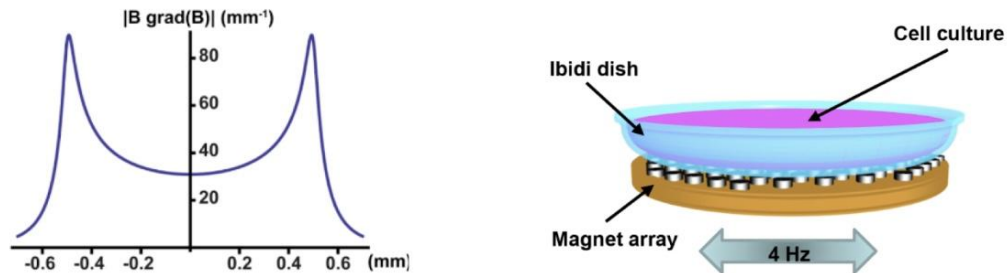
Magnetogenetika jako taková je metoda buněčné modulace, která využívá kombinaci technik magnetismu a genetiky k řízení aktivit jednotlivých buněk v živé tkáni - dokonce i v rámci volně se pohybujících živočichů. Tato technika je srovnatelná s optogenetikou, což je manipulace s chováním buněk pomocí světla. V magnetogenetice se místo světla používá magnetická stimulace, což je vlastnost, která umožňuje méně invazivní, méně toxickou a bezdrátovou modulaci buněčné aktivity.

Biologické efekty vysoce gradientních magnetických polí se dobře projevují na kmenových buňkách, které jsou mechanicky nejměkčími buňkami [2]. Jedná se o nezralé buňky, jež jsou schopné se transformovat na buňky jiných typů, a díky kterým může existovat obnova a rekonstrukce poškozených tkání a orgánů. Při diferenciaci kmenových buněk probíhá přechod z jednoho stavu do druhého velmi pozvolně bez výrazných změn mechanických vlastností. Proto mohou malé vnější mechanické síly ovlivňovat diferenciaci buněk, které se ještě nacházejí v mechanicky měkkém stavu, během jejich přechodu mezi dvěma stavy. Tento proces trvá obvykle několik dnů. V té době buňky využívají mechanické stimuly pro regulaci diferenciaci kmenových buněk a exprese genů.

2 Metodika

V této studii vycházíme z dat, získaných při experimentu z roku 2014 [1]. Ke zkoumání v původním experimentu byly použity mezenchymální kmenové buňky myši, které se při určitých podmínkách mohou diferencovat na buňky jak tukové - adipocyty, tak i kostní tkáň - osteoblasty. Pro studium efektů magnetických a mechanických vibrací, buňky byly rozděleny na tři vzorky, které se následně umístily do Petriho misek. První - kontrolní skupina se nepodrobila žádnému působení. Druhá skupina byla vystavena jednoduchým

mechanickým kmitům s frekvencí 4 Hz. A třetí skupina buněk se nalézala pod vlivem magnetických vibrací stejné frekvence (obr. 1). Oscilující magnetická pole generovala magnetické gradientní síly působící na jednu kmenovou buňku o velikosti zhruba 0,6 pN, zatímco v průběhu mechanické vibrace byla setrvačná síla působící na buňku přibližně rovna 0,2 pN. Vzorky byly zkoumány po dobu 7 dní.



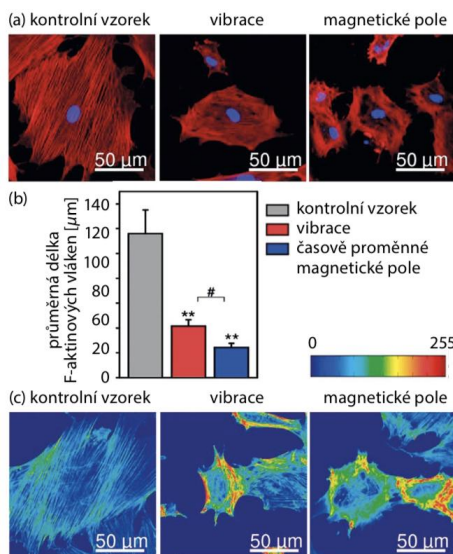
Frekvence magnetické oscilace 4 Hz

[1] Obr. 1

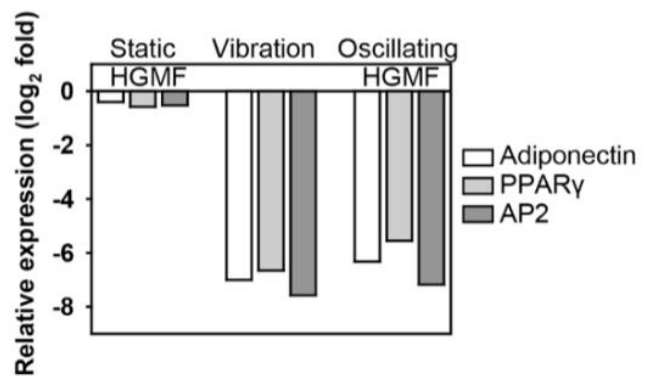
3 Výsledky

Přestože magnetické a setrvačné síly byly zanedbatelné, jejich dlouhodobé působení způsobilo významnou reorganizaci cytoskeletu, doprovázenou zmenšením velikosti buněk (obr. 2). Je zajímavé, že zmenšení rozměrů buněk způsobené oscilujícím magnetickým polem bylo větší než zmenšení způsobené čistě mechanickými vibracemi.

Další zajímavostí je, že dlouhodobé vystavení mechanickému a magnetickému působení zapříčinilo značné snížení exprese adipogenních genů: adiponectinu, PPAR γ a AP2 (obr. 3). Právě tyto geny kontrolují směřování diferenciacce mezenchymálních kmenových buněk na adipocyty.



[1] Obr. 2



[1]Obr. 3

4 Závěr

V rámci miniprojektu jsem zjistila jaké vlivy má tzv. magnetická masáž na uvedené kmenové buňky. Z důvodu potlačení adipogenních genů mechanickou vibrací a magnetickou oscilací na mezenchymální kmenové buňky, je možné tvrdit, že prakticky docházelo z blokády diferenciace buněk na tukovou tkáň. Ve výsledku buňky upřednostňovaly diferenciaci na osteoblasty [3]. Dalo by se tedy říci, že se jedná o prostředek pro redukci tuku.

Poděkování

Chtěla bych vyjádřit vřelé poděkování vedoucímu tohoto miniprojektu, jímž je Vitalii Zabrodskií, za seznámení s tématem a vedení práce, následně Tatyane Polyakově za odbornou konzultaci a týmu TV@J za organizaci akce.

Reference

- [1] V. Zablotskii, O. Lunov, B. Novotna et al. *Down-regulation of adipogenesis of mesenchymal stem cells by oscillating high- gradient magnetic fields and mechanical vibration. Appl. Phys. Lett.* 105, 103702 (2014)
<https://doi.org/10.1063/1.4895459>
- [2] J. J. Minguell, A. Erices, P. Conget. *Mesenchymal stem cells. Experimental biology and medicine* 226 (6), 507-520 (2001)
<https://doi.org/10.1177%2F153537020122600603>
- [3] V. Zablotskii, O. Lunov, T. Polyakova, A. Dejneka. *Biologie a magnetismus: vzájemná přitažlivost. FZÚ AV ČR. ISBN 978-80-905962-6-9 (2017)*

STANOVENÍ VYBRANÝCH PRVKŮ V METEORETICKÉM MATERIÁLU METODOU AAS (ATOMOVÁ ABSORPČNÍ SPEKTROCHEMIE)

Daniel Flaig*, Ágnes Bednaříková**, Linda Foučková***

*Gymn. Thomase Manna, **GOA Bučovice, ***Gymn. Jirího
z Poděbrad

*danielif11186@gmail.com, **agnesina@email.cz,

***linda.fouckova@email.cz

Abstrakt:

Cílem naší práce bylo vyzkoušet si, jak pomocí atomové absorpční spektrometrie zjistit přítomnost vybraných kovových prvků v meteoritu, konkrétně chondritu, nalezeného na území Slovenské republiky (Košice). Námi vybranými prvky se stal chrom a nikl, které jsou spolu s železem důležité k určení třídy meteoritu.

1 Úvod

Principem AAS metody je využití absorpce záření dané existencí volných atomů v prvku (v plynném stavu). Jedná se o kvantitativní analytickou metodu, což je velmi přesná analýza látky (běžně setiny až stovky ppm). Díky tomuto procesu se dá zjistit hodnota koncentrace látky, které odpovídá zeslabení záření po průchodu plamenem (Lambert-Beerův zákon). V procesu se kapalina transformuje na aerosol. To, co nechceme je, aby se plyn stal ionizovaným z důvodu malého množství volných atomů, které poté pohlcují záření pro ně charakteristické. Zdrojem záření je v tomto případě tzv. výbojka s dutou katodou.

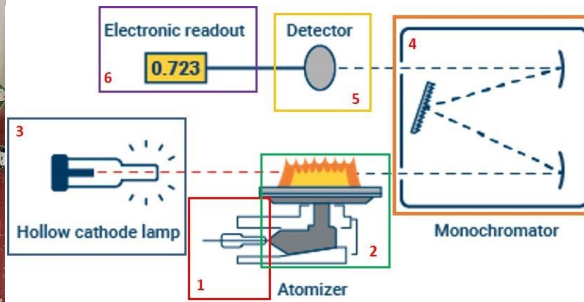
2 Vlastní experimentální část

Metody a měření

Z meteoritu v pevném stavu se musí získat jeho roztok roztčením kladivem a dále nadrcením v achátové misce. Bylo odebráno 100 mg, ty byly mikrovlnným rozkladem (Ertec Magnum II) rozpouštěny v HNO₃ a HF v poměru 1:1. Roztok byl následně několikrát zahříván za průběžného odkuřování na platinové misce a přilívání HNO₃. (K tomuto kroku muselo dojít, abychom snížili obsah HF v roztoku kvůli riziku poleptání zejména skleněných součástí stroje Varian AA240FS).



Obr.č.1

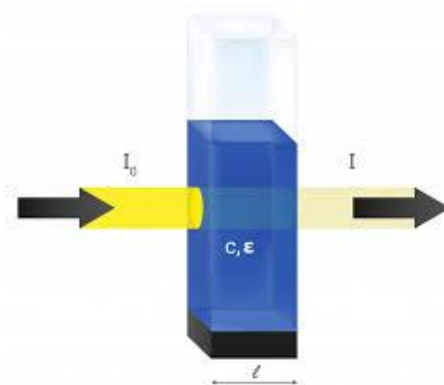


Obr.č.2 [1]

V AAS se roztok transformuje na aerosol. Plamenem prochází záření z výbojky s dutou katodou, speciální pro každý prvek, která vyzařuje právě záření charakteristické pro daný prvek. Zároveň i rozdíly energií mezi elektronovými stavy atomu jsou pro každý prvek individuální. Atomy absorbují část záření dodaného do plamene v závislosti na jejich koncentraci a dochází tedy k úbytku intenzity procházejícího záření. V plamenu dochází k atomizaci a atomy jsou zde v plynném stavu. Je třeba, aby co nejvíce atomů zůstalo v neutrálním stavu a nedocházelo tedy k ionizaci, která brání pohlcování záření pro ně charakteristického. Úbytek záření vyjadřuje Lambert-Beerův zákon ve tvaru:

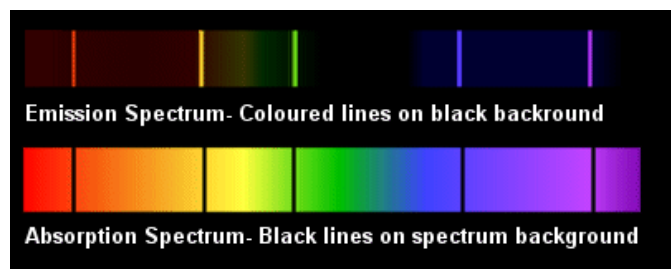
$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon cl$$

kde A je absorbance, I_0 je vstupní Intenzita, I výstupní Intenzita, c je koncentrace, ϵ je molární absorpční koeficient, l je délka skrz kterou proniká záření. (viz obr. č. 3)



Obr. č. 3 [2]

Při absorpci fotonu přejde atom do excitovaného stavu. Atomy jsou schopné absorbovat pouze světlo takových vlnových délek, které sami dokážou emitovat. U absorpčního i emisního spektra mluvíme o čárovém charakteru. (viz obrázek č.4)



Obr. č. 4 [3]

Jde o porovnávací metodu. K možnosti změřit velikost absorbance prvku v meteoritu je potřeba namíchat několik roztoků měřeného prvku o známé koncentraci, díky nimž provedeme kalibraci a jsme schopni změřit koncentraci v měřeném roztoku. Pro chrom jsme namíchali a použili roztoky o koncentracích 2 ppm, 5 ppm a 10 ppm a pro nikl 5 ppm, 10 ppm a 20 ppm (parts per million).

Výsledky

Po kalibraci a po měření s vlnovou délkou 357,9 nm (chrom) a 232 nm (nikl) a na redukčním plameni N_2O -acetylen, jsme mohli zjistit koncentraci prvku v roztoku chondritického meteoritu, při porovnání s třemi standardy z kalibrace. V procesu jsme nepoužili deionizátor, protože u chromu a u niklu deionizátor není zapotřebí. Po porovnání jsme dostali výsledné hodnoty, kde bylo zohledněno, že byl roztok pro měření 20x zředěn.

Výsledky Košice z AAS	
Prvek	mg na mg vzorku
Cr	0,35 mg/100 mg
Ni	1,80 mg/100 mg

3 Shrnutí

Chtěli jsme zjistit koncentraci chromu a niklu v roztoku meteoritu („Košice“). Abychom tohoto docílili, tak jsme udělali tři roztoky o známé koncentraci pro chrom i nikl. Roztoky jsme poté změřili na AAS a tím jsme docílili kalibrace. V průběhu jsme zjistili, že tento proces, je velmi náchylný k chybám v měření, hlavně během odměřování a ředění roztoků. Pracovali jsme s počítačovým systémem příslušným k atomovému absorpčnímu spektrometru. Díky spektrometru jsme provedli několik měření a ověřili si odchylky koncentrací. Zjištěné hodnoty jsme porovnali s předchozími kalibracemi, naměřené naším odborným garantem. Chyby jsme poté našli a opravili. Se strojem AAS se nám dobře pracovalo. Je velmi vhodný na robustní měření koncentraci prvků a když se objeví nějaká chyba v přípravě, tak se velmi rychle objeví díky AAS.

Poděkování

Moc děkujeme za čas, za příležitost účastnit se projektu, pomoc a konzultace Dr. Báře Drtinové.

Reference

- [1] <https://www.agilent.com/en/support/atomic-spectroscopy/atomic-absorption/flame-atomic-absorption-instruments/how-does-aas-work-aas-faqs>
- [2] <https://web.natur.cuni.cz/~freedom/5.pdf>
- [3] <http://www.4college.co.uk/as/el/spec.php>

Násobič vysokého napětí

B. Brodský, M. Slovák
Ústav fyziky plazmatu AV ČR
michal.slovak@gypri.cz
brodsky.boba@gmail.com

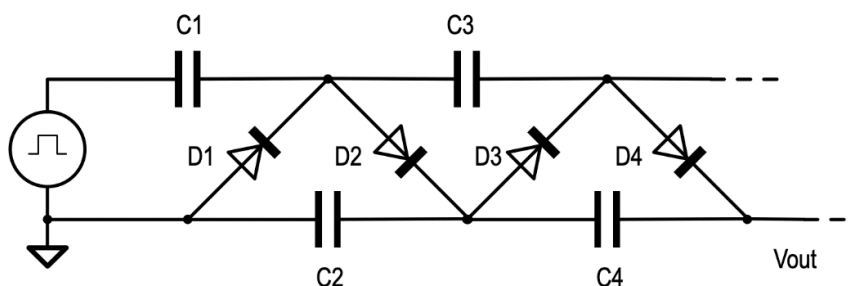
Abstrakt:

Seznámení se s technikou a fyzikou generace stejnosměrného (konstantního) vysokého napětí. V rámci tohoto miniprojektu jsme si postavili násobič napětí typu Cockroft-Walton. Cílem našeho snažení je prozkoumat elektrické vlastnosti násobičů v závislosti na počtu stupňů a zátěži.

1 Úvod

Princip násobiče napětí spočívá v tom, že pomocí diod a kondenzátorů mění střídavé napětí na napětí stejnosměrné o mnohonásobně vyšší hodnotě.

Obvod jsme zapojili tak, aby jedna půlperioda střídavého proudu paralelně nabíjela naše kondenzátory a opačná půlperioda není schopna kondenzátory vybit díky diodám. Tato půlperioda nám kondenzátory nevybijí a zvýší potenciál.



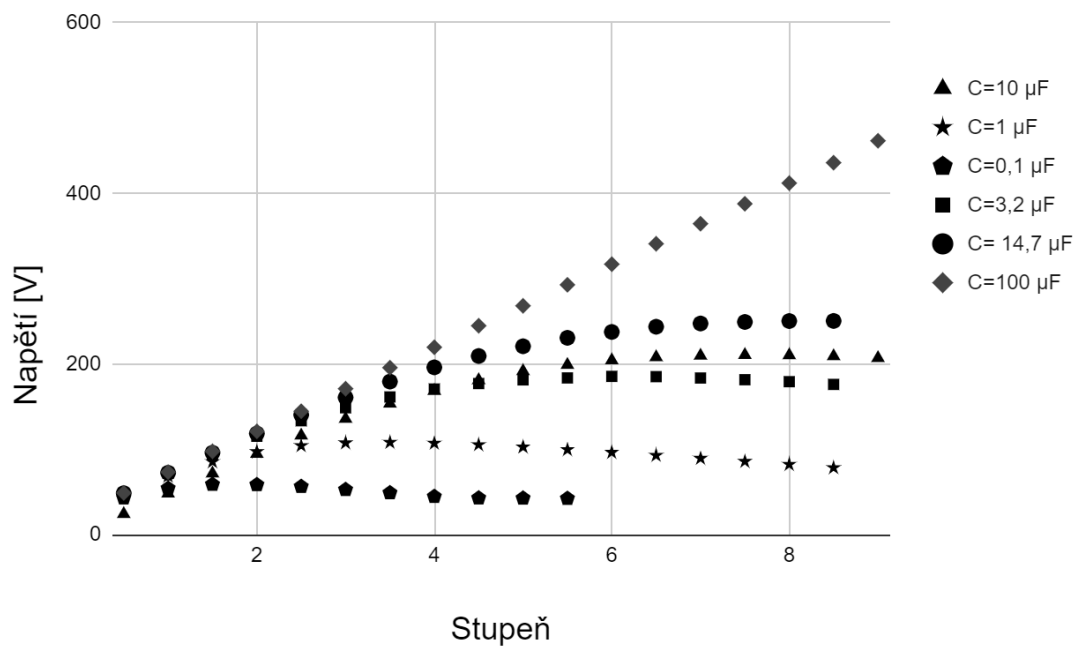
Obrázek 1: Příklad násobiče napětí (1)

2 Experimentální uspořádání

Pro měření byl použit 15V transformátor, pro měření napětí byl použit digitální multimetr DMM6500. Dále jsme využili diody (1N4007), sadu keramických kondenzátorů, sadu elektrolytických kondenzátorů (50 V, 100 μF), kabely, nepájivé pole.

Po sestavení několika stupňů jsme na každém z nich, i na půlstupních, změřili výsledné napětí. V druhé fázi našeho bádání jsme násobič zatěžovali jednotlivými rezistory o různých odporech. A zkoumali jsme závislosti mezi vstupním napětím, proudem a odporem.

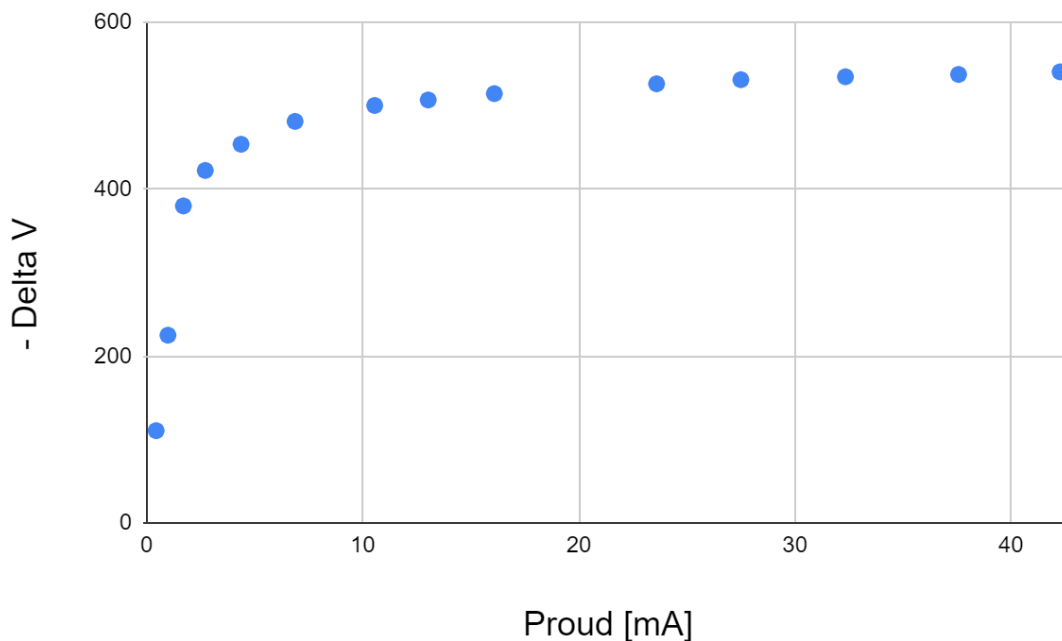
3 Výsledky měření



Obrázek 2: Graf závislosti počtu stupňů na napětí

V prvním měření (viz obrázek 2) jsme zkoumali vzájemný vztah mezi počtem stupňů. V měření jsme sestavili několik násobičů, které se navzájem lišily svými kondenzátory o různých kapacitách.

Z měření (potažmo grafu) lze pozorovat, že po určitém stupni se již napětí nenásobí, ale naopak jeho hodnota klesá. To je zapříčiněno tím, že nepracujeme s teoretickými (dokonalými) součástkami, ale se součástkami, které mají určité vady a nepřesnosti. V případě, že bychom pracovali s dokonalými zařízeními by se hodnota napětí s rostoucím počtem stupňů zvyšovala.



Obrázek 3: Graf závislosti zátěžového proudu na úbytku napětí

Z tohoto grafu je patrné, že s rostoucím proudem, který probíhá zátěží (rezistorem) roste úbytek napětí, tedy rozdíl mezi napětím nezatíženého obvodu a obvodu s rezistorem.

4 Závěr

Jelikož používáme neideální součástky budeme od určitého stupně pozorovat postupný pokles napětí, který se liší podle kapacity kondenzátorů použitých v obvodu. Byla naměřena závislost zátěžového proudu na ztrátě napětí (Obrázek 3)

Poděkování

Děkujeme organizačnímu týmu Týdne vědy za poskytnutí příležitosti seznámit se s tímto tématem a vyzkoušet si práci na vědeckém pracovišti. Dále bychom chtěli poděkovat Michalu Červeňákovi za odbornou pomoc při zpracování našeho miniprojektu.

Reference

1. **Levido, Andrew.** Cockcroft-Walton Voltage Multiplier. *circuit cellar*. [Online] 11. 3 2022. <https://circuitcellar.com/resources/quickbits/cockcroft-walton-voltage-multiplier-2/>.

Výbojkově čerpaný neodýmový laser se zesilovačem

K. Bednář¹, D. Káčerek², M. L. Skuda³, J. Kaška⁴

¹Střední průmyslová škola Třebíč, *bednark.05@spst.eu*

²Mikulášské gymnázium Plzeň, *kacerekdan@gmail.com*

³Gymnázium Boskovice, *skuda.maximilian@email.cz*

⁴Gymnázium Žamberk, *kaska.gyzamb@gmail.com*

Abstrakt:

Cílem práce bylo proměřit a zjistit vlastnosti pevnolátkového Nd:YAG laseru se zesilovačem při volné generaci i režimu Q-spínání. Článek popisuje závislost relativního zesílení na vstupující energii i podmínky, za nichž byl dosažen špičkový výkon 534 kW.

1 Úvod

LASER je kvantové zařízení, které dokáže pomocí jevu zesílené spontánní emise generovat záření s unikátními vlastnostmi: koherence (vnitřně uspořádané, sfázované), monochromaticnost (všechny fotony mají stejnou vlnovou délku, resp. frekvenci, resp. energii), nízká rozbíhavost svazku (fotony laserového záření se pohybují stejným směrem) a vysoká hustota výkonu záření. Laser se skládá ze tří základních částí: aktivní prostředí, buzení/chlazení a optický rezonátor. V našem případě se jednalo o aktivní prostředí tvořené krystalem Nd:YAG (yttrito-hlinitý-granát – $Y_3Al_5O_{12}$). Nd:YAG laser byl poprvé na světě zprovozněn v roce 1964 skupinou J. E. Geusica v Bellových laboratořích v USA [1].

2 Naměřené výsledky

2.1 Použité měřicí přístroje a parametry laserového rezonátoru

Délka sestaveného optického rezonátoru byla $l = 53$ cm. Nd:YAG krystal měl délku $l_{AP} = 10$ cm. Optický rezonátor se skládal z dvojice rovinných zrcadel. Během měření jsme použili trojici výstupních zrcadel Z1-Z3 s odrazivostmi $R_1 = 7\%$, $R_2 = 48\%$, a $R_3 = 86\%$ na vlnové délce 1064 nm. Druhé zrcadlo rezonátoru mělo odrazivost $R = 100\%$ na vlnové délce 1064 nm. Pro měření energie laserového záření jsme použili pyroelektrický detektor s citlivostí $C = 15,8$ V/J. Výstupní laserové záření bylo odráženo na detektory optickým klínem s odrazivostí $R_k = 4\%$. Na energetickém detektoru byla umístěna matnice s transmitancí $T_m = 62\%$. Výstupní energie $E_{výst}$ byla přepočtena z napětí změřeného na osciloskopu dle následujícího vztahu:

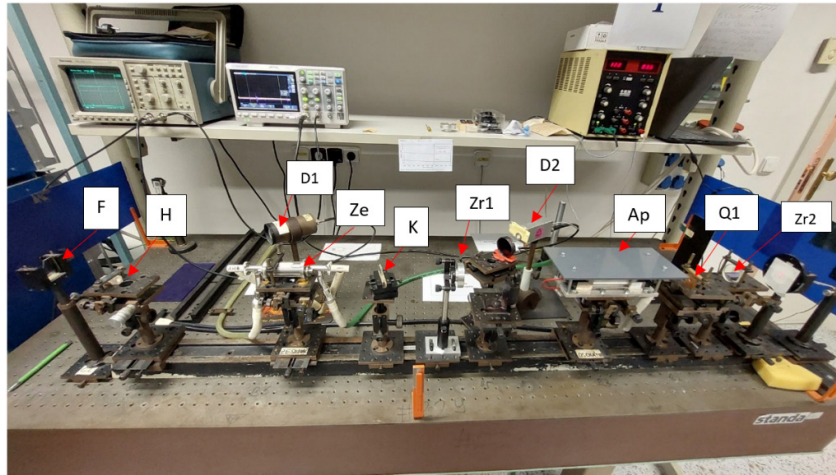
$$E_{výst} = \frac{U_{výst}}{CT_m R_k}. \quad (1)$$

Délku pulzu t_p jsme měřili pomocí křemíkové fotodiody. Výstupní výkon $P_{výst}$ jsme přepočítali z naměřené energie $E_{výst}$ podle vztahu:

$$P_{výst} = \frac{E_{výst}}{t_p}. \quad (2)$$

Oba detektory byly připojeny k osciloskopu, ze kterého byly odečítány naměřené hodnoty. Nd:YAG krystal byl čerpaný xenonovou výbojkou, jež byla napájena z laboratorního zdroje s kondenzátorem o kapacitě $C=100 \mu\text{F}$. Kondenzátor s regulovatelným napětím U se vybíjel přes cívku do výbojky. Pro výpočty jsme uvažovali, že veškerá elektrická energie nabitého kondenzátoru se přemění na energii optickou. Budící energie E_b byla vypočtena podle následujícího vztahu:

$$E_b = \frac{1}{2}CU^2. \quad (3)$$



Obrázek 1 Fotografie experimentálního uspořádání sestaveného Nd:YAG laserového systému.

Pro naše měření jsme použili aparaturu viz Obr. 1, kde **F** je filtr IČ záření, **H** nelineární krystal KDP, **D1** energetický detektor, **Ze** Nd:YAG jednorůchodný výbojkově buzený zesilovač, **K** optický klín, **Zr1** částečně propustné zrcadlo rezonátoru, **D2** senzor časového průběhu záření, **Ap** aktivní prostředí laseru, **Q1** saturovatelný absorbér, **Zr2** totálně odrazné zrcadlo rezonátoru.

2.2 Výstupní charakteristiky Nd:YAG laserového systému

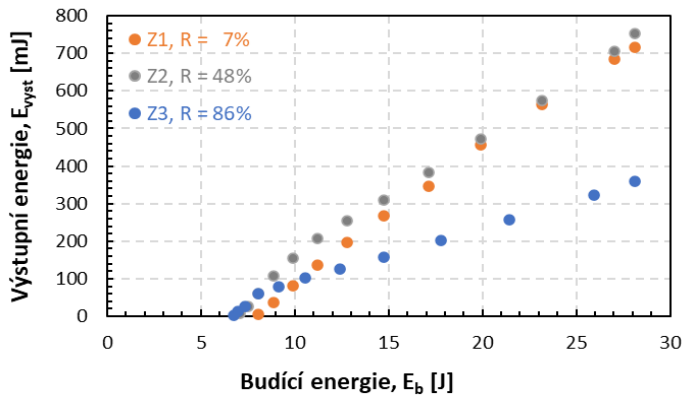
Naměřená závislost výstupní energie na budící energii výbojky pro tři různá výstupní zrcadla rezonátoru Z1-Z3 je uvedena na Obr. 2. Účinnost laserového systému byla vypočítána jako podíl výstupní energie $E_{výst}$ a budící energie E_b

$$\eta = \frac{E_{výst}}{E_b}. \quad (4)$$

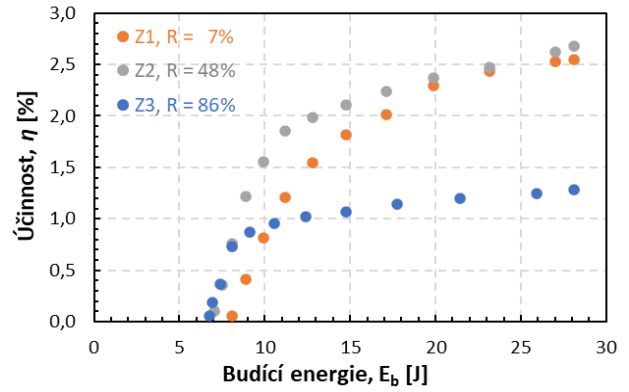
Závislost účinnosti na budící energii je uvedena na Obr. 3. Závislost výstupního výkonu vypočítaného podle vztahu (2) a délky pulzu na budící energii je graficky znázorněna na Obr. 4. Maximální budící energii 28,1 J odpovídala velikost kruhového svazku o průměru $d = 4 \text{ mm}$ (což odpovídá ploše $S = 0,1257 \text{ cm}^2$). Z toho jsme určili plošnou hustotu výkonu generovaného záření W

$$W = \frac{P_{výst}}{S} \quad (5)$$

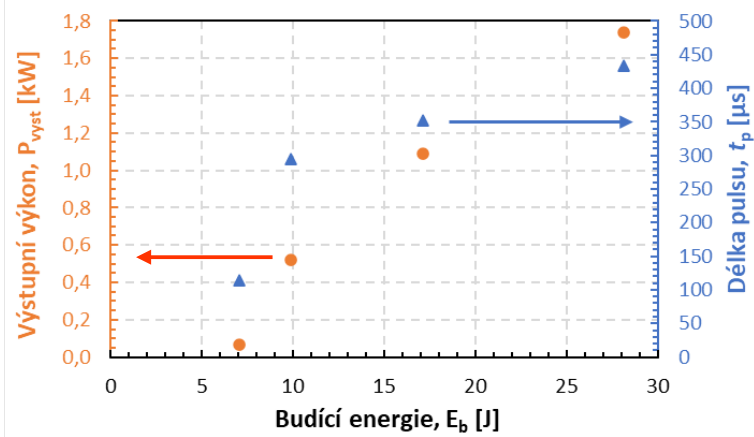
Maximální plošná hustota výkonu laserového záření při $P_{výst} = 1,74 \text{ kW}$ vychází $13,84 \text{ kW/cm}^2$.



Obrázek 2 Závislost výstupní energie na budící energii.



Obrázek 3 Závislost účinnosti na budící energii.

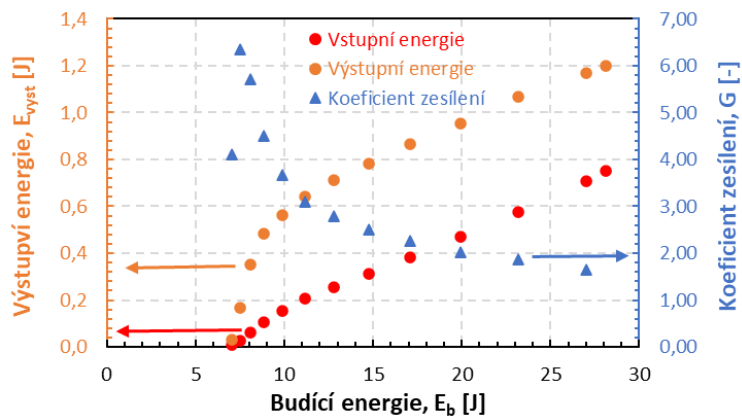


Obrázek 4 Závislost účinnosti na budící energii.

2.3 Zesilování laserového záření jednorůchodovým Nd:YAG zesilovačem

Výstupní záření Nd:YAG laseru pro optimální vstupní zrcadlo jsme zesilovali pomocí jednorůchodového Nd:YAG zesilovače. Určili jsme závislost zesílení G na budící energii (viz Obr. 4). Zesílení jsme vypočítali z podílu výstupní E_{vyst} a vstupní E_{vst} energie:

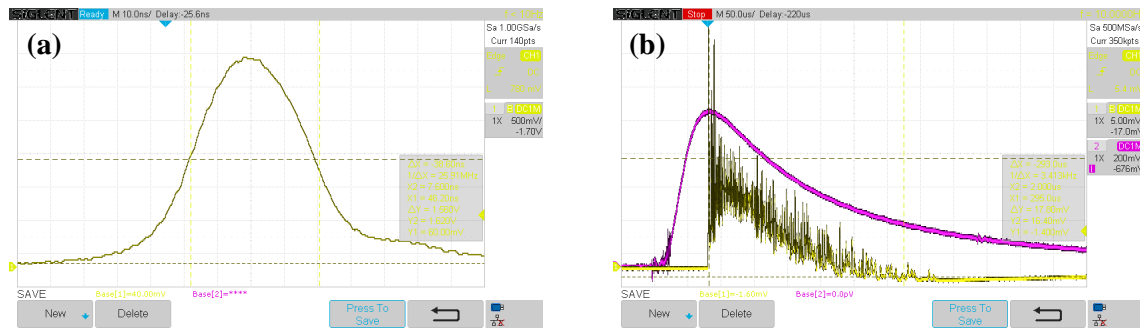
$$G = \frac{E_{vyst}}{E_{vst}}. \quad (6)$$



Obrázek 5 Závislost zesílení, vstupní a výstupní energie na budící energii.

2.4 Generace a charakterizace krátkých Q-spínaných pulzů

Pro pasivní Q-spínání jsme do rezonátoru vložili krystal saturovatelného absorbéru Cr:YAG mezi totálně odrazné zrcadlo a aktivní prostředí laseru (viz Q1 v schématu na Obr. 1). Tím jsme získali krátké pulzy o délce $t_Q = 37,5 \pm 1,4$ ns (měřeno na polovině maximální intenzity) s energií $E_Q = 20,0 \pm 2,5$ mJ. To odpovídá špičkovému výkonu $P_Q = 534 \pm 51$ kW. Tyto hodnoty jsme získali průměrem z deseti měření. Na Obr. 6 jsou uvedeny pro srovnání dva oscilogramy Q-spínaného pulzu (6a) a pulzu ve volně běžícím režimu (6b).



Obrázek 6 Oscilogramy laserového záření (a) v režimu pasivního Q-spínání, (b) ve volně běžícím režimu.

3 Shrnutí

V rámci experimentální úlohy byly proměřovány základní charakteristiky laserového záření výbojkově čerpaného Nd:YAG laseru. Maximální výstupní energie ve volně běžícím režimu $E_{\max} = 753$ mJ byla dosažena s výstupním zrcadlem s odrazivostí $R = 48$ % na vlnové délce $\lambda = 1064$ nm, které odpovídala délka pulzu $t_p = 433$ μ s. Nejvyšší dosažená účinnost konverze budícího záření na laserové byla $\eta = 2,7\%$. Maximální plošná hustota výkonu laserového záření odpovídající výkonu $P_{\text{výst}} = 1,74$ kW byla stanovena na hodnotu $W = 13,84$ kW/cm².

Záření bylo následně zesíleno Nd:YAG jednopřechodovým zesilovačem. Maximální dosažené zesílení bylo $G_{\max} = 6,35$ pro budící energii $E_b = 7,5$ J. Maximální dosažená výstupní energie zesíleného záření byla $E_{\max} = 1,2$ J.

Po vložení saturovatelného absorbéru do dutiny rezonátoru jsme dosáhli generace krátkých Q-spínaných impulzů. Tím jsme získali krátké pulzy o délce $t_Q = 37,5 \pm 1,4$ ns s energií $E_Q = 20,0 \pm 2,5$ mJ, což odpovídá špičkovému výkonu $P_Q = 534 \pm 51$ kW.

Pro konverzi infračerveného záření do viditelné části spektra jsme využili nelineárního krystalu KDP (KH₂PO₄). Tím jsme ze záření o vlnové délce 1064 nm metodou generace druhé harmonické frekvence získali viditelné záření o vlnové délce 532 nm, což odpovídá zelené barvě.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům akce Týden vědy na Jaderce za možnost tvorby vlastního článku a za poskytnuté prostředky pro jeho vytvoření.

Reference

- [1] J.E. Geusic, H.M. Marcos, L.G. Van Uitert, Laser oscillations in Nd-doped Yttrium Aluminium, Yttrium Gallium and Gadolinium garnets, Appl. Phys. Lett. 4 (1964) 182–184. <https://doi.org/10.1063/1.1753928>.

Co oční pohyby prozradí o strategii čtenáře

E. Czerneková*, K. Fulínová**, J. Müller***, A. Vodáková****

*Gymnázium prof. Jana Patočky, Jindřišská 36, Praha 1

**Gymnázium Ústavní, Ústavní 400, Praha 8

***Gymnázium Alejová 1, Košice

**** Gymnázium Jana Opletala, Litovel, Opletalova 189

*eva.czernekova@gpjp.cz, **f.kristynka@gmail.com,

j.muller@galeje.sk, *vodanka123@seznam.cz

Abstrakt:

Cílem průzkumu bylo zmapovat/vytipovat strategie čtenáře pomocí očních pohybů. Navíc jsme sledovali účastníky při známé hře „Najdi 10 rozdílů“. Jako hlavní indikátor kognitivních procesů jsme použili dobu trvání fixace a dále zpětné sakády. Použili jsme validní data od 8 účastníků. Velmi výrazné prodloužení doby fixace se projevilo pouze při nalezení prvního rozdílu a to u 7 z 8 účastníků. Tato doba fixace je 3 – 8x větší. V případě čtení textu je rozdíl mezi pečlivým čtenářem a čtenářem, který text pouze rychle přeletí očima. pozorný čtenář dělá větší fixace na části textu, které ho zajímají, zatímco čtenář, který text rychle přeletí očima vykazuje vcelku homogenní dobu trvání fixací. Dále jsme vytypovali 3 strategie vyhledávání odpovědi na otázky.

1 Úvod

Eye-tracker se v dnešní době stává stále populárnějším a dostupnějším, především díky jeho uplatnění v široké škále odvětví. Data získaná oční kamerou jsou cenná zejména pro reklamní agentury, v oboru psychologie a v neposlední řadě nám mohou pomoci i ve vzdělávání, např. odhalit poruchy čtení, průběh řešení textových úloh, nebo porozumět strategiím čtenáře, včetně práce s odborným textem.

2 Využití metody eyetrackingu ve vzdělávání

Jedním z častých důvodů užití této metody je modernizace a inovace učebních materiálů. Dále se také používá při zjišťování postupů práce s učebními materiály (text, grafy apod.) u jednotlivých studentů. Zařízení eye-tracker se na výzkumy tohoto typu používá ve 2 formách: počítač, na kterém probíhá měření, nebo brýle, které má sledovaný subjekt na sobě po celou dobu výzkumu. Pomocí eyetrackingu můžeme mimo jiné zjistit úroveň znalostí/schopností sledovaných subjektů.

3 Praktická část – sběr dat

Cíle průzkumu

Cílem kvalitativního průzkumu bylo na základě očních pohybů vytipovat různé strategie při čtení odborného textu a vyhledávání odpovědí na příslušné otázky. Jako indikátory byly použity *doba trvání fixace* (zvětšení/zmenšení) a *směr sakád* (reverzní). Navíc jsme pozorovali, jak vypadají oční pohyby při známé hře: Najdi 10 rozdílů.

Sledovaný materiál

1. Obraz malíře Josefa Lady – Zima, zpracovaný do hry „Najdi 10 rozdílů“ [4]
2. Strana 76 z učebnice z nakladatelství Fraus s tématem Atomy a záření. Z důvodu viditelnosti byla strana rozdělena na dvě části, modrý pruh byl pro účely výzkumu vynechán. Texty byly dále doplněny otázkami.

Otázky k Textu 1

Jaké tři typy záření mohou vznikat při jaderných přeměnách?

Jak se mění protonové a nukleonové číslo při alfa záření?

Na jakou vzdálenost ve vzduchu pronikne alfa, beta a gama záření?

Otázky k Textu 2

Jsou stabilnější menší nebo větší jádra?

Co je to poločas přeměny a za jak dlouho se rozpadne jedno jádro?

Po kolika dnech zůstane osmina jader izotopu aktinia ^{225}Ac ?

Účastníci průzkumu

Pozorování bylo provedeno na 4 ženách a 4 mužích z gymnázií na územní ČR i SR na studentech MFF UK a zaměstnancích MFF UK. Zohledněn byl také jejich mateřský jazyk. Žádný z testovaných subjektů netrpěl poruchou zraku/čtení.

Oční kamera a vizualizace dat

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.

Průběh testování oční kamerou

Dotazník

Na úvod účastníci dostali dotazník s několika základními otázkami, které zahrnovaly školu/obor a ročník, který studují, jejich pohlaví, případné poruchy čtení, jejich kondici a informaci, zda nosí brýle.

Instrukce

Následně jsme účastníkům výzkumu sdělili instrukce. Čekala je pětibodová kalibrace a poté samotný test skládající se ze tří úkolů. V průběhu textu neměli hýbat hlavou. Odpovědi nemuseli hlásit, stačilo, když je našli očima.

Vlastní testování

Test se skládal ze tří částí. Mezi jednotlivými částmi byly slidy s instrukcemi, účastníci si jednotlivé slidy překlíkávali sami. Prvním úkolem bylo najít na obrázku alespoň pět rozdílů. Druhou částí byl text učebnice o atomech a záření, ve kterém bylo potřeba najít odpovědi na otázky. Po skončení testu jsme si zaznamenali, zda účastník v průběhu testu pohnul hlavou.

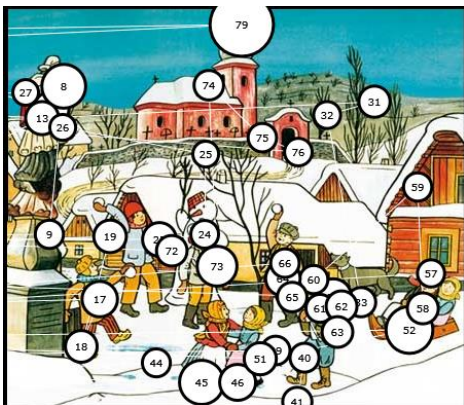
Rozhovor nad získanými daty

Po skončení testu jsme zúčastněným ukázali jejich výsledky. Zároveň jsme jim předali zpětnou vazbu ohledně toho, jestli nás něco v jejich strategii překvapilo. Také jsme jim sdělili, jakou strategii zvolili ostatní zúčastnění.

4 Praktická část – výsledky

První část „Najdi 10 rozdílů“

Předpokládali jsme, že když účastník objeví rozdíl, dojde k prodloužení doby fixace (viz. obr 1). Velmi výrazné prodloužení doby fixace se projevilo pouze při nalezení prvního rozdílů a to u 7 z 8 účastníků. Tato doba fixace je 3 – 8x větší (viz. tab. 2) U dalších rozdílů doba fixace narostla v menší míře. Největší zaměření pozornosti všech účastníků při zobrazení heat mapou je na oblasti rozdílů (viz. obr 2).



Obrázek 2: Délka Fixace (dlouhá fixace na první rozdíl)



Obrázek 1: Reverzní heat mapa (z důvodu ČB tisku)

Rozdíly mezi zaměřením pozornosti (celková doba fixací) na levou a pravou část obrázku jsou uvedeny v tabulce 1 (pravý obrázek – kompletní, levý – chybějící části).

