



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Profesní příprava učitelů přírodovědných oborů pro uplatnění v konkurenčním prostředí

CZ.1.07/2.2.00/15.0310

AKTUÁLNÍ PROBLÉMY VÝUKY FYZIKY NA STŘEDNÍ ŠKOLE

Renata Holubová

Olomouc 2011

Obsah

<u>Úvod</u>	4
<u>Konstruktivismus ve výuce fyziky</u>	6
<u>Fyzikální experiment</u>	8
<u>Fyzikální soutěže</u>	24
<u>Pojmové mapy</u>	27
<u>Globální polohový systém GPS</u>	32
<u>Základní částice a základní fyzikální interakce</u>	49
<u>Digitální fotoaparát</u>	54
<u>Fyzika v lékařství</u>	58
<u>Nanotechnologie</u>	71
<u>Elektronový mikroskop</u>	78
<u>Mikroskopie skenující sondou</u>	85
<u>Mikroskopie atomárních sil</u>	87
<u>Literatura</u>	90

Úvod

Studenty učitelství je třeba připravovat na složitý, dynamický a tvůrčí proces výuky. Je nezbytné rozvíjet jejich profesní kompetence nejen se zaměřením na oblast teoretickou, ale zároveň na rozvíjení dovedností, postojů, hodnot a osobnostních vlastností.

Vzhledem k významným proměnám současné školy se výrazně mění přístupy k učitelské profesi, dochází ke změnám v pojetí rolí, kompetencí a nároků na osobnost učitele. Problematika inovace modelů učitelského vzdělávání patří k významným tématům současných teoretických prací, výzkumů a odborných diskusí.

Jedním z obecných trendů učitelské přípravy je všeobecný posun k výraznější profesionalizaci učitelské profese, kterou chápeme jako posun od modelu tzv. minimální kompetence, v němž těžiště učitelovy práce spočívá v co nejefektivnějším předávání poznatků, k modelu tzv. široké otevřené profesionality. To znamená výrazné rozšíření působnosti učitele, jeho podílu na celkové kultivaci osobnosti žáků. V kontextu nových požadavků se zvyšují nároky na schopnosti studentů učitelství analyzovat vlastní činnost, prezentovat své pojetí práce, spolupracovat s kolegy – v současné době roste význam „kolektivního“ pojetí učitelské profese, schopnost kvalitně komunikovat s okolím.

Východiskem profesionalizačního procesu „stávání se učitelem“ - rozvoje studenta učitelství – je personalistická a konstruktivistická koncepce učitelského vzdělání. Tyto koncepce kladou důraz na osobnostní rozvoj studenta – učitele, kultivaci v oblasti citlivé a srozumitelné komunikace, na porozumění a pochopení druhých lidí, důraz na rozvoj sebereflexe a autoregulace.

Klíčovým konceptem, východiskem k vedení studentů je konstruktivismus resp. sociokonstruktivismus, který je jedním ze soudobých významných trendů v humanitních vědách. Představuje vědecky podloženou variantu pohledu na člověka a společnost, která nabízí nové možnosti, jak zacházet se sociálními a psychosociálními jevy v současné postmoderní době. Pro pedagogiku má zásadní význam konstruktivistické pojetí lidského poznávání jako konstruování vlastního chápání světa na základě reflexe osobních zkušeností a pojetí učení jako procesu hledání smyslu a porozumění světu, který nás obklopuje.

Prakticky to znamená, že se při výuce didaktiky zaměřujeme nejen na rozvíjení poznatků, ale vycházíme z toho, co, student ví, co si o věcech a jevech myslí, jak si je představuje a jaký k nim má vtaah.

Základními východisky rozvíjení didaktického myšlení budoucích učitelů jsou trendy, které směřují ke zcela nové orientaci současné školy. Jedná se především o odmítání jednostranné orientace na učivo v jejím encyklopedickém a scientistním pojetí, překonávání jednostranně racionalistického pojetí pedagogického procesu, překonávání poznatkové roztržistěnosti učiva, pasivní pojetí žáka, či autoritářského školního klimatu apod. Je důležité vést učitele k nové orientaci výuky, jež zdůrazňuje vnitřní motivaci žáka, komunikativní a emocionálně motivační dimenzi vyučování, zkušenostní a činnostní orientaci vyučování, význam učiva pro reálný život žáků, nový pohled na lidskou inteligenci jako multidimenzionální apod.

Při promýšlení procesů rozvíjení didaktického myšlení studentů učitelství si klademe řadu otázek:

- O jaké nové obsahové aspekty se obohacuje pojem vzdělání v současné škole?
- Která nová témata je třeba vnášet do současné školy?
- Jaké metody práce s učivem je vhodné volit?

Jak překonávat stále ještě převažující jednostrannou orientaci školy na osvojování množství hotových poznatků a encyklopedizující pojetí učiva, jednostranný důraz na kognitivní aspekty učení žáků?

- Jaké charakteristiky současného dětství jsou významné pro práci školy?
- Jaká je hodnotová orientace současných dětí a mládeže?
- Jak by měla škola reagovat a řešit složité problémy hodnotové orientace dnešních žáků?
- Jak rozvíjet osobnostní charakteristiky žáků, jak řešit otázku jejich osobnostního rozvoje?

V kontextu nového pojetí výuky obecné didaktiky v procesu přípravy budoucích učitelů vedeme studenty k tomu aby intenzivně přemýšleli nejen o tom, čemu žáky učí, ale zároveň jak se žáci učí. Je nezbytné, aby si uvědomovali zásadní význam didaktických aspektů zpracování učiva. Studenti jsou směřováni k tomu, aby nejen látku, učivo důkladně znali, pronikli do jeho podstaty, ale zároveň promýšleli operacionální ,procesuální znalosti - tedy jak si budou znalosti osvojovat žáci.

Další významnou rovinou didaktického přemýšlení o učivu je oblast jeho hodnotové orientace. Jde o to, aby studenti promýšleli hodnotové aspekty učiva, aby je chápali jako podnět a prostředek pro živou diskusi s žáky, aby seznamovali žáky s hodnotami společnosti ,v níž žijí. Jedná se mimo jiné o to, přivést žáky k pochopení významu učiva, které má přesah do jejich reálného života , neboť poté lépe chápou smysl a význam svého učení.

Významným klíčovým momentem je předpoklad, že učení nezačíná školou a neděje se pouze v ní. Každé dítě si přináší určité zkušenosti, znalosti, prožitky a postoje, na jejichž základě si vysvětluje svět kolem sebe. To je konstruktivistické východisko pojetí vyučování ,v němž dochází ke konfrontaci, k napětí mezi tím co žák už zná a mezi novými úkoly, poznatky, které si má osvojit. Žák – subjekt aktivně překonává vzniklé rozpory, nové poznatky integruje do dosavadních struktur a konstruuje nové struktury na vyšší úrovni, Podstatné je to, že žák je v tomto procesu vnitřně aktivní.

Dalším klíčovým momentem je otázka, co může učitel udělat pro usnadnění procesu učení, v čem spočívá jeho aktivita? Jde o to vést studenty k tomu, aby se učili vytvářet takové didaktické situace, které podporují aktivní interakci žáka s učivem. Studenti se učí hledat opěrné body pro další učení žáků. K tomu jim napomáhají otázky jako např. O které momenty u žáka se mohou opřít? Co už žák ví? Jaké postoje si osvojil? Jaké zkušenosti mu poskytuje prostředí, v kterém žije? Co prožívá ve škole a mimo ni? apod.

S tím souvisí úkol rozvíjet diagnostické schopnosti a dovednosti studentů. Dalším klíčovým momentem pro přípravu studentů je problematika vytváření takových situací v nichž si žák bude moci budovat aktivní vztah k učivu. Jedná se mimo jiné o dovednost navozovat vhodné problémové situace ať už teoretického nebo praktického charakteru. Studenty učíme tvorbě vhodných problémových úloh, které budou vzbuzovat poznávací potřeby a zájmy žáků.

Dalším klíčovým momentem je vytváření didaktických situací, které budou přiměřené každému žákovi. Tento moment je v těsné spojitosti s rozvíjením výše zmíněných diagnostických dovedností studentů. Jde o to eliminovat takové představy studentů – začínajících učitelů o třídě, kde všichni žáci ve stejném okamžiku provádějí stejné myšlenkové operace. Jinými slovy, učíme studenty hledat diferencované didaktické přístupy vzhledem k individuálním zvláštnostem a možnostem žáků.

V předloženém textu bylo použito materiálů zveřejněných v rámci seminářů na Slovanském gymnáziu v Olomouci (Polohový systém GIS, Fyzika elementárních částic) a dále materiálů, které vznikly v rámci řešení bakalářských a diplomových prací na Katedře experimentální fyziky pod vedením R. Holubové a R. Kubínka.

Konstruktivismus ve výuce fyziky

Vymezení pojmů koncept a prekoncept

Vycházíme-li z teorie kognitivního konstruktivismu, potom víme, že žáci jsou vybaveni před vstupem do školy řadou svých vlastních intuitivních představ o okolním světě.

Tyto představy prezentují subjektivní porozumění světu, ve kterém žijí, které je dáno žákovými vlastními zkušenostmi.

Tyto intuitivní dětské představy jsou v pedagogické literatuře označovány jako **naivní teorie dítěte** (angl. naive theories), alternativní koncepce (koncepty) (angl. alternative conceptions), žákovské prekoncepce (prekoncepty) (angl. preconception).

Terminologie není ustálená, mění se podle zvyklostí jednotlivých autorů. Ve všech případech však prekoncept reprezentuje subjektivní představy a interpretace objektů a jevů.

Naivní teorie reprezentují žákův pohled na svět a jeho vysvětlení jevů, se kterými se setkává v běžném životě. Nemají základ ve vědeckém poznání světa. Naším cílem by mělo být v rámci výchovně vzdělávacího procesu přeměnit tyto naivní představy ve vědecké teorie a pracovat s vědeckými pojmy.

Alternativní koncepce vznikají za působení jak vlastního vnímání a pozorování žáků, tak pod vlivem vrstevníků, použitého jazyka či učitele, učebnic. Často kopírují představy objasňování jevů, které nacházíme v historickém vývoji vědy. Jsou charakteristické svou rezistencí.

Prekoncepce (prekoncepty) představují žákovy představy a interpretace jevů. Jako již název napovídá, jedná se o představu dynamickou, předběžnou.

Naším cílem bude v rámci procesu učení tuto představu přeměnit na představu správnou, vědeckou – cílovou koncepci (cílový koncept).

Žákovská prekoncepce je ve výuce konfrontována s koncepcí správnou, vědeckou, která má být žákem osvojena. Zda dojde k úspěšnému vytvoření žákovské koncepce je ovlivněno tím, zda prekoncepce je správná (souhlasná, pozitivní) či nesprávná (nesouhlasná, nevědecká). Tato je v rozporu s učivem, proto bývá označována jako miskoncepce (miskoncept).

Termín **miskoncept** obsahuje *normativně hodnotící pohled na určitý koncept* (Janík 2007). Cílem procesu poznání by mělo být odstranění chybných prekonceptů (miskonceptů).

Miskoncept může být chápán také jako mylná představa vzhledem k současné úrovni vědeckého poznání.

Utváření prekonceptů

Prekoncepty u jednotlivých žáků se liší. Obsahují různé množství informací, které mohou mít také odlišnou kvalitu. Vliv má zejména žákovo okolí (rodina, počítač, zájmy, kamarádi).

Obecně dělíme faktory, které ovlivňují vznik prekonceptů, do dvou velkých skupin:

1. exogenní faktory (vlivy sociální, ekonomické, kulturní, etnické atd.),
2. endogenní faktory (představují biologické a psychické charakteristiky, dispozice žáka).

Prekoncepty lze charakterizovat pomocí 4 popisných kategorií

1. Kognitivní dimenze – charakterizuje obsah a rozsah prekonceptu. Podle výše uvedených charakteristik prekonceptů, vzniká jednak spontánně, jednak cíleně, a to v procesu učení ve škole. Hodnocení kognitivní dimenze lze realizovat prostřednictvím didaktických testů.
2. Afektivní dimenze – charakterizuje emocionální obsah prekonceptu, tj. jaký postoj k jevu jedinec zaujímá.
3. Zastrukturování – začlenění prekonceptu do struktury, kterou jedinec již má. Zastrukturování lze vyhodnocovat např. pomocí pojmových map.
4. Plasticita – postihuje změny prekonceptu v čase. Je charakterizována rozdílem mezi dvěma úrovněmi téhož prekonceptu.

Pojetí a chápání určitého fenoménu žákem je složitý proces, v žákově mysli mohou vedle sebe existovat prekoncepty, koncepty stejně jako miskoncepty.

Učitel by měl mít představu o tom, jak je žák ovlivněn toky informací (televize, internet, tisk), a zda koncepty, které si pod vlivem médií vytváří, jsou-li správné nebo chybné, a to ve všech oblastech – odborné, sociální, komunikativní, občanské, pracovní.

Dětská pojetí základních pojmů se mění podle převládajícího vlivu jednotlivých oblastí (tj. prostředí, média, škola). Společné ovšem je, že vliv těchto tří faktorů na formování dětských pojetí je značný, přičemž v různých obdobích některý z vlivů převažuje. Často však tyto vlivy působí proti sobě, takže nedochází k žádoucí modifikaci dětských pojetí (mnohdy naivních či nesprávných), ale k současné koexistenci více pojetí vzniklých působením rozdílných vlivů. Zejména vliv individuálních zkušeností (tzv. primitivní věda) zapříčiňuje značné nedostatky dětských pojetí mnohých (nejen přírodovědných) pojmů. (Doulík 2004).

Vyučování by tedy mělo směřovat k harmonickému sblížení tzv. „primitivní vědy“ každého žáka s tím, co prezentuje škola („školní věda“). A toho učitel bez znalosti dětských pojetí nemůže být schopen.

Učitelé jako profesní skupina disponují určitými profesně specifickými znalostmi, jimiž se zároveň vyhraňují vůči jiným profesím. Americký vědec L. S. Shulman na případových studiích ukázal, že učitel využívá unikátního typu znalostí, které „...leží v průniku obsahu a didaktiky, ve schopnosti učitele transformovat své znalosti obsahu do forem, které jsou pedagogicky účinné, a přesto přizpůsobivé schopnostem žáků“. Shulman nazval tento typ znalostí „didaktickými znalostmi obsahu“ (pedagogical content knowledge) a chápal je jako slitinu či amalgam znalostí obsahu a znalostí didaktických. Tím, že Shulman svým konceptem nabídl učitelské přípravě určitý integrující komponent, pomáhal překonávat „do sebe zahleděný přístup“, kdy je kategorie obsahu chápána jako záležitost „oboru“, zatímco vyučování jako záležitost „pedagogiky“.

Co jsou to didaktické znalosti obsahu?

Didaktické znalosti obsahu zahrnují „...ty nejúčinnější analogie, ilustrace, příklady, vysvětlení, slovní demonstrace, způsoby znázorňování a formulování tématu, které jej učiní srozumitelným pro jiné“ (Shulman, 1987, s. 9). Jde o znalosti, které učiteli umožňují didakticky ztvárňovat obsahy, jimž se žáci mají učit. Jednotlivým tématům, problémům či otázkám daného učiva je dáván didaktický tvar,

a to s ohledem na žáky. Zde vstupují do hry i učitelovy znalosti o žácích a jejich charakteristikách. Didaktické znalosti obsahu jsou tedy jistou zvláštní formou znalostí pro vyučování, které umožňují učiteli transformovat znalosti učební látky v kontextu facilitace žákova učení. Jejich hlavním zdrojem jsou zkušenosti z vyučování, přičemž adekvátní znalosti učiva se jeví jako jejich předpoklad.

Shulman a evropská didaktická tradice?

Dodejme, že z pohledu evropské didaktické tradice nepředstavuje Shulmanův koncept nic nového ani překvapivého. Již před zhruba 45 lety psal v německém Marburku Wolfgang Klafki svoji studii „Didaktická analýza jako jádro přípravy na vyučování“, která je dostupná i v českém překladu (Klafki, 1967). Otázku přípravy na vyučování chápe Klafki jako „návrh na jednu nebo více možností k plodnému setkání určitých dětí s určitými vzdělávacími obsahy“ (Klafki, 1967, s. 121). První krok přípravy na vyučování vidí v rozboru „věci“, kdy si učitel klade otázku: „Co je to věc? Co je podstatou učební látky?“. Teprve potom následuje *metodická analýza*, tj. úvaha o tom, *jak* toto setkání žáků se vzdělávacími obsahy uskutečnit.

Nicméně je pravdou, že tradice německé oborové didaktiky (Fachdidaktik) je spíše filosofická než empirická, a proto lze koncept didaktických znalostí obsahu chápat jako obohacení oborové didaktiky o novou perspektivu.

Z tohoto pohledu považujeme Shulmanův koncept *didaktická znalost obsahu* za významný zejména pro oborové didaktiky, které se etablují jako samostatné vědecké disciplíny. Pohled do zahraniční odborné literatury dosvědčuje, že Shulmanův koncept pedagogických znalostí obsahu vzbudil značnou pozornost v řadě oborů, v čehož důsledku začaly vznikat studie, které zkoumaly tento typ znalostí v matematice, v sociálních vědách, v anglickém jazyku, v přírodních vědách aj.

Čím se tedy liší učitel fyziky od fyzika?

Didaktické znalosti obsahu jsou pro učitele tzv. „profesně specifické“, a tudíž vykazují jistý distinktivní charakter v tom smyslu, že „jsou kategorií, která nejzřetelněji odlišuje chápání oborového specialisty od chápání učitele“ (Shulman, 1987, s. 8). Didaktickými znalostmi obsahu se tak např. učitel fyziky liší od fyzika, učitel matematiky od matematika atp.

Rozvinutá didaktická znalost obsahu je podle představitelů této teorie jednou z důležitých charakteristik učitele-experta. Leží na průniku učitelovy znalosti obsahu a jeho obecných didaktických a psychologických znalostí. Didaktická (či pedagogická) znalost určitého tématu učiva (*pedagogical content knowledge*) je tím typem porozumění učivu, které umožňuje učiteli zpřístupňovat učivo ostatním lidem. Získává se především dlouhodobou pedagogickou činností. „Prostá“ znalost obsahu (*subject matter content knowledge*), znalosti vědních a jiných obsahů, jež jsou „souhrnem faktů a pojmů daného oboru včetně pochopení struktury tohoto oboru“ (Janík 2007: 27), bývají považovány za víceméně nezbytný předpoklad toho, aby učitel mohl příslušný předmět vyučovat.

Fyzikální experiment

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. Pravidla nového vědního přístupu k budování fyzikálního obrazu světa stanovil až italský renesanční vědec Galileo Galilei (1564 – 1642):

- Vytvořit hypotézu na základě dosavadní zkušenosti, intuice a popř. vrozených pravd.
- Ověřit hypotézu smyslovou zkušeností nebo experimentem.

- Provést dedukci hypotézy na jevy dosud neznámé.

Tak byl do přírodovědy zaveden experiment jako prostředek poznávání přírodních jevů a současně jako specifická metoda praxe.

Fyzikální experimenty, které mají stěžejní význam pro budování fyzikálního obrazu světa (a to jak z hlediska historického anebo současného) budeme v této stati označovat jako *experimenty fundamentální*. Těmito fundamentálními (resp. základními) experimenty přitom mohou být jak významné experimenty heuristické, tak i experimenty verifikační, pokud ověřují např. hypotézu, která má zásadní význam pro budování určité fyzikální teorie anebo oprávněnost teoretických dedukcí.

Myšlenkové a počítačové experimenty ve skutečnosti fyzikálními experimenty v pravém slova smyslu nejsou – reálné experimenty jimi nelze zcela nahradit. Tyto „experimenty“ však podstatně usnadňují poznávání ve velmi složitých a mezních situacích, neboť dospívají k výsledkům, které bychom reálnými experimenty získávali velmi obtížně, a to jak z hlediska časového, tak z hlediska ekonomické náročnosti. Metodu myšlenkového experimentu rozpracoval již G. Galilei, avšak jako metodu jej často užíval zejména A. Einstein (1879 – 1955) při budování teorie relativity (simuloval jimi děje při rychlostech blízkých rychlosti světla a děje ve velmi intenzivních gravitačních polích). Počítačovým experimentem lze dobře simulovat jednak děje reálně probíhající velmi rychle (např. ve fyzice elementárních částic lze sledovat přeměnu částic při vzájemné interakci), jednak děje naopak velmi pomalé (např. v astrofyzice srážku dvou galaxií). Dobře se osvědčují také u dějů s velkým počtem proměnných vstupních parametrů (např. u dějů v zemské atmosféře – modely vývoje počasí).

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. Např. k nejnáročnějším experimentálním úkolům současné fyziky patří dobudování standardního modelu mikrosvětla (viz např. současné extrémní experimentální úsilí při hledání Higgsonova bosonu, které vyžaduje stavbu urychlovačů o energiích až 7 TeV).

Podobné náročné experimenty mají dokázat existenci gravitačních vln podle Einsteinovy obecné teorie relativity. K tomu se budují se detektory extrémních rozměrů řádu 10^3 m, aby se konečně podařilo zachytit gravitační vlny. S tím je spojena odpovídající finanční náročnost.

Fundamentální experimenty z hlediska historického vývoje fyziky

Východiskem každé relevantní fyzikální teorie musí být pozorování přírodních jevů anebo provedení reálného experimentu. Dále uvedeme několik příkladů z historického vývoje fyziky.

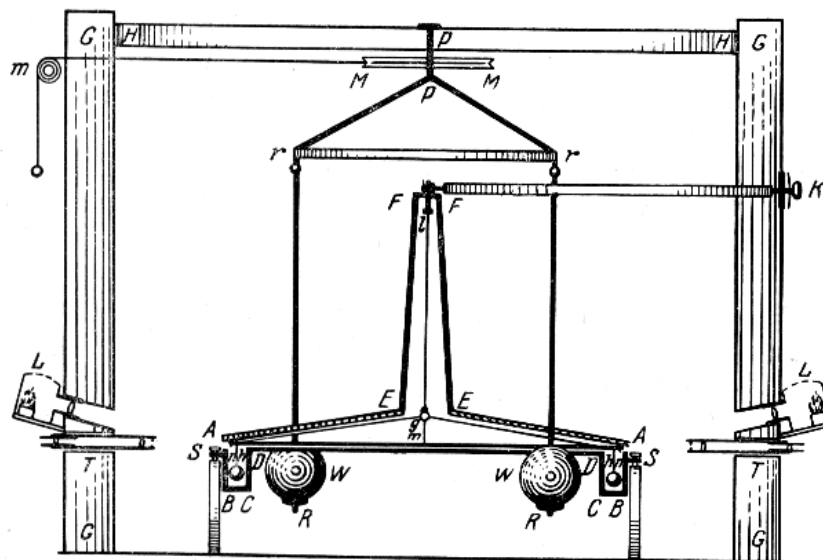
Klasická mechanika

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 předcházal 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.

Klasická 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.

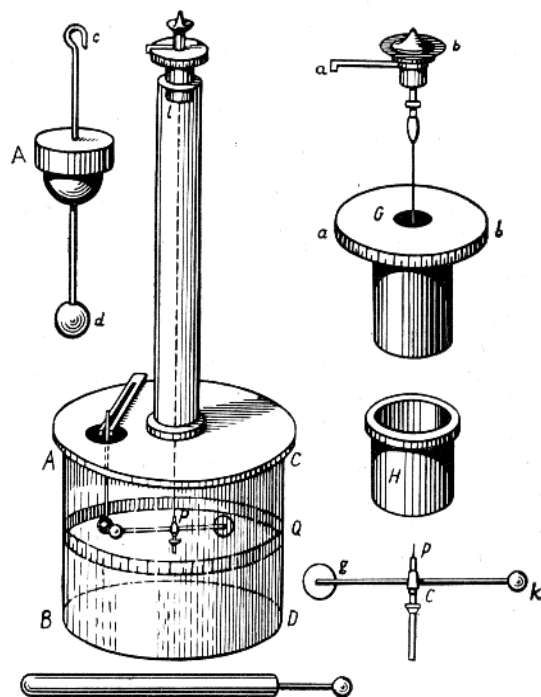
1609 (v Praze) a r. 1619 k formulaci tří zákonů nesoucích jeho jméno. Z nich pak I. Newton provedl zobecnění na zákon všeobecné gravitace (publikoval jej r. 1687). Newton sám také provádí jeho verifikaci analýzou výsledků pozorování pohybu Měsíce a čtyř největších měsíců Jupitera. Fundamentální verifikační experiment však mohl realizovat až r. 1798 H. Cavendish pomocí torzních vah (obr.5). 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.



