

# Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2024

# Sborník příspěvků



"I was described as a dreamer, a fantasist, even as the village idiot. I didn't care. What I cared about was convincing people to allow me to go on with my work.." Ada Yonath, 85. výročí narození (Ročník věnujeme ženám ve vědě.)





Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy, Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou Českého vysokého učení technického, The Kellner Family Foundation a Filipem Rolencem.





The Kellner Family Foundation

Akci věcně podpořili časopis Vesmír, nakladatelství Prometheus a CREW.







# Mediální partner

československý časopis **PRO FYZIKU** 

# Strohé slovo úvodem

Aktuální statistika vypadá takto: Letošní ročník tvořilo 25 komnat Pevnosti Břehyard (+ pražská selfie a závěrečná aktivita), realizováno bylo 57 miniprojektů z původně navržených 70, 15 exkurzí, 22 přednášek a 6 diskusních párty pro vás, 157 studentů.

Týden vědy se stává zaběhnutou akcí, kde si začínáme užívat energie, kterou jsme do produkce nalili minulá léta. Databázový systém pSQL se neskutečně vyplácí, zavedený tým Karel, Bára, Filip, Šimon odvádí skvělou práci (moc děkujeme) a mě se začíná plnit sen, že mohu začít, po 23 letech, pracovat trochu koncepčněji, neb mi ušetřili hodně času.

Tradičně děkuji všem vedoucím komnat Pevnosti Břehyard, garantům miniprojektů, přednášejícím, vedoucím exkurzí, krupiérům na Kasinu, různým pomocníkům a zvláštní poděkování patří podpoře fakulty FJFI.

Začínám se ladit na neuvěřitelný 25. ročník. Komu jej budeme věnovat, jakápak bude barva trika?

Mějte se a naviděnou.

18. 6. 2024

Vojtěch Svoboda

18.



Záštitu

primátora hlavního města Prahy

nad vzdělávací akcí

Týden vědy na Jaderce 2024

pořádanou Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou, ČVUT v Praze ve dnech 16.-21. června 2024 v Praze

přejímá

Johnslav bodrde

doc. MUDr. Bohuslav Svoboda, CSc. primátor V Praze dne 14. února 2024

Akce se konala pod záštitou primátora hlavního města Prahy doc. MUDr. Bohuslava Svobody, CSc.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Q	0		2	3	4	in the second	6	7
0		A	В	C	D	and the second s	F	G			J	K	Roor	М	Ν	0	Р	Q	R	S	nipe	U	V	W	Х	Y	Z.	A
1	А																											
2	В			т	ar		v	obc	nda	3 1	ıž	÷	е	ta	dv	n	0	24	. ~	а	ne	el i	Ĺŧı	ii	е	to	ho	
3	С			F	ok	ud	1	y	0	t	ét	ວິ	ak	ci	m	ěļ	n	iěc	0	ř	íci	.,	t	ak	j	ee		
4	D			V	rel	ic	e	r	áđ,	,	že	3	e	mů	že	u	čε	st	ni	t,	, .	jał	02	0	rg	•		
5	gener Bane Bross				Tυ	<b>i</b> t (	) 8	ako	ci	S	poi	nz	or	uj	е	FJ	FI	: e	I N	131	<b>AT</b>	-	0'	358	B 1	Mk	ě	
6	F				. × .			~ /	3~		. 7 .		~	-			<b></b> /											
7	G			_r	se	۲77	ie 174	- Ze Sno	ie S r	19 191	et.	n i	e Sv	2a oh	0 d	ma ou	VE											
8	Н				00		2	× 1 1 V	1	Jai	.101	44 1	5.	00	υu	0u												
9	l		Ι	ěk	uj	jen	ne	te	ake	5	sti	ıð	en	tů	m,	z	ej	mé	ina	a t	těn	n,	k	tei	ří			
0	J			ve	do	bu	mi	int	ipi	20	jel	st;	y.									-						
1	K				~	•		,	,					~														
2		•		C	) C E	eK a	avy "Ž	/n:	L:	<u>.</u>		- <b>-</b> -	πć	$\frac{0}{b0}$	Da	vу	: प	od.	mo	ce	กา		_					
3	Μ				L	se	zn	ám	en	1	S	VS	ve S	110			V	ař	en	í	na	k	ol	ej	i			
4	Ν					se	Z ct	07									Š	tě	ni	ce				Ŭ				
5	0					př	át	el	е	+							T;	yp	og	ra	fi	ck	é	še	ıbl	_or	ıy	
6	P					si	mu	lá	to	r	ch	uć	lot	y				<b>30</b>	ci	al	ĺZ	ac	e	- 1-	· · · · · · · · · ·			
7	Q					8											S	ne	po oc	zn	am	_n +	ек	.on	0			
8	R													ľ	VEI	RDI	נ	UER	ec	an	US	L						
9	S													•					u									
0																												
- Anno	L																											

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

Titulní obrázek na obálce sborníku:

Miniprojekt na tokamaku GOLEM: vizuální demonstrace principu magnetického udržení a ohřevu plazmatu v tokamacích. Souvisí s první CD etiketou Fyzikálního týdne z roku 2002 a výsledek tohoto principu (vysokoteplotní plasma v magnetické nádobě) lze pozorovat na CD etiketě z roku 2011<sup>1</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Nemohl jsem odolat. V. Sv.

# Contents

Poděkování	<b>2</b>
Slovo úvodem	3
Program Týdne vědy 2024	9
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	10
Příspěvky	16
<b>3D tisk a pevnost</b> (Eliška Stránská, Petr Vaško, garant: doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.)	16
Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy (Jan Míka, Zbyněk Navrátil, Kateřina Svobodová, Michala Malá, garant: Ing. Kateřina Pachnerová	
Brabcová, Ph.D.)	20
Cestující plamen – studium excitabilních médii (Matyáš Beran, garant: RNDr. Ing.	
Michal Jex, Ph.D.)	23
<b>Chemické zmeny v dusledku ozárení – radiacní chemie a fotochemie</b> (Eliska Matuchová,	07
Anna vacnutkova, Dominik Nevidai, Simon Posledni, garant: Ing. Kristyna Havimova)	27
Ph D · Ing Olga Bičáková Ph D )	31
<b>Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků</b> ? (Dora Úlehlová Katka Kočí	01
Adéla Kutinová, garant: RNDr. Martina Kekule, Ph.D.)	34
Co vydrží tenké vrstvy? (Václav Kotyza, Julie Hořínková, garant: Ing. Jaroslav Čech, Ph.D.)	38
Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR) (Filip Landr, Jakub	
Skalka, Jaroslav Kraft, garant: Ing. Kryštof Kadlec)	42
Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů (Jakub Kubica, Klára Nabiová, Johana	
Vaníčková, garant: prof. Dr. RNDr. Miroslav Karlík)	46
Elektrochemický popis extrakce kobaltu ze simulovaných dekontaminačních roztoků (Ma	atyáš
Jakubicek, garant: Bc. Michal Ficel; Bc. Jakub Sochor)	50
matomatiky v biologickóm výzkumu (Vondula Štofaníková Jakub Kíni Filin Svohoda	
Matěi Blažek Jan Valík garant: BNDr Jan Proška)	53
Fotochemie uranu – jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod? (Petr Kozák,	00
Lucie Pobořilová, garant: Ing. Alžběta Horynová)	57
Impacts of Geomagnetic Pulsations on Humans (Evelyna Anežka Semrádová, Jakub	
Kutscherauer, garant: doc. Vitalii Zablotskii, DrSc.)	61
Jak dostat reaktor do kritického stavu aneb proč je důležité nenechat si utéct neu-	
trony (Tomáš Koc, Markéta Gašová, Marie Pykalová, garant: Bc. Jakub Mátl)	64
Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů? (Tereza Kyselová, Alexander Koštál, Jan	00
Bradáč, garant: Ing. Vladimir Jarý, Ph.D.).	68
Jak premenit svetio na ninotu: (Kristyna vickova, Daniel Kratky, Martin Kalda, Antonin Truka garant: Ing. Martin Jirka, Dh.D.)	71
Kritická teplota vysokoteplotného supravodiča a jej závislosť na magnetickom poli (Ond	(1 řei
Vojíř, Ondřej Vláčil, Matyáš Bukvic, Lukáš Kubof, garant: Mgr. Emil Varga, Ph.D.) Kvantově chomické výpočtv molekul (Vojtěch Jan Schroib, Jakub Šrámek, Daniel Herák	74
garant: Mgr. Mikuláš Matoušek)	78

Lasery a speciální optické jevy (Ondřej Skála, Richard Daniel Maštovský, garant: Ing.	~ ~
Michal Jelinek, PhD.)	82
Luminiscence: Charakteristika luminiscenčních vlastností na základě experimentů (Natá	lia
Schwartzova, Vit Holoubek, garant: Ing. Ondrej Holas)	80
Luminiscenční sledování aktivity antioxidantů (Linda Lapčíková, Karolina Faitová, garant:	00
doc. RNDr. Roman Dedic, Pn.D.) $\ldots$	90
Mereni energetických spekter pomoci polovodicoveho pixeloveho detektoru Timepix3	0.4
na tokamaku GOLEM (David Nemec, Jan Herzig, Alex Faivre, garant: Ing. Stepan Malec)	94
Měření Planckovy konstanty (Lucie Boušková, Gabriel Hamrle, Jakub Jan Růžička, garant:	00
$\mathbf{M}_{i} = \mathbf{M}_{i} $	90
Bednářová Barbora Moncolová garant: Ing Michal Svoboda)	102
Miony tě neminoul – Sestavíš a naprogramuješ detektor kosmického záření (Tomáš	102
Kučora Lukáš Machatý Jan Adamoe garant: Ing Martin Kákona Ph.D.)	106
Molding the flow light and Jak as guittle číří a rozonuje u nanostnukturích sim	100
Wolding the now light, and Jak se svetio sin a rezonuje v hanostrukturach – sin-	
ulace na pocitaci (Jiri Stritesky, garant: Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D.; Ing. Milan Burda,	110
Pn.D.; prof. Dr. Ing. Ivan Richter) $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$	110
Monte Carlo a Markovske retezce (Matous Richter, Vaclav Hudsky, Miroslav Holecek,	
Ondřej Matyšek, Kryštof Basista, garant: Mgr. et Mgr. Dominik Beck)	114
Může příliš mnoho chladiva v jaderném reaktoru vadit? (Lucie Gavlová, Jiří Kožnar,	
Theodor Havlíček, garant: Bc. Josef Sabol)	119
Palindromická a antipalindromická čísla (Jakub Mynář, Kryštof Sedláček, Veronika Menšíková,	
Jan Harašta, garant: Adam Blažek)	123
Počítačová grafika – pohled pod pokličku (Tomáš Toman, Sárka Sotonová, Klára Rudolfová,	
Matěj Novák, garant: Ing. Pavel Strachota, Ph.D.)	127
Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice (Matěj Kocourek,	
Marek Pavlíček, David Něnička, garant: doc. Dr. Ing. Milan Šiňor)	131
Počítačové simulace pevných látek (Radim Novák, garant: Ing. Jan Drahokoupil, Ph.D.) . 1	135
Postavte si laserový zaměřovač (Jiří Klier, Miloš Křenek, Petr Barták, garant: Ing. Adam	
$ { m R}$ íha, Ph.D.)	138
Použití počítačového vidění pomocí NVIDIA Jetson Nano (Tadeáš Těhan, Mikuláš	
Voňka, Jan Pavel Šafrata, garant: Ing. Jakub Klinkovský, Ph.D.)	142
Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách (Nikola Hlom, Petr Sluka, Kateřina	
Hermannová, garant: Ing. Miroslav Myška, Ph.D.; Ing. Ota Zaplatílek)	146
Radiační zátěž od kosmického záření na palubě letadla (Karolína Dvořáková, Linda	
Tománková, Oliwia Wantulok, Viktor Matějek, garant: Ing. Ondřej Ploc, Ph.D.)	150
Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti (Anna Janíková, Michal	
Grvc. Ondřej Sopuch. Jana Králová, garant: Ing. Miloš Tichý, CSc.)	154
<b>Badioimunoanalýza</b> (Alžběta Šulcová garant: Bc. Paulína Pažítková)	158
Simulace provozu JE typu ABWB (Voitěch Stluka garant: Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.)	162
Simulace provozu JE typu VVER-440 (Tobiáš Krištof, Roman Chylík, garant: Ing. Dušan	102
Kobylka, Ph.D.)	166
Šíření neutronů prostředím (Martin Felenda, Šimon Konečný, Olivie Mava Matvasková.	
garant: Ing. Ondřej Huml, Ph.D.)	170
Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně (Karel	~
Bednář, Atenea Zethnerová, Štěpán Dubský, garant: Ing. Jan Ratai, Ph.D.)	174
	• •

Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na reaktoru VR-1 (Tat Ha Noi Nguyen, Lukáš	170
vojtek, Matous Hamka, garant: Bc. Ondrej Lachout, Bc. Jakub Mati)	178
Holono Volontová garant: Ing Ondřej Novák)	199
Stauba mlžná komony (Tamal Fait Dámi Datit Oliver Boer garant: dog Mar Jaroslav	102
Dioláile Dh D )	195
Stochastické modelování turbulence v bedně (Daniel Poihan, garant: doc. Ing. Jaromír	100
Kukal, Ph.D.) $\ldots$	190
Svět podivných jader (Sibyla Řezníčková, František Marek, Soňa Hanáková, Anežka Marešová,	
garant: Ing. Dalibor Skoupil, Ph.D.)	193
Testování bomby pomocí kvantové mechaniky (Júlia Olejárová, Filip Švarc, Jana Hladíková,	
Jakub Filip, garant: doc. Ing. Martin Štefaňák, Ph.D.)	197
The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water (Radim Klíma,	
garant: Ing. Tetiana Lukianova)	201
Ucho jako zdroj zvuku: whistling while it works (Lucie Beránková, Kristína Dovalová,	
garant: Ing. Václav Vencovský, Ph.D.)	205
Virtuální onkologická ozařovna (Martin Kluger, Lukáš Laube, Petra Mrázková, Šárka Novákov	á,
garant: Ing. Tereza Hanušová, Ph.D.)	209
Vlastnosti materiálů počítané z prvních principů (metoda ab-initio) (Anežka Červinková,	
Jakub Vojtek, garant: Mgr. Jaroslav Hamrle, Ph.D.)	212
Vliv zbytkových napětí na pevnost 3D tištěné hliníkové slitiny (Martin Mařan, garant:	
Ing. Karel Trojan, Ph.D.)	217
Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo (Ondřej Nevěřil, Michal Helma,	
Monika Králová, garant: Ing. Petr Ambrož, Ph.D.)	220
Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu (Jakub Va-	
lenta, Sasha Blank, Michaela Pospíšilová, garant: Ing. Ondřej Novák)	224
Wythoffova hra aneb dáma na nekonečné šachovnici (Maxmilián Ladislav Skuda, Monika	
Drexlerová, Vojtěch Lorenc, Vladimír Tureček, Wojciech Bureš, garant: doc. Ing. Lubomíra	
Dvořáková, Ph.D.)	228
Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM (Dan Káčerek,	
Daniel Theiss, Filip Krafčík, garant: Ing. Marek Tunkl)	232

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT



Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2024

# Program Týdne vědy 2024

#### Program TV@J

- Neděle
  - 10.00-11.00: Registrace
  - 11.00-11.30: Otevření Týdne vědy
  - 11.30-11.50: Úvodní úvaha o vědecké komunikaci
  - 11.50-12.30: Organizace TV@J
  - 12.30-14.00: Pauza na oběd
  - 14.00-15.30: Populární přednášky
  - 16.00-19.00: Pevnost Břehyard
  - -19.00 a dále: Ubytování na kolejích
- Pondělí
  - 09.00-16.30: Miniprojekty (seznámení, rešerše, příprava, realizace)
  - 16.30-17.50: Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J
  - 16.30-17.50: Alternativní přednášky pro ty, co jsou na TV@J poněkolikáté
  - 18.00-21.30: Večerní program
- Úterý
  - 09.00-18.00: Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku)
  - 18.00: Uzávěrka nahrání příspěvků do sborníku
  - 18.00: Uzávěrka návrhů titulního obrázku sborníku (fakultativní soutěž)
- Středa
  - 09.00-10.15: Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Věda umění, umění vědy (zamyšlení)
  - 10.30-11.50: Darren Copeland, MSc.: Intro to the scientific communication general introduction to public speaking
  - 10:30-11:50: Alternativní přednášky pro ty, co jsou na TV@J poněkolikáté
  - 12.00-13.30: Pauza na oběd
  - 13.00 a dále: Exkurze
  - -17.30-18.42: Diskuzní párty
  - -19.00-21.15: Divadelní hra Osm žen
  - 20.00: Uzávěrka nahrání prezentací pro minikonferenci
  - -20.00: Uzávěrka uploadu posterů
- Čtvrtek
  - 08.00-09.30: prof. RNDr. Eva Zažímalová, CSc., dr. h. c.: Věda a já (hlavní zvaná přednáška)
  - 09.30-10.00: Univerzitní stipendia, The Kellner Family Foundation

- 10.30-12.15: Prezentace miniprojektů I (plénum)
- 12.15-13.30: Pauza na oběd
- 13.30-15.30: Prezentace miniprojektů II (paralelní sekce)
- 15.45-17.45: Prezentace miniprojektů III (posterová sekce)
- 18.00-21.00: Kasino (závěrečný společenský večerní program na fakultě)
- Pátek
  - 09.00-10.30: Prezentace miniprojektů IV (paralelní sekce)
  - 11.00-12.00: Prezentace miniprojektů V (plénum)
  - 12.00-12.30: Závěr
  - 12.30: Zakončení ročníku TV@J
  - 12.30-13.30: Oběd

#### Exkurze

- Detekce nejenergetičtějích částic ve vesmíru a svět kapalných krystalů FZÚ AV ČR (Na Slovance)
- ELI BEAMLINES
- (English) Quantum Computers for Future Scientists FZÚ AV ČR (Na Slovance)
- Hvězdárna Ondřejov Perkův dalekohled
- IKEM
- $\bullet$ Laboratoř nanoskopie & Laboratoř optických biosenzorů Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR
- Laboratoř urychlovače Van de Graaff
- Nízké teploty zkapalňovač, NMR KFNT MFF UK
- Proton Therapy Center
- Simulátor řízení letového provozu ESCAPE-Light
- Školní reaktor VR-1 a podkritický reaktor VR-2 FJFI ČVUT
- Thomayerova nemocnice radioterapie
- Tokamak GOLEM
- ÚJF AV ČR, v.v.i., Řež u Prahy
- Výzkumný a zkušební letecký ústav v Letňanech

### Seznam všech přednášek

- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Badatelská komunikace motivace pro TV@J
- Ing. Pavel Bartl, Ph.D.: Chemie supertěžkých prvků test mezí platnosti periodického zákona
- doc. RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D.: Čím se zabývá jaderná chemie v roce 2024?
- doc. Ing. Lubomíra Dvořáková, Ph.D.: Erdősovo číslo
- Darren Copeland, MSc.: Intro to the scientific communication general introduction to public speaking
- doc. Ing. Slavomír Entler, Ph.D.: Jak budou vypadat první fúzní elektrárny?
- prof. Ing. Ladislav Musílek, CSc.: Jak pomáhá ionizující záření technice a výzkumu?
- Mgr. Jaroslav Hamrle, Ph.D.: Jak popsat materiál pomocí kvantové mechaniky
- Ing. Ondřej Kořistka, MBA: Když záření léčí aneb radioterapie jako bojovník s rakovinou
- Ing. Karel Veselský: Laser malířský štětec, nástroj nebo zbraň?

- Ing. Michal Jelínek, Ph.D.: Lasery a jejich aplikace v moderním světě
- Ing. Alena Zavadilová, Ph.D.: LIBS Spektroskopie laserem indukovaného plazmatu
- doc. Ing. Lubomíra Dvořáková, Ph.D.: Matematicko-fyzikální rozhledy
- doc. Ing. Miroslav Virius, CSc.: Od pravěku po internet (Mechanizace myšlení)
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: Pevné, pevnější, nejpevnější
- doc. Ing. Martin Kropík, CSc.: Systémy podle důležitosti vzhledem k jaderné bezpečnosti a naše elektrárny Dukovany a Temelín technologie a instrumentace
- Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.: Teorie her
- Ing. Ondřej Ficker, Ph.D.: Termojaderná fúze
- prof. RNDr. Eva Zažímalová, CSc., dr. h. c.: Věda a já
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Věda umění, umění vědy
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace I jak na prezentace a publikace
- $\bullet$ Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Základní motivační a organizační přednáška k $\mathrm{TV}@J$

### Diskusní párty

- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Energetika ČR včera, dnes a zítra
- Ing. Ondřej Kořistka, MBA: (H)různé tváře radiace
- Ing. Josef Bobek: Proč jsme postavili 27 km tunel?
- Mgr. Jan Horáček, DSc. dr. és sc.: Role jaderné energetiky v českém energetickem mixu a role fúze v budoucí jaderné energetice
- Mgr. Václav Procházka, Ph.D.: Suroviny pro energetiku: nejen paliva a jaderné palivo
- RNDr. Karel Kolář, Ph.D.: Základy řízení letového provozu a nějaká fyzika kolem

### Miniprojekty a jejich garanti

- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: 3D tisk a pevnost
- Ing. Kateřina Pachnerová Brabcová, Ph.D.: Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy
- RNDr. Ing. Michal Jex, Ph.D.: Cestující plamen studium excitabilních médii
- Ing. Kristýna Havlinová: Chemické změny v důsledku ozáření radiační chemie a fotochemie
- Ing. Jaroslav Cihlář, Ph.D.; Ing. Olga Bičáková, Ph.D.: Co je viskóznější, čokoláda nebo med?
- RNDr. Martina Kekule, Ph.D.: Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?
- Ing. Jaroslav Čech, Ph.D.: Co vydrží tenké vrstvy?
- Ing. Kryštof Kadlec: Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR)
- prof. Dr. RNDr. Miroslav Karlík: Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- Bc. Michal Ficel; Bc. Jakub Sochor: Elektrochemický popis extrakce kobaltu ze simulovaných dekontaminačních roztoků
- RNDr. Jan Proška: Fluorescenční konfokální mikroskopie příklad aplikace špičkové fyziky, chemie a matematiky v biologickém výzkumu
- Ing. Alžběta Horynová: Fotochemie uranu jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod?
- doc. Vitalii Zablotskii, DrSc.: Impacts of Geomagnetic Pulsations on Humans
- Bc. Jakub Mátl: Jak dostat reaktor do kritického stavu aneb proč je důležité nenechat si utéct neutrony

- Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.: Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů?
- Ing. Martin Jirka, Ph.D.: Jak přeměnit světlo na hmotu?
- Mgr. Emil Varga, Ph.D.: Kritická teplota vysokoteplotného supravodiča a jej závislosť na magnetickom poli
- Mgr. Mikuláš Matoušek: Kvantově chemické výpočty molekul
- Ing. Michal Jelínek, PhD.: Lasery a speciální optické jevy
- $\bullet$ Ing. Ondřej Holas: Luminiscence: Charakteristika luminiscenčních vlastností na základě experimentů
- doc. RNDr. Roman Dědic, Ph.D.: Luminiscenční sledování aktivity antioxidantů
- Ing. Štěpán Malec: Měření energetických spekter pomocí polovodičového pixelového detektoru Timepix3 na tokamaku GOLEM
- Ing. Josef Bobek: Měření Planckovy konstanty
- Ing. Michal Svoboda: Michelsonův experiment Souboj přesnosti měření s kolemjedoucí tramvají
- Ing. Martin Kákona, Ph.D.: Miony tě neminou! Sestavíš a naprogramuješ detektor kosmického záření
- Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D.; Ing. Milan Burda, Ph.D.; prof. Dr. Ing. Ivan Richter: Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách simulace na počítači
- Mgr. et Mgr. Dominik Beck: Monte Carlo a Markovské řetězce
- Bc. Josef Sabol: Může příliš mnoho chladiva v jaderném reaktoru vadit?
- Adam Blažek: Palindromická a antipalindromická čísla
- Ing. Pavel Strachota, Ph.D.: Počítačová grafika pohled pod pokličku
- doc. Dr. Ing. Milan Šiňor: Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice
- Ing. Jan Drahokoupil, Ph.D.: Počítačové simulace pevných látek
- Ing. Adam Říha, Ph.D.: Postavte si laserový zaměřovač
- Ing. Jakub Klinkovský, Ph.D.: Použití počítačového vidění pomocí NVIDIA Jetson Nano
- Ing. Miroslav Myška, Ph.D.; Ing. Ota Zaplatílek: Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách
- Ing. Ondřej Ploc, Ph.D.: Radiační zátěž od kosmického záření na palubě letadla
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
- Bc. Paulína Pažítková: Radioimunoanalýza
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu ABWR
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu VVER-440
- Ing. Ondřej Huml, Ph.D.: Šíření neutronů prostředím
- Ing. Jan Rataj, Ph.D.: Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně
- Bc. Ondřej Lachout, Bc. Jakub Mátl: Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na reaktoru VR-1
- Ing. Ondřej Novák: Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1
- doc. Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D.: Stavba mlžné komory
- doc. Ing. Jaromír Kukal, Ph.D.: Stochastické modelování turbulence v bedně
- Ing. Dalibor Skoupil, Ph.D.: Svět podivných jader
- doc. Ing. Martin Štefaňák, Ph.D.: Testování bomby pomocí kvantové mechaniky
- Ing. Tetiana Lukianova: The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water

- Ing. Václav Vencovský, Ph.D.: Ucho jako zdroj zvuku: whistling while it works
- Ing. Tereza Hanušová, Ph.D.: Virtuální onkologická ozařovna
- Mgr. Jaroslav Hamrle, Ph.D.: Vlastnosti materiálů počítané z prvních principů (metoda ab-initio)
- Ing. Karel Trojan, Ph.D.: Vliv zbytkových napětí na pevnost 3D tištěné hliníkové slitiny
- Ing. Petr Ambrož, Ph.D.: Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo
- Ing. Ondřej Novák: Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu
- doc. Ing. Lubomíra Dvořáková, Ph.D.: Wythoffova hra aneb dáma na nekonečné šachovnici
- Ing. Marek Tunkl: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

### Minikonference

# • Úvodní plenární blok

čtvrtek 10.30-12.15, Břehová aula 103, předsedající: Monika Drexlerová

- $\diamond~10.30$  Zahájení konference, shrnutí pravidel
- $\diamond~10.45$  Stochastické modelování turbulence v bedně
- $\diamond~11.00$  Měření energetických spekter pomocí polovodičového pixelového detektoru Timepix3 na tokamaku GOLEM
- $\diamond~11.15$  Virtuální onkologická ozařovna
- $\diamond~11.30$  Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na reaktoru VR-1
- $\diamond~11.45$  Informace o dalších aktivitách

### • Paralelní ústní sekce

čtvrtek 13.30-15.30, Břehová aula 103, předsedající: Daniel Dudek

- $\diamond~13.30$  Lasery a speciální optické jevy
- $\diamond~13.45$  Ucho jako zdroj zvuku: whistling while it works
- $\diamond~14.00$  Luminiscence: Charakteristika luminiscenčních vlastností na základě experimentů
- $\diamond~14.15$  Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo
- $\diamond$  14.30 Co vydrží tenké vrstvy?
- $\diamond~14.45$  Radioimunoanalýza
- $\diamond~15.00$  Cestující plamen studium excitabilních médii
- $\diamond~15.15$  Elektrochemický popis extrakce kobaltu ze simulovaných dekontaminačních roztoků

### • Paralelní ústní sekce

čtvrtek 13.30-15.15, Břehová aula 115, předsedající: Linda Tománková

- $\diamond~13.30$  Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů?
- $\diamond~13.45$  Chemické změny v důsledku ozáření radiační chemie a fotochemie
- $\diamond~14.00$  The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water
- $\diamond~14.15-3D$ tisk a pevnost

- $\diamond~14.30$  Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách simulace na počítači
- $\diamond$  14.45 Vliv zbytkových napětí na pevnost 3D tištěné hliníkové slitiny
- $\diamond~15.00$  Co je viskóznější, čokoláda nebo med?

#### • Poster session

- Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM
- Impacts of Geomagnetic Pulsations on Humans
- Simulace provozu JE typu VVER-440
- Jak přeměnit světlo na hmotu?
- Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice
- Palindromická a antipalindromická čísla
- Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- Monte Carlo a Markovské řetězce
- Použití počítačového vidění pomocí NVIDIA Jetson Nano
- Může příliš mnoho chladiva v jaderném reaktoru vadit?
- Wythoffova hra aneb dáma na nekonečné šachovnici
- Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR)
- Měření Planckovy konstanty
- Radiační zátěž od kosmického záření na palubě letadla
- Počítačová grafika pohled pod pokličku
- Jak dostat reaktor do kritického stavu aneb proč je důležité nenechat si utéct neutrony
- Miony tě neminou! Sestavíš a naprogramuješ detektor kosmického záření
- Fotochemie uranu jak s pomocí světla odstranit uran z odpadních vod?
- Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách
- Stavba mlžné komory
- Kvantově chemické výpočty molekul
- Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně

### • Paralelní ústní sekce

pátek 09.00-10.30, Břehová aula 103, předsedající: Matyáš Beran

- $\diamond$ 09.00 Abstinent versus alkoholik: na koho si v<br/>sadit v případě jaderné katastrofy
- $\diamond$ 09.15 Michelsonův experiment Souboj přesnosti měření s kolemjedoucí tramvají
- $\diamond~09.30-{\rm \check{S}}$ íření neutronů prostředím
- $\diamond$ 09.45 Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu
- $\diamond~10.00$  Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

 $\diamond~10.15-{\rm Simulace}$  provozu JE typu ABWR

### • Paralelní ústní sekce

pátek 09.00-10.30, Břehová aula 115, předsedající: Jakub Šrámek

- $\diamond~09.00$  Luminiscenční sledování aktivity antioxidantů
- $\diamond~09.15$  Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
- $\diamond$ 09.30 Vlastnosti materiálů počítané z prvních principů (metoda ab-initio)
- $\diamond~09.45$  Počítačové simulace pevných látek
- $\diamond~10.00-Postavte si laserový zaměřovač$
- $\diamond~10.15$  Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?

# • Závěrečný plenární blok

pátek 11.00-12.30, Břehová aula 103, předsedající: Maxmilián Ladislav Skuda

- $\diamond~11.00$  Kritická teplota vysoko<br/>teplotného supravodiča a jej závislosť na magnetickom poli
- $\diamond~11.15$  Testování bomby pomocí kvantové mechaniky
- $\diamond~11.30-Svět podivných jader$
- $\diamond~11.45$  Fluorescenční konfokální mikroskopie příklad aplikace špičkové fyziky, chemie a matematiky v biologickém výzkumu
- $\diamond~12.00-Závěr$
- $\diamond~12.30$  Oficiální zakončení akce

## **3D** tisk a pevnost

#### P. Vaško, E. Stránská

#### Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze, Trojanova 13

#### Abstrakt

Práce se zabývala měřením pevnosti polymerních materiálů PLA a PETG, které jsou hojně využívány jako filamenty pro 3D tisk. Cílem bylo měření pevnosti obou materiálů v tahu, porovnání jejich mechanických vlastností a zvážení vhodnosti různých využití. Výsledné hodnoty byly porovnány s údaji v technickém listu výrobce a s výsledky z minulého ročníku TV@J. Toho jsme dosáhli vymodelováním zkušebního tělesa podle standardu EN ISO 527-2[1] (viz obrázek 1) a následným tiskem vzorků z obou výše uvedených materiálů. Takto vzniklá tělesa jsme poté podrobili tahové zkoušce.

### 1 Úvod

3D tisk je široká oblast z oboru aditivní výroby, která se specializuje na výrobu z užšího souboru materiálů. Mezi nejpoužívanější se řadí polymerní materiály a kovy. Tento výrobní proces se v posledních letech stává stále více populárním jak ve strojním průmyslu, tak mezi domácími kutily. Nejrozšířenější je práce s pevnými polymerními materiály a to zejména kvůli své nenáročnosti a relativně nízké ceně. Z těchto materiálů jsou velmi rozšířené PLA (polylactic acid) a PETG (Polyethylene terephthalate - glycol). Oba materiály nabízí za svou cenu relativně dobré mechanické vlastnosti [2], zejména vysokou odolnost v tahu. Naším cílem zde bylo oba materiály podrobit tahovým testům a jejich výsledky porovnat s tvrzením výrobce.

#### 2 Materiály pro 3D tisk

Vzorky pro experiment jsme tiskli na místní filamentové 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+. Filamentové tiskárny taví plastové struny a roztavený plast vrství na sebe, tím tvoří trojrozměrné objekty. Z běžně používaných materiálů ABS, Flex, ASA, PLA, PETG. Pro náš experiment jsme zvolili 2 úplně nejpoužívanější materiály PLA a PETG.

PLA (polymléčná kyselina) se vyrábí z rostlinných škrobů, je tedy biologicky odbouratelný. Mezi začátečníky se stal populárním pro velice jednoduchý, ale zato přesný tisk. Využívá se pro tisk detailních figurek a plastových součástek, které nevyžadují velkou chemickou, mechanickou či teplotní odolnost.

PETG (polyetyléntereftalát - glykol) je vlákno PET obohacené o glykol, který mu dodává teplotní odolnost, pevnost a houževnatost. Je cenově dostupný a vhodný pro tisk větších objektů, proto nachází hojné využití mezi začátečníky i v průmyslu.

#### 3 Specifikace a průběh testování

Testy jsme prováděli pomocí zkušebního stroje Inspekt 100 kN od firmy Hagewald&Peschke. Jednotlivé testovací vzorky (viz obr. 1 a 2) jsme vkládali do stroje, který je následně natahoval konstantní rychlostí, dokud nedošlo k přepnutí vzorku a jeho následnému prasknutí či přetržení (viz obr. 3 a 4). Výstupem testu je tabulka hodnot jako uběhnutý čas od začátku testu, momentálně působící síla, dráha, kterou urazil stroj od začátku testu a tahové napětí. Hodnota, kterou jsme se nejvíce zabývali bylo tahové napětí, které přímo úměrně závisí na síle a nepřímo úměrně na obsahu počátečního průřezu vzorku.



Obrázek 1: Schéma testovacího vzorku



Obrázek 2: Ukázka neporušených testovacích vzorků před testem



Obrázek 3 a 4: Testovací vzorky po dokončení testování



Obrázek 5: Graf zobrazuje závislost tahové síly naprodloužení vzorku u obou testovaných materiálů

Na obrázku 5 lze vidět, že působící síla se nejprve u obou materiálů zvyšuje téměř konstantní rychlostí. Dále se začne křivka vyrovnávat a následně se začne síla potřebná pro deformaci opět snižovat až do chvíle kdy vzorek podlehne napětí a dojde v něm k lomu. Z grafu je patrné, že PLA vydrží vyšší maximální zátěž než PETG, ale je méně houževnaté, podlehne tedy deformaci dříve.

Při našem testování jsem se také setkali s nečekanými výsledky. Část našich vzorků pro PLA byla vytisknutá z filamentu Prusament PLA Blend Royal Blue. Tento materiál se při testech vykazoval chování značně odlišné od jiných vzorků PLA. Vzorky běžného PLA se vždy porušily rychle, s rovnou lomovo plochou (viz obr. 6), vzorky PLA Blend se proti tomu dělily na jednotlivá vlákna, která se trhala postupně jako například u provazů či lan. Lomová plocha je v důsledku toho dosti roztřepená (viz obr. 4 a 9).

Naměřené hodnoty pevnosti materiálů PLA, PETG a i PLA Blend jsme srovnali s hodnotami poskytnutými výrobcem:

	Mez pevnosti [MPa]
PLA - prusa [3]	50,8 ± 2,4
PLA - naměřené hodnoty	46,6 ± 3,1
PETG - prusa [4]	47 ± 2
PETG - naměřené hodnoty	41 ± 1
PLA BLEND - prusa [5]	32 ± 2
PLA BLEND - naměřené hodnoty	33,8 ± 1,1



Obrázek 6: Detail lomové plochy vzorku z PLA



Obrázky 7, 8 a 9: Zachycení postupu deformace vzorků z materiálu PLA Blend



Obrázek 10: Detail lomové plochy vzorku z materiálu PETG

### 4 Závěr

Z našeho měření vychází, že reálná hodnota mezní pevnosti PLA ( $46,6 \pm 3,1$  MPa) je o 8,3% nižší než hodnota uvedená v technickém listu ( $50,8 \pm 2,4$  MPa). V případě PETG je námi naměřená hodnota ( $41 \pm 1$  MPa) o 12,8% nižší, než hodnota uvedená v technickém listu ( $47 \pm 2$  MPa). U materiálu PLA Blend jsme se u námi naměřených hodnot ( $33,8 \pm 1,1$  MPa) setkali s 5,6% zvýšením mezní pevnosti oproti hodnotám uvedeným v technickém listu ( $32 \pm 2$  MPa). Tyto rozdíly mezi hodnotami mohou být zapříčiněny jak rozdílným stářím materiálů, jiným měřícím přístrojem, či chybou v měření.

Z testů vyplývá, že PLA je materiál s vysokou pevností ale také s vysokou křehkostí. PETG má o něco nižší pevnost, ale je to materiál méně křehký a je lehce plastičtější než PLA. Pro mechanicky namáhané součásti (například ozubená kola) se tedy více hodí PETG, na lineárně namáhané součásti může být o něco lepší použití PLA.

Překvapením se pro nás stal materiál PLA Blend, který vykazoval značně odlišné chování než jsme od PLA očekávali. Lomová plocha u něj byla třepivá, nikoliv lámavá. Vykazoval nižší mezní pevnost než oba jiné testované materiály, přesto by mohl najít využití v místech, kde by byly problémem náhlé zlomy součástí a kde je více žádoucí postupné roztržení. Mohl by se tedy například používat jako náhrada lan či provazů.

### Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení naší práce, zajištění zázemí a poskytnutí svých vědomostí. Dále děkujeme Ing. Ondřeji Kováříkovi, Ph.D. za asistenci při práci na odborném pracovišti a Ing. Jaroslavu Čechovi, Ph.D za prohlídku elektronových mikroskopů a laboratoře měření tvrdosti. Poděkovat bychom chtěli také organizátorům Týdne vědy na Jaderce za možnost rozšíření svých znalostí v oblasti 3D tisku a analýzy mechanických vlastností materiálů.

#### Reference

[1] EN ISO 527-2. Determination of tensile properties of plastics – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics. Brüssel: European Committee for Standardization, 1996.

[2] Prusa Tabulka Materiálů. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/materials

[3] Technický list Prusament PLA. *Dostupné z:* https://prusament.com/wp-content/uploads/2022/10/PLA\_Prusament\_TDS\_2021\_10\_CS.pdf

[4] Technický list Prusament PETG. *Dostupné z:* 

https://storage.googleapis.com/prusa3d-content-prod-14e8-wordpress-prusament-prod/2023/10/095f08 8c-tds\_prusament-petg\_n\_cs.pdf

[5] Technický list Prusament PLA Blend. *Dostupné z:* <u>https://www.prusa3d.com/file/938568/prusament-pla-blend-technical-data-sheet.pdf</u>

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

M. Malá<sup>1</sup>, K. Svobodová<sup>2</sup>, J. Míka<sup>3</sup>, Z. Navrátil<sup>4</sup> <sup>1</sup>1.SJG, <sup>2</sup>Gymnázium Christiana Dopplera, <sup>3</sup>SZŠ Brno, <sup>4</sup>Gymnázium Tišnov,

svobodovak@gchd.cz

Ing. Kateřina Pachnerová Brabcová Ph.D, ÚJF AV ČR

#### Abstrakt:

Náš miniprojekt zkoumal, jak alkohol ovlivňuje poškození plasmidu pBR322, reprezentujícího DNA, ionizujícím zářením. Použili jsme agarózovou elektroforézu k analýze devíti vzorků s různými koncentracemi ethanolu a jeden kontrolní vzorek, který nebyl podroben ozařování. Výsledky miniprojektu naznačují, že alkohol může do určité míry působit jako radioprotektivum.

### 1 Úvod

Ionizující záření (IZ) pochází z radionuklidů a vyskytuje se všude kolem nás. Můžeme uvést kosmické záření nebo radon. Existují, ale i umělé formy IZ jako jsou: radioterapie nebo zobrazovací vyšetření. IZ může ionizovat atomy nebo molekuly, což představuje problém hlavně pro DNA, která je citlivá na poškození. DNA je složena ze dvou komplementárních řetězců propojených vodíkovými můstky mezi bázemi, a její poškození může vést k vážným biologickým následkům.

Poškození DNA může být přímé (energie je absorbována přímo v molekule DNA) nebo nepřímé (způsobené radikálovými produkty vody, zejména hydroxylovým radikálem OH-). Nepřímé poškození je častější a může způsobit významné změny v DNA. Příkladem je jednoduchý zlom, kdy se ze stočného řetězce stane kruhový, avšak častějším případem bývá zlom dvojitý, kdy se řetězec mění na lineární. Přechod na lineární DNA může proběhnout přímo nebo při dvou na sobě nezávislých zlomech.

Radioprotektiva jsou látky, které chrání DNA před nepřímým poškozením. Ethanol je jedním z těchto radioprotektiv, protože vychytává hydroxylové radikály. Naše hypotéza je, že lidé s vyšší hladinou ethanolu v těle mohou být lépe chráněni před IZ.

### 2 Tělo příspěvku

#### 2.1 Materiály a metody

Na přípravu agarózového gelu pro elektroforézu jsme použili 0,4 g agaru a 40 ml TAE pufru. Vše jsme smíchali v kádince a gel jsme nechali vařit, dokud nebyl průzračný. Poté jsme přidali 4µl fluorescenčního barviva SYBR Green I. Následně jsme směs přemístili do forem a nechali zatuhnout. Mezitím jsme si připravili vzorky každý o objemu 12 µl. V každém vzorku bylo 100 ng plasmidu a 2µl fosfátového pufru draselného( 0,1M). Do každého vzorku jsme přidali příslušné množství ethanolu( viz tab.1). Všechny vzorky jsme následně doplnili destilovanou vodou do námi stanoveného objemu 12µl.

	Tabulka 1
Vzorek č.	Obj. %
	ethanolu
0	0
1	25
2	10
3	2,5
4	1
5	0,25
6	0,1
7	0,025
8	0,01
9	0

Vzorky jsme podrobili dávce ozařování o délce 27 minut, při kterém byly vzorky vystaveny záření 50Gy ze zdroje <sup>60</sup>Co, který vyzařuje gama záření v podobě fotonů. Následně jsme do každého o vzorku přidali 2  $\mu$ l pufru, obsahujícího glycerol, díky němuž se vzorek udržel v agarové jamce. Agarový gel jsme přemístili do horizontální lázně vyplněnou 0,5x TAE pufrem. Nanesli jsme vzorky do jamek a vystavili elektroforéze při napětí 100 V, díky které jsme byli schopni rozlišit poškození plasmidů. Elektroforéza funguje na principu schopnosti vzorků migrovat v elektrickém poli k anodě. Nakonec jsme vzorky podrobili UV zářením a výsledky zpracovali.

#### 2.2 Výsledky

Pod UV světlem jsme jasně viděli různé pohyblivosti a poškození forem plasmidové DNA v agrarózovém elektroforetickém systému( viz. obr 2). DNA je zde díky fluorescenčnímu barvivu zviditelněna.



Obrázek 2

Analýza intenzit a migrace vzorků ukázala, že se zvyšující koncentrací ethanolu se snižovalo poškození DNA(viz. graf 1)



#### 2.3 Diskuze

Provedli jsme experiment odpovídající na otázku, zda alkohol v těle člověka chrání před IZ při jaderné katastrofě. Na tuto otázku nemůže plně odpovědět, neboť náš miniprojekt byl proveden pouze na reprezentativním modelu buňky v podobě plasmidu a zatím nebyl proveden pokročilejší výzkum. V porovnání výsledků z minulých let dokazuj, že ethanol může působit do jisté míry jako radioprotektivum. Avšak i nadále zbývají nezodpovězené otázky na mnoho důležitých faktorů při jaderné katastrofě. Do jaké míry by bylo rozdílné chování alkoholika oproti abstinentovi? Do jaké výše radiace by byl alkoholik schopen fungovat?

#### 3 Závěr

Na zjednodušeném modelu buňky jsme zjišťovali, zda ethanol funguje za vysokých koncentrací v plazmidu jako radioprotektivum. Nemůžeme s jistotou říci, jestli takto funguje i v lidských buňkách, jak jsme již v příspěvku výše vysvětlili.

#### Reference

- Využití kometového testu pro stanoveni poškození DNA v průběhu protinádorové chemoterapie. Online, Diplomová. Hradec Králové: Faf cuni, 2011. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/31896/120032717.pdf?sequence =1&isAllowed=y. [cit. 2024-06-18].
- [2] Singh H, Apte SK. Low concentrations of ethanol during irradiation drastically reduce DNA damage caused by very high doses of ionizing radiation. J Biosci. 2018 Mar;43(1):15-23. PMID: 29485112.

# Šíření plamene, aneb jak rychle shořel Jan Hus

#### M. Beran

Gymnázium dr. A. Hrdličky Humpolec; beran.matyas@gymhu.cz

M. Jex, školitel; KF FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Tento miniprojekt se zabýval šířením plamene a rychlostí tohoto šíření. V reálném světě se metody zde využité používají i v oblastech lidské působnosti fyzice vzdálené, například contact-tracing při pandemii koronaviru. Pro samotné studium šíření plamene jsou ale využívány také, třeba při strategickém hašení lesních či městských požádů.

# 1 Úkol

Naším úkolem bylo zjistit, jak rychle se v systému šíří oheň, a také sestavit model, který by byl schopen tento jev do určité míry popsat a zdůvodnit.

#### 2 Tvorba simulace

Simulace byla tvořena v softwaru Mathematica. Jde o relativně jednoduchý skript, který byl dále garantem rozšířen o grafický prvek ukazující aktuální stav všech buněk pomocí barvy pixelů. Skript popisoval šíření plamene po kružnici, kde byla regenerace potenciálu rychlá, respektive stejná jako doba hoření.

#### 3 Pomůcky

Výpočetní software Mathematica, metr  $\pm 0, 5$  mm, Zippo benzín do zapalovačů, zapalovač, fotoaparát s obnovovací frekvencí 50 Hz, stativ, injekční stříkačka, kádinka, plachta, digestoř, víčko od plechovky s průměrem využívané drážky 15,7cm, vytištěná hvězdicovitá struktura z 3D filamentu PETG, počítač na zpracování videí a dat z nich odvozených



Obrázek 1: hořící hvězdicovitý tvar použitý při experimentu



Obrázek 2: víčko od plechovky s plamenem v pravé části obrázku

### 4 Teorie za pokusem a modelem

Šíření plamene si můžeme představit jako akutní změnu stavu, tedy rychlé shoření množství paliva za vzniku místa, kde dále plamen existovat nemůže, kvůli nedostatku materiálu na spálení, a tím pádem po určitém časovém intervalu plamen musí přejít na jiné, nové palivo, či vyhasnout. Takto si můžeme představit i reálné situace, kde například lesní požár nemůže na již vyhořelé půdě zůstat, a proto se šíří do okolního prostoru, analogii tady také můžeme vidět i při epidemické situaci, kde si jako hoření můžeme představit aktivní nemoc, jako palivo nikdy nenakaženého člověka, a jako spálenou oblast člověka s imunitou vybudovanou kvůli prodělané nemoci.

Pokud se ovšem plamen na určitém místě dlouho nenachází, místo má tendenci znovu nabýt dostatečné potenciální chemické energie, aby umožnilo plamenu zde na čas přežít. Les znovu vyroste, a imunitní systém na nemoc pomalu zapomene.

Simulace proto využívají množství diskrétních buněk na popsání šíření. Toto si můžeme přestavit jako stromy v lese, a předpokládáme, že proximita, tedy sousednost s hořící buňkou, vždy vyústí v zapálení, je-li tato sousedící buňka schopna začít hořet.

#### 5 Průběh experimentu

Experiment proběhl 17. 6. 2024 v Praze. Do digestoře byl dán stativ a krátce poté do něj byl umístěn samotný fotoaparát. Fotoaparát směřoval přímo dolů, Do fotoaparátu byl připojen kabel, který jej propojoval s počítačem, ze které bylo ovládáno samotné nahrávání.

Jako dráhu pro náš plamen jsme nejprve využili plechové víčko od plechovky, do kterého bylo pomocí stříkačky vpraveno okolo 0, 75ml) benzínu, který byl připraven vedle v malé kádince na nabírání. Benzín byl rovnoměrně rozmístěn do drážky víčka. Víčko jsme dali pod fotoaparát tak, aby bylo na záznamu vidět celé.

Nad víčko byl umístěn zapalovač, jenž byl poté aktivován za vzniku cestujícího plamene, který byl kvůli vysoké těkavosti benzínu schopen po drážce plechovky cestovat dokola. Vše bylo za pomocí fotoaparátu natočeno. Často se zde ale vyskytoval nepříjemný jev, při kterém se objevily dva protichůdné plameny, které po srážce vyhasly. Experiment byl opakován po vyhasnutí plamene do doby, než byl všechen vpravený benzín postupně spálen.

Dále bylo víčko od plechovky zaměněno za vytištěnou hvězdicovitou strukturu, která byla také stříkačkou naplněna benzínem, přesunuta do digestoře a zapalována zapalovačem, vše za stálého nahrávání fotoaparátu. Zde nedošlo k šíření plamene po vnitřku hvězdy, ale k zapálení vnitřního kruhu a postupnému pulzování ve vyčnívajících větvích.

#### 6 Zpracování videa

Video bylo z fotoaparátu kabelem přesunuto do počítače. Bylo dále analyzováno snímek po snímku v aplikaci Windows Media Player.Vždy jsme zaznamenali množství snímků potřebnýé k opsání kružnice, respektive projetí plamene kolem dokola celého víčka.

#### 7 Výsledky

Zde jsou výsledky pozorování, tedy jak dlouho trvalo plamenu oběhnout víčko, a jak často k tomu došlo. Z tohoto lze pomocí váženého průměru a aplikace výpočtu dráhy plamene

Počet snímků na otáčku	četnost pozorováni
41	4
40	9
39	9
38	1

Tabulka 1: výsledky pozorování

z poloměru drážky vypočítat průměrná rychlost jako  $v = (0, 62 \pm 0, 01) m \cdot s^{-1}$ .

### 8 Diskuse

Experiment proběhl úspěšně, rychlost cestování plamene byla změřena s nízkou odchylkou.

Problém experimentu ležel v částečné neovladatelnosti plamene, kde plamen měl tendenci cestovat do obou směrů, ne pouze do jednoho, což by pro nás bylo pohodlné, jelikož by po potkání plameny vyhasly, takže byly výsledky limitovány na množství pokusů, kde se nám povedlo plamen zapálit tak, aby šel pouze jeden jedním směrem.

Další problém bylo zapálení hvězdicovité formy, která se kvůli teplu pohybujícího plamene začala částečně delaminovat, a vznikla zde místa, ve kterých díky této částečné delaminaci 3D filamentu vznikla struktura podobna knotu na svíčce, respektive zde vyvstávala situace, při níž se kvůli zvýšené ploše a teplotě odpařovala velká část paliva paliva na udržení konstantního ohně. Tomuto by šlo předejít například použitím méně hořlavého tekutého paliva.

### 9 Shrnutí

Experiment proběhl celkem úspěšně za naměření rychlosti cestujícího plamene na  $v = (0, 62 \pm 0, 01) m \cdot s^{-1}$ . Také byla úspěšně vytvořena simulace, která popisovala tento jev.

# Poděkování

Děkuji doktoru Michalu Jexovi za umožnění a dozorování tohoto miniprojektu. Rovněž děkuji i Karlu Tesaři za pomoc s uskutečněním experimentu

### Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie

E. Matuchová<sup>1</sup>, D. Nevídal<sup>2</sup>, Š. Poslední<sup>3</sup>, A. Vachutková<sup>4</sup> <sup>1</sup>G Plzeň, Mikulášské nám. 23 eliska.matuchova44@gmail.com <sup>2</sup>G Bučovice, Součkova 500 domcamalec@gmail.com <sup>3</sup>G Christina Dopplera, Praha 5, Zborovská 621/45 simonposledni@gmail.com <sup>4</sup>Masarykovo G, Příbor, příspěvková organizace, Jičínská 528 anna.vachutkova@gypri.cz

O. Garant, školitel; Ing. Kristýna Havlinová (KJCH)

#### Abstrakt:

Během tohoto miniprojektu jsme se zabývali chemickými změnami v kapalinách vlivem ionizujícího záření (UV a γ-záření) a díky tomu víme, že do Černobylu se vydáme, pouze s pivem v každé ruce.

### 1. Úvod

Při ozáření UV a  $\gamma$ -zářením na látku, dochází k chemickým změnám. Ve vodných roztocích je nejběžnější fotolýza vody za vzniku reaktivních radikálů H<sup>+</sup> a OH<sup>-</sup>, které interagují s biochemickou hmotou. Když interakce probíhá s DNA, dochází k poškození řetězce DNA, což může vést ke smrti buňky, popřípadě ke vzniku nádoru.

Námi kladená otázka je, jaký vliv má ethanol na ozářený roztok kyseliny tereftalové.

#### 2. Ethanol, zachránce před radiací?

#### A. Co jsme použili?

Námi používané roztoky se skládaly z kyseliny tereftalové  $(C_6H_{12}COOH_2)$ , NaNO<sub>3</sub>, ethanol C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, H<sub>2</sub>O, NaOH a samotné

2 – hydroxytereftalové kyseliny. Dusičnan se působením záření rozpadl na nestabilní OH radikály, ty se navázali na kyselinu tereftalovou za vzniku luminiscenční 2 – hydroxytereftalové kyseliny. Do poloviny vzorků jsme přidali ethanol a pozorovali změny. Následně jsme pomocí rovnice koncentrační řady určily zastoupení luminiscenční kyseliny v roztoku její intenzitou.

K tomu nám napomohl Spektofluorimetr, který měřil luminiscenční spektra vzorků mezi 320 a 620 nm, s excitační Vzorky byly ozařovány UV lampou a druhá část Gammacellem, což je přístroj, který ozařuje  $\gamma$  – zářením. Palivem pro Gammacell je <sup>60</sup>Co a jako UV zdroj jsme použili střednětlakou rtuťovou výbojku.

#### B. Statistiky a grafy

Základním principem tohoto pokusu je reakce OH radikálů a kyseliny tereftalové na kyselinu 2-hydroxytereftalovou. Následné měření velikosti změny intenzity luminiscence ukazuje zvýšení koncentrace kyseliny 2hydroxytereftalové, podle již uvedeného principu.



Koncentrační řada obsahující roztoky kyseliny 2-hydroxytereftalové o známé koncentraci byla vytvořena pro účel výpočtu koncentrace v ozařovaných vzorcích.





Na grafech je vidět rychlejší nárůst intenzity luminiscence v roztoku bez ethanolu oproti roztoku s ethanolem. Intenzita luminiscence roztoků roste lineárně s dobou ozařování.



Jelikož je energie UV záření nižší, museli jsme do roztoků ozařovaných touto výbojkou přidat dusičnan, abychom dosáhli vzniku OH radikálů

#### C. Pojd'me se nad tím zamyslet!

Rozdíl mezi naměřenými intenzitami luminiscence roztoků ozářenými  $\gamma$ a UV jsou způsobeny rozdílnými časy expozice, kdy roztoky v Gammacellu byly vystaveny záření významně déle než roztoky v UV. Dalším aspektem rozdílů mezi experimenty je nutnost přidání dusičnanu sodného do roztoků dané pod UV lampu k vytvoření OH radikálů, kdy  $\gamma$  záření je schopné vytvořit OH radikály bez této příměsi a jen z H<sub>2</sub>O.

#### 3. Shrnutí

Závěrem jsme schopni říct, že ethanol má opravdu zásadní vliv na luminiscenční vlastnosti kapalin ozářených ionizačním zářením. Měření bylo úspěšné i přes četné překážky, jako například pokažení rentgenu, na kterém mělo původně probíhat ozařování, či chybějící kyselina benzoová.

#### Poděkování

Největší poděkování patří vedoucí našeho miniprojektu, Ing. Kristýně Havlinové a dále děkujeme FJFI a ČVUT za uskutečnění Týdne vědy. A na konec také sponzorům, bez kterých by tato akce nemohla být zrealizována.

[1] ČUBA, Václav, Jan BÁRTA a Lenka PROCHÁZKOVÁ. Praktikum z radiační chemie a fotochemie. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06384-2.

### Co je viskóznější, čokoláda nebo med?

#### D. Kaňka

Lepařovo gymnázium Jičín; lg.kanka@gymjc.cz

J. Cihlář, školitel; ÚSMH AV ČR

#### Abstrakt:

Cílem tohoto miniprojektu bylo změření dynamické viskozity a následné porovnání jednotlivých, běžně dostupných surovin (hořké čokolády, medu a dvou olejů). Pokus byl proveden za pomoci viskozimetru Thermo Scientific HAAKE Viscotester iQ. U olejů byla vypočtena i kinematická viskozita, kvůli čemuž musela být změřena hustota olejů (elektrickým hustoměrem Mettler Toledo Density2Go). Experimentálně bylo zjištěno, že největší viskozitu měla rozpuštěná hořká čokoláda a nejmenší měl slunečnicový olej.

