



FYZIKA JAKO VĚDA SJEDNOCUJÍCÍ PŘÍRODNÍ VĚDY, FILOZOFII A TECHNIKU prof. Ing. Bohumil Vybíral, CSc.

studijní materiál ke kurzu Mezioborové dimenze vědy



INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Fakulta informatiky a managementu Univerzity Hradec Králové
Projekt Informační, kognitivní a interdisciplinární podpora výzkumu je spolufinancován
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PŘEDNÁŠKA V KURZU **MEZIOBOROVÉ DIMENZE VĚDY**,
FAKULTA INFORMATIKY A MANAGEMENTU UHK, 21. ZÁŘÍ 2011

Fyzika jako věda sjednocující filosofii, přírodní vědy a techniku

Prof. Ing. **Bohumil Vybíral**, CSc.,
katedra fyziky Přírodovědecké fakulty UHK

Osnova přednášky

1. **Fyzika jako věda**, kterou si člověk vytváří objektivní obraz o jevech probíhajících ve světě (v širším slova smyslu) a která mu umožňuje zjišťovat a ovlivňovat fyzikální stavy látek. Ve svých důsledcích je pak využívat formou technických vynálezů pro svůj prospěch. Východiskem fyziky jako vědy jsou pozorování a experimenty.
2. **O poznatelnosti světa – gnoseologie**, filosofické konsekvence. Zpětný vliv poznání a aplikace přírodních zákonů člověkem na vývoj celé společnosti (století páry, století elektřiny, nyní století informačních technologií – počítačová gramotnost).
3. **Fyzika v toku dějin** – pozorování a fyzikální experiment (a příslušná měření fyzikálních veličin) jako základ pro budování fyzikální teorie – pro vytváření matematických modelů dějů a stavů.
Vývoj jednotlivých fyzikálních oborů – stručný přehled:
 - a) Klasická mechanika, b) Klasická teorie gravitace,
 - c) Teorie elektromagnetického pole,
 - d) Speciální teorii relativity, e) Obecná teorie relativity,
 - f) Kvantová fyzika, g) Atomová a jaderná fyzika.
4. **Fyzika jako základ ostatních přírodních věd** (chemie, biologie) a moderní medicíny; vztah fyziky a matematiky Rozvoj matematiky na podporu rozvoje fyzikálních teorií (a naopak).
5. **Fyzika jako základ technických aplikací**, detailněji např.:
 - a) Mechanika proudění tekutin (vodní, parní a plynové turbíny a raketové motory, letadla, mechanika pohybu rakety).
 - b) Elektrotechnika (výroba a rozvod elektrické energie, elektrické generátory a motory, osvětlení, elektronika aj.)
 - c) Teorie elektromagnetického vlnění (telekomunikace – rádio, televize, mobil, radary, laser, holografie).
 - d) Historie techniky a fyziky jako motivační činitel pro mládež.
6. **Problémy, trendy a perspektivy současné fyziky**: Fyzika mikrosvěta – dokončení standardního modelu. Obří urychlovače částic v boji za poznáním mikrosvěta a megasvěta (superurychlovač LHC v CERNu). Výkonové lasery na cestě za poznáním hmoty v extrémních podmínkách (PALS v Praze, projekt ELI). Cesty k uskutečnění řízené termojaderné fúze (jak tokamakem nebo lasery - HiPER).

1. Fyzika jako věda

1.1 Fyzika a její role ve společnosti

Fyzika je přírodní věda, která zkoumá nejobecnější zákonitosti jevů přírody, stav látek a jejich změny, stavbu a vlastnosti hmoty a zákony jejího pohybu. Fyzikální poznávání je členitý, složitý proces, který poskytuje modely chování objektů a modely jejich struktur a který směřuje k vytváření (a zdokonalování) co nejúplnějšího obrazu světa a jeho možných změn. Je to proces, v němž hraje rozhodující roli člověk – fyzik. Tvůrcem fyzikálního zákona je tedy člověk, neboť zákon jím formulovaný více či méně přesně popisuje fyzikální stav látky anebo průběh děje v přírodě. Je nesprávné, když se uvádí, že „příroda se řídí přírodními zákony“ (a toto někdy tvrdí i renomovaní fyzici). Příroda se řídí sama podle sebe, člověk ji pozoruje a snaží se průběh těchto dějů, případně stavů látek, matematicky popsat fyzikálními zákony. Správnost každého formulovaného zákona ověřujeme (verifikujeme) dalšími experimenty.

Vlastností člověka, která jej odlišuje od ostatních živých tvorů, je jeho touha poznávat svět, v němž žije a využívat dosažených poznatků pro svou existenci. Role fyziky, jako vědy je nejen poskytovat modely chování fyzikálních objektů a modely jejich struktur, nýbrž a především hledat pragmatické vyústění objevených zákonitostí v technických aplikacích (resp. to zpravidla nedělá fyzik, nýbrž technik na základě poznatků dosažených fyzikem). Nepříjemným vedlejším důsledkem výsledků tohoto procesu poznávání a aplikací však často bývá i jeho zneužívání určitými skupinami lidí pro mocenské, kořistnické i zločinecké cíle. Poznáváním člověk nejen získává a zdokonaluje fyzikální obraz světa, nýbrž vhodnou formou vzdělávání zajišťuje kontinuitu procesu poznávání.

1.2 Stupně fyzikálního poznávání

Fyzikální poznávání je členitý, složitý proces, který lze rozložit na několik etap: experiment, hypotéza (pořadí zde bývá často obrácené), fyzikální zákon, (fyzikální) princip, fyzikální teorie. V této úvaze se souhrnně zaměříme na obecné principy, na nichž je vybudována fyzika. Ohlédneme-li se zpět do historie fyziky tak zjistíme, že obecné principy byly formulovány a rozvíjeny největšími postavami dějinného vývoje fyziky. Nejprve se však zastavíme u jednotlivých etap fyzikálního poznávání.

1.3 Fyzikální experiment

Fyzika jako přírodní věda vychází zpravidla z *experimentu* (vedle druhé možnosti, kterou je pozorování – *observace*). Při experimentu objektivně sledujeme (měřením přístroji) vzájemnou závislost fyzikálních veličin vyšetřovaného děje za působení co nejmenšího počtu rušivých jevů. Charakteristikou experimentu je, že badatel navodí děj s předem stanovenými podmínkami tak, aby jej bylo možné za stejných podmínek opakovat. Vedle poznatků získaných pomocí cíleně připravených sestav experimentů je další metodou přímé objektivní pozorování probíhajících přírodních jevů. Jde tedy o poznatky empirické (observační). Výsledky získané měřením se zobecňují do formy fyzikálního zákona (zpravidla popsaného matematickým vztahem, rovnicí – matematickým modelem), přičemž jeho správnost ověřujeme dalšími experimenty. U reálně probíhajícího experimentu, který má být východiskem k vytvoření kvantitativních modelů fyzikálních jevů, má zásadní význam přesné měření fyzikálních veličin. Měření veličin opakujeme a statisticky vyhodnocujeme, abychom mohli určit přesnost měření. Pro formulování fyzikálního obrazu světa mají vedle obecných fyzikálních teorií (kvantové teorie, teorie relativity a gravitace) zásadní význam fundamentální experimenty, které jsou východisky teorií.

1.4 Hypotéza

Na základě výsledků experimentů nebo přímého pozorování přírodních jevů můžeme formulovat *hypotézu* (domněnku) o podstatě probíhajících jevů. Její ověření vyžaduje další experimenty, tzv. *verifikační*. Hypotéza se zpravidla vyslovuje před formulací příslušného zákona anebo slouží k utřídění poznatků. Hypotéza formulovaná před vlastním experimentem (tzv. *pracovní hypotéza*) usnadňuje badateli jeho přípravu a provedení – pokud je správná. Prognózuje průběh zkoumaného děje – jak asi bude probíhat a na jakých veličinách bude záviset. Pokud je hypotéza v rozporu s experimentem, je nutno ji zamítnout, vyslovit jinou hypotézu a ověřit ji novým experimentem.

1.5 Fyzikální zákon

Pro kvalitativní a kvantitativní popis fyzikálních jevů, stavů a vlastností objektů, které jsme poznali při pozorování a experimentování, musíme mít definovány příslušné fyzikální veličiny a jejich jednotky. *Fyzikální zákon* vyjadřuje určitou zobecněnou závislost mezi skupinou sledovaných fyzikálních veličin. Jeho formulace může být slovní, matematická nebo i grafická. Významná je matematická formulace zákona (jde o matematický model jevu nebo stavu), která na základě dalšího matematického zpracování se zákony souvisejících jevů, stavů a vlastností umožňuje teoreticky předpovědět nové jevy, přičemž jejich reálnou existenci je nutné ověřit verifikačními experimenty.

Ve fyzice se setkáváme jednak s *deterministickými zákony*, které na základě definovaných počátečních (resp. okrajových) podmínek umožňují jednoznačně předpovědět konečné stavy jevů a objektů. Druhou skupinu tvoří *statistické zákony*, které umožňují stanovit jen pravděpodobnost stavů v libovolném okamžiku na základě znalostí počátečních stavů. Jsou deterministické jen ve smyslu kauzality. V této souvislosti je třeba upozornit na to, že přírodní děje neprobíhají zpravidla podle zjednodušených modelových lineárních pohybových rovnic. Při jejich popisu se zpravidla uplatňují zákonitosti *deterministického chaosu* (resp. zákonitosti chaotického chování fyzikálních objektů v deterministických systémech), které jsou popsány nelineárními rovnicemi.

1.6 Fyzikální princip

Fyzikální zákon, který má velmi univerzální platnost (popisující zpravidla jevy a stavy i z různých oblastí fyziky) se označuje jako (fyzikální) *princip*. Princip se neodvozuje a ani v obecné formě nedokazuje, nýbrž se jen vhodně formuluje – zpravidla na základě intuitivního shrnutí dosavadních teoretických a experimentálních poznatků. Můžeme tedy jen ověřovat jeho důsledky, a to srovnáváním s pozorováním, s experimenty a tím, že z něj vyplývají již dříve poznané fyzikální zákony. Dlužno však poznamenat, že rozlišování mezi zákony a principy není ve fyzikální literatuře zcela jednoznačné. Je to podmíněno především historickým vývojem poznání.

Nad fyzikální principy je možné nadřadit jen filosofický **princip kauzality** (příčinnosti), podle něhož probíhají především všechny přírodní děje: *nejprve vzniká příčina a po ní se dostavuje účinek, následek*. Na základě tohoto principu např. A. Einstein dospěl v důsledcích speciální teorie relativity k poznatku, že maximální rychlost přenosu libovolné interakce je rovna univerzální fyzikální konstantě – rychlosti světla ve vakuu.

1.7 Fyzikální teorie a její vztah k experimentu

Soustava fyzikálních zákonů, které spolu kauzálně nějak souvisí, se sjednocuje do jediné *fyzikální teorie*. Ta pak podává systematický zobecněný obraz o popisované fyzikální skutečnosti, umožňuje kauzální pohled na soustavu jevů a stavů a předvídaní jevů nových (ověřujeme je verifikačními experimenty; přičemž označit určitý experiment za verifikační

nebo heuristický je podmíněno historickým hlediskem). K úspěšným fyzikálním teoriím patří např. analytická mechanika, kinetická teorie plynů, Maxwellova teorie elektromagnetického pole, Einsteinova teorie relativity aj. Při axiomatické výstavbě fyzikální teorie mají charakter axiomů správně formulované (fyzikální) principy.