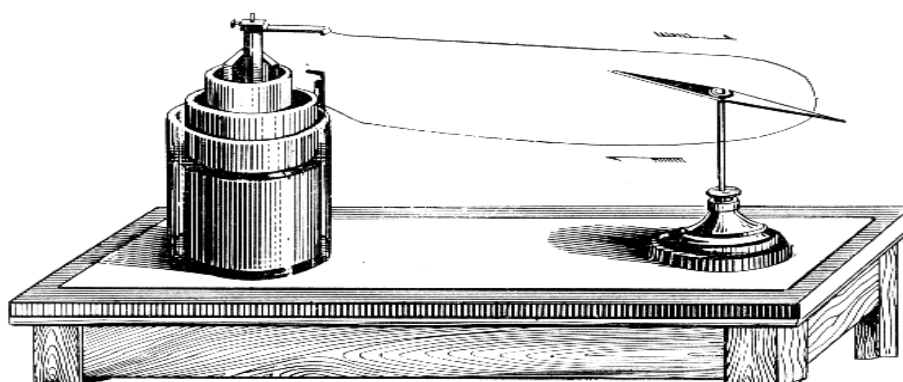
Obr.1 Cavendishovy torzní váhy (1798) – originální schéma fundamentálního experimentu

Klasická teorie elektromagnetického pole

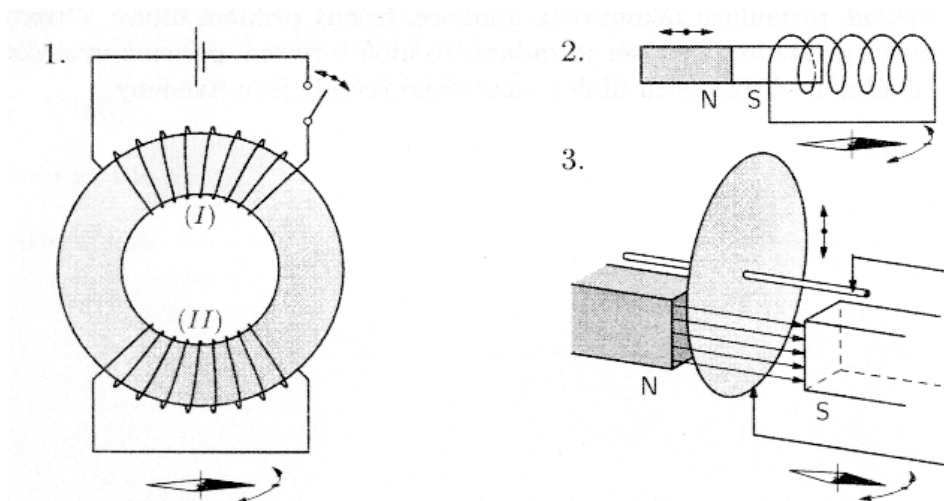
Až do konce 18. stol. byly známy některé jevy z elektřiny a magnetismu pouze kvalitativně, a to bez vzájemné souvislosti. Teprve r. 1785 provedl A. Coulomb (1736 – 1806) fundamentální experiment, při němž měřil elektrostatické síly na torzních vahách (obr. 6), který mu umožnil formulovat základní zákon 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. 7), kterým pomocí 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



Obr.2 Coulombovy torzní váhy (1785) – originální schéma fundamentálního experimentu



Obr. 3 Originální náčrt Oerstedova fundamentálního experimentu (1820)

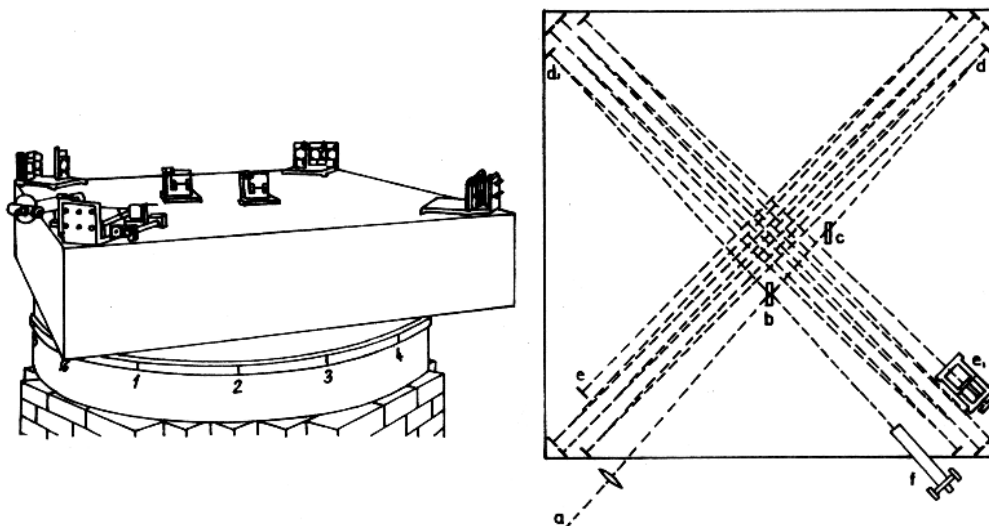


Obr. 4 Schéma fundamentálních Faradayových pokusů s elektromagnetickou indukcí (1831)

teorie o silovém působení magnetického pole na proudový element formuluje M. Ampère (1775 – 1836) na základě svého fundamentálního experimentu z r. 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 sedmiletém experimentování M. Farady (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 nově objevená entita – 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. 1887 H. Hertz (až 8 roků po Maxwellově smrti).

Speciální teorie relativity

Maxwellova teorie šíření elektromagnetických vln měla jeden nedostatek – Maxwell přijal Youngovu hypotézu z r. 1801, že k šíření světla (a tudíž i elektromagnetických vln) je zapotřebí jakéhosi prostředí, které bylo nazváno *éter*. Jeho experimentální hledání přivedlo fyziku poslední čtvrtiny 19. stol. do vleklé krize. Mezi třemi hypotézami o éteru měl nakonec rozhodnout fundamentální Michelsonův-Morleyův experiment z let 1881 a 1887 (obr. 9). 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 vztažných 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. Dokonce závislost hmotnosti elektronu na jeho rychlosti v inerciální vztažné byla kvalitativně zjištěna již před vypracování teorie relativity – viz Kaufmannův experiment z r. 1901.



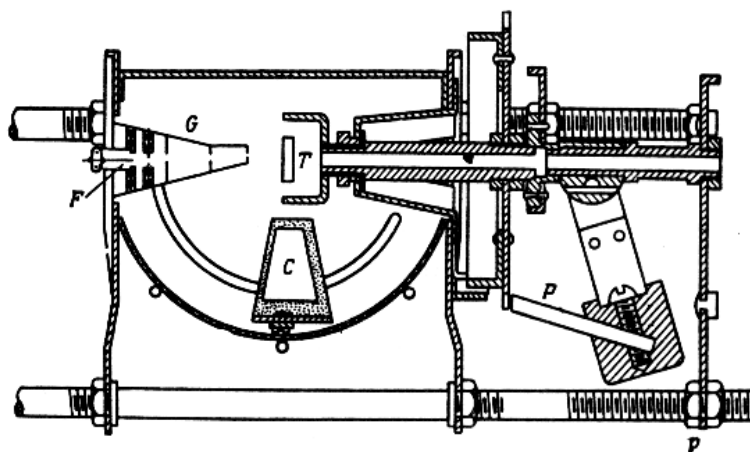
Obr. 5 Uspořádání fundamentálního Michelsonova-Morleyova experimentu z roku 1887

Obecná teorie relativity – teorie gravitace

Zajímavé je, že tento obor má hluboké 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 - 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 zdvihl vyslovil princip ekvivalence setrvačných a gravitačních sil, který je jedním z obecných principů relativity.

Kvantová fyzika

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. Foton do fyziky zavedl až r. 1905 Einstein při výkladu fotoelektrického jevu experimentálně objeveného již r. 1887 H. Hertzem. K významných experimentálním oporám nejen kvantové, ale i relativistické fyziky patří Comptonův jev z r. 1922. Vlnové vlastnosti elektronu byly poprvé pozorovány v letech 1921 – 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. 10).



Obr. 6 Schéma přístroje pro fundamentální verifikační experiment kvantové fyziky z r. 1927

Atomová a jaderná fyzika

Celá nauka o stavbě 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 r. 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 – 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, který na základě série 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).

Z hlediska současné výuky fyziky je vhodné začínat fundamentálním heuristickým experimentem jen v místě, které tvoří východisko pro současnou teorii. Popis (resp. provedení) verifikačního experimentu zařazovat až do místa, kde se má ověřit výsledek dosažený teoreticky. Dnes mohou původně fundamentální heuristické experimenty plnit funkci experimentů verifikačních.

Reálný experiment má důležité postavení rovněž při výuce fyziky na školách všech stupňů. Zařazení experimentu do výuky není však jednoduché a klade nároky na čas, zkušenosti demonstrátora, na vybavení kabinetu demonstračními pomůckami i na vůli učitele výklad při výuce experimentem obohatit. Zajímavé je, že experimenty při fyzikálním výkladu prováděl již Prokop Diviš (1698 – 1765) v polovině 18. stol. To bylo tehdy zcela neobvyklé, což kladně hodnotil již r. 1777 F. M. Pelcl (Pelcl, s. 19). K roli učitele fyziky při experimentování se výstižně vyjádřil r. 1935 prof. Dr. Josef Zahradníček, nestor moravských experimentálních fyziků a didaktiků, který v letech 1929 – 1953 působil na Masarykově univerzitě v Brně (21) „Fyzikální přednáška po experimentální stránce má být uměleckým dílem. Učitelovo vědění samo o sobě přispěje zpravidla jen málo k poznání žáků, ale pokus dobře připravený a do nejmenších podrobností promyšlený, pokus zdařilý je pro pozorného posluchače vším. Učitel fyziky má být do jisté míry umělcem rukou, vynálezcem, který dovede třeba z nejjednodušších prostředků sestavit výmluvný pokus. Jen pokus dobře vyzkoušený, jen pokus, který nikdy neselže, jen pokus, k jehož přípravě a provedení je vynaložen přiměřený čas, jen pokus, který lze vykonat přístrojem přiměřené ceny, jen pokus přiměřený věku a rozumové vyspělosti žáka, jen takový

pokus má cenu ve školním vyučování a přináší žádané ovoce. Jako není fyzikou fyzika bez experimentů, tak chybný by byl i druhý extrém: příliš mnoho experimentů. Jen tolik pokusů nechť je v hodině fyziky provedeno, kolik jich může být průměrně nadaným žákem duševně zpracováno, jinak se stává hodina fyziky představením cirkusovým*.“

V dnešní době, kdy se při výuce potýkáme s časovou tísí, předimenzování výuky experimenty jistě nehrozí. Řada učitelů přesto přemýšlí jak výuku oživit vhodným experimentem a získat tak žáka pro fyziku, jak zvýšit jeho motivaci, jak provádět pokusy netradičně i jednoduše a případně i v domácích podmínkách, anebo naopak zcela moderně s využitím počítačů. Velmi cenná je zejména *heuristická forma výuky* – umět navodit situace, aby žák určité poznatky s využitím experimentu sám pro sebe objevoval. Významné jsou zejména *tvůrčí experimentální úlohy*, u kterých se požaduje, aby student nejen něco naměřil, avšak aby vymyslel i metodu. Takové úlohy se často zařazují do fyzikálních soutěží, především do Fyzikální olympiády. Zde se ukazuje, že i ti nejlepší studenti nejsou na experimentování dobře připravení – chybí jim zručnost i zkušenosti. Zvláště zajímavé tvůrčí experimentální úlohy se objevují v posledních ročnících Mezinárodních fyzikálních olympiád, které mají formu téměř vědecko-výzkumných úkolů.

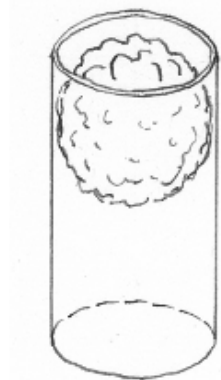
Využití experimentu při řešení úloh

Úlohy mají plnit funkci poznávací, výkonovou a sociální.

Problémový experiment – cílem je vyvolat potřebu řešení problému. Žák je postaven před poznávací konflikt, který je podnětem pro aktivní činnost žáka. Problém je překvapivý – jedná se o konflikt mezi očekáváním a prezentovanou učební úlohou s experimentem. Je navozena otázka „Jak je to možné?“

Překvapivost:

Papírová kulička z toaletního papíru je vložena do trubičky od toaletního papíru. Kulička má přibližně stejný průměr jako trubička. Ve svislé poloze se snažíme údery otevřenými prsty druhé ruky kuličku vyklepnout dolů ven z trubičky. Kulička se překvapivě posunuje v trubičce vzhůru. Vysvětlete.



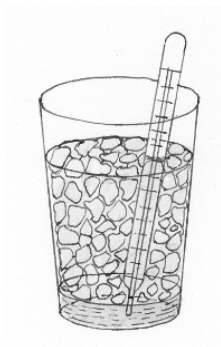
Vysvětlení: Překvapivé chování papírové kuličky je projevem její setrvačnosti.

Paradox

Konflikt mezi obecnou představou a skutečností. Známé jsou paradoxy např. hydrodynamický, hydrostatický, paradox dvojčat. Žák reaguje otázkou: „Vůbec nevěřím, že je to možné!“

Příklad:

Nasypeme drcený led a kuchyňskou sůl do nádoby. Po promíchání změříme teplotu kapaliny na dně nádoby. Teplota tekutiny je paradoxně několik stupňů pod bodem mrazu vody. Vysvětlete.



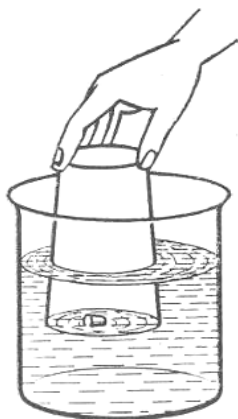
Vysvětlení: Velmi studená kapalina není voda, ale podchlazený roztok soli ve vodě (tzv. mrazící směs).

Pochybnost

Experiment nesplňuje všechny podmínky platnosti zákona. Žák reaguje otázkou: „Jak je možné, že zákon neplatí?“

Příklad:

Nádobku naplním do poloviny vodou. Na hladinu umístíme kousek polystyrénu. Druhou obrácenou prázdnou menší nádobkou polystyrén na hladině zakryjeme a zatlačíme ke dnu ve větší nádobce. Vysvětlíte, proč polystyrén neplove na hladině.



Vysvětlení: Polystyrénový kousek plove, avšak na nové hladině uvnitř menší nádobky.

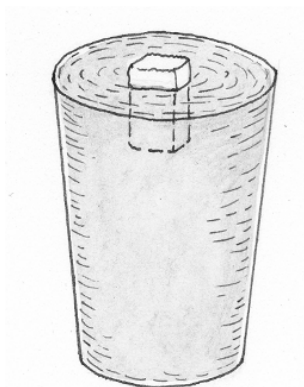
Nejistota

Žák musí volit z různých navržených variant řešení problému, odtud vyplývá jeho nejistota. Typickou otázkou je: „Co je správně?“

Příklad:

Nádobku naplníme po okraj vlažnou vodou. Vložíme do ní kousek ledu tak, aby voda přetekla. Co se stane až všechn led roztaje?

- (a) Vodní hladina se nezmění a voda nepřeteče
- (b) Vodní hladina poklesne
- (c) Trocha vody přeteče



Správné řešení: (a) Z Archimédova zákona vyplývá, že objem vody vzniklé táním ledu je stejný jako ponořená část ledu.

Obtížnost

Žák má vyřešit zdánlivě neřešitelný problém. Reaguje otázkou: „To nevyřeším!”

Příklad:

Dvě plastová víčka od plastových lahví zahřejeme nad plamenem a slepíme. Spojenými víčky provrtáme otvor. Do obou víček našroubujeme plastové láhve – jednu prázdnou, druhou naplněnou vodou. Obrátíme plnou láhev do horní svislé polohy. Po chvilce přestane voda protékat do spodní prázdné láhve. Jek přemístíme vodu z horní do spodní láhve?

Správné řešení: Krouživým pohybem roztočíme soustavu láhví. Vznikne vír a uprostřed vzduchový tunel, kterým se přemístí vzduch ze spodní láhve do horní a voda tak steče do spodní láhve.

Didaktická hračka a experiment

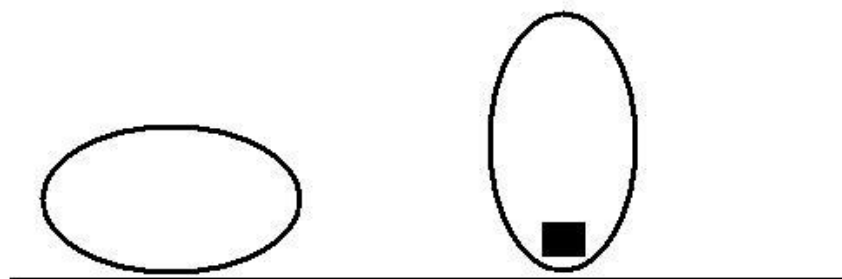
Má vlastnosti odlišné od běžných objektů (tvar, pružnost), vzbuzuje aktivní přístup žáka, řešení problému, relaxace hrou. Žáci řeší problémy s chováním hračky a provádějí experimenty.

Příklad

Balancující vajíčko - Polystyrénové vajíčko s upraveným těžištěm (tato úprava není na první pohled zřejmá) se paradoxně nepřevrací z labilní polohy ve stoje na špičce do stabilní polohy v leže.

Vysvětlíte proč?

Správné řešení: Zátěží upravené těžiště tělesa se nachází nízko nad podložkou. Tak je stabilní polohou vajíčka poloha ve stoje na špičce, ze které vajíčko nelze převrátit.



Počítačem ovládané experimenty

V posledních letech je patrný skokový nárůst využívání informačních a komunikačních technologií ve výuce všech přírodovědných předmětů. Dnes si ani nelze představit, že by učitel fyziky nevyužil počítač při předvádění experimentů ve výuce. Existuje několik možností, jak využít počítač při experimentování ve fyzice.

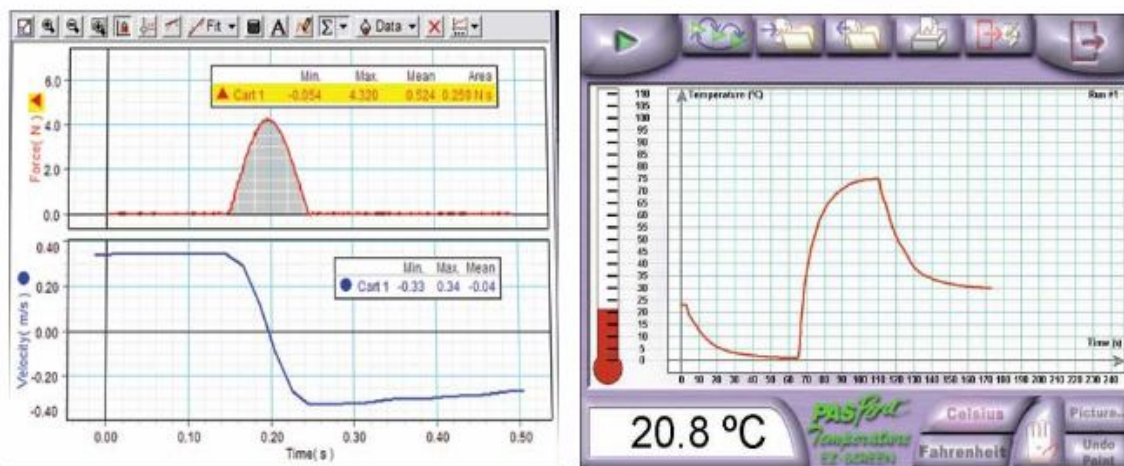
- a. **různé typy školních měřících soustav** – Učitelé fyziky mají k dispozici několik školních měřících systémů. Mezi nejznámější soupravy, které se dají použít ve výuce fyziky, patří:

ISES (<http://ises.info/>) – Internet School Experimental System – Tento systém se skládá z měřící karty, základní desky (AD/DA převodník), velkého množství měřících modulů (ampérmetr, voltmetr, teploměr, siloměr ap.) a software, který naměřené data zobrazuje v číselné i grafické podobě v počítači. Jedná se o zcela český výrobek a učitelé k němu mohou dohledat dostatečné množství podpůrných materiálů a návrhů na různé typy experimentů.



Obr. 7 Systém ISES (<http://ises.info>)

PASCO (<http://www.pasco.cz/>, <http://www.pasco.com/>) – Pasco je americká firma, která již více než 40 let dodává komplety pro výuku přírodních věd. Tento systém obsahuje měřící rozhraní, sadu fyzikálních senzorů (senzor pohybu, síly, el. napětí ap.) a software DataStudio. K dispozici jsou také náměty na experimenty. Pasco také nabízí datalogger, s kterým lze měřit mimo učebnu a naměřené data poté zobrazit v počítači.



Obr. 8 Zobrazení v prostředí DataStudio (<http://www.pasco.cz>)

VERNIER (<http://www.vernier.cz/>, <http://www.vernier.com/>) – Tato americká firma nabízí fyzikální školní měřicí soupravu, která se skládá z interface (LabQuest, Go!Link, LabPro ap.), senzorů (polohy, pohybu, magnetického pole ap.) a software. Nejvíce využívaný je datalogger LabQuest, který je určený pro samostatné měření v terénu, ale lze jej přes USB připojit také k počítači. Datalogery lze používat samostatně, nebo s příslušnými senzory.



Obr. 9 Datalogger LabQuest (<http://www.vernier.cz>)

IP-COACH (<http://www.cma.science.uva.nl/english/>) – Školní měřicí systém, který je vyráběn nizozemskou firmou CMA. Skládá se opět z interface, měřicí karty, sady měřících čidel a software (Coach5, Coach 6). Je možno využít statickou formu připojenou přes USB k počítači nebo opět datalogger s kterým lze měřit i mimo učebnu.



Obr. 10 Interface CoachLabII (<http://www.cma.science.uva.nl/english/>)

PHYWE (<http://www.phywe.cz/>, <http://www.phywe-systeme.com/>) – Německá firma PHYWE byla založena již v roce 1913 pod názvem "Physikalische Werkstätte" (fyzikální dílna). PHYWE vyrábí přístroje a pomůcky k výuce přírodních věd na základních, středních i vysokých školách. K pokusům prováděným přes počítač je potřeba interface **COBRA3**. K tomuto interface se pak přes spojovací vodiče připojují jednotlivé měřicí moduly (snímač dopadu, světelná závora, měřicí mikrofón ap.). V počítači je nutné mít nainstalován software Cobra3, timer/counter.



Obr. 11 Interface Cobra3 (<http://www.phywe.cz/>)

PIERRON (<http://www.pierron.cz/>, <http://www.pierron.com/>) – Francouzská firma Pierron vyrábí řadu didaktických pomůcek zaměřených na praktickou výuku přírodovědných předmětů. Experimenty lze provádět bez počítače, nebo lze měřicí přístroj (Geiger-Müllerův měřič Mesura, Luxmetr Mesura, Teslametr Mesura ap.) připojit přes rozhraní DataDirect k počítači. Do počítače je potřeba nainstalovat software DataDirect. Bohužel, z

našich osobních zkušeností se ukazuje, že měřením se software DataDirect je velmi problémové a vykazuje chyby. Bohužel, komunikace s českým distributorem tohoto produktu není také bez komplikací.



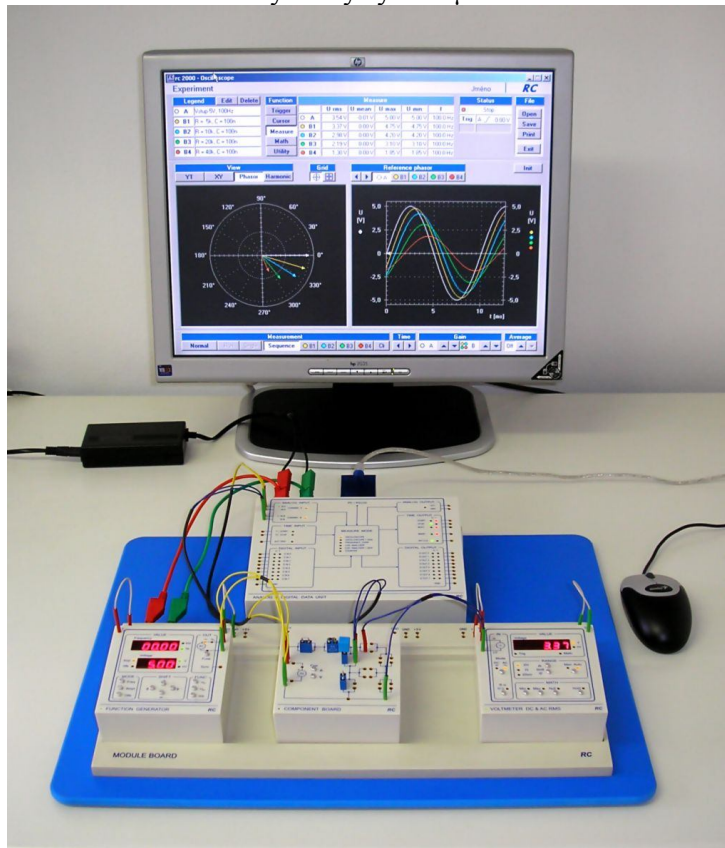
Obr. 12 Geiger-Müllerův měřič Mesura (<http://www.pierron.cz/>)

LogIT (www.eduxe.cz/logitworld/, www.dcpmicro.com/) – Souprava anglické firmy DCP Microdevelopments, která se od roku 1982 orientuje na měření a záznam dat fyzikálních veličin. Měření lze provádět s využitím počítače nebo i bez něj. Pro měření s využitím počítače je potřeba vlastnit interface LogIT Live, vhodné LogIT senzory (teploty, světla, polohy ap.) a software LogIT Lab3. Distributorem tohoto výrobce pro Českou republiku je společnost EDUXE.