Účastník	Celková doba fixací (s)	
	Pravá část	Levá část
1	9,207	7,209
2	15,569	19,194
3	38,768	36,166
4	20,431	17,068
5	37,509	30,052
6	22,763	26,353
7	19,137	23,136
8	33,993	30,591

Účastník	Průměrná doba fixace (s) - PF	Směr. Odchylka PF (s)	Fixace na 1. rozdíl (s) -FM	Násobek doby PF a FM
1	0,248	0,12	1,983	8
2	0,255	0,095	1,626	6
3	0,243	0,125	1,07	4
4	0,28	0,119	0,763	3
5	0,27	0,142	1,206	4
6	0,248	0,127	1,71	7
7	0,24	0,112	1,386	6
8	0,253	0,091	1,76	7

Tabulka 1: Celková doba fixace – levá a pravá č. Tabulka 2: Průměrná doba fixace a fixace na první rozdíl

Druhá a třetí část „Čtení textu“

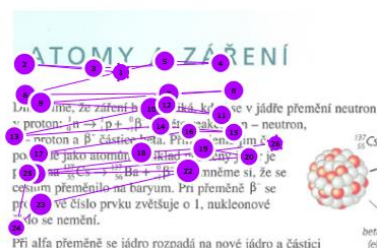
Na strategiích jednotlivých účastníků jsme zpozorovali mnoho zajímavých detailů. Prvním detailem, který nás zaujal je rozdíl mezi pečlivým čtenářem (obr.3) a čtenářem, který text pouze rychle přeletí očima (obr.4).

Z obrázku 3 můžeme vyčíst, že pozorný čtenář dělá větší fixace na části textu, které ho zajímají. Doba fixace je vhodným indikátorem kognitivní události. Dále jsou vhodnými indikátory

zpětné sakadické pohyby. U účastníků jsme je zaznamenali na klíčová slova (např. pronikavé záření, rovnice jaderných přeměn).



Obrázek 3: Pozorný čtenář



Obrázek 4: Rychlé přelétnutí textu

Také jsme pozorovali 3 různé strategie čtení textu a vyhledávání odpovědí na otázky:

- Pečlivé čtení textu, poté čtení otázek a vyhledání odpovědí
- Přčtení otázek a následné hledání odpovědí v textu
- Nejprve přčtení otázek, poté textu a nakonec vyhledání odpovědí v textu

5 Shrnutí a diskuze

Strategii čtenáře jsme zkoumali dvěma typy úkolů. Prvním úkolem bylo „Najdi deset rozdílů“. Překvapilo nás, že k výraznému prodloužení fixace (3 – 8x než průměrná fixace) došlo pouze u objevení prvního rozdílů. Také jsme zaznamenali rozdílů mezi zaměřením pozornosti na pravou a levou část obrázku. Druhým úkolem bylo vyhledávání odpovědí na otázky v textu učebnice. Při tomto úkolu se projevíly 3 různé strategie účastníků (viz. část 4. Praktická část – výsledky). Středoškolští studenti [1] vykazovali pouze první typ strategie.

Identifikovali jsme 2 přístupy ke čtení textů: pozorného čtenáře, který zajímavá místa fixuje déle a čtenáře, který rychle prolétl text. Ten vykazuje vcelku homogenní dobu trvání fixací. Dále jsme analyzovali zpětné sakády, které mohou ukazovat na vnímaná klíčová slova (pronikavé záření, u středoškoláků např. [1] rozpadá se, nukleonové číslo).

Poděkování

Naše poděkování patří především Martině Kekule, vedoucí našeho miniprojektu za předání cenných znalostí a informací. Dále bychom rádi poděkovali organizátorům TV@J, FJFI a MFF UK za příležitost podívat se do odborných pracovišť MFF UK a vyzkoušet si vědeckou práci.

Reference

- [1] Kekule, M., Krejčí A. Žákovské čtení textu z učebnice sledované oční kamerou a role otázek při porozumění tomuto textu. In: KÉHAR, Ota, ed. *Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 9. Sborník z konference*. Plzeň: ZČU v Plzni, 2022, 68–78.
- [2] Holmqvist, K et al. (Eds.) (2011). *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*, Oxford, UK: Oxford University Press.
- [3] Kekule, M. (2014) *Výzkum pomocí oční kamery ve fyzikálním vzdělávání* Scientia in educatione 5(2), 20114, ISSN 1804 – 7106. 58-73.
- [4] Najdi 10 rozdílů, dostupné online, <https://kvizy.qizy.cz/obrazove/najdi-10-rozdilu/>

Virtuální onkologická ozařovna

K. Budínová*, E. Raidlová**, V. Vrbovcová***, J. Šnajder****)

*Střední průmyslová škola, Třebíč

**Gymnázium, Kladno

***Gymnázium, Praha 8, Ústavní 400

****Wichterlovo gymnázium, Ostrava-Poruba

*kristynabudinova@gmail.com, **eliska.raidlova@gmail.com,

***vaneska.vrbovcova@gmail.com,

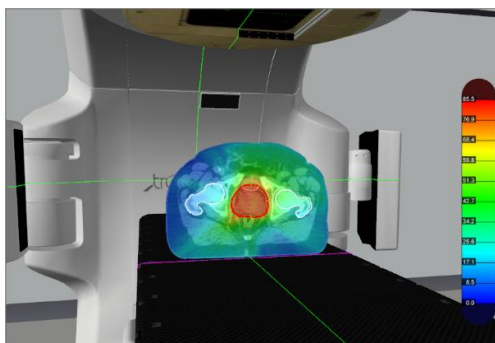
****snajja420@wigym.cz

Abstrakt:

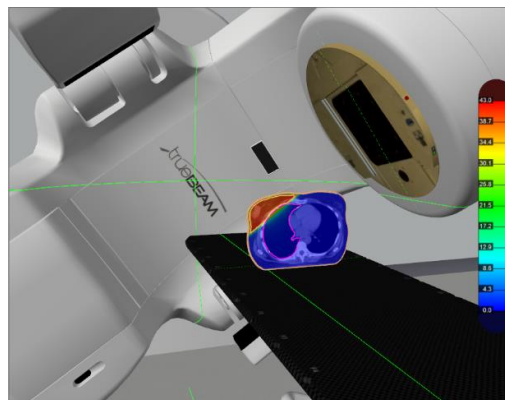
V rámci naší práce jsme pomocí medicínského urychlovače elektronů, který se používá pro léčbu onkologických onemocnění naměřili fyzikální parametry. Dále jsme naplánovali léčbu pro pacienta, a nakonec jsme ho i virtuálně ozářili.

1 Úvod

Radioterapie je léčba ozařováním, která využívá ionizujícího záření k léčbě nádorů. Cílem ozařování je odstranění nádoru. Většinou se ozařuje pouze nádor a jeho okolí, případně místo po vyjmutí nádoru. Radioterapie se zpravidla neaplikuje na oblast celého těla, protože už jen dávka 10 Gy je pro člověka smrtelná. Na odstranění nádoru je potřeba, - ale až 60–80 Gy, proto zpravidla léčba trvá 6 až 8 týdnů a dávky na jednotlivá ozáření jsou 1,8 – 2 Gy. Dle umístění zdroje záření rozlišujeme teleradioterapii a brachyradioterapii. U teleradioterapie je zdroj ionizujícího záření umístěn mimo tělo pacienta. U brachyradioterapie se zdroj záření umísťuje do blízkosti nádoru nebo přímo do postižené tkáně.



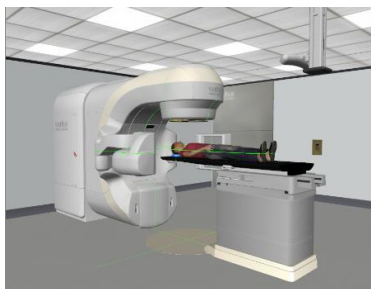
obrázek 1: rakovina prostaty



obrázek 2: rakovina prsu

2 Teorie

K našemu projektu jsme využili virtuální urychlovač a také počítačový program VERT (Virtual Ltd.)

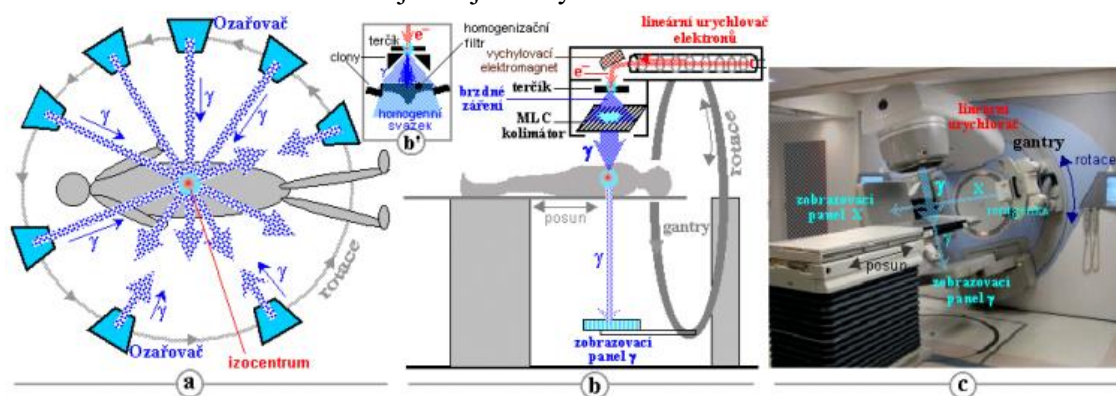


obrázek 3: virtuální urychlovač

Virtuální urychlovač je interaktivní simulátor klinického urychlovače určený k výuce radiologických asistentů, fyziků a techniků. Dále slouží např. k instruktáži pacientů a propagačním účelům.

Terapeutický lineární urychlovač v radioterapii je komplexním zařízením kombinujícím v sobě systémy pro přesné nastavení pacienta při každé frakci ozařování a dodání absorbované dávky ionizujícího záření do cílové tkáně pacienta. Technologickým základem je soustava: tyatron, magnetron, elektronové dělo, urychlující struktura, terčík a kolimační

systém. Ten bývá uložen v rameni urychlovače (gantry), které standardně umožňuje rotaci kolem minimálně jedné jeho osy.



obrázek 4: lineární urychlovač

3 Měření

Dozvěděli jsme se, že urychlovače v nemocnicích se musí pravidelně kontrolovat každý měsíc. V našich měřeních jsme se pokusili o správnou kalibraci přístroje a později jsme si zjistili, jak nám to mělo vyjít podle britského doporučení.

Definice kalibrace

V radioterapii je potřeba, aby lineární urychlovač používaný k léčbě pacientů byl nakalibrován. To znamená, že za určitých referenčních podmínek bychom po přesně definované době ozařování měli naměřit absorbovanou dávku 1 Gy. To je klíčové, abychom mohli přesně naplánovat léčebnou dávku, kterou budeme aplikovat pacientovi. Samotný lineární urychlovač si měří průchod záření tzv. Monitorovacími komorami (jsou to ionizační komory planoparalelního typu). Čas, po který ozařujeme, je vyjádřen v tzv. Monitorovacích jednotkách MU (monitor units). Potřebujeme definovat, kolik MU odpovídá dávce 1 Gy v referenčních podmínkách.

Kontrola kalibrace

Úkolem našeho měření bylo definovat kolika MU odpovídá dávka 1 Gy. Za dále vypsanych referenčních podmínek by tato dávka měla odpovídat 100 MU (s tolerancí 2 %). První a zároveň nejsložitější a nejdůležitější část byla nastavit fantom s komorou v programu do správné polohy, abychom mohli naměřit hodnotu náboje. Fantom jsme měli o mm vychýlený (viz. Obrázek 5)

Z naměřeného náboje se dávka počítá podle následujícího vztahu: $D = M \cdot N_D \cdot w \cdot p_T \cdot p_P \cdot p_{user}$

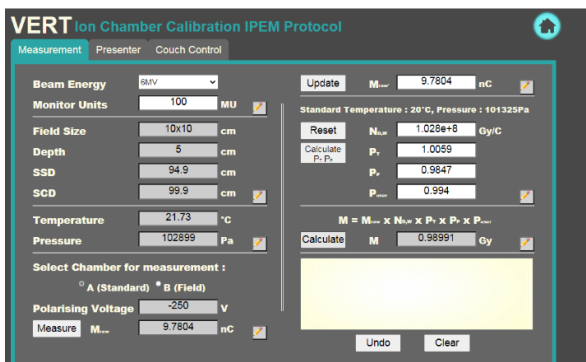
M je zde námi naměřený náboj, N_D, w je kalibrační faktor komory v dávce ve vodě, který je pro každou komoru dán kalibračním listem, p_{user} je souhrnná korekce, kde patří oprava na saturaci, polaritní jev a kvalitu svazku. Jelikož zde můžeme saturaci a polaritu zanedbat a korekce kvality svazku je pro každou komoru tabulková hodnota, nebyly zde třeba žádné výpočty. Korektury tlaku a teploty jsme sloučili do jednoho vztahu: $P_{T,P} = \frac{(273,15+T) \cdot p_0}{(273,15+T_0) \cdot p}$

Kde T a P jsou naměřené hodnoty tlaku a teploty a T_0 a P_0 mezinárodní konstanty.

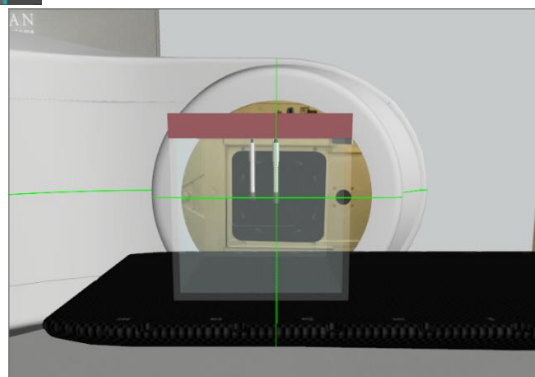
Po dokončení všech výpočtů a měření jsme došli k závěru: 100 MU = 0,98991 Gy.

Referenční podmínky

- Měření za použití ionizační komory umístěné ve vodním fantomu
- Hloubka komory pro 6MV, fotonový svazek je 5 cm
- Vzdálenost zdroje od povrchu fantomu je 95 cm (izocentrum tedy leží 100 cm od zdroje)
- Velikost léčebného pole je 10×10 cm



obrázek 5: hodnoty potřebné výpočtu



obrázek 6: vodní fantom

4 Diskuze

V tomto projektu jsme se seznámili s lineárním urychlovačem. Z příložených hodnot potřebných k výpočtům (Obrázek 5) je zřejmé, že jsme výpočet provedli dobře v toleranci 2 %. Urychlovač je tedy správně nakalibrovaný a nemusíme se zatěžovat s voláním servisu.

5 Závěr

Přesvědčili jsme se o tom, že lineární urychlovač je vhodným přístrojem k léčbě onkologicky nemocných pacientů, zároveň se však musí podávat jen velmi malá dávka, aby nedošlo k úmrtí. Vše, co se týká urychlovače se, ale musí pravidelně kontrolovat a je důležité provádět měření v přesnostech na každý mm. Záleží totiž na lidských životech!

Poděkování

Naše hlavní poděkování si zaslouží Ing. Tereza Hanušová, za přiblížení oboru radiační onkologie a za to, že jsme si mohli vyzkoušet práci s virtuálním urychlovačem. Dále také FJFI ČVUT v Praze za poskytnutí zázemí a pomůcek při realizaci našeho projektu.

Reference

- [1] *Radioterapie onkologický ústav Brno*, <https://www.mou.cz/radioterapie/t1343>
- [2] *Částice mikrosvěta, jejich získávání a aplikace ve výzkumu a technologiích*, <https://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm>
- [3] *Wikiskripta*, <https://www.wikiskripta.eu/w/Radioterapie>

Studium městského tepelného ostrova Prahy

Ondřej Buben

Gymnázium Jana Keplera, Praha

buben.ondrej@seznam.cz

Abstrakt:

Práce popisuje základní charakteristiky městského tepelného ostrova. Cílem práce bylo studovat rozdíly mezi teplotami naměřenými na stanicích Praha-Karlov a Praha-Ruzyně v roce 2006. Na základě těchto srovnání se ukázalo, že denní maximum rozdílu teplot v Praze ve zmíněném časovém období dosahovalo v některých dnech 5 až 6 °C. Zároveň je zřejmé, že se v tomto roce tepelný ostrov v průměru nejvíce vyvíjel v létě (nejméně v zimě), přičemž svého maxima ve všech ročních obdobích dosahoval převážně v nočních hodinách, což je v souladu s obecnou povahou tohoto jevu.

1 Úvod

Městský tepelný ostrov (MTO) je fenomén zvýšené teploty ve městech vůči jejich okolí, který je studován už více než 200 let. Jeho příčinou je skutečnost, že městské (umělé) povrchy jsou specifické svými radiačními, tepelnými a mechanickými vlastnostmi, kterými se značně odlišují od povrchů přirozených. Díky tomu tyto povrchy a s nimi spjaté procesy představují dodatečné zdroje a propady hybnosti, tepla a vlhkosti, což má specifický dopad na místní meteorologické podmínky.

V důsledku rozdílů v mechanismech, které ho formují, se zpravidla rozděluje do více kategorií, například Oke a kol. ^[1] uvádí tzv. povrchový a podpovrchový MTO, TO městského baldachýnu a MTO mezní vrstvy. Obecně se intenzita ostrova vyjadřuje rozdílem maximální teploty ve městě a reprezentativní teploty mimo město za dané časové období.

Z výše uvedených je nejdéle studovaný TO městského baldachýnu¹, který je předmětem i této práce. Jedná se zejména o noční jev, což je důsledkem rozdílné rychlosti poklesu teplot ve městě a okolní krajině v odpoledních a večerních hodinách. Ukazuje se, že fenomén je podmíněn jak velikostí měst, tak i charakterem počasí. K formování obzvláště výrazného MTO dochází za jasných a bezvětřných nocí. V takovýchto podmínkách mohou být ve velkých městech naměřeny hodnoty dosahující až 12 °C. Zvyšování oblačnosti a sílení větru vede ke snižování TO.

1 Městským baldachýnem se rozumí prostor, který vertikálně sahá od země zhruba po úroveň střech budov.

2 Metodika

Pro zhodnocení vlivu MTO Prahy byla použita hodinová data teploty vzduchu z celého roku 2006 ze stanic Praha-Karlov a Praha-Ruzyně (údaje viz **Tabulka 1**). V důsledku různých nadmořských výšek těchto stanic byla provedena korekce teploty, přičemž byl uvažován průměrný pokles teploty o 0.65 °C na 100 metrů výšky. To znamená, že teploty ze stanice Praha-Ruzyně byly zvýšeny o 0.7 °C.

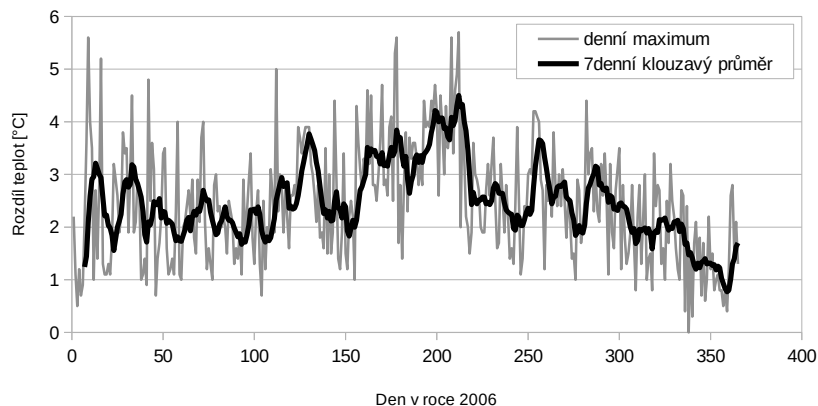
Samotný efekt MTO byl posuzován na základě rozdílu teplot naměřených na stanicích Praha-Karlov (centrum města) a Praha-Ruzyně (oblast na okraji města), a to dvěma způsoby. Díky dostatečné frekvenci snímání teploty byl nejdříve vyhodnocen chod velikosti denního maxima rozdílu teplot v průběhu celého roku 2006 (**Obrázek 1**). K posouzení rozdílu denního vývoje MTO v průběhu roku byl stanoven denní chod sezónního průměru rozdílu teplot (**Obrázek 2**).

3 Výsledky a diskuse

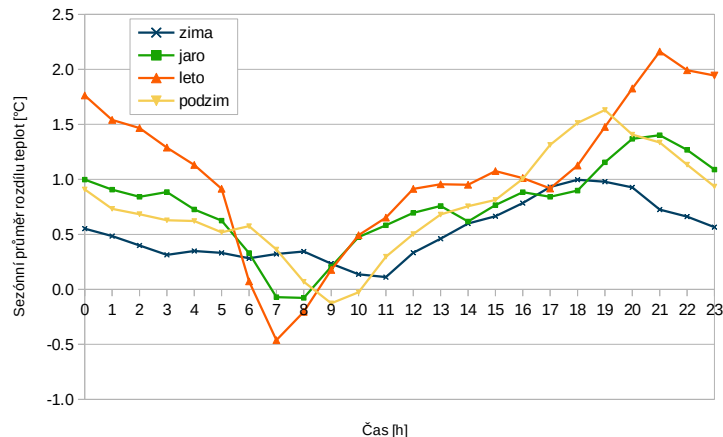
Na **Obrázku 1** je vidět chod denního maxima rozdílu teplot naměřených na stanicích Praha Karlov a Praha-Ruzyně během roku 2006. Je možné konstatovat výraznou proměnlivost denní intenzity MTO, s minimy kolem 0 °C a maximy až okolo 5.5 °C. Současně je na obrázku vidět klouzavý 7denní průměr, díky kterému je možné zaznamenat stoupavý trend směrem k létu a klesavý k zimě. Viditelné výkyvy intenzity ostrova mezi jednotlivými dny způsobují zejména změny meteorologických podmínek. Na výsledném trendu se podílí také změna poměru délky dne a noci v průběhu roku.

Stanice	Zem. šířka	Zem. délka	Nadm. výška [m n. m.]
Praha-Karlov	50° 4' 8,76"	14° 25' 39,36"	260.5
Praha-Ruzyně	50° 6' 1,08"	14° 15' 19,8"	364

Tabulka 1: Údaje použitých stanic ^[2]



Obrázek 1: Chod denního maxima rozdílu teplot naměřených na stanicích Praha-Karlov a Praha-Ruzyně v roce 2006.



Obrázek 2: Denní chod sezónního průměru rozdílu teplot vzduchu v roce 2006

Na **Obrázku 2** jsou vidět denní chody sezónního² průměru rozdílu hodinových teplot vzduchu v roce 2006. Lze konstatovat, že největší průměrná intenzita MTO je dosažena v létě, kdy se v noci blíží až k 2.5 °C, nejmenší pak v zimě, kdy dosahuje 1 °C. Na jaře, v létě a na podzim je hodnota po ránu lehce záporná (do -0.5 °C), což je důsledkem rychlejšího ohřívání otevřenější mimoměstské krajiny.

Díky tomu, že jsou data zprůměrována v rámci celých sezón, dochází k zahlazení krátkodobých výkyvů v důsledku počasí. To má mimo jiné za důsledek nižší hodnotu průměrné intenzity MTO Prahy vůči jeho některým denním hodnotám.

4 Shrnutí

Uvedená práce studuje přítomnost pražského MTO, přičemž její výsledky jsou v souladu s teoretickou charakteristikou ostrova. Ve zkoumaném roce 2006 dosáhl MTO Prahy v několika dnech až 5.5 °C, protože je ale intenzita ostrova velice náchylná na výkyvy počasí, byly i dny, kdy téměř nebyl pozorovatelný.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Mgr. Lukáši Bartíkovi za velkou pomoc při vypracovávání, organizátorům TV@J a ČHMÚ za poskytnutá data.

Reference

- [1] T. R. Oke, G. Mills, A. Christen, J. A. Voogt: Urban Climates, Cambridge University Press, 2017
- [2] portál: Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), sekce: Přehled stanic

² Zimní, jarní, letní a podzimní sezónou nazýváme vždy tříměsíční období prosinec, leden, únor – březen, duben, květen – červen, červenec, srpen – září, říjen, listopad.

Kolik solárních panelů je potřeba pro pokrytí své domácí spotřeby?

L. Moravec, J. Kraft

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky

Lukas.moravec@student.sps-cl.cz; kraft20a@gshpb.cz

Abstrakt:

Fotovoltaické panely, zážrak moderní technologie. Zařízení schopná získávat energii ze slunce, ale s jakou efektivitou, v jakém množství a v jakých podmínkách? Těmito aspekty této technologie se tato práce zabývá. Jsou zde vysvětleny základní principy a problematika při budování fotovoltaické elektrárny: výběr správné technologie, lokace, náklonu či rotace.

Také se dozvíte zjednodušený postup výroby fotovoltaického článku a panelu, cesta od písku až k elektrárně.

1 Úvod

Tato práce se zabývá technologií fotovoltaických panelů vyrobených z křemíkových polovodičů. Jak se takové panely vyrábějí? Jaké efektivitu je možné dosáhnout či jak se panely vyrábějí?

Práce se také zabývá tím, jak se vytváří studie proveditelnosti pro vybudování fotovoltaické elektrárny, a to jak v domácím měřítku, tak v měřítku industriálním. Kvalita provedení této studie určuje budoucí využití a efektivitu fotovoltaického řešení. A tím vyvstávají otázky: Kolik fotovoltaických panelů je potřeba? Jaký výkon musí mít? Která technologie je vhodnější či jaký sklon a orientace je pro panely optimální?

2 Výroba fotovoltaického panelu

U fotovoltaických panelů vyrobených z křemíkových polovodičů se vždy začíná u křemičitého písku. Z tohoto písku jsou při vysokých teplotách odebrány nečistoty. Zbylý materiál je následně zpracován tzv. Czochralského procesem při kterém je roztaven a následně je z něj získán krystal křemíku. Tento krystal je zpravidla kulatý a složen ze tří částí: začátku, středu a konce.

Z tohoto krystalu je ve výsledku odříznut začátek a konec a jediná část která zůstává je středová. Z této části je odebrána část rohů a to tak že z kruhového průřezu vznikne pseudo-čtverec. Který je známým tvarem solárních buněk.

Z tohoto monokrystalického silikonového bloku je nařezáno několik set až tisíc waferů. Které jsou následně opatřeny tzv. texturou zlepšující efektivitu buňky, vybaveny vodivými trasami shromažďujícími elektrony vyprodukované silikonem při dopadání slunečních paprsků a opatřeny antireflexní vrstvou zabraňující odrazení slunečních paprsků.

Takto se získá jediná buňka. Fotovoltaický článek je ve výsledku skládán z desítek těchto buněk, které jsou zapojeny do jediného obvodu, a to povětšinou sériovou¹ konfigurací. Tato konfigurace umožňuje jednoduché navýšení výsledného napětí systému, avšak pokud je kterákoliv buňka v sérii stíněna klesá výkon celého systému. Proto se do těchto systémů přidávají tzv. bypass diody² které v případě omezení některé z buněk umožňují proud protékat náhradní cestou.

3 Fotovoltaický geografický systém – PVGIS

Fotovoltaický geografický systém (dále jen PVGIS) je webový nástroj vyvinutý Evropským centrem věd pro simulaci výkonu a vlastností fotovoltaických systémů v Evropě. PVGIS se rozrůstal a nyní obsahuje databázi se záznamy o slunečním záření pro celou Evropu a Afriku. Nově jsou v něm ale také data pro výpočty na většině území Spojených států a Asie.

Systém má velmi rozsáhlou a detailní dokumentaci a je dostupný v 5 jazycích. Proto práci s ním neměl mít problém nikdo kdo umí mluvit některým z mezinárodních jazyků.

4 Určení lokace a horizontu

Jako první je nezbytné určit kam chcete teoretickou fotovoltaickou elektrárnu umístit.

Je ideální najít dobré místo, protože pokud máte okolo této lokace hory, stromy nebo budovy. Tyto objekty stíní část slunce, a tudíž i energie kterou můžete získat, tuto energii byste mohli využít např. na uvaření ranní kávy, tak si dokážete představit, že to není úplně to nejlepší.

Proto si můžete na webu PVGIS³ zadat lokaci (třeba váš dům) a to jak formou GPS koordinátu, tak výběrem bodu z mapy. Máte také možnost importovat mapu horizontu neboli také mapu terénu či jí necháte program vypočítat. Program si podle mapy najde objekty, které by mohly stínit a započítá je.

5 Technologie

Technologií fotovoltaických panelů je mnoho, jednou z nejpoužívanějších je monokrystalický křemík. Je ale také jednou z těch méně efektivních, dosahují totiž pouze efektivitu odběru slunečního záření pouhých 20 % (u pokročilejších až 25 %). Pro tuto simulaci byla použita technologie monokrystalického křemíku.

Nominální výkon

Nominální, nebo také špičkový výkon je maximální výkon panelu v následujících podmínkách: teplota panelu musí být 20-25 °C a musí být ozářen slunečním zářením s intenzitou 1000 W/m². Tento výkon určuje, kolik kWh je panel schopný vygenerovat. Je měřen v (kWp) kilowatt-peak.

¹ Sériová konfigurace je zapojení dvou a více zařízení v konfiguraci za sebou. V tomto zapojení dochází ke sčítání napětí. Avšak pokud jedno zařízení nepracuje správně omezuje celý obvod.

² Výkonová dioda fungující jako cesta menšího odporu v případě že dojde k nějakému přerušení či zvýšení odporu mezi místy, které spojuje.

³ PVGIS – Evropský nástroj pro simulaci fotovoltaického řešení. Adresa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Systemové ztráty

Systemové ztráty, jsou hodnota, se kterou se musí počítat při návrhu čehokoliv. Protože solární kontrolér a invertor⁴ jsou elektrická zařízení je zde zaručeno že nepracují se 100 % efektivitou a zároveň je využíváno nesupravodivých vodičů, což znamená že mají odpor. Systemové ztráty proto záleží na vnitřních ztrátách invertoru, která se pohybuje mezi 2-5 %, se kterou je solární kontrolér schopný získávat energii z panelu a odporu závislého na délce kabeláže.

Pro tuto simulaci byla použita průměrná ztráta 14 %, která je zároveň výchozí hodnotou simulátoru.

6 Upevnění na konstrukci

Je několik způsobů, jak upevnit panelový systém. Například: fixní, jednoosý či dvouosý sledovač.

Pro tuto simulaci byl použit fixní upevňovací systém (konstrukce, střecha atd....).

Sklon

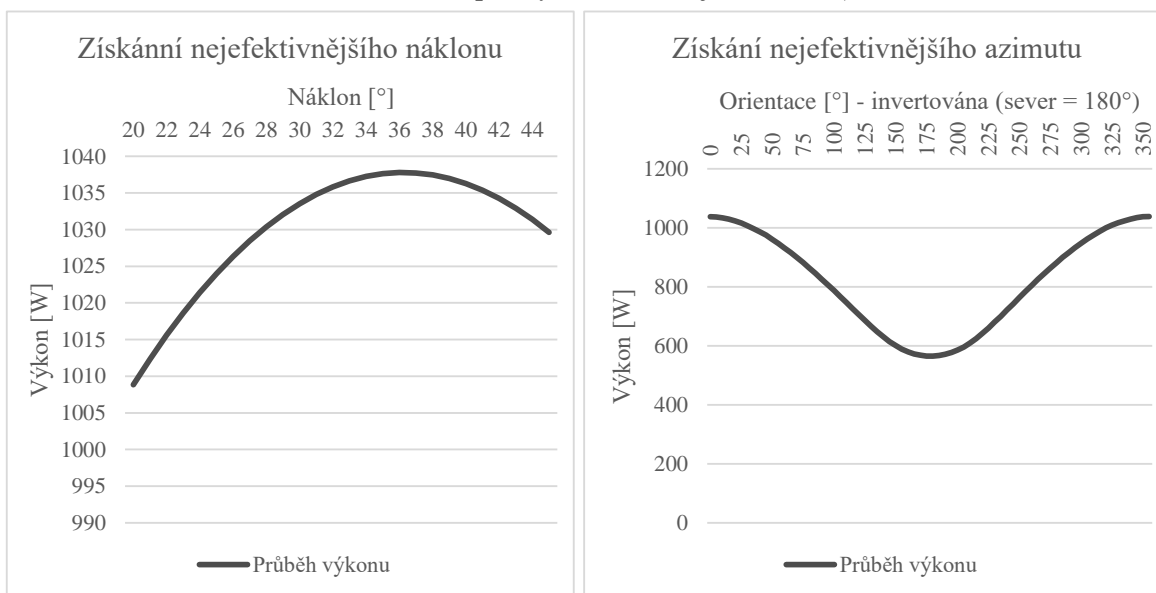
Sklon je jedna z hlavních součástí dobrého fotovoltaického panelu, určuje totiž pod jakým úhlem bude světlo dopadat na panel a tím pádem, jak bude panel efektivní. Tento sklon je závislý na poloze na zeměkouli.

Tato simulace ukázala že ideální sklon pro vybrané místo je 36°.

Orientace

Orientace je druhá klíčová součást efektivity fotovoltaických panelů. Je to orientace podle kompasu X° od jihu (v PVGIS je 0° Jih a 180° je Sever). Tato hodnota se může stejně jako sklon lišit podle místa na Zemi a také podle objektů stínících sluneční světlo (pohoří, stromy, budovy).

Tato simulace ukázala že ideální sklon pro vybrané místo je -5° (185°).



⁴ Invertor je elektrické zařízení převádějící stejnosměrný proud DC na střídavý AC. Díky tomu je možné zapojit solární panely do centrální elektrické sítě.

7 Výroba elektrické energie

Pro tento test jsme vybrali spotřebu průměrné domácnosti jakožto 4 722.00 kWh. Což znamená že pro pokrytí i s přihlédnutím na budoucí růst spotřeby budeme potřebovat systém s výkonem 5 kWp. Tímto se dostaneme roční výrobu 5 190,75 kWh. Když máme roční výrobu větší, než roční spotřebu tak můžeme přejít k výpočtu počtu panelů, který budeme potřebovat. Špičkový výkon vynásobíme tisícem a výsledné číslo vydělíme výkonem kupovaných panelů a vyjde nám počet panelů, které potřebujeme k pokrytí naší spotřeby.

POZOR: když nám vyjde jakékoliv desetinné číslo tak musíme zaokrouhlit nahoru.

Výpočty: $5 \times 1000 \div 450 = 5000 \div 450 = 11.1\dots$

To znamená že potřebujeme 12 panelů na pokrytí naší spotřeby. Přebytečnou energii, kterou nevyužijeme můžeme uložit do baterií nebo jí předat do elektrické sítě.

8 Shrnutí

Výroba fotovoltaických panelů se stává čím dál tím jednodušší a rychlejší, díky tomu ceny těchto panelů během let výrazně klesly. Jejich efektivita se stále zlepšuje, ale i nejlepší dnešní panely nedosahují vyšší efektivit než 24 %. I přes tento fakt je fotovoltaický panel stále nejatraktivnější zdroj čisté energie.

Webový nástroj PVGIS je velmi intuitivní a nápomocný, jak pro amatéry pokoušející se zjistit, zda se jim vyplatí panely nainstalovat, tak pro velké korporace, kterým pomůže zjistit teoretické vlastnosti elektrárny ještě předtím, než jí na místo nainstalují.

Budoucnost solárních elektráren vypadá velmi zdárně a podle aktuálního trendu přechodu na čistou energii bude vyvíjen nárok na výkon a pokles ceny díky čemuž se zvýší atraktivnost instalace fotovoltaických elektráren i na rezidenční budovy.

Poděkování

Lukáš Moravec: Chtěl bych poděkovat našemu vedoucímu mini projektu: Mykhailo Khytko za jeho vedení a ochotu nám vše vysvětlit. Dále také za exkurzi, kterou nám udělal v laboratořích, ve kterých pracuje. A za konečné rozptýlení v podobě supravodivého magnetu jezdícího po magnetické dráze.

Jaroslav Kraft: Já bych poděkovat celému týmu Fyzikálního ústavu Akademie věd za ochotu a krásně připravený mini projekt, a ukázky jejich prací.

Reference

- [1] *PVGIS Photovoltaic Geographical Information System* [online]. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en
- [2] *Solar Manufacturing Cost Analysis* [online]. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/solar/market-research-analysis/solar-manufacturing-cost.html>

Thomsonova parabola

Daniel Čtvrtečka, David Bálek, Vojtěch Jančura

Místo projektu: Ústav fyziky plazmatu AV ČR, laboratoř PALS

21.06.2022

Abstrakt

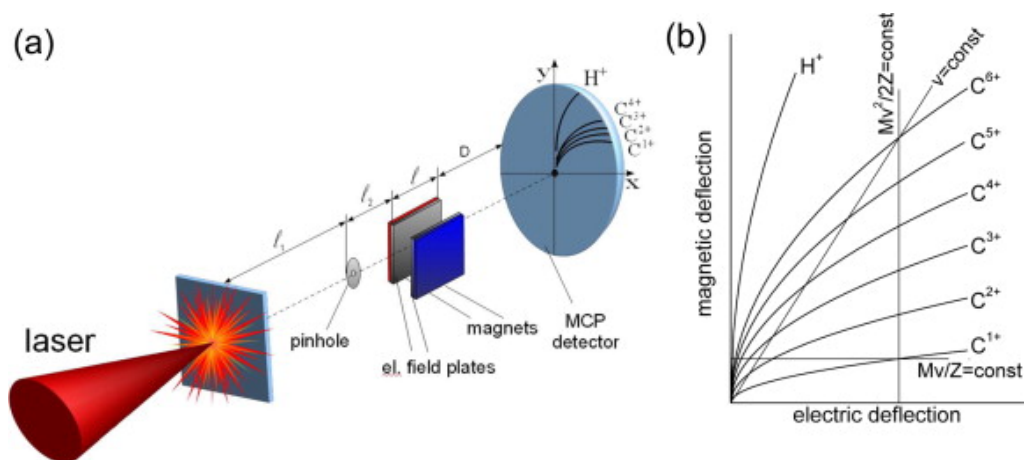
Thomsonova parabola představuje jeden z používaných přístrojů k diagnostice částic urychlených laserem. Naší prací bylo seznámit se s tímto přístrojem, vytvořit v programu SIMION jeho simulaci a prostudovat odchylky od teoretických předpokladů.

1 Úvod

Ke studování horkého plazmatu se laserový svazek soustředí do takzvaného terče, který se může skládat z různých atomů či molekul (např. borany nebo měď). Po interakci atomů s laserovým svazkem se urychlují produkty interakce, většinou nabitě částice. Právě Thomsonova parabola nám pomáhá s analýzou těchto produktů, tj. zjišťováním jejich energie a poměru náboje ku hmotnosti.

2 Princip Thomsonovy paraboly

Aparatura se skládá z vstupní dírky, cívký, elektrod a detektoru. Úzký svazek prošel vstupní dírkou nabitých částic je postupně ovlivňován magnetickým a elektrickým polem.



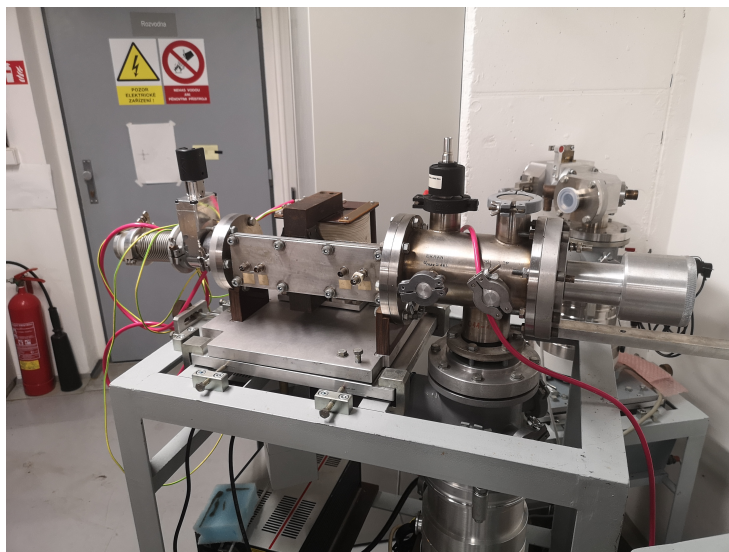
Obrázek 1: (a) Schéma měřící aparatury, (b) Paraboly kationtů uhlíku [1]

Magnetické pole tvořené cívkou zakřivuje trajektorii částice v horizontálním směru a elektrické pole tvořené elektrodami ve vertikálním směru.

To je dané Lorenzovým zákonem:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

Kvůli působení těchto dvou sil na každou jednotlivou částici nám svazek utvoří různé paraboly podle poměru náboje ku hmotnosti.



Obrázek 2: Příklad IRL

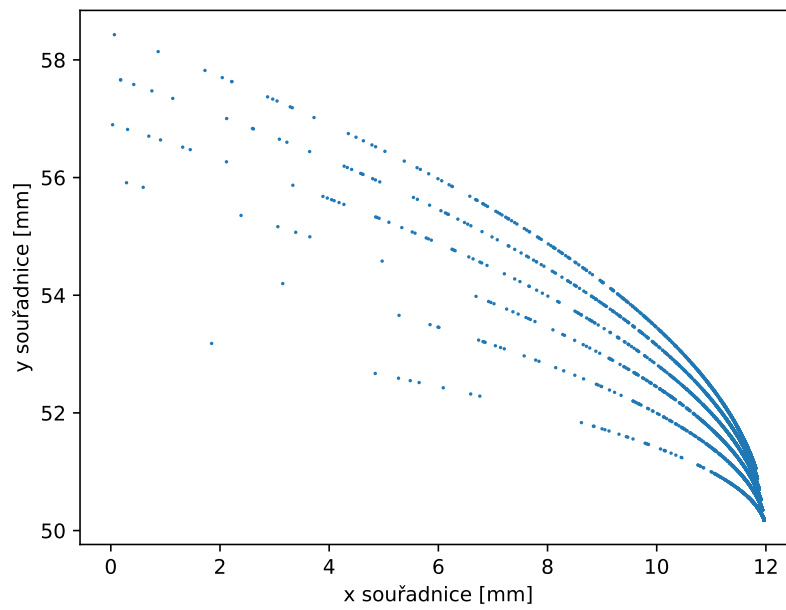
3 Simulace v programu SIMION

Program SIMION[2] pomocí umísťování různých elektromagnetických polí do prostoru umožňuje simulace pohybu částic v těchto polích. Zkonstruovavše v programu model opravdové měřicí aparatury a provedše simulace pro různá nastavení polí a pro různé částice, vynesli jsme data do grafů.

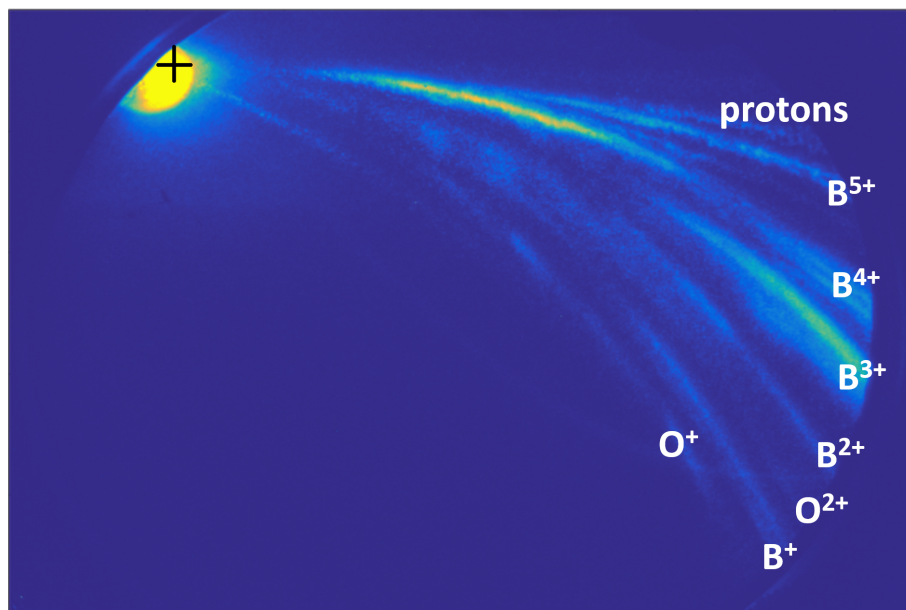
4 Výsledky a diskuze

Na obrázku číslo 3 můžeme vidět zformované paraboly ze simulace, každý bod představuje dopad jedné částice na detektor. Čím dále jsou částice od osy $x=12$ mm, tím menší mají energii, protože částice s menší energií jsou více ovlivňovány elektromagnetickým polem. Ve skutečnosti křivky, které můžeme vidět nejsou parabolami, protože částice neprocházejí homogenním polem vytvořeným cívkou, respektive elektrodami, a proto dochází k deformaci těchto křivek.

Jak můžeme vidět na obrázku číslo 4, paraboly nemají velké rozlišení. Abychom například mohli identifikovat částice s blízkými poměry náboje ku hmotnosti, potřebovali bychom ho zlepšit. Toho docílíme buď zvětšením velikosti jednotlivých polí, hlavně elektrického nebo větší vzdáleností elektrod od detektoru.



Obrázek 3: Paraboly vytvořené simulací, byly použity kationty uhlíku



Obrázek 4: Paraboly vzniknuvše při experimentu proton-borové fúze

Poděkování

Děkujeme Miroslavovi Krúsovi, vedoucímu našeho miniprojektu, za detailní zasvěcení do problematiky a jeho podporu.

