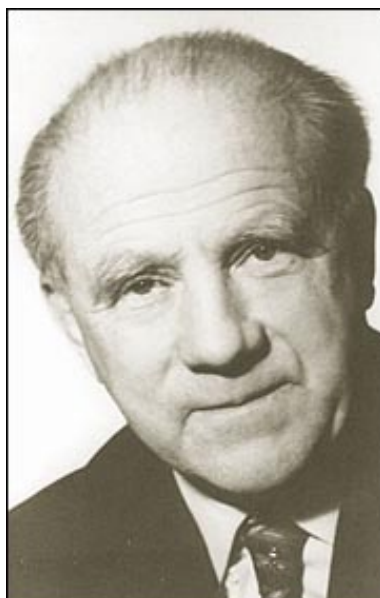


Fyzikální seminář

studenti SOBĚ

www-fyzsem.fjfi.cvut.cz

Zimní semestr 2001/2002



An expert is someone who knows some of the worst mistakes that can be made in his subject and how to avoid them

Werner Heisenberg

Obsah

Program	3
Abstrakta	5
Příspěvky	14
Linda Kašáková, Kateřina Štyndlová, Tomáš Brezula: Jak přednášet o fyzice.	14
Zdeněk Sypták, Pavel Svora: Speciální teorie relativity.	17
Dana Valachová, Zofie Sovová: Sluneční skvrny.	20
Adam Purkrt: Uhlíkové nanotrubičky.	22
Lenka Kučerová, Honza Duchoj, Vítězslav Dostál, Miroslav Vinš: Zdánlivé (?) paradoxy ve speciální teorii relativity.	26
Petr Kolenko, Petr Klíma, Vlastimil Jedek, Jiří Skřivánek: Oscilace - experiment.	28
Jan Kodovský, Tomáš Kalvoda: Problém nejen tří těles.	32
Ivana Ebrová, Hana Hurtová, Václav Vrba: astronomické a kosmonautické rekordy.	35
Sterpan Valek, Matej Tusek: Frankův - Hertzův experiment.	38

Lukáš Anderle,Alexei Andreev,Aleš Černý:Gravitace.	42
Michal Nyklíček,Milan Těšínský,Matěj Navrátil:Elementární částice.	45
Michaela Martinkova:Transmutační systémy ADTT.	49
Jitka Stokučová,Thoma Jiří ,Jiří Pelc:Fraktály.	53
Kateřina Štyndlova,Romana Žďárská:Youngův pokus.	59
Michal Nevrkla,Peter Pida,Jiří Michalík:Úvod do Chaotiky.	63
Jan Zatloukal:Století kvantové fyziky.	65
Jitka Stokučová,Jaroslav Kučera,Jiří Aubrecht:Werener Heisenberg.	69
Petr Lenhard:Let z kulovnice I.	71
František Havlůj,Jan Hýbl,Pavel Arátor:Rotační pohyb tuhého tělese.	73
Anna Plavcova,Milan Novak,František Pokorný:Slunecni Energie.	75
Radek Mušálek,Adam Haiduk,Ondřej Janata,Pavel Koman:Hookův zákon.	79
Jan Matyáš,Rostislav Fukač:Lorentzovy transformace - "důkaz" praktickým experimentem.	82
Jan Podmajerský,Martin Fibrich,Tomáš Kurtin :Termojaderná fúze včera a dnes.	83
Jiří Voltr:Šipka času ve fyzikálních rovnicích.	86
Jan Šipek,Milan Štengl,Martin Vacek,Pavel Němec:Atmosfericke jevy.	89
Žofie Sovová,Dana Valachová,Jiří Havelka:Světlo v atmosféře.	92
Michal Štěpán,Pavel Němec:Detekce extrasolarnich planet.	94

PROGRAM

Datum:**4.10**, Chairman/Chairperson:-

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Vojtěch Svoboda	Úvod - o vědecké komunikaci	100min

Datum:**11.10**, Chairman/Chairperson:Vojtěch Svoboda

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Jiří Voltr, Romana Žďárská, Michala Martínková, Jiří Havelka,	Jak přednášet	20min
Lukáš Anderle, Alexei Andreev, Aleš Černý	Jak připravit poster	20min

Datum:**18.10**, Chairman/Chairperson:Jan Podmajerský

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Linda Kašarová, Kateřina Štyndlová, Tomáš Brezula	Jak přednášet o fyzice	25min
Zdeněk Sypták	Speciální teorie relativity	25min

Datum:**25.10**, Chairman/Chairperson:Lenka Kučerová

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Eisenmannová Dagmar, Tušek Matěj, Válek Štěpán, Vašíček Petr,	Experimenty na vzduchové dráze	-na přednášce-60min
Dana Valachová, Zofie Sovová ,	Sluneční skvrny	30min
Adam Purkert	Uhlíkové nanotrubičky	20min

Datum:**1.11**, Chairman/Chairperson:Radek Mušálek

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Michal Nyklíček, Milan Těšínský, Matěj Navrátil	Fyzikální kyvadlo - měření gravitační konstanty.	30min
Lenka Kučerová, Honza Duchoj, Vítězslav Dostál, Miroslav Vinš,	Zdánlivé (?) paradoxy ve speciální teorii relativity	25min

Datum:**8.11**, Chairman/Chairperson:Jaroslav Kučera

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Petr Kolenko, Petr Klíma, Vlastimil Jedek, Jiří Skřivánek,	Oscilace - experiment	30min
Jan Kodovský, Tomáš Kalvoda ,	Problém nejen tří těles	20min

Datum:**15.11** **Posterová sekce**, Chairman/Chairperson:Petr Kolenko

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Ivana Ebrová, Hana Hurtová, Václav Vrba	astronomické a kosmonautické rekordy	-min
Sterpan Valek, Matej Tusek ,	Frankův - Hertzův experiment	-min
Lukáš Anderle, Alexei Andreev, Aleš Černý	Gravitace	-min
Michal Nyklíček, Milan Těšínský, Matěj Navrátil	Elementární částice	-min
Michaela Martinková	Transmutační systémy ADTT	-min
Jitka Stokučová, Thoma Jiří , Jiří Pelc	Fraktály	-min
Kateřina Štyndlová, Romana Žďárská ,	Youngův pokus	-min
Vojtech Stepan	Lasery a jejich aplikace	-min
Adam Purkert	Palivové články - vodíkové a jiné	-min

Datum:**22.11**, Chairman/Chairperson:Anna Plavcová

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Pavel Červinka	Uvod do problematiky Detektoru ionizacního zření	20min
Milan Štengl, Jan Šípek, Pavel Němec, Michal Štěpán,	Historie, demonstrace, použití a zajímavosti Foucaltova kyvadla	25min
Jan Šubrt	Experiment barona Rolanda Eotvose	20min

Datum:**29.11**, Chairman/Chairperson:Jiří Thoma

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Petr Gronát	Teorie podtlakového tělesa	20min
Michal Nevrla, Peter Pida, Jiří Michalík	Úvod do Chaotiky	20min
Jan Zatloukal	Století kvantové fyziky	20min

Datum:**6.12**, Chairman/Chairperson:Michal Nyklíček

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Jitka Stokučová, Jaroslav Kučera, Jiří Aubrecht	Werener Heisenberg	20min
Jiri Thoma, Vojtěch Stepan ,	Uvod do Quantove mechaniky (QM)	20min
Petr Lenhard	Let z kulovnice I.	20min
František Havlůj, Jan Hýbl, Pavel Arátor	Rotační pohyb tuhého tělese	rezervamin
Anna Plavcova, Milan Novak, František Pokorný	Slunecni Energie	20min

Datum:**13.12**, Chairman/Chairperson:Jitka Stokučová

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Radek Mušálek, Adam Haiduk, Ondřej Janata, Pavel Koman,	Hookův zákon	20min
Jan Matyáš, Rostislav Fukač ,	Lorentzovy transformace - "důkaz" praktickým experimentem	25min
Pavel Svara, Zdeněk Sypták ,	Rutherfordův experiment	30min
Jan Podmajerský, Martin Fibrich, Tomáš Kurtin	Termojaderná fúze včera a dnes	25min

Datum:**20.12** **Posterová sekce**, Chairman/Chairperson:Milan Stajgl

Autoři	název vystoupení	čas presentace
Jan Duchoj, Miroslav Vinš ,	Sluneční plachtění - věda či fantazie	-min
Jaroslav Kučera	Mise "Pathfinder"	-min
Jan Kodovský, Tomáš Kalvoda ,	Optické klamy	-min
Petr Lenhard	Let z kulovnice II.	-min
Tomáš Brezula, Linda Kašáková ,	Foucaultovo kyvadlo	-min
Jiří Voltr	Šipka času ve fyzikálních rovnicích	-min
Jan Podmajerský, Martin Fibrich, Tomáš Kurtin	Termojaderná fúze včera a dnes	-min
Lenka Kucerova	Zaporné absolutní termodynamické teploty a luminiscence	-min
Jan Šípek, Milan Štengl, Martin Vacek, Pavel Němec,	Atmosferické jevy	-min
Žofie Sovová, Dana Valachová, Jiří Havelka	Světlo v atmosféře	-min
Michal Nevrkla, Jiří Michalík, Peter Pida	Fraktálová geometrie	-min
Vlastimil Jedek, Jiri Skrivánek, Petr Klima, Petr Kolenko,	Volt-amperova charakteristika diody	-min
Rostislav Fukač, Jan Matyáš ,	Proč jsou černé díry černé	-min
Radek Mušálek, Adam Haiduk ,	Datový sběr	-min
Michal Štěpán, Pavel Němec ,	Detekce extrasolárních planet	-min
Pavel Koman, Ondřej Konček ,	Záblesky družic Iridium	-min

ABSTRAKTA

- **Úvod - o vědecké komunikaci**

Literatura:

- **Jak přednášet** Přednáška vychází z faktu, že "Přednáška je pro posluchače" a dává potenciálním přednášejícím stručný přehled toho, co a jak na posluchače působí a jak je přednášející posluchačem hodnocen, aby mohl tomu svou prezentaci přizpůsobit.

Literatura:

Šesták, Jak psát a přednášet o vědě, Academia, Praha, 1999

- **Jak připravit poster**

Literatura:

- **Jak přednášet o fyzice**

Literatura:

- **Speciální teorie relativity** Postulaty

Lorentzova transformace

Skládání rychlostí

$M \rightarrow v$

$E \rightarrow M$

Shrnutí

Literatura:

Feynmanovy přednášky 1.

- **Experimenty na vzduchové dráze** 1.Newtonův zákon síly: setrvačná hmotnost

2.ZZE: grafy energií

3.ZZ hybnosti

4.Setrvačná hmota: kmity na vzduchové dráze

5.Demonstrace pohybů ve fázorovém prostoru

Literatura:

doc.Štoll: Mechanika

M.Brdička, A. Hladík: Teoretická mechanika

Einstein, Infeld: Fyzika jako ...

Internet

- **Sluneční skvrny**

Literatura:

- **Uhlíkové nanotrubky** Uhlíkové nanotrubky jsou relativně mladým, avšak rychle se rozvíjejícím oborem nanotechnologie. V prezentaci bude nastíněna historie vzniku oboru, výjimečné vlastnosti nanotrubek (tepelná a elektrická vodivost, vysoká schopnost absorpce plynů, mechanická pevnost, ...) a jejich možné aplikace v (blízké) budoucnosti (konstrukční materiály, nádrže na vodík, mikroelektronika, field-emitting displeje, paměťové elementy, ...)

Literatura:

Různé web stránky, AIP physics news atd.

- **Fyzikální kyvadlo - měření gravitační konstanty.** Nejprve trochu historie o tomto experimentu. Teoretický výpočet gravitační konstanty a teoretická předpověď výsledku experimentu. Provedení experimentu. Porovnání výpočtu s výsledkem experimentu.

Literatura:

- **Zdánlivé (?) paradoxy ve speciální teorii relativity** Způsobem otázek (problémů) a odpovědí diskutovat některé paradoxy, ke kterým lze dospět nesprávnou či neúplnou aplikací STR.

Literatura:

K. Bartuška: Kapitoly ze speciální teorie relativity
Votruba: Speciální teorie relativity
čas.: Pokroky mat., fyz., astron.; Rozhledy mat.-fyz.;
Čes. časopis pro fyziku;
ročenky seminářů FYKOS a M a M, internet

- **Oscilace - experiment**

Literatura:

- **Problém nejen tří těles** Seznámení s problematikou tří těles, postupy řešení. Zobecnění problému na n těles. Simulace konkrétních příkladů pomocí počítačového modelu.

Literatura:

Mechanika, Doc. Ing. Ivan Štoll, CSC. - Vydavatelství ČVUT
Feynmanovy přednášky z fyziky, Feynman, Leighton, Sands - Fragment
Průvodce astronomií, Pavel Příhoda - Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy

- **astronomické a kosmonautické rekordy** V každé oblasti života se dají nalézt rekordy a o oblastech fyziky to platí dvojnásob (jako ovšem o všem, co se týká fyziky). My jsme se zaměřili na oblast slibující ty nejgigantičtější a nejzajímavější odhalení.

Literatura:

Z. Mikulášek, Z. Pokorný: Záludné otázky z astronomie, Rovost, 1993
P. Příhoda: Průvodce astronomií, Hvězdárna a planetárium hlavního města Prahy, 2000
Kolektiv autorů: Encyklopédia astronómie, Obzor, 1987
J. G. Kac A kolektiv: Planety očima geologů, SNTL, 1991
O. Hlad, J. Pavlousek: Přehled astronomie, SNTL, 1990
H. J. P. Arnold, C. Peebles, A. Wilson: Člověk a vesmír, CESTY, 1996
Ottova moderní encyklopedie, svazek 1- Vesmír, OTTOVO nakladatelství, 1998
Expresní Astronomické Informace
a další...
Internet

- **Frankův - Hertzův experiment**

Literatura:

internet

- **Gravitace** Jak se vyvíjel názor na gravitaci s vývojem lidstva a fyziky. Newtonova teorie všeobecné gravitace, Einsteinova obecná teorie relativity, snaha o vytvoření kvantové teorie gravitace a teorie superstrun jako kandidát na finální teorii.

Literatura:

Stephen Hawking - Černé díry a budoucnost vesmíru

Steven Weinberg - Snění o finální teorii

Brian Greene - Elegantní vesmír

- **Elementární částice** Základní rozdělení elementárních částic. Základní vlastnosti jednotlivých skupin elementárních částic.

Literatura:

- **Transmutační systémy ADTT** Systémy sloužící k zpracování vyhořelého jaderného paliva z elektráren. Princip reaktoru ADTT, jeho užití, význam pro budoucnost, způsob přeměny aktivního vyhořelého jaderného paliva na palivo méně aktivní.

Literatura:

- **Fraktály**

Literatura:

Internet

- **Youngův pokus** Jde o důkaz vlnové povahy světla, podstatou je interferenc světla na mřížce.

Literatura:

- **Lasery a jejich aplikace** Jak se da zchladit atom tím, že na něj budeme svítit a kdo za to dostal Nobelovu cenu?
Pulsní lasery a jak silně Rhodopsin aneb mechanismus vidění.

Literatura:

Zatím žádná...

- **Palivové články - vodíkové a jiné** Vodíkový palivový článek je zařízení, které produkuje elektrickou energii z vodíku a kyslíku přímo, na podobném (elektrochemickém) principu jako baterie. Na rozdíl od baterie však může energii dodávat kontinuálně, pokud je zajištěna dodávka paliva. V posteru budou uvedeny výhody a nevýhody vodíkových (a jiných) palivových článků ve srovnání s jinými zdroji energie, jejich v současnosti známé typy, překážky bránící většímu uplatnění v současnosti a perspektivy pro využití v budoucnu (náhrada baterií v přenosné elektronice, pohon

automobilů, soukromý generátor elektrické energie pro domácnost/dům).

Literatura:

WWW - searching for "fuel cells", "hydrogen energy" etc.

- **Uvod do problematiky Detektoru ionizacniho zareni** - jak lidstvo zacalo potrebovat detektory (zkoumani veci kolem sebe, dostavame se do mikrosveta, nemoznost primeho pozorovani, neprime metody, Rutherford a studium atomu, velice strucne
 - co to je detektor (zakladni charakteristika a princip)
 - zdroje zareni (s moznosti zajmu o exkurzi - reaktor nebo urychlovac),terce - co se na nich deje, co dela vlastni detektor - rozdeleni detektoru na drahove a casticove
 - rozdeleni do skupin, jednotlivé typy a popis principu cinnosti casticovych
 - trochu strucneji o drahovych
 - na zaver zjistení zajmu o ty exkurze, otazky / diskuse, hodnoceni ("telocvik" - zvedani rukou jako ve snemovne:-)

Literatura:

- **Historie, demonstrace, použití a zajímavosti Foucaltova kyvadla**

Literatura:

- **Experiment barona Rolanda Eotvose** Ke zkoumání zemské rotace uspořádal Eotvos důmyslný pokus s analytickými vahami.Sňal z nich obě misky a pak je umístil doprostřed na stolek,který rotoval kolem svislé osy konst. úhlovou rychlostí.Když nastavil tuto rychlost tak,aby se rovnala úhlové frekvenci vlastních kmitů ramene vah,rameno se rozkývalo.Pokus ukazuje ,že se tak stalo v důsledku rotace Země.

Literatura:

*Československý fyzikální časopis,članek "o jednom experimentu barona Rolanda Eotvose" autorem je Prof.Ing. Cyril Hoschl,DrSc.
The variational principles of Mechanics,Toronto 1970.*

- **Teorie podtlakového tělesa**

Literatura:

- **Úvod do Chaotiky**

Literatura:

CHAOS - H.J. Korsch, H.-J. Jodl

- **Století kvantové fyziky**

Literatura:

- **Werener Heisenberg**

Literatura:

Internet a encyklopedie

- **Uvod do Quantove mechaniky (QM)** Historie: Modely atomu (Bohr) a nedostatky, fotoelektrický jev, Comptonův jev, ...
Pohled na přírodu očima QM. Vlnová funkce, Schrödingerova rovnice, princip neurčitosti a Schrödingerova rovnice. Sternův experiment a částicové vlny dualismus, Velké sjednocení, ...

Literatura:

*Feynman, R. P.: O povaze Fyzikálních zákonů,,
Ulehla, ... : Atomy, Jadra, Částice,,
a časem možná i další...*

- **Let z kulovnice I.** Základy fyzikálního modelu, který vystihuje primární vlivy prostředí, působící na projektil, vystřelený z malorážní zbraně.

Literatura:

Web Ruprechta Nennstiebla.

- **Rotační pohyb tuhého tělesa**

Literatura:

- **Sluneční Energie**

Literatura:

- **Hookův zákon**

Literatura:

- **Lorentzovy transformace - "důkaz" praktickým experimentem** Pokus "dokazující" paradox v Teorii relativity, pomocí jednoduchého elektrického obvodu a hmotných těles se skutečnými rozměry.

Literatura:

Vlastní názory vycházející z Lorentzových transformací.

- **Rutherfordův experiment** Zjišťování jádra atomu pomocí ostřelování tenké zlaté folie alfa částicemi.

Literatura:

- **Termojaderná fúze včera a dnes** Krátký pohled do historie termojaderné fúze. Seznámení se se zařízeními k jejímu výzkumu, včetně českých, a možnosti budoucího využití.

Literatura:

internet, odborná literatura

- **Sluneční plachtění - věda či fantazie** Jedním z nových a revolučních návrhů na pohon průzkumných družic je využití malého (přesto však nezanedbatelného) tlaku slunečního větru pomocí tzv. slunečních plachet. Poster se zabývá možnostmi realizace, problémy a výhodami této myšlenky.

Literatura:

časopis Vesmír, internetové stránky

- **Mise "Pathfinder"** Poznatky a informace ohledně přistání robota na Marsu.

Literatura:

- **Optické klamy** Ukázka konkrétních situací, kdy pomocí oka získáváme subjektivní a nesprávný úsudek o skutečnosti.

Literatura:

internet (upřesníme)

- **Let z kulovnice II.** Více podrobností v návaznosti na "Let z kulovnice I.": speciální případy letu, letové anomálie... a FAQ k této problematice.

Literatura:

Web Ruprechta Nennstiela

- **Foucaultovo kyvadlo**

Literatura:

- **Šipka času ve fyzikálních rovnicích** Poster se zabývá problémem zavedení šipky času do fyzikálních rovnic. Naznačuje jeden z možných způsobů, a to pomocí komplexních čísel. Ukazuje výhody, nevýhody a možnosti aplikace tohoto způsobu.

Literatura:

P. Davies, O čase, Motýl, Praha, 1999

J. Horský, Úvod do speciální teorie relativity, SNTL, Praha, 1972

G. Marx, Úvod do kvantové mechaniky, TKI, Praha, 1976

- **Termojaderná fúze včera a dnes** Srovnání současných a minulých zařízení k výzkumu termojaderné fúze a technické detaily TOKAMAKu Castor.

Literatura:

internet, odborná literatura

- **Zaporné absolutní termodynamické teploty a luminiscence** Termodynamická a statistická definice teploty, entropie. Princip funkce laseru. Luminiscence.

Literatura:

M.Marvan:Záporné absolutní teploty a nové základy termodynamiky.

Z.Marsak:Termodynamika a stat.fyzika

Feynmanovy přednášky z fyziky, v pův. vydání díl 2.

cas. Physics World

- **Atmosferické jevy** Zajímavé atmosferické ukázky.

Literatura:

Predevsim internet.

- **Světlo v atmosféře**

Literatura:

- **Fraktálová geometrie** Zajímavosti ze světa fraktální geometrie: Jak si udělat vlastní fraktál. Co dokáže fraktální geometrie. Fraktály a PC-art, atd, atd,....

Literatura:

- **Volt-amperová charakteristika diody** Polovodiče a jejich typy, PN přechod, princip a zapojení diody a její volt-amperová charakteristika

Literatura:

- **Proč jsou černé díry černé**

Literatura:

- **Datový sběr**

Literatura:

- **Detekce extrasolarnich planet** Metody detekce extrasolarnich planet, budoucí projekty.

Literatura:

Internet, časopisy Kosmos

- **Záblesky družic Iridium**

Literatura:

Jak přednášet o fyzice – rady začínajícím řečníkům

Autoři: Linda Kašarová, Kateřina Štyndlová, Tomáš Brezula

Přednáška je důležitou formou vědecké komunikace. Při každém vystoupení prezentuje řečník svou osobu, proto je důležité získat si respekt posluchačů a vyvolat dojem, že řečník dobře rozumí dané problematice.

Příprava přednášky.

Při přípravě si řečník nejdříve stanoví, jaký je hlavní cíl jeho přednášky, které sdělení si musí posluchač zapamatovat. Položí si vůdčí otázku: popsat (co?), vysvětlit (jak, proč?), instruovat (co mají posluchači dělat?), specifikovat (jaké jsou nové podrobnosti?), zhodnotit a doporučit (co si myslím?), přesvědčit (pro co chci nadchnout posluchače?), vyprovokovat myšlení (které hypotézy mám porovnat?) atd..

Vhodné je si přednášku celou sepsat nebo připravit sled prosvitek nebo diapositivů, na menší lístky napsat osnovu a heslovitě doprovodné věty. Pořadatelé obvykle vymezí dobu určenou pro přednášku. Tuto délku je přinejmenším nevhodné a neslušné překročit. Mýlný je řečníkův předpoklad, že v tomto limitu musí především zdůrazňovat obecně známé věci. Zajímavější řeč přednese, jestliže spíše zúží než rozšíří rozsah svých poznámek. Složitým úkolem bývá vyplnit hlavní téma od všech zbytečností, tabulek nebo rovnic, které nepřispívají k hlavním bodům přednášky.

Řečník má být pro všechny posluchače jasný a srozumitelný, dovede se přizpůsobit každému posluchači. Zkušený řečník věnuje první polovinu až dvě třetiny přednášky zřetelnému úvodu do problematiky a vysoce odbornou část si nechává na posledních několik minut. Žertovné třetinové pravidlo, které ovšem není vhodné uplatňovat, říká, že třetině přednášky má rozumět každý v sále, třetině jen odborníci a třetině nikdo, jinak nevyvoláme dojem, že jsme velkými vědci.

Dobrou radu přednášejícím dal W. J. Mayo (1861-1939): „Začni strhující větou, ukonči mohutným souhrnem, mezi tím mluv jednoduše, jasně a vždy k věci; a zejména buď stručný.“ Jinou dobrou radou pro přípravu přednášky jsou tři anglická R: Reflect (uvaž všechna hlediska), Rehearse (zlepši zkouškami), Rewrite (změň podle připomínek kolegů). Základem dobré přednášky jsou tedy: A) příprava, B) průklest C) zkouška.

Stavba přednášky.

Každá přednáška má tři části: úvod (obvykle asi 10% celkové délky), stat' (80%) a závěr (10%). Lze to také vyjádřit větou: Řekni, co budeš říkat; řekni to; řekni, co jsi řekl.

Úvod začíná oslovením posluchačů. Následuje hlavní myšlenka přednášky, hypotéza, řešená otázka, osnova přednášky. V úvodu se také hodí poděkovat pořadatelům za pozvání, učitelům, sponzorům apod..

Stat' je jádrem přednášky a zahrnuje vše potřebné pro vyjasnění problému. Nedílnou součástí přednášky jsou přílohy (prosvitky apod.). Obecným pravidlem je, aby text na folii byl dostatečně stručný a sám o sobě srozumitelný. Je výhodné vědět předem, jaká pomocná zařízení bude možné při přednášce využít.

Závěr přednášky má být stručný, výstižný, úderný, má vyvolávat diskusi. Posluchač by si měl odnést zapamatovatelnou zkušenost (take-home message). Řečník přednášku jasně ukončí, nejlépe poděkováním.

Průklest.

Stejně jako psaný text se přednáška nepřipravuje na poslední chvíli. Řečník zváží povolený čas na přednášku bez zahrnutí rozpravy a odečte z něj 10% na příchod, úpravu mikrofону a nečekané překážky, např. s promítáním. Na promítnutí jednoho diapositivu ponechá nejméně jednu minutu, aby posluchačům umožnil absorbování obsahu. Prosvítka obvykle obsahuje více údajů, proto

potřebuje dvojnásobný čas. Výzkumy ukazují, že si průměrný člověk pamatuje 20% toho, co slyší, 30% toho, co vidí, 50-75% toho, co současně vidí a slyší, a 80% toho, co čte. Zbytečné demonstrační materiály vypustí řečník už v této fázi: vynechá-li je až při přednášce, naznačuje posluchačům, že je špatně připraven.

Zkouška.

Zkouška (např. před třídou) je důležitou součástí přípravy. Řečník je tak schopen vžít se do stresu, ve kterém se ocitá před skutečným publikem. Doporučuje se vyvarovat doslovného napsání své přednášky a jejího čtení nebo recitování. Obvykle se dává přednost prezentaci z patra.

Přednáška.

Řečník přednáší nahlas a výrazně, musí mu rozumět i posluchači v poslední řadě. Dobrý přednášející zná pravidla hudby a nepřednáší monotónně, nýbrž přechází od piana k forte a naopak. Na důležité skutečnosti upozorní posluchače zvýrazněním, zesílením hlasu. Nejlépe je ukončit přednášku jednu minutu před plánovaným termínem. Po upozornění moderátora na brzký konec se nesnaží oddrmlit zbytek přednášky v tempu vichřice, nýbrž uváží, co vypustí.

Jsou tzv. čtyři Faradayovy zákony veřejného přednášení: 1) Nikdy neopakuj větu. 2) Nevracej se, aby ses opravil. 3) Chybí-li ti slovo, počkej a ono přijde. 4) Nezpochybňuj opravy z publika.

Řečník se také nesnaží být příliš vědecký a složitě pomocí čísel vykládat to, co lze říci jednoduše (známý je příklad: 33 1/3 % pokusných myší byla lékem X uzdravena, 33 1/3 % testované populace zůstala nemocná, třetí myš utekla.)

Výklad musí postupovat od obrysů k podrobnostem, od obecného ke zvláštnímu, od starého k novému, od známého k neznámému apod.. Nová sdělení řečník podloží pokusnými výsledky, příklady z přírody, uvede podrobnosti, důkazy, logická zdůvodnění, vyvrátí námitky, vybere vhodnou hypotézu apod..

V souhrnu označíme hlavní chyby přednášek:

- úvodní sdělení, že nejste tím povoláním, kdo by měl přednášet, že budete posluchače nudit, že vlastně nemáte co říci
- moc rychlý přednes, moc tichá řeč, špatné vyslovování
- mumlání („ehm“) a opakování pomocných slůvek („že ano, jak víte, takže“)
- čtení přednášky, nesledování publika, nenavázání kontaktu s ním
- nevýrazný, neosobní projev
- rychlý tok řeči bez dynamiky a bez jediné přestávky
- odpuzující manýrismus (přehlížení posluchačů a pohrdání jejich znalostmi)
- chatrná stavba projevu, bez osnovy, bez zvýraznění hlavních informací, vracení se zpět
- výklad v pořadí, v jakém se dělaly pokusy
- moc složité a podrobné výklady
- příliš mnoho myšlenek (hypotéz), příliš mnoho pochyb
- příliš málo vizuálních materiálů
- omluva za nekvalitní diapozitivy či prosvitky nebo nevhodné poznámky („nemohu to po sobě přechít“)
- tabulky tam, kde by se hodily grafy
- obrazový materiál přefotografovaný z publikace bez přizpůsobení, nečitelné obrázky, tabulky s mnoha malými číslicemi
- neposlouchání předsedajícího

Diskuse po přednášce

Po přednášce obvykle následuje diskuse. Všeobecně platí, že řečník je v dominantní pozici, tazatele respektuje. Dotazy pečlivě poslouchá, neskáká tazateli do řeči, neodpovídá zbrkle. Nejlépe začne stručným zopakováním dotazu. Odpověď musí být krátká, věcná, přesná, nezahajuje novou přednášku. Nezná-li odpověď, je lépe říci „nevím“, než zdlouhavě mlhavě odpovídat.

Na závěr bychom rádi upozornili na nutnost spisovného vyjadřování. Posluchači mají právo poslouchat veřejná jazyková sdělení v dokonalé jazykové podobě, mluvčí povinnost o tuto dokonalost usilovat, tj. mluvit na veřejnosti spisovně. Spisovný jazyk nejlépe zaručuje, že si budou všichni dobře rozumět. Mluvit na veřejnosti spisovně je i nutný projev společenské úcty k posluchači.

Literatura:

Jak přednášet o fyzice – rady začínajícím řečníkům, James C. Garland

Jak psát a přednášet o vědě, Zdeněk Šesták, Academia, Praha 2000

Jak mluvit a přednášet, Jaroslav Hubáček, Profil Ostrava, 1983

SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY JAKO PŘÍKLAD JEDNODUCHÉHO POUŽITÍ MATEMATICKÉHO APARÁTU VE FYZICE .

Autoři : Pavel Svora , Zdeněk Sypták

Obsah : 1. Úvod problému

2. Lineární algebra - α : Lorentzovy transformace

β : Skládání rychlostí

3. Myšlenkový experiment pružně srážejících se koulí

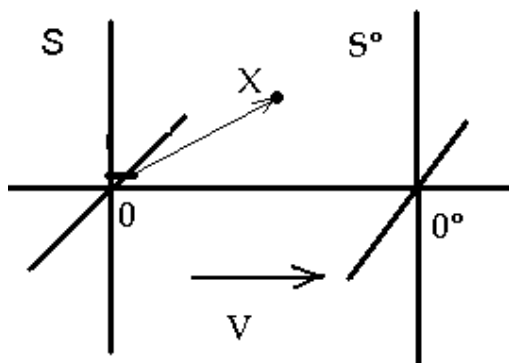
4. Matematická analýza – slavný vztah $E = mc^2$

5. Shrnutí .

Literatura : Feynmanovy přednášky z fyziky I , (ad 3.) .

✂ . Tým autorů si především klade otázku jak lehce lze vyjadřovat reálné děje v matematické mluvě fyziky . Jen z letmého prozkoumání skript FJFI není určité všem zřejmé jak je fyzika lehká ! Proto se daných příkladech pokusíme odhalit krásu a hloubku jednoduchých fyzikálních zákonů . Při jejich odhaleních bude používat všem známé počty a logické konstrukce , které budou tak jasné , jako kupecké počty staré báby z pavlačových domů !

Veškeré dění ve vesmíru je závislé na tom jak si popíšeme děje pomocí vztažné souřadnicové soustavy . Speciálním případem jsou soustavy , které se pohybují rovnoměrným přímočarým pohybem . A platí , že všechny fyzikální děje pozorované z jedné inerciální soustavy jsou rovnocenné dějům pozorovaným v ostatních inerciálních soustavách . To znamená , že je lze popsat v jednotlivých inerciálních soustavách stejným matematickým pravidlem a toto pravidlo nemění svůj základní tvar . Další fyzikální předpoklad se vztahuje na omezenost rychlostí ve vesmíru . A říká nám , že existuje konečná rychlost ve vesmíru , která je nezávislá na volbě souřadnicové soustavy . Tj. je konstantní .



Obrázek číslo 1 .

Obrázek ukazuje dvě vztažné inerciální soustavy , přičemž S^0 se pohybuje vzhledem k S rychlostí v . Bod X lze vyjadřovat jak v S^0 , tak v S pomocí jejich souřadnic.

2. LINEÁRNÍ ALGEBRA ..odvození Lorentzovy transformace a skládání rychlostí

Vše vyplývá z obrázku č. 1 .

$$x = (x' - vt') \alpha$$

$$x' = (x + vt) \alpha$$

$$x x' = (x' - vt') (x + vt) \alpha^2$$

$$ctct' = (ct' - vt') (ct + vt) \alpha^2$$

$$\alpha^2 = c^2/(c^2 - v^2)$$

$$\alpha = +1/(1 - (v/c)^2)^{1/2}$$

vynásobím mezi sebou obě rovnice .

Z obrázku vidím vyslané signály z počátků .

Za čas $t = t'$ urazí dráhu ct .

, protože záporná hodnota nedává po dosazení u rychlosti správný fyzikální výsledek .

a je tedy $x = (x' - vt')/(1 - (v/c)^2)^{1/2}$ a $t = x/c$

$$t = (x'/c - vt'/c) / (1 - (v/c)^2)^{1/2}$$

a pro skládání rychlostí platí

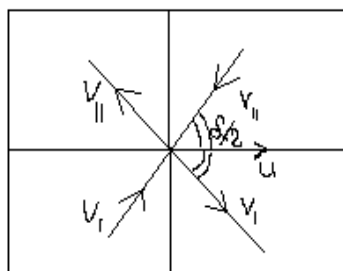
$$x/t = (x' - vt') / (t' - vx'/c^2)$$

$$u = (u' - v) / (1 - (v/c)^2)$$

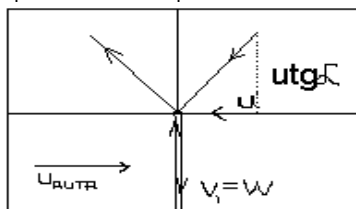
3. JAK ZÁVISÍ HMOTNOST NA RYCHLOSTI ?