### 1 Úvodní teoretická část

Jistě jste si všimli, že ne všechny kapaliny tečou stejně ochotně, že je zkrátka jedna kapalina poněkud "tekutější" než ta druhá (např. voda a med). A právě o tom, která běžně dostupná látka je nejtekutější, je tento miniprojekt.

Viskozita neboli vazkost je fyzikální veličina, která charakterizuje proudění kapaliny a její vnitřní tření. Jednoduše řečeno nám viskozita říká to, jak jednoduše kapalina teče – čím je viskozita větší, tím hůře kapalina teče. Tato vlastnost kapaliny je dána velikostí přitažlivých sil jednotlivých částic kapaliny. To způsobuje vnitřní tření v kapalině. (3) Vnějším faktorem, který velmi ovlivňuje viskozitu, je teplota. S rostoucí teplotou totiž vazkost kapalin klesá. (2) (Na rozdíl od plynů, jejichž viskozita roste se zvyšující se teplotou.). Pokud je viskozita kapaliny pro určitou teplotu konstantou, tj. je splněna přímá úměrnost mezi smykovým třením a smykovou rychlostí (viz následující vzorec), jedná se o newtonskou kapalinu, pokud ne, je to kapalina nenewtonovská.(1)

# $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$

 $\tau$  je třecí (tečné) napětí,  $\gamma$  je smyková rychlost (popisuje vlastně rychlost deformace kapaliny) a  $\eta$  je dynamická viskozita – pro newtonské kapaliny konstanta

Dále rozlišujeme viskozitu dynamickou a kinematickou. Dynamická viskozita nám určuje vnitřní tření kapaliny a její jednotkou je  $Pa \cdot s$ , zatímco kinematická viskozita je poměrem viskozity dynamické a hustoty kapaliny, její jednotkou je  $m^2/s$ .

### 2 Vlastní experiment



Cílem experimentu bylo změřit hodnoty dynamické viskozity pro různé látky. K dispozici byla hořká čokoládá, med, slunečnicový olej a olivový olej. Viskozita byla určována pomocí viskozimetru Thermo Scientific HAAKE Viscotester iO. Všechny vzorky byly měřeny za stejné teploty, konkrétně 40 °C. Jelikož geometrie přístroje nezaznamenala viskozitu oleje pro menší smykovou rychlost, měření prováděno bylo za

různých smykových rychlostí. Pro čokoládu a med to bylo 30 a 50 s<sup>-1</sup>, pro oleje 1000 a 1500 s<sup>-1</sup>. U každého vzorku byly vyzkoušeny dvě různé smykové rychlosti, aby se zjistilo, o kolik se bude výsledek lišit, jelikož se jedná o nenewtonovské kapaliny, jejichž viskozita se mění právě i se smykovou rychlostí. Vždy byla provedena tři měření pro každou smykovou rychlost. Pro vzorky, u nichž byla zjištěna hustota elektrickým hustoměrem, byla vypočítána i viskozita kinematická. Naměřené hodnoty spolu s výsledky a směrodatnou odchylkou shrnuje následující tabulka.

Měřená látka	Podmínky	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematická viskozita (10 <sup>-6</sup> *m <sup>2</sup> /s)	Dynamická viskozita (Pa*s) směrodatná odchylka	Dynamická viskozita (Pa*s) aritmetický průměr	Dynar naměřen	nická visk jé hodnoty	cozita 7 (Pa*s)
Fin Carré dark	40 °C, 30 s <sup>-1</sup>		-	0,03	6,94	6,91	6,98	6,94
chocolate	40 °C, 50 s <sup>1</sup>	-	-	0,16	5,98	5,78	6,17	5,98
med	40 °C, 30 s <sup>-1</sup>		-	0,13	1,58	1,76	1,54	1,44
liicu	40 °C, 50 s <sup>-1</sup>	-	-	0,02	1,28	1,31	1,28	1,25
Artemic greek olive oil	40 °C, 1000 s <sup>-1</sup>	015	40,7650	0,0002	0,0373	0,0374	0,0370	0,0375
Arteniis greek olive oli	40 °C, 1500 s <sup>-1</sup>	915	41,1658	0,0001	0,0377	0,0378	0,0376	0,0376
olei shmečnicova:	40 °C, 1000 s <sup>-1</sup>	016	32,8603	0,0002	0,0301	0,0304	0,0300	0,0299
orej siureenieovy	40 °C, 1500 s <sup>-1</sup>	916	33,1878	0,0000	0,0304	0,0304	0,0304	0,0304

Tabulka 1: Tabulka s naměřenými hodnotami, výslednou viskozitou (dynamickou, popřípadě kinematickou) a směrodatnou odchylkou. Pro srovnání, dynamická viskozita vody je<sup>1</sup> zhruba  $0,653 \cdot 10^{-3}$  Pa·s.

### Diskuze

Měřením se ukázalo, že čokoláda vykazuje známky nenewtonovské kapaliny, která se vyznačuje tím, že se mění její viskozita s měnící se smykovou rychlostí.

Med, který se běžně řadí k newtonským kapalinám (5), vykazoval taktéž větší rozdíly, což mohlo být způsobeno krystalky, které byly v medu i po zahřátí na 40 °C stále patrné.

<sup>1</sup>z webu Vodovodinfo – Viskozita vody: <u>https://www.vodovod.info/index.php/extra/tabulky/177-viskozita-vody</u>

Oleje, na rozdíl od toho, vykázaly velmi malé rozdíly viskozit mezi smykovými rychlostmi a dají se tudíž řadit k newtonským kapalinám. Pro porovnání s tabulkovými hodnotami, pro olivový olej při teplotě 37,8 °C je uvedena<sup>2</sup> kinematická viskozita zhruba 43,2\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s, v pokusu naměřená hodnota se pohybovala okolo 41\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s při 40 °C.

# 3 Závěrečné shrnutí

Výsledkem pokusu bylo seřazení a porovnání kapalin dle jejich viskozit. Jako nejviskóznější se ukázala rozpuštěná hořká čokoláda, naopak nejméně viskózním byl slunečnicový olej.

Jelikož je rozpuštěná čokoláda vlastně suspenze a obsahuje nejrůznější částečky nerozpustných látek, což viskozitu zvyšuje, měla největší naměřenou viskozitu. Rozdílné viskozity slunečnicového a olivového oleje jsou způsobené jejich odlišným složením.

# Poděkování

Na závěr bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Cihlářovi Ph.D., který mi vše vysvětlil, ukázal a celou dobu mě vedl ke zdárnému konci této zkušební vědecké práce, a Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR za poskytnuté prostory a pomůcky.

# Zdroje

(1) HOLUBOVÁ Renata. Základy reologie a reometrie kapalin. Olomouc, 2014. Univerzita Palackého v Olomouci

(2) Rheonics – Viscosity (online): <u>https://cs.rheonics.com/viscosity/</u>

(3) WikiSkripta – Viskozita (online): https://www.wikiskripta.eu/w/Viskozita

(4) Manuál k přístroji rotační viskozimetr Haake Viscotester iQ, VTiQ\_Navod k pouziti\_CZ\_(Version\_1.6\_Sept\_2016)

(5) Zdravé včely – Fyzikální vlastnosti medu: <u>Fyzikální vlastnosti medu :: Technologie a</u> <u>hygiena včelích produktů (webnode.cz)</u>

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> z webu Converter – Kinematická viskozita: <u>http://www.converter.cz/tabulky/kinematicka-viskozita.htm</u>

### Co o nás a našich strategiích prozradí oční pohyby?

K. Kočí<sup>1</sup>, A. Kutinová<sup>2</sup>, D. Úlehlová<sup>3</sup> <sup>1</sup>G Šrobárova; <u>katkat.koci@gmail.com</u> <sup>2</sup>G Českolipská, Brno; <u>kutinovaa@ceskolipska.cz</u> <sup>3</sup>G Karla Sladkovského; <u>dora.noemi@seznam.cz</u> M. Kekule; KDF MFF UK

#### Abstrakt:

Zkoumaly jsme, jaké strategie lidé využívají při procházce bludištěm pohybem očí a jakou to má spojitost s fyzickou procházkou. A dále jsme zkoumaly, na co se lidé dívají při prohlížení vědců a celebrit, když ví a neví, že některé obrázky byly vygenerované pomocí AI. Celkem jsme metodou oční kamery realizovaly průzkum na osmi účastnících.

### 1 Úvod

Zkoumaly jsme, co prozradí oční pohyby o prohlížení obrázků nejen vygenerovaných AI a jak lidé očima procházejí bludištěm. Ke zkoumání obrázků generovaných AI nás motivoval článek *novinky.cz* [1], přičemž navazujeme na kolegy z minulého týdne vědy [2]. Využily jsme metodu eyetrackingu [3], která měří pohyb očí pomocí úhlu odrazů infračerveného světla z oka do kamerky. Tato metoda se dá využít v marketingu, při čtení, v reklamách, ve sportu, při psychologickém výzkumu, na výuku AI, ve vzdělání... a ve všem, kde nás zajímá, co přitahuje pozornost a na co se participanti zaměřují.

### 2 Cíle a metoda průzkumu

V rámci průzkumu jsme se zaměřily na 2 experimenty: rozpoznávání obrázků generovaných AI a procházku bludištěm.

Procházka bludištěm: Z kognitivní psychologie se zdá, že představy mají fyzické vlastnosti, např. procházka po ostrově v představě časově odpovídá přesunu po fyzické trase. [4] Cílem bylo zjistit, zda oční pohyby při procházení bludištěm budou korespondovat s fyzickým procházením, nebo zapojí účastnictvo jiné strategie.

Rozpoznání obrázků AI: Cílem bylo zjistit, kam se lidé koukají při prohlížení portrétů vědců a celebrit, a jak se toto prohlížení změní, pokud mají určit, zda byl obrázek vygenerován umělou inteligencí, nebo ne.

#### Testovací materiál

Participanti měli za úkol vyřešit bludiště viz. obr. ---. Druhý úkol byl pojmenovat postavy ze série 7 fotografií. Následně sérii viděli znova a vybírali díla, jež byla vygenerovaná.

#### Účastníci

Našeho průzkumu se účastnilo 8 lidí, a zároveň jsme na obrázky od AI využívaly i data od 9 účastníků z minulého roku.

#### Průběh testování

Účastnictvu jsme řekly, aby se pohybovalo pouze očima a nakalibrovaly jsme eyetracker. Vysvětlily jsme, že v prvním úkolu bude pohybem očí řešit bludiště. Po bludišti nastala druhá část, v které jsme se ptaly, jestli zná a dokáže pojmenovat postavy na obrázku. Odpovědi jsme zaznamenaly. V třetí části participanti viděli stejné obrázky ještě jednou a říkali nám, jestli se jedná o vygenerovanou, či nevygenerovanou fotografii.

#### Oční kamera a vizualizace dat

K zaznamenávání použita byla kamera TobiiTX300 bez opěrky brady a software TobiiPro 3.2. U všeho účastnictva jsme zachytily více než 80% pozicí očí.

# 3 Výsledky

#### 3.1. Rozpoznávání obrázků generovaných AI

1. Při prvním prohlížením fotografií jsme pozorovali velké zaměření na obličej postav a minimální zaměření na pozadí. Pouze v případě vědkyně s rukou ve výši obličeje bylo zaměření na zkumavku a obličej více méně stejné (viz ukázka na obr. 3.1.1).



Obr. 3.1.1 První letmé pozorování



Obr. 3.1.2 Druhé pozorování – hledání AI

2. Při posuzování, zda je obrázek generován AI se účastníci zaměřili víc na pozadí, zkoumali více ruce, oči a zuby portrétovaných (viz například větší zaměření na ruku na obr. 3.1.2).

3. Hypotézu, že účastníci věnují více času prohlížení obrázku, pokud mají určit, zda se jedná o AI, naši účastníci nepotvrdili. Průměrná celková doba trvání fixací účastníků je uvedena v Tab. 1. Obr. 3.1.3. ukazuje medián a variabilitu získaných dat. Nejrychleji účastníci uvedli, zda se jedná o obrázek generovaný AI v případě obr. 3.

	Celková doba trvání fixací */s									
	20	024	2023							
	První prohlížení	Posuzovaní, zda je vytvořen AI	První prohlížení	Posuzovaní, zda je vytvořen AI						
Obr. 1	4,225	7,127	2,844	3,302						
Obr. 2	5,129	4,230	2,749	3,577						
Obr. 3	6,235	4,866	4,034	4,996						
Obr. 4	5,385	6,526	3,149	3,026						
Obr. 5	4,803	6,260	3,026	3,467						
Obr. 6	4,997	6,800	2,138	4,232						
Obr. 7	4,865	4,781	2,183	3,640						

\*průměrná hodnota za všechno účastnictvo

Tabulka 1. Průměrná celková doba trvání fixací účastníků v letech 2024 a 2023.



Obr. 3.1.3 Celková doba trvání fixací \*/s – Medián

#### 3.2. Procházka bludištěm

Na účastnictvu jsme měli možnost pozorovat různé osobnosti a jejich obraz na strategiích řešení jednoduchého problému – projít bludištěm pouze očima. Precizní práci s vyzkoušením každé uličky reprezentuje červený účastník. Naopak fialový účastník se vydal první neúspěšnou cestou a pak vyhledalo konec bludiště a vrátil se z něj ke startu. Tato metoda se ukázala jako efektivnější. Žádný účastník se nevydal směrem doprava, kde byla hned přepážka, což by ukazovalo na fyzicky vnímanou barieru v bludišti. Ani při dalším prohlížení se všichni až na 1 účastníka doprava nepodívali (viz obr. 6). Dále jsme pozorovaly 2 rozdílné postupy bludištěm za 1. účastníci očními pohyby procházeli bludištěm jako v případě fyzické procházky na gazeplotu je vidět typická "cestička" vytvořená fixacemi (viz obr. 1-5, 7). Za 2. účastníci fixovali klíčová místa (typicky rohy) v bludišti tak, že vnímali víc chodeb v bludišti najednou, a jejich cesta bludištěm očima se nepodobala fyzické procházce (viz obr. 8).


# 4 Diskuze a shrnutí

### Obrázky generované AI

Z výsledků je patrné, že účastníci minulý rok strávili nad hledáním znaků AI tvorby delší čas než při letmém prvním pohledu. Zatímco letos už účastníci věnovali hledání prvků AI v obrázku podobné množství času jako při prvním letmém pohledu. Toto je v rozporu s naší hypotézou, kdy jsme se domnívali, že letošní účastnictvo si také dá větší práci s hledáním rysů AI tvorby. Můžeme to přisuzovat změně obeznámenosti účastnictva s AI v čase. Nesmíme však zapomenout na to, že máme malý vzorek (8 lidí), který nemusí a pravděpodobně ani nevypovídá o celé pravdě. Také je tu možnost, že letošní účastníci pouze zvolili jinou strategii a prohlídli si obrázek pořádně na první dobrou.

#### Procházka bludištěm

Někteří účastníci při procházce bludištěm napodobovali očními pohyby reálnou chůzi bludištěm a z fixací tak vytvářeli zřetelnou "cestičku". Nejrychleji řešící účastník a i další využívali i strategií volnějšího pohybu očí a fixování oblastí tak, aby mohli vnímat více prostoru bludiště. Tyto strategie bychom mohli označit za více expertní a zřejmě více efektivní.

# Reference

- [1] Novák, R. Umělá inteligence porazila nejlepší fotografy. A nikdo si toho nevšiml. Dostupné on-line: <u>https://tinyurl.com/4a8amvh2</u> Citováno [18.6.2024]
- [2] Hampejsová L., Bureš M., Khaled J. (2023) Co oční pohyby prozradí o prohlížení obrázků nejen generovaných AI In (Ed. Svoboda, V.) Týden vědy na FJFI CVUT Praha 2023, sborník příspěvků, pp. 65-68.
- [3] <u>https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Sledov%C3%AD\_pohybu\_o%C4%8D%C3%AD</u> Citováno [18.6.2024]
- [4] Robert J. Sternberg (2002) Kognitivní psychologie, s. 264-265

# Co vydrží tenké vrstvy?

J. Hořínková<sup>1</sup>, V. Kotyza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mendelovo gymnázium Opava, Julie.Horinkova@seznam.cz

<sup>2</sup> Gymnázium dr. A. Hrdličky, vaclavkotyza@icloud.com

O. Garant, školitel; Ing. Jaroslav Čech, Ph.D.

Červen 2024

#### Abstrakt:

Příspěvek se zabývá zkoumáním vlastností tenkých vrstev. Analýzy byly zaměřeny na měření jejich tloušťky, tvrdosti a redukovaného Youngova modulu. Byly použity metody calotest a nanoindentace. Výsledkem práce je srovnání vlastností tenkých vrstev a substrátu a zdůvodnění oprávněnosti jejich použití v praxi.

# 1 Úvod

S tenkými vrstvami se setkáváme každý den. Najdeme je například na čočkách v brýlích, na displejích, na brusných nožích či v náhradních kloubech. Jejich hlavním úkolem je výrazně zlepšit vlastnosti materiálu, na který jsou nanášeny. Používají se například ke zlepšení odolnosti, snížení tření a k úspoře materiálu. Jejich tloušťka není přesně stanovena, pohybuje se od několika desítek nanometrů po desítky mikrometrů.

Cílem této práce je určit tloušťku a mechanické vlastnosti (tvrdost, Youngův redukovaný modul) připravených tenkých vrstev a porovnat je s vlastnostmi substrátu.

### 2 Materiály a metody

#### Materiál

Určovali jsme tloušťku tří vrstev nanesených na ocelový substrát – galvanicky nanesená vrstva Cu, vrstva TiN a multivrstva TiNTi připravené metodou PVD (physical vapour deposition). Mechanické vlastnosti jsme měřili u multivrstvy TiNTi, multivrstvy CrNCr a na ocelovém substrátu bez vrstvy. Pro měření tloušťky vrstev jsme použili metodu calotest a pro změření mechanických vlastností metodu instrumentované nanoindentace.

#### Calotest

Metodou calotest můžeme zjistit tloušťku vrstvy. Za použití rotující ocelové kuličky se vybrousí do vrstvy i substrátu calota (kulový vrchlík), která se následně změří pomocí mikroskopu. Z geometrie kontaktu rovinného povrchu vzorku a kuličky vyplývá vzorec pro výpočet tloušťky vrstvy *s*, do kterého dosadíme hodnoty *x*, *y* a poloměr kuličky *R* (viz obr. 1) [1]:

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



Obrázek 1: Schéma metody calotestu (převzato z [1])

#### Nanoindentace

Analýza vrstev pomocí nanoindentace se používá pro zjištění mechanických vlastností materiálů, nejčastěji tvrdosti a Youngova modulu. Princip je založen na vtlačování diamantového hrotu přesné geometrie do měřeného vzorku. Z naměřených dat síla-hloubka vtisku (obr. 5) se určí tvrdost H a redukovaný Youngův modul  $E_r$  (zahrnující vlastnosti měřeného vzorku i použitého diamantového hrotu) podle následujících vztahů (viz [2]):

$$H = \frac{F_{max}}{A}$$
$$E_r = \frac{\sqrt{\pi} S}{2\beta \sqrt{A}}$$

kde  $F_{max}$  je maximální síla, A je promítnutá kontaktní plocha, S je kontaktní tuhost a  $\beta$  je korekční parametr zahrnující tvar hrotu.

Nejdříve je nutné vzorek vložit do nanoindentoru (NHT, Anton Paar), dále je třeba nastavit parametry indentace a spustit měření. V našem případě byla zvolena maximální síla 30 mN, zatěžování probíhalo v cyklu: 30 s zatížení, 10 s výdrž na maximální hodnotě síly, 30 s odtížení. Byl použit diamantový hrot ve tvaru trojbokého jehlanu (tzv. Berkovichův hrot). Na každém vzorku proběhlo 6 měření, která byla statisticky zpracována.

# 3 Výsledky a diskuze

Změřili jsme tloušťky vrstev Cu, TiN, multivrstvy TiNTi a její nejspodnější vrstvu (obr. 2-4). Výsledky jsou shrnuty v tabulce 1. Tloušťka studovaných vrstev se příliš nelišila a pohybovala se kolem 4 µm. Vrstva TiN (obr. 3) na šroubovacím bitu byla nanesena na drsnější substrát a připravená průmyslovou metodou, což vedlo k vyšším odchylkám měření.

Vrstva	Tloušťka vrstvy (μm)
Cu	$4,0\pm0,4$
TiN	$4,2 \pm 1,0$
Multivrstva TiNTi	$4,1 \pm 0,2$
Nejspodnější vrstva TiNTi	$0,6 \pm 0,1$

Tabulka 1: Tloušťky studovaných vrstev



Obrázek 2: Vrstva Cu

Obrázek 3: Vrstva TiN

Obrázek 4: Multivrstva TiNTi



Obrázek 5: Nanoindentační křivky síla-hloubka vtisku

Nanoindentační křivky síla-hloubka vtisku jsou na obrázku č. 5. Určené hodnoty tvrdosti a redukovaného Youngova modulu jsou v tabulce č. 2.

Naměřené výsledky ukázaly, že největší tvrdost má multivrstva CrNCr, následovaná TiNTi, která má mírně horší vlastnosti. Ukázalo se, že samotný ocelový substrát, bez jakéhokoli povlaku je přibližně pětkrát méně tvrdý než vzorky s nanesenou tenkou vrstvou. Výsledky měření redukovaného Youngova modulu ukázaly, že nejnižší hodnotu má substrát (odpovídá obvyklým hodnotám typickým pro ocel). Vzorky TiNTi a CrNCr mají hodnoty vyšší, a to přibližně o pětinu až čtvrtinu.

Tabulka 2: Určené hodnoty tvrdosti a redukovaného Youngova modulu

	TiNTi	CrNCr	Ocelový substrát
H [MPa]	$15021,6 \pm 1754,3$	$17912,4 \pm 2065,3$	3184,1 ± 103,9
E <sub>r</sub> [GPa]	$237,4 \pm 16,9$	$259,5 \pm 18,4$	$200,6 \pm 10,9$

# 4 Shrnutí

Měřené vrstvy měli přibližnou tloušťku 4 µm, přičemž jsme pozorovali značnou drsnost u vzorku vytvořeného průmyslovou výrobou. Naměřené hodnoty odpovídají tenkým vrstvám běžně využívaným v praxi.

Pomocí indentace bylo určeno, že nanesené vrstvy TiNTi a CrNCr zvýšily tvrdost substrátu pětinásobně. Také pomohly vylepšit hodnotu Youngova modulu přibližně o čtvrtinu až pětinu. Potvrdila se tak důležitost daných vrstev při využívání v běžném životě.

# Poděkování

Děkujeme našemu garantovi panu Jaroslavu Čechovi za odbornou pomoc a vedení projektu. Dále děkujeme organizátorům a Vojtěchu Svobodovi za umožnění TV@J, kde jsme se mohli seznámit s tímto projektem.

# Reference

- [1] Calotest User Manual, CSM Instruments, v. R0.0.5a, červen 2011, 21 s.
- [2] OLIVER, W.C. a PHARR, G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *Journal of Materials Research*. 1992, roč. 7, č. 6, s. 1564-1583. ISSN 0884-2914. https://doi.org/10.1557/JMR.1992.1564. [cit. 2024-06-17].

# Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR)

Jakub Skalka<sup>1</sup>, Filip Landr<sup>2</sup>, Jaroslav Kraft<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, České Budějovice, Jírovcova 8; skalkaj@jirovcovka.net
<sup>2</sup>Gymnázium, Praha 5, Nad Kavalírkou 100/1; fi.landr@seznam.cz
<sup>3</sup>Gymnázium Příbram, Legionářů 402; kraft.jarda@gmail.com

Garant: Ing. Kryštof Kadlec, KLFF FJFI

#### Abstrakt

Náš příspěvek se zaměřuje na aplikaci technologie dálkového měření vzdálenosti - LIDAR (Light Detection And Ranging). Tato technika je založena na stanovení doby šíření laserového paprsku odraženého od snímaného objektu. Věnuje se také základům generace laserového záření a měření výstupních parametrů Q-spínaného mikročipového laseru Nd:YAG/V:YAG.

# 1 Úvod

Laser funguje na základě tří kvantových jevů: absorbce, spontánní emise a stimulovaná emise. Tyto jevy se dějí v aktivním prostředí všechny najednou a podle populace energetických hladin některé z těchto jevů převažují. Laser těhto jevů využívá, aby invertoval populace hladin iontů, tím se excitoval a následně přes spontánní emisi přešel v emisi stimulovanou a fotony stimulované emise odrážel od zrcadel na koncích krystalu a umocňoval tak jejich počet (intenzitu zářeni) při každém průchodu resonátorem. A výstupním částečně propustným zrcadlem odletí nějaké procento fotonů a ty tvoří laserové záření.

Q-spínání je jev, kdy se na daný okamžik zvýší ztráty v resonátoru, poté se při dostatečném načerpání aktivního prostředí opět sníží. Tímto způsobem lze ionty vybudit na vyšší hladinu, než by bylo normálně možné a vytvořit velmi silný, krátký laserový impuls. Q-spínání je rozděleno na 2 typy, aktivní a pasivní. Aktivní spínání znamená, že mu musíme dodávat energii zvenčí (mechanicky ovládáme zrcadlo), při pasivním q-spínání je použit saturovatelný absorbér, ten mění svojí reflektivitu na základě absorbované intensity záření, při dostatečné intensitě absorbér propouští veškeré záření.

mikročipový laser je speciální případ laseru, kdy jsou na aktivním prostředí zrcadla již nanesena a je snaza zmenšit laser do co nejmenšího objemu. pro mikročipový pasivně Q-spínaný laser to znamená, že aktivní prostředí je spojeno s absorbérem a na konce vzniklého válečku jsou nanesena zrcadla.

LIDAR je metoda měření vzdálenosti pomocí odrazu laseru od překážky. Je využívaná například v topografii na utváření map a také map oceánů, dále se využívá například při těžení, plánování a mnohém dalším.

Je tato metoda však dostatečně přesná? Ubližuje nám záření z topografických letadel? Jaká je spolehlivost měření LIDARem a na čem je závislá?

### 2 Popis našeho laseru

Při našem pokusu jsme použili mikročipový pasivně Q-spínaný laser Nd:YAG/V:YAG, který vyzařoval ve spektrální oblasti 1,3  $\mu$ m, která je "eyesafe", tedy bezpečná pro lidské oko v důsledku relativně vysoké absorpce ve vodě. Náš laser měl tvar válce s průměrem 5 mm a délka aktivního prostředí Nd:YAG byly 4 mm a délka saturovatelného absorbéru V:YAG byla 0,7 mm. počáteční transmise absorbéru byla 85 % a reflektivita výstupního zrcadla byla 90 % v již zmiňované spektrální oblasti. Koncentrace iontů Nd<sup>3+</sup> v YAG matrici bylo 1,1 % Nd/Y.

Náš pevnolátkový laser byl čerpán laserovou diodou na vlnové délce 808 nm, která už není oku bezpečná. Dioda byla použita v pulsním režimu s délkou impulsu 500 um a opakovací frekvencí 50Hz. Proud na diodě byl nastaven na 30 A a teplota byla 30 °C. Pro zefektivnění čerpání byla dioda navedena optickým vláknem do fokusační optiky, tvořenou kolimátorem a fokusační čočkou.

### 3 Měření výstupních parametrů laseru

Pro charakterizaci laseru j<br/>sme měřili střední výkon, délku a časový průběh impulsu, profil svazku, vyzařované spektrum, energii a špičkový výkon generovaných laserových impulzů. Střední výkon j<br/>sme měřili pomocí powermetru THORLABS PM100USB a sondou THORLABS PM16-401. Délku a časový průběh laserového impulsu j<br/>sme měřili pomocí osciloskopu TEKTRONIX TDS 3052B a InGaAs fotodiodou (FGA10). Profil svazku j<br/>sme měřili křemíkovou CCD kamerou WinCamD. Vyzařované spektrum j<br/>sme naměřili InGaAs mřížkovým spektrometrem od Stellarnetu (DWARF-STAR). Energii a špičkový výkon j<br/>sme vypočítali podle vzorečků  $\frac{P_{str}}{f}$  a  $\frac{E}{T}$ .

### 4 Postup měření

Měření vzdálenosti metodou LIDAR probíhalo tak, že jsme umístili překážku pro laser v dané vzdálenosti a nechali jsme šířit laserový impuls dle schématu na obrázku 1. Následně jsme pomocí osciloskopu detekovali časový průběh laserového impulsu který na fotodiodu dopadl přímo z děliče svazků a druhý impuls, který se odrazil od překážky. Poté jsme pomocí osciloskopu nalezli časový rozdíl mezi impulzy, což nám dalo potřebnou informaci pro výpočet vzdálenosti mezi rozdělovačem a zábranou. Vzdálenost jsme vypočítali pomocí tohoto vzorečku  $\frac{c \cdot t}{2}$ , díky kterému jsme dostali relativně přesné hodnoty s odchylkou měření do 60 cm, protože jeden puls laseru měl délku 60 cm. Kdybychom pulzy dělali kratší, tak budeme mít vyšší přesnost, ale pro naše podmínky a zadání tato přesnost stačila.



Obrázek 1: Diagram měřící aparatury.

# 5 Výsledek měření

Po změření nám vyšly následující výsledky: Profil svazku laseru je vidět na obrázku 2. Časový průběh laserového impulsu je vidět na obrázku 3. Energie impulsu nám vyšla 50 uJ a špičkový výkon 25 kW. Výsledky měření vzdálenosti metodou LIDAR jsou zaznamenány v tabulce níže.



Obrázek 2: Profil svazku laseru.



Obrázek 3: Časový průběh laserového impulsu.

měření	d [cm]	t [ns]
zeď	548	9.2
1 metr	100	6.6
3 metry	300	25.9

# 6 Shrnutí a závěr

Dle našich měření lze vyvodit, že LIDAR je přesnější při použití kratších impulzů a tím pádem to je metoda, kde lze hodně zkoumat, ale je potřeba kvalitních laserových materiálů a lepších přístrojů, abychom dosáhly co nejkratších impulsů. Dále je potřeba dále vyvíjet metody detekce fotonů, jelikož impulzy s nízkou energií nemusí být snadno detekovat. Komerčně i armádně využívané lasery pro topografii metodou LIDAR jsou většinou pro oko bezpečné, kvůli jejich vysoké absorbci ve vodě, tudíž neprojdou až na sítnici a nepoškodí ji, avšak určitý typ laserů pro podvodní topografii je velmi pro oko zničující. Spolehlivost LIDARu je velmi závislá na počasí, jelikož se používají lasery absorbovatelné ve vodě, tak při vysoké vlhkosti se může paprsek absorbovat v atmosféře a znemožnit měření. Naopak při intenzivním záření ze slunce je možné, že toto záření "přesvítí" používaný laser a výsledná data jsou také k ničemu. Je to metoda, která je už v praxi docela hojně používaná, ale stále je možné ji zlepšovat.

# Poděkování

Chtěli bychom velice poděkovat Ing. Kryštofovi Kadleci za jeho pomoc a podporu při vytváření tohoto příspěvku. Náš dík patří také FJFI za umožnění výzkumu v rámci projektu a KLFF za poskytnutí prostoru.

# Odkazy

- KADLEC, K.; ŠULC, J.; JELÍNKOVÁ, H.; NEJEZCHLEB, K. Output parameters optimization of Q-switched Nd:YAG/V:YAG microchip laser generating at 1.34 μm. In: Solid State Lasers XXXIII: Technology and Devices. SPIE, 2024, sv. 12864, s. 106– 114.
- WIKIPEDIE. Lidar Wikipedie: Otevřená encyklopedie. 2023. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lidar&oldid=22992637. [Online; navštíveno 18. 06. 2024].

# Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

J. Vaníčková, Gymnázium, Českolipská 373, Praha 9

johana@vanickovi.cz

K. Nabiová, Gymnázium, Jateční 22, Ústí nad Labem

nabiova.klara@gmail.com

J. Kubica, Gymnázium, Ostrava-Hrabůvka, p. o.

jakub.kubica@mensa.cz

#### Abstrakt

V této práci jsme se zabývali zobrazením dvou vzorků, aluminidu železa Fe<sub>3</sub>Al (slitiny Fe-28 at.% Al) a měděné síťky s napařeným hliníkem, pomocí transmisního elektronového mikroskopu. U obou vzorků jsme z difrakčních obrazců vypočítali parametr krystalové mřížky.

# 1. Úvod

Transmisní elektronová mikroskopie využívá k zobrazování svazek elektronů urychlených vysokým napětím (200 kV), které mají velmi malou vlnovou délku (2,508 pm). Na rozdíl od pozorování předmětů světelným mikroskopem umožňuje i měření strukturních charakteristik krystalů pomocí difrakce, určení lokálního chemického složení analýzou charakteristického RTG záření vznikajícího po dopadu elektronů na vzorek nebo zobrazení atomových sloupců krystalů.

### 2. Transmisní elektronový mikroskop

Elektrony jsou generovány termoemisní tryskou, která se skládá z wolframového vlákna, fokusační elektrody a anody. V mikroskopu jsou urychlovány napětím 200 kV a pomocí kondenzorů fokusovány do úzkého svazku dopadajícího na pozorovaný vzorek. Rychlost elektronů s energií 200 keV dosahuje 70 % rychlosti světla. Elektronové mikroskopy pracují ve vakuu, aby se zabránilo rozptylu elektronů v plynech a kontaminaci vzorku.



Obr. 1: Transmisní elektronový mikroskop, (a) schéma TEM, (b) řez mikroskopem JEOL.

# 3. Krystalové mřížky a jejich poruchy

Krystalové mřížky se od sebe liší především tvarem elementární buňky (např. triklinické, monoklinické, ortorombické, tetragonální apod.). V našem experimentu jsme se zaměřili na kubické krystalové mřížky. Předmětem našeho zkoumání byly čarové poruchy neboli dislokace, které vznikají přirozeně při růstu krystalů nebo při jejich deformaci.



Obr. 2: Kubické krystalové mřížky: (a) primitivní, (b) plošně centrovaná, (c) prostorově centrovaná;



Obr. 3: Dislokace ve slitině Fe<sub>3</sub>Al

# 4. Vzorky

Prvním vzorkem našeho experimentu byl aluminid železa Fe<sub>3</sub>Al s přibližně 28 at.% hliníku a 72 at.% železa, jehož krystalická mřížka je kubická prostorově centrovaná (angl. body-centered cubic – bcc, viz obr. 2c). Druhým vzorkem byla měděná síťka, na níž byl napařen hliník.



Obr. 4: Struktura Fe<sub>3</sub>Al



Obr. 5: Atomová struktura a difrakční obrazec grafenu

**Grafen** má pravidelné šesterečné uspořádání atomů, což je vidět jak na fotografii, tak na difrakčním obrazci (Obr. 5). K pořízení snímků v atomovém rozlišení je třeba použít jiný mikroskop, během našeho pozorování bychom to nestihli. Snímek nám poskytl vedoucí miniprojektu.

### 5. Difrakční obrazce – hliník

Napařený film hliníku je tvořeny mnoha velmi malými krystaly (zrny) o velikosti do 10 nm (Obr. 6a). Protože jsou tato zrna náhodně prostorově orientovaná (mají různé natočení mřížky vůči dopadajícímu svazku elektronů), difrakčním obrazcem polykrystalu jsou soustředné kruhy (Obr. 6b). Pokud naklopíme svazek elektronů tak, aby do clony objektivu (kroužek na obr. 6b) dopadly difrakční stopy 111 a 200, dostaneme zobrazení v tmavém poli (viz obr. 6c), na kterém jsou zobrazena pouze zrna s určitým natočením mřížky, která difraktují do otvoru clony. Naproti tomu v obraze ve světlém poli (Obr. 6a) jsou zrna zobrazena všechna.



Obr. 6: (a) Zrna v napařeném filmu Al, (b) difrakční obrazec, (c) zobrazení v tmavém poli.

### 6. Difrakční obrazce – Fe<sub>3</sub>Al

Pro popis krystalových rovin se používají Millerovy indexy. Hranaté závorky značí krystalografické směry (viz Obr. 7).



Obr. 7: Snímky křížení ohybových kontur na tenké fólii Fe<sub>3</sub>Al (difrakční obrazce uvnitř snímků byly registrovány se selekční clonou v pozicích označených bílými kroužky); (a) osa krystalové zóny B = [0,0,1], (b) osy krystalové zóny B = [0,1,2] a B = [0,1,3].

### 7. Mřížková konstanta

Z difraktogramů (Obr. 7) se dá určit mřížková konstanta pomocí vztahu

$$a = \frac{\lambda L}{R_{\rm hkl}} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2},$$

kde L = 100 cm je vzdálenost mezi vzorkem a fluorescenčním stínítkem,  $R_{hkl}$ vzdálenost mezi stopami přímého a difraktovaného svazku a h, k, l jsou Millerovy indexy. Mřížková konstanta aluminidu železa byla stanovena na 0,288 nm a hliníku na 0,404 nm.

### 8. Diskuze a závěr

Pozorovali jsme dislokace ve struktuře aluminidu železa. Také jsme změřili mřížkové konstanty aluminidu železa a hliníku. Obě struktury byly kubické krystalové mřížky, u hliníku je centrování plošně centrované, krystalová mřížka aluminidu železa je odvozená z prostorově centrované mřížky. Přesnost měření mřížkové konstanty je nižší než u rentgenové nebo neutronové difrakce, ale i přesto je možné při korektní kalibraci dosáhnout přesnosti pod 1 %.

### Poděkování

Rádi bychom poděkovali organizátorům Týdne vědy za možnost seznámit se s prací vědce, dále MFF UK za možnost použít TEM JEOL 2000 FX pro naši práci, FJFI ČVUT za poskytnutí prostor a také našemu garantovi, panu prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi, za odborný dohled a pomoc při tvorbě posteru a sborníkového příspěvku.

### Reference

1. M. KARLÍK, Úvod do transmisní elektronové mikroskopie, 2011

# Elektrochemický popis extrakce kobaltu M. Jakubíček<sup>1</sup>

<sup>1</sup>G ALTIS; matyasjakubicek@gmail.com

M. Ficel, J. Sochor; KJCH FJFI ČVUT v Praze

#### Abstrakt:

Cílem bylo sledovat možné využití elektrochemie k popisu složení vodné a organické fáze po kapalinové extrakci. Extrakce kobaltu byla prováděna pomocí chelatačního činidla 8-hydroxychinolinu do iontové kapaliny [C<sub>4</sub>mim][NTf<sub>2</sub>]. Obě fáze byly zároveň popsány pomocí cyklické voltametrie. Dále byla také měřena závislost extrakce z prostředí chelatantů na pH a průběh extrakce v závislosti na pH vodné fáze.

# 1 Úvod

Podíl jaderné energetiky na výrobě elektřiny je nemalý a do budoucnosti lze předpokládat jeho růst. To s sebou nese samozřejmě i značné množství specifického odpadu, který toto odvětví produkuje. Jednou z možností, kterou lze tento odpad lépe zpracovávat a recyklovat, je kapalinová extrakce, jelikož nabízí možnost, jak oddělit kontaminanty a zmenšit tak objem kapalného radioaktivního odpadu. Taktéž je zde možnost nahradit v současnosti používaná rozpouštědla (např. chloroform) iontovými kapalinami, které nejsou těkavé a jsou méně hořlavé.

# 2 Materiály a metody

<u>Použité materiály a chemikálie:</u> Kyselina citrónová (Lach-Ner s. r. o., 99,9 %), kyselina šťavelová (Lachema n. p.), HNO<sub>3</sub> (Penta s. r. o., 65%+),  $CoCl_2 \cdot 6 H_2O$  (Lachema n. p.), 8-hydroxychinolin (Lachema n. p.), [C<sub>4</sub>mim] [NTf<sub>2</sub>] (Iolitec GmbH, 99%) a platinový drát (Safina a. s., 99,9%).

<u>Použité přístroje</u>: pH metr (Hanna Instruments), analytické váhy (Sartorius), vibrační-rotační třepačka (Velp scientifica), centrifuga (Phoenix instruments), Gamry Reference 600, Platinová elektroda typu 12+, plech (Scanlab system, povrch 0,0528 cm<sup>2</sup>) a automatické pipety (Eppendorf).

#### 2.1. Příprava zásobních roztoků

Byly vytvořeny zásobní roztoky:  $[C_4mim][NTf_2]$  o koncentraci 8-hydroxichinolinu 0,01 mol  $\cdot$  dm<sup>-3</sup>, kyseliny citrónové, kyseliny šťavelové a jejich směsi, HNO<sub>3</sub> 1 mol  $\cdot$  dm<sup>-3</sup>, fosfátové pufry s pH 6 a 7 a zásobní roztok 0,1M CoCl<sub>2</sub>  $\cdot$  6 H<sub>2</sub>O.

#### 2.2. Metodika extrakce

Poměr organické ku vodné fázi byl 1 : 1 a celkový objem byl 14 ml. Roztok byl vždy třepán 3 min na vibrační-rotační třepačce při 3000 rpm a poté vložen do centrifugy na 3 min při 3000 rpm. Z roztoku pak byla kvantitativně oddělena vodná fáze od organické pomocí

automatické pipety. Objem obou fází byl přibližně 6 ml. Oddělené fáze byly analyzovány elektrochemicky.

#### 2.3. Analýza cyklickou voltametrií

S pomocí potenciostatu Gamry Reference 600 byla provedena cyklická voltametrie u všech fází. Pracovní elektrodu tvořil platinový drát, referenční elektrodu platinová spirála a protielektrodu platinová elektroda typu 12+, plech (Obr. 1). U každého měření byl nastaven průběh od -1.8 V do 1 V s velikostí kroku 1 mV. "Scan rate" byl nastaven na 100 mV · s<sup>-1</sup>. Při všech měřeních byl analyzován redukční peak kobaltu přibližně u -1.2 V (Obr. 2).



Obr. 1: Aparatura pro CV. Obr. 2: Cyklický voltamogram s vyznačeným peakem kobaltu.

# 3 Výsledky a diskuse

#### 3.1. Extrakce kobaltu z prostředí chelatačních činidel

Roztoky se skládali: ze 7 ml [C<sub>4</sub>mim][NTf<sub>2</sub>] o koncentraci 8-hydroxichinolinu 0,01 mol  $\cdot$  dm<sup>-3</sup> organické fáze a anorganickou fázi tvořilo 700 µL 0,1M CoCl<sub>2</sub>  $\cdot$  6 H<sub>2</sub>O, 350 µL 0,1M kyseliny citrónové (CIT) nebo 700 µL 0,1M CoCl<sub>2</sub>  $\cdot$  6 H<sub>2</sub>O, 700 µL 0,1M kyseliny šťavelové (OX) nebo 700 µL 0,1M CoCl<sub>2</sub>  $\cdot$  6 H<sub>2</sub>O, 350 µL 0,1M kyseliny citrónové a 700 µL 0,1M kyseliny šťavelové (MIX). Zbytek byl doplněn destilovanou vodou do 7 ml. Roztoky byly extrahovány a následně analyzovány (viz výše).

Analýzou byly zjištěny procenta extrakce u MIX (13,55  $\pm$  0,06) % a u CIT (37,9  $\pm$  0,1) %. Zjištěné výsledky se předpokládaly a souhlasí s teorií. Je to z toho důvodu, že v MIX je více komplexujících látek, které vážou kobalt.

U roztoku s kyselinou šťavelovou došlo k tvorbě světle růžové sraženiny (Obr. 3). Pravděpodobně se jedná o šťavelan kobaltnatý (ve vodě nerozpustný), avšak k potvrzení této hypotézy by bylo třeba další analýzy. Zamezit tvorbě sraženiny lze docílit snížením koncentrace kobaltu<sup>[1]</sup>, ale tím bychom se dostali pod limit detekce potenciostatu.

#### 3.2. Závislost extrakce kobaltu na pH

Roztoky se skládaly ze 7 ml [C<sub>4</sub>mim][NTf<sub>2</sub>] o koncentraci 8-hydroxichinolinu 0,01 mol  $\cdot$  dm<sup>-3</sup> organické fáze. Anorganickou fázi tvořilo 700 µL 0,1M CoCl<sub>2</sub>  $\cdot$  6 H<sub>2</sub>O a 6300; 3500; 350; 35 µL 1M HNO<sub>3</sub> a vždy doplněno do 7 ml destilované vody. U posledních dvou roztoků byla

anorganická fáze tvořena 700  $\mu L$  0,1M CoCl $_2$   $\cdot$  6 H2O a 6300  $\mu L$  fosfátového pufru o pH 6 a 7.

Extrakce byla úspěšná u dvou roztoků, a to těch s 350  $\mu$ L ( $E = (7,84 \pm 0,03)$  %) a 35  $\mu$ L ( $E = (44,5 \pm 0,1)$  %) 1M HNO<sub>3</sub>, což souhlasí s literaturou.<sup>[1]</sup>

Při vyšších koncentracích kyseliny docházelo při analýze k vývoji plynu, proto nebylo možné změřit peak kobaltu a stanovit tak *E*.

U roztoků s fosfátovými pufry docházelo ke vzniku fialové sraženiny (Obr. 3). Pravděpodobně se jedná o fosforečnan kobaltnatý (ve vodě nerozpustný), ale sraženina nebyla analyzována, takže to nelze potvrdit. Vzniku sraženiny lze zabránit snížením koncentrace kobaltu nebo použitím jiného pufru.



Obr. 3: Vlevo sraženina z roztoku s kyselinou šťavelovou. Vpravo sraženina z roztoku s fosfátovým pufrem.

### 4 Shrnutí

Byly stanoveny procenta extrakce: u MIX  $E = (13,55 \pm 0,06)$  %, u CIT  $E = (37,9 \pm 0,1)$  %, což souhlasí s literaturou. Při extrakci z OX nebylo možné *E* určit, kvůli vzniku sraženiny.

Procento extrakce bylo stanoveno u roztoků s 350  $\mu$ L ( $E = (7,84 \pm 0,03)$  %) a 35  $\mu$ L ( $E = (44,5 \pm 0,1)$  %) 1M HNO<sub>3</sub>. U roztoků s vyšší koncentrací HNO<sub>3</sub> nebylo možné E stanovit, kvůli vývinu plynu. U roztoků s fosforečnanovými pufry nebylo možné E stanovit, protože došlo ke vzniku sraženiny. Z těchto důvodů nebylo možné stanovit závislost extrakce na pH.

# Poděkování

Rád bych poděkoval Bc. Michalovi Ficelovi a Bc. Jakubovi Sochorovi za vedení, pomoc a předané znalosti. Děkuji také organizačnímu týmu TV@J a především Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

# Reference

- Čubová, K., Semelová, M., Němec, M., Straka, M. Separation of Co from simulated decontamination media using ionic liquids. J Radioanal Nucl Chem 322, 1849–1855 (2019). https://doi.org/10.1007/s10967-019-06755-8
- [2] Elgrishi, N., Rountree, K., Mccarthy, B., Rountree, E., Eisenhart, T., et al. (2017). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. Journal of Chemical Education. 95. 10.1021/acs.jchemed.7b00361.

# Konfokální fluorescenční mikroskopie

# M. Blažek<sup>1</sup>, J. Kíni<sup>2</sup>, F. Svoboda<sup>1</sup>, V. Štefaníková<sup>3</sup>, J. Valík<sup>2</sup> <sup>1</sup> SŠTE Brno, <sup>2</sup> Gymnázium Tišnov, <sup>3</sup> Gymnázium Příbor matej.blazek@hotmail.com

# Abstrakt

Iluze 3D zobrazení ve 2D – biologicko-fyzikální průlom v oblasti mikroskopie

# Úvod

Cílem našeho projektu bylo vytvoření dokonalého 2D zobrazení buněčných struktur pomocí konfokálního mikroskopu.

### Příklad konfokálního zobrazení:



Obrázek 1: Embryo platýze https://www.optixs.cz/mikroskopy-a-prislusenstvi-40k/konfokalni-mikroskopy-89k/kompaktnikonfokalni-mikroskop-andor-bc43-cf-312p

Za použití **fluorescence** – jev, při kterém látka absorbuje elektromagnetické záření o určité vlnové délce a následně emituje elektromagnetické záření o (zpravidla) větší vlnové délce,

Autofluorescence – někdy rostliny obsahují barviva, jež nám umožňují je pozorovat bez použití nějakého dalšího barvení

**Epifluorescenční uspořádání** – zaznamenává se obraz, vzniklý záznamem signálu z celé tloušťky vzorku (3D) do 2D projekce, kdy dochází ke kumulaci ostrého obrazu z ohniskové (fokální) roviny, a neostrých obrazů před a za ohniskovou rovinou.



Obrázek 2: rozdíl elektronový mikroskop a fluorescence

https://www.ptglab.com/news/blog/if-imaging-widefield-versus-confocal-microscopy/

Konfokální metoda zobrazení – výsledný obraz se získává (a případně kompletuje) z řezů, tedy záznamu obrazu pouze z fokální roviny. Tím se dosahuje podstatného zvýšení rozlišení a lepší reprodukce struktury transparentního vzorku v hloubce. Vzniká dokonalejší "iluze" prostorového zobrazení.

# Metodika

Pracovali jsme na špičkovém konfokálním mikroskopu (jediném v ČR).



https://www.optixs.cz/mikroskopy-a-prislusenstvi-40k/konfokalni-mikroskopy-89k/kompaktni-konfokalni-mikroskop-andor-bc43-cf-312p

Použité vzorky: lodyha konvalinky (Convallaria majalis), obarvenou pokožku cibule (Allium cepa), list buku lesního (Fagus sylvatica) a slivoně myrobalán (Prunus cerasifera).



K porovnání se snímky jsme používali tyto elektronové mikroskopy s různými rozlišeními.

# Výsledky a diskuze

Byli jsme tedy schopni se vnořit do mikrosvěta a nanosvěta a vidět detailní složení rostlinných buněk, ale také například konfokální zobrazení platýze (1. obrázek v úvodu)



Obrázek 7: epidermis cibule



Obrázek 6: vlákna černé plísně

# Závěr

Každý jsme si vyzkoušeli vytvořit vlastní obrázek konfokálního zobrazení listu či stonku, jenž jsme utrhli před fakultou. Zjistili jsme, že mikroskopie není jen finančně, ale i zrakově a časově náročný obor, který vyžaduje hodně úsilí a léta tvrdé práce. Celý tento projekt byl pro nás velikou výzvou, kterou jsme zcela zvládli (kolega málem ztratil vizi).

# Poděkování

Chtěli bychom velice poděkovat panu doktorovi Janu Proškovi, který nás celým projektem ochotně provázel a také panu doktorovi Miroslavu Dvořákovi za zpestření programu lasery.

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

L. Pobořilová<sup>1</sup> and P. Kozák<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Masarykovo gymnázium, Příbor; lucie.poborilova@gypri.cz <sup>2</sup>Gymnázium, Písek; kozakpetr123@seznam.cz

Ing. A. Horynová, školitel; KJCH FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Fotochemická redukce je jednou ze separačních metod umožňujících odstraňování uranu ve formě uranylových solí z jejich vodných roztoků. Tato práce se zabývá stanovením účinnosti této metody pomocí modelového vzorku uranylu. Ozářením roztoku UV zářením došlo k vysrážení většiny uranu z roztoku ve formě oxidu uraničitého.

# 1 Úvod

Odstraňování uranu z odpadních vod nabývá na důležitosti s jadernou energetikou a s rostoucím zájmem společnosti o ochranu životního prostředí.

Větší důraz na čistotu vypouštěných odpadních vod má za následek neustálý vývoj separačních metod. Používají se metody založené např. na klasické chemické redukci, na kapalinové extrakci, aj.

Tento článek se zabývá jednou ze separačních metod na základě fotochemické redukce, která byla navržena skupinou McCleskey et al. v Los Alamos [1]. Tato metoda spočívá v redukci uranu UV zářením z uranylového iontu  $UO_2^{2+}$ , kde se vyskytuje s oxidačním číslem VI, na uran v oxidačním stavu IV. Jako redukční činidlo se používá mravenčanový anion, který se oxiduje na oxid uhličitý, tedy ji lze považovat za "čistou" metodu.

### 2 Experimentální část

#### 2.1 Použité chemikálie

Zásobní roztok uranylové soli v  $HNO_3$  (0,1 M); jodid sodný (Sigma-Aldrich, 98%); mravenčan amonný (Sigma-Aldrich, 99,995%); tetraboritan sodný (Lachema, 99,0%)

#### 2.2 Pomůcky a přístroje

Ozařovací aparatura se třemi nízkotlakými rtuťovými výbojkami (3x25 W); analytické váhy (Kern, 0,01 mg); centrifuga (Thermo Scientific); UV-VIS spektrometr (Varian, Cary 100 Conc); vakuová filtrační aparatura s filtrem o velikosti pórů 0,45  $\mu$ m

#### 2.3 Průběh experimentu

Do plastové ampule byl připraven vzorek o objemu 10 ml, který obsahoval 1 ml zásobního roztoku a do 10 ml byl naředěn destilovanou vodou (0,01 M) a 28,8 mg mravenčanu. Po připravení roztoku bylo změřeno absorpční spektrum vzorku, který nebyl vystaven UV záření, v oblasti 300 nm až 600 nm. Následně byl vzorek z kyvety navrácen zpět do plastové ampule a umístěn do ozařovací aparatury po dobu 15 minut. Poté byl centrifugován 3 minuty s odstředivým zrychlením 4863 g, aby došlo k sedimentaci vzniklé sraženiny na dně roztoku. Tento postup byl čtyřikrát opakován, dokud celková doba ozařování vzorku nebyla 60 minut (viz obrázek 1).

Pro stanovení toku fotonů byl použit jodid-jodičnanový aktinometr, který obsahoval 0,6 M jodid draselný, 0,1 M jodičnan draselný a 0,01 M borax. Vždy 10 ml vzorku bylo ozářeno UV zářením rozdílnou dobu. V tomto roztoku působením UV záření vzniká trijodidový anion. Po ozáření a pětinásobném zředění byla změřena absorbance při 352 nm.

### 3 Výsledky a diskuze

Na absorpčních spektrech je patrný charakteristický peak uranylu v oblasti 400 nm až 450 nm s maximem při 418 nm (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Absorpční spektra roztoku uranu v průběhu ozařování.

Z absorbance v tomto maximu lze určit koncentrace v daném čase (viz obrázek 2). V průběhu fotochemické redukce s nárůstem celkové doby ozařování se zmenšuje rychlost úbytku uranylu v roztoku. To nasvědčuje skutečnosti, že kvantový výtěžek není v průběhu reakce konstantní, ale klesá se snižující se koncentrací uranylu. Po 60 minutách se koncentrace uranylu v roztoku snížila o 80% z počáteční hodnoty.



Obrázek 2: Koncentrace uranu v průběhu ozařování.

Za účelem charakterizace ozařovací soustavy bylo provedeno stanovení toku fotonů v reakčním objemu.



Obrázek 3: Koncentrace trijodidového iontu v průběhu ozařování.

Z absorbance jodid-jodičnanového aktinometru byla stanovena závislost koncentrace trijodidového aniontu na čase, po který byl vzorek ozařován (viz obrázek 3). Na základě této závislosti byl stanoven tok fotonů za sekundu na  $1,29 \cdot 10^{16}$  fotonů za sekundu.

# 4 Závěr

Při toku fotonů 1,29 ·  $10^{16}$  fotonů za sekundu po 60 minutovém ozařování vzorku UV zářením poklesla koncentrace uranylu v roztoku na 20% původní hodnoty. Tudíž lze považovat fotochemickou redukci za potenciálně uplatnitelnou metodu v odstraňování uranu z vodných roztoků.

# Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali vedoucí našeho miniprojektu za možnost vyzkoušet si tento experiment a organizátorům Týdne vědy na Jaderce za celou akci.

# Odkazy

 MCCLESKEY, T. M.; FOREMAN, T. M.; HALLMAN, E. E.; BURNS, C. J.; SAUER, N. N. Approaching Zero Discharge in Uranium Reprocessing: Photochemical Reduction of Urany. *Environ. Sci. Technol.* 2001. Dostupné také z: https://doi.org/ 10.1021/es001078i. [cit. 2024-06-18].

# Dopady geomagnetických pulzací na nervový a kardiovaskulární systém člověka

J. Kutscherauer $^1,$  E. A. Semrádová $^2$ 

<sup>1</sup> G. J. S. Machara, *jakub.kutsch@email.cz* <sup>2</sup> G. České Budějovice, Jírovcova 8, *evelyna7@seznam.cz*

V. Zablotskii; Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 1999/2

#### Abstrakt

Práce se zabývá popisem mechanismů vlivu geomagnetických pulzací na lidský organismus. Jejím cílem je se na základě dostupných statistických dat popsat biologické mechanismy těchto vlivů a následně navrhnout metodiku experimentu, které by mohli tyto hypotézy ověřit.

# 1 Úvod

Podle řady průzkumů má geomagnetické pole značný vliv na různé aspekty lidského zdraví, kdy ovlivňuje zejména nervový a kardiovaskulární systém. V období změn geomagnetické aktivity je například zaznamenáván výrazný nárůst výskytu srdeční arytmie, infarktu myokardu, změn krevního oběhu či epileptických záchvatů.

Přesné biologické mechanismy těchto jevů však stále nejsou dostatečně popsány. Jejich pochopení je přitom klíčové pro rozvoj prevence před těmito negativními vlivy. Zároveň by jejich výzkum mohl vést k hlubšímu pochopení lidského těla a jeho patologie.