Obr. 13 Interface LogIT Live (www.eduxe.cz/logitworld/)

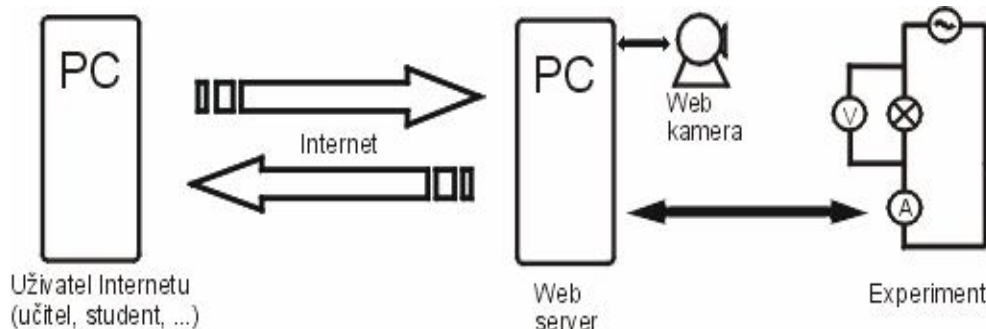
RC Didactic (<http://www.rcdidactic.cz>) – Česká firma, která se specializuje na vývoj a výrobu učebních pomůcek pro elektroniku, elektrotechniku, řídicí a digitální techniku. Základem této soupravy je A/D panel, který komunikuje s počítačem pomocí USB nebo sériové linky. K tomuto panelu lze připojit řadu aktivních a pasivních prvků, také přístrojové, číslicové a regulační moduly (bipolární tranzistor, tyristor, voltmetr ap.). V počítači je nutné mít nainstalován výukový systém μ LAB.



Obr.14 Modulový výukový systém rc200 - μ LAB (<http://www.rcdidactic.cz>)

- b. **virtuální experimenty** – Virtuálním experimentem nazýváme počítačové simulace reálných fyzikálních dějů. Jedná se především o applety (resp. physlety), které jsou v podstatě pouze zdrojové kódy v jazyce Java nebo podobných programovacích jazycích. V těchto virtuálních laboratořích se nepracuje se skutečnými měřicími přístroji, ale pouze s virtuálními objekty. Těchto (nejenom) fyzikálních flash appletů lze na webových stránkách najít obrovské množství a jsou většinou volně přístupné libovolnému uživateli. Jedny z nejdokonalejších fyzikálních Java appletů lze nalézt např. na webových stránkách Physics Education Technology (University of Colorado) (<http://phet.colorado.edu/>), nebo na stránkách NTNUJAVA Virtual Physics Laboratory (<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/>), nebo na stránkách Waltera Fendta (<http://www.walter-fendt.de/>) apod. Pomocí fyzikálních appletů lze namodelovat libovolný fyzikální děj (od jevů týkajících se „nanosvěta“ po simulace dějů probíhajících ve vesmíru), což v reálných školních fyzikálních laboratořích není možné nikdy dokázat.
- c. **vzdáleně ovládané experimenty** – Jedná se o reálné experimenty, které jsou na jednom místě sestaveny a připojeny k počítači (z kterého je lze lokálně ovládat). Díky internetu lze ovšem tyto experimenty vzdáleně ovládat z libovolného místa na světě v libovolnou denní dobu. Prostřednictvím webové kamery mají uživatelé internetu možnost on-line sledovat změny na měřeném experimentu. Uživatelé mohou do takovýchto laboratoří bez omezení vstupovat, měřit jednotlivé pokusy a naměřená data stahovat do svých počítačů a dále

s nimi dle libosti pracovat. Tento druh experimentování nemůže nahradit reálné pokusy ve vyučovacích hodinách, ale poskytuje novou alternativu ve výuce fyziky a ostatních přírodních vědách. Základní schéma vzdáleně ovládaného experimentu je zobrazeno na obr. 9.



Obr.15 Ukázka základního schématu vzdáleně ovládaného experimentu.

Nejzdařilejší vzdálené experimenty, které lze prostřednictvím internetu ovládat bez nutnosti zdlouhavého instalování dodatečných programů (tj. přímo ze svého prohlížeče např. Mozilla, Internet Explorer ap.) lze nalézt na webových stránkách:

- <http://www.ises.info/>
- <http://rcl.physik.uni-kl.de/>
- <http://ises.tym.cz/>
- <http://www.ictphysics.upol.cz/remotelab/>

Výhody x nevýhody vzdáleně ovládaných experimentů

Vzdáleně ovládané experimenty mají oproti klasickým školním experimentům v tradičních školních laboratořích nebo oproti virtuálním experimentům (applety, resp. physlety) několik podstatných výhod:

- Žáci mohou provádět experimenty z libovolného místa na světě v libovolném čase a nejsou omezeni pouze na vyučovací hodiny fyziky.
- Experiment je kdykoliv připraven a sestaven k měření a odpadá tím jeho zdlouhavé a mnohdy náročné sestavování (hlavně v případech, kdy je potřeba proměřit daný jev s velkou přesností).
- Některé pokusy mají své specifika právě pro dané měřicí místo. Např. výpočet tíhového zrychlení g , který lze provést z doby kmitu matematického kyvadla není konstantní hodnota, ale závisí mj. i na zeměpisné šířce místa měření. Studenti tedy získávají možnost porovnávat výsledky experimentů ze vzdálených laboratoří se svými vlastními pokusy, které provádějí ve školních fyzikálních laboratořích.
- Se snižujícím se zájmem o studium fyziky na vysokých školách (především v oblasti učitelství fyziky)¹ logicky dojde i ke snížení odborných kvalit učitelů fyziky na základních a středních školách, kteří raději využijí precizně sestavený a důkladně připravený vzdáleně ovládaný experiment, než aby sestavovali své vlastní pokusy.

¹ Tento trend nejspíš souvisí s dlouhodobým podfinancováním školství v České republice a také s vysokou náročností studia této přírodní vědy.

- Na některých školách není dostatek kvalitních (mnohdy finančně náročných) fyzikálních pomůcek a díky těmto experimentům mají žáci možnost seznámit se s různými reálnými fyzikálními pokusy.
- Z bezpečnostních důvodů není v klasických školních laboratořích možné provádět nějakým způsobem nebezpečné experimenty. Ve vzdáleně ovládaných laboratořích toto nebezpečí pro experimentátora zcela odpadá. V průmyslové oblasti, např. při práci s radioaktivními látkami, je zcela běžné využití vzdáleně ovládaného řízení a měření daného experimentu.
- Na rozdíl od virtuálních simulací pracují žáci se skutečnými měřicími pomůckami a nástroji. Vzdálenou laboratoř je také možné on-line sledovat díky webovým kamerám, což zvyšuje interaktivitu daného experimentu.
- Měření ve vzdálených laboratořích nabízí další alternativu výuky fyziky a současně spojuje u studentů nepopulární fyziku s velmi oblíbenou výpočetní technikou, což může zvýšit zájem a motivaci o studium přírodních věd na vysokých školách a o studium fyziky zvlášť.

Vzdáleně ovládané experimenty mají však také své nedostatky. Mezi nevýhody vzdáleně ovládaných laboratoří patří např.:

- Na rozdíl od klasických školních laboratoří nemají studenti možnost být v přímém kontaktu s vyučujícím a spolužáky a nemají možnost od vyučujícího získat okamžitou zpětnou reakci na výsledky svého měření.
- Při laboratorní práci, nebo při provádění frontálních experimentů žáky získávají žáci praktické dovednosti při sestavení daného pokusu, což nelze u vzdáleně ovládaných experimentů.
- Při horším internetovém spojení může být experimentování přes internet velmi komplikované a studenti se nemusí k vzdáleně ovládané laboratoři vůbec připojit.

Fyzikální soutěže

Jsou různého zaměření, většinou postupové. Charakteristickým reprezentantem je Fyzikální olympiáda. Soutěže, které vyhlašuje MŠMT, mají mnohaletou tradici. Klíčovou úlohu při realizaci soutěží sehrává učitel. Od školního roku 2002/3 (po vzniku krajů a zrušení školských úřadů) okresní a krajská kola většiny soutěží zajišťují krajské úřady, snad s výjimkou Stomo, incké olympiády, která vznikla teprve v roce 2003. Na zabezpečení těchto akcí krajské úřady dostávají účelově vázané finanční prostředky od MŠMT. Problém je ten, že počet soutěží se zvyšuje, ale prostředky nejsou valorizovány. Problémem je koordinace soutěží – jarní prázdniny trvají 10 týdnů, problémy s utajením zadání. Účast ve finále soutěží je prestižní záležitost, problémem je subjektivní přístup k hodnocení.

Mezinárodní soutěže

Účelem organizace mezinárodních soutěží je mezinárodní konfrontace. Iniciátorem 1. ročníku Mezinárodní fyzikální olympiády byly Československo, Polsko a Maďarsko (konala se v roce 1967 ve Varšavě). Od 70. až 80. let se zúčastní i země západní Evropy, Austrálie, USA. Úkolem soutěží je setkání mládeže, často se staly inspirací pro národní soutěže.

Na soutěže SOČ navazují mezinárodní soutěže EU Contest for Young Scientists, INTEL (International Science and Engineering Fair). V roce 2007 se poprvé česká delegace zúčastnila mezinárodní soutěže určené 16. ti letým žákům European Union Scientific Olympiade. Je to multidisciplinární soutěž. V roce 2008 česká delegace získala v této soutěži 2 stříbrné medaile.

First Step to Nobel Prize in Physics – soutěž pro středoškolské studenty, vznikla z iniciativy Institutu fyziky Polské akademie věd. Za 15 let soutěže bylo předloženo více než 2000 prací soutěžících ze 77 zemí (nejvíce prací z Indie a Turecka).

SOČ

Byla založena v roce 1978. Žák zpracovává písemné řešení zvoleného tématu v rozsahu asi 30 stran. K práci se vyjadřuje konzultant, který většinou umožní žákovi pracovat s přístroji či vstup do laboratoře. Práce je prezentována před komisí.

Astronomická olympiáda

Astronomickou olympiádu vyhlašuje a organizuje Česká astronomická společnost. Tato společnost byla založena v Praze v roce 1917 a patří mezi nejstarší vědecké společnosti v České republice. Jedná se o dobrovolné sdružení odborných a vědeckých pracovníků v astronomii, amatérských astronomů a zájemců o astronomii z řad veřejnosti.

Astronomická olympiáda je předmětová soutěž z oboru astronomie a příbuzných oborů, která je určena pro žáky základních a středních škol. První tři ročníky byly uspořádány pro žáky z 8. a 9. ročníků základních škol, 3. a 4. ročníků osmiletých gymnázií a z 1. a 2. ročníků šestiletých gymnázií. Cílem této olympiády je napomáhat vyhledávání talentovaných žáků a systematicky podporovat a rozvíjet jejich odborný růst.

Astronomická olympiáda je členěna do třech kol:

1. kolo – školní kolo
2. kolo – korespondenční kolo
3. kolo – finále

Zadání a podrobné podmínky 1. kola připravuje komise, jmenovaná Výborem olympiády, a toto zadání i se správným řešením je rozesláno školám, které projeví zájem olympiády se účastnit. Úkolem žáků v prvním kole je v časovém limitu 40 minut, za použití libovolných pomůcek, včetně elektronických médií, samostatně vyřešit zadané úlohy.

Úlohy 1. kola Astronomické olympiády jsou rozděleny do 4 okruhů. První část tvoří 10 uzavřených úloh, kde ke každé otázce jsou přiřazeny 4 odpovědi, z nichž právě jedna je správná. Za každou správnou odpověď lze získat 1 bod.

Ukázky úloh:

Krátery na Měsíci vznikly

- a) z vyhaslých sopek.
- b) atmosférickou erozí.
- c) dopadem meteoritů.
- d) působením člověka.

Nejméně měsíců má

- a) Mars.
- b) Země.
- c) Uran.
- d) Neptun.

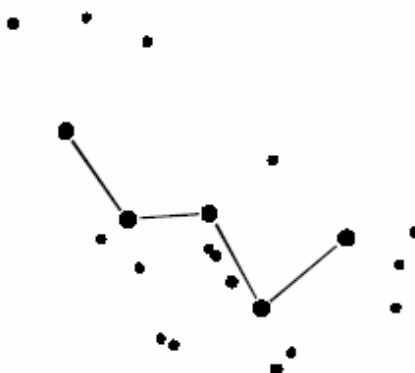
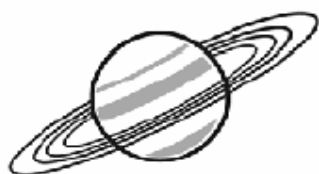
Druhou část tvoří 5 vět, ve kterých jsou chyby, které žáci musí opravit a vynechávky v textu musí doplnit. Za každou správně opravenou a doplněnou větu lze získat 2 body.

Ukázky vět:

*První člověk na Měsíci byl a měl možnost se procházet i po odvrácené straně Měsíce.
Slunce se změní přibližně za 5 – 8 miliard let v černou díru.*

Třetí část tvoří 3 obrázky, které mají žáci pojmenovat. Za každý správně pojmenovaný obrázek lze získat 3 body.

Ukázky obrázků:



Čtvrtou část tvoří 2 příklady. Při řešení není důležitý jen výsledek, ale také postup, jakým žáci k výsledku dospěli. Za každý správně vyřešený příklad lze získat 4 body.

Ukázky příkladů:

Vypočítejte, jakou průměrnou rychlostí obíhá Země kolem Slunce.

Nakreslete, jak uvidí večer Měsíc v první čtvrti obyvatel Wellingtonu na Novém Zélandu.

Otázky 2. kola jsou rozděleny do dvou částí. První tvoří přehledový test s otevřenými úlohami, ve kterém žáci mají za úkol odpovědět na 10 otázek.

Ukázky otázek:

Co je popelavý svit Měsíce, jak vzniká a kdy ho můžeme pozorovat?

Které planety byly objeveny až pomocí dalekohledu?

Druhou část tvoří komplexní úlohy. Některé z nich vyžadují vlastní pozorování, porozumění astronomickým jevům nebo návštěvu hvězdárny. Kromě správnosti odpovědí posuzuje odborná komise také způsob, kvalitu a rozsah řešení.

Příklady úloh:

Navštivte hvězdárnu a zjistěte, jaké odborné pozorovací programy dělá.

Pozorujte souhvězdí Oriona a zakroužkujte na příslušné mapce hvězdy, které vidíte pouhým okem. Pozorování provedte dvakrát

(a) z ulice osvětlené pouličním osvětlením

(b) z prostoru bez pouličního osvětlení (např. mimo město – pole, louka)

datum: _____ *čas:* _____

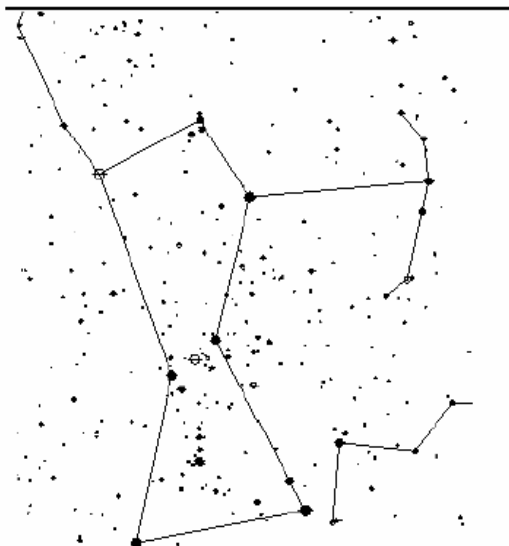
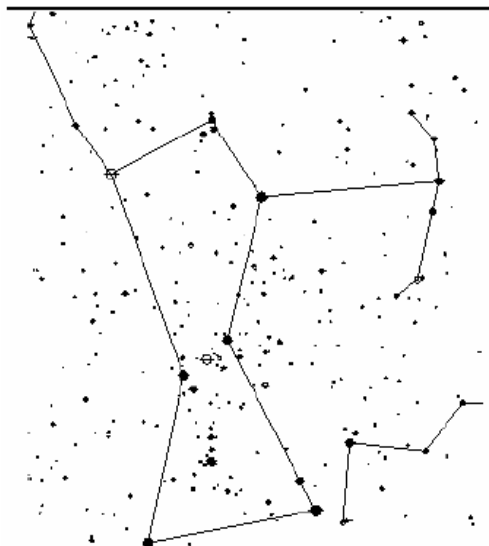
místo: _____

meteorologické podmínky při pozorování: _____

datum: _____ *čas:* _____

místo: _____

meteorologické podmínky při pozorování: _____



Pokud neprovedete obě pozorování stejný večer, dbejte na to, aby obě pozorování proběhla pokud možno za stejných meteorologických podmínek. Ve kterém případě jste viděli více hvězd a proč tomu tak bylo?

Do finále Astronomické olympiády postoupí maximálně 50 nejlepších žáků, kteří překročí hranici 75% z maximálního počtu bodů druhého kola

Veškeré údaje o Astronomické olympiádě lze získat na internetové adrese <http://olympiada.astro.cz/>.

Pojmové mapy

Pojmové mapy vznikly během výzkumného programu v Cornelli v roce 1972, kde se Joseph D. Novak snažil porozumět změnám v dětských znalostech přírodních věd. Z nutnosti najít lepší způsob znázornění dětského pojmového chápání se objevila myšlenka znázornit dětské znalosti v podobě pojmových map. Takto se narodil nový nástroj nejen pro použití ve výzkumu a ve školství, ale i v jiných oborech.

Pojem

Pojem má mnoho definic. Pedagogický slovník uvádí „Pojem - zobecněná představa o něčem, vyjádřená jedním či více výrazy přirozeného nebo formálního (např. chemický vzorec) jazyka.“ Podle Roberta Fishera je pojem „myšlenka, která vnáší řád; je to abstrakce která spojuje řadu faktů a pokouší se vysvětlit je tím, že je pořádá do kategorií nebo tříd.“ Fisher také uvádí, že „pojmy jsou označení, která dáváme myšlenkám.“ Joseph D. Novak a Alberto J. Cañas definují pojem jako vnímanou

pravidelnost v událostech nebo objektech označenou většinou jedním nebo více slovy, popř. symboly. Studentovi však můžeme jednoduše vysvětlit, že pojem je takové slovo, které si může v duchu zobrazit a něco znamenat. Tedy nejsou to spojky nebo neurčitá zájmena jako „ten“ nebo „nějaký“.

Vlastnosti pojmových map

Základní stavební jednotkou pojmových map je pojem. Pojmy jsou většinou zobrazeny v políčkách ve tvaru kruhu, oválu nebo obdélníka. Vztahy mezi dvěma pojmy jsou vyjádřeny spojujícími čarami nebo šipkami. Nad těmito čarami se uvádí specifikace vztahu mezi dvěma pojmy, což je charakteristickým prvkem právě pro pojmové mapy.

Důležitá vlastnost je hierarchické uspořádání pojmů v pojmové mapě, s nejobecnějšími a nejzákladnějšími pojmy v horní části mapy a se specifikovanějšími pojmy umístěnými níže. Hierarchická struktura pro přesnou oblast znalostí závisí také na kontextu, ve kterém jsou znalosti používány nebo předpokládány. Nejlepší je proto stavět pojmové mapy se vztahem k nějaké konkrétní otázce, na kterou hledáme odpověď. Právě k nalezení odpovědi nám má pomoci konstrukce pojmové mapy. Pojmová mapa se může týkat i nějaké situace, kterou se snažíme pochopit skrze organizaci znalostí ve formě pojmové mapy.

Další důležitou vlastností je zahrnutí příčných vazeb. To jsou vztahy mezi pojmy v různých částech pojmové mapy. Příčné vazby nám pomáhají vidět, jak jsou pojmy z jedné oblasti znalostí, znázorněné na mapě, příbuzné k jiným pojmům v jiné části mapy.

Do pojmové mapy může být přidán konkrétní příklad jevu nebo objektu, které pomohou objasnit význam daného pojmu, avšak nejsou součástí políčka s pojmem. Proto mohou být v pojmové mapě zastoupeny i obrázky, odkazy a jiné pomůcky.

Funkce a typy pojmových map

Pojmovou mapu vytváří zpravidla student a ne učitel, a proto má metoda pojmového mapování specifické funkce:

- autodiagnostickou, kdy pojmová mapa pomáhá studentovi zjistit uspořádání a zachycení příslušné probírané látky a sledovat vlastní postup učení
- diagnostickou, kdy je studentova pojmová mapa pro učitele prostředkem identifikace výchozí situace (co student už zná) a úrovně studentova porozumění novým poznatkům
- intervenční, kdy se pojmová mapa stává organizačním a obsahovým základem pro postup učení, který zaručuje smysluplné začleňování nových pojmů.

Konstrukce pojmových map

Při konstrukci pojmové mapy je velice důležité začít s oblastí znalostí, která je velice dobře známá osobě konstruující mapu. Je velice dobré konstruovat mapu v závislosti k nějakému problému, experimentu nebo otázce, které se snažíme porozumět. To nám vytvoří kontext, který nám pomůže při hierarchickém strukturování mapy. Pro konstrukci první pojmové mapy je užitečné vybrat si omezenou oblast znalostí. Nejlepším způsobem pro vytvoření kontextu je konstrukce „ústřední otázky“. Tato otázka jasně specifikuje problém, který by pojmová mapa měla pomoci vyřešit. Každá pojmová mapa odpoví na ústřední otázku a dobrá ústřední otázka může vést k bohatší mapě.

Startujícím bodem pro konstrukci pojmové mapy může být ústřední otázka. Je důležité, jak je otázka položena. Není vhodné zadávat pojmovou mapu pomocí téma, např. „vytvořte pojmovou mapu o rostlinách“, protože právě ústřední otázka pomáhá studentům zaostřit na podstatu jejich pojmové mapy. Například na otázku „Jak měříme čas?“ mohou studenti odpovědět pomocí konstrukce pojmové mapy. Ale otázka „Co jsou rostliny?“ povede k vysvětlující pojmové mapě. Lepší otázka by byla „Proč potřebujeme rostliny?“

Je dokázáno, že nejen ústřední otázka, ale i základ (jádro, klíčový pojem, startovací bod) pojmové mapy má významný vliv na kvalitu výsledné mapy.

Struktura rozpracovaná od klíčového pojmu má řadu výhod:

- a) klíčový pojem je jasně definován
- b) relativní důležitost pojmů lze jasně vyznačit zvýrazněním či umístěním blíže jádru
- c) lze jasně vyjádřit souvislosti mezi pojmy
- d) názorné uspořádání umožňuje snadnou orientaci v mapě a zopakování
- e) vytvořená struktura je prozatímní a umožňuje další připojování a přizpůsobování
- f) každá struktura je jedinečná a individuální, což usnadňuje zapamatování, vybavování a opakování.

Pokud máme vybranou oblast znalostí a definovanou ústřední otázku, dalším krokem je určit klíčové pojmy, které se používají v této oblasti, obvykle 15-20 pojmů. Tyto pojmy mohou být napsány do seznamu a v tomto seznamu uspořádány od nejzákladnějších pojmů, nahoře, k specifikovanějším v závislosti na konkrétním problému. Poté my z tohoto seznamu stěhujeme pojmy do mapy. Ale mohou některé zůstat v seznamu i po předběžném dokončení mapy, pokud konstruktér vidí, že v mapě už není dobré spojení s jinými pojmy.

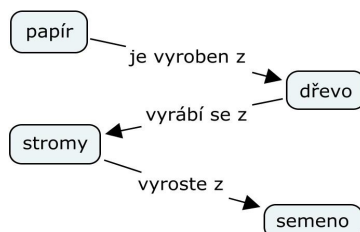
Startovacím bodem pro konstrukci pojmové mapy může být právě seznam pojmů. Učitel může tímto seznamem upřesnit, jaké pojmy mají být zastoupeny ve studentově mapě. Student poté ví, že jeho mapa má odpovědět na zadanou ústřední otázku a má obsahovat přinejmenším pojmy ze seznamu.

Dalším krokem konstrukce je vytvoření předběžné pojmové mapy. Je důležité si uvědomit, že pojmová mapa není nikdy dokončená. Po zkonstruování předběžné pojmové mapy je vždy potřeba opravit mapu nebo přidat další pojmy. Dobrá mapa vyplývá obvykle ze tří nebo i více oprav.

Je-li předběžná mapa postavená, je možné hledat a navrhnout příčné vazby. Tyto vazby pomáhají ilustrovat vztahy mezi různými oblastmi znalostí na mapě. Příčné vazby jsou velice důležitým prvkem v konstrukci mapy, poněvadž ukazují, zda studenti rozumí vztahům mezi suboblastmi v mapě. Je důležité studentům pomoci, aby pochopili, že všechny pojmy jsou v nějakém vztahu s ostatními. Proto je nezbytné, aby byli vybíraví v určování spojovacích čar a velmi přesní ve výběru tvrzení, upřesňujících vztahy mezi pojmy.

Chyby při konstrukci

Častou chybou, které by se studenti měli vyvarovat, jsou „věty v políčkách“, tedy celé věty užití jako pojmy. To obvykle poukazuje na to, že celá část mapy může být konstruována z údaje v políčku. Dalším ukazatelem nepochopení látky a nepřiměřené restrukturalizace mapy je tzv. „provazová mapa“. (viz obr. 16)



Obr.16 Jednoduchý příklad provazové mapy.