Představme si dokonale pružnou srážku částic 1 a 2 , které mají rychlosti v_1 a v_2 a úhel mezi směry rychlostí je α . Částice mají stejné hmotnosti .

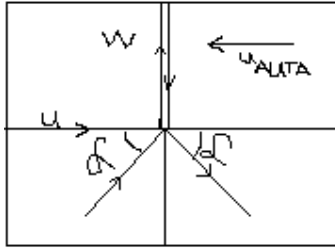


Na srážku se můžeme dívat v pootočené soustavě souřadnic. Vektor rychlosti 2 lze rozložit vertikální a horizontální složky. Horizontální je $u \tan \alpha$. Vertikální je u .



Jede li ve směru v_1 auto rychlostí u . Je patrné , že úhly u částice se zmenší ... $\alpha/2$ přejde na α . A směr pohybu částice 1 se bude jevit jako kolmý ke směru pohybu auta . Položím $v_1 = w$ a bude mě zajímat čemu je rovna horizont. složka částice 2 .

Abych zjistil čemu se rovná w budu uvažovat , že auto poje - de z opačné strany stejnou rychlostí .



Zde je změna horizont . složky rovna $\Delta p = 2m_w w$.
Musí být stejná jako u částice 1 , jinak by neplatil zákon zachování energie ! A proto ze zákona zachování hybností plyne pro částici 1 vztah (je vidět ,že u tg $\alpha = w$) :

$$\Delta p = 2 m_u w(1-(v/c)^2)^{1/2} \text{ (horizont . složka).}$$

$$\text{Je tedy } m_w w(1-(v/c)^2)^{1/2} = m_u w$$

$$m_u = m_w / (1-(v/c)^2)^{1/2}$$

V limitním přechodu dostanu známé indexy!

Když w se blíží k 0 potom u se blíží k v !

7 . EKVIVALENCE MEZI ENERGIÍ A HMOTNOSTÍ - INTEGROVÁNÍ

Při práci vydáváme energii . To je zřejmé . Tato práce je úměrná posunutí tělesa v prostoru a síle na těleso působící .

$$dW = Fds$$

$$dW = (dp/dt) ds \quad , \quad p = mv \quad , \quad ds/dt = v \quad ,$$

$$dW = d(mv) v \quad , \quad d(mv) = vdm + m dv \quad ,$$

$$dW = v^2 dm + v m dv \quad ,$$

V dalším postupu je dobré využít závislost hmotnosti na rychlosti

$$m(1-(v/c)^2)^{1/2} = m_0$$

$$m^2 c^2 - c^2 v^2 = m_0^2 c^2$$

derivuji podle m (m_0 konst) :

$$2mc^2 dm = 2mv^2 dm$$

$$c^2 dm = v^2 dm$$

derivuji podle v :

$$2m^2 v dv = 0$$

$$m v dm = 0$$

A proto mohu přepsat dW jako :

$$dW = c^2 dm \quad \text{po integraci v mezích } m_0 \text{ až } m :$$

$$W = mc^2 - m_0 c^2 \quad \text{a práci ztotožním s kinetickou energií (zřejmé) ,}$$

$$T_k = E - T_0$$

$$E = T_k + T_0 \quad \text{což je zákon zachování celkové energie soustavy !}$$

7 . SHRUTÍ

Dokázali jsme , že fyzikální vztahy nemusí být vždy složité po stránce matematické tak fyzikální . Jen si stačí správně uvědomovat co lze a co nelze definovat jako základ pro novou fyzikální teorii .

Žijí na Slunci hroši?

Žofie Sovová, Dana Valachová

Slunce je centrální hvězda sluneční soustavy. Svou gravitační silou drží tuto soustavu pohromadě, a také ji díky slunečnímu větru neustále ovlivňuje. Sluneční vítr je proud elektricky nabitých částic vzdalujících se od Slunce do meziplanetárního prostoru. Slunce je vzhledem k Zemi nejbližší hvězda. Protože ji na rozdíl od ostatních hvězd vidíme jako kotouček a ne jako bod, můžeme studovat děje odehrávající se na něm. Dá se očekávat, že většina těchto dějů bude pozorovatelná i u ostatních hvězd. Především z těchto důvodů je Slunce pod neustálým “dohledem” astronomů a v několika posledních desítkách let i družic.

Zmiňme zde teď ve stručnosti naše poznatky o Slunci.

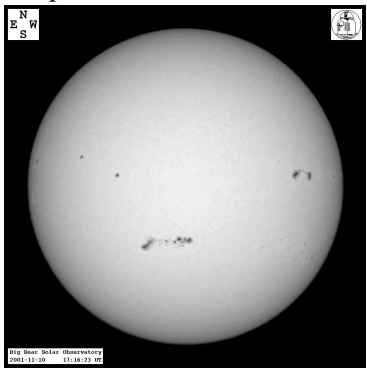
Slunce svítí proto, že je jeho povrch zahřátý na vysokou teplotu (cca 6 000 K; většinu světla vyzařuje ve žlutém oboru spektra). Energie, která zahřívá povrch vzniká v jádru, kde dochází k jaderné syntéze (ze 4 jader vodíku vzniká jádro helia). Poznamenejme ještě, že povrchem se zde miní fotosféra, což je ta část Slunce, kterou vidíme při pozorování hvězdy ve viditelné části spektra.

Nejjednodušší způsob, jak pozorovat sluneční fotosféru, je pohled okem neozbrojeným dalekohledem. Nutno zdůraznit, že musíme použít ochranné pomůcky. Nejlépe se osvědčilo svářečské sklo (intenzita 12 až 15 jednotek), záznamová plocha diskety, příp. speciální pomůcky prodávané na pozorování zatmění Slunce. Zcela nevhodné a nepoužitelné je začouzené sklo. To sice jas Slunce zeslabí (na což reaguje oko rozšířením zornice), ale nechrání nás před ultrafialovým zářením, které nám může trvale poškodit zrak. Pro pozorování Slunce dalekohledem používáme buď metodu projekce (pomocí speciálního okuláru promítáme Slunce na desku), nebo metodu přímého pozorování (díváme se přímo do dalekohledu, na kterém jsou nainstalované ochranné filtry).

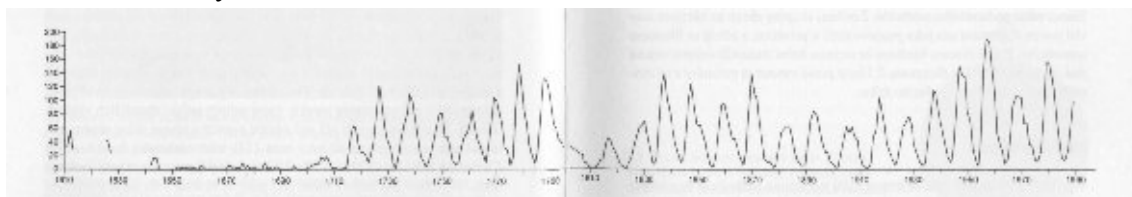
Při pohledu na Slunce nás zaujmou sluneční skvrny. (viz.obrázek). Tato tmavá místa jsou chladnější než okolní fotosféra, jejich teplota dosahuje pouze 4 500 K a jejich velikost může několikanásobně přesáhnout rozměry Země. Největší skvrny jsou viditelné i bez použití dalekohledu. Platí, že čím je sluneční skvrna větší, tím má delší životnost. Nejmenší skvrny pozorovatelné ze Země (jejichž rozměry dosahují 10 000 km) existují řádově desítky minut. Ty největší skvrny, které mohou být i několikanásobně větší než Země, existují ve sluneční fotosféře až několik týdnů. Tyto skvrny však můžeme díky rotaci Slunce kolem osy pozorovat nanejvýš 13 dní. Pak zmizí za západním okrajem slunečního disku. Po dalších 13 dnech se objeví (pakliže nezaniknou) na východním okraji disku a pohybují se na západ.

Na obrázku si také můžeme všimnout, že sluneční skvrny nejsou stejně barevné, ale že mají tmavší střed, kterému říkáme umbra, a světlejší okraj, který se nazývá penumbra. Jejich rozdílná barva je dána jejich rozdílnou teplotou (penumbra je teplejší).

Je nápadné, že se skvrny nevyskytují samostatně, ale že vytváří skupiny (i samostatná skvrna je považována za skupinu). Skupiny nevypadají stále stejně, ale během svého života se vyvíjejí. Obvykle zpočátku existence skupiny roste počet jejích členů a skvrny se zvětšují. Na konci jejího života počet členů skupiny klesá a skvrny jsou menší. Stejně tak se může stát, že se skupina slunečních skvrn rozpadne na dvě. Co se týče počtu skvrn ve skupině, ten se pohybuje od jedné až po cca 200 skvrn u těch největších skupin.

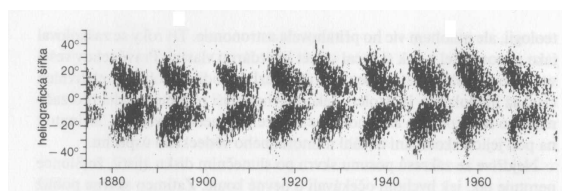


Počet skvrn na slunečním disku není konstantní, ale mění se během 11leté periody, které říkáme sluneční cyklus.



Graf závislosti relativního čísla slunečních skvrn na čase

Sluneční cyklus začíná nárůstem aktivity k maximu. V této fázi můžeme pozorovat málo skupin, které mají hodně členů. S blížícím se maximem se zvyšuje jak počet skupin, tak i skvrn v nich obsažených. Při poklesu sluneční činnosti k minimu můžeme pozorovat poměrně hodně skupin, které mají menší počty skvrn. Tyto skvrny jsou větší. V době kolem minima cyklu můžeme pozorovat skvrny jak předcházejícího, tak i následujícího cyklu. Ty od sebe rozeznáme podle jejich heliografické šířky. Skvrny nového cyklu mají větší heliografické šířky (cca 30° až 35°) než skvrny starého cyklu (cca 5° až 10°). Obecně lze říci, že skvrny v průběhu cyklu sestupují k rovníku. Graf závislost heliografické šířky skvrn na čase nazýváme motýlkový diagram (viz obrázek).



Sluneční aktivitu vyjadřuje tzv. relativní číslo slunečních skvrn, které vypočteme tak, že desetkrát vynásobíme počet skupin skvrn pozorovaných na Slunci a přičteme počet skvrn pozorovaných ve všech skupinách.

Z grafu si můžeme všimnout, že sluneční

maxima nejsou vždy stejně vysoká, ale že se jejich výška periodicky opakuje. V této souvislosti se spekuluje o 88letém cyklu. Na jeho definitivní potvrzení je však třeba si ještě počkat.

Podívejme se v rychlosti na historii objevování Slunce. První zmínky o pozorování slunečních skvrn pochází z doby okolo roku 800 př. n. l. a najdeme je v Knize Proměn. Na první kresbu skvrn si musíme počkat až do roku 1128 (kronika Johna z Worcesteru). Větší rozvoj sluneční astronomie nastal až po roce 1610 (tj. po objevení dalekohledu). O prvenství v pozorování slunečních skvrn dalekohledem se přou Fabricius, Galilei, Herriot a Schneider. V tomto období se také někteří astronomové pokusili vysvětlit původ skvrn. Zmíníme zde nejkurioznější domněnku. Podle W. Herschela (ano, je to skutečně ten úctyhodný objevitel planety Uran) se jedná o díry v horké sluneční atmosféře, kterými se díváme na pevný povrch Slunce, na kterém mohou žít organismy. Správný původ slunečních skvrn byl určen až na počátku 20. století, kdy bylo zjištěno, že skvrny jsou magnetické anomálie ve sluneční fotosféře. Mezitím byl např. roku 1843 objeven sluneční cyklus (Schwabe) či roku 1852 definováno relativní číslo slunečních skvrn (Wolf).

Doporučená literatura:

Rudolf Kippenhahn: Odhalená tajemství Slunce

Časopis Astropis

Web:

Sluneční sekce Štefánikovy hvězdárny

Big Bear Solar Observatory

Mont Wilson Observatory

Nanotrubky a další uhlíkové makromolekuly

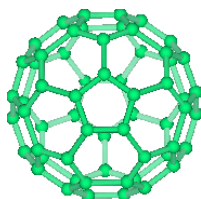
Adam Purkrt

Abstrakt

Uhlíkové nanotrubky jsou relativně mladým, avšak rychle se rozvíjejícím oborem nanotechnologie. V článku je nastíněna historie vzniku oboru, výjimečné vlastnosti nanotrubek (tepelná a elektrická vodivost, vysoká schopnost absorpce plynů, mechanická pevnost, ...) a jejich možné aplikace v (blízké) budoucnosti (konstrukční materiály, nádrže na vodík, mikroelektronika, field-emitting displeje, paměťové elementy, ...)

Úvod

Uhlíkové nanotrubky jsou makromolekuly uhlíku, podobně jako tzv. fullereny (např. C_{60} , C_{76} , C_{100}), což jsou velké molekuly tvaru „kopacích míčů“, strany tvořené pěti- a šesti-úhelníky (v jejichž vrcholech se nachází uhlík), či tzv. uhlíkové cibule (carbon onions), což jsou v podstatě větší fullereny.



obr. 1 – molekula fullerenu C_{60}

Nejprve připomeňme fyzikální poměry v tuze (grafitu). Tato látka je tvořena atomovými rovinami (skládajícími se ze šestiúhelníkových buněk, podobnost s včelím plástem). Jednotlivé atomové roviny jsou mezi sebou poměrně slabě vázány (Van der Waalsovy síly) — kloužou po sobě, tuha se otírá. Naproti tomu vazby mezi uhlíky v atomové rovině jsou silné.

Úhlíkovou nanotrubku lze chápat jako atomovou rovinu tuhy sbalenou do ruličky, na koncích uzavřenou „čepičkami“ z polovin fullerenu.

Stručná historie oboru

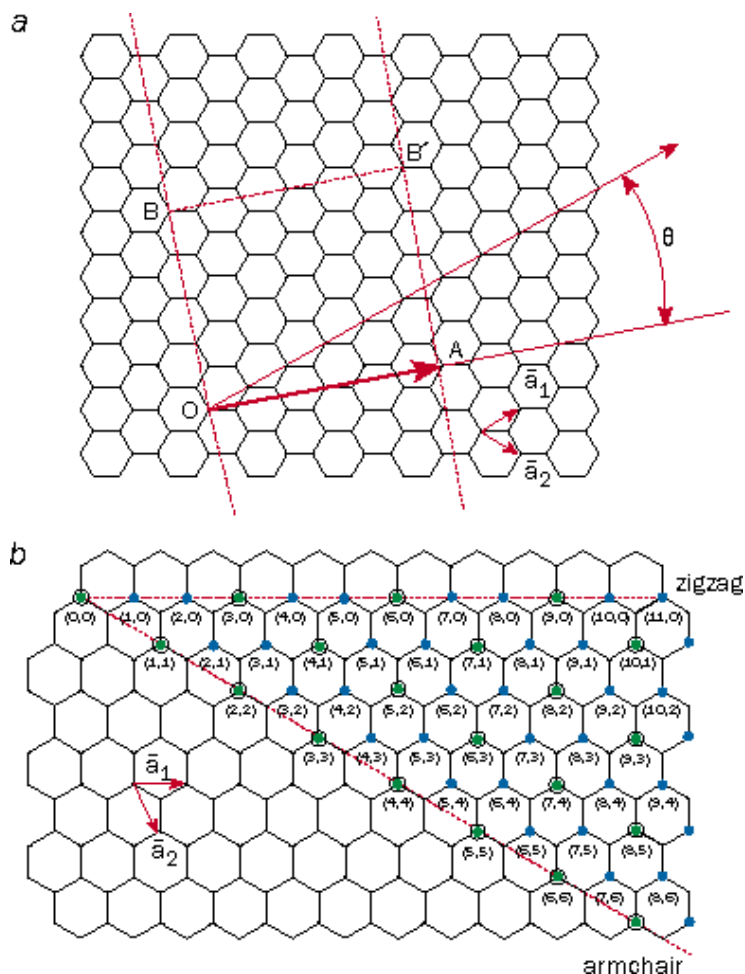
- 1985 — Objev fullerenů
- 1991 — Objev nanotrubek – Sumio Iijima (NEC, Japan) – zkoumal „saze“, které vznikaly při obloukovém výboji mezi uhlíkovými elektrodami; jednalo se o jeden ze způsobů přípravy fullerenů. Pod elektronovým mikroskopem však pozoroval něco, co sám nazval nanotrubkami. V tomto případě se jednalo o vícevrstevné nanotrubky (Multi-Walled NanoTubes, MWNT).
- 1991 — nezávisle – Ústav chemické fyziky, Moskva – objev mnohem kratších nanotrubek (prakticky jen protáhlejší fullereny), název tzv. „barrelerenes“ (od slova „barel“).
- 1993 — Iijima (NEC), Bethune (IBM) – vyvinutí technologie výroby jednovrstevných nanotrubek (SWNT) (důležité, neboť pro ně existuje propracovanější teorie)

- 1996 — Rice University – vypařování uhlíkového terče laserovými (pulsy) v peci při 1200⁰ C, Co-Ni katalyzátor, protéká argon, odnáší trubky do měděné nádoby. Výhody: kontrolovatelnější podmínky (tj. předpověditelnější výsledky), vyšší homogenita výtěžku, 80–90% uhlíku přeměněno v nanotrubky, velké procento jednostěnných nanotrubek. Též objevena možnost výroby svazků nanotrubek.

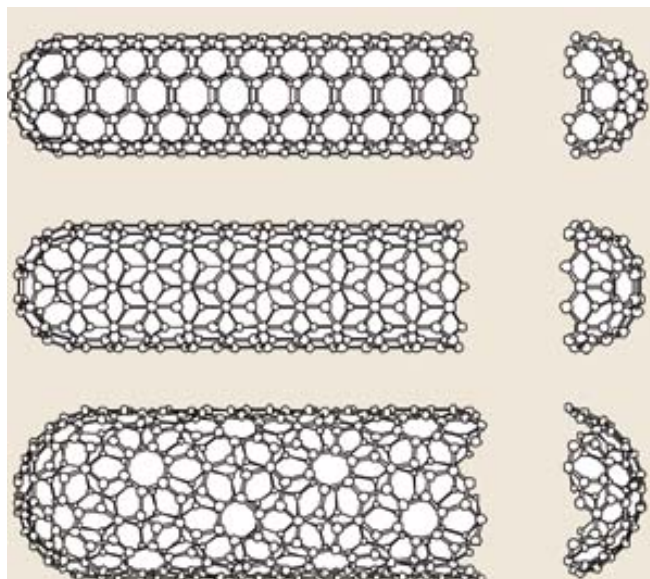
Vlastnosti

Nanotrubky mají průměry typicky v oblasti 1 nm až 50 nm, délku až 300 μm (tj. 0.3 mm, což je již makroskopický rozměr běžně dostupný našim představám, narozdíl od průměru; extrémně velký poměr délka/šířka je jednou ze zajímavých vlastností nanotrubek). Nanotrubky se též liší tloušťkou stěny; rozeznáváme nanotrubky jedno- a víceštěnné (single, multi walled). Při výrobním procesu mohou též vznikat celé svazky nanotrubek. Zajímavá makromolekula příbuzná nanotrúbkám je tzv. **torus** - nanotrubka zatočená do sebe (podobná nafouknuté duši jízniho kola).

Nanotrubky mohou mít jak kovový, tak polovodičový charakter v závislosti na tom, jak se uhlíkový plát sbalí (popsáno tzv. chirálním vektorem, viz obr. 2) (O s A, B s B'); chirální vektor $C_h = n\hat{a}_1 + m\hat{a}_2$; zkráceně označován jako (n, m). Chirální vektor souvisí kromě (polo)vodivosti též s průměrem nanotrubky. Viz následující obrázky (obr. 2a odpovídá chirálnímu vektoru (4,2))



obr. 2 – chirální vektor



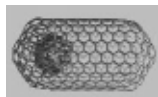
obr. 3 – nanotrubky s rozdílným
chirálním vektorem

Obr. 3: nahoře (5, 5) (tj. $n = m$, tato třída nanotrubek se nazývá „armchair“), uprostřed (9, 0) ($n = 0$ či $m = 0$, tzv. „zigzag“), dole (10, 5) ($n \neq 0 \wedge m \neq 0 \wedge n \neq m$, tzv. „chiral“).

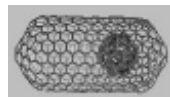
Výjimečná je též vysoká mechanická pevnost a tepelná vodivost nanotrubek (obé souvisí s velkou silou vazeb v atomové rovině, z níž (jak si lze představit) je nanotrubka stočena).

Aplikace v elektronice

- Nanotrubky tedy mohou vytvářet jak vodiče, tak PN přechody, tedy i tranzistory a v budoucnosti pravděpodobně i mikroprocesory (s úrovní miniaturizace o několik řádů vyšší než v případě v současné době používané techniky napařování).
- Field emission display – (patent) - elektrony vystřelované z nanotrubek, minidělo (trojice) na každý bod; ve srovnání s klasickou katodovou obrazovkou odpadá nutnost vychylování a urychlování paprsku
- paměťový prvek – molekula fullerenu („buckyball“) uvnitř z obou stran uzavřené nanotrubky – dva stabilní stavy: fullerén na jednom/druhém konci trubky = jeden bit – přepínání/čtení elektrickým polem na konci nanotrubek – řádově terabity v cm^3



obr. 4 – bit 0



obr. 5 – bit 1

- i pro stávající elektroniku – chlazení – výjimečná tepelná vodivost podél trubek, malý přestup mezi jednotlivými trubkami, možnost odvádět teplo z malého horkého jádra procesoru na větší plochu

Další aplikace

- výztužná vlákna – řádově $100\times$ vyšší mez pevnosti při $6\times$ nižší hmotnosti, tj. $600\times$ vyšší poměr pevnosti ke hmotnosti než v případě oceli. (teoretická možnost sestrojení „kosmického výtahu“, lana mezi asteroidem obíhajícím nad geostacionární drahou a zemským povrchem, po němž by bylo možné vytahovat do kosmu náklad s nižšími náklady než pomocí raket).
- nanopumpa – laserem řízená – osvit laserem se „rozvlí“ nanotrubka, doprava několika málo atomů látky na přesně určené místo.
- nelineární optika – silný efekt optického omezení (nad jistou mezí prudce klesá propustnost světla) –
→ ochranné pomůcky pro zrak při sváření, práci s laserem atd.
- přepínače v optických počítačích
- absorpce vodíku v (dopovaných → příměsí drží konce otevřené) nanotrubkách – absorpce při chlazení, po zahřátí desorpce – schopnost pohltit až 40 hmotnostních procent vodíku – srovnatelné s benzinem (ostatní metody ukládání vodíku do 5 wt.%)
- separace tritia ($40\times$ větší absorpce tritia než 1_1H)

Závěr

Uhlíkové nanotrubky jsou v současnosti teprve v počátcích svého vývoje a jejich praktické uplatnění v kterékoli ze zmíněných oblastí dosud nepřesáhlo stadium základních experimentů. S nemalou pravděpodobností však tato věta již za několik let nebude pravdou.

Odkazy

- <http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/nanotube.html> – The Nanotube Site
- <http://www.rdg.ac.uk/~scscharip/tubes.htm>
- <http://www.americanscientist.org/articles/97articles/yakobson.html>
- <http://www.europhysicsnews.com/full/09/article3/article3.html>
- <http://www.fundp.ac.be/~phlambin/Nanotube/knee.html>
- <http://cnst.rice.edu/ropes.html>

ZDÁNLIVÉ PARADOXY VE SPECIÁLNÍ TEORII RELATIVITY

Jan Duchoň – Lenka Kučerová – Miroslav Vinš – Vítězslav Dostál

1. K paradoxům můžeme dojít při opomenutí...

- Provedení úprav všech klasických absolutních veličin na relativistické
- Relativity současnosti dvou událostí a faktu, že kvazisisoučasné události se nemohou příčinně ovlivňovat
- Konečné rychlosti šíření informace
- Rozdílu mezi skutečnou polohou tělesa ve zvolené soustavě a obrazem, který vzniká na sítnici oka, objektivu kamery, stínítka atp.
- Neexistence absolutně tuhých těles
- Transformace kolmé složky rychlosti (pod vlivem toho, že kolmé vzdálenosti nektrahují)
- Rozrůznění směru zrychlení a působící síly po transformaci souřadnic
- Existence časových a délkových „skoků“ při změně inerciální soustavy
- Vzniku efektů podobných účinkům mechanického napětí při kontrakci délek
- Faktu, že zkoumání objektů, jež se pohybují jinak než rovnoměrně přímočaře, vede k neeuklidovské geometrii

2. Paradox šíleného závoráře

U železniční trati se nachází dvě závory, každá po jedné straně. Šílený závorář se ve svém volném čase baví tím, že mezi nimi chytá projíždějící auta. Mechanismus závor je seřízen tak, že padají současně a navíc velmi rychle.

K přejezdu se právě řítí auto, jehož klidová délka je větší než prostor mezi závorami. Vůbec ne dbá na dopravní předpisy a jede rychlostí, která je blízká rychlosti světla. Šílený závorář si sám pro sebe říká: „Kvůli kontrakci délek je automobil zkrácen (jeho zkrácená délka je menší než prostor mezi závorami), chytím jej bez potíží.“ Na druhou stranu řidič je přesvědčen, že mu nic nehrozí. „Prostor mezi závorami je zkrácen, závory mohou v nejhorším případě spadnout na kapotu, určitě projedu,“ říká si řidič blížícího se automobilu. A zde se dostáváme k paradoxu. Kdo z nich má pravdu?

Jsou-li závory dostatečně pevné a jsou-li spuštěny z hlediska závoráře současně, má pravdu šílený závorář. Proč? Jaké je správné vysvětlení z hlediska řidiče? Z hlediska řidiče se situace jeví takto: Nejprve spadne vzdálenější závor (z jeho pohledu), pak do ní čelo auta narazí, následně se auto deformuje a stlačuje a nakonec, až je auto celé mezi závorami, spadne zbývající závor. Je tedy třeba si uvědomit, že děj současný v jedné soustavě, nemusí být současný v jiné.

Co dalšího jsme se dozvěděli?

- Kontrakce je spojena s určitými efekty, jenž jsou podobnými účinkům mechanického napětí
- Každý proces může být dobře vysvětlen a popsán z jakékoliv inerciální vztažné soustavy, byť s odlišnou argumentací

3. Paradox důchodkyně

Za provokativní otázkou, zda relativisticky se pohybující důchodkyně spadne do kanálu, se skrývá úloha podobná situaci řešené v paradoxu Šíleného závoráře. V soustavě spojené s chodníkem je délka pohybujícího se objektu (důchodkyně) zkrácena, takže otvorem propadne. Z hlediska pohybujícího se objektu klidové délky l_0 je zkrácen otvor. Na první pohled by se zdálo, že v tomto případě důchodkyně nepropadne. Detailní rozbor však ukáže,

že i zde je výsledek v obou případech stejný: Pohybující objekt se buď pootočí nebo zdeformuje tak, že se otvorem provlékne.

4. Paradox rytířů

Dva rytíři na koni jsou vyzbrojeni stejně dlouhým kopím. Řítí se proti sobě rychlostí velmi blízkou rychlosti světla. První rytíř vidí, že kopí jeho soupeře je kratší než jeho vlastní díky kontrakci délek, a tak už se těší na vítězství. Avšak druhý rytíř vidí ze svého hlediska také zkrácené kopí soupeře a proto si myslí, že musí vyhrát on. Princezna uprostřed už se raději nedívá, neboť předvídá, že oba zemřou současně.

Řešení paradoxu opět spočívá v rozboru relativity současnosti zabití rytíře. V soustavě spojené s rytířem zemře jako první vždy soupeř, ale rytíř sám zemře záhy poté, ještě dříve než k němu stihne informace o výhře vůbec dorazit. V soustavě princezny je smrt rytířů současná a souměrná.

5. Paradox transportéru

V tomto případě budeme uvažovat nad rychle se pohybujícím pásem transportéru. Protože uvažujeme velmi dlouhý pás, zanedbáme vliv zahnutí konců. V první úvaze by si většina lidí pomyslela, že z pohledu vnější klidové soustavy jsou oba konce pásu stejně zkráceny a pás je trochu napjat, zatímco v soustavě spojené s pásem horním je tento v klidu, kdežto dolní pás je zkrácen a napjat. Analogicky je to v případě soustavy spojené s pásem dolním. Že tato úvaha není správná je zřejmé už z toho, že při dostatečně vysoké rychlosti by se pás přetrhl, a to v závislosti na volbě soustavy, na různých místech. K odstranění rozporu si musíme uvědomit, že délku pásu v pohybující se soustavě musíme měřit jinak než v soustavě klidové. Původně jsme totiž měřili délku srovnáním polohy bodů v různých okamžicích.

6. Závěr

Vždy je potřeba si uvědomit, vůči jakým soustavám je paradox popisován a zda jsou tyto soustavy inerciální po celou dobu děje. Chceme-li přijít k paradoxu „na kloub“, je dobré si nejprve vypsát události, které jsou v příčinném vztahu. Pak si poznamenáme, jaké bude pořadí kvazisoučasných událostí v různých soustavách. Nakonec stačí jen pečlivý výpočet pomocí Lorentzových transformací. Výsledek pokusu musí být vždy jednoznačný a shodný, přestože se jeho interpretace v různých soustavách mohou navzájem lišit.

A nezapomeňte! „*Počet průšvihů, které se stanou za čas T ve vaší soustavě, je vždy větší nebo roven počtu průšvihů, které se za též časový interval stanou v jakékoli jiné soustavě.*“ (Murphy)

7. Použitá literatura

K. Bartuška: Kapitoly ze speciální teorie relativity

V. Votruba: Základy speciální teorie literatury

J. Jelen: Paradoxy prostoročasu (Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 1/2001)

Oscilace

Kmitavý pohyb

Veličiny, které ho popisují, se s časem mění (někdy periodicky). Kmitavý pohyb, jehož časový diagram má podobu sinusoidy, nazýváme jednoduchý nebo harmonický kmitavý pohyb.

Mechanický oscilátor – zařízení, které po vychýlení z rovnovážné polohy může volně kmitat.

KINEMATIKA HARMONICKÉHO KMITAVÉHO POHYBU

Pohyb popisujeme podle veličin polohový vektor r , rychlost v a zrychlení a . Můžeme je získat porovnáním kmit. Pohybu s pohybem rovnoměrným po kružnici. Harmonické kmitání je pak popsáno souřadnicí y polohového vektoru r .

Rovnice harmonického kmitání: $y = Y \sin \omega t$; y – okamžitá výchylka

Y – amplituda výchylky

ωt – okamžitá fáze kmitání

Perioda a frekvence kmitání : úhlová frekvence $\omega = 2\pi / T = 2\pi f$ (rad / s)

Rychlost a zrychlení kmitavého pohybu

Jestliže opět využijeme podobnosti s pohybem po kružnici, dostaneme hledané vztahy :

$$v = \omega Y \cos \omega t$$

- V rovnovážné poloze je rychlost kmit. pohybu největší

$$V = \omega Y$$

- Pro amplitudu výchylky je rychlost nulová

Vektor zrychlení směřuje do rovnovážné polohy, proto má opačné znaménko :

$$a = -\omega^2 y$$

- Zrychlení je přímo úměrné okamžité výchylce

Fáze kmitavého pohybu

Počáteční hodnotu veličiny vyjádříme pomocí úhlu ϕ - počáteční fáze kmitání.

$$\text{Okamžitá výchylka } y = Y \sin (\omega t + \phi)$$

Při posuzování dvou veličin vyjadřujeme jejich fázový rozdíl. Jestliže dvě harmonické veličiny mají stejnou úhlovou frekvenci a počáteční fáze ϕ_1 , ϕ_2 , pak pro fázový rozdíl ϕ platí : $\phi = (\omega t + \phi_2) - (\omega t + \phi_1) = \phi_2 - \phi_1$

Je-li $\phi = 2k\pi$ rad; $k \in \mathbb{Z}$ – stejná fáze

$\phi = (2k + 1)\pi$ rad; $k \in \mathbb{Z}$ – opačná fáze

Složené kmitání

Výsledná poloha tělesa v mechanice, které koná více pohybů, je stejná, jako kdyby tyto pohyby konalo v libovolném pořadí.

Princip superpozice : Jestliže hmotný bod koná současně několik harmonických kmitavých pohybů téhož směru s okamžitými výchylkami y_1 , y_2 , ..., y_n , je okamžitá výchylka výsledného kmitání $y = y_1 + y_2 + \dots + y_n$.

Superpozicí vzniká složené kmitání. Harmonická kmitání nazýváme **izochronní**, jestliže mají stejnou úhlovou frekvenci ω . Jiná kmitání jsou **neizochronní**. Jejich skládáním vzniká neharmonické kmitání, jsou-li frekvence ω_1 , ω_2 blízké, vznikají **rázy**.

Jestliže se kmity dějí v přímkách navzájem **kolmých** a frekvence ω jsou v poměru **celých čísel**, vznikají **Lissajousovy křivky**.

Harmonický oscilátor

Uvažujeme jednorozměrný pohyb částice hmotnosti m například podél osy x , na níž působí síla

$$F_x = -kx$$

Částice má v tomto silovém poli potenciální energii

$$U(x) = \frac{1}{2}kx^2$$

Částice bude vykonávat netlumené harmonické kmity s vlastní úhlovou frekvencí

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Odvození:

$$m\ddot{x} = -kx$$

$$\ddot{x} = \omega^2 x$$

$$m\omega^2 x = -kx$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Tlumené kmitání

Tlumení u kmitání je závislé na rychlosti oscilujícího tělesa. Proto musíme upravit pohybové rovnice na tvar:

$$m\ddot{x} = -kx - h\dot{x}$$

$$\ddot{x} + \frac{h}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

přičemž zavádíme

$$\frac{h}{m} = 2\delta \Rightarrow \delta = \frac{h}{2m}$$

δ . . . dekrement útlumu. Charakterizuje vlastnosti tlumení oscilátoru. Celková rovnice pak vypadá:

$$m\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega^2 x = 0$$

Řešení najdeme potom ve tvaru

$$x = a \cdot e^{-\delta \cdot t} \sin(\omega t)$$

Z uvedených vztahů vidíme, že křivka spojující maximální výchylky oscilátoru má tvar exponenciály.

V závislosti na dekrementu útlumu však můžeme rozdělit tlumení na tři hlavní průběhy kmitů.