### 2 Teoretický úvod

#### 2.1 Vlastnosti magnetického pole

Magnetické pole je jedna ze dvou vzájemně provázaných složek elektromagnetického pole. Jeho zdrojem je obecně pohybující se náboj, tedy například kmitající nabitá částice nebo elektrický proud. Toto pole následně působí přitažlivou interakcí (tzv. Lorentzovou silou) na látky, které splňují určité vlastnosti. Níže se práce zabývá zejména feromagnetiky a paramagnetiky, které přitažlivě interagují s magnetickým polem a zesilují ho.

Základními veličinami, pomocí kterých je možné popsat magnetické pole, jsou elektromagnetická indukce  $\vec{B}$  (jednotka Tesla, T) a intenzita magnetického pole  $\vec{H}$  (jednotka A/m). Elektromagnetická indukce určuje, jakou silou je látka v magnetickém poli přitahována. Intenzita magnetického pole pak popisuje mocnost magnetického pole v závislosti na permeabilitě a magnetizaci prostředí, ve kterém se vyskytuje.

#### 2.2 Magnetické pole Země a Slunce

Vedle přirozeně magnetických materiálů (tzv. permanentních magnetů) a elektromagnetů může magnetické pole vznikat v jádru planet a hvězd. Země má například dipólové magnetické pole (tzv. geomagnetické pole) o síle 30 až 60 µT. Způsob jeho vzniku stále není přesně znám, nicméně předpokládá se, že je důsledkem vzájemné rotace vnějšího a vnitřního jádra.

Své magnetické pole má taktéž Slunce. Jeho síla je oproti geomagnetickému poli nižší (kolem 10  $\mu$ T), ovšem jeho rozsah a složitost ho značně přesahuje. Vlivem magnetického pole vznikají na Slunci tzv. magnetické bouře, které vyvrhují hmotu slunečního povrchu a vzniká tzv. sluneční vítr, tvořený zejména protony a elektrony, jenž zasahuje další tělesa Sluneční soustavy. Díky geomagnetickému poli jsou tyto částice odstíněny a neohrožují tak život na Zemi. Jejich projev však můžeme pozorovat například ve formě polární záře.

#### 2.3 Schumannova rezonance

Při srážkách slunečního větru s atmosférou Země dochází mimo jiné k interakci mezi částicemi ze Slunce a zemskou ionosférou. Během jejich interakce vzniká elektromagnetické vlnění o ultra nízských frekvencích (ULF), které se šíří magnetickým polem a dostává se až na povrch Země. Tento jev se souhrnně nazývá Schumannova rezonance.

Výsledné záření je možné detekovat na Zemi jako zvýšený podíl nízkofrekvenčního elektromagnetického záření o určitých frekvencích. Schumannova rezonance probíhá zejména v pásmech kolem 7,83 Hz, 14,3 Hz, 20,8 Hz, 27,3 Hz a 33,8 Hz.

### 3 Výsledky

#### 3.1 Rezonance v oboru alfa vln

Alfa vlny jsou jedním typem elektromagnetických vln, které běžně vznikají při mozkové aktivitě. Předpokládá se, že vznikají v thalamu v zadní části mezimozku, který je zodpovědný za relaxaci a odpočinek těla.

Pozoruhodné je, že jejich frekvenční rozsah (8 Hz až 12 Hz) se překrývá s frekvencí Schumannovy rezonance (přibližně 8 Hz). Je tedy možné, že při zvýšenému podílu těchto vln v atmosféře vlivem magnetické aktivity může vést k rezonanci s tkání thalamu, a tedy jeho zvýšené aktivině. Ta by poté vedla zejména k únavě dané osoby. U osob s epilepsií by pak takto iniciované zvýšení mozkové aktivity mohlo vysvětlovat zvýšení četnosti a závažnosti epileptických záchvatů v průběhu vyšší magnetické aktivity.

#### 3.2 Magnetické kovy přítomné v tkáních

Paramagnetické a feromagnetické kovy se poměrně hojně vyskytují v lidské tkáni jakožto kofaktory řady reakcí uvnitř buněk. Magnetický charakter těchto kovů pak může zapříčinit jejich odlišné reakční vlastnosti v přítomnosti proměnlivého magnetického pole, čímž bude ovlivněno i fungování celé části těla.

Příkladem může být například neurotransmise, při níž dochází k přesunu iontů sodíku a draslíku mezi axony. Oba tyto alkalické kovy se řadí mezi paramagnetika, a tedy je možné, že jejich vlastnosti při dané reakci se budou měnit v závislosti na vlastnostech magnetického pole. To by pak mohlo zapříčinit dysfunkci přenosu informace uvnitř nervové tkáně.

#### 3.3 Feromagnetické nanočástice

Člověk si také zanáší kovové materiály do těla vlastní činností, například ve formě tzv. feromagnetických nanočástic. Ty se využívají v medicíně jako kontrastní látka při měření magnetické rezonance rakovinného bujení. Pro správnou lokalizaci se tyto částice vstříkávají do krevního oběhu pacienta. Většina z nich se poté odbourávají a vylučují z těla pryč, ovšem malá část v těle zůstává a kumuluje se zde. Nejčastěji se tyto částice zachytávají v tenkých cévách a vlásečnicích.

Při výrazné magnetické aktivitě pak může docházet k vlnění těchto nanočástic, čímž vznikne mechanický stres na povrchu buněk. Ten může zapříčinit zablokování iontových pump, čímž dojde k přerušení přenosu iontů mezi buňkou a vnějším prostředím. Dlouho-dobé přerušení příjmu iontů pak může znovu vést k dysfunkci celé buňky, a tedy i celé dané tkáně.

### 4 Shrnutí

V práci se podařilo identifikovat několik možných způsobů, jak by geomagnetické pulsy mohly ovlivňovat fungování neurologického a kardiovaskulárního systému člověka. Fungování lidského těla je z velké části založeno právě na magnetických materiálech, čímž je potenciálně ohrožen změnami geomagnetického pole.

Bližší experimentální poznání bude nepochybně vyžadovat úzkou spolupráci mezi vědeckými a lékařskými pracovníky, jelikož měření vlivů *in vitro* je velmi komplikované na modelování, naopak měření *in vivo* je technicky a eticky komplikované.

# Poděkování

Tímto děkujeme všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce, díky nimž jsme měli možnost dozvědět se více o tomto tématu. Dále děkujeme našemu garantovi, panu Zablotskému, který nám poskytl veškeré informace a pomohl nám s vytvářením projektu.

### Reference

- [1] M. Brammerloh et al. In Situ Magnetometry of Iron in Human Dopaminergic Neurons Using Superresolution MRI and Ion-Beam Microscopy https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.14.021041
- [2] J. Jiřičková. NanoBio zkoumá nanomateriály úžasné i nebezpečné https://www.ukforum.cz/rubriky/veda/8694-nanomaterialy-uzasne-i-nebezpecne.
- [3] D. Sulzer et al. Neuromelanin detection by magnetic resonance imaging (MRI) and its promise as a biomarker for Parkinson's disease https://www.nature.com/articles/s41531-018-0047-3
- [4] R. L. McPherron Magnetic Pulsations: Their Sources and Relation To Solar Wind and Geomagnetic Acitivity

# Jak dostat reaktor do kritického stavu aneb proč je důležité nenechat si utéct neutrony

Tomáš Koc<sup>1</sup>, Marie Pykalová<sup>2</sup>, Markéta Gašová<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23; tomas.koc10@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Otokara Březiny a SOŠ Telč; mariepykalova@email.cz <sup>3</sup>Gymnázium Budějovická, Praha; gasova.maky@gmail.com

18. června 2024

#### Abstrakt

Tato práce se zabývá kritičností jaderného reaktoru a ideálním poloměrem pro dosažení kritického stavu. Za pomoci programu Serpent 2 byl odvozen vztah mezi obohacením uranu, kritičností a kritickým poloměrem a tato závislost byla názorně vynesena do grafu.

# 1 Úvod

Cílem projektu bylo pomocí programu Serpent 2 simulovat chování reaktoru při různém poměru moderátoru a paliva. Cílem bylo zjistit kdy bude reaktor v kritickém stavu. Tedy kdy právě jedno štěpení vede k dalšímu jednomu štěpení v další generaci. Takový reaktor je dobře řiditelný se stabilním výkonem.

### 2 Neutronové reakce

Neutrony objevil v roce 1932 James Chadwick a původně předpokládal, že nebudou mít veliký význam, avšak postupem času se staly důležitou součástí například jaderného inženýrství, farmacie, lékařství a studia materiálů. Jelikož neutrony nemají elektrický náboj, nejsou odpuzovány atomovým jádrem, a proto s ním mohou přímo interagovat. Tyto reakce se dělí na rozptylové a absorpční. U rozptylových reakcí se neutron srazí s jádrem a odrazí se od něj. Slouží v reaktorech k snižování energie neutronů, tedy moderaci. Dělí se na rozptyl pružný a nepružný, přičemž během nepružného rozptylu dochází k excitaci a u pružného k ní nedochází. Absorpční reakce se dělí na radiační záchyt, při kterém jádro absorbuje neutron a zformuje tak jádro těžší, štěpení, při kterém neutron rozdělí atom na dva menší atomy a volné neutrony, produkci nabitých částic, kdy dojde k pohlcení neutronu a produkuje nabyté částice a produkce neutronů, kde dochází k produkci dvou nebo tří neutronů. Štěpení je pro energetiku důležité, neboť se při něm uvolňuje velké množství energie.

### 3 Jaderné reaktory

V jaderných elektrárnách se nejčastěji používá jako palivo uran, a právě uranem se tento projekt zabýval. Při štěpení uranu vznikají dva dceřiné produkty a dva až tři neutrony. Neutrony, které se odštěpí, začnou štěpit další atomy uranu a produkovat víc a víc neutronů, které také začnou štěpit další atomy uranu. Tomuto stavu se říka nadkritický stav. Z tohoto důvodu se v reaktorech vyskytuje regulační orgán, který zachycuje přebytečné neutrony. Avšak, když je počet neutronů, které způsobují štěpení, moc malý, nastává takzvaný podkritický stav. Proto se musí zjistit stav, kdy řetězová reakce neustává, ale zároveň nedochází k růstu neutronové populace. Tento bod se jmenuje kritický stav.

Avšak štěpení je komplexní proces. Aby mohl neutron rozštěpit atom, musí snížit energii. Proto je v reaktorech moderátor, o který se neutrony zpomalují. Nejlepší moderátor jsou ty částice, které mají hmotnost podobnou neutronu, a proto je vodík jeden z nejlepších moderátorů. Neutrony se však v moderátorech mohou zachytit, a proto je dobré vybrat vhodný materiál jak z hlediska účinnosti zpomalení, tak z hlediska vedlejší parazitní absorpce. Ve většině reaktorů se o moderaci stará lehká voda (H<sub>2</sub>O), těžká voda (D<sub>2</sub>O), nebo grafit. Směr neutronů je nepředvídatelný, a proto musí být v reaktoru reflektory, které minimalizují počet neutronů, který unikne z reaktoru. Je vhodné volit materiály s nízkým nukleonovým číslem stejně jako u moderátoru.



Obrázek 1: Graf štěpení uranu

### 4 Obohacení uranu

V jaderných reaktorech se používají palivové proutky které se mohou lišit svým obohacením. Protože se v přírodě nachází uran pouze s 0,72% obsahem izotopu uranu <sup>235</sup>U, musí být palivo obohaceno na větší procentuální zastoupení tohoto izotopu. V elektrárnách se používá palivo s obohacením kolem 4%, ve výzkumných a školních reaktorech se však může používat palivo s výšším obohacením. V tomto projektu bylo počítáno s obohacením 15% a 20%.



Obrázek 2: Hustota toku neutronů



Obrázek 3: Geometrie kulového reaktoru

### 5 Výsledky a diskuze

Při simulování štěpné řetězové reakce v reaktoru byla použita pokaždé stejná tloušťka vrstvy moderátoru - 100 cm. K fitování závislost kritičnosti reaktoru na poloměru aktivní zóny byla použita funkce, která je odvozena od jednogrupové difuzní rovnice:

$$k_{eff}(x) = \frac{a}{1 + \frac{b}{x^2}} \tag{1}$$

Pomocí gnuplotu jsme pro každé obohacení zjistili velikost koeficientů a a b. Vyhledem k tomu, že kritičnost nastane pokud  $k_{ef} = 1$ . Pak platí:

$$a = \frac{b}{x^2} + 1 \tag{2}$$

Vyjádříme x které označuje poloměr aktivní zóny:

$$x = \sqrt{\frac{b}{a-1}} \tag{3}$$

#### 5.1 20% Obohacení

Pro toto obohacení vyšel koeficient a = 1,348 a b = 221,538. Když byly tyto hodnoty dosazeny do vzorce (3), vyšel poloměr aktivní zóny 22,224 cm. Po kontrole v programu s dosazenou hodnotou poloměru se koeficient kritičnosti velmi blížil jedničce, to znamená, že by tento reaktor byl v téměř kritickém stavu (přibližně 1,001).

#### 5.2 15% Obohacení

Po provedení stejných kroků jako u předchozího obohacení vyšly koeficienty a = 1,230 a b = 233,807. Po dosazení těchto hodnot do vzorce (3) poloměr aktivní zóny vyšel 31,823 cm. Kritičnost vyšla přibližně 0,998.

### 6 Závěr

Pomocí programu byly určeny koeficienty kritičnosti pro různé poměry moderátoru a aktivní zóny. Data byla vykreslena pomocí gnuplotu a byl nalezen přesný poloměr pro který byl reaktor kritický. Byla provedena kontrola v programu Serpent 2



Obrázek 4: Graf závislosti kritičnosti reaktoru na poloměru aktivní zóny -20%



závislost kritičnosti reaktoru na poloměru aktivní zóny

Obrázek 5: Graf závislosti kritičnosti reaktoru na poloměru aktivní zóny - 15%

### Poděkování

Rádi bychom poděkovali Jakubu Mátlovi za vedení tohoto miniprojektu, Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., RNDr. Karlu Kolářovi, Ph.D., Barboře Svobodové za organizaci TV@J a katedře jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT za poskytnutí pracoviště pro náš miniprojekt.

### Odkazy

- [1] Jakub Mátl, Josef Sabol; Atom, jádro (prezentace k TV@J 2024)
- [2] Jakub Mátl, Josef Sabol; Neutronové reakce (prezentace k TV@J 2024)
- [3] Jakub Mátl, Josef Sabol; Štěpení jaderného paliva (prezentace k TV@J 2024)
- [4] Jakub Mátl, Josef Sabol; Jaderný reaktor (prezentace k TV@J 2024)
- [5] J. Lamarsh a T. Baretta; Introduction to Nuclear Engineering (2001, 3. edice)

### Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů?

Jan Bradáč<sup>1</sup>, Tereza Kyselová<sup>2</sup>, Alexander Košťál <sup>3</sup>

 $^1{\rm G}$ Boskovice; bradacjan<br/>777@gmail.com $^2{\rm G}$ a SOŠPg Nová Paka; terezakyselova<br/>48@gmail.com $^3{\rm G}$ Brno, třída Kapitána Jaroše; sascha.kostal@gmail.com

Garant: Ing. Vladimír Jarý, Ph.D. (KSI)

#### Abstrakt

V tomto článku si představíme pojem heurestika a vysvětlíme, jak nám pomáhá zlepšit různé algoritmy, které poté porovnáme. Přitom použijeme pojmy stavový prostor a inteligentní agent. Nakonec ukážeme algoritmus A\*.

### 1 Teoretický základ

Nejdříve si zadefinujeme pojmy, na které budeme později odkazovat.

Pod "grafem" si každý představí něco jiného, my budeme používat graf jako množinu vrcholů V, spojenými hranami E.

Stavový prostor je množina všech možných stavů v uzavřeném systému, také mnoho problémů lze do tohoto prostoru zjednodušit. Při práci s těmito prostory používáme grafy. Pro objasnění si uvedeme příklad: uvažujme levý a pravý pokoj, v pokojích může či nemusí být smetí a v jednom z pokojů se nachází robot. Jednoduchým výpočtem ukážeme, že existuje 8 disjunktivních stavů.  $2\sum_{n=0}^{2} {2 \choose n} = 8.$ 

Ve stavovém prostoru se může pohybovat tzv. inteligentní agent, který může v systému interagovat s prostředím, což může způsobit přechody mezi stavy. Obecně se používá i mimo stavové prostory, např. umělá inteligence.

Teď si představíme pojem heurestika, což je odhad, který pomáhá snížit část stavového prostoru, který je potřeba prozkoumat. Heurestiky jednoho problému můžou mít více různých forem. My budeme používat heurestiku, která odhaduje vzdálenost k cíli.

### 2 Možnosti algoritmů

Budeme používat algoritmus, který hledá cestu k cíli ve stavovém prostoru. Algoritmus vždy vybere jedno sousední pole, zjistí, jestli došel k cíli, a pokud ne tak jede dál. Podle toho, jak si algoritmus vybírá, co bude dále prohledávat rozdělujeme algoritmy do několika skupin.

#### 1. UCS

Hledá nejkratší možnou cestu do dalšího bodu, avšak má velkou paměťovou náročnost, protože každou cestu si ukládá.

#### 2. Breadth First Search (prohledávání do šířky)

Graf prochází a při každém rozvětvení jde všemi cestami stejně rychle. Tudíž při najití cíle okamžtitě ví nejkratší cestu, protože šel všemi cestami současně. Stejně jako UCS má velkou paměťovou náročnost.

#### 3. Depth First Search (prohledávání do hloubky)

Vybere si jednu cestu a pokračuje po ní dokud nedojde do slepé uličky, nebo neskončí, poté se vrátí k minulému rozcestí a prohledává další cestu. Ne vždy najde nejlepší cestu.

#### 4. Greedy Best First Search (hladový algoritmus)

Algoritmus vyhodnocuje vzdálenost do cíle<br/>(což se označuje heuristika). Jedná se o rychlý algoritmus, ale ne vždy najde nejlepší cestu.

#### 5. Algoritmus A\*

Jde o kombinaci UCS a hladového algoritmu. Cestu vybírá podle funkce f, která je určena f = g + h, kde g je cena cesty ze startu a h je odhad vzdálenosti do cíle. Při správně zvolené heuristice zároveň najde nejlepší cestu.

# 3 Porovnání algoritmů

Mapu jsme rozdělili na čtverečky tzv. diskretizovali, vzdálenost mezi sousedními políčky je a a políčky, které leží na diagonále, je  $a\sqrt{2}$ . Pro jednoduchost jsme použili tento výraz:  $\lfloor a\sqrt{2} \rfloor$ . Pro odhad vzdálenosti h používáme tzv. manhattanskou vzdálenost, která je definována  $h = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ , kde proměnné označují část souřadnic bodů.





Obrázek 1: Do šířky

Obrázek 2: Hladový algoritmus

Na obrázku 1 si můžeme všimnout, že program do šířky nejprve prohledá velkou část mapy a teprve poté na cestu.



Obrázek 3: A\*

Hladový algoritmus sice najde cestu velice rychle, ale překážky ho zmatou a nemusí najít optimální cestu.

 $\mathbf{A}^*$ algoritmus sice j<br/>de některými zbytečnými cestami, ale zdaleka ne tak moc jako prohledávání do šířky.

### 4 Shrnutí

Naprogramovali jsme program, ve kterém jsme porovnávali různé typy algoritmů. Došli jsme k závěru, že program A\* si dokáže nejlépe pomoci s překážkami díky heuristikám. Heurestika nám pomáhá tím, že zužuje výběr možností pouze na pravděpodobnější možnosti.

# Poděkování

Děkujeme všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce za uspořádání této akce a také děkujeme panu Ing. Vladimíru Jarému, Ph.D. za možnost vypracování tohoto miniprojektu a vysvětlení problematiky heuristik.

# Odkazy

- PEARL, J. Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving. 7th. New York: Addison-Wesley, 1983.
- 2. TONDA. Teorie grafů. *BRKOS Team.* 2024. Dostupné také z: https://brkos.math. muni.cz/files/povidani/povidani303.pdf. [cit. 2024-06-18].

### Jak přeměnit světlo na hmotu

K. Vlčková<sup>1</sup>, A. Trnka<sup>2</sup>, D. Krátký<sup>3</sup>, M. Kalda<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Luďka Pika, Plzeň; tyna.wolf2k4@gmail.com

<sup>2</sup>GYOA Pelhřimov; trnka.antoska@gmail.com

<sup>3</sup>Gymnázium Tanvald; 2018-kratky-daniel@gymtan.cz

<sup>4</sup>Gymnázium Tišnov; martin.kalda07@gmail.com

O. Garant, školitel; M. Jirka, FJFI ČVUT

#### Abstrakt:

V této práci popisujeme simulaci generace virtuálních elektron-pozitronových párů pomocí různě polarizovaných laserových záblesků, tedy přeměnu energie ve hmotu. Cílem je porovnat efektivitu lineární a radiální polarizace laseru, aby se zjistilo kterou metodu je vhodnější použít při experimentálním ověřování jevu. Ve výsledcích je vidět řádově vyšší účinnost radiální polarizace.

# 1. Úvod

Když si lidé představí slavný Einsteinův vztah  $E = mc^2$ , skoro všem se vybaví přeměna hmoty na energii (štěpení uranu, fúze vodíku, anihilace). Ovšem ne tolik lidí si představí přeměnu opačným směrem tedy energie neboli světla na hmotu. Tímto fenoménem se zabývali Gregory Breit a John A. Wheeler už v roce 1934, kdy předpověděli proces interakce fotonů za vzniku pozitronu a elektronu, ale nebylo možné rovnice vyřešit z důvodu velmi složité matematiky [1]. V posledních letech se pomocí superpočítačů podařilo výpočetně náročné rovnice vyřešit a numerickými metodami simulovat průběh budoucích experimentů. Tento jev by se v budoucnosti dal využít jako zdroj antičástic do experimentů studujících např. laboratorní astrofyziku.

### 2. Numerické simulace

### 2.1 Modelovaný proces

První věc, kterou si musíme objasnit, je způsob přeměny energie na hmotu. Potřebujeme k tomu laser a elektron. Elektron, nacházející se v silném elektromagnetickém poli (dále jen EM pole), je urychlen a začne opisovat zakřivenou trajektorii, přičemž bude v intervalech vyzařovat fotony. Na tomto principu pracuje také synchrotron. Vyzářené fotony interagují s EM polem laseru a vznikají elektron-pozitronové páry Breit-Wheelerovým procesem. Vytvořený elektron a pozitron jsou dále urychleny EM polem laseru a znovu vyzařují další fotony, pomocí nichž se vytváří další

elektron-pozitronové páry - vzniká kaskádní generace elektron-pozitronových párů [2]. Tímto způsobem nám může vzniknout až 10<sup>7</sup> částic pouze z jednoho elektronu.

### 2.2 Typy polarizací

Tento princip jsme provedli dvěma způsoby, lišící se orientací (polarizací) elektrického pole. První způsob, zvaný lineární polarizace, má jednoduché elektrické pole, které míří směrem nahoru. Tato polarizace má jeden výrazný problém a to ten, že elektrony na které působí síla daná podle Lorentzovy rovnice se mohou dostat mimo pole působnosti laseru. Oproti tomu u radiální polarizace je zajištěno, že v době kdy je elektron potřeba bude na správném místě.



Lorentzova rovnice zní  $\overline{F} = -q(\overline{E} + \overline{v} \times \overline{B} + G)$ . Veličina G zahrnuje kvantové korekce v Lorentzově rovnici. Tato rovnice se nedá vypočítat ručně, a tak jsme poslali python program superpočítači v Ostravě (metacentrum.cz), který nám nasimuloval průběh tohoto experimentu. Zaslali jsme deset odlišných vstupních souborů, každý se lišil silou laseru (amplitudou), ale všechny simulované lasery byly silnější než současný nejsilnější laser na světě [3].

Amplituda laseru	Počet pozitronů v lineární polarizaci (LP)	Počet pozitronů v radiální polarizaci (RP)
1000	0	15
2000	0	1338
3000	0	337 337
4000	0	9 217 340
6000	0	ND
9000	0	ND
11000	28	ND

### 2.3 Výsledky

Tabulka popisuje počet vzniklých elektron-pozitronových párů v závislosti na metodě polarizace a amplitudě laseru. Pro hodnoty po amplitudě 4000 u radiální polarizace nemáme data, jelikož výsledky se zvedají exponenciálně a počítač, za nám přidělené dvě hodiny, nestihl dokončit simulaci. Vypočtené hodnoty jsou v logaritmickém měřítku zanesené v grafu.


# 2.4 Diskuse

Při vhodně zvolené (tj. radiální) polarizaci laserového záření je možné generovat řádově větší počet pozitronů oproti standardně používané lineární polarizaci. Kaskádní tvorby pozitronů je možné dosáhnou při intenzitě 10<sup>24</sup> W/cm<sup>2</sup>, přičemž světový rekord je 10<sup>23</sup> W/cm<sup>2</sup> [3]. V případě lineární polarizace je potřebná intenzita 100x vyšší.

## 3. Shrnutí

Z provedených výpočtů vyplývá, že pro provedení experimentu přeměny světla na hmotu je zásadní polarizace použitého EM pole, to jest laseru.

#### Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat Ing. Martinovi Jirkovi Ph.D. za odborné vedení. Také děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce za prípravu této skvělé akce.

#### Reference

[1] G. Breit and J. A. Wheeler, Phys. Rev. 46, 1087 (1934)

[2] T. G. Blackburn, Rev. Mod. Plasma Phys. 4, 5 (2020)

[3] J. W. Yoon, Y. G. Kim, I. W. Choi, J. H. Sung, H. W. Lee, S. K. Lee, and C. H. Nam, Optica 8, 630 (2021)

# Kritická teplota vysokoteplotního supravodiče a jeho závislost na magnetickém poli

M. Bukvic, O. Vláčil, O. Vojíř, L. Kubof Gymnázium Turnov, SPŠ Třebíč, Gymnázium Příbram, Gymnázium Varšavská 1 matyas016@gmail.com, vlacilo.06@spst.eu, ondrej.vojir@gympb.cz, lugyd1xdone@gmail.com

#### Abstrakt:

Rozpracovali jsme vliv magnetického pole na supravodič YBCO a jeho kritickou teplotu. Supravodič byl vystaven stacionárnímu poli s B= (0;325) mT. Cílem bylo posoudit míru vlivu magnetického pole na vodivost při teplotě kapalného dusíku. Pochopení tohoto tématu může pomoci při úspěšném začlenění supravodičů do mimo laboratorního prostředí.

# 1. Úvod

V dnešní době se snažíme vyrábět zařízení a vše pracující na elektrickou energii tak, aby byla co největší účinnost a malé ztráty. Supravodivost je jev, kdy téměř zaniká vnitřní odpor materiálu.

Tento jev nastává za určitých podmínek. Hlavní podmínkou se dá definovat velmi nízká teplota materiálu. Teplota kdy se stává daný materiál supravodivým záleží na dalších vlastnostech, ale jako základní je složení. Další veličiny, které ovlivňují stav supravodivosti jsou procházející proud supravodičem, frekvence připojeného napětí a vnější působení magnetického pole, kterou se táto práce zabývá. Supravodiče se dají rozdělit do dvou tipů. Prvním typem jsou supravodiče, které mají jedno kritické magnetické pole, u kterého se ničí supravodivost. Druhý tip má dvě kritické magnetické pole, při prvním pouze pronikne do materiálu a při druhém se zničí supravodivost. U obou tipu musíme vzít ještě v potaz nečistoty a způsob výroby ovlivňující vnitřní uspořádání. Další způsobem, jak je můžeme rozdělit je podle teploty, kdy nastává supravodivost. Jako vysokoteplotní se dají označit supravodivé materiály, jenž jsou supravodivá při T>30K.

Našim cílem bylo zjistit, jak závisí vysokoteplotní supravodivost materiálu YBCO na působícím magnetickém poli a na teplotě chlazení.

# 2. Postup měření a použité měřící přístroje

## 2.1.Princip

Měření probíhalo ochlazováním a ohříváním vysokoteplotního supravodiče YBCO, pomocí tekutého dusíku. Na supravodič působilo magnetické pole. Toto magnetické pole se pro každé měření měnilo. Všechny hodnoty se zapisovali do počítače a následně jsme z nich vytvořili grafy R = f(T; B)

## 2.2.Podmínky

Měření jsme prováděli jednoduchou leč docela účinnou metodou. Námi měřený vysokoteplotní supravodič byl připájený přes přívodní vodiče na zdroj konstantního proudu 1 Ampér a těsně vedle něho byl umístěn odporový teploměr Pt<sub>100</sub>. Pomocí něho se softwarově vyčítala teplota. Další měřená hodnota byla úbytek napětí na samotném supravodiči, z níž se dopočítal odpor. Při ochlazování jsme potřebovali postupné ochlazování, aby supravodič a odporový teploměr měli stejnou teplotu. Proto jsme měřený vzorek dali do plastové nádobky s izopropylalkoholem a až tu jsme následně chladili tekutým dusíkem. Pod nádobkou byl umístěn magnet v určité vzdálenosti. Změnou vzdálenosti jsme měnili velikost magnetického pole. Intenzitu magnetického pole v dané vzdálenosti jsme následně změřili pomocí Hallovy sondy.



3. Naměřené výsledky

# 3.1. Výsledný graf

První věc, kterou musíme vzít v potaz je nepřesnost měření, která mohla ovlivnit výsledné hodnoty.



Ve výsledném grafu je vidět závislost odporu supravodiče YBCO na teplotě při ohřívání supravodiče z teploty kapalného dusíku. Různé měření měly jinou intenzitu vnějšího magnetického pole. Je zde vidět zlom kdy začíná nastávat stav supravodivosti a odpor v závislosti na teplotě začne prudce klesat. Charakteristika vytvořená při B = 0,4 mT byla měřena odlišněji než ostatní, proto došlo k takovému odchýlení. Její měření probíhalo postupným vynořováním z hapaného dusíku na rozdíl od ostatních, kdy došlo k okamžitému vytažení. Toto je způsobeno nepřesným snímáním teploty a k tomu ještě jenom na povrch supravodiče který je sám o sobě špatný teplotní vodič.

Tento graf se dá porovnat s prací

[SUPERFLUIDITY AND SUPERCONDUCTIVITY by DAVID R TILLEY JOHN TILLEY]



Figure 11.10 Magnetic-field dependence of the transition to superconductivity in a sintered  $YBa_2Cu_3O_{6+x}$  specimen. (After Wu *et al* 1987.)

Ve kterém lze vidět graf s podobnou závislostí stejného supravodiče a se stejnými zlomy. Vysvětluje to tím, že struktura supravodiče je tvořená spečeným práškem. Tímto dojde k nepravidelnému nastávání supravodivosti, a to pomocí různých klikatých přechodů mezi zrníčky materiálu. Dojde k pozvolným přechodům.

Po tomto porovnání lze říci že naše měření má kvalitativně podobné výsledky jako předcházející.



Na grafu 3. lze vidět závislost kritické teploty na působení vnějšího magnetického pole. Při ideálních supravodičích je tento vztah definován touto rovnicí.  $T = T_c \sqrt{1 - \frac{H_c}{H_0}}$ Kde T<sub>c</sub> a H<sub>0</sub> jsou konstanty dané pro daný materiál. H<sub>c</sub> je intenzita magnetického pole a T je kritická teplota.

# 4. Závěr

Z námi provedeného pokusu je vidět, jak závisí velikost odporu vysokoteplotního supravodiče YBCO na teplotě a na působení magnetického pole. Působení magnetického pole na námi použitý supravodič způsobuje to, že materiál ztrácí schopnost supravodivosti. Pokud bychom chtěli snížit odpor supravodiče při působení magnetického pole museli bychom použít jiný chladící médium, než je kapalný dusík, abychom ještě více snížili teplotu.

Při měření musíme vzít v potaz veškeré chyby a odchylky. V našem případě se vyskytli měřící odchylky z mnoha důvodů. Námi použitý způsob měření teploty nebyl kalibrovaný a termistor byl přidělán k povrchu supravodiče. Měření napětí bylo prováděno hned na supravodiči, ale nebrali jsme v potaz odpor přívodních vodičů od zdroje napětí a velikost vnitřního odporu Voltmetru.

# 5. Poděkování

Tímto bychom rádi podkovali Mgr. Emilu Vargovi, Ph.D. za odborné vedení práce a především poskytnutí svých vědomostí. Naše poděkování patří i všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce 2024 za tuto úžasnou možnost strávení předposledního týdne školy.

# 6. Literatura

- Smith, J., Brooks, J., Fowler, C., Freeman, B., Goettee, J., Hults, W., King, J., Mankiewich, P., Obaldia, E., O'Malley, M., Rickel, D., & Skocpol, W. (2004). Lowtemperature critical field of YBCO. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 7(2), 269-270.
- 2) TILLEY, DAVID R a JOHN TILLEY. SUPERFLUIDITY AND SUPERCONDUCTIVITY. Third edition. IOP Publishing, 2003. ISBN 0-7503-0033-7.
   Figure 11 10.

Figure 11.10;

# Kvantově chemické výpočty molekul

D. Horák, V. J. Schreib, J. Šrámek,

### horak.daniel.80@gmail.com, schreibvj@jirovcovka.net, kubca.sramek@gmail.com

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, Dolejškova 2155/3

Garant: Mgr. Mikuláš Matoušek

#### abstrakt:

V našem projektu jsme studovali fyzikálně-chemické vlastnosti molekul řešením Schrödingerovy rovnice, především Hartree-Fockovou metodou. Pomocí výpočtů v programu Psi4 jsme ověřili základní poučky platné v chemii, jako je tvar disociačních křivek a průběh reakcí.

## 1. Úvod:

S postupným navyšováním výpočetní kapacity počítačů je čím dál víc časově a finančně výhodné modelovat reakce v počítači místo zdlouhavé práce v laboratoři. Nejčastěji počítané charakteristiky molekul jsou jejich energie, geometrie, spektrální vlastnosti nebo elektronické struktury (řád vazby). Tyto způsoby se používají zejména k předpovídání vlastností obtížně syntetizovatelných látek (například ve vývoji léků nebo pro výrobu molekulární elektroniky), kdy je výhodnější zkoumané látky nejdříve vymodelovat.

Počítače můžeme taktéž využít na zkoumání mechanismů reakcí nebo na vysvětlování molekulového spektra. Vzhledem k různým aproximacím (nepřesnostem) je vždy vhodné výsledky ověřit experimentální metodou.

### 2. Teorie:

## 2.1 Schrödingerova rovnice:

Schrödingerova rovnice (dále SR) je pohybová rovnice nerelativistické kvantové teorie. Jejím základem je tzv. vlnová funkce popisující pohyb částice (Ψ). (Matoušek 2023)

$$\widehat{H}\psi(\vec{x}) = E\psi(\vec{x})$$

Vzhledem k tomu, že se  $\Psi$  u většiny stabilních systémů časem nemění, můžeme počítat s tzv. bezčasovou Schrödingerovou rovnicí. Ta na pravé straně obsahuje  $\Psi$  násobenou celkovou energií systému (E) a na levé straně operátor Hamiltoniánu působící na  $\Psi$  (hamiltonián popisuje dynamiku systému).(Matoušek 2023)

Vzhledem k tomu, že bezčasová SR je prakticky analyticky neřešitelná, je třeba ji řešit numericky pomocí počítače. V praxi se k těmto výpočtům využívají iterační metody, kdy se vezme počáteční odhad vlnové funkce a postupně se odpočítává optimalizovaná vlnová funkce s celkovou energií.(Matoušek 2023)

# 2.2 Hartree-Fockova aproximace:

HF je způsob výpočtu patřící mezi ab initio (metody zkoumající vlnové funkce). Uvažuje o částicích jako o nezávislých složkách, které jsou ovlivněné pouze aproximovaným elektrickým potenciálem oblaku elektronových orbitalů v molekule. (Plačková, 2016)

$$\widehat{H}_{mol} = \widehat{T} + \widehat{V}_{e-j} + \widehat{V}_{e-e}$$

Mezi její hlavní výhody patří převod víceelektronové SR do jednoelektronových rovnic vyjadřujících jednoelektronovou vlnovou funkci. Tato funkce se nazývá orbital, popisuje chování daného elektronu a určuje tzv. orbitální energii. (Plačková, 2016)

Nezávislost výpočtů je narušována interakcemi mezi elektrony → tvary orbitalů, které se mění v závislosti na pohybu ostatních částic v námi počítaném systému. Z důvodu minimalizace

nepřesnosti a chybovosti se řešení provádí iterativně, kdy se v každém kroku upřesňuje elektrický potenciál prostoru, ve kterém se pohybuje daná částice. (Plačková, 2016)

# 3. Výpočty

## 3.1 Disociační křivky:

Disociační křivka vyjadřuje vazebnou energii E [Ha = 27,21 eV ] ve vazbě mezi částicemi vzhledem k vzdálenosti r [Å=  $10^{-10}$  m]. Ověřili jsme pomocí výpočtů, že většina křivek diatomických molekul má podobný průběh, odlišný v poloze, hloubce a šířce minima (odpovídající délce, energii a tuhosti vazby). Na grafech jsou vidět křivky pro tři různé halogenovodíky.





## 3.2 Tranzitní křivka

Tranzitní křivka, neboli reakční koordináta, popisuje průběh reakce od reaktantů k produktům. Při vykreslení grafu energie v systému v závislosti na vzdálenosti mezi atomy dostaneme následující obrázek. V něm vidíme dvě minima odpovídající reaktantům, produktům a jedno maximum odpovídající tranzitnímu stavu.



## 4. Závěr

V průběhu projektu jsme se seznámili s výpočetními metodami kvantové chemie (se Schrödingerovou rovnicí a Hartree-Fockovou metodou). Pomocí nich jsme určili disociační křivky a rovnovážné polohy atomů v molekulách. Dále jsme prozkoumali tranzitní křivku přechodu oxidu uhličitého na oxid uhelnatý.

# Poděkování

Děkujeme především našemu vedoucímu Mgr. Mikulášovi Matouškovi za odbornou pomoc a diskuzi, dále FJFI a ČVUT za organizaci a uskutečnění akce Týdne vědy na Jaderce.

# Reference

- PLAČKOVÁ, Bc. Lydie. Použitelnost výpočetních metod kvantové chemie pro studium interakcí v biologických systémech. Diplomová práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Přírodovědecká fakulta, 2016.
- MATOUŠEK, Mikuláš. Počítáme kvanta. In: *Fyzikální korespondenční seminář XXXVI* ročník - 2022/2023. Praha: Nakladatelství MFF UK MatfyzPress, 2023, s. 151-153. ISBN 978-80-7378-493-5.

# Lasery a speciální optické jevy

O. Skála<sup>1</sup>, R. D. Maštovský<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Ostrava-Zábřeh Volgogradská 6a, 18\_skala\_0@gyvolgova.cz

<sup>2</sup> Gymnázium a |Hudební škola hlavního města Prahy, ZUŠ; rdmastovsky@gmail,com

Michal Jelínek, ČVUT

#### Abstrakt:

Laser je zařízení vyzařující velmi uspořádané světlo. Pomocí různých součástí se můžou měnit některé jeho vlastnosti. Cílem naší práce bylo sestavit pevný laser typu Nd:YAG a změřit jeho vlastnosti za různých podmínek.

# 1 Úvod

Laser, z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, je optický zdroj elektromagnetického záření. Je tvořen aktivním prostředím, otevřeným rezonátorem a zdrojem energie. Aktivní prostředí může být pevnolátkové, plynné či kapalné. Při dodání energie aktivnímu prostředí dojde k excitaci elektronů, které "vyskočí" do vyšší energetické hladiny.



Obr. 1 – Stimulovaná emise, přechod z vyšší energetické hladiny do nižší, vyzáření totožného fotonu

Nejdříve dojde ke spontánní emisi, kdy elektron spadne do nižší energetické hladiny a vyzáří foton o energii, která se rovná rozdílu hladin. Pak dochází k stimulované emisi, kdy foton interaguje s elektronem ve vyšší energetické hladině. Elektron pak relaxuje na nižší energetickou hladinu a vyzáří foton se stejnými vlastnostmi. Vlnová délka vyzářeného fotonu potom bude nepřímo úměrná energetickému rozdílu hladin.

### 2 Návrh laseru

Náš laser se skládal z diodového čerpacího laseru (*Jenoptik JOLD-200-QPNN-1L* na frekvenci 5 Hz) a rezonátoru, který je vidět níže. Rezonátor se skládá z dvou zrcadel, *HR* a *OC*. *HR* 

(highly reflective) zrcadlo je maximálně reflektivní a *OC* (optical coupler) je zrcadlo s menší reflektivitou, otestovali jsme reflektivity 50%, 70% a 83% na generované vlnové délce 1 mikrometru (zbylá procenta jsou propuštěna skrz). Značky d1 & d2 jsou vzdálenosti mezi zrcadly a aktivním prostředím, v našem případě byl aktivním prostředím krystal Nd:YAG (viz obrázek 2).



#### Měření laserové diody

Nejprve jsme změřili výstupní energii čerpadla v závislosti na vstupním proudu, ověřili jsme lineární závislost, jak zobrazeno na obrázku 3.



Poté jsme změřili vlnovou délku čerpacího laseru v závislosti na teplotě při konstantním proudu *140 A*. S rostoucí teplotou bude růst vlnová délka / klesat energie záření, protože se při zahřívání polovodiče zmenšuje rozdíl energetických hladin (viz obrázek 4).







## 3 Nd:YAG ve volně běžících režimech

Volně běžící režim je režim, kdy máme laser pouze zapnutý a nijak do něho nezasahujeme. Vlastnosti laseru, tedy odpovídají vlastnostem čerpání. Čerpací laser pracuje na frekvenci 5 Hz o délce pulsu 200µs.



Obr. 5 – Oscilogram, zelená(horní) – puls čerpacího svazku, modrá(spodní) - puls laseru

Změřili jsme výstupní energii stranově čerpaného Nd:YAG laseru s OC o reflektivitách 50%, 70% a 83% pří konstantní teplotě 35°C.



Obr. 6 – Sklon funkce odpovídá účinnosti systému s daným zrcadlem, nejvyšší účinnosti dosahuje zrcadlo s reflektivitou 70% s účinností 34%, nejmenší práh laserové generace má zrcadlo s reflektivitou 83% - 1,9 mJ

# 4 Q spínač, generace 2. harmonické frekvence

#### Q spínač

V našem experimentu jsme používali pasivní Q-spínání pomocí saturačního absorbéru Cr:YAG, který dokáže produkovat krátké pulsy. Q-spínač je zjednodušeně krystal, který při nízkých intenzitách nepropouští záření. Aby záření propustil, musí se nabít pump laserem a po nějaké době světlo propustí. Po průchodu světla v Q spínači intenzita zase klesne a stává se nepropustným. Díky tomuto procesu jsme dosáhli délky pulsu až 6.4 ns (viz obrázek 7)



Obr. 7 – záznam 6,4 ns pulsu s Q spínáním

### Generace 2. harmonické frekvence

Pomocí nelineárního krystalu jsme schopni vygenerovat druhou harmonickou frekvenci vstupního laseru. Z 1064 nm tedy uděláme 532 nm (z neviditelného IR, viditelnou zelenou). Nelineární krystal LiIO<sub>3</sub> potřebuje pro tento jev poměrně vysoký špičkový výkon. Špičkový výkon je podíl energie laseru a délky pulsu. V našem setupu jsme dosáhli špičkového výkonu 234 kW a špičkovou intenzitu jsme vypočítali jako 20,6 GW/cm<sup>2</sup>. Důkazem druhé harmonické frekvence je měření spektrometrem na obrázku 8.



Obr. 8 – Měření ze spektrometru, 532 nm – druhá harmonická, 1064 nm – zbytek, který prošel nelineárním krystalem

# 5 Závěr

Optimální teplota pro použité laserově diodové čerpadlo je 35°C, při této teplotě čerpací svazek září na 808 nm, což se shoduje s absorpčním pásmem použitého aktivního prostředí Nd:YAG. Pro předání energie z čerpacího laseru bylo nejlepší zrcadlo s reflektivitou 83 %, protože jsme dosahovali nejvyšších výstupních energií z laseru.

Při přidání saturačního absorbéru Cr:YAG mezi HR a aktivním prostředím, laser produkuje pulsy o délce 6,4ns a energii 1,5mJ.

Při přidání čočky s ohniskem 25 mm bylo vypočteno pomocí programu PSST, že se poloměr paprsku zmenší z 220  $\mu$ m na 19  $\mu$ m, a tím zvýší špičková intenzita na 20,6GW/cm<sup>2</sup>.

Nakonec přidáním nelineárního krystalu LiIO<sub>3</sub> (a výměnou čočky na ohniskovou vzdálenost 50 mm aby nedošlo k poškození krystalu) se utvoří druhá harmonická frekvence laserového paprsku vlnové délky 532nm, čímž je infračervený paprsek se stane viditelně zeleným.

# Poděkování

Na závěr bychom rádi poděkovali našemu garantu Ing. Michalovi Jelínkovi za skvělé vedení, pomoc a vysvětlení. Také děkujeme Organizátorům Týdne vědy na Jaderce (obzvlášť Vojtěchu Svobodovi a Karlu Kolářovi), že si každý rok dají tu práci a zorganizují tuto akci.

# Reference

 Stimulated emission. (2008). https://en.wikipedia.org/. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/09/Stimulated\_Emission.svg/1200 px-Stimulated\_Emission.svg.png?20230129001137

# Tajemný svět luminiscence

# V.Holoubek<sup>1</sup>, N. Schwartzová<sup>2</sup> <sup>1</sup>GOA Bučovice; holoubekvitek@seznam.cz <sup>2</sup>EVG Banská Bystrica; schwartzovanatalia@gmail.com

#### Abstrakt:

Během projektu jsme pomocí badatelsky orientované výuky zjistili nové informace o luminiscenci, zasadit si je do kontextu a následně je zformulovat do jednoduché vědecké práce a předat poznatky ostatním. V těle příspěvku se mimo všeobecného úvodu do luminiscence věnujeme několika experimentům týkajícím se excitaci roztoků při záření o různé vlnové délce, rozdílu mezi fluorescencí a fosforescencí, a procesu zhášení.

# 1 Úvod

Cílem naší práce bylo stanovit hypotézy týkající se luminiscence, následně je ověřit pomocí jednoduchých experimentů a poté naše výsledky srovnat s odbornou literaturou. Před tím, než se dostaneme k výsledkům naší práce, je důležité zmínit, jakým způsobem náš projekt probíhal. Jeho hlavním cílem bylo představit nám luminiscenci pomocí badatelsky orientované výuky, jako obor, který se na středních školách běžně neučí, spíše než zaměřit se na pozorování a měření konkrétního jevu. V této práci popisujeme rozdíl mezi fosforescencí a fluorescencí a také to, jak funguje zhášení, za pomocí experimentů, které jsme provedli.

## 2 Tělo příspěvku

#### 2.1 Úvod do luminiscence

Základní princip luminiscence je založen na excitaci a následné de-excitaci elektronů. Na popsání tohoto jevu používáme Jablonského diagramy. Tyto diagramy zobrazují energetické hladiny molekul a přechody elektronů mezi nimi. Jev luminiscence se vyskytne jenom pokud molekula dostane množství energie minimálně tak velké jako energetický rozdíl

mezi nejvyšší obsazenou hladinou a nejnižší neobsazenou hladinou. Pokud je to méně, molekula energii neabsorbuje. Po excitaci se molekula snaží vrátit do původního stavu na základě principu snahy o co nejnižší energii. Čím větší je vzdálenost energetických hladin, které excitovaný elektron naráz překoná na cestě do původní hladiny, tím vyšší energii, respektive nižší vlnovou délku má emitované světlo. Pro výpočet výsledné



emitované energie je použit tento vzorec ( $\Delta E = hv = \frac{hc}{\lambda}$ ). Pokud jsou ale energetické hladiny u molekuly příliš blízko, elektron nemá potřebu provést zářivou de-excitaci a molekula není schopna luminiscence. Stejně jako u jiných reakcí dochází v případě luminiscence k nezářivým přechodům (relaxačním vibracím), kdy energie odchází buď ve formě tepla nebo pohybu. V případě luminiscence se k těmtu jevům přidává ještě zářivá excitace, což u jiných jevů neplatí. Podle formy dodané energie potřebné k excitaci rozlišujeme různé typy luminiscence.

#### 2.2 Excitace roztoků při záření o různé vlnové délce

V tomto experimentu jsme pozorovali, jak se budou chovat různé látky, pokud na ně budeme svítit pomocí laserů o různých vlnových délkách. Z experimentu jsme zjistili že čím nižší je vlnová délka laseru, tím vyšší energii je schopný látce předat, to se shoduje i s dříve uvedeným vzorcem.

Tabulka níže shrnuje výsledky našeho pozorování, přičemž slovně jsou označené barvy pozorované luminiscence a pomlčka znamená že jsme luminiscenci nepozorovali.

Barvy laseru: Použité látky:	červená 650 ± 10	zelená 532 ± 10	modrá 405 ± 10
Voda s barvivem	-	-	-
Tonic (obsahující chinin)	-	-	modrá
Etanol s eosinem	-	žlutá	žlutá



#### 2.3 Rozdíl mezi fluorescencí a fosforescencí

V této části práce se pokusíme objasnit princip fluorescence a fosforescence. Oba tyto jevy jsou podtypy fotoluminiscence, kdy je vyzáření fotonu způsobené excitací elektronu pomocí elektromagnetického záření. Liší se ale tím, jak dlouhá doba uběhne mezi absorpcí a vyzářením fotonu.



Jablonského diagram popisující fluorescenci a fosforescenci

Na grafu výše můžeme vidět proces fosforescence a fluorescence. Proces fluorescence trvá řádově nanosekundy, zatímco fosforescence několik mikrosekund až minut, výjimečně i hodin.

Je to způsobeno tím, že v případě fosforescence dojde při vyzařování energie k přechodu do tripletního stavu, to znamená že jeden

z valenčních elektronů atomu získá opačný spin, což porušuje výstavbový princip orbitalu a znemožňuje rychlé vyzáření energie, jak je tomu u fluorescence.



roztok fluorescinu s kyselinou boritou ve vodě



fluorescin s kyselinou boritou v podobě skelné směsi během ozařování UV světlem



fluorescin s kyselinou boritou v podobě skelné směsi několik sekund po ozařování UV světlem

Provedli jsme experimenty, ve kterých se fluorescin smíchaný s kyselinou boritou choval jako fluorescenční látka, a následně fosforescenční látka. Naší hypotézou je to, že jestli látka provede fosforescenci nebo fluorescenci závisí také na prostředí ve kterém je obsažena.

#### 2.4 Zhášení

Při našem druhém experimentu jsme se věnovali fluorescenci chlorofylu, a jevu zhášení. Nejprve jsme 3-5 listů roztrhali na malé kousky a následně je rozetřeli ve třecí misce s etanolem. Pak jsme směs odfiltrovali a získali extrahovaný chlorofyl v etanolu. Naše hypotéza byla, že by chlorofyl kvůli jeho složení měl po excitaci UV světlem vykazovat fluorescenci. Hypotéza byla správná. Pak nás ale napadlo, chová se celý list pod UV světlem stejně jako samotný chlorofyl? Experimentálně jsme si ověřili, že v listu k luminiscenci nedochází, přestože obsahuje chlorofyl. Důvodem tohoto rozdílu je zhášení. List využívá světelnou energii primárně na fotosyntézu, takže když na něj zasvítíme UV zdrojem, využije získanou

energii tímto způsobem a kvůli tomu nezbývá na luminiscenci dostatek energie a světelný jev nevidíme. Se stárnutím listu dochází k úpadku jeho fotosyntetických funkcí, a tudíž je možné, že u něj bude pozorována luminiscence. Během bádání jsme taky zjistili, že pokud extrahovaný chlorofyl dáme do vody namísto do etanolu, nebude schopný fluorescence. Jako možné řešení se nám jevil rozdíl mezi polaritou či pH použitých rozpouštědel, ale dospěli jsme k tomu že i v tomto případě se jedná o zhášení. Namísto emitování světla chlorofyl raději odevzdá energii vodě, což o etanolu neplatí.



## 3 Shrnutí

Věříme, že se nám pomocí experimentů podařilo demonstrovat a vysvětlit základní principy luminiscence, jevu, který je v našem světě velice rozšířený, ale většinou je k jeho pozorování potřeba světelného zdroje s vysokou energií záření. V průběhu projektu jsme otestovali naše hypotézy, a zjistili, které jsou správné, ať už experimentálně nebo pomocí odborné literatury. Během práce jsme získali informace a zkušenosti o luminiscenci, které se nám v budoucnu jistě budou hodit.

## Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Ondřeji Holasovi. Byl nám skvělým mentorem a průvodcem vědou ve všech fázích miniprojektu. Také nesmírně děkujeme organizátorům TV@J 2024 za všechno úsilí které projektu věnovali a za to že nám zprostředkovali tento úžasný zážitek.

# Reference

- [1] PELANT, Ivan a VALENTA, Jan. *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. *Průhledy (Academia)*. Praha: Academia, 2014. ISBN 978-80-200-2394-0.
- [2] Eck, Michael. (2014). Performance enhancement of hybrid nanocrystal-polymer bulk heterojunction solar cells : aspects of device efficiency, reproducibility, and stability
- [3] Kate Maxwell, Giles N. Johnson, Chlorophyll fluorescence—a practical guide, Journal of Experimental Botany, Volume 51, Issue 345, April 2000, Pages 659–668

# Luminiscenční sledování aktivity antioxidantů

K. Faitová<sup>1</sup>, L. Lapčíková<sup>2</sup>

<sup>1</sup>G Na Vítězné pláni, Praha; karolina.fait@seznam.cz

<sup>2</sup>Masarykovo G, Příbor; linda.lapcikova@gypri.cz

Garant: doc. RNDr. Roman Dědic, Ph.D., KChFO MFF UK

#### Abstrakt:

Miniprojekt studoval vliv antioxidantů obsažených v různých druzích čaje na tvorbu singletního kyslíku. Byla použita metoda přímé detekce infračervené luminiscence singletního kyslíku tvořeného fotosenzibilizátorem TPPS4. Bylo zjištěno, že antioxidanty v čajích účinkují až od určité koncentrace, kdy pozorujeme pokles signálu. Jev je silnější u černého čaje.

# 1 Úvod

Luminiscence je děj, při kterém dochází k samovolné relaxaci elektronů vyzářením přebytečné energie, které trvá delší dobu než proces excitace. Rozlišují se dva typy – fluorescence, kdy děj probíhá v řádech piko- až nanosekund, a fosforescence, která může probíhat až několik minut, protože při relaxaci dochází k zakázaným přechodům mezi singletními a tripletními stavy, které jsou méně pravděpodobné. Elektrony excitované na vyšší energetickou hladinu mají tendenci vracet se zpět do rovnovážného stavu za uvolnění záření o specifické vlnové délce, podle které se dá určit přítomnost této látky. Podle intenzity záření se zjistí koncentrace luminoforu, tj. látky schopné luminiscence.

Singletní kyslík se řadí mezi neradikálové reaktivní formy kyslíku (ROS – reactive oxygen species). Vzniká excitací klasické tripletní molekuly kyslíku některými chemickými reakcemi nebo fotosenzibilizací. Využívá se v četných průmyslových aplikacích a v medicíně, například ve fotodynamické terapii. V lidském těle se podílí na imunitní reakci, avšak způsobuje také stárnutí buněk. Druhou skupinou ROS jsou radikálové formy, kam patří například superoxidy.

K regulaci singletního kyslíku slouží antioxidanty, které reagují s ROS a snižují jejich účinky. Patří mezi ně například některé vitaminy, jako kyselina askorbová, a další biologicky aktivní látky, vyskytující se například v čajích. V černém čaji se vyskytují theaflaviny a thearubiginy, v zeleném například katechiny.

V naší práci jsme se proto zaměřili na aktivitu antioxidantů v zeleném a černém čaji, kterou jsme měřili pomocí infračervené luminiscence singletního kyslíku.

# 2 Luminiscenční měření

### 2.1 Materiály

Pro tvorbu singletního kyslíku jsme použili fotosenzibilizátor 5,10,15,20-tetrakis(4sulfonátofenyl)porfin (TPPS4), který se využívá i ke zmiňované fotodynamické terapii rakoviny. Zásobní roztok jsme připravili rozpuštěním 2,5 mg TPPS4 v 12,5 ml fosfátového pufru (PBS). Černý čaj (Tata tea premium Punjab) jsme zalili vroucí vodou a nechali pět minut vylouhovat. Zelený čaj (Lord Nelson green tea) jsme připravili podle návodu na obalu. Pro jednotlivá měření jsme odpipetovali do kyvety 0,2 ml zásobního roztoku TPPS4, určitá množství příslušných čajů a doplnili do dvou mililitrů fosfátovým pufrem.

### 2.2 Metody

Vzorek jsme excitovali pomocí pulzního laseru EKSPLA NT 242 pulzy dlouhými 4 ns o vlnové délce 420 nm. Laser byl navázán do rozvětveného světlovodného vlákna a druhou větví vlákna jsme sbírali luminiscenci ze vzorku. Signál detekoval infračervený fotonásobič Hamamatsu H10330C-45 přes pásmový filtr 1274 nm. Pulzy z fotonásobiče zaznamenával s časovým rozlišením 5 ns na kanál čítač Becker and Hickel MSA 300.

### 2.3 Výsledky

Začali jsme ověřením spektrálních vlastností TPPS4 změřením absorpčního a fluorescenčního spektra vláknovým spektrometrem Avantes.