Reference

- [1] Paul Bolton et al. “Instrumentation for diagnostics and control of laser-accelerated proton (ion) beams”. In: *Physica medica : PM : an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology : official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)* 30 (říj. 2013). DOI: [10.1016/j.ejmp.2013.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2013.09.002).
- [2] David J. Manura. “SIMION(TM) 8.0”. In: (2007).

Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace ve fyzice

E. Sabol¹, M. Šilhavý², D. Pojhan³, A. Vondra⁴, Y. Herashchanka⁵, and J. R. Zbončák⁶

¹sabole@ceskolipska.cz

²maarty421@gmail.com

³danpojhan@gmail.com

⁴sasav9768@gmail.com

⁵yherashchanka@gmail.com

⁶sakoraj35@gmail.com

Abstrakt

Počítačové algebraické systémy [1] (CAS - computer algebra system, česky PAS) dokážou efektivně řešit algebraické problémy nebo tvořit fyzikální modely, což hodně ulehčuje práci vědce. Cílem zpracování našeho projektu je pochopit PAS, ukázat některá využití Wolfram Mathematica a pokusit se vysvětlit základy programu i některé fyzikální a matematické koncepty.

1 Úvod

Operace, které vědci provádějí ve svém výzkumu jsou s časem víc a víc komplikované, proto se vyvíjejí programy, které tuto práci ulehčují. Počítačové algebraické systémy (PAS), se začaly vyvíjet hned po nástupu počítačů, pro zvýšení efektivity matematických operací a jejich automatizace. Hlavní výhodou těchto systémů je schopnost zpracovávat data s využitím algebry. [2]

Prvním programem PAS je Schoonschip, který vznikl v roce 1963. Prvním hojně využívaným programem se stal Matlab, program vytvořený v roce 1964, který se používá dodnes. Dnes se využívají programy jako MATLAB, Octave, SageMath, Axiom, atd. Dále pak existují softwarové balíčky pro standardní programovací jazyky jako např. SymPy (Python), JuliaSymbolics (Julia), SymbolicC++ (C++). [3]

Tyto programy pracují ve dvou módech: symbolickém a numerickém. Symbolický mód pracuje s obecnými řešeními a numerický mód dosazuje čísla a s vysokou přesností vypočítá výsledek.

PAS mají využití ve většině matematických a fyzikálních problémů. Dají se zde řešit integrály, derivace, soustavy rovnic a nerovnic i úlohy s komplexními čísly. Další velmi užitečnou schopností PAS je vizualizace dat do 2D i 3D grafů. Mezi další funkce patří:

- Rozšiřování a zjednodušení výrazů

- Grafické řešení rovnice (v 2D i 3D)

Seznámili s programem Mathematica, ukázali jsme si (malou) část možností programu a zkusili vizualizovat některé fyzikální a matematické úlohy. Předchozí ročníky už ukázali základy používání programu a jak řešit jednoduché úlohy. V této práci ukážeme vizualizaci některých známých problémů.

2 Mathematica

Většinu času jsme pracovali s programem Wolfram Mathematica, proto budou příklady zejména napsané v syntaxi programovacího jazyka Wolfram.

2.1 Příklady

V rámci miniprojektu jsme zpracovali některé příklady z fyziky. Jako třeba model obíhání planet ve sluneční soustavě. Jako další ukázkou z PAS si uvedeme řešení různých druhů rovnic. [4]

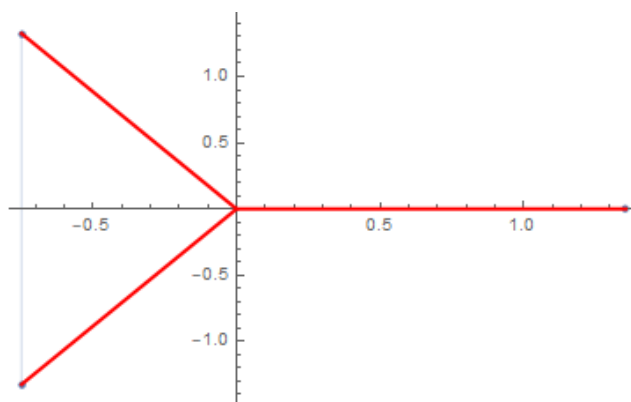
- Řešení kubické rovnice v oboru komplexních čísel: např. pro rovnici:

$$7x^3 + x^2 + 2x + 30 = 52 \quad (1)$$

```
In[410]:= Sol = Solve[7*x^3 + 1*x^2 + 2*x + 30 == 52, x] // N
Out[410]:= {{x -> 1.35591}, {x -> -0.749382 - 1.32526 i}, {x -> -0.749382 + 1.32526 i}}
```

Obrázek 1: Přepis rovnice do Wolframu

- Kořeny znázorněné na ose by vypadaly takto: Komplexní číslo má tvar $z = a + bi$

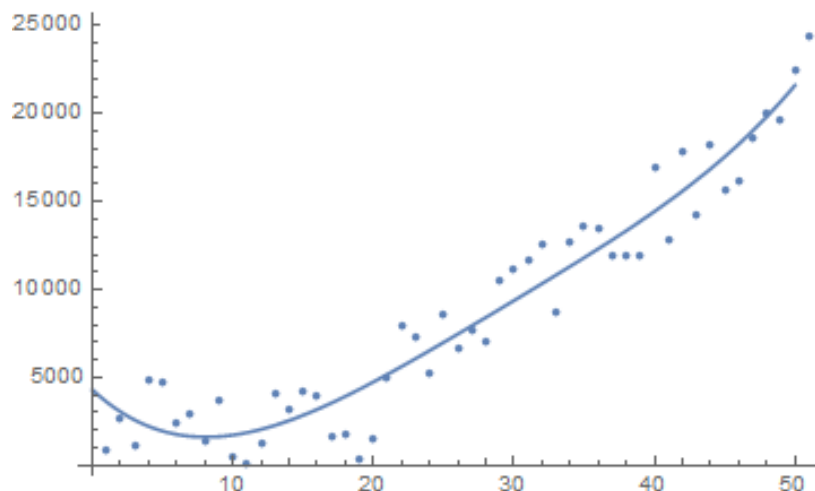


Obrázek 2: Kořeny kubické rovnice v komplexních souřadnicích

kde: $a = \text{Re}(z)$ (aR) $b = \text{Im}(z)$ (imaginární část, bR) i je imaginární jednotka, pro kterou platí: $i^2 = -1$

Obor komplexních čísel se označuje C . Dovoluje tak kvadratickým rovnicím mít řešení i přesto že jejich diskriminant je záporný.

- Využití PAS pro statistiku: Mějme například 50 hodnot náhodně položené v soustavě, přičemž se budeme snažit předpovědět jaká bude z největší pravděpodobností následovat 51. hodnota. Pro tento problém jsme se rozhodli použít lineární a polynomickou regresi, které už byly vestavěné do prostředí. Polynomická regrese funguje

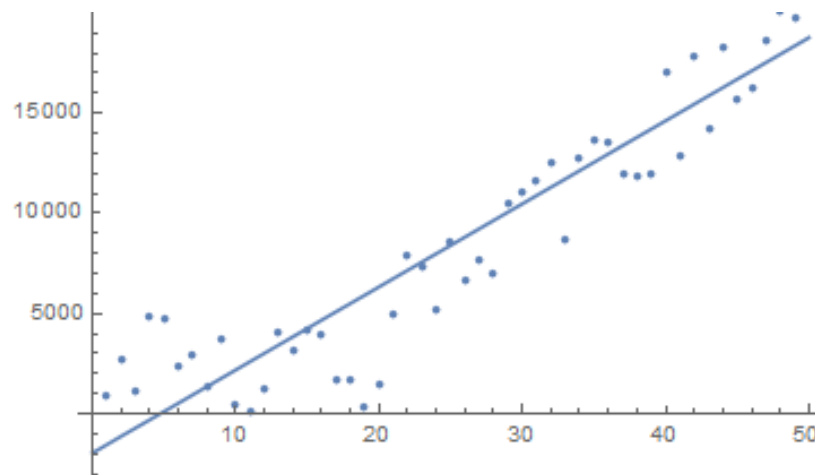


Obrázek 3: Polynomická regrese

na principu postupného sestavování polynomů vyššího řádu tak,

$$ax^2 + bx + c \rightarrow ax^3 + bx^2 + cx + d \rightarrow \dots \quad (2)$$

aby byl zvyšována přesnost (měřená nejčastěji funkcemi RMSE, MSE, MAE a Huber Loss) Lineární regrese funguje na principu postupné změny proměnné a v předpisu

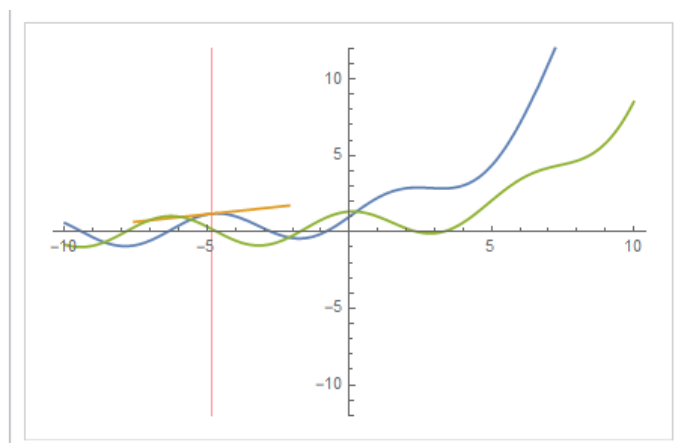


Obrázek 4: Lineární regrese:

lineární funkce $ax + b$ tak aby se zvyšovala přesnost

- Grafické znázornění derivace.

Derivace se dá vysvětlit buďto pomocí složitých definic a důkazů, nebo pomocí znázornění v grafu.[5] V našem případě je derivace směr tečny ke grafu v daném



Obrázek 5: Graf derivace:

bodě. K znázornění byly použity vestavěné možnosti grafování funkcí, výpočtu derivací a různé stylistické možnosti. V tomto případě jsme do jednoho grafu znázornili libovolnou funkci (modře), její derivaci (zeleně) a její tangentu v daném bodě (oranžově).

3 Shrnutí

PAS jsou bezpochyby jedním z nejužitečnějších nástrojů dnešní vědy. Práce s těmito programy není příliš těžká a jejich možnosti jsou velmi široké. Tyto programy mnohokrát ulehčují práci a našly využití nejen v matematice, proto je velice výhodné umět s nimi pracovat.

Poděkování

Děkujeme Dr. Ing. Milanu Šiňorovi, který nám pomáhal s projektem a všem organizátorům akce Týden vědy na Jaderce.

Reference

- [1] G. Seif, “Understanding the 3 most common loss functions for machine learning regression,” Feb 2022. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/understanding-the-3-most-common-loss-functions-for-machine-learning-regression-23e0ef3e14d3>
- [2] “Počítačový algebraický systém,” May 2021. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%BD_algebraick%C3%BD_syst%C3%A9m
- [3] “List of computer algebra systems,” Jun 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_computer_algebra_systems
- [4] [Online]. Available: <https://reference.wolfram.com/language/>
- [5] L. Havrlant, “Derivace funkce.” [Online]. Available: <https://www.matweb.cz/derivace/>

Počítačová grafika - vědecká vizualizace

*E. Štechová, **P. Hájek, ***K. Patáková, ****I. Hronková

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

*emastechova@gmail.com; Gymnázium Děčín

**malykralevic@gmail.com; SPŠ Třebíč

***klara.patakova1@gmail.com; Gymnázium Altis s.r.o.

****ivana.hronkova@gmail.com; Gymnázium Joachima Barranda Beroun

Abstrakt

Práce představuje metody vizualizace trojrozměrných dat získaných z počítačových simulací, k tomu je využit program Paraview. Konkrétně jsou na ukázkových datových sadách demonstrována použití kontury, řezu a mapování skalárních dat na logaritmickou barevnou škálu.

1 Úvod

Pro správné pochopení dat získaných z vědeckých experimentů a počítačových simulací je potřeba je vhodným způsobem zobrazit. Soubory s daty jsou velmi obsáhlé, proto využíváme speciální software. Vyzkoušeli jsme si práci s programem Paraview [1] a několik metod vizualizace dat reprezentujících růst krystalu a turbulentního proudění.

2 Metody vizualizace

Při simulaci časově proměnných dějů se data ukládají pro jednotlivé časové hladiny do samostatných souborů, které pak je program schopen spojit ve vizualizaci a zobrazit data v různých časech. Pro zobrazení některých dat můžeme využít různých metod, díky kterým můžeme zobrazit skalární (např. teplota) a vektorové (např. rychlost) veličiny. Například řez nám umožňuje zobrazit data v 2D rovině. Dále lze využít možnosti kontury, která je množinou všech bodů v nichž má dané skalární pole stejnou hodnotu. Rychlostní pole lze zobrazit pomocí šipek nebo proudnic. Volumetrické zobrazení umožňuje pomocí průhlednosti zobrazit trojrozměrná data.

3 Superpočítač

V průběhu našeho výzkumu jsme využívali výkonného superpočítače Helios který provozován na FJFI. Jak už bylo zmíněno, data jsou velmi obsáhlá, a proto je zapotřebí velké úložiště a paměť. Právě k tomu jsme využívali tento superpočítač, který byl sestaven přímo zde na této fakultě. S výhodou jsme použili režim zpracování klient/server, který umožňuje náročné operace s rozsáhlými daty realizovat přímo na superpočítači. Na uživatelské pracovní stanici se poté zobrazují pouze výsledky.

4 Konkrétní vizualizace

Každý z nás si vyzkoušel různé vizualizace.

4.1 Krystal

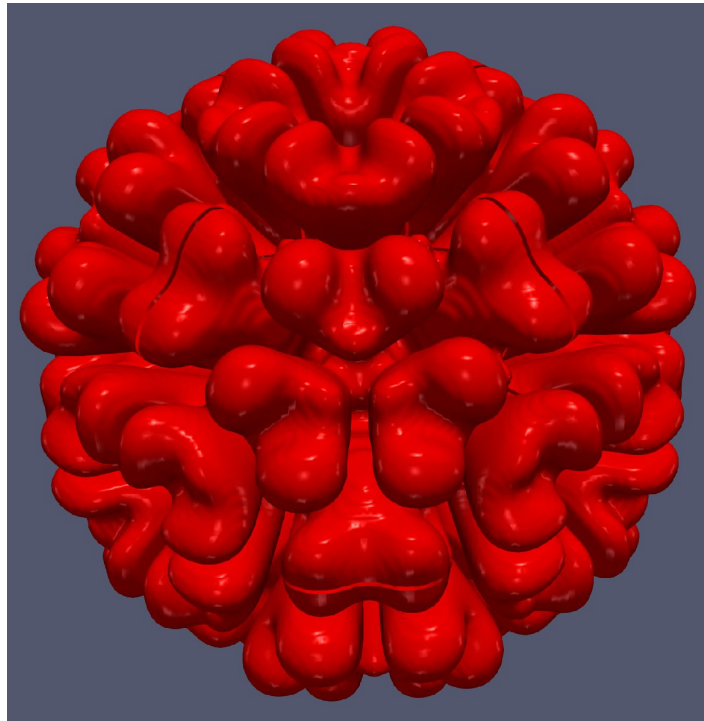
Jako první jsme vizualizovali růst krystalu [2]. Tvar krystalu byl určen hodnotami fázového pole

$$p : (0; T) \times \Omega \rightarrow R, \quad (1)$$

které má hodnoty blízké nule v kapalině a blízko jedné v pevné látce. Povrch krystalu a jeho růst v čase jsme vizualizovali pomocí vrstevnice

$$\Gamma(t) = \left\{ \vec{x} \in \Omega \mid p(t, \vec{x}) = \frac{1}{2} \right\},$$

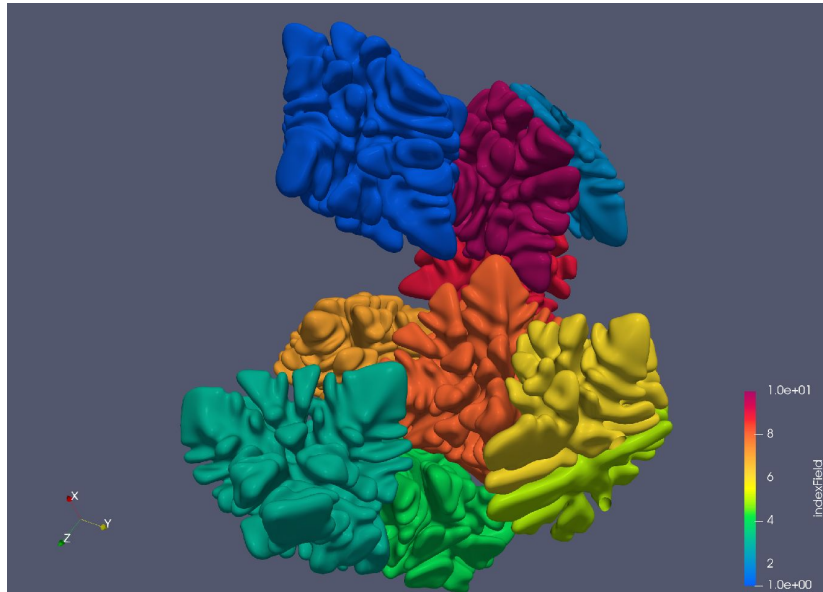
jak je vidět na obrázku 1.



Obrázek 1: Růst krystalu

4.2 Orientace krystalů

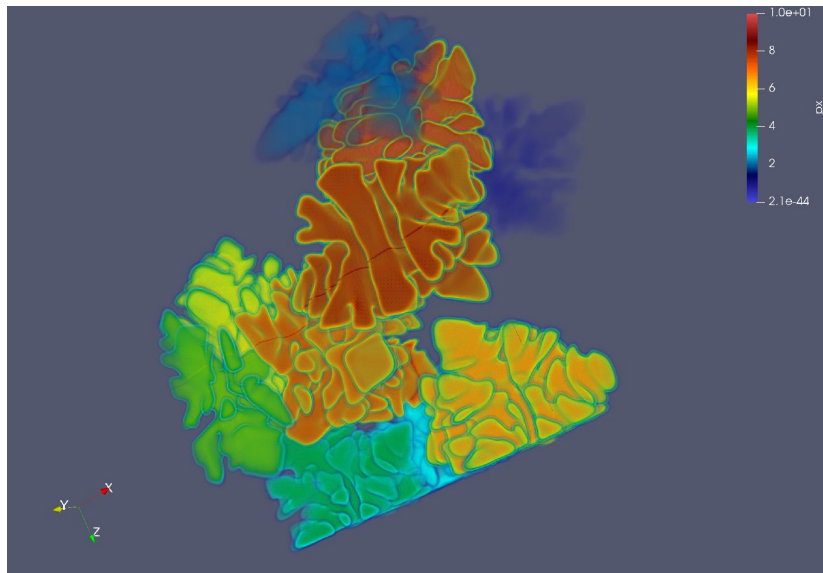
Další datová sada obsahovala výsledky simulace růstu více krystalů s různými orientacemi. Části oblasti, kde se růst krystalu řídí danou orientací, jsou označeny pomocí skalárního pole s celočíselnými hodnotami. Pomocí tohoto pole jsme barevně odlišili krystaly různé orientace, jak je vidět na obrázku 2.



Obrázek 2: Krystaly s různou orientací

4.3 Krystaly ve volumetrickém zobrazení

Díky volumetrickému zobrazení jsme mohli vidět několik průhledných vrstev krystalu. Krystal roste od středu a po celou dobu má stejný směr růstu. Znázornění lze vidět na obrázku 3

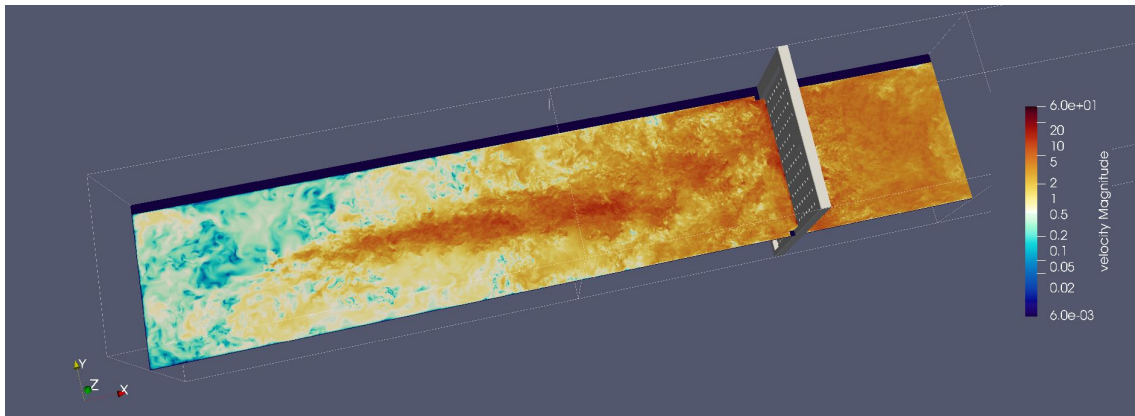


Obrázek 3: Volumetrické zobrazení

4.4 Distributor

Pomocí řezu jsme zobrazili proudění vzduchu skrz distributor [3], což je kovová perforovaná destička na dně spalovací komory fluidního kotle, který rovnoměrně rozdělil proudění

vzduchu a pomocí barevné škály jsme rozdělili rychlost vzduchu. Zobrazení můžeme vidět na obrázku 4.



Obrázek 4: Simulace turbulentního proudění skrz distributor

5 Závěr

Vyzkoušeli jsme si vizualizovat data, viděli jsme a pracovali jsme s místním superpočítačem a jen velmi povrchně jsme si vyzkoušeli práci na katedře matematiky FJFI.

Poděkování

Děkujeme vedoucímu našeho miniprojektu Pavlovi Strachotovi a celé FJFI konkrétně Vojtěchu Svobodovi, Karlu Kovářovi a Veronice Hendrichové za to, že jsme s nimi měli tu čest podniknout tuhle cestu plnou zážitků s názvem Týden vědy na Jaderce.

Reference

- [1] Ahrens, James, Geveci, Berk, Law, Charles, *ParaView: An End-User Tool for Large Data Visualization*, *Visualization Handbook*, Elsevier, 2005, ISBN-13: 978-0123875822.
- [2] P. Strachota, A. Wodecki *Focusing the latent heat release in 3D phase field simulations of dendritic crystal growth*, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 29 (2021), 065009.
- [3] M. Beneš et al. *Experimental and Numerical Investigation of Air Flow through the Distributor Plate in a Laboratory-Scale Model of a Bubbling Fluidized Bed Boiler*, to appear in *Japan J. Industrial Appl. Math.* (2022).

Svět podivných jader

L. Jan*, J. Kutáč**, D. Trnková***, J. Vlček****

*Gymnázium Velké Meziříčí,

**Gymnázium Jiřího z Poděbrad, Poděbrady,

***Gymnázium Nad Štolou, Praha 7,

****Masarykovo gymnázium Příbor

Abstrakt

Naším hlavním tématem miniprojektu jsou částice ze zvláště podivného světa, které formují náš vesmír. Nespočetné množství jejich variací dává možnost vzniku i těch nejméně pravděpodobných věcí.

Od objevu elektronů, přes detekci kosmického záření, až po objevy podivných částic se oblast lidského chápání rozvinula jako plachty Galeony na širém moři vědy. Kosmické záření nám bylo větrem a my se chopili šance něco nového objevit. Stejně tak jako španělští conquistadoři jsme použili své nejlepší výdobytky doby.

Zkoumali jsme interakce mezi podivnými částicemi. Rozčlenili jsme je do různých tříd a druhů, které by je charakterizovaly. Objevili jsme hyperjádra, která obsahují nejen nukleony, ale i hyperony. Použili jsme fotoprodukcii pro zkoumání spektra baryonových rezonancí a určení jejich základních vlastností.

1 Úvod

Objevování jednotlivých částic přináší do obyčejného života nové poznání světa. Po objevu elektronů, jako první elementární částice, nastal průlom ve vědě. J. J. Thompson [1] přišel s novým modelem atomu inspirovaného pudinkem, v němž jsou elektrony a protony smíchány dohromady a vytváří tak celkový neutrální náboj jádra.

Během několika dalších let byly objevovány další částice, nejčastěji v kosmickém záření. Toto záření bylo po velmi dlouhou dobu jediným zdrojem částic, jež měly vyšší energie než částice získávané z radioaktivních rozpadů. Částice kosmického záření dosahují energií až 10^{20} eV, byť s malou četností.

Za hranicemi atmosféry Země pozorujeme primární kosmické záření, které je tvořeno protony, deuterony, alfa částicemi, elektron-pozitronovými páry a jádry lehkých prvků. Jeho absorpcí v zemské atmosféře vzniká sprška sekundárních částic, která se skládá z měkké (nízkoenergetické protony, piony, elektromagnetická sprška) a pronikavé složky (vysokoenergetické miony, jaderná aktivní složka). Projevuje se šířkový efekt, kdy při přibližování k zemským pólům stoupá intenzita záření. Dále se uplatňuje východo-západní anomálie, takže záření, které přichází ze západního směru je intenzivnější než záření z východního směru. K detekci kosmického záření slouží mlžné komory, fotografické emulze a bublinové komory.

Existují čtyři fundamentální interakce: gravitační interakce, elektromagnetické interakce a silné a slabé interakce, které působí v okolí atomového jádra. Silná interakce působí

na nukleony v jádře atomu a drží pohromadě kvarky v nukleonech, je zprostředkována pomocí gluonů.

Některé z detekovaných částic kosmického záření měly zvláštní vlastnosti a začaly se označovat jako podivné částice. Tato práce si klade za cíl objasnit čtenáři vlastnosti těchto netradičních látek. S pomocí Feynmanových diagramů zkoumá proces a pravděpodobnost jejich vzniku a vysvětluje výrazné odchylky při měření vznikající zanedbáním určitých příspěvků v reakcích.

2 Teorie

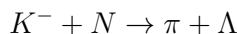
Základní stavební jednotky našeho světa jde rozdělit do dvou kategorií. Fermiony jsou nositeli hmoty, zatímco bosony zprostředkovávají jednotlivé síly. Gluony reprezentující silnou interakci drží dohromady kvarky a vznikají tak větší částice - hadrony.

Hadrony se dále dělí na baryony (tři kvarky) a mezony (dva kvarky). U každého kvarku lze definovat jeho vůni. Vůně jednotlivých kvarků v hadronu nám dá jeho specifické vlastnosti jako náboj či hmotu. Například proton se skládá z dvou kvarků s vůní nahoru (up) a jednoho z vůní dolů (down) $p = \{u, u, d\}$. Naopak v neutronu se nachází dva down kvarky a jeden up kvark $n = \{u, d, d\}$. Kombinací protonů a neutronů (souhrně označovaných jako nukleony) vzniká jádro. Kromě vůně lze u kvarků definovat i barvu, přičemž kombinace barev v hadronu se vždy vyruší.

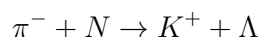
Hyperony nám vznikají výměnou jednoho z kvarků hadronu za kvark s podivnou vůní (strange) $\Lambda = \{u, d, s\}$. Nachází-li se v jádře alespoň jeden hyperon, dostáváme tzv. hyperjádru. Kolik hyperonů se v jádře nachází, udává veličina podivnost značená písmenem S . Hyperjádru Λ zapíšeme jako ${}^A_Z\Lambda$ kde Z je počet protonů a A celkový počet hadronů. Tím, že se hyperony a nukleony v podivnosti liší, nevztahuje se na hyperon v jádře Pauliho vylučovací princip a může tak nabývat zdánlivě stejného stavu jako jiný nukleon.

Na částicové bázi probíhá několik typů reakcí, ve kterých podivnost figuruje.

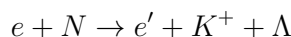
- Výměna podivnosti



- Vytvoření podivnosti



- Elektromagnetická produkce podivnosti

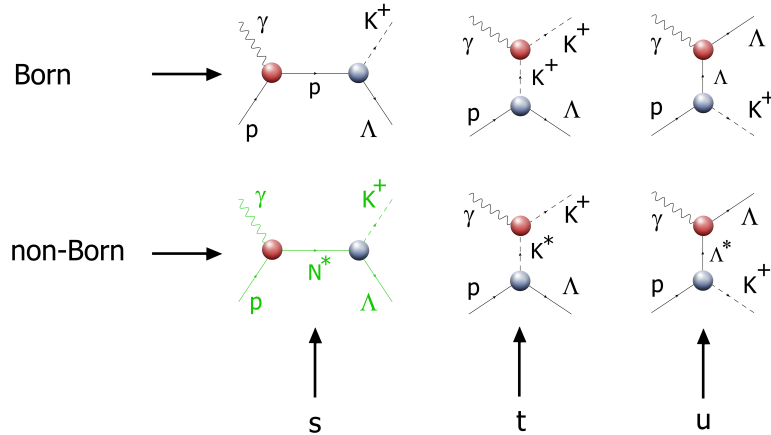


$$K^- = \{\bar{u}, s\}, K^+ = \{\bar{s}, u\}, N = \{d, d, u\}, \pi^- = \{\bar{u}, d\}, \Lambda = \{s, d, u\}$$

Pravděpodobnost, že k dané reakci dojde se nazývá účinný průřez a značí se písmenem σ .

3 Isobar model

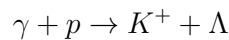
Při reakcích dochází ke vzniku virtuálních neboli výměnných částic. Tyto částice představují hadrony v základních či excitovaných stavech (rezonance). Průběh reakce můžeme reprezentovat pomocí Feynmanových diagramů, dokážeme tak znázornit všechny příspěvky jednotlivých virtuálních částic, přičemž každý příspěvek patří do jednoho ze tří topologicky



Obrázek 1: Feynmanovy diagramy přispívající k procesu.

odlišných kanálů s , t nebo u . Je-li hadron v základním stavu, daný diagram nazýváme bornovský, jeho protiklad v excitovaném stavu nese označení non-bornovský. Speciální postavení zastává příspěvek od excitovaného nukleonu – tuto část příspěvku označujeme jako rezonanční. Rezananční část jako jediná vytváří struktury v účinném průřezu a výrazně tak ovlivňuje pravděpodobnost proběhnutí reakce.

V našem experimentu jsme zkoumali speciální typ elektromagnetické produkce podivnosti kdy proton p přijímá foton γ , tzv. fotoprodukcí kaonu K^+ a Λ hyperonu.



Obrázek 1 zobrazuje všechny přispívající Feynmanovy diagramy. Horní řada zobrazuje diagramy s výměnou protonu, kaonu a Λ hyperonu, přispívající do pozadí. Dolní řada shrnuje diagramy s výměnou nukleonových, kaonových a hyperonových rezonancí.

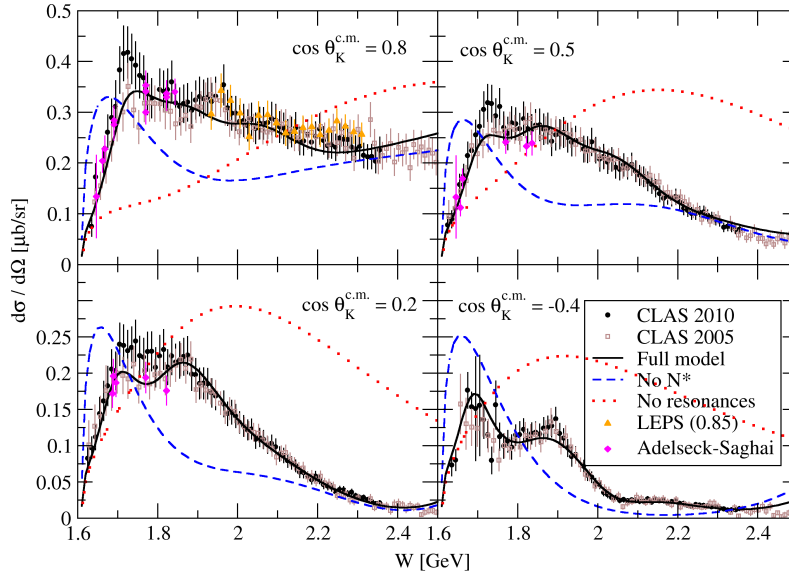
4 Diskuze výsledků

V rámci tohoto projektu jsme počítali účinný průřez fotoprodukce podivnosti, použili jsme Iso-bar model [2] a diskutujeme jednotlivé části. Výsledky těchto výpočtů jsou vyobrazeny na obr. 2. Výpočet s plným modelem vystihuje data, přičemž nukleonové rezonance vytváří výrazná maxima. Vynecháním nukleonových rezonancí dojde k poklesu účinného průřezu a zároveň účinný průřez ztratí rezonanční strukturu. Výpočtem bez všech rezonancí, tj. zahrnutím pouze pozadí, účinný průřez nabyde úplně jiného tvaru – nad prahem reakce dochází k poklesu, naopak na vyšších energiích pozorujeme nárůst.

Cílem této diskuze je dokázat, že pro výpočet účinného průřezu je nutné brát v úvahu všechny Feynmanovy diagramy pro daný proces. Zanedbáním určitých diagramů dochází k výsledkům, které se neslučují s experimenty.

5 Shrnutí

V našem miniprojektu jsme se zabývali fyzikou atomového jádra, hyperjádery a výpočty produkce hyperjader. Jaderná fyzika poznává struktury a charakteristiky všech energetických stavů jádra, pravděpodobnosti přechodů jádra do jiného stavu, rozpadů radioak-



Obrázek 2: Grafické znázornění účinného průřezu v závislosti na energii pro několik kaonových úhlů. Zobrazujeme výpočet s plným modelem (plná čára), s modelem bez nukleonových rezonancí (čárkovaná čára) a s modelem bez všech rezonancí (tečkovaná čára).

tivních jader, charakteristiku emitovaných částic, poznání účinných průřezů a charakter interakce jádra s ostatními jádry a dalšími elementárními částicemi. Hyperon Λ se odlišuje od ostatních baryonů v jádře svou nenulovou podivností, a není tak blokován Pauliho principem – může se tedy vyskytnout ve všech stavech, které jsou již zaplněné nukleony. Poznávali jsme záchyt hyperonu v jádře, věnovali jsme se jeho produkci a počítali jsme pravděpodobnost jeho vzniku. Zvláště jsme se zabývali teoretickým výpočtem příspěvku jednoho Feynmanova diagramu a numerickým výpočtem účinného průřezu.

Poděkování

Zejména bychom chtěli poděkovat ÚJF AV ČR v Řeži a Ing. Daliboru Skoupilovi, Ph.D. za veškerou pomoc a věnovaný čas. Dále bychom rádi poděkovali FJFI ČVUT v Praze a organizátorům Týdne vědy na Jaderce za příležitost se účastnit této akce.

Reference

- [1] J. J. Thomson, Phil. Mag. **7**, 237(1904).
- [2] D. Skoupil, P. Bydžovský, Phys. Rev. C **97**, 025202 (2018)

Využití kvantové mechaniky v kryptografii

Autoři (J. Štaffa*, J. Macíček**, P. Pazdziora***)

Instituce, adresy (*Křesťanské gymnázium, **Gymnázium Nový Jičín, ***Masarykovo gymnázium Příbor)

E-mail(jstaffa@janstaffa.cz)

Abstrakt:

Tento příspěvek pojednává o tom, jak ochránit naše data před kvantovými počítači, které dokáží snadno prolomit dnešní kryptografické způsoby. Dokázali jsme přenést informaci prostorem pomocí úpravy polarizace fotonu a změřili jsme pravděpodobnost, že foton dorazí na druhou stranu. Může se tento způsob kryptografie stát alternativou k aktuálním způsobům, jako je RSA?

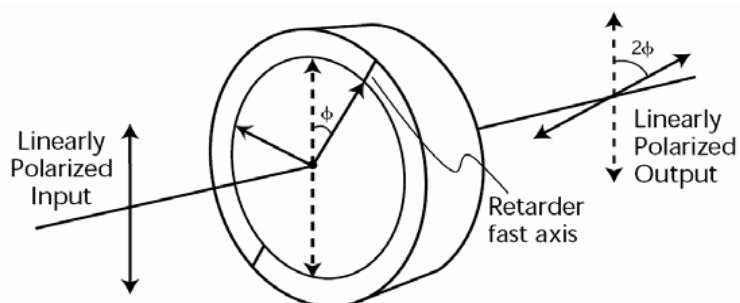
1 Úvod

Aktuální způsoby kryptografie závisí na principu dvou klíčů - klíče osobního a veřejného. Tyto klíče jsou matematicky spojené například pomocí faktorizace obrovských čísel. Toto spojení umožňuje odesílateli uživateli zprávu zakódovat veřejným klíčem přijímačícího uživatele, pouze ten tuto zprávu dokáže opět rozkódovat svým osobním klíčem. Pro dnešní počítače je prolomení takovéto šifry velice náročné. Pro kvantový počítač je to však mnohem snazší. Jak se to dá řešit? Proti kvantovému počítači použijeme jeho vlastní zbraň - kvantovou fyziku.

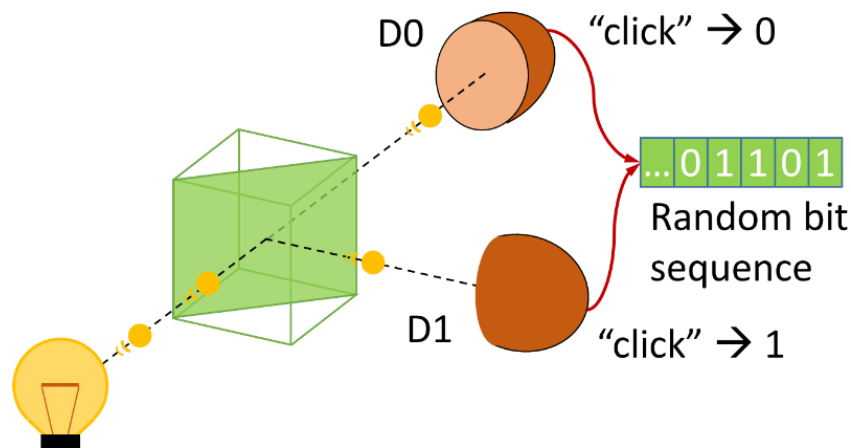
2 Základní principy

Quantum key distribution (QKD) plně závisí na schopnosti generace opravdu náhodných bitů pomocí přirozené náhodnosti kvantové fyziky.

Pokud polarizaci fotonu (směr vlnění) vlnovou destičkou otočíme přesně o $\pm 45^\circ$, tento foton po nárazu na beam splitter - součástku, která propustí foton polarizovaný jedním směrem, ale fotony kolmo polarizované na tento směr odráží - má v perfektním případě šanci přesně 50%, že projde rovně a přesně 50%, že se odráží. Toto můžeme změřit dvěma detektory, které zaznamenají zásah částice. Podle toho, který detektor zaznamenal zásah můžeme následně vybrat hodnotu tohoto bitu, která bude opravdu náhodná.



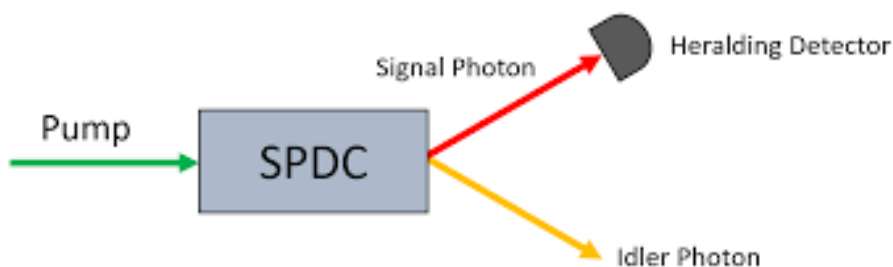
Obrázek 1: Vlnová destička měnící polarizaci světla



Obrázek 2: Generace náhodného bitu pomocí beam splitteru (kostka uprostřed)

Dalším zásadním předpokladem pro QKD je schopnost filtrovat fotony s různou polarizací. K tomu se používá polarizátor - součástka, vypadající jako destička s velmi drobnými výřezy v jednom směru, která propouští fotony pouze tímto směrem. Pokud polarizátor natočíme ve stejném směru, jako je polarizace letícího fotonu, propustí jej vždy, pokud polarizátor natočíme kolmo ke směru polarizace letícího fotonu, kompletně jej zablokuje, pokud jej natočíme pod libovolným jiným úhlem, polarizátor propustí tento foton s nižší pravděpodobností v závislosti na rozdílu tohoto úhlu a kolmého úhlu na směr polarizace fotonu.

Uvolnit velké množství fotonů dokážeme celkem běžně, i domácí lampa uvolní obrovská množství, ale získat konsistentně pouze jeden foton je velice náročné a právě na tom závisí zabezpečení QKD. Pro naše potřeby stačí získat fotonový pár, což je trochu jednodušší. K tomuto procesu se dají použít některé krystaly, například Boritan barnatý, které dokáží oddělit páry fotonů z paprsku světla. Jenže jak můžeme s jistotou vědět, že jsme vytvořili právě jeden foton? Můžeme využít toho, že získáváme vždy pár fotonů a jeden z nich změřit. V perfektním případě, kde není žádná interference, pokud naměříme zásah na jednom detektoru, víme s jistotou, že druhý foton také vyletěl. Zdroj fotonových párů může polarizovat fotony v libovolném směru, ale tento směr se nesmí měnit v průběhu komunikace.



Obrázek 3: Zdroj fotonového páru

3 Protokol BB84

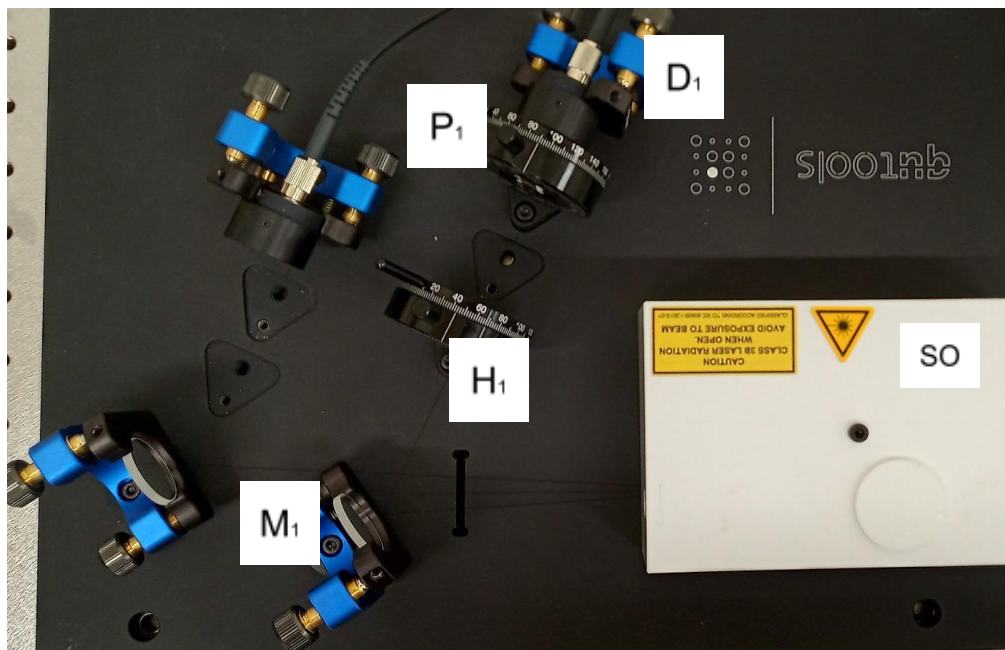
Cílem tohoto protokolu je vytvoření stejného symetrického klíče na obou stranách komunikace a to tak, že jeho prolomení nebude možné ani pro kvantový počítač. Tento klíč může následně být použit k zašifrování zprávy jednou z mnoha šifer například Vernamovou šifrou. Pro maximální zabezpečení musí být vygenerovaný klíč alespoň tak dlouhý, jako je tajná zpráva.

Samotná distribuce klíče je prováděna po jednotlivých bitech výsledného klíče. Pro přenesení každého bitu musí Alice (vysílací strana) náhodně, způsobem zmíněným výše, vygenerovat bit a a bázi b , která určuje, zda upraví foton do ortogonální či kolmé roviny. Kombinací a a b získá jednu ze čtyř možných polarizací: Horizontální, Vertikální, nebo $\pm 45^\circ$ ve které vyšle svůj foton získaný ze zdroje fotonových párů. Následně Bob (přijímací strana) také náhodně vybere jednu z bází a přichází foton na ni změnit. Pokud Bob vybere stejnou bázi, jako Alice, vynulují se a získá tedy Alicinu hodnotu a . Obě strany si zapamatují jakou bázi použili, Alice si dále zapamatuje svůj bit a a Bob si zapamatuje, co v jeho vybrané bázi naměřil. Poté, co je přenesena celá sekvence bitů klíče, obě strany zveřejní všechny své náhodně vybrané báze ve veřejném kanálu a porovnají svoji sekvenci se sekvencí druhé strany. Ze všech zapsaných hodnot vyberou pouze ty, u kterých zvolili stejnou bázi. Pokud se shodli alespoň na předem daném procentu bitů (mělo by jich být alespoň tolik, jako je dlouhá zpráva, kterou chtějí zakódovat). Mohou tuto sekvenci použít jako klíč a zašifrovat zprávu. Tato zpráva už může být poslána veřejným kanálem a je prakticky neprolomitelná.