- a) $\delta \cong 0$. . . Tlumení téměř nenastává. Jedná se o ideální případ. V praxi téměř neexistující.
- b) $\delta > 0$. . . Oscilátor je tlumen, pohybové rovnice jsou již uvedeny výše.
- c) $\delta \gg 0$. . . Dochází k velkému útlumu, může dojít k tomu, že oscilátor ani jednou nepřekmitne a pomalu se vrací do své původní rovnovážné polohy. Dále pak může dojít k tomu, že vychýlený oscilátor se nenavrací do původní polohy. Experimentálně se nám ale nepodařilo vytvořit tak velký útlum. Vždy alespoň jednou oscilující předmět prokmitl.

Rezonance

Nechť na oscilátor působí vnější periodická harmonická síla s periodou Ω . Tato síla bude oscilátor rozkmitávat, vnucovat mu svou frekvenci, dodávat mu energii. Mluvíme o vynucených kmitoch oscilátoru. Nechť má síla časový průběh například $F_x(t) = F_0 \cos \Omega t$. Pak bude pohybová rovnice nehomogenní:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + kx = F_x(t)$$

Označíme $B = F_0/m$ a přepíšeme pohybovou rovnici na tvar:

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = B \cos \Omega t$$

Je rozumné očekávat, že tyto vynucené kmity budou probíhat s frekvencí Ω a pokusíme se najít řešení ve tvaru:

$$x(t) = A \sin(\Omega t + \varphi_0)$$

Po úpravě goniometrických funkcí a soustavy rovnic o dvou neznámých A a φ_0 dostáváme vztahy pro :

$$\tan \varphi_0 = \frac{\omega_0^2 - \Omega^2}{2\delta\Omega} \text{ a } A = B/[(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2]^{1/2}$$

Vynucené kmity oscilátorů jsou netlumené, soustava se nachází ve stavu energetické rovnováhy – ztráty mechanické energie disipací jsou nahrazovány energií vnějšího zdroje, vynucující síly. Čím jsou ztráty menší, tím s větší účinností je vnější energie absorbována a roste maximální amplituda oscilací. Ta může někdy dosáhnout nebezpečně velkých hodnot (například při rezonančním kmitání mostu, vozidla nebo stroje). Na druhé straně rezonance umožňuje zachycovat a pak zesilovat velmi slabé elektromagnetické signály a má i jinak velmi důležité uplatnění ve fyzice a technice.

Mohlo by se zdát absurdní, že při dostatečně malém útlumu můžeme s omezeným zdrojem energie dosáhnout libovolně velké amplitudy kmitů, například malý chlapec by teoreticky mohl svým během způsobit zhroucení mostu. Útlum ovšem nelze učinit libovolně malým a kromě toho kmity mechanických systémů přesně vzato nikdy neprobíhají jen na jediné frekvenci, vždy existuje určitá frekvenční spektrum, takže nekonečné hodnoty amplitudy dosáhnout nelze.

Problém nejen tří těles

Tomáš Kalvoda, Jan Kodovský

Historické souvislosti

Problém pohybu 2 a více těles úzce souvisí s představami lidí o vesmíru. Již starověcí Řekové se zabývali tím, co viděli na obloze. Ptolemaios v té době přišel s představou, že Země je středem vesmíru a ostatní planety obíhají kolem ní. Snažil se zjistit i dráhy planet, ale neúspěšně.

Ptolemaiova představa byla překonána až v roce 1543 Mikolášem Koperníkem, který ve svém díle *De revolutionibus orbium coelestium* zveřejnil svou myšlenku, že planety, včetně Země, obíhají kolem Slunce po kruhových drahách. V roce 1600 se Johannes Kepler stal asistentem Tycha Braheho. Z jeho měření Kepler ukázal, že se planety pohybují po eliptických drahách, v jejichž ohnisku leží Slunce. Dále zjistil, že průvodič dráhy planety opíše za stejný interval vždy stejnou plochu. Tyto dva zákony popsal ve svém díle *Astronomia Nova* v roce 1609. Ve svém dalším díle *Harmonica mundi* z roku 1619 publikoval svůj třetí zákon, dávající do souvislosti oběžnou dobu planety a její hlavní poloosu.

Na tyto poznatky navázal Newton odvozením gravitačního zákona, který zveřejnil ve svém slavném díle *Principia*. Dále také odhalil, že přitažlivá síla dvou těles klesá s druhou mocninou vzdálenosti a tato vlastnost vede k pohybu planet po elipse, parabole nebo hyperbole. Také teoreticky vyřešil problém dvou těles.

Kolem roku 1760 se Euler zabýval obecným řešením problému 3 těles. Nejprve problém zjednodušil předpokladem, že jedno z těles má zanedbatelnou hmotnost. V tomto případě lze problém tří těles řešit jako problém dvou těles, protože těleso se zanedbatelnou hmotností gravitačně neovlivňuje zbývající dvě tělesa. Později řešil problém pohybu třetího tělesa, které je přitahováno hmotou zbývajících dvou těles. Ale ani tento problém nevede k přesnému řešení. Euler našel řešení pro případ, že všechna tři tělesa leží na přímce.

Metoda řešení naší simulace

Při simulaci pohybu těles používáme Eulerovu metodu řešení diferenciálních rovnic. Vycházíme z Newtonova gravitačního zákona

$$\vec{F}_i = \kappa \cdot m_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{m_j \left(\vec{r}_i - \vec{r}_j \right)}{\left| \vec{r}_i - \vec{r}_j \right|^3} \quad (1.1)$$

kde F_i je síla působící na i -té těleso, m_i a m_j jsou hmotnosti a r_i a r_j polohové vektory odpovídajících těles.

Z rovnice (1.1) můžeme určit zrychlení působící na těleso

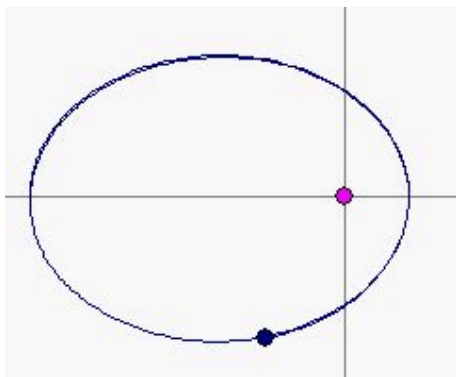
$$\vec{a}_i = \kappa \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{m_j \left(\vec{r}_i - \vec{r}_j \right)}{\left| \vec{r}_i - \vec{r}_j \right|^3} \quad (1.2)$$

Dále uvažujeme, že se těleso bude pohybovat s tímto zrychlením v malém časovém intervalu t . Za tuto dobu získá jistou rychlost v . Sečtením této rychlosti s rychlostí, kterou se těleso pohybovalo v předcházejícím okamžiku získáme novou rychlost tělesa, pomocí níž snadno spočítáme změnu polohy za čas t . Tyto operace musíme aplikovat na všech n těles.

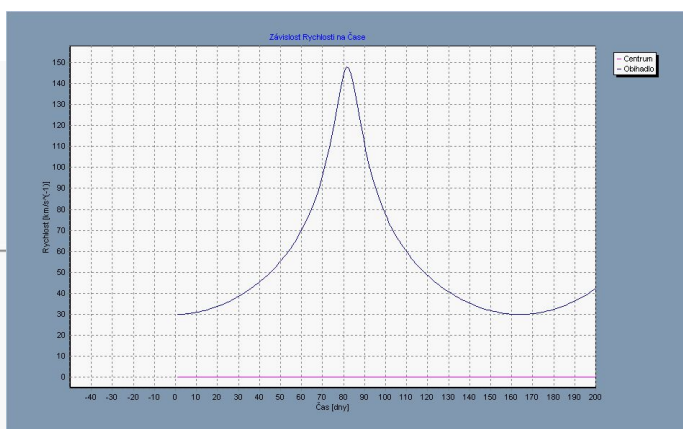
Přesnost této metody velmi závisí na volbě t . Čím menší bude interval t tím přesnější budou výsledky metodou získané, ale výpočet bude o to víc časově náročnější.

Ukázka programu

K simulaci tohoto problému jsme ve vývojovém prostředí Delphi vymysleli a sepsali program, který je možno si stáhnout i se zdrojovým kódem na internetové adrese ([a1](#)).



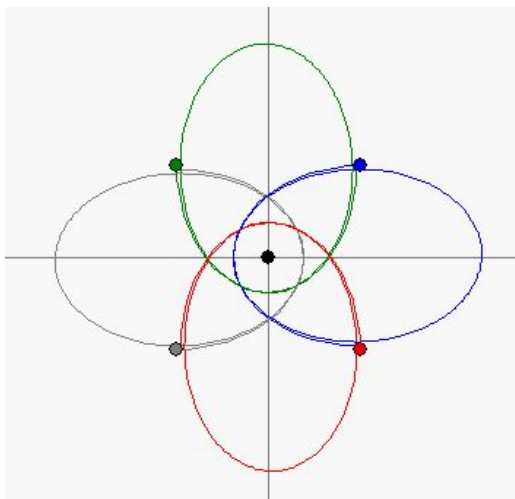
obr 1



obr 2

Na obrázku č. 1 tak například vidíte trajektorii tělesa obíhajícího okolo hmotnějšího tělesa. Můžeme si povšimnout, že trajektorie je skutečně eliptická a že hmotnější těleso leží v jejím ohnisku. Hmotnost obíhajícího tělesa je 10^{25} kg a hmotnost centrálního tělesa 10^{31} kg. Největší vzdálenost obou těles činí 250000000000 km. Obrázek č. 2 znázorňuje závislost rychlosti na čase

stejné situace. Vidíme, že rychlost obíhajícího tělesa je největší v místě nejbližším druhému tělesu a nejmenší v místě nejvzdálenějším. Obrázek č. 3 zobrazuje trajektorie 4 těles obíhajících kolem centrálního, hmotnějšího tělesa. Hmotnosti obíhajících těles jsou 30 kg, hmotnost centrálního 10^{23} kg.



Problém tří těles je současnými analytickými metodami neřešitelný a k získání přibližných výsledků se používá numerických metod, simulovaných počítači.

Web:

tkpage42.fbi.cz

(a1)

www.aldebaran.cz/index_01.html

www.kw.igs.net/~jackord/bp/f8.html

astro.u-strasbg.fr/~koppen/body/ThreeBody.html

www.math.washington.edu/~hampton/research.html

Literatura:

Mechanika, Doc. Ing. Ivan Štoll, CSc.

Feynmanovy přednášky z fyziky, Feynman, Leighton, Sands

Průvodce astronomií, Pavel Příhoda

Kontakt:

Tomas.Kalvoda@seznam.cz

rambonit@volny.cz

ASTONOMICKÉ REKORDY

Autoři: Václav Vrba, Hana Hurtová, Ivana Ebrová

Téma zabrušuje do různých odvětví astronomie a tak se toto pojednání stává průřezem toho nejzajímavějšího z oborů. Dočtete se o mnoha „nej“ z oblasti Země, Sluneční soustavy i vzdáleného vesmíru. A že právě ve vesmíru je pro skutečné rekordy nejvíce místa, se můžete přesvědčit právě teď.

SLUNEČNÍ SOUSTAVA

Blízkost Slunce a absence přesvědčivější atmosféry, která by rozptylovala infračervené záření, zaručují **Merkuru** prvenství v teplotních výkyvech na povrchu mezi všemi planetami, který zabírá škálu od 600°C ve dne na rovníku do -170°C na odvrácené straně.

Venuše je nejjasnější z planet na pozemské obloze, díky blízkosti Zemi a husté atmosféře hojně obsahující CO₂, který dobře odráží viditelné světlo. Nejpomaleji rotuje (243dní) a sklon rotační osy je bez mála 180°.

Dříve byl za planetu s největší střední hustotou považován Merkur (5 430 kg/m³), ale se zpřesňujícími se daty mu prvenství ukradla **Země** (5 520 kg/m³). První čtyři planety (terestrické) mají výrazně vyšší hustotu. Toto souvisí s vývojem Soustavy. Sluneční vítr (proud nabytých částic) nedovolil blízkým planetám vytvořit si mocné vodíkové a heliové atmosféry jako je tomu u obřích, vzdálenějších. A právě tyto dva lehké prvky zapříčiňují jejich malou střední hustotu.

Největší štítová sopka ASCRAEUS MONS (23 994m), převyšuje i dříve domněle nejvyšší OLYMPUS MONS (23 085m), obě na povrchu **Marsu** a neaktivní, jelikož jeho malá hmotnost způsobila časně vychladnutí tělesa.

Deimos je nejmenším měsícem Soustavy (15x12,2x11). Ve skutečnosti se jedná o planetku zachycenou marsovskou gravitací stejně jako druhý jeho měsíc Phobos a výpočty naznačují, že tato nadvláda nebude trvat věčně a Mars o své měsíce v budoucnosti přijde.

Největší (r=142 800km), nejhmotnější (317,83M_Z) a nejrychleji rotující (9,84hodin) **Jupiter** se pyšní nejstarším a největším meteorologickým úkazem: VELKÁ RUDÁ SKVRNA trvající min 300 let a přes 20 000km(=2 zemské průměry) v průměru.

Ani jeho měsíce nezůstávají pozadu. **Ganymédes** – je největším měsícem (5262km), předčí i planety Pluto a Merkur, stejně tak jako druhý Titan (Saturnův měsíc).

Io vlastní nejdéle aktivní lávová pole a neaktivnější sopky, způsobeno blízkostí Jupitera vyvolávajícího silné slapové síly svou gravitací. Jako jeden z mála měsíců má i vlastní atmosféru.

Saturn je naproti tomu otcem nejbohatší rodinky měsíců (nedávno po dlouhé době bylo pár nově objeveno), planetou s největšími prstenci, největším zploštěním a nejmenší hustotou-700 kg/m³, což je méně než hustota vody, takže když si seženete dostatečně velký bazén...☺

Jeho měsíc **Encladus** odráží téměř 100% slunečního světla díky jemným krystalkům ledu na svém povrchu.

Největší Saturnův měsíc **Titan** však svůj povrch halý hustou metanovou atmosférou (200km mocnou), což jemezi všemi měsíci unikum. Tlak na povrchu možná větší než na Zemi.

Miranda, vlastní snad všechny typy geologických útvarů. Soudí se, že tento satelit byl v minulosti rozbit obrovským impaktem a znovu spojen na oběžné dráze **Uranu**.

Větry v atmosféře **Neptunu** dosahují více než 1 000 km/h a jeho **Triton** vlastní status nejchladnějšího místa Soustavy (-240°C), vřele doporučuji na letní dovolenou ☺
Pluto s nejexcentričtější a nejvíce skloněnou dráhou ale nejvíce vynikne v porovnání s vlastním souputníkem **Cháronem**. Tvoří nejmenší poměr hmotnosti planety a měsíce (4,5), pak dlouho, dlouho nic a následuje Země a Měsíc s poměrem 80. Pluto by se spíše dal klasifikovat jako planetka Kuiperova pásu, ale spíše z historických důvodů mu zůstává označení planeta. Ale ani u asteroidů není satelit zvláštností. Ty jsme však do našich výpočtů nezahrnuly.

OSTATNÍ HAVĚŤ

Největší a první objevená planetka je **Ceres** (1003km). Jeho objev byl oznámen první den předminulého století (1.1.1801). Na třetím místě, co se velikosti týče, je **Vesta**. Z planetek je však nejjasnější na pozemské obloze, avšak i tak pouhým okem nepozorovatelná. Dosahuje 8mag a již 6. hvězdná velikost je jen těžko spatřitelná bez přístrojů.

Geographos jako nejprotáhlejší objekt ve Sluneční soustavě (5,1x1,8km) zaujímá trochu bizarní „nej“. Jeho tvar byl zjištěn radiovým měřením častou to metodou na proměřování tohoto druhu objektů. Tělesa průměru většího 500ti km drží pohromadě gravitační silou, která způsobuje sférickou symetričnost. U menších však převládají síly elektromagnetické a proto mohou jejich tvary být nejrůznější nepravidelnosti. Česká hvězdárna KLEŤ je 1. v Evropě a 10. na světě v objevování planetek. Největším projektem na jejich vyhledávání je LINEAR.

Největší kometou je **Chiron** (průměr 180km proti obvyklým několika kilometrům jiných vlasatic), původně však klasifikovaný jako planetka. Rozdíly mezi těmito tělesy nejsou jednoznačné. Ve vzdálenějších a chladnějších místech Sluneční soustavy nevykazují žádnou kometární aktivitu. Kóma a hlavně tak známí jejich ohon se objeví až při těsnějším přiblížení k naší mateřské hvězdě, kdy se led (ze kterého se kromě prachu a dalších sloučenin skládají) rozehřeje a začne uvolňovat. Sonda SOHO je největším objevitelem komet (přes 200 a stále se nové vynořují). Hlavním a původním jejím úkolem je ale výzkum Slunce, proto také komety jí objevené v něm záhy končívají. Osobou s nejvíce objevy je CAROLY SHOEMAKEROVÁ (30 komet). Největší meteor nalezený na povrchu Země (295x284cm, 60 tun) se nachází v Namibii na místě dopadu.

Největší meteorický déšť v historii – 16./17.listopadu 1966 byl pozorován v západní části USA. Zaznamenána frekvenci více než 144 000 meteorů za hodinu. Jednalo se o část roje LEONID, který vykazuje zvýšenou aktivitu jednou za 33 let (po průchodu mateřské komety Tempel-Tuttle periheliem).

OBLOHA

Nejjasnější objekty oblohy: 1. **Slunce** (-27mag)

2. **Měsíc**

3. **Venuše**

4. **Jupiter**

Nejjasnější hvězdou noční oblohy je **Sirius** (-1,46mag) v souhvězdí Velký pes.

Velká galaxie v Andromedě je nejvzdálenější objektem viditelným pouhým okem. Nachází se přes 2 mil světelných let daleko. Nejbližší hvězda (po Slunci)-**Proxima Centauri** okem pozorovatelná není.

Souhvězdí jsou dnes definována jako území oblohy přesně ohrajičené ve sférických souřadnicích. Těchto hvězdných okrsků je od zasedání Mezinárodní astronomické unie v roce 1930 přesně definováno 88. Největší plošnou výměru má souhvězdí **Hydra** (1

303 čtvereční stupně). Dále Panna(1 294), Velká medvědice(1 280), Velryba(1 230), Herkules(1 225). Na opačné straně stojí **Jižní kříž**(68), Koniček(72), Šíp(93), Kružítko(93).

Problematické je určit nejhvězdnatější okresek. **Centaurus** a **Labuť** sdružují nejvíce viditelných hvězd (150), **Velká medvědice** nejvíce jasných (21) a **Jižní kříž** nejvíce hvězd na jednotku plochy.

Nejrychleji se z přirozených těles na obloze pohybuje **Měsíc** (13° za den). Z hvězd má největší vlastní pohyb **Barnardova hvězda** (druhá Slunci nejbližší, není viditelná okem), za 200 let se vůči pozadí posune o jeden měsíční úplněk.

DEEP-SPACE-OBJEKTY

Nejrychleji se pohybující hvězda v prostoru je PULSAR označený PSR 2224+65. Vznikl při asymetrickém výbuchu supernovy a pohybuje se tak rychle, že může opustit naši Galaxii. V době svého vzniku byl odsouzen navždy se toulat prázdným prostorem mezi galaxiemi.

Mezinárodní tým astronomů objevil „vlažnou“ hvězdu, jejíž povrchová teplota není vyšší než 1 700 K. Je tedy o více než 4 000 K chladnější než naše Slunce. Tento nový kandidát na nejtudenější hvězdu se zdá být také nejstarším objektem v naší Galaxii. Bezejmenná hvězda leží asi 160 světelných let od Země.

Červený veleobr, hvězda M CEPHEI (11AU=11x vzdálenost Země-Slunce), je pravděpodobně největší známou hvězdou. Pokud bychom hvězdu umístili do středu naší soustavy - místo Slunce - její vnější řídká atmosféra by pohltila blízké planety včetně Saturna.

Nejpomalejší pulsar – znám pod označením J1951+1123. Jednou dokola se otočí za 5,094 sekundy. Pulsary jsou rychle rotující neutronové hvězdy, pozdní vývojová stadia hmotných hvězd vzniklá po jejich zhroucení. O tom jak rychle rotují si můžete udělat alespoň vzdálenou představu, když toto je z nich nejpomalejší známý pulsar.

Nejvzdálenější galaxie byla objevena pomocí Hubblova kosmického teleskopu (HST) a Keckova dalekohledu se složeným objektivem o průměru 10 m. Vzdálenost poměrně mladé galaxie, vzdálena 13 miliard světelných let, byla vypočtena na základě určení tzv. rudého posuvu. Tato pozorování byla umožněna díky použití tehdy největších dalekohledů a dále faktu, že zobrazená galaxie se nachází daleko za kupou galaxií, která zde působí jako tzv. gravitační čočka.

Nejbližší galaxie - slabá protažená trpasličí galaxie kulového tvaru v souhvězdí Střelce (Sagittarius), objevena teprve až v roce 1994 je 80 000 světelných let daleko, v astronomických měřítkách tedy spíše blízko Země.

Nejenergetičtější částice kosmického záření byla v Utahu registrována dne 15. října 1991. Její energie dosahovala fantastických 320 EeV (což je 50 J). Zdroj této rekordní částice byl lokalizován do vzdálenosti větší než 30 Mpc (10^9 světelných let).

Nejhmotnější gravitačně vázané souvislé objekty jsou překvapivě hustá (100 částic/cm^3) chladná MOLEKULOVÁ MRAČNA. Až 1300 světelných let dlouhá a hmotnost miliony Sluncí. Obsahují 50% hmotnosti mezihvězdné látky v naší Galaxii. Právě z látky těchto zvláštních objektů jsou formovány nové hvězdy.

Franckův - Hertzův experiment

Vypracovali:

Matěj Tušek, Štěpán Válek, Petr Vašíček.

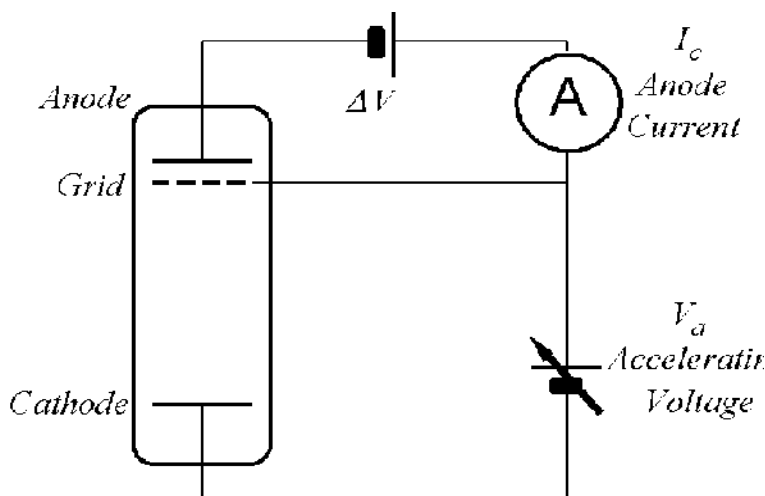
Úvod

V roce 1925 obdrželi pánové **James Franck** a **Gustav Hertz** Nobelovu cenu za fyziku za svůj objev zákonů, které nám umožňují předvídat děje při srážce elektronu s atomem. Poprvé experiment předvedli v roce 1914, dvanáct let před vznikem kvantové mechaniky, a poskytli tak jasný důkaz Bohrova postulátu, který říká, že energetické stavy atomů jsou kvantovány a že výměna energie mezi atomy a okolím probíhá pouze tehdy, když tato energie nabývá určitých hodnot.

V tomto experimentu jsou atomy par rtuti excitovány nepružnými srážkami s elektrony o určité energii (jde tedy o předání mechanické energie). Z pokusu je vidět, že elektrony předávají atomům svou energii pouze po určitých částech, které odpovídají rozdílům energetických hladin atomů. Ačkoliv se experiment zdá poměrně snadný a objasňující, stále nabízí možnost dalšího zkoumání.

Uspořádání Franckova – Hertzova experimentu

Elektrony jsou urychlovány napětím V_a mezi žhavenou katodou a mřížkou. Mezi anodou a mřížkou je malé brzdné napětí ΔV , které brání elektronům s energií menší než $e\Delta V$ dospět na anodu. V trubici jsou zředěné páry rtuti.



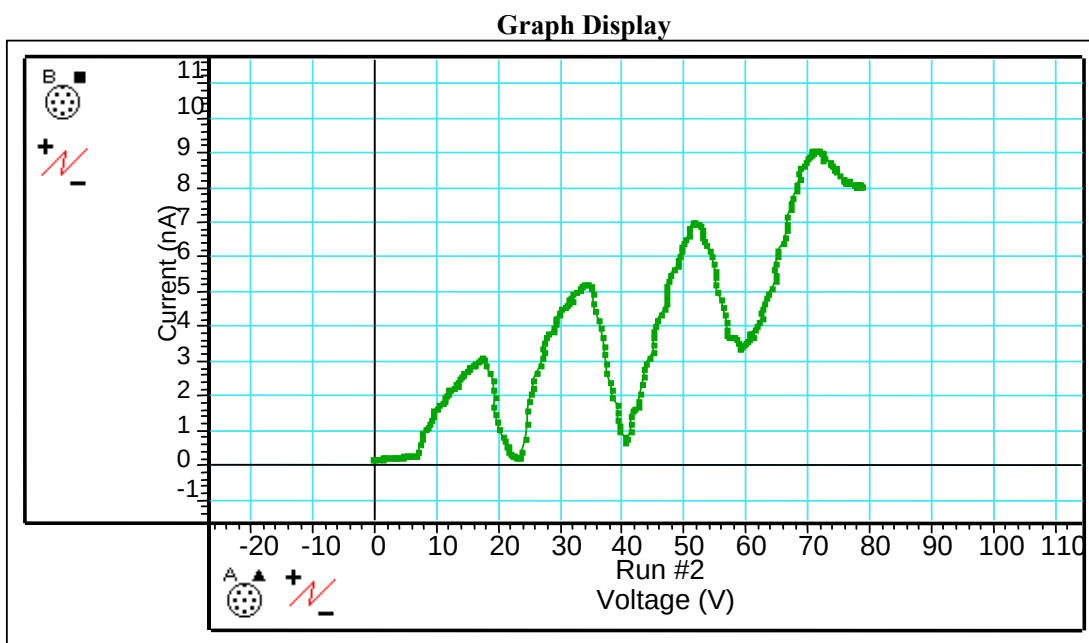
Modifikace experimentu (atomy neonu)

Uspořádání a princip pokusu jsou prakticky totožné jako při pokusu s rtutí. Liší se pouze obsah katodové trubice – **NEON**. Tuto variantu jsme prozkoumali i prakticky.

Neon se samozřejmě nemusí zahřívat jako je tomu při pokusu s rtutí a zároveň poskytuje větší rozsah urychlovacího napětí (až 80V), a tak jsme si pokus oproti svým předchůdcům ulehčili. Vyšší rozsah urychlovacího napětí je dán vysokou stabilitou neonových atomů (plně obsazené hladiny 1s, 2s, 2p) a následně vyšší ionizační energií (21.51 eV , rtuť: 10.4 eV). Ionizace je v tomto pokusu nežádoucí, neboť zvyšuje počet nosičů náboje i měřený proud. Nás ale zajímá proud daný počtem těch elektronů emitovaných z katody, které se dostanou až na anodu.

Mezi mřížkami jsme pozorovali nejprve jeden zářící kotouč, který se se vzrůstajícím napětím posouval směrem ke katodě. Jakmile se dostal přesně doprostřed mezi mřížky začal se vytvářet další (elektrony začínají předávat energii dvěma atomům). Nakonec jsme dostali čtyři kotouče, což odpovídá počtu minim křivky závislosti anodového proudu na urychlovacím napětí, kterou jsme zaznamenávali na osciloskopu. Maxima nastala při celých násobcích přibližně 18 voltů. Elektrony urychlené tímto napětím měli tedy energii 18eV. Jelikož je neon velice stabilní, měl by téměř okamžitě vyzářit kvantum elektromagnetického záření o vlnové délce $\lambda = hc/E$. Dosadíme-li do vztahu dostaneme vlnovou délku ultrafialového záření. Během experimentu jsme ale pozorovali jasně červené záření odpovídající intenzivním čarám ve spektru neonu (podle tabulek asi 640 nm). Rozdíl byl způsoben tím, že neon přešel do jiného energetického stavu než měl před srážkou.

Nakonec jsme došli k závěru, že Franck s Hertzem měli pravdu. **Energie je kvantována, a to bez ohledu na její formu** (kinetické energie dodaná elektrony je v pokusu atomy vyzářena).

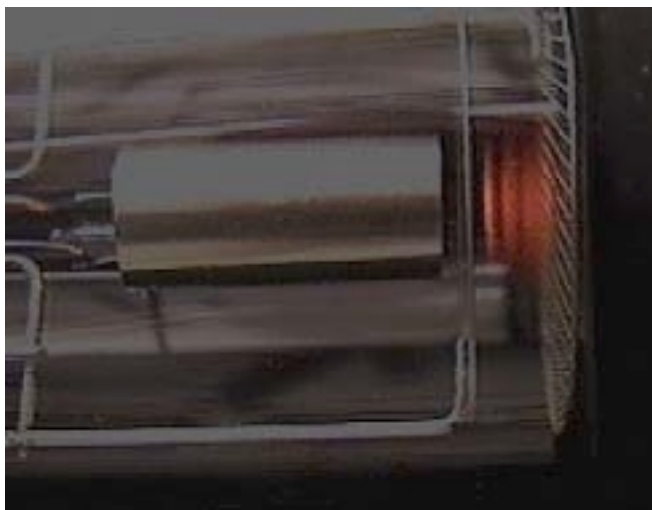


KROUŽKY

Při provedení pokusu s neonem můžeme pozorovat viditelný důkaz procesu pohlcování energie při srážkách elektronů s atomy.

Urychlené elektrony způsobují excitaci elektronů atomu neonu, tyto elektrony pak záhy přecházejí do stabilnějšího stavu o nižší energii a přitom vyzařují energii takovým způsobem, že v místě excitace sledujeme viditelné záření.

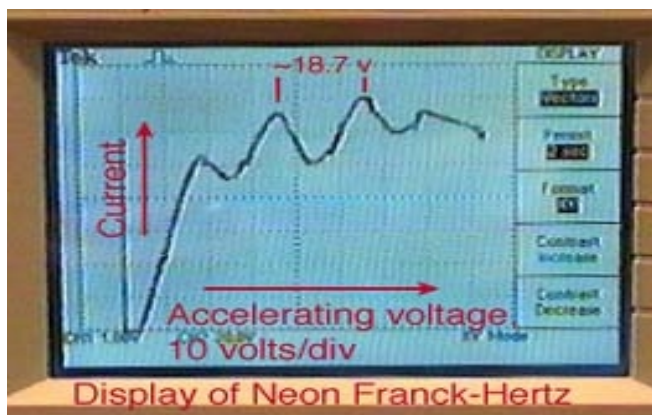
Mezi 18.3 a 19.5 eV je přibližně 10 energetických hladin atomu neonu. Neon „deexcituje“ do stavu o energii 16.57 a 16.79 eV. Tento energetický rozdíl odpovídá vlnové délce pozorovaného záření.



Podstata Franck - Hertzova pokusu

Elektrony jsou urychlovány napětím U mezi žhavenou katodou a mřížkou. Mezi anodou a mřížkou je malé brzdné napětí U' , které brání elektronům s energií menší než eU'

dospět na anodu. V trubici jsou zředěné páry rtuti. Jsou patrné náhlé poklesy anodového proudu při $U = 4,89 \text{ V}$ a celočíselných násobcích této hodnoty. Tyto poklesy je možné vysvětlit takto: Rozdíl dvou energií atomu rtuti v základním stavu v prvním excitovaném stavu je 4,89 V. Urychlované elektrony se srážejí s atomy rtuti. Pokud mají elektrony menší energii než je minimum 4,89 V, srážky budou pružné. Jestliže elektrony energie 4,89 V dosáhnou, situace se rázem změní. Atomy začnou tyto kvanta energie pohlcovat elektronům, nezbude dostatek energie k překonání brzdného napětí U' a nedospějí k anodě, čímž anodový proud prudce poklesne. Při vyšším napětí zbude elektronům dostatek energie k překonání brzdného napětí a můžeme pozorovat opětovný růst proudu. Situace se opakuje při napětích, která jsou celočíselnými násobky excitační energie. Elektrony ji odevzdají při dvou, třech a více srážkách a jejich kinetická energie vždy poklesne pod eU' . Experiment je důkazem toho, že energie kvantování nezáleží formě energie.



POZOROVÁNO NA OSCILOSKOPU

KDO JE KDO ?

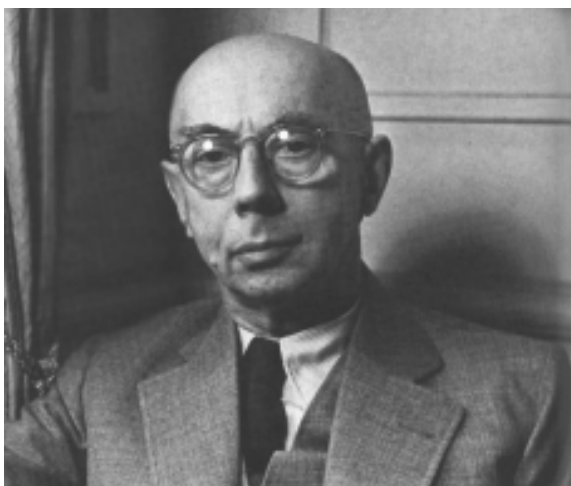


James Franck

1882-1964

1925 Nobelova cena (spolu s Gustavem Hertzem) za experimentální práce a objev zákonů o dopadu elektronu na atom.

Německý fyzik James Franck se narodil roku 1882 v Hamburgu. Studoval na univerzitě v Heidelbergu a v Berlíně, působil ještě v Göttingenu. Od roku 1935 žil v USA. Zabýval se atomovou spektroskopií, studoval fotosyntézu.



Gustav Hertz

22.7.1887 - 30.10.1975

Německý fyzik Gustav Hertz se narodil roku 1887 v rodině advokáta. Studoval na univerzitě v Göttingenu, Mnichově a Berlíně (tam se po ukončení studia stal asistentem ve fyzikálním ústavu). V letech 1920 – 1925 působil ve fyzikální laboratoři firmy Philips a v roce 1925 se stal profesorem na univerzitě v Halle.

Použité materiály:

doc Ivan Štoll: Fyzika mikrosvětla

Arthur Beiser: Úvod do moderní fyziky

PHYWE – University Laboratory Experiments Physics

General Catalogue of Physics Experiments – Leybold

Gravitace

Lukáš Anderle, Alexei Andreev, Aleš Černý

Gravitace je jedna ze čtyř základních interakcí. Má však mezi nimi jisté význačné postavení: jako jediná není výběrová a působí na všechny objekty ve vesmíru. Je to nejuniverzálnější síla hýbající vesmírem. Jako první byla popsána fyzikální teorií, i když je to interakce ze všech nejslabší. Má však pouze přitažlivý charakter, a tak se působení všech částic sčítá a ve větších měřítkách hraje gravitace vysoce dominantní roli, která určuje strukturu vesmíru.