Na každém z odměřených vzorků jsme pětkrát změřili časový průběh (kinetika) luminiscence singletního kyslíku. V každé z nich bylo provedeno 2500 laserových pulzů. Příklady kinetik u zeleného čaje ukazuje obrázek 1. Nejprve singletní kyslík vzniká přenosem energie z fotosenzibilátoru, pozorujeme nárůst hodnot, a pak samovolně zaniká, pozorujeme pokles. Působením antioxidantů z čaje se jeho aktivita snižuje. Při vyšších koncentracích čaje je signál nižší.



Obrázek 1 - Časový průběh luminiscence singletního kyslíku ve vzorku se zeleným čajem

Celkovou intenzitu luminiscence, která je úměrná množství singletního kyslíku, jsme určili sečtením hodnot od 0,5 po 250 µs. Závislost na množství singletního kyslíku ve vzorku v závislosti na koncentracích černého a zeleného čaje ukazuje obrázek 2. Odchylky se pohybovaly kolem 2% hodnoty a v grafu uvedeny nejsou.



Obrázek 2 - Závislost intenzity luminiscence singletního kyslíku na množství přidaného čaje

Při nízkých koncentracích nebyla pozorována změna v luminiscenční aktivitě ani jednoho z čajů. Při vyšších koncentrací signál prudce poklesl. V případě černého čaje klesal přibližně dvakrát rychleji.

### 2.4 Diskuse

Experimentem se potvrdila hypotéza, že oba typy čajů obsahují antioxidační látky regulující singletní kyslík.

Měření proběhlo úspěšně, pouze hodnota aktivity černého čaje v hodnotě 50 µl vybočuje z trendu a mohlo by se jednat o experimentální chybu. Časová kapacita miniprojektu neumožnila hodnotu přeměřit.

Antioxidanty v černém čaji zabraňují tvorbě singletního kyslíku přibližně dvakrát účinněji než antioxidanty v zeleném čaji. Ostatní formy ROS jsme v experimentu neměřili, tudíž nelze určit, který druh čaje má celkově lepší antioxidační účinky. K tomu by bylo potřeba použít více různých metod.

V obou případech začínají účinkovat až od určité koncentrace. Omezený čas experimentu neumožnil určit tuto hranici detailně.

Výběr čajů nebyl reprezentativní. Použili jsme náhodně vybrané čaje. Pro větší výpovědní hodnotu experimentu by se mělo prozkoumat více druhů černých a zelených čajů, na což nebyla dostatečná časová kapacita.

# 3 Shrnutí

Pomocí měření infračervené luminiscence singletního kyslíku bylo dokázáno, že černý a zelený čaj má antioxidační vlastnosti. U vybraného černého čaje byly účinky větší, ale to nemusí platit při výběru jiných zelených a černých čajů. Zároveň byla měřena aktivita pouze singletního kyslíku a výsledky tudíž nereflektují celkovou antioxidační schopnost vybraných čajů. Účinky se projevují až od určité koncentrace.

# Poděkování

Velmi děkujeme garantovi našeho projektu doc. RNDr. Romanu Dědici, Ph.D. za jeho odborné vedení a cenné rady. Velké poděkování patří MFF UK za poskytnutí špičkové vědecké aparatury. Zároveň děkujeme všem organizátorům a sponzorům Týdne vědy na Jaderce 2024, který nám umožnil realizaci tohoto projektu.

# Reference

- [1] GREMLICA M., *Fluorescenční spektroskopie a její aplikace v materiálově orientovaných vědách.* Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. 2010
- [2] LANG K., MOSINGER J., WAGNEROVÁ D.M. Singletový kyslík v praxi současnost a perspektiva. *Chemické listy*. Roč. 100 (2006), 169-177
- [3] ŠVARCOVÁ S., Singletovým kyslíkem proti mikrobům a virům. *Naše vesnice: Zpravodaj obce Husinec*, (2020), číslo 2, 27
- [4] ROKYTA R., HOLEČEK V., STOPKA P., Volné radikály: nemoci, které lze ovlivnit antioxidanty. *Vesmír*. Roč. 85 (2006)
- [5] PETERSON J., DWYER J., BHAGWAT S., HAYTOWITZ D., HOLDEN J., ELDRIDGE A.L., BEECHER G., ALADESANNI J., Major flavoids in dry tea. *Journal* of food composition and Analysis 18 (2005) 487-501

# Měření energetických spekter pomocí polovodičového detektoru Timepix3 na tokamaku GOLEM

Alex Faivre<sup>1</sup>, Jan Herzig<sup>2</sup>, David Němec<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium JAK Uherský Brod; alexchristianfaivre@gmail.com <sup>2</sup>G J. Š. Baara Domažlice; herzig@astro.cz <sup>3</sup>Masarykovo G Plzeň; nemecd24@gmail.com

Š. Malec, školitel; KF FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Tokamaky jsou rychle se rozvíjející technologií, která by nám mohla v budoucnu pomoci vytvořit fúzní reaktor. K tomu ale vede dlouhá cesta, při které je potřeba překonat množství překážek. Jednou z nich jsou tzv. runaway elektrony, kterými se zabýváme v naší práci. K tomu využíváme dva pixelové detektory Timepix3 a tokamak GOLEM. Nejdříve v rámci testování měříme spektra testovacích vzorků a zaznamenáváme vliv kosmického záření. Nakonec měříme energetická spektra fotonů brzdného záření elektronů při nárazech do stěn tokamaku.

# 1 Úvod

Elektromagnetické záření nezahrnuje zdaleka jen viditelné světlo, na které jsou citlivé naše oči. Ve skutečnosti je viditelné světlo, na které jsme zvyklí, jen úzkou částí světelného spektra. To zahrnuje i záření o větších vlnových délkách a menších energiích, tedy infračervené a rádiové. Naopak kratší vlnové délky a větší energie má světlo z ultrafialové, rentgenové a gama oblasti. Rentgenové záření má původ v atomovém obalu, gama záření pak v atomovém jádře. V rámci našeho miniprojektu jsme se věnovali výzkumu posledních dvou zmíněných oblastí elektromagnetického spektra.

Využili jsme k tomu dva polovodičové detektory Timepix3. S nimi jsme zkoumali zmíněné záření různými způsoby. Nejdříve jsme změřili energetická spektra radioaktivních prvků. Poté jsme se zaměřili na detekci brzdného záření tzv. runaway elektronů v tokamaku GOLEM. Na závěr jsme se v datech ze zmíněných detektorů pokusili nalézt i stopy interakce kosmického záření.

Tokamak je zařízení určené pro udržení vysokoteplotního plazmatu. Právě toto plazma je základním předpokladem pro zažehnutí jaderné fúze a tím vytvoření "malé hvězdy" v pozemských podmínkách. Doposud jsou lidé schopni tento proces ovládnout pouze nekontrolovatelně, v podobě vodíkové bomby. Pokud bychom však zvládli tuto jadernou reakci provádět kontrolovatelně po dlouhou dobu, získalo by tím lidstvo de facto neomezený zdroj čisté energie.

Pro zvládnutí toho jsou tokamaky zcela stěžejní. V současnosti se však potýkají s řadou problémů, které jim doposud brání v úspěšném provádění ziskové fúzní reakce. Na některé z nich jsme se zaměřili i my, konkrétně na již zmíněné runaway elektrony v tokamaku.

#### 2 Detektory Timepix a tokamak GOLEM

#### 1. Detektory Timepix

V experimentech jsme používali křemíkový a kadmium-teluridový senzor Timepix3. Jedná se o polovodičové pixelové detektory. Mezi jejich přednosti, díky kterým jsou vhodné i pro naše měření, můžeme zařadit rozlišení  $256 \times 256$  pixelů, což nám umožnilo lokalizaci a rekonstrukci dráhy pozorovaných částic. Dále jsme využili vyčítací přesnost 1,56 ns a kapacitu 40 milionů interakcí za sekundu na centimetr čtvereční.

#### 2. Tokamak GOLEM

Jedná se o jedno z prvních zařízení svého druhu a zároveň jeden z nejmenších v současnosti provozovaných tokamaků na světě. V současnosti ho využívá Katedra fyziky FJFI ČVUT. V podstatě se jedná o transformátor, jehož sekundární vedení tvoří zahřívané plazma. To je udržováno v toroidální komoře působením magnetického pole, které je vytvářeno cívkami. Částice plazmatu jsou urychlovány působením elektrické síly a pohybují se ve směru působení Lorentzovy síly. Díky tomu jsou částice zahřívány na extrémně vysoké teploty.

#### 3 Měření s detektory Timepix3

Nejdříve jsme zkoumali spektra záření radioaktivního prvku. Křemíkovým detektorem jsme pořídili 10 měření vyzařování Americia <sup>241</sup>Am. Z toho jsme vytvořili spektrum, které jsme poté porovnali s tím, jak by měla vypadat podle [1], abychom mohli ověřit správnost funkčnosti detektorů. Dosáhli jsme velmi dobré shody.



Obrázek 1: Spektrum záření z izotopu Americia Am-241. V prostřední části je jasně Obrázek 2: Záznam pohybu mionu detekvidět pík vyzařování na energii 59,5 keV, což je ve shodě s databází.



torem. Charakteristická je pro něj přímá trajektorie. Čím červenější barva, tím vyšší energii předala částice jednotlivým pixelům.

Následně jsme podobně měřili kosmické záření. V určitých případech může posloužit k ionizaci plynu v tokamaku a jeho znalost je tak pro provoz těchto zařízení také důležitá. Detektor jsme nechali měřit v souhrnu 25 minut v izolaci od všech rušivých vlivů. Získali jsme tak několik stop interakce kosmického záření. Následně jsme s využitím programů pro zpracování dat zrekonstruovali dráhu jejich průchodu detektorem. Mezi nejzajímavější se řadil vysoce energetický mion, který je zobrazen na Obr. 2.



Obrázek 3: Standardní výboj. V horní části je zobrazen časový průběh napětí na závit. V dolní části pak průběh proudu v komoře  $I_{Ch}$  a proudu plazmatem  $I_p$ . Plazma je přítomno v komoře v časovém okamžiku mezi svislými čárkovanými přímkami. Obrázek převzat z [**3**], výboj č. 45324.



Obrázek 4: Nestandardní výboj. V horní části je zobrazen časový průběh napětí na závit. V dolní části pak průběh proudu v komoře  $I_{Ch}$  a proudu plazmatem  $I_p$ . Plazma je přítomno v komoře v časovém okamžiku mezi svislými čárkovanými přímkami. Obrázek převzat z [4], výboj č. 45335.

# 4 Měření s detektory Timepix3 na tokamaku GO-LEM

Hlavní částí našeho výzkumu byla detekce brzdného záření generovaného runaway elektrony. Jedná se o elektrony urychlené v tokamaku na relativistické rychlosti, které už nejsou udrženy magnetickým polem a narazí do stěny toroidální komory. To může představovat vážný problém pro bezpečný provoz tokamaku. Postupně jsme prováděli výboje v tokamaku a měnili jejich parametry tak, abychom dosáhli delší doby trvání výboje a větší energie a počtu runaway elektronů. Standardní výboj s minimálním počtem runaway elektronů je zobrazen na Obr. 3. Při určitých delších výbojích jsme však zaznamenali odlišný průběh proudu procházejícího plazmatem a s tím spojený vyšší počet runaway elektronů. Důkazem je Obr. 4, kde plazma již téměř vymizelo a poté se opětovně zažehlo. Vytvořili jsme proto dvě spektra; před částečným uhasnutím plazmatu a po jeho opětovném zažehnutí, to je zobrazen na Obr. 5 a Obr. 6. Jejich průběh je velmi podobný.



Obrázek 5: Průběh energie a spektrum nestandardního výboje. Tečkovaná čára značí čas, kde byl výboj rozdělen. Mezi čárkovanými čarami je přítomno plazma v komoře tokamaku. Výboj č. 45335.



Obrázek 6: Jednotlivá spektra rozděleného nestandardního výboje. Výboj č. 45335.

## 5 Shrnutí

Zaměřili jsme se na problematiku detekce rentgenového a gama záření pomocí polovodičových detektorů Timepix3. Ověřili jsme jejich funkčnost a vyzkoušeli s nimi detekci kosmického záření. Poté jsme provedli několik výbojů na tokamaku GOLEM a změřili rentgenové záření vytvářené runaway elektrony. Nalezli jsme nestandardní výboj plazmatu na tokamaku GOLEM, při kterém vzniklo velké množství rentgenového záření.

## Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu školiteli Ing. Štěpánu Malcovi za jeho obětavou pomoc v celém průběhu naší práce na projektu. Dále bychom rádi poděkovali Ing. Vojtěchu Svobodovi CSc. za organizaci Týdne vědy na Jaderce, v rámci kterého naše práce vznikla, za možnost využití tokamaku GOLEM, kterou nám dal, a rovněž za uvedení do problematiky tokamaků.

## Odkazy

- [1] AKOVALI, Y.A. Nuclear Data Sheets Update for A = 241. Nuclear Data Sheets [online]. 1994, 72(1), 191-219 [cit. 2024-06-18]. ISSN 00903752. Dostupné z: doi:10.1006/ndsh.1994.1024
- [2] Tokamak GOLEM wiki [online]. [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/FrontPage
- [3] Shot #45324. Tokamak GOLEM Shot Database [online]. 2009 [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/45324/
- [4] Shot #45335. Tokamak GOLEM Shot Database [online]. 2009 [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/45335/

# Měření Planckovy konstanty skrze fotoemisní jev

Jakub Jan Růžička<sup>1</sup>, Gabriel Hamrle<sup>2</sup>, Lucie Boušková<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Jana Keplera, Praha; xruzja02@gjk.cz <sup>2</sup>Gymnázium Jana Keplera, Praha; xhamga01@gjk.cz <sup>3</sup>České reálné gymnázium, s. r. o., České Budějovice; lucie.bouskova13@post.cz

Ing. Josef Bobek; ČVUT FJFI

#### Abstrakt

Cílem našeho miniprojektu bylo experimetálně zjistit Planckovu konstantu, jednu z nejdůležitějších fundamentálních konstant ve fyzice a kvantové mechanice. Na základě experimentu s využitím fotoemisního jevu nám vyšla konstanta celkem přesně. V práci jsme také ukázali, co znamená takzvaná prahová frekvence určující materiál katody, jež je též přímo úměrná změřené energii emitovaného elektronu.

# 1 Úvod

Na přelomu 19. a 20. století Heindrich Hertz poprvé pozoroval fotoemisní jev, který byl více prozkoumán o něco později jeho asistentem Phillipem Lenardem. Lenard připojil k elektrickému obvodu s mikroampérmetrem fotobuňku s anodou a katodou, která byla vyrobena z fotoemisního materiálu. Následně osvětloval fotoemisní povrch světlem o různých intenzitách a frekvencích. Vzniklý fotoelektrický proud byl dostatečně malý, aby jej bylo možné změřit mikroampérmetrem. Záporný pól zdroje napětí připojil k desce, která nebyla vystavena záření. Zvyšováním napětí došlo k jevu, kdy rozdíl potenciálů byl příliš velký a elektrony se vracely zpět, tedy obvodem netekl žádný proud. Naopak když bylo napětí nízké, tak proud byl zkreslen mikroampérmetrem.

Výsledky Lenardova experimentu tedy neodpovídaly klasické teorii fotoelektrického jevu. Fyzikální podstatu tohoto efektu objasnil na začátku 20. století Albert Einstein, který využil Planckovu teorii, že světlo je kvantováno (skládá se z malých nerozdělitelných částí, později známé jako fotony).

Max Planck k této teorii došel při vysvětlování a měření záření absolutně černého tělesa. Jak Planckova, tak Einsteinova teorie o kvantování světla byly v souladu a staly se základem kvantové mechaniky.

V Einsteinově vysvětlení je energie fotoelektronů  $E_e$ lineárně úměrná frekvenci fotonů fdopadajících na materiál

$$E_e = hf - hf_0 \tag{1}$$

kde Planckova konstanta h určuje sklon funkce a fotoelektrický jev má minimální prahovou frekvencí  $f_0$ , která závisí na materiálu katody.

## 2 Experimentální postup

### 2.1 Pracovní pomůcky

Při měření jsme využili fotoelektrickou buňku, vysokotlakou rtuťovou lampu, zdroj napětí, irisovou clonu, čočku (f = 100 mm), optickou lavici, 2 optické jezdece (90 mm), 3 optické jezdece (120 mm), a interferenční filtry (578 nm, 546 nm, 436 nm, 405 nm, 365 nm). Teoretické sestavení můžete vidět na Obrázku 1. Námi sestavenou aparature lze vidět na Obrázku 3.



Obrázek 1: Aparatura pro měření Planckovy konstanty: (a) rtuťová lampa, (b) clona, (c) čočka, (d) interferenční filtr, (e) fotobuňka, (f) kondenzátor, (g) připojení optické lavice k obvodu, (h) uzemnění.[1]

Na zesílení a odečet signálu jsme využili STE klíčový spínač, zesilovač elektometru, STE kondenzátor (100 pF, 630 V), voltmetr, BNC adaptér. Obvod zesilovače lze vidět na Obrázku 2.



Obrázek 2: Obvod zesilovače pro měření mezního napětí. [1]



Obrázek 3: Aparatura pro měření Planckovy konstanty.

### 2.2 Měření

Planckovu konstantu jsme měřili na optické lavici, kterou jsme měli připojenou k obvodu se zesilovačem elektrometru pro měření mezního napětí  $V_{\rm stop}$ . Mezní napětí je spojeno s maximální kinetickou energií elektronu

$$E_e = eV_{\text{stop}},\tag{2}$$

kde e je elementární náboj. Měřili jsme velikosti mezního napětí  $V_{\rm stop}$  v závislosti na vlnové délce světla  $\lambda$ , které dopadalo do fotobuňky přes jednotlivé interferenční filtry. Měření jsme opakovali pro čtyři různé polohy clony, které odpovídají různým intenzitám světla. Celkové měření jsme zopakovali.

# 3 Experimentální výsledky

Naměřená data jsme zpracovávali v programovacím jazyce Python s knihovnou SciPy, jednotlivými naměřenými body jsme fittovali přímku, jejíž směrnice určuje naměřenou Planckovu konstatu. V grafech na Obrázku 4 je E maximální kinetická energie elektronu, kterou spočítáme pomocí rovnice 2. Při prvním měření nám vážená průměrná hodnota se standardními odchylkami Planckovy konstanty vyšla  $h = (2, 323 \pm 0, 003) \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$  Při druhém měření po zlepšení aparatury měla Planckova konstanta hodnotu  $h = (3, 743 \pm 0, 004) \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ . Průměr clony se postupně zmenšoval od Clony 1 (nejvyšší intenzita světla) do Clony 4 (nejnižší intenzita světla).



Obrázek 4: Maximální kinetická energie elektronů E v závislosti na frekvenci f a otevření clony (intenzitě světla). První měření Planckovy konstanty (vlevo). Druhé měření Planckovy konstanty (vpravo.)

## 4 Závěr a disukze

Naměřili a ověřili jsme Planckovu konstantu pomocí fotoelektrického jevu. Sestavili jsme aparaturu, která usměrňuje paprsek ze silného světelného zdroje na úzký světelný svazek. Části aparatury jsou pohyblivé, což mohlo zapříčinit nepřesnosti v měření. Při druhém měření jsme zvětšili plochu katody, na kterou dopadal světelný paprsek. Rozdíly aparatury byly patrné ve výsledcích měření, kdy provedené úpravy zajistily hodnoty přibližující se k reálné hodnotě Planckovy konstanty. Pro ještě přesnější měření bychom mohli použít laserový paprsek nebo lépe odstíněnou aparaturu. Námi změřená Planckova konstanta v prvním měření činila  $h = (2,323 \pm 0,003) \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ , druhé měření  $h = (3,743 \pm 0,004) \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$  se blíží reálné hodnotě Planckovy konstanty  $h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ . Z měření se také dá určit hondnota  $b = -W_0 = (1,3065 \pm 0,0025) \text{ eV}$ , která určuje energii potřebnou k vyražení elektronu z valenční vrstvy.

# Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu garantovi miniprojektu Ing. Josefu Bobkovi, Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a celému týmu akce Týden vědy.

## Odkazy

- KF, K. Návod: Úloha 11 Měření kvantových vlastností atomů: Měření Planckovy konstanty. 2021.
- LEYBOLD. Determining Planck's Constant Selection of Wavelengths Using Interference Filters on the Optical Bench. 2021. Dostupné online z: https://www.lddidactic.de/documents/en-US/EXP/P/P6/P6143\_e.pdf [cit. 18.6.2024].
- 3. WIKIPEDIE. *Planckova konstanta*. 2024. [online] https://cs.wikipedia.org/ wiki/Planckova\_konstanta [cit. 18.6.2024].

# Michelsonův experiment - Souboj přesnosti měření s kolemjedoucí tramvají

B. Moncoľová<sup>1</sup> and E. Bednářová<sup>2</sup>

 $^1{\rm G}$ Antona Bernoláka, Senec; babmon4@gmail.com $^2{\rm G}$ Otokara Březiny a SOŠ Telč; bednarovaeliska236@gmail.com

M. Svoboda, školitel; KF FJFI ČVUT

#### Abstrakt

V miniprojektu jsme složili interferometr, pomocí kterého jsme určili vlnovou délku laseru. Dále jsme sestavili, několik experimentů využívajícíchi difrakci a určili jsme šířku otvoru, kterým procházel paprsek laseru.

# 1 Úvod

Na konci 19. století se předpokládalo, že světlo, podobně jako zvuk, je mechanické vlnění šířící se látkou nazvanou éter. Jelikož má světlo vysokou rychlost, předpokládalo se, že tato látka má velice nízkou hustotu, je všudypřítomná a v prostotu vesmíru je nehybná. Pro důkaz éteru sestrojil v roce 1881 americký fyzik Albert Abraham Michelson experiment, který však přítomnost éteru vyvrátil. To otevřelo prostor pro nové teorie a vedlo k popsání obecné teorie relativity Albertem Einsteinem. Tato teorie předpověděla existenci gravitačních vln, k jejichž detekci se Michelsonův interferometr ve větším měřítku používá v současnosti. Gravitační vlny byly poprvé detekovány v roce 2015 na experimentu LIGO a za tento objev byla roku 2017 udělena Nobelova cena za fyziku.

Světlo je elektromagnetické záření a jednou z jeho vlastností je dualismus, což znamená, že má zároveň částicový i vlnový charakter. V experimentu se projevuje jeho vlnová povaha, což vede ke skládání vln (destruktivní a konstruktivní superpozice), které lze pozorovat v interferenčních maximech a minimech. Vlnovou povahu tedy lze dokázat pomocí tzv. interferenčních jevů, které dělíme na interferenci a difrakci. Interference je skládání vln z diskrétních bodových zdrojů, zatímco difrakce je skládání vln ze spojitě rozložených zdrojů.

Laser je optický zdroj elektromagnetického záření. Světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku, je koherentní a monochromatické.

## 2 Michelsonův interferometr

Cílem bylo na základě korelace mezi změnou interferenčního obrazce a změnou délky dráhy paprsku vypočítat vlnovou délku laserového svazku a porovnat ji s hodnotou uvedenou výrobcem  $\lambda = 633$  nm. Pro experiment jsme použili laser, rozptylku, dvě zrcadla a polopropustnou skleněnou destičku, která musela být umístěna pod úhlem 45°(viz Obrázek 1). Výsledný interferenční obrazec jsme promítali skrze rozptylku na stínítko.

Při měření jsme měnili polohu jednoho ze zrcadel o hodnotu  $\Delta x$ , přičemž jsme počítali počet tranzic interferenčních maxim. V případě Michelsonova interferometru je dráhový rozdíl  $\Delta l$  dvojnásobkem posunu zrcadla  $\Delta x$ . V případě maxim tedy platí pro vlnovou délku laseru vztah:

$$\lambda = \frac{\Delta l}{n} = \frac{2\Delta x}{n},$$

kde n je počet tranzicí interferenčních maxim <br/>a $\lambda$  je vlnová délka laseru.



Obrázek 1: Schéma Michelsonova interferometru. Převzato z [1].

Měření jsme provedli pro tři různé hodnoty  $\Delta x$  a pro každé  $\Delta x$  jsme provedli 10 měření, měli jsme tedy celkem 30 naměřených hodnot. Pro každé  $\Delta x$  jsme chybu odhadli na  $10^{-3}$  mm a chybu  $\Delta n$  jsme odhadli pro každé  $\Delta x$  jinou ( $\Delta x = 0,025$  mm -  $\Delta n = 6$ ;  $\Delta x = 0,01$  mm -  $\Delta n = 3$ ;  $\Delta x = 0,005$  mm -  $\Delta n = 2$ ). Tyto chyby jsme poté zahrnuli do výpočtu výsledné chyby a výslednou hodnotu  $\lambda$  jsme vypočítali pomocí váženého průměru.

Výsledná hodnota nám vyšla $\lambda = (683 \pm 19)$  nm a hodnota uvedená výrobcem je $\lambda = 633$  nm.

## 3 Difrakce

Difrakci lze pozorovat na otvoru konečných rozměrů, kdy otvor již nelze aproximovat bodovým zdrojem, ale jedná se o nekonečné množství spojitě rozložených zdrojů. Na stínítku poté vzniká difrakční obrazec, ze kterého jsme určovali rozměrv otvoru.

V experimentu jsme použili laser vyzařující na vlnové délce  $\lambda = 633$  nm, jehož paprsek jsme pomocí Keplerova dalekohledu zúžili. Tento paprsek dále procházel otvorem a poté jsme ho pomocí 2 zrcadel nasměřovali na stěnu, která sloužila jako stínítko.

V experimentu jsme vždy měili vzdálenost minim (v případě mřížky jsme měřili maxima) a od středu obrazce. Pro velikost otvoru d poté platí:

$$d = \frac{m\lambda\sqrt{l^2 + a^2}}{a},$$

kde m je řád minima (kdy střed obrazce je nultého řádu),  $\lambda$  je vlnová délka laseru a l je vzdálenost od otvoru ke stínítku.

U každého měření jsme odhadli chyby, které jsme následně zahrnuli do výpočtu chyby výsledku a výslednou hodnotu d jsme spočítali pomocí váženého průměru.



Obrázek 2: Schéma průchodu paprsku Keplerovým dalekohledem. Převzato z [2]

### 3.1 Difrakce na mřížce

Optická mřížka je obvykle skleněná destička s nanesenou měkkou vrstvou, do níž jsou diamantem vyryty rovnoběžné vrypy o stejné šířce a stejné vzájemné vzdálenosti středů sousedních vrypů d (v našem případě 600 vrypů / mm).

Vzdálenost a jsme vždy měřili pro maximum 1. a 2. řádu pro 3 různé vzdálenosti l. Chyby měření jsme odhadli na  $\Delta l = 0,5$  cm,  $\Delta a = 0,5$  cm.

Výsledná hodnota dnám vyšla $d=(1,5640\pm0,0013)\cdot10^{-5}$ m. Hodnota uvedená výrobcem je $d=1,6667\cdot10^{-5}$ m.

### 3.2 Difrakce na štěrbině

Pozorováním difrakčního obraze jsme sa snažili určit šířku štěrbiny a následně jsme ji porovnávali s šířkou, kterou jsme na štěrbině nastavili pomocí mikrometrického šroubu. Vzdálenost a jsme vždy měřili pro minimum 1., 2. a 3. řádu (kde to bylo možné) pro 6 různych velikostí šterbiny.

Chybu měření jsme odhladli na  $\Delta a = 0,5$  cm a vzdálenost l jsme určili  $l = (10, 31 \pm 0, 05)$  m. Výsledné hodnoty d jsou v Tabulce 1.

$d_m$ [m]	$d_d$ [m]
0,00035	$0,00218 \pm 0,00012$
0,00050	$0,00332 \pm 0,00019$
0,00075	$0,00580 \pm 0,0005$
0,00085	$0,00640 \pm 0,0006$
0,00100	$0,00740 \pm 0,0008$
0,00125	$0,00883 \pm 0,00116$

Tabulka 1: Naměřené hodnoty průměrů štěrbiny;  $d_m$  - hodnota z mikrometrického šroubu;  $d_d$  - hodnota získaná měřením pomocí difrakce.

### 3.3 Difrakce na kruhovém otvoru

Obdobně jako u štěrbiny, jsme se snažili měřením vzdálenosti mimin od středu difrakčního obrazce určit průměr d otvoru, který jsme poté porovnávali s hodnotami změřenými mikroskopem.

Pro kruhový otvor je třeba do vztahu pro výpočet d dosazovat místo čísla řádu m, specifické hodnoty pro každý řád  $k_i$ . Platí  $k_1 = 1, 219, k_2 = 2, 223, k_3 = 3, 238$ . Vzdálenost a jsme vždy měřili pro maximum 1., 2. a 3. řádu (kde to bylo možné) pro 2 různé velkosti

kruhového otvoru.

Chybu měření sme odhladli na  $\Delta a = 0, 5$  cm a vzdálenost l sme určili  $l = (1031 \pm 5)$  cm. Výsledné hodnoty, jak z výpočtu z difrakce, tak z mikroskopu jsme porovnali s hodnotou uvedenou výrobcem:

	$d_d \; [\mathrm{mm}]$	$d_m \; [\mathrm{mm}]$	$d_v \; [\mathrm{mm}]$
menší otvor	$0,95\pm0,17$	$0,68 \pm 0,13$	0,5
větší otvor	$1,4\pm0,3$	$1,13\pm0,13$	1,0

Tabulka 2: Naměřené hodnoty kruhového otvoru;  $d_d$  - průměr otvoru určený pomocí difrakce,  $d_m$  - průměr otvoru určený pomocí mikroskopu,  $d_v$  - průměr otvoru uvedený výrobcem.

## 4 Diskuse

U Michelsonova interferometru se naměřená hodnota  $\lambda$ v rámci chyby neshoduje s očekávanou hodnotou. To je nejspíš způsobeno růšením experimentu otřesy v místnosti (např. při průjezdu tramvají nebo chůzí), nejasným promítnutím obrazu na stěnu, což ztížilo počítání jednotlivých tranzitů, a nepřesným určením posunutí zrcadla v důsledku otáčení šroubu.

Výsledné hodoty velikostí otvorů při difrakci se také neshodují s předpokládanou hodnotou, nejspíš v důsledku nepřesného měření vzdálednosti maxim. Zároveň obraz na stínítko nedopadal přesně kolmo. Přičemž nelze úplně přesně změřit vzdálenost jednotlivých minim, jelikož jednotlivé pruhy mají určitou tloušťku a my jsme jejich středy pouze odhadovali. K nepřesnosti mohl přispět i fakt, že jako stínítko jsme používali stěnu.

## 5 Shrnutí

V prvním experimentu jsme naměřili vlnovou délku laseru  $\lambda = (683 \pm 19)$  nm Pokus s difrakcí světla na optické mřížce nám přinesl hodnotu vzdálenosti jednotlivých vrypů  $d = (1, 5640 \cdot 10^{-5} \pm 1, 3 \cdot 10^{-8})$  m.

Třetím pokusem jsme stanovili velikost štěrbiny. Hodnoty jsou v Tabulce 1.

Během čtvrtého experimentu jsme získali velikosti průměrů kruhových otvorů, které jsou společně s hodnotami určenými pomocí mikroskopu uvedeny v Tabulce 2.

# Odkazy

- The Editors of Encyclopaedia Britannica Michelson interferometer. [B.r.]. Dostupné také z: https://www.britannica.com/technology/Michelson-interferometer. [cit. 2024-06-18].
- Kolektiv fyzikálního praktika Mikrovlny. Praha, 2024. Dostupné také z: https: //moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/729876/mod\_resource/content/6/ mikrovlny\_220404.pdf. [cit. 2024-06-18].

# Jseš hustej, nebo ne?

Tomáš Kučera<sup>1</sup>, Lukáš Machatý<sup>2</sup>, Jan Adamec<sup>3</sup>, ChatGPT<sup>4</sup> <sup>1</sup>G Jírovcova, Č. Budějovice; kucerat@jirovcovka.net <sup>2</sup>G Mozartova, Pardubice; machaty.lukas@seznam.cz <sup>3</sup>G Botičská, Praha; janadamec@post.cz <sup>4</sup>OpenAI; press@openai.com Martin Kákona; ODZ ÚJF AV ČR

#### Abstrakt:

Jseš hustej, nebo ne? To je otázka, na kterou všichni chceme znát odpověď, ale jen miony ví tu správnou odpověď. Proto si v tomto projektu postavíme detektor na miony, abychom zjistili, jestli jsme pro ně opravdu hustí, nebo ne. Naším rozhodujícím nástrojem pro detekci mionů bude scintilační detektor a Python společně s Arduinem pro jeho naprogramování. Po neprospané noci strávené sestavováním detektoru proběhne samotné měření s výzkumníkem ležícím, spícím. Nejdříve výzkumník položí detektor na noční stolek vedle fotky Vojtěcha Svobody, a poté se vzbudí o půlnoci, nevzbudí a nenaštve spolubydlícího a umístí detektor společně s fotkou Vojtěcha Svobody pod postel (důležité!). Po další neprospané noci zpracuje data a vyhodnotí, zda je opravdu hustej, nebo ne.

# 1 Úvod

#### 1.1 Miony

Miony jsou elementární částice, které jsou dle standardního modelu částic zařazeny do skupiny fermionů-leptonů. Zároveň patří mezi sekundární kosmické záření, které vzniká přibližně ve výšce 25 km v atmosféře při srážce jader primárního kosmického záření s molekulami samotné atmosféry. Srážkami jsou zde vytvářeny piony ( $\pi$ ) a kaony (K). Ty jsou tvořeny na rozdíl od běžných baryonů, jako je proton, neutron..., pouze dvěma kvarky, a proto jsou velmi nestabilní a záhy se rozpadají za vzniku mionu. Základními vlastnostmi mionu jsou záporný náboj a spin 1/2. Částice podléhají slabé interakci a jejich poločas rozpadu se rovná 2,2 µs. Přibližná klidová hmotnost mionu je 105,7 MeV/c<sup>2</sup>. [1]

Naskýtá se zde však problém: poločas rozpadu mionu je příliš krátký na to, aby vůbec dopadl na zemský povrch, a tedy i na náš detektor, ale protože se pohybuje relativistickými rychlostmi, tedy rychlostmi blízkými rychlosti světla, podléhá důsledkům speciální teorie relativity (STR) jako je dilatace času, kontrakce délek nebo nárůst hmotnosti. Následně se bude celý poločas rozpadu zdát jakožto:

$$t = t_p \cdot \gamma = \frac{t_p}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

kde  $t_p$  je poločas rozpadu mionu, 2,2 µs, řecké písmeno gama  $\gamma$  zde zastává Lorentzův faktor a  $\nu$  je jeho relativistická rychlost. [2]

### 1.2 Princip detekce

Všechny scintilační detektory fungují na prakticky stejných principech. Prvním z nich je luminiscence, kdy částice pronikající scintilátorem excitují elektrony materiálu (přeskok na vyšší energetickou hladinu). Následný brzký přechod atomu do základního stavu je doprovázen uvolněním kvanta energie – fotonu. Druhým principem je jev probíhající na křemíkovém fotonásobiči (uspořádaná soustava miniaturních fotodiod). Vyzářený foton vytvoří v křemíku pár elektron-díra, který vytvoří proud v záporně polarizované diodě. My pak zaznamenáme krátký impulz, který odpovídá úbytku energie mionu. Vhodné je pak použít detektorů více, oddělených a uspořádaných nad sebou, abychom mion rozlišili od dalších, méně pronikavých typů záření [3], [4].

# 2 Stavba a programování detektoru

### 2.1 Materiály

Pro tento projekt jsme využili šikovnou stavebnici MLAB od českého výrobce. Jedná se o jednoduchou a modulární stavebnici, která je pro tento projekt ideální. Konkrétně jsme využili procesor ATmega1284P, stabilizátor napětí na 3.3 V, analogovou paměť a USB programátor. Kromě samotné stavebnice jsme použili dva plastové scintilátory typu BC412, olověný plech k jejich oddělení a filtraci nežádoucích částic a dva moduly s fotonásobičem USTSIPM01A na bázi křemíku.

### 2.2 Postup konstrukce

Při sestavení detektoru jsme nejdříve obmotali scintilátor teflonem, abychom zabránili úniku fotonů, přičemž jsme nechali malou dírku pro samotný fotonásobič. Fotonásobič jsme poté umístili z boku na kratší stranu scintilátoru a celý celek obmotali elektrikářskou páskou, aby se zabránilo vstupu nežádoucích fotonů zvenčí. Tento postup jsme opakovali ještě jednou, mezi scintilátory jsme umístili plátek olova, který jsme k nim připevnili oboustrannou páskou. Výsledný výrobek jsme nakonec umístili do krabičky od bonbonů.

Celý detektor jsme napájeli z USB konektoru a napětí jsme snížili pomocí stabilizátoru na 3,3 V. Toto napětí jsme vedli drátky do dvou analogových pamětí. Z jedné paměti jsme paralelně vedli napětí do fotonásobiče, který jsme paralelně spojili s druhým fotonásobičem. Výstupy fotonásobičů jsme připojili na vstupy analogových pamětí. Analogový výstup z pamětí jsme připojili na analogové piny A0, A1 mikroprocesoru ATmega1284P. Reset analogových pamětí jsme připojili na digitální piny B0, B1 mikroprocesoru. Dále



Obrázek 1: Blokové schéma zapojení analogových pamětí a scintilátoru



Obrázek 2: Detektor kosmického záření

jsme umístili LED diodu na nožičku C0 pro indikaci mionů.

Poté jsme jen spojili DTR, TX a RX nožičky programátoru s odpovídajícími nožičkami procesoru a připojili napájení 5,5 V a mohli jsme začít programovat.

### 2.3 Programování

Firmware pro Arduino je napsán v jazyce Processing a jeho účelem je zpracovat signály z detektoru mionů a zaznamenat události, kdy dojde k detekci mionů. Program definuje několik konstant, jako jsou piny, na které jsou připojeny fotonásobiče, thresholdy pro detekci signálů a piny pro reset a LED diodu.

V setup() funkci je inicializována sériová komunikace a nastaveny režimy pinů. V loop() funkci se neustále čtou signály z fotonásobičů. Pokud signály z obou fotonásobičů překročí předem nadefinované thresholdy, je aktivována LED dioda a dojde k resetování analogových pamětí. Počítadlo mionů (mioncounter) se zvýší a přes sériovou komunikaci je odeslána zpráva s aktuálním počtem detekovaných mionů.

Python skript běží na počítači a je zodpovědný za logování dat přijatých přes sériovou linku z Arduina. Skript používá knihovny serial pro komunikaci se sériovým portem a pygame pro přehrávání zvuku při detekci mionů.

Na začátku skript inicializuje sériovou komunikaci s Arduinem a otevře soubor pro logování dat. Funkce read\_serial() čte data ze sériové linky po dobu určenou proměnnou duration. Když je detekován signál z Arduina, přehraje se libovolný zvukový soubor (uiiiiiii) a data se zapíší do logovacího souboru s časovým razítkem. Na začátku a na konci měření se do souboru zapíše časový záznam o zahájení a ukončení měření.

# 3 Výsledky a diskuze

Náš experiment spočíval v nočním měření počtu mionů prošlých detektorem ve dvou fázích, kdy byl nejprve umístěn vedle výzkumníka, a poté byl přemístěn pod něj. Jak je možné vidět z grafu, počet detekovaných mionů sahal k hodnotě 800 za hodinu, což rozhodně není málo. Dále je možno vyčíst, že detekce z grafu byla pravidelná, a nárůst detekovaných mionů tak lineární (po menším zanedbání...). Pokud bychom měli zvážit rozdíl vytvořený z obou grafů, vyplyne z toho, že prakticky žádný není, neboť křivky jsou téměř identické. Z toho plyne, že tělo výzkumníka husté bohužel není. Ani by nemohlo být, z našeho pohledu se sice hmota zdá rozložena spojitě, jinak řečeno kontinuálně, ovšem pokud bychom



Obrázek 4: Graf znázorňující počet mionů v 2. fázi

uvažovali pohled ze strany objektu nacházejícího se v mikrosvěte, zjistili bychom, že všechna hmota je soustředěna do jader, okolo kterých obíhají záporné elektrony, a okolo už pouhé prázdno a nic. Zkráceně má hmota, takže i výzkumník, strukturu diskrétní. [5]
# 4 Závěr

Závěrem bychom rádi uvedli, že se nám funkční detektor kosmického záření i přes všechny potíže postavit a naprogramovat podařilo. Výsledky experimentu nasvědčují, že nejen výzkumník ale i hmota okolo hustá opravdu není hustá

# Poděkování

Děkujeme celému organizačnímu týmu Týdne vědy na Jaderce za uskutečnění tak úžasné akce, díky níž jsme si mohli vyzkoušet jak simulátor vědce, tak i chudého študáka. Konkrétně děkujeme Ing. Vojtěchovi Svobodovi, CSc., který po celou dobu měření dohlížel na detektor i se spícím výzkumníkem. Nesmíme samozřejmě opomenout Ing. Martina Kákonu, Ph.D., který nás celým projektem provázel – od fungování osciloskopu, přes zajímavé diskuze, až po exkurzi do vyhlášeného Alberta na Kobylisích

## Reference

- [1] KLECZEK, Josip. Vesmír kolem nás. Praha: Albatros, 1986
- [2] Speciální relativita. Online. Aldebaran. 2018. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/astrofyzika/gravitace/str.php. [cit. 2024-06-18]
- [3] Silicon photomultiplier. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon\_photomultiplier. [cit. 2024-06-18].
- [4] Scintilační detektory. Online. Wikipedie Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Scintila%C4%8Dn%C3%AD\_detektor. [cit. 2024-06-18].
- [5] Kinetická teorie stavby látek. Online. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/562-kineticka-teorie-stavby-latek. [cit. 2024-06-18]

## Ověření zákona lomu počítačovou simulací

J. Stříteský

Gymnázium, Pardubice, Mozartova 449

jistrites@gmail.com

Ivan Richter, Pavel Kwiecien, Milan Burda, školitelé – KLFF FJFI ČVUT v Praze

#### Abstrakt:

Práce ukazuje platnost zákona lomu v porovnání s numerickým výpočtem na počítači. Jsou diskutovány různé hodnoty indexu lomu a různé konfigurace vstupní elektromagnetické vlny. Počítačové simulace jsou provedeny metodou FDTD v programu Ansys Lumerical.

## 1 Úvod

Rychlost světla ve vakuu je konstantou (označujeme písmenem *c*) a má hodnotu 299792458 ms<sup>-1</sup>. Pokud světlo vstoupí z vakua např. do dielektrického materiálu, tak se jeho rychlost sníží na rychlost *v*. Takto můžeme definovat materiálovou optickou konstantu – index lomu *n* jako podíl rychlosti světla ve vakuu vůči rychlosti světla v materiálu n = c/v. Pro izotropní dielektrické materiály je typická hodnota indexu lomu mezi hodnotama 1 až 4. Pro další typy materiálů to již nemusí být reálné kladné číslo (kovy – komplexní číslo). Celá řada materiálů se v přírodě chová komplikovaněji a pro jejich popis je zapotřebí uvažovat index lomu v podobě tenzoru, tím lze zohlednit materiálovou disperzi vůči polarizaci a různým směrům šíření dané vlny. Dodejme, že polarizací vlny se rozumí orientace vektoru elektrického pole vůči rovině dopadu, určenou rozhraním a směrovým vektorem šíření vlny. Leží-li elektrický vektor v rovině dopadu, jedná se o p-polarizaci, je-li orientován kolmo na rovinu dopadu jedná se o s-polarizaci.



**Obrázek 1**. Zákon lomu, znázornění směru šíření paprsku (červená přímka) v rovině dopadu definovanou rozhraním a vektorem šíření vlny, při průchodu z prostředí s indexem lomu  $n_1$  do prostředí s indexem lomu  $n_2$  ( $n_2 < n_1$ ). Obrázek převzat z

https://cs.wikipedia.org/wiki/Snell%C5%AFv\_z%C3%A1kon#/media/Soubor:Snelluv\_zakon.svg

Uvažujme rozhraní mezi izotropními prostředími s indexem lomu  $n_1$  a prostředím s indexem lomu  $n_2$ . - viz obrázek 1 Postupuje-li rovinná vlna směrem k rozhraní pod úhlem  $\alpha_1$ , tak se na tomto rozhraní částečně odráží, opět pod úhlem  $\alpha_1$  (na druhou stranu od normály) a částečně prochází do druhého prostředí, pro výchozí úhel  $\alpha_2$  platí zákon lomu - Snellův zákon [1]

$$n_1\sinlpha_1=n_2\sinlpha_2$$

Pro různé konfigurace vstupní vlny (úhel, polarizace) mohou nastat různé situace (Brewsterův úhel, totální odraz, ...), které budeme dále zkoumat.

## 2 Simulace

Simulace se prováděly v programu Ansys Lumerical FDTD [2]. Tato metoda řeší Maxwellovy rovnice [3] pomocí konečných diferencí v časové doméně (anglická zkratka FDTD) [4].

Význam veličiny indexu lomu pro izotropní prostředí názorně ukazuje simulace na obrázku 2, který znázorňuje, v řezu dvou prostředí, prvního o indexu lomu 1 a druhého o indexu lomu 3, vývoj hodnot elektrického pole. Z obrázku je patrné, že po vstupu rovinné vlny do druhého prostředí se vlnová délka vlny zmenšila na  $\frac{1}{3}$  původní vlnové délky ve vakuu, to tedy znamená, že za daný časový interval urazila vlna v druhém prostředí o indexu lomu 3 třetinovou vzdálenost oproti vzdálenosti ve vakuu, jež má hodnotu indexu lomu n = 1. Na průběh křivky náležící prvnímu prostředí je mimo jiné patrný vliv odražené vlny.



**Obrázek 2**. Simulace vývoje hodnot elektrického pole rovinné vlny při kolmém dopadu vlny z vakua do prostředí s indexem lomu n = 3.

Dále může být úhel dopadu různý od nuly. V tomto případě jsme porovnali zákon lomu s numerickou simulací. Po dosažení zadaných hodnot do zákona lomu vyšel výstupní úhel stejně jako v simulaci. Ukázka vývoje v určitém čase je vidět na obrázku 3.



**Obrázek 3**. Simulace zákona lomu, vlna postupuje z vakua do prostředí s indexem lomu 3. Šipky po řadě ukazují dopadající, odraženou a do druhého prostředí prošlou vlnu.

Při detailnější diskuzi zákona lomu zjistíme, že pokud vstupuje záření z prostředí s vyšším indexem lomu do prostředí s nižším indexem lomu, tak může nastat případ tzv. totálního odrazu [5], kdy se jednoduché rozhraní chová stejně jako zrcadlo. Mezní úhel dopadu (bráno od kolmice k rozhraní) po jehož překročení nastává totální odraz lze snadno zjistit ze Snellova zákona viz úvod, dodejme, že tento úhel je nezávislý na polarizaci dopadající vlny.



Obrázek 4. Simulace totálního odrazu, vlna se zcela odráží od rozhraní.

Materiálovým inženýrstvým, speciálním návrhem struktury a kombinací materiálů, je možné vytvořit prostředí, které se svými vlastnostmi vymyká od materiálů běžně se vyskytujících v přírodě. Pro takováto prostředí se vžilo označení metamateriál. Na obrázku 5 je uvedena simulace vývoje intenzity elektrického pole dopadající vlny v podobě Gaussova svazku interagující s metamateriálem, jehož efektivní hodnota indexu lomu je blízká -1.



**Obrázek 5**. Simulace metamateriálu (prostřední část), může docházet ke vzniku záporného indexu lomu n = -1 (vlnová délka je 760 nm), vstupní vlna se v tomto případě láme "podivně".

# 3 Shrnutí

V rámci tohoto příspěvku jsme se seznámili se základními vztahy popisu a jevy, které mohou nastat při dopadu elektromagnetické vlny na rozhraní dvou optických prostředí. Věnovali jsme se především veličině indexu lomu, Snellově zákonu a případu totálního odrazu.

## Poděkování

Poděkování patří organizačnímu výboru Týdne vědy na Jaderce, zejména pak Vojtěchu Svobodovi jako hlavnímu organizátoru této akce.

## Reference

- Snell's law. Online. Dostupné z: <u>https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s\_law</u>. [cit. 2024-06-18].
- [2] Ansys Lumerical FDTD. Online. Dostupné z: <u>https://www.ansys.com/products/optics/fdtd</u>. [cit. 2024-06-18].
- [3] *Maxwell's equations*. Online. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%27s\_equations. [cit. 2024-06-18].
- [4] Finite-difference time-domain method. Online. Dostupné z: <u>https://en.wikipedia.org/wiki/Finite-difference\_time-domain\_method</u>. [cit. 2024-06-18].
- [5] Total internal reflection. Online. Dostupné z: <u>https://en.wikipedia.org/wiki/Total\_internal\_reflection</u>. [cit. 2024-06-18].
- [6] Metamaterial. Online. Dostupné z: <u>https://en.wikipedia.org/wiki/Metamaterial</u>. [cit. 2024-06-18].

## Metoda Monte Carlo a Markovské řetězce

Ondřej Matyšek, Václav Hudský, Matouš Richter, Miroslav Holeček, Kryštof Basista

Gymnázium ALTIS, Gymnázium dr. V. Šmejkala,

Gymnázium Tanvald, Masarykovo Gymnázium Plzeň, Gymnázium Josefa Kainara

ondramat007@gmail.com, vasek.hudsky@gmail.com,2018-richtermatous@gymtan.cz

miroslav.holecek. 188<br/>b@mgplzen.cz, basista@student.ghlucin.cz

18. 6. 2024, MFF UK, Karlín, Sokolovská 49/83

#### Abstrakt

Tato práce se zabývá řešením úlohy týkající se vzorkováním z předem stanovené Boltzmannovy distribuce (Isingův model) a její analýzy k zodpovězení zadaných otázek za pomoci metody Monte Carlo a Markovských řetězců (zkráceně MCMC). Prvně si představíme základní pojmy a znalosti společně s příklady nutnými k pochopení naší úlohy. V druhé části se podíváme na průběh, metody řešení a výsledky, které jsme získali a jejich intepretaci. Nakonec v závěru shrneme úspěšnost naší práce a její implikace.

### 1 Teoretický úvod

Začněme představením jednotlivých termínů a pojmů, které budeme v naší práci používat. Markovský řetězec je množina stavů S popisující náhodný diskrétní proces, kde platí, že pravděpodobnost přechodu do následujícího stavu závisí pouze na současném stavu a ne na předchozích stavech, tj.  $\mathbb{P}[X_{k+1} = y \mid X_k = x] = p(y|x)$  (funkce závislá pouze na x, y).

Zajímavý příklad výskytu Markovských řetězců je třeba tato úloha, při které nám rozdělení relaxuje na Sierpenského trojúhelník. Úloha je konstruována tak, že si v rovnostranném trojúhelníku ABC zvolíme náhodý bod  $X_1$ , a následně do náhodného vrcholu A, B, C vedeme přímku tímto bodem. Ve středu nově vzniklé úsečky  $X_1A, X_1B$ 



Obrázek 1: Sierpenského trojúhelník vygenerovaný náhodnými body

nebo  $X_1C$  bude ležet nový bod  $X_2$ . Tento proces následně mnohokrát opakujeme a krásně na něm vidíme, že každý bod je určen pouze tím bodem bezprostředně předešlým a ne celou řadou předchozích. Po velkém množství opakování nám vyjde obrazec totožný Sierpenskému trojúhelníku (obrázek ??).



Obrázek 2: Markovův řetězec hodu kostkou

Další zajímavé využití Markovských řetězců je například u úloh s hodem kostkou. Budeme mít takovouto úlohu: Kolikrát musí člověk hodit kostkou, aby potkal všechna čísla od 1 - 6? Jednotlivé body znázorňují počet čísel, která jsme už hodili. Šipky nám ukazují, jak velká je pravděpodobnost přechodu do dalšího stavu. Například: po prvním hozeném čísle vídíme, že je šance 1/6, že hodíme to stejné číslo a počet čísel se nezmění a šance 5/6, že se počet čísel již hozených zvýší. Z tohoto diagramu lze už vypočítat průměrný počet hodů, potřebný k potkání všech čísel 1 - 6 (Obrázek ??).

Monte Carlo je numerická metoda využívající vzorkování dat a jejich extrahování za účelém zjištění charakteristik dat. Tohoto se využívá například u počítání kumulativních distribučních funkcí (CDF z ang. "*Cumulative distribution function"*)  $P_X(x) \stackrel{\text{def}}{=} \mathbb{P}[X \leq x]$  za pomocí mnoha funkčních hodnot neznámé hustoty (PDF z ang. "*Probability distribution function"*)  $p_X(x) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d}{dx}(P_X(x))$  a počítání jejich relativních četností a jejich zařazování do uměle vytvořených intervalů.

Příklad použití této metody je například na zjištění  $P_Y(y)$ , jestliže víme:  $Y = X^2$ a  $X \sim \text{Unif}(0, 1)$ . Po mnoho iteracích a procesu popsaném výše dostaneme naši výslednou  $P_Y(y) \approx \sqrt{y}$ . Dále po numerické derivaci dostaneme distribuční funkci  $p_Y(y) \approx \frac{1}{2\sqrt{y}}$ , kterou vidíte na Obrázku ??. Rovněž pomocí této metody můžeme vzorkovat data a zjistit jejich očekávanou hodnotu  $\mathbb{E}X \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{n\to\infty} \bar{x}_n$ , kde  $\bar{x}_n$  je aritmetický průměr. Při zpracování dat je také důležité řešit standardní odchylku  $s_n = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$ . Ta udává variabilitu dat od daného průměru.



Obrázek 3: distribuční funkce

Kombinací těchto dvou metod je výše zmiňovaná MCMC (Monte Carlo Markov chain) metoda. V této metodě známe počáteční funkci f(x), kdy  $f(x) \propto p(x)$  (cílové rozdělení). Uvažujme, že naše rozdělení p(x) je stacionární rozdělení nějákého Markovova řetězce, z něhož budeme vzorkovat. Zvolíme si nějakou počáteční hodnotu  $x_0$  libovolně, a dále budeme generovat řetězec ( $x_0, x_1, x_2, \ldots$ ). Pro danou hodnotu  $x = x_k$  navrhujeme přeskok do y z rozdělení  $q(\bullet|x)$ . které lze volit libovolně. Následující hodnota řetězce  $x_{k+1}$  je volena jako y s pravděpodobností  $\alpha(y|x)$  (akceptace), jinak volíme znovu  $x_{k+1} = x$  (rejekce). Akceptační poměr spočteme pomocí volby Metropolis-Hastings [?]

$$\alpha(y|x) = \min\left\{1, \frac{f(y)q(x|y)}{f(x)q(y|x)}\right\}.$$
(1)

Jestliže máme spočítaný akceptační poměr, stačí nám si vygenerovat náhodné číslo rovnoměrně rozdělené  $(U \sim \mathsf{Unif}(0, 1))$  na intervalu (0, 1) a jestliže toto číslo bude menší, tak y akceptujeme a jestliže ne, tak ho odmítneme.

### 2 Zjednodušený Isingův model

#### 2.1 Zadání

Pomocí MCMC jsme řešili otázky v následujícím modelu: Je dán prostor bodů  $\Lambda = \{0, 1, 2, \dots, 255\}^2$  a každý bod  $\lambda \in \Lambda$  může být ve dvou stavech:  $x(\lambda) \in \{0, 1\}$ . Za pomocí těchto stavů je definována energie daného rozdělení stavů x:

$$E(x) = \sum_{\{\lambda,\lambda'\}: \|\lambda - \lambda'\| = 1} |x(\lambda) - x(\lambda')|, \qquad (2)$$

kde součet probíhá přes sousední políčka (nahoru/dolu, doleva/doprava). Dále známe, do jaké distribuce bude naše náhodné rozdělení relaxovat

$$\pi(x) = \frac{1}{Z} \exp\left(-\frac{E(x)}{k_B T}\right).$$
(3)

V našem modelu volíme  $k_B = 1$  a Z volit nemusíme, protože nám stačí úměrnost k rozdělení. Nyní musíme za pomocí těchto znalostí a metody MCMC splnit následující úkoly:

- Vykreslete závislost průměrné energie  $\overline{E}$  na teplotě.
- Nechme C být počet černých regionů. Vykreslete závislost očekávané hodnoty C a teploty.
- Nechme L být pravděpodobnost výskytu perkolací (shlukování do uzlů a jejich následná možnost vytvoření řetězce, spojujícího vrchol a spodek viz Obrázek ??). Tuto hodnotu porovnáme s teplotou.

### 2.2 Řešení

Nyní si do našeho problému zaimplementujeme metodu MCMC. Náhodně si vygenerujeme počáteční stav  $x_0$  (padesátiprocentní šance, že políčko je černé) a spočítáme jeho celkovou energii  $E(x_0)$ . Následně tvoříme řetěz stavů mřížky  $(x_0, x_1, x_2, ...)$ . Pro daný stav  $x = x_k$  v řetězci navrhneme nový stav x' následovně: Náhodně zvolíme políčko  $\lambda_0 \in \Lambda$  a změníme jeho barvu, ostatní políčka zůstanou nezměněna. Není třeba počítat celkovou energii E(x'), protože se liší od E(x) jen v počtu různých sousedů  $\lambda_0$ . Pro rozdíl energií platí



Obrázek 4: Perkolace

$$\triangle(x'|x) = E(x') - E(x) = \sum_{\lambda: \|\lambda - \lambda_0\| = 1} (|x'(\lambda) - x'(\lambda_0)| - |x(\lambda) - x(\lambda_0)|).$$
(4)

Pomocí tohoto výpočtu dokážeme spočítat akceptační poměr, který se spočte vzorcem:

$$\alpha(x'|x) = \exp\left(\min\left\{0, -\frac{\triangle(x'|x)}{k_B T}\right\}\right)$$
(5)

Za pomocí procesu popsaného výše stačí vždy akceptovat či odmítnout x' a toto rozdělení bude relaxovat do rozdělení popsaného výše.