Studenti často upozorňují, že mají problémy s přidáním tvrzení nad spojovací čáry, které vyjadřuje vztah mezi pojmy. To vyjadřuje špatné pochopení vztahů mezi pojmy nebo významu pojmů. Soustředí-li se studenti na správná spojovací tvrzení a určení nejvýznamnějších a nejužitečnějších příčných vazeb, uvidí, že každý pojem je v nějakém vztahu s jiným pojmem. Tento proces hodnocení a sjednocování znalostí je považován za vysokou úroveň poznávacího konání. Pojmové mapování je jednoduchý způsob, jak povzbudit proces hodnocení a sjednocování znalostí, pokud je tento proces dělán dobře. Proto může být pojmové mapování velmi mocný hodnotící nástroj. Můžeme vidět, že pojmové mapy nejsou jen významný nástroj pro získávání, představování a uchovávání znalostí studenta, ale i mocný nástroj pro vytváření nových znalostí. Pojmové mapy lze využít při vyučování v mnoha ohledech. Je možné pomocí pojmových map začínat výuku jako motivaci a startovací můstek. Pojmové mapy vypracované na začátku vyučovaného celku mohou učiteli ukázat na jaké úrovni je studentovo porozumění látce před začátkem nového výkladu a tedy na jakých základech může stavět. Učitel může též pomocí konstrukce jedné společné pojmové mapy na začátku vyučování motivovat studenty a ukázat jim, co vše je čeká. Ze studentovy pojmové mapy může učitel vyčíst jeho mylné představy o určitých pojmech i to, jak byl nový výklad začleněn do jeho předchozích znalostí. Více užívané je však použití pojmových map při zjišťování přijatých vědomostí na konci vyučovacího celku. Zde může učitel zhodnotit pojmovou mapu vytvořenou studentem z hlediska správného pochopení probrané látky a změn v pojmovém uspořádání.

Nové poznatky jsou v učebních materiálech a učebnicích předkládány v lineární formě, ale do studentovy mysli jsou začleněny zcela jinak, s jistou kontextovou hierarchií při tvorbě pojmové sítě v jeho mysli. Tento způsob začleňování nových pojmů koresponduje s podstatou tvorby pojmových map. Učitel tak může podle studentovy pojmové mapy odhalit jeho intuitivní a chybné myšlení. Pojmová mapa umožní studentovi schématicky ilustrovat co se naučil, jak se to naučil a do jakého rozsahu obohatil své dřívější znalosti.

Pojmové mapy by měly studenty naučit vzájemné provázanosti jednotlivých oblastí jejich znalostí. Vizualizací pojmové struktury jejich mysli na papír rozvíjejí svoji tvořivost a též kombinování vzájemných vazeb mezi pojmy a pojmů samotných. Studenti se učí již na základní škole o nadřazenosti a podřazenosti určitých pojmů. Při konstrukci pojmových map mohou tuto znalost uplatnit. Je důležité studenty seznámit s podstatou pojmových map a postupy k jejich konstrukci. Pokud se studenti naučí používat tento prostředek ve výuce i mimo ni, usnadní jim to pochopení a práci s jejich znalostmi.

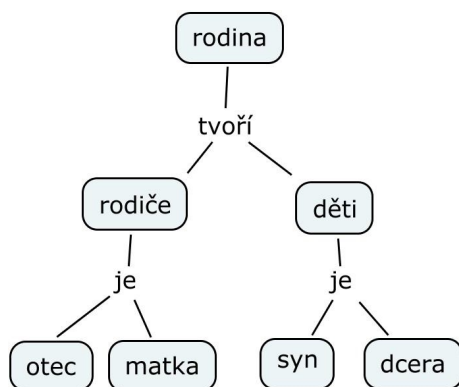
Je důležité začleňovat pojmové mapy do výuky postupně. Učitel by měl jako první krok ukázat na jednoduchém příkladu studentům, jak se tento nový prostředek vytváří. Na začátek je dobré použít jednoduchý, všemi známý pojem a napsat jej doprostřed tabule. Poté požádat studenty, aby říkaly všechny nápady a myšlenky, které je k tomu pojmu napadají. Učitel tyto pojmy napíše na tabuli a může je už podle svého mínění určitým způsobem rozprostřít okolo základního pojmu. Potom může učitel se studenty diskutovat o nadřazenosti či podřazenosti určitých pojmů a postupně doplňovat vztahy, a tudíž i spojovací slova, mezi jednotlivými pojmy až do dokončení mapy. Nakonec by měl učitel tento celý proces shrnout a vysvětlit studentům, že to co právě společně vytvořili se nazývá pojmové mapa. Po tomto úvodním představení této nové metody je potřeba několikrát začlenit do výuky konstrukci pojmové mapy k danému pojmu, či častěji k zadané otázce, na kterou má pojmová mapa odpovědět. Tyto pojmové mapy, které vytváří studenti samostatně k procvičení nové metody, by neměli být zásadně hodnoceny, jen by se mělo se studenty diskutovat o jejich problémech při konstrukci či o zřejmých mylných představách o některých pojmech. Pokud se studenti naučí konstruovat dobré pojmové mapy, je vhodné je zapojit do výuky zcela běžně a učitel může již studentovy znalosti hodnotit podle jeho vypracované pojmové mapy na dané téma.

Hodnocení pojmových map

Pomocí pojmových map můžeme též hodnotit studentovo porozumění probírané látce. O způsobech hodnocení pojmových map je v literatuře jen několik zmínek.

Formální vyjádření od různých studentů může být různé, ale podstata by měla být prakticky shodná a na tu se musí učitel při hodnocení zaměřit. Můžeme se tedy dívat na pojmové mapy z kvantitativního a kvalitativního hlediska.

Příklad:



Obr. 17 Pojmová mapa podle Miroslava Prokši.

Z kvantitativního hlediska můžeme každý zařazený prvek ohodnotit: počet zařazených pojmů (7), počet spojení (6), počet hierarchických úrovní (3), počet příčných vazeb (0).

Z kvalitativního hlediska tato pojmová mapa ukazuje užší chápání pojmu rodina. Zařazením např. pojmu bratranec by došlo již k rozšíření tohoto pojmu na celé příbuzenstvo. Při hodnocení map je důležité vzít v úvahu i souvislosti doprovázející konstrukci samotných map, jako časové a prostorové podmínky, práci jednotlivce či skupiny atd.

Miroslav Prokša se touto teorií blíží k práci Novaka a Gowina. Ti při vývoji pojmových map zavedli tradiční způsob hodnocení, který je založen na složkách a struktuře map. Novakův a Gowinův systém přiděluje body za:

platná tvrzení	1 bod za každé
hierarchické úrovně	5 bodů za každou úroveň
počet větvení	1 bod za každou větev
příčné vazby	10 bodů za každou platnou příčnou vazbu
konkrétní příklady	1 bod za každý příklad.

Počet hierarchických úrovní ukazuje stupeň zařazení informací, množství větví naznačuje logické třídění a počet příčných vazeb označuje stupeň začlenění znalostí.

Nevýhodou tohoto systému hodnocení je časová náročnost, ale odkrývá velké množství informací o struktuře znalostí studenta.

Další metody hodnocení byly vyvinuty jako variace či rozšíření tohoto systému od Novaka a Gowina. Někteří mají pro složky jiné bodové ohodnocení, jiní se snaží o automatizované porovnávání struktur map. Ruiz-Primo a Shavelson používají metodu porovnávání studentovy mapy s mapou odborníka (může být i učitel), které byly vypracovány na stejné téma. Odborníková mapa může být vytvořena učitelem, vědcem, skupinou učitelů či vědců. Tato metoda musí mít však také definovaná pravidla a postup. Můžeme porovnávat mapu jako celek nebo porovnávat postupně jednotlivá tvrzení. Avšak při celkovém porovnávání záleží i na lidském úsudku. Z těchto metod vznikají různé kombinace, kdy nejčastější kombinací je použití tradičního bodování jednotlivých složek mapy (Novak a Gowin) a

porovnávání map podle určeného měřítka (studentova mapa versus odborníkova mapa).

Výhodným způsobem hodnocení je porovnání studentovy mapy s mapou vytvořenou učitelem v kombinaci s bodovým ohodnocením jednotlivých složek mapy, jako např. pojmů, tvrzení, spojovacích slov, vazeb, rozvětvení, příčných vazeb a též celkového dojmu, zda student porozuměl zadanému úkolu a podstatě pojmů. Myslím si, že je dobré k hodnocení připojit komentář od učitele hodnotícího mapu, kde by bylo upozorněno na pojmy, které byly nesprávně pochopeny. Z těchto všech kritérií a komentářů by měl mít student dostatečnou zpětnou vazbu. Pokud by se u více studentů objevovaly mylné představy o určitém pojmu, měl by být tento pojem znovu vysvětlen učitelem. Poté může být například společně se studenty znovu prodiskutováno, kam by se v jejich mapě dal začlenit lépe tento pojem, kterému již lépe porozuměli a tedy budou schopni najít správnější vzájemné vztahy mezi tímto pojmem a ostatními. Je však pravdou, že je tento postup náročný na čas i učitelovy diagnostické schopnosti.

Příklad hodnocení:

správné tvrzení.....3 body (1 za každý pojem, 1 za spojovací slovo)
úroveň hierarchie.....2 body
správná příčná vazba.....5 bodů
příklad (obrázek, graf, apod.).....2 body
+ bonusové body za další tvrzení, která nejsou obsažena v učitelově mapě.

Globální polohový systém GPS ²

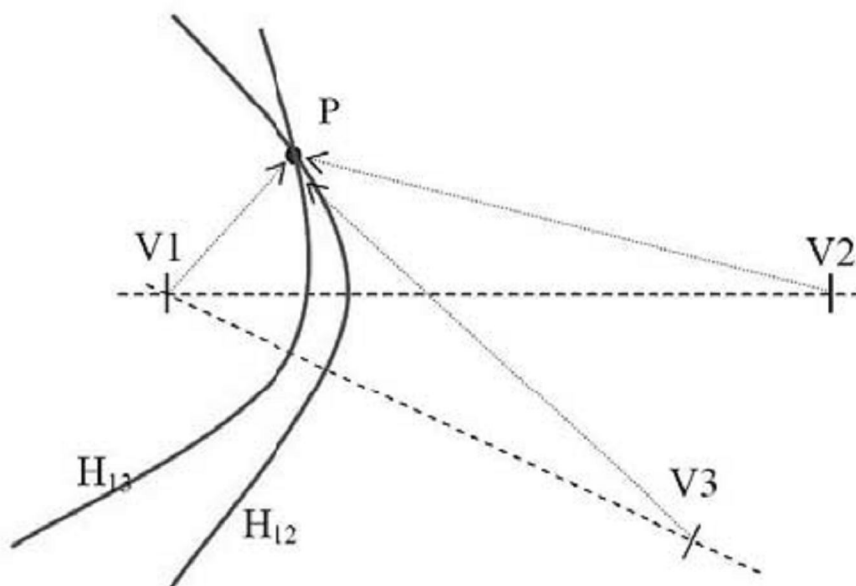
Určení polohy objektu na povrchu Země a polohy libovolné družice je dnes možné s přesností na několik centimetrů. Obecně je známo, že systém pracuje na základě příjmu signálu z několika družic. Studenti by měli pochopit základní funkci systému.

Princip určení polohy ze zpoždění signálů

V rovině umístěné vysílače radiových signálů (V1, V2, V3) vyšlou v čase $t_o = 0$ s krátký impuls a přijímač je zachytí se zpožděním – signál od V1 v čase t , signál od V2 v čase $t + \Delta t_1$ a signál od V3 v čase $t + \Delta t_2$.

Polohy vysílačů jsou známy a obsluha přijímače je schopna zjistit pouze rozdíl $\Delta t_2 - \Delta t_1$. Signál od V2 urazil vůči signálu od V1 dráhu delší o Δs_{12} . Body v rovině, jejichž vzdálenosti od V1 a V2 se liší o Δs_{12} leží na hyperbole H₁₂. Podobně lze z rozdílů $\Delta t_3 - \Delta t_1$ určit hyperbolu H₁₃ a přijímač se nachází v průsečíku obou hyperbol. Pro určení polohy v prostoru je nutný příjem signálu ze čtvrtého zdroje. Rádiový signál se šíří rychlostí světla a ta je ve vakuu konstantní: $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1}$.

² Převzato z publikace Hubeňák, J. : Aplikovaná fyzika a moderní elektronika. Repronis 2007. ISBN 978-80-7329-158-7.



Jedna sekunda je definována časovým intervalem, který se rovná 9 192 631 770 periodám záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133. Předpokládejme, že zpoždění Δt zjistíme s přesností, obvyklou při sportovních měřeních – tam se měří na milisekundy. Za 1 ms urazí radiový signál dráhu $\Delta s = c \cdot \Delta t = 2,99 \cdot 10^5$ m a určit polohu přijímače s chybou takřka 300 km nemá takřka smysl. Chybu polohy menší než jeden metr dostaneme až tehdy, budeme-li měřit časy s odchylkou menší než 1 nanosekunda. Z toho vyplývá požadavek na frekvenci rádiových signálů – musí být větší než 1 GHz.

Systém GPS byl vytvářen od roku 1973 na objednávku ministerstva obrany USA a v roce 1978 byla na oběžnou dráhu umístěna první družice. Také oficiální název vypovídá o vojenském určení: NAVSTAR GPS je zkratkou: *Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*. V civilním sektoru se ale nabízelo mnoho účelných možností využití a proto byl zpřístupněn v osmdesátých letech pro občany.

Poznámka

V době vzniku amerického systému reagoval také tehdejší SSSR: v roce 1976 bylo rozhodnuto o stavbě systému a v roce 1982 byla umístěna na orbitu první družice soustavy GLONASS (Globální navigační satelitní systém). Rusko provozuje svůj GLONASS podobně jako USA, přednost má ovšem vojenská část.



Kosmická část amerického GPS má pokrývat signálem celou Zemi a z každého místa musí být viditelné nejméně 4 družice. Celkem 24 družic je rozmístěno na šesti kruhových drahách. Roviny drah svírají s rovníkem úhel 55° , výška nad povrchem Země je 20 190 km a doba oběhu 11 hod 58 min. Výška a tím také doba oběhu jsou stanoveny tak, že družice oběhne Zemi dvakrát za jeden hvězdný den. Na obrázku je pouze jedna z drah a čtyři satelity. Ty mají omezenou dobu života a jsou postupně nahrazovány novějšími a výkonnějšími typy. Prvním typem byly satelity Blok 1 stavěné firmou Rockwell International. Byly vybaveny dvěma rubidiovými a dále cesiovými atomovými hodinami a pracovat měly 4,5 roku. Skončily v roce 1995 a jejich místo zaujaly satelity Blok II. V devadesátých letech nastupují zdokonalené typy

Blok II A, vybavené laserovým odrážedem. S jeho pomocí lze přesně určit polohu laserovým impulzem vyslaným z pozemní stanice. Tyto satelity mohou pracovat až 180 dní bez nutnosti korekcí z pozemního střediska. Nejdokonalejšími jsou zatím družice Blok II R. Mají životnost 10 let, lepší ochranu před kosmickým zářením, větší zásobu paliva pro vlastní raketové motory a vlastní palubní počítač. Nesou si troje rubidiové atomové hodiny. S tímto vybavením jsou družice schopny si samy korigovat dráhu a sledovat své pozice bez zásahu

pozemního střediska. V tabulce 1 jsou uvedeny podrobnější údaje družic GPS.³

³ Tabulka převzata z článku Kvapil, J.: Kosmický segment GPS a jeho budoucnost, č. 2/2005, www.aldebaran.cz.

Tabulka 1

	Blok I	Blok II	Blok II A	Blok II R
Výrobce	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Lockheed Martin
Vypuštění na oběžnou dráhu	II/1978 – X/1985	II/1989 – X/1990	XI/1990 – XI/1997	XI/1997 – XI/2004
Vypuštěno ks	11	9	19	12
Hmotnost (při startu)	759 kg	1 816 kg	1 816 kg	2 032 kg
Plánovaná životnost	4,5 roku	7,3 roku	7,3 roku	10 let
V současnosti v provozu	0	2	16	12
Nosič na oběžnou dráhu	Atlas E, F	Delta II	Delta II	Delta II
Inklinace dráhy letu	63°	55°	55°	55°
Atomové hodiny na palubě	1×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	3×Rb
Vysílací frekvence	L1, L2	L1, L2	L1, L2	L1, L2
Funkčnost bez kontaktu s pozemní stanicí	3 – 4 dny	14 dní	180 dní	> 180 dní

V tabulce jsou vysílací frekvence označeny symbolicky a již víme, že mají být větší než 1 GHz. Jaké signály družice vysílá?

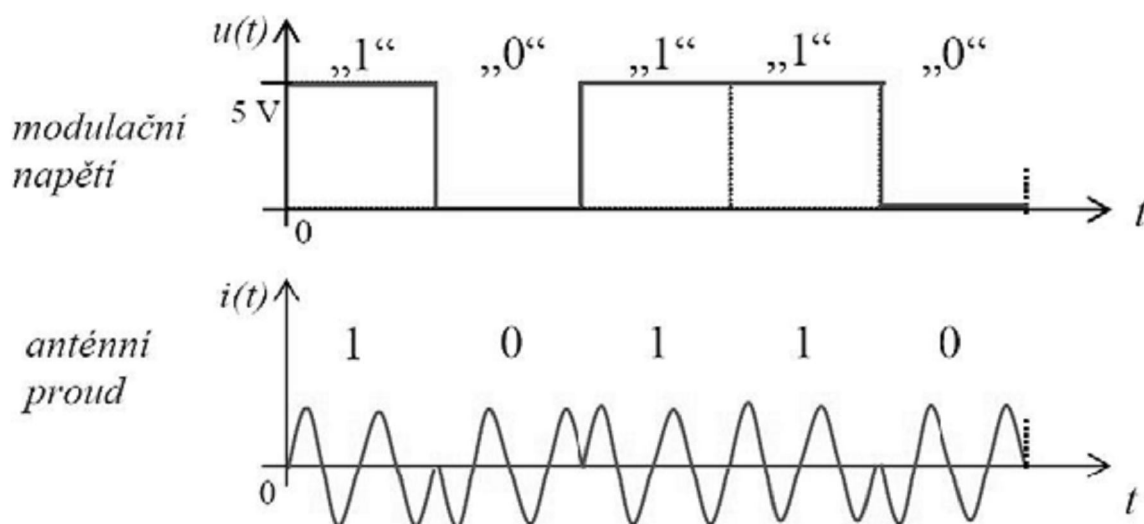
Atomové hodiny cesiové vycházejí z frekvence 9 192 631 770 Hz, hodiny rubidiové z frekvence 6,834 GHz. Děliče kmitočtu v obou případech sníží kmitočet na hodnotu $f_0 = 10,23$ MHz a násobiče kmitočtu pak zvýší frekvenci na

- nosnou frekvenci linky 1 $f(L1) = 154 \cdot f_0 = 1,57542$ GHz

- nosnou frekvenci linky 2 $f(L2) = 120 \cdot f_0 = 1,2276$ GHz.

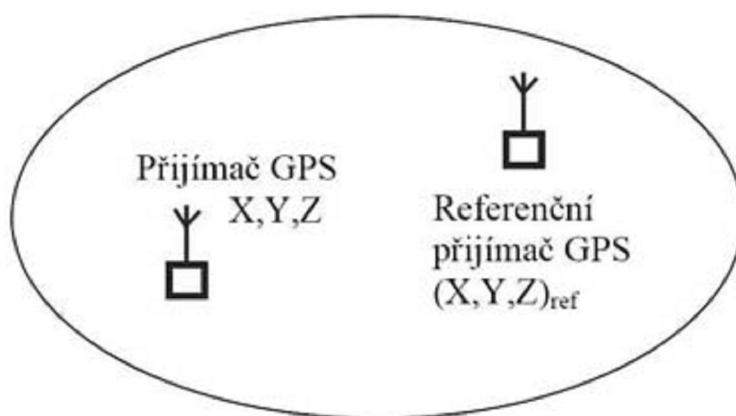
Signál má binární informaci – tj. přenáší pouze dva stavy, odpovídající logické jedničce a logické nule. Je použita fázová modulace – logická jednička je zobrazena signálem s fázovým posunem 0 a logická nula s fázovým posuvem π .

Doba trvání signálu jednoho číselného symbolu je omezena např. na dvě periody a přepínání fáze se uskuteční v okamžiku průchodu nulou. Na obrázku je znázorněn fázově modulovaný signál pro přenos binárního čísla 10110, tj. dekadické 22.



Obr.18 Fázově modulovaný binární signál

Rozeznat v přijímači kde končí jeden symbol a začíná další vyžaduje přesnou synchronizaci a také „čtení“ fáze je technicky náročné. Každý ze satelitů (21 z nich je vždy v provozu, 3 zůstávají jako záložní) vysílá několik kódů: C/A kód, tzv. *Coarse/Acquisition* kód je určen neautorizovaným uživatelům a je tvořen binárním číslem o 1 023 bitech a bity jdou za sebou s frekvencí 1 023 MHz. Vyslání jednoho čísla – kódu trvá právě 1 milisekundu a to se stále opakuje. Kód každého satelitu je jiný a přijímač GPS – například navigační systém v autě, má k dispozici kódy všech satelitů. Postupně přijímač porovnává přijaté signály, až najde shodu. Tím je určen satelit, který poskytl signál. Dále potřebuje přijímač informaci o poloze satelitu. Ta je uložena v tzv. navigační zprávě a bity navigační zprávy jsou vysílány relativně pomalu – jeden bit za 2 setiny sekundy. Délka navigační zprávy je 1 500 bitů a obsahuje informaci o poloze všech družic a další data, například o stavu ionosféry. (Stav ionosféry je důležitý pro korekce výpočtu zpoždění a použije se pro přesnější navigaci.) C/A kód stačí pro určení polohy v rovině s přesností na několik metrů a to automobilistům a turistům bohatě stačí. Nosnou frekvencí pro tento kód je $L1$. Přesnější určení polohy umožňuje tzv. P-kód (*Precision code*), vysílaný na obou nosných frekvencích $L1$ a $L2$. Je určen autorizovaným uživatelům, kteří si zakoupili právo jej používat. Dvě frekvence umožní korigovat vliv ionosféry a troposféry na šíření radiového signálu a například geodetická měření polohy mají chyby jen několik milimetrů.



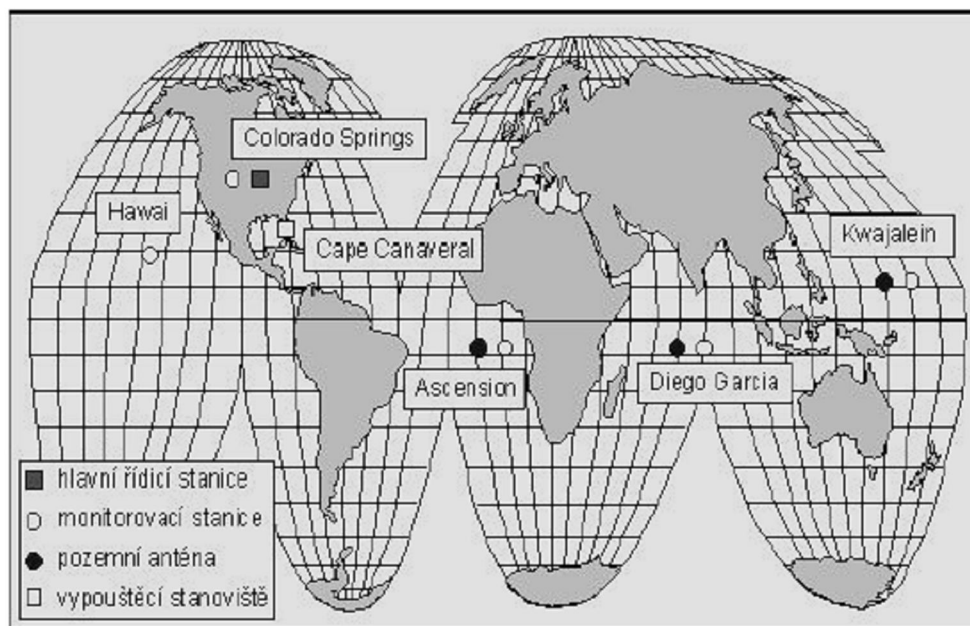
Poznámka

Tady se ale používá také korekce získaná referenčním přijímačem, jehož polohu na Zemi přesně známe. Pozici určíme nejprve pro referenční přijímač pomocí signálů družic a pak vypočteme korekce tak, aby výsledek souhlasil se skutečnou pozicí referenčního přijímače. Stejně korekce použijeme pro úpravu výsledků na dalším přijímači.

P-kód vysílá své bity s frekvencí 10,23 MHz a jedno binární číslo má 15 345 000 bitů, vyslání trvá 1,5 sekundy. Za ním se umístí další binární číslo o 37 bitů delší. Každá z družic používá své zvláštní kódy týden a pak se (vždy v sobotu o půlnoci) kódy mění. Pro vojenské účely se kódy ještě šifrují – vzniká kód P(Y). Na první pohled je šifrování prosté: chcete poslat dekadickou informaci - číslo 1225, ale pošlete $1225 + 202035 = 203260$. Adresát musí vědět, že od přijatého čísla 203260 musí odečíst „klíč“ 202035. Klíčem v systému GPS je tajná informace, tzv. W-kód, se kterým pracují jen vojenské přijímače. Vysílán je s frekvencí bitů 511,5 kHz.