První opravdovou fyzikální teorií gravitace, která má matematickou podobu, umožňuje děláni předpovědí a je ji proto možno ověřit experimentem je Newtonův zákon všeobecné gravitace. Sir Isaac Newton vycházel jednak z experimentů, které prováděl Galileo Galilei. Ten sledoval volný pád, pohyb po nakloněné rovině a pohyb kyvadla a dokázal odvodit základní zákony těchto pohybů. Odvodil také tzv. Galileiho princip relativity. Dalším, kdo Newtona ovlivnil byl Johannes Kepler, který na základě pozorování Tycha Brahe formuloval své tři zákony o pohybu planet. Newton na základě těchto objevů vyřkl tři pohybové zákony a vytvořil známý zákon gravitace, který říká, že síla, kterou se dvě tělesa přitahují je přímoúměrná součinu hmotností obou těles a nepřímoúměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti. Z tohoto zákona je potom možné vypočítat volný pád, šikmý vrh, pohyby planet, Měsíce nebo třeba gravitační působení galaxií. Keplerovy zákony jsou přímým důsledkem tohoto zákona, i když byly odvozeny samostatně a dříve z pozorování.

Newtonův zákon dokázal objasnit a předpovědět mnoho jevů a to s vysokou přesností. Na počátku dvacátého století už ale nebylo pochyb, že Newtonův zákon není úplně správný. Nevystupuje v něm čas, což znamená, že gravitační interakce se podle něho šíří nekonečnou rychlostí - změní-li nějaké těleso svou polohu, dozvědí se o tom všechna ostatní tělesa ve Vesmíru okamžitě! Newtonův zákon není relativistický - nepočítá s dilatací času, kontrakcí délek, nesplňuje Lorentzovu transformaci. Pracuje se silou, což je pojem, který se dá velmi těžko definovat. Kromě těchto vnitřních nesrovnalostí se objevil i problém v praktickém použití - šlo o stáčení perihelia planety Merkur. Jeho dráha totiž není uzavřená křivka. Jakoby se Merkur pohyboval po elipse, která se otáčí kolem Slunce. Většinu tohoto pohybu se podařilo vysvětlit jako působení okolních planet, ale zbyla malá část (asi 43" za sto let), která byla jakoby „navíc“.

V roce 1915 Albert Einstein dokončil novou teorii gravitace - obecnou teorii relativity. Tato teorie již je relativistická (dokonce narozdíl od speciální teorie relativity platí v jakémkoli vztažném systému), udává tedy maximální možnou rychlost šíření informace (rychlost světla) a navíc odstranila problém síly, protože gravitační působení vysvětluje křivostí prostoročasu a převádí otázku gravitační síly na geometrický problém. Proč zakřivený prostoročas? Již Galileo Galilei při pokusech s volným pádem přišel na to, že všechna tělesa padají z určité výšky stejnou dobu, nezávisle na jejich hmotnosti (to samozřejmě platí jen ve vakuu, jinak se projevuje odpor prostředí). To je důsledkem principu ekvivalence, který říká, že setrvačná a gravitační hmotnost tělesa si jsou úměrné a při vhodné volbě jednotek si jsou rovné. Gravitační a setrvačné jevy od sebe tedy nelze odlišit. Kdybychom letěli raketou, která by se pohybovala se stálým zrychlením, všechna tělesa uvnitř by měla tendenci pohybovat se směrem k podlaze a po dopadu by na ní zůstala, byla by k ní tlačena setrvačnou silou. Fyzik v takové raketě bez oken by potom žádným experimentem nemohl rozpoznat, jestli se nachází v gravitačním poli nebo v neinerciálním (zrychleném) systému. V důsledku tohoto principu ekvivalence se tedy různá tělesa budou v gravitačním poli pohybovat po stejných trajektoriích. To přivedlo Alberta Einsteina k myšlence, že křivost trajektorií je vlastností samotného prostoru a času. Tělesa svou přítomností zakřivují prostor i čas kolem sebe a v tomto zakřiveném prostoročase se pak pohybují po nejrovnějších možných drahách (geodetikách). Zakřivený trojrozměrný prostor si lze jen těžko představit. Pro ilustraci se často používá dvourozměrná plocha. Zakřivenou plochou může být třeba povrch koule. Geometrie na takové zakřivené ploše je pak zcela jiná, než jak ji známe. Původní, Eukleidovské geometrie platí jen v

plochem (nezakřiveném) prostoru. Součet úhlů v trojúhelníku nemusí být v zakřiveném prostoru roven 180° . Ukažme si to na naší kulové ploše, ještě lépe glóbu - dvě strany budou tvořeny severními polovinami dvou poledníků a třetí strana bude část rovníku mezi nimi. Takový trojúhelník má dva pravé úhly u své základny a libovolně velký úhel u vrcholu. (Jde o tzv. sférický trojúhelník.) Podobné jevy nás mohou potkat i zakřiveném prostoru - součet úhlů v trojúhelníku není 180° , obvod kruhu není 2π , čtyři kolmé přímky nevytvoří obdélník... Strávíme-li křivost prostoru, musíme se ještě zamyslet nad tím, co si představit pod zakřivením času. Znamená to vlastně, že v různých místech zakřiveného prostoročasu jdou hodiny různě rychle. Hodiny, které jsou dále od hmotného tělesa jdou rychleji, než hodiny, které jsou blíže k tělesu (jsou tedy v silnějším gravitačním poli - prostoročas kolem nich je více zakřiven). Důsledkem zakřivení prostoru dochází také ke stáčení perihelia planet, které se nejvíce projevuje u Merkuru, který je nejbližší Slunci a pohybuje se tedy v nejvíce zakřiveném prostoru.

Důsledky obecné teorie relativity jsou vsutku zajímavé: Albert Einstein přišel na to, že křivost prostoročasu svým pohybem nesledují pouze hmotná tělesa, ale třeba i světlo. Předpověděl, že světelný paprsek se v gravitačním poli ohýbá a navrhl také způsob ověření tohoto jevu. Světlo přicházející k nám ze vzdálených hvězd by se mohlo odklonit od původního směru o pozorovatelnou hodnotu, kdyby prošlo dostatečně blízko kolem Slunce. Hvězdy v blízkosti slunečního kotouče ale můžeme pozorovat pouze při zatmění Slunce. V roce 1919 se proto za zatměním Slunce vydala výprava sira Eddingtona, která opravdu naměřila odchylku, která se přibližně shodovala s odchylkou, kterou vypočítal Einstein. S tímto jevem souvisí i jev tzv. gravitační čočky - pokud se mezi námi a pozorovaným světelným zdrojem ve vesmíru nachází velmi hmotný objekt (např. galaxie), bude jeho gravitační pole zakřivovat světelné paprsky zdroje tak, jako velká čočka a my uvidíme zvětšený obraz zdroje (nebo spíše jako prstenec, protože přímému průchodu světla brání galaxie, která plní funkci čočky) - tak to tedy funguje pokud je zdroj, galaxie i pozorovatel na jedné přímce. Pravděpodobnost, že taková situace nastane je ale velmi malá, a tak Einstein vypočítal, co budeme pozorovat, když budou objekty mírně vyosené. Výsledkem můžou být dva cípy, čtyřnásobný obraz zdroje (Einsteinův kříž) nebo i vícenásobný obraz při větší výchylce. Takové útvary byly skutečně pozorovány. Závislost rychlosti chodu hodin na výšce nad povrchem Země byla také potvrzena experimentem, tedy hned několika, když experimentátoři porovnávali údaje naměřené hodinami na zemi s hodinami, které byly v letadle letícím kolem světa nebo v raketě, ve výšce deset tisíc kilometrů. Obecná teorie relativity také předpovídá existenci gravitačních vln, které je ale velmi těžké detekovat a na jejich konečné experimentální potvrzení se stále čeká. Asi nejzajímavějším a velmi populárním důsledkem obecné relativity jsou černé díry. Obecně jsou to objekty, které jsou tak hmotné, že úniková rychlost je u nich větší než rychlost světla - nic se tedy z černé díry nedostane, dokonce ani světlo. Jejich výskyt ve vesmíru může být poměrně hojný, protože černou dírou se může stát hvězda, jejíž hmotnost je tak velká, že po vyčerpání svého jaderného paliva nic nemůže zabránit jejímu gravitačnímu hroucení, takže se nakonec celá zhroutí do jediného bodu. Tento bod (singularita) je místem, kde je křivost prostoročasu nekonečná a až do jisté vzdálenosti (Schwarzschildův poloměr) od tohoto bodu je úniková rychlost větší než rychlost světla. Černou díru můžeme popsat jen třemi veličinami: hmotností, momentem hybnosti a elektrickým nábojem. Všechny ostatní informace o tělese, které se zhroutilo až na černou díru nebo o tělese, které do ní spadlo se ztrácí. Černé díry se staly inspirací pro mnoho spisovatelů sci-fi, ale ještě více pro mnoho fyziků. Černá díra totiž poskytuje velmi zajímavé „pracovní prostředí“.

V blízkosti singularit stejně jako ve velmi raném Vesmíru, těsně po Velkém třesku se musíme pohybovat ve velmi malých měřítkách a ve velmi silných gravitačních polích. Svět malých rozměrů popisuje kvantová teorie, která nedokáže popsat gravitaci, což ale nebylo dříve příliš na obtíž, protože gravitace je interakcí velmi slabou a za normálních okolností (soustava elementárních částic) ji lze zanedbat vzhledem k dalším, mnohonásobně silnějším interakcím (silná, elektromagnetická). Obecná relativita je použitelná pro silná gravitační pole, je to však klasická teorie - nekvantová. Vytvoření kvantové teorie gravitace se zatím nedaří. Pokus přímo kvantovat obecnou relativitu se nedaří - taková teorie není renormalizovatelná. Někteří fyzikové se snaží

zobecnit standardní model elementárních částic a získat tak finální, všesjednocující teorii všeho včetně gravitace. Vznikají tak různé teorie strun, které popisují elementární částice jako různé módy vibrace strun. To jsou jednorozměrné objekty, které jsou tím nejelementárnějším objektem vesmíru. Pozorujeme-li je jako různé částice, je to proto, že struny různě vibrují. Takové struny mohou být otevřené, uzavřené, mohou se spojovat nebo dělit, to vše v prostoru o jedenácti, šestnácti nebo třeba dvaceti šesti dimenzích, které teorie potřebují, aby dávaly správné výsledky. Více dimenzí není velký problém - to, že vnímáme pouze tři, vysvětlují teoretici tak, že zbylé dimenze jsou neuvěřitelně zakřivené a uzavírají se samy do sebe. Takové dimenze jsou potom prostě příliš úzké na to, aby jimi mohla pohybovat třeba částice.

Problém gravitace tedy není stále vyřešen. Newtonova teorie dává dostatečně přesné výsledky jen pro slabá gravitační pole, obecná teorie relativity se zase nedá použít na velmi malé vzdálenosti, kde se již projevují kvantové jevy a lepší teorii zatím nemáme. Strunné teorie jsou sice pěkné, ale nedávají jedinou ověřitelnou předpověď a k fyzikálním teoriím mají ještě daleko - zatím jsou pouze krásnou matematickou konstrukcí.

Literatura:

Jiří Grygar - Vesmír, jaký je
Stephen Hawking - Černé díry a budoucnost vesmíru
Brian Greene - Elegantní vesmír
+World Wide Web (informací je tam opravdu spousta)

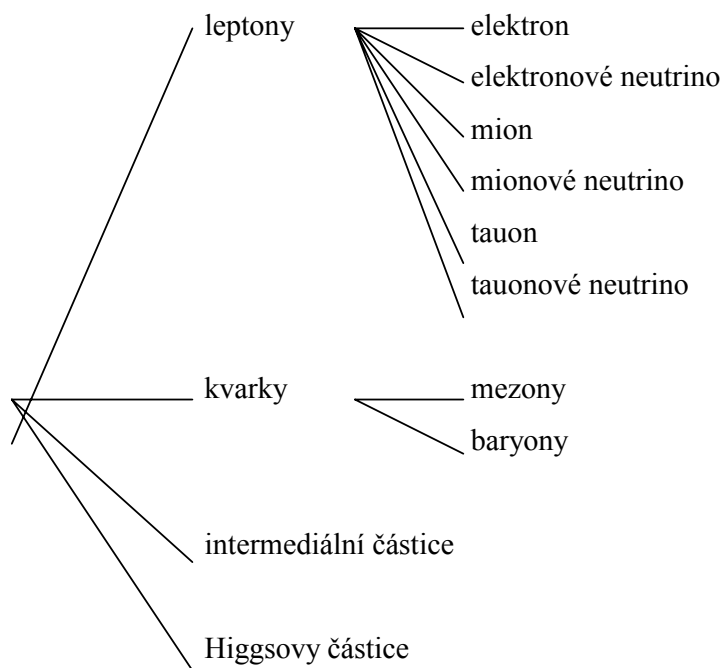
Elementární částice

autoři: Matěj Navrátil
Michal Nyklíček
Milan Těšínský

0. úvod

Tento poster pojednává o elementárních částicích a snaží se podat jejich přehled. Existuje však velmi mnoho druhů částic, které dnes považuje věda za elementární, proto nebude naším cílem zabývat se všemi, nýbrž jen těmi nejběžnějšími a nejdůležitějšími.

1. Dělení částic podle „rodové“ příslušnosti



I. Leptony

Částice, které se řadí mezi leptony jsou:

- elektron
- elektronové neutrino
- mion
- mionové neutrino
- tauon
- tauonové neutrino

Obecné vlastnosti leptonů:

U leptonů nepozorujeme žádnou vnitřní strukturu. Spin všech částic je $1/2$ a jde tedy o fermiony. Všechny leptony interagují slabou interakcí a neinteragují silně. Nabité leptony (elektrony) interagují navíc elektromagneticky, což způsobuje intenzivní interakci s hmotou. Nenabitě leptony (neutrino) interagují s hmotou velmi slabě. Přesto je jich v našem okolí značné množství. Tok *slunečních neutrín* se u naší Země odhaduje na $70 \times 10^9 \text{ v cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. V každém cm^3 je navíc 300 *reliktních neutrín* z období oddělení neutrín od ostatní hmoty v době cca 1 s po Velkém třesku. Při interakci kosmického záření s atmosférou vznikají asi 20 km nad zemí tzv. *atmosférická neutrino*. Žijeme tak v hustém neutrinovém moři, které s námi minimálně interaguje. Pro neutrino je celá Země zcela průhledná a neutrino s jejími atomy zainteragují jen zcela výjimečně.

Základní číselná fakta o leptonech:

Částice	Hmotnost	Doba života	Rok objevu
e	0,51 MeV ($1 m_e$)	-	1897
μ	105,7 MeV ($207 m_e$)	$2 \times 10^{-6} \text{ s}$	1937
τ	1777 MeV ($3484 m_e$)	$3 \times 10^{-13} \text{ s}$	1975
ν_e	?		1956
ν_μ	0,07 eV		1962
ν_τ	?		1976

II. Kvarky

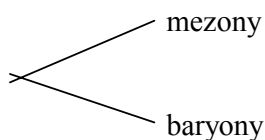
Na konci 50. a v průběhu 60. let se fyzikové pokoušeli vysvětlit podstatu silné interakce i chování tzv. těžkých částic (*hadronů*) pomocí různých modelů. Jejich název pochází z řeckého „hadros“, což znamená „těžký, silný“. Tyto částice podléhají působení silné (jaderné) interakce. Mezi nejznámější hadrony patří částice tvořící atomové jádro - *proton* a *neutron*, které nazýváme souhrnně *nukleony*.

Tyto snahy vyústily v kvarkový model navržený nezávisle M. Gell-Mannem a G. Zweigem v roce 1964. Dnes podle tohoto modelu předpokládáme, že *hadrony* jsou tvořeny z šestice kvarků a šestice antikvarků, které korespondují s šesticí leptonů a šesticí antileptonů. V roce 1969 bylo na lineárním urychlovači SLAC ve Stanfordu v rozptylových experimentech potvrzeno, že se protony skutečně skládají z elementárnějších komponent - kvarků *d* a *u*. Kvark *s* byl nalezen zanedlouho. Kvark *c* byl objeven ve vázaných stavech charmonia J/Ψ dvěma nezávislými skupinami v roce 1974. Částici J našla skupina vedená Tingem na protonovém urychlovači v Brookhavenu v experimentech s fixovaným terčem a stejnou částicí pod názvem Ψ našla skupina vedená Richterem na kolideru SPEAR ve Stanfordu (objev vešel do dějin jako listopadová J/Ψ revoluce). V roce 1976 byly objeveny vázané stavy kvarku *b*. Dlouho očekávaná existence posledního kvarku *t* byla potvrzena až v roce 1994 v laboratoři Fermilab.

Základní vlastnosti kvarků:

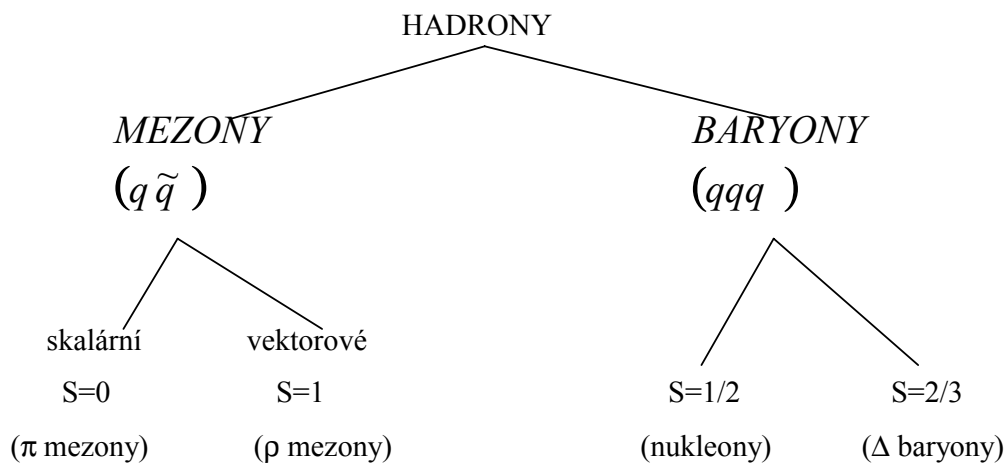
kvark	spin	baryonové číslo	náboj	hmotnost	rok objevu
d	1/2	1/3	-1/3	7 MeV	1969
u	1/2	1/3	+2/3	5 MeV	1969
s	1/2	1/3	-1/3	150 MeV	1969
c	1/2	1/3	+2/3	1,4 MeV	1974
b	1/2	1/3	-1/3	4,3 MeV	1976
t	1/2	1/3	+2/3	176 MeV	1994

Z kvarků lze vytvořit dvě skupiny částic:



Mezony jsou složeny z jednoho kvarku a jednoho antikvarku. Baryony jsou naopak složeny ze tří kvarků.

Přehled částic složených z kvarků:



III. Intermediální částice

Jedná se o částice, které zprostředkovávají interakci (silové působení) mezi jednotlivými částicemi.

Podle představ kvantové teorie pole (P. A. M. Dirac, R. Feynman a další) probíhá interakce dvou částic tak, že si vymění tzv. intermediální (mezipůsobící, polní, výměnnou) částici.

Každá částice podléhající interakci je obklopena oblakem těchto intermediálních částic.

Pojem pole (elektromagnetické, slabé, silné, gravitační) tak neznamena nic jiného než tento oblak intermediálních částic.

IV. Higgsovy částice

Jde o zatím nenalezené částice, které by v přírodě měly způsobovat spontánní narušení symetrie elektroslabé interakce $SU(2) \times U(1)_{\text{loc}}$. Podstatnou úlohu hrají v teorii elektroslabé interakce, kde způsobují nenulovou hmotnost intermediálních částic slabé interakce a její konečný dosah.

V. Použitá literatura

(autor / název knihy / vydavatelství / rok vydání)

T. Mayer – Kuckuck / Fyzika atomového jádra / SNTL (nakladatelství technické literatury) / 1974

Jan Fisher / Průhledy do mikrokosmu / edice Kolumbus / 1987

Július Krempaský / Fyzika / ALFA / 1982

kol. autorů / Fyzika pro každého / Horizont / 1975

E. Svoboda a kol. / Přehled středoškolské fyziky / Prometheus / 1996

A. Beiser / Úvod do moderní Fyziky / SNTL (nakladatelství technické literatury) / 1975

TRANSMUTAČNÍ TECHNOLOGIE

ADTT

Michaela Martínková

Úvod

V posledních letech se věnuje zvýšená pozornost problematice systémů, které jsou souhrnně označovány zkratkou ADTT (Accelerator Driven Transmutation Technologies), tedy urychlovačem řízené transmutační technologie, které by mohly přispět ke splnění podmínek akceptovatelnosti využívání jaderné energie. Označované také ATW (Accelerator Transmutation of Waste), nebo ADS (Accelerator Driven Systems).

Současná koncepce geologického ukládání vysoceaktivního a dlouhodobého odpadu z vyhořelého jaderného paliva příliš velkou důvěru společnosti vůči výstavbě a provozu jaderných elektráren nevyvolává. Hlubinné ukládání vyhořelého paliva do geologických formací je sice dosud na celém světě považováno za nejvhodnější způsob jeho oddělení od životního prostředí, avšak, jak ukazují nové poznatky a technologie, nemusí být konečným řešením v tak rozsáhlé míře. Podle odborných odhadů by vhodnými transmutacemi mohlo dojít ke zkrácení doby kontrolovaného uložení odpadů pouze na stovky let. Přitom by celkové množství odpadů proti stávajícímu stavu bylo sníženo téměř 10-krát. I když se ani tyto technologie bez úložiště odpadů neobejdou, mohou především časově, ale i objemem redukovat stávající problém na mnohem přijatelnější úroveň. To vše dokonce při zisku další energie.

1. Charakteristika vyhořelého jaderného paliva

V průběhu vyhořívání jaderného paliva dochází v jaderném reaktoru ke vzniku širokého spektra radionuklidů. Tyto většinou vysoce aktivní nuklidy, často klasifikované jako odpady (High Level Waste - HLW), lze rozdělit z hlediska aplikací v transmutačních systémech do několika skupin:

- uran (^{238}U a nevyhořelý ^{235}U),
- plutonium, tj. izotopická směs ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu ,
- vyšší aktinidy (higher actinides - HA), tj. ^{237}Np , ^{241}Am , $^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{243}Am , ^{243}Cm , ^{244}Cm , ^{245}Cm ,
- štěpné produkty (fission products - FP). Tyto lze rozdělit ještě na stabilní a krátkodobé, tj. s krátkým poločasem rozpadu (stable and short-lived fission products - SLFP) a na dlouhodobé (long-lived fission products - LLFP). Dělicí hranice mezi těmito druhy štěpných produktů není pevná a obvykle se klade na úroveň poločasu rozpadu 11 let.

Prakticky všechny takto vzniklé radionuklidy jsou nestabilní a rozpadají se. To je doprovázeno emisí různých druhů záření, které může být škodlivé pro živé organismy. Některé nuklidy s dlouhým poločasem rozpadu – např. ^{99}Tc , $T_{1/2} = 2,12 \cdot 10^5$ let nebo ^{129}I , $T_{1/2} = 1,7 \cdot 10^7$ let – mohou být nebezpečné po velmi dlouhý čas, řádově několik stovek tisíciletí až milionů let. Po tuto dobu je tedy potřebné zabezpečit účinnou izolaci vyhořelého jaderného paliva a zamezit jeho kontaktu s biosférou. (Obr. 1)

Vyhořelé palivo obsahuje stále asi 96% původního množství uranu (včetně nevyhořelého ^{235}U) a 1% plutonia a dalších vyšších aktinidů, což jsou všechno materiály štěpitelné, ať již samy o sobě nebo po vhodných jaderných přeměnách, a tím i energeticky využitelné. Zbývající zhruba (podle původního obohacení a hloubky vyhoření paliva) 3%-ní podíl ve vyhořelém palivu zaujímají štěpné produkty.

Vyhořelé palivo lze po vyjmutí z reaktoru buď považovat za již neupotřebitelnou surovinu a v konečném důsledku připravovat pro hlubinné uložení, nebo jej po jisté době dále přepracovat a oddělit využitelné izotopy aktinidů. Dle současných postupů se chemickou separací odstraní štěpné produkty, přičemž se zvlášť oddělí izotopy uranu a plutonia. Ty se potom mohou využít na výrobu nového, tzv. MOX (mixed-oxide) paliva.

2. Jaderná transmutace štěpných produktů a aktinidů

Jaderná transmutace je obecně jakákoliv jaderná přeměna, při níž dochází ke změně složení atomového jádra. Patří sem proto i např. tvorba plutonia v jaderném palivu v průběhu jeho vyhořívání. Účelem cíleného transmutačního procesu (ADTT resp. ADS) je likvidace radionuklidů s dlouhým poločasem rozpadu a vysokou

relativní radiotoxicitou a jejich přeměna na krátkodobé nebo dokonce stabilní isotopy. V případě štěpných produktů je transmutace uskutečňována zachytem neutronu (i několikanásobným) případně doprovázeným též β^- rozpadem.

U aktinidů se může jednat jak o jejich „přímou“ jadernou přeměnu (transmutaci), tak i o štěpení těžkého jádra, tedy obdobnou reakci jako u uranu ^{235}U .

3. Transmutační technologie a jejich využití

ADS jsou systémy sestávající se ze tří hlavních komponentů: urychlovače částic, zejména protonů; terčíku pro spalační (tříštivou) reakci, produkujícího vnější zdroj neutronů; a podkryticky uspořádaného reaktoru, umožňující štěpnou reakci. Podkritické uspořádání blanketu je velmi podobné zóně klasického kritického reaktoru. Paprsek iontů je zaměřen na terčík, který je umístěn v centru aktivní zóny. Interakcemi mezi urychlenými částicemi a terčíkem z těžkého kovu se generují neutrony, které udržují štěpnou reakci v reaktoru. Jiné možné uspořádání blanketu využívá průtočného terčíku s větším výkonovým zatížením a vyšším stupeň vyhoření. (Obr 2.)

První možností, pro kterou mohou být využity je definitivní izotopická likvidace plutonia, vzniklého hlavně při demontážích zbraňového plutonia zejména v zemích bývalého SSSR, namísto jeho oddělení od životního prostředí (např. trvalým kontrolovatelným uložením), a tak předejít jeho zneužití. Navíc štěpitelné izotopy plutonia představují velký energetický potenciál. Příčiny přebytku plutonia:

- snížení výroby jaderných zbraní, snížení počtu hlavic a jejich demontáž,
- produkční reaktory (zaměřené zejména na výrobu plutonia) nemohly být v řadě lokalit odstaveny, protože jsou současně využívány i jako zdroj elektrické energie a tepla, a to často pro rozsáhlý a jinak odlehlý region,
- dříve předpokládaný nástup rychlých reaktorů, ve kterých bude plutonium používáno jako palivo, se prakticky zastavil a v nejbližších letech se s jeho obnovou ve významném měřítku spíše nepočítá.

Druhou možností je transmutace izotopů s "rozumným" účinným průřezem pro zachyt (absorpci) neutronů. To se ve velké míře týká jak aktinidů, tak i převážné části dlouhodobých štěpných produktů. Klasickým příkladem je známé schéma transmutace technecia ^{99}Tc , které vede po několikanásobné přeměně na stabilní rubidium ^{102}Ru . U aktinidů patří mezi nejznámější schéma transmutace neptunia ^{237}Np .

Transmutační technologie mohou tedy velmi významným způsobem přispět k řešení problémů spojených s konečnou likvidací vyhořelého jaderného paliva, a:

- ke snížení celkového množství vysoce radioaktivních (ra) látek,
- ke "zkrácení poločasu rozpadu" zbývajících ra látek na přijatelnou mez z hlediska nezbytné kontroly jejich stavu a oddělení od životního prostředí (řádově stovky let).

Transmutační technologie nemohou vyřešit problémy nakládání s vyhořelým palivem "beze zbytku". Vždy určité množství radioaktivních látek, které bude nutné uložit, nejsou tedy ve své podstatě alternativou k úložišti jako takovému, ale k celému "klasickému" řešení koncové části jaderného palivového cyklu.

Zatímco dvě předchozí varianty využití transmutačních technologií se týkají spíše minulosti v tom smyslu, že se snaží lépe vypořádat s důsledky dosavadních způsobů využívání jaderné energie, je třetí možnost zaměřena výrazně do blízké budoucnosti. Hlavní její myšlenka spočívá v tom, že výroba energie "z jádra" bude organizována tak, aby vyhořelé jaderné palivo v klasickém slova smyslu prakticky nevznikalo a štěpné produkty i aktinidy byly průběžně transmutovány a nehromadily se. Tím by se mělo jednat o prakticky čistý zdroj energie. Představa vychází z tekutého paliva a nevylučuje se ani možnost používání thoria (uran-thoriový cyklus).

To je také záměrem národního projektu TRANSMUTACE, kterého se účastní Ústav jaderného výzkumu Řež, a.s., Ústav jaderné fyziky AV ČR, Škoda JS, a.s. Plzeň a Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze.

4. Základní podmínky pro využití transmutačních technologií

První podmínkou je vyloučení nekontrolovatelného rozvoje štěpné řetězové reakce, která může v posledu vést u nevhodných typech reaktoru až ke katastrofě obdobné Černobylu v roce 1986.

Druhou podmínkou je vyloučit možnost zneužití jaderných materiálů a jaderných technologií k výrobě zbraní. Jedná se především o vysoce obohacený uran a izotop plutonia 239 resp. i 241. Vysoce obohacený uran není dostupný ani v klasických jaderných elektrárnách a stejně tak se s ním nepočítá ani v systémech ADS.

Třetí podmínkou je naprosto spolehlivé a konečné řešení problémů spojených s vyhořelým jaderným palivem. Je tedy zřejmé, že i v této (nebo dokonce právě v této) oblasti mohou mít transmutační technologie mimořádně významné uplatnění.

5. Závěr

Principy transmutačních technologií jsou známy, je však nutné dořešit zejména všechny hlavní problémy (neutronový zdroj, blanket, separaci), a to z fyzikálních, technologických, provozních, časových a bezpečnostních hledisek.

Realizace systémů ADS by měla do značné míry řešit zejména:

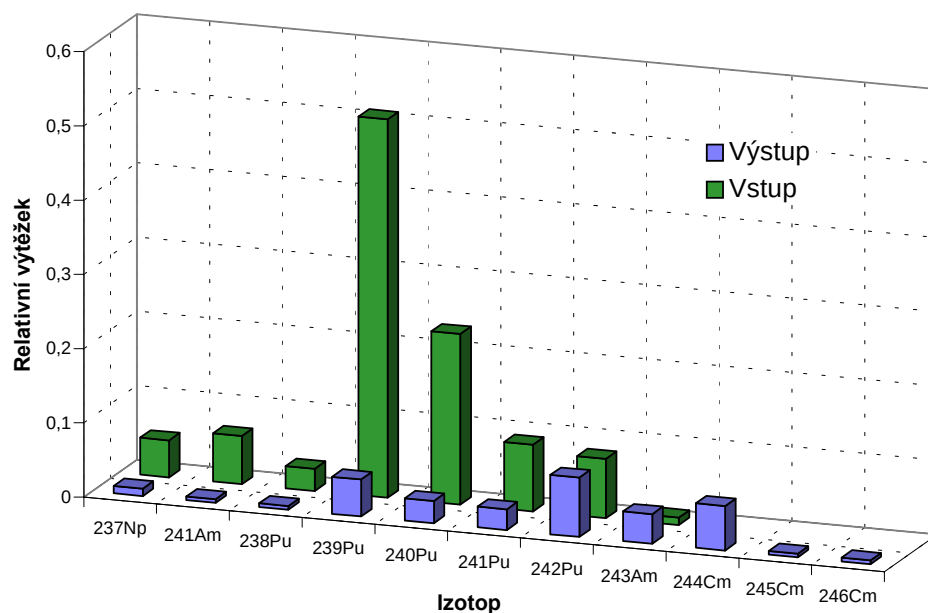
- přebytek plutonia, způsobený jednak demontáží jaderných hlavic a jednak velice malým podílem (zřejmě bez větší perspektivy) rychlých reaktorů,
- likvidaci, resp. výraznou redukci štěpných produktů a aktinidů ve vyhořelém jaderném palivu, zejména dlouhodobých,
- čistou výrobu energie pro budoucí pokolení.

Ačkoli byl v posledních letech dosažen zřetelný pokrok, a opuštěna řada neschůdných cest, tři hlavní oblasti (zdroj, blanket, separace) ve stadiu přímého průmyslového použití zdaleka nejsou. Použití systémů ADS nepovede k eliminaci hlubinných úložišť, je však velká naděje na jejich nižší kapacitu (velká redukce objemu) a výrazně kratší dobu jejich možného negativního vlivu na životní prostředí.