Obrázek 5: Klidová rozdělení a střední energie s teplotou



Obrázek 6: Počet blobů s teplotou

Obrázek 7: Perkolace s teplotou

### 2.3 Výsledky

Výsledky jsme zpracovali tak, že jsme vzali z 10 miliónů iterací poslední milión. Jednotlivé průměry jsou v grafech naznačeny body, vybarvená plocha značí standardní odchylku (viz Obrázky ??, ??, ??)

## 3 Závěr

V naší práci jsme řešili tři hlavní problémy v Isingově modelu, který se podobá modelu reálného plynu s nekonstatním počtem částic. První úloha se zabývala vykreslováním funkce průměrné energie s teplotou, kdy jsme získali funkci prvně rostoucí strmě a následně pomalu rostoucí. V Isingově modelu si totiž můžeme všimnout, že energie je analogická s entropií, neboť zavisí na počtu různých sousedů a tento počet se s rostoucí teplotou bude zmenšovat, neboť částice nemají tolik volných stavů energie resp. nejsou pravděpodobné. To se dá jednoduše vysvětlit, aby částice měla vysokou energii tj. měla hodně různých sousedů, tak při malých teplotách musí vzít hodně energie ostatním bodům a tedy budou částice, které mají hodně energie a ty, co mají hodně málo, ovšem z venku tento stav vypadá jinak než stavy, kde energie je rovnoměrně rozložená, tedy je to jiný makrostav a tento makrostav má mnohem méně způsobu, jak by existoval než když každá částice má přibližně stejné množství energie, neboť v tom případě můžete prakticky zaměnit každou částici s každou. Stejně jako entropie, tak růst energie bude s rostoucím množstvím možných stavů energie zmenšovat a při přechodu do vyšších teplot rapidně poroste. Druhá úloha se zabývá očekávaným počtem blobů na teplotě a lze vidět, jak bylo popsáno výše, že pro malé teploty bude blobů méně, neboť body nemají energii, při dané teplotě se rozdělit, protože to není nejpravděpodobnější. Nakonec, úloha 3 se zabývá pravděpodobností výskytu perkolací. Toto rovněž souvisí s entropií, neboť když se body více kupí, tak je větší šance, že povedou od shora dolů (existuje i kritická Curiova teplota). Tedy jejich počet bude klesat stejně jako množství blobů, což jsme již zjistili.

## Poděkování

Děkujeme za odborné vedení miniprojektu našemu garantovi Mgr. et Mgr. Dominiku Beckovi a za jeho trpělivost při řešení všech problémů, na které jsme v průběhu narazili. Dále děkujeme všem organizátorům a sponzorům Týdne Vědy.

## Reference

- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., and Teller, E. Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. Journal of Chemical Physics, 21, 1087-1092. (1953)
- [2] Lague, S. [unity] procedural cave generation (E01. cellular automata). YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=v7yyZZjF1z4. (2015)
- [3] Ising, E. Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus. Zeitschrift f
  ür Physik, 31, 253-258. (1925)

## Může příliš mnoho chladiv v jaderném reaktoru vadit?

L. Gavlová\*, T. Havlíček\*\*, J. Kožnar\*\*\*

\*PORG Ostrava, \*\*První české gymnázium v Karlových Varech, \*\*\* Střední průmyslová škola Třebíč

\*gavlovalucie@porg.cz, \*\*theodorhavlicek@gmail.com, \*\*\* koznarj.04@spst.eu

#### Abstrakt:

Jaderné reaktory jsou v dnešním světě klíčových zdrojem energie, jejich návrh a konstrukce je náročná a každá změna v designu může vést k dosti odlišným výsledkům. V našem miniprojektu jsme se zabývali roztečí jednotlivých palivových proutků a hledali její optimální hodnotu z hlediska moderačních a absorpčních vlastností moderátoru. Dále byl otestován vliv různých typů moderátoru na reaktivitu reaktoru.

# 1. Úvod

Jaderné reaktory jsou klíčovým zdrojem pro výrobu energie. Využívají principu štěpení těžkých jader uranu za přítomnosti moderátoru. Moderátor je využit pro zpomalení rychlých neutronů na úroveň tepelných neutronů, čímž se zvyšuje pravděpodobnost absorpce a následného rozštěpení jádra <sup>235</sup>U. Jako palivo se nejčastěji využívají směs <sup>238</sup>U obohaceného o <sup>235</sup>U do 5%.

Pro popis míry štěpení se využívá veličina jménem koeficient násobení, jež lze vyjádřit poměrem mezi počtem neutronů současné generace  $N_i$  a předchozí generace  $N_{i-1}$ :

$$k_{ef} = \frac{N_i}{N_{i-1}}.$$

Rozlišujeme 3 stavy štěpení:

 $k_{ef} = 1 \rightarrow \text{kritický stav} - \text{zánik a vznik nových neutronů je v rovnováze}$ 

 $k_{ef} > 1 \ \rightarrow$ nadkritický stav – vzniká více nových neutronům, než-li zaniká

 $k_{ef} < 1 \rightarrow \text{podkritický stav} - \text{zaniká více neutronů, než-li vzniká}$ 

Během štěpné reakce dochází vlivem absorpce neutronu jádrem těžkého atomu (například uranu) k rozštěpení jádra a současně k emisi dalších 2-3 neutronů. Tahle skutečnost umožňuje vznik tzv. řetězové štěpné reakce, tedy využití nově emitovaných neutronů k opětovné iniciaci štěpení dalších jader. Neutrony vzniklé při rozštěpení atomu dosahují velkých energií (střední hodnoty 2 MeV), což je činí nevhodné pro další rozvoj reakce, vhodné jsou především neutrony o nízkých energiích. Pravděpodobnost štěpení roste s klesající energií neutronu. Právě přechod nově vzniklých neutronů na neutrony pomalé, tzv. "tepelné" zajištuje moderátor, což je látka skládající se ideálně z lehkých jader, hmotnostně podobných neutronu, díky čemuž je kinetická energie rychlého neutronu účinně snížena za pomocí srážek s okolím. Takto zpomalené neutrony mají větší šanci pro rozštěpení dalších atomů.

## 2. Popis zadání

Pro výpočty optimálních vzdáleností proutků byl využit Monte Carlo transportní kód Serpent 2 a knihovnu jaderných dat ENDF/B-VIII.0. Tento program je využíván pro stanovování kritičnosti v reaktorové fyzice.

Jako moderátor byly v tomto miniprojektu uvažovány 4 možné látky:  $H_2O$ ,  $D_2O$ , směs  $H_2O$ ,  $a D_2O$  v poměru 1:1 a grafit, což jsou nejčastěji využívané moderátory pro provoz jaderných reaktorů určených na výrobu elektrické energie.

Na výpočet bylo použito obohacení  $^{238}U$  o 4,38 %  $^{235}U$ , jež se používá například v jaderné elektrárně Dukovany. Průměr proutků byl stanoven na 0,76 cm, stejně jako v elektrárně Dukovany [1].

Moderační látka	Hustota $(g/cm^3)$ při teplotě 300 K	
$H_2O$	1,00	
D <sub>2</sub> O	1,11	
směs <i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i> a <i>D</i> <sub>2</sub> <i>O</i> , 1:1	1,05	
grafit	2,20	

Ve všech případek byla uvažována hustota vztažená k teplotě 300 K (viz. Tabulka č.1)

Tabulka č. 1 [2]

## 3. Průběh výpočtů

Dohromady byly provedeny čtyři série výpočtů, při každé sérii byl využit jiný typ moderátoru viz tabulka č.1. V programu Serpent byly navoleny jednotlivé izotopy, ze kterých se zkoumaný moderátor skládá, k nim byl uveden jejich atomový poměr v molekule. Všechny parametry jsme zachovávali konstantní, kromě rozteče mezi palivovými proutky, jejich vzdálenost jsme variovali na intervalu od 7,6 mm do 55 mm. Výpočtem byly získány hodnoty koeficientu násobení, které byly zaneseny do grafu č.1 a č. 2. Obměnou typu moderátoru jsme získaly charakteristiku vše čtyř uvažovaných materiálů, které bylo možno mezi sebou porovnat.

Pro malé rozteče se jako nejlepším moderátorem jeví lehká voda, z důvodu, že lehká voda potřebuje nejméně srážek k termalizaci neutronu, viz graf č. 1. Nicméně po jisté době u lehké vody převládnou absorpční schopnosti a koeficient násobení klesá. Oblast před maximem, kde převládají termalizační účinky, se nazývá podmoderovaná a oblast za maximem se nazývá přemoderovaná. To neplatí pro těžkou vodu a grafit, kde jsou absorpční schopnosti minimální. Pro velké rozteče nejlépe vychází těžká voda, která se využívá jako moderátor v reaktorech s přírodním uranem typu CANDU.



Obrázek č. 1: závislost koeficientu násobení na rozteči pro H<sub>2</sub>O, D<sub>2</sub>O a grafit

Výroba těžké vody je nákladná a nikdy není možno dosáhnout 100% čistoty. Proto byl v dalším kroku, viz graf č. 2, uvažován poměr lehké a těžké vody 1:1. Moderační i absorpční účinky této směsi jsou mezi hodnotami lehké a těžké vody, přičemž maximum koeficientu se posouvá do vyšších roztečí.



Obrázek č. 2: závislost koeficientu násobení na rozteči pro  $H_20$ ,  $D_20$  a směs

## 4. Závěr

V rámci miniprojektu byl spočítán koeficient násobení pro různé moderátory a různé rozteče v nekonečné mřížce. Lehká voda dle výpočtů je nelepší moderátor pro malé rozteče, naproti tomu je těžká voda nejlepší podle výsledků pro velké rozteče.

## 5. Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Bc. Josefu Sabolovi za vedení projektu a jeho cenné rady Katedře jaderných reaktorů ČVUT v Praze za možnost zrealizovat tento projekt v rámci projektu Týden vědy na Jaderce 2024.

## 6. Reference

[1]https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrivbni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/technologie-a-zabezpeceni

[2] https://www.cs.m.wikipedia.org/wiki/Voda https://www.cs.m.wikipedia.org/wiki/Deuterium https://www.cs.m.wikipedia.org/wiki/Grafit

## Palindromická a antipalindromická čísla

J. Harašta<sup>1</sup>, V. Menšíková<sup>2</sup>, J. Mynář<sup>3</sup>, K. Sedláček<sup>4</sup>

<sup>1</sup>G a JŠ Břeclav; janharasta10@gmail.com
<sup>2</sup>Arcibiskupské G, Praha; mensikov@arcig.cz
<sup>3</sup>G Boskovice; zakopo185@gmail.com
<sup>4</sup>GEVO Sázavská, Praha; krystof.sedlaacek@gmail.com

A. Blažek, školitel; KM FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Práce pojednává o palindromických a antipalindromických číslech v záporných číselných soustavách. Palindromická čísla mají tu vlastnost, že jejich ciferný zápis se čte zprava stejně jako zleva. Zjistili jsme pár vlastností, které pro tato čísla platí, zobecnili jsme tyto výsledky i pro záporné soustavy a dokonce i našli vztah mezi palindromickými a antipalindromickými číslami.

## 1 Úvod

Palindromy jsou velmi zkoumané téma, avšak o antipalindromech se toto říct nedá. Chtěli jsme proto prozkoumat toto ještě neprobádané teritorium a zjistit o něm co nejvíce se dá, v limitovaném časovém intervalu - dvou dnech.

## 2 Definice a lemmátka

**Definice 1.** Nechť  $b \in \mathbb{Z}, |b| \ge 2$ . Uvažujme celé číslo *m*, jehož rozvoj základu *b* je roven

$$m = a_n b^n + \dots + a_1 b + a_0$$

kde  $a_0, a_1, \ldots, a_n \in \{0, 1, \ldots, |b|-1\}, a_n \neq 0$ . Píšeme  $(m)_b = \overline{a_n \cdots a_1 a_0}$ . Pak *m* nazýváme

1. palindromické číslo základu *b*, pokud jeho cifry splňují podmínku:

$$a_j = a_{n-j} \text{ pro všechna } j \in \{0, 1, \dots, n\},$$

$$(1)$$

2. antipalindromické číslo základu b, pokud jeho cifry splňují podmínku:

$$a_{j} = |b| - 1 - a_{n-j}$$
 pro všechna  $j \in \{0, 1, \dots, n\}$ . (2)

**Lemma 1.** Uvažujme číslo  $(m)_b$  pro  $b \leq -2$ . Congruence  $n \equiv 1 \pmod{2}$  bude platit právě když m < 0

*Důkaz.* Pro  $n \equiv 1 \pmod{2}$  bude platit

$$m = a_n(-b)^n + \dots + a_1(-b) + a_0.$$

Najděme nyní minimální hodnotu m, pro kterou bude platit, že všechny liché cifry budou minimální, neboli  $a_0, a_2, \dots a_{n-2} = 0$  a  $a_n = 1$ . Naopak všechny liché cifry bou co největší, neboli  $a_1, a_3, \dots a_{n-1} = -b + 1$ .

$$m = (b)^{n} + (-b+1)(1+b^{2}+b^{4}+\ldots+b^{n-1})$$

Pomocí vzorce pro součet konečné geometrické řady dostáváme

$$m = (b-1)(1+b+\ldots+b^{n-1}) + 1 + (-b+1)(1+b^2+b^4+\ldots+b^{n-1}),$$

což lze upravit na

$$m = (b - 1)(b + b^3 + \dots + b^{n-1}) + 1,$$

což pro  $b \leq 2$  jasně stanovuje m < 0.

Pro  $n \equiv 0 \pmod{2}$  je důkaz duální a plyne z něj m > 0.

**Lemma 2.** Jakékoliv antipalindromické číslo s lichým základem  $b \leq -3$  a s lichým počtem cifer je dělitelné  $\frac{|b|-1}{2}$ .

Důkaz. Uvažujme antipalindromické číslo  $m = a_n b^n + \cdots + a_1 b + a_0$ , kde n je sudé a b je liché. Je zřejmé, že  $b \equiv -1 \pmod{|b|-1}$ , neboli  $b \equiv -1 \pmod{\frac{|b|-1}{2}}$ . Můžeme tedy napsat

$$m \equiv a_n - a_{n-1} + \dots - a_1 + a_0 \pmod{\frac{|b| - 1}{2}}$$

Z definice antipalindromických čisel máme  $a_j + a_{n-j} = |b| - 1$ , tudíž i  $a_{n-j} - a_{n-j-1} - a_{j+1} + a_j = 0$  a  $a_{\frac{n}{2}} = \frac{|b|-1}{2}$ . Dosazením dostáváme

$$m \equiv a_{\frac{n}{2}} \equiv \frac{|b| - 1}{2} \equiv 0 \pmod{\frac{|b| - 1}{2}}.$$

*Poznámka.* Stejné tvrzení platí i pro  $b \ge 3$ , viz [1].

## 3 Palindromy v opačných soustavách

**Věta 1.** Nechť  $m, b \in \mathbb{N}, b \geq 2$ . Potom následující tvrzení jsou ekvivalentní:

- 1.  $(-m)_{-b} = \overline{\alpha_n \cdots \alpha_0}$  je palindrom,  $\alpha_i \neq 0$  pro všechna  $i \in \{0, 1, ..., n\}$  a zároveň  $\alpha_n \neq 1$ ,
- 2.  $(m)_b = \overline{\beta_n \cdots \beta_0}$  je antipalindrom se sudým počtem cifer a  $\beta_j \neq 0$  pro všechna  $j \in \{0, 2, ..., n-1\},$

přičemž oba rozvoje mají stejnou délku. Navíc toto jsou jediné případy, kdy  $(-m)_{-b}$  je palindrom a  $(m)_b$  je antipalindrom.

Důkaz. Uvažujme rovnost

$$\alpha_n(-b)^n + \dots + \alpha_1(-b) + \alpha_0 = -\left(\beta_n b^n + \dots + \beta_1 b + \beta_0\right),$$

kterou kvůli lichosti  $n \ge (1)$  (resp. podmínky) můžeme zapsat jako

$$-\alpha_n b^n + \dots - \alpha_1 b + \alpha_0 = -\beta_n b^n - \dots - \beta_1 b - \beta_0.$$
(3)

Všechny sčítance až na  $\alpha_0, \beta_0$  jsou násobky *b* a tedy aby rovnice dávala smysl, musí  $\alpha_0 + \beta_0 \equiv 0 \pmod{b}$ . Kvůli podmínce  $\alpha_i \neq 0$  (resp.  $\beta_j \neq 0$  pro sudá *j*) vidíme, že  $\alpha_0 + \beta_0 \neq 0$ . Zároveň  $\alpha_i, \beta_j \leq b - 1$  a tedy  $\alpha_0 + \beta_0 < |2b|$ . Tedy jediný způsob, jak může  $\alpha_0 + \beta_0 \equiv 0 \pmod{b}$  platit, je pokud  $\alpha_0 + \beta_0 = b$ . Dosaď me nyní tuto rovnost

$$-\alpha_n b^n + \dots - \alpha_1 b + b = -\beta_n b^n - \dots - \beta_1 b.$$

Vydělmě oboje strany číslem b a použijme opět argument s dělitelností b, čímž dostáváme

$$-\alpha_1 + 1 + \beta_1 \equiv 0 \pmod{b}.$$

Díky podmínkám  $\alpha_i \neq 0$  (resp.  $\beta_j \neq b-1$  pro lichá j) a  $\alpha_i, \beta_j \leq b-1$  máme nerovnosti  $|-\alpha_1+1+\beta_1| \leq b-1$ . Neboli jediný způsob, jak může  $-\alpha_1+1+\beta_1 \equiv 0 \pmod{b}$  je pokud  $-\alpha_1+1+\beta_1 \equiv 0$ . Dosazením této rovnosti nazpátek dostáváme

$$-\alpha_n b^{n-1} + \dots + \alpha_2 b = -\beta_n b^{n-1} - \dots - \beta_2 b$$

Když znovu vydělíme oboje strany číslem  $\boldsymbol{b}$ 

$$-\alpha_n b^{n-1} + \dots - \alpha_3 b + \alpha_2 = -\beta_n b^{n-1} - \dots - \beta_3 b - \beta_2,$$

dostaneme rovnost, která je až na indexy u cifer totožná s (3). Argument, který tedy platí po  $\alpha_0, \beta_0$  můžeme použít pro jakékoliv liché cifry  $\alpha_{2k}, \beta_{2k}$ , a podobně můžeme použít argument, který platí pro  $\alpha_1, \beta_1$  pro jakékoliv sudé cifry  $\alpha_{2\ell+1}, \beta_{2\ell+1}$ . Pro všechna  $k, \ell \in \{0, 1, ..., \frac{n-1}{2}\}$  platí tedy

$$\alpha_{2k} + \beta_{2k} = b, \qquad -\alpha_{2\ell+1} + 1 + \beta_{2\ell+1} = 0. \tag{4}$$

Jelikož  $(-m)_{-b}$  je palindrom (resp.  $(m)_b$  je antipalindrom), víme  $\alpha_i = \alpha_{n-i}$  (resp.  $\beta_j + \beta_{n-j} = b - 1$ ). Díky lichosti *n* můžeme rovnosti (4) přepsat na tvar

$$\alpha_i + \beta_i = b, \qquad -\alpha_{n-i} + 1 + \beta_{n-i} = 0.$$

Sečtením rovností dostáváme

$$\alpha_i - \alpha_{n-i} = b - 1 - (\beta_i + \beta_{n-i})$$

Všímavý čtenář si už jistě všiml, že pokud  $\alpha_i = \alpha_{n-i}$  (resp.  $b - 1 = (\beta_i + \beta_{n-i})$ , pak platí  $b - 1 = \beta_i + \beta_{n-i}$  (resp.  $\alpha_i = \alpha_{n-i}$ ), čímž je naše ekvivalence dokázána.

**Věta 2.**  $Mějme(m)_b = \overline{a_{2n}a_{2n-1}...a_1a_0} pak(m)_{-b} = \overline{(a_{2n}+1)(b-a_{2n-1})...(a_2+1)(b-a_1)a_0} pro všechna <math>a_n \in \{1, 2, ..., b-1\}$ 

Důkaz.

$$\sum_{j=0}^{2n} a_j b^j = \sum_{j=0}^{2n} a'_j (-b)^j$$

$$\sum_{j=1}^{n} b^{2j-1}(a_{2j}b + a_{2j-1}) + a_0 = \sum_{j=1}^{n} b^{2j-1}(a'_{2j}b - a'_{2j-1}) + a'_0$$

Protože  $a_n \in \{1, 2, ..., b-1\}$ , tak :  $a_0 \not\equiv 0 \mod b$ ,  $b(a_2b \pm a_1) \not\equiv 0 \mod b^2 \dots b^{2n-1}(a_{2n}b \pm a_{2n-1}) \not\equiv 0 \mod b^{2n}$ 

$$a_{2j}b + a_{2j-1} = a'_{2j}b - a'_{2j-1}, a_{2j-1} + a'_{2j-1} = b(a'_{2j} - a_{2j})$$

Protože  $a_{2j-1} + a'_{2j-1} \in \{2, 3...2b-2\} \land b | a_{2j-1} + a'_{2j-1} \text{ tak } a_{2j-1} + a'_{2j-1} = b, z \text{ cehož vyplývá}$ 

$$a'_{2j} - a_{2j} = 1 \implies a'_{2j} = a_{2j} + 1, a'_{2j-1} = b - a_{2j-1}, a'_0 = a_0$$

a tedy

 $a_0 = a'_0, a_2b + a_1 = a'_2b - a_1, \dots a_{2n}b + a_{2n-1} = a'_{2n}b - a'_{2n-1}$ 

Jesl<br/>tiže  $a_{2j-1} = 0$  pak  $a'_{2j-1} = 0$  a  $a'_{2j} = a_{2j}$ , a pokud  $a_{2j} = 0$  tak  $a'_{2j} = 1$ . Tím<br/>to jsou vyřešeny všechny možné případy

Pro některá čísla platí, že jsou palindromem v soustavě i soustavě jí opačné: např. číslo 5, u kterého  $(5)_2 = (5)_{-2} = \overline{101}$ . Tato čísla existují pouze v 3 tvarech:

- 1. triviální:  $(m)_b = \overline{10a0a...a01}$ , kde *a* je náhrada za číslici 0 nebo 1
- 2.  $(m)_b = \overline{11...1}$
- 3.  $(m)_b = \overline{1100...011}$

Důkaz 1: Na všech lichých pozicích platí, že  $b^n = (-b)^n$ , proto rozdíly čísel ovlivní pouze sudé pozice. Protože se na všech sudých pozicích nachází 0, první tvar platí.

Důkaz 2: Zjevně platí že:

$$\sum_{i=0}^{n+1} b^i = b^{2n+2} + 1 + \sum_{i=1}^n 2b^{2i} + \sum_{j=1}^{n+1} (b-1)(-b)^{2j-1}$$

Z levé strany lze zjevně zapsat číslo  $(m)_b = \overline{11...1}$ . Z pravé vypývá, že první a poslední číslice jsou 1, ze  $\sum_{i=1}^{n} 2b^{2i}$  že na ostatních lichých místech bude 2 a ze  $\sum_{j=1}^{n+1} (b-1)(-b)^{2j-1}$  že na ostatních sudých místech bude b-1

### 4 Shrnutí

Během projektu jsme zjisitli, že palindromická čísla v kladných číselných soustavách jsou často zapsána jako antipalindromická v záporných. Také jsme zjisitli, v jakých případech je číslo palindromem v kladné číselné soustavě i palindromem v soustavě jí opačné.

## Poděkování

Moc děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce, díky kterému jsme se mohli seznámit s tímto tématem. Dvakrát tak více děkujeme Adamovi Blažkovi za vedení našeho projektu a děkujeme Vám čtenářům za zájem o naše téma.

## Reference

 [1] DVOŘÁKOVÁ, Ľ.; KRUML, S.; RYZÁK, D. Antipalindromic numbers. Acta Polytechnica. 2021. Dostupné také z: https://doi.org/10.14311/AP.2021.61.0428. [cit. 2024-06-18].

# Počítačová grafika – pohled pod pokličku

\*M. Novák, \*\*K. Rudolfová, \*\*\*K. Sotona \*\*\*\*T. Toman Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
\*ma.novak@pekcloud.cz; Gymnázium Dr. Josefa Pekaře
\*\*k.rudolfova@pekcloud.cz; Gymnázium Dr Josefa Pekaře
\*\*\*kai.sotona@gmail.com; Gymnázium Špitálská
\*\*\*tomas.toman2@seznam.cz; Gymnázium Děčín

#### Abstrakt

Práce se zaměřuje na modelaci v programu POV-Ray, jeho pochopení a vytvoření vlastních modelů, které jsme potom sjednotili do celkového společného výstupu s názvem Pokoj.

# 1 Úvod

Počítačová grafika je široký obor, který se uplatňuje hlavně v zábavním průmyslu, v reklamě, a mimo jiné také ve vědě. Pro vědeckou činnost je grafika důležitá hlavně pro interpretaci a porozumění výsledkům simulací a jiných vědeckých prací. V naší práci si vyzkoušíme 3D modelování a základy programování a vytvoříme jednoduchý 3D model v programu POV-Ray.

## 2 POV-Ray

Program pracuje se základními geometrickými tvary a operacemi, jako jsou například seskupení či rozdíl. Vše se píše do textového souboru (viz Obr. 1b), což je rozdíl oproti mnohem používanějšímu programu Blender, kde se objekty vybírají z nabídky. V obou programech je možno vytvářet animace, ale vzhledem k neustále se rozšiřující nabídce v programu Blender, kterému mírně zastaralý POV-Ray v tomto ohledu nemůže konkurovat, jsme si animace mohli vyzkoušet pouze okrajově a více jsme se soustředili na vytváření 3D modelů (viz Obr. 1a).

## 3 3D modelování

3D model našeho miniprojektu se skládá z několika menších a propracovanějších modelů, více zaměřených na detaily, které byly vymodelovány samostatně a teprve poté seskládány dohromady.



Obrázek 1: Náčrtky vzniklé při plánování scény a kód v jazyce SDL

## 3.1 Pokoj

Autor: Klára Rudolfová

Hlavní část modelu, kam je všechno zasazené, se skládá ze dvou kvádrů, respektive z jejich rozdílu. Celý model je zasazen do kladné části soustavy souřadnic s globálním osvětlením z pravé strany. Okno je tvořeno z kvádru a uvnitř výřezu. Dveře jsou kombinací dalších kvádrů, přes sebe daných, zatímco postel je nejen z kvádrů, ale i z válců a koulí, které se různě protínají. Předlohou byl obrázek z internetu vytvořený v Blenderu. Pro porovnání je předloha i výsledek na obrázku 2.



(a) Předloha

(b) Výsledek

Obrázek 2: Předloha a výsledná vyrenderovaná scéna

## 3.2 Kniha a plakát

Autor: Matěj Novák

Kniha na stolku je tvořena jedním hlavním kvádrem, ze kterého bylo vyříznuto místo pro listy, tedy další kvádr bílé barvy, vazba knihy byla udělána jedním poloválcem. Největším problémem u knihy bylo vytvořit obal s texturou obrázku yinu a yangu, pro účely nanesení obrázku na povrch obalu knihy musel výt vytvořen další kvádr, do jehož stěny musel být obrázek implementován. Zmíněné problémy dělalo otáčení a vycentrování obrázku, aby vypadal na knize přirozeně (viz Obr. 3b). Celá kniha byla tvořena zvlášť, mimo soubor s pokojem, kód knihy byl tedy nakonec přidán k pokoji a pomocí příkazu translate (tedy posunutí) se posunula až na stolek. Plakát je vytvořen obdobným způsobem, jedná se o kvádr, na jehož hranu je zasazen obrázek kočky, díky zkušenostem s umisťováním obrázku na knihu byla tato záležitost značně jednodušší.



(c) Sklenka

Obrázek 3: Modelování jednotlivých objektů

## 3.3 Židle

Autor: Kai Sotona

Židle byla vytvořena z několika základních tvarů, hlavně kvádrů. Zajímavé je opěradlo židle, které je mimo kvádrů vytvořeno ze dvou výřezů trubky tvořících ohyb opěradla.

Nohy židle i s kolečky jsou vytvořeny pomocí jednoduchého cyklu, díky kterému vzniklo šest otočených kopií. Výsledek je vidět na obázku 3a.

### 3.4 Sklenička

### Autor: Tomáš Toman

Efektu zužujících stěn skleničky je dosaženo tím, že elipsoid tvořící dutinu sklenky je menší a jeho střed je posunut výše. Víno ve skleničce je ten samý elipsoid, pouze je v určité výšce uříznut. Noha je tvořená ze tří komolých kuželů, neboť nebyl žádný útvar, který by mohl mít více než dva průměry. Výsledek je vidět na obrázku 3c.

## 4 Závěr

V naší práci jsme si vyzkoušeli základy 3D modelování a programování a trénovali jsme svoji představivost. Každý jsme si vytvořili vlastní model (kus nábytku), který jsme na konci spojili do společného 3D modelu. Také jsme se dozvěděli spoustu nového i o technikách renderování, které je důležité pro výsledný obrázek (viz Obr. 4).



Obrázek 4: Výsledný model

# Poděkování

Děkujeme organizátorům Týdne vědy, hlavně panu doktorovi Karlu Koláři, a našemu garantovi, Pavlu Strachotovi.

# Zdroje

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

# Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice

M. Kocourek<sup>1</sup>, D. Něnička<sup>2</sup>, M. Pavlíček<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Chotěboř; matejkocourek825@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm; david.nenicka@email.cz <sup>3</sup>Gymnázium Chotěboř; pavlicek.marek@centrum.cz

Garant: doc. Dr. Ing. Milan Šiňor (KLFF FJFI)

#### Abstrakt

Cílem našeho projektu bylo seznámit se s počítačovými algebraickými systémy (PAS) a s jejich praktickým využitím v matematice, fyzice, ale i v chemii či ostatních vědách. Věnovali jsme se především programu Wolfram Mathematica, přičemž jsme se naučili základní operace a práci s ním. Při řešení rozmanitých problémů jsme se potkali i s umělou inteligencí, kdy jsme za pomoci modelu Claude 3 byli schopni získat ještě zajímavější výstupy.

# 1 Úvod

Počítačové algebraické systémy jsou určeny především k řešení matematických problémů. Tyto programy tak umí řešit rovnice, zjednodušovat složité výrazy, počítat derivace, integrály či kreslit grafy funkcí. Programů tohoto druhu existuje celá řada, najdeme mezi nimi komerční i open-source možnosti. Mezi nejznámější programy patří již zmíněná Mathematica nebo například Matlab či Maple.

Počítačové algebraické systémy pracují přímo s tzv. symboly, což znamená, že zachovávají obecnost tak dlouho, dokud nepotřebujeme číselnou odpověď. Oproti numerickým programovacím jayzkům, jako je například C++ či Python, jsme zde schopni dosáhnout prakticky neomezené přesnosti.

## 2 Wolfram Mathematica

Wolfram Mathematica je software, který se zabývá problematikou matematiky, ale dokáže vyřešit i praktické problémy z oblasti fyziky a dalších věd. Jedná se v podstatě o textový editor, do kterého vpisujeme matematické výrazy (např. předpisy funkcí, rovnice, nerovnice, derivace, integrály, matice, atd.), které chceme řešit. [1] Jako vstup bere tato aplikace speciální jayzk Wolfram Language. Na těchto základech stojí také Wolfram Alpha, populární AI nástroj. Mathematica si drží svou dobrou pozici na trhu zejména díky kombinaci velkého počtu funkcí a kvalitního, poměrně jednoduchého UI. Je vyvíjena společností Wolfram Research a v současnosti je dostupná už její čtrnáctá verze.



Obrázek 1: Ukázka uživatelského rozhrání Wolfram Mathematica

## 3 Využití v matematice

Jak již bylo řečeno, algebraické systémy mají výhodu oproti těm numerickým v tom, že dokáží vyjádřit výsledek s větší přesností. Dokáží analyticky vyřešit všechny typy rovnic, u kterých je toto řešení možné, a ty ostatní potom řeší numericky. [2] Příkladem je řešení kvadratické rovnice. Vstupní řádek programu vypadá následovně:

Solve  $[a*x^2 + b*x + c == 0, x]$ 

a výstup vidíme na obrázku č. 2.

$$\left\{\left\{x \rightarrow \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 a c}}{2 a}\right\}, \left\{x \rightarrow \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a c}}{2 a}\right\}\right\}$$

Obrázek 2: Řešení kvadratické rovnice v programu Mathematica

Důležitou funkcí programu Mathematica je příkaz Manipulate [], s jehož pomocí můžeme libovolně měnit parametry funkce nebo výrazu. To lze hezky demonstrovat na binomické větě při roznásobování výrazu  $(a + b)^k$ . Vstupem je v tomto případě příkaz

### Manipulate[Expand[(a + b)^k], {k, 1, 10, 1}],

který nám říká, že za parametrkmůžeme libovolně dosazovat celá čísla od 1 do 10. Prok=6 bude výstupem výraz na obrázku č. ${\bf 3}$ 



Obrázek 3: Roznásobení závorky  $(a+b)^6$  v programu Mathematica

Nedílnou součástí matematiky je také tvorba grafů. I v tomto je program Mathematica velmi dobrý nástroj pro usnadnění práce. Pro ukázku si vezměme dvě funkce

$$f_1(x) = \sin 3x + 1,$$
  
 $f_2(x,y) = \cos (x^2 + y^2) \cdot e^{\frac{-x^2 - y^2}{3}}$ 

V Mathematice je vykreslíme pomocí příkazů Plot[] a Plot3D[]:

Plot[Sin[3 x] + 1, {x, 0, 10}],
Plot3D[Cos[x<sup>2</sup> + y<sup>2</sup>]\*Exp[(-x<sup>2</sup> - y<sup>2</sup>)/3], {x, -3, 3}, {y, -3, 3},
PlotRange -> All]

a získáváme dva grafy funkcí.



Obrázek 4: Grafy funkcí v programu Mathematica

## 4 Využití ve fyzice

Mathematica je schopna zvládnout prakticky všechny disciplíny fyziky – od mechaniky přes optiku, elektřinu až po kvantovou fyziku. Záleží jen na schopnostech jejího uživatele a na vstupu, který tento uživatel vytvoří. Ke sdílení kvalitních uživatelských projektů existuje databáze Wolfram Demonstrations Project, kde můžeme najít mnohá zajímavá využití jako např. simulaci působení gravitační síly na jednoduché kyvadlo, simulace různých elektrických obvodů, ale také Van de Graaffův generátor či Keplerovy zákony v praxi.



Obrázek 5: Ukázka vlivu gravitační síly na jednoduché kyvadlo [3]

## 5 Shrnutí

Počítačové algebraické systémy představují významný nástroj v oblasti symbolických (i numerických) výpočtů. Staly se už prakticky nedílnou součástí moderní vědy. Jejich neustále trvající vývoj a inovace v oboru budou i nadále posouvat hranice toho, co může být vypočítáno, analyzováno či vybádáno.

# Poděkování

Děkujeme především panu doc. Dr. Ing. Milanu Šiňorovi, jenž nás tímto miniprojektem po celou dobu provázel. Naše díky patří také panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc; dále Karlu Kolářovi a všem, co se podíleli na organizaci letošního ročníku Týdne vědy na Jaderce.

## Odkazy

- [1] A. Filkászová. *Matematický software a zpracování dat.* https://is.mvso.cz/th/yt926/bp.pdf
- [2] Z. Buk. Základy práce se systémem Mathematica. http://www.mathematica-forum.cz/
- [3] Wolfram Demonstrations Project. *Effect of Gravity on a Simple Pendulum*. https://demonstrations.wolfram.com/EffectOfGravityOnASimplePendulum/

## Počítačové simulace pevných látek

#### Radim Novák

#### Abstrakt

V této práci se zabývám určováním vlastností monokrystalu mědi pomocí počítačové simulace. Tato simulace byla prováděna na úrovni molekulové dynamiky pomocí softwaru LAMMPS. Tou jsem simuloval měření metodou nanoindentace a vygenerovaná data následně zpracoval. Pro vizualizaci simulace jsem používal software OVITO.

## 1 Úvod

V dnešní době lidé neustále vymýšlí nějaké nové a lepší produkty. Na to je ovšem často potřeba nějaký vhodný materiál. Například rámy kol by měly být co nejlehčí, ale zároveň co nejpevnější. Při vývoji takových materiálů se velmi uplatňují počítačové simulace, kterými jsme schopni vlastnosti materiálů předpovídat a tedy nemusíme zkoušet metodou pokus omyl.

V této práci se snažíme předpovědět redukovaný Youngův modul pružnosti pro měď. K tomu vytvoříme simulaci indentační metody a vyhodnotíme data.

### 2 Teorie

Indentace je standartní metoda zjišťování tvrdosti materiálu, nebo i například modulu pružnosti. Spočívá ve tlačení hrotu - indentátoru do materiálu a měření síly působící na hrot. V našem případě jsme simulovali nanoindentaci, tedy jsme se celou dobu pohybovali ve velmi malých škálách. K výpočtu Youngova modulu pevnosti je třeba znát tuhost. Tu lze spočíst jako:

$$S = \frac{dP}{dh} \tag{1}$$

Kde P značí sílu působící na indentátor a h značí hloubku vrypu do materiálu. Derivace je vztatá v bodě těsně poté co začneme indentátor odsunovat od krystalu. Redukovaný Youngův modul pružnosti pak spočteme takto:

$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{S}{\sqrt{A}} \tag{2}$$

Kde A značí plochu kontaktu mezi indentátorem a materiálem.

#### 3 Simulace

Simulovali jsme pomocí softwaru Lammps, což je zdarma dostupný software na internetu a velmi často používaný. Lammps se užívá na simulace molekulární dynamiky s použitím klasických zákonů fyziky.

V naší simulaci jsme nejdříve vytvořili krystal mědi s krystalovou mřížkou FCC, ten jsme nechali ustálit do rovnovážného stavu. Poté jsme k němu přidali část sféry uhlíku uspořádaném v mřížce diamantu - náš indentor. Následně jsme začali posouvat indentor do krystalu a zaznamenávali jsme sílu, která působila na špičku indentoru a po chvíli jsme ho začali vytahovat.

Simulaci jsme opakovali pro různé počáteční teploty mědi. Konkrétně pro 3K, 300K, 600K. Indentor jsme sunuli rychlostí přibližně 30 m/s nebo 1 m/s. To protože Lammps dělá velmi malé časové kroky, tedy čím nižší rychlost, tím náročnější a delší výpočet. Nakonec se ovšem ukázalo, že síly při vytahování se skoro nemění se změnou rychlosti z 30 m/s na 1 m/s.

### 4 Výsledky simulace



Obrázek 1: Graf závisloti síly na Z-tové souřadnici. Horní vrstva krystalu je kolem 20 Å.

Na obrázku 1 můžeme vidět nasimulované průběhy sil působících na hrot indentoru. Spočtené hodnoty redukovaného Youngova modulu jsou v tabulce 1.

•	3K	300K	600k
$E_r \left[ GPa \right]$	236	161	152

Tabulka 1: Vypočtené hodnoty  $E_r$ 

### 5 Diskuze výsledků

Z porovnání s výsledky ze článku [1], můžeme usoudit, že simulace proběhla dobře a dává relativně dobré výsledky. Hodnoty  $E_r$  jsou vyšší než bychom ve skutečnosti čekali. To může být tím že jsme uvažovali dokonalý krystal bez poruch. Také měď reaguje velmi dobře tedy povrch krystalu by v reálném případě byl pravděpodobně znečištěn. Čistý kov se také vyznačuje velikou přilnavostí a proto vidíme velkou zápornou sílu působící na hrot.

#### 6 Závěr

V této práci jsme nasimulovali nanoindentaci monokrystalu mědi. Tu jsme následně vyhodnotili a porovnali s referenčními daty. Z toho se ukázalo že naše simulace byla docela přesná co se týká určení redukovaného modulu pružnosti.

### 7 Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat mému garantovi panu Janu Drahokoupilovi a panu Miroslavu Lebedovi.

## 8 Reference

[1] Sahputra, I.H. Temperature and indenter radius effects on mechanical properties of copper during nanoindentation: a molecular dynamic simulation study. Eur. Phys. J. B 94, 237 (2021). https://doi.org/10.1140/epjb/s1005021-00253-1

## Postavte si laserový zaměřovač

P. Barták<sup>\*</sup>, J. Klier<sup>\*\*</sup>, M. Křenek<sup>\*\*\*</sup>

\*Slovanské gymnázium Olomouc, Jiřího z Poděbrad 13 \*\*Gymnázium a SOŠ dr. Václava Šmejkala, Stará 99 \*\*\*Gymnázium Tišnov, Na Hrádku 20

bartakp08@seznam.cz, jiri06klier@gmail.com, shakis.krupis@gmail.com

#### Abstrakt

Bylo analyzováno laserové záření systému Er:YAG z pohledu vlnové délky, výstupního výkonu, délky pulzu a prostorové struktury. Laser generoval na vlnové délce 1645 nm s maximálním výkonem 174 mW s délkou pulzu 8,75 ms a opakovací frekvencí 10 Hz. Bezpečnost záření laseru byla prověřena zkouškou absorpce ve slané vodě.

### 1 Úvod

Technologie laseru je všudypřítomná a velmi užitečná. Díky jeho vlastnostem, jako je koherence, monochromatičnost, nízká rozbíhavost paprsků a vysoká hustota výkonu jej lze využít v medicíně, v dálkoměrech nebo v detekci plynů. Pro stavbu laseru je důležité aktivní prostředí, což může být kapalina, plyn nebo pevná látka, v našem případě krystal Er<sup>3+</sup>:YAG. Další nedílnou součástí je optický rezonátor, který se skládal ze dvou zrcadel. Dále systém obsahuje budící část spolu s chlazením.

Naším cílem bylo postavit Er<sup>3+</sup>:YAG laser, který by emitoval záření v infračervené oblasti a změřit jeho vlastnosti, jako jsou vlnová délka, výstupní výkon, délka pulzů a prostorová struktura.

### 2 Měřicí přístroje, experimentální uspořádání a postup měření

#### 2.1 Měřicí přístroje

Čerpání – laserová dioda QPC Lasers s proudovým zdrojem LDC 1000 (Laser Electronics). Pulzní režim, vlnová délka při teplotě diody  $T_{LD} = 26^{\circ}$ C byla  $\lambda_{pump} = 1536$  nm, délka pulsu  $t_{pump} = 10$  ms a opakovací frekvence f = 10 Hz.

Výkon čerpacího a generovaného záření – sonda PowerMax PM3 (Molectron) a wattmetr FiledMate (Coherent). Maximální naměřený výstupní výkon diody při budícím proudu  $I_{LD} = 40$  A a teplotě diody  $T_{LD} = 26^{\circ}$ C byl  $P_{max pump} = 2,04$  W.

Časový průběh proudu laserovou diodou a generovaného záření – fotodioda PDA30B-EC (Thorlabs, spektrální rozsah: 800-1800 nm). Zobrazení na osciloskopu TDS2022C (Tektronix).

**Spektrum čerpacího a generovaného záření** – snímáno do optického vlákna zakončeného čočkou a přivedeno do spektrometru RedWave (StellarNet, spektrální rozsah: 900-2300 nm).

**Prostorová struktura** generovaného svazku – CCD pyrokamera PYROCAM IV (Ophir, spektrální rozsah: 1-3000 μm, velikost čipu: 25,4×25,4 mm<sup>2</sup>, 320×320 pixelů).

#### 2.2 Experimentální uspořádání a parametry laserového rezonátoru

Aktivní prostředí bylo tvořeno krystalickou matricí yttrito-hlinitého granátu dopovaného třímocnými ionty erbia  $\text{Er}^{3+}$  s koncentrací 0,5 at. % –  $\text{Er:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (tj. Er:YAG z angl. *yttrium aluminium garnet*). Krystal měl tvar malého válce s následujícími rozměry: průměr 5 mm, aktivní délka v ose rezonátoru: 10 mm. Optický rezonátor byl tvořen dvojicí zrcadel – rovinné zrcadlo vysoce transparentní pro čerpací záření v okolí 1530 nm a zároveň totálně odrazné ve spektrální oblasti očekávaného generovaného záření, tj. 1600-1700 nm. Výstupní sférické (duté, konkávní) zrcadlo s poloměrem křivosti r = 150 mm mělo transmitanci v této části spektra T  $\approx 4\%$  (tj. odrazivost – reflektivitu: R  $\approx 96\%$ ). K nastavení rezonátoru jsme využili odrazy svazku He-Ne laseru ( $\lambda_{\text{He-Ne}} \approx 633$  nm, červená barva) od prvků optického rezonátoru zpět na clonku umístěnou ve svazku He-Ne laseru. Zjednodušené schéma podélného čerpání aktivního prostředí Er:YAG v dutině optického rezonátoru pomocí laserové diody přes fokusační optiku je zobrazeno na Obr. 1. Fotografie zrealizovaného experimentálního uspořádání je uvedena na Obr. 2.





**Obr. 2.** Fotografie experimentálního uspořádání. OR – optický rezonátor, Z1 – zrcadlo čerpací, Z2 – zrcadlo výstupní, AP – aktivní prostředí, FO – fokusační optika, OV – optické vlákno z LD, D1 – detektor 1, D2 – detektor 2

### 3 Naměřené výsledky a diskuse

#### 3.1 Měření výstupního výkonu a účinnosti Er: YAG laseru

Nejprve jsme změřili závislost výstupního výkonu Er: YAG laseru pro různé nastavované hodnoty výkonu čerpacího záření, přičemž maximální dosažený výstupní výkon byl  $P_{max out} = 162 \text{ mW}$  při výkonu čerpacího záření  $P_{pump} = 2,04 \text{ W}$ . Pro výpočet výkonu záření absorbovaném v aktivním prostředí bylo zapotřebí změřit i výkon čerpacího záření po průchodu vstupním zrcadlem (P<sub>1</sub>, tj. na vstupu do krystalu Er:YAG) a poté neabsorbovaný výkon čerpacího záření prošlého tímto aktivním prostředím (P<sub>2</sub>). Výkon záření absorbovaného v krystalu byl následně odhadnut jako rozdíl těchto dvou hodnot:  $P_{abs} = P_1 \cdot P_2$  se započtením odrazu na čelech krystalu. Závislost

výstupního výkonu P<sub>out</sub> na vypočítaném absorbovaném výkonu čerpacího záření P<sub>abs</sub> je znázorněna na Obr. 3. Z naměřených hodnot vychází diferenciální účinnost sestaveného Er:YAG laserového systému na  $\eta = 52,6\%$ .



**Obr. 3.** Graf závislosti výstupního výkonu  $P_{out}$  na absorbovaném výkonu  $P_{abs}$  sestaveného laserového systému Er:YAG. Účinnost laseru:  $\eta = 52,6\%$ .

#### 3.2 Měření prostorové struktury a spekter budícího a generovaného záření Er:YAG laseru

Pomocí vláknového spektrometru jsme změřili spektrum čerpacího a generovaného záření Er:YAG laseru. Centrální vlnová délka záření budícího laseru byla  $\lambda_{pump} = 1532 \text{ nm}$ a generovaného záření Er:YAG laseru  $\lambda_{laser} = 1645 \text{ nm}$ . Šířky spekter budícího a generovaného záření měřené na polovině maxima intenzity (FWHM – z angl. *Full Width at Half Maximum*) byly  $\Delta\lambda_{FWHM pump} = 5,25 \text{ nm}$  a  $\Delta\lambda_{FWHM laser} = 4,5 \text{ nm}$  (Obr. 4.a). Dále byla pomocí pyrokamery zaznamenána prostorová struktura generovaného laserového svazku (Obr. 4.b).



**Obr. 4.a** Naměřené absorpční spektrum (modrá), záření čerpací laserové diody 1536 nm (oranžová) a generovaného laserového záření Er:YAG laseru (zelená). **Obr. 4.b** Prostorová struktura laserového svazku.

### 3.3 Časový průběh generovaného laserového záření

Fotodiodou PDA30B-EC s odpovídajícími optickými filtry připojenou k osciloskopu byl zaznamenán časový průběh proudu budící laserovou diodou a generovaného záření. Záření bylo generováno se zpožděním zhruba ~1,25 ms po náběžné hraně proudu budící diodou. Délka pulzu generovaného záření naměřená na polovině maximální intenzity byla ~8,75 ms. Oscilogramy průběhů laserového záření z Er:YAG jsou uvedeny na Obr. 5.



**Obr. 5.** Časové průběhy generovaného laserového záření (kanál 1 - žlutě) a budícího proudu procházejícího laserovou diodou (kanál 2 - modře). Proud laserovou diodou (**a**)  $I_{LD} = 8,5$  A; 3,6 ms (**b**)  $I_{LD} = 40$  A; 9,4 ms.

### 4 Absorpce Er:YAG laserového záření v optickém systému simulujícím lidské oko

Na závěr jsme na optickém systému simulujícím lidské oko demonstrovali značnou absorpci generovaného záření v oblasti ~1645 nm, a tedy relativní bezpečnost tohoto záření před průnikem na oční sítnici. K tomuto účelu byly použity kyvety různých tlouštěk (5, 10 a 30 mm) naplněné mírně slanou vlažnou vodou. Byl měřen výkon před a za těmito kyvetami a dopočítána absorpce. Za kyvetou o šířce 5 mm naměřen pokles výkonu z 174 mW na 9 mW, což odpovídá absorpci ~94,8 %. Za kyvetami o tloušťkách 10 a 30 mm byl naměřen výkon 2 mW a 0,8 mW.

### 5 Diskuse a závěr

Cílem naší práce bylo postavit  $Er^{3+}$ :YAG laser, což se nám podařilo, protože vlnová délka odpovídala 1645 nm a výstupní střední výkon byl vyšší než předpokládaný. Délka pulzu 8,75 ms i prostorová struktura byly naměřeny ve shodě s očekávanými výsledky. Z měření absorpce záření ve vodě lze konstatovat, že generované záření nepoškodí sítnici při standardním průměru oka ~24 mm [1]. Při dlouhodobém vystavení oka tomuto záření však nelze vyloučit jiné trvalé oční vady například na rohovce a čočce.

### Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům a sponzorům Týdne vědy na Jaderce 2024 za možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři, tvorbu vlastního článku, za prostředky pro jeho vytvoření a také A. Říhovi a M. Němcovi za vedení miniprojektu a konzultace při zpracování výsledků a při tvorbě příspěvku do sborníku.

### Literatura

[1] ŠVEJKAR, R., ŘÍHA, A., NĚMEC, M., Postavte si laserový zaměřovač, [online, cit. 2024-06-18], Dostupné z: http://richardsvejkar.cz/assets/tyden\_vedy\_2024\_navod.pdf

# Použití počítačového vidění pomocí NVIDIA Jetson Nano

Tadeáš Těhan<sup>1</sup>, Mikuláš Voňka<sup>2</sup>, Jan Pavel Šafrata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Ostrava-Zábřeh; tadeastehan@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Kladno; vonka.mikulas@seznam.cz <sup>3</sup>Gymnázium Evolution; honza@klan.cz

Ing. Jakub Klinkovský, Ph.D.; KSI FJFI

#### Abstrakt

V posledních letech zažívá oblast umělé inteligence a strojového učení dramatický nárůst zájmu a inovací. Tento rozmach otevírá nové možnosti v různých oborech, včetně počítačového vidění. V našem projektu jsme se zaměřili na použití zařízení NVIDIA Jetson Nano, které je vybaveno výkonnou grafickou kartou optimalizovanou pro aplikace umělé inteligence a počítačového vidění. Cílem naší práce bylo rozpoznat pomocí Jetson Nano znaky vlajkového semaforu <sup>1</sup> na základě klíčových bodů na těle. Po rozpoznání jednotlivých písmen jsme byli schopni dekódovat vysílanou zprávu. Z našich experimentů jsme získali cenné poznatky a diskutovali jsme o praktických výhodách a omezeních tohoto zařízení. Výsledky naší práce se nachází na: https://github.com/tadeastehan/flag\_semaphore\_jetson.

## 1 Úvod

Zařízení, na kterém jsme celý projekt testovali, byl malý jednodeskový počítač NVI-DIA Jetson Nano [2] s GPU<sup>2</sup>. Díky tomu aspektu je náš projekt přenosný a díky akceleraci výpočtů pomocí GPU i dostatečně rychlým. Pro urychlení výpočtů jsme využili technologii CUDA [3] od společnosti NVIDIA, která umožňuje efektivní zpracování paralelních úloh. NVIDIA rovněž poskytuje Software Development Kit [4] pro hluboké učení, což nám značně usnadnilo vývoj aplikace. Na základě našich experimentů jsme analyzovali výsledky a podrobně diskutovali výhody a omezení tohoto zařízení pro praktické použití.

Pro rozpoznávání důležitých bodů na těle jsme použili již předtrénovaný model *Pose-ResNet18-Body*, který dokáže identifikovat 18 klíčových bodů na lidském těle, viz Obrázek 1. Tento model nám umožnil sledovat pozice rukou a efektivně tak rozpoznávat jednotlivé signály semaforu vlajek [1]. Celý systém jsme vytvářeli pomocí programovacího jazyku Python, který nabízí specializovanou knihovnu pro práci s tímto zařízením.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Anglicky: *flag semophore* 

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Graphics processing unit



Obrázek 1: Klíčové body na lidském těle detekované neuronovou sítí.

### 2 Implementace kódu

Naším prvním úkolem bylo umožnit programu rozpoznat gesta. To zahrnovalo identifikaci, kdy jsou paže v rovném postavení, což naznačuje pokus o gesto. Prozkoumali jsme různé metody, jak definovat tuto podmínku, a nakonec jsme našli optimální řešení. Vypočítali jsme rozdíly v souřadnicích x a y mezi body ramene a loktu, stejně jako mezi loktem a zápěstím pro obě paže. Tyto rozdíly nám poskytly vektory různých délek. Když bylo gesto prováděno, tyto vektory byly zarovnány ve stejném směru. Tím, že jsme vektory škálovali tak, aby jejich souřadnice x odpovídaly, jsme zajistili, že pokud by vektory směřovaly stejným směrem, jejich souřadnice y by byly stejné. Poté jsme měřili rozdíl mezi souřadnicemi y dvou vektorů, který by měl být blízko nule, pokud by bylo gesto prováděno.

Následně jsme potřebovali určit úhly, které paže svírají s vertikální osou. Toho jsme dosáhli výpočtem rozdílů v souřadnicích x a y mezi body ramene a zápěstí a následným použitím dvouargumentové funkce atan2 k nalezení úhlu paže vzhledem k vertikální ose. Poté jsme přiřadili hodnoty úhlů pro obě paže ke každému znaku abecedy semaforu vlajek.

Dále jsme vyvinuli podmínku pro přesné detekování písmene, které se osoba snažila signalizovat. Vzhledem k tomu, že spolehnutí se na jediný snímek by mohlo vést k chybám, implementovali jsme robustnější přístup. Definovali jsme proměnnou i = 0 a referenční proměnnou r jako písmeno z prvního snímku. Dále se v algoritmu mění hodnota r pouze v případě, kdy se i rovná nule. Následná písmena z po sobě jdoucích obrázků byla porovnána s hodnotou r. Pokud se shodovala, zvýšili jsme i o 1; pokud se lišila, snížili jsme i o 1. Když i dosáhne předdefinovaného prahu  $2.5 \times f$ , kde f představuje počet snímků videa za sekundu, což se stane po 2.5 sekundách signalizace stejného písmene, program potvrdí písmeno a vytiskne ho. Po dosažení tohoto prahu je proměnná i vynulována, referenční proměnná r se změní na aktuální písmeno a začne detekce dalšího písmene zprávy.



Obrázek 2: Grafické prostředí pro dekódování zprávy.

### 2.1 Grafické prostředí

Součástí grafického prostředí, které je zobrazeno na Obrázku 2, je v levém horním rohu červený kruh, který se postupně v závislosti na proměnné *i* naplňuje zelenou barvou. Pokud jsme tedy v postavení dostatečně dlouho dobu, tak se kruh naplní zelenou barvou a písmeno se přidá do zprávy v levém horním rohu. Ve středu tohoto kruhu se nám také zobrazuje konkretní písmeno, které program detekuje. Součástí znaků vlajkového semaforu je i mezera či znak, díky kterému můžeme písmena mazat (backspace). V grafickém prostředí vidíme také kostru rozpoznaných bodů na lidském těle, které drží virtuální vlajky pro lepší imitaci reality.

## 3 Výsledky a diskuse

Námi vytvořený program dokáže úspěšně detekovat většinu znaků vlajkového semaforu. Jedno významné omezení nastalo, když byla paže umístěna přímo nad hlavou. Použitá neuronová síť má v této pozici potíže s rozpoznáváním klíčových bodů na paži. Abychom to vyřešili, upravili jsme podmínku detekce gest tak, aby se neaktivovala v určitých úhlech nad hlavou.

Další problém nastal, když paže překřížila tělo a ukazovala na opačnou stranu. Toto umístění někdy způsobilo, že program nesprávně identifikoval klíčové body na paži, což vedlo k chybnému rozpoznání určitých písmen. Implementovali jsme další korekční opatření pro zvýšení přesnosti, ale stále je zde prostor pro zlepšení.