Přesnost určení polohy s použitím P-kódu je na decimetry a teprve započtením dalších oprav se odchylky zmenší na centimetry (bez referenčního přijímače). Nutné opravy jsou relativistické a dopplerovské. Dopplerovská oprava je potřebná vzhledem k nedokonalé kruhové dráze satelitu - je zdrojem signálu s kolísající frekvencí a má-li přijímač dostat časové informace na frekvenci 10,23 MHz, je nutný přepočet a ten si provede přijímač na Zemi. Relativistická oprava je také fyzikálně zajímavá: signál jde k Zemi z míst s menší intenzitou gravitačního pole a je přijímán na povrchu Země, kde je g větší. Z obecné teorie

relativity vyplývá, že přijímač zaznamená signál s frekvencí nepatrně vyšší. Aby přijatý signál měl požadovaných 10,23 MHz, jsou hodiny na družici nastaveny na frekvenci $(1 - 4.10^{-10}) \cdot 10,23$ MHz. Podrobně jsou korekce vysvětleny v článku Klepáč, P., Horský, J.: Teorie relativity a Globální poziční systém, Československý časopis pro fyziku, č. 5/2003.



Soustava družic je pod kontrolou pozemních stanic s centrálou v Colorado Springs. Další čtyři jsou v blízkosti rovníku: Havajské ostrovy, Marshallovy ostrovy (atol Kwajalein), ostrov Ascension v Atlantiku, ostrov Diego Garcia v Indickém oceáně. Úkolem pozemní části systému je neustálá kontrola a korekce poloh satelitů, kontrola atomových hodin, synchronizace všech hodin na družicích a kontrola technického stavu družic. Tady jde o obousměrné spojení satelit – pozemní stanice a potřebné telemetrické údaje jsou součástí navigační zprávy, vysílané nejpomaleji s bitovou frekvencí 50 Hz.

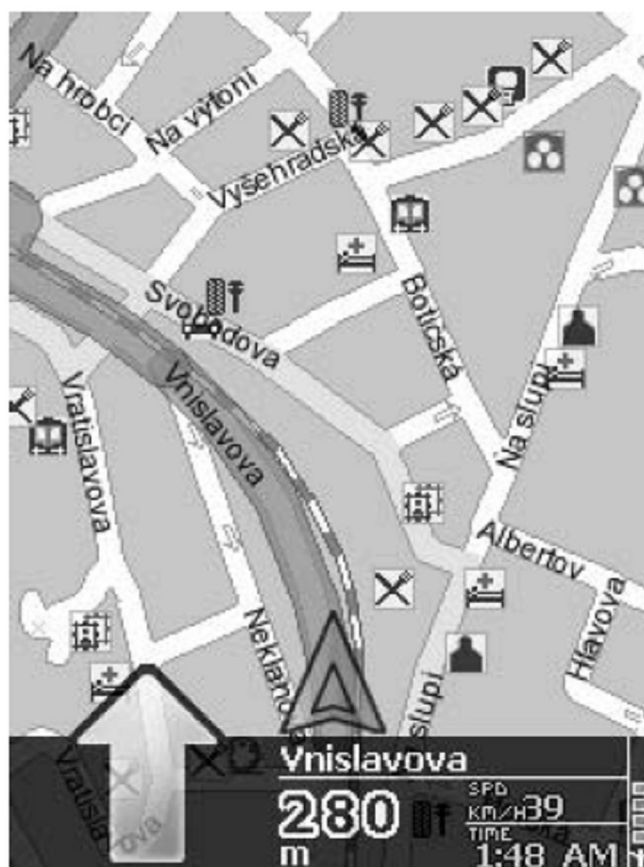
Přijímače GPS jsou dnes dostupné každému a jsou vybaveny softwarem, který ze stanovených poloh dokáže dokonale navigovat na zemi, na moři i ve vzduchu.

Špičkový současný software obsahuje:

- Detailní bezešvou vektorovou mapu Evropy pokrývající ANDORU, BELGII, ČESKOU REPUBLIKU, DÁNSKO, FINSKO, FRANCII, NĚMECKO, MAĎARSKO, IRSKO, ITALII, LUCEMBURSKO, NIZOZEMÍ, NORSKO, POLSKO, PORTUGALSKO, RAKOUSKO, ŘECKO, SAN MARINO, SLOVENSKO, ŠPANĚLSKO, ŠVÉDSKO, ŠVÝCARSKO, ČÁST RUSKA, TURECKO, VATIKÁN a VELKOU BRITÁNII do úrovně ulic.
- GPS satelitní navigaci
 - zobrazení aktuální pozice v mapě
 - ukládání a přehrávání cesty
- Hlasovou navigaci
 - intuitivní door to door hlasová navigace v různých jazycích
 - přehled aktuálních manévru a vzdáleností, které se zobrazují na displeji
 - možnost nastavení vzdálenosti do spuštění hlasových instrukcí před dalším manévrem
 - orientace mapy podle severu nebo směru jízdy
- Routing – plánování trasy
 - plánování door to door trasy celou Evropou
 - routování přes hranice mezi evropskými státy

- silnice s poplatky a omezeními pro nákladní automobily
- jednosměrky a dopravní omezení
- zobrazí nejkratší, nejrychlejší nebo nejlevnější trasu k jednomu nebo více cílům
- detailní itinerář cesty
- Vyhledávání
 - index 9 420 000 ulic s popisnými čísly domů
 - přes 2 230 000 zajímavých míst
 - přidání vlastních uživatelských objektů
 - nalezení nejbližších bodů zájmu
 - PSČ

Na displeji svého Personálního Digitálního Asistenta (PDA) s GPS můžete mít například takový obraz:



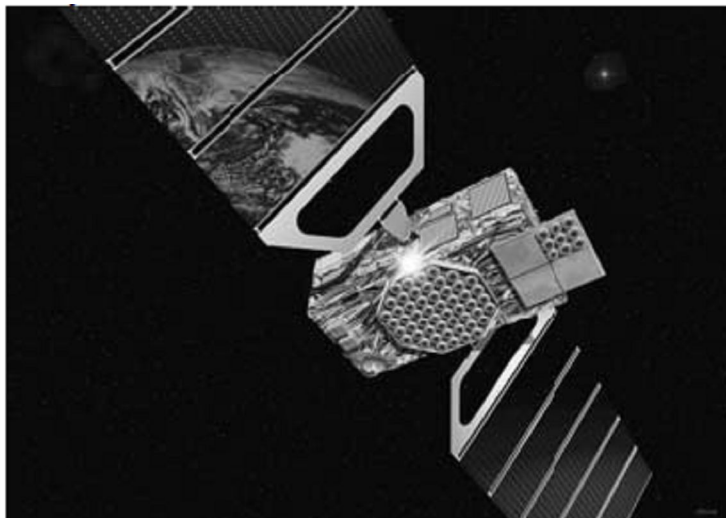
Nově zakoupený přijímač GPS nemá k dispozici údaje o drahách družic a platných kódech. Tyto údaje dostane po prvním zapnutí – je to soubor dat - tzv. Almanach. Jeho přenos je součástí navigační zprávy a je také poměrně pomalý a může trvat i několik minut. Platnost tohoto souboru dat je omezená (9 měsíců), takže dlouhodobé vypnutí přijímače znamená opět stažení nových údajů.

Evropská unie a ESA (European

Space Agency) budují postupně evropský systém Galileo. Bude mít celkem 30 satelitů, 27 v provozu a 3 jako zálohy na oběžné dráze. Ty budou tři se sklonem 56° k rovině rovníku.

Satelity budou obíhat 23 222 km nad povrchem Země. Ověřovací satelit GIOVE A byl vypuštěn v roce 2005 a v lednu 2006 byly přijaty první signály. Všechny 30 satelitů by mělo být

v provozu v roce 2008. Galileo je navržen tak, aby mohl spolupracovat s americkým i ruským systémem. Uživatelům poskytne určení polohy s chybou menší než 1 metr. Na snímku je zmíněný satelit.



Parametry satelitu:

Vzletová hmotnost 450 kg, celkový příkon 660 W, rozměry $1,3 \times 1,74 \times 1,4$ m, raketový pohon, palivo butan - 2 nádrže, každá 25 kg, fotočlánky SI, 2 křídla po dvou panelech ($0,98 \times 1,74$ m), elektrická palubní síť, 50 V stabilizovaný rozvod pro elektroniku 28 ± 6 V nestabilizovaný rozvod pro mechaniku

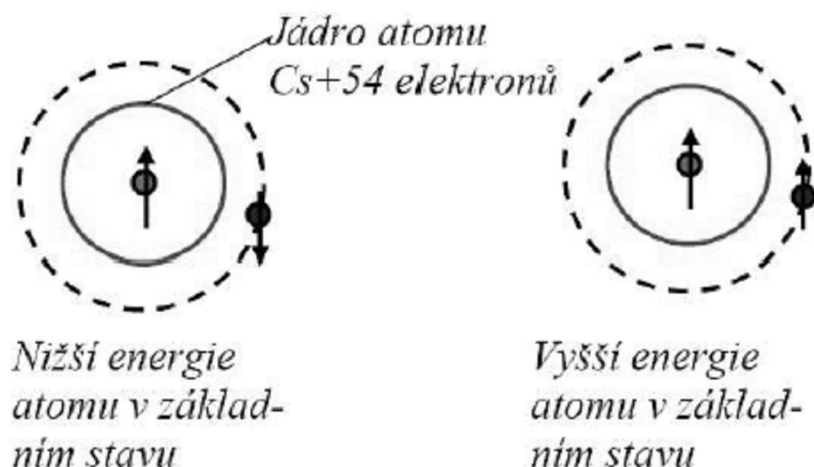
Atomové hodiny pro navigační satelity

V tabulce s parametry amerických satelitů jsou uvedeny cesiové a rubidiové atomové hodiny. Cesiové jsou také pozemským normálem času a je zajímavé, jak vlastně tyto hodiny pracují.

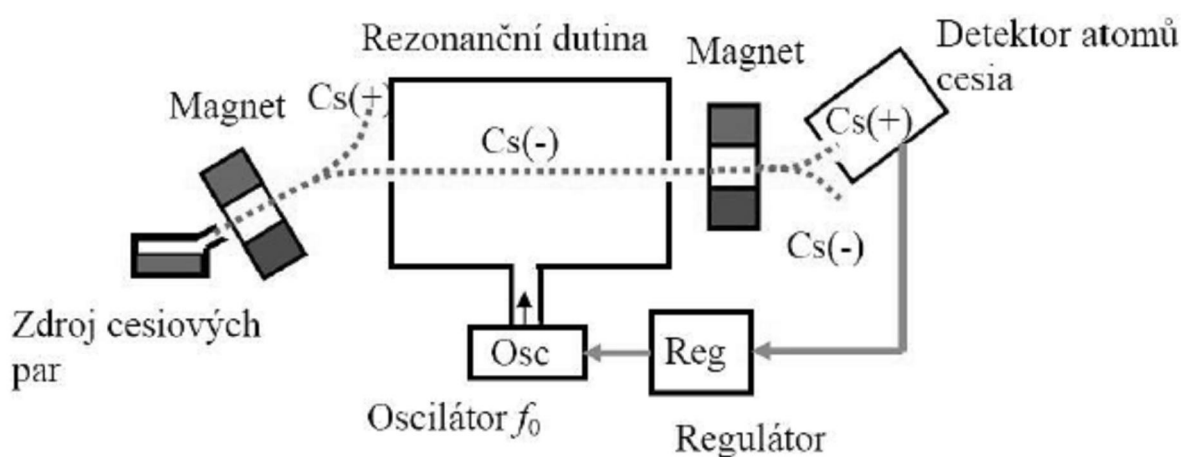
Proč právě cesium a ne jiný prvek? Cesium má 55 elektronů v obalu atomu a ve fyzikálních tabulkách zjistíme, že 54 elektronů zaplní všechny stavy s hlavním kvantovým číslem 1 až 5 a poslední 55. elektron je ve stavu s hlavním kvantovým číslem $n = 6$. Vedlejší kvantové číslo je v tom případě $l = 0$, magnetické kvantové číslo $m = 0$. Každý elektron má ale spin a magnetický moment spinový a orbitální. Valenční elektron cesia (padesátý pátý) může mít svůj magnetický moment orientován antiparalelně s celkovým magnetickým momentem ostatních elektronů (a jádra). V tomto stavu má atom nejnižší energii. Druhá možnost je paralelní orientace a energie atomu je nepatrně vyšší:

$$\Delta E = hf,$$

kde h je Planckova konstanta a f je frekvence fotonu, který atom pohltí při přechodu z nižší na vyšší energetickou úroveň. Vlnová délka elektromagnetické vlny je přibližně 3,26 cm a frekvence právě $f_0 = 9\,192\,631\,770$ Hz.



Atom má také v obou případech jiný magnetický moment a to atomové hodiny potřebují. Cesium zahřejeme a z kapalně fáze se odpařují jednotlivé atomy. Projdou mezi póly magnetu a odchýlí se – ty s nižší energií projdou do vakuové komory. Ta je rezonanční dutinou pro elektromagnetickou vlnu z oscilátoru, který kmitá na frekvenci f_0 . Právě tato frekvence je vhodná pro přechod atomů do vyššího stavu. Pak se svazek atomů dostává mezi póly dalšího magnetu a nabuzené atomy se odchýlí na vstup detektoru. V jeho komůrce je rozžhavený wolframový drátek a atomy cesia se tepelně ionizují. Pak už jsou schopny vytvářet elektrický signál pro regulátor. Ten řídí elektrickým napětím kmitu oscilátoru tak, aby „nabuzených“ atomů bylo co nejvíce. V celém systému je hluboké vakuum a atomy se nemohou vzájemně ovlivnit.



Obr.19 Schéma cesiových atomových hodin

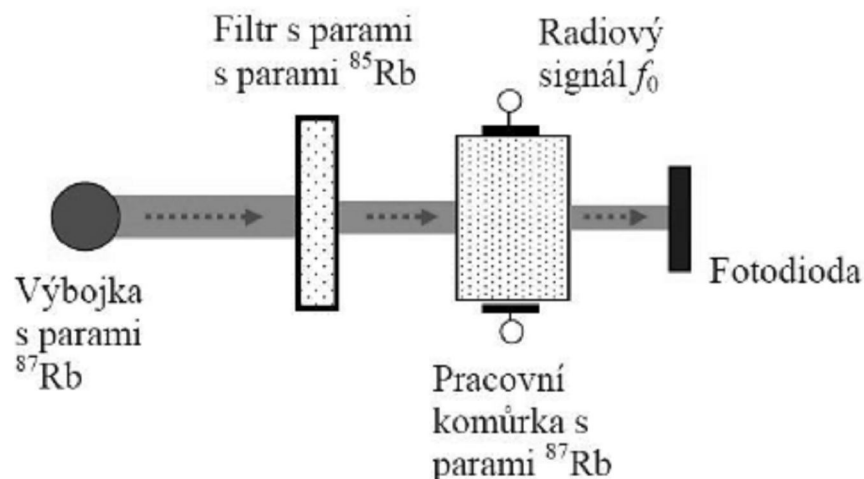


Obr. 19 Snímek cesiových hodin (Snímek pochází ze zdroje <http://tycho.usno.navy.mil/cesium.htm>)

Atomové rubidiové hodiny pracují s vyšší frekvencí 6,834 GHz a jsou miniaturizovány již na rozměry 100×204×114 mm (produkt fy TEMEX TIME). Na snímku je jen základní modul s rubidiovou výbojkou a pracovní dutinou s parami rubidia, další přibližně stejný blok obsahuje napětím řízený oscilátor 10,3 MHz a řídicí elektroniku. Řídící napětí cesiových hodin bylo odvozeno od počtu zachycených atomů v detektoru. Rubidiové hodiny odvozují řídicí napětí od intenzity světla



V hodinách se používá izotop ^{87}Rb . Valenční elektron má základní stav s hlavním kvantovým číslem $n = 5$, vedlejším kvantovým číslem $l = 0$ a magnetickým kvantovým číslem $m = 0$. Magnetický moment elektronu je orientován paralelně s magnetickým momentem zbytku atomu – energie elektronu je o něco vyšší, druhá možnost je orientace antiparalelní a energie je o něco nižší. Rozdíl energií valenčního elektronu v základním stavu odpovídá frekvenci fotonu $f_0 = 6\,834\,682\,612,8$ Hz. To je frekvence radiového signálu s vlnovou délkou přibližně 4,39 cm.

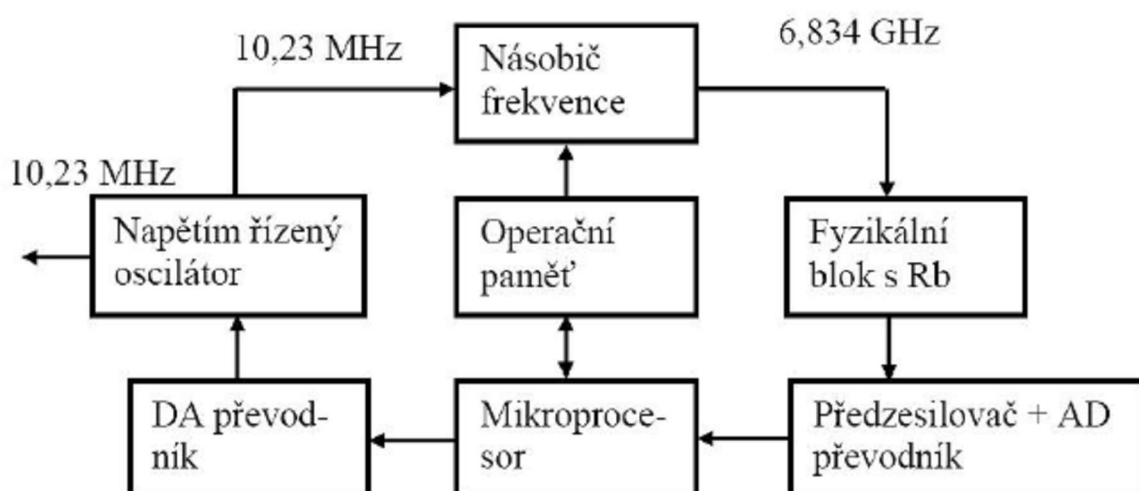


Rubidiová výbojka poskytne fotony s energií odpovídající přechodu valenčního elektronu s $n = 6$ na $n = 5$. Vlnová délka tohoto světla je asi 780 nm. Základní stav je ale rozštěpen a světlo výbojky obsahuje fotony generované při přechodu do stavu s paralelní orientací (fotony s nižší energií) a při přechodu do stavu s antiparalelní orientací (fotony s vyšší energií). Fotony s nižší energií jsou absorbovány ve filtru, který obsahuje páry izotopu rubidia ^{85}Rb .

V pracovní komůrce jsou atomy izotopu ^{87}Rb vystaveny působení elektromagnetického pole s frekvencí f_0 a tím je stimulován přechod valenčních elektronů v základním stavu z paralelního magnetického momentu na antiparalelní.

Fotony světla pak tyto elektrony s velkou pravděpodobností převedou do vzbuzeného stavu s hlavním kvantovým číslem 6. Dojde k výrazné absorpci světla a fotodioda zaznamená ostré minimum signálu. Pokud je frekvence mikrovln odlišná, nedochází v pracovní komůrce k absorpci.

Elektronika systému má tyto bloky:



Analogový signál z fotodiody fyzikální části je zesílen a digitalizován. Mikroprocesor zjistí, zda absorpce dosáhla maxima. Pokud ne, pak na výstup pošle větší binární hodnotu, převodník DA pošle na napětím řízený oscilátor upravené řídicí napětí a ten zvýší výstupní frekvenci. Ta se také dostane na vstup násobiče frekvence a po vynásobení se blíží hodnotě f_0 . Cyklus se opakuje, až je dosaženo maxima absorpce a to se stane právě na frekvenci f_0 . Data se ukládají do paměti.

Podrobně o rubidiových atomových hodinách :

<http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/Manuals/FS725m.pdf>

Poznámka:

Systém je nutné stínit před magnetickým polem a je třeba stabilizovat teplotu.

Mobily a síť GSM

Česká republika má asi 10 milionů obyvatel a takřka stejný počet mobilních telefonů. Na rozdíl od telefonu pevné linky umí mobil předat i krátkou textovou zprávu (SMS), dovede se připojit na Internet, má malý digitální fotoaparát a předá obraz i zvuk, barevný displej je samozřejmostí a... Funkcí mobilu přibývá a co bylo dnes špičkovou technikou, je zítra překonáno.



Obr.20 Mobilní telefon s kamerou

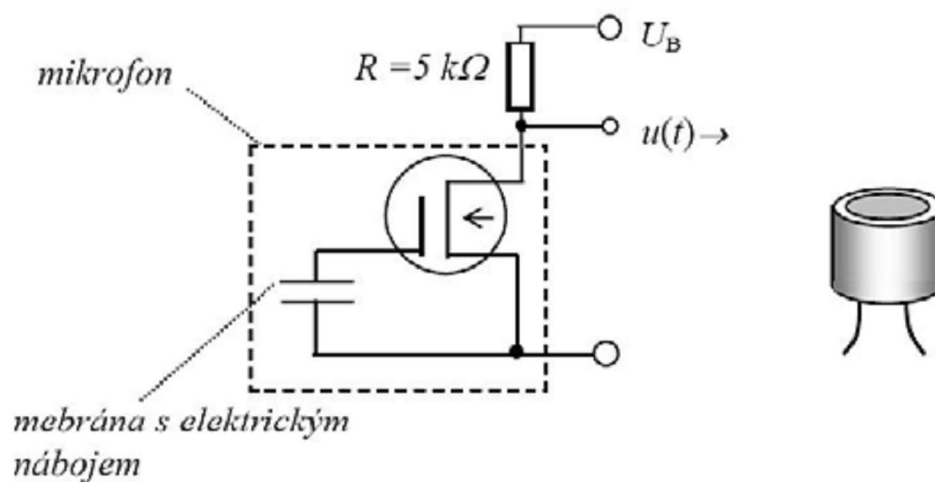
Zůstaneme jen u hlasového spojení a sledujme, co všechno mobil s naším slovem udělá.

Změna zvuku na proměnné elektrické napětí

V mobilech se osvědčily elektretové mikrofony. Na rozdíl od mikrofonů, jak je známe z vystoupení zpěváků nebo řečníků, jsou to mikrofony velmi malé – samotný mikrofón je ukryt např. v kovovém válečku o průměru 6 mm a stejné délce. Z něj vedou jen dva vodiče.

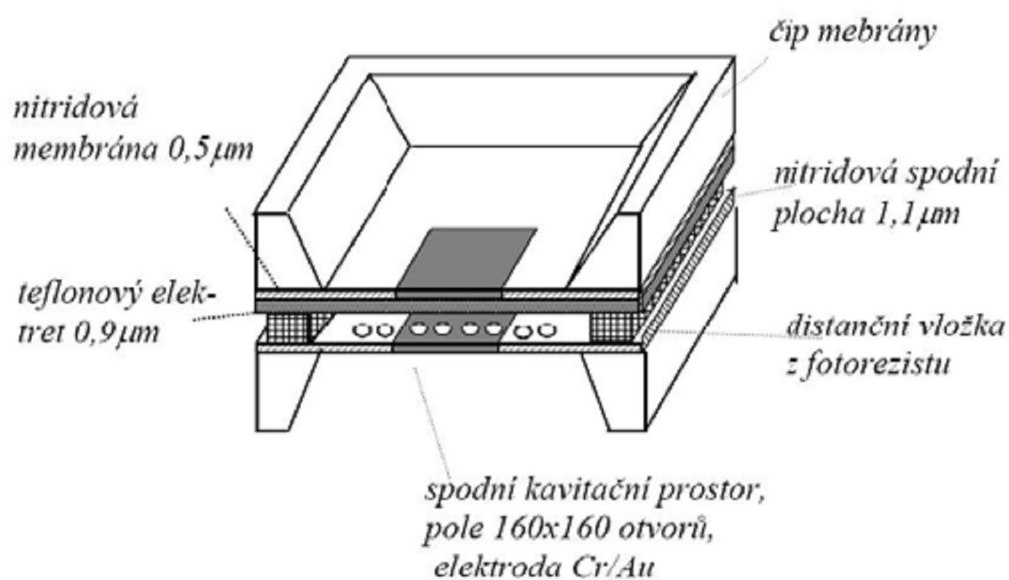
Elektretové mikrofony jsou dodávány se zabudovaným zesilovačem – polem řízený tranzistor má hradlo G spojené s elektrodou pokrytou nábojem v teflonu a kolektor vyveden pro připojení vnějšího zdroje. Samotný elektretový mikrofón pracuje jako kondenzátor s konstantním nábojem a proměnnou

kapacitou.



Obr. 21 Elektretový mikrofon

Membrána je vyrobena ze dvou vrstev: nosičem je destička z nitridu křemíku a na ní spočívá teflonová fólie s elektrickým nábojem. Protější uzemněná elektroda má vyleptány otvory, aby mohla membrána kmitat.



Obr.22 Sestava mikrofonu – komůrka kondenzátoru

Technologie integrovaných obvodů na křemíku dovolí vyrobit i tranzistor na tomtéž čipu. Všimněte si tloušťky plátek křemíku – jde o tisíce milimetru a mikrofon v tomto provedení je skutečně citlivý. Snadno jej můžeme poškodit úderem nebo hlasitým zvukem: na mobil nekřičte!