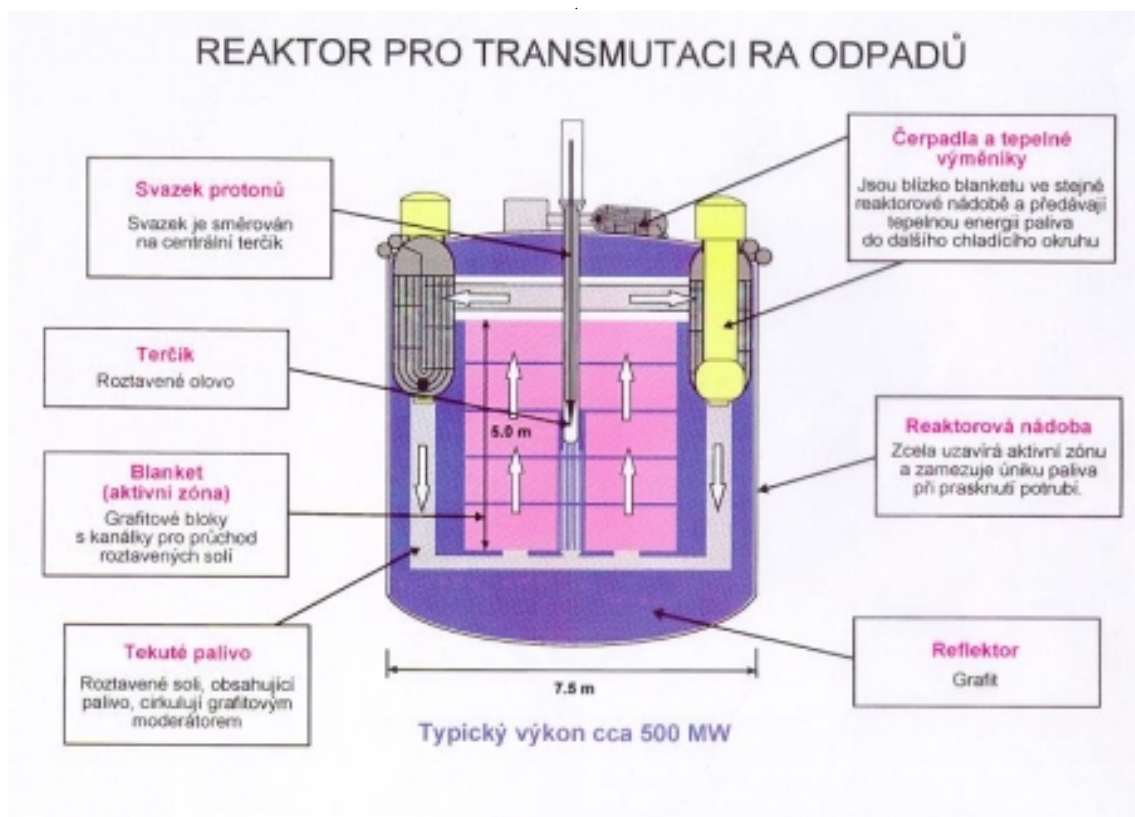
Systémy ADS se tedy nabízejí jako efektivní prostředek pro redukci objemu a radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva, což může významně přispět k širší akceptovatelnosti koncepce hlubinného ukládání. Urychlovačem řízené reaktory by měly také plnit tři základní podmínky akceptovatelnosti jaderné energetiky, viz výše. Uvedení projektů urychlovačem řízených systémů do praxe má velkou naději na produkci čisté, téměř bezodpadové energie. Myšlenky obsažené v návrzích těchto systémů se stávají duchem projektů dnešní jaderné fyziky.

6. Použitá literatura

- [1] Status and assessment report on actinide and fission product partitioning and transmutation, Final version of P&T document, (final draft), NEA/PTS/DOC(98)4, January 1999
- [2] MATĚJKA, K. a kol.: Vyhořelé jaderné palivo, FJFI ČVUT Praha, 1996
- [3] MATĚJKA, K. - ZEMAN, J.: Zhodnocení transmutačních technologií, ÚJV Řež, a.s. – FJFI ČVUT Praha, březen 1999
- [4] BÉM, P. a kol: Nové technologie pro jaderné spalování vyhořelého paliva z reaktorů typu VVER (podrobný návrh výzkumného projektu), ÚJV Řež, a.s., listopad 1998
- [5] BOWMAN, CH. D.: Once-trough thermal-spectrum accelerator-driven system for LWR waste destruction without reprocessing: Tier-1 description, report ADNA/98-04, august 25, 1998
- [6] UHLÍŘ, Jan.: Transmutace - fluoridová chemie, ÚJV Řež, a.s., prosinec 1998



Obr. 1 Srovnání izotopického složení aktinidů před a po transmutaci v systému ADS o výkonu 750 MW_t



Obr. 2

Fraktální geometrie

Vypracovali: Jiří Thoma

Jiří Pelc

Jitka Stokučová

Topologická a fraktální dimenze

Fraktální (Hausdorffova - Besicovitchova) dimenze D udává míru nepravidelnosti geometrického útvaru. Pro každý objekt platí vztah $D \geq D_T$, ale jako fraktály označujeme jen ty, jejichž $D > D_T$ (D_T je topologická dimenze). Hodnota D nám slouží k tomu, abychom přesně určili, jak je útvar rozměrově vzdálený od daného celočíselného rozměru (např. pro fraktální křivku, pro kterou platí $1 < D < 2$, určíme, do jaké míry se svým tvarem odlišuje od linie a od plochy).

Vztah hodnoty fraktální dimenze a nezávislosti tvaru fraktálu

na měřítku je

možné ověřit

měřením

délky objektu.

Vezmeme si

objekt s

celočíselnou

hodnotou D ($D = D_T$), např. úsečku, jejíž $D_T = 1$. Na obrázku

č.2 máme znázorněnou úsečku, jejíž délku budeme měřit.

Máme k dispozici čtyři různá měřítka. Čím menší měřítko

použijeme, tím více narůstá délka - zpřesňujeme naměřenou

hodnotu. Výsledná délka směřuje k nějaké limitní hodnotě.



Měření délky úsečky pomocí měřítek o různých velikostech

Tuto vlastnost fraktály nemají. Při zjemňování měřítka nedochází ke zpřesňování hodnoty, ale tato hodnota stále narůstá.

Richardsonův efekt -příklad - měření délky pobřeží. Měříme-li pomocí velkého měřítka, spousta detailů nepravidelného útvaru nám uniká, zmenšujeme-li měřítko, stále více detailů zohledňujeme. V důsledku toho měřená délka stále narůstá. Závislost měřené délky na velikosti měřítka je u fraktálů dána empirickým vztahem:

$$L(\varepsilon) \approx \frac{\textit{konst.}}{\varepsilon^{D-1}},$$

kde L je naměřená délka objektu, ε je velikost měřítka a D je fraktální dimenze. Rovnici převedeme na výraz

$$L(\varepsilon) \sim \varepsilon^{1-D}$$

Platnost tohoto vztahu můžeme ověřit na příkladu jednoho z nejjednodušších fraktálů - Kochovy křivky

pro celkovou délku platí:

$$L = 3 \left(\frac{4}{3} \right)^p = \frac{3}{\left[(1/3)^p \right]^{D-1}}$$

Položíme např. $p = 1 \Rightarrow 4/3 = (1/3)^{1-D}$. Po zlogaritmování a úpravě můžeme vypočítat fraktální dimenzi:

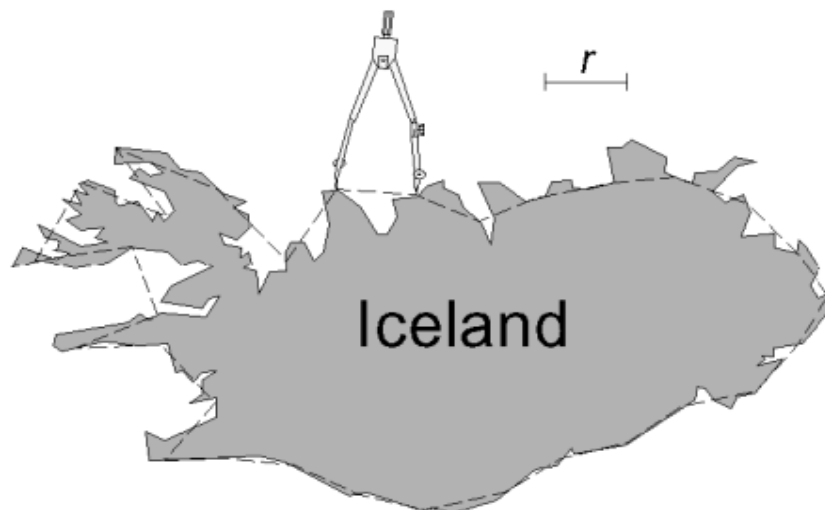
$$D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1,2618...$$

Při každé transformaci se délka opět mění na $1/3$ své původní hodnoty a počet samopodobných prvků $N = 4$. Proto $D = \log 4 / \log(1/(1/3)) = \log 4 / \log 3$.

Výpočet fraktální dimenze přírodních struktur

Obvodová metoda (compass dimension)

Tato metoda spočívá v měření obvodu nepravidelného útvaru pomocí různých měřítek.



Měření obvodu nepravidelného útvaru. Jako r označujeme velikost použitého měřítka.

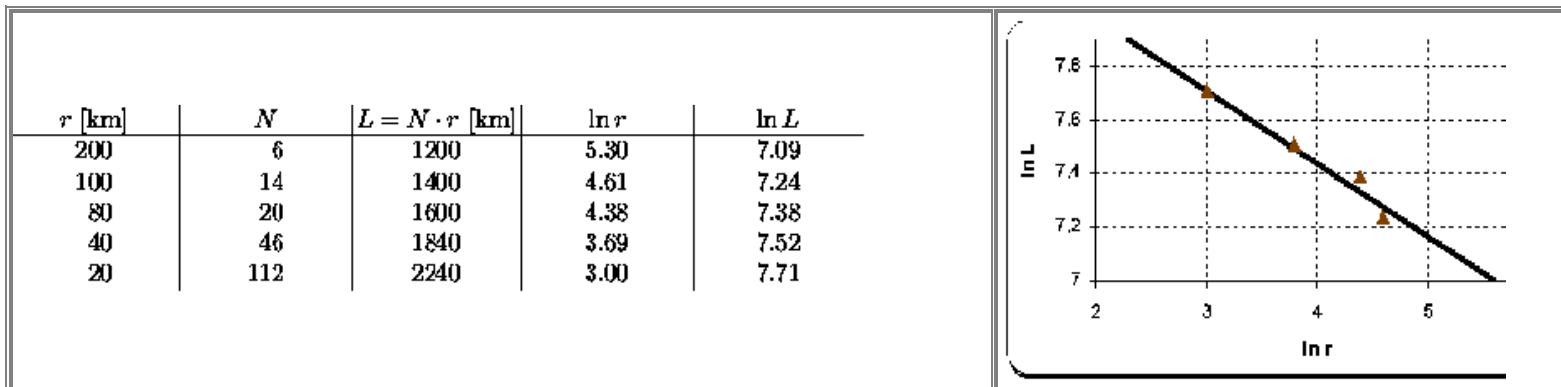
Pro naměřenou délku platí vztah

$$L_{(r)} = N_{(r)} \cdot r$$

Obvod změříme pomocí několika různých měřítek Pro další postup využijeme platnost vztahu

$$D = \frac{\log N}{\log(1/r)}$$

kde $\log N$ označujeme jako faktor změny délky a $\log(1/r)$ jako faktor změny měřítka. Hodnotu výrazu snadno odhadneme, vyneseme-li do grafu závislost logaritmu velikosti měřítka na logaritmu naměřené hodnoty obvodu - jedná se o tzv. Mandelbrotův- Richardsonův graf



Obr.10: Stanovení dimenze měřením obvodu (podle [Krafta a Kauera, 1995](#)).

Existují i další metody odhadu fraktální dimenze, které jsou založeny např. na zjišťování intenzity zbarvení jednotlivých částí černobílých i barevných fraktálních útvarů, např. tzv. dvojrozměrná variační metoda nebo metoda analýzy povrchu fraktálu (např. in [Kraft&Kauer 1995](#)).

Definice pojmu fraktál:

Jestliže víme, co je to *topologická dimenze* a *Hausdorffova dimenze*, můžeme zde uvést definici fraktálu tak, jak ji formuloval matematik Benoit B. Mandelbrot:

Fraktál je množina, jejíž Hausdorffova dimenze je větší než dimenze topologická.

Tato definice fraktálu je sice jednoduchá a přesná, ale vylučuje některé objekty, které také považujeme za fraktály. Proto je zde uvedena obecnější definice fraktálu:

Fraktál je geometrický útvar, který lze rozdělit na části, přičemž tyto části jsou (alespoň přibližně) zmenšené kopie celého útvaru. Fraktál je soběpodobný a nezávislý na měřítku.

Použitá literatura:

- Barnsley M.F, Fractals everywhere, 1993 2nd edition, Academic Press, San Diego
- Mandelbrot B. B., The Fractal Geometry of Nature, 1982, W. H. Freeman & Co., San Francisco
- Kůrková Věra, Fraktální geometrie, 1989, Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, č.5, str. 267-277.
- Kůrková Věra, Mandelbrotova fraktální geometrie, 1988, Vesmír 8, str. 458-464
- Falconer, Kenneth, Fractal geometry : Mathematical foundations and applications , Chichester : Wiley, 1999
- Internet: <http://egg.baf.cz/fractals.html>,
<http://www.elektrorevue.cz/clanky/01022/01.htm.iso-8859-1>,

NEWTON JINAK

VLNOVÁ OPTIKA – NEWTONOVA SKLA

Autoři: Romana Žďárská
Kateřina Štyndlová



Issac Newton
(1642-1727)

Narodil se 25. prosince 1642 na farmě poblíž Grathamu v Anglii. Jeho otec zemřel dva měsíce před jeho narozením a jeho matka se v roce 1645 znovu vdala, přestěhovala se do domu svého muže a zanechala malého chlapce v péči jeho babičky. Newton byl zpočátku jen průměrným školákem, ale potom, co vyhrál zápas nad jiným chlapcem, se změnil a stal se nejlepším studentem.

Když mu bylo 14 let jeho matka opět ovdověla a vrátila se do svého původního domova. Chlapce vzala ze školy, aby pomáhal na farmě.

Newton byl na farmě duchem nepřítomný, raději přemýšlel o matematice. V 1660 jeho strýc zařídil, aby nastoupil zpět do školy a připravoval se na zkoušku na univerzitní kolej Trinity College v Cambrigi.

Trinity College Newton absolvoval v r. 1665 a v r. 1667 byl zvolen členem správní rady této univerzitní koleje. Mezi těmito dvěma daty došlo k epidemii moru, univerzita byla zavřena a Newton strávil 18 měsíců doma. Během této doby rozpracoval četné z mnoha konceptů, které později vedly k jeho slavným objevům v matematice a fyzice.

Newton sám později pravil: „*Byl jsem v nejlepší věku pro vynalézání a věnoval jsem se matematice a filozofii (přírodovědě) než kdykoli potom.*“

Výsledkem jeho exilu z univerzity bylo několik důležitých objevů v matematice včetně diferenciálního a integrálního počtu.

Newton také objevil, že bílé světlo procházející skleněným hranolem se rozkládá na duhu. Newton ji nazval spektrum barev, které lze znova složit na bílé světlo tím, že prochází druhým skleněným hranolem. Nejrevolučnější však byl jeho objev, že Měsíc je udržován na své oběžné dráze silou vycházející ze Země.

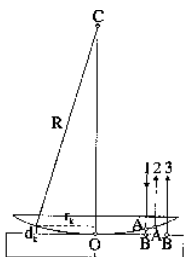
Newton tuto sílu, která byla dříve pokládána za magnetickou, pojmenoval známým slovem gravitace (přitažlivost).



Newtonova skla

Jsou jednoduché zařízení, které umožňuje nejen pozorovat interferenci v odraženém i proslém světle, ale lze jimi i měřit vlnovou délku světla. Newtonova skla jsou tvořena planoparalelní deskou, k níž je přiložena ploskovypuklá čočka. Kulová plocha má velký poloměr křivosti. V okolí místa dotyku čočky s deskou vzniká tenká vzduchová vrstva proměnné tloušťky.

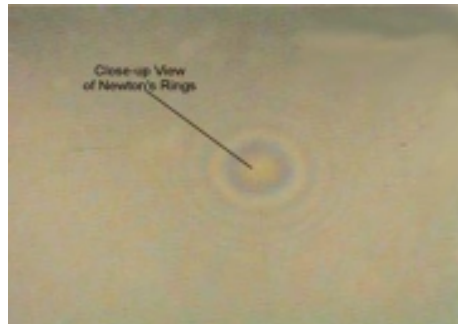
Interferenční obrazec nazýváme Newtonovy kroužky.



Dopadají-li na Newtonova skla monofrekvenční světlo (1), část se odráží v bodě A (2) a část v bodě B (3). Odražená vlnění (2 a 3) jsou koherentní a dochází k interferenci v odraženém světle, která se projeví vznikem tmavých a světlých soustředných kroužků. Při dopadu bílého světla jsou kroužky duhově zabarvené

Použití:

Pomocí Newtonových kroužků se kontroluje opracování rovinných a kulových ploch. K tomu slouží přesně vyrobené rovinné nebo kulové kalibry a z rozložení Newtonových kroužků, které vznikají po přiložení kalibru ke kontrolované ploše, lze vyhodnotit odchylku opracované plochy od kulové plochy kalibru.



Příklad Newtonových kroužků

Co je interference světla?

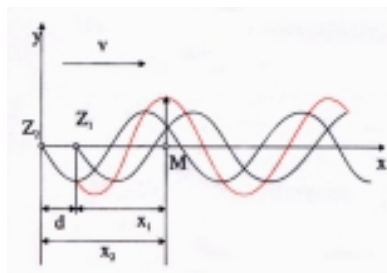
Interference světla = skládání světla

Interference světla dokazuje jeho vlnové vlastnosti. Podstata interference světla (vlnění) je stejná jako u mechanického vlnění. Ukážeme si ji na mechanickém vlnění.

Interference vlnění

Dospěje-li do určitého místa více mechanických vlnění, dochází ke skládání – interferenci vlnění. Body prostředí kmitají s okamžitými výchylkami, které jsou výsledkem skládání (superpozice) více kmitavých pohybů.

Ukážeme si to na dvou vlnění se stejnou amplitudou výchylky, fází a šíří se stejným směrem se stejnou fázovou rychlostí.



Okamžitá výchylka bodu A:

$y = y_1 + y_2$, kde

$$y_1 = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right), \quad y_2 = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right).$$

Fázový rozdíl interferujících vlnění

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = 2\pi \frac{d}{\lambda}.$$

Rozdíl $d = |x_2 - x_1|$ je dráhový rozdíl vlnění. Je zřejmé, že $\Delta\varphi \approx d$. Rovnici $y = y_1 + y_2$ lze upravit

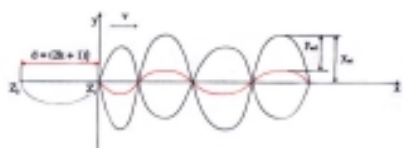
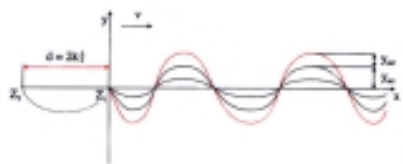
$$\text{na tvar } y = 2y_m \cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1 + x_2}{\lambda} \right).$$

$Y_m = 2y_m \cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda}$ je výsledná amplituda výchylky bodu A.

Je-li $\left| \cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right| = 1$, pak $Y_m = 2y_m$ – vlnění se interferencí zesílí (*interferenční maximum*).

Zesílení nastane v případě, že $\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = k\lambda$; $k = 0, 1, 2, \dots$ – vlnění se v bodě A setkávají ve fázi. Podmínka pro interferenční

maximum: $d = k \cdot \lambda = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$.

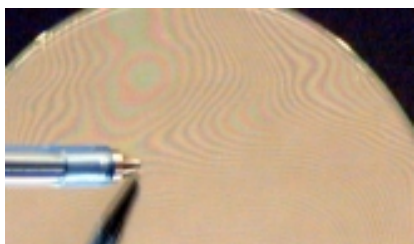


Je-li $\cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = 0$, pak $Y_m = 0$ – interferenční minimum (při nestejných y_{m1} , y_{m2} , je $Y_m = y_{m1} - y_{m2}$). Vlnění se setkávají s opačnou fází. Podmínka pro *interferenční minimum*: $d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Interferenci se dvě stejná vlnění zesilují v místech, kde se setkávají se stejnou fází. V místech, kde se setkávají s opačnou fází, nastává zeslabení vlnění.

Využití interference:

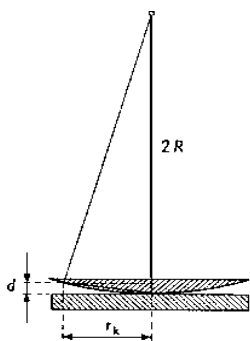
Interference světla našla široké uplatnění v praxi, např. při kontrole opracování rovinných a kulových ploch, při vytváření protiodrazových (antireflexních) vrstev na objektivách optických přístrojů a jinde. Na interferenci je založeno přesné měření vzdáleností, popř. indexu lomu optických prostředí přístrojem zvaným interferometr. Jako zdroj koherentního světla se při interferometrických měřeních používá laser. Na interferenci vysoce koherentního světla laserů je založena holografie.



Interference na tenké vrstvě

Jestliže světlo dopadá na tenkou vrstvu látky o indexu lomu n , omezenou dvěma rovnoběžnými rovinami ve vzájemné vzdálenosti d a umístěné ve vzduchu, odráží se na horní a dolní rovině. Při kolmém dopadu ($\alpha=0$) vzniká optický dráhový rozdíl $\Delta l = 2nd$. Poněvadž na horní rovině nastává při odrazu změna fáze světelných vlnění v opačnou, kdežto při odrazu na dolní rovině se fáze nemění, je $\Delta l = 2nd + 1/2 \cdot \lambda$. Pro vznik interferenčního maxima platí podmínka $2nd = (2k - 1)\lambda/2$, kde $k = 1, 2, 3, \dots$. Podmínka vzniku interferenčního maxima závisí na vlnové délce světla. V případě, že na tenkou vrstvu dopadá bílé světlo, pak se podle tloušťky vrstvy zesiluje světlo určité vlnové délky a vrstva se v odraženém světle jeví zbarvená. Tím se vysvětluje zbarvení např. tenkých mýdlových bublin, olejových skvrn na mokré vozovce apod..

Měření vlnové délky pomocí Newtonových skel



Newtonova skla tvoří planoparalelní deska, k níž je přiložena ploskovypuklá čočka o velkém poloměru křivosti. Mezi čočkou a deskou vzniká klínová vrstva vzduchu a při dopadu svazku rovnoběžných paprsků monofrekvenčního světla dochází k interferenci odraženého světla od obou rozhraní klínové vrstvy. To má za následek vznik interferenčního obrazce v podobě soustavy tmavých a světlých kroužků.

Poloměr r_k světlého proužku, který vzniká v místě interferenčního maxima (k je pořadové číslo kroužku), souvisí s tloušťkou d vzduchové vrstvy vztahem $r_k^2 = d(2R - d)$, kde R je poloměr křivosti optické plochy

ploskovypuklé čočky. Poněvadž $d \ll 2R$, platí $r_k^2 = 2Rd$. Interferenční maximum nastane, když je dráhový rozdíl odražených paprsků $k\lambda$. Musíme si však uvědomit, že při odrazu na skleněné desce se fáze odraženého vlnění mění v opačnou. Dráhový rozdíl je tedy třeba zvětšit o $\lambda/2$, takže platí $2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ a odtud plyne vztah $2d = k\lambda - \frac{\lambda}{2} = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}$. Tento vztah platí pro vzduchovou vrstvu ($n = 1$) a kolmý dopad světla na Newtonovy skla. Po dosazení do vztahu pro r_k a úpravě dostaneme pro vlnovou délku vztah $\lambda = \frac{2r_k^2}{(2k - 1)R}$. Při měření vlnové délky pomocí Newtonových skel nelze určit střed kroužků s dostatečnou přesností. Proto měříme průměry D kroužků ($D_k = 2r_k$).

Vlnovou délku pak vypočítáme podle vztahu $\lambda = \frac{D_k^2}{(2k-1)2R}$. Uvedený vztah může sloužit k určení

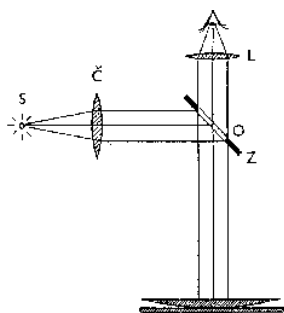
vlnové délky světla při známém poloměru křivosti vypuklé čočky, pokud se vrchol plochy dotýká skleněné desky. Často však čočka vlivem např. prachových částic nedosedne na desku a může vzniknout chyba v určení hodnoty K pro daný Newtonův kroužek. Proto je vhodnější změřit průměry dvou různých kroužků. Pro k -tý kroužek o průměru D_k a n -tý proužek o poloměru D_n platí:

$$(2k-1)\lambda = \frac{D_k^2}{2R}; (2n-1)\lambda = \frac{D_n^2}{2R}. \text{ Úpravou těchto rovnic dostaneme vztah pro výpočet vlnové délky}$$

$$\text{světla: } \lambda = \frac{D_k^2 - D_n^2}{4(k-n)R}.$$

Pomůcky k pokusu:

Newtonova skla, zdroj bílého světla, skleněná deska (rovinné zrcadlo), lupa, čočka na stojanu, průhledné pravítko s milimetrovým dělením



Postup pokusu:

Sestavíme měřicí zařízení. Newtonova skla, u nich známe poloměr křivosti, položíme na černou podložku (papír) a nad nimi umístíme skleněnou desku nastavenou pod úhlem 45° k dopadajícímu světlu. Skleněná deska odráží světlo do směru kolmého na Newtonova skla a současně umožňuje shora pozorovat interferenční obrazec. Rovnoběžný svazek paprsků vytvoříme pomocí čočky (Č-viz obr.). Další čočku ve funkci lupy umístíme nad odrazovou desku, popř. nad otvor v zrcadle. Pomocí této čočky prohlédneme Newtonovy kroužky a průměr kroužků změříme pravítkem. Jeho měřítko umístíme tak, aby procházelo středem kroužků. Při měření odečítáme polohu k -tého kroužku určité barvy

vlevo a vpravo od středu. Z rozdílu těchto poloh určíme průměr kroužku. Měření opakujeme pro kroužky s jinými (n -tými) pořadovými čísly.

{Newtonovy kroužky jsou výraznější, jestliže zdroj bílého světla opatříme barevným filtrem nebo když k měření použijeme sodíkovou výbojku. Poněvadž vlnová délka světla sodíkové výbojky je známé (589nm), můžeme měření pomocí sodíkové výbojky použít pro určení poloměru křivosti ploskovypuklé čočky Newtonových skel.}

Newtonovy kroužky, když Newtonovými skly prochází bílé světlo



Newtonovy kroužky, když Newtonovými skly prochází monofrekvenční světlo



Nám se bohužel pokus nepodařilo zrealizovat.

Použitá literatura:

Fyzika pro gymnázia – optika, doc. RNDr. Oldřich Lepil CSc., RNDr. Zdeněk Kupka Csc.

Fyzika v kostce, Vladimír Lank, Miroslav Vondra

Internet

Úvod do Chaotiky

Michal Nevrkla, Jiří Michalík, Peter Pida

Chaos původ nemá, u Hesioda se říká prostě, že "nejdříve ze všeho byl Chaos". Řád je teprve tvůrčím činem, vzniká. Podobně předřecký pelagický mýtus hovoří o Chaosu, z něhož povstala Eurynomé, bohyně všech věcí. Chaos je symbolizován (nebo konkretizován) tmou, nocí, vodou, prázdnotou nebo zející propastí (to je i význam slova chaos) či amorfním stavem látky v kosmickém pravejci, drakem nebo vodní příšerou. Proměna chaosu v kosmos je vyjadřována obvykle přechodem od vody k souši, ze tmy do světla, od amorfnosti k tvaru, ke struktuře, tj. od primární jednoty (či jednoduchosti) k diferenciaci, složitosti. Chaos však aktem stvoření není zrušen, částečně je proměněn ve strukturu, částečně je stále přítomný jako pozadí a neustálá hrozba a konečně je vytlačen jaksí na okraj.

Svět popsaný jednoduchými zákony ještě nemusí být jednoduchý. Tento fenomén - když z jednoduchých rovnic dostáváme složité výsledky - se nazývá chaos. Teorie chaosu tedy *není teorií o nepořádku*. Nepopírá determinismus, netvrdí, že uspořádané systémy jsou nereálné. Neznevažuje vědecké experimenty ani neříká, že modelování složitých soustav je k ničemu.

Myšlenka chaosu se opírá o následující tvrzení:

1. Malé změny v systému mohou způsobit velké fluktuace.
2. Nelze přesně určit stav nějakého systému (polohy a rychlosti jednotlivých atomů ap.)
3. Naopak je jednoduché popsat chování systému jako celku.

Chaos, to je stav, kdy nepatrný zásah do systému se exponenciálně s časem zvětšuje. Například při vzniku blesku, který má typicky fraktální tvar (rozvětvení), chaos hraje podstatnou roli: Vysokým napětím se poruší pevnost vzduchu v blízkosti mraku a na okraji mraku vznikají krátké výboje. Krátký výboj se ovšem elektricky chová jako kousek drátu a na konci tohoto výboje vznikají další. Nepatrná nehomogenita vzduchu kolem mraku rozhoduje o tom, zda blesk praští do vašeho domu nebo do vedlejšího.

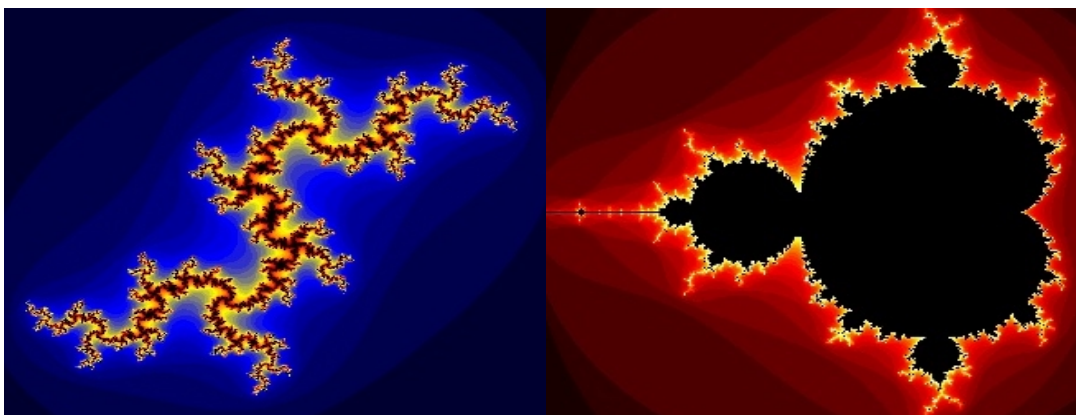
Fraktály

Slovo fraktál vzniklo z latiny. Znamená zlomený, rozlámaný nebo zlomek. Fraktál je geometrický útvar, jehož části vypadají stejně jako útvar samotný. S tímto etymologickým původem dobře ladí i fakt, že fraktály mají dimenzi vyjádřenou často nějakým zlomkem, obecně neceločíslnou. Nejedná se ale o obyčejnou dimenzi, nýbrž o tzv. Hausdorfovu.

Veškeré geometrické úvahy lidstva se až do konce 19. století odehrávaly čistě nefraktálně. Vyskytly-li se nějaké ojedinělé výkřiky v této době, nedochovaly se a jejich původce měl docela dobrou šanci, že bude označen za psychopata.

Jedním z prvních fraktálů, které se objevily, byla Kochová vložka a Cantorovo diskontinuum. Tyto objekty byly nejdříve označovány za matematická monstra kazící matematiku bez rozumného použití. Dnes víme, že tyto dva objekty nastartovaly éru převratu v geometrii, a že záporné emoce na adresu prvních fraktálů byly jen jedním z mnoha omylů vědeckého světa, způsobených instinktivní nechutí vědců k čemukoliv novému.

Je s podivem, jaké ignoranci ze strany vědců se až do 20. století příroda těšila. Téměř všechny v přírodě se vyskytující jevy a věci fraktální popis přímo vyžadují. Nalezl-li někdo na zemi kámen, prostředky klasické geometrie o něm mohl pouze prohlásit, že je nepravidelný a že neobsahuje žádnou informaci. Fraktální geometrie nám naopak umožní určit, jakou má jeho povrch Hausdorfovou dimenzi, tedy jakousi členitost, a tento údaj nám může dát určitou informaci. Názor, že existují na světě věci, které neobsahují informaci, je mylný. Nejznámější fraktál snad vůbec je Mandelbrot. Nese jméno zakladatele fraktální geometrie, který se zabýval ze začátku studiem pohybů cen na burse a studiem časového rozložení šumu na komunikačních linkách. Oba tyto jevy vykazovaly chaotický charakter a teorie chaosu se používá pro jejich popis.



Juliova množina

Mandelbrotova množina

Doporučená literatura

- [1] **James Gleick: Chaos** (Ando 1996, recenze např. v časopise Živel č.6)
- [2] **Coveney, Highfield: Šíp času** (Oldag 1995, recenze např. Živel č.5)
- [3] **Horák, Krlín: Deterministický chaos a matematické modely turbulence** (Academia 1996)
- [4] **Marek, Schreiber: Stochastické chování deterministických systémů** (Academia 1984)
- [5] **Coveney, Highfield: Frontiers of Complexity** (The search for order in a chaotic world) (Faber and Faber 1995)

Sto let kvantové fyziky

Jan Zatloukal

K největším vědeckým úspěchům 20. století bezesporu patří speciální a obecná teorie relativity, kvantová mechanika, teorie Velkého třesku vzniku vesmíru, rozluštění genetického kódu, evoluční biologie a řada dalších objevů a technických vynálezů. Kvantová fyzika ale mezi všemi vědeckými objevy zaujímá poněkud zvláštní postavení.

Kvantová fyzika donutila fyziky radikálním způsobem změnit představy o fyzikální realitě a jevech na její nejhlubší úrovni. Změnila klasický koncept polohy, rychlosti, energie a dalších fyzikálních veličin a zavedla do popisu jistých fyzikálních jevů neurčitost a pravděpodobnost.

Ačkoliv kvantová mechanika vznikla jako nástroj pro popis abstraktního světa atomů vzdáleného každodenní zkušenosti, její dopad na naše životy neustále roste. Bez kvantové mechaniky by zřejmě nedošlo k ohromnému rozvoji chemie, biologie a medicíny. Bez kvantové mechaniky by neexistovala globální ekonomie, která využívá výsledků revoluce v elektronice a ve výpočetní technice. Vznik kvantové mechaniky od základů změnil náš svět se všemi přínosy a riziky vědecké revoluce.

Na rozdíl od obecné teorie relativity, která brilantním způsobem vysvětlila spojení gravitace a geometrie prostoročasu, nebo na rozdíl od rozluštění genetického kódu, které odhalilo zcela nový svět v biologii, kvantová mechanika se rodila obtížně. Byla vytvořena malou skupinou fyziků v záblesku jejich génia, který se čas od času v historii lidstva objevuje.

Po dvaceti letech od prvních kvantových představ, které byly natolik rozporné, že představovaly jen malý základ dalšího pokroku, ti mladí fyzikové vytvořili kvantovou mechaniku během tří bouřlivých let. Jedinečnost kvantové teorie spočívá v tom, že se stala nejpřesněji testovanou a dosud neúspěšnější teorií v historii vědy. Na druhé straně již její někteří tvůrci byli nespokojeni s jejími základy a interpretací, ačkoliv mnohokrát prokázala svoji vysokou vypovídací schopnost.

V roce 2000 uplynulo sto let od okamžiku, kdy **Max Planck** vytvořil koncept kvanta. Ve svém článku o tepelném záření Planck vyslovil hypotézu, že se celková energie vibrujícího systému nemůže měnit spojitě. Naopak, energie se může měnit pouze v diskretních krocích, v kvantech energie. Představa kvanta energie byla tak radikální, že Planck již svoji hypotézu dále nerozvíjel. V roce 1905 **Albert Einstein** použil tuto hypotézu na kvantování světla. Tato hypotéza byla pro ostatní fyziky natolik bizarní, že v následujících dvaceti letech nebyla rozvíjena. Teprve mladá generace fyziků na jejím základě vytvořila moderní kvantovou teorii. Abychom pochopili naprosto revoluční dopad kvantové fyziky, musíme se vrátit do období před jejím vznikem.