Co se stane, pokud někdo uprostřed poslouchá? Protokol BB84 toto velice elegantně řeší. Eva (osoba uprostřed) si může také vybrat svou bázi a přečíst bit stejně jako Bob, jenže aby jí to k něčemu bylo, musí něco poslat Bobovi aby mohla být distribuce klíče provedena. Jenže jediné, co Eva dokáže poslat je to, co změřila, což může, ale nemusí být správně - má 50% šanci, že se trefí do stejné báze, jako Alice. Pokud tedy Eva uhodne všechny Aliciny báze, získá stejný klíč, jako Alice a Bob a dokáže tak prolomit šifru? Ano, ale šance, že se to stane je tak astronomicky malá, že to netvoří problém: pro délku klíče k je Evina šance $1 : 2^k$ tedy pro klíč o délce 128 je šance, že Eva uhodne klíč $1 : 3.4E38$.

4 Výsledky a diskuze

Cílem našeho výzkumu bylo změřit hodnoty počtu zásahů na detektoru při různých konfiguracích polarizátorů a vlnové destičky. Kvůli vysokému množství dat je v tabulce 1 pouze část všech měření - Bobova konfigurace se nemění. V tabulce 2 jsou vždy uvedeny minima a maxima ze všech měření. Maximální hodnota naměřená s rozdílem 0° byla 5000 nárazů/s.



Obrázek 4: Použitá aparatura

D1 = detektor nárazů, **P1** = polarizátor, **H1** = vlnová destička, **M1** = zrcadlo, **SO** = zdroj fotonových párů

Alice <i>a</i>	Alice <i>b</i>	Bob <i>p</i>	hodnota (nárazy/s)	pravděpodobnost	$\langle P_1 \rangle$ (deg)	$\langle H_1 \rangle$ (deg)
0	0	0	4900	98%	100°	5°
1	0	0	180	4.5%	100°	50°
0	1	0	2400	43%	100°	27.5°
1	1	0	2400	43%	100°	-17.5°

Tabulka 1: Část podrobných výsledků

rozdíl (deg)	rozmezí hodnot (nárazy/s)	pravděpodobnost
0°	4700 - 5000	94% - 100%
±45°	2000 - 2700	40% - 54%
90°	150 - 200	3% - 3.9%

Tabulka 2: Shrnutí naměřených hodnot

Z tabulek lze vyčíst, že čím víc se rozdíl v úhlu polarizace fotonu blíží k 90°, tím nižší je pravděpodobnost, že foton dorazí k bobovi, což je očekávaný výsledek, neboť jak jsme se již dozvěděli, pokud je směr polarizace kolmý na směr polarizátoru, foton je vždy zablokován.

5 Shrnutí

Quantum key distribution je velmi slibný způsob, jak vyřešit problém zabezpečení dat před kvantovými počítači. Naše výsledky ověřili a potvrdili bezpečnost tohoto způsobu. Dnes však ještě tato technologie není úplně připravená k plošnému používání. Myslíme si však, že je to cesta, po které se budeme jako lidstvo muset vydat.

Poděkování

Děkuji jménem celého našeho vědeckého týmu panu Aurélu Gábrisovi za vědecký podklad pro náš miniprojekt, panu Vojtěchu Svobodovi za pořádání týdne vědy a v neposlední řadě paní vrátně za přívětivost a poskytnutí vhodných podmínek pro práci.

Reference

- [1] QNRG. In: <https://qt.eu> [online]. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://qt.eu/app/uploads/2018/11/QNRG.png>
- [2] Photon splitter. In: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com> [online]. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRTzNBQSp9Qj-SictHm6fzSUKPSCMPcjKTPsw&usqp=CAU>

Radioimunoanalýza

Vítězslav Havlíček¹, Karolína Nejedlá², Pavel Savin³

¹*Gymnázium Velké Meziříčí, vita.havlicek1@seznam.cz*

²*Gymnázium Nad Kavalírkou, kkajanejedla@gmail.com*

³*Gymnázium Omská, pavelsavin100@gmail.com*

Abstrakt:

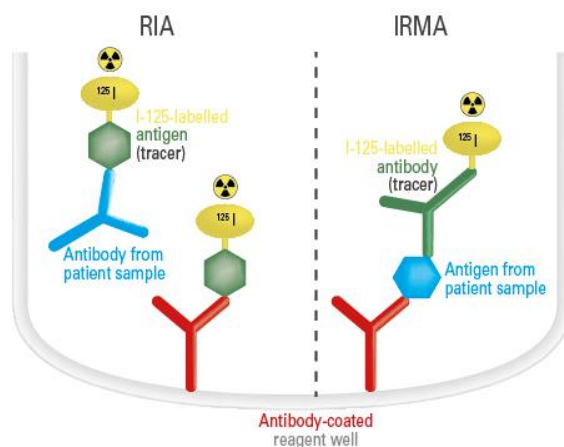
Prostřednictvím radioimunoanalýzy lze stanovit koncentraci různých hormonů a antigenů v krevním séru, mozkomíšním moku nebo moči. Tato práce se zabývá určením koncentrace prolaktinu v neznámém vzorku. Ke stanovení byla využita metoda IRMA, která je založena na využití značené a nezačené protilátky.

1 Úvod

Imunoradiometrické stanovení (IRMA) umožňuje stanovit koncentraci dané látky ve zjišťovaném vzorku. To poskytuje diagnostické prostředky ke zjištění fyziologických výchylek zejména v hormonální regulaci, které mohou doprovázet různě závažné patologické stavy. V následující práci jsme se zaměřili na stanovení koncentrace prolaktinu, hormonu stimulujícího laktaci a vývoj mléčné žlázy. Intenzita jeho sekrece běžně vzrůstá při ovulaci, těhotenství, kojení či vystavení stresu.

Zvýšená hladina prolaktinu také provází některé chorobné stavy, mezi něž patří vytvoření hypofyzálního adenomu (produkujícího prolaktin), hypotyreózu či renální nedostatečnost. Naopak nedostatkem prolaktinu se projevuje poporodní Sheehanův syndrom, v některých případech adenektomie. Nejčastější diagnostické uplatnění má při určení reprodukčních problémů žen.

Analýza metodou IRMA je založena na použití dvou protilátek vůči stanovované látce X. První protilátka A je nezačená a je nehybně zakotvena na stěně zkumavky, druhá protilátka je radioaktivně značená A*. Vzorek prochází dvěma hlavními fázemi. V první fázi je převeden do zkumavky a dochází k navázání stanovované látky na protilátku na stěně zkumavky. Ve druhé fázi dochází k přidání druhé protilátky nesoucí radionuklid, která je také schopna vazby ke zkoumané látce. Díky tomu jsou všechny molekuly stanovované látky pevně navázány ke stěně nádoby a označené radionuklidem, a vzniká tzv. sandwich A-X-A*. Po odstranění přebytečného roztoku je možné změřit aktivitu vzorku. Platí přímá úměra: vyšší koncentrace stanovované látky povede k vyšší naměřené aktivitě vzorku.



Obr. 1: Schematické srovnání metod RIA a IRMA.¹

Druhou často využívanou metodou je radioimunoanalýza (RIA). Na rozdíl od IRMA je při ní využívána pouze jedna specifická protilátka A, a dále máme stanovovanou látku X a radioaktivně značenou látku X*. V roztoku vzniká specifický komplex A-X*. Následně je do směsi přidána stanovovaná látka X, která díky identické rovnovážné konstantě s označenou látkou X* nahradí část jejích molekul v komplexu, a vzniká komplex A-X. U RIA metody platí nepřímá úměra: vyšší koncentrace stanovované látky X povede k nižší naměřené aktivitě vzorku. Výhodou je nutnost pouze jedné specifické protilátky.

2 Materiály a pomůcky

- Prolactin IRMA kit (Beckman Coulter)
 - 11 zkumavek potažených monoklonální protilátkou proti prolaktinu
 - monoklonální protilátka proti prolaktinu, značená ¹²⁵I
 - kalibrátory: 5 lahviček s prolaktinem, lahvička nulového kalibrátoru
 - lahvička kontrolního vzorku
 - promývací roztok
- automatické pipety, parafilm, orbitální a horizontální třepačka, kapátka, studnový NaI(Tl) detektor, obvyklé laboratorní vybavení

3 Metodika

Do stojánku jsme umístili dvě zkumavky označené T₁ a T₂, šest zkumavek pro vytvoření kalibrační přímky (označeno 0-5) a tři zkumavky pro neznámý vzorek (C₁, C₂, C₃).

Dále jsme do zkumavek 0-5 napipetovali 50 μl příslušných standardů a do zkumavek C₁, C₂, C₃ 50 μl neznámého vzorku. Koncentrace analytu v jednotlivých zkumavkách je uvedena v Tab. 1.

Tab. 1: Koncentrace prolaktinu ve zkumavkách

zkumavka	T ₁	T ₂	0	1	2	3	4	5	C ₁	C ₂	C ₃
koncentrace prolaktinu [ng/ml]	0,0	0,0	0,0	1,8	9,7	43,7	87,5	175	?	?	?

Do všech zkumavek jsme napipetovali 500 µl radioindikátoru a uzavřeli parafilmem. Následně jsme zkumavky promíchali na vibrační míchače a umístili na třepačku, kde jsme zkumavky nechali inkubovat jednu hodinu.

Po ukončení inkubace jsme kapátkem odsáli ze všech zkumavek (kromě T₁ a T₂) kapalinu.

Do stejných zkumavek jsme přidali zhruba 2 ml promývacího roztoku a jejich obsah následně opět odsáli. Promytí jsme opakovali ještě jednou.

Prostřednictvím studnového NaI(Tl) detektoru jsme změřili aktivitu zkumavek. Tříkrát jsme změřili aktivitu pozadí a poté i aktivitu všech vzorků.

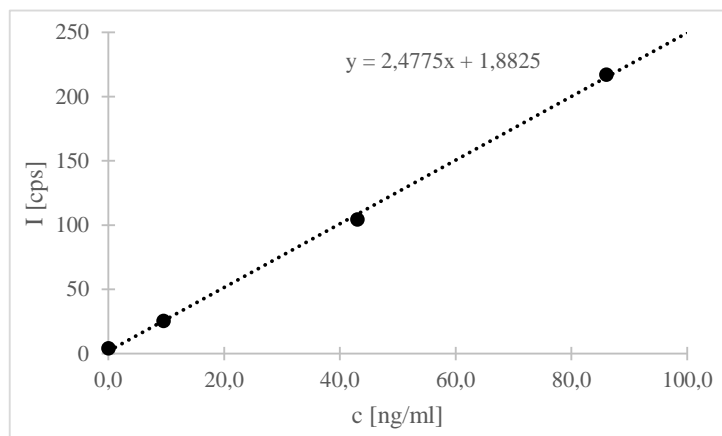
4 Výsledky a diskuse

V Tab. 2 jsou uvedeny hodnoty naměřených četností impulsů ze všech tří měření (I₁, I₂, I₃). I_p znázorňuje jejich průměrnou hodnotu. I je rozdíl I_p a průměrné hodnoty naměřených četností impulsů pozadí (52 cps).

Tab. 2: Naměřené a vypočítané hodnoty četnosti impulsů v jednotlivých zkumavkách.

zkumavka	I ₁ [cps]	I ₂ [cps]	I ₃ [cps]	I _p [cps]	I [cps]
0	56	57	54	56	4
1	88	87	85	87	35
2	79	76	76	77	25
3	157	155	156	156	104
4	264	271	271	269	217
5	391	388	396	392	340
C ₁	66	69	70	68	17
C ₂	68	72	67	69	17
C ₃	66	68	72	69	17
T ₁	1233	1229	1234	1232	1180
T ₂	1220	1227	1238	1228	1177

Z naměřených hodnot 0, 2, 3 a 4 jsme vypočetli kalibrační křivku (Graf 1), hodnoty 1 a 5 jsme vyřadili pro jejich odlehlost. Tuto křivku jsme použili k výpočtu koncentrace prolaktinu ve zkoumaném vzorku.



Graf 1: Znárodnění kalibrační křivky (závislost četnosti impulsů vzorku na koncentraci prolaktinu).

Po výpočet koncentrace ve zkoumaném vzorku jsme využili průměrnou hodnotu aktivit ($I = 17$) z C1–C3. Úpravou rovnice kalibrační přímky jsme získali následující vztah:

$$c = \frac{17 - 1,883}{2,478}$$

Koncentraci prolaktinu ve vzorku jsme stanovili na 6,1 ng/ml. Tato hodnota se blíží referenční koncentraci $4,79 \pm 1,2$ ng/ml.

5 Shrnutí

V rámci miniprojektu Radioimunoanalýza jsme se seznámili s radioimunologickými metodami. Metodou IRMA jsme určili koncentraci prolaktinu ve zkoumaném vzorku (6,1 ng/ml) pomocí naměřené četnosti impulsů ve vzorcích o známé koncentraci a sestavení kalibrační křivky. Námi provedené měření má relativně malou odchylku od referenční hodnoty, a proto jej můžeme považovat za vypovídající.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat organizačnímu týmu Týdne vědy na FJFI ČVUT za realizaci této akce a za možnost si vyzkoušet vědeckou práci. Velké díky patří také garantům našeho miniprojektu, Ing. Lukáši Ondrákovi a Ing. Marii Skálové, za trpělivost a cenné rady.

Reference

- [1] Euroimmun. *Radioimmunoassays* / EUROIMMUN AG [on-line]. c2022 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <<https://www.euroimmun.com/products/techniques/radioimmunoassays/>>.
- [2] Návod k laboratorní úloze „Radioimunologické metody“.

Měření radiace

Adam Štrajt, Richard Kapralčík, Martin Zuzek, Matyáš Beran

FJFI, Katedra jaderných reaktorů, V Holešovičkách 747

adam.strajt@seznam.cz, richard.kapralcik@gmail.com,

martin.zuzek@seznam.cz, beran.matyas@gymhu.cz

Abstrakt:

Změřili jsme dolet alfa částic a průnik gama částic různými materiály, za účelem ověření hodnot a sebevzdělání.

1 Úvod

Radioaktivita je děj, při kterém prvek samovolně vyzařuje neviditelné záření a část jádra se emituje. Rozlišujeme 4 typy radioaktivního záření: alfa, beta, gama a proud neutronů. Alfa záření jsou atomy helia s nízkou pronikavostí a doletem pouze 4 cm. Beta záření jsou elektrony, nebo pozitrony a gama fotony, toto záření má největší pronikavost.

Úkoly:

1. Měření doletu alfa částic
2. Měření pronikavosti gama záření s různými materiály

2 Měření doletu alfa částic

Pomůcky a přístroje:

-alfa zářič ^{241}Am

-detektor Si polovodič

-mnohokanálový analyzátor PHYWE s ovládacím programem

-černá látka

Postup:

Zářič alfa částic jsme nastavili na vzdálenost 22,5 mm (hodnoty počítány i se zasazením detektoru) a zářič přikryli černou látkou, aby se zamezilo přístupu světla, protože by došlo k rušení přesného měření. Poté jsme po dobu 200s měřili četnost detekovaných částic. Po ukončení měření jsme zjistili obsah plochy píku, která odpovídá četnosti zachycených částic. Poté jsme vypočítali korekci četnosti na prostorový úhle pod kterým detektor „vidí“ zdroj,

podle následujícího vzorce:
$$N_{kor} = \frac{4\pi(s+d)^2}{P} N$$

Vztah $s + d$ vyjadřuje vzdálenost detektoru od zářiče, d zde vyjadřuje vzdálenost detektoru a s zapuštění detektoru. P vyjadřuje plochu detektoru. Veškeré hodnoty jsme zaznamenali do Excelové tabulky, zvýšili jsme vzdálenost d o 5 mm a celéměření opakovali. Vzdálenost d jsme postupně začali oddalovat o menší vzdálenost, aby bylo měření přesnější. Měření jsme ukončili v celkové vzdálenosti 47 mm, když už nebyly detekovány žádné částice.

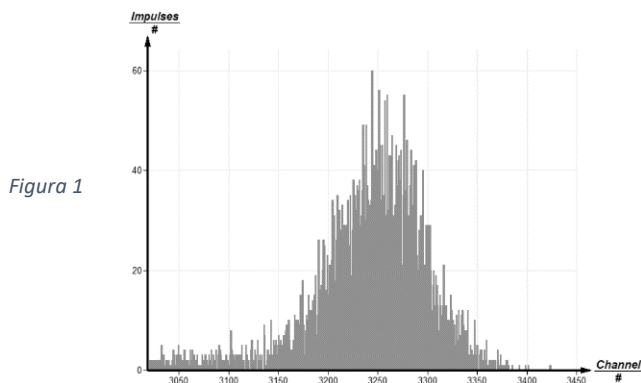


Figura 1

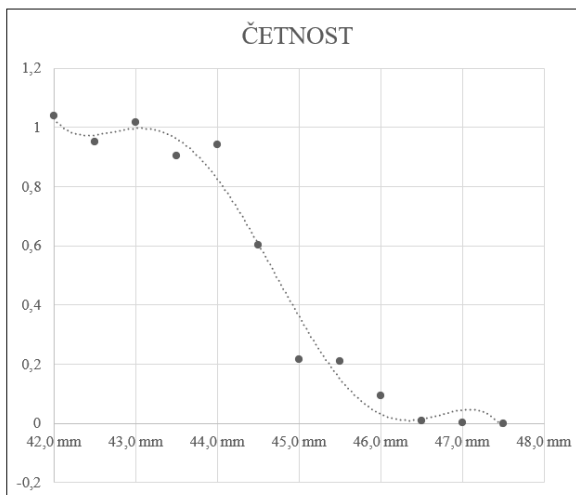
Ve figuře 1 je graf, ze kterého jsme vypočítali integrál vypovídající o četnosti částic jednoho z měření.

Výsledky:

Graf z figury 2 ukazuje závislost vzdálenosti detektoru od zdroje alfa záření a poměru nejnižší naměřené četnosti částic s naměřenou četností.

vzdálenost	četnost	poměr
22,5 mm	4767053	1,000000
27,5 mm	4889457	1,025677
32,5 mm	4804909	1,007941
35,5 mm	4933153	1,034843
37,5 mm	4927392	1,033635
38,5 mm	4845995	1,016560
39,5 mm	4636980	0,972714
40,5 mm	4778546	1,002411
41,5 mm	4757728	0,998044
42,0 mm	4943258	1,036963
42,5 mm	4524469	0,949113
43,0 mm	4848416	1,017068
43,5 mm	4311874	0,904516
44,0 mm	4484552	0,940739
44,5 mm	2861724	0,600313
45,0 mm	1030599	0,216192
45,5 mm	988590	0,207380
46,0 mm	443174	0,092966
46,5 mm	31700	0,006650
47,0 mm	4627	0,000971
47,5 mm	0	0,000000

Figura 2



Dolet alfa částic jsme odhadli na 44,5 mm a odpovídající energie alfa částic podle Geigerova vztahu je 5,81 MeV.

Diskuze:

V literatuře jsme našli hodnotu 5,485 MeV a 5,443 MeV. Ze srovnání vyplývá, že při měření muselo dojít k systematické chybě měření vzdálenosti o přibližně dva milimetry.

Shrnutí:

Alfa záření doletí ve vzduchu cca čtyři centimetry, než se začne velice rychle začne ztrácet energii.

3 Měření pronikavosti gama záření

Pomůcky a přístroje:

-destičky z Cu, Al, Pb, Fe o tloušťce 0.5-4 mm

-zářič ^{137}Cs

-scintilační detektor NaI(Tl)
 -mnohokanálový analyzátor DA310 s ovládacím programem

Postup:

Ve druhé úloze jsme měřili pronikavost gama záření skrz různé materiály, různé tloušťky. V tomto měření jsme použili zářič ¹³⁷Cs, který byl po dobu manipulace uzavřen v olověném kontejneru, dále jsme použili detektor Na(Tl), jímž jsme detekovali množství částic, které prošly testovaným materiálem, mezi těmito objekty se nacházelo místo, kde se daly pokládat malé destičky, tak aby stínily detektor před zářičem. První z řady měření, které jsme provedli bylo volné, tudíž bez materiálu který by záření blokoval. Po změření a zaznamenání četnosti prolých ionizujících fotonů jsme zastínili sebe i detektor olověným kontejnerem, v němž je zářič standartně uchováván. Po vložení materiálu, který jsme chtěli testovat jsme otevřeli kontejner a opět zaznamenaly množství proniklé radiace. Postupem času jsme přidávali destičky, po vačerpání naší zásoby destiček jednoho materiálu jsme přešli na jiný. Po získání všech hodnot sestavili graf, porovnávající efektivitu stínění použitých materiálů a změnu spojenou s zvyšující se tloušťkou.

Výsledky

Na grafech z figury 3 lze vidět závislost tloušťky daného materiálu a naturálního logaritmu poměru četnosti částic při volném průchodu a četnosti při dané tloušťce.

Figura 3

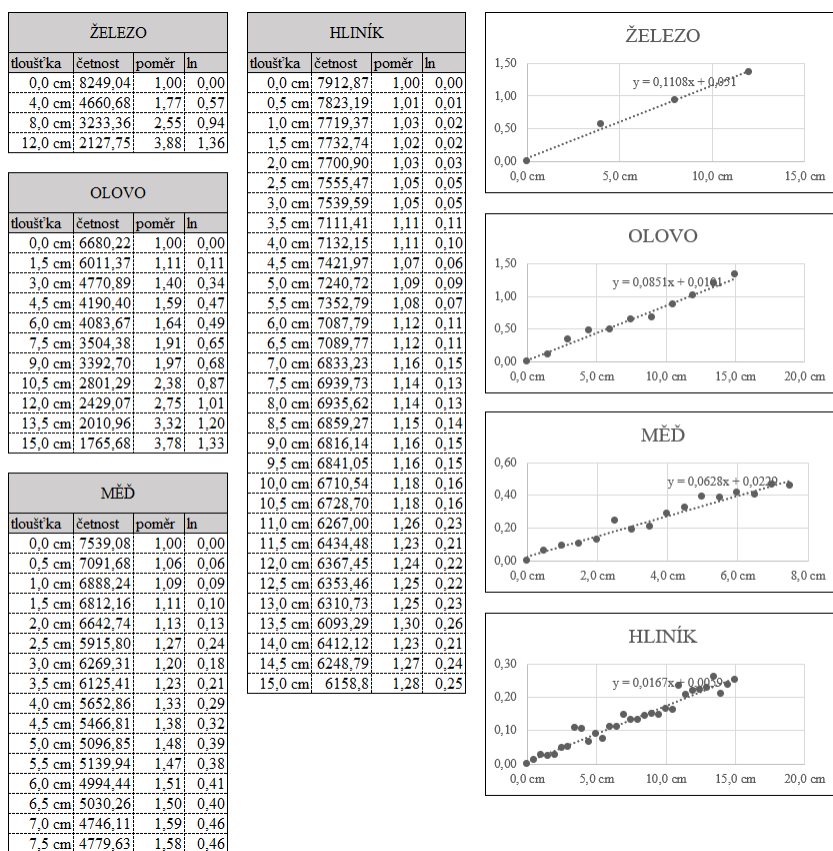


Figura 4

prvek	koeficient naměřen	koeficient z literatury
Fe	0,1108	0,0693
Pb	0,0851	0,1138
Cu	0,0628	0,0794
Al	0,0167	0,0487

V tabulce z figury 4 je porovnání vypočítaných koeficientů přímé úměrnosti z grafů figury 3 a hodnot zeslabovacího koeficientu z literatury^{I,II}.

Diskuze

Rozdíl hodnot námi naměřených a z literatury lze přičíst vlivu rozptýleného gama záření.

Shrnutí

Měřením jsme potvrdili, že kovy jako železo a olovo dokáží stínit gama záření lépe než například hliník a měď.

Poděkování

Děkujem Miloši Tichému, a celé katedře jaderných reaktorů na ČVUT a všem organizátorům týdnu vědy na jaderce.

Reference

I. X-Ray Mass Attenuation Coefficients
 NIST Standard Reference Database 126
 Last Update to Data Content: July 2004 | NISTIR 5632 | Version History | Disclaimer | DOI:
<https://dx.doi.org/10.18434/T4D01F>

Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest*

- II. [Am-241_tables.pdf \(nucleide.org\)](#)
- III. Prezentace Miloše Tichého [Detekce záření Radioaktivita \(cvut.cz\)](#)

Srovnání odolnosti válcovaného a cold spray Ti-6Al-4V vůči opakovanému ohybu

L. Antoži*, I. Smolíková**, B. Jindrová***, M. Císař****

*Gymnázium Alejová 1 v Košiciach, **Masarykovo Gymnázium, Příbor,***Gymnázium, Praha 5, Na Zatlance 11, ****Gymnázium Strakonice

l.antozi@galeje.sk, irena.smolikova@gypri.cz,
bara.jindrov@gmail.com, cisar.miroslav04@gmail.com

Abstrakt:

Tato práce zkoumá rozdíl v únavovém porušování dvou vzorků Ti-6Al-4V, přičemž jeden byl zhotoven klasickou technikou - válcováním, a druhý technikou cold spray. V práci jsou ukázány příklady únavového lomu z reálného života, které byly motivací pro tuto práci a je vysvětlena základní teorie únavy materiálů. Následně je popsán experiment, který byl zhotoven s pomocí elektromagnetického zkušebního stroje, s cílem najít rozdíl mezi zmíněnými vzorky zkoumaných materiálů, ze kterých je v obou případech získána růstová křivka únavové trhliny a 3D vizualizace lomových ploch. Z výsledků bylo vyvozeno, že vzorek vytvořen klasickou metodou je houževnatější, zjištěný rozdíl však může být akceptovatelný pro provádění urgentních oprav.

1 Úvod

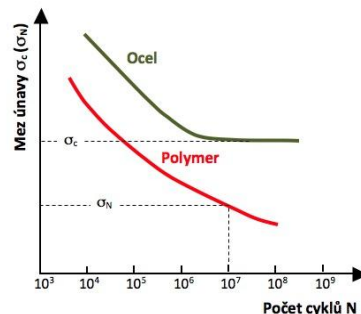
Pád mostu v Tacomě, železniční nehoda v Eschede či ulomená lopatka motoru Boeingu 737. Smrtelné nehody v dopravním průmyslu jsou značným problémem již po staletí. Mnohé z nich je však možné vysvětlit pomocí fyziky, a s pomocí vědeckého výzkumu jim předejít. Často je totiž na vině únava materiálu. V naší práci nejprve vysvětlujeme teorii únavy materiálů a metody používané pro testování jejich odolnosti. V praktické části práce představujeme náš experiment zaměřený na zkoumání růstu únavových trhlin a mikromorfologie vzniklých ploch dvou vzorků z titanové slitiny porušených při rezonanční únavové zkoušce. Závěrečná část se zabývá rozdílem mezi obyčejným titanovým vzorkem a titanovým vzorkem vytvořeným pomocí techniky cold spray.



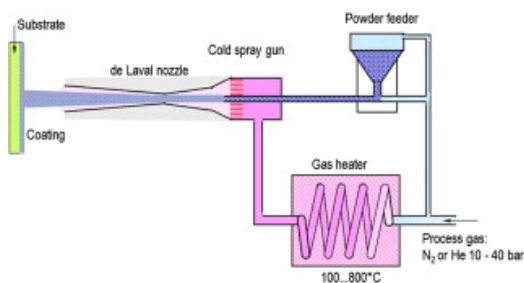
obr. 1: Železniční nehoda v Eschede, převzato z [1]

2 Teoretická část - únava materiálů

Vlastnosti materiálů jsou proměnlivé v závislosti na vnějších vlivech. V situacích, kdy je materiál opakovaně ohýbán nebo se na něj působí silou s konstantní amplitudou, dochází k jeho postupné únavě. Ta se projevuje vznikem postupně se rozrůstající trhliny, která zmenšuje průřez materiálu. To vede ke zvýšení na něj působícího napětí a následnému lomu. Pro zkoušení únavy materiálu jsou využívány různé metody. Jednou z možností přímá aplikace síly, pomocí mechanického nebo hydraulického budiče. Dalším způsobem testování materiálů je tzv. rezonanční metoda, během ní, je materiál buzen na jeho rezonanční frekvenci, energii je tedy možné dodávat postupně pomocí malé síly s vhodnou frekvencí. Tuto metodu jsme využili i v našem experimentu. Životnost materiálu v závislosti na napětí, které na něj působí, se dá vyjádřit pomocí Wöhlerovy křivky (obr. 2).



obr. 2: Wöhlerova křivka, převzato z [4]

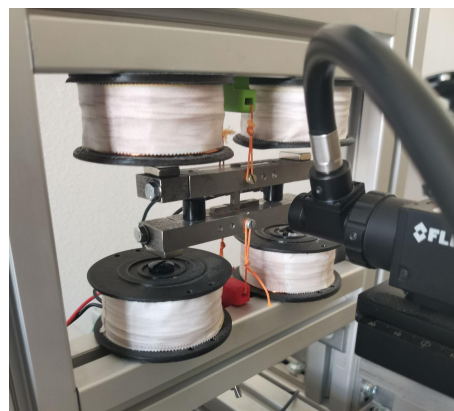


obr. 3: schéma techniky cold spray

Ke konci minulého století se v průmyslu začala aplikovat metoda zvaná cold spray, která využívá kinetického nanášení materiálu. Celá tato technika spočívá na principu nanášecí pistole, ve které se nejprve zahřeje lehký plyn, ke kterému je následně v chladící trysce přidáván prášek s požadovaným materiálem. Prášek dokáže dosáhnout rychlost až mach 3 a částice materiálu se tak při dopadu deformují a zahřívají, čímž se spojují v nástřik.

3 Experimentální část

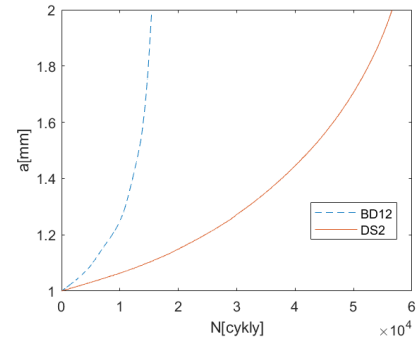
Náš experiment spočíval v komparaci dvou způsobů zpracování Ti-6Al-4V. Klasicky (válcováním) zpracovaný vzorek titanu byl porovnáván s titánem vytvořeným pomocí techniky cold spray. Po přípravě a vyříznutí vrubu byl vzorek vložen do elektromagnetického kmitátka, které funguje na stejném principu jako ladička. Po uvedení do chodu vysokorychlostní kamera, která je součástí zmiňovaného přístroje, začala na připojený monitor přenášet obraz rozšiřující se trhliny a analýza signálu kmitání soustavy vzorek-kotvy podávala informace o délce trhliny a počtu ukončených cyklů. Tyto informace byly vzápětí převedeny do podoby grafu udávajícího závislost délky



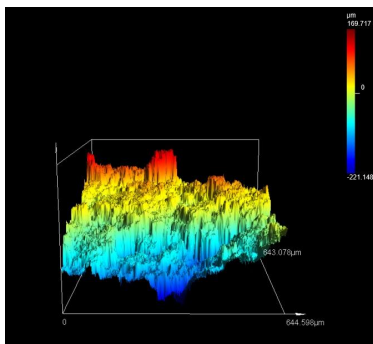
obr. 4: kmitátka

trhliny na počtu ukončených cyklů (viz. obr.5). Poté, co se trhlina rozšířila do předem stanovené délky, byl experiment lomu ukončen a aby nedošlo k poškození lomových ploch, byl vzorek dolomen ručně. Tento postup byl poté použit i pro druhý vzorek připravenou technologií CS.

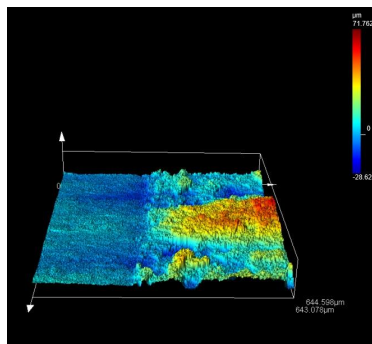
Druhou částí našeho experimentu bylo zkoumání lomových ploch za pomoci konfokálního mikroskopu. Na obrázcích 6a a 6b můžeme vidět grafické znázornění lomových ploch obou vzorků.



obr. 5: graf závislosti délky trhliny na počtu cyklů



obr. 6a: lomová plocha cold spray



obr. 6b: lomová plocha bez cold spraye

Ze zjištěných hodnot vychází výrazně rychlejší šíření trhliny u vzorku titanu vyrobeného pomocí techniky cold spray v porovnání se vzorkem titanu vyrobeného klasickou technikou. Na obrázcích z mikroskopu poté můžeme pozorovat odlišnou

strukturu lomu zkoumaných vzorků. U vzorku cold spray (obr.5a) vyšel ztateně nepravidelnější lom bez rozdílu mezi únavovým lomem a ručním dolomem. Lom tu totiž vzniká mezi částicemi, které díky metodě cold spray nedrží tak pevně při sobě. Na druhou stranu u vzorku vyrobeného klasickou technikou (obr.5b) měl lom jen lehké nerovnosti a přechod mezi únavovým lomem a ručním dolomem byl výrazný. V tomto případě prochází lom skrz částice a je proto pravidelnější a jeho šíření zabere více času.

4 Shrnutí

V naší práci jsme pomocí rezonanční metody zkoumání materiálů porovnali dva způsoby zpracování titanu - klasické a pomocí cold spraye. Po zhodnocení našich výsledků jsme dospěli ke zjištění, že titan vyrobený technikou cold spray se porušuje rychleji a má výrazně nepravidelnější strukturu lomu. Titan vytvořen klasickou technikou vydrží ohýbání déle, ovšem je často dražší. Výhodou metody cold spray tak zůstává její ekonomičnost a snadné tvoření složitých tvarů, přičemž ztrácí únavovou životnost ve zkoumaném režimu namáhání a pro pozorované délky trhlín.

Poděkování

Touto cestou bychom chtěli poděkovat Ing. Ondřeji Kováříkovi PhD., Katedra materiálů FJFI ČVUT a Ing. Kateřině Jirouškové, Katedra materiálů FJFI ČVUT za odbornou pomoc při naší práci a FJFI ČVUT za možnost zúčastnit se Týdnu vědy na Jaderce 2022.

Reference

- [1] Železniční nehoda v Eschede. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022, 24.2.2007 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_nehoda_v_Eschede
- [2] 5 Disasters Caused by Material Fatigue and What We Learned From Them. *Element: Materials and Product Testing, Inspection & Certification* [online]. c2022, 4.6.2022 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://www.element.com/nucleus/2016/5-disasters-caused-by-material-fatigue-and-what-we-learned-from-them>
- [3] JABŮREK, Václav. Za smrt pasažérky v Boeingu 737 může únava materiálu, z motoru se utrhlá lopatka. *IROZHLAS - spolehlivé a rychlé zprávy* [online]. Praha, c1997-2022, 18. duben 2018 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-svet/boeing-737-nehoda-rozbite-okenko-usa-spojene-staty-a-mericke-letecke-nestesti_1804181838_haf
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. Obecná Wöhlerova křivka pro ocel a polymer. In: *Polymery* [online]. Code Creator, 2016 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/79.jpg>

Měření rychlosti objektů pomocí laseru

M. Kaplánek, R. Magomadova, Š. Šípál

Kontakt: stepansipal@seznam.cz

Ústav fyziky plazmatu, laboratoř PALS

Abstrakt

Tato práce rozebírá způsob a využití laserů při měření rychlosti pohybujících se těles. Dále vysvětluje podstatu Dopplerova jevu a způsob sestavení optické aparatury.

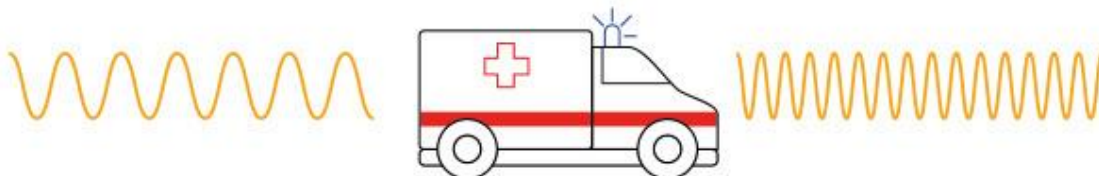
1. Úvod

Běžně měříme rychlost pohybujících se těles vysláním a záchytem zvukové vlny (např.: *sonar*). Problém se zvukovou vlnou nastává při požadavku na měření extrémních rychlostí malých objektů s důrazem na maximální přesnost. V takových situacích již není možné použít vlnění mechanické (*zvuk*), nýbrž elektromagnetické (*foton*).

Tato metoda nachází praktické využití při zjišťování tlaků extrémně stlačených objektů, například při výzkumu inerciální fúze. Při zahřátí vysokovýkonným laserem, se požadovaný objekt začne stlačovat. Abychom zjistili, jaké tlaky ve fúzi nastávají, můžeme změřit rychlost smrštění stlačovaného materiálu. Pomocí dalších veličin se dá poté vypočítat tlak ve stlačených materiálech.

2. Princip

Existuje několik možností, jak měřit rychlost pohybujícího se tělesa. Jednou z nich je použití Dopplerova jevu. Ten spočívá ve změně frekvence vlny v závislosti na pohybu vysílače nebo přijímače. Všichni známe situaci, kdy stojíme u silnice a kolem nás projíždí vozidlo se sirénou. Při měnící se vzdálenosti nás od vozidla, se bude postupně měnit zvuk houkající sirény. Znalost Dopplerova jevu můžeme při měření vzdálenosti využít tak, že zachytíme zpětně odraženou vlnu vyslanou na pohybující se těleso. Pokud má vlna nižší frekvenci, tak víme, že se těleso pohybuje po dráze ke zdroji, a pokud je frekvence vyšší, těleso se pohybuje po dráze od zdroje.

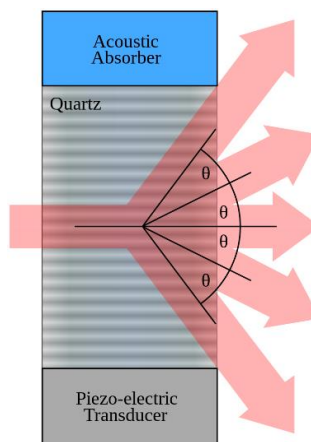


Obrázek 1

3. Experimentální měření

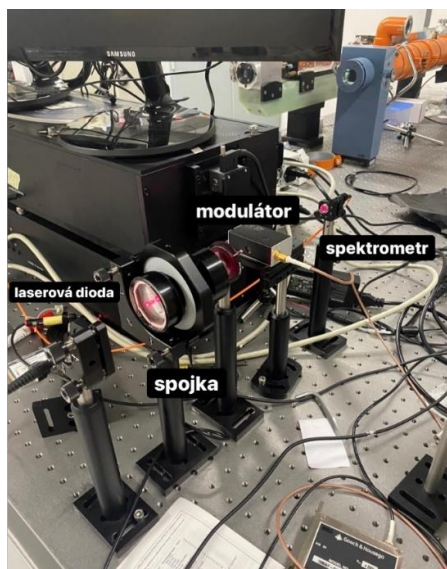
Cílem naší skupiny bylo otestování principu měření rychlosti laserem. Jako objekt měření jsme použili mechanické vlnění v krystalu (TeO_2) akusticko-optického modulátoru.

Akusticko-optický modulátor je optická součástka, ve které se mechanickým vlněním mění optické vlastnosti světla. Světlo prochází krystalem, jenž za normálních okolností světlo nedifraktuje. Vy chvíli, kdy krystalem prochází mechanické vlnění o určité frekvenci, stává se z něj optická mřížka, na které dochází k difrakci, a tudíž rozložení paprskového svazku světla.

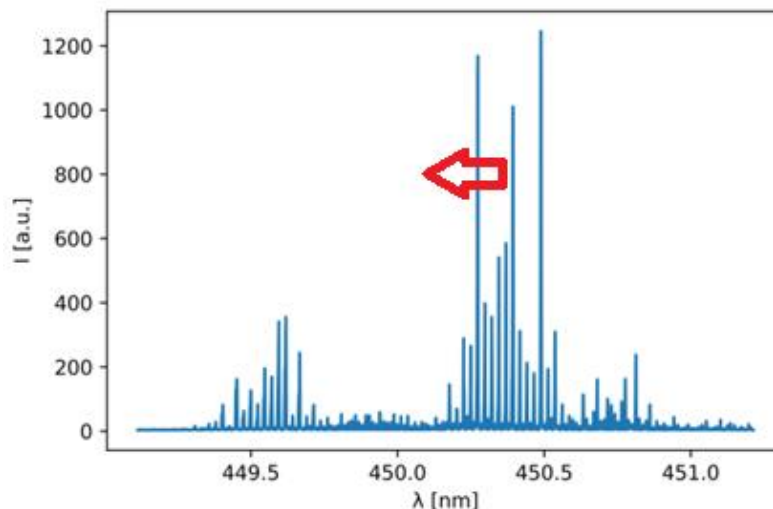


Obrázek 2

Pro měření jsme použili laserovou diodu (650 nm), optickou čočku (spojku), akusticko-optický modulátor, spektrometr. Laser jsme namířili pod úhlem proti modulátoru a spektroskop jsme umístili v úlu odrazu, abychom mohli sledovat posun ve frekvenci.



Při zachycení odražené vlny, se na obrazovce spektrometru objevilo malé, ale viditelné posunutí ve vlnové délce fotonu. Jednalo se řádově o desetiny nanometru.



Pokud si naměřenou vlnovou délku odražené vlny převedeme na frekvenci, můžeme dopočítat rychlost pohybujícího se tělesa vyjádřením z Dopplerovy rovnice.

$$v = \frac{f_0^2 - f^2}{c(f_0^2 + f^2)}$$

f_0 = frekvence vysílané vlny, f = frekvence přijímané vlny, c = rychlost světla

4. Závěr

Výsledný rozdíl mezi vlnovou délkou přijaté a vyslané vlny byl v řádu několika pikometrů při rychlosti mechanického vlnění v krystalu 637 m/s. Z toho plyne, že laserové měření rychlosti pohybujících se těles není, kvůli vysokým nárokům na rozlišení spektrometru, vhodné k použití při malých rychlostech.

PODĚKOVÁNÍ

Předně bychom chtěli poděkovat paní Ing. Michaele Kozlové, Ph.D. a panu Ing. Miroslavu Krůsovi, Ph.D. za odbornou pomoc při přípravě našeho miniprojektu.

REFERENCE

- *CHRISTIAN DOPPLER* [online]. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://www.christian-doppler.net/cs/doppleruv-jev/>
- Obrázek 1: *christian-doppler.net* [online]. [cit. 21.6.2022]. Dostupný na WWW: <https://www.christian-doppler.net/cs/doppleruv-jev/>
- Obrázek 2: ИЛЫИИ. *Wikipedia.org* [online]. [cit. 21.6.2022]. Dostupný na WWW: https://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%BD_modul%C3%A1tor#/media/Soubor:Acousto-optic_Modulator-en.svg
- Ostatní obrázky byly použity z vlastních zdrojů

Simulace adsorpce ethanolu na chlorid sodný

Matúš P.¹, Tomáš T.², Vojtěch K.³

¹Gymnázium Christiana Dopplera, ²Gymnázium Děčín, ³Schiller-Gymnasium Pirna
¹pull@gchd.cz, ²tomas.toman@gymnaziumdc.cz, ³kubat.vojtech16@fsg.lernsax.de

21. 6.

Abstrakt

Co se stane, když pustím skleněnou kouli z patnáctého patra? To je otázka, na kterou chceme znát odpověď všichni. Jenže jak u toho nezabít 7 lidí? Nasimulovat to. To jsme sice nedělali, ale simulovali jsme, co se stane, když se v kuchyni vylije alkohol na kuchyňskou sůl - měřili jsme volnou energii ethanolu, který se váže na povrch krystalického chloridu sodného. Zjistili jsme, že se váže kyslík na sodík, jaká je energie této vazby a při jakých teplotách tato vazba proběhne.

1 Úvod

Počítačové simulace se dnes dají použít na širokou škálu aplikací. Krom toho, že jsou děsně cool, se využívají například na zjišťování různých vlastností materiálů a změn jejich fází, či pro určování vhodných nastavení experimentů (depozice, implantace).

V této práci jsme se konkrétně zaměřili na studium adsorpce ethanolu na krystalu chloridu sodného.

Adsorpce je jev, kdy se molekula naváže na povrch materiálu. Znalost průběhu adsorpce je důležitá z hlediska výběru vhodných materiálů a molekul pro aplikační účely využívající její proces, jako jsou plynová čidla.

Naším cílem bylo určit adsorpční energii a vzdálenost, ve které se molekuly navážou pomocí simulační metody molekulární dynamiky.

2 Nastavení simulací

Pro simulace jsme používali program LAMMPS[1]. Data jsme poté vizualizovali přes OVITO[2].

Časový krok jsme zvolili na 1 fs. Celkový čas simulace byl 13,2 ns. Využili jsme periodických okrajových podmínek ve směrech x, y, z.

2.1 Aproximace meziatomového potenciálu

Potenciální energii atomů jsme aproximovali přes jejich vzájemné přitažlivé síly vypočtené podle Coulombova zákona⁽¹⁾, Lennard-Jonesově potenciál⁽²⁾ a harmonický potenciál⁽³⁾

$$U_{ij}^C(r_{ij}) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_i Q_j}{r_{ij}} \quad (1)$$

kde Q jsou náboje částic, r je jejich vzdálenost a ϵ je permitivita

$$U_{ij}^{LJ}(r_{ij}) = 4\psi \left(\left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^6 \right) \quad (2)$$

kde r je vzdálenost částic, ψ je hloubka potenciálu a σ je vzdálenost, při které je potenciální energie minimální

$$U_i^h = k_i(r_i - r_0)^2 \quad (3)$$

kde k_i je aproximace tuhosti vazby, jako tuhost pružiny, r_i je vzdálenost dvou atomů a r_0 je jejich klidová vzdálenost závislá na typech konkrétních dvou atomů.