1.8 Fyzikální experiment – kritérium správnosti teorie

Při experimentu objektivně kvalitativně nebo kvantitativně sledujeme (měřením pomocí přístrojů) vzájemnou závislost fyzikálních veličin vyšetřovaného děje za působení co nejmenšího počtu rušivých jevů. Výhodou experimentu je, že badatel navodí děj s předem stanovenými podmínkami tak, aby jej bylo možné za stejných podmínek opakovat. U reálně probíhajícího experimentu, který je východiskem k vytvoření dobrých kvantitativních (matematických) modelů fyzikálních jevů, má zásadní význam přesné měření fyzikálních veličin. Měření veličin opakujeme a statisticky vyhodnocujeme chybu měření. Poté nastupuje člověk – fyzik s cílem formulovat fyzikální zákon. K tomu je nutná patřičná dávka fyzikálního myšlení a invence (logika, induktivní zobecňování, zvažování, které jevy jsou v dané situaci nepodstatné a tím zanedbatelné). Tak se měřením získané výsledky zobecňují do formy fyzikálního zákona (zpravidla popsaného matematickým vztahem, rovnicí – matematickým modelem). Tvůrcem fyzikálního zákona je tedy člověk, neboť zákon jím formulovaný více či méně přesně popisuje fyzikální stav látky anebo průběh děje v přírodě. Je tedy nesprávné, když se uvádí, že „příroda se řídí přírodními zákony“ (a toto někdy tvrdí i renomovaní fyzici). Příroda se řídí sama podle sebe, člověk ji pozoruje a snaží se průběh těchto dějů, případně stavů látek, matematicky popsat fyzikálními zákony. Správnost každého takto formulovaného zákona ověřujeme (verifikujeme) dalšími experimenty.

Experimenty, které slouží k budování fyzikálního obrazu světa (neboli *vědecké* experimenty), lze členit [8] na *heuristické* (objevné, badatelské) jejichž cílem je nalezení dosud neznámé zákonitosti a *verifikační* (ověřovací), kterými se ověřuje platnost zákona, získaného deduktivním teoretickým postupem anebo se jimi ověřují meze platnosti zákona, původně formulovaného pro jiné podmínky.

Na uvedené členění se můžeme dívat jednak z hlediska historického vývoje poznání, jednak z hlediska současného budování fyzikálního obrazu světa. V důsledku nalezených souvislostí mezi jednotlivými jevy nebo jejich skupinami, podněcených rozvojem fyzikální teorie i jejích aplikací, tak experimenty původně heuristické přecházejí do skupiny experimentů verifikačních. Fyzikální experimenty, které mají stěžejní význam pro budování fyzikálního obrazu světa, označujeme jako *experimenty fundamentální* (resp. základní). Těmito fundamentálními experimenty mohou být jak významné experimenty heuristické, tak i experimenty verifikační, pokud ověřují např. hypotézu, která má zásadní význam pro budování určité fyzikální teorie anebo pro oprávněnost teoretických dedukcí.

Experimenty ve fyzice lze z jiného hlediska také členit na:

- *reálné* – kdy sledujeme reálně probíhající fyzikální děje a měříme je reálnými přístroji v reálném čase – jde o experimenty zásadního významu,
- *myšlenkové* – kdy se myšlenkově navodí podmínky a postup možného experimentu, přičemž výsledky se neměří, avšak deduktivně se odvozují ze známých zákonů za idealizovaných podmínek. Tento „experiment“ probíhá jen v podobě logických soudů a přináší nové poznatky bez ohledu na to, zda je experiment skutečně realizovatelný,
- *počítačové* – kdy jde o matematickou simulaci možných jevů na počítači, naprogramovanou užitím již známých zákonů (tj. matematických modelů jevů a stavů).

Myšlenkové a počítačové experimenty ve skutečnosti fyzikálními experimenty v pravém slova smyslu nejsou – reálné experimenty jimi nelze zcela nahradit. Jde o vědecké metody vytváření fyzikálního obrazu světa, kdy se experimenty jen simulují podle dosavadních poznatků a zákonů, avšak za často extrémních podmínek (tak lze snadno simulovat zpomalení děje, nebo jeho urychlení). Lze jen očekávat, že skutečné děje by podle nich pravděpodobně probíhaly.

2. O poznatelnosti světa – gnoseologie

(aneb o vztahu fyziky a filosofie)

2.1 Gnoseologie (noetika, teorie poznání)

Gnoseologie je samostatná filosofická disciplína, která se vymezila jako nauka o poznání, jeho zdrojích, podmínkách, možnostech a svých mezích. V průběhu vývoje (počínaje R. Descartem a I. Kantem) řešila problematiku vztahu smyslového a rozumového poznání, zabývala se tvorbou obecných pojmů a vedla spor o univerzália. Gnoseologie tvoří společně s *ontologií* (zabývající se základními otázkami bytí a jsoucna) dvě základní součásti filosofie.

Poznání je proces, při němž *subjekt* (člověk jako pozorovatel nebo experimentátor) získává informace o *objektu* (předmětu poznávání), přičemž dochází k *reflexi*, k vytváření pokud možno věrného (pravdivého) *obrazu* o objektu. Při procesu poznání subjekt získané informace zpracovává, hodnotí, hledá vztahy mezi objekty, objevuje jejich základní *vlastnosti* a *zákonitosti* jejich vývoje neboli uskutečňuje myšlenkovou reflexi poznávaného vztahu. Proces poznání je tedy jednotou tří jeho složek: subjektu, objektu a poznáných zákonitostí. Filosofie k procesu vědeckého poznání poznamenává: *lidé poznávali dříve, než poznali, že poznávají*. Stejně tak mysleli dříve, než pochopili, že myslí. Přitom poznání a myšlení nejsou zcela totožné procesy – poznávat můžeme jen to, co vskutku je, kdežto myslet můžeme i na to, co není.

V souvislosti s procesem poznání se ve filosofii také řeší otázka o *poznatelnosti objektu*. Jde také o to, aby při poznání nedocházelo k ovlivňování objektu subjektem, a tím ke zkreslení získávaných poznatků o něm. Pokud vezmeme příklad z fyziky, tak závisí na tom, jaké objekty poznáváme. U objektů *megafyzikálních* (tj. galaxie a jejich soubory, kvazary, metagalaxie, tj. u objektů ležících za naší Galaxií), nemůže v principu docházet k jejich ovlivňování subjektem, protože objekty jsou značně rozlehlé, vzdálené a pozorovatel získává informace o nich rovněž se značným zpožděním. U objektů *makrofyzikálních* (atomy, molekuly až hvězdy Galaxie) by v některých případech k ovlivňování objektu subjektem mohlo docházet – musíme proto volit vhodné pozorovací metody anebo jejich vliv korigovat (budeme-li např. měřit vlastní frekvenci pružného tělesa nevhodným, značně hmotným snímačem, dojde ke snížení vlastní frekvence soustavy těleso – snímač). Složitější je ovšem situace při poznávání zákonitostí u objektů *mikrofyzikálních* (jednotlivý atom, jádro a jeho složky, elementární částice). Zde v důsledku platnosti Heisenbergovy relace neurčitosti pro polohu a hybnost ($\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$), resp. pro energii a časový interval ($\Delta E \Delta t \geq \hbar$) vznikají pochybnosti o možnosti úplného poznání mikrosvěta (viz kodaňskou školu z 20. let 20. stol.).

V průběhu historického vývoje se od vlastní filosofie postupně oddělily disciplíny, které původně byly chápány jako filosofické. Patří mezi ně např. psychologie, logika, filosofie jazyka, filosofie vědy a do jisté míry i *fyzika* (fyzika se např. ještě ve 20. letech 20. stol. studovala na Karlově univerzitě v Praze na filosofické fakultě). Toto odtržení fyziky od filosofie fyzikálnímu oboru do jisté míry pomohlo, protože v průběhu 20. stol. došlo k prudkému rozvoji fyziky s četnými technickými a jinými přírodovědnými aplikacemi. Na druhé straně citelně chybí těsnější interakce mezi obecnými fyzikálními obory a filosofií. Trpí

tím jak filosofie (navíc filosofové často nejsou sto do hloubky chápat nejnovější fyzikální poznatky o světě), tak fyzika (filosofie pro ni vytváří *obecnou metodologii*, a to právě v rámci gnoseologie). Proto je žádoucí, aby filosofové pěstovali fyziku a fyzikové filosofii. Na to má upozornit právě předložená stať. Dá se říci, že fyzika je pro filosofii tou největší laboratoří, v níž může ověřovat své obecné poznatky a závěry pěstovaných myšlenkových procesů. Na druhé straně fyzika v rámci výuky může posilovat filosofické myšlení již u studentů.

2.2 Vztah stupňů fyzikálního poznávání z filosofického hlediska

Vztahem *hypotéza – experiment – teorie – experiment* se v obecné rovině zabývá i současná filosofie a metodologie vědy. Aplikací jednoho ze základních pravidel logiky *modus ponens*: $((A \rightarrow B) \& A) \rightarrow B$ v přírodní vědě dostaneme tento postup: z teorie *A* plyne pozorovatelný jev *B* a platí-li teorie *A*, jev *B* nastane. Tento postup je však „metodologicky sterilní“ [3], neboť cílem je právě pravdivost *A* zjistit. *Proces verifikace* by měl proto vypadat takto: z teorie *A* plyne pozorovatelný jev *B*, nastane-li jev *B*, platí teorie *A*. To ovšem neplatí, neprovedeme-li všechny možné pokusy *B*. Postup lze modifikovat zavedením hodnověrnosti, která bude vyjadřovat míru naší důvěry v teorii *A*. S každým úspěšným pozorováním *B* pak hodnověrnost teorie stoupá.

Jiný přístup prosazoval K. R. Popper (1902–1994), který navrhl použití pravidla logiky *modus tollens*: $((A \rightarrow B) \& \neg B) \rightarrow \neg A$. Jde o model založený na tzv. *falzifikaci*. Pozorujeme-li jev $\neg B$ nesouhlasný s teorií *A*, je teorie falzifikována a musí být nahrazena jinou – jde o *proces falzifikace*. Z procesu verifikace i falzifikace je zřejmý zásadní význam experimentu pro budování teorie. Experiment slouží ke zjištění shody či neshody s navrženou hypotézou. Na druhou stranu však nelze význam experimentu přeceňovat, neboť důležitou a konečnou součástí procesu poznání je vytvoření teorie. Tento proces nemusí být proto založen pouze na empirickém pozorování (např. vznik obecné teorie relativity), avšak ve svých důsledcích musí být v souladu s pozorováním anebo verifikačním experimentem. Podle Poppera probíhá proces budování vědy tak, že badatel formuluje hypotézy, které jsou nakonec falzifikovány, na jejich místo přichází revidované hypotézy, které ovšem budou také falzifikovány. Každá teorie tedy nakonec podlehně falzifikaci. Falzifikovatelnost je tedy hlavní charakteristikou vědecké hypotézy, neboli nefalzifikovatelná hypotéza nemá ve vědě místo. Falzifikující experiment má proto dvojí zásadní význam: jednak ukončuje platnost jedné teorie, zároveň však musí stát u zrodu teorie nové, adekvátnější, teorie s vyšším stupněm obecnosti. Tím může být proces falzifikace ukončen. Nová teorie musí přitom poskytovat nové deduktivní důsledky, které jsou experimentálně ověřitelné.

2.3 Impulsy poznávání

Zkušenosti z historie poznávání nás vedou k **hypotéze o impulsích poznávání**, podle níž každý kvalitativně nový prostředek (přístroj), zkonstruovaný na základě aplikace dosavadních fyzikálních poznatků, dříve či později vyvolá kvantitativní pokrok v dalším procesu poznávání. V historii vědy lze najít řadu příkladů, které to potvrzují. Na některé z nich bude vhodné upozornit.