V letech 1890 až 1900 byly časopisy fyziky plné článků o spektrech atomů a ostatních měřitelných vlastnostech hmoty, jako je viskozita, elektrická a tepelná vodivost, index lomu a index termoeelastivity. Poháněno pracovní etikou viktoriánské doby a rozvojem jednoduchých experimentálních metod vědecké poznání narůstalo neuvěřitelným způsobem. Co však pro dnešního fyzika může být nepochopitelné je skutečnost, že veškerý popis vlastností hmoty byl čistě empirický. Tisíce článků o spektrech atomů obsahovalo přesné hodnoty vlnových délek spektrálních čar různých chemických prvků. Nikdo se ale nepokoušel zdůvodnit, proč se právě takové spektrální čáry objevují. Tepelná a elektrická vodivost byly interpretovány modely, které souhlasily jen asi s polovinou pozorovaných faktů. Existovala celá řada empirických zákonů, které však nebyly teoreticky uspokojivé. Například zákon Dulongův a Petitův definoval jednoduchý vztah mezi specifickým teplem a atomovou hmotou materiálu. Většinou fungoval, ale čas od času nepochopitelně selhával. Hmotnosti stejných objemů plynů byly násobky celých čísel - většinou. Mendělejevova periodická tabulka prvků sice poskytovala klíčový organizační princip chemie, ale neměla žádné teoretické zdůvodnění.

Kvantová mechanika jako první poskytla kvantitativní teorii hmoty. Dnes detailně rozumíme strukturu atomu a periodická tabulka má jednoduché a přirozené vysvětlení. Ohromné množství spektrálních dat zapadá do elegantního teoretického rámce. Kvantová teorie umožnila kvantitativní popis molekul, pevných látek a kapalin, vodičů a polovodičů. Vysvětluje takové jevy jako jsou supravodivost a supratekutost, exotické formy hmoty jako jsou neutronové hvězdy nebo Boseovy-Einsteinovy kondenzáty, v nichž se všechny atomy plynu chovají jako jediný "supervelký" atom. Konečně se kvantová mechanika stala základním nástrojem všech ostatních věd a pokročilé technologie.

Dnešní kvantová fyzika pokrývá dvě rozsáhlé oblasti. První je teorie hmoty na atomové úrovni, tedy kvantová mechanika. Druhá je kvantová teorie pole, která hraje zcela odlišnou roli ve fyzice než kvantová mechanika.

Kvantová mechanika

Podněty ke vzniku kvantové mechaniky nepocházely ze studia hmoty, ale z problému záření, konkrétně z problému, jak vysvětlit spektrum záření emitovaného horkými tělesy - záření absolutně černého tělesa. Čím je těleso teplejší, tím kratší vlnové délky má emitované záření. S rostoucí teplotou těleso září nejprve infračerveně, pak červeně a při velmi vysokých teplotách modře. Všechny snahy vysvětlit tento jev pomocí termodynamiky a teorie elektromagnetického pole byly neúspěšné. Za předpokladu, že energie vibrujících elektronů vyzařujících světlo je kvantována, Max Planck získal výraz, který souhlasil s experimenty. Jak později uvedl, svoji teorii zpočátku považoval za fyzikálně absurdní.

Max Planck použil svoji kvantovou hypotézu na energii vibrací ve stěnách zářícího tělesa. Kvantová fyzika zde mohla svůj vývoj ukončit, pokud by v roce 1905 mladý **Albert Einstein** nedošel k závěru, že pokud je vibrační energie kvantována, pak energie elektromagnetického pole, tedy světla, musí být také kvantována. Einstein postuloval, že světlo je tvořeno částicemi v rozporu s Maxwellovou teorií elektromagnetického pole, již potvrzovaly mimo jiné experimenty, které prokázaly vlnovou povahu světla. Albert Einstein ale vysvětlil do té doby záhadný fotoelektrický jev teorií, že energie musí být absorbovat po kvantech a světlo proto musí mít také částicovou povahu. Duální povaha světla, tedy vlnová a částicová, závisí na tom, co chceme pozorovat. Tato dualita zůstala teoretickou hádankou na dalších dvacet let.

Záhadná dualita světla a problém záření byly prvním krokem na cestě ke kvantové teorii. Druhým krokem byla záhada hmoty. V té době již bylo známo, že atomy jsou tvořeny kladně a záporně nabitými částicemi. Podle teorie elektromagnetického pole by elektron měl rotovat kolem jádra atomu po spirále a kvůli změnám hybnosti vyzařovat světlo různých vlnových délek až do okamžiku, kdy dopadne na jádro. V roce 1913 přišel mladý **Niels Bohr** s radikální hypotézou, podle níž elektrony v atomu existují pouze v určitých stabilních stavech a existuje určitý základní stav. Elektrony mohou svoji energii měnit ve skocích mezi stabilními stavy emisí nebo absorpcí světla, jehož vlnová délka závisí na rozdílu energií těchto stavů. Niels Bohr svoji hypotézu vysvětlil problém stability atomu a poskytl kvantitativní popis spektra atomu vodíku. Přes svůj úspěch se netajil závažnými nedostatky svého modelu. Jeho vize se brzy naplnila později nástupem nové generace mladých fyziků.

Zpočátku snahy rozšířit Bohrovu kvantovou představu, tzv. starou kvantovou teorii, narážely na nepřekonatelé problémy. Pak ale další vývoj od základů změnil způsob myšlení. V roce 1923 Louis de Broglie ve své doktorské práci navrhl, že částicové chování světla má svůj protějšek ve vlnovém chování částic. Navrhl vztah mezi vlnovou délkou a hybností částice. Čím větší je

hybnost částice, tím kratší je její vlnová délka. Tato myšlenka byla úchvatná, ale nikdo nevěděl, jaký význam může mít vlnová podstata částic a jakou souvislost má se strukturou atomu. Přesto se de Broglieova hypotéza brzy stala důležitým mezníkem dalších událostí.

V zimě roku 1924 **Setyendrach N. Bose** navrhl naprosto novou myšlenku, jak vysvětlit Planckův zákon záření absolutně černého tělesa. Světlo považoval za plyn nehmotných částic (fotonů), které se nepodřizují Boltzmannovu statistickému rozdělení, ale podřizují se rozdělení založenému na jejich nerozlišitelnosti. Albert Einstein záhy použil Boseovu myšlenku na reálné plyny hmotných částic a získal nový zákon, který je dnes znám jako Boseovo-Einsteinovo rozdělení, popisující rozdělení energie mezi částicemi v plynu. Za normálních okolností nová a stará teorie vedly ke stejnému chování atomů v plynu. Albert Einstein se dále o problém nezajímal a více než deset let na jeho výsledek nikdo nenavázal. Klíčová myšlenka nerozlišitelnosti částic se ale brzy stala velice důležitá.

V krátkém období od ledna 1925 do ledna 1928 došlo k celé řadě událostí, které vyústily ve vědeckou revoluci.

Wolfgang Pauli navrhl vylučovací princip pro elektrony v atomu, který se stal teoretickým základem periodické tabulky chemických prvků. Podle tohoto principu v atomu nemohou existovat dva elektrony ve stejném kvantovém stavu. Proto elektrony musí zaujímat v atomu různé stavy, které jsou charakterizovány několika kvantovými čísly elektronu.

Werner Heisenberg společně s **Maxem Bornem** a **Pascuaelem Jordanem** vyvinul maticovou mechaniku jako první verzi kvantové mechaniky. Bylo dosaženo historického mezníku, kdy díky popisu chování elektronů v atomu vznikla systematická teoretická metoda pro vysvětlení pozorovaných spektrálních čar atomů.

Erwin Schrödinger vyvinul vlnovou mechaniku jako druhou verzi kvantové mechaniky. Stav systému popsal vlnovou funkcí, která je řešením Schrödingerovy vlnové rovnice. Bylo dokázáno, že zdánlivě nekompatibilní maticová mechanika a vlnová mechanika jsou zcela ekvivalentní.

Všechny elektrony se podřizují Fermiho-Diracovu statistickému rozdělení. Záhy bylo ukázáno, že všechny částice se podřizují buď Fermiho-Diracové statistice (fermiony) nebo Boseově-Einsteinově statistice (bosony). Tyto dvě třídy částic mají fundamentálně odlišné vlastnosti.

Werner Heisenberg vyslovil svůj princip neurčitosti, podle něhož nelze určit polohu a hybnost částice se stejnou přesností. Čím přesněji určíme polohu částice, tím nepřesněji určíme její hybnost a naopak.

Paul A.M. Dirac vytvořil relativistickou vlnovou rovnici elektronu, pomocí níž vysvětlil spin elektronu a předpověděl antičástici elektronu - pozitron.

Paul A.M. Dirac dále položil základy kvantové teorie pole jako kvantový popis elektromagnetického pole.

Niels Bohr vyslovil princip komplementarity, filozofický princip, který pomohl vyřešit zdánlivé paradoxy kvantové teorie jako vlnově-částicovou dualitu.

Hlavní tvůrci kvantové teorie byli velmi mladí. V roce 1925 měl **Wolfgang Pauli** 25 let, **Werner Heisenberg** 24 let, **Paul Dirac** 23 let, **Pascual Jordan** 23 let, **Enrico Fermi** 24 let a **Erwin Schrödinger** měl 36 let. Starší než Schrödinger byli jen **Max Born** a **Niels Bohr**, jejichž názory byly velmi respektovány. Radikální podstata těchto intelektuálních výsledků vyvolala odpor Alberta Einsteina. Přestože Einstein poskytl klíčové myšlenky ke vzniku kvantové teorie, sám ji odmítl. Jeho práce o Boseově-Einsteinově statistice byla posledním příspěvkem k mladé kvantové mechanice a jeho posledním velkým příspěvkem ve fyzice. Proč vznik kvantové mechaniky vyžadoval novou generaci fyziků může být překvapením. Dobře to však vysvětlil Lord Kelvin, který ve svém dopise blahopřál Bohrovi za jeho článek o atomu vodíku. Kelvin napsal, že sice Bohr má pravdu, ale on už ji nedokáže přijmout a plně pochopit. Kelvin dále uvedl, že radikálně nová fyzika bude vyžadovat ničím nezatíženou mysl.

V roce 1928 revoluce byla završena a základy kvantové mechaniky byly prakticky kompletní. Její vývoj provázely někdy komické příběhy. Například v roce 1925 koncept spinu elektronu navrhli **Samuel Goudsmit** a **George Uhlenbeck**. Niels Bohr byl ale hluboce skeptický. V prosinci 1925 cestoval do Leidenu, kde se zúčastnil oslavy jubilea doktorátu Hendrika A. Lorentze. Wolfgang Pauli se s ním setkal ve vlaku na cestě do Hamburгу, aby se ho zeptal na jeho názor na možnost spinu elektronu. Bohr myšlenku vyslechl a prohlásil svoji známou odmítavou frází "velmi, velmi zajímavé". Později v Leidenu se Albert Einstein a **Paul Ehrenfest** setkali s Bohrem. Bohr jim vysvětlil své námitky, ale Einstein nakonec Bohra přesvědčil, aby myšlenku spinu přijal. Na své zpáteční cestě z Leidenu se Niels Bohr setkal s dalšími fyziky. Když vlak zastavil v Göttingenu, na nádraží na něj čekali Werner Heisenberg a Pascual Jordan, aby se ho zeptali na názor. V Berlíně na něj znovu čekal Wolfgang Pauli, který kvůli tomu přicestoval z Hamburгу. Niels Bohr již plně přesvědčen prohlásil, že objev spinu elektronu má zásadní význam.

Vznik kvantové mechaniky se stal vědeckým zlatým dolem. Kromě jiného Werner Heisenberg položil základy teorie struktury atomu, když přibližným řešením Schrödingerovy rovnice popsal v roce 1927 atom hélia. Obecnou metodu výpočtu o něco později vyvinuli **John Slater**, **Douglas Raynes Hartree** a **Vladimír Fock**.

Strukturu molekuly vodíku popsali **Fritz London** a **Walter Heitler**. **Linus Pauling** na základě jejich výsledků položil základy teoretické chemie. Arnold Sommerfeld a Wolfgang Pauli položili základy teorie elektronů v kovech. **Felix Bloch** položil základy teorie chemické vazby. Werner Heisenberg vysvětlil podstatu ferromagnetismu. Velkou záhadu náhodného radioaktivního rozpadu provázeného emisí alfa částic vysvětlil v roce 1928 **George Gamow** pomocí kvantové mechanického tunelování. V roce 1929 položil základy fyziky atomového jádra **Hans Bethe**, který vysvětlil podstatu zdroje energie hvězd. Rozvojem atomové, molekulární, jaderné fyziky a fyziky pevných látek svět vstoupil do moderní doby.

Rozpory a problémy

Přes veškerý neuvěřitelný pokrok kvantová mechanika na druhé straně rozpoutala vášnivě debaty o své interpretaci a platnosti. Hlavními protagonisty této debaty byli velcí obhájci nové teorie **Niels Bohr** a **Werner Heisenberg** a její odpůrci **Albert Einstein** a **Erwin Schrödinger**. Abychom pochopili podstatu celého sporu, je nezbytné porozumět klíčovým vlastnostem kvantové teorie. Pro jednoduchost se budeme zabývat Schrödingerovou verzí kvantové mechaniky, která se často označuje jako vlnová mechanika.

* Fundamentální popis: vlnová funkce

Chování každého kvantového systému je popsáno Schrödingerovou rovnicí. Řešení Schrödingerovy rovnice se nazývají vlnové funkce. Vlnová funkce popisuje úplnou informaci o kvantovém systému. Pomocí vlnové funkce lze vypočítat všechny možné hodnoty každé pozorovatelné veličiny. Druhá mocnina absolutní hodnoty vlnové funkce je úměrná pravděpodobnosti, že se částice nachází v dané části objemu. Poloha částice je "rozprostřena" v celém objemu vlnové funkce. Hybnost částice závisí na "sklonu" vlnové funkce. Čím větší má funkce sklon, tím větší je hybnost. Protože se sklon vlnové funkce mění bod od bodu, hybnost je také "rozprostřena" v celém objemu. Klasická představa, kde polohu a rychlost lze určit s libovolnou přesností, je v kvantové teorii nahrazena pravděpodobnostmi, že tyto veličiny v jistém objemu nabývají určité hodnoty.

Měření provedená v identických systémech za identických podmínek nemusí vést k identickým výsledkům. Získané výsledky budou rozptýleny v rozmezí daném vlnovou funkcí. Proto představa, že elektron má určitou polohu a hybnost, ztrácí svoje opodstatnění. Podle principu neurčitosti čím přesněji se snažíme určit polohu částice, tím ostřejší vrchol musí mít vlnová funkce (je méně rozprostřená) a proto tím nepřesněji jsme schopni určit hybnost částice. Čím přesněji se snažíme určit hybnost, tím je sklon vlnové funkce nižší a tím nepřesněji jsme schopni určit polohu částice.

* Interference vlnových funkcí

Vlnové funkce se sčítají nebo odečítají v závislosti na jejich relativní fázi. Když mají jejich amplitudy stejnou fázi, pak se sčítají, když mají opačnou fázi, pak se odečítají. Pokud vlna prochází několika dráhami od zdroje k přijímači, jako světlo procházející dvěma blízkými štěrbinami, dochází k interferenci, kdy pozorujeme světlé a tmavé proužky. Částice, které se řídí vlnovou rovnicí, se chovají podobně jako při difrakci elektronů. Tato analogie je rozumná, pokud se nezabýváme podstatou vlny. Vlna je obecně chápána jako porucha šířící se určitým médiem. V kvantové mechanice ale žádné médium neexistuje. V určitém smyslu tedy neexistují ani žádné vlny, přestože vlnová funkce představuje fundamentální informaci o vlnovém systému.

* Symetrie a identita

Atom hélia se skládá z jádra a dvou elektronů. Vlnová funkce popisuje polohu obou elektronů. Přitom neexistuje žádný způsob, jak elektrony od sebe navzájem odlišit. Pokud elektrony vzájemně zaměníme, musí systém vypadat zcela stejně a pravděpodobnost polohy elektronů se nezmění. Jenže tato pravděpodobnost je určena druhou mocninou absolutní hodnoty vlnové funkce. Vlnová funkce vzájemně zaměněných částic může být identická jako původní vlnová funkce, nebo může mít opačné znaménko.

Jedním z největších objevů kvantové mechaniky je, že pro elektrony vlnová funkce musí vždy změnit znaménko. Důsledky jsou dramatické. Pokud by dva elektrony byly ve stejném kvantovém stavu, pak vlnová funkce se vlnová funkce musí změnit v opačnou vlnovou funkci. Pravděpodobnost nalezení dvou elektronů ve stejném kvantovém stavu je proto nulová. Toto je formulace Pauliho vylučovacího principu. Všechny částice s polocíselným spinem, jako jsou elektrony, se chovají tímto způsobem a označují se jako fermiony. Pro částice s celočíselným spinem, jako jsou fotony, vlnová funkce nemění znaménko. Tyto částice se označují jako bosony. Elektrony v atomech jsou proto na základě Pauliho vylučovacího principu uspořádány ve slupkách. Fotony v paprsku laseru mají stejný kvantový stav. V 90. letech 20. století byly objeveny Boseovy-Einsteinovy kondenzáty, ochlazené atomy plynu ve stejném kvantovém stavu. Takový systém může emitovat velmi intenzivní paprsek hmoty a chovat se jako atomový laser.

Neidentické částice musí mít různé vlnové funkce. Aby se částice mohly chovat jako fermiony nebo bosony, musí být nutně identické. Absolutní identita částic je jedním z nezáhadnějších aspektů kvantové mechaniky a jedním z cílů kvantové teorie pole je tuto záhadu vysvětlit.

* Význam základních pojmů kvantové mechaniky

Otázky, co "ve skutečnosti" je vlnová funkce, nebo co znamená "provést měření" byly v počátcích kvantové mechaniky předmětem intenzivních diskusí. V roce 1930 Niels Bohr a jeho kolegové vyvinuli tzv. Kodaňskou interpretaci kvantové mechaniky. Tato interpretace vychází z pravděpodobnostního popisu hmoty a jevů, z duality vlnové a částicové povahy hmoty a z Bohrova principu komplementarity. **Albert Einstein** kvantovou mechaniku nikdy nepřijal a až do své smrti v roce 1955 vedl s **Nielssem Bohrem** o jejích principech diskusi.

Ústředním bodem těchto debat o kvantové mechanice byla otázka, zda vlnová funkce obsahuje skutečně veškerou možnou informaci o kvantovém systému, nebo zda existují nějaké skryté proměnné, které ovlivňují výsledné měření. V polovině 60. let 20. století John S. Bell ukázal, že pokud takové skryté proměnné existují, pak experimentálně pozorované pravděpodobnosti musí splňovat tzv. Bellovy nerovnosti. Mnoho výzkumných skupin, jako skupina Alaina Aspecta, pak provedlo celou řadu experimentů, které dokázaly, že Bellovy nerovnosti nejsou splněny. Získaná měření jednoznačně hovořila proti možnosti nějakých skrytých proměnných. Pro většinu vědců je tento výsledek jednoznačným potvrzením kvantové teorie.

Podstata kvantové teorie neustále přitahuje pozornost díky některým svým vlastnostem, které někteří označují za "kvantové příšery". Jednou z takových "záhadných" vlastností je kvantové propletení stavů. Příkladem je kvantový systém jako atom, který může nejen existovat ve svých stacionárních stavech, ale také v superpozici těchto stavů. Pokud pak měříme například energii takového atomu, získáme obecně různé výsledky.

Lze vytvořit také dvouatomový kvantový systém v propleteném stavu, v němž kvantové vlastnosti těchto atomů jsou navzájem sdíleny. Pokud jsou tyto atomy od sebe odděleny, informace o stavu prvního atomu jsou stále sdíleny druhým atomem. Takové chování nelze vysvětlit jinak než pomocí kvantové mechaniky. Kvantově propletené stavy je nejen předmětem teoretického studia, ale zřejmě naleznou brzy své praktické uplatnění v komunikačních kvantových systémech, v kvantové kryptografii a v kvantových počítačích.

Druhá revoluce

V polovině 20. let 20. století, kdy vznikala kvantová mechanika, byly položeny základy ještě další revoluce, druhé oblasti kvantové fyziky, již je kvantová teorie pole. Na rozdíl od kvantové mechaniky, která je produktem krátkého období, během něhož byla prakticky dokončena, kvantová teorie pole má klikatou historii, která pokračuje dodnes. Přes veškeré problémy jsou předpovědi kvantové teorie pole nejpřesnější ze všech oblastí fyziky. Kvantová teorie pole vytváří paradigma pro některé klíčové oblasti teoretické fyziky.

Základní problém, který motivoval kvantovou teorii pole, spočíval v otázce, jak atom vyzařuje světlo a jak elektrony "přeskakují" z excitovaných stavů do základního stavu. V roce 1916 **Albert Einstein** navrhl proces spontánní emise, ale nebyl schopen vypočítat jeho rychlost. Řešení tohoto problému vedlo k vývoji relativistické kvantové teorie elektromagnetického pole a kvantové teorie světla. Kvantová mechanika je teorií hmoty. Kvantová teorie pole je teorií polí, nejen elektromagnetického pole, ale také všech ostatních polí, která byla později objevena.

První myšlenky teorie světla publikovali v roce 1925 **Max Born**, **Werner Heisenberg** a **Pascual Jordan**, ale konečné kroky učinil mladý a tehdy neznámý fyzik pracující v ústraní - **Paul Dirac**. V roce 1926 publikoval svoji teorii světla, která ale měla řadu problémů: značnou výpočetní složitost, předpověď nekonečných veličin a porušení principu korespondence. Teprve koncem 40. let 20. století došlo v kvantové teorii pole k posunu, když **Richard Feynman**, **Julian Schwinger** a **Sin-itiro Tomonaga** vyvinuli kvantovou elektrodynamiku (*QED, Quantum Electrodynamics*). Nekonečné veličiny odstranili metodou renormalizace, která v podstatě od sebe odečítá nekonečné veličiny tak, aby vznikly konečné veličiny. Protože nelze získat

přesná řešení složitých rovnic této teorie, k dispozici jsou pouze aproximace ve formě nekonečných řad členů, které lze stále obtížněji vypočítat. Tyto členy nejprve klesají k nule a od určitého bodu začínají růst a tím vyznačují "bod zlomu" příslušné aproximace. Kvantová elektrodynamika je jednou z nejúspěšnějších teorií v historii fyziky. Například její předpověď interakce mezi elektronem a magnetickým polem byla experimentálně potvrzena s přesností $2 \cdot 10^{12}$.

Podle této teorie vakuum není prázdné, ale je vyplněno slabými elektromagnetickými poli, pomocí nichž lze vysvětlit spontánní emisi. Tato pole vytvářejí malé ale měřitelné posuvy energií atomů a nepatrné změny určitých vlastností částic jako je elektron. Tyto jevy byly později některými přesnými experimenty potvrzeny.

Při nízkých energiích je kvantová mechanika neuvěřitelně přesná. Avšak při vysokých energiích, kdy do hry vstupují relativistické jevy, je třeba obecnějšího přístupu. Kvantová teorie pole vznikla právě proto, aby dala do souladu kvantovou mechaniku se speciální teorií relativity.

Klíčová role kvantové teorie pole ve fyzice vyplývá také z toho, že poskytuje odpovědi na určité závažné otázky o podstatě hmoty. Kvantová teorie pole vysvětluje, proč existují dvě třídy částic - fermiony a bosony - a jak jejich vlastnosti souvisí s jejich vnitřním spinem. Popisuje, jak vznikají a zanikají částice, a to nejen fotony, ale také elektrony a pozitrony. Vysvětluje příčinu identity částic v kvantové mechanice. Tyto částice jsou identické, protože vznikají ze stejných polí. Kvantová elektrodynamika popisuje nejen vlastnosti elektronu, ale všech leptonů, mezi něž patří mion, tauon, elektronové neutrino, mionové neutrino a tauonové neutrino a jejich antičástice.

Kvantová elektrodynamika jako teorie leptonů ale nepopisuje vlastnosti hadronů, které se dělí na mesony a baryony, přičemž mezi baryony patří také nukleony jako je proton a neutron. Proto vznikla kvantová chromodynamika QCD (*Quantum Chromodynamics*). Mezi kvantovou elektrodynamikou a kvantovou chromodynamikou lze najít několik analogií. Elektromagnetická interakce mezi leptony je zprostředkována fotony. Silná interakce mezi hadrony je zprostředkována gluony. Na rozdíl od leptonů a fotonů jsou kvarky a gluony trvale uvězněny v hadronech a nelze je proto studovat izolovaně.

Kvantová elektrodynamika a kvantová chromodynamika se staly stavebními kameny standardního modelu elementárních částic. Přesto je řada fyziků s tímto modelem nespokojena, protože model nepředpovídá hmotnosti, náboje a další kvantové veličiny částic.

Hledání nejhlubší podstaty hmoty je dnes předmětem intenzivní vědecké práce, která je pokračováním bouřlivých dnů, v nichž vznikala kvantová mechanika. Jistým problémem je kvantový popis gravitace. Procedura kvantování elektromagnetického pole, která skvěle funguje v kvantové elektrodynamice, je pro popis gravitace nepoužitelná. Pokud jsou obecná teorie relativity a kvantová mechanika správné, pak musí poskytovat úplný a konzistentní popis stejných fyzikálních jevů. Žádný rozpor neexistuje v našem světě, kde gravitace je ve srovnání s elektromagnetickou interakcí velmi slabá. Ve velkých měřítcích, kde uvažujeme působení gravitace, jsou kvantové jevy zanedbatelné. Naopak, v malých měřítcích, kde uvažujeme působení silné, slabé a elektromagnetické interakce, je gravitace zanedbatelná. Avšak v černých děrách, kde gravitační interakce je velmi silná, nejsme schopni správně předpovědět kvantové chování.

Ještě před sto lety byl fyzikální popis světa empirický. Kvantová fyzika jako teorie hmoty a polí od základu naše poznání změnila a stala se základem přírodních věd a řady moderních technologií včetně laserů a výpočetní techniky. Fyzika na prahu 21. století se ale přesto podobá fyzice na prahu 20. století. Ve své nejhlubší podstatě je fyzika empirická. Nedokážeme plně předpovědět vlastnosti elementárních stavebních kamenů hmoty, ale musíme je měřit. Snad teorie superstringů, zobecnění kvantové teorie pole, která odstraňuje všechna nekonečna náhradou bodů za struny nebo membrány, tento velký problém vyřeší. Sen o finální teorii, která poskytne úplný obraz fyzikálního světa, je mocným popudem k dalšímu poznávání a pochopení světa. Za dalších 100 let se snad ukáže, zda naše představy byly správné.

Použitá literatura

- D. Kleppner, R. Jackiw: One hundred years of quantum physics
- www.natura.baf.cz
- www.energyweb.cz
- Doc. Ing. Ivan Štoll, CSc.: Objevitelé přírodních zákonů
- www.diderot.cz
- Technický Naučný Slovník

WERNER HEISENBERG

Autoři:

Jitka Stokučová

Jiří Aubrecht

Jaroslav Kučera

Úvod

Werner Heisenberg byl velmi důležitou osobností dvacátého století. Jeho *relace neurčitosti* vyvrátily mnoho názorů a pohledů v oblasti mikrosvěta. V necelých pětadvaceti letech se stal uznávaným a vstoupil tak do dějin fyziky...

Heisenbergovy relace neurčitosti

Werner Heisenberg poprvé publikoval *Relace neurčitosti* v roce 1927, za které dostal o šest let později Nobelovu cenu. Tyto relace se zabývají podstatou mikrosvěta, tj. málo velmi hmotnými částicemi. Heisenberg předpokládal, že s čím větší přesností určíme polohu částice, tím s menší přesností určíme její hybnost a naopak.

Předpokládejme, že chceme zkoumat elektron, jehož hmotnost je řádově 10^{-11} kg. Když jej nevidíme, nevíme, zdali existuje. Když jej začneme zkoumat mikroskopem, odrazí se od něj foton, který dopadne do našeho oka. Jelikož je elektron částice mikrosvěta se zanedbatelnou hmotností, odražený foton změní hybnost elektronu. To znamená, že elektron se již nenachází ve stavu, v jakém se nacházel před pozorováním (existoval-li vůbec).

Obecně můžeme Heisenbergovy relace neurčitosti napsat ve vztahu:

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

* Tento vztah platí pro mikrosvět. V běžném životě můžeme těžko uvažovat změnu hybnosti např. nákladního auta naloženého šterkem, od kterého se foton odrazí.

Heisenbergovy relace neurčitosti vyvrátily Bohrov model atomu

Bohrův model vodíku předpokládá, že elektron, nacházející se v základním stavu, obíhá kolem jádra ve vzdálenosti $r = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$, rychlostí $v = 2.2 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$. Jelikož je poloměr dán jednoznačně, delta Δr je v tomto případě rovno nule. Podle principu neurčitosti je součin $\Delta p \Delta r \geq h$, kde Δp je neurčitost momentu hybnosti elektronu. Jelikož moment elektronu je mv , můžeme předpokládat, že neurčitost je menší než tato hodnota. To znamená:

$$\Delta p \leq mv = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 2.2 \times 10^6 \text{ ms}^{-1} = \underline{2.0 \times 10^{-24} \text{ kg ms}^{-1}}.$$

Z principu neurčitosti by minimální odhadovaná neurčitost pozice elektronu byla $h / \Delta p = 0.26 \times 10^{-10} \text{ m}$. Neurčitost pozice je ale hodně blízko velikosti Bohrova poloměru, čili Bohrov model není korektní.

Literatura:

Heelan, Patrick A. (1965). *Quantum Mechanics & Objectivity*. **The Hauge: Martinus Nijhoff.**

"**Heisenberg, Werner**". (1995). *Encyclopedia Britanica*, Online.

"**Heisenberg, Werner.**" (1994). *Compton's Interactive Encyclopedia*, (CD-ROM). Compton's New Media.

Serway, Raymond A. (1996). *Physics for Scientists & Engineers*. (vol. 2). (pp. 1204-1227). San Francisco: Saunders College Publishing.

Molly Angel's Werner Heisenberg's Uncertainty Principle
<http://www.honors.unr.edu/~fenimore/wt202/close/>

LET Z KULOVNICE

Petr Lenhard

Balistika

Z hlediska vojenské techniky je balistika nauka o jevech při pohybu střely. Dělí se na:

- Vnitřní balistika – jevy při pohybu v hlavní.
- Vnější balistika – jevy po opuštění hlavně.
- Koncová balistika – studuje účinky střely při dopadu na cíl.

Vnější balistika

Z hlediska míry přiblížení se realitě, lze rozdělit přístupy vnější balistiky:

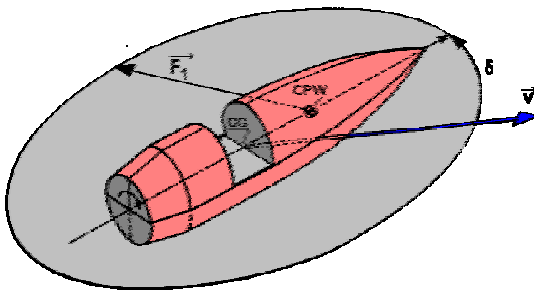
- Pohyb střely ve vakuu – nejjednodušší případ, Galileova parabolická teorie.
- Pohyb ve vzduchu – uvažujeme odporující prostředí ve třech úrovních:
 - Nepočítáme s rotací střely a předpokládáme, že osa střely leží v tečně k trajektorii. Řešení úlohy za těchto podmínek nazýváme *hlavní úkol vnější balistiky*.
 - Pohyb ve vzduchu se zřetelem na rotaci lze dále dělit na případy, kdy:
 - Pro popis proudění užíváme síly a momenty zjištěné experimentálně.
 - Parametry proudění se snažíme určit řešením Navier-Stokesových rovnic. Dosud byla nalezena řešení jen pro velmi specifické konfigurace.

Síly a momenty užívané při popisu pohybu střely ve vzduchu se zřetelem na rotaci

- Síly způsobené hmotou střely: Tíhová síla, Coriolisova síla (neuvažuje se do 50km dostřelu).
- Aerodynamické síly a momenty – jsou výsledkem interakce okolního proudění se střelou a závisí na tvaru a drsnosti povrchu těla projektilu. Jak již bylo poznamenáno, zjišťují se experimentálně pomocí aerodynamických tunelů, speciálních pokusných střelb atd.

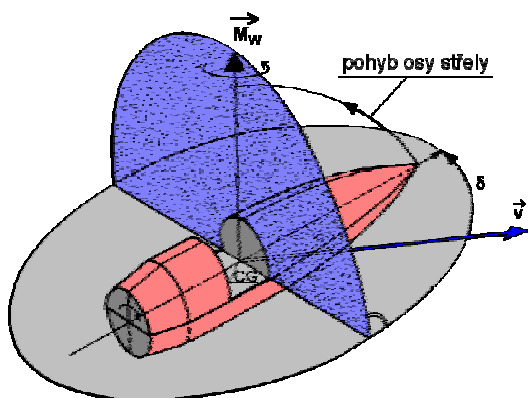
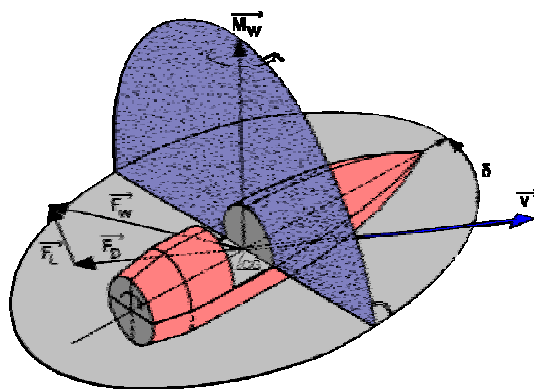
Aerodynamické síly a momenty

Kulový tvar projektilu je aerodynamicky velmi nevýhodný, střela ve tvaru kuličky proto rychle ztrácí rychlost a dosahuje se malého dostřelu. Tvary s lepšími aerodynamickými vlastnostmi již nejsou souměrné ve všech směrech a navíc opouští-li projektil hlavěň, osa střely nebude nikdy směřovat ve směru vektoru rychlosti v důsledku různých rušivých vlivů při střelbě. Síla odporu vzduchu, jejíž působíště je obecně lokalizováno mimo těžiště, pak způsobí, že se



střela začne "kutálet" a bude nestabilní. Proto se do hlavně vrtá závit, aby střela po jejím opuštění rotovala kolem své podélné osy souměrnosti. Jelikož osa rotujícího tělesa klade odpor čemukoliv co se snaží změnit její směr, je rotace jeden ze způsobů jak stabilizovat střelu. Na obrázku jsou naznačeny: Střela nekulového tvaru, Vektor rychlosti $\mathbf{v}$, působící v těžišti CG, Odchylka δ osy střely od vektoru rychlosti a Výslednice odporu vzduchu $\mathbf{F}_1$ s jejím působíštěm CPW.