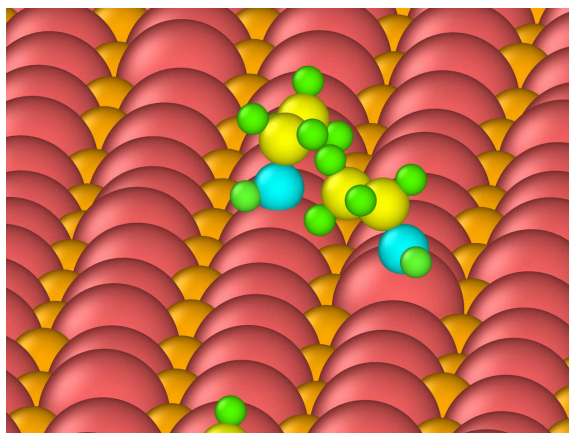
Parametry meziatomárních potenciálů pro NaCl jsme brali z *The journal of Physical Chemistry*[3], pro ethanol *Journal of chemical theory and computation*[4], obojí jsme našli na webu *Crystallography Open Database*[5].

2.2 Metoda analýzy

Pro měření volné energie jsme použili metodu Umbrella sampling. To znamená, že k simulaci systému jsme použili různé reakční koordináty z - vzdálenost molekuly ethanolu od chloridu sodného a měřili energii při této fixní vzdálenosti. Jelikož zafixováním pozice jsme dodali ethanolu potenciální energii, museli jsme se zpětně dopočítat k reálným datům pomocí metody WHAM[6] - Weighted Histogram Analysis Method.

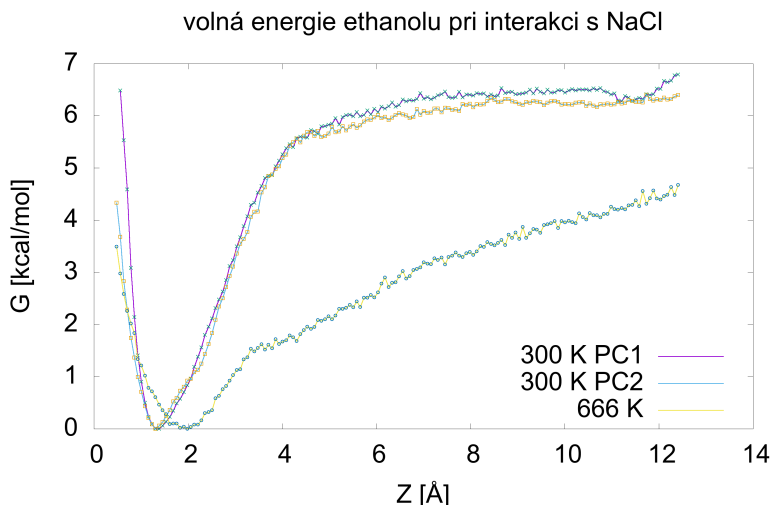
3 Výsledky a diskuze

Pozorovali jsme, že molekula ethanolu se váže kyslíkem na atomy chloru v NaCl (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Adsorpce molekuly ethanolu na povrchu NaCl

Hodnota adsorpční energie byla vypočtena pro teplotu 300K, jako 6 kcal/mol, zatímco pro teplotu 666K to jsou 2 kcal/mol. Vzdálenosti, při kterých je energie vazby nejmenší vyšly pro 300K 1,38 nm, zatímco pro 666K se tato vzdálenost zvýšila na 1,98 nm.



Obrázek 2: Naměřené hodnoty volné energie ethanolu jako funkce o vzdálenosti od NaCl

V následující tabulce jsou shrnuta naměřená data.

Teplota (K)	Vzdálenost (nm)	Adsorpční energie (kcal/mol)
300	1,38	6
666	1,98	2

4 Shrnutí

V miniprojektu jsme simulovali adsorpci ethanolu na krystalickém NaCl metodou molekulární dynamiky. Zjistili jsme, že ethanol se váže na NaCl kyslíkem s chlorem a určili jsme adsorpční energie ethanolu pro teploty 300K a 666K a jeho rovnovážné vzdálenosti od povrchu NaCl. Celkově lze říci, že jsme si vyzkoušeli simulování interakcí dvou sloučenin metodou molekulární dynamiky a práci v programu LAMMPS a OVITO.

Poděkování

Děkujeme studentům Miroslavu Lebedovi a Lucii Celbové za úžasné vysvětlení zkoumaných fyzikálních jevů i použitého softwaru, asistenci s problémy, které v průběhu nastaly a vůbec za zprostředkování tohoto miniprojektu.

Reference

- [1] LAMMPS - *a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales*, A. P. Thompson, H. M. Aktulga, R. Berger, D. S. Bolintineanu, W. M. Brown, P. S. Crozier, P. J. in 't Veld, A. Kohlmeyer, S. G. Moore, T. D. Nguyen, R. Shan, M. J. Stevens, J. Tranchida, C. Trott, S. J. Plimpton, *Comp Phys Comm*, 271 (2022) 10817. [citováno dne 20.6.]
- [2] OVITO *Open Visualization Tool*. <https://www.ovito.org/>. [citováno dne 20.6.]
- [3] Loche, Philip, et al. Transferable ion force fields in water from simultaneous optimization of ion solvation and ion-ion interaction. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2021, 125.30: 8581-8587. [citováno dne 20.6.]
- [4] Malde, Alpeshkumar K., et al. An automated force field topology builder (ATB) and repository: version 1.0. *Journal of chemical theory and computation*, 2011, 7.12:4026-4037. [citováno dne 20.6.]
- [5] Crystallography Open Database *Open-access collection of crystal structures of organic, inorganic, metal-organic compounds and minerals, excluding biopolymers*. <http://www.crystallography.net/co>. [citováno dne 20.6.]
- [6] Grossfield, Alan, *WHAM: the weighted histogram analysis method*, version XXXX, http://membrane.urmc.rochester.edu/wordpress/?page_id=126. [citováno dne 20.6.]

Výroba sorbentů teplotní degradací odpadní biomasy

L. Finstrlová*, J. Buchmann**, T. Fejt***
Gymnázium Brno-Řečkovice*, Wichterlovo gymnázium**,
Gymnázium Mikulášské náměstí 23***
xfins@gyrec.cz

Abstrakt

Cílem miniprojektu je příprava a průběh pyrolýzy odpadní biomasy, následná aktivace a vyhodnocení kvality vzniklého sorbentu z hlediska velikosti jeho povrchu. Povrch získaného sorbentu bude porovnán s komerčně dostupným vzorkem aktivního uhlí. Kromě charakterizace sorbentu bude provedena analýza plynných látek pomocí plynové chromatografie.

1 Úvod

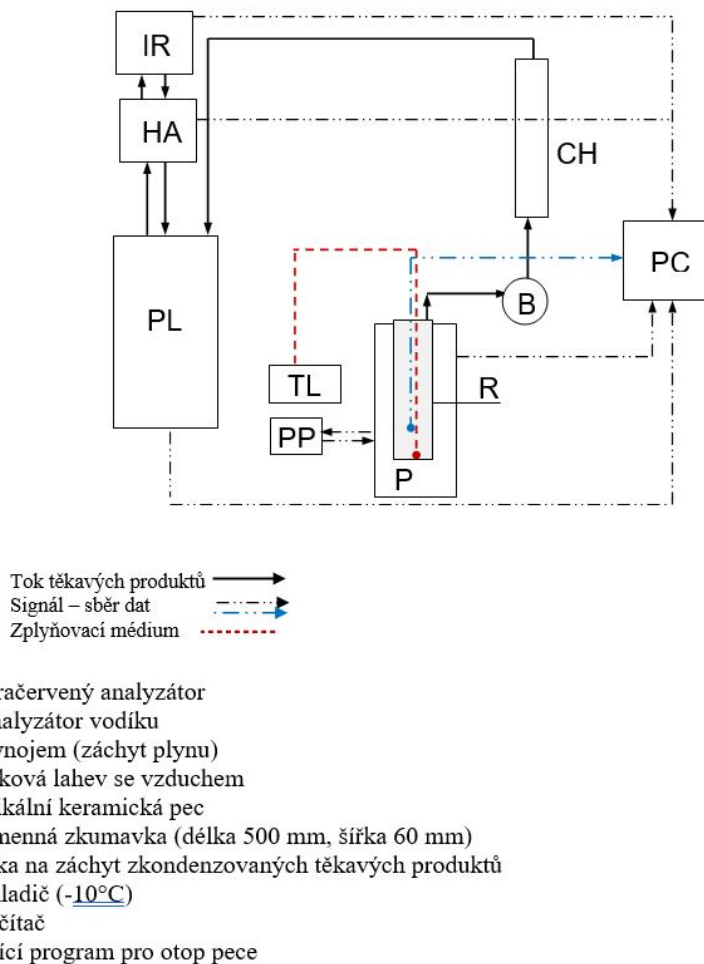
Výroba aktivního uhlí z biomasy se skládá ze dvou částí. První část se nazývá pyrolýza, což je tepelný rozklad bez přístupu kyslíku. V jejím průběhu se ze vstupního materiálu uvolňují těkavé látky, z nichž část po ochlazení kondenzuje. Chemické složení a struktura produktů závisí na složení vstupního materiálu a podmínkách procesu. Druhou částí je zplyňování, kdy do systému vpustíme zplyňovací médium (vodní pára, oxid uhličitý nebo vzduch). Hlavními plynnými produkty jsou CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂. Kapalné produkty lze charakterizovat pomocí elementární analýzy. Základní charakteristikou pevných sorbentů je velikost povrchu a distribuce pórů. Póry se dělí na mikro-, mezo- a makropóry. Běžně se na výrobu aktivního uhlí používá černé uhlí. Perspektivní náhradou za černé uhlí jsou např. odpadní materiály z biomasy, které představují snadno dostupný a obnovitelný zdroj. Aktivní uhlí má širokou škálu využití např. v lékařství, vodárenství, armádě, spalovnách odpadu a domácnostech[1].

2 Experimentální část

Jako vstupní materiál byly použity namleté skořápky vlašských ořechů velikosti 1–3 mm. Skořápky byly nasypány do křemenné zkumavky (délka 500 mm, průměr 60 mm) spolu s keramickou kapsou pro vložení dvou termočlánků, křemenné trubičky pro přívod zplyňovacího média a trubičky pro odvod těkavých látek. Zkumavka byla následně zatmelena. Takto připravený vzorek byl vložen do vertikální vsádkové pece (Obr. 1). Dále se v programu na počítači nastavila cílová teplota (800 °C) a časový přírůstek teploty (10 °C/min). Spuštěním programu začal proces, který se skládá nejprve z pyrolýzy, během které došlo k odplynění vzorku. Průběžně se zaznamenával aktuální stav – teplota pece, teplota uvnitř vzorku, celkový objem plynu v plynojemu a koncentrace vniklých plynů. V průběhu pyrolýzy se uvolňovaly těkavé látky ve formě plynů. Některé látky po ochlazení v chladiči

(-10°C) zkondenzovaly v baňce a ostatní byly odsáty do plynojemu. Ve chvíli, kdy vstupní materiál dosáhl cílové teploty 800°C bylo dovnitř vpuštěno zplyňovací médium (vzduch) o průtoku $7,67\text{ dm}^3/\text{h}$, a tím začalo zplyňování. Po ukončení procesu a vychladnutí pece byla vyjmuta zkumavka a odstraněn tmel. Vzniklý sorbent byl zvážen a odeslán na analýzu velikosti povrchu a distribuce pórů.

Kromě charakterizace sorbentu byly analyzovány i plynné produkty.



Obrázek 1: Vertikální vsádková pec

3 Výsledky a diskuze

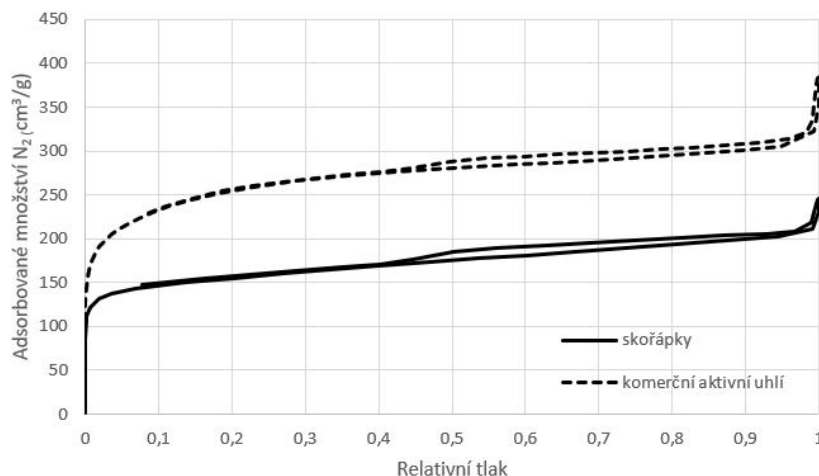
Ze 100 % vstupního materiálu jsme získali 17,3 hm. % tuhého produktu (sorbentu), 41 hm. % kapalného produktu (vody a dehtu), 33,7 hm. % plynného produktu. Ztráty činily 7,9 hm. %. V grafu na obrázku č. 2 je porovnání sorpčních isoterem vzorku a komerčního aktivního uhlí. Je z něj zřejmé, že sorbent je převážně mikroporézní s malým podílem mezopórů. V porovnání s komerčním aktivním uhlím má výsledný sorbent méně pórů, to znamená, že má mírně zhoršené sorpční vlastnosti, což potvrzuje i velikost povrchu (S_{BET}): aktivní uhlí – $944\text{ m}^2/\text{g}$, sorbent – $510\text{ m}^2/\text{g}$. Velikost povrchu námi získaného sorbentu ze

skořápek vlašských ořechů je srovnatelná s velikostí povrchu sorbentu z kávových zrn získaného M. Staf a spol., která činí 537 m²/g.[2]

V tabulce 1 je uvedeno složení vzniklého plynu zjištěné na plynovém chromatografu. Výchřevnost tohoto plynu je nízká (6,995 MJ/m³), neboť je zředěn vzdušným dusíkem.

Sloučenina	O ₂	N ₂	CH ₄	sum C ₂ -C ₅	CO	CO ₂	H ₂	CH ₃ SH	Ar
Obj. %	3,09	45,33	6,87	0,75	19,59	15,05	9,23	0,01	0,07

Tabulka 1: Složení vzniklého plynu



Obrázek 2: Porovnání sorpčních isoterem vzorku a komerčního aktivního uhlí

4 Závěr

Zplyněním skořápek vlašských ořechů při teplotě 800 °C vzduchem jsme získali 17,3 hm. % sorbentu o velikosti povrchu 510 m²/g. Údaj sorbentu je srovnatelný s hodnotou uvedenou v literatuře.

Poděkování

Děkujeme paní Olze Bičákové a Martině Švábové za naše vedení v miniprojektu v rámci Týdne vědy na Jaderce.

Reference

- [1] Wikipedie: Aktivní uhlí <https://cs.wikipedia.org/wiki/Aktivn> (staženo dne 21. 6. 2022)
- [2] M. STAF, K. ZÁLEŠÁKOVÁ, V. KYSELOVÁ, B. MIKLOVÁ A S. SKOBLJA *Zařízení na přípravu a aktivaci biocharu*. Chem. Listy 113, 48–52 (2019).

Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás

Lukáš Sluka

Střední průmyslová škola strojní a elektrotechnická v Českých Budějovicích
Dukelská 13, 370 01 České Budějovice
sluka.lukas@mail.com

Abstrakt:

Cílem miniprojektu bylo seznámit se s fungováním zdrojů světelného záření a optických zdrojů, které potkáváme v běžném životě jako například Slunce, LED, ovladače. Zkoumali jsme, na jaké vlnové délce vyzařují různé zdroje, a proto u některých i jejich časovou závislost generovaného záření.

1 Úvod

V miniprojektu jsme se seznámili s principy zdrojů elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické vlnění je změna elektromagnetického silového pole, která se šíří prostorem. Tento jev zahrnuje viditelné světlo, ale má i jiné projevy například rádiové vlny, infračervené a ultrafialové záření nebo rentgenové paprsky. Elektromagnetické vlnění je charakterizováno vlnovou délkou. Viditelné světlo spadá do oblasti vlnových délek od 400 nm do 700 nm. Rádiové vlny mohou mít vlnové délky v řádech metrů i kilometrů. Naopak rentgenové paprsky mají vlnové délky v řádu 10 pm až 10 nm.

K měření vlnových délek elektromagnetických záření používáme spektrometry.

V rámci miniprojektu jsme zkoumali spektrum vlnových délek zdrojů, které se běžně vyskytují kolem nás (myš, ovladač, žárovka, laser, ...). Na základě měření jsme diskutovali o vlastnostech zdrojů a jejich způsobu, jakým vytvářejí své záření.

2 Měření základních charakteristik optických zdrojů

1. Vybrané zdroje a měřící přístroje

Měřili jsme spektrální vlastnosti zdrojů: zářivky, LED – různé barvy (ovladač, počítačová myš), Slunce, lasery – ukazovátka, helium-neonový laser, žárovka.

Spektrální charakteristiky jsme měřili pomocí spektrometrů Black-comet (rozsah 185–839 nm) a Blue-wave (rozsah 486-1362 nm), časové charakteristiky pomocí křemíkové fotodiody připojené k osciloskopu Tektronix TDS 2022C.

2. Výsledky měření a diskuse

Pomocí spektrometru připojeného k počítači jsme měřili spektrální vlastnosti zdrojů. Záření bylo čočkou fokusováno do optického vlákna a navedeno do spektrometru.

Časové průběhy vybraných zdrojů byly snímány pomocí křemíkové fotodiody připojené do osciloskopu.

Výsledky měření spektra zářivky je na obrázku 1. Spektrum zářivky je ve složených spektrální čárách. Důvodem je, že zářivka obsahuje různé plyny (rtuť, terbium, europium). Vnitřní povrch zářivky je pokryt tzv. luminoforem, tvořený směsí solí kovů vzácných zemin,

kteře produkují záření. V našem případě odpovídají rtuti na vlnové délce 365, 404, 435, 545 nm, terbia na vlnové délce 487, 542 a europia na vlnové délce 586.5, 610, 630, 707.5 nm. [1]

Ostatní naměřená spektra jsou zobrazena na obrázku 2. Slunce má maximum na 555.5 nm a podle Wienova posunovacího zákona $\lambda_{max} = 2898/T$ ($\mu m, K$) na teplotě 5217 K. Odhad teploty povrchu slunce přibližně s chybou 10 %. Skutečná teplota je 5 778 K. Zářezy ve spektru Slunce jsou způsobeny plyny v atmosféře (kyslík, dusík, oxid uhličitý, ...). [2]

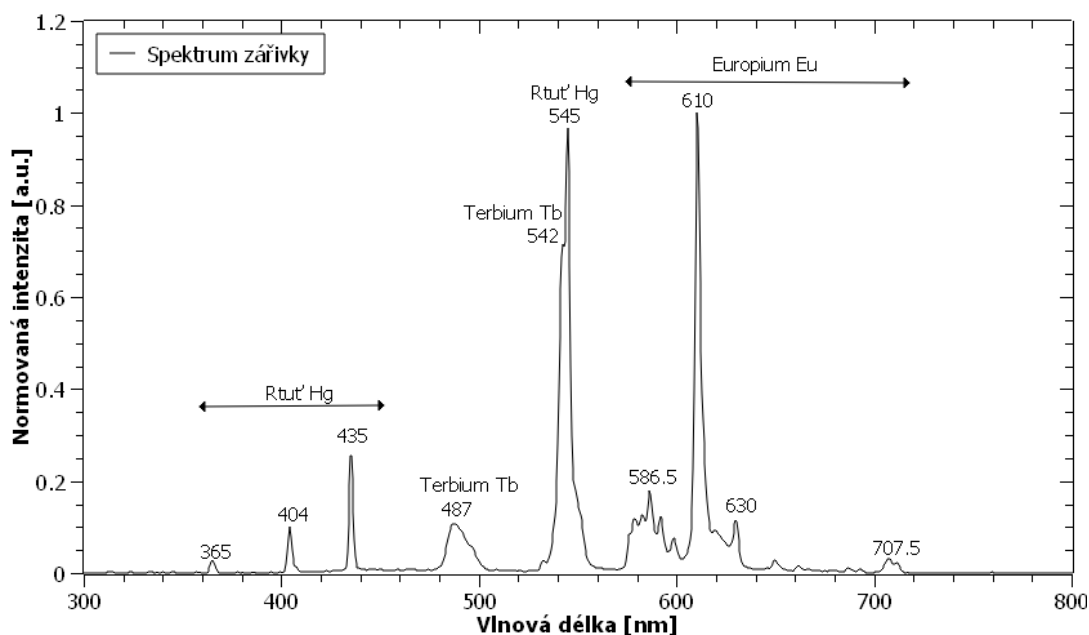
Nejužší spektra vytvořily lasery, které vyřazují kolem jedné vlnové délky jen ve velmi úzkém spektru. Červené diodové ukazovátko (polovodičová laser) generuje na vlnové délce 660 nm, červený helium-neonový laser (neonový plynový laser) na vlnové délce 632 nm. Zelené ukazovátko je tvořeno infračervenou polovodičovou diodou na vlnové délce 805 nm, která dodává energii pevnolátkovému nehodinovému laseru 1064, jehož záření je konvertováno do zelené barvy 532 nm pomocí speciálního krystalu. Infračervené světlo z tohoto ukazovátko může být nebezpečné pro oko.

LED diody také vyřazují na jedné konkrétní barvě, ale její spektrum je podstatně širší než spektrum laseru. LED byly součástí zařízení jako počítačová myš (jak USB myš či Bluetooth myš) nebo ovladač. U myši snímá LED pozici. Ovladač přenáší kódovaný signál přijímači televize.

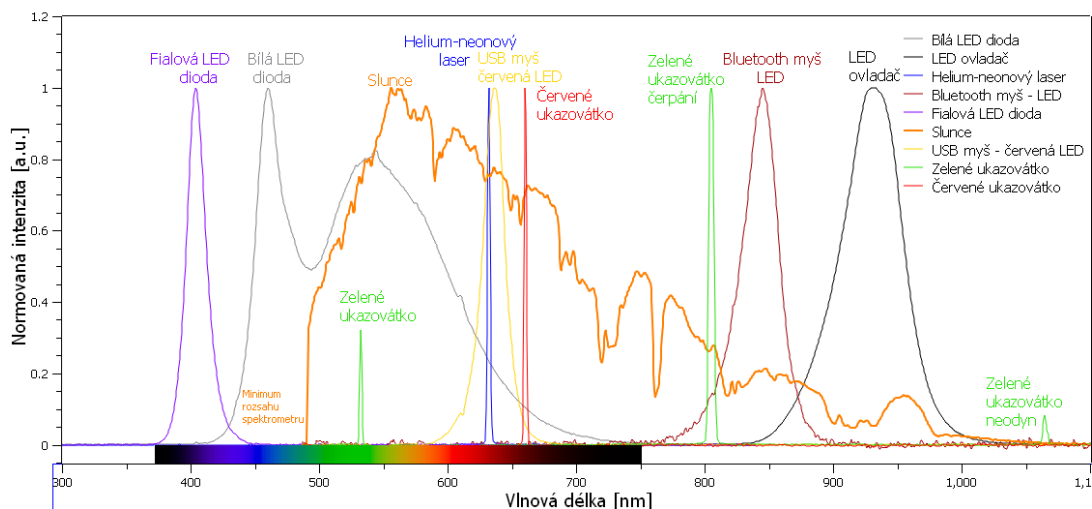
Bílá LED je tvořena modrou LED (vlnová délka 460 nm), jejíž záření dodává energii luminoforu nanesenému na jejím povrchu. Ten pak vyzařuje široké spektrum (s maximum na 540 nm), jejíž výsledkem je bílá barva.

Zkoumané zdroje a vlnové délky jejich záření jsou shrnuty v tabulce 1.

Časové průběhy záření ovladače, zářivek a počítačové myši jsou v grafu na obrázku 3. U ovladače se signál mění podle stisknutí tlačítka. Signál je zakódován ve dvojkové soustavě zesilováním a zeslabováním intenzity. Širší impuls odpovídá číslu 1, užší impuls číslu 0. Zkoumaná počítačová myš pro své snímání polohy vysílá světelné signály s frekvencí přibližně 30 Hz. Signál zářivek má přibližně tvar sinusoidy, což odpovídá napětí z rozvodné elektrické sítě. Zářivka se rozsvítí dvakrát za jednu periodu kmitu napětí. Signál má proto frekvenci 100 Hz.



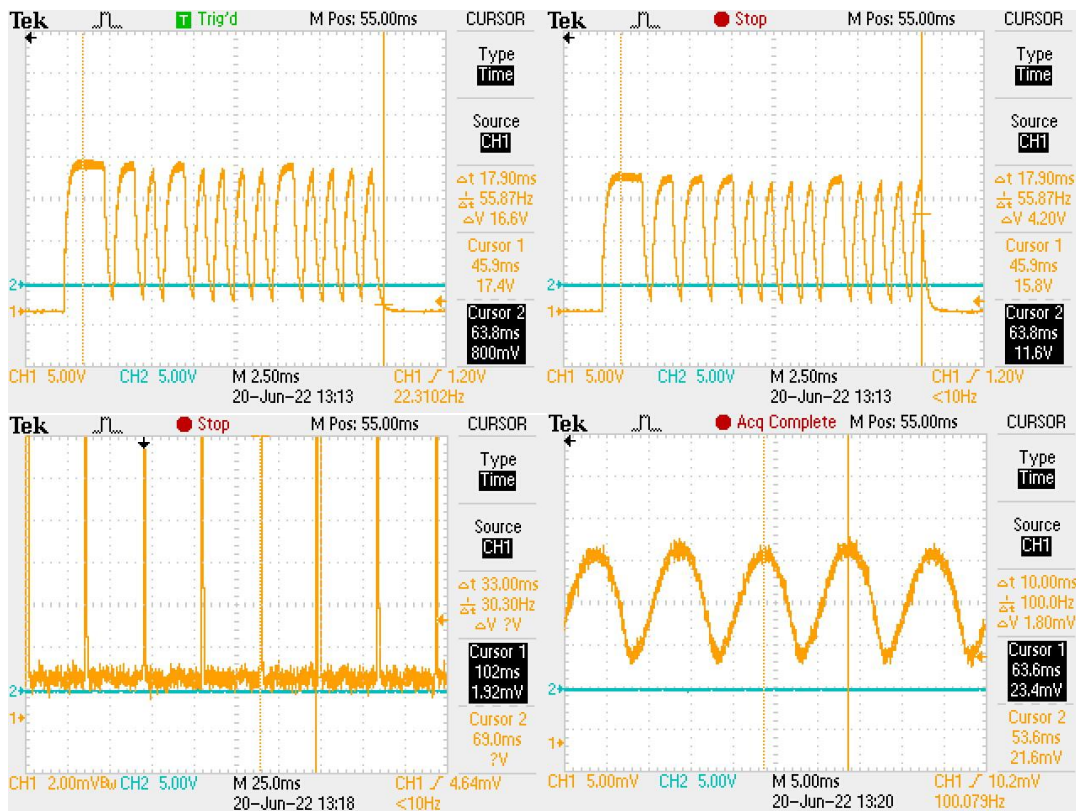
Obrázek 1: Spektrum zářivky



Obrázek 2: Spektrum ostatních zdrojů

Tabulka 1: Vlnová délka

Zdroj záření	Vlnová délka [nm]
Bílá LED dioda	460
LED ovladač	931
Helium-neonový laser	632
Bluetooth myš – LED	845
Fialová LED dioda	404
Slunce	555.5
USB myš – červená LED	636
Zelené ukazovátko	532, 805, 1065
Červené ukazovátko	660



Obrázek 3: Časové průběhy (záření ovladače – tlačítko 6 vlevo nahoře, tlačítko 8 vpravo nahoře; počítačová myš vlevo dole; zářivka vpravo dole)

3 Shrnutí

V rámci miniprojektu jsme se dozvěděli, na jak vypadá spektrum různých zdrojů záření. Podle naměřených spekter jsme diskutovali o vlastnostech těchto zdrojů a způsobu, kterým vytvářejí záření. Dozvěděli jsme se, že existují širokopásmové zdroje vysílající záření o mnoha vlnových délkách například Slunce nebo bílá LED. Naproti tomu existují také přístroje schopné vyzařovat jen v úzkém rozsahu kolem jedné vlnové délky – lasery. U některých zdrojů jsme zkoumali časovou závislost generovaného záření. Řešili jsme bezpečnost záření pro lidský zrak.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT za uspořádání akce Týden na Jaderce 2022. Dále Ing. Karlu Veselskému a Ing. Janu Kratochvílovi za ochotu dělat miniprojekt Spektrální vlastnosti laserového záření a optických zdrojů kolem nás. Naposledy naší škole, která nás informovala o konání škole.

Reference:

- [1] [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FLUORESCENT LAMP](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp)
- [2] [HTTPS://CS.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/WIENŮV POSUNOVACÍ ZÁKON](https://cs.wikipedia.org/wiki/Wienův_posunovací_zákon)

Stabilizace laseru

Tomáš Chalas, David Havrlant

Ústav fyziky plazmatu, Akademie Věd ČR

tomas.chalas@gnj.cz, d.havrlant10@seznam.cz

Abstrakt

Gravitační vlny jsou vlny časoprostoru způsobené nejenergetičtějšími ději, které se ve vesmíru odehrávají. I když jsou vyvolány obrovským množstvím energie, na Zemi jsou detekovány jako zachvění časoprostoru 1000x menší než je jádro atomu. Takové přesnosti měření je možné dosáhnout pomocí laserové interferometrie, která nám umožňuje detekovat dráhové rozdíly v řádech 10^{-21} m. V naší práci se snažíme o dosažení co nejlepší stability laserové diody, konkrétně její vlnové délky, pomocí upravování přiváděného proudu a teploty.

1. Úvod

Gravitační vlny jsou zcela novým způsobem, jak můžeme získávat informace o dějích ve vesmíru. Vznikají při zrychlování jakéhokoli hmotného objektu v časoprostoru. Avšak většina objektů (auta, lidi, domy,...) nemají dostatek hmotnosti ani nevyvíjí dostatečné zrychlení, aby vyvolaly gravitační vlny dostatečně velké k detekci našimi přístroji. Proto musíme spoléhat na velmi masivní objekty pohybující se obrovskými rychlostmi jako například spojení dvou černých děr, černé díry a neutronové hvězdy nebo kolize dvou neutronových hvězd. Avšak dráhové změny, které od těchto událostí pozorujeme, jsou stále v řádech 10^{-21} metrů, což je srovnatelné s pozorováním vzdálenosti od nás k Alfa Centauri, a detekování rozdílu v této vzdálenosti o tloušťce lidského vlasu¹. Proto je k jejich detekci třeba nejmodernějších technologií.

2. Jak detekovat gravitační vlny

Aktuálně nejlepší způsob jak detekovat gravitační vlny je pomocí dvou laserových paprsků, které vzájemně svírají úhel 90° , a následně na detektoru tvoří interferenční obrazec. Při průchod gravitační vlny je prostor v jednom směru natáhnut a v druhém zploštěn, což způsobí, že dráha kterou bude muset laser projít je v jednom z ramen prodloužena a v druhém zkrácena. Pokud tedy aparaturou projde gravitační vlna, budou dva lasery drobně vyhozeny z fáze. Tento fázový rozdíl je nepřímo úměrný vlnové délce laseru, takže pokud chceme měřit tyto malé vzdálenosti, je třeba zajistit co možná nestabilnější vlnovou délku (Na detektoru LIGO se používá vlnová délka 1064 nm.). Toho je možné dosáhnout díky stabilizaci laseru³.

3. Jak na stabilizaci laseru

Stabilizace laseru se lze dosáhnout dvěma metodami:

- Aktivní - část paprsku je odvedena do detektoru, který následně pomocí naměřených parametrů upraví vstupní hodnoty a tak pomůže zlepšit vlastnosti laseru.
- Pasivní - tento způsob stabilizace nezahrnuje elektronické přístroje, ale využívá čistě optických jevů.

V případě našeho projektu jsme polovodičovou laserovou diodu stabilizovali pomocí kontroly proudu a teploty.

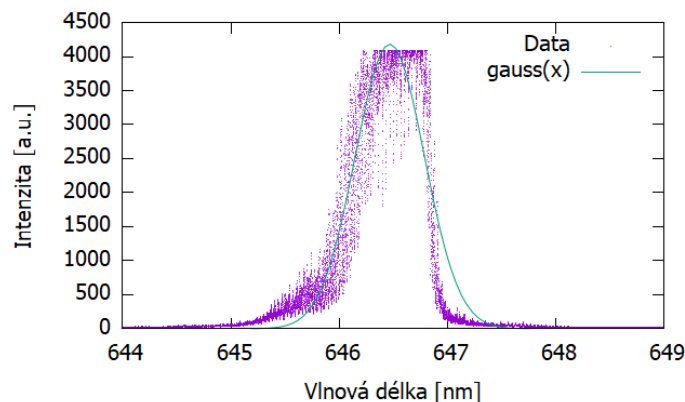
4. Měřicí zapojení

Pro měření jsme používali laserovou diodu s výkonem 1W a vlnovou délkou 650 nm. Laser z diody jsme zavedli do konvexní cylindrické čočky, která nám pomohla více laserového světla nasměrovat do kolimátoru. Ten zaváděl laser do multimodového optického vlákna. Jako detektor byl použit spektrometr HyperFine HF8989-3 s rozsahem od 600 nm do 700 nm. Výstup na obrazovce měl však rozsah 10 nm a byl laditelný po celém rozsahu spektrometru pomocí šroubu, který otáčel s difrakční mřížkou.

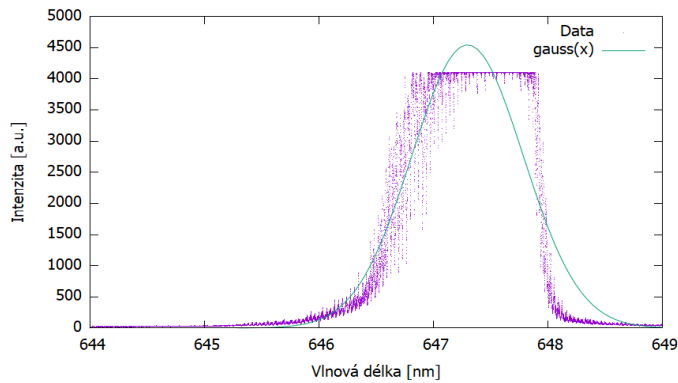
Bylo provedeno 33 měření spektra laserové diody (pro 3 různé hodnoty teploty bylo naměřeno spektrum pro 11 hodnot proudu). Tato spektra byla následně fitována Gaussovou funkcí⁴ v programu GnuPlot. Gaussova funkce má pro nás 2 důležité parametry: vrchol a , který nám určuje střední hodnotu vlnové délky pro daný proud a teplotu, a b , který je úměrný šířce křivky pro danou kombinaci proudu a teploty (V polovině výšky má křivka šířku $2,3548b$ nm).

5. Výsledky a diskuze

Z výsledků, které jsme naměřili vyplývá, že nejužší spektra vlnových délek jsou dosaženy, pokud je dioda pro stejnou hodnotu teploty (22 °C) napájena nižším proudem. To můžeme vidět na obrázcích (1.1), který odpovídá hodnotě proudu 1000 mA, a (1.2), který odpovídá hodnotě proudu 1500 mA. Šířka Gaussovy křivky na obrázku (1.1) odpovídá hodnotě $0,751\pm 0,001$ nm a pro obrázek (1.2) hodnotě $1,149\pm 0,001$ nm.



Obrázek 1.1: spektrum laserové diody pro hodnoty 1000 mA a 22 °C



Obrázek 1.2 : spektrum laserové diody pro hodnoty 1000 mA a 22 °C

Porovnáním vlnových délek při stejném proudu za jiných teplot vidíme, že se s rostoucí teplotou zvyšuje vlnová délka laseru. V teplotním rozmezí od 16,6 °C do 22,8 °C se nám vlnová délka posunula z 635,4 nm na 647,2 nm. K posunu k vyšším vlnovým délkám méně znatelně dochází i při zvyšování napětí za stálé teploty. Při hodnotě 18 °C se nám vlnová délka posunula o 0,8 nm při změně proudu z 1000 mA na 1500 mA.

Z našich měření také vyplývá, že chlazení diody nebylo dostatečně výkonné, a pokud se vzdalujeme teplotě prostředí, ve kterém se dioda nachází, tak teplota diody může velmi rychle kolísat. To nám způsobovalo nestabilitu rozdíl vlnové délky v čase a ovlivňovala i sběr spektra laserové diody v závislosti na jeho napětí.

6. Závěr

Pro stabilizaci laserové diody jsme si dali za úkol najít vhodnou kombinaci proudu a teploty, které byly k diodě přiváděny tak, aby její spektrum bylo co nejužší a zároveň stabilní v čase. Nejlepší hodnoty jsme dosáhli pro proud 1000 mA a teplotu 22 °C, kdy šířka spektra byla $0,751 \pm 0,001$ nm. Celkově z měření vyplývá, že vhodnou cestou pro užší spektrum jsou vyšší teploty a nižší hodnoty proudu. Zároveň z měření vyplývá, že se spektrum diody posouvá k vyšším vlnovým délkám pro vyšší teploty. Pro měření s teplotou kolem 15 °C jsme měli problém s dostatečným chlazením, jelikož bylo i v místnosti poměrně teplo. Proto u těchto měření nám závislosti na teplotě a napětí vychází nejméně jasné.

Zdroje:

[1] Veritasium. *The Absurdity of Detecting Gravitational Waves*

<https://www.youtube.com/watch?v=iphcyNWFD10>

[2] Dr. Rüdiger Paschotta. *Stabilization of Lasers*

https://www.rp-photonics.com/stabilization_of_lasers.html

[3] LIGO. *Why Detect Gravitational Waves*

<https://www.ligo.caltech.edu/page/why-detect-gw>

[4] Wikipedia. *Gaussova funkce*

https://cs.wikipedia.org/wiki/Gaussova_funkce

Molding the flow light, aneb jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách.

Pavel Kučera, Tomáš Holčák

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
pa.licek@seznam.cz, tominholcak@gmail.com

Abstrakt: V tomto článku stručně shrneme vlastnosti spojené s interakcí elektromagnetické vlny s prostředím a jejím šířením. Následně se pokusíme přiblížit problematiku spojenou s látkami, které do jisté míry porušují základní vlastnosti šíření světla, těmto látkám říkáme metamateriály. V přírodě jsou nedostupné, jejich výroba je drahá a složitá, a proto zde sehrávají velkou roli počítače, které nám jejich prostřednictvím dovolují situace s těmito látkami spojenými simulovat. Prostřednictvím programu Ansys Lumerical si konkrétně ukážeme, jak se chová záření při interakci s metamateriálem se záporným indexem lomu.

1 Úvod

V dnešní době se přichází na mnoho objevů, které hýbou světem různými směry. Hodně oborů již předneslo, nebo se snaží potvrdit pravdivost svých objevů, teď se dostaly na řadu metamateriály. Co to vlastně je metamateriál? V 60. - 70. letech se vedly diskuze, jestli by vůbec mohl existovat materiál, který by měl záporný index lomu. První hypotetickou existenci záporného indexu lomu předpověděl sovětský fyzik Veselago v roce 1968. Na přelomu století byl jeho nápad potvrzen v roce 1996 J. B. Pendrym, který využil umělé vytvořenou rezonanční strukturu v oblasti mikrovln. Jedná se tedy o uměle vytvořený materiál, který dává nové rozměry vlastnostem jako jsou – permeabilita, permitivita a index lomu. Jelikož se v přírodě nevyskytuje je realizace prací s ním možná pouze za simulačních podmínek, proto nabývají na významu počítače a nástroje s nimi spojené. Umožňují nám tyto materiály efektivně a snadno navrhovat a ověřovat jejich vlastnosti.

2 Uvedení do problematiky

- **Vlastnosti světla**

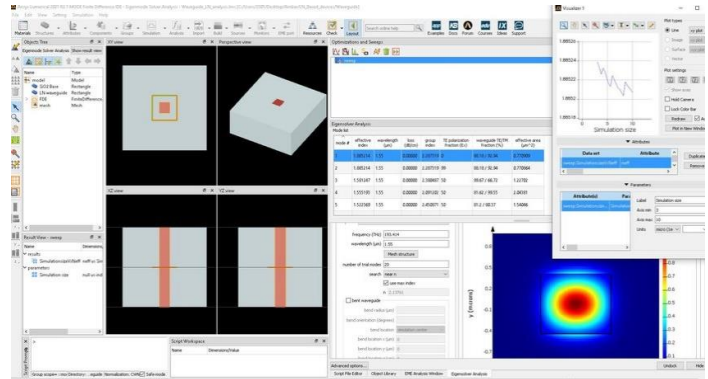
Index lomu – jedná se o bezrozměrnou fyzikální veličinu popisující šíření světla v látkách, konkrétně jeho elektromagnetických vlastností. Využívá se při určování např. lomu světla (Snellův zákon). Index lomu se pro vakuum udává 1, ostatní hodnoty jsou jiné a určují, kolikrát pomaleji se světlo šíří v daném prostředí.

$$n = \frac{c}{v}, \text{ nebo také } n = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}$$

Kde ε_r je relativní permitivita a μ_r je relativní permeabilita

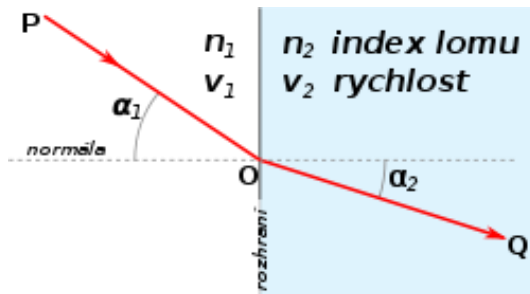
Pracovní prostředí

Chování objektů (struktur) v interakci s dopadajícím elektromagnetickým polem popisují Maxwellovy rovnice. Nalezení jejich řešení je často velmi složitá problematika, a proto je nutné použít numerické simulační nástroje, k tomu určené. Program námi využívaný nese název Ansys Lumerical, který využívá metodu FDTD (Finite-difference time-domain).

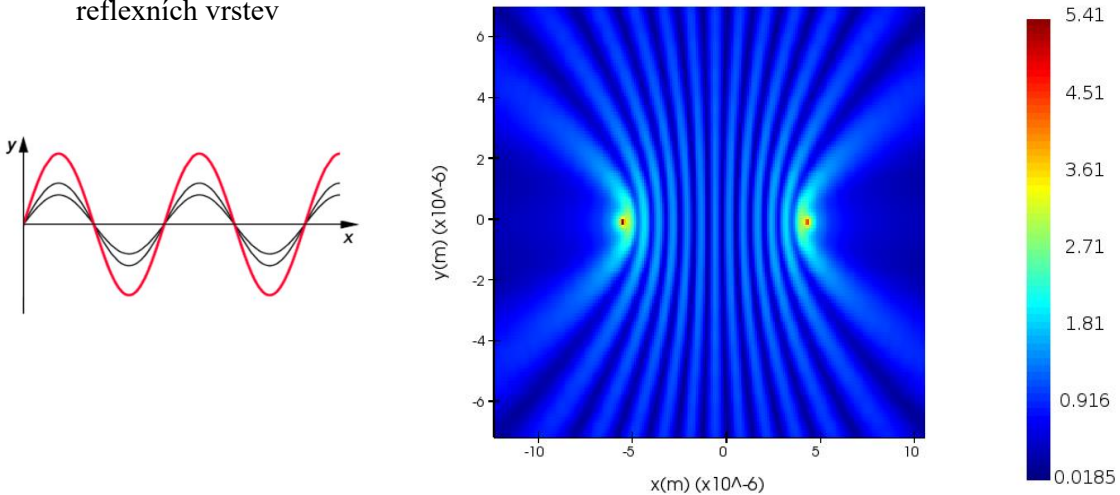


Zákony lomu a odrazu (Snellovy zákony)

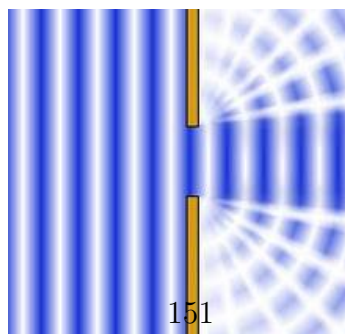
Platí tedy: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$



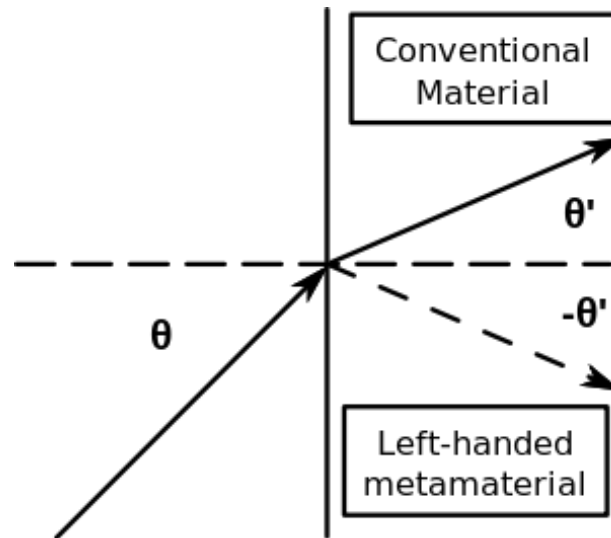
Interference světla – Jedná se o vzájemné prolínání, ovlivňování, a střetávání světelných vln. Tímto jevem je potvrzena vlnová podstata světla. Využívá se pro návrh reflexních vrstev



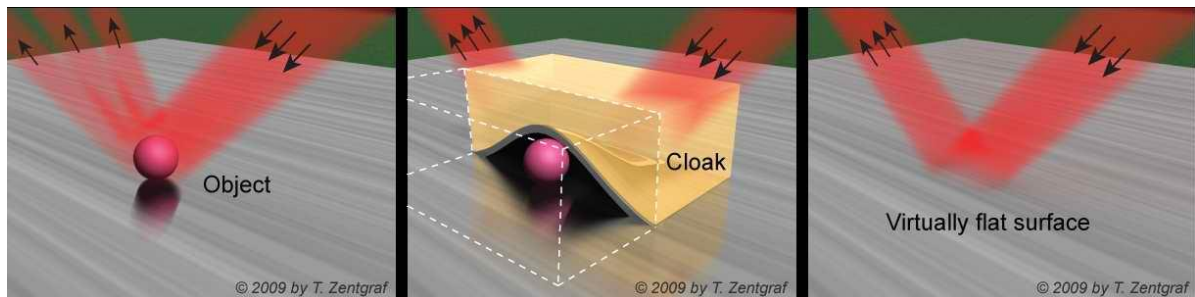
Difrakce světla – Ohyb a šíření světla do optického stínu.