Tato omezení zdůraznila složitost rozpoznávání gest a potřebu neustálého zdokonalování. Budoucí práce by mohla zahrnovat vylepšení algoritmu pro lepší zvládání extrémních poloh paží a zkoumání pokročilejších modelů strojového učení. Ke zlepšení přesnosti by mohlo vést natrénování vlastní neuronové sítě přímo pro tyto účely.
### 4 Závěr

V tomto projektu jsme vyvinuli systém pro rozpoznávání znaků vlajkového semaforu pomocí počítače Jetson Nano. Během vývojového procesu jsme narazili na několik výzev, které vyžadovaly inovativní řešení a úpravy našeho původního návrhu.

Celkově projekt úspěšně demonstroval potenciál využití počítačového vidění a strojového učení pro rozpoznávání gest a znakových jazyků. Navzdory výzvám systém ukázal slibné výsledky a s dalším vylepšením má potenciál stát se spolehlivým nástrojem pro usnadnění neverbální komunikace.

# Poděkování

Naše hlavní poděkování si zaslouží Ing. Jakub Klinkovský, Ph.D. za odbornou pomoc při zhotovení práce.

# Odkazy

- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Flag semaphore Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné také z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title= Flag\_semaphore&oldid=1228246342. [cit. 2024-06-18].
- NVIDIA. Jetson Nano. 2024. Dostupné také z: https://www.nvidia.com/en-us/ autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/product-development/. [cit. 2024-06-18].
- NVIDIA. CUDA Toolkit. 2024. Dostupné také z: https://developer.nvidia.com/ cuda-toolkit. [cit. 2024-06-18].
- 4. FRANKLIN, D. Hello AI world guide. 2019. Dostupné také z: https://github.com/dusty-nv/jetson-inference. [cit. 2024-06-18].

### Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách

Kateřina Hermannová<sup>1</sup>, Nikola Hlom<sup>2</sup>, Petr Sluka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>G J. Božka, Český Těšín; hermannova.katerina@gmct.cz
<sup>2</sup>G Pelhřimov; hlom.vik@gmail.com
<sup>3</sup>G Plzeň, Mikulášské nám. 23; petr@sluka.cz

Miroslav Myška, Ota Zaplatílek; FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Tato práce se zabývá proton-protonovými srážkami za vzniku Z bosonu a jeho následnými rozpady, zejména  $\mu^+\mu^-$ . Příslušné reakce jsou simulovány pomocí metody Monte Carlo a programu Herwig7. Analýzou dat a fitováním vhodných křivek byla zjištěna hodnota hmoty Z bosonu a srovnána s veřejně dostupnými daty.

## 1 Úvod

Již starověcí filosofové se zabývali otázkou, zda je hmota spojitá, či má nějakou vnitřní strukturu. Honba za nejmenšími částicemi vedla v průběhu 70. let až ke konstrukci Standardního Modelu částicové fyziky, v němž se podařilo popsat složení hmoty pomocí kýžených elementárních částic a sjednotit tři ze čtyř fundamentálních interakcí, a sice interakci silnou, slabou a elektromagnetickou. V současné době se do skupiny elementárních částic řadí kvarky - objekty vázané do struktur hadronů, z nichž jsou nepochybně nejznámější protony (o kvarkovém složení uud) a neutrony (udd). Do hmoty dále přispívají leptony, ke kterým patří i elektron, avšak v této práci se budeme zabývat především jejich druhou generací, miony. Pro náležitý popis je také třeba uvést tzv. částice pole, bosony - a mezi nimi zkoumaný Z boson.

Různé bosony také odpovídají příslušným popsaným interakcím. Silná interakce je zodpovědná za uvěznění kvarků v hadronech a je propagována gluony. Slabá interakce se ukazuje například v  $\beta^-$  rozpadu - Z boson je jedním z jejích propagátorů. Dále se zde nabízí interakce elektromagnetická, jež působí na veškeré nabité částice a jsou za ni odpovědné fotony. Poslední interakci, gravitační, se dosud nepodařilo do Standardního modelu zahrnout.

### 2 Generování srážek

Konkrétně jsme zkoumali srážku p+p a jejich přeměnu na Z boson viz Obr. 1. Výpočty jsou založené na nejnižším řádu poruchového rozvoje. Vygenerovali jsme 50 000 událostí pomocí Monte Carlo (MC) generátoru Herwig7 [2] a následně je analyzovali pomocí balíčku [3]. V simulačním programu jsme zkoumali p+p srážku, kde vzniká Z boson a ten se následně rozpadá na pár fermionů,  $\mu^+\mu^-$ . U fermionů jsme v programu zapnuli rozpad jen na pár  $\mu^+\mu^-$  [1]. Z naměřených čtyřhybností dvou vedoucích leptonů,  $P_1 = (E_1, \vec{p_1})$  a  $P_2 = (E_2, \vec{p_2})$ , jsme zrekonstruovali čtyřhybnost původní částice  $P_Z = (E_1 + E_2, \vec{p_1} + \vec{p_2})$ , ze které pár  $\mu^+\mu^-$  vznikl.



Obrázek 1: Vizualizace srážky dvou protonů pomocí programu Herwig7, kde se anihilací dvou mořských charm kvarků tvoří námi pozorovaný Z boson, jenž zaniká rozpadem na další pár c kvarku a antikvarku. Následné procesy pro hadronizaci a tzv. underlying event jsme pro účel tohoto obrázku deaktivovali.

#### 2.1 Hmotnost Z bosonu

HmotnostZboson<br/>u $m_Z$ jsme určili z následujícího relativistického vztahu mezi energií a hybností

$$E_Z^2 = m_Z^2 c^4 + \overrightarrow{p}_Z^2 c^2.$$
 (1)

Hmotnostní spektrum Z bosonu zobrazené na Obr. 2, které jsme proložili Gaussovou a Breight-Wiegnerovou křivkou, definovanou následujícími vzorci:

Gauss 
$$(x; A, \mu, \sigma) = A \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$
 (2)

Breight-Wiegner 
$$(x; A, \Gamma, x_0) = A \frac{\frac{1}{2}}{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2 + (x - x_0)^2},$$
 (3)

přičemž hmotu bosonu jsme vyčetli z maxima Gaussovy křivky (4) a B-W křivky (5).

$$m_Z^{\text{Gauss}} = (90.94 \pm 0.01) \text{ GeV},$$
 (4)

$$m_Z^{\rm BW} = (91.00 \pm 0.01) \,\,{\rm GeV}.$$
 (5)

Pro porovnání uvádíme tabulkovou hodnotu hmotnosti Z bosonu z Particle Data Group booklet [4]

$$m_{\rm Z}^{PDG} = (91.1876 \pm 0.0021) \,\,{\rm GeV}$$



Obrázek 2: Spektrum hmotností Zbosonu proložené Gaussovou a Breight-Wiegnerovou křivkou.

#### 2.2 Příčná hybnost

Příčná hybnost je Lorentzovsky invariantní veličina popsaná vztahem

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2},\tag{6}$$

je kolmá na srážku a její důležitost spočívá v tom, že na rozdíl od složky hybnosti  $p_z$ , kde mohou být částice pozůstatkem ze směsice kolem protonu, která nezinteraguje a proletí dál ve směru srážky, hybnost  $p_T$  je vždy u částic, co spolu interagují. Na Obr. 3 lze vidět, že spektrum příčné hybnosti exponenciálně klesá.



Obrázek 3: Spektrum příčné hybnosti  $p_{T,Z}$  získané generátorem MC a programem Herwig7.

#### 2.3 Rapidita

Rapidita y je Lorentzovsky invariantní kinematická veličina, definovaná vztahem (7) pomocí energie E a podélné z složky hybnosti  $p_z$  naší částice. Zjednodušeně řečeno je to úhlová veličina, která popisuje, do jaké části detektoru částice nalétává. Při hodnotách rapidity blížících se nule částice letí do centrální části detektoru a v případě, že se její rapidita blíží k nekonečnu, směřuje ve směru osy srážky (k z-ose)

$$y = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{E + p_z c}{E - p_z c} \right). \tag{7}$$

Dle Obr. 4 Z boson detekujeme v centrální části detektoru.

#### 2.4 Lagrangián

Interakce zkoumaného Z bosonu  $Z_{\mu}$  s fermiony  $\mu^{+}\mu^{-}$  lze popsat pomocí interakčního lagrangiánu z rovnice

$$\mathscr{L}_{\rm int}^{\rm NC} = \frac{g}{2\cos\theta_{\rm W}} \psi \gamma^{\mu} (v - a\gamma_5) \psi Z_{\mu},\tag{8}$$

kde  $\frac{g}{2\cos\theta_{\rm W}}$  je vazbová konstanta (čím větší je, tím významnější je interakce). Dále  $\psi$  je vlnová funkce fermionu,  $Z_{\mu}$  je vlnová funkce Z bosonu a  $\gamma^{\mu}, \gamma_5$  jsou gamma matice. Algebraická struktura  $\gamma^{\mu}(v - a\gamma_5)$  je důsledkem netriviální asymetrie mezi levotočivým a pravotočivým světem v slabých interakcích s naším zkoumaným Z bosonem.



Obrázek 4: Spektrum rapidity  $y_Z$  generované metodou MC a programem Herwig7.

### 3 Shrnutí

Seznámili jsme se se základy Standardního Modelu, vyzkoušeli si práci s MC generátorem Herwig 7 s jehož pomocí jsme určili hmotu Zbosonu

$$m_Z^{\rm BW} = (91.00 \pm 0.01) \,\,{\rm GeV}.$$

### Poděkování

Rádi bychom poděkovali organizátorům TV@J, našim garantům Ing. Miroslavovi Myškovi, PhD. a Ing. Otovi Zaplatílkovi za odborné vedení a výklad o tématu.

### Odkazy

- HERWIG7, kolektiv autorů. matrix element forq qbar to Standard Model fermions via Z and photon exchange. [B.r.]. Dostupné také z: https://herwig.hepforge.org/ doxygen/MEqq2gZ2ffInterfaces.html.
- 2. HERWIG7, kolektiv autorů. *The Herwig Event Generator*. [B.r.]. Dostupné také z: https://herwig.hepforge.org/index.html#.
- ZAPLATÍLEK, O. Týden Vědy generování Z bosonu. [B.r.]. Dostupné také z: https://gitlab.cern.ch/ozaplati/TydenVedy/-/tree/master?ref\_type= heads.
- GROUP, P. D. et al. Review of Particle Physics. Progress of Theoretical and Experimental Physics. 2020, roč. 2020, č. 8, s. 083C01. ISSN 2050-3911. Dostupné z DOI: 10.1093/ptep/ptaa104.

### Radiační zátěž od kosmického záření na palubě letadla

Linda Tománková<sup>1</sup>, Karolína Dvořáková<sup>2</sup>, Oliwia Wantulok<sup>3</sup>, Viktor ${\rm Matějek}^4$ 

<sup>1</sup>Gymnázium Boskovice; lindatomankova@email.cz <sup>2</sup>Soukromé gymnázium Ad Fontes Jihlava; karcie@seznam.cz <sup>3</sup>Gymnázium J. Božka Český Těšín; oliwia.wantulok@gmail.com <sup>4</sup>Střední škola letecká Kunovice; matejekv@gmail.com

školitel: Ing. Ondřej Ploc, Ph.D.; ODZ ÚJF AV ČR

#### Abstrakt

Kosmické záření neustále dopadá na naši planetu a těžko se jeho expozici dá vyhnout, ale nejvíce jsou tímto zářením ohroženy posádky letadel a kosmických lodí, které před jeho vlivy nechrání tak podstatná část atmosféry. Cílem našeho projektu bylo měření a následné vyhodnocení dávek, které může obdržet posádka letu do nadmořské výšky 4000 m za určitý časový interval. Výsledkem našeho měření na palubě letadla byly hodnoty dozimetrických veličin vztažené na výšku letu, počet zaznamenaných částic v závislosti na čase a nalezení minima radiace.

## 1 Úvod

Kosmické záření je proud vysoce energetických částic, které při dopadu do zemské atmosféry vytvářejí směsné radiační pole. Tvoří ho převážně protony a jádra hélia, méně elektrony, jádra jiných prvků a další elementární částice. Objevil jej rakouský fyzik Viktor Hess roku 1912 při letech balonem z Ústí nad Labem, za což získal Nobelovu cenu. Všiml si, že intenzita záření roste s nadmořskou výškou. Podle zdroje dělíme kosmické záření hlavně na galaktické a sluneční. To galaktické pochází především z explozí supernov, sluneční je produkováno naším Sluncem a jeho intenzita se mění v závislosti na sluneční aktivitě, jejíž cyklus trvá přibližně 11 let (viz Obrázek 1a).

Díky kosmickému záření jsou členové posádek letadel radiačně nejzatíženější pracovníci v ČR vůbec, a protože součástí letadla obvykle není dozimetr, který by stanovil přesnou dávku, je nutné ji dopočítat až zpětně. Podle těchto výpočtů je posádka na palubě dopravního letadla průměrně vystavena dávce 2 mSv za rok.

Cílem projektu je seznámení se s problematikou stanovení radiační zátěže na palubě letadla a jeho dopady na posádku. Efektivní dávka (viz Obrázek 1b) a prostorový dávkový ekvivalent jsou dozimetrické veličiny, které jsme se v našem miniprojektu snažili určit.



(a) Vývoj sluneční aktivity od ledna roku1958 po duben roku 2024.



(b) Časový záznam efektivních dávek. Testováno bylo v průměru přibližně 1 700 osob.

Obrázek 1: Statistiky sluneční aktivity a efektivních dávek v průběhu několika let.

### 2 Materiály, metody

Pro výpočty jsme využili program EXPACS. Měření hodnot kosmického záření jsme prováděli s pomocí níže uvedených přístrojů a k zaznamenání polohy GPS lokátory.

**EXPACS** – program [1] pro výpočet spektra atmosférického kosmického záření. Dokáže vypočítat toky kosmického záření mnoha elementárních částic. Dále umí odvodit efektivní dávku, okolní dávkový ekvivalent a absorbovanou dávku ve vzduchu v důsledku expozice kosmického záření.

**RT-56** – gama spektrometr. Jeho krystal (jodid sodný dopovaný thalliem) má rozměry  $5 \times 3$  palců. Je používán hlavně k monitorování radiací z bouřek. Má základní spektrum 1500 kanálů, které končí na 4,5 MeV. Nad tuto hodnotu platí sekundární spektrum. Je kalibrovaný na přírodní zářiče.

 ${\bf Hawk}$ – letecký gama spektrometr pro vyhledávání radionuklidových zdrojů a odhad jejich aktivity. Je součástí modelové kalibrace, která zahrnuje spekrometr D230A se dvěma detektory NaI(Tl) 2  $\times$  2 palce. Přístroj byl kalibrován pro různé radionuklidy při letových výškách od 1 do 25 metrů.

TEPC, Airdos, Labdos: Další přístroje použité během letu, jejichž princip a funkce jsou popsány v článku [2].



(a) Gama spektrometr RT-56.



(b) Tkáni-ekvivalentní proporcionální počítač Hawk.

Obrázek 2: Fotografie vybraných přístrojů, které jsme během letu použili.

Samotné měření jsme provedli v průběhu dvacetiminutového letu na palubě Pilatusu PC6. Z letiště Příbram, které leží v nadmořské výšce 466 m jsme odstartovali ve 12:25

UTC a následně jsme během 14 minut vystoupali do výšky 4630 m. n. m., ve které jsme setrvali jednu minutu. Poté jsme po šestiminutovém klesavém letu ve 12:45 UTC přistáli zpět na letišti. Profil letu je zobrazen na Obrázku 3a.



(a) Profil letu.



(b) Posádka před letem.

Obrázek 3

### 3 Výsledky a diskuze

Během letu detektory zaznamenávaly počet částic v závislosti na čase. Hawk naměřil 2521 částic, zatímco RT-56 112009, protože RT-56 měří částice procházející krystalem, zatímco Hawk měří částice procházející plynem. Krystal je citlivější na zachycení částic a energii zanechanou v hmotě.

Na obrázku 4a je záznam z RT-56. Na začátku je měření před startem a spuštěním motoru, s hodnotou kolem 750 impulsů. Po spuštění motoru dojde k nárůstu kvůli citlivosti fotonásobiče na otřesy. Po startu letadla hodnoty klesají kvůli vzdálení od zdrojů zemského záření a s rostoucí výškou opět rostou kvůli kosmickému záření. Z grafu je vidět strmější sestup letadla, zakončený nárůstem vibracemi po přistání.

Na obrázku 4b je v grafu pro srovnání také záznam z detektoru Hawk, který měří v minutových intervalech.



(a) Záznam z detektoru RT-56 v průběhu letu.



(b) Časový záznam z detektorů RT-56 a Hawk na palubě letadla.

Obrázek 4: Záznam počtu detekovaných částic na čase.

Dalším naším úkolem bylo najít nadmořskou výšku, ve které je záření minimální. Takové minimum existuje, protože s rostoucí vzdáleností od země klesá terestrická složka záření a od určité výšky začne převládat složka kosmická. K řešení této úlohy jsme použili zobrazení závislosti impulzů měřených pomocí RT-56 na nadmořské výšce, viz Obrázek 5a. K nalezení funkce, u které bychom našli minimum, jsme však použili data redukovaná jen na okolí minima (Obrázek 5b), se kterými se vhodná funkce hledala snáz.





(a) Počet detekovaných částic v průběhu letu v závislosti na výšce.



Obrázek 5: Grafy znázorňující závislost počtu detekovaných částic na výšce.

Použili jsme polynom 3. stupně a lokální minimum jsme našli jeho derivací položenou rovnou nule. Výsledkem je, že poloha minima radiace leží v nadmořské výšce 1719 m.

Ke stanovení radiační zátěže během našeho letu jsme použili referenční detetkor Hawk, který měří dávkový ekvivalent H, a porovnali s výsledky výpočetního programem EX-PACS, viz Tabulka 1. Výrazně vyšší měřené hodnoty si vysvětlujeme (1.) absencí stanovení terestrické složky výpočtem a (2.) detektor Hawk je kalibrován na měření v mnohem vyšších letových výškách.

Tabulka 1: Porovnání radiační zátěže měřené detektorem Hawk a vypočtené EXPACSem.

	total	low LET	high LET
Hawk $H$ [nSv]	214,73	48,90	$165,\!83$
EXPACS $H$ [nSv]	84,71	31,08	$53,\!63$
EXPACS $E$ [nSv]	64,42	24,32	40,09

### 4 Závěr

Na základě provedených měření a výpočtů bylo zjištěno, že dávka kterou jsme dostali na palubě letadla vynáší 64,42 nSv (viz Tabulka 1). Pomocí přístrojů RT-56 a Hawk jsme dokázali zaznamenat počet kosmických částic a určit, že nadmořská výška s minimální radiací je 1719 metrů. Tyto výsledky jsou důležité pro pochopení radiační zátěže v letecké dopravě a pro další vývoj ochranných opatření.

# Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Ondřeji Plocovi, Ph.D. a Ing. Jakubu Šleglovi za veškerou podporu. Dále bychom rádi poděkovali všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

## Reference

 T. Sato, Analytical Model for Estimating the Zenith Angle Dependence of Terrestrial Cosmic Ray Fluxes, PLOS ONE, 11(8): e0160390 (2016), http://phits.jaea.go.jp/expacs/
 Dny radiační ochrany (XLII.), 2021; DOI: 10.14311/dro.2021.xlii;

# Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

M. Gryc<sup>1</sup>, A. Janíková<sup>2</sup>, J. Králová<sup>3</sup>, O. Sopuch<sup>4</sup>) <sup>1</sup>Gymnázium ALTIS Praha; mgacmichal&@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Brno, Křenová; annajanikova37@gmail.com <sup>3</sup>SPŠ Třebíč; kralovajana208@gmail.com <sup>4</sup>Masarykovo gymnázium, Příbor; ondrej.sopuch@gypri.cz Ing. M. Tichý, CSc.; KJR FJFI ČVUT

#### Abstrakt:

Radioaktivní záření je téma skloňované téměř všude, ale ne všichni ví, co to vlastně je. Cílem našeho miniprojektu bylo seznámit se s tím, co je radioaktivita a radioaktivní záření obecně, poté také s jeho druhy a možnými způsoby detekce, rozsah doletu a možnosti odstínění.

# 1 Úvod

Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilních jader z vyšší do nižší energetické hladiny. To je způsobeno rozpadem jádra a následnou emitací částic nesoucích uvolněnou energii a elektromagnetického záření. Proud takovýchto emitovaných částic nebo elektromagnetického záření nazýváme radioaktivním zářením. Radioaktivní záření tedy vypovídá o změně stavu atomu, kdežto ionizující záření, s nímž je často zaměňováno, vypovídá o tom, co radioaktivní záření způsobuje.

Radioaktivní záření může být částicové, kdy jsou nositeli nabité částice nebo neutrony, nebo elektromagnetické, kdy jsou nositeli fotony. Hovoříme-li o částicovém záření, obvykle se jedná buď o záření  $\beta$ , u nějž jsou částicemi elektrony či pozitrony, nebo o záření  $\alpha$ , u nějž jsou částicemi jádra helia (He). Dále se také může jednat o nenabité částice – neutrony. Hovoříme-li pak o elektromagnetickém záření, jedná se záření  $\gamma$ , které je tvořeno proudem fotonů, nebo např. také o rentgenové záření, UV či IR. Blíže se budeme věnovat záření  $\alpha$  a  $\gamma$ , které jsme používali při našich experimentech.

Pro α záření je důležité, že přebytek energie rozpadu mateřského jádra se rozdělí na hmotu α-částic, kinetickou energii α-částic a dceřiného jádra a doprovodné záření γ. Spektrum vyzařovaných enegií je pro alfa částice čarové. Znamená to, tyto částice budou mít pro dané mateřské jádro tu samou energii. Tabulkové hodnoty pro Am-241 jsou z 86 % 5 486 keV(3), s nimiž srovnáme námi naměřené hodnoty. Ze srovnání pak vyvodíme závěry o našem měření. Pro  $\gamma$  záření je důležité, že přebytek energie mateřského jádra se vyzáří jako proud fotonů, který často doprovází  $\alpha$  či  $\beta$  rozpad. Záření  $\gamma$  je jen velmi malou částí spektra elektromagnetického záření. Má velmi malé vlnové délky a vysoké hodnoty frekvencí.

#### 2 Měření záření α a γ

V této práci jsme se věnovali měření vlastností dvou ze základních typů záření,  $\alpha$  emitované Am-241 a  $\gamma$  emitované Cs-137. V první úloze jsme měřili dolet částic alfa a v druhé jaké odstínění gama záření způsobí různé materiály.

#### 2.1 Měření doletu částic $\alpha$ a jejich energie

V této úloze jsme se zabývali tím, jaký dolet mají α částice, které emituje Am-241. Na měření jsme použili polovodičový detektor. Jeho vzdálenost od zdroje jsme měnili, abychom mohli zaznamenat, jaký počet alfa částic dolétne na danou vzdálenost. Měřili jsme na vzdálenostech 20-42 mm. Na každé vzdálenosti jsme měřili 3 minuty, abychom zajistili snížení statistické odchylky způsobené pravděpodobnostním charakterem jaderného rozpadu. Po naměření nám pro každou vzdálenost vyšel graf počtu detekovaných alfa částic s jedním či dvěma vrcholy, plocha těchto vrcholů ukazuje právě počet alfa částic, se kterými následně budeme počítat. Z těchto hodnot jsme sestavili graf závislosti počtu částic na vzdálenosti.





Pro výpočet energie jsme využili Geigerův empirický vztah pro dolet částic ve vzduchu:

$$R_{s} = 0,318E_{k}^{\frac{3}{2}}(2),$$

 $R_{1}$ ...dolet, my jsme použili hodnotu 39 mm. Tato hodnota byla použita, protože počet

detekovaných alfa částic odpovídal polovině maximálního naměřeného počtu.

Po dosazení nám vyšla hodnota kinetické energie 5,31 MeV. Tato hodnota se od té tabelované (5,486 MeV) o 0,17 MeV liší. Tato odchylka je v porovnání s velikostí energie odpovídající statistické chybě.

#### 2.2 Měření odstínění y záření různými materiály

Na určení množství  $\gamma$  záření z Cs-137, které proletí přes stanovený druh materiálu, jsme využili detektor scintilační detektor NaI(Tl), kombinovaný přístroj DA310 (zdroj VN, zesilovač, multikanálový analyzátor) a olověné a hliníkové destičky. Z časových důvodů jsme využili pouze jedné metody zkoumání. Nejdříve jsme instalovali destičku dané tloušťky mezi zdroj záření a detektor. Poté jsme otevřeli stínění zdroje a nechali detektor ozařovat po dobu cca 13 s. Postupně jsme navyšovali šířku destiček. Po změření všech destiček olověných jsme pokračovali s destičkami hliníkovými.

#### 2.2.1 Výsledky

Na následujících dvou grafech lze pozorovat závislost intenzity záření  $\gamma$  na tloušť ce daného materiálu v milimetrech. Se zvětšující se tloušť kou se zmenšuje intenzita.



Pro výpočet koeficientu zeslabení použijeme vzorec  $I = I_0 e^{-\mu x}$ , kde I a  $I_0$  intenzity záření  $\gamma$  před a za materiálem tloušťky x a lineárním koeficientem zeslabení  $\mu$ . Zlogaritmováním vznikne rovnice ln  $I/I_0 = -\mu x$ . Po dosazení do grafu nám hodnota trendu udá námi požadovaný koeficient zeslabení.



Koeficient zeslabení pro hliník nám vyšel 0,0188, pro olovo pak 0,1239. Ověřili jsme si, že koeficient zeslabení závisí mimo jiné na rostoucí hustotě materiálu a na velikosti jader atomu. S rostoucím koeficientem zeslabení roste i schopnost odstínění záření  $\gamma$ .

Prvek	naměřený koeficient	koeficient z literatury		
Hliník	0,0188	0,0285		
Olovo	0,1239	0,0682		

# 3 Shrnutí

Pomocí experimentů jsme zjistili dolet  $\alpha$ -částic vzduchem a vliv druhu a tloušťky materiálu na zeslabení až úplné odstínění  $\gamma$  záření. Za nepřesností našich výsledků může stát vícero faktorů. V první experimentu to může být nesprávné odečtení hodnot počtu částic z grafu. Ve druhém experimentu byla tímto faktorem zřejmě záměna jedné olověné destičky za železnou a také rozptýlení  $\gamma$  záření.

## 4 Poděkování

Děkujeme panu garantovi Ing. Miloši Tichému, CSc. za vedení této práce a umožnění měření experimentálních částí projektu na Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze. Zároveň bychom chtěli poděkovat právě Katedře jaderných reaktorů za poskytnutí prostor a prostředků na provedení experimentů a zpracování dat. Dále děkujeme Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze za umožnění průběhu akce Týden vědy a zároveň všem jejich sponzorům.

# **5** Reference

- TICHÝ, Miloš. Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti. Online. Dostupné z: https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/napln/mp-materialy/uvod-radioaktivita.pdf. [cit. 2024-06-18].
- [2] Dosah alfa částic v látce. Online. Dostupné z: https://physics.fjfi.cvut.cz/files/predmety/02SPRA/materialy/ZS05-alfa\_spektroskopie /ZS05\_navod1.pdf. [cit. 2024-06-18].
- [3] KVITA, Jiří a PŘÍVARA, Radek. Poznámky k přednášce: Detektory ionizujícího záření a ve fyzice částic (SLO/DIZX). Online. Dostupné z: https://jointlab.upol.cz/kvita/Poznamky DIZFC.pdf. [cit. 2024-06-18].
- [4] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. X-Ray Mass Attenuation Coefficients. Online. 2009, 17. 2. 2022. Dostupné z: https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html.[cit. 2024-06-18].

# Imunoradiometrické stanovení

A. Šulcová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>G Botičská; <u>sulcova.betka@gmail.com</u> Paulína Pažitková; Katedra jaderné chemie, FJFI ČVUT

#### Abstrakt:

V rámci tohoto miniprojektu jsme stanovovali neznámou koncentraci prolaktinu metodou IRMA, která je založena na vazbě protilátka – antigen – protilátka značena <sup>125</sup>I. Tato metoda je velmi citlivá a umožňuje určit koncentraci látek v řádech nanogramů.

# 1 Úvod

Prolaktin (PRL) je hormon vylučovaný hypofýzou a v lidském těle stimuluje růst mléčné žlázy a laktaci. Nachází se v plazmě, mléčném séru, hlenu cervixu, mozkomíšním moku a spermatu a jeho sekrece se zvyšuje zejména při ovulaci, těhotenství či ve stresu. Zvýšená či nízká hladina prolaktinu se projevuje patologickými stavy, jako jsou například prolaktinomy (hypofyzální adenomy), hypotyreoźa či Sheehanův syndrom.

V metodě IRMA se používají dvě protilátky, z nichž jedna (Y) je neoznačena a zafixována na stěnách zkumavky a druhá (Y<sup>\*</sup>) je označena radioaktivním izotopem <sup>125</sup>I. Do zkumavky se přidá prolaktin X, který se naváže na antigen Y a následně se přidá i druhá, radioaktivně označená protilátka Y<sup>\*</sup>. Během inkubace tak vznikne stabilní komplex Y-X-Y<sup>\*</sup>. Platí také, že čím vyšší je koncentrace látky X, tím vyšší bude koncentrace navázaných radionuklidů Y<sup>\*</sup>. Metoda se používá zejména při určování diagnózy reprodukčních problémů u žen.



Obrázek 1 Schématické znázornění metody IRMA<sup>2</sup>

# 2 Materiály a pomůcky

Prolactin IRMA kit (Immunotech Beckman)

- Zkumavky potažené protilátkou
- 5 lahviček se známou a jedna s nulovou koncentrací prolaktinu (0-5), dvě s neznámou koncentrací prolaktinu C1, C2
- Protilátka značená <sup>125</sup>I
- Promývací roztok

Poloautomatické pipety, parafilm, třepačka, studnový detektor NaI:Tl

# 3 Metodika

Do stojánku bylo vloženo 7 zkumavek potažených protilátkou. Do šesti z nich bylo napipetováno 50 µl standardů prolaktinu o různých koncentracích a do zbylé byl napipetován prolaktin o neznámé koncentraci. Do všech zkumavek bylo poté napipetováno 500 µl protilátky s přítomným radionuklidem <sup>125</sup>I. Zkumavky byly uzavřeny parafilmem a hodinu inkubovány a míchány na třepačce. Po ukončení inkubace byla ze zkumavek odebrána kapalina a byly dvakrát promyty promývacím roztokem. Aktivita všech vzorků byla následně třikrát pro dobu 60 s měřena na studnovém detektoru. Byla stanovena kalibrační křivka, ze které se poté určila neznámá koncentrace prolaktinu. V Tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty koncentrací standardů prolaktinu.

Tabulka 1 Koncentrace prolaktinu v jednotlivých zkumavkách

Zkumavka	0	1	2	3	4	5	C2
Koncentrace prolaktinu (c) [ng/ml]	0,0	1,9	10,2	46,0	92,0	184,0	?

# 4 Výsledky a diskuse

V Tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty četnosti impulsů za sekundu a jejich průměrná hodnota vzhledem ke koncentracím standardů prolaktinu.

Zkumavka	Koncentrace prolaktinu (c) [ng/ml]	Četnost	impulsů (l	[) [cps]	Průměrná četnost (I) [cps]		
0	0	36	34	34	35		
1	1,9	35	34	34	34		
2	10,2	34	35	33	34		
3	46	42	42	43	42		
4	92	57	57	57	57		
5	184	71	72	71	71		
C2	?	42	45	43	43		

Tabulka 2 Naměřené četnosti impulsů pro jednotlivé koncentrace

Z naměřených hodnot v Tabulce 2 byla vytvořena kalibrační křivka závislosti průměrné hodnoty četnosti impulsů na koncentraci prolaktinu. Hodnota 57 cps náležící koncentraci standardu 92 ng/ml nebyla zahrnuta do kalibrační křivky, protože se odchylovala od jejího lineárního průběhu.



Graf 1 Kalibrační křivka průměrných hodnot četnosti impulsů v závislosti na koncentraci prolaktinu

Z lineárního přeložení dat jsme získali rovnici uvedenou v Grafu 1 a s její pomocí jsme následně vypočítali koncentraci prolaktinu v neznámém vzorku C2.

$$c = \frac{I_{C2} - 33,406}{0,205} = \frac{43 - 33,406}{0,205} = 46,8 \, ng/ml$$

Referenční hodnota koncentrace neznámého vzorku C2 byla 33 ng/ml. Naše hodnota se od referenční hodnoty odlišuje nejspíš ze dvou důvodů. Prvním je stáří použitého kitu s přítomným radionuklidem, a tedy nízké hodnoty četnosti impulsů, které byly pro nižší koncentrace standardů shodné s četností impulzů pozadí. Proto kalibrační křivka nemusela být přesná. Druhým důvodem mohlo být nedostatečné promíchání a homogenizace vzorků před a během inkubace.

#### 5 Shrnutí

V tomto miniprojektu jsme pomocí metody IRMA stanovili kalibrační křivku hodnot četnosti impulsů vzorků v závislosti na koncentraci standardů prolaktinu. Z rovnice křivky jsme vypočítali neznámou koncentraci prolaktinu ve vzorku C2 o hodnotě 46,8 ng/ml.

#### Poděkování

Děkuji své školitelce Bc. Paulíně Pažitkové za ochotu, cenné rady, konzultace a za pomoc s celým projektem. Děkuji také organizátorům Týdne vědy na Jaderce za příležitost si miniprojekt a vědeckou práci vyzkoušet.

#### Reference

- [1] Návod k laboratorní úloze Radioimunologické metody (RIA, IRMA) převzané ze skript Studijní texty pro praktikum z radiačních metod v biologii a medicíně.
- [2] SAJID, K. M., 2020. COMPARATIVE ASSESSMENT OF QUALITY OF IMMUNORADIOMETRIC ASSAY (IRMA) AND CHEMILUMINESCENCE

IMMUNOMETRIC ASSAY (CHEIMA) FOR ESTIMATION OF THYROID STIMULATING HORMONE (TSH). *The Nucleus*. 46(4), 487–494. ISSN 2306-6539.

# Simulace provozu JE typu ABWR

### V. Stluka<sup>1</sup>

### stlukav@arcig.cz

### <sup>1</sup>Arcibiskupské gymnázium v Praze, Korunní 2

#### Abstrakt

Článek se zabývá praktickým využitím simulátoru provozu JE typu ABWR fungujícího na klasických stolních počítačích a řešením různých krizových situací hrozících během provozu systému jaderné elektrárny. Cílem této dvoudenní práce bylo vyzkoušet si některé možné scénáře a pozorovat a popsat fyzikální jevy v průběhu jejich trvání.

# 1. Teoretický úvod

V České republice, ale i v některých zemích ve světě, je stěžejním energetickým zdrojem energie z jaderných elektráren (JE). V naší zemi zajišťuje přibližně třetinu celkového instalovaného výkonu všech zdrojů. Je to jedno z nejkomplikovanějších zařízení a jak fyzikální, tak environmentální pohled na něj vyžaduje značnou teoretickou podporu. V tomto článku se velice zjednodušeně popisuje elementární fyzika reaktoru a principy a řízení JE typu ABWR.

V reaktoru dochází ke štěpné reakci, při níž se ostřelováním neutrony rozpadají jádra <sup>235</sup>U, jimiž je obohacen přírodní uran, složený převážně z izotopu <sup>238</sup>U. Při každém štěpení se uvolní 2-3 neutrony s vysokou energií a štěpné produkty, jejichž zpomalováním vzniká tepelná energie v palivu. Aby reakce probíhala rovnoměrně, musí z každé reakce reagovat právě jeden neutron a další dva se musí absorbovat. Neutrony se navíc pro optimální štěpnení musí zpolamit, což vyvolává potřebu moderátoru (voda nebo grafit). Uvolňování tepla při štěpení pak evokuje nutnost chladit reaktor i dlouho po jeho odstavení.

Stěžejní pro využití energie z procesů v reaktoru (viz výše) je jeden z termodynamických cyklů, konkrétněji Rankin-Clausiův (obr. 1). Obrázek ve zkratce popisuje stav, kdy se voda ohřívá na páru a zvyšuje se její entropie (hodnota neuspořádanosti systému) mezi body 1 a 2, následně se izotermicky entropie stále zvyšuje (mezi 2 - 3) a vzniká sytá pára, z níž se pak expanzí získává energie v turbině za poklesu teploty se zachováním hodnoty entropie (3 - 4) a konečně, izotermicky se sníží entropie v kondenzátoru do stavu 5 a z něj se vrací izoentropicky do bodu 1.

Na grafu je zároveň křivka hodnot suchosti páry (značka x), která se počítá jako poměr páry ke chladivu, tedy k vodě. Z toho lze usoudit, že pro hodnotu x = 0 se jedná o vodu a pro hodnotu x = 1 mluvíme pouze o páře. Při pohledu na graf tedy je zřejmé, že na křivce x=1 je sytá pára, pod

křivkou pára mokrá a napravo je to pára přehřátá. Na křivce x=0 je sytá kapalina, vlevo od ní podchlazená kapalina.



Obr. 1) Graf R – C cyklu, kde na ose x je entropie, na y teplota; světlá křivka zastupuje suchost páry a K<sub>r</sub> je kritický bod vody.

# **2. Туру JE**

V současné době již existují elektrárny III. generace a mnoho z nich má vlastní specifické řešení konstrukce reaktorů. Teoreticky je ale možné je rozdělit na 2 velké skupiny, totiž elektrárny tlakovodní a elektrárny s varným reaktorem. Tlakovodní známe z ČR, jde o reaktor s primárním chladicím okruhem, z nějž se pak ohřívá pára v okruhu sekundárním. Výhodou je nízká šance kontaminace, nevýhodou nákladná výroba parogenerátoru. Oproti tomu ve varných reaktorech je mezi ním a turbogenerátorem jediný okruh.



Obr. 2) Schéma elektrárny s varným reaktorem typu ABWR

# 3. Simulátor varného reaktoru typu ABWR

V rámci projektu byl použit simulátor Advanced BWR with Passive Safety Systems Simulator, vyvinutý americkou CTI Simulation International Corporation v roce 2008. Běží na jednom počítači a k jeho ovládání stačí pouze jeden operátor. Klasický reaktor ABWR má tyče zasunutelné zespodu a jeho regulační mechanismus záleží především na koncentraci H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> a ve změnách průtoku vody, což ovlivňuje reaktivitu tak, jak je popsáno výše. Zároveň ale platí, že tlakovodní elektrárna se může řídit od turbiny k reaktoru, zatímco ta s varným reaktorem od něj k turbině. Nejzásadnějšími parametry viditelnými na simulaci je tlak a teplota reaktoru, průtok chladiva a páry a výkony neutronový, tepelný a turbogenerátorový a konečně suchost páry. Její hodnota je pak klíčová pro moderaci systému reaktoru, protože čím méně je mokrá pára suchá, tím větší moderační schopnosti má (tato vlastnost je závislá na hustotě). Pro armatury platí pravidlo, že zelená znamená polohu zavřeno a červená otevřeno.

# 4. Řešení výpadku turbogenerátoru

Jednou z 10 různých simulovaných situací bylo odstavení turbogenerátoru. Na grafu na obr. 2 je jasně patrné, že první klesající veličina byl výkon turbogenerátoru. Ať už to bylo z jakéhokoli důvodu, nefunkční TG je rizikem pro systém. Při poklesu se začne zvyšovat tlak a neodcházející pára zapříčiní vyšší moderaci v reaktoru, což pak dokazuje křivka neutronového výkonu. U časového kroku 16 je patrné, že výkon překročil stanovenou mez ochranných systémů a došlo k tzv. SCRAM fázi, tj. nouzovému zasunutí bezpečnostních tyčí. Jak je řečeno výše, tepelný výkon klesá oproti tomu neutronovému oslabenému tyčemi podstatně pomaleji, což v důsledku vede ke zvýšení tlaku v reaktoru vzhledem ke vzniku páry, která ale neproudí do turbogenerátoru. Dále se otevřel ventil přepouštění do kondenzátoru, jakýsi bypass, který nechává proudit páru mimo



turbinu.

Obr. 2) Graf simulace veličin reaktoru po kolapsu turbogenerátoru.

Dále se kromě průtoku páry omezil i průtok chladicí vody, který by jinak zapříčinil zvýšení výkonu a hladiny v reaktoru. S klesající teplotou paliva klesá i suchost páry, tzn. čím dál tím větší podíl vody. A to vede konečně ke zvýšení hladiny vody. Při pohledu na křivku je zřejmé, že se mění i tlak v závislosti na některých regulačních systémech, nicméně na konci simulace se již vrací na svoji počáteční úroveň. Systém tak sám zvládl překonat krizovou situaci, při níž hrozilo přetlakování a poškození některých řídících systémů.

# Závěr a diskuse

V průběhu projektu jsem se zaměřil na teoretické základy pro pochopení elementárních fyzikálních vlastností zobrazených na simulátoru, na něž jsem pak navázal při pozorování chování automatických reakcí operačních systémů na jaderné elektrárně typu ABWR. Vyzkoušel jsem simulovat několik různých krizových situací souvisejících s poruchami jednotlivých zařízení a jako operátor jsem porovnával průběhy řešení vybraných scénářů.

# Poděkování a reference

Za teoretickou průpravu, vedení práce a sympatický přístup děkuji panu doktorovi Dušanu Kobylkovi z katedry Jaderných reaktorů FJFI ČVUT. Z jeho prezentací jsem pak vycházel i při sepisování této prezentace.

SVĚT ENERGIE: Vzdělávací portál ČEZ. (online) c2020. cit. 18.6.2024 Dostupné z: <u>Média ke</u> stažení - <u>Stahuj zdarma - Svět energie.cz</u> (svetenergie.cz)

# Simulace provozu JE typu VVER-440 T. Krištof<sup>1</sup>, R. Chylík<sup>2</sup> <sup>1</sup>Gymnázium Cheb, <u>Kristoftobik09@gmail.com</u> <sup>2</sup>Gymnázium Kojetín, <u>chyldicek@seznam.cz</u>

#### Abstrakt

Účelem tohoto příspěvku je ilustrovat fungování jaderných elektráren, zejména těch s reaktorem VVER-440. Hlavní důraz klade pak na simulace krizových scénářů, které mohou nastat, a mapování postupu jenž systémi elekrárny využívají při jejich řešení.

# 1. Úvod

Jaderná elektrárna je důmyslné a komplexní zařízení, které přeměňuje energie jaderného štěpení na energii elektrickou za využití principů reaktorové fyziky a termodynamiky. Pro konstrukci jaderných (i tepelných) elektráren je zásadní znalost zejména jednoduchého Rankin-Clausiova cyklu (druh termodynamického cyklu s vodou a vodní parou [viz Obr. 1]). U elektráren jaderných se pak ještě navíc zabýváme fyzikou jaderného štěpení, rozložením výkonu v aktivní zóně a v neposlední řadě i bezpečnostními systémy. Dále se v JE nachází například turbína či parogenerátor (viz. Obr.1).



Obrázek 1(C-R cyklus a schema JE)

# 2. VVER-440

Jde o verzi tlakovodního reaktoru se zvýšenou bezpečností s nominálním tepelným výkonem 1375 MW a 440 MW elektrického výkony. V ČR jsou v provozu čtyři bloky s tímto reaktorem, všechny v elektrárně Dukovany, kde první z nich slouží již od roku 1985. Reaktor společně s parogenerátorem a dalšími tvoří primární okruh JE. Součástí sekundárního okruhu je například parní turbína či kondenzátor. Na reaktoru je implementováno mnoho regulátorů zajišťující bezpečný provoz, mezi nejdůležitější z nich jsou RCS- řídící systém výkonu reaktoru, TVER-Turbínový výkonový elektronický regulátor a HO- havarijní ochrana. Havarijní ochrany dělíme na tři úrovně: HO-1= rychlé odstavení reaktoru, HO-3 a HO-4 = omezení výkonu reaktoru.

# 3. Simulátory

Jedná se o způsob, jak bezpečně a levně napodobovat chod jaderné elekrárny, který se může využívat například k seznámení budoucích operátorů s fungováním JE a k jejich zaškolování. Na simulátoru lze také napodobovat průběhy poruch a krizových situacích se kterými se operátoři běžně nesetkávají, a testovat vliv bezpečnostních systémů na stav elektrárny. Simulároty lze rozdělit podle toho ,jak moc jsou svou podobou a vzhledem věrné realitě a jak přesný mají fyzikální model. Mezi konkrétní druhy můžeme uvézt trenažéry, které jsou velice realistické a simulují velmi přesně fyzikální rozsah. Na druhou stranu makety fyziku nesimulují vůbec, snaží se ke skutečnosti přiblížit pouze svou vnější podobou. Naše nabrané zkušenosti ze simulace pocházejí z PC simulátoru SPVS-EDU, jenž je svou realističností někde mezi dříve zmíněnými. SPVS-EDU simulátor pracuje na čtyřech počítačích, z toho dva z nich sloužily k pozorování/ovládání okruhu primárního a těmi zbývajícími šlo pozorovat/ovládat okruh sekundární.

# 4. Průběh simulace

Bylo provedeno deset úloh, od jednoduchých změn výkonu přes poruchy jednotlivých zařízení, až po havarijní stavy, ze kterých jsme jednu vybrali a budeme jí zde popisovat. Simulace se nazývala "Zapůsobení HO-1".Scénář byla následující: Došlo ke spuštění havarijní ochrany reaktoru. Naším úkolem bylo sledovat, jak si při nouzovém odstavení reaktoru celý systém počíná, a zapsat důležité veličiny. Následující část je chronologický průchod tím co jsme viděli po spuštění úlohy.

Prvních 97 sekund probíhala simulace normálně, pouze se srovnávala s nominálními hodnotami. V 98. sekuně došlo ke spuštění funkce HO-1, která zahajuje nouzové odstavení reaktoru. V tu samou chvíli se spouští havarijní kazety a výkon reaktoru padá k nule, o čtyři sekundy později jsou z provozu vyřazeny také obě turbíny, což je žádoucí kvůli udržení tlaku v HPK – hlavním parním kolektoru a zachování přibližně stejné teploty v primárním okruhu, jinak by došlo ke kladnému nárůstu reaktivity vlivem zvýšení hustoty vody, která slouží i jako moderátor. Odstavení turbín však vede také ke zvýšení tlaku v sekundárním okruhu způsobené neodebíráním páry z parogenerátorů. Tlak již za pět vteřin dosáhne hodnot 4,9 MP což je o 0,4MP vyšší než je nominální hodnota (viz Obr. 4). Aby se zabránilo dalšímu nárůstu tlaku jsou na plno otevřeny PSK- přepouštěcí stanice do kondenzátoru (viz Obr. 2), které obcházejí turbíny. Ty způsobí částečný pokles tlaku v sekundárním okruhu, a tím snižují tlak zpět na požadované hodnoty. Doba ustálení všech hodnot je okolo dvaceti sekund. Hladina v parogenerátorech zůstává stabilizována na nižších hodnotách (viz Obr.3) tlak v HPK se naopak stabilizuje na vyšších (viz. Obr.4).





Obrázek 2

Obrázek 3



Obrázek 4

# 5. Závěrečné hodnocení

Během těchto dvou dní jsme se blíže seznámili s komplexním fungováním jaderných elektráren a reaktorů v nich. V první části nám byla představen zlomek teorie kterou je při stavbě elektrárny nutno znát. V části druhé jsme si pak mohli sami vyskoušet jaké to je pracovat jako operátor primárního i sekundárního okruhu. A hlavně jsme se přesvědčili o bezpečnosti, kterou u reaktoru zajišťuje nespočet systémů.

# Poděkování

Rádi bychom využili tento prostor abychom poděkovali všem, kteří nám při této práci byli oporou. Zejména tedy panu Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D., který byl vedoucím našeho miniprojektu. Mezi tyto lidi patří Dále pak organizátorům týdne vědy, díky kterým je tato akce tak skvělá. Díky patří i FJFI spadající pod ČVUT za poskytnuté pomůcky a prostory.

# Reference

- [1] D. Kobylka. VVER440 (prezentace)
- [2] D. Kobylka. 02\_teorie (prezentace)
- [3] D. Kobylka. VVER\_HO1 (tabulka)

# Šíření neutronů prostředím

M.Felenda<sup>1</sup>, Š. Konečný<sup>2</sup>, O. Matyasková<sup>3</sup>) <sup>1</sup> SPŠSE, České Budějovice; martin.felenda@spssecb.cz <sup>2</sup>SSPŠ, Praha; konecny.si.2020@skola.ssps.cz

<sup>3</sup>G Šlapanice; matyaskova.o@gslap.cz

Odborný garant: Ing. Ondřej Huml, Ph.D.

#### Abstrakt:

Tato práce se zabývá porovnáním pohybu tepelných a rychlých neutronů různými druhy prostředí. Jako prostředí byla použita: PE (3 cm, 6 cm, 9 cm), olovo (2 mm, 5 cm, 10 cm), kadmium (2 mm) a jejich kombinace.

# 1 Úvod

Neutron je elektroneutrální subatomární částice tvořená ze tří kvarků - up, down, down. Hmotnost je téměř totožná jako hmotnost protonu a vzhledem ke společnému výskytu v jádře atomu jsou nazývány nukleony (nucleus - jádro). Neutrony v jádře jsou stabilní, mimo jádro jsou však relativně nestálé a rozpadají se beta rozpadem s poločasem rozpadu cca 610 s.

Neutrony se mimo atomové jádro mohou dostat rozpadem nestabilního izotopu (např. <sup>235</sup>U), čímž vzniknou vysokoenergetické (rychlé) a nízkoenergetické (tepelné) neutrony. Poté se pohybují a reagují s okolním prostředím (látkou). Během reakce může dojít k rozptylu, násobení nebo absorpci. Při rozptylu se neutron odrazí od jiného jádra, změní svůj směr a energii. Jádro také může po srážce neutron pohltit – dojde k absorpci, vzniku nového izotopu (s nukleonovým číslem o jedna vyšším) a vyzáření přebytečné energie ve formě záření nebo částic. Poslední možností je násobení, což je reakce důležitá kupříkladu pro funkci jaderného reaktoru. Neutron je pohlcen jádrem, které se záhy rozštěpí a vznikne více neutronů. K jakému typu interakce dojde, závisí na energii a typu izotopu, se kterým neutron reagoval.

V této práci popisujeme rozdíly v šíření tepelných a rychlých neutronů různými typy prostředí (polyethylen PE, olovo Pb, kadmium Cd a jejich kombinace) a porovnáváme je s výsledky získanými počítačovou predikcí.

### 2 Praktická část

#### 2.1 Materiály a přístroje

K měření jako zdroj záření bylo použito <sup>252</sup>Cf, kdy bylo uloženo v odstíněném kontejneru s oválným průzorem do jeho středu. Tímto uložením vznikl přímý tok neutronů bez větších rozptylových ztrát, který byl měřen dvěma scintilačními detektory.

První byl použit detektor ZnS(Ag) pro tepelné neutrony a poté detektor ZnS(Ag)+<sup>6</sup>LiF pro rychlé neutrony. Signál z detektorů byl zpracováván pomocí multikanálového analyzátoru DA-310 od firmy TEMA.

### 2.2 Postup měření

Polohovací stůl byl přistaven ke kontejneru se zdrojem záření <sup>252</sup>Cf a byly na něj upevněny polyethylenové (PE) bloky pro zajištění detektorů neutronů. Nyní se vyjmul stínící prvek kontejneru a polohovací stůl s detektorem tepelných neutronů upevněným do PE bloků se vysune tak, aby objektiv detektoru byl soustředný s nově vzniklým kruhovým průzorem po stínícím prvku. Detektor se poté zapojil do TEMA DA-310, ze kterého byly získány hodnoty v bitové hodnotě a ty byly následně zpracovávány v obslužném softwaru analyzátoru. Po naměření hodnot se zopakoval měřící postup pro detektor rychlých neutronů.

# 2.3 Výsledky



Graf 1: Stínění tepelných neutronů (praxe + teorie)



Graf 2: Stínění rychlých neutronů (praxe + teorie)



Graf 3: Porovnání rychlých a tepelných neutronů



Graf 4: Vliv Cd na šíření neutronů v PE

Graf 5: Vliv Cd na šíření neutronů v Pb

Počítačová predikce odpovídala prakticky změřeným datům, v případě rychlých neutronů pouze poměrově, což lze vysvětlit rozdílnými vstupními hodnotami pro volnou geometrii při simulaci a praxi (viz graf 1 a 2)

Při zvyšování PE vrstvy došlo k nárůstu detekce tepelných neutronů, a naopak ke snížení detekce rychlých neutronů. Tento poznatek potvrzuje moderační vlastnosti polyethylenu, tj. zpomaluje rychlé neutrony. Při stínění kadmiovým plíškem byl pozorován pouze pokles detekce tepelných neutronů, hodnoty pro rychlé neutrony se změnily minimálně z důvodu odchylky měření. To dokazuje schopnost kadmia účinně absorbovat pouze tepelné neutrony a je tedy vhodné k jejich odstínění. Vliv olova na šíření neutronů je záporný, dochází ke snížení detekce prošlých neutronů obou typů (viz graf 3).

Graf 4 dokazuje výborné moderační vlastnosti polyethylenu. Z grafu 5 by mohly být vyvozeny slabé moderační vlastnosti olova, ale z grafu 4 vyplývá, že pozice kadmia nemá

vliv na rychlé neutrony, což rozporuje graf 5. Důvodem může být nedostatečná přesnost měření nebo jiné typy interakcí.

# 3 Závěr

Tato práce shrnuje pohyb neutronů v různých typech prostředí. Měření prokázalo moderační vlastnosti polyethylenu – zpomaluje rychlé neutrony na tepelné. Dále bylo zjištěno, že kadmium selektivně absorbuje tepelné neutrony. U olova byla pozorována schopnost rozptylu neutronového paprsku obou typů, tudíž došlo ke snížení intenzity detekce.

Naměřené výsledky byly ve shodě s počítačovou simulací s výjimkou grafu 2, kde byla podobnost pouze poměrová.

Z grafu 5 nebylo možno prokázat moderační vlastnosti olova. Pozice kadmia by neměla ovlivnit počet rychlých neutronů. Na tento poznatek lze navázat dalším výzkumem s vyšší přesností.

# 4 Poděkování

Na tomto místě chceme poděkovat Ing. Ondřeji Humlovi, Ph.D., nejen za skvělé vedení celé práce, ale hlavně za neocenitelnou pomoc, trpělivost a ochotu věnovat se mi i přes všechny další povinnosti. Dále chceme projevit své velké díky Ing. Vojtěchu Humlovi, CSc. a RNDr. Karlu Kolářovi, Ph.D. za umožnění naší účasti a organizace Týdne vědy na Jaderce. V souvislosti s tím chceme poděkovat i všem sponzorům v čele s MŠMT a The Kellner Family Foundation. Naše díky patří samozřejmě i středoškolským profesorům, kteří nám umožnili strávit týden na FJFI ČVUT.

# 5 Reference

ŠTOLL, Ivan. Fyzika pro gymnázia. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2002. ISBN 80-7196-241-4.

PATTIE, R. W.; CALLAHAN, N. B.; CUDE-WOODS, C.; ADAMEK, E. R.; BROUSSARD, L. J. et al. Measurement of the neutron lifetime using a magneto-gravitational trap and in situ detection. Online. Science. 2018, roč. 360, č. 6389, s. 627-632. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <u>https://doi.org/10.1126/science.aan8895</u>. [cit. 2024-06-18].

# Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně

A. Zethnerová<sup>1</sup>, K. Bednář<sup>2</sup>, Š. Dubský<sup>3</sup> <sup>1</sup> Arcibiskupské gymnázium v Praze; zethnera@arcig.cz <sup>2</sup> Střední průmyslová škola Třebíč; bednark.05@spst.eu <sup>3</sup> Gymnázium Plasy; dubskystepan123@seznam.cz

#### Abstrakt

Práce se zabývá použitím manganové lázně a gama spektrometrického zařízení k stanovení emisní četnosti (intenzity) radionuklidového AmBe zdroje. Cílem miniprojektu je stanovit zmíněnou četnost a porovnat ji s certifikovanou hodnotou.

# 1 Úvod

Metoda manganové lázně je ověřená metoda, které se používá k stanovení intenzity radionuklidového zdroje. mají široké využití v oblasti medicíny, materiálovém či archeologickém výzkumu.

Existují dva hlavní typy radionuklidových zdrojů – spontánní štěpení a typu ( $\alpha$ , n). Tento pokus využívá zdroj typu ( $\alpha$ , n). Principem fungování je smíchání radioizotopů, které emitují částice  $\alpha$ , s izotopy s nízkou atomovou hmotností. My jsme použili zdroj AmBe (americium, beryllium). Pomocí gama spektrometrického zařízení jsme stanovili aktivitu vzorků odebraných z manganové lázně a následně pomocí vzorců ověřili intenzitu zkoumaného zdroje typu AmBe.

#### 2 Metody a materiály

K určení intenzity neutronového zdroje jsme využili metodu manganové lázně, která je založena na aktivaci manganu neutrony. Použité materiály zahrnují vodný roztok MnSO<sub>4</sub>, radionuklidový zdroj typu AmBe a detekční zařízení – gama spektrometr s HPGe detektorem. (viz. Obrázek 1) Ten má na rozdíl od scintilačních detektorů velmi dobrou rozlišovací schopnost v oblasti KeV.