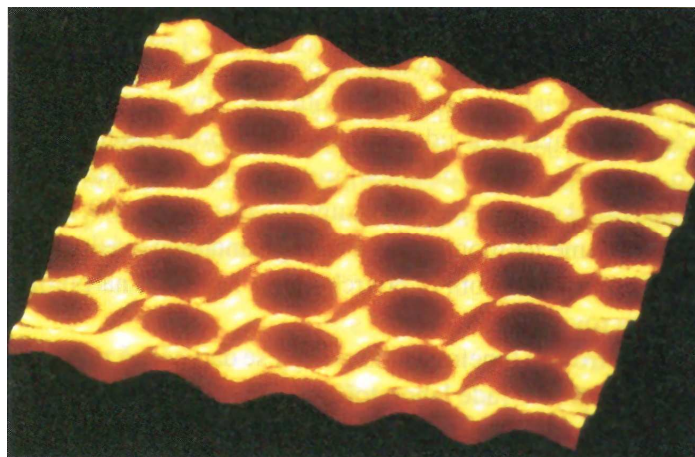
- **Dalekohled** (konec 16. století – Z. Jansen, H. Lippershey a Metins) mj. výrazně urychlil poznávání sluneční soustavy a dalších částí vesmíru. Roku 1609 G. Galilei konstruuje hvězdářský čočkový dalekohled o trojnásobném zvětšení, kterým odkrývá složení Mléčné dráhy z hvězd, objevuje čtyři Jupiterovy měsíce, Saturnův prstenec, popisuje fáze Venuše a skvrny na Slunci. Otevírá tak dlouhou, velmi četnou řadu astronomických pozorování až do dnešní doby. K současným nejúspěšnějším dalekohledům patří Hubbleův kosmický dalekohled (1990) o celkové hmotnosti 11,6 tun a se zrcadlem o průměru 2,4 m. Je vybaven kamerami, fotometri a spektrometri. Jeho stavba na Zemi trvala 15 let a cena při startu byla 1,5 miliardy

USD. Největší současný dalekohled VLT (Very Large Telescope) buduje od roku 1991 Evropská jižní observatoř (ESO) v chilských Andách ve výšce 2635 m n.m. Funkční je od roku 2004. Jde o soustavu čtyř dalekohledů, každý o průměru 8,2 m, které ve spřaženém režimu činnosti odpovídají jednomu přístroji o průměru zrcadla 16 m. K dalším obdivuhodným současným teleskopům patří *Keckův dalekohled*, který byl postaven v letech 1993 až 1996 na Havajských ostrovech ve výšce 4000 m n.m. Jde o soustavu dvou teleskopů, každý o hmotnosti 300 tun a se zrcadly o průměru 10 m.

- **Radioteleskop** významně rozšířil proces poznávání vesmíru v neviditelné oblasti radioaktivního záření. První rádiové vlny přicházející přibližně ze středu Galaxie identifikoval roku 1932 K. Jansky v USA. První astronomický radioteleskop sestrojil r. 1937 G. Reber (USA). Zjistil jim, že rádiové vlny vycházejí z oblasti hvězd v souhvězdí Střelce, Labuti a Kasiopeji. Největším současným radioteleskopem je *Arecibo* postavený v roce 1963 na ostrově Portorico (v roce 1997 byla provedena jeho rekonstrukce). Stacionární anténa má průměr 304 m a tvoří ji 40 tisíc hliníkových desek uspořádaných do kulové plochy o poloměru křivosti 265 m. Největším radioteleskopem s pohyblivou montáží je od roku 2000 americký radioteleskop *GBT* (Green Bank Telescope), jehož eliptická anténa má rozměry 110 m x 100 m. Největší soustavou radioteleskopů je soustava 27 přístrojů, každý s anténou o průměru 25 m, uspořádaných do tvaru písmene Y s délkou ramene 36 km. Soustava byla vybudována v Novém Mexiku v USA v letech 1971 až 1981.

Vzhledem k automatickému režimu činnosti přinášejí všechny uvedené velké dalekohledy a radioteleskopy veliké množství informací o vesmíru.

- **Mikroskop** (r. 1590 – Z. Jansen) otevřel cestu poznání především v mikrobiologii a medicíně. Např. již v 60. a 70. letech 17. století popsal M. Malpighi rozsáhlé soubory morfologických a anatomických struktur na základě mikroskopických výzkumů. Další kvalitativní změnu zaznamenal až objev a konstrukce **elektronového mikroskopu** v roce 1937 (B. von Borries, H. Ruska, E. Kraus, M. von Ardenie, B. Beischer, E. Brücke, aj.). U něj se dnes dosahuje přímé zvětšení až 10^5 , tedy až 100krát větší než u optického mikroskopu. Rastrovacím elektronovým mikroskopem se podařilo zobrazit i jednotlivé atomy (obr. 1).



Obr. 1. Kontura povrchu grafitu zobrazená na rastrovacím tunelovém elektronovém mikroskopu se zřetelně viditelnými atomy uhlíku tvořícími šestiúhelníkovou strukturu

- **Optická spektrální analýza**, vypracovaná roku 1859 W. R. Bunsenem a G. Kirchhoffem, znamenala kvantitativní změnu ve zkoumání chemického složení látek. Zejména se osvědčila u astronomických objektů a potvrdila jednotnou látkovou strukturu vesmíru. První moderní spektroskop zkonstruoval již roku 1856 M. Meyerstein.

- **Polarograf** (léta 1922 - 1925, J. Heyrovský, M. Shikata) umožnil automaticky a přesně analyzovat přítomnost i stopových prvků v látkách. Našel široké výzkumné uplatnění při analýzách zejména v chemii, biologii a medicíně.

- **Cyklotron** (r. 1930 – E. O. Lawrence) byl první z kruhových urychlovačů, který stál na počátku systematického a intenzivního studia základních částic a jaderných reakcí.

- **Družice Země, kosmické sondy a lodi** (od roku 1957) výrazně kvantitativně i kvalitativně rozvinuly výzkum vesmíru. Nevýznamnější je americký projekt *Apollo* z počátku 60. let 20. století, jehož cílem bylo přistát s lidskou posádkou do konce 60. let na Měsíci. Zahrnoval 17 kosmických lodí (každá o hmotnosti 40 t), z nichž jich v letech 1967 až 1972 vzlétlo 16 celkem s 30 kosmonauty, přičemž tři startovali dvakrát a osm přistálo na Měsíci. Jako první přistál měsíční modul *Apollo 11* dne 20. 7. 1969. *Apollo* č.1 havarovalo na Zemi a zahynuli tři kosmonauti.

- **Laser** (r. 1960) umožnil realizaci prostorového zobrazování (holografii) a další aplikace v technologii (např. obrábění kovů a tvrdých materiálů) a v medicíně např. jako operační chirurgický nástroj i konstrukci optických paměťových medií (CD, DVD). Výkonové lasery skýtají nástroje pro výzkum hmoty v extrémních podmínkách teplot a k uskutečnění slučování jader atomů vodíku (deuteria a tritia) k získání fúzní energie – viz závěr statě.

2.4 Zrychlování procesu poznávání

Z historie vědy docházíme k závěru, že absolutní množství dosažených poznatků o světě roste s časem nelineárně. Příčin je několik – primární je neomezená touha člověka poznávat svět. Roste celková vzdělanost společnosti a tak roste i počet lidí, kteří se mohou zapojit do poznávacího procesu. Jeho výsledků systematicky využívá průmysl pro výrobu a společnost pro spotřebu. Výsledkem je neustálé zvyšování technologické úrovně výroby a růst bohatství společnosti, která může opět více dotovat vědu – to se zpětně odráží ve větším množství poznatků, atd.

Tento ideální vývoj ovšem narušují jiné společensky nežádoucí jevy, jako jsou přírodní katastrofy a války. Ty přinášejí na jedné straně ohromné ztráty na životech a bohatství společnosti, na druhé straně také urychlují aplikaci výsledků vědy pro rozvoj techniky (nejen vojenské) a v poválečném období vyvolávají modernizaci technologie a umožňují zrychlenou obnovu zničených materiálních statků. Příznačné je, že vojenské využití dosažených fyzikálních poznatků o světě často předchází jejímu všeobecnému využití a je přísně utajováno. Např. vojenští činitelé v Holandsku již na konci 16. století vytušili strategický význam dalekohledu a podařilo se jim jeho již zmíněný objev na více než 10 let utajit (dodnes dokonce přesně nevíme, kdy byl dalekohled objeven).

Rozvoj poznání v určitém oboru může (jako vedlejší produkt) urychlit rozvoj poznatků nebo technologie v jiném oboru. Např. zmíněný gigantický měsíční projekt USA *Apollo* měl jako vedlejší produkt mj. prudký rozvoj výpočetní techniky, jež je nyní rozšířena po celé Zemi a urychluje také poznávání ve zcela odlišných oborech. Nebo dnes všude přítomný *internet*, *web*, resp. *WWW* (World-Wide Web) je významným vedlejším produktem základního výzkumu fyziky elementárních částic, prováděného v evropském středisku CERN v Ženevě. Počítačový specialista *T. Berners-Lee* na počátku 90. let pracoval na vývoji systému komunikace a sdílení velkého počtu dat z měření na velkém urychlovači (100 GeV). K tomuto účelu vyvinul systém, který využíval technologii osobních počítačů, počítačových sítí, hypertextových odkazů a prohlížečů.

Na základě dosavadních zkušeností o procesu poznávání můžeme vyslovit **hypotézu o časové závislosti kvantity poznatků o světě**: *Přírůstek ΔP poznatků o světě je úměrný dosažené kvantitě P poznatků a časovému intervalu Δt potřebnému k dosažení přírůstku ΔP poznatků.* Neboli pro relativní přírůstek poznatků platí

$$\frac{\Delta P}{P} = k \Delta t,$$

kde konstantu k můžeme určit z dosavadních zkušeností o procesu poznávání. Abychom mohli stanovit výraz o časové závislosti kvantit poznatků, napíšeme jej v diferenciálním tvaru a integrovat v mezích od P_0 pro $t = 0$ do P pro t . Pak

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = \ln \frac{P}{P_0} = kt.$$

Odtud

$$P = P_0 \exp(kt),$$

neboli poznatky o světě rostou exponenciálně.

Problémem samozřejmě je+ určení velikosti konstanty k . Odhaduje se, že v období 20. století vzrůstá kvantita poznatků o světě každých 10 let (velmi přibližně) na dvojnásobek. Pak

$$k = \frac{\ln 2}{10} \quad \text{a tedy} \quad P = P_0 \cdot 2^{\frac{t}{10}},$$

měříme-li dobu t v letech. Problémem samozřejmě je hodnota konstanty k . Odhaduje se, že v období 20. století vzrůstají kvantita poznatků o světě každých 10 let (velmi přibližně) na dvojnásobek. Dalším problémem je měření kvantit a kvality poznatků.

3. Fyzika v toku dějin

3.1 Role experimentu ve vývoji fyziky

Experiment měl (a stále má) rozhodující význam pro rozvoj fyziky jako přírodní vědy, která vytváří a zdokonaluje fyzikální obraz světa. Fyzikální experiment, jako vědeckou metodu zkoumání přírody, přinesla v 15. až 16. století až renesance. Je sice pravda, že někteří starověcí badatelé, zejména starořeční filozofové, dokázali při vytváření teorií zobecňovat některé poznatky z pozorování, avšak jejich přístupy byly často velmi zatíženy spekulacemi. Např. Aristoteles odmítal experiment připravený badatelem jako nepřipustné zasahování člověka do pozorovaného jevu. Pravidla nového vědního přístupu k budování fyzikálního obrazu světa stanovil až italský renesanční vědec Galileo Galilei (1564 – 1642). Tak byl do přírodovědy zaveden experiment jako prostředek poznávání přírodních jevů a současně jako specifická metoda praxe.



Obr. 2 Dispozice urychlovače TEVATRON v USA



Obr. 3 Vnitřek urychlovací trubice

S rozvojem poznání se zvětšuje i složitost a dostupnost mnohých současných reálných experimentů. Příznačné je to zejména v oblastech nedosažitelných přímému lidskému

pozorování, tedy jak v mikrosvětě, tak v megasvětě. K nejnáročnějším experimentálním úkolům současné fyziky patří dobudování standardního modelu mikrosvěta (viz např. současné extrémní experimentální úsilí při hledání Higgsonova bosonu, které vyžaduje stavbu urychlovačů o energiích až 7 TeV). *TEVATRON* (obr. 2) má rychlovací prstenec (obr. 3) má obvod o délce 6,3 km dává energii 2 TeV. Současným největším urychlovačem je *LHC* v CERNu v Ženevě s energií 2×7 GeV a trubicí o délce 27 km byl (po zkušebním provozu r. 2008 a následné rekonstrukci) uveden do provozu r. 2010 – viz závěr statě.