Záporný index lomu – Díky znalosti Snellova zákona víme, jak by se dopadající záření mělo chovat. Pokud má ale látka vlastnosti záporného indexu lomu, vlna se šíří opačným směrem, než jakým se šíří tok její energie, a tento zákon popírá.

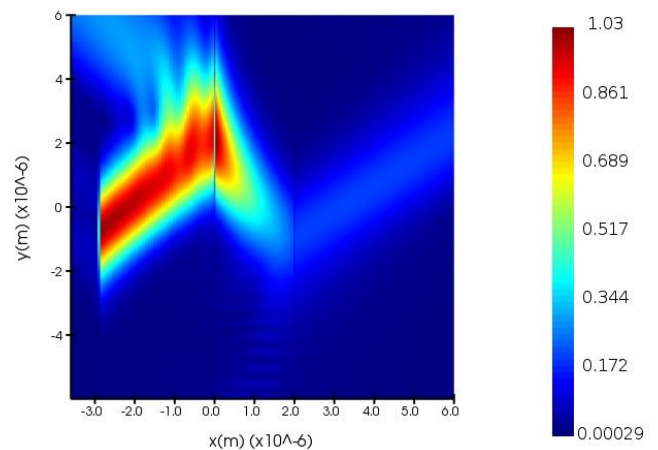


Princip opačného toku energie by se dal využít např. v maskovacích materiálech, nebo v planárních čočkách, které by umožňovaly subvlnové zobrazení, které je za hranicemi optických mikroskopů.



Naše provedení

Jedná se o názornou ukázkou Gaussova svazku dopadajícího na vrstvu, kde nastává záporný index lomu (Tyto vlastnosti se projevují pouze pro určité vlnové délky, tedy na ní striktně závisí).



3 Shrnutí

Seznámili jsme se se základními fyzikálními vlastnostmi šíření a interakce elektromagnetických vln, a na čem závisí. Zjistili jsme, jaký aplikační význam by vlastnosti metamateriálů mohly mít v praxi např. vývoj materiálů s vysokou absorpcí v širší oblasti vlnových délek, což by umožnilo zvýšit efektivitu solárních článků (pokud bychom byli

schopni metamateriály vyrábět). Dokázali jsme, pomocí programu Ansys Lumerical tuto problematiku simulačně potvrdit a ukázat, jak taková simulace vypadá.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat výhradně organizátorům našeho miniprojektu: Pavlu Kwiecienovi, Milanu Burdovi a Ivanu Richterovi. Dále také děkujeme hlavním organizátorům akce Vojtěchu Svobodovi, Karlu Kolářovi a Veronice Hendrychové, kteří nám umožnili podílet se na této akci.

Reference

- [1] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360041616614>
- [2] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042096033>

Symmetry of Nature and Nature of Symmetry

Z. Grycová, M. Král, J. Kulhavý, B. Růžičková, B. Zemanová

FZÚ AV ČR, Na Slovance 1999/2 Praha 8

zuzanagrycova6@seznam.cz, martin.kral.03@gmail.com,
jakubkulhavy@pm.me, barar.mt@gmail.com, zemanova.be@gmail.com

June 21, 2022

Abstract

Action principle and its connection to symmetry has been at the heart of all modern theoretical physics. In this project we looked into the action for Newtonian point particles and examined the various symmetries it can possess and the corresponding conservation laws. In particular, we proved that Newtonian mechanics allows only one universal clock, because it has time-translation symmetry which leads to the conservation of energy. We conclude with a general discussion of the maths of symmetry and what role it plays in other areas of physics such as the Standard model.

1 Introduction

Our project is based on looking at the Newton's Laws of motion through a different lens. In a nutshell, Newton's laws tell us that the questions 'how a particle moves?' and 'why a particle moves?' are intimately related. Motion occurs because of external forces acting on an object which directly determines its acceleration. Despite the successes of Newton's laws, physicists came up with a new principle called '*The Principle of Least Action*'. This new principle, as it turns out, describes every branch of classical physics and is also at the heart of quantum mechanics.

2 Action Principle

The principle of least action asks the question, what is the path taken by a particle from a given point to another given point in two specific instances of time. To answer this, one defines a function for every possible path, called an *action* as follows

$$S[q(t)] = \int_{t_1}^{t_2} L[q(t), \dot{q}] dt \quad (1)$$

where $q(t)$ denotes the position, $\dot{q} = dq/dt$ is the velocity, and L is a specific function of position and velocity called a *Lagrangian*. Although both the action and the Lagrangian are purely abstract mathematical quantities and cannot be measured, we will see they can describe almost all laws of physics.

The principle says that the path followed by a classical particle will be such that the action is either at a minimum or maximum. In other words, the variation of the action about the classical path will equal zero, i.e.

$$\delta S = 0 . \tag{2}$$

This condition is equivalent to the following equation involving the Lagrangian (for derivation see [1])

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = 0 \tag{3}$$

These are known as the Euler-Lagrange equations (also called the equations of motion).

Each area of physics has a corresponding Lagrangian and the Euler-Lagrange equations tell us how the system behaves. The Lagrangian that covers Newton's laws of motion is the difference between kinetic and potential energy of a system.

$$L(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} m \dot{q}^2 - V(q) \tag{4}$$

Unlike Newton's laws, the equations of motion can be used in any coordinate system without complications, which is especially useful for working in non-inertial coordinates without introducing fictitious forces.

Similarly, using suitable Lagrangians, the principle of least action can be applied to electromagnetism (giving rise to Maxwell's equations), gravity, weak force and strong force. Identifying the correct variables on which the Lagrangian depends and the form of the Lagrangian has been pivotal to all of theoretical physics since the last century. This is known as the action paradigm.

3 Symmetry and Conserved Quantities

We all are familiar with the notion of symmetry. For example, if we can rotate an object less than 360 degrees and still get the same looking object, we talk about rotational symmetry. Likewise we can find translation symmetry, reflection symmetry and many more.

In physics, symmetry has a similar meaning. Instead of objects, we move and rotate coordinate systems and other parameters of the theory. It is a transformation, either of the degrees of freedom or other parameters, such that the action under these transformations does not change. If the action remains the same under these transformations, then so will the equations of motion and therefore all other physical observables of the system. Knowing what symmetries our theory must have is crucial in writing down the correct Lagrangian for it.

One of the important consequences of symmetry in action is due to a famous result known as the Noether's theorem. It states that if a system has a continuous symmetry, then it also has a conserved quantity that can be determined from the symmetry transformations.

For example, if a system has translation symmetry, we can prove it must have conserved momentum. If a theory has rotational symmetry, we know for sure it necessarily conserves angular momentum.

It becomes more interesting if instead of changing the coordinates we look at the change of time. It is known that in relativistic physics every observer has their own clock

ticking at a different rate than others. But how does this work in Newtonian mechanics? Does it only allow a single universal clock, or multiple?

Let us take two clocks, one measuring time as t and a second one as a function $\tau(t)$. The action in the t -clock would look like

$$S_t = \int dt \left[\frac{1}{2}m \left(\frac{dq}{dt} \right)^2 - V(q) \right] \quad (5)$$

whereas for the $\tau(t)$ clock we will have

$$S_{\tau(t)} = \int d\tau \left[\frac{1}{2}m \left(\frac{dq}{d\tau} \right)^2 - V(q) \right] \quad (6)$$

And after some adjustments, with the goal of making the action in eq.6 directly comparable to action of t , we can get the action for $\tau(t)$ to look like

$$S_{\tau(t)} = \int dt \left[\frac{1}{2}m \left(\frac{dq}{dt} \right)^2 \left(\frac{dt}{d\tau} \right) - V(q) \left(\frac{d\tau}{dt} \right) \right] \quad (7)$$

From our experience with motion of real particles, we know that there are not two different sets of equations describing its motion. Ergo, we conclude the actions of t and $\tau(t)$ must be equal. From eq.7 we can see that would be the case if and only if

$$\left(\frac{d\tau}{dt} \right) = 1 \quad (8)$$

Therefore we know that $\tau(t) = t + \alpha$, where α is a constant. This result tells us that the Newtonian mechanics has only one universal clocks. We can also see that this system has a time translation symmetry - we are free to choose when our clock shows $t = 0$, but all clocks must tick at the same rate!

Because we have time translation symmetry, Noether's theorem demands we must have a corresponding conserved quantity. The conserved quantity is nothing but our familiar friend total energy. We just derived the law of conservation of energy 'Energy can neither be created nor destroyed - only converted from one form of energy to another' and understood where does it come from!

4 Symmetry Groups

Group theory is a branch of mathematics that studies symmetry. All symmetry transformations share a set of common properties, which define a group as follows.

Group is a set of elements (G) along with an operation (\cdot) that satisfies the following conditions:

1. For any two elements of set G , $g_1 \cdot g_2$ also belongs to G .
2. There exists an element such that $g \cdot e = e \cdot g = g$.
3. For each element there exists a unique g such that $g \cdot g^{-1} = g^{-1} \cdot g = e$.
4. For any three elements, the following holds $g_1 \cdot [g_2 \cdot g_3] = [g_1 \cdot g_2] \cdot g_3$.

Set of all integers under addition is an example of group.

Matrix groups play a huge role in the standard model of particle physics. An example of matrix group is the set of all $n \times n$ orthogonal matrices - $O(n)$. The most important example is the set of all $n \times n$ unitary matrices with determinant equal to 1 - $SU(n)$.

5 Symmetry in Particle Physics

Every non-gravitational force in nature and its interactions with matter are described by a theory known as the standard model. Standard model stands tall above all other theories in all of science in being the most accurate. In the 1950's hundreds of new particles were discovered and it represented a crisis. The standard model as we know it today was realized only when physicists identified the correct symmetry groups for the three forces - $U(1)$ for Electromagnetism, $SU(2)$ for weak force, and $SU(3)$ for strong force. Once we understood the symmetry property of the forces it also explained how matter particles interacted with each other through these forces.

Standard model, despite its successes, is not the end of the story. But physicists still use action and symmetries to search for physics beyond the standard model.

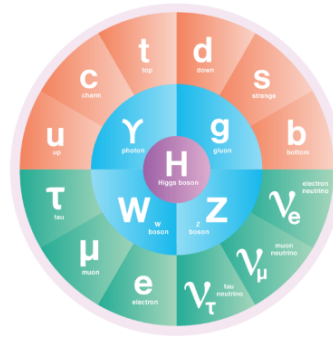


Figure 1: All of Standard Model particles

6 Conclusion

We saw that if time has no beginning or end, total energy is conserved. However, we now know that the universe started with the Big Bang about 13.8 billion years ago and therefore time has a beginning. Should not this then imply that total energy in our universe is not conserved? Exactly, it is not! A simple example that illustrates this is the observed red shift of distant galaxies. As the universe expands, the distance between the light source and the receiver increases. This causes the wavelength of light to stretch and distant objects seem more red to us. However, red shifted light has less energy than it had before. This means that a part of the energy had disappeared.

Acknowledgements

We wholeheartedly thank our mentor Subhrooneel Chakrabarti, Ph.D. for his guidance. We would also like to thank the organizers of The Week of Science.

References

- [1] D. J. Morin. *Introduction to Classical Mechanics: With Problems and Solutions*. Cambridge University Press, 2008.

Jak nám pomáhají tenké vrstvy

M. Fiala*, M. Výhonský**, L. Záruba***

*Gymnázium Botičská Praha 2; mikis@lit.cz

**Gymnázium Zlín-Lesní čtvrť; vyhonsky.matyas@seznam.cz

***GYOA Pelhřimov; zarubalukas1@seznam.cz

Abstrakt:

V rámci miniprojektu jsme se zabývali charakterizací tenkých vrstev, které slouží ke zlepšení mechanických vlastností. Zjistili jsme, že tloušťka tenkých vrstev se pohybuje v jednotkách μm . Dále jsme změřili, že mají výrazně vyšší tvrdost než substrát, což potvrzuje jejich využitelnost v praxi.

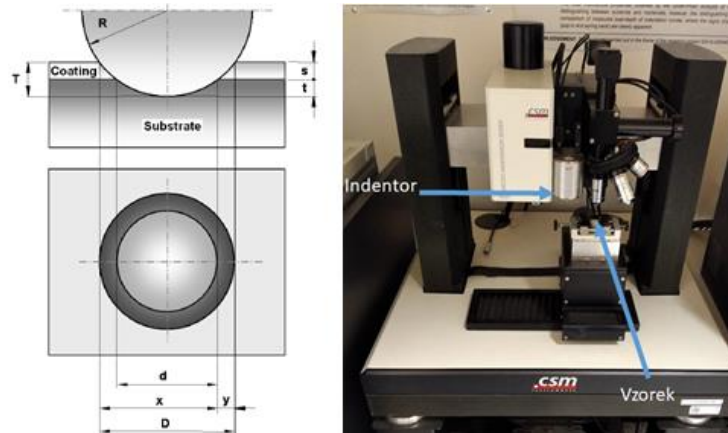
1 Úvod

Tenké vrstvy se těší vzrůstající popularitě v různých odvětvích průmyslu od optiky, přes medicínu, po strojírenství [1]. Aplikací tenké vrstvy můžeme využít její výhodné vlastnosti (např. velká tvrdost, odolnost proti vnějším vlivům) a díky přítomnosti substrátu potlačit vlastnosti negativní, jako například křehkost. Po aplikaci tenkých vrstev dochází k prodloužení životnosti součástky a klesají náklady na výrobu v porovnání s vyrobením celé součástky z materiálu tenké vrstvy.

V práci jsme zkoumali tvrdost a Youngův modul laboratorně připravených vzorků s multivrstvou z titanu a titan nitridu Ti/TiN, chromu a chrom nitridu Cr/CrN a samotný ocelový substrát bez aplikované tenké vrstvy. Tloušťka byla navíc zkoumána u průmyslově nanesené vrstvy TiN na bitu a měděné vrstvy na oceli.

2 Charakterizace tenké vrstvy

Pro změření tloušťky tenkých vrstev u čtyř vzorků byla použita metoda Calotest [2], která spočívá ve vybroušení kulového vrchlíku do povrchové vrstvy ocelovou kuličkou při přidání brusné suspenze. Podle rozměrů prstenců při pohledu ze směru kolmého na povrch vzorku lze následně určit tloušťku vrstvy na základě rovnice $s = \frac{x \cdot y}{2R}$. Význam proměnných je znázorněn na obrázku 1.



Obrázek 1: Geometrické schéma metody Calotest [1] (vlevo), nanoindentor pro určení mechanických vlastností (vpravo).

Tři vzorky byly zkoumány metodou nanoindentace [3], která se používá pro zjišťování tvrdosti a Youngova modulu materiálu. Spočívá ve vtlačování diamantového Berkovichova hrotu (trojboký jehlan) do materiálu. Na základě záznamu hloubky a síly lze určit tvrdost materiálu H_{IT} podle rovnice

$$H_{IT} = \frac{F_{\max}}{A_p(h_c)}, \quad (1)$$

kde F_{\max} je maximální aplikovaná síla, A_p promítnutá plocha vtisku a h_c značí kontaktní hloubku.

Redukovaný Youngův modul E_r (zahrnující elastické vlastnosti zkoumaného materiálu i materiálu hrotu) lze vypočítat z rovnice

$$E_r = \frac{S \cdot \sqrt{\pi}}{2 \cdot \beta \cdot \sqrt{A_p(h_c)}}, \quad (2)$$

kde S je kontaktní tuhost a β je korekční faktor na tvar hrotu ($\beta = 1,034$). Youngův modul tenké vrstvy E_s lze z rovnice (2) získat úpravou následující rovnice

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu_s^2}{E_s} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}, \quad (3)$$

kde je E_i je Youngův modul diamantového hrotu, ν_s je Poissonovo číslo vzorku a ν_i je Poissonovo číslo hrotu.

3 Výsledky a diskuse

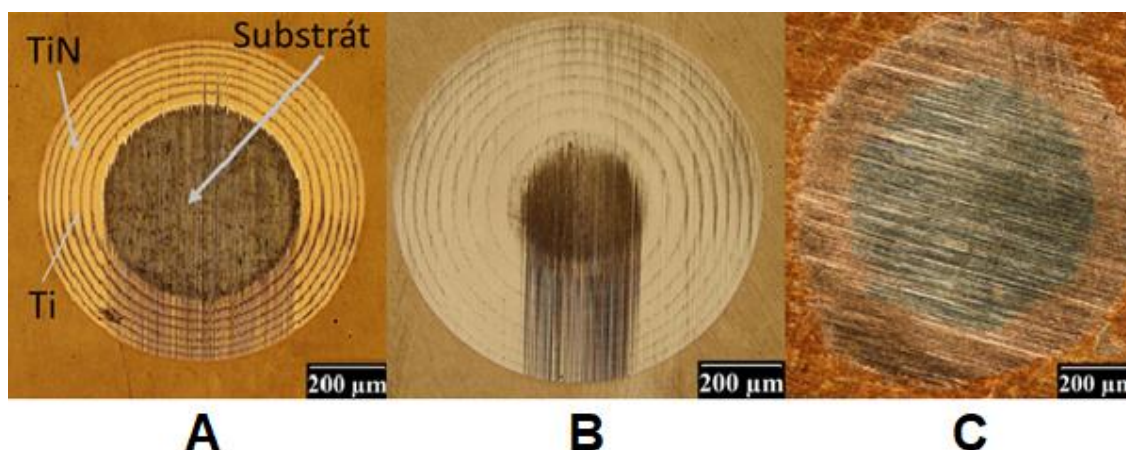
Měřením byly zjištěny tloušťky jednotlivých tenkých vrstev, které se pohybují v rozmezí 3-7 μm (tabulka 1). Pro vzorek multivrstvy Cr/CrN byly navíc zjišťovány také tloušťky jednotlivých vrstev CrN. Bylo zjištěno, že tloušťka jednotlivých CrN složek je podobná a pohybuje se okolo 0,75 μm (tabulka 2). Při měření vrstvy na bitu byla zjištěna nerovnoměrnost pokrytí vrstvy, o čemž svědčí vysoká hodnota rozptylu. Jak je z pozorovaných výsledků patrné (obr. 2), laboratorně připravené vzorky jsou výrazně homogennější (tloušťka vrstev je rovnoměrná). Oproti tomu průmyslově vyráběné tenké vrstvy se vyznačují výraznější nerovnoměrností a na jejich povrchu se vyskytují ostrůvky (obr. 3). To se při měření projevuje větší odchylkou.

Tabulka 1: Tloušťka měřených vrstev.

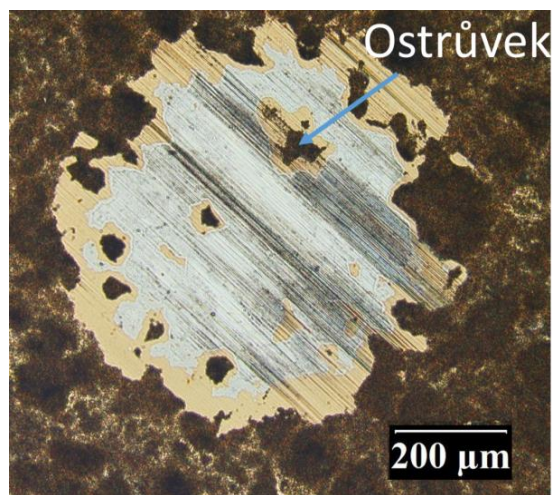
	Cu	Ti/TiN	Cr/CrN	TiN (bit)
s [μm]	4.05 ± 0.37	3.95 ± 0.13	6.25 ± 0.15	3.08 ± 1.15

Tabulka 2: Porovnání tloušťky vybraných vrstev CrN ze vzorku Cr/CrN.

vrstvy CrN	1. vnější	2. vnější	3. vnější	7. vnější	průměr
tloušťka [μm]	0.76 ± 0.12	0.78 ± 0.04	0.75 ± 0.06	0.71 ± 0.01	0.75 ± 0.06



Obrázek 2: Porovnání calotestů: (A) Ti (tmavá) /TiN (světlá), (B) Cr/CrN, (C) Cu.

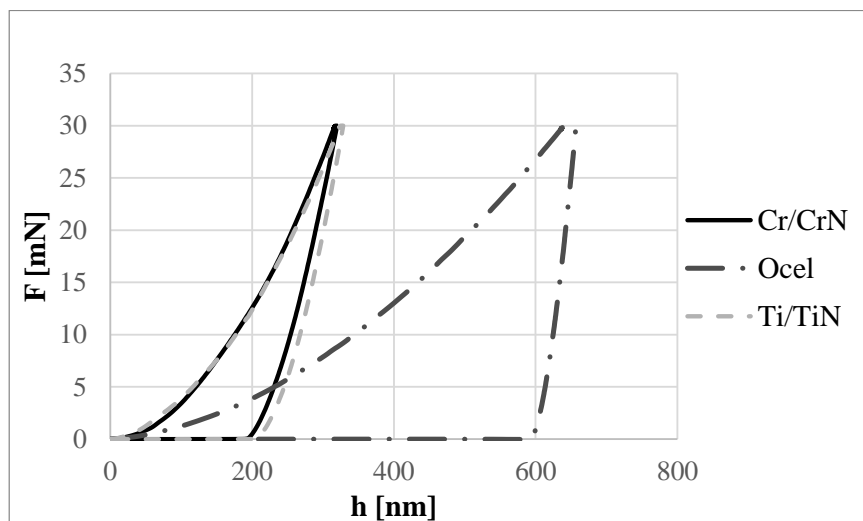


Obrázek 3: Povrch bitu po calotestu. Je patrná nerovnoměrnost nanášené tenké vrstvy.

Na základě měření křivek síla-hloubka (obr. 4) bylo pozorováno, že největší tvrdost vykazovala vrstva Cr/CrN, nižší pak Ti/TiN. Substrát samotný má tvrdost poměrně nízkou, viz tabulka 3, která poskytuje celkový přehled naměřených hodnot tvrdosti i Youngova modulu. Zjištěná hodnota Youngova modulu pro ocel odpovídá typickým hodnotám, přičemž multivrstvy ve srovnání s ocelí dosahují hodnoty vyšší.

Tabulka 3: Zjištěné hodnoty tvrdosti a Youngova modulu.

	Ti/TiN	Cr/CrN	ocel
H_{IT} [MPa]	15599 ± 1925	17478 ± 1886	3131 ± 98
E_s [GPa]	272 ± 22	259 ± 17	219 ± 7



Obrázek 4: Porovnání indentačních křivek síla-hloubka.

4 Závěr

V rámci práce jsme charakterizovali několik tenkých vrstev a substrát. Změřili jsme tloušťku, která se pohybuje v jednotkách μm , a tvrdost tenkých vrstev, která byla výrazně (5x - 6x) vyšší, než tvrdost substrátu, podobně jsme pozorovali i větší hodnoty Youngova modulu.

Poděkování

Na tomto místě bychom chtěli poděkovat Ing. Jaroslavu Čechovi Ph. D. za vedení miniprojektu, cenné rady a celkové osvětlení problematiky tenkých vrstev.

Reference

- [1] *Tenké vrstvy* [online]. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf
- [2] Calotest User manual, CSM Instruments, 21 s., 2011.
- [3] FISCHER-CRIPPS, Anthony C. *Nanoindentation*. 3rd ed. New York: Springer, 301 s., 2011, ISBN 978-1-4419-9871-2.

Termoluminiscenční dozimetrie

V. Zajac, P. Prchal, T. Dygrýn, M. Kočová
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
zayats.vaska@gmail.com

Abstrakt:

Úspěšně jsme zkalibrovali fotonásobič pro měření termoluminiscence a následně jsme s jeho pomocí měřili dávky vzorků ozářených Co-60 a určili vztah mezi dávkou a svítivostí.

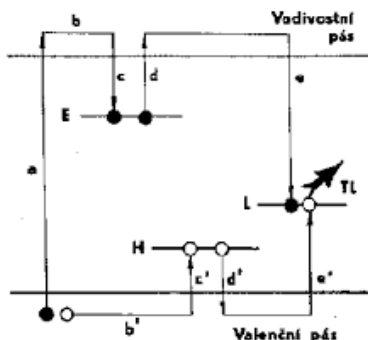
1 Úvod

Úvodní informace (motivace, současný stav problému)

Radiací se každý den vystavuje každý z nás, ve většině případů je však pro nás toto záření ve velmi nízkých dávkách a není pro člověka nebezpečné. Pracovníci v jaderných elektrárnách či zdravotníci se ve však často vystavují dávkám, které jsou vyšší než ty běžné. Toto záření může být ve vyšších dávkách nebezpečné a je proto potřeba ho umět spolehlivě a jednoduše měřit. Jedním z těchto způsobů je termoluminiscenční dozimetrie (TLD).

2 Podstata termoluminiscenční dozimetrie

Termoluminiscence je založena na pásovém modelu pevných látek, který určuje rozložení elektronů ve slupkách. Když vysokoenergetické záření interaguje s elektrony, některá část energie se předá elektronu, který se excituje na vyšší energetickou hladinu. Tento jev však funguje pouze v případě, že je vazebná energie elektronu menší než energie záření. Elektron tak přechází ze svého valenčního pásu do pásu vodivostního (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Pásový model pevných látek
E-elektronová past, TL-termoluminiscenční centrum

Při deexcitaci se však část elektronů ihned nevrací na svou původní polohu, ale často se zachytí mezi dvěma pásy v tzv. elektronových pastech, ve kterých může zůstat po velmi dlouhou dobu.

Elektronové pasti jsou způsobeny příměsí a nehomogenitou materiálu. V případě, že materiál zahřejeme, dodáme elektronům dostatečnou energii na to, aby se přesunuly z elektronových pastí do vodivostního pásu, ze kterého následně přejdou zpět do valenčního pásu. Při tom jsou občas zachyceny v luminiscenčním centru, ve kterém se specifická část energie vyzáří ve formě fotonů. Luminiscenční centra jsou tvořena příměsí přechodných prvků a prvků vzácných zemin. Vlnová délka vyzářeného světla závisí na vzdálenosti luminiscenčního centra od valenčního pásu, která je pro určitý materiál (v našem případě LiF) vždy stejná. Změřením intenzity světla pak můžeme vypočítat dávku. Tento jev lze použít pro dozimetrii či například pro určování stáří materiálů v archeologii.

3 Metoda měření

Pomůcky: Sada TL dozimetrů (TLD-1000) z LiF, vakuová pinzeta, reader Harshaw 3500, ozařovač GammaCell 220

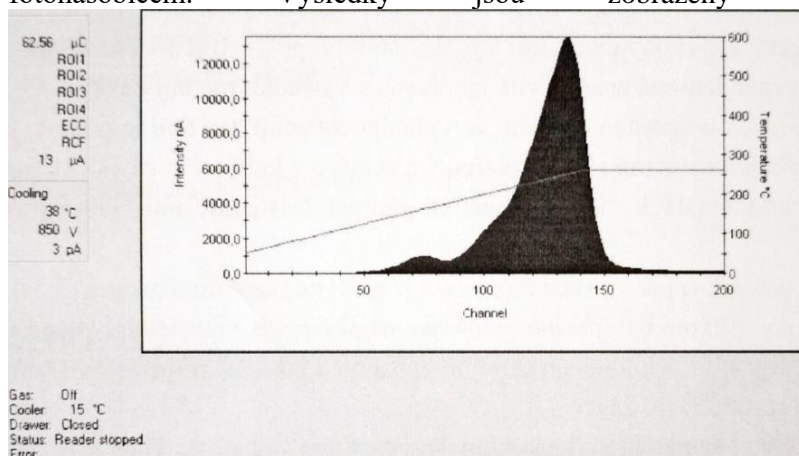
Cílem bylo zjistit vztah mezi dávkou a vyzářeným světlem a následně na základě našich měření určit dávku neznámého vzorku.

Nejprve jsme TLD rozdělili do šesti skupin, každá z nich byla vystavena jiné dávce záření, přičemž u jedné byla dávka nulová, u čtyř byla dávka známá a byla určena pro kalibraci a u jedné byla dávka neznámá. Po přípravě dozime [Přitáhněte pozornost čtenářů zajímavou citací z dokumentu nebo tu zvýrazněte klíčové body. Toto textové pole můžete jednoduše umístit na libovolné místo na stránce přetažením myši.]



Obrázek 2: TL dozimetry v petriho misce

trů jsme vypočítali, jak dlouho je potřeba vzorky ozařovat (V rozsahu několika minut). A poté jsme přistoupili k samotnému ozáření na GamaCellu. Když byly vzorky ozářeny došlo k měření intenzity světla v readeru Harshaw 3500. Zde dochází k zahřátí dozimetrů na teplotu cca. 260°C, jejichž světlo je poté detekováno fotonásobičem. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku č.3



Obrázek 3: Grafický výstup programu pro analýzu TLD. Osa x je čas, tenká čára je teplota(škála na pravé straně), tmavý graf je intenzita(škála na levé straně)

Intenzitu záření jsme poté převedli do tabulky (z každého vzorku o 5 dozimetrech jsme vytvořili aritmetický průměr) a vytvořili graf ukazující závislost optické odezvy (OR) na dávce (D). Zjištěním kalibrační přímky pak můžeme předpokládat určitou hodnotu optické odezvy při dané dávce záření. Následně jsme s pomocí předpisu funkce vypočítali dávku neznámého vzorku.

4 Statistická nejistota

Po naměření výsledků jsme vypočítali rozptýlení kolem regresivní přímky (s_e) a směrodatnou odchylku určení dávky (s_{D_x}) pomocí následujících vzorců:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b - aD_i)^2}{(n - 2)}}$$

$$s_{D_x} = \frac{s_e}{a} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(y_m - \bar{y})^2}{a^2 \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}}$$

kde n je počet různých dávek pro výpočet kalibrační přímky, m je počet měření ve skupině, y_i jsou průměrné hodnoty optické odezvy v jedné skupině, a je směrnice kalibrační přímky, b je absolutní člen předpisu kalibrační přímky, D_i jsou dávky, kterými byly ozářeny jednotlivé skupiny, \bar{D} je průměr dávek, y_m je optická odezva neznámého vzorku, \bar{y} je průměr optické odezvy všech skupin. Takto jsme vypočítali odchylku určení dávky 9,5 %.

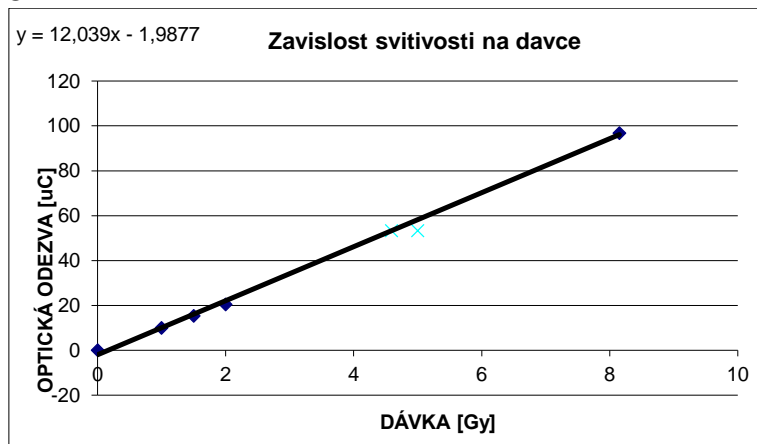
5 Výsledky

V této části naší práce jsou uvedeny výsledky. Ve většině vzorků se nacházelo 5 dosimetrů, které jsme jednotlivě měřili a hodnoty OR zapisovali to tabulky 1.

vzorek	davka [Gy]	cas[s]	Mereni [uC]					prumer
0	0	0	0,01	0,00	0,01			0,01
1	1	181	10,26	9,57	10,34	10,28		9,3
2	1,5	287	15,01	14,52	16,47			15,33
3	2	383	19,34	20,73	19,67	20,19		21,89
4	8,15	1531	95,92	96,59	99,09	95,21		96,70
N	?	957	55,09	56,98	49,66	53,99		50,82
								53,31

Tabulka 1: V tabulce máme uvedeny jednotlivé vzorky společně s dávkou, které byly vystaveny, ta závisí na čase ozařování. Napravo jsou pak zapsané výsledky jednotlivých měření (u většiny vzorků je to 5 dozimetrů, u některých méně), v posledním sloupci je vypsán aritmetický průměr, který jsme následně využili k další analýze.

Body průměru jsme poté umístili do tabulky a proložili jimi kalibrační přímku, jak je vidět na grafu č.1



Graf 1: Graf znázorňující závislost optické odezvy na dávce. Do grafu byly naneseny experimentálně získané body, které byly následně proloženy funkcí s předpisem $y=12,039x-1,9877$

Naším dalším úkolem bylo změřit dávku neznámého vzorku podle jeho optické odezvy. K tomu jsme potřebovali kalibrační přímku, která má předpis

$$OR = 12,039D - 1,9877$$

Dávku lze vypočítat podle vzorce

$$D = \frac{OR - 1,9877}{12,039}$$

Dosadíme-li za OR naměřenou hodnotu 53,308, dostaneme hodnotu dávky 4,59 Gy, která se od reálné hodnoty 5 Gy liší o zhruba 8,5 %.

6 Diskuze

Podařilo se nám zkonstruovat kalibrační přímku s relativně nízkou odchylkou. Zároveň jsme potvrdili, že optická odezva materiálu roste lineárně s dávkou záření. Pravděpodobně největším nedostatkem našeho měření je nehomogenita kalibračních bodů. Vzdálenost mezi 2 a 8 Gy je oproti 1 a 1,5 příliš velký skok. Optimálnějším řešením by bylo snížit dávku skupiny 4 na 3-4 Gy anebo přiřadit skupině 2 dávku 5 Gy. První možnost by zvýšila přesnost měření, druhá by však zachovala možný rozsah měření. Dalším problémem byla technická chyba, která znehodnotila výsledky dvou měření dozimetrů skupiny 2, což značně zvýšilo nejistotu. Dalším problémem je například nehomogenita dávkového příkonu v ozařovači GammaCell 220. Vzorky, které byly blíže ke středu obdržely nižší dávku, protože jsou zdroje záření umístěny na okrajích nádoby. I přesto bylo možné změřit dávku neznámého vzorku s odchylkou menší než 9 %, což je na zvolenou metodu velmi dobré.

7 Shrnutí

Úspěšně se nám podařilo vytvořit kalibrační křivku, která by mohla sloužit jako základ pro budoucí dosimetrii a analýzu dalších TLD. Zároveň jsme s touto metodou získali mnoho nenahraditelných zkušeností.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat doktoru Jiřímu Martinčíkovi za jeho spolupráci, vysvětlení a pomoc při tvorbě této práce.

Reference

- [1] Horowitz Y.S. (Ed.) *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. Vol. I.-III. Boca Raton, CRC Press, 1984
- [2] Kirchner, J. *Data Analysis Toolkit #10: Simple linear regression*. Earth and Planetary Science 120/Energy and Resources 130, University of California, Berkeley, 2001

Základy technologie stabilizace vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

Březina Tomáš¹, Drexlerová Monika², Rostejský Adam³, Šimánek Vít⁴

¹Gymnázium Trutnov, ²Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm,

³Jiráskovo gymnázium Náchod, ⁴Gymnázium Příbram

¹tomas.brezina551@gmail.com; ²drexlerova.monika@seznam.cz,

³wojdik32@gmail.com; ⁴vitek.simanek@gmail.com

Abstrakt

Ve fúzních elektrárnách budoucnosti budeme potřebovat, aby reakce mezi atomy vodíku v plazmatu probíhaly nepřetržitě. To, ale bude spíše záležitost sci-fi, dokud nevyřešíme základní problémy, které s tím souvisí. Mimo jiné, jde i o udržení stabilního plazmatu uvnitř komory, aby nepoškodilo vnitřek tokamaku a nezpůsobilo nevyčíslitelné škody. Právě stabilizací plazmatu (v podmínkách tokamaku GOLEM) jsme se zabývali a některé naše úspěšné výsledky (přesahující až dvojnásobek výchozích časů) přináší pozitivní vlnu naděje nejen nám, ale všem, komu fúzní energie v budoucnu pomůže.

1 Úvod

Tokamak již od doby jeho vzniku v 50. letech představuje velice atraktivní zdroj energie. Konec konců, odjakživa jsme ji sledovali na obloze, proto je vidina jejího komerčního využití silnou motivací pro vědce po celém světě. Vytvoření dlouhodobě pracující fúzní elektrárny by lidstvu přineslo téměř nevyčerpatelný zdroj ekologicky čisté energie. Ke spoutání této energie by nám mohl sloužit Tokamak - zařízení, které k udržení horkého plazmatu (až 100 milionů Kelvinů) používá magnetické pole. V průběhu reakce působí síly vychylující plazma. My jsme tyto výchylky změřili a pokusili jsme se je pomocí jiných magnetických polí minimalizovat, abychom dosáhli nejstabilnějšího plazmatu s nejdélší dobou trvání výboje.

2 Stabilizace

2.1 Teoretický úvod

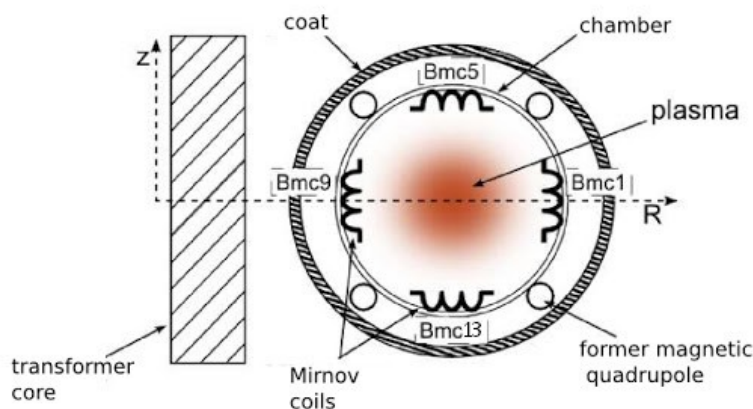
Tokamak Golem je tvořen vakuovou komorou tvaru prstence a cívkami okolo ní. Uvnitř je pomocí cívek vytvořeno toroidální magnetické pole. Změnou magnetického indukčního toku je v plazmatu indukován elektrický proud, který jej zahřívá na několik stovek tisíc stupňů. Extrémně horký ionizovaný plyn je poté různými silami vychylován. Změna jeho polohy zmenšuje jeho poloměr a vede k zániku plazmatu. Odchytky v poloze plazmatu

můžeme naměřit ve dvou směrech: radiálním - vlevo a vpravo, vertikálním - nahoru a dolů od středu komory.

Pohyb plazmatu jsme měřili pomocí čtyř **Mirnovových cívek**, které jsou rozmístěny v mezikruží ve stínu limiteru. Každá z cívek má 91 závitů a jejich středy se nachází 93 mm od centra komory. Umístění cívek je znázorněno na Obrázku 1. Signál z cívek bylo nejprve nutné zintegrovat, čímž jsme získali velikost poloidálního magnetického pole generovaného plazmatem pro 4 různá místa komory. Dále ještě bylo nutné eliminovat parazitní signál od toroidálního magnetického pole, což jsme provedli odečtením hodnot získaných z vakuového výboje. Pro změnu radiální polohy Δr a vertikální polohy Δz jsme použili vzorce:

$$\Delta r = \frac{B_{mc1} - B_{mc9}}{B_{mc1} + B_{mc9}} \cdot b \quad \Delta z = \frac{B_{mc5} - B_{mc13}}{B_{mc5} + B_{mc13}} \cdot b, \quad (1)$$

kde b je konstanta rovná 93 mm. Tyto vypočtené hodnoty jsme poté zanesli do grafů.



Obrázek 1: Schéma Mirnovových cívek měřící polohu plazmatu

Jako další možnost kontroly polohy sloužily **rychlé kamery** - konkrétně **Photron FastCam Mini UX50**, které v našem případě zaznamenávali 40 000 FPS (snímků za sekundu). Jedna snímala plazma z boku komory (vertikální změny). Druhá z vrchu komory (radiální změny).

Posledním a nejdůležitějším ukazatelem byla změna poloměru plazmatu. Ten jsme podle Pythagorovy věty vypočítali jako rozdíl původního poloměru a rozměru, který vznikl po složení vertikálních a radiálních rozměrů:

$$a = a_0 - \sqrt{\Delta r^2 + \Delta z^2} \quad (2)$$

kde a_0 je 85 mm.

Po každém výboji jsme provedli analýzu naměřených dat (délka výboje, vývoj polohy) a na základě toho jsme pozměnili velikost a průběh proudu ve stabilizačních cívkách.

2.2 Výsledky

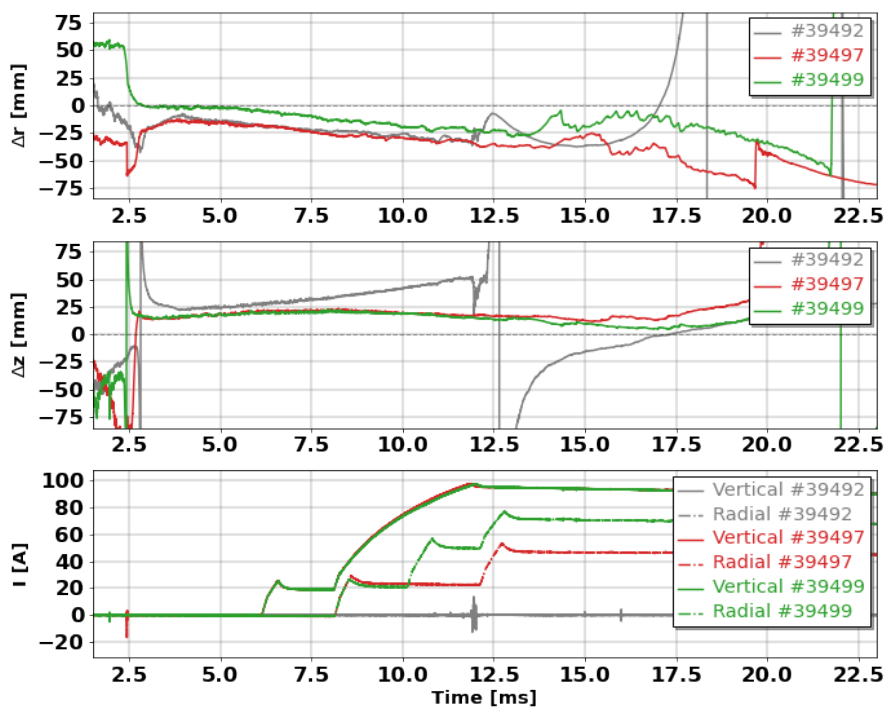
Celkově jsme na tokamaku GOLEM uskutečnili přes 25 výbojů. Získaná data jsme zanesli do tabulky, kde jsme sledovali nejen základní parametry jako napětí na kondenzátorech napájejících obvod pro generaci toroidálního magnetického a toroidálního elektrického

pole, které se vlastně neměnily, ale hlavně změny na napětí na stabilizačních cívkách a čas, kdy se stabilizace zapnula.

Na grafu (Obrázek. 2) lze vidět záznamy z Mirnovových cívek pro výboje #39492, #39497 a #39499 s parametry viz Tabulka 1. Náhlé vychýlení polohy o více, než je maximální rozsah os (± 85 mm), signalizuje zánik plazmatu. První z výbojů (#39492) byl referenční, nebyl stabilizován a sloužil k tomu, abychom zjistili jak se plazma chová. U druhého výboje (#39497) jsme v čase postupně zvyšovali stabilizační proud. Dosáhl 16,94 ms. Třetí výboj (#39499) byl nejdelší, opět jsme v čase zvyšovali stabilizační proud, ale zvýšili jsme proud pro radiální stabilizaci, dosáhl 19,25 ms.

U_{Bt} [V]	U_{cd} [V]	T_{cd} [μs]	p [mPa]
1200	450	350	20

Tabulka 1: Standardní parametry výbojů.



Obrázek 2: Závislost vertikální polohy Δz , radiální polohy Δr a proudu I na čase.

Na Obrázku 3 je vidět záznam z kamer sledující pozici plazmatu ve výstřelu #39493, který měl pouze vertikální stabilizaci a trval 15,84 ms.

2.3 Diskuze

Délka původního referenčního výboje se nám jen pomocí stabilizace povedla zdvojnásobit až na zmíněných 19,25 ms a dostali jsme se do bodu, kdy bychom plazma udrželi i déle, ale překážkou pro nás byla kapacita kondenzátorů, kvůli které nejsme schopni vést proud dostatečně dlouho. Snaha o prodloužení výboje se tedy celkově vydařila.