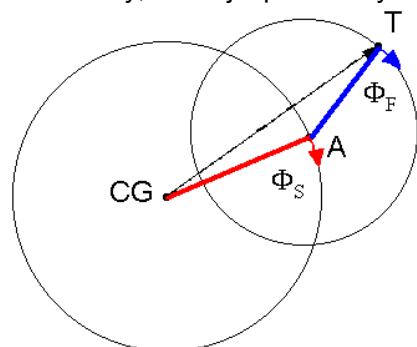
Působíště výslednice odporu vzduchu je obecně mimo těžiště střely, viz. výše, lze ji proto nahradit silou působící v těžišti a momentem, který se nazývá **klopný moment**. Již zmíněnou sílu, lze dále rozložit do směru tečny a normály. Tangenciální sílu nazýváme **čelný odpor**, druhou složku pak **vztlak**. Na obrázku je znázorněn klopný moment $\vec{M}_w$, čelný odpor $\vec{F}_D$ a vztlak $\vec{F}_L$. Oboje síly i moment se zřejmě při absenci úhlu δ redukují na čelný odpor, řešením takové idealizace se zabývá právě *hlavní úkol vnější balistiky*.



Obecným jevem, rotuje-li těleso kolem nějaké osy, je, že se snaží ztotožnit tuto osu se směrem na těleso působícího momentu. A to tak, aby rotace vyvolávaná působícím momentem byla souhlasná s rotací tělesa. V našem případě je výsledkem pohyb naznačený na obrázku. Otočí-li se osa střely směrem ke klopnému momentu, otočí se i klopný moment, takže osa projektilu bude opisovat povrch kužele – tento pohyb se nazývá **precese**.

Výsledný pohyb

Zkoumáním pohybu střely ve vzduchu zavádíme další síly a momenty jako např. Magnusova síla a moment, tlumící moment atd. Efektem těchto dalších sil a momentů je další precese kolem osy, která již precesi vykonává v důsledku klopného momentu. Tento další pohyb se



nazývá **nutace** a skládá se s výše vysvětlenou precесí. Celkový komplexní pohyb si lze představit na modelu dvou ramen, který je znázorněn na obrázku. Precesi představuje červené rameno a nutaci modré. Bod A opisuje kružnici kolem těžiště CG precesní frekvencí a bod T, který znázorňuje špičku střely, opisuje nutační frekvencí kružnici kolem A.

Nutační frekvence je vždy větší než precesní a u tzv. dynamicky stabilních střel se obě ramena s časem zkracují.

Není tedy samozřejmostí, že osa střely směřuje ve směru vektoru rychlosti a v některých případech to dokonce není žádoucí. Většinou to ale cílem je a za tímto účelem bylo provedeno nesčíslené množství pokusných střelb až se tak empiricky dosáhlo žádaného chování projektilu v normálních podmínkách. Předmětem dnešního balistického výzkumu je dovednost **předpovídat** trajektorii a stabilitu střely a nikoliv pouhé poučení z toho "jak střela letěla". K tomu je nutné řešení Navier – stokesových rovnic.

Literatura

- www stránky Ruprechta Nennstiela <http://www.povn.com/~4n6/>
- J. M. Šapiro; Vnější balistika I,II, SNTL 1953, 1954

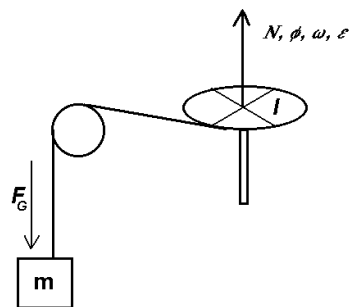
ROTAČNÍ DYNAMIKA

František Havlůj, Pavel Arátor, Jan Hýbl

Cílem našeho projektu bylo sledovat pohyb tuhých těles rotujících kolem osy pevné v soustavě vázané s těžištěm tělesa.

Měření jsme prováděli zejména v soustavě znázorněné na obrázku, která je tvořena kotoučem upevněným na volně rotující hřídeli, na níž je navinuto lanko, které je přes kladku spojeno se závažím. Závaží vlivem tíhové síly klesá a působí momentem síly na kotouč, který se otáčí.

Nejprve si teoreticky odvodíme, jak by se soustava měla chovat. Na závaží působí konstantní síla $F = mg$. Závaží působí na vlákno a vlákno na kotouč stejnou silou napětí F_n . Závaží se tedy pohybuje s konstantním zrychlením a . Pohybové rovnice jsou tedy:



$$\begin{aligned} m \cdot a &= m \cdot g - F_n \\ I \cdot d\Omega / dt &= F_n \cdot R \\ d\Omega / dt \cdot R &= a \end{aligned}$$

po vyloučení F_n :

$$I \cdot a / R = m \cdot (g - a) \cdot R$$

Kotouč je možno považovat za válec a jeho moment setrvačnosti je roven $I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2$.

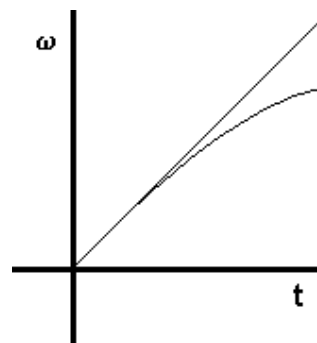
$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot M \cdot R \cdot a &= m \cdot g \cdot R - m \cdot a \cdot R \\ (\frac{1}{2} \cdot M + m) \cdot a &= m \cdot g \end{aligned}$$

$$\epsilon = d\Omega/dt = a / R = m \cdot g / (R \cdot (\frac{1}{2} \cdot M + m))$$

Měli jsme k dispozici velmi přesný přístroj pro měření výchylky a úhlové rychlosti kotouče a v mezích přesnosti měření byly teoretické a experimentální výsledky stejné. Vidíme tedy, že zákony pro rotační pohyb tělesa s dostatečnou přesností popisují reálný pohyb těles.

Pro zajímavost jsme studovali i jinou rotující soustavu – padající jojo (tzn. zajímáme se pouze o fázi pohybu od vypuštění joja, dokud víceméně volně padá). Poměrně dobře lze těleso nahradit válcem. Problém je však v tom, že přestože zde opět působí konstantní tíhová síla (resp. rotaci joja způsobuje opět síla napínající vlákno, která je zde rovna dvěma třetinám síly tíhové), není již konstantní její moment. Tento moment však nelze přesně spočítat, protože se nemění nijak „rozumně“ – při zkoumání navíjení vlákna na hřídel joja zjistíme, že toto se navíjí zcela nepravidelně. Nebudeme se tedy věnovat kvantitativnímu určení průběhu úhlové rychlosti a úhlového zrychlení a omezíme se pouze na kvalitativní popis pohybu. Navíjení vlákna je natolik značné, že jej nemůžeme zanedbat a budeme tedy předpokládat, že délka ramena působící síly v čase lineárně klesá.

Neměli jsme žádný dostatečně přesný prostředek pro měření rotace joja, mohli jsme však dostatečně přesně určit jeho polohu v čase. Ta roste přímo úměrně minus čtverci času (viz obrázek – srovnání s lineárním růstem u pohybu předchozí soustavy), tedy zrychlení v čase lineárně klesá. Na základě zákona zachování mechanické energie $m \cdot g \cdot y + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = 0$ se lze přesvědčit, že totéž jistě platí i pro úhlové veličiny, totiž že úhlové



zrychlení také klesá lineárně v čase a z rovnice $I \cdot d\boldsymbol{\Omega} / dt = \boldsymbol{N}$ tedy plyne, že je-li moment setrvačnosti I konstantní (a po zanedbání hmotnosti vlákna tomu tak skutečně je), musí se lineárně zmenšovat moment působící síly. Ta je však konstantní a rameno síly se tedy lineárně zkracuje. To jsme ovšem předpokládali a z toho plyne, že naše aproximace byla tedy správná.

Závěrem lze říci, že zákony rotační dynamiky platí s dostatečnou přesností jak v soustavách s konstantním, tak i s proměnným úhlovým zrychlením, což jsme ověřili experimentem. Úspěšnost tohoto projektu ale vyzývá k hlubšímu zkoumání dynamiky nepravidelných soustav, jako je například jojo, k přesnějším odhadům jejich chování (navíjení vlákna, vliv vlákna na moment setrvačnosti) a k číselným výpočtům pro ověření kvantitativních závislostí.

Literatura:

Štoll, Ivan : Mechanika, Skriptum ČVUT

Sluneční Energie

Energie

Energie z fosilních paliv:

1. **Uhlí**
 - První fosilní palivo využívané ve velkém množství
 - Většina pochází z období před 286 – 360 miliony let
 - Odhaduje se, že zásoby uhlí vydrží na více než 200 let
2. **Ropa**
 - Představuje nejdůležitější dnes používané palivo
 - Označuje se „černé zlato“
3. **Zemní plyn**
 - Obvykle se vyskytuje společně s ropou a stejným způsobem také vznikl
 - Využívá se jako palivo v domácnostech a průmyslu

Většina ve světě spotřebované energie pochází z fosilních paliv. Oproti ostatním zdrojům je to energie levná, ale velkou měrou poškozuje životní prostředí. Fosilní paliva jsou rovněž velmi důležitou surovinou chemického průmyslu vyplývat je při spalování by byla škoda.

Alternativní zdroje energie:

1. **Vodní energie**
 - Vodní kola se na řekách používala již před více než 2000 lety
 - V současnosti se jedná o vodní turbíny (Peltonova, Francisova, Kaplanova) pohánějící generátory
 - Některé země (např. Norsko) vyrábějí takto většinu elektřiny
2. **Energie větru**
 - Větrné mlýny se používaly již v 6. století v Persii
 - V současnosti se používají větrné turbíny, ale pro výkon srovnatelný s 1 000 Mw elektrárenským blokem by bylo potřeba 25 000 (!) větrných elektráren s rotory o průměru 30 m
3. **Sluneční energie**
 - Viz. později
4. **Energie vln, přílivu a odlivu**
 - Energie z vln se získává pomocí pohyblivých plováků nazývaných „kývající se kachny“
 - Jediná velká elektrárna využívající příliv a odliv je v ústí řeky Rance ve Francii, ale její výkon je malý
5. **Geotermální energie**
 - Využívá teplo unikající z nitra Země
 - Nejsnáze se využívá energie obsažená v horkých pramenech a gejzírech

Alternativní energie využívá obnovitelné zdroje je šetrná k životnímu prostředí. Nevýhodou je mnohem vyšší cena oproti energii z fosilních paliv.

Jaderná energie:

- 1 kg hmoty může skrývat až 25 miliard kwh energie; z tohoto množství dokážeme získat pouze zlomek

Jaderné štěpení	0,1 %
Termojaderná fúze	1 %
Anihilace	100 %

Jaderné štěpení

- Dochází k němu ostřelováním jaderného paliva neutrony, tyto neutrony dopadají na další jádra, způsobují další štěpení a uvolňování neutronů; dochází k řetězové reakci

Termojaderná fúze

- Nejsnazší je využití reakce mezi dvěma izotopy vodíku - deuteriem a tritiem – jejichž jádra se spojí a vytvoří jádro hélia
- Pro termonukleární reakci jsou však zapotřebí teploty 100 – 300 milionů °C

Anihilace

- Při anihilaci částice zanikají a uvolňují veškerou svou energii

Jaderná energie je ekonomická, čistá a neznečišťuje atmosféru. Problémem je potřeba skladování vyhořelého jaderného paliva. Jeho „zneškodnění“ je možné transmutací, ale tento proces je v současnosti technologicky velmi náročný a finančně nákladný.

Sluneční energie

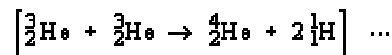
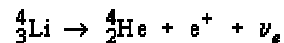
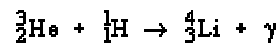
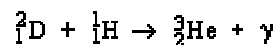
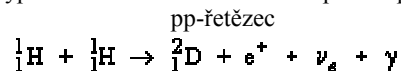
Jak slunce zachránilo Syrakusy

V roce 212 n. l. se Syrakusy bránily proti římské přesile. V tu dobu tam žil Archimédes, který poradil řeckým velitelům, jak se ubránit proti přesile římského loďstva. Na jeho radu vyleštili vojáci své bronzové štíty, takže je mohli použít jako zrcadla. Rozestavili se na pobřeží a při útoku římských lodí nastavili své štíty tak, že se všechny odražené sluneční paprsky soustředily na jediném místě nejbližší lodě. Za malou chvíli byla tato loď v plamenech. Když tímto způsobem zapálili Řekové několik římských lodí, nastala mezi Římany panika před neznámou zbraní a zbytek lodí se dal na útěk.

Sluneční energie

Energie vyzařovaná Sluncem vzniká při termonukleárních reakcích v jeho jádru. Každou sekundu se přibližně 700 milionů tun vodíku přemění na 695 milionů tun hélia a zbylých 5 milionů tun hmotnosti se přemění na energii (96% elektromagnetické záření, 4% odnášejí elektronová neutrina).

Schéma naznačuje nejrozšířenější typ reakce v našem Slunci - tzv. proton-protonový řetězec.



Výkon energie dopadající na Zemi ze Slunce představuje 174 000 TW. Sluneční záření se po dopadu na Zemi přeměňuje na teplo a chemickou energii. Větší část energie připadá na koloběh vody a zbytek na vytváření větrů, vlnobití, mořských proudů a na fotosyntézu, která je tak důležitá pro život na Zemi a stala se i zdrojem prvotních zdrojů energie (uhlí, ropy a zemního plynu).

Sluneční energie má mnoho výhod, z nichž nejdůležitější je praktická nevyčerpatelnost (z množství hélia a vodíku bylo vypočteno, že Slunce bude svítit ještě 10 miliard let), ekologická čistota a teoretická možnost využití po celém zemském povrchu. Zároveň jsou však možnosti využití sluneční energie pro energetické účely silně ovlivněny počasím, střídáním denních a ročních období a především zeměpisnou šířkou. Například nejvyšší výkon má sluneční záření na východní Sahaře, kde dopadne ročně 2500 kWh/m² sluneční energie. Na jihu USA už jen 1800 kWh/m² a v okolí Berlína pouze 1000 kWh/m². Další problémy vyplývají z dosud nízké účinnosti přeměny slunečního záření na prakticky upotřebitelný typ energie – na teplo nebo elektřinu.

Shrnutí

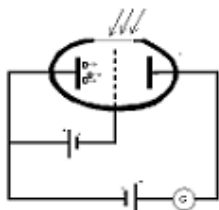
Země dostává pouhou dvoumiliardtinu z celkové energie vyzářené Sluncem. Celá třetina této dávky se navíc odrazí zpět. Kdyby Slunce přestalo svítit, klesla by teplota na Zemi na -273°C .

Na každý čtvereční metr naší krajiny, povrchu střechy, porostu, silnice nebo vodní hladiny dopadá v našich podmínkách za jeden rok 1200 kWh sluneční energie, to je srovnatelné s množstvím energie uvolněné při spálení 250 kg uhlí. Elektrifikovaná domácnost spotřebuje 15-20 MWh, tedy tolik, kolik dopadne za rok na méně než 20 m².

Fotovoltaický článek

Aktivní fotoelektrický efekt objevil již v roce 1839 francouzský experimentální fyzik Edmund Becquerel. Ale teprve v roce 1954 se podařilo v bellových laboratořích realizovat první křemíkový fotočlánek. Ten měl účinnost 6%. (Předtím známé selenové články se hodily jen pro luxmetry, jejich účinnost byla pod 1%.)

Podstatou fotočlánku je fotoelektrický jev, jehož zákonitosti vysvětlil v roce 1905 **Albert Einstein**.



Provedl následující experiment:

- světlo dopadá záření na fotokatodu a uvolňuje z ní elektrony. Ty putují k anodě.
 - na mřížku je dodáváno záporné napětí, které brzdí vylétávající elektrony, propouští pouze ty, které mají dostatečnou energii.
- Experiment ukázal, že elektrony se uvolňují tím snadněji, čím je větší jejich

elektromagnetická vlna se chová jako soubor částic, světelných kvant, z nichž každá má svou energii a hybnost. Ty se neustále pohybují bez zrychlení rychlostí světla.

Pro kvanta záření platí: $E = h \cdot f$

$$p = E / c = hf / c = h / \lambda$$

Každé kvantum záření předá svoji energii vždy jen jednomu elektronu. Ta se využije na jeho uvolnění z kovu (výstupní práce W_v) a zbytek přejde na kinetickou energii elektronu.

$$h \cdot f = W_v + E_k$$

Existuje mezní frekvence $f_0 = W_v / h$. Pokud je frekvence záření menší než mezní frekvence, elektron se z kovu neuvolní a proud neprochází.

Solární článek je v podstatě velkoplošná dioda s přechodem P-N konstruovaná s jednou průhlednou elektrodou, aby světlo mohlo pronikat dovnitř a absorpci uvolňovat páry elektron-díra. Ty se rozdělují na potenciálním schodu přechodu a pohybem elektronů na stranu N a děr na stranu P vytvářejí fotoelektrické napětí, které dává vznik proudu spotřebičem připojeným k elektrodám.

Výroba křemíkových solárních článků

Základním materiálem jsou křemíkové desky typu P dotované borem s měrným odporem 0,7 - 3 Ωcm. Desky mají rozměr 102,5 x 102,5 mm tloušťky 0,35 mm. Z velkého monokrystalického ingotu se řezají desky drátovou pilou a pohmožděná plocha se leptá v koncentrované alkalické lázni. Pro snížení ztrát odrazem světla je povrch článku texturován leptáním v leptací alkalické lázni. Selektivním leptáním vznikne na povrchu křemíku struktura náhodných pyramid.

Přechod N-P se tvoří mělkou difúzí fosforu. Povrch přední stěny solárního článku je pasivován nitridem křemíku, který působí též jako antireflexivní vrstva. Optimální tloušťka nitridu křemíku dává článkům charakteristickou modrou barvu.

Zadní strana článku je opatřena koncentračním přechodem PP⁺ na snížení ztrát způsobených rekombinací nosičů na zadním kontaktu. Oblast P⁺ se tvoří difúzí a Al plasty nanesené sitotiskem. Metalizace sběrné elektrody se vyrábí fotolitograficky a tenké vrstvy se zesilují magnetronovým naprašováním mědi s následným galvanickým pokrytím pajitelnou vrstvou Cu/PbSn.

Parametry článků:

Napětí naprázdno: 0,605 V
Zkratový proud: 3,450 A
Optimální napětí: 0,500 V
Optimální proud: 3,200 A
Maximální výkon: 1,600V
Proud při 0,45V: 3,300A
Účinnost: 15-16%

Další zvyšování účinnosti lze dosáhnout lepším využitím dopadajícího světla. Povrch se leptá selektivně tak, že vzniknou invertované pyramidy, které způsobují, že odražené světlo se reflektuje dolů a má tak další příležitost absorpce a příspěvku k fotoproudu. Světlo vstupující přes šikmé plochy pyramid se šíří více po straně a má tak větší pravděpodobnost absorpce, hlavně světla kratších vlnových délek. Delší vlny dosahují spodního kontaktu, který odráží asi 97% tohoto světla. To se pak zpětně odráží totálně na šikmých plochách pyramid na horním kontaktu. Světlo jednou vstoupivší nemůže již uniknout a využívá se optimálně.

Literatura:

časopis Technika (2001/02)
Časopis pro fyziku
Internet
Vše o Slunci

Hookův zákon

Autoři : Radek Mušálek,
Ondřej Janata,
Ondřej Konček,
Pavel Koman,
Adam Haiduk

Proceedings k přednášce Hookův zákon

Naše přednáška byla zaměřena na seznámení se základními principy Hookova zákona a na jeho demonstraci. Za tímto účelem jsme provedli několik pokusů na katedře materiálů, kde měl nad námi odborný dohled Ing. Hynek Lauschman, CSc. Zde bychom chtěli prezentovat jednotlivé pokusy.

Úloha č. 1: Určení Youngova modulu pružnosti statickou zkouškou tahem

Aparatura: Trhací stroj, extenzometr

Vzorek: Dural, příčný průřez vzorku $S = 40 \text{ mm}^2$

Youngův modul pružnosti jsme stanovovali pomocí trhacího stroje. Tento způsob měření využívá přímo důsledky Hookova zákona, podle nichž Youngův modul pružnosti dán směrnicí křivky, která nám udává závislost napětí vzorku na jeho na relativním prodloužení (uvažujeme hodnoty napětí před dosažením tzv. meze úměrnosti). Tato závislost je lineární. Vzorky mívají většinou přesně definovaný kruhový nebo obdélníkový průřez a délku.

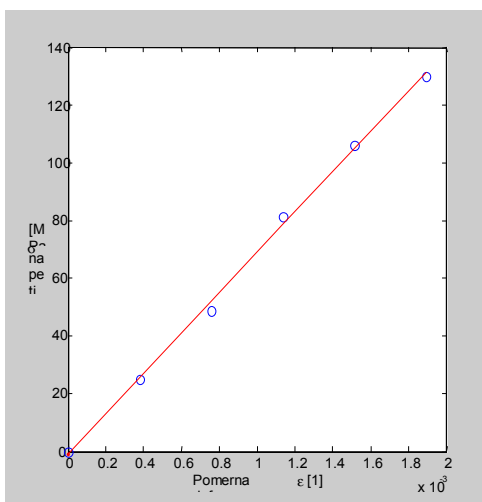
Do upínacích hlavice trhacího stroje jsme uchytili zkoumaný vzorek, po zaklesnutí hlavice jsme začali na měřicím prvku odečítat hodnoty působící síly. Na extenzometru jsme odečítali velikost relativního prodloužení (v dílcích). Absolutní velikost relativního prodloužení je pak určena součinem tohoto relativního prodloužení v dílcích a kalibrační konstanty extenzometru ($k = 7.561 \cdot 10^{-5}$), kterou jsme před měřením stanovili. Hodnoty jsme zapisovali do tabulky. Analýzou dat (např. pomocí Statgraphu), jsme stanovili velikost E jako směrnici přímky proložené metodou nejmenších čtverců naměřenými hodnotami (metoda lineární regrese).

Regresní rovnice

$$F/(S \cdot k) = \epsilon(\text{dílků}) \cdot E + q$$

Závěr: Hodnotu Youngova modulu pružnosti jsme stanovili na 70 GPa, což odpovídá tabulkové hodnotě E pro dural.

F [N]	ϵ (dílků)
0	0
1000	5
1950	10
3250	15
4250	20
5200	25



Úloha č.2: Měření Youngova modulu pružnosti z kmitání nosníku

Aparatura: akcelerometr, budič vibrací

Vzorek: plexisklo

K určení Youngova modulu pružnosti budeme využívat toho, že každý materiál má sklon vibrovat s určitými frekvencemi.

Nosník, jehož modul pružnosti chceme určit, na jednom konci pevně uchytkáme a na druhém na něj budeme působit silou tak, abychom jej rozkmitali. Ke stanovení uzlů jsme použili přístroj zvaný akcelerometr.

Protože nosník není na jedné straně upevněn, vznikne na této straně kmitna. Pak zvyšujeme frekvenci tak, aby nosník vytvořil čtvrt vlnu, čímž jsme získali první vlastní frekvenci, a poté tři-čtvrtě vlnu, při které jsme změřili druhou vlastní frekvenci.

Ze znalosti obou frekvencí f_1 , f_2 a obou konstant A_1 , A_2 – které jsou charakteristické pro daný materiál, jsou bezrozměrné a plynou z řešení určitých integračních rovnic – můžeme určit Youngův modul pružnosti ze vztahu:

$$E = 3\rho (f_n 4 \pi l^2)/(A_n h)^2, \text{ kde za } f_n \text{ a } A_n \text{ postupně dosadíme } f_1, f_2 \text{ a příslušné } A_1, A_2.$$

Pro náš pokus:

h....tloušťka nosníku0.01m

l....délka nosníku.....0.294m

ρhustota látky.....1183 kg*m⁻³plexisklo

$f_1 = 36$ Hz

$f_2 = 225$ Hz

$A_1 = 3.52$

$A_2 = 22.4$

Závěr: Hodnoty E pro různé frekvence jsme určili na $E_1=4.38$ GPa, $E_2=4.23$ GPa, (měly by se rovnat). Tato hodnota neodpovídá přesně tabulkám, protože při tomto způsobu měření se uplatňují některé vlastnosti materiálu, které způsobují, že naměřené vlastní frekvence se za teoretickými hodnotami „opožďují“.

Úloha č.3: Měření Youngova modulu pružnosti trojohybem

Aparatura: speciálně upravený mikroskop, závaží

Vzorek: slinutý korund

Měření Youngova modulu pružnosti v tahu a tlaku(E) pomocí tříbodového ohybu je jedna z dalších metod. Měřený vzorek musí mít rozměry desky nebo nosníku s příslušnými poměry stran. Během vlastního měření je umístěn na dvou podpěrách s minimální dotykovou plochou, které zároveň určují jeho aktivní délku.

Třetí bod způsobující vlastní ohyb je čepel(s minimální plochou dotyku) působící na vzorek silou, která byla v našem případě realizována pomocí závaží různých hmotností. Důležitou podmínkou je, aby síla působila uprostřed aktivní délky vzorku. Ze známých rozměrů vzorku, z velikosti působící síly a z výsledného průhybu lze modul vypočítat.

Vlastní měření probíhalo na optickém mikroskopu speciálně uzpůsobenému k tomuto účelu. Na pracovním stolku mikroskopu je nainstalován mechanismus, který umožňuje měnit velikost síly působící na vzorek. Měření průhybu v závislosti na velikosti síly se určuje odečítáním hodnot(udávaných v μm) ze zaostřovacího kotouče.

Nejprve se vzorek zaostří, což se uskutečňuje vertikálním posuvem pracovního stolku. Zaostřování a následné odečítání hodnoty průhybu následuje po každé změně velikosti působící síly.

Závěr: Náš tým provedl čtyři nezávislá měření vzorku slinutého korundu, výsledkem každého z nich bylo osm hodnot průhybů. Výsledná námi naměřená průměrná hodnota Youngova modulu byla 420 GPa a od dříve určené se lišila o cca 4,5%. Hlavní příčiny této chyby mohou být způsobeny stářím vzorku a nepřesným zaostřováním mezi jednotlivými měřeními.

Na konci minulého století se fyzika dostala do nezáviděníhodné situace, kdy nejprve z Maxwellových rovnic vyplynulo, že rychlost světla nezávisí na rychlosti zdroje a ani na rychlosti pozorovatele světelného kvanta. Tato skutečnost byla v roce 1887 potvrzena Albertem Abrahamem Michelsonem i experimentálně. Tyto fakta se poprvé pokusil vysvětlit Henrik Lorentz. Položil rychlost světla rovnou konstantě v jakémkoli pohybovém stavu a snažil se najít, k tomu ho opravňující, matematický aparát. Tento aparát dnes nazýváme Lorentzovy transformace.

Naším myšlenkovým pokusem jsme se pokusili oprávněnost Lorentzova předpokladu konstantnosti rychlosti světla po celé jeho trajektorii vůči pozorovateli v jakémkoli pohybovém stavu. Experiment je koncipován logicky, tj. dvěma proti sobě se pohybujícími soustavami, přičemž každá z těchto soustav má i svého pozorovatele pohybově s ní spojeného. Každý z těchto pozorovatelů má za úkol, ještě před nějakým způsobem definovaným okamžikem, stanovit rychlostní podmínku vzájemné rychlosti soustav. A to za znalosti technických parametrů (především rozměrů) obou soustav. Z této podmínky a znalosti vzájemné rychlosti soustav mají oba pozorovatele, nezávisle na sobě, předpovědět zda nastane či nikoliv blíže určený fyzikální děj. V této své předpovědi by se pozorovatelé nezávisle na sobě měli shodnout na kritériích vzniku inkriminovaného fyzikálního děje.

Experiment se skládá ze dvou částí. V první části jsou soustavy zvoleny „klasicky“ a myšlená kritéria obou pozorovatelů se shodují (v této „klasické“ části experimentu jsou všechny vzdálenosti, po kterých se šíří světelný, signál pevně dány kontrakcí obou soustav a transformační vlivy Lorentzových transformací se kompenzují). V druhé části experimentu pozměníme pouze konstrukci obou soustav a to tak, že pozorovatelé nabudou znát velikost souřadnice na které dojde k inkriminovanému ději a to proto, že na jeho vznik to nebude mít žádný vliv. V experimentu se přesvědčíme, že za takto zvolené situace pozorovatelé nezávisle na sobě dojdou k rozdílným velikostem vzájemné rychlosti soustav a tedy i k rozdílnému kritériu vzniku blíže určeného fyzikálního děje. Zde tedy Lorentzovy transformace zklamou a dostávají se do rozporu se svými principy a sebou samými.

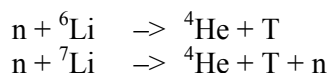
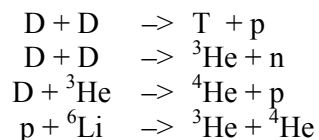
Proč jsou Lorentzovy transformace, nutné k vysvětlení Maxwellových rovnic a podepřené nesčetnými pokusy „dokazující“ neměnnost rychlosti světla, v rozporu? Možná, že zákonitosti šíření světla jsou složitější než-li předpoklad konstantnosti rychlosti světla na celé jeho dráze vůči všem soustavám. Všichni přeci známe fyzikální děje, při kterých je rychlost světla proměnná a Maxwellovým rovnicím by stačila slabší podmínka konstantnosti rychlosti šíření světla, než-li její konstantnost na celé dráze a vůči všem soustavám. Možná lze najít jinou flexibilnější zákonnost šíření světla.

Termojaderná fúze

Jan Podmajerský, Tomáš Kurtin, Martin Fibrich

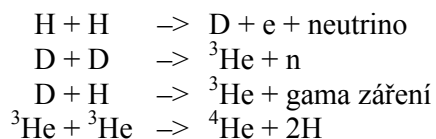
Podle všech teorií se zdá, že svět bude muset v druhé polovině tohoto století čelit energetické krizi. Situace je navíc komplikována globálním oteplováním, které pramení z naší závislosti na fosilních palivech. Je jen málo možností, jak tento stav řešit. Prakticky se zdá být nezbytné objevit nějaký nový zdroj energie, nebo stávající významně inovovat.

Jednou z nejpravděpodobnějších variant je termojaderná fúze, jejíž technologie je již značně propracovaná a nyní stojíme před stavbou prototypu termojaderného reaktoru.

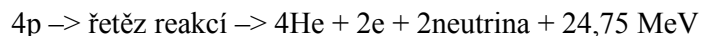


Princip se zdá být jednoduchý. Při sloučení dvou jader lehkých prvků dojde k hmotnostnímu úbytku vyváženému uvolněním energie. Problémem je, že jádra jsou kladně nabitá a při přiblížení se silně odpuzují. Nejschůdnější cestou k uskutečnění fúze je zahřátí na takovou teplotu, aby se k sobě jádra tepelným pohybem přiblížila na potřebnou vzdálenost. Látka zahřátá na tuto dostatečně vysokou teplotu je již ve stavu plazmatu, které je pro své zvláštní vlastnosti označováno jako čtvrté skupenství hmoty. Plazma je na Zemi značně neobvyklé, ale ve vesmíru je tomu jinak.

Většinu sluneční hmoty tvoří vodík. Při teplotě 13 mil °C je vodík ve stavu plazmatu. Sluneční hmota se tedy skládá ze směsi jakýchsi plynů tvořených volnými elektrony a „holými“ jádry vodíku, helia a jiných prvků. Vysoký tlak gravitačních sil stlačuje tuto směs horkých plynů tak, že mají obrovskou hustotu (větší než kterákoliv látka na Zemi). Za těchto podmínek (obrovského tlaku, hustoty, teploty) může na Slunci docházet k následujícím reakcím:



Celý popsany řetěz těchto jaderných reakcí se na nazývá proton – protonový řetěz. Schematicky ho můžeme zapsat:



Proton – protonový řetěz ovšem není jediný způsob, kterým se na Slunci uvolňuje jaderná energie. Druhým způsobem je tzv. uhlíko – dusíkový cyklus, který je složitější.

Termojaderná fúze úzce souvisí i se vznikem hvězdy. Prvním počátečním stadiem rodící se hvězdy je oblak mezihvězdné hmoty – GLOBULE. Hustota látky v globuli je nesmírně nízká. Působením tlaku okolního záření se oblak hmoty pomalu smršťuje. Postupně se začínají uplatňovat i přitažlivé síly gravitační => plyný zárodek se začíná zahřívat. Po určité době (miliony nebo desítky milionů let) dosáhne střed hvězdy dostatečně vysoké teploty, aby v něm mohly začít probíhat některé termonukleární reakce. Začíná vlastní život hvězdy.

Stadia vývoje hvězdy:

1. Teplota asi 1mil °C – ve hvězdě „hoří“ nejprve jádra D, Li, Be, B – jádra těchto prvků se spojují s protony na jádra helia mnohem snáze, než protony samy navzájem. Ve hvězdě je jich však poměrně málo => jejich zásoba se brzy vyčerpá.
2. Teplota asi 10mil °C – ve středu hvězdy začíná probíhat proton – protonový řetěz a při dalším zvýšení teploty i uhlíko – dusíkový cyklus. V tomto stadiu vydrží hvězda velmi dlouho, protože většinu mezihvězdné hmoty, ze které hvězda vznikla, tvoří vodík.
3. Teplota asi 100mil°C – poměrně pevná jádra helia se spojují na ještě pevnější a těžší => vznikají jádra uhlíku.
4. Teplota několik set miliónů °C – v nitru hvězdy se tvoří z heliových jader nejen uhlík, ale i kyslík, hořčík, křemík, síra, argon...
5. Při teplotě asi 3 miliard °C je syntéz jader uvnitř hvězdy tak prudká, že dojde ke gigantické termonukleární explozi => hvězda se stává supernovou. Syntézou vznikají jádra ještě těžší, jako železo apod. termonukleárním výbuchem vymrští hvězda většinu své hmoty do mezihvězdného prostoru, zůstane z ní jen malý, slabě zářící zbytek, tzv. bílý trpaslík. V tomto stadiu nemá hvězda vlastní zdroje energie => postupně vychládá a nakonec zhasne.

Termojaderná fúze je na Zemi obtížně uskutečnitelná a první výzkumy se proto týkaly Slunce. Na konci 20. let vznikla myšlenka, že Slunce „hoří“ v důsledku jaderných slučovacích reakcí.