Podobné náročné experimenty mají dokázat existenci gravitačních vln podle Einsteinovy obecné teorie relativity. K tomu se budují detektory extrémních rozměrů řádu 10^3 m (viz např. obr. 4), aby se konečně podařilo zachytit gravitační vlny. S tím je spojena značná finanční náročnost. U těchto grandiózních experimentů, na nichž často pracuje i tisíce vědců a asistentů, se již zpravidla vytrácí někdejší romantika fyzikálního bádání, která je známa z historie starší než 75 let, kdy u určitého experimentu dominovala osoba jednoho vědce (viz např. obr. 5) a u něj nanejvýš malá skupina asistentů.



Obr. 4 Italský laserový interferometr VIRGO (Pisa, 2003), délka každého z ramen je 3 km



Obr. 5 Otto v. Guericke experimentuje r. 1672 s třecím „elektrickým strojem“

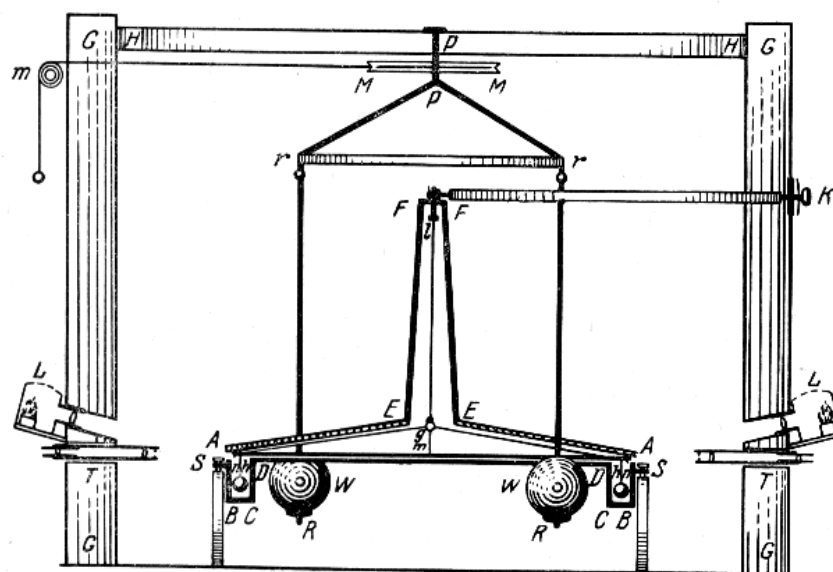
Východiskem každé relevantní fyzikální teorie musí být pozorování přírodních jevů anebo provedení reálného experimentu. Cesty fyzikálního poznávání nebývají však přímé, jak je zřejmé z historie fyziky. Fyzikové často museli provést řadu dílčích pozorování a experimentů než mohli v uvažované oblasti provést jeden experiment fundamentální. Nyní naznačím hodnocení vývoje jen několika významných fyzikálních oborů, zejména z hlediska jejich experimentálních východisek.

3.2 Vývoj klasické mechaniky

Základy mechaniky (zejména statiky), založené na zkušenostech a pozorování, zasahují daleko do starověku. Teprve však obrození pohledu na přírodu, které v 16. století přinesla renesance, způsobilo její rozvoj. V tomto období bylo vykonáno velké množství pozorování a experimentů – připomeňme si jména některých badatelů: L. da Vinci, G. B. Benedetti, G. Galilei, V. Viviani, G. A. Borelli, R. Hooke, M. Marci, Ch. Huygens. Význam experimentu v období renesance dokumentuje i skutečnost, že r. 1657 byla ve Florencii založena Akademie experimentu (i když působila jen 10 let). Tím byla vytvořena východiska pro vznik syntetizujícího díla *Philosophiae naturalis principia mathematica* vydaného r. 1687 Isaacem Newtonem (1643 – 1727). Dílo navíc obohacovalo vědu o původní matematickou metodu – diferenciální a integrální počet. Téměř žádný z experimentů z mechaniky, který předcházel tomuto Newtonovu dílu, nelze označit za fundamentální – snad s výjimkou Galileiových pokusů s volným pádem a pohybem po nakloněné rovině, které konal v Pise kolem r. 1590.

3.3 Vývoj klasické teorie gravitace

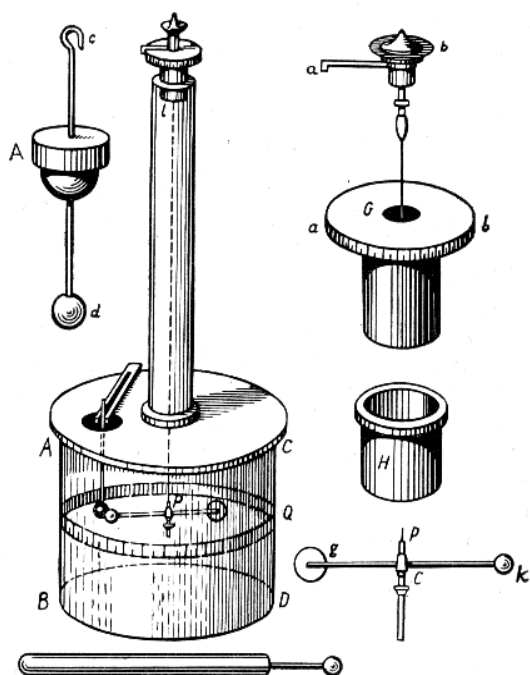
Za fundamentální pozorování (tedy ne přímo experiment) lze považovat pozorování proměnného postavení planet, které ke konci 16. stol. prováděl T. Brahe a analyzoval je J. Kepler. To jej přivádí r. 1609 (v Praze) a r. 1619 k formulaci tří zákonů nesoucích jeho jméno. Z nich pak I. Newton provedl zobecnění na zákon všeobecné gravitace (publikoval jej r. 1687). Newton sám také provádí jeho verifikaci analýzou výsledků pozorování pohybu Měsíce a čtyř největších měsíců Jupitera. Fundamentální verifikační experiment však mohl realizovat až r. 1798 H. Cavendish pomocí torzních vah (obr. 6). Tento experiment nejen potvrdil platnost zákona, ale umožnil i první měření gravitační konstanty (dokonce s přesností 1%), kterou Newton nemohl určit pro neznalost hmotnosti těles sluneční soustavy.



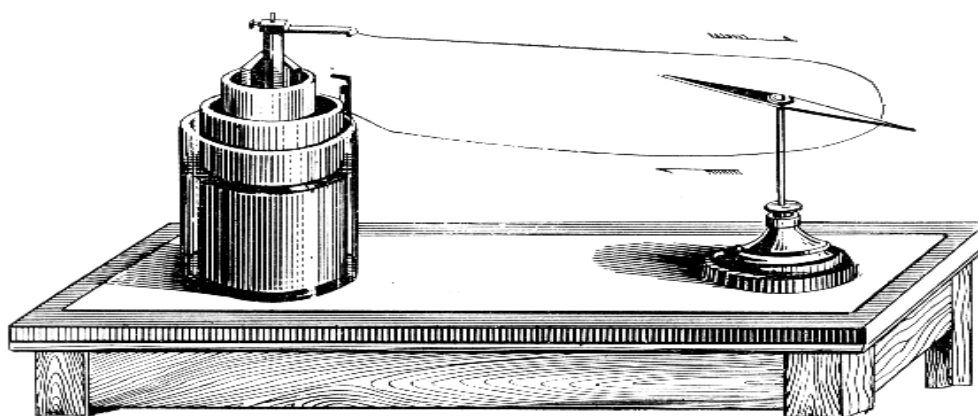
Obr.6 Cavendishovy torzní váhy (1798) – originální schéma fundamentálního experimentu

3.4 Vývoj klasické teorie elektromagnetického pole

Až do konce 18. stol. byly známy některé jevy z elektřiny a magnetismu pouze kvalitativně, a to bez vzájemné souvislosti. Teprve r. 1785 provedl A. Coulomb (1736 – 1806) fundamentální experiment, při němž měřil elektrostatické síly na torzních vahách (obr. 7), který mu umožnil formulovat základní zákon elektrostatiky. K tomu r. 1784 vytvořil významnou teorii torzních vah včetně teorie krutu tyče kruhového průřezu. Poté přichází r. 1820 H. Ch. Oersted s jednoduchým heuristickým experimentem (obr. 8), kterým pomocí galvanického článku, přímého drátu a magnetky objevuje, že průchodem elektrického proudu vzniká magnetické pole. Zaslouhou J. B. Biota, F. Savarta a P. S. Laplacea byl poté r. 1821 formulován druhý pilíř budoucí teorie elektromagnetického pole – zákon nesoucí jméno těchto fyziků. Třetí zákon teorie o silovém působení magnetického pole na proudový element M. Ampère (1775 – 1836) formuluje na základě svého fundamentálního experimentu z r.

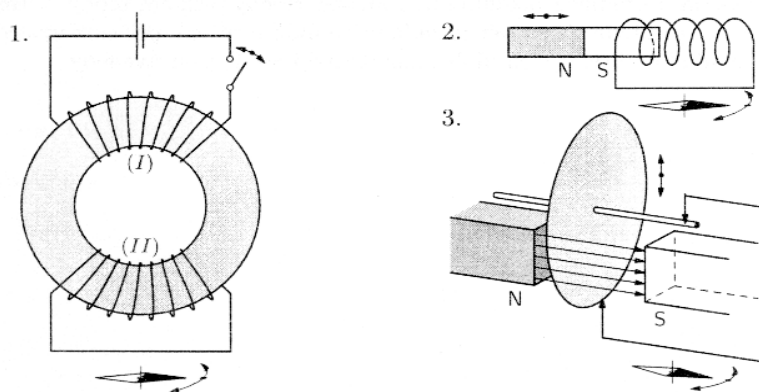


Obr.7 Coulombovy torzní váhy (1785) – originální schéma fundamentálního experimentu



Obr. 8 Originální náčrt Oerstedova fundamentálního experimentu (1820)

1826. Tyto tři zákony v podstatě stačí k vybudování klasické elektrodynamiky a lze pomocí nich odvodit (po jistém zobecnění) i zákon elektromagnetické indukce. K němu však r. 1831 dospívá po osmiletém experimentování (obr. 9) M. Faraday (1791 – 1879). Poté teprve r. 1864 mohl přijít J. C. Maxwell (1831 – 1879) se slavnou syntézou poznatků, provést zobecnění (k tomu mj. intuitivně zavést posuvný proud) a formulovat soustavu diferenciálních rovnic elektromagnetického pole. Z nich Maxwell teoretickým postupem dospívá k poznatku, že elektromagnetické pole se šíří ve formě transversálních elektromagnetických vln rychlostí stejnou jako světlo a že na rozhraní dvou prostředí se stejně jako světlo chová. Fundamentální experimenty, které verifikují tyto poznatky, provedl r. 1888 H. Hertz (až 9 roků po Maxwellově smrti).

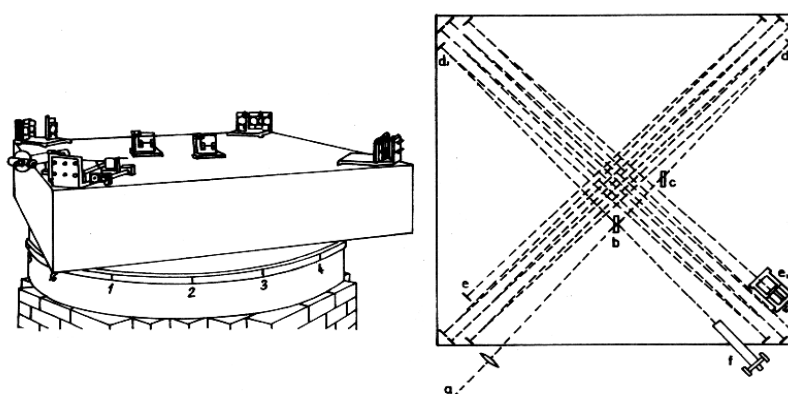


Obr. 9 Schéma fundamentálních Faradayových pokusů s elektromagnetickou indukcí (1831)

3.5 Vývoj speciální teorie relativity

Maxwellova teorie šíření elektromagnetických vln měla jeden nedostatek – Maxwell přijal Youngovu hypotézu z roku 1801, že k šíření světla (a tedy i elektromagnetických vln) je zapotřebí jakéhosi prostředí, nazváno *éter*. Jeho experimentální hledání přivedlo fyziku poslední čtvrtiny 19. stol. krize. Mezi hypotézami o éteru měl rozhodnout fundamentální Michelsonův-Morleyův experiment z let 1881 a 1887 (obr. 10). Nerozhodl a problém nakonec vyústil k postulátu, formulovaného A. Einsteinem (1879 – 1955), že rychlost světla ve vakuu je univerzální fyzikální konstanta (tj., že je stejná ve všech inerciálních soustavách bez ohledu na jejich vzájemnou rychlost). To jej r. 1905 přivedlo k vypracování speciální teorie relativity. Přijmeme-li požadavek kovariantnosti Maxwellových rovnic ve všech inerciálních vztažných soustavách a vztáhneme-li souřadnice prostoru a času relativně ke každé vztažné soustavě, můžeme dostat speciální teorii relativity přímo z Maxwellovy teorie. Všechny teoretické důsledky speciální teorie relativity byly přímo nebo nepřímo experimentálně verifikovány.