Ovšem velká část výstřelů byla nepovedená, z důvodů neprůrazu neutrálního plynu do plazmatu, nízkého tlaku, zhoršení parametrů komory. Také jsme museli čelit problémům s



Obrázek 3: Záznam z rychlých kamer ukazující časový vývoj polohy plazmatu. Z průběhu je patrný pozitivní vliv stabilizace na délku výboje.

předionizací, která po nějaké době přestala fungovat úplně. Rovněž v některých případech chyběly záznamy kamer. Jejich absence nám analýzu polohy silně zkomplikovala.

3 Shrnutí

Po několika pokusech na Tokamaku Golem jsme dosáhli velmi příznivých výsledků. Z původní délky výboje, 9,19 ms, jsme pomocí stabilizace dosáhli až 19,25 ms. Experiment dokázal, že máme ještě velký prostor pro vývoj a pokrok v tomto oboru.

Samotná stabilizace je jednou z klíčových technologií v budoucích elektrárnách a jejím zdokonalením se přiblížíme k využití fúzní energie na Zemi.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali ČVUT FJFI za poskytnutí výzkumných zařízení a organizátorům týdne vědy za příležitost si experiment vyzkoušet. Zvláštní poděkování pak patří naší garantce, Daniele Kropáčkové, za skvělé vedení, konzultace a pomoc.

Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to L^AT_EX*. <https://mirrors.nic.cz/tex-archive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>.
- [2] *GOLEM wiki*. <http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/>.
- [3] S. Entler, O. Ficker, et al. *Budoucnost energetiky: jaderná fúze*. <https://www.ipp.cas.cz/miranda2/export/sitesavcr/ufp/ufp-v-mediich/Publications/Budoucnost-energetiky-jaderna-fuze.pdf>.

Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

M. Bartaloš[†], A. Michal^{††}, D. Něnička[‡], P. Sluka^{‡‡}

[†]Křesťanské gymnázium, Praha, ^{††}Gymnázium Jiřího z Poděbrad,

[‡]Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm,

^{‡‡}Gymnázium Mikulášské náměstí, Plzeň

[†]matyas.bartalos@gmail.com, ^{††}michal.adam2906@gmail.com,

[‡]dejv.1001@email.cz, ^{‡‡}petr@sluka.cz

21. 6. 2022

Abstrakt

Náš miniprojekt měl za cíl seznámit se s principem a diagnostikou tokamaku GOLEM na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Po teoretickém úvodu jsme se pokusili diagnostikovat vysokoteplotní plazma a určit jeho teplotu. Provedli jsme několik výstřelů na tokamaku GOLEM, z nichž jsme získali potřebná data k určení jeho teploty.

1 Úvod

V posledních letech se energetické nároky lidstva razantně zvyšují. Slučováním vodíkových atomů můžeme získat velké množství energie, avšak aby mohlo dojít k srážce jader je nutno překonat odpudivé síly mezi nimi. Tuto sílu překonáme urychlením částic, čehož docílíme zahřátím. Za vysoké teploty potom vzniká ionizovaný plyn, alias plazma, toto není ale za standardních podmínek možné, proto používáme tokamak.

2 Princip tokamaku

Tokamak je zařízení schopné krátkodobě vytvořit vysokoteplotní plazma. Na jeho principu by v budoucnu mohla fungovat termonukleární elektrárna. Plazma je ve vakuové komoře o tvaru toroidu udržováno pomocí cívek, které vytváří magnetické pole a zahříváno je průtokem proudu indukovaného transformátorem. Plazma má ale tak vysokou teplotu, že ho nelze změřit kontaktními metodami, proto musíme teplotu změřit nepřímou.

3 Metody diagnostiky

Teplotu plazmatu lze bezkontaktně určit pomocí měření elektromagnetického pole a určení odporu plazmatu. K tomu nám slouží následující měřicí diagnostiky (viz. Obr. 1):

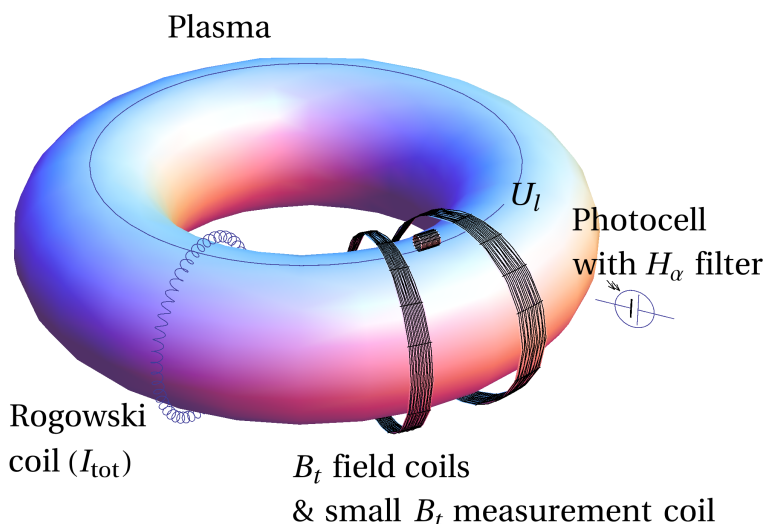
Jednozávitová cívka omotaná po horním obvodu komory měří napětí na závit U_{loop} indukované na sekundárním vinutí transformátoru.

Rogowského páska je vodič, kolem kterého je omotaná cívka. Umisťuje se kolem příčného řezu komory a měří se pomocí ní napětí vyvolané změnou proudu v plazmatu. Když změřené napětí zintegrujeme, získáme celkový proud protékající komorou a plazmatem I_{all} . Abychom získali pouze proud protékající plazmatem I_p , musíme odečíst proud protékající komorou $I_k = \frac{U_1}{R_k}$, kde R_k je odpor komory ($R_k = 0,0097 \Omega$), I_p vypočteme jako

$$I_p = I_{all} - I_k = C_{Rog} \cdot \int U_{Rog} dt - \frac{U_1}{R_k}.$$

B_t cívka se umisťuje mezi cívky okolo komory co nejbližše ke komoře. Slouží k měření toroidálního magnetického pole.

Fotodioda slouží k indentifikaci plazmatu v komoře. Její snímání nám umožňuje zjistit, jak dlouho plazma v komoře vydrželo.



Obrázek 1: Schéma umístění diagnostik, převzato z [2].

Jakmile známe proud protékající plazmatem (I_p) a napětí na závit (U_{loop}), můžeme podle vzorce $T_p = 0,9 \cdot \left(\frac{U_{loop}}{I_p}\right)^{-\frac{2}{3}}$ přibližně určit jeho teplotu.

Všechny komponenty jsme připojili pomocí koaxiálních kabelů k osciloskopu, který zobrazoval naměřená data v čase.

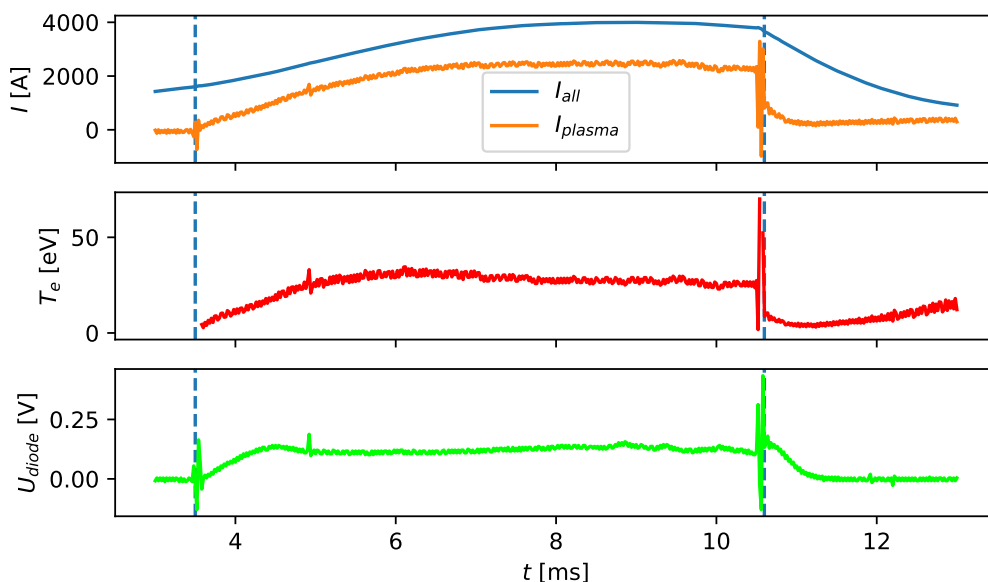
Na tokamaku lze nastavit 3 nejdůležitější parametry:

- U_{Bt} : napětí na kondenzátorech pro cívky toroidálního pole
- U_{cd} : napětí pro jádro tokamaku
- Tlak paliva: tlak vodíku uvnitř vakuové komory.

4 Výsledky

Při zkoumání jsme nastavovali: U_{Bt} : pro účely tohoto měření jsme používali nejvyšší hodnotu 1300 V; U_{cd} : tuto hodnotu jsme postupně snižovali z maximálních 700 V po 50 V; tlak paliva jsme měli stále nastavený na 30 mPa, avšak jeho skutečné hodnoty se lišily.

Obr. 2 je grafický výstup dat z výstřelu číslo #39475.



Obrázek 2: Výstřel #39475, parametry: U_{Bt} 1300 V, U_{cd} 700 V, tlak: 30 mPa.

První graf na Obr. 2 znázorňuje proud tekoucí plazmatem (I_{plasma}) a celkový proud (I_{all}). V druhém grafu je vidět průběh teploty plazmatu během výboje. Třetí graf vykresluje průběh napětí na fotodiodě, Přerušované čáry napříč vymezují čas, po který probíhal výboj.

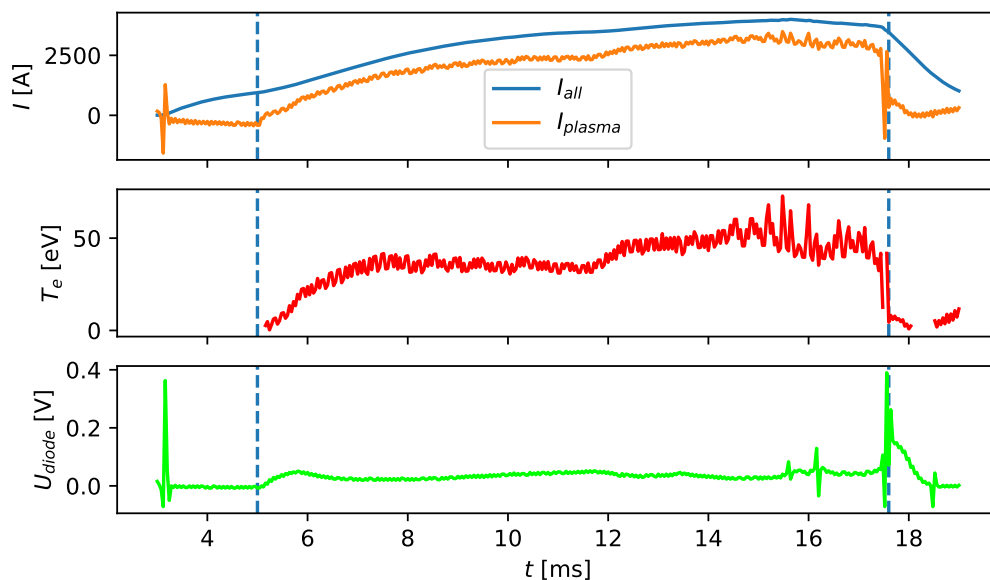
Obr. 3 je grafický výstup dat z výstřelu číslo #39500.

Na Obr. 3 můžeme vidět nejdelší námi provedený výboj. V prvním grafu je proud tekoucí plazmatem a celkový proud, ve druhém je průběh teploty plazmatu a ve třetí napětí na fotodiodě, vše v závislosti na čase. Můžeme vidět zároveň i vyšší teplotu plazmatu.

5 Diskuze

Pozorovali jsme, že změřená teplota a délka výboje se mezi jednotlivými dny miniprojektu měnila. Důvodů může být víc. Nejpravděpodobnější důvod bude kondice komory, která se častými výstřely během dvou dní pročistila, čímž se druhý den zvedla teplota plazmatu. Z našich měření vyplývá, že při provedeném výboji hodnota tlaku v komoře a postupné snižování U_{cd} nijak výrazně neovlivňovaly teplotu plazmatu.

Vztah U_{cd} a úspěšnost vytvoření plazmatu jsme nemohli přesně určit, protože piezovenil v některých případech nevytvořil požadovaný tlak ve vakuové komoře, čímž znemožnil úspěšný výboj.



Obrázek 3: Výstřel #39500, parametry: U_{Bt} 1300 V, U_{cd} 550 V, tlak: 30 mPa.

6 Shrnutí

Pomocí výše zmíněných postupů se nám povedlo změřit přibližnou teplotu plazmatu, která se v našich výbojích pohybovala kolem 30 eV až 50 eV, což je v přepočtu 350 000 °C až 580 000 °C.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za umožnění práce na tokamaku GOLEM, panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za odborný teoretický úvod do problematiky tokamaku a Bc. Filipu Papouškovi za odborné vedení naší práce.

Reference

- [1] GOLEM Wiki contributors. Doprovodná www stránka pro úlohu Tokamak GOLEM ve Fyzikálním praktiku KF FJFI. <http://golem.fjfi.cvut.cz/KFprakt>, 2022.
- [2] GOLEM Wiki contributors. Magnetic confinement of high temperature plasma at the GOLEM tokamak. <http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Education/GMinstructions/extracts/Universities/CTU.cz/PRA2/docum.pdf>, 2022.

Co je viskóznější, olej nebo med?

Jan Picmaus

Gymnázium Česká Lípa, Žitavská 2969, 470 01 Česká Lípa

Filemon033@gmail.com

Abstrakt

Práce se zabývá měřením dynamické (zdánlivé) viskozity čtyř vzorků olejů a jednoho vzorku medu za účelem vyzkoušení si jednoduché výzkumné činnosti. Měření bylo provedeno na rotačním viskozimetru *Haake Viscotester iQ (Thermo Fisher)*. Pro účely výpočtu kinematické viskozity bylo zjišťování hustot vzorků olejů metodou vážení objemu pomocí stříkačky. Porovnáním výsledných hodnot se jako nejméně viskózní ukázaly olivové oleje a nejvíce viskózní med. Z olejů byl pak nejviskóznější methylsilikonový olej.

Úvod

Viskozita je veličina, kterou se zabývá obor nazývaný reologie, což je nauka o deformaci a toku materiálu. Viskozitu nelze přímo měřit, proto se k jejímu zjištění využívá vztah mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí [3]:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad [Pa \cdot s]$$

kde η je dynamická viskozita, τ je smykové napětí a $\dot{\gamma}$ je smyková rychlost. Když je splněna podmínka, že je viskozita kapaliny konstantní se změnou smykové rychlosti, označujeme tuto kapalinu jako newtonovskou. V opačném případě pak jako kapalinu neneutronovskou. V praxi se také používá jiný způsob vyjádření viskozity, a to kinematická viskozita ν , jež je dána podílem dynamické viskozity a hustoty kapaliny při definované teplotě [1-3]:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [m^2 \cdot s^{-1}]$$

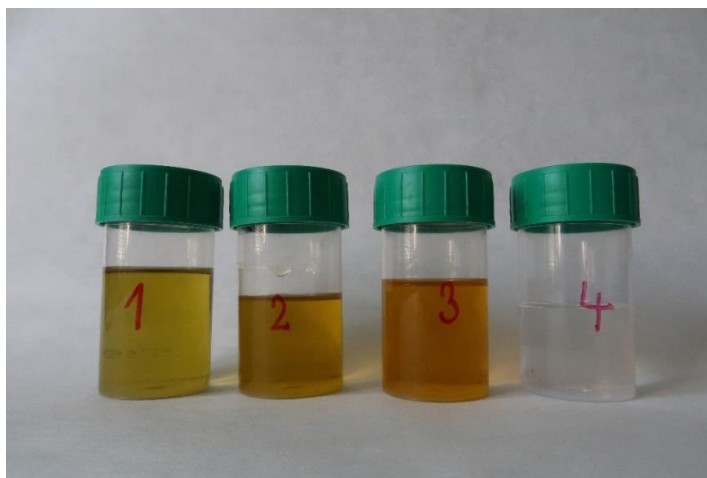
Popis reologického chování tekutých látek je důležité hlavně z hlediska jejich použití v různých oblastech lidské činnosti. Významné je například v posuzování paliv v petrochemii (chemie zpracování ropy a ropných produktů, hodnocení vlastností potravinářských či kosmetických výrobků, posuzování chování nátěrových hmot a v dalších oblastech.

Na Oddělení struktury a vlastností materiálů ÚSMH AV ČR v.v.i. se měření viskozity používá k charakterizaci kapalných produktů vzniklých pyrolýzou a zplyňováním odpadních plastů, biomasy a podobných materiálů. Tyto produkty obsahují látky, které se vyskytují v ropě či zemním plynu a proto mohou být využity na palivo nebo jako surovinový zdroj, z něhož se získávají chemické látky

Protože manipulace s nimi podléhá zvýšeným nárokům na bezpečnost práce daných zákonem, byly pro účely této práce vybrány reprezentativní vzorky olejů a med.

Experimentální Část

Bylo měřeno pět vzorků: dva olivové oleje (vzorek č. 1: Artemis Greek oil; vzorek č. 2: Extra virgin oil Franz Josef), vzorek č. 3: řepkový olej (Bipol – Bioolej pro motorové pily), vzorek č. 4: methylsilikonový olej (Luksoil) a vzorek č. 5: pastový med. Úkolem bylo zjistit jejich dynamickou a kinematickou hustotu.



Obr.1 Vzorky testovaných olejů



Obr. 2 Rotační ponorný viskozimetr Haake Viscotester iQ Thermo Fisher s válcovou geometrií (CC25 DINTi) [4]

Než mohlo začít získávání hodnot, musely být splněny podmínky, během kterých mělo měření probíhat. Nastavovala se teplota a smyková rychlost. Měření bylo prováděno na rotačním

viskozimetru typu Haake Viskotester iQ (viz. obr. 2). Výsledkem měření se pak stala hodnota dynamické viskozity.

Před každým měřením přístroj nejprve minutu vzorek temperoval: rovnoměrně ho chladil/zahříval na kýženou teplotu. Hustota vzorků se získala opatrným odsátím jednoho mililitru (1 cm^3) připravené látky a jejím následným zvážením na váhách Kern 770. Protože byl vždy vážen jeden ml látky, mohla se výsledná hmotnost vzorku určit odečtením hmotnosti vzorku se stříkačkou od hmotnosti prázdné stříkačky.

Hodnoty uvedené v tabulce 1 jsou výsledkem opakovaného měření a průměrování na každém ze vzorků. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2). Jako základ pro každou hodnotu se z časových důvodů použil průměr ze tří měření.

Kvůli nebezpečí kontaminace vzorků byly mezi jednotlivými měřeními nástroje důkladně čištěny buničitým papírem a izopropanolem.

Diskuze

Z výsledků uvedených v tabulce 1 se jako nejméně viskózní jeví olivový olej (Artemis Greek oil), zatímco nejvíce viskózní ze vzorku olejů byl methylosilikonový olej (Lukoil). Tento rozdíl je přičítán zejména odlišnému složení těchto olejů. Ze všech pěti vzorků se jako nejvíce viskózní ukázal vzorek medu. Med se obecně skládá z velkého množství složek, které mezi nereagují. Jedná se o vodu, rozpuštěné sacharidy, částičky pylu, krystalky cukrů a částičky vosků.

V případě měření hustoty olejů byly vidět odchylky mezi hodnotami jednotlivých měření. To bylo způsobeno nepřesností měření této metody.

Tabulka 1: Průměrné hodnoty změřené dynamické viskozity a hustoty a z nich vypočítaná kinematická viskozita vzorků čtyř olejů a medu.

Měř. Látka	Podmínky měření	Dyn. viskozita (η)	Hustota (g/cm^3)	Kin. viskozita (m^2/s)
Artemis Greek oil (olivový olej)	25 °C, 1400 1/s	0,0679	0,9377	$7,24 \cdot 10^{-5}$
Extra virgin oil Franz Josef (olivový olej)	25 °C, 1400 1/s	0,0803	0,9296	$8,64 \cdot 10^{-5}$
Bipol – Bioolej pro motorové pily (řepka)	25 °C, 1400 1/s	0,0714	0,9229	$7,74 \cdot 10^{-5}$
Lukoil (Methylosilikonový olej)	25 °C, 1400 1/s	0,5013	1,0323	$48,56 \cdot 10^{-5}$
Med pastový	40 °C, 500 1/s	1,34	-	-

Shrnutí

Projektem jsem si ujasnil, vymezil a definoval fyzikální vlastnost zvanou viskozita. Dále jsem byl v praktickém měření schopen pomocí rotačního viskozimetru naměřit a spočítat hodnoty kinematických viskozit vzorků, které byly poměrně blízké hodnotám uváděným v dostupné literatuře. Podílel jsem se na výpočtech, na kterých každý den závisí mezinárodní standardy, továrny, výzkumné ústavy, průmysly... zkrátka, zeptal jsem se medu a čtyř olejů: „Tak potečete, nebo ne?“

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i. za poskytnuté prostory a vybavení. Dále Ing. Olze Bičákové, Ph.D. a Ing. Jaroslavu Cihlářovi, Ph.D., vedoucímu projektu, který by se bez jeho ochoty, trpělivosti a rad nemohl uskutečnit.

Zdroje

- (1) HOLUBOVÁ Renata. *Základy reologie a reometrie kapalin*. Olomouc, 2014. Univerzita Palackého v Olomouci.
- (2) Viskozita. In: *Wikiskripta* [online]. 2021 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Viskozita>
- (3) Presentace fy Pragolab. Seminář reologie. [REOLOGIE \(pragolab.cz\)](http://REOLOGIE(pragolab.cz))
- (4) Manuál k přístroji rotační viskozimetr Haake Viscotester iQ, VTiQ_Navod k pouziti_CZ_(Version_1.6_Sept_2016)

Když se přeruší optický kabel, aneb jak fungují optická vlákna?

T. Loukotka^{1,*}, A. Drmota², J. Vojta³

¹ Křesťanské gymnázium, Kozinova 1, 102 00 Praha 15

² Střední průmyslová škola strojní a elektrotechnická,

Dukelská 260/13, 370 01 České Budějovice

³ Gymnázium Brno, třída Kapitána Jaroše 1829/14, 658 70 Brno

* tomas.loukotka@post.cz

21. června 2022

Abstrakt

V tomto miniprojektu jsme se zabývali optickými vlákny. Metodou optické reflektometrie v časové doméně (OTDR) jsme porovnávali různé typy vláken a způsoby spojů. Námi měřená vlákna se od sebe lišila materiálem a průměrem jádra.

1 Úvod

Cílem projektu bylo seznámit se s optickými vlákny a metodou měření OTDR, která se používá v telekomunikacích k diagnostice optických přenosových tras.

Optické vlákno je křehká ohebná dielektrická struktura pro šíření světla, fungující na principu totálního odrazu záření. Skládá se nejčastěji ze skleněného jádra a pláště a primární ochranné vrstvy. Dělíme je na jedno-módová (SM) a mnoha-módová (MM) vlákna. V dnešní době se s nimi často setkáváme v telekomunikacích díky jejich nízkému útlumu na dlouhé vzdálenosti a vysoké rychlosti přenosu [1, 2].

Při provozu na velkých vzdálenostech je také potřeba mít efektivní nástroje pro jejich diagnostiku, k čemuž se mimo jiné využívá i metoda OTDR. Tato metoda zaznamenává

zpětný odraz vln od defektů vlákna. Výhodami této metody jsou: potřeba přístupu jen z jednoho konce vlákna, nedochází k jeho destrukci, metoda je rychlá a odolná vůči el.mag. šumu. Největšími nevýhodami jsou pořizovací náklady na měřicí přístroj a útlum na velkých vzdálenostech. Tato metoda se používá k měření fyzikálních veličin jako index lomu, útlum, teplota, tlak, tah, numerická apertura, disperze, homogenita [3].

2 Postup měření

Před samotným měřením jsme museli připravit vlákna na připojení k přístroji přes konektory typu FC/APC (šikmé seříznutí zakončení). Tento konektor s křátkým vláknem jsme následujícím postupem připevnili na měřené vlákno. Po odstranění polymeru na koncích vláken, vyčištění isopropylalkoholem a jejich kolmém zalomení lámačkou jsme je svařili na svářečce pro optická vlákna. Následně jsme celek napojili na reflektometr od firmy Exfo. Měření jsme prováděli pro různá vlákna, parametry vysílaných pulsů a způsoby spojení více vláken (svárem, FC/PC konektory (přímé seříznutí zakončení), FC/APC konektory a rychlokonektory (BFA)). První z měřených parametrů byla vlnová délka a to s hodnotami 1310 nm a 1550 nm, což jsou vlnové délky 2. a 3. telekomunikačního okna. Také jsme upravovali délku pulsu (5 ns – 500 ns), která ovlivňuje přenos měření.

3 Výsledky a diskuze

Nejprve jsme měřili závislost naměřené délky jedno-módového vlákna na zvolené délce impulsu. Výsledky jsou zaznamenány v Tab. 1. Odchylku jsme vypočítali ze vzorce:

$$y = \frac{c}{n} \cdot t,$$

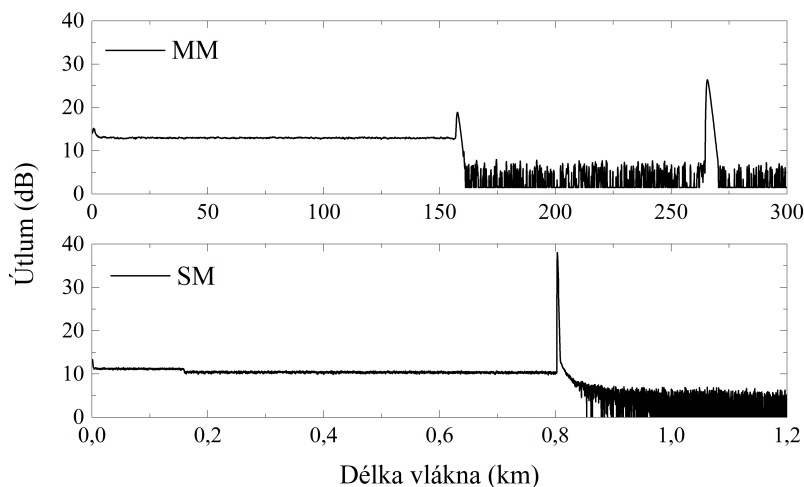
kde c je rychlost světla ve vakuu, $n = 1,47$ index lomu jádra vlákna a t délka impulsu.

Impuls (ns)	5	10	30	50	100	275	500
Délka vlákna (m)	649	650	648	650	640	630	600
Odchylka (m)	1	2	6	10	20	60	100

Tab. 1: Závislost naměřené délky vlákna a odchylky v závislosti na délce impulsu.

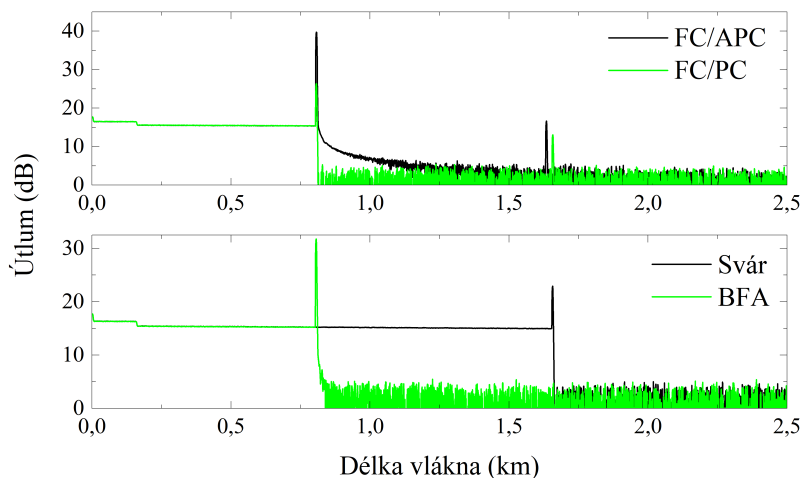
Porovnání pro odražený signál o vlnové délce 1550 nm v MM a SM vlákně je na Obr. 1. Pro větší přesnost měření jsme použili předřadné vlákno o délce ~ 150 m zobrazené

ve všech grafech. Signál v MM vlákne je silně utlumený a proto se na delší vzdálenosti v telekomunikacích využívá SM vlákno.



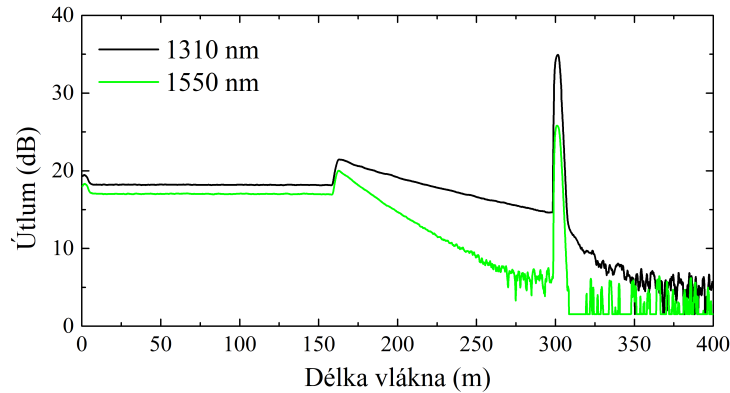
Obr. 1: Porovnání intenzity zpětně odraženého signálu v SM a MM vlákne.

V grafech na Obr. 2 je porovnání různých spojů dvou SM vláken. U spojení pomocí konektorů FC/PC a FC/APC je druhé vlákno silně utlumené, přesto dojde k odrazu na konci vlákna, což nám umožní změřit jeho délku. V případě BFA konektorů, z důvodu vzdušné mezery ve spoji, není možné zaznamenat zpětný odraz. Nejlepším spojem je tedy svár, na kterém dochází k minimálnímu útlumu.



Obr. 2: Graf vlivu různých spojů na zpětný odraz.

Na Obr. 3 je patrný vliv absorpce záření o různých vlnových délkách v holmiem dopovaném optickém vlákne, které se využívá např. pro vláknové lasery a zesilovače.



Obr. 3: Vliv absorpce na různých vlnových délkách pro holmiem dopované vlákno.

4 Závěr

Zjistili jsme že MM vlákna nejsou vhodná pro přenosy signálu na dlouhé vzdálenosti. Nejméně ztrátovým spojením je svár, naopak nejvíce signálu ztratí spojka BFA. Vlákna dopovaná určitými prvky tlumí konkrétní vlnové délky. S rostoucí délkou impulsu se zvyšuje odchylka naměřené délky vlákna.

Poděkování

Děkujeme moc organizátorům TV@J za zážitkový týden, ÚFE AV ČR za umožnění práce v laboratoři a vedoucí našeho miniprojektu Báře Jiříčkové.

Reference

- [1] R. Paschotta, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, Wiley-VCH, 2008, ISBN 978-3-527-40828-3.
- [2] Peterka, P. a kol.: *Vláknové lasery*, Academia, 2nd ed., 2014
- [3] OTDR - Optical Time Domain Reflectometer — Fluke Networks® [online, cit. 21.06.2022]. Dostupné z: <https://www.flukenetworks.com/expertise/learn-about/otdr>

Simulace provozu JE typu VVER - 440

J. Kožnar*, M. Hošek**

*Střední průmyslová škola Třebíč, **SOŠ a SOU Kladno Dubská

*koznarj.04@spst.eu, **misahosek@gmail.com

Abstrakt:

Příspěvek pojednává o jaderných elektrárnách, blíže o typu elektrárny s reaktorem VVER-440, je zde zhruba popsána jeho konstrukce, dále se zabývá simulacemi v programu SPVS EDU. Příspěvek dále blíže popisuje vybranou simulaci poruchy přepouštěcích ventilů kompenzátoru objemu.

1. Úvod

Jaderná elektrárna je technologické dílo, které umožňuje využít energii uvolněnou při štěpení jader atomů k výrobě elektrické energie. Jedná se o zařízení technicky náročné na provoz. Nenachází se zde prostor pro chyby, tudíž personál musí být dobře proškolen. K výcviku pracovníku je nejideálnější používat právě simulátory, které jsou schopny velmi věrohodně napodobit opravdový provoz elektrárny a to bez rizika reálného nebezpečí.

V rámci projektu jsme provedli simulace JE s reaktorem typu VVER-440 a to jak běžné provozní stavy, tak i havarijní scénáře. Částečně jsme do provozu zasahovali, ale také jsme bez zásahu pozorovali měnící se hodnoty a vysvětlovali si děje uvnitř elektrárny.

2. Jaderná elektrárna s reaktorem typu VVER-440

Blok s reaktorem VVER je typ jaderné elektrárny vyvinuté Sovětským svazem, který je možno nalézt v zemích bývalého východního bloku. Jedná se o dvouokruhový systém o původním výkonu 440MW_e, voda je zde pod tlakem aby nedocházelo k varu, v tomhle typu slouží jako chladivo a moderátor zároveň. Na západě se tenhle typ označuje jako PWR. V České republice aktuálně pracují čtyři jaderné bloky typu VVER-440 a to v Jaderné elektrárně Dukovany.

Primární okruh

Primární okruh se skládá z reaktoru, šesti parogenerátorů, šesti hlavních cirkulačních čerpadel, kompenzátoru objemu a dalších pomocných a bezpečnostních systémů. V reaktoru dochází ke štěpení jader ²³⁵U ve formě UO₂, který je uzavřen v proutcích uvnitř kazet v aktivní zóně. Při štěpení

dochází ke vzniku tepelné energie. Aby jaderná reakce v tomto typu reaktoru mohla vůbec proběhnout, je za potřebí moderace neutronů, která je v tomto případě dosažena vodou. Uvolněná energie ohřívá vodu protékající aktivní zónou, voda je vháněna do parogenerátoru, kde dochází k výměně tepla do sekundárního okruhu. Z parogenerátoru voda pokračuje do hlavních cirkulačních čerpadel a ta ji vhání zpět do reaktoru. K případnému vyrovnávání tlaku při změnách teploty slouží kompenzátor objemu, který je vybaven elektroohříváky a sprchovým systémem.

Sekundární okruh

Díky výměně tepla z primárního okruhu v parogenerátorech vzniká pára, která se shromažďuje v hlavním parním kolektoru. Odtud pokračuje přes ventily na vysokotlaké díly 2 paralelních turbín. Po průchodu vysokotlakým dílem pokračuje pára do separátoru, kde jsou z ní odstraněny vodní kapky, poté pokračuje pára do přehříváče a na dva nízkotlaké díly turbíny. Turbína roztáčená parou je připojena na generátor, který ve finále převede kinetickou energii na elektrickou, která je transformována a odesílána do rozvodné sítě. Pára z nízkotlakých dílů pokračuje do kondenzátoru, kde kondenzuje. Odtud se kondenzát čerpá do nízkotlaké regenerace a poté do odplyňovacího zásobníku. Odtud pokračuje přes hlavní napájecí čerpadla a přes vysokotlakou regeneraci zpět do parogenerátoru.

Terciální okruh

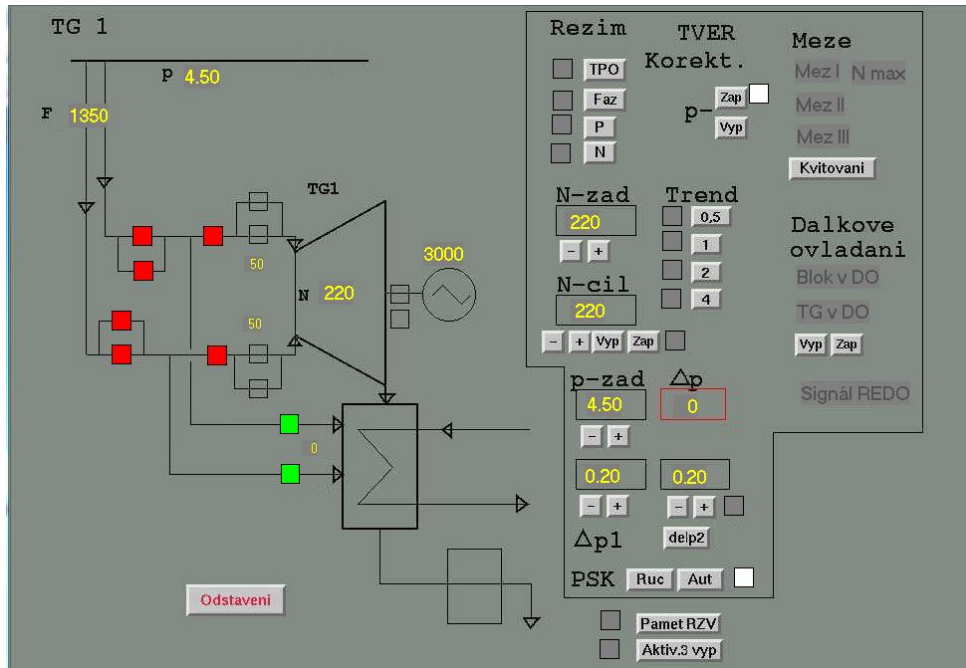
Chladicí okruh má za úkol odvádění kondenzačního tepla ze sekundárního okruhu. Získané teplo v něm odvádí do chladících věží. Chladivo terciálního okruhu bývá chemicky neupravená voda z přirozeného zdroje, například v Jaderné elektrárně Dukovany z řeky Jihlavy.

3. Simulace

Pro simulaci elektrárny, byl použit program SPVS EDU, na kterém se v počátečních fázích výcviku školí operátoři. Simulace probíhá na čtyřech počítačích současně, pro každý okruh dva. Bylo nasimulováno mnoho scénářů, běžný a abnormální provoz, dokonce i různé havarijní stavy. Bylo možné pozorovat změny parametrů, které způsobují fyzikální jevy uvnitř zařízení.

Mezi simulované scénáře patřil například výpadek obou turbín najednou. Dalším typem úloh byly výpadky hlavních cirkulačních čerpadel. Při výpadku dvou byl reaktor schopen stále provozu za sníženého výkonu, při simulaci výpadku všech byl reaktor odstaven a dochlazován přirozenou cirkulací přes smyčky a parní generátory.

Další simulací byl například výpadek napájení vlastní spotřeby. Simulován byl i zásah do provozu člověkem při ovládní „od reaktoru“ tj. měnit výkon reaktoru a sledovat přizpůsobení turbíny a vice versa „ovládání od turbíny“.

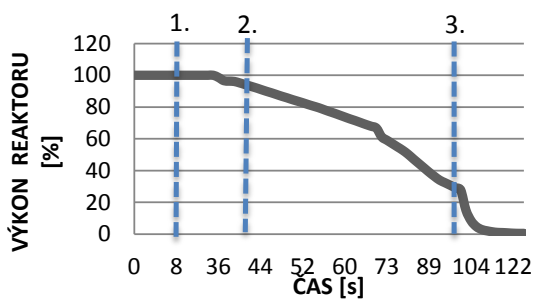


Obrázek 1 Rozhraní simulátoru SPVS EDU [2]

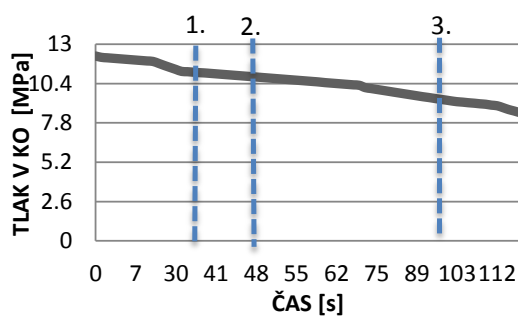
- **Simulace poruchy přepouštěcích ventilů kompenzátoru objemu**

V rámci miniprojektu byla nasimulována i obdoba havárie elektrárny Three Mile Island (1979, USA)[1]. Simulace havárie počíná neplánovaným otevřením přepouštěcích ventilů kompenzátoru objemu (KO), výsledkem bylo snižování tlaku v primárním okruhu.

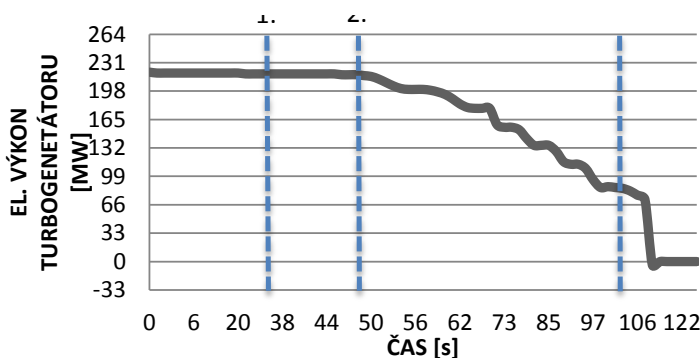
Elektroohřívačky se v prvních momentech pokouší o vyrovnání tlaku uvnitř KO. 35 sekund od počátku havárie jsou aktivovány havarijní ochrany, dochází k vsunutí regulačních kazet do aktivní zóny a ke snižování výkonu (viz čas 1., graf 1). V čase 49 sekund přechází turbína do režimu odstavení, což vede ke snižování výkonu turbogenerátorů (viz čas 2., graf 3). V čase 103 sekund je aktivováno havarijní odstavení, regulační tyče jsou zcela zasunuty do aktivní zóny, nastává rychlé snížení výkonu reaktoru (viz čas 3., graf 1). V čase 132 sekund od počátku havárie je reaktor odstaven, reaktor produkuje již zbytkový tepelný výkon, hlavní cirkulační čerpadla jsou odstavena a primární okruh je chlazen pouze za pomoci přirozené cirkulace.



Graf 1



Graf 2



Graf 3

4. Shrnutí

Byli jsme blíže seznámeni se základy procesů uvnitř jaderné elektrárny, mohli jsme si alespoň lehce vyzkoušet, jaké by to asi bylo na blokové dozorně. Vyzkoušeli jsme si práci v týmu, utvrdili jsme se v tom jak důležitá je komunikace mezi operátory, ale taky jsme si uvědomili při simulaci havárií, jak málo dokáže člověk ovlivnit a došlo nám jak důležitá je práce ochranných systémů, na kterých jsme prakticky zcela odkázáni a na které spoléháme.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Dušanu Kobylkovi, PhD. za jeho čas, ochotu a vstřícnost. Dále bychom ještě rádi poděkovali organizátorům Týdne vědy na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze

Reference

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_accident
- [2] Obrázek 1 ze simulátoru

Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

Lukáš Létal a Jan Adamec

20.6.2022

Abstrakt

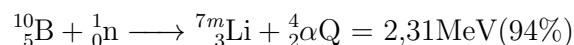
Provoz jaderných zařízení je neoddělitelně spojen s měřením rozložení výkonu. Rozložení výkonu v aktivní zóně zařízení závisí na mnoha faktorech, mezi něž spadá například materiálové složení či geometrie aktivní zóny. Pro bezpečný a efektivní provoz jaderných zařízení je experimentální stanovení rozložení výkonu pochopitelně důležité. Cílem experimentu je tedy určení rozložení axiálního výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1 za účelem zdokonalení operování reaktoru a všeobecné zlepšení bezpečnosti a zabránění přelévání výkonu.

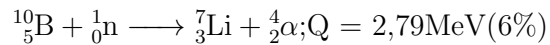
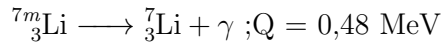
1 Úvod

Jaderné reaktory jsou spolu s obnovitelnými zdroji považovány za v současnosti nejčistší zdroje elektřiny. Pro jejich správné fungování je třeba mnoho zařízení a monitorování mnoha metrik, abychom zabránili různým katastrofám a mohli reaktor ovládat ku všeobecnému prospěchu. Jednou z těchto metrik je axiální rozložení výkonu, jehož měřením jsme se v miniprojektu zabývali. Bez jeho znalosti bychom nebyli schopni provozovat žádný reaktor na světě, neboť by například docházelo k přehřívání či dokonce tavení palivových tyčí nebo nežádoucímu varu vody. Problémem je že výkon reaktoru závisí na množství neutronů v něm. Ty však, jelikož nemají náboj, nejsme schopni změřit. Pro měření výkonu je tak stěžejní převod odlétajících neutronů na určitý měřitelný signál, čehož lze dosáhnout hned několika způsoby.