Obrázek 1

### 3 Experimentální uspořádání

Před měřením bylo nutné nejprve roztok MnSO<sub>4</sub> o objemu 163,3 litru nechat AmBe zdrojem ozářit. Zdroj byl umístěn v suchém kanálu víc než 10 poločasů rozpadu – od pátku 14.6. 2024 do pondělí 17.6. 2024. ( $T_{1/2} = 2,579 \times h^{-1}$ ) Během této doby došlo k zachycení neutronů jádry atomů <sup>55</sup>Mn a přeměně na nový nestabilní izotop <sup>56</sup>Mn. Ten se poté rozpadá na izotop železa. (viz. Rovnice 1) Při tomto procesu vznikají záporně nabité elektrony a pro nás klíčové záření gama.

<sup>55</sup>Mn + n 
$$\rightarrow$$
 <sup>56</sup>Mn  $\rightarrow$  <sup>56</sup>Fe + e - +  $\gamma$   
rovnice 1

Po zmíněné době došlo k promíchání lázně a odebrání dvou vzorků – u nich potřebujeme zjistit aktivitu. V Marinelliho nádobě se vzorky vložily do gama spektrometru a proběhlo měření – u každého vzorku 3x. (viz. obrázek 2)

Naměřené hodnoty pro radionuklid <sup>56</sup> Mn na energetické hladině 846,771 KeV									
Měření vz.1	Plocha peaku S	Odchylka (%)	začátek ozařování t1	konec ozařování t2	zahájení měření t3	treal (s)	tlive (s)	Mrtvá doba detektoru (%)	
1	55678	0,4	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 12:49	751,7	743,6	1,08	
2	28264	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:26	446,5	442,3	0,94	
3	28491	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:46	483,8	479,7	0,86	
Měření vz.2	Plocha S	Odchylka (%)	začátek ozařování t1	konec ozařování t2	zahájení měření t3	treal (s)	tlive (s)	Mrtvá doba detektoru (%)	
1	61600	0,4	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:06	892,8	883,8	1	
2	30312	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:35	497,9	493,5	0,89	
3	28060	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:35	506,5	502,4	0,81	

Pro stanovení nejpřesnějších výsledků volíme energetickou hladinu záření 846,8 KeV. (ostatní hladiny nejsou tak dobře detekovatelné).

Obrázek 2

K výpočet je třeba znát již zmíněnou aktivitu A měřeného vzorku a účinnost lázně (ta nám byla sdělena). Použijeme vztah:

$$A = \frac{S(E_{\gamma}) \cdot \lambda \cdot \frac{t_{real}}{t_{live}}}{(1 - e^{-\lambda \cdot t_1}) \cdot e^{-\lambda \cdot (t_2 - t_1)} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{real}}) \cdot \varepsilon_{eff}(E_{\gamma}) \cdot I_{\gamma}(E_{\gamma})}$$

Kde, S  $(E_{\gamma})$ - plocha pod peakem energie,  $\lambda$  - rozpadová konstanta pro <sup>56</sup>Mn, t<sub>real</sub> – doba měření, t<sub>live</sub> – doba měření s opravou na mrtvou dobu t<sub>1</sub>– doba ozařování, (t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub>) – doba chlazení,  $I_{\gamma}(E_{\gamma})$ - pravděpodobnost emise gama záření,  $\varepsilon_{eff}(E_{\gamma})$ - absolutní detekční účinnost detekčního systému

Máme-li aktivitu vzorku, můžeme stanovit aktivitu celé manganové lázně A<sub>celk</sub> podle vztahu:

$$A_{\text{celk}} = \frac{V_{\text{celk}}}{V_{\text{vzorek}}} \cdot A$$

Finální intenzita se vypočte podle vztahu:

$$S = \frac{A_{\text{celk}}}{f \cdot (1 - f_1 - f_2 - L)}$$

Kde, f - podíl tep. neutronů zachycených Mn ku neutronům zachyceným ostatními jádry,  $f_1 - \text{podíl}$  neutronů prodělávajících reakce (n, $\alpha$ ) na O, reakce (n, $\alpha$ ) a (n,p) na S  $f_2 - \text{podíl}$  neutronů ze zdroje ztracených v samotném zdroji a v dutinách, L - podíl neutronů ze zdroje uniklých z lázně

#### 4 Výsledky

- Celková aktivita: 3357±138 kBq
- Experimentálně zjištěná intenzita neutronového zdroje: 10780±556×s<sup>-1</sup>
- Certifikovaná intenzita neutronového zdroje: 11610×s<sup>-1</sup>

Z naměřených hodnot vyplývá, že naše naměřené hodnoty se od certifikovaných liší o 7%.

#### Diskuse

Výsledky ukazují, že metoda manganové lázně je přesná a spolehlivá. Při měření mohly odchylku ovlivnit následující faktory: homogenita lázně, doba ozáření, kalibrace detekčního zařízení či stáří manganové lázně.

#### 5 Závěr

Tento příspěvek ukazuje použití manganové lázně k určení intenzity neutronového AmBe zdroje. Při experimentu jsme se seznámili s manganovou lázní, radionuklidovým zdrojem a zmíněným postupem při zjišťování emisní četnosti. (intenzity)

### Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat všem organizátorům Týdnu vědy za umožněné zážitky a skvělou připravenost. Za ukázkové vedení a seznámení s tímto tématem při miniprojektu si zaslouží velké dík Ing. Jan Rataj Ph.D.

#### Reference

RATAJ, Jan. *Stanovení intenzity radionuklidového zdroje metodou manganové lázně*. Online, prezentace. 2010. [cit. 2024-06-18].

# Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na Reaktoru VR-1

T. H. N. Nguyen<sup>1</sup> - <u>nguyentathanoi@gmail.com</u> L. Vojtek<sup>2</sup> - <u>lukas.vojtek@centrum.cz</u> M. Tlamka<sup>3</sup> - matous.tlamka@icloud.com

<sup>1</sup> Gymnázium Václava Hlavatého, Louny / <sup>2</sup> Gymnázium třída Kapitána Jaroše, Brno / <sup>3</sup> Gymnázium Arabská, Praha

Pracoviště Troja, V Holešovičkách 2/747, 180 00 Praha 8

#### Abstrakt

Tento příspěvěk se zabývá stanovením kalibrační křivky regulační tyče R2 na reaktoru VR-1. Kalibrační křivka je klíčovým nástrojem pro správné nastavení a provoz regulační tyče, což je nezbytné pro bezpečný a efektivní chod reaktoru. V příspěvku je popsáno měření, výsledky a jejich výklad. Kalibrační křivka byla zkoumána třemi různými způsoby. (Analytický přístup, numerický výpočet a experimentální měření)

### 1 Úvod

Kalibrační křivka regulační tyče je důležitým prvkem pro bezpečné řízení jaderného reaktoru. Představuje závislost mezi polohou regulační tyče a jejím účinkem na reaktivitu reaktoru. Stanovení této křivky je nezbytné pro zajištění přesného řízení reaktoru a prevence nehod. Cílem této studie je určit kalibrační křivku pro regulační tyč R2 na školním výzkumném reaktoru VR-1.

#### 2 Teoretický úvod

Regulační tyč se používá k řízení reaktivity reaktoru. Absorpční část se skládá z kadmia (prvek s velkou absorpcí tepelných neutronů). Při zasouvání tyče do aktivní zóny reaktoru dochází k absorbci neutronů, což snižuje reaktivitu systému. Kalibrační křivka je graf, který udává vztah mezi polohou tyče (vyjádřenou v milimetrech) a změnou reaktivity (vyjádřenou v jednotkách  $\beta_{ef}$ ).

#### 3 Metodika měření

#### 3.1 Přístroje a zařízení

Pro měření byly použity následující přístroje:

- Neutronový detektor SNM10
- Poziční senzor regulační tyče
- Počítačový systém pro sběr dat

#### 3.2 Postup měření

1. *Příprava systému*: Reaktor je operátorem uveden do podkritického stavu s regulační tyčí R2 v dolní koncové pozici (z = 680 mm). Neutronový detektor SNM10 je vložen do vertikálního kanálu na pozici B3.

2. *Sběr dat*: Regulační tyč byla postupně vysouvána (po krocích 120 mm) z aktivní zóny reaktoru. V každé pozici byly měřeny odezvy neuronů na detektoru.

3. *Analýza dat*: Průměrné hodnoty "četnosti detekce" CR(z) pro každou axiální pozici z byly analyzovány a využití vzorce (1) a následně byly vytvořeny křivky integrální a diferenciální.

$$\rho_{\text{int}}(z) = \rho_0 \cdot \frac{\frac{1}{CR(z)} - \frac{1}{CR_{\uparrow}}}{\frac{1}{CR_{\downarrow}} - \frac{1}{CR_{\uparrow}}}$$
(1)



Obrázek 2: Schéma aktivní zóny reaktoru VR-1

#### 3.3 Experimentální měření

1. Ze vzorce (1) dopočítáme hodnoty  $\rho_{int}$  (při znalosti váhy tyče  $\rho_0 = 1,078528 \beta_{ef}$ ) tímto získáme požadované hodnoty (body na grafu).

2. Body proložíme polynomem 5. stupně (např. v Excelu) a následně dostáváme integrální křivku.

3. Abychom získali diferenciální křivku derivujeme křivku integrální.

#### 3.4 Analytický přístup

1. Je založen na poruchové teorii, pro kterou platí určité zjednodušující předpoklady.

2. Absorbční tyč, "porucha" je umístěna do středu válce představujícího homogenní reaktor. Při uvažování této teorie lze dojít k teoretickým vztahům prezentovaným níže, viz (2), (3). Tyto vztahy udávají teoretický tvar integrální a diferenciální kalibrační křivky.

$$\rho_{\rm int}(z) = \rho_0 \cdot \left(\frac{H-z}{H} - \frac{1}{2\pi} \cdot \sin\frac{2\pi(H-z)}{H}\right) \tag{2}$$

$$\rho_{\mathsf{dif}}(z) = \frac{\rho_0}{H} \cdot \left( \cos \frac{2\pi (H-z)}{H} - 1 \right) \tag{3}$$

### 4 Výsledky

Výsledky měření ukázaly jasnou závislost mezi polohou regulační tyče a reaktivitou. Integrální křivka (*Graf 1*) nám ukazuje, jaký je vliv regulační tyče v dané axiální pozici (jednotka  $\beta_{ef}$ ), zatímco křivka diferenciální (*Graf 2*) nám udává míru vlivu regulační tyče v dané axiální pozici (jednotka  $\beta_{ef}$ /mm)



Graf 1: Integrální kalibrační křivky



Graf 2: Diferenciální kalibrační křivky
#### 5 Diskuze

#### 5.1 Interpretace výsledků

Výsledky měření kalibrační křivky ukázaly jasnou a konzistentní závislost mezi polohou regulační tyče R2 a reaktivitou reaktoru. Tato závislost je klíčová pro správné řízení reaktoru a umožňuje operátorům přesně předvídat změny reaktivity při posunu regulační tyče. Získaná kalibrační křivka vykazuje typický tvar "S" křivky, což je výhodné pro praktické použití, protože umožňuje jednoduché a přesné řízení reaktoru.

#### 5.2 Dopady na bezpečnost a provoz reaktoru

Přesné stanovení kalibrační křivky má přímý dopad na bezpečnost a efektivitu provozu reaktoru. Přesná kalibrace umožňuje operátorům ovlivňovat neutronový tok a reaktivitu, což je klíčové pro udržení reaktoru v bezpečném stavu. Nepřesné řízení reaktivity může vést k nebezpečným situacím, jako je nekontrolované zvýšení výkonu nebo naopak ztráta štěpné řetězové reakce.

#### 6 Závěr

Stanovení kalibrační křivky regulační tyče je klíčové pro bezpečný a efektivní provoz reaktoru. Výsledky této studie poskytují důležité informace pro optimalizaci řízení reaktoru. Dále by bylo užitečné provést podobná měření s různými typy regulačních tyčí a za různých provozních podmínek. Ze všech prezentovaných křivek plyne, že míra vlivu (*viz Graf 2*) je největší v oblasti středu aktivní zóny (okolo axiální pozice z = 360 mm), což je ve shodě s axiální rozložením výkonu v reaktoru.

#### Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat Bc. Ondřeji Lachoutovi, vedoucímu našeho miniprojektu, za zápal a radost z fyziky, se kterou nám vše vysvětlil a se vším nám pomohl. Také bychom chtěli poděkovat organizátorům akce Týden vědy na Jaderce 2024, za možnost vyzkoušet si alespoň částečně práci vědce.

#### Literatura

[1] Prezentace – Bc. Ondřej Lachout (2024) \*\*Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na reaktoru VR – 1 (Týden vědy na Jaderce 2024)

[2] Webové informační stránky ČVUT - http://www.reaktor-vr1.cz/cz/reaktor/popis

[3] Prezentace – Lenka Heraltová \*\* Jaderné reaktory a jak to vlastně vše funguje

# Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

A. Boor<sup>1</sup>, D. Dudek<sup>2</sup>, H. Valentová<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SOŠ IT Bratislava, alta.boor0011@gmail.com <sup>2</sup>Církevní G v Kutné Hoře; danik.dudek@gmail.com <sup>3</sup>G J. Wolkera, h.valentova26@gmail.com

Ing. P. Suk, Ing. O. Novák, odborní pracovníci; KJR ČVUT

#### Abstrakt

Příspěvek se zabývá měřením rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1. Cílem práce bylo změřit výkon uprostřed a na okraji aktivní zóny heliovým detektorem 05NH1 a borovým detektorem SNM-13.

#### 1 Úvod

Pro bezpečný chod jaderného reaktoru je potřeba znát jeho výkon. Díky znalosti rozložení toku neutronů, které je hodnotě výkonu přímo úměrné, můžeme zjistit za jak dlouho palivo v aktivní zóně vyhoří, jakou mírou reaktor musíme chladit, či v případě výzkumných reaktorů, jako je právě VR-1, které části jsou nejvhodnější pro další experimenty. Otázky na které se naše práce snaží najít odpovědi jsou ve které části reaktoru je největší/nejmenší výkon a jak fungují námi použité detektory neutronů.

#### 2 Teorie

Neutrony nemají vlastní náboj. Velikost toku letících neutronů je možné změřit pouze skrz účinky které tyto neutrony mají na jiné materály, např. B, He. Při srážce s těmito materiály vznikají nabité částice, které již detekovatelné jsou. Toto měření může být tzv. online, kdy pozorujeme momentální odezvu detektoru, nebo offline, při kterém zpětně zkoumáme účinky záření, např. filmový dozimetr, jehož součástí je políčko fotografického filmu s emulzí se zvýšeným obsahem AgBr, které po vystavení záření černá. V našem měření byly použity dva online detektory. Uprostřed aktivní zóny byl použit borový detektor SNM-13, mimo ni pak heliový detektor 05NH1.

1. Borový detektor SNM-13

Detektor má délku 85 mm a průměr 8,5 mm. Při kontaktu s neutronem vzniká lithium a alfa záření.

$${}^{10}_{5}\text{B} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{7}_{3}\text{Li} + {}^{4}_{2}\alpha \tag{1}$$

#### 2. Heliový detektor 05NH1

Detektor má délku 85 mm a průměr 10 mm. Při kontaktu s neutronem vzniká nabitá částice proton.

$${}_{2}^{3}\text{He} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow {}_{1}^{3}\text{He} + {}_{1}^{1}\text{H}$$

$$\tag{2}$$

Lze předpokládat, že graf výkonu uprostřed reaktoru bude mít tvar kosínové křivky - nejvyšší hodnoty na úrovni paliva, nejméně od přechodu do moderátoru a dál.



Obrázek 1: Model předpokládaného grafu výkonu uprostřed aktivní zóny

Graf ve skutečnosti vypadá jinak. Dva reflektorové peaky jsou dány pohybem ne-



Obrázek 2: Model skutečného grafu výkonu uprostřed aktivní zóny

utronů. Při štěpné reakci se neutron vystřelí z atomu paliva (v reaktoru VR-1 je to uran) s energií asi 2 MeV. Tyto neutrony se nazývají rychlé. Pravděpodobnost, že takto rychle se pohybující neutrony rozštěpí jiné atomy uranu je vcelku nízká. Po snížení své energie na 0,0253 eV se mění na tepelné (pomalé) neutrony. Uran pak rozštěpí snáz. Neutrony snižují svou energii nárazy do jiných částic či stěn reaktoru. Nejúčinněji však energii ztrácí srážkami s atomy moderátoru (v reaktoru VR-1 je to demineralizovaná voda). Velké množství neutronů zpomalených v moderátoru se vrací do paliva, kde hned na hranici mezi těmito materiály rozštěpí další atomy. Proto výkon v těchto oblastech stoupá. Mimo aktivní zónu však tyto dodatečné vrcholy pozorovatelné nejsou.



Obrázek 3: Model grafu výkonu mimo aktivní zónu

#### 3 Měření a výsledky

Celkově bylo provedeno 36 měření (18 na každém detektoru). Detektory byly nejdříve spuštěny až na dno reaktoru, poté byly po 5 cm postupně vytahovány ven. V každé výšce byl měřen časový úsek 40 sekund. Suma naměřených neutronů se potom vydělila čtyřiceti aby se dosáhlo průměrné hodnoty za sekundu. Pro měření uprostřed aktivní zóny byl použit bórový detektor, pro měření na okraji héliový.



Obrázek 4: Graf s hodnotami naměřenými uprostřed aktivní zóny



Obrázek 5: Graf s hodnotami naměřenými mimo aktivní zónu

#### 4 Shrnutí

Naměřené hodnoty i jejich příslušné grafy se shodují s teoretickými předpoklady. Na grafech našich hodnot změřených uprostřed aktivní zóny jsou také zcela evidentně viditelné reflektorové peaky. Na grafu hodnot z okraje aktivní zóny peaky nejsou.

### Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Pavlu Sukovi za vedení našeho projektu a pomoc při naší práci. Pak také Ing. Janu Frýbortovi, Ph.D. a Ing. Radovanovi Starému za odpovědi na naše dotazy. A samozřejmě celému týmu organizátorů Týdnu vědy na Jaderce.

### Stavba mlžné komory

Tamal Fejt<sup>1</sup>, Rémi Petit<sup>2</sup>, and Oliver Beer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, Plzeň, Mikulášské nám. 23, tamal.fejt@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Prachatice, remipetit@post.cz <sup>3</sup>SŠ řemesel, Frýdek-Místek, hacktorxd@gmail.com

doc. Mgr. J. Bielčík, Ph.D.; FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Cílem tohoto miniprojektu bylo sestrojit vlastní mlžnou komoru z běžně dostupných materiálů a pomocí ní pozorovat různé druhy částic. Během projektu jsme se seznámili s principy fungování mlžné komory a základními charakteristikami kosmického záření, které produkuje částice viditelné v komoře. Postupně jsme analyzovali dráhy různých částic, identifikovali jsme například stopy elektronů, pozitronů a mionů.

Alfa částice jsou nejběžnější a jejich dráha je krátká, rovná a tlustá. Dráha elektronů a pozitronů připomíná vlas, je tenká a kvůli malé hmotnosti elektronu často mění směr. Mion neinteraguje s většinou částic, a proto je jeho dráha rovná a protíná celou mlžnou komoru.

### 1 Úvod

Mlžná komora byla vynalezena Skotským meteorologem Charlesem Wilsonem na konci 19. století. Za tento vynález byla udělena Nobelova cena. Slouží k detekci a vizualizaci ionizujících záření. Princip mlžné komory spočívá v ochlazování přesycené páry alkoholu, která kondenzuje na ionizovaných částicích vytvořených průletem nabitých částic. Tím vznikají viditelné stopy, které umožňují sledovat pohyb a identifikovat různé druhy částic.

#### 2 Teorie

Kosmické záření je proud energetických částic pocházejících z vesmíru, pohybujících se vysokou rychlostí a dopadajících do zemské atmosféry. Skládá se z atomových jader, převážně protonů a alfa částic, elektronů a jiných částic.

Lze jej rozdělit na primární, to jsou částice které vstupují do atmosféry, a sekundární ty jsou vyvolány interakcí primárních částic a molekul v atmosféře. Jedna primární částice dokáže vyvolat tisíce sekundárních. V mlžné komoře jsme z těchto částic pozorovali pouze miony, které vznikají při rozpadu pionů po jaderné interakci.

Dalším druhem záření je přirozené pozadí, tedy radioaktivní atomy v našem prostředí. V komoře se pravděpodobně nacházely atomy radonu, které při rozpadu vytváří alfa částice



Obrázek 1: Schéma dopadu kosmického záření na zemi

a elektrony. Na našem pracovišti jsme Geiger-Müllerovým počítačem naměřili dávku 0,16  $\mu$ Sv/h. Kosmické záření má řádově vyšší energii než záření z přirozeného pozadí. Jednou z metod pozorování záření je mlžná komora. V této komoře je plynný isopropanol ochlazen na teplotu pod rosný bod pomocí suchého ledu. Když elektricky nabitá částice proletí tímto plynem, ionizuje molekuly vzduchu podél své dráhy, což způsobí kondenzaci isopropanolu na iontech a vytvoření viditelných stop částic.

#### 3 Stavba komory

Nejprve jsme zkusili použít již předpřipravenou komoru sestavenou z plastového faunária, které bylo otevřeným dnem položeno na černý hliníkový plech, pod kterým byl vyskládán suchý led. Suchý led byl umístěn v europřepravce, která byla vyskládána polystyrenem pro lepším izolaci. Na stropě faunária byl vylepen filc, který byl postříkán isopropylalkoholem. Následně jsme zkusili nový design, který se chladí pouze v mrazáku a není potřeba suchého ledu.

- 1. Černý hliníkový chladič byl vyplněn modrým chladivým gelem a oblepen hliníkovou páskou tak, aby gel nemohl vytéct.
- 2. Z plexiskla byla sestavena krabice bez dna, která se dala nasadit na chladič. Strop byl vylepen zhruba deset centimetrů pod vrchní okraj stěn, což vytvořilo prostor kam lze nalít horkou vodu. Na strop byl zevnitř vylepen filc. Důležité je, aby krabice byla utěsněna tavnou pistolí a hliníkovou páskou, čímž zabráníme teplému vzduchu dostat se dovnitř.
- 3. Na vnitřní stěny může být vylepena LED páska.
- 4. Filc se padesátkrát postříkal sprejem isopropylalkoholu. Chladič byl zmražen na co nejnižší teplotu, nám se povedlo méně než  $-20^{\circ}$  a nasadila se na něj krabice. Na krabici byla vylita horká voda.



Obrázek 2: Dvě komory, chlazeny chladícím gelem



Obrázek 3: Dráha připomínající vlas

# 4 Pozorování

Po zhasnutí světel a rozsvícení baterky jsme začali pozorovat kapičky isopropylalkoholu, po chvíli se začaly objevovat první dráhy částic. Na obrázku 3 je vidět dráhu připomínající vlas. Na obrázku 4 můžeme vidět dráhy dvou částic. Na obrázku 5 pozorujeme dlouhou dráhu protínající celou mlžnou komoru.



Obrázek 4: Dvě částice



Obrázek 5: Dlouhá čára protínající celou mlžnou komoru

### 5 Diskuze

#### 5.1 Typ komory

První způsob poskytuje stabilní výsledky po dobu několika hodin, nicméně pro jeho konstrukci je potřeba suchého ledu, tento způsob neposkytoval tak kvalitní výsledky, nebylo možné pozorovat tolik částic.

Druhý způsob většinou fungoval, ale bylo nutné opravdu utěsnit komoru před teplým vzduchem zvenku. Několikrát se nám pomocí tohoto způsobu dokonce povedlo zachytit i dráhy mionů a částice byly pozorovatelné téměř neustále.

#### 5.2 Dráhy částic

Z obrázku 3 je téměř jasné, že se jedná o elektron, nebo pozitron. Domníváme se, že na obrázku 4 je vidět nalevo beta částice a napravo alfa částice, která ale mění směr po srážce s jiným jádrem. Také je možné že se jedná o druhý elektron. Na obrázku 5 je pravděpodobně vidět dráha mionu.

#### 6 Závěr

V rámci tohoto miniprojektu jsme úspěšně sestavili mlžnou komoru, což nám umožnilo následnou vizualizaci drah elektronů, alfa částic a mionů. Díky mlžné komoře jsme zjistili jak se různé částice chovají a jaké mají vlastnosti.

### 7 Poděkování

Děkujeme panu doc. Mgr. J. Bielčík, Ph.D. a organizátorům Týdne vědy na jaderce za příležitost vyzkoušet si pracovat s mlžnými komorami.

#### 8 Reference

[1] *Thoriová rozpadová řada.* 2004. URL: https://cs.wikipedia.org/wiki/Thoriov% C3%A1\_rozpadov%C3%A1\_%C5%99ada.

[2] Wilsonova mlžná komora. 2007. URL: https://cs.wikipedia.org/wiki/Wilsonova\_ml%C5%BEn%C3%A1\_komora.

# Stochastické modelování turbulence v "bedně"

Daniel Pojhan

G Plzeň Mikulášské nám. 23, Plzeň; danpojhan@gmail.com

Garant: doc. Ing. Jaromír Kukal, Ph.D

#### Abstrakt

Stochastické metody jsou dodnes efektivním řešením některých úloh či k potvrzení hypotéz. Cílem miniprojektu bylo naučit se simulovat pohyb částic v turbulentním prostředí (anomální difuze), generování pseudonáhodných čísel různými algoritmy a následné oveření Richardsonova škálovacího zákona, který definuje vztah mezi vzdáleností dvou částic a časem.

### 1 Úvod

Modelování turbuletního proudění částic se provádí zejména dvěma způsoby, a to buď popisem pomocí soustavy nelineárních parciálních diferenciálních rovnic (deterministické pojetí) a nebo pomocí stochastických diferenciálních rovnic, které simulují pohyb jednotlivých částic metodou Monte Carlo. První přístup nám dává za výsledek vektorové pole rychlostí a skalární pole koncentrací. V této práci jsem se ale zaměřil na druhý způsob, který využívá stochastické metody. Cílem práce je přiblížit obor modelování pohybu částic a potvrzení Richardsonova škálovacího zákona.

#### 2 Předpoklady pro simulaci

Nejprve se zabývejme časovým a prostorovým vymezením turbulence. Cástice se pohybují v oblasti  $\mathcal{O} \subset \mathbb{R}^n$ , přičemž  $n \in 2, 3$ . Jejich koncentrace v čase t je definována jako:  $c = c(\mathbf{x}, t) \ge 0, \mathbf{x} \in \mathcal{O}, t > 0$ . Rychlostní pole je dáno jako  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) \in \mathbb{R}^n$ .

Turbulence je speciální případ anomální difuze (vyjímečný pohyb, který nepodléhá zákonitostem Brownova pohybu). Pro simulaci anomální difuze slouží exponent  $\alpha = 2/3$  s difuzním koeficientem D > 0.

Turbulentní proudění je pak popsáno zlomkovou parciální diferenciální rovnicí:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = D\nabla^{(\alpha)}C - \mathbf{v} \cdot \nabla C \tag{1}$$

#### 3 Stochastická simulace turbulentních částic

Částice je na počátku v bodě  $\mathbf{x}_0 \in \mathcal{O}$ , čas se mění s krokem  $\Delta t = t/N_i$ , kde  $N_i$  (kde  $N_i \in \mathbb{N}$ ) je počet iteračních kroků v jedné simulaci (v k-tém kroku je čas tedy  $t_k = k\Delta t$  a poloha částice je  $\mathbf{X}_k \in \mathcal{O}$ ). Pohyb částic je řízený Lévyho procesem, který definuje náhodný pohyb:

$$\mathbf{X}_{k+1} = \mathbf{X}_k + \mathbf{v}(\mathbf{X}_k, t_k) \Delta t + (D\Delta t)^{\frac{1}{\alpha}} \xi_k,$$
(2)

kde  $\xi_k$ je náhodný vektor vygenerovaný ze standardizovaného <br/>  $\alpha$ -stabilního rozdělení  $(\xi_k \sim \mathcal{L}_{\alpha,n})$ 

Richardson prováděl pokusy, kde sledoval náhodnou veličinu

$$R^{2}(t) = \|\mathbf{X}(t) - \mathbf{Y}(t)\|^{2} = \|\mathbf{X}_{N} - \mathbf{Y}_{N}\|^{2}$$
(3)

Experimentováním pak zjistil, že  $ER^2(t) \propto t^3$  (druhá mocnina vzdálenosti mezi dvěmi částicemi je úměrná k třetí mocnině času)

Musí platit předpoklady že  $\mathbf{X}_N$  a  $\mathbf{Y}_N$  jsou konečné polohy dvou nezávislých částic v čase t > 0 vypuštěných ze společného bodu  $\mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^n$ . Pro volnou turbulenci (částice nemají nijak omezený pohyb) platí, že  $ER^2(t) = +\infty$ , a kvůli tomu je nutné mít omezení pohybu částice na oblast  $\mathcal{O} \in \mathbb{R}^n$ .

#### 4 Implementace

Implementace byla v programovacím jazyku Python, který používá Mersenne Twister pro generování pseudonáhodných čísel. Simulace byly prováděny v 2D prostoru a vizualizace byla pomocí knihoven Matplotlib a OpenCV. Všechny numerické výpočty byly prováděny knihovnou Numpy, která je velmi oblíbená mezi vědci zejména kvůli její rychlosti.

Z hlediska generování pseudonáhodných čísel byly používány následující generátory:

- 1. Mersenne Twister
- 2. Box-Muller transformace
- 3. Levyho proces

V mém pokusu byla oblast  $\mathcal{O}$  dvojrozměrná. Pokusy se však dají dělat i v 3D.

#### 5 Výsledky

Měřením pomocí metod Monte Carlo byl dokázán vztah v Richardsonově škálovacím zákoně  $(R^2(t) \propto t^3)$ 

Ostatní proměnné	hodnota
N <sub>sim</sub>	20
Ni	100
D	3
α	2/3

 $N_{sim}$  - počet simulací celkově  $N_i$  - počet iterací v jedné simulaci D - difůzní koeficient  $\alpha$  - parametr používaný pro Levyho proces (pro turbulenci se používá hodnota 2/3)

#### 6 Shrnutí

Na tomto projektu jsem se seznámil s problémem modelování turbulence částic, zároveň se povedlo obsáhnout veškerou teorii důležitou pro pochopení modelování turbulence a také se povedlo potvrdit Richardsonův škálovací zákon, což považuji za hlavní výsledek práce.

### Poděkování

Děkuji organizátorům Týdne Vědy na Jaderce a hlavně pak také doc. Ing. Jaromíru Kukalovi, který byl skvělým vedoucím mého projektu.

### Odkazy

- 1. ELSINGA, G.; ISHIHARA, T.; HUNT, J. Non-local dispersion and the reassessment of Richardson's t<sup>3</sup>-scaling law. *Journal of Fluid Mechanics*. 2022.
- 2. NOLAN, J. P. Multivariate stable densities and distribution functions: general and elliptical case. 2005.
- 3. M. JULLIEN, J. P.; TABELING, P. Richardson Pair Dispersion in Two-Dimensional Turbulence. *Physical review letters*. 1999.

#### Svět podivných jader

S. Hanáková<sup>1</sup>, A. Marešová<sup>2</sup>, F. Marek<sup>3</sup>, S. Řezníčková<sup>4</sup> <sup>1</sup>Gymnázium Nad Kavalírkou, <sup>2</sup>Gymnázium Arabská, <sup>3</sup>Gymnázium Nad Štolou, <sup>4</sup>Gymnázium Tachov

#### Abstrakt

Tento miniprojekt se zabývá podivnými jádry a částicemi. V úvodu se zaměřuje na představení problematiky a její následné využití a osvětluje pojmy hyperon, hyperjádro a podivnost. Rozebírá grafickou interpretaci procesu vzniku podivných částic – Feynmanovy diagramy. Počítá účinný průřez fotoprodukce mezonu  $K^+$  a hyperon  $\Lambda$ . V závěru srovnává reálné naměřené hodnoty s hodnotami vypočítanými pomocí modelů SL a KM.

#### 1 Úvod

Pojmem podivná jádra, častěji hyperjádra, označujeme jádra, která kromě nukleonů (proton – 2 kvarky up a 1 down, neutron — 2 kvarky down a 1 up.) obsahují i tzv. hyperony. Hyperon je baryon (složen ze tří kvarků, popř. antikvarků) s nenulovou podivností, ergo se mezi jeho třemi kvarky nachází jeden kvark s.

Podivné částice vznikají při silných interakcích, ale jejich střední doba života je relativně dlouhá:  $10^{-10}$  s, což odpovídá interakcím slabým. Životnost silných interakcí se tedy liší o minimálně deset řádů. Na druhou stranu ale při rozpadu vznikají nukleony, jejichž reakční doba je opět mnohem kratší ( $10^{-24}$  s). Záhada byla vyřešena přidáním nového kvantového čísla podivnosti – S (ang. *strangeness*).

První podivná částice byla zaznamenána roku 1947 v Pyrenejích. Při pozorování kosmického záření pomocí mlžné komory byl zaznamenán i mezon  $K^+$  (mezon: částice s vlastnostmi bosonů – zprostředkovávají sílu, i hadronů - silně interagující subatomární částice), neboli nabitý kaon. Dříve označován jako částice V kvůli jeho stopě připomínající toto písmeno. O pět let později, v roce 1952, bylo objeveno i hyperjádro. Roku 1953 byly pozorovány další podivné částice – neutrální kaon  $K^0$  a hyperony  $\Lambda$  a  $\Sigma^+$ .

Hyperjádra a podivné částice nám poskytují spoustu nových informací nejen o vlastnostech nukleonů a o interakcích mezi hyperony a nukleony, ale i o jaderné struktuře, energetických hladinách jader a dalších jejich vlastnostech.

#### 2 Metody studia rozptylových procesů



Fundamentálním aspektem studie rozptylů částic jsou Feynmanovy diagramy, schématicky znázorňující daný proces (viz obr. 1). Vyobrazují vnější a vnitřní linie (částice), vrcholy (interakce) a zobrazují průběh procesu v čase. Dle těchto diagramů pak lze zkonstrouvat invariantní amplitudu M.

Invariantní amplituda, také maticový element, je veličina významově ekvivalentí Feynmanovým diagramům. Amplituda klesá s každým dalším vrcholem interakce. Při její konstrukci se postupuje proti orientaci časové osy, a popisují se jednotlivé přítomné elementy procesu.

Obrázek 1: Feynmanův diagram reprezentující interakci dvou fermionů s fotonem.

Jelikož je amplituda komplexní číslo, abychom s ní dále mohli pracovat, například při porovnávání teore-

tických a experimentálních dat, je nutné vytvořit kvadrát její absolutní hodnoty, čímž je konvertována na číslo reálné. Tento kvadrát je úměrný účinnému průřezu. Účinný průřez  $\sigma$  je praktické vyjádření pravděpodobnosti interakce částice a objektu (druhé částice). Čím menší je  $\sigma$ , tím menší je pravděpodobnost.

#### 3 Fotoprodukce hadronů

K popisu procesu fotoprodukce mezonu  $K^+$  a hyperonu  $\Lambda$  využíváme výše zmiňované Feynmanovy diagramy. Při popisu procesu vzniku těchto částic jsme ale schopni změřit pouze počáteční a koncové stavy, nikoli samotnou interakci částic, kterou je třeba také zahrnout ve výpočtu. Toto řešíme rozdělením Feynmanova diagramu na několik kanálů. Tyto kanály se liší tím, jaké částice se vyměňují, přičemž částice na začátku a na konci zůstávají u všech diagramů stejné. Tyto diagramy poté dále rozlišujeme na Bornovské a non-Bornovské, podle toho, jestli probíhá výměna částic v základním či excitovaném stavu, viz obr. 2.



Obrázek 2: Bornovské a non-Bornovské diagramy procesu fotoprodukce  $K^+\Lambda$ .

Ve výpočtech nezohledňujeme veškeré možné průběhy interakce (tj. rezonance), ale pouze ty, které postačí pro popsání interakce tak, aby se výsledky výpočtu shodovaly s experimentem, jelikož zahrnování veškerých rezonancí do výpočtu by bylo příliš náročné. Pro námi zvolené kanály vypočítáme invariantní amplitudy, jejichž sumací pak dostaneme celkovou invariantní amplitudu,

$$M = \sum_{i} M_{i}.$$

Dále spočítáme kvadrát této amplitudy

$$|M|^{2} = |M_{1}|^{2} + |M_{2}|^{2} + \ldots + |M_{n}|^{2} + M_{1}M_{2}^{*} + M_{1}^{*}M_{2} + \ldots,$$

neboť víme, že účinné průřezy jsou úměrné tomuto kvadrátu, tj.  $d\sigma/d\Omega \sim |M|^2$ .

Při výpočtu účinného průřezu hadronů zanedbáváme jejich vnitřní strukturu a počítáme, že foton neinteraguje s kvarky tvořícími hadron, pracujeme tedy na úrovni hadronů a kvarky zanedbáváme. Také počítáme pouze s vnějšími efekty fotonu na hadron, od toho tzv. efektivní Lagrangián, který je odvozen od Lagrangeovy funkce popisující dynamiku systému.

#### 4 Výsledky

Výsledkem práce je srovnání reálných naměřených hodnot s hodnotami vypočítanými pomocí modelů SL [1] a KM [2]. Na obrázku 3. vidíme grafy jednotlivých modelů v závislosti na celkové energii v těžišťové soustavě a úhlu odchýlení  $K^+$  od původního svazku fotonů. Na ose y můžeme odečítat hodnoty diferenciálních účinných průřezů. Je možno vidět, že každý z modelů odpovídá naměřeným hodnotám nejvíce v jistých intervalech. Model SL odpovídá reálným hodnotám v malých úhlech, zatímco model KM se shoduje s naměřenými hodnotami ve velkých úhlech.



Obrázek 3: Srovnání předpovědí modelů SL a KM s naměřenými diferenciálními účinnými průřezy.

Dalšími výpočty jsme zkoumali dopad zanedbání jednotlivých rezonancí v modelu KM (viz obrázek 4). Je možno vidět že pokud zanedbáme kupříkladu rezonanci N9 o hmotnosti 1895 MeV, pak v energii 1,9 GeV chybí peak, který zde dle experimentálních hodnot má

být. Obdobně reagují hodnoty diferenciálního účinného průřezu na odstranění ostatních rezonancí.



Obrázek 4: Srovnání předpovědi modelu Kaon-MAID s experimentálními hodnotami.

#### 5 Závěr

V rámci tohoto miniprojektu jsme se naučili základní práci s Feynmanovými diagramy a vyzkoušeli jsme si analytické výpočty jednoduchých rozptylových procesů. Dále jsme numericky vypočetli diferenciální účinný průřez pro ostřelování protonu fotonem za vzniku  $K^+$  a  $\Lambda$  s pomocí modelu SL a KM.

#### Poděkování

Děkujeme Vojtěchu Svobodovi za pořádání Týdne vědy na Jaderce, díky kterému jsme se mohli seznámit s tímto tématem. Dále bychom chtěli poděkovat Daliboru Skoupilovi za odborný dozor, trpělivost a šetrné vysvětlování.

#### Reference

- [1] J. C. David, C. Fayard, G.-H. Lamot, and B. Saghai, Phys. Rev. C 53, 2613 (1996).
- [2] T. Mart and C. Bennhold, Phys. Rev. C 61, 012201(R) (1999).

#### Testování bomby pomocí kvantové mechaniky

F. Švarc, gymnázium Arabská, filip.svarc777@gmail.com

#### J. Filip, SPŠE Havířov, jakub.k.filip@gmail.com

J. Hladíková, AGYS Pardubice, <u>hladikovajana212@gmail.com</u>

J. Olejárová, Evanjelické gymnázium Banská Bystrica, olejarova96@gmail.com

#### Abstrakt

V tomto projektu jsme se zabývali hypotetickým problémem, ve kterém máme umístěnou extrémně citlivou bombu, která vybuchne při dopadu jen jednoho fotonu a máme zjistit, zda je bomba aktivní, nebo ne. Z pohledu klasické mechaniky je toto neřešitelný problém, ale my s pomocí kvantových vlastností částic to dokážeme určit.

# 1. Úvod

Světlo se chová jako vlnění, toto platí i v případě, že zkoumáme vlastnosti jen jednoho fotonu. Tato vlastnost světla (a všech dalších elementárních částic) se nazývá vlnově částicová dualita. Toto budeme využívat společně s kvantovými vlastnostmi částic.

Kvantová mechanika, jak je známá dnes, je postavena na náhodnostech výsledků měření, to znamená, že je nemožné přesně předpovědět výsledek jednoho měření a je jen možné určit pravděpodobnosti určitých výsledků měření. Tento výsledek se pak náhodně vybere při změření vlastnosti, nebo stavu částice. Předtím, než se proběhne měření se částice nachází ve stavu superpozice, toto je stav, při kterém se daný objekt chová, jako by byl ve všech možných stavech najednou. Z toho vyplývá, že v mikrosvětě akt měření, nebo-li interakce (měřením vždy interagujeme s částicí) mění stav, ve kterém se částice nachází. V našem experimentu budeme využívat právě superpozice fotonu k testu bomby.

#### 2. Metody a výpočty

#### Interferometr

K vizualizaci celého projektu jsme využili interferometr, přístroj, který funguje na principu interference, kdy slučováním dvou nebo více vln vzniká interferenční obrazec, který lze použít k extrakci informací o původních vlnách. Konkrétně jsme použili Mach-Zehnderův interferometr, který měří relativní fázový posun mezi dvěma kolimovanými světelnými paprsky. Jedná se také o amplitudový interferometr s dělením paprsku a se dvěma zrcadly (dokonalé a polopropustné).



Koherentní paprsek je rozdělen napůl polopropustným zrcadlem. Oba výsledné paprsky ("vzorkový paprsek" a "referenční paprsek") jsou každý odraženy dokonalým zrcadlem. Dva paprsky pak projdou druhým napůl polopropustným zrcadlem a vstoupí do dvou detektorů. Interference je způsobena sčítáním amplitud dvou koherentních vln. Zařízení Mach-Zehnder produkuje dva "výstupy": jeden paralelní se vstupujícím paprskem a druhý ortogonální na něj. Podíváme-li se pozorně na paralelní výstup, můžeme vidět, že dva paprsky dorazí ve fázi po dvou odrazech, přičemž oba mají fázový posun  $\pi$  vlnové délky, čímž pádem není mezi nimi fázový rozdíl a konstruktivně interferují. V případě ortogonálních existuje jeden paprsek po třech odrazech a druhý po jediném odrazu. V důsledku toho je mezi paprsky fázový posun  $\pi$ , což způsobuje destruktivní interferenci.

#### Kvantový popis

Oproti klasické mechanice, kde jsme do interferometru vysílali klasické koherentní světlo, vysíláme do interferometru jednotlivé fotony. Detektory tedy nezaznamenávají intenzitu záření, ale zaznamenávají dopady jednotlivých fotonů. Intenzitu neboli amplitudu klasické vlny, nám nahradila pravděpodobnostní vlna, která nám určuje pravděpodobnost dopadu fotonu na detektory.

V interferometru vznikají 2 stavy, které jsou: foton se šíří doprava:  $|\rightarrow\rangle$ , foton se šíří nahoru:  $|\uparrow\rangle$  (zapsáno vektorem). Vzniká tak stav superpozice, který je spojením obou stavů do doby, dokud nedojde k měření. Například pravdivostní vlna superpozice dvou stavů:  $|\psi\rangle = a|\uparrow\rangle + b|\rightarrow\rangle$ , kde a, b představují amplitudu pravděpodobnosti nalezení fotonu v příslušném stavu. Pravděpodobnost daného výsledku je pak  $W_{\uparrow} \sim |a|^2$  a  $W_{\rightarrow} \sim |b|^2$ 

Při odrazu fotonu dochází k změně stavu a fázovému posunu o  $\frac{\pi}{2}$  (zapsáno jako:  $e^{i\frac{\pi}{2}}$  nebo  $\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + i \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)$ 

Při vstupu na dělič dochází ke vzniku superpozice dvou stavů a změně amplitudy pravděpodobnosti:  $|\uparrow\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\rangle + i|\rightarrow\rangle) a \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|\rightarrow\rangle + i|\uparrow\rangle)$ 

Výpočet pravděpodobnostní vlny v interferometru v případě nefunkční bomby:

1. Vstupní stav:  $|\psi_0\rangle = |\uparrow\rangle$ 2. Dělič:  $|\psi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\rangle + i|\rightarrow\rangle)$ 

3. Zrcadla: 
$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (i|\rightarrow\rangle - |\uparrow\rangle)$$

4. Dělič:

$$|\psi_{3}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( i \frac{1}{\sqrt{2}} \left( | \rightarrow \rangle + i | \uparrow \rangle \right) - \frac{1}{\sqrt{2}} \left( | \uparrow \rangle + i | \rightarrow \rangle \right) \right) = | \rightarrow \rangle \left( \frac{i}{2} - \frac{i}{2} \right) + | \uparrow \rangle \left( -\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) = - | \uparrow \rangle$$

záporné znaménko je pak ve výpočtu pravděpodobnosti stavu  $|\uparrow\rangle$  odstraněno:  $W_{\uparrow} = |-1|^2$ 

Výpočet pravděpodobnostní vlny v interferometru v případě funkční bomby:

Vstupní stav: |ψ₀⟩ = |↑⟩
 Dělič: |ψ₁⟩ = 1/√2 (|↑⟩ + i|→⟩), ve stavu |↑⟩ dopadá foton na bombu, tedy pravděpodobnost tohoto stavu je W<sub>B</sub> = |1/√2|<sup>2</sup> = 1/4, pro další výpočty stav |↑⟩ neexistuje.
 Zrcadla: |ψ₂⟩ = -1/√2 |↑⟩, dochází k odrazu pouze jediného stavu
 Dělič: |ψ₃⟩ = -1/2(|↑⟩ + i|→⟩), následný výpočet pravděpodobnosti: W<sub>→</sub> = |-i1/2|<sup>2</sup> = 1/4 a W<sub>↑</sub> = |-1/2|<sup>2</sup> = 1/4

### 3. Výsledky a diskuze

Výsledky sme si rozoberali na teoretickom Mach-Zehnderovom modeli a za pomoci quantum flytrap. Za púšťania jedného fotónu sme sledovali, čo sa bude diať. Snažili sme sa dôjsť k záveru, ako zistíme, kedy je bomba aktívna, a kedy nie.

V prvom teoretickom pozorovaní sme používali klasicky Mach-Zehnderov model, kde sa bomba nachádzala pri dokonalom zrkadle. Na základe výpočtu pravdepodobnosti v kapitole 2. Metódy a výpočty v Kvantovom opise, sme zistili, že sa fotón zachytil na Detektore 1, a teda, že bomba nie je aktívna, čo znamená, že jej prítomnosť neovplyvnila zmenu pravdepodobnosti pozície fotónu.

V ďalšom pozorvaní sme z interferometru vynechali jednu časť, vďaka čomu sa zmenila pravdepodobnosť pozície fotónu. Zistili sme, že funknčná bomba funguje ako detektor fotónov, a to tak, že pri prvom dokonalom zrkadle má foton 1/2 pravdepodobnosť, že sa odrazí alebo, že dopadne na spúšťač a bomba vybuchne. Na druhom poloprepustnom zrkadle už k interferencii nedochádza, a tak s pravdepodobnosťou 1/4 dopadne foton na Detektor 1 (podobne ako pri nefungujúcej bombe) alebo dopadne na Detektor 2 (čo sa v prípade nefungujúcej/neaktívnej bomby nedeje).

Pokiaľ fotón dopadne na D2 vieme, že bomba je aktívna, bez toho aby musela vybuchnúť a pravdepodobnosť úspechu je ¼, ako môžeme vidieť v druhom výpočte kvantového opisu v kapitole 2 Metódy a výpočty.

### 4. Závěr

V projektu jsme se dozvěděli řešení úvodního problému a potřebné teoretické znalosti o interferenci světla a kvantové mechanice k tomu. Také jsme si interferenci světla ověřili za pomocí teoretických výpočtů změny fáze vlnění. Další způsob ověření byl za pomocí počítačového programu quantumflytrap, ve které jsme si simulovali interferometr a i experiment s bombou.

# Poděkování

Rádi bychom poděkovali všem organizátorům týdne vědy, za vytvoření této akce a především doc. Ing. Martinovi Štefaňákovi za výborné vedení projektu a srozumitelné vysvětlení teorie.

### Reference

[1] quantumflytrap - oficiální webové stránky, URL: <u>https://lab.quantumflytrap.com</u> [cit. 2024-06-18]

# The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water/Role laseru při studování homogenní nukleace vody

R. Klíma Ústav termomechaniky AV ČR klima.r@email.cz

#### Abstrakt

Práce představuje měření množství kapiček vznikajících při homogenní nukleaci vody v různých podmínkách. K měření je použito He-Ne laseru prosvítajícího kapičkami a odrážejícího se od nich.

### 1 Úvod

Kondenzace vody probíhá v několika krocích, kterými jsou nukleace, růst a stárnutí. Tento experiment se zaměřuje pouze na nukleaci. Díky vlastnostem kapiček, které odrážejí světelné paprsky, můžeme z intenzity světla odraženého pod určitým úhlem zjistit množství těchto kapiček v zasaženém objemu.

#### 2 Nukleace

Nukleaci dělíme na homogenní a heterogenní. Tento výzkum se zabývá pouze tou homogenní a snaží se ji co nejlépe předvést. Homogenní nukleace probíhá v prostředí bez cizích částic a povrchu, přičemž kondenzační centra jsou stejného chemického složení jako kondenzovaná látka. Naopak při heterogenní nukleaci se kondenzačními centry stávají cizí částice, jako jsou zrnka prachu, menší i větší objekty a jiné.



Obrázek 1 - Homogenní a heterogenní nukleace

Samozřejmě v tomto experimentu nadchází problém vyšší kondenzace (heterogenní) na stěnách nukleační komory, který je ovšem vyřešen zvýšením teploty stěn oproti vnitřní teplotě komory.

# **3** Experiment

Experiment probíhá v přístroji s nukleační komorou, do které je nahnáno určité množství (podle potřebného tlaku) směsi vodní páry a nosného plynu v určitém poměru, který se pak projevuje na výsledcích a nadále investiguje. Poté je komora zahřána na předem danou teplotu. V dalším rychlém sledu událostí se otevře ventil do expanzní komory, čímž se sníží tlak, dojde k ochlazení a přesycení, a po 1 ms se pomocí membrány tlak zase zvýší o 5% (při správném průběhu) dřívějšího poklesu.



Po celou dobu pokusu skrz komoru svítí laser, jehož paprsky se při interakci s vznikajícími kapičkami v určitém místě odráží do fotonásobiče, který se zde nachází pod úhlem 15°. Procházející paprsek bez odrazu se pak měří na fotodiodě. Zbylé odražené paprsky pod jinými úhly nejsou nijak sbírány.



Poměr intenzity na fotonásobiči a intenzity na fotodiodě je tzv. normalizované rozptýlené světlo, které se zapisuje do grafu v závislosti na čase (červená) zároveň s tlakem v závislosti na čase (modrá). Rychlý pokles tlaku a návrat na lehce vyšší hodnotu se nazývá nukleační pulz (oranžový kroužek). Pro účely tohoto měření je použito prvního vrcholu grafu po pulzu (zelená šipka).



#### 4 Výsledky a diskuse

Pro získání výsledků množství vzniklých kapek v daném čase je potřeba převést výsledek experimentu na cm<sup>3</sup> z objemu, ze kterého se paprsky odráží do fotonásobiče. Počet kapek získáme podělením normalizovaného rozptýleného světla teoretickou hodnotou tohoto světla v případě, že by se zde nacházela pouze jedna kapka. Výsledkem je graf závislosti množství kapiček na přesycenosti s izotermami pro určité výchozí teploty experimentu.



Účelem výzkumu je podat informace o podmínkách kondenzace vody v různých prostředích, které se nadále využívají třeba při výrobě parních i jiných turbín a jiných mechanismů v prostředí proudícího vzduchu, kde se může často měnit tlak v důsledku

turbulentního proudění vzduchu. Také jsou data důležitá pro výzkum zachycování CO<sub>2</sub>, protože pokud chceme oddělit oxid uhličitý ze spalin, je nutné odebrat vodu a získat suchý plyn. K tomu je důležitý vliv oxidu uhličitého na nukleaci vody.

# 5 Závěr

Naměřené hodnoty by měly odpovídat izotermám v grafu. Ovšem vzhledem k neudržitelnosti přesných podmínek v přístroji nejsou zcela přesné, tudíž je odchylka zahrnuta ve výpočtech.

Pro vyšší teploty probíhá nukleace dříve než pro nižší. Počet vzniklých kapiček za sekundu se zvyšuje se zvyšujícím se přesycením vzduchu.

# 6 Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Tetianě Lukianové za vedení tohoto miniprojektu, stejně jako Mykolovi Lukianovi za technickou i teoretickou výpomoc. Také bych chtěl poděkovat všem, kteří se podíleli na přípravě Týdne vědy a umožnili jeho proběhnutí.

# 7 Reference

- [1] LUKIANOV, Mykola; LUKIANOVA, Tatiana; HRUBY, Jan. Homogeneous water nucleation in argon, nitrogen, and nitrous oxide as carrier gases. Dostupné na: <u>https://www.researchgate.net/publication/368968669 Homogeneous water nucleation in argon n</u> <u>itrogen and nitrous oxide as carrier gases</u>
- [2] Wikipedie Srážení (chemie). Dostupné na: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sr%C3%A1%C5%BEen%C3%AD (chemie)
   [2] CTPEV D. NACONER D. E. WIKANEN V. J. P. CHARTON AND COMPARENT AND COMPARE
- [3] STREY, R.; WAGNER, P. E.; VIISANEN, Yrjo. J. Phys. Chem.

### Ucho jako zdroj zvuku: whistling while it works

K. Dovalová, kikusikdovalova@gmail.com L. Beránková, lucie.berankova@spssecb.cz

O. Garant, školitel; Ing. Václav Vencovský, Ph.D.

#### Abstrakt:

Cílem projektu bylo seznámit se spontánními otoakustickými emisemi (SOAE). V rámci projektu bylo provedeno měření na dvou subjektech. Pro studium stability SOAE v čase jsou výsledky doplněny daty třetího subjektu získanými s tříletým odstupem. A též jsme provedli pilotní experiment, při kterém jsme měřili interakce SOAE s externím tónem. Tato data budou dále využita pro studium generace SOAE.

#### 1. Úvod

Lidské ucho, ale také ucho jiných obratlovců, není pouze přijímač zvukového signálu. Zhruba 50 % lidí s normálním sluchem produkuje SOAE. SOAE jsou velmi slabé zvukové signály, které mohou být nahrány mikrofonem vloženým do zvukovodu. Jelikož ale nejsou SOAE přítomny u všech normálně slyšících lidí, nevyužívají se k diagnostice poruch sluchu. Jejich studium však přispívá k našemu poznání o funkci vnitřního ucha, které tyto emise produkuje. Stále neznáme mnoho detailů o generaci SOAE a funkci vnitřního ucha. V rámci projektu jsme měřili SOAE u lidí s normálním sluchem. Zaměřili jsme se na dynamiku spontánních otoakustických emisí, které jsme zjišťovali prezentováním tónů o různých intenzitách. pomáhají dozvědět se více o jeho funkci.

#### 2. Ucho jako zdroj zvuku

#### 2.1. Fyziologie ucha, zvuk a otoakustické emise

Lidské ucho je velmi komplexní a propracované. Ucho dokáže vnímat zvuk o frekvencích od 16 Hz až do 20 000 Hz. Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Jak však ale tento vjem vzniká? Ve zkratce ucho zachycuje různé zvuky v podobě zvukových vln a převádí je na nervový signál, který dále putuje do mozku k dalšímu zpracování. Ucho se dělí na tři části (*viz obr. 1*): zevní, střední a vnitřní. Zevní část ucha je tvořena boltcem a zvukovodem. Zevní ucho zachytává zvukové vlny a přenáší je přes zvukovod k bubínku, který vlny rozvibrují. Bubínek je na konci zvukovodu a odděluje zevní a střední ucho. Střední ucho je tvořeno třemi kůstkami: kladívkem, kovadlinkou a třmínkem. Jejich hlavní funkce je vést vibrace dále do vnitřního ucha vypleněného tekutinou. Část vnitřního ucha zodpovědná za vjem zvuku je podle tvaru ulity nazývána hlemýžď. Třmínek je spojený s oválným okénkem na vstupu do hlemýždě a jeho vibrace jsou přenášeny na bazilární

membránu, kde způsobí postupnou vlnu. Sluchový organ, nacházející se v hlemýždi se nazývá Cortiho orgán. V něm jsou vnitřní vláskové buňky, které převádějí mechanické vibrace na nervové vzruchy. A vnější vláskové buňky, které tyto mechanické vibrace zesilují.



Obrázek 1. Ilustrační schéma sluchové periferie.