13



Obr. 10 Uspořádání fundamentálního Michelsonova-Morleyova experimentu z roku 1887

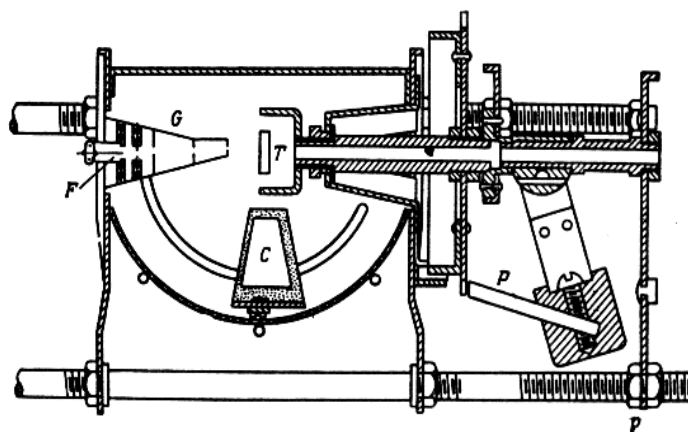
3.6 Vývoj obecné teorie relativity – teorie gravitace

Zajímavé je, že tento obor má experimentální kořeny již v 17. stol. – G. Galilei a I. Newton hledali vztah mezi hmotností setrvačnou (m_s) a gravitační (m_g). Galilei (~1590) zjistil, že všechna (těžká) tělesa, která pouštěl z pisánské šikmé věže, padají (přibližně) se stejným zrychlením $a = g$. Newton (1687) pomocí kmitů klasických kyvadel s přesností 0,1% změřil, že platí $m_s = m_g$. Bessel (1827) k experimentu použil kmitů torzního kyvadla a přesnost zvýšil na $2 \cdot 10^{-5}$. Rozhodující fundamentální experimenty na statických torzních vahách v opakovaně letech 1890 až 1909 konal R. Eötvös (1848 – 1919), přičemž dosáhl obdivuhodné přesnosti

postupně až $3 \cdot 10^{-9}$. Eötvösovu metodu ještě vylepšila americká skupina Dicke, Roll, Krotkov (1963), přičemž dosáhla přesnosti $1 \cdot 10^{-11}$ a Rusové Braginskij, Panov (1971), kteří rovnost $m_s = m_g$ vyhodnotili s přesností $9 \cdot 10^{-13}$. Výsledky přesných Eötvösových experimentů vedly Einsteina k úvaze, že rovnost $m_s = m_g$ nemůže být náhodná a dospěl k názoru, že musí jít o identitu. Na základě známého myšlenkového experimentu se zdviží vyslovil princip ekvivalence setrvačných a gravitačních sil, který je jedním z obecných principů relativity. Následovalo velmi matematicky i fyzikálně náročné budování OTR A. Einsteinem (v období let 1907 až 1915) s využitím zejména již vybudované neeuklidovské geometrie.

3.8 Vývoj kvantové fyziky

Experimentální kořeny kvantové fyziky můžeme nalézt na konci 19. stol. při formulování zákonů záření černého tělesa. Šlo tehdy o meze platnosti dvou zákonů rozdělení energie formulované na základě experimentů: *Rayleighův-Jeansův zákon* se osvědčoval pro záření při vysokých teplotách a delších vlnách, kdežto naopak *Wienův zákon* pro oblast nižších teplot a vlnových délek v oblasti viditelného a ultrafialového světla. Jak známo, oba zákony se podařilo r. 1900 propojit M. Planckovi (1859 – 1947) při užití hypotézy o emisi a absorpci zářivé energie v kvantech ($\varepsilon = h\nu$). Planck tomuto kvantu nepřisuzoval nějakého nositele. Fyzikální obsah kvantu (fotonu) dal r. 1905 Einstein při výkladu fotoelektrického jevu (experimentálně objeveného r. 1887 H. Hertzem). K významným experimentálním oporám nejen kvantové i relativistické fyziky patří Comptonův jev (1922). Vlnové vlastnosti elektronu byly poprvé pozorovány v letech 1921 až 1923 C. J. Davissonem a Kunsmanem při rozptylu elektronů na tenkých kovových foliích. Jejich experiment je možné považovat za fundamentální pro *kvantovou mechaniku* (resp. dříve označovanou jako vlnovou mechaniku), jelikož inspiroval r. 1924 L. de Brogliho k vyslovení hypotézy o materiálních (de Brogliho) vlnách. Příslušný verifikační pokus provedl r. 1927 Davisson s Vernerem, když optickou Braggovou metodou zkoumal rozptyl elektronového svazku na monokrystalu niklu (obr. 11). Budování kvantové teorie je spojeno se jmény de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Dirac aj.



Obr. 11 Schéma přístroje pro fundamentální verifikační experiment kvantové fyziky z r. 1927

3.9 Počátky vývoje atomové a jaderné fyziky

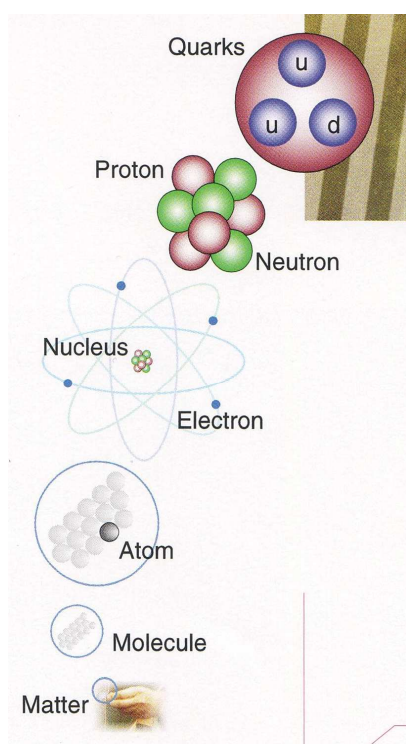
Nauka o atomu a jeho jádra důsledně vychází z experimentálních poznatků. Původní experimentální základ poskytovala chemie (zejména elektrochemie). K fundamentálním fyzikálním experimentům v atomistice patří výzkum katodových paprsků, který r. 1897 vedl k objevu elektronu J. J. Thomsonem. Dalším fundamentální experiment provedl roku 1911 E. Rutherford, když pomocí rozptylu částic alfa po jejich průchodu tenkou kovovou fólií, objevil jádro atomu. Metodu přímého měření náboje elektronu pomocí olejové kapky navrhl r. 1907 A. Ehrenhaft a r. 1913 experiment úspěšně uskutečnil R. A. Millikan. K význačným

fundamentálním experimentům tohoto období patří i experiment uskutečněný v letech 1913 až 1914 J. Franckem a G. Hertzem, kteří měřením ionizačních potenciálů plynů verifikovali kvantovou strukturu atomu navrženou r. 1913 N. Bohrem. Ke stěžejním mezníkům budování modelu jádra atomu patří i experimentální důkaz existence neutronu, jež na základě relativně jednoduchých pokusů s ionizační komorou r. 1932 podal J. Chadwick. Experimenty, které vedly k objevu štěpení jádra při jeho ostřelování neutrony, jsou spojeny se jmény I. Curieová, F. Joliot a E. Fermi (1934) a zejména se jmény O. Hahn a L. Meitnerová (1938 – 1939).

4. Fyzika jako základ ostatních přírodních věd

4.1 Chemie, biologie

I když základ obou oborů je z historického hlediska čistě empirický a nezávislý na fyzice, vývoj poznání ve fyzice, chemii a biologii ukázal kontinuitu a vzájemnou provázanost poznatků všech těchto oborů. Fyzika se zabývá především atomem a jeho jádrem, avšak i



stavbou atomů do molekul (obr. 12). Hlavním zájmem chemie je molekula (v dnešní době především makromolekula), avšak soustřeďuje se i na atom (viz slavnou Mendělejevovu tabulku). Předmětem biologie je molekula a její stavba do neživé a především živé přírodní makrostruktury. Viz např. současné poznatky při rozluštění složitěho genu DNA.

Obr. 12 Současný schématický pohled na stavbu hmoty

Vzájemná souvislost těchto tří oborů je zřejmá z obr. 12 a nakonec plyne i toho jak se chemie a biologie na poli vědy samy vymezují:

Chemie je věda, která se zabývá vlastnostmi, složením, přípravou, strukturou organických a anorganických látek a jejich interakcemi mezi sebou. Látky jsou složeny z atomů a z nich složených molekul nebo z iontů (iontové soli a taveniny). Chemie popisuje svým vlastním přístupem hmotu a navazuje tak na studia fyzikální a předchází studiu hmoty z biologického nebo např. geologického hlediska. Vzhledem k rozličnosti hmoty, která je složena z různých kombinací atomů,

chemici studují, jak atomy odlišných chemických prvků mezi sebou interagují a jaké molekuly a jakým průběhem interakcí vznikají.

Biologie v nejširším slova smyslu je vědní obor, který se zabývá organismy a vším, co s nimi souvisí, od chemických dějů v organismech probíhajících na úrovni atomů a molekul, až po celé ekosystémy – tedy společenstva mnoha populací různých organismů a jejich vzájemné vztahy i vztahy k jejich životnímu prostředí.

Oba obory ne ve své vědecko-výzkumné činnosti neobejdou bez fyzikálních metod a přístrojů založených na fyzikálních principech. Historicky např.: mikroskop, spektrální analýza, rentgenoskopie.

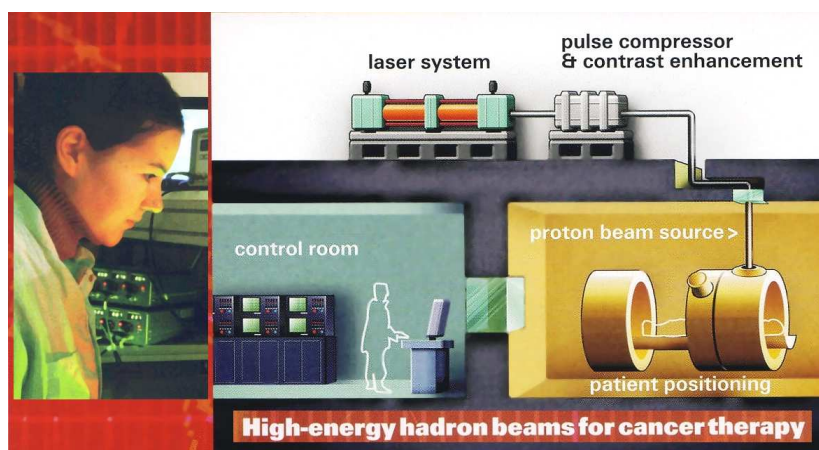
4.2 Matematika

Matematiku současná klasifikace věd za přírodní vědu nepovažuje. Historicky však jednotlivé matematické obory vznikaly a rozvíjely se na základě potřeb především fyziky (avšak i geometrie – např. diferenciální počet) avšak i technických oborů. Nejlépe je to vidět

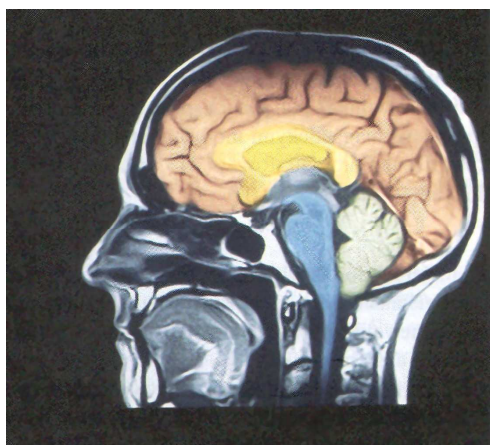
na životní cestě L. Eulera (1707 – 1783), původně vojenského inženýra, poté fyzika a nakonec největšího matematika všech dob. Některé matematické obory však vznikaly bez bezprostředních potřeb praxe (dalo by se říci „uměle“ na základě intelektuálních tužeb svých tvůrců). Pěkným příkladem je neeuklidovská geometrie a s ní související tenzorový počet, které se postupně rozvíjely od počátku 19. stol. až do jeho konce. Nebýt této intelektuální iniciativy matematiků tak by A. Einstein v průběhu let 1907 až 1915 zřejmě nebyl schopen vytvořit obecnou teorii relativity.