Příprava dat pro vysílání

Proměnné napětí z mikrofonu je dále zesíleno a kmitočty nad 4 000 Hz jsou odstraněny. Následuje digitalizace vzorků a je vytvořeno 8 000 osmibitových čísel za každou sekundu. Tím je stanoven bitový tok 64 kbitů za sekundu a celý systém není schopen tolik dat za sekundu přenášet. Proto nastupuje redukce informací na konečných 13 kbit/s a v nutných případech na 6,5 kbit/s. Redukce datového toku začíná „porcováním“ signálu na úseky po 20 tisícinách sekundy a zpracovává se vždy skupina 160 vzorků, tedy $160 \times 8 = 1\,280$ bitů. V mobilu jsou uschovány modely zvuků lidské řeči a s nimi se vzorky porovnají. Najde-li mobil ve skupině dat daného úseku vzorky odpovídající modelu například hlásky „a“, zredukuje data na oznámení, že přijímač má ze své zásoby modelů použít zvuk „a“. Další omezení počtu vysílaných dat spočívá v předpovědi trvání daného zvuku: hláska „a“ zní obvykle 0,05 až 0,1 sekundy a jestliže se objevila v dané skupině 160 vzorků, bude i v následující. Řeč také obsahuje méně podstatné zvuky, které lze univerzálně nahradit šumem – zkuste si vyslovit „ssssss“! Výsledkem redukce je pouhých 260 bitů na každý segment signálu o délce 20 milisekund. Dále mobil rozhoduje, které bity jsou nezbytné pro srozumitelnost příjmu. Vybere jich 50 a ty zařadí do první skupiny a ještě k ní přidá tři kontrolní bity. Kontrolní bity umožní, aby přijímač mohl opravit i chybný přenos. Další méně důležité bity (132 bitů) doplní čtyřmi bity označujícími konec „hlavní části“ a celá skupina $50 + 3 + 132 + 4 = 189$ bitů se doplní obalem vložených bitů a vznikne $2 \times 189 = 378$ bitů. Z původních 260 bitů redukovaného zvukového signálu zbývá ještě 78 bitů, a ty se ke skupině jen připojí. Tak vznikne blok o 456 bitech, který zastupuje původních 1 280 bitů za 20 ms. Vysílat se bude pouze 22,8 kbitů za sekundu. Celý proces se podobá úkolu zabalit a odeslat porcelánový servis. Na dno krabice jistě dáme výstelku a zabalíme hluboké a ploché talíře – to je prvních 50 nejdůležitějších bitů. Mobil by sem přidal ještě tubu s lepidlem pro slepení talířů poškozených dopravou – 3 bity navíc. Pak zabalíme šálky a podšálky (132 bitů) a vše vložíme do krabice Oddělíme vše vložkou – 4 bity navíc. Proložíme vše kousky molitanu – zdvojnásobíme počet vložených částí. Zbyly nám ještě solničky, kořenky a ozdůbky z porcelánu (78 bitů) a ty přidáme v jednom papírovém obalu do krabice navrch. Připravený blok 456 bitů tvoří jeden datový rámec. Kdyby celý blok při přenosu postihl výpadek (rušení cizím signálem, atmosférické poruchy atd.), nemůže přijímač slyšet nic. Proto se berou sousední bloky a jejich data se vzájemně prokládají. Představte si odeslání zlatého a stříbrného servisu – pošleme dvě krabice, ale v každé bude část ve zlatě i ve stříbře. Příjemce může dostat obě zásilky částečně poškozené, ale chybějící části má podle čeho nechat doplnit. Právě to je schopen udělat mobil – přijímač. Následující operací je šifrování vysílaných dat. Jistě nechceme, aby náš hovor poslouchal někdo další. V mobilu máme kartu SIM (*Subscriber Identity Modul*) a ta definuje jednoznačně přeskupení nul a jedniček ve vysílaných datech. Tím je náš hovor zašifrován a jak jej dešifrovat, se z našeho vysílání doví jen správně se legitimující přijímač, jehož číslo jsme zadali.

Rádiová síť GSM (Global System for Mobile Communications)

Na stupnici rozhlasového přijímače najdete několik desítek vysílačů, které můžete poslouchat. Každý z nich má přidělenou frekvenci, na které smí vysílat a tak je zaručeno, že se vám v přijímači signály dvou stanic vzájemně neruší. Dosah rozhlasového vysílání VKV je dosti omezený a tak je možné, že stejnou frekvenci (např. 100,8 MHz) může použít jedna stanice v České republice a další v Anglii. Přidělení frekvencí je věcí mezinárodních dohod. Rozhlasový přijímač není zdrojem rádiového signálu, kdežto mobil je přijímačem a vysílačem

současně a mobilů jsou miliony. Jak se mohou vzájemně dva účastníci najít a domlouvat, nerušit ostatní hovory, to zajišťuje zajímavý systém, z jehož principy se seznámíme.

Váš mobil obsahuje rádiový vysílač pro frekvence 890 až 915 MHz a přijímač pro frekvence 935 až 960 MHz. Při navázání spojení použije mobil pro vysílání např. frekvenci 910 MHz a jeho signál obsadí frekvence 910 MHz + 100 kHz. Váš signál přijímá nejbližší základnová rádiová stanice BTS

(Base Transceiver Station). Ta vám také posílá signál, který posloucháte, ale na frekvenci přijímače vašeho mobilu, a ta je o 45 MHz vyšší, v daném případě 955 MHz. Přijímače mobilů pracují v pásmu 935 až 960 MHz. Šířka pásma pro jeden vysílaný nebo přijímaný signál je 200 kHz. K dispozici je pro

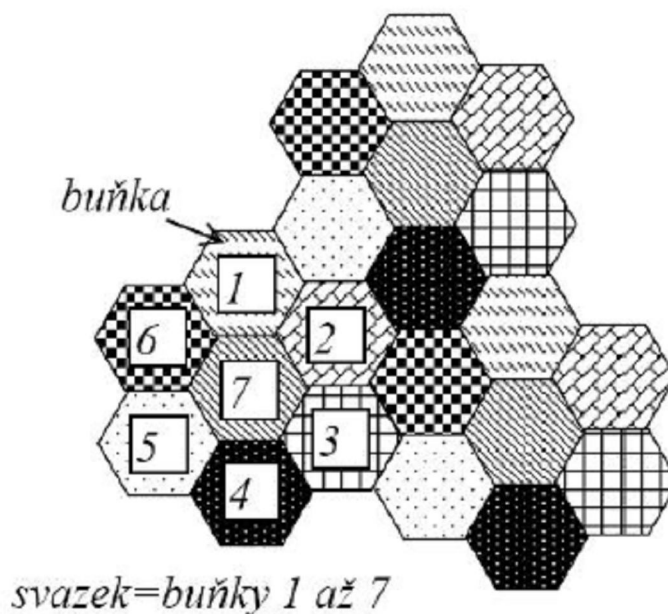
$$\text{vysílání vašeho mobilu } \frac{915 - 890}{0,2} = 125$$

nosných frekvencí a stejný počet pro příjem a základnová stanice si s vaším mobilem domluví, aniž bychom to mohli ovlivnit, na jaké frekvenci spojení proběhne. Takto by mohla jedna BTS zajistit spojení jen 125 účastníkům a to je málo. Další princip je tak zvané časové dělení kanálu – jednu frekvenci bude používat 8 účastníků, ovšem nikoliv současně, ale v krátkých časových intervalech. Nazývají se „časové štěrby“ a trvají 576,9 mikrosekundy. To je umožněno tím, že data pro 20 milisekund řeči systém vyšle za podstatně kratší čas. (Analogicky je to u počítače s tiskárnou: ta vytiskne stránku za 20 sekund a vy ji budete číst dvě minuty; pak jedna tiskárna pohodlně zásobí textem 6 čtenářů.)

Systém GSM má k dispozici $125 \times 8 = 1\,000$ hovorových kanálů. Hovořících účastníků je ale více a je nutné použít další princip – dělení území na buňky obsluhované jednou základnovou stanicí a opakování nosných frekvencí na dostatečně vzdálené základnové stanici.

Celulární (buňková) struktura sítě GSM

Systém základnových stanic musí mít rezervovány některé kmitočty pro vzájemnou komunikaci a tak z možných 1000 kanálů použijí mobily jen 800. Jestliže základnová stanice č. 1 smí použít kanály 1 až 114, pak další použije kanál 115 až 228 a konečně základnová stanice č. 7 bude pracovat na kanálech 685 až 798 a dva kanály nám zbudou pro jiné účely. Základnové stanice budou obsluhovat mobily na území ve tvaru šestiúhelníka – to je sedm BTS, tvořících jeden svazek. (Počet buněk může být i jiný.)



Obr.23 Buňky sítě GSM

Základnová stanice vysílá s tak malým výkonem, aby její signál nerušil práci další BTS, která pracuje na stejné frekvenci. Je zřejmé, že systém může pokrýt libovolně velké území. Jedna základnová stanice ale může zajistit v dané chvíli spojení jen pro 114 účastníků současně a ne více. Dojde-li k souběhu více požadavků na spojení, sníží se počet zpracovávaných vzorků hovoru na polovinu a

počet hovorů může být 228 současně. Více ale systém nezvládá. V místě s malou hustotou obyvatel bude základnová stanice obsluhovat větší území – velké buňky o průměru 10 až 30 km, střední hustota vede ke středním buňkám o průměru 3 až 10 km, pak jsou na řadě buňky malé 0,3 až 3 km a existují i mikrobeňky 100 až 300 m a pikobeňky pod 100 metrů v průměru.

Navázání spojení v síti

Mobil v pohotovostním stavu udržuje spojení s nejbližšími základnovými stanicemi a je vyhodnocována kvalita signálu. Ta buňka, ve které má váš mobil nejlepší signál, je také místem, kde se váš mobil právě nachází. Celý systém má také ústřednu, která na „služebních“ kanálech je stále ve spojení se základnovými stanicemi. Na svém mobilu zadáte číslo volaného a stisknete tlačítko „volání“. Váš mobil nyní vyšle na základnovou stanici žádost o vytvoření spojení. Ve skutečnosti posílá volané číslo, druh požadované služby (hovor, SMS a jiné). Na radiotelefonní ústředně systém vyhodnotí vaši totožnost, služby, které smíte použít a začíná hledání volaného. Když ten přijme hovor, sestaví se spojení – jsou přiděleny vhodné volné kanály a hovor se uskuteční. Celá doba pro tuto operaci nesmí překročit jednu až dvě desetiny sekundy. Situace je ještě zajímavější, když máte mobil v autě a přejíždíte uvnitř buňky nebo do buňky sousední. Systém vyhodnocuje i během hovoru kvalitu spojení a přepne na jiný volný kanál, pokud kvalita spojení klesá – počet chyb v přijímaných datech roste.

Výkony vysílačů v mobilech jsou relativně malé a dnes mají stanoveny hodnoty v několika třídách: 0,8 W, 3 W, 5 W, 8 W a 20 W. Běžný mobil vystačí se 3 watty a vysílaný výkon se automaticky snižuje na použitelné minimum. Po zapnutí mobilu a zadání PINu se mobil snaží přihlásit se na základnovou stanici plným výkonem a protože jde o intenzivní pulzy, je možné je zachytit i rozhlasovým přijímačem na libovolné frekvenci VKV, dokonce i na středních a dlouhých vlnách.

Úkol: Položte mobil k rozhlasovému přijímači nebo k počítači se zapnutými reproduktory a mobil zapněte. Přihlaste se do sítě a sledujte, kolik pulsů se ozve v rozhlasovém přijímači. Pak vypněte mobil a sledujte odezvu v přijímači. Každý puls je odezvou na blok dat z vašeho mobilu.

Modulace signálu mobilních telefonů

Přenášená data jsou při radiovém spojení kmity elektromagnetické vlny a zde se logické nuly přiřadí nižší kmitočet a logické jedničky kmitočet vyšší. Při nosné frekvenci 910 MHz, kterou jsme použili v příkladu, bude logická nula mít frekvenci 910 000 000 Hz a logická jednička kmitočet nepatrně vyšší: 910 067 714 Hz. Tento způsob modulace se skrývá pod zkratkou MSK (*Minimum Shift Keying*) – modulace s minimálním fázovým posuvem. Každý bit přitom trvá 3,692 mikrosekundy a není dost dobře možné změnit kmitočet nuly na kmitočet jedničky okamžitě. Přechody frekvence jsou ve skutečnosti plynulé – takové modulaci se říká Gaussovská modulace s minimálním fázovým posuvem a zkratka je GMSK.

Ochrana radiového spojení před únikem

Považujeme za samozřejmé, že signál mobilu je vždy čitelný. Tak jednoduché to ale není. Při frekvenci 900 MHz je vlnová délka přibližně 33 cm a signál se ve městě mnohonásobně odráží, než se dostane na anténu mobilu. Interference může způsobit jak zesílení, tak zeslabení signálu pod použitelnou mez. Aby se únik signálu omezil, uskuteční se spojení mobilu se základnovou stanicí BSS (*Base Station Subsystem*) na rychle za sebou se měnících kmitočtech. Celkem 217krát za sekundu se kmitočet nosné vlny mění mezi pseudonáhodně zvolenými hodnotami. Podmínky pro destruktivní interferenci mohou nastat jen na velmi krátkou dobu a chybějící data si přijímač – mobil dokonce doplní výpočtem. Technika přeskakování na jiné frekvence byla původně určena pro utajení radiového spojení a má název „*frequency hopping*“. Tady se osvědčuje velmi civilně, ale pro utajení hovorů v mobilní síti nestačí. Data jsou proto před vysíláním kódována – jedničky a nuly jsou určitým způsobem přemístěny a klíč poradí pro přemístění bitů- je uložen ve vaší SIM kartě.

Základní částice a základní fyzikální interakce

Základní částice - jejich počet je 12 (a 12 antičástic). K těmto částicím řadíme základní částice pole, které zprostředkovávají fyzikální interakce. Základní částice nemají vnitřní strukturu.

Základní částice jsou: Leptony – nepůsobí na ně silná interakce. Mezi leptony řadíme elektricky nabitě leptony (elektron, mion, tauon). Elektricky neutrální leptony (elektronové, mionové, taunové neutrino) a kvarky (působí na ně silná interakce). Jsou to fermiony s polovinovým spinem.

Kvarky spin = 1/2			Leptony spin = 1/2		
Vůně	Přibližná hmotnost GeV/c^2	Elektrický náboj	Vůně	Hmotnost GeV/c^2	Elektrický náboj
u up	0.003	2/3	ν_e elektronové neutrino	$<10^{-8}$	0
d down	0.006	-1/3	e elektron	0.000511	-1
c charm	1.3	2/3	ν_μ mionové neutrino	<0.0002	0
s strange	0.1	-1/3	μ mion	0.106	-1
t top	175	2/3	ν_τ tauonové neutrino	<0.02	0
b bottom	4.3	-1/3	τ tauon	1.777	-1

Důvěrně známý svět kolem nás je složen téměř jen z kvarků *u* a *d*. Existují i další čtyři kvarky – *s*, *c*, *b* a *t*. Ty mají větší hmotnost, jsou nestabilní a rodí se jen na urychlovačích nebo ve srážkách působených kosmickým zářením.

V současné době jsou známy **čtyři základní fyzikální interakce**:

[gravitační interakce](#),

[elektromagnetická interakce](#),

[silná interakce](#),

[slabá interakce](#).

Gravitační interakce - nejslabší známá interakce, v klasické (nerelativistické a nekvantové) fyzice je silové pole gravitační interakce popsáno Newtonovým gravitačním zákonem. V relativistické fyzice (nekvantové) pak Einsteinovými rovnicemi, které vycházejí z představy zakřiveného prostoročasu (tzv. obecná teorie relativity).

Z pohledu kvantové fyziky je gravitační interakce zprostředkována elementárními částicemi - [gravitony](#) (tzv. kvanta gravitačního pole). Tyto částice nebyly zatím prokázány experimentálně.

Slabá interakce

Projevuje se univerzálně u všech typů elementárních částic. Na rozdíl od ostatních tří typů základních fyzikálních interakcí nevytváří slabá interakce žádné vázané stabilní systémy částic, ale projevuje se pouze rozpadem elementárních částic. Slabá interakce je po gravitační interakci druhá nejslabší známá interakce. Má jen velmi malý dosah, který je řádově 10^{-18} m (př. je přeměna β , narušení symetrie)

Kvantem slabé interakce jsou tzv. **intermediální bosony**, které byly předpovězeny **teorií elektroslabé interakce** a experimentálně potvrzeny v roce 1983.

Elektromagnetická interakce

Prostřednictvím této interakce na sebe mohou objekty silově působit pouze tehdy, pokud mají nenulový elektrický náboj nebo magnetický moment. Obdobně jako u gravitační interakce je její dosah nekonečně velký a velikost jejího silového působení klesá se vzdáleností až na nulovou hodnotu pro nekonečně vzdálené interagující objekty. Příklad projevu – soudržnost atomů, chemická vazba. Popis – Coulombov zákon elektrostatiky, Maxwellovy rovnice, kvantová teorie pole. Kvantum elektromagnetického pole je foton.

Silná interakce

Tato interakce váže kvarky v hadronech, jejím zbytkový projevem je silové působení mezi hadrony (včetně jaderných sil). Silná interakce mezi hadrony je krátkého dosahu (zhruba 10^{-15} m). Silná interakce mezi kvarky má nekonečný dosah. Na vzdálenostech přesahujících lineární rozměry hadronů roste přitažlivá síla na z dnešního pohledu prakticky neomezenou hodnotu, zatímco v těsné blízkosti je relativně malá (asymptotická volnost).

Silná interakce mezi hadrony a tedy i jaderné síly jsou pouze tzv. zbytkovým projevem této silné interakce mezi kvarky uvnitř hadronů (nukleonů v případě jaderných sil). V případě silné interakce mezi kvarky jsou kvantem pole gluony.

Základní fyzikální interakce

Základní fyzikální interakce		
Typ interakce	Relativní síla	Dosah (m)
elektromagnetická	10^{-2}	∞
gravitační	10^{-38}	∞
slabá	10^{-13}	10^{-18}
silná	1	10^{-13} (hadrony) ∞ (kvarky)

Intermediální bosony - existují celkem tři intermediální bosony W^+ , W^- (elektricky nabitě) a Z^0 (neutrální), spinové kvantové číslo je 1. Na rozdíl od fotonu mají intermediální bosony nenulovou klidovou hmotnost, což souvisí s konečným dosahem slabé interakce.

Jedná se o velmi „těžké“ částice (jsou těžší než běžné baryony). W má hmotnost srovnatelnou s hmotností jádra rubidia, hmotnost Z^0 odpovídá asi hmotnosti molybdenu. Intermediální bosony byly

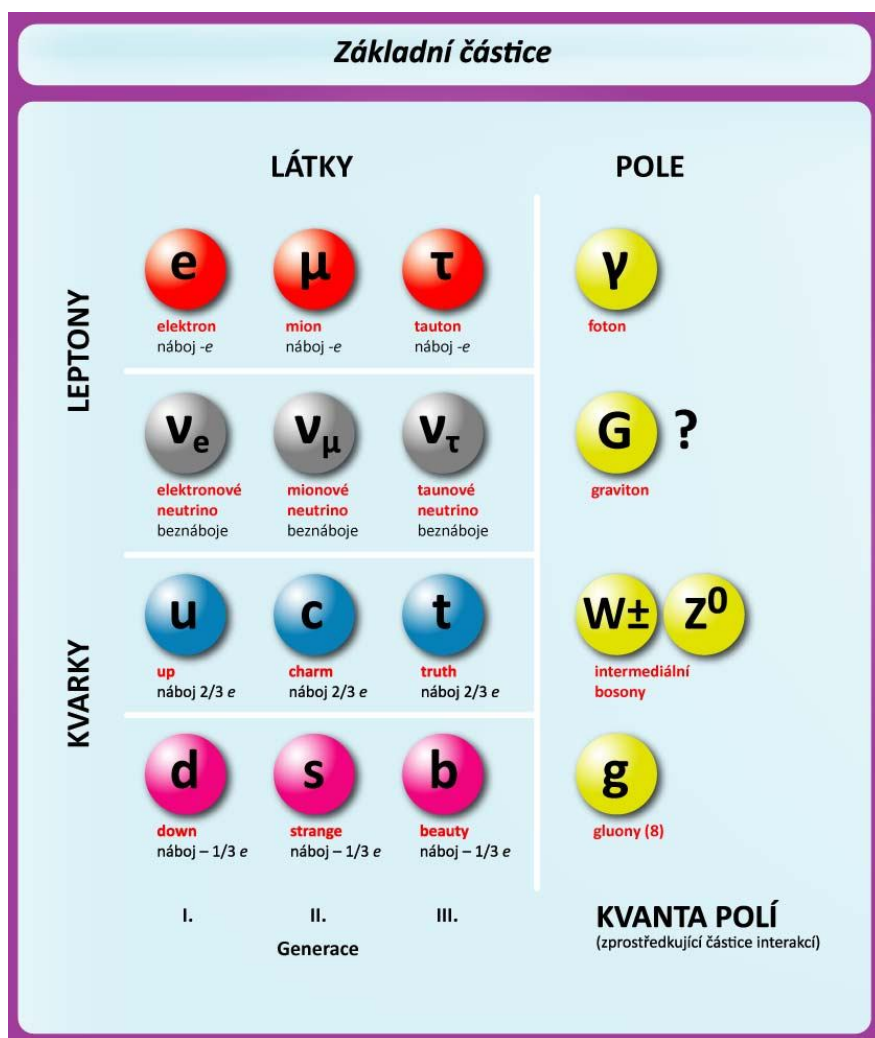
předpovězeny v rámci sjednocující teorie elektroslabé interakce. Již dříve rozpracovanou teorii prosadili S. Weinberg a A. Salam v letech 1967 - 68, matematické základy nové teorie vybudoval v roce 1971 holandský fyzik G. Hooft. Teorie elektroslabé interakce byla jednou z prvních úspěšných sjednocujících teorií.

Intermediální bosony byly experimentálně potvrzeny v CERNu (Evropské středisko pro jaderný výzkum) na jaře roku 1983 dvěma nezávislými vědeckými kolektivy, které vedli C. Rubbia a P. Darriulat. C. Rubbia a S. van der Meer získali za objev Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1984. Částice W byly identifikovány podle rozpadu na elektron a neutrino, částice Z rozpadu buď na pár elektron-pozitron nebo mion-antimion.

Gluony - spinové kvantové číslo 1, mají nulovou klidovou hmotnost a nesou tzv. barvu resp. barevný náboj. Existuje 8 možných hodnot barevného náboje. Nemají však elektrický náboj.

Stejně jako kvarky nejsou gluony pozorovány volné, prokázány jsou však nepřímo (shodou předpovědí kvarkové teorie s experimentem).

Systém základních částic:



Kvarky a gluony není možné od sebe odtrhnout, jsou uvězněny v barevně neutrálních částicích nazývaných **hadrony**. Toto uvěznění (vazba) je důsledkem mnohonásobné výměny gluonů mezi

barevně nabitými kvarky i gluony samými. Když se barevně nabité částice (kvarky, gluony) pokusíme oddělit, energie gluonového pole mezi nimi roste. Tato energie se nakonec přemění na další pár kvark-antikvark. Kvarky a antikvarky nakonec vytvoří hadrony, které pozorujeme. V přírodě existují dva typy hadronů: **mezony** $q\bar{q}$ a **baryony** qqq .

Fermiony:

Baryony qqq a antibaryony $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryony jsou hadrony s poločíselným spinem. Existuje okolo 120 druhů baryonů.					
Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

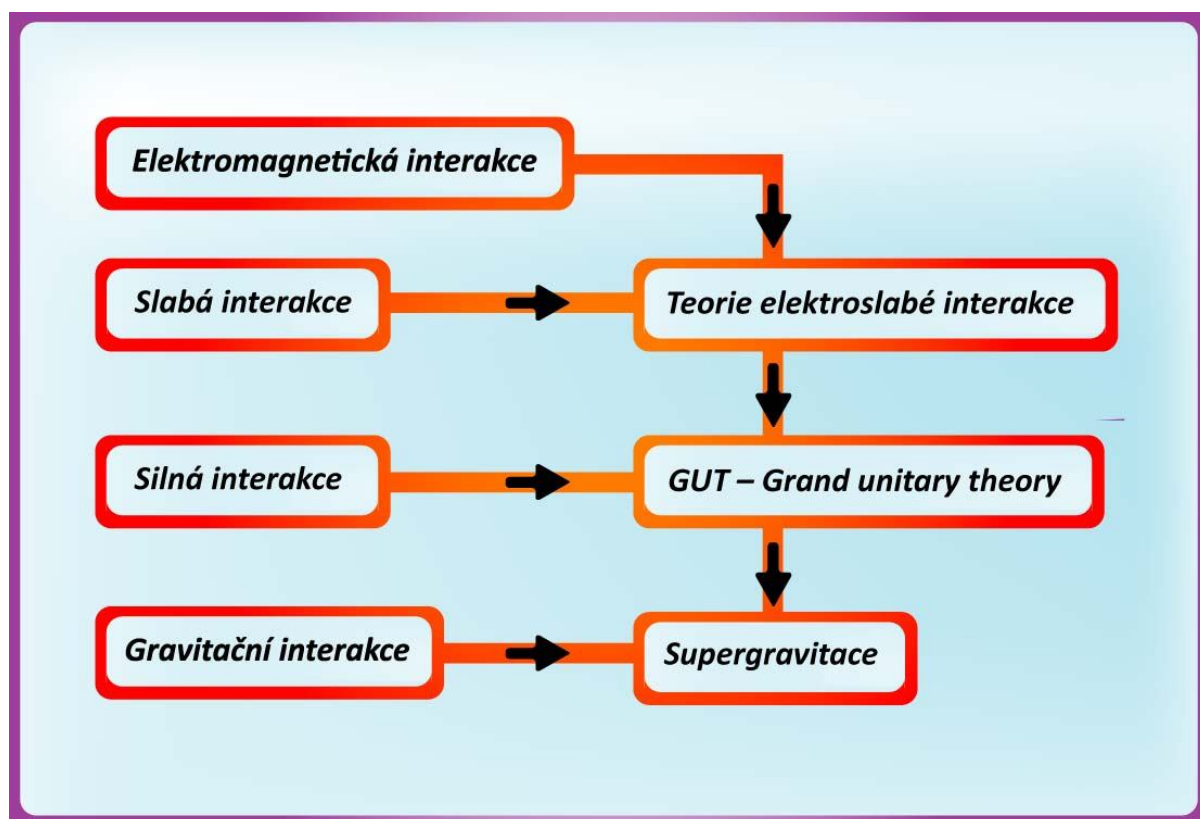
Bosony:

Mezony $q\bar{q}$					
Mezony jsou hadrony s celočíselným spinem (bosony). Existuje okolo 140 druhů mezonů.					
Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	ro	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-nula	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Ke každému typu **částice** existuje odpovídající typ **antičástice** (označená pruhem nad příslušným symbolem dané částice). Částice a antičástice mají **stejnou hmotnost a spin**, ale **opačné náboje**. Některé elektricky neutrální bosony (např. Z^0 , g a $h_c=cc$, avšak nikoli $K^0=ds$) jsou samy sobě antičásticí.