Otoakustické emise (OAE) jsou zvukové signály, které vznikají v hlemýždi. Mohou být evokované nebo spontánní. Evokovat OAE můžeme například dvojicí tónů blízkých frekvencí (ideální poměr 1.2). Takto vygenerujeme intermodulační produkt, který se používá na objektivní zjištění stavu sluchu. SOAE jsou naopak generovány samovolně bez cílené externí stimulace. Jsou to ve frekvenci a amplitudě fluktuující tóny (*viz obr. 3.,4.,5.*). Jak však tyto emise vznikají? Existují dva nejznámější navrhované modely vzniku. Zaprvé se za oscilační prvek považuje jednotlivá vlásková buňka nebo menší skupina buněk (*viz obr. 2.b*). Zadruhé k jej vzniku dochází kvůli rezonancí. V kochlee vzniká postupná vlna v důsledku vnitřního šumu. Část energie postupné vlny je odražena zpět k třmínku, kde se následně odráží zpět. (*viz obr. 2.a*) Analogový případ je koherentní emise světla optickým laserem [2].



#### 2.2. Metoda měření

OAE měříme pomocí sondy Etymotic ER10C a zvukové karty RME Fireface UCX, která přemění analogový signál na digitální. Následně digitální signál putuje ke zpracování do počítače, kde je napsaný kód v programovacím jazyku Python, který signál uloží pro budoucí zpracování. Data byla získána na třech audiologicky normálních subjektech (dvě ženy, jeden muž), ve věku od 19 do 26 let.



Obrázek 3 ukazuje amplitudu SOAE. V grafu vidíme, že pravé ucho subjektu s100 neprodukuje



žádné emise na daném frekvenčním rozsahu až na malý náznak kolem 6 kHz, v literatuře zvaný "dwarf SOAE"[2]. Naopak v levém uchu můžeme pozorovat výraznou emisi na frekvenci 2 kHz.

Obrázek 4 obsahuje graf SOAE subjektu s079. Mezi měřeními byl interval třech měsíců a můžeme pozorovat, že emise se téměř neliší kromě malých odchylek, které připisujeme chybě měření na 2-3 kHz. Subjekt mohl polknout, zakašlat nebo se hýbnout.

Na obrázku 5. vidíme tříletý rozdíl v měření subjektu s015, kdy se frekvence emisí subjektu posunula v grafu vlevo, což znamená postupné snižování frekvence v souladu s literaturou [3].

Na obrázku 6. a 7. jsou spektrogramy (spektrum ve frekvenčně časové doméně) ukazující SOAE v případě prezentování externího ve frekvenci přelaďovaného tónu. Na levé straně nevidíme silnou interakci tónu o intenzitě 10 dB FPL (hladina akustického tlaku vzhledem k dopředné tlakové vlně) a SOAE. V kontrastu s tím na obrázku 7, můžeme pozorovat supresi SOAE tónem o intenzitě 40 dB FPL. Kolem frekvence 6 kHz vidíme že se objevuje nová složka, která pravděpodobně vznikla potlačením SOAE o vyšší frekvenci (té nad ní). Taky pozorujeme v grafu distorzní produkt, který je přesně na dvojnásobku frekvence přelaďovaného tónu mínus frekvence spontánní emise na asi 8 a půl kHz (v modré elipse).



#### Shrnutí

V rámci projektu jsme se seznámili s činností ucha a tvorbou otoakustických emisí. Experimenty prováděnými také na nás jsme si potvrdily, že ucho opravdu může emitovat SOAE. Na jednom subjektu jsme provedli měření SOAE po třech měsících. Data ukazují časovou stabilitu. Pro studium generace SOAE je potřebné studovat její dynamiku, a to pomocí suprese externími stimuly – u jednoho subjektu byl v experimentu přelaďovaný tón, ale i držený tón, který jsme z důvodu nedostatku prostoru neuvedly v tomto příspěvku. Výsledky budou na pracovišti garanta porovnávány se simulacemi a použity na další zpracování dat či na objasnění způsobu generace emisí.

### Poděkování

Na závěr bychom chtěly poděkovat organizátorům TV@J, sponzorům a našemu garantovi, Ing. Václavu Vencovskému, Ph.D.

#### Reference

- [1] GESUNDHEIT.GV.AT. *nzip.cz* [online]. [cit. 17.6.2024]. Dostupný na WWW: <u>https://www.nzip.cz/clanek/1507-ucho-sluch-rovnovaha</u>
- [2] C.A. Shera, Whistling While it Works: Spontaneous Otoacoustic Emissions and the Cochlear Amplifier. J. Assoc Res Otolaryngol. 23, 17–25, 2022 <u>https://doi.org/10.1007/s10162-021-00829-9</u>
- [3] E. M. Burns, Long-term stability of spontaneous otoacoustic emissions. J. Acoust. Soc. Am.; 125 (5), 3166–3176, 2009 <u>https://doi.org/10.1121/1.3097768</u>

### Virtuální onkologická ozařovna

P. Mrázková<sup>1</sup>, Š. Nováková<sup>2</sup>, M. Kluger<sup>3</sup>, L. Laube<sup>4</sup>

<sup>1</sup>G Omská, Praha; petramrazkova25169@gmail.com

<sup>2</sup>Lepařovo gymnázium, Jičín; sarka.nov06@seznam.cz

<sup>3</sup>G Tišnov; mrtnklgr@seznam.cz

<sup>4</sup>SPŠ a VOŠ, Jičín; luk4s.laube@seznam.cz

Garant: Ing. Tereza Hanušová, Ph.D. (KDAIZ FJFI ČVUT)

#### Abstrakt:

Ionizující záření, nepřítel nebo spasitel? Čím se v roce 2024 zabývá nejpokročilejší metoda léčby rakoviny? To jsou otázky, na které vám tento článek odpoví. V rámci našeho projektu se podíváte, jaké metody a postupy se využívají pro terapii ozařováním. Také zjistíte, jak vypočítat dávku pro pacienta podstupující tento druh léčby.

# 1 Úvod

Ionizující záření (IZ) je druh vysokoenergetického záření, které při interakci s látkou jí dodá energii. V důsledku toho dojde k uvolnění elektronu z obalu. Díky vlastnostem tohoto záření může dojít k poškození struktury DNA buněk a případnému zániku. Tohoto jevu lze využít v medicíně v oblastech radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny.

V našem projektu jsme se věnovali zejména radioterapii, což je jedna z hlavních metod v léčbě onkologických onemocnění. Při ní se snažíme kompletně zničit buňky nádoru či zredukovat jejich počet se snahou co nejméně poškodit okolní zdravou tkáň, jejíž reparační mechanismy jsou efektivnější než u karcinogenních buněk. Právě tyto vlastnosti vedou k vyléčení pacienta nebo zlepšení kvality jeho života.

Před zákrokem využíváme zobrazovací techniky jako například výpočetní tomografii (CT) k vymezení postižené oblasti.

Princip CT:

- I. Z rentgenky se uvolňuje fotonový svazek, který je více zeslabován na tvrdých tkáních a méně na měkkých.
- II. Z druhé strany je umístěn detektor, kde na základě zbytku záření vzniká kontrast zobrazovaných oblastí.



III. Na vzniklém snímku vymezujeme oblast nádoru s určitou odchylkou i do zdravé tkáně, abychom postihli i jeho mikroskopické výrůstky.

Zdrojem IZ v radioterapii je lineární urychlovač, který funguje na následujícím principu:

- I. Elektronové dělo: Při termoemisi se uvolňují elektrony z katody, které jsou přitahovány k anodě, kde se jejich kinetická energie přemění na IZ.
- II. Toto IZ v našem případě na bázi fotonů prostupuje do tkáně, kde je žádoucí, aby docházelo k interakcím fotonů a sekundárních elektronů.
- III. V rámci těchto interakcí dochází k zániku nádoru a za minimálního poškození okolních zdravých buněk.

### 2 Zpracování dat

#### Kalibrace

Úlohou radiologického fyzika je nejprve celé zařízení správně zkalibrovat. V této fázi jsme hledali geometrické chyby pomocí fantomu (nádoba s vodou simulující lidské tkáně) a měrné destičky. Dle fantomu lze nalézt odchylky zaměřovacích laserů, v našem případě byla u levého horizontálního laseru chyba 1,5mm. Podle měrné destičky jsme zjistili, že kolimátor byl vychýlený o 1°. V rozměrech ozařované oblasti byla nalezena odchylka 2 mm v poloze clony na ose X. Chyba byla nalezena také pomocí světelného pravítka, ve vertikální poloze stolu.



#### Výpočet dávky

Dávku jsme vypočítali dle následující rovnice:

$$D = M \cdot N_{D,w} \cdot p_T \cdot p_P \cdot p_{user}$$

Náboj ionizační komory (M) jsme naměřili 9,8862 nC. Kalibrační faktor komory v dávce ve vodě ( $N_{D, w}$ ) závisí na jejím typu, pro komoru Exradin A12 Farmer při napětí na komoře -250V byl 1,003e+8 Gy/C.

Pro přepočet teploty a tlaku v místnosti jsme využili následující vzorec:

$$p_T \cdot p_p = \frac{(273,15+T)}{(273,15+T_0)} \cdot \frac{p_0}{p}$$

Hodnoty daných veličin (T, p) srovnáváme s referenčními hodnotami (T<sub>0</sub>, p<sub>0</sub>):

- T<sub>0</sub>=20 °C, T=24,71 °C
- p<sub>0</sub>=1013 hPa, p=1015,76 hPa

Opravný faktor na kvalitu svazku ( $p_{user}$ ) závisí na  $TPR_{20,10}$  (tissue phantom ratio) a typu komory.

$$TPR_{20,10} = \frac{D(20)}{D(10)}$$

TPR<sub>20,10</sub> určuje poměr naměřené dávky ve vodním fantomu v hloubce 20 a 10 cm:

- D (20) =0,764 Gy
- D (10) =1,017 Gy
- TPR<sub>20,10</sub> = 0,751, což odpovídá p<sub>user</sub>=0,9835

Dané hodnoty by měly odpovídat při napětí svazku 15MV dávce 1 Gy s maximální chybou 2 %. I s geometrickými a dozimetrickými chybami jsme naměřili v ionizační komoře hodnotu 0,98845 Gy (chyba 1,16 %).

### 3 Shrnutí

Díky projektu jsme se plně seznámili s náplní práce radiologického fyzika, vypočítali přesnou dávku určenou k léčbě karcinomu a poznali jsme způsoby léčby na různé druhy rakoviny.

# Poděkování

Poděkování za konzultaci, provedení projektem a ochotu patří zejména naší garantce Ing. Tereze Hanušové, Ph.D a Ing. Pavlu Dvořákovi, Ph.D., dále také všem organizátorům a sponzorům Týdne vědy na Jaderce.

### Reference

- [1] IAEA Technical Report Series No398: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. An International Code of Practise for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Wtaer., IAEA Vienna 2000.
- [2] DVOŘÁK, Pavel. Tomoterapie a její místo v moderní radioterapii [Přednáška].

# Vlastnosti kuchyňské soli (NaCl) počítané z prvních principů

J. Vojtek, A. Červinková Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT <u>cervianezka@gmail.com</u> <u>jakub.vojtek@centrum.cz</u>

#### Abstrakt

V práci využíváme metodu ab-initio ke zjišťování vlastností soli chloridu sodného.

# 1 Úvod

Metoda ab-initio slouží ke zjištění vlastností materiálů bez využítí experimentálních údajů. Základními částicemi jsou během našeho zjišťování elektrony a jádra. Výpočet předpokládá pouze polohy a náboje jader. Metoda určuje vlnové funkce elektronů řešením Schrödingerovy rovnice. Metoda je optimalizovaná započítáním symetrií v krystalické mřížce. V případě nemagnetických materiálů není důležitý směr spinu, proto s ním ve výpočtech nekalkulujeme. V práci využíváme metody ab-initio k výpočtu elektronových hustot, hustoty stavů elektronů, pásové struktury a optických vlastností.

### 2 Metoda ab-initio (DFT)

Metoda ab-initio řeší pohyby elektronů v pevné látce. Metoda je založena na řešení Schrödingerovy rovnice.

$$\widehat{H} \varphi_{n,k}(\mathbf{r}) = E_{n,k} \varphi_{n,k}(\mathbf{r})$$

V práci využíváme teorii hustotního funkcionálu. Hamiltonián je dán nábojovou hustotou. Výměnná interakce je aproximována nábojovou hustotou. Metoda řešeni Schrödingerovy rovnice je založena na principu iterace, která z nábojové hustoty dopočítává Hamiltonián a z Hamiltoniánu opět nábojovou hustotu. Iterace konverguje ke správnému řešení. Počáteční hodnota nábojové hustoty je odhadnuta.

### 3 Numerické řešení

Výpočty uskutečňujeme na superpočítači Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, využíváme kód WIEN2k. Do programu je zadán typ krystalické mřížky, rozměry buňky a polohy jednotlivých prvků. Program dopočítá atomové poloměry (R<sub>MT</sub>) a zjistí, z jaké části se jednotlivé elektrony nacházejí uvnitř tohoto poloměru. Elektrony, které se uvnitř poloměru nacházejí z větší části, než je zadaná konstanta (např. 0,9999), jsou approximovány jako jádrové (počítá se s nimi, jako by se náchazely uvnitř jádra). Ostatní elektrony jsou valenční a jsou modelovány jako rozšířené vlny (augmented plane waves).

### 4 Krystalografická struktura NaCl



Fig. 1 Krystalografická struktura NaCl. Prostorová grupa Fm3m (225).

Konvenční typ krystalografické mříže NaCl je kubická plošně centrovaná mříž (fcc), s mřížkovou konstantou 5,59 Å = 10,661 Bohr. Bodová grupa je m3m a prostorová grupa je Fm3m, počet operací symetrie je 48. Wyckoffovy pozice prvků Na je (0;0;0) a Cl (0;0;1/2).

### 5 Elektronová struktura prvků Na, Cl

1S	-75.972835	-75.972835	1.00	1.00	1.0000	Т
1S	-75.972835	-75.972835	1.00	1.00	1.0000	Т
2S	-4.171082	-4.171082	1.00	1.00	0.9990	F
2S	-4.171082	-4.171082	1.00	1.00	0.9990	F
2P*	-2.115986	-2.115986	1.00	1.00	0.9949	F
2P*	-2.115986	-2.115986	1.00	1.00	0.9949	F
2P	-2.102843	-2.102843	2.00	2.00	0.9947	F
2P	-2.102843	-2.102843	2.00	2.00	0.9947	F
3S	-0.201692	-0.201692	0.50	0.50	0.1609	F
3S	-0.201692	-0.201692	0.50	0.50	0.1609	F

Tab.1 Elektronová struktura samostatného prvku Na.

10	202 104452	202 104452	1 00	1 00	1 0000	т
12	-202.194453	-202.194453	1.00	1.00	1.0000	
1S	-202.194453	-202.194453	1.00	1.00	1.0000	Т
2S	-18.569317	-18.569317	1.00	1.00	1.0000	Т
25	-18.569317	-18.569317	1.00	1.00	1.0000	Т
2P*	-14.163986	-14.163986	1.00	1.00	1.0000	Т
2P*	-14.163986	-14.163986	1.00	1.00	1.0000	Т
2P	-14.039264	-14.039264	2.00	2.00	1.0000	Т
2P	-14.039264	-14.039264	2.00	2.00	1.0000	Т
3S	-1.520193	-1.520193	1.00	1.00	0.9294	F
3S	-1.520193	-1.520193	1.00	1.00	0.9294	F
3P*	-0.637316	-0.637316	1.00	1.00	0.8192	F
3P*	-0.637316	-0.637316	1.00	1.00	0.8192	F
3P	-0.628219	-0.628219	1.50	1.50	0.8156	F
3P	-0.628219	-0.628219	1.50	1.50	0.8156	F

Tab.2 Elektronová struktura samostatného prvku Cl.

Tabulky 1, 2 ukazují elektronovou strukturu samostatných prvků Na, Cl. Výpočet je založen na modelu výměnné energie PBE. První sloupec ukazuje sférickou symetrii elektronů, druhý a třetí sloupec energii těchto elektronů pro spiny nahoru a dolů, čtvrtý a pátý sloupec obsazenost těchto stavů. Šestý (předposlední) sloupec ukazuje podíl elektronu uvnitř  $R_{MT}$  =2,50 Bohr koule, použité v následujícím výpočtu. Na základě tohoto podílu jsou elektrony roztříděny na jádrové (corové, T) a valenční (F).

#### 10 total Na C 20 E 0 Energy(eV) DOS(States/eV) 15 10 5 -20 0 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 Energy (eV) w Ĺ Г Х W ĸ

### 6 Elektronová struktura NaCl

Fig.2 (a) Hustota stavů (DOS). (b) pásová struktura NaCl.

Hustota stavů NaCl ukazuje, že NaCl je polovodič s vypočteným gapem 5,11 eV. HOMO (highest occupied molecular orbital) je tvořen převážně elektrony na pozici chloru. LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) je tvořen elektrony, které mají přibližně stejné obsazení na pozici chloru a sodíku.

# 7 Optické vlastnosti NaCl

Spočítali jsme absorbci fotonů v závislosti na jejich energii (Fig.3). Graf ukazuje, že pokud je energie fotonu menší než gap (5,11 eV), absorbce je nulová. Pro energie fotonů vyšší než gap absorbce fotonů rychle roste. Nárůst absorbce blízko gapu má tvar  $\sqrt{E-E_g}$ , což odpovídá polovodiči s přímým gapem.



Fig.3 Pravděpodobnost absorbce fotonu (vyjádřena jako imagiární část permitivity) v závisloti na energii fotonů.

### 8 Závěr

Pomocí programu WIEN2k jsme určili krystalografické symetrie a elektronovou strukturu kuchyňské soli (NaCl). Z vlastností jsme určili, že NaCl je polovodič s přímým gapem.

### Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat našemu garantovi Mgr. Jaroslavovi Harmle, Ph.D. a panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

### Reference

[1] WIEN2k kód, http://susi.theochem.tuwien.ac.at/

[2] Mřížková konstanta NaCl převzata z databáze <u>https://legacy.materialsproject.org/materials/mp-22862/</u>

[3] Alexandra Viktorenko Bc. Práce, MUNI (2021)

https://is.muni.cz/th/u2ibd/Bakalarska prace Alexandra Viktorenko.pdf
## Zbytkové napětí na hliníku z 3D tisku

M. Mařan

## Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Trojanova 339, 120 00 Nové Město

martinek.maran7@email.cz

Abstrakt: Každý výrobce kovových součástek chce co nejvíce snížit náklady, ale zároveň si udržet dostatečnou kvalitu. V tomto může pomoci určení zbytkových napětí na materiálu. V tuto chvíli jsme se zabývali hliníkem z 3D tisku. Dokázali jsme určit napětí a mohli pomoci navrhnout adekvátní úpravu postupu.

## 1 Úvod

3D tisk je užitečný k výrobě složitých struktur, které jsou špatně vyrobitelné odléváním do formy. Ale jelikož je tisk postupný po vrstvách (viz obr. 1), a ne uniformní jako odlitím, na výtisku se působením tepelné roztažnosti tvoří napětí. Tyto napětí mohou způsobit předčasnou destrukci a třeba u letadla ztráty lidských životů.



Obrázek 1: Vrstvy 3D tisku

#### 2 Praxe

K určení napětí využíváme rentgenového difraktometru. Pro difrakci rentgenového záření o vlnové délce  $\lambda$  a mezirovinnou vzdáleností d je potřeba aby záření dopadalo na tyto roviny pod úhlem  $\theta$ , což splní Braggovu rovnici 2  $d \sin \theta = \lambda$ . To nám může identifikovat fázové složení. Poté za pomoci programu Stress Plus můžeme určit ono zbytkové napětí. Do programu musíme ještě doplnit dvě hodnoty, které odpovídají materiálu, modul pružnosti v tahu (Youngův modul) a Poissonovo číslo. Tyto údaje nemáme osobně změřeny pro náš materiál AlSi10Mg (90% hliník, 9% křemík, 1% hořčík), tudíž jsme využili internetu. Hodnoty jsou různé i pro teplotu tisku, či šířky stopy. Nalezli jsme hodnoty pro podobné použití jako naše v článku (viz. ref. 1). Pomocí těchto konstant dokáže program vypočítat deformaci krystalické mřížky a tím i napětí. Napětí jsme určili každých 30° po obvodu našeho vzorku (viz obr. 2).



Obrázek 2: Vzorek 3D tisku hliníku



Obrázek 3: Napětí na vzorku

## 3 Shrnutí

Na vzorku jsme naměřili tahové napětí 60MPa až 100MPa. Tahové napětí je zápornou vlastností materiálu jelikož může způsobit či urychlit tvorbu prasklin. Také z toho můžeme vidět, že povrch vzorku není homogenní a při dalších úpravách se může deformovat.

## Poděkování

Děkuji všem, kteří umožnili průběh akce Týden vědy na Jaderce. Děkuji mému učiteli fyziky, který mi tuto možnost ukázal a pomohl mi s přihláškou. Doufám, že se akce bude opakovat abych se mohl opět zúčastnit a naučit se něco nového.

## Reference

- [1] Steffen Czink, Stefan Dietrich, Volker Schulze. *Ultrasonic evaluation of elastic properties in laser powder bed fusion manufactured AlSi10Mg components*. https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2022.102729
- [2] V. FREI. Fyzika pevných látek.
  V. VALVODA. Základy krystalografie.
  V. VALVODA, M. POLCAROVÁ, P. LUKÁČ. Základy strukturní analýzy. https://xray.cz/default-cz.htm

## Výpočet obsahu plošných obrazců metodou Monte Carlo

Ondřej Nevěřil<sup>1</sup>, Michal Helma<sup>2</sup>, Monika Králová<sup>3</sup>

<sup>1</sup>G Zábřeh; ondra.neveril@centrum.cz
<sup>2</sup>Masarykovo G, Plzeň; michal.helma.188b@mgplzen.cz
<sup>3</sup>G Jírovcova, České Budějovice; kralovamonika42@gmail.com

P. Ambrož, školitel; KM FJFI ČVUT v Praze

#### Abstrakt

Tato práce se zabývá metodou Monte Carlo. Konkrétně pak třemi případy, při kterých právě metodu Monte Carlo využijeme, a to výpočtem hodnoty Ludolfova čísla, plochy pod křivkou a plochy uvnitř uzavřené křivky.

#### 1 Úvod

Metoda Monte Carlo je metoda řešení matematických příkladů a jiných problémů s využitím modelování náhodných veličin. Jednou z mnoha možností využití této metody je určení obsahu plošných obrazců.

Naším úkolem bylo pomocí programovacího jazyka Python vytvořit program, který by za pomoci generování pseudonáhodných čísel umožnil odhad Ludolfova čísla, obsahu plochy pod křivkou a plochy uvnitř křivky.

#### 2 Postup

#### 2.1 Použití metody Monte Carlo pro výpočet plochy

Chtěli jsme spočítat plochu oblasti  $S_{\Omega}$ , části obdélníka O. Náhodně jsme generovali souřadnice bodů v obdélníku O tak, aby v něm byly rovnoměrně rozprostřené. Na základě souřadnic jsme určili, zda se daný bod B nacházel uvnitř zvoleného obrazce (oblasti  $\Omega$ ).

Pro odhad obsahu plochy  $S_{\Omega}$  jsme využili toho, že pravděpodobnost výskytu náhodně vybraného bodu *B* uvnitř  $\Omega$  je rovna podílu plochy  $S_{\Omega}$  a celkové plochy obdélníku  $S_O$ .

Obsah plochy  $S_{\Omega}$  jsme tedy vypočítali díky znalosti poměru bodů, které se v  $\Omega$  nachází ku celkovému počtu vygenerovaných bodů; formálně:

$$\frac{S_{\Omega}}{S_O} = P[B \in \Omega], \quad \text{tedy} \quad S_{\Omega} = S_O \cdot \frac{N_{\text{uvnit}\check{r}}}{N_{\text{celek}}}.$$

#### 2.2 Program pro výpočet

Program generoval odhad obsahu plochy pomocí  $10^k$  bodů v deseti opakováních. Z určených odhadů jsme pak spočítali aritmetický průměr  $\bar{x}$ , a výběrovou směrodatnou odchylku s.

#### 3 Výsledky

#### 3.1 Výpočet hodnoty čísla $\pi$

Odhad hodnoty Ludolfova čísla jsme učinili pomocí obsahu kruhu. Určovali jsme podíl plochy čtvrtkruhu  $\Omega$  vůči ploše čtverce O, jehož dvě strany jsou shodné s hranami čtvrtkruhu  $\Omega$ . Z tohoto odhadu jsme pomocí vztahu  $S_{\Omega} = \frac{1}{4}\pi r^2$  získali odhad  $\pi$ . Hodnoty souřadnic x a y byly generovány v intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ .



Obrázek 1: Červeně body uvnitř kruhu, modře vně kruhu

N	$10^{1}$	$10^{2}$	$10^{3}$	$10^{4}$	$10^{5}$	$10^{6}$	$10^{7}$	$10^{8}$
$ar{x} s$	$3,32000 \\ 0,46380$	$3,16400 \\ 0,15827$	$3,15640 \\ 0,03306$	$3,14176 \\ 0,01007$	$3,14281 \\ 0,00445$	$3,14173 \\ 0,00116$	$3,14174 \\ 0,00041$	$3,14157 \\ 0,00014$

	• <del>•</del>	/ 1 11 0	/1 × /	~ 1 / /	1 1 11
Tabulka I. Aritmeticke	priimerv	vvsledkii a	vyberove	smerodathe	odchylky
rabana i. minimonono	prumery	vysicana a	1,9,001010	Sillerodaulie	oucinyiny

Výsledné hodnoty se shodují s notoricky známým rozvojem Ludolfova čísla  $\pi = 3,1415926...,$  při hodnotě  $N = 10^8$  dosahujeme přesnosti na 4 platné číslice.

#### 3.2 Plocha pod křivkou

Dále jsme počítali plochu pod křivkou určenou funkcí  $f(x) = \sin^4 x \cos x$  v intervalu  $\langle 0; \pi/2 \rangle$ . Pro tuto plochu jsme schopni určit přesnou hodnotu obsahu, ke které by se měly námi vygenerované hodnoty blížit, pomocí integrace.

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^4 x \cos x \, \mathrm{d}x = \left\{ \begin{array}{l} t = \cos x \\ \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -\sin x \end{array} \right\} = \int_0^1 t^4 \, \mathrm{d}t = \left[ \frac{t^5}{5} \right]_0^1 = \frac{1}{5}.$$

Pro účely výpočtu Metodou Monte Carlo byly hodnoty souřadnice x generovány v intervalu  $\langle 0; 2 \rangle$ . I když nás zajímala plocha pod křivkou pouze na intervalu  $\langle 0; \pi/2 \rangle$ , správnost výsledku to neovlivnilo, protože na intervalu  $(\pi/2; 2)$  jsou hodnoty funkce f záporné. Hodnoty souřadnice y byly generovány v intervalu (0; 0, 3). Horní mez intervalu je větší než maximum funkce f, proto platí, že plocha  $\Omega$  leží uvnitř obdélníku O.



Obrázek 2: Funkce  $f(x) = \sin^4 x \cos x$  v obdélníku O

N	$10^{1}$	$10^{2}$	$10^{3}$	$10^{4}$	$10^{5}$	$10^{6}$	$10^{7}$	$10^{8}$
$\bar{x}$	0,17400	0,20700	0,19740	0,19913	0,19962	0,20009	0,19998	0,20000
s	0,08695	0,02177	0,00669	$0,\!00161$	0,00076	0,00019	0,00008	0,00002

Tabulka 2: Aritmetické průměry výsledků a výběrové směrodatné odchylky

Vypočítané hodnoty se uspokojivě shodují s přesnou hodnotou získanou pomocí integrace.

#### 3.3 Plocha uvnitř křivky

Poslední křivka je určená funkcí  $r(\varphi) = 1 + 4\cos(8\varphi)$  v polárních souřadnicích. Hodnoty souřadnic x a y byly generovány v intervalu  $\langle 0; 5 \rangle$ . Na obrázku je tak pouze část plochy  $\Omega$ , která leží v prvním kvadrantu. Díky symetrii grafu funkce stačí ke zjištění obsahu plochy  $\Omega$  znát obsah v jednom z kvadrantů.

N	$10^{1}$	$10^{2}$	$10^{3}$	$10^{4}$	$10^{5}$	$10^{6}$	$10^{7}$	$10^{8}$
$\bar{x}$	32,0000	26,5000	28,4900	28,0970	28,2738	28,2623	$28,\!2787$	$28,\!2758$
s	$19,\!8886$	$5,\!0827$	1,7451	$0,\!4206$	$0,\!1426$	0,0303	0,0143	0,0035

Tabulka 3: Aritmetické průměry výsledků a výběrové směrodatné odchylky

Obsah plochy uvnitř této křivky lze také zjistit pomocí integrace v polárních souřadnicích. Výsledky se opět shodují, obsah plochy odpovídá hodnotě  $9\pi$ .

#### 4 Shrnutí

Obecně platí [1], že pokud chceme výsledek metody Monte Carlo na k platných číslic, potřebujeme  $10^{2k}$  náhodných pokusů. Naše výsledky tomu neodporují, ve všech třech



Obrázek 3: Vlevo – graf funkce v polárních souřadnicích, vpravo – červeně body uvnitř plochy  $\Omega$ , modře vně

případech klesá řád výběrové směrodatné odchylky o jedna, když zvyšujeme počet pokusů o dva řády. Tato závislost je omezením této metody, a například právě pro výpočet Ludolfova čísla existují metody [2], u kterých výsledky konvergují k přesné hodnotě rychleji.

#### Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům týdne vědy na Jaderce a ČVUT za poskytnutí prostorů. Speciální díky patří našemu odbornému garantovi Ing. Petrovi Ambrožovi, Ph.D., bez jehož vedení a pomoci bychom to nikdy sami nezvládli.

#### Odkazy

- 1. DŘÍMAL, J.; TRUNEC, D.; BRABLEC, A. *Úvod do metody Monte Carlo*. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzikální elektroniky, 2006.
- CHUDNOVSKY, D. V.; CHUDNOVSKY, G. V. Approximations and complex multiplication according to Ramanujan. In: *Ramanujan revisited (Urbana-Champaign, Ill., 1987)*. Academic Press, Boston, MA, 1988, s. 375–472. ISBN 0-12-058560-X.
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Monte Carlo method Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné také z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Monte\_Carlo\_method&oldid=1225843687. [cit. 2024-06-18].

## Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu

J. Valenta<sup>1</sup>, M. Pospíšilová<sup>2</sup> <sup>1</sup>G Jateční, Ústí nad Labem, valenta.j@gymjat.cz <sup>2</sup>GFP, Neratovice; pospisilova.misa123@gmail.com Garant: Pavel Suk; KJR FJFI ČVUT v Praze

#### Abstrakt:

Práce se zabývá určením množství štěpného materiálu pomocí zpožděných neutronů, které vznikají rozpadem dceřiných produktů ze štěpení. Měřením, které proběhlo na školním reaktoru VR-1, bylo určeno množství uranu na 2,0748 g.

#### 1 Úvod

Při štěpných reakcích v jaderném reaktoru VR-1 vznikají při štěpení U-235 (viz Obrázek č. 1) 2-3 neutrony a 2 dceřiné produkty. Většina neutronů, které zde vznikají, jsou neutrony okamžité, kterých je cca 99 % a vznikají do 10<sup>-13</sup> s od štěpení. V reaktoru vznikají i zpožděné neutrony, kterých je pod 1 % a vznikají v řádech do několika desítek sekund po rozštěpení U.



$$N_{U}^{fis} = t * \phi * N_{U} * \sigma_{f}$$

 $N_U^{FIS}$  je hustota rozštěpených atomů  $\sigma_f$  je mikroskopický účinný průřez pro štěpení (konstanta) t je doba ozařování (konstantní)  $N_U$  je hustota počtu částic  $\phi$  je hustota toku neutronů (konstantní) Tím pádem ze vzorce vyplývá, že je mezi  $N_U$  a  $N_U^{FIS}$  za těchto předpokladů přímá úměra.

Na detekci neutronu byl použit polyethylenový box a detektor neutronů fungující na bázi <sup>3</sup>He. Neutron nemá náboj, a tudíž se nedá napřímo detekovat. Reaguje s <sup>3</sup>He, přičemž vzniká proton a <sup>3</sup>H (viz Obrázek č. 2). Díky tomu jsme mohli změřit počet protonů, které jsou kladně nabité, a tudíž i detekovatelné. Protony jsou přeměněné v přímé úměře s neutrony a tím jsme změřili počet neutronů.



#### 2 Praktická část

Školní reaktor VR-1 byl uveden do kritického stavu na výkon 1E7. Vzorek č. 1 byl poslán potrubní poštou do centra aktivní zóny, kde byl ozařován 400 sekund. Vzorek byl následně vložen do polyethylenového boxu s detektorem fungujícím na bázi <sup>3</sup>He, v němž byla změřena emise zpožděných neutronů. Poté byly výsledky vyčteny z počítače a zaznamenány. Mezitím se stejný proces opakoval se vzorkem č. 2 a následně se vzorkem č. 3. Výsledky měření jsou uvedené v Tabulce č. 1.

Vzorek uranu s přírodním obohacením	Hmotnost vzorku [g]	Počet neutronů za 120 s
č. 1	1	8 576
č. 2	2,5	21 936
č. 3	neznámá	18 149

Tabulka 1: Tabulka naměřených hodnot vzorků 1-3

V grafu na obrázku č. 3 jsou zaznamenány výsledky měření emise zpožděných neutronů od peaku po dobu 120 s v polyethylenovém boxu s detektorem.



Obrázek 3

Prostřednictvím výpočtu dvou rovnic o dvou neznámých bylo určeno množství uranu na 2,0748 g. Výsledek byl ověřen pomocí grafu na obrázku č. 4 znázorňujícího přímou úměrnost počtu impulzů a hmotnosti uranu.



Obrázek 4

#### 3 Závěr

Ve školním reaktoru VR-1 proběhlo měření emise zpožděných neutronů ze štěpného materiálu. Ze získaných dat bylo vypočítáno množství štěpného materiálu.

#### Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing. Pavlu Sukovi za uvedení do dané problematiky a za pomoc s realizací projektu. Děkujeme Ing. Sebastianu Nývltovi za pomoc při vytváření sborníku. Také děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce a Katedře jaderných reaktorů za možnost realizace tohoto miniprojektu.

#### Reference

- [1] <u>https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=d19ebf633e&attid=0.4&permmsgid=msg-f:1802192478382639766&th=1902ac82bae0ca96&view=att&disp=inline&realattid=f\_lx k8dau10</u>
- [2] <u>https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-031-36546-1\_2/MediaObjects/603266\_1\_En\_2\_Fig4\_HTML.png</u>

#### Wythoffova hra aneb dáma na nekonečné šachovnici

W. Bureš<sup>1</sup>, M. Drexlerová<sup>2</sup>, V. Lorenc<sup>3</sup>, M. L. Skuda<sup>4</sup>, V. Tureček <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Polské G, Český Těšín; 18wojtek8@gmail.com
 <sup>2</sup>G Rožnov pod Radhoštěm, Praha; drexlerova.monika@seznam.cz
 <sup>3</sup>G Podbořany, Praha; percy0546@gmail.com
 <sup>4</sup>G Boskovice; skuda.maxmilian@email.cz
 <sup>5</sup>Masarykovo G, Plzeň; vladimir.turecek.188b@mgplzen.cz

Ľ. Dvořáková, školitelka; KM FJFI ČVUT

#### Abstrakt

Wythoffova hra pochází pravděpodobně z Číny, ale jméno nese po holandském matematikovi W. A. Wythoffovi<sup>1</sup>, který v roce 1907 zveřejnil kompletní analýzu hry. V článku popíšeme dvě možné výherní strategie: pomocí rekurentní posloupnosti a pomocí zápisu čísel ve Fibonacciho soustavě.

#### Pravidla Wythoffovy hry

Představte si, že se před Vámi nacházejí dvě hromádky libovolně zvoleného počtu žetonů. Se svým protihráčem se střídáte v tazích probíhajících následujícím způsobem:

- 1. Vyberete si právě jednu z hromádek a odstraníte z ní libovolný počet žetonů.
- 2. Z obou hromádek zároveň odstraníte shodný počet žetonů.

Prohrává ten hráč, jenž na začátku svého tahu již nemá žádné žetony k odstranění.

#### Prohrávající a vyhrávající pozice

Zadefinujme rekurzivně vyhrávající a prohrávající pozice.

**Definice 1.** Nechť  $(0;0) \in P$ . Nechť  $(x;y) \in \mathbb{N}_0 \times \mathbb{N}_0$ ,  $(x;y) \neq (0;0)$ .

- $(x; y) \in V$ , pokud existuje tah do P,
- $(x; y) \in P$ , pokud všechny tahy vedou do V.

Prvkům P říkáme prohrávající pozice, prvkům z V vyhrávající pozice.<sup>2</sup>

Můžeme si všimnout, že platí:  $P \cup V = \mathbb{N}_0 \times \mathbb{N}_0$  a  $P \cap V = \emptyset$ ;  $(x; y) \in P \Leftrightarrow (y; x) \in P$ .

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Willem Abraham Wythoff (1869–1939)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Většina zdrojů používá značení  $\mathcal{P}$  (previous) a  $\mathcal{N}$  (next).  $\mathcal{N}$  značí to samé co V a  $\mathcal{P}$  opět značí prohrávající pozice. [1]

**Příklad 1.** Zahrajme si ukázkovou hru. Před námi se nachází hromádka  $x \le 12$  žetony a hromádka  $y \le 20$  žetony. To zapíšeme jako (12; 20). Hra má tento průběh:

(12; 20) - (8; 16)	Partii zahajuje hráč A odebráním 4 žetonů z obou hromádek. Hráč B
(8; 13) - (8; 5)	reaguje odstraněním 3 žetonů z hromádky $y$ . Hráč A odebere ze stejné
(3;5) - (1;3)	hromádky dalších 8 žetonů, na což jeho oponent odstraní 5 žetonů z
(1:2) - (0:1)	hromádky $x$ . Následuje odebrání 2 žetonů z každé hromádky hráčem A
	a jednoho žetonu z hromádky <i>u</i> hráčem B. Hráč A odstraní po jednom

žetonu z obou hromádek a tím na stole zbude poslední žeton, který odebere hráč B. Jelikož na jeho soupeře již žádný žeton nezbyl, stává se vítězem hry.

Pokud umíme popsat P a dělat tahy z V do P, pak když soupeř začne v P, prohraje. Pokud začne ve V, ale nezná výherní strategii, může udělat tah do V, a poté vyhrajeme my.

Wythoffovu hru můžeme také interpretovat jako dámu pohybující se po nekonečné šachovnici. Může se však pohybovat pouze dolů, vlevo a diagonálně doleva dolů.



#### První výherní strategie: rekurentní posloupnost

**Věta 1.**  $P = \{(a_n; b_n), (b_n; a_n) \mid n \in \mathbb{N}_0\}, kde$ 

- $a_0 = b_0 = 0$ ,
- $a_n$  pro  $n \ge 1$  je nejmenší ještě nepoužité přirozené číslo,
- $b_n = a_n + n$ .

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
$a_n$	0	1	3	4	6	8	9	11	12	14	16	17	
$b_n$	0	2	5	7	10	13	15	18	20	23	26	28	

Tabulka 1: Počáteční členy posloupnosti  $a_n, b_n$ 

Dále platí  $a_n < a_{n+1}, b_n < b_{n+1}$ . Navíc každé přirozené číslo je v tabulce 1 právě jednou.

Důkaz věty 1. Označíme množinu  $\{(a_n; b_n), (b_n; a_n) \mid n \in \mathbb{N}_0\} = A$ . Pro důkaz, že A = P, stačí ověřit:

- (a)  $(0;0) \in A$ ,  $(0;0) \in A$ , protože  $a_0 = b_0 = 0$ .
- (b) Pokud  $(x; y) \notin A$ , pak existuje tah do A. Pokud  $(x; y) \notin A$ , pak můžeme bez újmy na obecnosti uvažovat, že x < y. Máme následující možnosti:
  - $x = b_n$ ;  $y > x > b_n > a_n$ . Uberu  $y a_n \ge y$  a dostanu se do pozice  $(x; y') = (b_n; a_n)$ .
  - $x = a_n; y > b_n$ . Uberu  $y b_n \ge y$  a dostanu se do  $(x; y') = (a_n; b_n)$ .
  - $x = a_n$ ;  $y < b_n$ . Uberu  $a_n a_k$ , kde k = y x < n, z obou a dostanu se do pozice  $(a_k; b_k)$ , protože  $x (a_n a_k) = a_k$  a  $y (a_n a_k) = (y x) + a_k = k + a_k = b_k$ .

(c) Pokud  $(x; y) \in A$ , pak všechny tahy vedou mimo A. Když uberu z  $a_n$  tak jsme v pozici  $(x'; b_n)$ , kde  $x' < a_n$ ,  $b_n$  je však v tabulce 1 právě jednou, a to ve dvojici s  $a_n$ . Proto jsem mimo A. Podobně když uberu z  $b_n$ , nebo stejný počet z obou.

**Příklad 2.** K demonstraci zmíněných pravidel použijeme hru z příkladu 1, pouze s odlišným komentářem. Soupeř nás prvním tahem dostává do vyhrávající pozice, kterou díky druhé možnosti z (c) proměníme v prohrávající. Po jeho dalším tahu použijeme první možnost z (c), čímž opět vytvoříme prohrávající pozici. Po jeho dalším tahu používáme opět druhou možnost z (c). Z pozice (1; 2), vedou všechny soupeřovy tahy k naší výhře.

#### Druhá výherní strategie: Fibonacciho zápis čísel

**Definice 2.** Fibonacciho čísla jsou posloupností čísel splňujících  $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$  pro  $n \ge 2$ . Počáteční podmínky jsou  $f_1 = 2$  a  $f_0 = 1$ .<sup>3</sup>

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_n$	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144

Tabulka 2: Počátek rozvoje Fibonacciho čísel

**Věta 2.** Každé  $N \in \mathbb{N}$  lze zapsat ve Fibonacciho soustavě pomocí cifer 0 a 1, tj.  $N = \sum_{k=0}^{j} a_k f_k$ , kde  $a_k \in \{0, 1\}, a_j \neq 0$ .

Platnost věty zaručuje hladový rozvoj. Pro číslo N se získá tak, že vždy najdeme největší Fibonacciho číslo  $f_j$ , které je menší nebo rovno danému N. Spočítáme zbytek  $N - f_j$  a se zbytkem postupujeme stejně.  $66 = 55 + 11 = 55 + 8 + 3 = f_8 + f_4 + f_2$ . Píšeme  $(66)_F = 100010100$ . 120 = 89 + 21 + 8 + 2. Tudíž  $(100)_F = (1001010010)$ .

Takový rozvoj neobsahuje cifru 2 nebo vyšší, protože  $2f_n > f_n + f_{n-1} = f_{n+1}$ , a neobsahuje po sobě jdoucí jedničky, protože  $f_{n-1} + f_n = f_{n+1}$ .

**Věta 3.**  $P = \{(s_n, l_n), (l_n, s_n) \mid n \in \mathbb{N}_0\}, kde$ 

- $s_0 = l_0 = 0$ .
- $(s_n)$  ostře roste a zápis  $s_n$  ve Fibonacciho soustavě končí sudým počtem nul.
- $(l_n)$  ostře roste a zápis  $l_n$  ve Fibonacciho soustavě končí lichým počtem nul.

n	0	1	2	3	4	5
$s_n$	0	$(1) = 1_F$	$(100) = 3_F$	$(101) = 4_F$	$(1001) = 6_F$	$(10000) = 8_F$
$l_n$	0	$(10) = 2_F$	$(1000) = 5_F$	$(1010) = 7_F$	$(10010) = 10_F$	$(100000) = 13_F$

Tabulka 3: Počáteční členy posloupnosti  $s_n$  a  $l_n$ 

Navíc si lze povšimnout, že čísla v druhém řádku jsou stejná jako čísla v prvním, pouze s přidanou nulou na konci.

Důkaz věty 3. Označíme množinu  $\{(s_n; l_n), (l_n; s_n) \mid n \in \mathbb{N}_0\} = B$ . Pro důkaz, že B = P, si stačí uvědomit:

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Počáteční podmínky jsou většinou definovány jako  $F_1 = 1$  a  $F_0 = 0$ . Pro práci s rozvojem ve Fibonacciho soustavě musíme však definovat tyto podmínky tak, jak bylo v článku zmíněno.

- (a)  $(0;0) \in B$ .
- (b)  $(s_n)$  a  $(l_n)$  ostře rostou.
- (c) Každé přirozené číslo je rovno buď  $s_n$ , nebo  $l_n$  pro nějaké  $n \in \mathbb{N}$ .
- (d)  $l_n s_n = n$  pro každé  $n \in \mathbb{N}$ .

Body (a), (b) a (c) jsou jasné z definice množiny *B*. Bod (d) dokážeme tak, že pro každé  $n \in \mathbb{N}$  existuje přirozené *n*, aby  $l_n - s_n = n$ . Najdeme  $(n-1)_F = (a_j a_{j-1} \dots a_1 a_0)$ , zvolíme  $(s)_{\tilde{F}} = (a_j \dots a_1 a_0 1), (l)_{\tilde{F}} = (a_j \dots a_1 a_0 10)$ . Pokud  $a_0 = 1$ , je  $a_1 = 0$  a my přepíšeme  $(a_j \dots 011) \rightarrow (a_j \dots 100)$ , pokud opět vznikne 11, znovu přepíšeme. Dostaneme tím Fibonacciho rozvoj se sudým počtem nul na konci. Proto skutečně  $s = s_n$  pro nějaké  $n \in \mathbb{N}$ . Podobně pro  $l = l_n$ . Ukažme, že  $l_n - s_n = k = a_j f_{j+2} - a_j f_{j+1} + \dots + a_0 f_2 - a_0 f_1 + f_1 - f_0 = a_j f_j + \dots + a_0 f_0 + (2 - 1) = n - 1 + 1 = n$ .

**Příklad 3.** Na následující ukázce si demonstrujeme použití druhé výherní strategie. Začneme s dvojicí čísel (35; 40).

(35; 40) - (8; 13)	J sme na tahu. Větší číslo označme $Y$ a menší z čísel označm e $X$ a
(8; 10) - (3; 5)	převeďme ho do Fibonacciho soustavy.
(2; 4) - (2; 1)	$35 = 34 + 1 \rightarrow (1000001) = (s_n)_F$ . Přidáme tedy na konec nulu a
(1;1) – $(0;0)$	získáme $(l_n)_F = (100000010)$ , po převodu $(l_n)_F$ zpět do dekadické
	soustavy dostaneme 57.

Jelikož  $l_n > Y > X$ , index k zjistíme jako  $k = Y - X \rightarrow k = 5$ . Pakliže k zápisu  $(k-1)_F$ přidáme nakonec číslici 1, tj. (1011), a přepíšeme ho do desítkové soustavy, získáme  $s_k = 8$ a  $l_k = s_k + k = 13$ . Další dvojice čísel je tedy (8; 13). Soupeř odečte z druhé pozice 3, dostáváme (8; 10). Provedeme-li shodný postup jako v prvním tahu, obdržíme (3; 5). Protihráč nás uvede do pozice (2; 4). Pro výpočet prohrávající pozice převedeme 2 do Fibonacciho soustavy, a tedy  $(2)_F = (10)$ , proto  $2 = l_j$ , z toho  $(s_j)_F = (1)$ , tj.  $s_j = 1$ . Jelikož  $s_j$  je menší než hodnoty stávající pozice, nahradíme jím druhou pozici a vyjde dvojice čísel (2;1). Odtud již vede snadná cesta k výhře.

#### Poděkování

Rádi bychom poděkovali paní docentce Dvořákové za vedení celého projektu i za její neskonalou píli. Rovněž bychom rádi poděkovali panu doktoru Kolářovi za všechen čas, který strávil přípravou této akce.

#### Odkazy

- 1. VOPRAVIL, V. Nestranné hry. *Učitel matematiky*. 2018, roč. 26, č. 2. Dostupné také z: https://ojs.cuni.cz/ucitel/article/view/993.
- WYTHOFF, W. A. A modification of the game of Nim. Nieuw Arch. Wisk. 1907, roč. 7, č. 2, s. 199–202.

# Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM

D. Káčerek<sup>1</sup>, F. Krafčík<sup>2</sup>, D. Theiss<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, Plzeň, Mikulášské nám. 23, kacerekdan@gmail.com <sup>2</sup>Gymnázium Terézie Vansovej, filipkrafc@gmail.com <sup>3</sup>Gymnázium Cheb, datheis@gymcheb.cz

#### Abstrakt

V tomto projektu se zabýváme základní diagnostikou tokamaku GOLEM. Pomocí různých zařízení měříme jeho parametry, jejichž vztahy jsou klíčové pro pokročilejší analýzu chování tokamaku. Z naměřených hodnot tak odvozujeme důležité vlastnosti průběhu udržení energie v něm, což je jeden z podstatných faktorů při produkci čisté a bezpečné fúzní energie.

## 1 Úvod

Elektřina je dnes páteří naší společnosti. Život bez ní je téměř nepředstavitelný. Její spotřeba denně exponenciálně roste, což má také významný dopad na naše životní prostředí. Neefektivní uhelné elektrárny vypouštějí obrovské množství emisních plynů a jaderné elektrárny zase produkují nadměrné množství radioaktivního materiálu. Nevyčerpatelné přírodní zdroje nejsou skutečně nevyčerpatelné, jak se jim obvykle říká kvůli jejich dosud neznámé hranici. Tímto problémem se vědci zabývají již mnoho let. První naděje na jeho řešení se objevily v druhé polovině 20. století, kdy několik světových mocností investovalo mnoho času a peněz do vývoje technologie jaderné fúze. Dnes je dosažení účinné jaderné fúze stále jedním z největších snů všech jaderných fyziků na celém světě.

## 2 Jak funguje tokamak?

Tokamak je přístroj, o kterém dnes předpokládáme, že by mohl v budoucnu sloužit jako fúzní reaktor v elektrárnách.



Jádrem tokamaku je torus (vakuová komora), ve kterém je vytvořeno vysoké vakuum (kolem 0,5 mPa). Torus je navlečený na jádro transformátoru, jehož sekundární cívkou je samotná vakuová komora (a případné plazma v ní). Tím se v komoře vytváří elektrické pole, které urychluje nabité částice v komoře. Uvnitř komory vždy jsou nějaké nabité částice plynu (hlavně vlivem kosmického záření). Ty jsou elektrickým polem urychleny a jejich srážkami s dalšími částicemi může dojít k řetězové ionizaci a vzniku plazmatu. Okolo vakuové komory jsou instalovány cívky (poloidální cívky), které generují uvnitř nádoby magnetické (toroidální) pole, kolem kterého plazma "obíhá", což ho udržuje uvnitř komory.



## 3 Principy diagnostiky plazmatu uvnitř tokamaku

Plazma, které se uvnitř tokamaku během jeho provozu tvoří, je velmi horké, a proto je obtížné ho přímo měřit. Existují ale způsoby, jak lze jeho vlastnosti stanovovat nepřímo. Hodnoty, které nás nejvíce zajímají, jsou patrně teplota vzniklého plazmatu a doba udržení energie uvnitř komory. Ty lze vypočítat, známe-li napětí



m Tr

na plazmatu, proud jím procházející a elektronovou hustotu uvnitř něj.

Napětí na plazmatu lze zjistit měřením napětí na jediném závitu umístěném na tokamaku v toroidálním směru osciloskopem. Obdobným způsobem lze zjistit intenzitu toroidálního magnetického pole pomocí měření napětí na malé cívce umístěné na komoře v poloidálním směru a proud procházející komoru i plazmatem pomocí tzv. Rogowského cívky. Z těchto dvou veličin se pak vypočte plazmatický proud. Poslední veličinu, střední elektronovou hustotu plazmatu, měří interferometr, zařízení postavené na principu interference (skládání) elektromagnetického vlnění.

$$U_{l} = R_{p}I_{p}. T_{e} = 0.9 \cdot R_{p}^{-\frac{2}{3}} \tau_{E} = \frac{en_{e}I_{e}V_{p}}{3U_{l}I_{p}}.$$
233

#### 4 Měření

S využitím osciloskopu jsme měřili průběh napětí na plazmatu, změny intenzity toroidálního a poloidálního magnetického pole a napětí na fotodiodě umístěné u pozorovacího otvoru do komory tokamaku. Integrováním změn magnetického pole v toroidálním a poloidálním směru jsme dostali hodnoty intenzity toroidálního magnetického pole a proudu v komoře a plazmatu, respektive. Fotodiodu bohužel někdo shodil. Následují grafy získaných měření.



## 5 Výsledky

Na závěr miniprojektu jsme napsali program pro výpočet střední elektronové teploty plazmatu a doby udržení energie v komoře ze změřených veličin. Následují grafy těchto veličin pro jeden z výstřelů (#45338).



## 6 Závěr

V rámci našeho bádání jsme byli úspěšně zapojili diagnostické nástroje na tokamaku a získali hodnoty veličin vědeckého zájmu.

Fúzní energie je technologií stále ve vývoji, a přestože jsou v této oblasti další a další pokroky, bude následovat ještě několik let výzkumu a vývoje, než bude tento druh výroby elektrické energie výhodný a komerčně výnosný.

## Poděkování

Tímto bychom chtěli srdečně poděkovat Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., bez kterého by Týden vědy na Jaderce nebyl možný, byl během miniprojektu hlavním dirigentem správného fungování tokamaku a který miniprojekt uvedl, a Ing. Marku Tunklovi, který byl garantem miniprojektu, zodpovídal naše dotazy jak nejlépe mohl a pomáhal nám miniprojekt realizovat.

## Reference

[1] http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/Universities/CTU.cz/PRA2/index

[2] Výklad Ing. Marka Tunkla a Ing. Vojtěcha Svobody, CSc.

Obrázky:

- <u>https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Toroidal\_coord.png</u>
- <u>https://www6.lehigh.edu/~eus204/publications/conferences/acc20a.pdf</u>
- <u>http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/0/Diagnostics/BasicDiagnostics/expsetup.svg</u>



Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze (dále jen FJFI) se řadí mezi nejnáročnější technické fakulty v ČR poskytující kvalitní vzdělání se 100 % uplatněním. Při výchově svých studentů těží z více než 60 let pedagogické i vědecké práce v oblasti matematiky, fyziky, jaderného, chemického i materiálového inženýrství a IT. Ačkoli je FJFI malou fakultou, mohou její studenti i zaměstnanci využívat celou řadu výhod, kterou poskytuje zázemí Českého vysokého učení technického v Praze.

Studenti jsou během studia zapojováni do vědeckých týmů a podílejí se na základním i aplikovaném výzkumu nebo na oborových expertízách pro partnery z komerční sféry. Během studia mohou vycestovat do zahraničí na krátkodobé stáže i studijní pobyty po celém světě. Ve vyšších ročnících zpravidla studenti získávají nabídky stáží nebo zkrácených úvazků v partnerských společnostech, kde po absolutoriu rozjíždějí svou další kariéru.

Mezi absolventy fakulty patří celá řada osobností, za všechny zmiňme například Dr. Danu Drábovou, předsedkyni Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, nebo zakladatele a majitele IT firmy Unicorn a miliardáře Ing. Vladimíra Kováře. Posledních několik let se pak absolventi fakulty objevují pravidelně také v žebříčku Forbes 30 pod 30, tedy 30 mimořádných žen a mužů pod 30 let.

Aktuálně fakulta nabízí zájemcům 12 programů a 11 specializací v bakalářském stupni.

- Aplikace informatiky v přírodních vědách
- Aplikovaná algebra a analýza
- Aplikovaná informatika
- Aplikované matematicko-stochastické metody
- Fyzikální inženýrství
  - specializace Inženýrství pevných látek
  - specializace Fyzikální inženýrství materiálů
  - specializace Laserová technika a fotonika
  - specializace Počítačová fyzika
  - specializace Fyzika plazmatu a termojaderné fúze
- Jaderná a částicová fyzika
- Jaderná chemie
- Jaderné inženýrství
  - specializace Aplikovaná fyzika ionizujícího záření
  - specializace Jaderné reaktory
  - specializace Radioaktivita v životním prostředí
- Kvantové technologie
- Matematické inženýrství
  - specializace Matematické modelování
  - specializace Matematická fyzika
  - specializace Matematická informatika
- Radiologická technika
- Vyřazování jaderných zařízení z provozu





#### AKCE PRO STŘEDOŠKOLÁKY

#### Den reaktorovým fyzikem

Vyzkoušej si wbrané experimenty na školním jaderném reaktoru VR-1



#### Staň se na den vědkyní

Akce, kde se především dívky mohou věnovat částicové fyzice, kvantovým technologiím či matematickým problémům.



**Den lékařským fyzikem** Prožij den jako radiologický fyzik v nemocnici!



**International masterclasses** Prozkoumej reálná data z experimentů na urychlovači LHC v CERN (ALICE, ATLAS) nebo observatoře kosmického záření Pierre Auger



**Týden vědy na Jaderce** Zažij během jednoho týdne skutečný výzkum na vlastní kůži!



Letní studentské soustředění TCN Čtrnáct dní zábavy pro všechny, kdo mají hlavu plnou matematiky, fyziky, chemie nebo informatiky a chtějí poznat o prázdninách své budoucí spolužáky.



Přípravný kurz z matematiky a fyziky Bezplatný kurz určený především maturantům. Ideální příprava nejen k přijímacím zkouškám na VŠ, ale i k maturitní zkoušce na SŠ.



#### Den otevřených dveří

Fakulta otevírá pravidelně svá pracoviště 2x za školní rok, v listopadu a v lednu. Na programu jsou exkurze, krátké odborné přednášky interaktivní expozice a přednáška o studiu.

www.fjfi.cvut.cz