4.3 Medicína

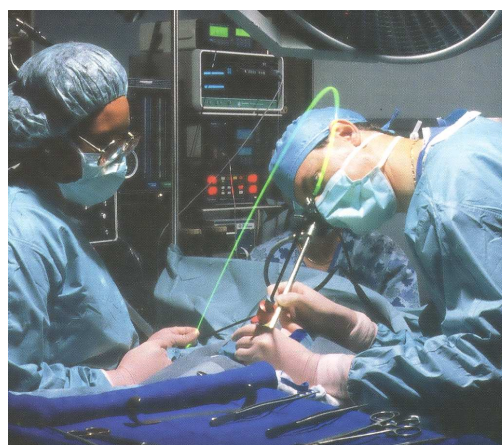
Současnou medicínu lze považovat za úzce specializovanou biologii na vysoké úrovni, která se bez fyzikálních metod, terapií a přístrojů již neobejde. Připomeňme roli, kterou sehrál objev rentgenu (1895) – již za 1. světové války. Dnes důležitou roli hraje i rentgenoterapie, gama-radioterapie, hadronová radioterapie (obr. 13), CT tomografie (založená na magnetické jaderné rezonanci, objevené fyziky r. 1958) – viz obr. 14 – ultrazvuková holografická zobrazovací metoda, laserový skalpel (obr. 15) a řada dalších metod a přístrojů.



Obr. 13 Hadronová radioterapie



Obr. 14 CT snímek hlavy



Obr. 15 Operace laserovým skalpelem

5. Fyzika jako základ technických aplikací

5.1 Role fyziky v technice

Fyzika, jako věda poskytující modely chování fyzikálních objektů a modely jejich struktur, má především velmi pragmatické vyústění v technických aplikacích. To si mnozí

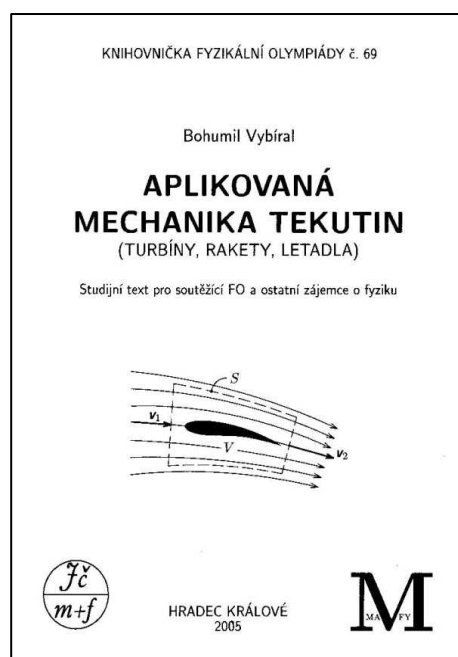
mladí lidé málo uvědomují, i když jsou to právě oni, kteří tyto aplikace samozřejmě a ve velkém využívají (internet, počítače, mobily s četnými funkcemi aj.). Vytváří se nám tak mohutný nástroj k motivaci studia fyziky a technických oborů. V historii společnosti lze najít řadu příkladů, kdy aplikace výsledků poznávání silně zasáhla do dalšího vývoje a chování celé společnosti. Zmíníme *Mechaniku proudění tekutin*, *Elektrotechniku*, *Aplikaci elektromagnetického vlnění v telekomunikacích*, *Mikroelektroniku*, *Jadernou energetiku*.

5.2 Technické aplikace mechaniky tekutin

Fyzikální obory, jakými jsou *Mechanika kapalin* a *Mechanika plynů* a *Termodynamika* mají velmi významné vyústění ve strojírenských aplikacích. Zabývám se jimi v drobné publikaci *Aplikovaná mechanika tekutin*, kterou jsem sepsal pro vyspělé studenty ze středních škol. Má fyzikálně technickou strukturu:

- *Síly při proudění tekutin* (věta o změně hybnosti proudící tekutiny, odporové síly při proudění tekutin, příklady).
- *Zařízení založená na změně hybnosti tekutin v příkladech* (Peltonova turbína, vrtule letadla, proudový reaktivní motor, rovnotlaká parní turbína, raketový motor, vodní pohon obojživelníku).
- *Pohyb raket* (pohybová rovnice rakety, Ciolkovského úloha, vícestupňové rakety, raketa v gravitačním poli, příklady).
- *Pohyb letadel* (letadlo jako těleso o 6 st. stupních volnosti, aerodynamické síly působící na křídlo, let a řízení letadel jejich pohon).

Na rozdíl od mnohých technických odborných textů je důsledně uplatňován racionální fyzikální výklad a důraz na principy, platná fyzikální terminologie a symbolika.



17

5.3 Technické aplikace elektřiny a magnetismu

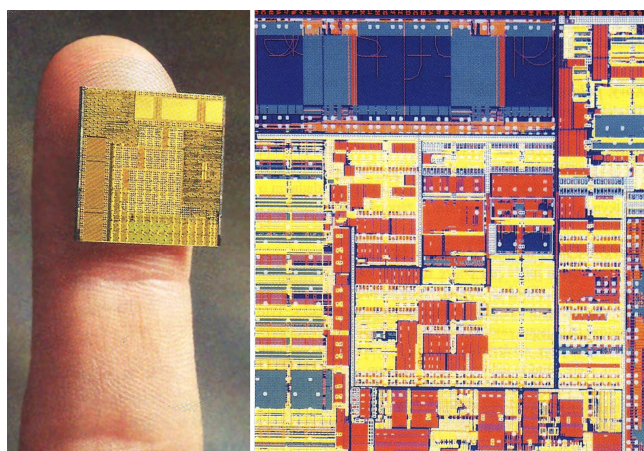
Rozvoj nauky o elektřině v průběhu 19. stol. (zejména v jeho první polovině), znamenal mohutný proud aplikací již od 2. poloviny 19. století a postupně zcela změnil charakter průmyslové výroby i života jednotlivých lidí. Vznikl mohutný technický obor *Elektrotechnika* (konstrukce a výroba generátorů proudu – dynam a alternátorů, elektrických motorů, výroba a rozvod elektrické energie, žárovky a elektrické zářivky a výbojky. Telefonie a od začátku 20. stol. elektronika, která v polovině 20. století přerostla v mikroelektroniku.

5.4 Aplikace teorie generování a šíření elektromagnetických vln

Na základě elektromagnetické teorie elektromagnetického pole, vytvořené Maxwellem r. 1872 a jeho teoretické předpovědi jeho šíření ve tvaru elektromagnetických vln, se r. 1888 Hertzovi podařilo elektromagnetické vlny cíleně generovat pomocí jednoduchého generátoru, jehož základem byl oscilační obvod s jiskřištěm. Postupně vznikaly technicky dokonalejší generátory a od počátku 20. stol. jejich aplikace, využívající elektronky, tranzistory a posléze mikroprocesory. Ty se v posledním půlstoletí rozvinuly do dokonalosti, bez nichž si nedovedeme představit život současné moderní společnosti: telekomunikace – rádio, TV, mobily, radary, lasery, holografie (světelná i ultrazvuková).

5.5 Mikroelektronika, výpočetní technika a informační technologie

V posledním půl století se rozvinula aplikace fyziky pevných látek v *mikroelektronice*. To posléze umožnilo např. prudký technický rozvoj úrovně nejen telekomunikací a především výpočetní techniky a jejich různých aplikací (souhrnně *informační technologie*). Masové zavedení informační technologie postupně změnilo chování celé civilizované společnosti, viz pojem *počítačová gramotnost*. Hromadná výroba počítačů a konkurence na trhu přitom ovlivňuje dostupnost a stále snižuje prodejní cenu tohoto artiklu. Na počátku vývoje mikroelektroniky stáli fyzikové s objevem a použitím tranzistoru. Tranzistor byl teoreticky popsán již roku 1928 J. Lilienfeldem a roku 1934 O. Heilem. Avšak až objev PN-přechodu na polovodičích, který učinil roku 1939 W. Schottky, umožnil v roce 1948 konstrukci funkčního tranzistoru (Bardeen, Brattain, Shockley). Od 60. let následoval intenzivní aplikovaný výzkum a poté hromadná výroba. Začaly se vyrábět integrované obvody se stále větší hustotou integrace a od 80. let mikroprocesory určené zejména do stolních počítačů. Např. mikroprocesor Intel Pentium-M (Banias) o plošném obsahu asi cm^2 , používaný pro svou nízkou spotřebu zejména v notebookech, obsahuje 77 milionů tranzistorů, pracuje s frekvencí 1,6 GHz a má 1 MB vyrovnávací paměti. Snímek jednoho z jeho předchůdců od firmy Motorola je na obr. 16.



Mikroprocesor Power PC 620 firmy Motorola a jeho zvětšená vícevrstvá struktura
Procesor integruje téměř 7 milionů tranzistorů s dalšími elektronickými součástkami

vyžadovaly pro instalaci celý sál. Např. slavný americký průkopnický ENIAC (1945) měl délku 30 m, výšku 3 m, hloubku 1 m, hmotnost 30 tun a příkon 140 kW. Operační výkon byl z dnešních hledisek docela chabý. Dnes jej mnohonásobně převyší i vědecký kalkulátor o hmotnosti 70 gramů (i s baterií), který jsem před měsícem koupil v LIDLU za pouhých 69 Kč.

Později nahradily elektronky jednotlivé tranzistory a poté byly počítače v 60. a 70. let osazovány integrovanými obvody. Tak se tyto počítače již vešly jen do skříně. Počítače od 80. let s mikroprocesory se již vejdou na desku stolu nebo do kufříku či do dlaně. To vedlo k jejich masovému rozšíření mezi miliony uživatelů. G. Moore, jeden ze zakladatelů firmy INTEL, r. 1965 předpověděl, že počet aktivních prvků (tranzistorů) v mikroprocesoru se zdvojnásobí zhruba každé dva roky, což se dosud přibližně stále potvrzuje. S rostoucím počtem aktivních prvků se zvětšuje i jejich plošná hustota v čipu. Proto standardní počítač dnes rychle morálně stárne (tj. svým výkonem) a do čtyř let je prakticky nepoužitelný pro nový software.