Sjednocující teorie:

Sjednocená elektroslabá spin=1		
Název	Hmotnost GeV/c ²	Elektrický náboj
γ foton	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.188	0
Silná (barevná) spin=1		
Název	Hmotnost GeV/c ²	Elektrický náboj
g gluon	0	0

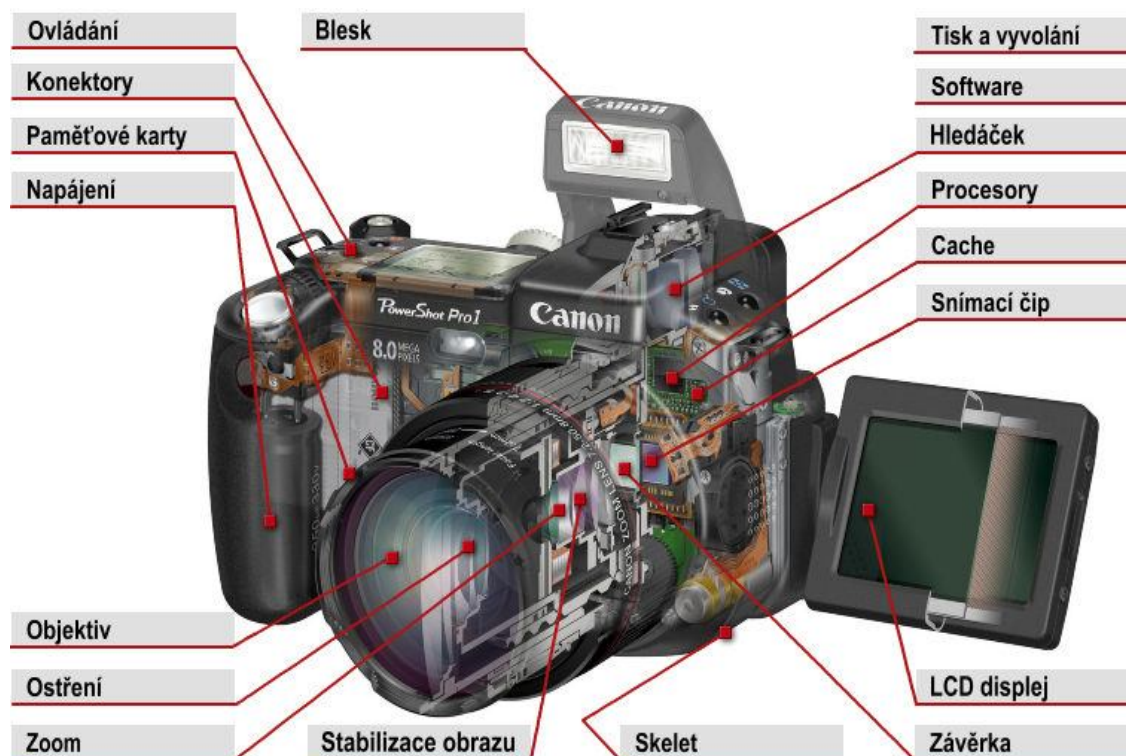


Zatím neúspěšné jsou

Neúspěšné jsou pokusy o jednotný popis všech interakcí (tj. včetně gravitace) v rámci *teorie supergravitace*. Nejnovější teorií, která by mohla být elegantním řešením těchto otázek, je *teorie strun*. Podle jedné z variant této teorie není náš časoprostor pouze čtyřrozměrný (tři prostorové souřadnice a čas), ale má rozměrů celkem deset. Ovšem kromě zmíněných čtyř rozměrů se všechny zbývající smrskly do uzavřených smyček neuvěřitelně malého rozměru. Základními objekty takového prostoru nejsou bodové částice, ale tzv. *struny*, které mohou kmitat pouze určitými způsoby (*módy*), z nichž každý odpovídá existenci určitého typu částic. *Teorie strun* se ovšem teprve rozvíjí, a tak se zřejmě ještě dlouho nedočkáme její definitivní podoby. Navíc příslušné rovnice je v řadě případů obtížné řešit, a proto zatím tato teorie dokáže vysvětlit méně experimentálních skutečností než (*klasická*) *kvantová teorie* a na ní založený *standardní model* částic a jejich interakcí.

Digitální fotoaparát

Digitální fotoaparáty můžeme rozdělit na digitální fotoaparáty kompaktní a digitální zrcadlovky. U digitálních zrcadlovek existují dvě kategorie tzv. pravé zrcadlovky, které skutečně odrážejí obraz z objektivu do hledáčku a nabízejí možnost výměny objektivů, a SLR-like - jakoby zrcadlovky, jejichž hledáček je vlastně miniaturní monitor (kromě něj však současně disponují i větším LCD displejem), které mají obvykle objektiv pevně zabudovaný. Oba typy digitálních zrcadlovek disponují větším výkonem i obrazovou kvalitou oproti digitálním kompaktním. Jsou samozřejmě mnohem dražší.



Obr. 24 Průřez digitálním fotoaparátem (www.azfoto.cz)

Části digitálního fotoaparátu:

Objektiv - soustava čoček, které zaostřují světelné paprsky odražené od objektu na světlocitlivou plochu (např. na CCD čip). Objektiv nám společně s vlastnostmi senzoru určuje úroveň detailů. Podle poměru mezi ohniskovou vzdáleností a úhlopříčkou obrazového formátu rozlišujeme objektivy **normální, širokoúhlé a teleobjektivy**. „**Normální**“ **objektiv** má ohniskovou vzdálenost, která je zhruba rovna úhlopříčce filmového políčka. U **širokoúhlých objektivů** požadujeme, aby minimální ohnisko bylo co nejkratší. Za **teleobjektivy** se obvykle považují objektivy, které mají ohniskovou vzdálenost větší než 100 mm. Současné fotoaparáty disponují pevnou ohniskovou vzdáleností přibližně od 14 mm do 1200 mm.

Clonové číslo - velikost clonového čísla je rovna podílu ohniskové vzdálenosti a průměru vstupní pupily. Čím je průměr vstupní pupily objektivu větší, tím je objektiv většinou kvalitnější.

Nejdůležitějším parametrem vypovídající o kvalitě objektivu je **světelnost objektivu**. Je to vlastnost objektivu, charakterizující jeho světelnou účinnost. Čím bude světelnost vyšší, tím více světla objektiv propustí a tím kratší čas budeme potřebovat ke správné expozici snímku. Světelnost se udává jako číslo F , např. $F\ 3,5$. Standardem je i pro malé průměry objektivu světelnost pod $F\ 3,5$; velice často pak i $F\ 2,8$ nebo i pod $F\ 2$.

Zoom (transfokátor) - zoomy jsou objektivy, u nichž může měnit ohniskovou vzdálenost, a tím i zorné pole, bez vlivu na ostrost. Poskytují možnost volby umístění objektu do záběru a jeho přiblížení, aniž by bylo nutné měnit polohu, ze které záběr pořizujeme.

Optický zoom říká, nakolik si můžeme objekt přiblížit oproti standardnímu zobrazení a umožňuje nám zvětšit vybranou partii fotografované scény. Nastavuje vzdálenosti mezi čočkami uvnitř objektivu. Optický zoom je omezen jen možnostmi objektivu.

Digitální zoom umožňuje dosáhnout téhož efektu jako optický zoom, ale digitální cestou – vytvořením digitálního snímku z menší části čipu CCD. Digitální zoomy nabízejí zpravidla větší zvětšení, avšak kvalita snímku se zvětšením klesá. Důvodem je to, že zatímco optický zoom promítá partii scény na celou plochu čipu CCD, a tím o ní zapisuje maximální množství informací, digitální zoom zvětšuje objekt bez toho, aby zároveň zvýšil objem zaznamenaných informací. Čím menší výřez zvětšuje, tím méně informací je pro záznam dostupných. Výsledkem je snímek s menším rozlišením.

Hledáček

LCD displej (elektronický hledáček) - LCD displej ukazuje přesně, co budeme fotografovat.

Zobrazovač LCD se skládá ze dvou destiček, mezi nimiž je kapalný krystal. Kapalně krystaly v displejích mění polarizaci procházejícího světla. Obě destičky jsou opatřeny polarizačními filtry, jejichž propustné roviny jsou navzájem pootočené o 90° . Dopadá-li světlo na LCD prvek, je nejprve na přední rovině polarizováno, pak se v kapalném krystalu polarizační rovina otočí o 90° a světlo projde vnitřním filtrem. Prvek LCD je neprůhledný.

Přední a zadní strana LCD je potažena průhlednou elektrodou. Přiloží-li se na tyto elektrody napětí, pootočí se kapalně krystaly tak, že potočení polarizační roviny procházejícího světla už není 90° . Nyní již nemůže světlo projít druhým filtrem, takže LCD se stane neprůhledným. My ale potřebujeme, aby se stal neprůhledným ne celý displej LCD, nýbrž jen zóny (segmenty) tvořící snímek, který má být zobrazen. Za tímto účelem se fotochemickou cestou vytvoří průhledné elektrody (z oxidu cínu) odpovídajícího tvaru. Po přiložení napětí na tyto vodivé plochy skleněného povrchu se stanou oblasti kapalně krystalu ležící pod nimi neprůhlednými.

Při výrobě LCD je nutno pamatovat na připojovací vodič vedoucí k hraně skla. Většinou se za zadní stěnou LCD prvku nachází reflexní fólie, jinak tam musí být nainstalován nějaký zdroj světla, např. osvětlovací fólie. Má-li displej pracovat při velmi nízkých teplotách, přilepí se na něj dodatečně vyhřívací fólie, protože kapalně krystaly se stávají při ochlazení „línými“, jakoby zamrzaly.

Displej LCD je řízen střídavým napětím 1,5-8 V o kmitočtu několika desítek, až stovek Hz. Střídavé napětí je nutné, protože stejnosměrným napětím se elektrody z oxidu cínu rozkládají. Toto střídavé napětí se vyrábí budícím integrovaným obvodem a není k němu zapotřebí žádné vlastní

napájení. Displeje LCD spotřebovávají velmi malý proud, protože kapalně krystaly potřebují jen napětí – kapalinou nemusí protékat žádný proud. Ve skutečnosti přece jen protéká nepatrný proud, protože mezi elektrodami existuje určitá kapacita, která pro střídavý proud představuje impedanci.

Optický hledáček tvoří soustava čoček, která umožňuje přes malé okénko na zadní stěně fotoaparátu vidět fotografovanou scénu tak, jak se promítne na čip CCD. Hlavní nevýhodou optických hledáček je skutečnost, že nezobrazují přesně okraje snímku, který hodláte pořídit. Jelikož hlavní objektiv a objektiv hledáčku jsou umístěny na přední stěně fotoaparátu každý jinde, obraz v hledáčku je mírně posunut. Z toho důvodu byla vyvinuta jednooká zrcadlovka (SLR).

Nejlepším systémem je TTL hledáček (through the lens=skrz objektiv), který používají jednooké zrcadlovky. Sestává se ze sklopeného zrcátka za objektivem před závěrkou, matnice, hranolu a výstupních čoček. Systém hledáčku u zrcadlovky pracuje tak, že světlo vstupuje do fotoaparátu a odráží se na skloněném zrcadle na zaostřovací matnici a poté do pětibokého hranolu vybaveného zrcadly, kde lze správně orientované zobrazení pozorovat pomocí hledáčku. Tento typ hledáčku umožňuje pozorovat objekt skrz objektiv, a proto můžeme detailně pozorovat stav zaostření a zoomu. Jako alternativa existuje systém, který se chová jako jednooká zrcadlovka, ale původní matnice je zde nahrazena LCD displejem. Takovéto řešení je dostatečné z hlediska objektu, ale rozlišení není kvalitní a neumožňuje přesné zaostření.

Závěrka je speciální zařízení, které se při snímání obrázku otevře na přesnou dobu (expozice), aby světlo scény prošlo na světlocitlivý snímač (senzor). U běžných digitálních fotoaparátů pracuje mechanická závěrka zpravidla zcela automaticky (AE) v rozmezí 1/4 až 1/800 sekundy, případně i kratší dobu nebo spolupracuje s elektronickým zařízením. Přístroje na bázi klasických zrcadlovek mají rozmezí expozice od 30 s až do 1/8000 sekundy.

Světlo pro omezení efektu červených očí

Při použití blesku může dojít k jevu zvanému efekt červených očí. Vzniká tehdy, jestliže se objekt dívá přímo do objektivu. Tomuto nežádoucímu jevu předchází tak, že speciální blesk vyše před hlavním bleskem tzv. předzáblesk, který zúží zornice očí.

Snímací čip

Snímací čip je klíčový prvek digitální fotografie. Nejčastěji se používá na bázi CCD nebo na bázi CMOS.

♦ CCD čip (*charge coupled device-obvod s nábojovou vazbou*)

Jedná se o malý čip citlivý na světlo, na který se zaostřuje světlo procházející objektivem. Je nejčastěji používaným obrazovým čipem. Pro zajímavost bylo v r. 1999 vyrobeno téměř 100 milionů snímačů, přičemž 90% z nich bylo typu CCD. Přestože je jeho výroba poměrně nákladná a jejich provoz je z hlediska elektronického náročný, jejich výhodou je čistý signál s nízkou hladinou šumu. CCD čip je tvořen soustavou polovodičových obvodů uchovávající náboje. U snímacích obvodů CCD je náboj vytvářen fotodiodami. Jestliže snímek naexponujeme, náboje se pod jednotlivými fotodiodami postupně přesouvají na výstup. Snímací obvody se vyrábějí jako řádkové nebo plošné (snímající celý obraz). Rozlišení fotodiód zajistí plošnou digitalizaci obvodu. U zařízení CCD je třeba odečítat náboje vybuzené na každé buňce *sériově* – jednu po druhé. Z toho plyne, že pro získání dat je zobrazení účinně skenováno po celé ploše. Navíc musí být odečítání dokončeno dříve, než je pole buněk připraveno pro další expozici. U sériového odečítání je rychlost procesu snímání jednotlivých obrázků omezena.

♦ CMOS čip (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*)

Jedná se o snímací obvody s odlišným čtením fotoelektricky generovaného náboje. U každé

diody je čtecí obvod propojený křížově a při čtení se odečítá jen velikost napětí, náboje se totiž nepřesouvají jako u obvodů CCD. Nedochází u nich k tzv. **přetékání náboje (blooming)**. Tato čidla se používají ve webkamerách, faxových přístrojích, digitálních kamerách mobilních telefonů. Ve srovnání s CCD čipem se vyznačují nízkou spotřebou energie, vyšší rychlostí, především však nižší cenou. Nevýhoda těchto snímačů spočívá v kvalitě sejmutého obrazu. Abychom dosáhli čistého signálu bez šumu, je nutné provést velké množství operací. Každý pixel je aktivní a má svůj vlastní tranzistor, který vyhlazuje signál mezi jednotlivými buňkami snímače a odstraňuje další potíže, které omezují efektivitu čipu.

Velikost senzoru se udává ve zlomcích palcové míry a myslí se tím úhlopříčka obrazového formátu. Protože činná plocha, tak i úhlopříčka formátu CCD senzoru je značně menší, než u políčka kinofilmu, je nutné jej umístit blíže k objektivu tak, aby senzor při otevření závěrky byl osvětlen v celé jeho ploše pod běžným úhlem promítání.

Rozlišení - je základním parametrem při výběru digitálního fotoaparátu a udává se v pixelech, resp. v megapixelech (ozn. Mpx.). Rozlišovací schopnost snímacích prvků je závislá na celkovém počtu efektivních buněk a jejich velikosti.

Rozlišení snímače je určujícím faktorem pro tiskový výstup fotografií. Pokud budeme chtít obrázky tisknout, zvolíme přístroj s větším rozlišením. Pomocí metody **interpolace**, která se provádí v grafických programech jako např. Adobe Photoshop nebo Corel Photopaint, je možné fotografie z digitálního fotoaparátu zvětšit. Existují **3 interpolační metody**. První z nich je interpolace nazvaná **Bližší soused**, u které se pro nové pixely pořídí kopie z hodnot přilehlých obrazových bodů. Tato metoda poskytuje však u zobrazení se souvislými tóny hrubé výsledky. U interpolace zvané **Bilineární** se hodnota nového pixelu vypočítává z hodnot příslušejících čtyřem nejbližším sousedním bodům, a to levého, pravého, horního a spodního. Tato metoda vytvoří výsledek, jež působí hladším dojmem. Nejlepší metoda interpolace je **Bikubická**, u níž je hodnota nového pixelu vypočítána z hodnot příslušejících všem osmi nejbližším sousedním obrazovým bodům.

Citlivost vyjadřuje míru citlivosti fotodetektoru reagovat na světlo, které na něj dopadá. Některé DF umožňují citlivost přepínat. Pokud zvýšíme citlivost, čili snížíme maximální úroveň elektrického náboje na buňce, které je přiřazena hodnota 255, snižuje se odstup od úrovně šumu, a tím horší výsledek obdržíme. Extrémně citlivé vrstvy pak vykazují velkou zrnitost. Jednotka citlivosti je ISO.

Barevná hloubka - jasové hladiny jednotlivých barevných kanálů R, G, B. Při osmibitovém zobrazení jasu jednoho kanálu to odpovídá 256 různým odstínům šedé. Teprve přiřazením barvy k tomu či onomu kanálu podle modelu RGB lze nahlížet na výstupní informace (z každého kanálu) jako na informace o úrovních základních barevných složek.

Snímky se u digitálního fotoaparátu ukládají na paměťové médium, které je buď **interní-vestavěné**, a nebo na vyjímatelné paměťové médium – **paměťové karty**

Fyzikální princip činnosti digitálního fotoaparátu

Světlo ze scény → optická soustava (objektiv) a clona → závěrka → světlocitlivý snímač (CCD, CMOS,...) → A/D převodník → paměťové médium (interní paměť, paměťová karta)

Pokud na snímač dopadne příliš velké množství energie, uvolní se velké množství nábojů, než je možné zachytit. Tyto náboje z přeexponovaných buněk přetečou do buněk okolních a ovlivní tak jejich hodnoty. Tento problém se projeví nepravidelným barevným okrajem, zpravidla červenomodrým, v okolí tmavě ohraničených jasných ploch. Popsaný problém se nazývá **Bloomig (přetečení)**.

Informace o barvě a jasu jsou vyjádřeny bitovým obsahem každého pixelu. Slovo **bit** vyjadřuje v jakémkoli digitálním systému pouze dvě hodnoty: 0 (nulu) nebo 1 (jedničku). **Jednabitová informace** může nabývat pouze 2 hodnot – černá (0) nebo bílá (1). **Dvoubitová informace** může nabývat jedné ze 4 hodnot 00, 01, 10, 11, což odpovídá bílé, černé a dvěma tónům mezi bílou a černou. Pro určitý bitový obsah pixelu odpovídá určitý počet tónů barvy. Uveďme si příklad:

- 1 bitový pixel $\rightarrow 2^1 = 2 \times 1 = 2$ tóny
- 2 bitový pixel $\rightarrow 2^2 = 2 \times 2 = 4$ tóny
- ...
- 8 bitový pixel $\rightarrow 2^8 = 256$ tónů

Pokud například budeme mít osmibitovou barevnou hloubku, tak sejmutý obrázek se bude skládat z pixelů, z nichž každý může mít tón o hodnotě 0 – 255. Z výše uvedeného vyplývá, že např. 0 (0000 0000) a 255 (1111 1111) jsou černá a bílá a zbylých 254 kombinací nám udává odstíny šedé nebo 254 barevných tónů postupujících od bílé k černé. Mluvíme pak o tzv. **8 bitové grafice**. **Jakost digitálního obrazu** je dána bitovou informací o pixelu, tzn. kolika tónu barev může nabývat, a počtem pixelů připadajících na jednotku plochy.

Fyzika v lékařství

Tab. 2 Nejběžnější přístroje a léčebné metody používané ve standardní nemocnici

Obor medicíny	Užívané přístroje
Interní medicína	Fonendoskop EKG Echokardiografie Dopplerovská echokardiografie Kardiostimulátor Defibrilátor
Chirurgie	Endoskopické techniky k provádění chirurgických výkonů. Rentgenová diagnostika.
Gynekologie a porodnictví	Ultrazvuk
Neurologie	CT Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI) EMG

	EEG
Ortopedie	CT Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI) Rentgen Monografie, Scintigrafie
Ušní,nosní a krční lékařství	Otoskop Endoskopická technika Laryngoskop CT MRI
Oční lékařství	Sonografie Laser Brýlová skla
Neurochirurgie	CT MRI Sonografie
Radioterapie (léčba zářením)	Gama zářiče (tzv.kobaltová bomba) Lekselův gama nůž Urychlovače částic (betatron)
Radiologie	CT Skiaskopie, skiagrafie Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI) Mamografie Ultrazvukové vyšetření
Plicní lékařství	CT MRI
Kožní lékařství	Laser Fototerapie (IČ, UV záření)
Onkologie	Radiační terapie CT MRI Ultrazvukové vyšetření
Nukleární medicína	Scintilační kamera PET, SPECT (Positron Emission Tomography, Single Photon Emission Computed tomography)

Rehabilitační medicína	Magnetoterapie Laseroterapie Ultrazvuková terapie Fototerapie Elektroléčba
------------------------	--

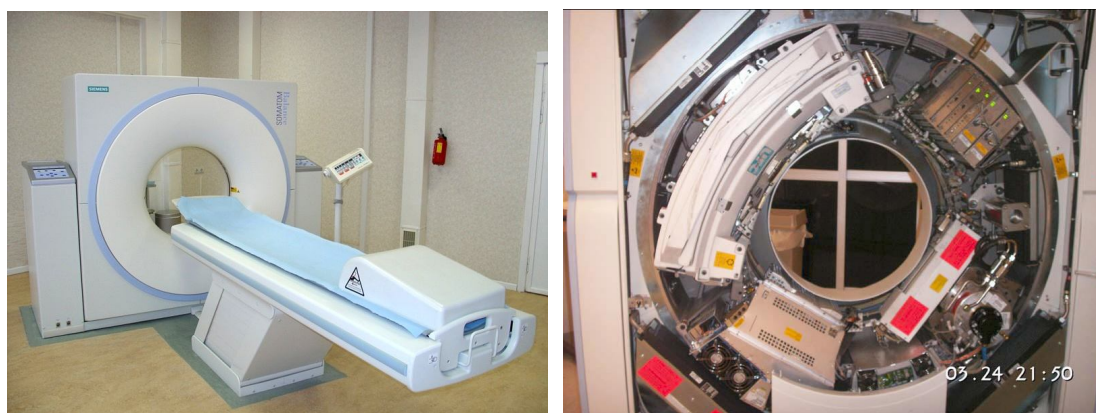
Počítačová tomografie (Computed Tomography - CT)

Pro přesnou diagnostiku nestačil pouze dvojrozměrný frontální snímek pořízený pomocí klasického rentgenového přístroje. Bylo zapotřebí nějakým způsobem získat obraz příčného (tomografického) řezu tělem člověka a případně rovněž trojrozměrný obraz orgánů.

Počítačová tomografie v podstatě kombinuje klasické rentgenové vyšetření s počítačovým systémem, který informace zpracovává.

Koncem 60. let 20. století, díky zavedení počítačů do lékařské diagnostiky se nezávisle na sobě se podařilo **A.M.Cormackovi** a **G.N.Hounsfieldovi** experimentálně zrekonstruovat tomografický řez reálného objektu. Hounsfield byl také první, kdo rozpoznal převratný význam tohoto objevu pro lékařskou diagnostiku. Roku 1979 byla Cormackovi a Hounsfieldovi za tento převratný objev udělena **Nobelova cena**.

Stavba počítačového tomografu



Obr. 25 Počítačový tomograf (CT) a pohled dovnitř portálu

V portálu, který tvoří tunel CT, je **rentgenová trubice** (šikmo vpravo dole), která zde slouží jako zdroj rentgenového záření. Na opačné straně rámu je umístěna **soustava detektorů** rentgenového záření, které registrují pokles intenzity záření po průchodu tělesnými orgány. V CT se k detekci rentgenového záření používají dva základní typy detektorů, a to ionizační a pevnolátkové.