2 Teorie

Při měření výkonu, jak bylo již v úvodu zmíněno, je zásadní převod neutronu měření projevů či převod neutronů na částice schopné elektromagnetické interakce. V nejobecnějším slova smyslu rozdělujeme způsoby detekce neutronů na off-line a on-line detekci, kdy off-line detekce funguje na bázi zpětného vyhodnocování výsledků ozařování (Filmový dozimetr, TLD dozimetr) a on-line detekce naopak na analýze okamžité odezvy detektoru. V našem miniprojektu byly využity plynové detektory, které využívají konverzních materiálů k převodu neutronů na nabitě částice. Samotné přeměny můžeme docílit mnoha různými způsoby, nicméně v našem případě jsme využili jeden borový a dva heliové detektory. Konverzi neutronu je potom možné vyjádřit pomocí následujících rovnic:





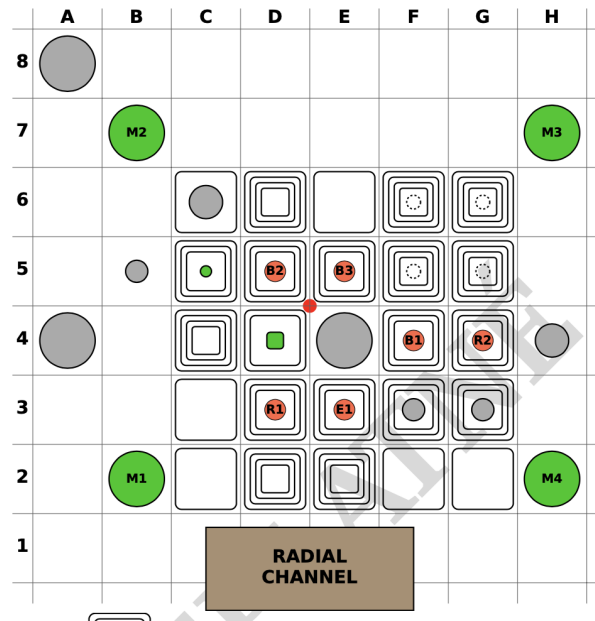
Druhou možností jak stanovit axiální rozložení výkonu v reaktoru je využití výpočetních nástrojů. Míru zastoupení neutronů lze pak vyjádřit následující rovnicí, jež ale počítá s řadou zjednodušení, týkajících se uspořádání reaktoru nebo například energie neutronů. Výchozím vztahem pro tento výpočet je potom:

$$D_c \cdot \nabla^2 \Phi_c - \Sigma_{ac} \cdot \Phi_c + k \Sigma_{ac} \cdot \Phi_c = 0 \quad (1)$$

Kde D_c představuje koeficient difuze v aktivní zóně, Φ_c je hustota toku neutronů v aktivní zóně, Σ_{ac} je makroskopický účinný průřez pro absorpci v aktivní zóně a k je koeficient násobení.

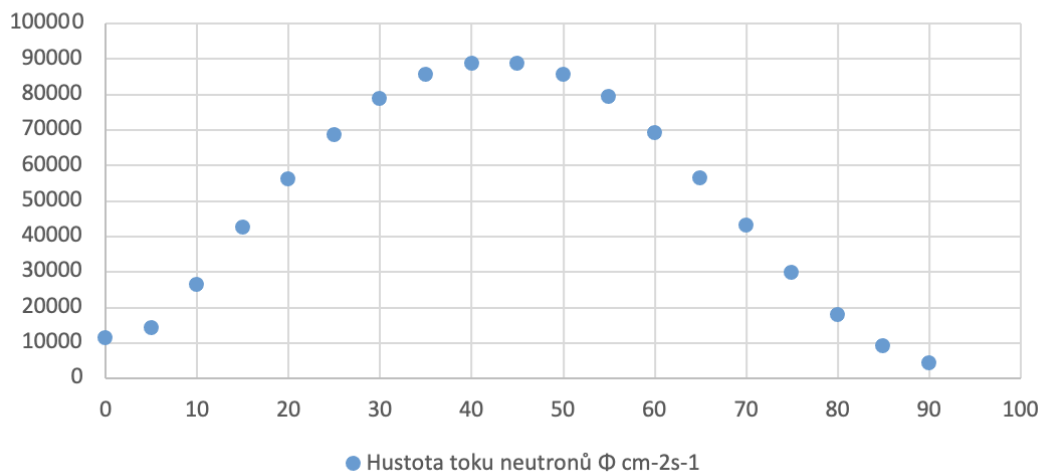
3 Výsledky a experiment

Celkem jsme prováděli sérii 18 měření, přičemž jsme detektory nejprve umístili na dno vertikálních kanálů a postupně jsme je posouvali po 5 centimetrech od dna přes střed aktivní zóny, po každém posunu jsme provedly 2 sběry dat po 30 sekundách a udělali jsme z nich průměr. Takto jsme pokračovali až do výšky 90 cm. Na následujícím obrázku můžeme vidět schéma reaktoru. Heliové detektory jsou umístěny na polích C6 a G3 a bórový je umístěný na políčku H4.

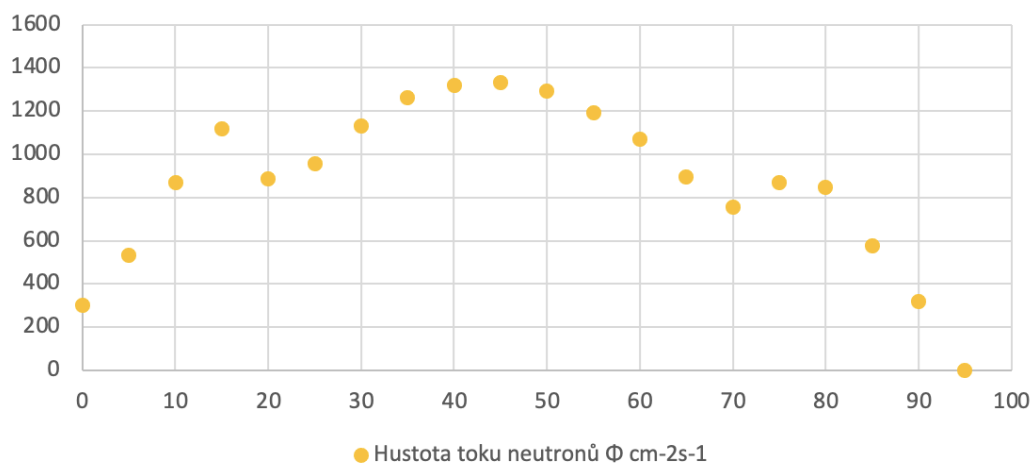


Vzhledem k umístění detektorů H4 a C6 mimo palivové soubory jsme předpokládali, že vývoj detekovaných neutronů bude záviset pouze na vzdálenosti od středu aktivní zóny. U tyče G3 naopak předpokládáme, jelikož je u palivového souboru, že budou neutrony ve větší míře a počet detekovaných neutronů nebude úplně přesně úměrný vzdálenosti od aktivní zóny.

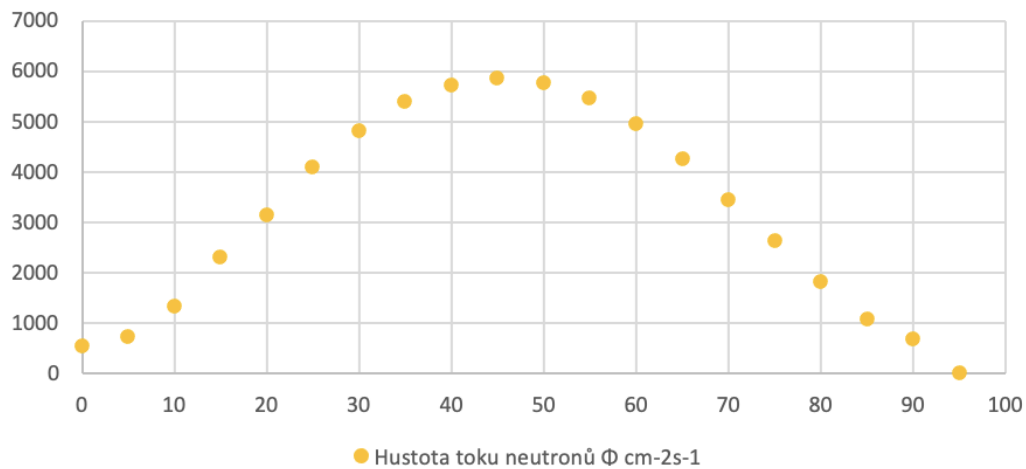
Detektor H4 - B



Detektor G3 - He



Detektor C6 - He



4 Diskuze a závěr

Výsledky získané detektorem jsou v souladu s předpoklady. Pro skutečné validní proměření by bylo třeba mnohem více podrobných měření a provádět měření po delší dobu. Objevené reflektorové peaky na detektoru umístěném na palivovém souboru jsou důsledkem detekce zpomalených neutronů, jež odlétají od aktivní zóny a jsou okolní vodou zpomalovány a dostávají se do vertikálních kanálů s palivem, kde působí další štěpení. Je důležité zmínit, že tato vlastnost se nemusí notně objevit u všech reaktorů a není úplně očividná.

Experiment na homogenní nukleaci vody

J. Frydrych, D. Sváček

Gymnázium Fr. Palackého Valašské Meziříčí

f.jachym@email.cz, danosvacko@seznam.cz

Abstrakt:

Nukleace je nedílnou součástí fázových přechodů a hraje důležitou roli v technologii. Řízení nukleace v zařízeních, jako jsou turbíny, raketové a proudové motory, aerodynamické tunely a spalovací procesy, je klíčem k dosažení účinného, ekologicky nezávadného provozu. Náš článek představuje informace o modernizovaných experimentech zaměřených na výzkum homogenní nukleace vody.

1 Úvod

Vznik prvních mikroskopických fragmentů (malých molekulárních shluků) nové fáze se nazývá nukleace. V nepřítomnosti částic nebo stěn je nukleace homogenní; jinak je heterogenní[1]. Nukleace je nedílnou součástí fázových přechodů. Proto je důležité pro pochopení mnoha takových běžných procesů, jako je tvorba deště, sněhu, krystalů a smogu, vaření kapalin. Nukleace hraje důležitou roli v technických procesech a vyžaduje speciální kontrolu[2].

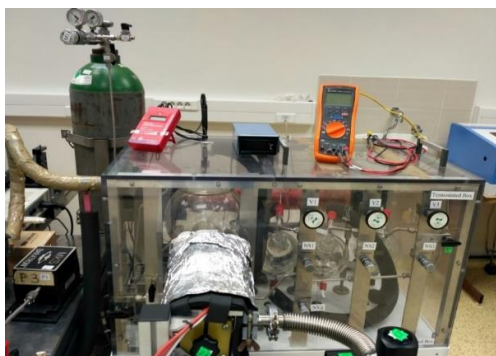
2 Experiment

Tvorba aerosolů probíhá ve fázích nukleace, růstu a stárnutí. Pochopení nukleace a růstu kapiček je zásadní pro zvládnutí složitějších kondenzačních procesů. Konkrétně je zajímavé, když vodní pára nemá na čem kondenzovat. Obvykle existují povrchy nebo prachové částice, které působí jako výchozí body pro kondenzaci, jinak může dojít k homogenní nukleaci. Zda je kondenzace pozorovatelná, závisí na rychlosti, kterou shluky rostou nad kritickou velikost, a také na hustotě počtu těchto shluků. Abychom tento proces popsali přesněji, definujeme rychlost nukleace jako frekvenci, při které se shlukům v jednotkovém objemu podaří překonat kritickou velikost. K dosažení těchto cílů se v expanzní komoře provádějí měření rychlosti nukleace různých systémů. Toho lze dosáhnout adiabatickou expanzí dvousložkové směsi plynů, kde jedna složka je pára a druhá slouží jako nosný plyn. Pro zkoumání homogenní nukleace a růstu čistých kapiček je nutné produkovat dobře definované, vysoce přesycené páry. Nukleační pulzní komora vyvinutá R. Streyem a P.E. Wagnerem[3] splňuje potřebné podmínky.

Popis experimentální jednotky

System se skládá ze tří hlavních částí

- 1) Komora na přípravu směsi plynu a vodní páry - jedná se o zařízení, ve kterém probíhá příprava směsi vodní páry a plynu. Odtud se hotová směs vede trubicí do experimentální/pulzní komory.

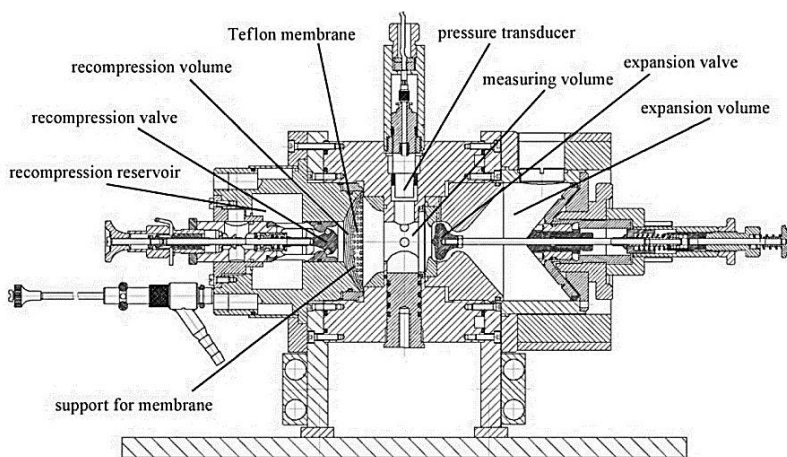


Obrázek 1: Komora na přípravu směsi

2) Nukleární pulzní komora-

Do hlavní komory je přivedena směs. Od ní jsou přepážkou odděleny 2 postranní komory (jedna s vyšším a jedna s nižším tlakem). Otevřením komory s nižším tlakem se celkový tlak prudce sníží a klesne teplota. Důsledkem je kondenzace vodní páry ve směsi a tvorba kapiček vody.

Za 1ms se otevře druhá přepážka a tlak mírně vzroste a ustálí se.



Obrázek 2: Příčný řez nukleární pulzní komorou

3) Zdroje a detektory světla-

- Laser-V našem případě se jedná o He-Ne laser o výkonu 30 mW o parametrech (Tabulka 1)

Tabulka 1 - Parametry laseru

He – Ne lasers		
Parametr	Compact Red	High Power Red
Output wavelength λ (nm)	632,8	632,8
Optical power (mW)	0,8	35
Bundle diameter (mm)	0,46	1,25
Beam divergence (mrad)	1,77	0,66

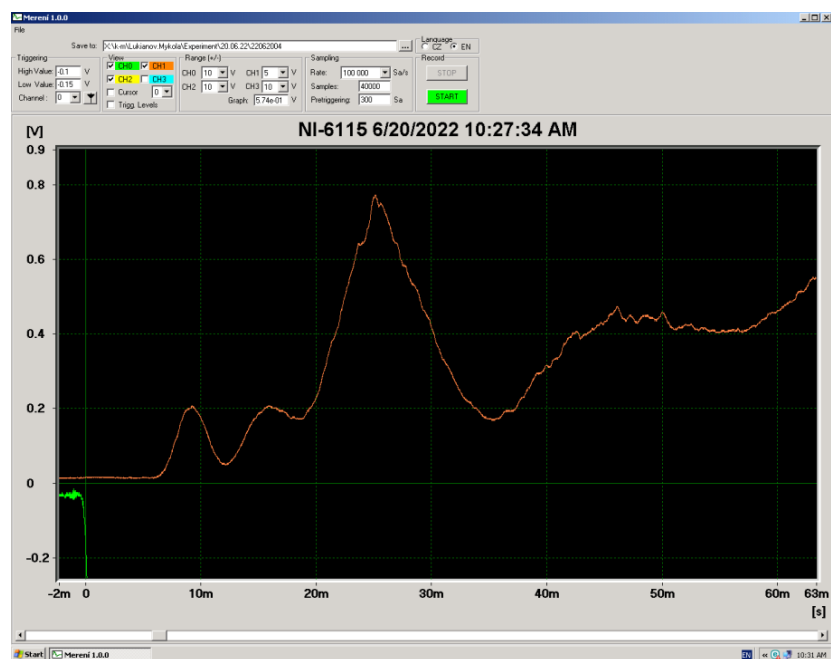
Laser míří do pulzní komory, kde se o kapky vody láme.

- Fotodioda-měří intenzitu celkového světla z laseru, na kterou má vliv kondenzace v komoře.
- Fotonásobič-měří intenzitu světla pod úhlem 15° vůči fotodiodě.

3 Praktická část

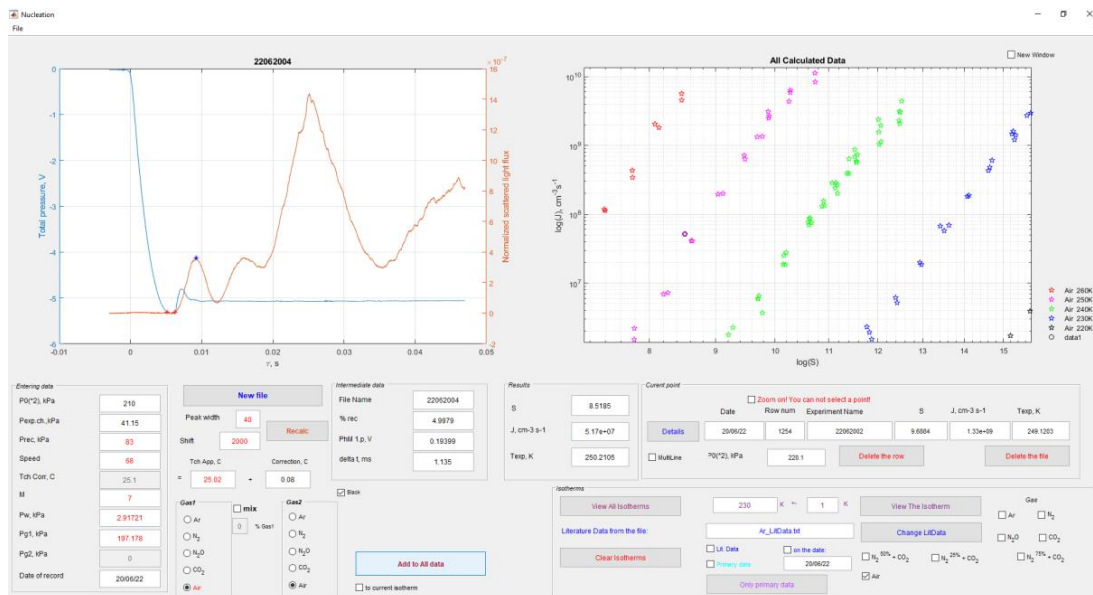
Průběh experimentu

Expanzní a rekompresní ventily jsou uzavřeny a tlak v rekompresním zásobníku je fixní. Po 3 minutách se uzavřou vstupní a výstupní ventily a upraví se tlak v měřicím a expanzním objemu. Expanzní ventil se otevře a dojde k expanzi směsi plynů v měřeném objemu. To způsobí pokles teploty a směs pára-nosný plyn se dostatečně přesytí, takže dojde k homogenní nukleaci. Po délce pulzu asi jedné milisekundy dojde k rekompresi postupným otevíráním rekompresního ventilu. Data jsou nahrána do počítače a převedena do grafu.



Obrázek 3: Grafy závislosti tlaku a intenzit světla na čase a zpracování dat v MATLAB

Obrázek 4 zobrazuje tlak a intenzity světla na Fotodiodě a Fotonásobiči v závislosti na čase, kde horní křivka (žlutá) - intenzita celkového světla na fotodiodě, prostřední křivka (oranžová): - intenzita světla pod úhlem 15° na fotonásobiči a spodní křivka (zelená) - hodnota tlaku



Obrázek 4: Zpracování dat v MATLAB

Měření jsme prováděli v programu MATLAB zobrazuje výsledky jednotlivých měření v grafech.

4 Shrnutí

Vyzkoušeli jsme si experiment na přístroji, jenž je jediný svého typu v republice. Pokus jsme několikrát opakovali, při stálé teplotě a s různými tlaky. Dozvěděli jsme se spoustu nových informací o kondenzaci vody a její využití v turbínách, spalovacích komorách. Experiment jsme prováděli se vzduchem, jakožto nosným plynem pro vodní páru.

Poděkování

Děkujeme Ing. Tetianě Lukianové a Ing. Mykolu Lukianovi, Ph.D. za pomoc, vstřícnost a rady v průběhu celého miniprojektu.

Reference

- [1] F. Brandi, N. Burdet, R. Carzino, and A. Diaspro, “Very large spot size effect in nanosecond laser drilling efficiency of silicon,” *Opt. Express*, vol. 18, no. 22, pp. 23488–23494, 2010.
- [2] F. Adams and C. Barbante, “Chapter 4 - Nanotechnology and Analytical Chemistry,” in *Chemical Imaging Analysis*, vol. 69, F. Adams and C. B. T.-C. A. C. Barbante, Eds. Elsevier, 2015, pp. 125–157.
- [3] P. E. Wagner and R. Strey, “Measurements of homogeneous nucleation rates for n - nonane vapor using a two-piston expansion chamber,” *J. Chem. Phys.*, vol. 80, no. 10, pp. 5266–5275, May 1984, doi: 10.1063/1.446554.

Wienův filtr

M. Friml¹, J. Lezna², A. Piklová³

Gymnázium Dobruška¹, Gymnázium Dr. K. Polesného Znojmo²,

Gymnázium Strakonice³

josef.lezna@gymzn.cz²

Abstrakt:

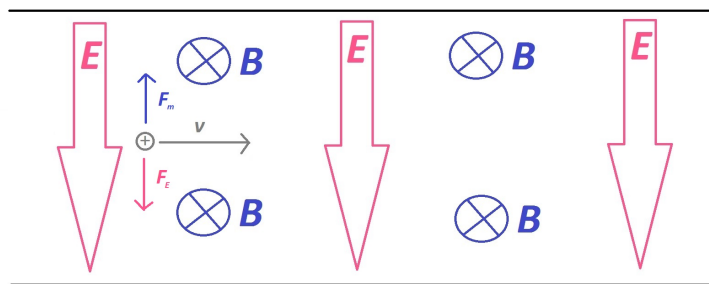
V rámci našeho projektu jsme navrhli Wienův filtr v programu SIMION a seznámili se s jeho fyzikálním a matematickým základem. Následně jsme v něm pozorovali trajektorie nabitých částic. Dle očekávání prolétaly částice s průletovou rychlostí po přímé trajektorii. Trajektorie ostatních částic se lišily podle jejich vlastností.

1 Úvod

Wienův filtr (WF) je přístroj, který dokáže oddělit částice na základě rozdílné rychlosti.

Ve WF je magnetické a elektrické pole orientována kolmo na sebe. Částice jsou vpouštěny do filtru ve směru kolmém k čárám obou polím (viz. obr. 1).

Podle Flemingova pravidla levé ruky (pokud magnetické siločáry vstupují do dlaně a natažené prsty ukazují směr pohybu kladné částice, natažený palec ukazuje směr vychýlení



(obr. 1) - Průlet částice elektromagnetickým polem

částice způsobený magnetickou silou) magnetická síla působí proti síle elektrické.

Síla elektrická působící na nabitou částici nezávisí na rychlosti, ale magnetická síla ano:

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Na jedné straně filtru je vypouštěna částice a na protější straně je uložen detektor. Aby částice prošla, musí mít takovou rychlost (průletovou rychlost), aby se účinek magnetické síly a elektrické síly vyrušil. Tedy:

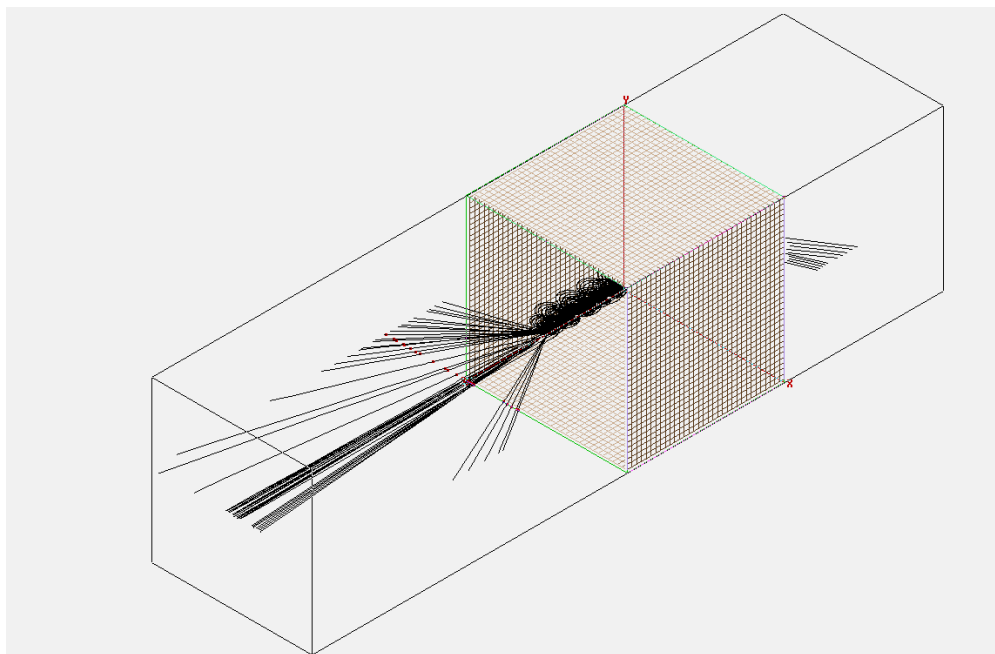
$$\vec{F}_m = \vec{F}_e$$

$$v = \frac{E}{B}$$

Pokud je rychlost jiná, částice neprojde.

2 Naše měření

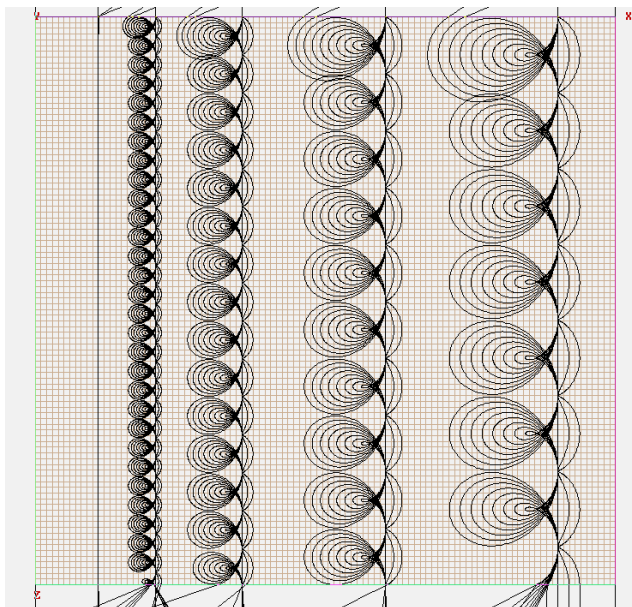
- Postupy:
 - Na začátku jsme si do programu nadefinovali takové magnetické a elektrické pole, aby částice o rychlosti 10 mm/μs proletěla rovně do detektoru.
 - Poté jsme naprogramovali 75 částic. Šlo o pět sérií o různé hmotnostmi ($0,00727647 + 0,5n m_u$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$) se vrůstající rychlostí ($1 + 4,5n$ mm/μs, $n = 0, 1, 2, \dots, 14$).
 - Detektor jsme vložili 50 mm za konec filtru (viditelný jako slabá rudá linka na (obr. 2))
- Výsledky:
 - Částice, které se pohybovaly průletovou rychlostí, doletěly podle očekávání po přímce do detektoru.



(obr. 2) - průchod částic Wienovým filtrem

- Ty, které tuto rychlost neměly, se pohybovali po cykloidě. Čím byla částice hmotnější, tím větší byl poloměr kruhové složky pohybu (viz vzorec vedle) a tedy i perioda cykloidy. Čím vyšší byla rychlost částice, tím „prodlouženější“ cykloida byla; na (obr. 3) jsou vpravo od rovných průletových trajektorií trajektorie částic s rychlostí nižší než průletová, vpravo vyšších než průletová. Částice o velmi vysoké rychlosti magnetické pole vyhodilo z filtru ven.

$$F = \frac{mv^2}{R}$$



(obr. 3) - průlet jednotlivých částic s rozdílnými hmotnostmi (různá „svazky“) a rychlostmi (různá „vlákna“)

- Diskuse
 - WF nedokáže (tak, jak jsme jej navrhli) filtrovat úplně dokonale částice s nevyhovující rychlostí. V určité fázi cykloidy je vektor rychlosti částice rovnoběžný se stěnami, a pokud právě v ní částice opustí filtr, zůstane neodfiltrována. Problém by bylo možné vyřešit zeslabením obou polí, aby se fáze trajektorie posunovala pomaleji.

3 Shrnutí

WF dokáže velice přesně zachytit částice mimo určenou rychlost, zbylé projdou detektorem přímo. Při jiné rychlosti trajektorií částice není přímka, ale cykloida. Její tvar je možné ovlivnit hmotností a rychlostí částice.

WF má velikou výhodu v tom, že je lehce nastavitelný na téměř jakoukoli rychlost.

Poděkování

Děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce a pracovníkům Ústavu fyziky plazmatu, kteří nás zasvětili do problematiky a pomohli nám s vypracováním miniprojektu.

Reference

- 1 Galejs, A., and C. E. Kuyatt. "Focusing and dispersing properties of a stigmatic crossed-field energy analyzer." *Journal of Vacuum Science and Technology* 15.3 (1978): 865-867.
- 2 SIMION (R) (c) 2003-2012 Scientific Instrument Service, Inc. (SIS), <https://simion.com/>
- 3 Ogilvie, K. W., R. I. Kittredge, and T. D. Wilkerson. "Crossed Field Velocity Selector." *Review of Scientific Instruments* 39.4 (1968): 459-465.

Postavte si laserový zaměřovač

M. Slovák¹, M. Dostál¹, V. Bartáková², V. Dvořák³

¹ Masarykovo gymnázium Příbor

² Slovanské gymnázium Olomouc

³ Gymnázium a Obchodní akademie Pelhřimov

marek.slovak@gypri.cz

21. 6. 2022

Abstrakt

Cílem experimentu bylo sestavit laser s aktivním prostředím Er:Sklo a změřit jeho výstupní vlastnosti - emisní výkon, vlnovou délku, délku impulsu a profil svazku. Také byla ověřena bezpečnost laseru pro lidské oko.

1 Úvod

Laser (zkratka z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je zařízení vyzařující monochromatické koherentní záření s malou divergencí (rozbíhavostí), tedy proud identických fotonů (se stejnou frekvencí, směrem pohybu). Různé lasery fungují v různých spektrálních oblastech, od rentgenového až po terahertzové záření. Dělí se podle různých kritérií, např. podle typu aktivního prostředí nebo způsobu čerpání. Jako aktivní prostředí se dají použít všechna skupenství, nejčastěji se využívají pevné nebo plynné látky. V našem experimentu jsme použili pevnolátkový iontový laser s aktivním prostředím ze skla s příměsí erbitých iontů. [1]

Hlavními částmi pevnolátkového laseru jsou buzení a rezonátor. Rezonátor se dále skládá ze dvou nebo více zrcadel a samotného aktivního prostředí. Buzení umožňuje vyzařování

fotonů z aktivního prostředí, v případě pevnolátkových laserů se využívá laserová dioda nebo výbojka. V našem experimentu jsme využili diodu s podélným čerpáním, tzn. čerpání probíhalo ve směru vyzařovaného paprsku. [2]

Jak vlastně laser funguje? Z části laseru odpovědné za buzení přichází do aktivního prostředí proud fotonů, které jsou pohlceny a předají svou energii aktivnímu prostředí. V tomto stavu však vybuzené ionty aktivního prostředí nejsou stabilní, proto dojde k opětovanému vyzařování fotonů, tentokrát s jinou vlnovou délkou. Odrazem od zrcadel dojde k zesílení paprsku, který částečně propustným zrcadlem vychází ven. [1]

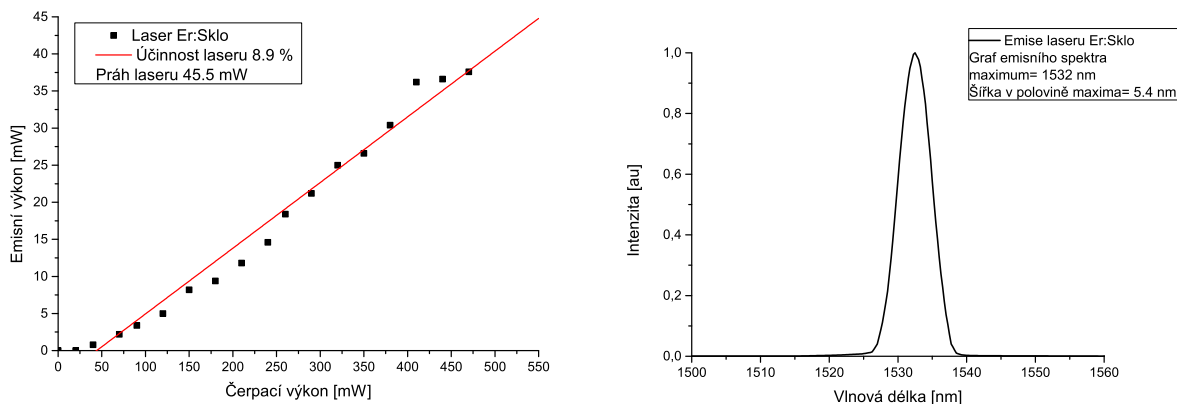
2 Postup měření

Cílem experimentu bylo sestavit oku bezpečný laser a změřit jeho vlastnosti. K jeho sestavení jsme využili laserovou diodu LIMO970 se zdrojem LDD50, aktivní prostředí Er:Sklo (válec o průměru 5 mm a výšce 2,5 mm), dvě zrcadla rezonátoru (totálně odrazné rovinné a kulové s propustností 3,2 %). Dioda generovala pulsy délky 2 ms s frekvencí 10 Hz, její maximální výkon byl 470 mW a vlnová délka záření 960 nm. K vyrovnání optických prvků jsme použili He-Ne laser a clonku. Samotné měření probíhalo pomocí osciloskopu Tektronix TDS3052B, fotodiody PIN FGA10, wattmetru Thorlabs PM100A, výkonové sondy Thorlabs S401 a 425L vláknového spektrometru StellarNet RedDwarf (1000 - 1700 nm), CCD kamery a termokamery Flir.

Sestavení laseru probíhalo následovně: do ohniska fokusační optiky bylo vloženo aktivní prostředí, okolo byla přidána zrcadla a pomocí He-Ne laseru se vyrovnaly optické prvky. Přesné doostření bylo provedeno pomocí fotodiody a osciloskopu, přičemž mírným nakláněním zrcadel jsme se snažili dosáhnout co nejvýraznějších pulsů.

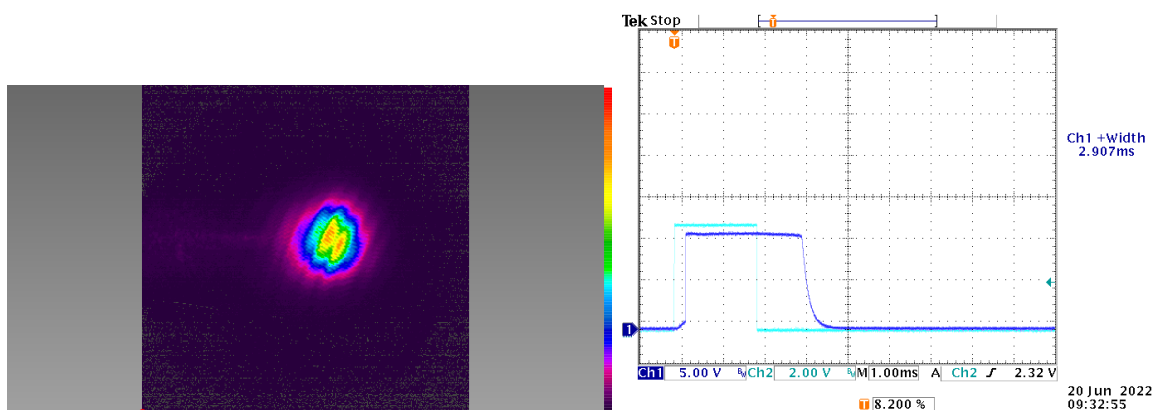
3 Výsledky a diskuze

Po seřízení a vycentrování laserové optiky byly změřeny výstupní charakteristiky paprsku. Změřen byl výstupní výkon v závislosti na čerpacím výkonu a emitující vlnová délka, viz Obr. 1. Maximální výkon laseru byl 40 mW, záření mělo vlnovou délku 1532 nm.



Obr. 1: Výkon laseru a spektrum záření

Sledováním pulsů pomocí fotodiody na osciloskopu byly určeny délky jednotlivých pulsů v závislosti na čerpacím výkonu, nejdelší pulsy měly délku 2,93 ms. Pomocí CCD kamery byl zobrazen profil svazku. Největší energii má svazek ve svém středu, viz Obr. 2.



Obr. 2: Profil svazku laseru a zobrazení impulsu na osciloskopu

Na závěr jsme zjišťovali bezpečnost laseru pro lidské oko. Oko se skládá převážně z vody, nahradili jsme ho proto modelem kyvety naplněné vodou. Použili jsme 3 kyvety s šířkami 5 mm, 10 mm a 20 mm, svazek laseru procházel skrz kyvety a pomocí wattmetru se měřil výkon, který prošel skrz vodu. Za nejtenčí kyvetou byl změřen výkon menší než 0,5 % celkového výkonu laseru, širší typy absorbovaly veškeré záření. Laserové záření o vlnové délce 1532 nm je tedy pro lidské oko bezpečné, protože voda obsažená ve sklivci záření pohltí dřív, než stihne poškodit sítnici.

4 Závěr

Sestrojili jsme laser s aktivním prostředím Er:Sklo. Jeho maximální výstupní výkon byl 40 mW a emitovaná vlnová délka 1532 nm. Délka pulsu při nejvyšším dopadajícím výkonu byla 2,93 ms. Bezpečnost laseru pro lidské oko jsme ověřili pomocí kyvet naplněných vodou, které záření zcela pohltily.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Richardu Švejkarovi za vedení miniprojektu a TV@J za možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři.

Reference

- [1] R. Paschotta, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, Wiley-VCH, 2008, ISBN 978-3-527-40828-3.
- [2] R. Svejkar, *Návod k miniprojektu - Postavte si laserový zaměřovač* [online]. [cit.2022-21-06]. odkaz: https://richardsvejkar.cz/assets/tyden_vedy_2022_navod.pdf

SERS – extrémní zesílení Ramanova signálu pomocí zlatých nanostruktur

J. Kouřil, V. Hlom, V. Groulík

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

Janek189@seznam.cz, hlom.vik@gmail.com, vitgroulik@gmail.com

Abstrakt:

Rychlá identifikace neznámých látek je předností Ramanovy spektroskopie, která se rutinně používá například ve farmacii či kriminalistice. Zde se zabýváme zesílením Ramanova signálu pomocí nanostruktur tvořených zlatou vrstvou na SiO₂ sférách.

1 Úvod

Ramanova spektroskopie je analytická metoda, která slouží k identifikaci látek ve vzorku.

Ramanova spektra vznikají nepružným rozptylem světla, kdy se část energie fotonů spotřebuje na vybuzení vibračního stavu molekuly (změní se tak jejich vlnová délka). V roztocích s nízkou koncentrací detekované látky nám se zesílením Ramanova signálu pomáhá metoda SERS (Surface Enhanced Raman Scattering), která využívá schoposti kovových nanostruktur koncentrovat dopadající světlo do těsné blízkosti povrchu. Pokud jsou na povrchu adsorbovány molekuly, jejich Ramanův signál je zesílen o mnoho řádů.

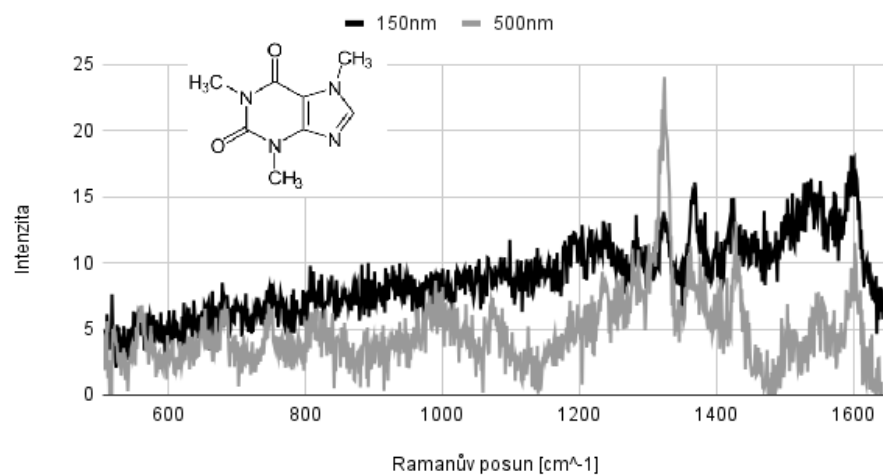
V rámci našeho projektu jsme používali pozlacené SiO₂ sféry s průměry 150 nm a 500 nm^[4] k naměření SERS spekter 3 různých molekul a zjišťovali jsme souvislost mezi velikostí kuliček a zesílením signálu.

2 Průběh měření

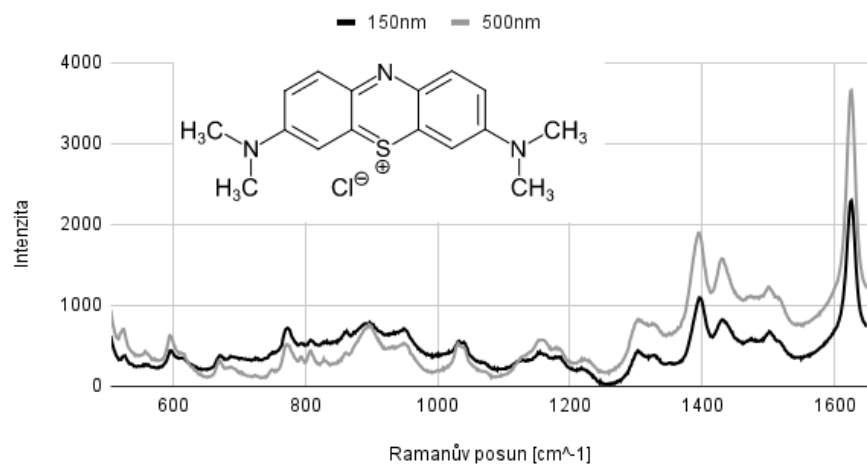
Praktickou část našeho projektu jsme začali ponořením SERS substrátů (křemíkové podložky s pozlacenými částicemi velikostí 150 nm a 500 nm) do roztoků jedné ze tří látek: methylenové modři, 4-merkaptopyridinu a kofeinu. Substráty jsme následně opláchli ve vodě nebo ethanolu, aby na substrátu zůstaly pouze adsorbované molekuly. Ramanovým mikroskopem jsme na každém vzorku naměřili SERS spektra z 50 různých míst. Jako referenční vzorky pro odečet pozadí sloužily substráty ponořené pouze ve vodě a v ethanolu.

Zpracováním výsledků vznikla následující spektra:

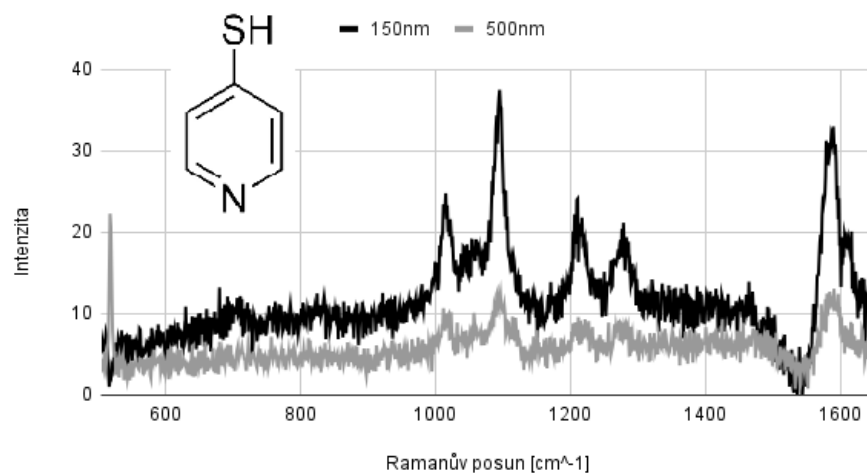
kofein



methylenová modř



4-MPy



3 Diskuze

Pásky v naměřených SERS spektrech se dobře shodují s výsledky publikovanými v literatuře.^{[1][2][3]} Z naměřených spekter by bylo možné odstranit větším množstvím měření.

4 Závěr

Díky použití zlatých nanostruktur bylo možné přesně změřit vzorky s velmi nízkou koncentrací zkoumané látky. Metoda SERS navíc umožnila rovnoměrný signál po celém substrátu.

Poděkování

Děkujeme Ing. Lucii Marešové za vedení a odbornou pomoc s naším miniprojektem a RNDr. Janu Proškovi za přípravu substrátů. Dále bychom chtěli poděkovat všem organizátorům TV@J a FJFI za podporu tohoto projektu.

Reference

- [1] Chunying Li, Yiqun Huang, Keqiang Lai, Barbara A. Rasco, Yuxia Fan. Analysis of trace methylene blue in fish muscles using ultra-sensitive surface-enhanced Raman spectroscopy, *Food Control*, Volume 65, 2016, Pages 99-105
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713516300184>
- [2] Hao Guo, Li Ding, Yujun Mo. Adsorption of 4-mercaptopyridine onto laser-ablated gold, silver and copper oxide films: A comparative surface-enhanced Raman scattering investigation, *Journal of Molecular Structure*, Volume 991, Issues 1–3, 2011, Pages 103-107
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022286011001335>
- [3] Weinan Wang, Wei Zhang, Yaokai Duan, Yong Jiang, Liangren Zhang, Bing Zhao, Pengfei Tu, Investigation of the binding sites and orientation of caffeine on human serum albumin by surface-enhanced Raman scattering and molecular docking, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Volume 115, 2013, p. 57-63
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142513005258#f0015>
- [4] Karel Kouba, Jan Proška, Marek Procházka. Gold Film over SiO₂ Nanospheres—New Thermally Resistant Substrates for Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS) Spectroscopy. *Nanomaterials*, Volume 9, p. 1426
<https://www.mdpi.com/2079-4991/9/10/1426#cite>