5.6 Historie techniky a fyziky jako motivační činitel pro mládež

Odhalování tajemství přírody, poznávání zákonitosti fyzikálních jevů a jejich využívání pro blaho člověka, je dlouhodobý a složitý proces. Je záslužné, že historii fyziky, měřicích přístrojů a technických zařízení věnují pozornost technická muzea. Pěkným muzeem je nově dislokované *Technické muzeum v Brně*. *Národní technické muzeum* v Praze, po dlouhodobé rekonstrukci v roce 2011 znovu otevřené, má ve sbírkách také kolekci fyzikálních a astronomických měřicích přístrojů (obr. 17) a soustav dalekohledů. Dominují zde zajímavé exponáty: vedle dopravní techniky (obr. 19) také fotografické, typografické a vojenské techniky. Nejkrásnější sbírky z oblasti techniky a fyziky má *Deutsches Museum* v Mnichově

(příklad jednoho z exponátů je na obr. 18). Exkluzivně muzea rovněž odpovídá velká návštěvnost – nejen mládeže, ale i celých rodin za zvýhodněné vstupné (stejně je tomu nyní i u NTM v Praze). Některé přístroje a experimenty si zde může návštěvník sám oživit a sám provést kvalitativní pozorování (v brněnském technickém muzeu mají k tomuto účelu zřízeno přímo fyzikální laboratoř pro mládež). Prim v muzeích s fyzikální tematikou má bezpochyby *Museo di Storia della Fisica* italské Univerzity v Padově. Je to univerzita s tradicí již od roku 1222, které si dovede patřičně vážit; učil na ni i Galileo Galileji. Toto muzeum vydalo i tištěné katalogy svých sbírek. Krásné historické fyzikální a astronomické přístroje s původem již od roku 1600 jsou v muzeu *Mathematisch-Physikalischen Salon*. Salon je součástí galerie *Zwinger* v Drážďanech. Připomínání historie je nejen většinou zajímavé a velmi poutavé avšak je především motivační pro vyvolání hlubšího zájmu o fyziku a technické obory.



Obr. 17 Rovníkové sluneční hodiny – rok 1764, Národní technické muzeum Praha (foto B. Vybíral)

Obr. 18 Magnetometr (detail) – rok 1850, Deutsches Museum Mnichov (foto B. Vybíral)

19

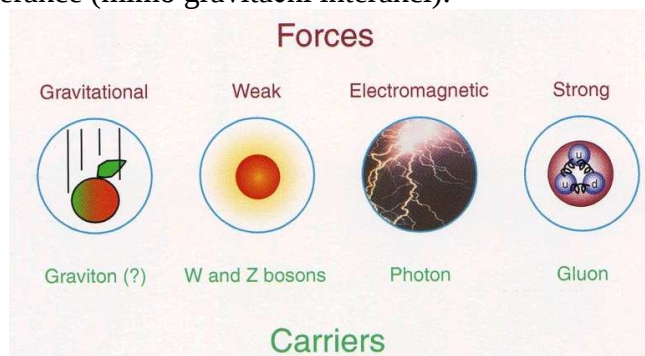


Obr. 19 Dopravní hala v Národním technickém muzeu v Praze (2011); sportovní automobil WIKOV (Prostějov, 1929); detail motocyklu Slavia CCR, LAURIN & KLEMENT – 1905 (foto B. Vybíral)

6. Problémy, trendy a perspektivy současné fyziky

6.1 Fyzika mikrosvěta – standardní model

V oblasti *mikrofyzikálních objektů* se díky soustředěnému úsilí posledních 80 let podařilo nalézt řadu sjednocení a vazeb mezi vlastnostmi elementárních částic, které dnes shrnuje tzv. *standardní model*. Podle něj jsou základními stavebními elementy hmoty tři generace fundamentálních *fermionů* (částic se spinem $1/2$), které se dále dělí na *kvarky* a *leptony*. Kvarků je šest (u – up, d – down, s – strange, c – charm, t – top, b – bottom), každý ve třech stavech označovaných jako „barvy“. Leptonů je rovněž šest (e – elektron, μ – mion, τ – tau a příslušná neutrina ν_e, ν_μ, ν_τ). Ke všem těmto částicím přísluší ještě antičástice. Mezi kvarky působí čtyři druhy sil (obr. 20): *gravitační*, *elektromagnetické*, *slabé* a *silné*, z nichž první dvě mají značný dosah, kdežto dvě poslední dosah jen řádu 10^{-15} m (srovnatelný s rozměrem jádra). Na leptony silná interakce nepůsobí. Silná interakce umožňuje např. existenci jader atomů, slabá interakce způsobuje např. radioaktivní rozpad beta. Na přelomu 60. a 70. let se podařilo najít sjednocení elektromagnetické a slabé interakce (Weinbergova-Salamova-Glashowova teorie). Silnou interakci popisuje *kvantová chromodynamika* se soustavou výše uvedených kvarků a *gluonů* jako intermediálních bosonů. Současný výzkum se mj. soustřeďuje na nalezení *teorie velkého sjednocení* (*GUT* – **G**rand **U**nified **T**heory), která by sjednotila zatím tři uvedené interakce (mimo gravitační interakci).



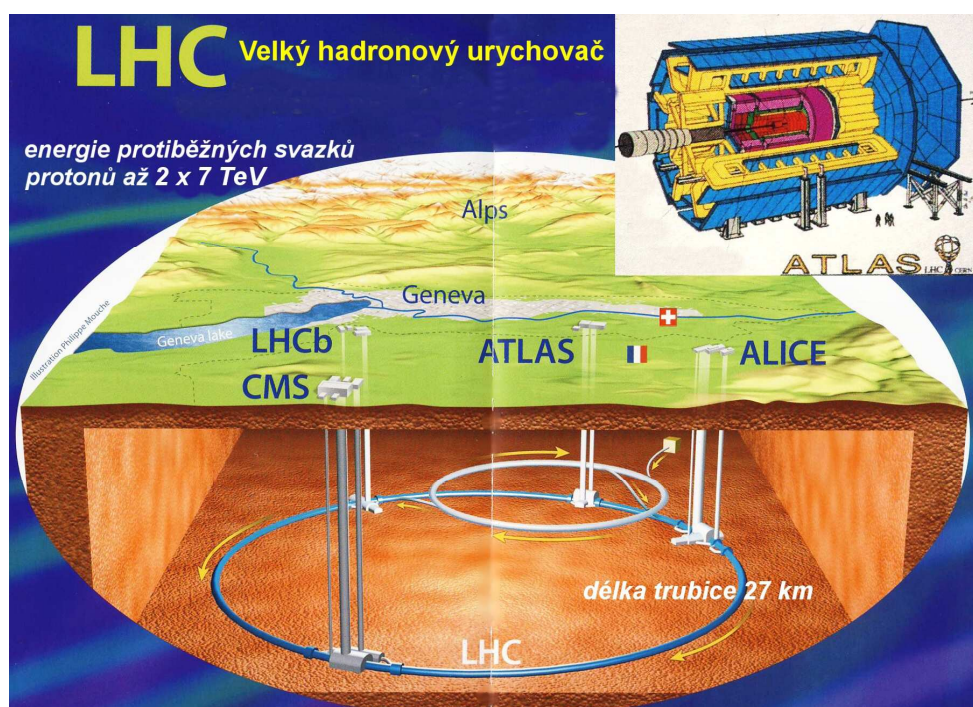
Obr. 20 Čtyři druhy fundamentálních sil v přírodě

V současné době je velmi aktuální problém *Higgsova bosonu* (H) a jeho intenzivní hledání (viz dále). Jeho pravděpodobná existence vyplývá z teorie sjednocené elektroslabé interakce a dá se jím např. vysvětlit proč elektromagnetická interakce má velký dosah a slabá interakce jen velmi malý dosah. Také vysvětluje proč intermediální částice – *vektorové bosony* W^+ , W^- a Z^0 jsou těžké a intermediální *fotony* mají nulovou klidovou hmotnost.

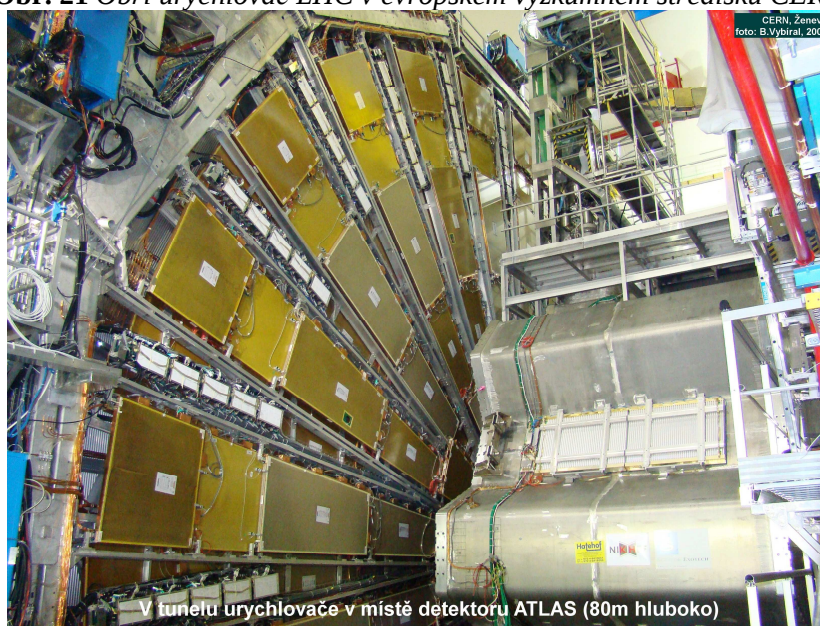
6.2 Obří urychlovače částic a poznávání mikrosvěta a megasvěta

Jestliže *E. Rutherfordovi* v r. 1911 stačili k objevu jádra atomu jen dva asistenti, kteří po několik týdnů obsluhovali zařízení rozměru většího hrnce, tak počínaje rokem 1930 byla ke zkoumání mikrofyzikálních objektů zapotřebí zařízení již daleko větší a nákladnější. První *cyklotrony* měly průměr kruhové dráhy jen asi 1,0 m a energii protonů asi 10 MeV. *Serpuchovský synchrotron* (Serpuchovo u Moskvy) z r. 1967 měl kruhovou dráhu o průměru již 472 m a výstupní energii protonů 76 GeV. Pro výzkum vlastností intermediálních vektorových bosonů W^+ , W^- a Z^0 byl r. 1989 v evropském středisku CERN v Ženevě postaven srážecí elektronů a pozitronů *LEP* (**L**arge **E**lectron-**P**ositron **C**ollider) o obvodu délky 27 km. Protiběžné svazky elektronů (e^-) a pozitronů (e^+) měly při srážkách energii až 208 GeV. Roku 2000 se fyzikům, provozujícím urychlovač *LEP* při energiích nad 206 GeV, dařilo pozorovat rozpad bosonu Z^0 a rozpad částice, která se podle standardního modelu dala vysvětlit jako intenzivně hledaný a dosud neobjevený Higgsův boson. Pádnější důkaz jeho existence se očekává z činnosti urychlovače *LHC* (**L**arge **H**adron **C**ollider) – viz obr. 21 a 22, který byl vybu-

dován na místě rozebraného urychlovače LEP. Jeho první pokusné spuštění se uskutečnilo v září 2008, avšak pro poruchy následovala rekonstrukce jeho supravodivých elektromagnetů. Poskytuje vstříčné svazky protonů, každý o energii až 7 TeV (při vstříčných srážkách tedy energii 2×7 TeV). Do té doby byl největším urychlovačem *TEVATRON*, který byl postaven ve *Fermilab* (Chicago, USA) již roku 1987. Má obvod dráhy o délce 6,3 km a poskytuje srážky protiběžných svazků protonů a antiprotonů o energii až $1960 \text{ GeV} = 1,96 \text{ TeV}$. V letech 1994 a 1995 byl na něm objeven top-kvark (t) – jde o nejtěžší elementární částici, jejíž hmotnost je přibližně rovna hmotnosti jádra wolframu. Nyní vstoupil do soutěže o konečné ověření standardního modelu částic s LHC. Očekává se, že mohutnější urychlovač LHC umožní uskutečnit zásadní objevy na mikrofyzikálních objektech a zejména, že s definitivní platností potvrdí standardní model částic a rovněž osvětlí různé kosmologické problémy *megasvěta*, jako je problematika temné energie a temné hmoty.