V polovině 30.let (1934) Rutherford, Oliphant a Harteck jako první experimentálně dokázali existenci fúzní reakce. V následujících letech byl výzkum utajován a byl veden na vojenské bázi. Tento proces vyústil v pokusný výbuch tzv. vodíkové bomby (1952), ale v té době bylo již na světě velmi perspektivní zařízení s názvem TOMAMAK (**T**oroidálnaja **K**Amera i **M**Agnityje **K**atuški – Andrej Sacharov a Igor Tamm).

Ve Velké Británii byl výzkum prováděn v Harwellu na zařízení ZETA, z něhož bylo počátkem r.1958 oznámena produkce jaderných fúzních neutronů. Později bylo toto odvoláno, jelikož se zjistilo, že neutrony vznikají zcela jiným mechanismem.

Až do roku 1958 byl veškerý výzkum týkající se jaderného slučování přísně utajován.

Zlom znamenala konference v Ženevě 1958. Skončilo utajování a výzkum termojaderné fúze se stal na dlouhá léta jediným pojítkem mezi Východem a Západem.

Po přelomových experimentech na zařízení tokamak v Ústavu atomové energie v Moskvě se značná část výzkumů soustředí právě na ně a řada dalších tokamaků byla postavena po celém světě (JET – Evropa, TFTR – USA, JT-60U – Japonsko).

I když tokamaky nejsou jediná zařízení na nichž probíhá výzkum jaderné fúze, nelze popřít, že právě tato jsou nejbližší komerčnímu využití. Podívejme se na základní vlastnosti jednotlivých typů experimentálních zařízení:

Tokamak

Magnetické pole se skládá ze dvou částí: sada cívek rozložených podél prstencové nádoby vytváří silné toroidální pole, proud tekoucí plazmatem indukuje slabší poloidální pole a výsledné siločáry tak mají tvar šroubovice. Elektrický proud tekoucí plazmatem je indukován působením transformátoru a zároveň plazma ohřívá. Avšak v důsledku použití transformátoru nemůže pracovat v jiném než pulsním režimu. Pro potřebu trvalého provozu se vyvíjejí jiné (neinduktivní) metody generace proudu. Zatím však nejsou příliš účinné.

Při provozu tokamaku může docházet a dochází k poruchám značně ovlivňujícím fúzní reakci. Například jev nazývaný disrupce (přetržení sloupce plazmatu) - je-li při daném proudu plazmatem překročena jistá možná hustota, dochází k přetržení (rozpadu) prstence plazmatu. Udržení plazmatu

je náhle přerušeno a elektrický proud klesne na nulu během několika tisícín sekundy. Plazma je přitom vyvrhováno na stěnu, což vede ke značným mechanickým a tepelným rázům.

Stelarátor

Magnetická konfigurace stelarátoru je zcela vytvářena sadou cívek, bez jakéhokoliv elektrického proudu tekoucího plazmatem, což má za následek vznik osově nesymetrického pole. Nejen siločáry pole, ale i všechny cívky mají šroubovitý tvar a plazma i nádoba mají tudíž tvar šroubovicově zvlněného prstence.

Výhody stelarátorů:

- nedochází k přetržení sloupce plazmatu (neprotéká proud, není se co přetřhnout)
- plazma zůstává stabilní, není nutné řídit jeho polohu
- nepotřebují proud tekoucí plazmatem a tedy ani transformátor, který by jej generoval a jsou tedy vhodné pro provoz v kontinuálním režimu.

Pinče se zpětným polem

Pinč se zpětným polem je, stejně jako tokamak, osově symetrické zařízení, které potřebuje k udržení plazmatu velký toroidální proud. Rozdíl oproti tokamakům je v mnohem menším poměru velikostí toroidálního a poloidálního magnetického pole (v pinčích je jejich velikost zhruba stejná). Proudem v plazmatu je generováno nejen poloidální pole, ale i část toroidálního. To způsobuje, že směr toroidálního magnetického pole ve vnější oblasti plazmového prstence a v centru plazmatu je opačný. V ideálním případě by pinče mohly dosáhnout zapálení jen s použitím Jouleova ohřevu, tedy bez jakéhokoliv dodatečného ohřevu, aniž by navíc potřebovaly silné vnější magnetické pole. Obecně pracují pinče s plazmatem o vyšším tlaku a při nižších dobách udržení než tokamaky.

O tom, jak je obtížné přeměnit teorii v praxi svědčí i dosavadní osud projektu ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). ITER je navrhován jako tokamak a to tak, aby jej bylo možno postavit na území kterékoli Smluvní strany. Fáze Koncepčního návrhu začala v roce 1988 a pokračovala do roku 1990. Fáze Technického návrhu začala v červenci 1992 na základě smlouvy podepsané Smluvními stranami ITERu (tj. Euratom, Japonsko, Rusko, USA), a měla trvat do r.1998. K projektu ITER se později připojila i Kanada. Smluvní strany ITERu ustavily Radu ITERu, jež je zodpovědná za celkový směr Technického návrhu. Její sídlo je v Moskvě. Náklady na stavbu a technické zázemí donutily USA a částečně Rusko stáhnout se z projektu. Další ranou pro ITER se zdá být výběr vhodného místa, který se nesmírně protahuje.

Existuje názor, že vše z technického hlediska je již zvládnuto, nebo tomu tak brzy bude, a jediné problémy, kterým je nutno čelit jsou ty politické. Snad budou veškeré komplikace zdárně odstraněny a projekt ITER bude moci nerušeně pokračovat, stejně jako rozvoj celé jaderné energetiky.

Literatura:

1. Luděk Pekárek – Termonukleární energie
2. František Žáček – Současný stav a perspektivy řízeného termojaderného slučování v tokamacích
3. Steve Fetter – Energy 2050 (The Bulletin of the Atomic Scientists – July/August 2000, www.puaf.umd.edu/papers/fetter.htm)
4. www.ipp.cas.cz

Šipka času ve fyzikálních rovnicích

Jiří Voltr

e-mail: jiri.voltr@email.cz

Úvod

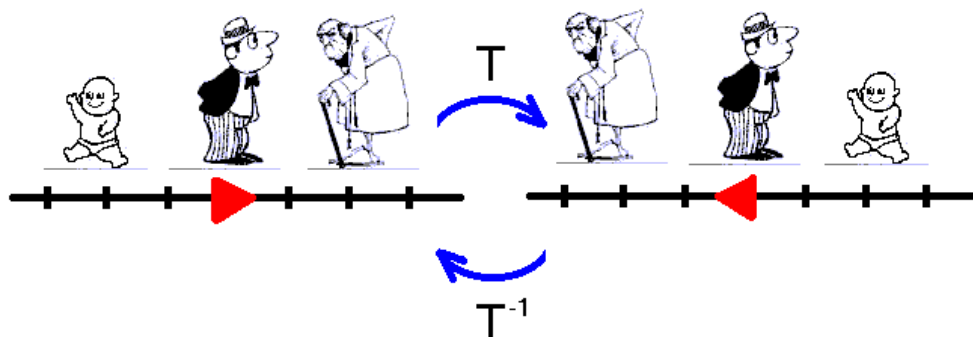
Až do roku 1964 se věřilo, že příroda je symetrická vzhledem k obrácení časové osy. Tehdy přišli J. Cronin a V. Fitch se zjištěním, že rozpad neutrálních *kaonů* a *antikaonů* vykazuje narušení nábojovo-prostorové (CP) symetrie. Při předpokladu nábojovo-prostorovo-časové (CPT) symetrie, kterou požadují všechny teorie založené na kvantové teorii pole a speciální teorii relativity došli k závěru, že je narušena i symetrie T [1].

S dalším, tentokrát přímým ověřením narušení přišli fyzici z CPLEAR (Low Energy Accelerator Ring), a to sledováním časového vývoje *kaonů* a *antikaonů* po jejich vzniku. Ukázalo se, že přechody *kaon* → *antikaon* a *antikaon* → *kaon* nemají průběh časově inverzní a tedy, že porušují symetrii T [2].

Rovnice fyziky však zatím odolávají konzistentnímu vložení šipky času, tj. irreverzibility času do jejich útrob.

Transformace časové inverze

Protože čas není na rozdíl od prostoru izotropní, není úplně zřejmé, zda je možné za transformaci pro časovou inverzi T považovat $T: t^- = -t^+$, kde $T = T^{-1}$. Ba naopak časová anizotropie (asymetrie) naznačuje, že by tomu tak být nemělo (Obr. 1.).



Obr. 1. Transformace pro inverzi času T není stejná jako inverzní transformace T^{-1} .

Pokusme se tedy nalézt transformaci pro časovou inverzi mající tyto vlastnosti:

- | | | |
|----|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. | $ \Delta t^- = \Delta t^+ $ | (zachování velikostí intervalů) |
| 2. | čas je jednorozměrný | (jednorozměrnost času) |
| 3. | $T \neq T^{-1}$. | (asymetrie časové souřadnice) |

Hledané řešení mající všechny požadované vlastnosti je dle [3] a [4] pouze transformace T mající tvar

$$T: t^- = e^{i\varphi} \cdot (t^+ - t_0^+), \quad \varphi \neq k \cdot \pi \ (k \in \mathbb{Z}),$$

kde φ je konstantní fáze časové inverze a t_0^+ počátek časové souřadnice.

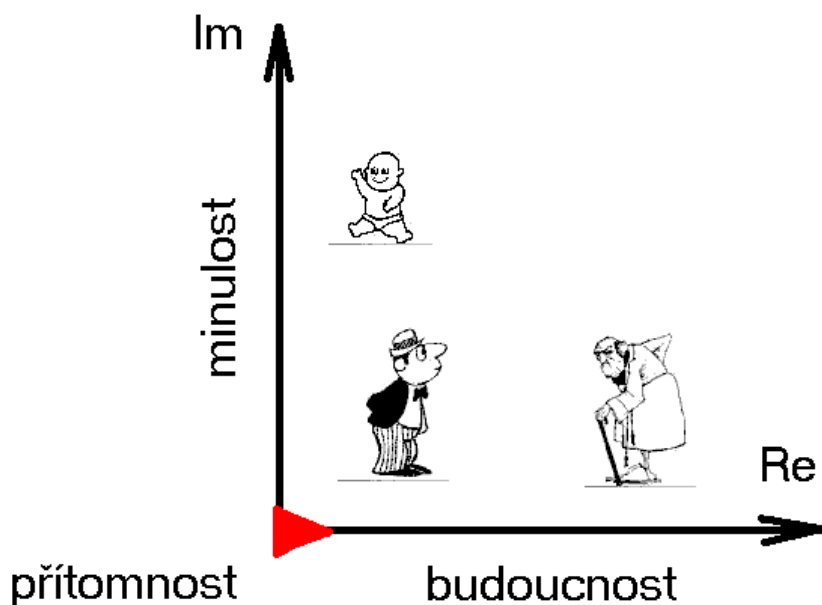
Vyběr modelu

Třetí vlastnost vycházející z asymetrie časové souřadnice nám zaručuje, že koeficient transformace $e^{i\varphi}$ nebude nikdy reálný. Ze všech možných transformací si vyberme tu, která umožní objasnit nejvíce. Ukáže se, že je i nejjednodušší nereálnou transformací.

Tato je transformace pro $\varphi = \pm\pi/2$, tedy ryze imaginární transformace: $t^- = \pm i \cdot t^+$.

Hlavní důsledky vybraného modelu

- Model umožňuje zakázat plynutí času proti své šipce a tedy i cestovat v čase a způsobit některý z časových paradoxů (např. zabití vlastního dědečka).
- Model způsobuje, že veličiny s lichou mocninou času jsou imaginární (např. rychlost, hybnost), se sudou mocninou nikoliv (např. zrychlení, síla, energie).
- Model umožňuje vysvětlit, proč musí mít hypotetické tachyony (částice s rychlostí vyšší než rychlost světla a s možností cestování v čase) zápornou energii, jak požaduje [5].
- Přechod minulost-přítomnost-budoucnost by bylo možné interpretovat následujícím obrázkem:



Obr. 2. Minulost, přítomnost a budoucnost zobrazena v Gaussově (Argandově) rovině pro $\varphi = \pi/2$.

Závěr

Přijmeme-li *imaginární transformaci* inverze časové souřadnice za skutečnou, bude nutné revidovat naše porozumění veličinám s nereálnými hodnotami, které se v současné době považují za **nefyzikální**. Zbývá tedy zodpovědět ještě mnoho otázek, mezi nimiž například i

- Existují i pro **C** a **P** symetrie koeficienty $e^{i\psi}$ a $e^{i\xi}$, takové, že $\varphi + \psi + \xi = 2\pi$, nutné pro **CPT** symetrii?
- Existuje souvislost mezi imaginárním inverzním časem a používáním imaginárního času v teorii relativity (čas v černé díře) a imaginárními veličinami z kvantové mechaniky (např. moment hybnosti), nebo je podobnost čistě náhodná?

Literatura

- [1] M. Bednář, dodatek k článku: L. B. Okuň, *Současný stav fyziky elementárních částic*, Čs. čas. fyz. **49** (1999) 81-84
- [2] L. Maiani, *Je možné změnit znaménko času ve fundamentálních interakcích?*, Čs. čas. fyz. **50** (2000) 347-358
- [3] E. A. Kraut, *Fundamentals of Mathematical Physics*, McGraw-Hill, New York (1967) 36
- [4] G. A. Korn, T. M. Korn, *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers*, Dover, New York (2000) 443-444
- [5] J. Horský, *Speciální teorie relativity*, SNTL, Praha (1972) 41

Optické úkazy v atmosféře

Jan Šípek, Milan Štengl, Martin Vacek

Duha

Snad každý si někdy všiml barevného duhového oblouku při končící dešťové přeháňce. Déšť ještě padá, ale zároveň sluneční paprsky osvětlují dešťové kapky, v nichž se světlo láme, rozkládá a odráží, a tak právě na opačné straně než svítí Slunce můžeme pozorovat duhu. Ta opisuje část kružnice o poloměru asi 42° kolem místa, kam směřuje stín pozorovatelovy hlavy. Proto je možné duhu z rovného povrchu pozorovat je-li Slunce níže než 42 stupňů nad obzorem. Duhový oblouk pak vystupuje tím výše, čím níže se Slunce sklání k obzoru. Pokud by tedy Slunce zářilo právě na horizontu, objevil by se na opačné straně ve vodních kapkách obraz duhy ve tvaru půlkruhu.

Podobně jako po průchodu paprsku skleněným hranolem, kde se světlo při vstupu do opticky hustšího prostředí rozkládá, vidíme i v duze rozložené sluneční světlo na jednotlivé barevné složky. Od vnějšího okraje duhy směrem k vnitřnímu v pořadí: červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá až fialová.

Při intenzivnější dešti se objevuje nad duhou druhá, méně výrazná, tzv. sekundární duha o větším poloměru (asi 51°), v níž je sled barev opačný než u primární duhy. Tato vedlejší duha vzniká díky dvojnásobnému odrazu paprsků uvnitř kapek. Dále je patrné, že obloha se jeví znatelně světlejší uvnitř primárního duhového oblouku a pás mezi oběma duhami je naopak tmavší. Při pozorování ze zemského povrchu lze pozorovat duhu jen jako neúplný kruh. Celistvý duhový kruh by mohl být vidět z vysoké věže nebo letadla. Avšak duhu lze spatřit nejen díky dešťovým kapkám, ale třeba i ve tísšti kapek u vodopádů či fontán.

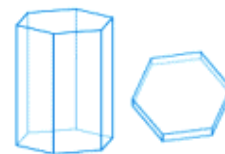
Všimli jste si, že se duha objevuje obvykle k večeru? Je to dáno tím, že u nás převládá západní proudění vzduchu, a tedy objeví-li se při končícím dešti pás jasného nebe, přichází nejčastěji od západu, odkud Slunce svítí právě navečer. A protože svítí již nízkou, duhový oblouk tudíž vystupuje vysoko, což ho činí nápadnějším. Avšak svítí-li Slunce ráno nad východním obzorem, při západním proudění se ještě před deštěm nasune oblačnost která Slunce zakryje, a proto tedy duha nenastává ráno tak často.

Mezi nezapomenutelné zážitky lze zařadit spatření duhy v noci. Tu může vyvolat měsíční svit v nočním dešti. Taková duha je slabá s nevýraznými barvami a poměrně vzácná, neboť Měsíc dostatečně svítí jen v období nedlouho kolem úplňku. Navíc noční duha nemá obvykle diváků; ti po nocích spí, či brouzdají internetem. Do dob Aristotelových bylo dokonce spatření noční duhy považováno za pověru.

Halové jevy

Halové jevy jsou optické úkazy, které se objevují na obloze kolem Slunce i Měsíce v podobě kol, oblouků a skvrn. Podmínkou pro jejich objevení je přítomnost drobných ledových krystalů v atmosféře, na nichž dochází k odrazům a lomům paprsků. Ledové krystalky se nacházejí v jemných řasových oblacích ve výškách nad 6 km, mohou se však vyskytovat za chladu i v přízemní vrstvě ovzduší. Vyskytují se v mnoha formách, ale pro vznik halových jevů jsou důležité krystalky ve tvaru šestiboké destičky a šestibokého sloupku. Podle toho, zda se světlo od krystalů odráží, nebo jimi prochází a láme se, mají halové útvary vzhled buď bělavý, či s duhovým nádechem.

Halových jevů existuje celá řada. Některé jsou časté, jiné se objeví jen jednou za několik let. Nejčastěji se objevuje malé halo - světlý kruh o poloměru 22° kolem Slunce a dále tzv. vedlejší slunce, která přiléhají po stranách z vnějšku k malému halu. Vedlejší slunce mají tvar světlých skvrn, často duhově zbarvených. Obvykle se ale vyskytuje jeden či dva, řidčeji i více jevů současně.



Kdy se objevují?

Podle dlouhodobých pozorování v západní Evropě lze některý z halových jevů pozorovat více než 100 dní v roce. Takové číslo by naznačovalo, že je lze pozorovat téměř kdykoli se na oblohu podíváme, ale výrazných a dobře pozorovatelných halových jevů je pochopitelně méně. Navíc jev může trvat jen několik minut. Ledové krystalky v atmosféře na nichž vznikají halové jevy se vyskytují ve výškách 6 - 12 km v oblačnosti vysokého patra, kde se nachází jemné oblaky typu cirrus, cirrostratus, cirrocumulus. Za výskyt halových jevů však vděčíme především oblačnosti typu cirrostratus, která na obloze vytváří jemné bělavé závoje, které sluneční disk nezastiňují (narozdíl od oblaků nízkého patra, které jsou tvořeny převážně vodními kapkami). Taková oblačnost pokrývá oblohu často před příchodem teplé fronty, a proto mohou být objevující se halové jevy předzvěstí zhoršení počasí a příchodu srážek. V přízemní vrstvě atmosféry se ledové krystalky vyskytují především v arktických oblastech, kde se halové jevy často objevují.

Koróna, irizace, gloriola

Tato nepříliš obvyklá pojmenování patří těm optickým jevům v atmosféře, které vznikají na kapičkách oblaků. Liší se tak od halových jevů, které za svůj původ vděčí ledovým krystalkům, jež se nacházejí ve vysoko plujících oblačných vrstvách. Koróny, irizace a nepříliš četné glorioly představují další z působivých jevů, které lze v přírodě spatřit.

Koróna

Prosvítá-li Měsíc skrze vrstvu drobných kapek obsažených v oblaku, často lze pozorovat v těsném okolí jeho kotouče soustavu soustředných barevných prstenců, jejichž jas směrem od Měsíce postupně slábne. Tento jev se nazývá koróna a můžeme ji pozorovat i kolem Slunce či pozemských zdrojů světla. Někdy je koróna bělavá, jindy intenzivně duhově zbarvená. V takovém případě je nejbližší ke světelnému zdroji modravý prstenec, vně červený až temně cihlový a mezi nimi lze tušit další barvy spektra. Nejčastěji lze pozorovat jen jeden sled duhových barev, ale vzácněji je možné vidět až tři takové soustavy spektrálních barev za sebou. Koróna tak může sahát do vzdálenosti 5 až 10° od světelného zdroje (pro srovnání: kotouč Slunce či Měsíce má úhlový průměr asi 0,5°). Koróna vzniká ohybem světla na drobných kapičkách vody, které jsou obsaženy v oblacích, mlze či kouřmu. Při ohybovém jevu se tvoří kolem zdroje světla soustavy prstenců barev spektra, jejichž poloměr závisí na velikosti kapiček a vlnové délce světla (červené paprsky mají delší vlnovou délku než modré paprsky - proto se maxima jednotlivých barev zobrazují v různých poloměrech kolem světelného zdroje). Pokud jsou kapičky mezi jimiž světlo prochází nestejně velké, pak se ohybový jev slévá jen ve slabě zbarvený či bělavý kruh světla, v němž se světlo Měsíce nebo jiného zdroje rozptýlí. Vysvětlení tohoto jevu na základě ohybu světla podal v roce 1852 francouzský fyzik E. Verdet (1824-1866). Lidovým názvem pro korónu je studánka, dvůr, popřípadě se užívá také termín aureola. V astronomii má pojem koróna jiný význam - užívá se jako název pro atmosféru Slunce, kterou lze však spatřit jen při jeho úplném zatmění.

Ohyb světla způsobující vznik koróny mohou vyvolat také drobné pevné částice vznášející se v ovzduší; například pyl. V jarním období unáší vítr celé oblaky malých pylových zrněk a při jejich vysoké koncentraci můžeme vzácně pozorovat *pylové koróny* kolem jasných světelných zdrojů; tedy nejčastěji kolem Slunce a Měsíce. Sled barev je v takové koróně stejný jako u koróny vznikající na vodních kapkách, avšak vzhled nemusí vždy nabývat podoby zcela pravidelných prstenců. Ten totiž také závisí na tvaru a orientaci pylových zrněk. Častým zdrojem pylových korón bývá pyl borovic a dalších dřevin.

Korónu si lze případně poplést s malým halem. Malé halo se však jeví jako bělavá či mírně duhově zbarvená kružnice kolem Slunce a Měsíce až ve vzdálenosti 22° a prostor uvnitř je prázdný, naopak koróna se rozlévá přímo od zdroje světla. Podstata obou jevů je odlišná. Koróna vzniká

ohybem světla na kapičkách vody, zatímco malé halo, které patří mezi nejčastější [halové jevy](#), vzniká lomem paprsků v ledových krystalcích oblaků.

Irizace

Na okrajích tenkých oblaků plujících nedaleko od oslnivého slunečního kotouče je občas možné pozorovat jejich irizaci - výrazné perleťové zbarvení, v němž převládají červenavé a zelenavé odstíny. Tento jev vzniká ohybem a interferencí světla při průchodu slunečních paprsků kapičkami oblačné vrstvy. Irizace často kopíruje po obvodu tenký oblak nebo má nepravidelný tvar a nabývá tak vzhled části nesymetrické či zdeformované koróny.

Intenzivní irizaci podléhá i vzácný druh tenkých oblaků vyskytujících se ve velkých výškách kolem 20 - 30 km, tedy již ve stratosféře. Tato vrstva atmosféry leží nad vrstvou, v níž se utváří počasí a kde běžné oblaky zasahují nejvýše do 10-12 km. Tyto zvláštní oblaky tvořené kapičkami podchlazené vody se díky výrazné irizaci nazývají perleťové oblaky. Jejich perleťový jas se projevuje nejvýrazněji jsou-li na soumravné obloze ještě osvětlovány paprsky již zapadého Slunce. U nás však perleťové oblaky spatřit nemůžeme, patří ke vzácným úkazům pozorovaným nejčastěji poblíž hornatých oblastí Skandinávie při rychlém vzdušném proudění.

Gloriola (Glórie)

Tento jev je svojí podstatou blízký již zmíněné koróně. Vzniká však zpětným ohybem světelných paprsků a projevuje se jako slabé soustředné barevné prstence kolem stínů vržených do vrstvy oblačnosti či mlhy, případně se dá pozorovat i na zemi kolem stínu vrženého do kapek ranní rosy.

Gloriolu lze zahlédnout například z letadla kolem jeho stínu promítnutého do oblačné vrstvy, nebo v horách, kde je možné vidět i vlastní stín na níže ležící oblačnosti ověncený přízračnou gloriolou. Tento úkaz je též znám pod názvem Brockenský přízrak, podle hory Brocken nacházející se v pohoří Harz v Německu, kde byl často popisován. Zmíněný optický jev také zaznamenal francouzský astronom a meteorolog C. Flammarion (1842-1925) při jednom ze svých letů balónem.

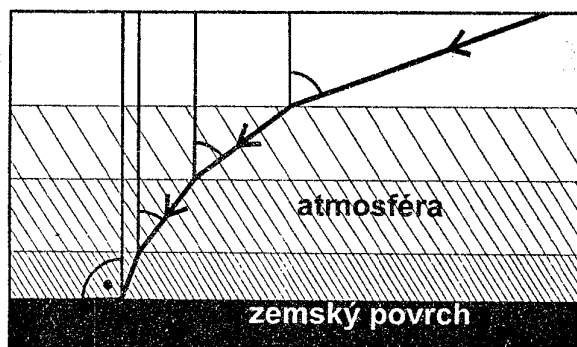
Dana Valachová
Žofie Sovová
Jiří Havelka

Světelné jevy v atmosféře

Východ a západ Slunce

Jakmile slunce zapadne, začne soumrak. Vrstvy vzduchu nad námi jsou ještě osvětleny, protože pro ně Slunce dosud nezapadlo, a od osvětlených částeczek vznášejících se vysoko v atmosféře se světlo dostává až k nám postupným odrazem přes nižší a už přímo neosvětlené částčky.

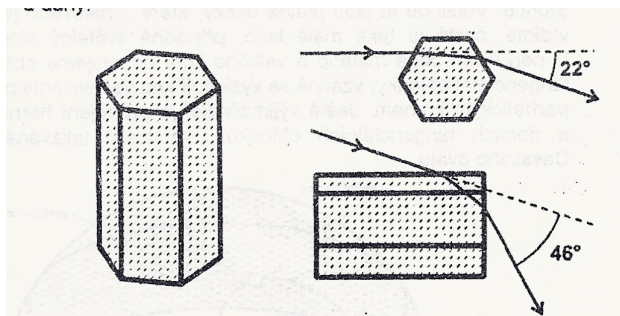
Slunce blízko obzoru má temně žlutý, oranžový a těsně u obzoru červený odstín.



Zajímavá je také deformace slunečního kotouče, který se u obzoru zploští (jeho výška se zmenšuje). Tento jev vzniká díky vlivu atmosféry a jde o lom **ke kolmici** (kolmice na zemský povrch odpovídá svislé přímce).

Halový jev

Jde o optický úkaz, ke kterému dochází lomem a odrazem na ledových krystalcích vysokého mraku, kterých se nazývá cirrostratus (řasosloha), někdy však i na zmrzlé mlze.



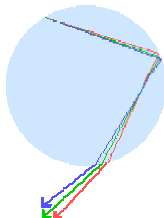
Duha

Vzniká lomem a odrazem v kapičkách deště a proč je barevná? Protože se světlo při vstupu do opticky hustšího prostředí rozkládá, vidíme v duze sluneční světlo rozložené na jednotlivé barevné složky. Od vnějšího okraje duhy směrem k vnitřnímu v pořadí: červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá až fialová. Každá barva má specifický index lomu n . Proto vystupující paprsek svírá s původně vstupujícím paprskem různé úhly: 42,5° (červená barva)

41,9° (zelená)

41,5° (modrá)

40,6° (fialová)



Polární záře

Pozor polární záře není sluneční světlo, ale proud částic!

Jde o **sluneční vítr** – proud elektronů a protonů které se pohybují cca. 250-700 km/s. Vnikají do magnetického pole země (v okolí magnetických pólů), zde se setkávají s částicemi ovzduší a způsobují – fosforescenci.

K tomuto jevu dochází v atomech kyslíku, jejichž elektrony po srážce s elektronem, získá energii a vzápětí ji ztrácí. Je vyzářena, v tomto případě, světelnou částicí zelené barvy. (při srážkách s jinými plyny vzniká ono úžasné barevné spektrum.

Zdroje:

Astropis 2. číslo 2000

Sluneční sekce ŠH

Mt. Wilson (www.Astr.ucla.edu)

diplomová práce J. Hosnedla publikované na stránce Západočeské univerzity v Plzni

Jan Bednář: Pozoruhodné jevy v atmosféře, Academia, 1989

Ivan Štoll: Podivuhodné přírodní úkazy, Fragment, 1998

Stephen Pople, Peter Whitehead: Fyzika – přehled učiva

www.spaceweather.com

www.northern-lights.no

www.gi.alaska.edu/cgi-bin/predict.cgi

Extrasolární planety

Autoři: Michal Štěpán
Pavel Němec

Prvním člověkem, jenž se vážně zabýval hledáním exoplanet, byl holandský fyzik C. Huggens již roku 1698. Tehdejší technika však přirozeně na něco takového zdaleka nestačila – ostatně dodnes se žádnou exoplanetu nepodařilo přímo pozorovat.

První exoplanety paradoxně našli radioastronomové (A.Wolszczan aj.1994) u rychle rotující neutronové hvězdy zásluhou faktu, že mateřská hvězda – pulsar PSR 1257 + 12 s rotační periodou 6,2 ms má tuto periodu konstantní s relativní přesností $3 \cdot 10^{-20}$ což jsou fakticky nejlepší známé hodiny ve vesmíru. Naštěstí však díky stále přesnějším spektrografům objevu exoplanet u standardních hvězd hlavní posloupnosti nyní utěšeně přibývá.

Detekování exoplanet spektrografem patří mezi nejrozšířenější metody. Způsob detekce spočívá v pozorování posunu spektra pozorovaného záření, který je způsoben vzájemnou interakcí mezi hvězdou a planetou. Obíhající planeta ovlivňuje svou hmotností dráhu hvězdy – obíhají okolo společného těžiště, což se při pozorování spektrografem projeví spektrálním posunem. Pakliže se hvězda k pozorovateli přibližuje, jedná se o modrý posuv v opačném případě se pohyb hvězdy projeví posunem do červené části spektra.

G. Marcy aj. odhalili pomocí přesného (schopen detekovat radiální rychlost s přesností 10 ms^{-1}) spektrografu u Keckova dvě exoplanety s hmotností nižší než Saturn. První se nachází je 6 miliónů kilometrů od hvězdy HD 46375 vzdálené od nás 33 parseků. Má hmotnost 0,8 hmotnosti Saturnu, zatím vůbec nejkratší známou oběžnou periodu 3 dny a její povrchová teplota dosahuje 1100°C . Druhá exoplaneta o hmotnosti pouze 0,7 hmotnosti Saturna obíhá ve vzdálenosti 52 milionů kilometrů od hvězdy 79 Cet, vzdálené od nás 36 parseků, za 76 dní. Její povrchová teplota činí 800°C . G. Henry se bezúspěšně pokusil o odhalení případných přechodů exoplanety před hvězdou HD 46375, z čehož plyne, že sklon její dráhy je menší než 83° , ale ani to nijak neohrožuje fakt, že její hmotnost je srovnatelná s hmotností Saturnu. Tito autoři nyní soustavně sledují 1100 hvězd do 100 parseků od Slunce a do konce března 2000 našli celkem již 32 exoplanet. Podle S. Vokta aj. pracují nyní u Keckova teleskopu na hledání exoplanet čtyři týmy, které zatím dokázali zkontrolovat všechny žluté a červené trpaslíky jasnější než 7,5 mag. Mezi objevenými exoplanetami převažují objekty s nízkými hmotnostmi (cca. 0,4 Mj) a vysokými výstřednostmi (e je větší než 0,1), zejména pro velké poloosy na 0,2 AU. Relativně často jsou pozorovány exoplanety v ekosférách mateřských hvězd, takže alespoň v principu jsou vhodné pro život. Mateřské hvězdy se v porovnání se sluncem vesměs vyznačují vyšším obsahem kovů. V přehlídkách se podařilo projít relativně málo hnědých trpaslíků, takže jejich deficit je nejspíš reálný. G.Marcy a R.Butler uvádějí, že z dosavadní statistiky vyplývá, že asi 5 % hvězd hlavní posloupnosti je doprovázeno exoplanetami s hmotnostmi 0,4 – 11 násobku hmotnosti Jupitera ve vzdálenostech 0,004 až 3,8 AU, zatímco méně než jedno procento těchto hvězd má kolem sebe hnědé trpaslíky s hmotnostmi 5 – 80krát větší hmotnosti než je hmotnost Jupitera. K podobnému závěru dospěli též J.Halbwegs aj., když prozkoumali dráhy 11 spektroskopických dvojhvězd s malými hmotnostmi sekundárních složek a také astrometrické dvojhvězdy pozorované družicí HYPARCOS. Ukázali, že hmotnosti 5 sekundárních složek odpovídají trpasličím hvězdám a jen v jednom případě je sekundární složka skoro určitě hnědým trpaslíkem.

Speciálním případem využití spektrografu je pozorování absorpce určité části spektra záření, které je pohlcováno atmosférou průchozí planety, přičemž k tomuto pohlcování dochází v určitých periodách daných dobou oběhu planety okolo hvězdy. S takto získané doby oběhu můžeme zjistit hmotnost planety a hvězdy a jejich vzájemnou vzdálenost.

Poněkud odlišným způsobem detekce extrasolárních planet je pozorování změn jasnosti hvězdy, způsobené pravidelným zakrýváním hvězdy planetou při jejím oběhu kolem ní.

R. Gyllylan aj. studovali kulovou hvězdokupu Tuc pomocí HST (Hubble space telescope) s cílem objevit tam exoplanety výše popsaným postupem. Jelikož v zorném poli sledovali jasnosti celkem 34 000 hvězd hlavní posloupnosti po dobu více než 8 dnů, očekávali za předpokladu, že exoplanety se tam vyskytují stejně často jako ve slunečním okolí, objev 17 poklesů jasnosti, ale přestože našli 75 proměnných hvězd, ani jedna neodpovídá tomuto předpokladu. Z toho lze usoudit, že ve staré hvězdné soustavě, jsou exoplanety nejméně o řád vzácnější, než v relativně malém okolí slunce.

Velmi perspektivním projektem do budoucna se jeví projekt Darwin. Ten by měl být tvořen soustavou 7 teleskopů, které budou rozestavěny ve vesmíru za dráhou Marsu. Vytvořený obraz se odešle pomocnou sondou na Zemi, kde se bude dále zpracovávat. Předpokládá se, že bude schopen „uvidět“ planety podobné Zemi až do vzdálenosti 20 světelných let. Tento projekt by se měl uskutečnit do konce tohoto desetiletí.

Literatura: Kosmos 2001 ročník XXXII. Č.6

Kosmos 2001 ročník XXXII. Č.5

Kosmos 2001 ročník XXXII. Č.4

Internet