Obr. 21 Obří urychlovač LHC v evropském výzkumném středisku CERN



Obr. 22 Jeden z mohutných detektorů částic (ATLAS) na urychlovači LHC (foto B. Vybíral)

6.3 Výkonové lasery za poznáním hmoty v extrémních stavech

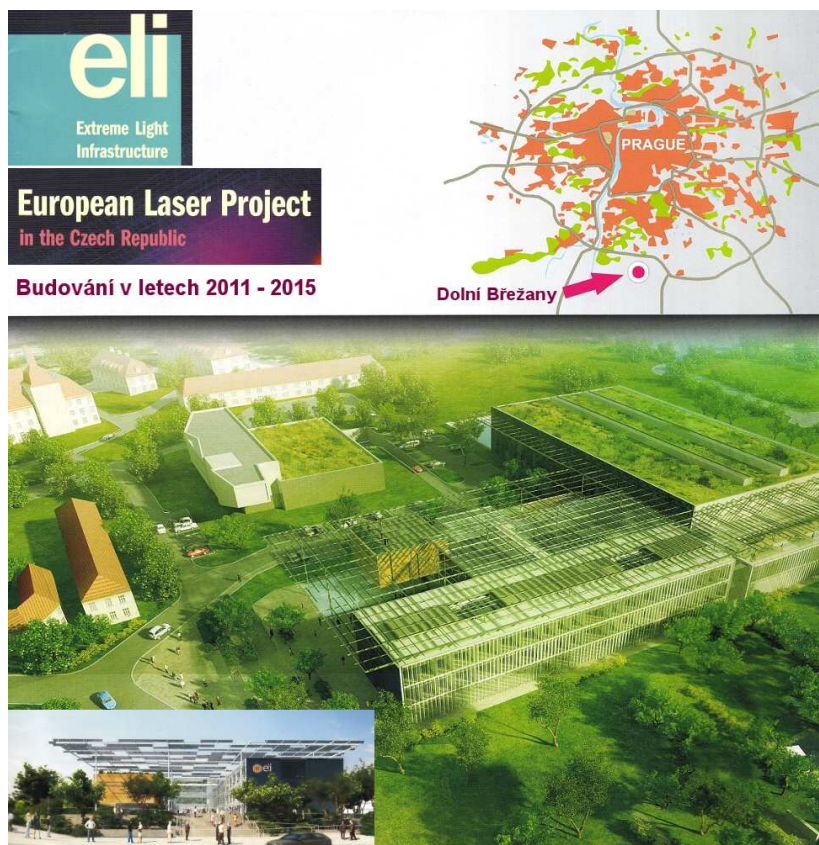
Hned po roce 1960, kdy byl objeven generátor koherentního světla, *laser*, se nabízela řada fyzikálních aplikací, mezi nimiž zaujalo místo zejména zkoumání plazmatu za extrémních teplot a možnost uskutečnění fúze lehkých jader na těžší (tj. řízené termojaderné syntézy). Jeden ze tří obřích evropských laserů pracuje od r. 2000 ve Fyzikálním ústavu a v Ústavu plazmatu AV v Praze pod názvem PALS. Jeho trubice o délce 160 m, lomená do 5 částí, generuje záření o vlnové délce 1315 nm (obr. 23). Je to pulsní laser na bázi plynného jódu, který má výstupní energii o hustotě asi 10^{15} W/cm² s opakovacími pulsy po 22 min.



Obr. 23 Badatelské centrum PALS (*Prague Asterix Laser System*), (foto B. Vybíral)

V Dolních Břežanech u Prahy se začalo budovat mohutné laserové zařízení ELI (s plánovaným uvedením do provozu r. 2015) – obr. 24. Okamžitý výkon jeho laseru (v trvání asi 20 fs) bude od 20 do 50 PW (1 PW = $1 \cdot 10^{15}$ W) s opakovací frekvencí 10 Hz. Umožní studium nových stavů hmoty pro aplikace v astrofyzice a různé materiálové a medicínské aplikace.

22

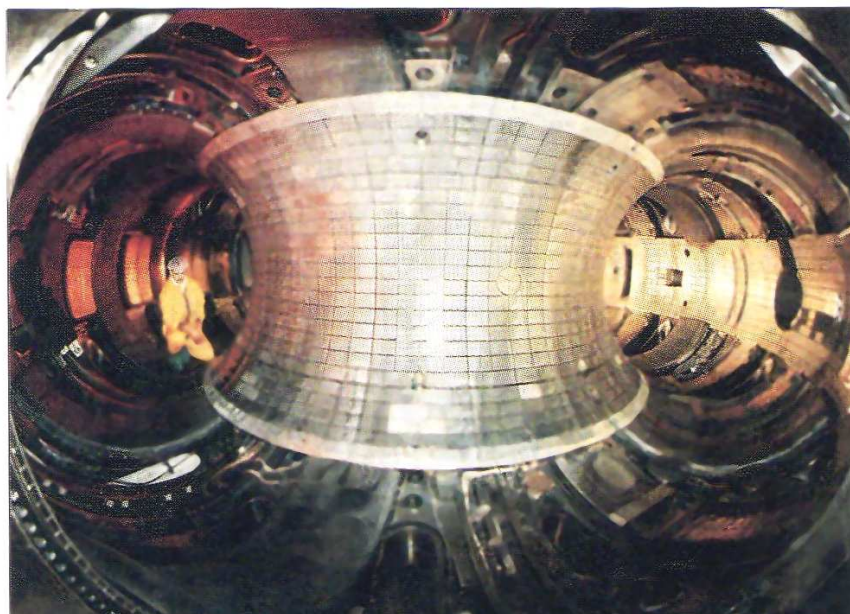


Obr. 24 Budované badatelské centrum ELI (*Extreme Light Infrastructure*) v České republice

6.4 Cesty k uskutečnění řízené termojaderné fúze

Budoucí rozvoj civilizované společnosti bude potřebovat dostatek elektrické energie, avšak její výrobu nebude možné zajistit spalováním fosilních paliv, z obnovitelných zdrojů, ani jadernou energetikou, založenou na štěpení jádra (a to jak z důvodu omezených zásob štěpného materiálu na Zemi, tak pro ekologické problémy, které provoz jaderných elektráren přináší). Východiskem se jeví zvládnutí řízené fúze lehkých jader, která je energeticky asi 7 krát výhodnější než štěpná reakce. Zásoby deuteria na Zemi jsou značné v mořské vodě (uvádí se, že 1 km³ mořské vody obsahuje v přítomné těžké vodě tolik deuteria, že jeho syntézou na helium se získá tolik energie jako spálením všech zbývajících světových zásob ropy).

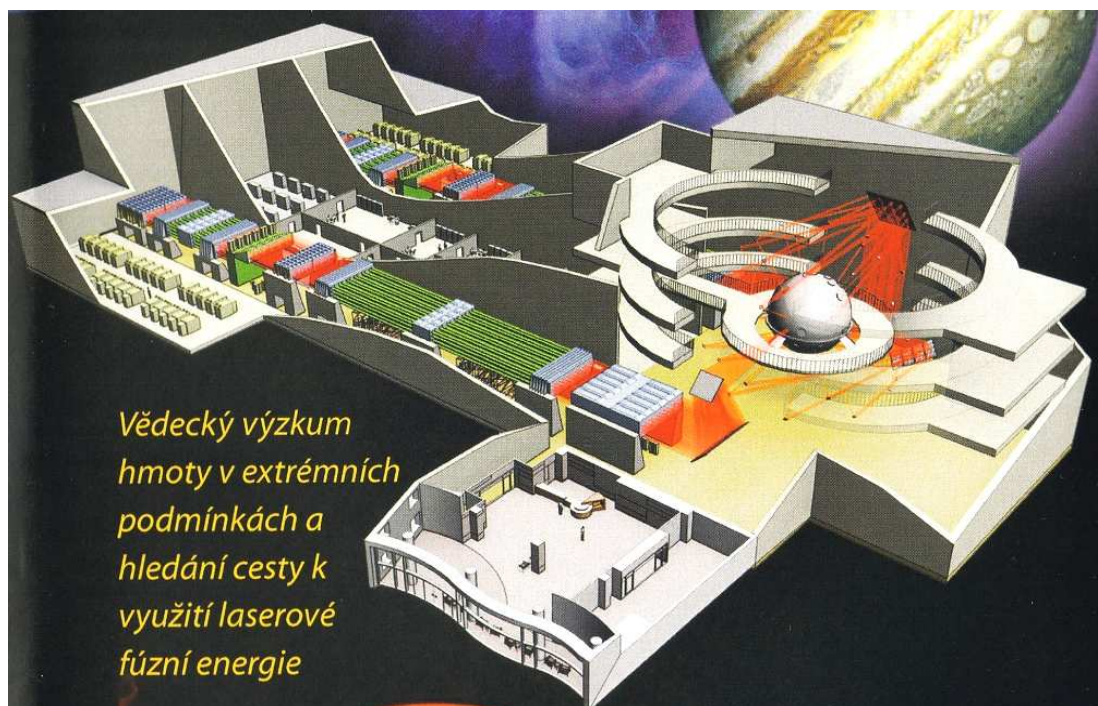
K uskutečnění řízené termojaderné fúze je však třeba v reaktoru vytvořit takové řízené fyzikální podmínky, jaké panují na Slunci (především vytvořit nesmírně vysokou teplotu řádu 10⁸ K a tlak, který v nitru Slunce vyvolává gravitace daná jeho hmotností 2.10³⁰ kg). To je značně obtížný úkol a v pozemských podmínkách se to zatím podařilo jen u vodíkové pumy (1949) pomocným štěpným jaderným výbuchem. Tudy cesta nevede. Již od konce 50. let se fyzikové snaží problém řešit pomocí *tokamaku* (viz obr. 25), jehož základem je mohutná toroidní cívka s velmi silným magnetickým polem, které udržuje plazma o vysoké teplotě a hustotě, potřebné k syntéze lehkých jader. V tokamaku ve Velké Británii se již roce 1997 podařilo uskutečnit fúzi o okamžitém výkonu 16 MW.



Obr. 25 Tokamak na Princeton University v USA

Velmi nadějným se jeví druhý způsob, využívající soustavu až stovky výkonových laserů. Jedno z takových zařízení (NIF) je vybudováno v USA v Kalifornii (za částku v miliardách US dolarů), druhé pracuje v Bordó ve Francii. Evropská unie připravuje společný projekt laserového zařízení HiPER (obr. 26), na němž by se do konce tohoto desetiletí měla uskutečňovat fúze o výkonu 500 MW. Pulsní záření, synchronně generované soustavou laserů v určitém okamžiku, se přivede soustavou zrcadel z různých směrů do vakuové komory reaktoru. Zde se fokusuje do malého prostoru o průměru řádu asi 1 mm, do něhož se v příslušném okamžiku vstřelí peleta s přesně stanovenou směsí deuteria a tritia. Předpokládá se, že zahřátí pelety bude stupňovité: v 1. slabším laserovém impulsu se opaří obal a vzniklá rázová vlna se bude šířit do středu a bude silně stlačovat přítomné deuterium. V bezprostředně následném velmi intenzivním laserovém impulsu vznikne v ohnisku teplota 10⁸ K, při níž se “zapálí” exotermická termojaderná fúze. Tento proces se bude s řízenou frekvencí opakovat a

vzniklé teplo z proběhnuvší fúze se využije k výrobě páry v parovodním okruhu jako u běžných tepelných elektráren. Výkon se bude řídit výši opakovací frekvence činnosti laserů. Půjde přitom o ekologicky čistý proces s velmi omezeným jaderným (neutronovým) zářením, které se snadno odstíní. Nebude vznikat jakýkoli jaderný odpad (produktem naopak bude na Zemi vzácné helium). Činnost reaktoru se zastaví prostým přerušením činnosti „zapalovacích“ laserů.



Obr. 26 Soustava výkonových laserů v zařízení pro termojadernou fúzi v projektu HiPER

Závěr

Fyzika je krásná a užitečná věda – stojí za to ji studovat a pěstovat. Poznání světa a proces jeho technických i jiných aplikací je proces neukončený a neukončitelný. Na úplný závěr jeden citát Alberta Einsteina, z něhož je cítit optimistický pohled vědce do budoucna: *Nejnepochopitelnější věcí na světě je, že svět je pochopitelný.*