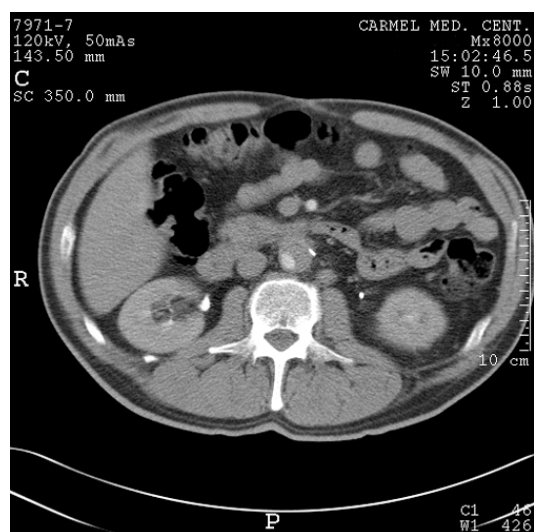
Ionizační detektor reprezentuje xenonová komora (stlačený xenon). V ní jsou umístěny dvě elektrody, anoda a katoda. Na elektrody je přivedeno napětí o hodnotě 500-1000 V. Dopadající rentgenové paprsky se během svého průletu komorou srazí s některým z xenonových atomů a vyrazí z některé z jeho elektronových drah jeden z elektronů. Tím se daný atom xenonu ionizuje, získá pozitivní náboj. Negativně nabitý vyražený elektron, tak i pozitivně nabitý iont xenonu vedou mezi elektrodami proud, který je přímo úměrný intenzitě rentgenového záření.

Druhá konstrukční varianta detektoru představuje užití kombinace **scintilačního krystalu** a **fotodiody**. Tuto možnost nebudeme podrobně rozebírat, jelikož její princip přesahuje středoškolské učivo.

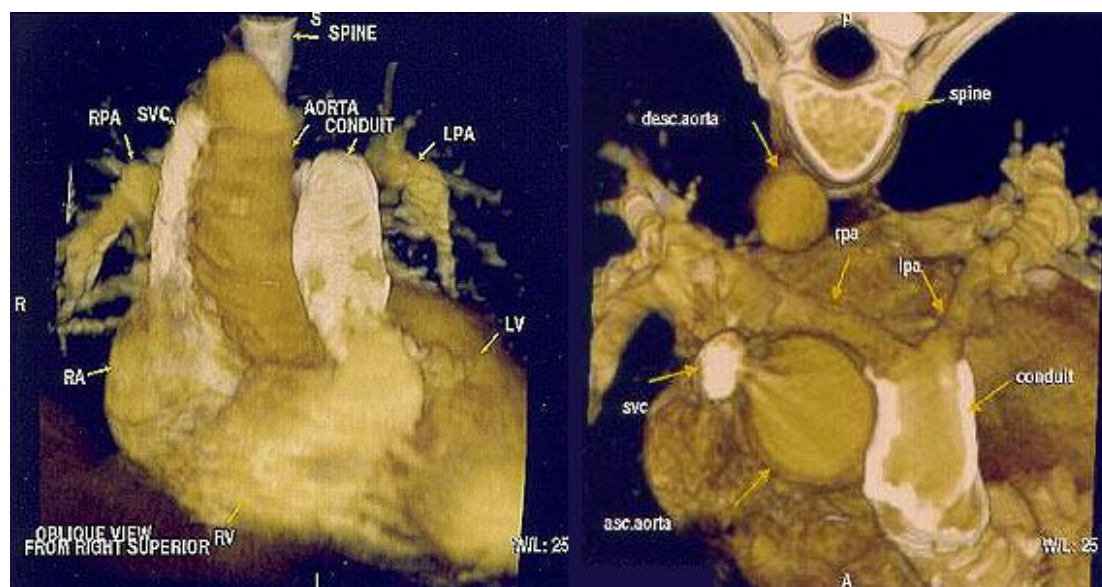
Princip klasické počítačové tomografie

Výpočetní tomograf pořizuje a zpracovává řádově tisíce až desetitisíce rentgenových obrazů získaných z projekcí skrz tělo pacienta. Pacient je zasunut na vyšetřovacím stole do vyšetřovacího tunelu, kde jej po kruhové dráze obíhá zařízení složené z rentgenky a soustavy detektorů a navíc je na stole v tunelu posouván. Reálný anatomický řez tělem pacienta je z detekovaných dat rekonstruován a zobrazen na monitoru přístroje. Jelikož jsou rentgenové paprsky tlumeny jednotlivými tkáněmi různě, umožňuje takto získaný obraz rozlišit jednotlivé tkáně jednu od druhé.

Nevýhodou vyšetření pomocí počítačové tomografie však zůstává, že je pacient vystaven rentgenovému záření.



Obr. 26 2D (planární) CT obraz



Obr. 27 3D (trojrozměrná) rekonstrukce CT obrazu

Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI)

MRI je lékařská diagnostická metoda, která je nezastupitelná při řadě vyšetření (např. onkologických, neurologických a řadě dalších). Tato metoda nemá na rozdíl od počítačové tomografie žádné nežádoucí účinky. K získání obrazu tkání orgánů pacienta se v případě MRI využívá účinku magnetického pole a elektromagnetického záření v oblasti frekvencí radiových vln.

Tato metoda prošla od svého prvního použití v lékařské diagnostice **R. Damadianem** a **P.C. Lauterburem** v sedmdesátých letech bouřlivým vývojem. V roce 2003 byla udělena **Nobelova cena** za přínos v oblasti využití magnetické rezonance **P. Lauterbuovi** a Britovi **P. Mansfieldovi**.

Zařízení pro zobrazení magnetickou rezonancí

Mozkem celého přístroje je **výkonný počítač**, který řídí všechny procesy během vyšetření a rekonstruuje v reálném čase celé série snímků. Centrální jednotkou je **silný magnet**, který vytváří homogenní magnetické pole. V závislosti na požadované intenzitě pole je možno užít tří typů magnetů, a to permanentních, supravodivých a odporových. Permanentní magnety jsou vhodné pro přístroje s požadovanou intenzitou magnetického pole do hodnoty 0,3 Tesla. Mají obrovskou hmotnost, ve srovnání s ostatními dvěma typy však nízkou pořizovací cenu. K vyvolání supravodivosti (tj. stavu, kdy elektrický odpor látky klesá téměř na nulu), je třeba extrémně nízké teploty kolem -270°C , které lze dosáhnout užitím velice nákladného kapalného helia. Nákladnost zařízení je avšak kompenzována možností pracovat s magnetickým polem v rozmezí hodnot od 0,3 až 2 Tesla. Odporové magnety pracují na elektromagnetickém principu a díky vysoké spotřebě elektrického proudu je jejich provoz značně nákladný. Umožňují pracovat s polem o magnetické indukci do 0,5 Tesla.

Třetí důležitou součástí systému jsou **radiofrekvenční cívky**, které slouží jednak jako antény vysílající elektromagnetický signál a jednak jako nejružnější modifikátory magnetického pole.

Základní princip MRI

V lidském těle je velké procento vody. **Magnetická rezonance** je schopna měřit, jak se vychylují osy protonů v atomech vodíku v molekulách vody. Proto je tato metoda vhodná pro snímkování tkání a třeba i měkkých částí kloubů, ale zcela nevhodná pro snímkování kostí.

K vysvětlení principu MRI slouží různé kvantové i klasické modely. Ty však v této práci nelze použít, protože jsou zcela nad rámec znalostí studentů středních škol. Pro jednoduchost si představme, že je lidské tělo složeno z malých, chaoticky uspořádaných a různě orientovaných magnetků. Pacient je umístěn v tunelu, ve kterém je ve všech místech magnetické pole o stejné intenzitě. „Magnetky v těle pacienta“ se musí zorientovat stejným směrem. K tomu, aby bylo možné zmapovat lidskou tkáň, je třeba magnetky nějakým způsobem vybudit, vychýlit z jejich polohy. K vybudení „magnetek“ dochází vyzářením radiofrekvenčního impulsu, radiofrekvenční signály pak vysílá další vrstva cívek v přístroji. Po odeznění tohoto impulsu se magnetky v těle vrací do původní polohy určené magnetickým polem v tunelu. Při tomto návratu pak vysílají velmi slabé elektromagnetické signály. Radiofrekvenční cívky se v tuto chvíli stávají radiofrekvenčními anténami a zachytávají signály z těla.

V tunelu, zaplněném magnetickým polem, se periodicky střídá operace:

1. **vysílání signálů**,
2. **vybudení protonů v atomech vodíku** (v našem případě magnetek),

3. **vypnutí radiofrekvenčních cívek** – cívky se stávají anténami,
4. **cívky přijímají energii magnetek vracejících se do svých původních poloh.**

Tento cyklus trvá zhruba desítky milisekund.

Výstupem ze snímkování je pouhý shluk teček. Nyní přichází na řadu výkonné počítače se speciálními programy, které vytvoří reálný obraz na základě takto změřené hustoty protonů v příslušné tkáni.

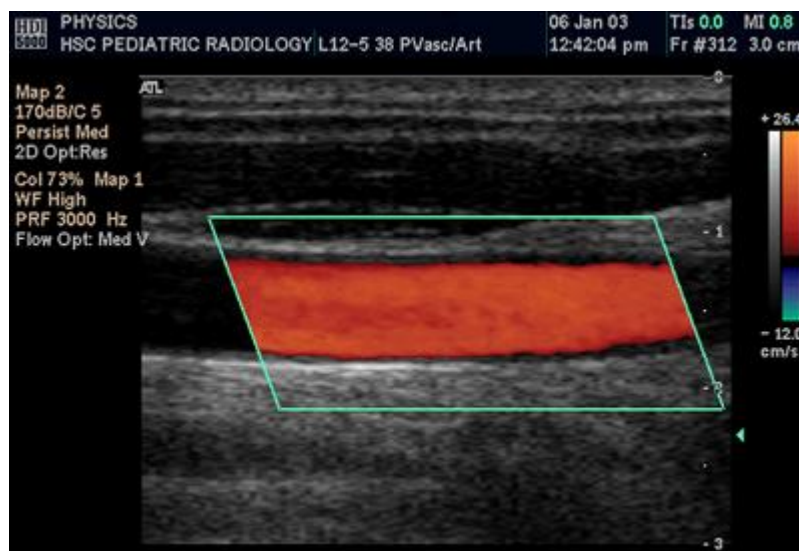
Rizika vyšetření pomocí MRI

V okolí MR-systému se nachází velmi silné magnetické pole, a to u permanentního magnetu neustále a u supravodivého a odporového magnetu po dobu vyšetření. Každý kovový předmět je v magnetickém poli vystaven silám, které jsou úměrné intenzitě tohoto pole. Proto je nutné se před začátkem vyšetření ubezpečit, že pacient nemá v těle žádné kovové předměty (např. kovové protézy). Malé kovové předměty vedou ke znehodnocení diagnostického snímku, větší pak mohou být z těla pacienta působením magnetického pole dokonce i vytrženy.

Dopplerovská echokardiografie

Dopplerovská echokardiografie je součástí ultrazvukového vyšetření srdce. Již z názvu lze vyčíst, že je tato metoda založena na **Dopplerově jevu**.

Příslušné ultrazvukové přístroje, založené na Dopplerově principu, dokáží měřit rychlost proudění krve, a tím i zúžení vyšetřované cévy. V tomto případě jsou pohybující se tkáně krevní elementy (červené krvinky, bílé krvinky a destičky), které jsou unášeny v krevním řečišti. Pohybem těchto krevních částic dochází k frekvenčnímu posunu a odražené ultrazvukové vlny mají frekvenci změněnou v závislosti na směru a rychlosti jejich pohybu, viz. Obr. 10. Tímto způsobem lze měřit rychlost proudění krve přes srdeční chlopně. Tato metoda je nebolestivá a diagnosticky cenná.



Obr. 28 Stanovení průtoku krve v karotidě s využitím ultrazvuku dopplerovskou metodou

Lekselův gama nůž



Obr. 29 Lekselův gama nůž

Gama nůž je přístroj, který při své činnosti využívá úzké svazky gama záření, tj. elektromagnetické záření s vlnovými délkami kratšími než 300 pm. Lze jej zeslabit silnou vrstvou materiálu obsahující jádra těžkých prvků, např. olova. Záření gama se neodchyluje v elektrickém ani magnetickém poli.

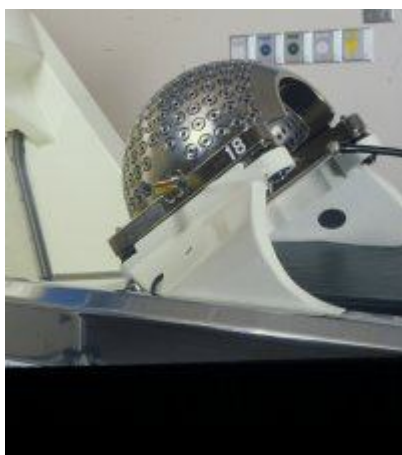
Vývoj „gama nože“

V roce 1949 bylo vytvořeno Leksellovo zařízení (tzv. stereotaktický rám), které umožňovalo precizovat místo, přes které se vedla příslušná terapie. O dva roky později bylo poprvé vyzkoušeno rentgenové záření jako chirurgický nástroj pro otevřené stereotaktické procedury. Tak bylo možné ničit patologické struktury v hloubce mozku. V průběhu 50. a 60. let hledal prof. Lars Leksell optimální zdroj záření. Byly zkoušeny lineární urychlovače a spousta dalších zdrojů, ale ani jeden z nich nevyhovoval daným podmínkám. V roce 1968 byl poprvé použit ^{60}Co . Postupem času účinek gama nože zpřesnily přístroje umožňující zobrazení, jako např. CT a MRI.

Konstrukce gama nože

Základními částmi přístroje je radiační jednotka, kolimátorová helmice a stereotaktický koordinační rám společně s počítačovým systémem. Rozeberme si nyní tyto části podrobněji.

Radiační jednotka obsahuje 201 zdrojů záření ^{60}Co . Každý z 201 kobaltových zdrojů je tvořen sloupcem 11-13 kobaltových disků. Poločas rozpadu ^{60}Co je 5,26 roků. Použité zdroje záření je třeba asi po 10 letech vyměnit, protože by ozařovací časy byly neúměrně dlouhé.

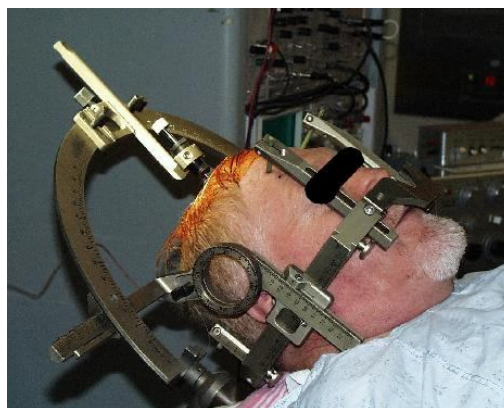


Obr. 30 Kolimátorová helmice Lekselova gama nože

Kolimátorová helmice je kovová helmice, která je jakoby provrtána 201 otvory, které jsou umístěny pravidelně po celé její ploše. Tyto otvory slouží jako přístupové cesty paprsků do nitra helmice, kde se nachází ozařovaný objekt, tedy např. nádor v lebeční dutině nemocného. Svazky paprsků se sbíhají do malého cílového objemu tkáně a mimo tento ozařovaný objem je obdržena jen velmi malá dávka záření, což chrání okolní zdravou tkáň. Pro zajímavost si uveďme, že její hmotnost je přibližně 130 kg.

Stereotaktický rám slouží k přesnému zacílení paprsků do konkrétního místa. Pomocí něj lze dosáhnout překřížení svazků paprsků, které jsou vedeny z různých směrů ve zvoleném ohnisku.

Obr. 31 Stereotaktický rám Lekselova gama nože



K radiační jednotce je připojen **operační stůl**, který je opatřen pohyblivým lůžkem, na němž leží pacient, s hlavou umístěnou v kolimátorové helmici. Helmice je upevněna k lůžku podpěrami, v nichž jsou umístěny reproduktory, pomocí nichž lze komunikovat během ozařování s pacientem. Celý gama nůž je ovládán z kontrolního panelu v přilehlé místnosti.

Defibrilátor

Vymeze si nejprve pojem fibrilace. Nejčastější příčinou zástavy srdce je velmi rychlé a nepravidelné míhání srdečních komor, tzv. **komorová fibrilace**. Tato porucha vede k zhroucení oběhu krve a ztrátě vědomí. Tuto nebezpečnou arytmiu lze zrušit během okamžiku pomocí velmi silného elektrického impulsu, který chaotickou elektrickou aktivitu srdce zastaví. Poté se srdce může rozběhnout svým přirozeným rytmem. K zastavení fibrilace se užívá přístroj, nazvaný **defibrilátor**.



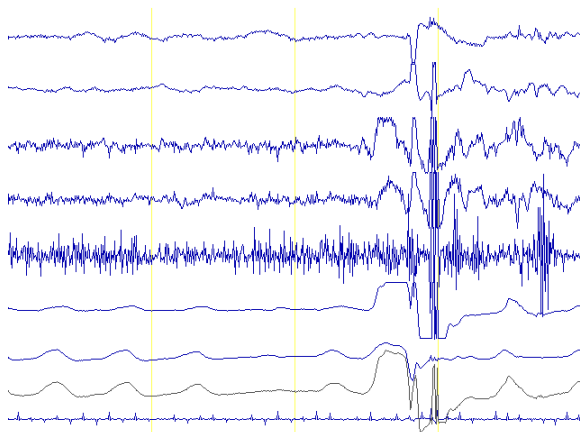
Obr. 32 Příruční defibrilátor

Defibrilátor je obvykle přenosný, skládá ze zdroje elektrického napětí, obrazovky, na které se zobrazuje srdeční rytmus a z dvou oválných elektrod s izolovanými dráždly, které se přikládají na hrudník. K zlepšení kontaktu s kůží se tyto elektrody potírají gelem. Těmito elektrodami se snímá z povrchu těla EKG signál k určení druhu arytmie, současně mezi nimi proběhne po aktivaci defibrilátoru výboj. Defibrilátor mohou obsluhovat pouze lékaři. Tímto přístrojem jsou vybaveny vozy rychlé záchranné služby, je též k dispozici na příjmových ambulancích nemocnic a jednotkách intenzivní péče.

Elektroencefalografie (EEG)

EEG je vyšetřovací metoda, která slouží ke sledování činnosti mozku. Užívá se v situacích, kdy se předpokládá jiná než normální činnost mozku, a to především po mozkové příhodě, otřesu a úrazech mozku a řadě dalších.

Elektroencefalograf je přístroj, který se skládá ze snímacích elektrod a procesoru. Na rozdíl od CT vyšetření, při kterém se mozek zobrazí tak, jak skutečně vypadá, elektroencefalograf zapisuje křivku na papír. Tato křivka pak zachycuje aktuální mozkovou činnost.



Obr. 33 EEG záznam mozkové aktivity

Přístroj snímá elektrické potenciály pomocí elektrod připevněných na povrch hlavy. Tyto potenciály vznikají při činnosti mozku. Informace po zesílení zpracovává a zapisuje křivku na papír nebo obrazovku. Zpravidla se současně zobrazuje i křivka EKG. To znamená, že je současně sledována i činnost srdce. Vzniklé EEG - křivky mají charakteristický vzhled. Jinou křivku zobrazí přístroj ve spánku a při denní aktivitě.

Aktivita mozku v bdělém stavu a ve spánku má určitou frekvenci vln. Při změnách v mozkové tkáni dochází i k charakteristickým změnám obrazu křivky. Na základě změn v určitých oblastech dané polohou elektrod má lékař možnost lokalizovat místo onemocnění. Vyšetření patří k nenáročným a velmi významným testům činnosti mozku.

Elektromyografie (EMG)

Elektromyografie patří mezi vyšetřovací techniky, které napomáhají lékařům hodnotit stav pohybového systému. K vlastnímu vyšetření se užívá přístroj zvaný **elektromyograf**. Ten je opatřen elektrodami, zesilovačem, procesorem a obrazovkou.

Při EMG vyšetření se měří rychlost vedení vzruchu ve stimulovaném nervu a velikost elektrické odpovědi na stimulaci ve svalu. Jednoduše řečeno, přístroj zjišťuje, jak rychle vedou nervy vzruch do svalu. Výsledkem vyšetření je pak EMG křivka. Pro EMG vyšetření jsou užívány dvě techniky, a to **konduktivní a jehlová technika**.

Konduktivní technika se provádí za pomoci stimulační a snímací elektrody. Vyšetření mohou zjistit např. poruchu vedení nervem. Naměřené hodnoty pak mohou ukázat poškození vyšetřovaného nervu např. úrazem, tlakem či toxickými látkami.

Při této technice je stimulační elektroda připojena na zdroj elektrických pulsů a snímací elektroda na záznamové a zobrazovací zařízení. Prakticky to znamená, že lékař připevní na tělo pacienta dvě povrchové elektrody. Jednou ze dvou elektrod se příslušný nerv stimuluje velmi malým elektrickým impulsem. Stimulace vyvolá záškub ve svalu zásobeném stimulovaným nervem. Snímací elektroda je obvykle povrchová elektroda, která je připevněna na kůži. Zaznamenává změny elektrického potenciálu ve svalu. Ty se přenášejí do procesoru a zpracovávají ve výslednou EMG křivku.

Při **jehlové technice** se jedna elektroda, která je tenčí než běžná injekční jehla, zanoří přímo do svalu. Změnou polohy jehly ve svalu se zjišťuje její optimální poloha pro záznam. Další postup je již stejný. Tento typ vyšetření je přesnější než předcházející.

Metody nukleární medicíny

Nukleární medicína je lékařským oborem, který se zabývá použitím **radiofarmak** (látek, jejichž součástí jsou radionuklidy) pro diagnostické a terapeutické účely. Radiofarmaka jsou podávána nejčastěji injekčně do žíly.

Nukleární medicína začala v 50. letech 20. století užívat speciální zařízení zvané „**Gama kamera**“. Jak již bylo zmíněno, vyšetření metodami nukleární medicíny jsou založena na aplikaci radiofarmaka. **Radiofarmaka** mají krátký poločas rozpadu a jejich aktivita rychle poklesne na zanedbatelnou úroveň. Radionuklidy jsou vychytány orgány těla a emitují gama záření, které je detekováno gama kamerou.

Gama kamera se skládá ze **scintilačního detektoru** (např. krystal jodidu sodného aktivovaný thaliem), vyhodnocovacího zařízení a záznamového zařízení.



Obr. 34 Rotační Gama kamera

V detektoru je tenký scintilační krystal NaI(Tl), tj. krystal jodidu sodného aktivovaný thaliem, o tloušťce 9,5 mm. Ke krystalu je pak připojen systém fotonásobičů (u novějších přístrojů více než 50). Před krystalem je umístěn kolimátor, kterým fotony gama záření procházejí. U scintilačních kamer se používají různé typy kolimátorů zhotovených z olova. Kolimátory se rozlišují podle počtu otvorů, podle energie záření gama radionuklidů a podle řady dalších vlastností.

K moderním scintilačním kamerám se připojuje počítač, který řídí sběr dat, jejich uchování,

zpracování a zobrazování.

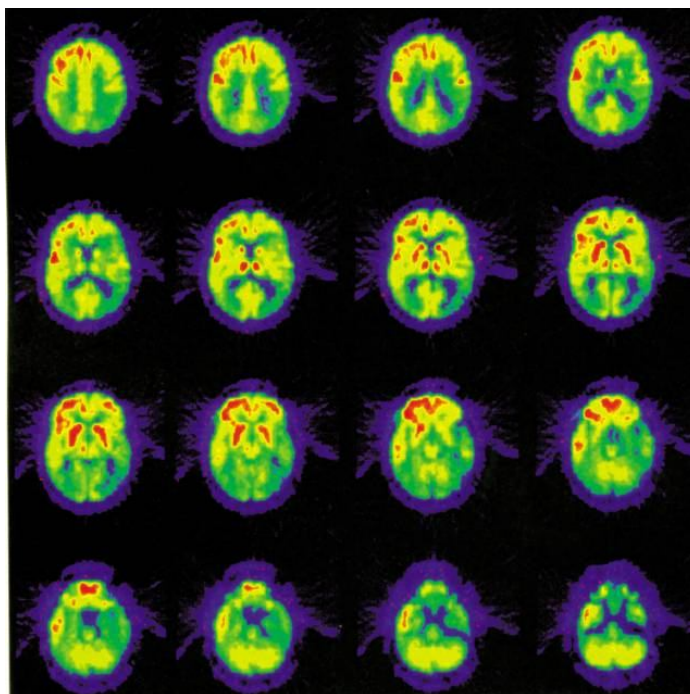
Jako **radioaktivní substance** se používá Technecium (Tc) nebo látky, nacházející se v přirozené formě v lidském těle (např. I).

Je-li zdroj ionizujícího záření mimo tělo pacienta, pak je v současné době nejužívanějším zdrojem **lineární urychlovač**. Ve vakuové trubici je elektron urychlen přepólováním cívek a poté narazí na wolframovou desku, přičemž se uvolní fotony brzdného gama záření (podobně jako v rentgence). Vycházející svazek fotonů lze libovolně upravovat filtry a kolimátory. Pokud není zařazena wolframová deska, uvolňují se přímo urychlené elektrony (elektronový svazek).

Dalším zdrojem jsou **radionuklidové ozařovače**. Nejpoužívanějším radionuklidem je ^{60}Co , uložen ve stínícím pouzdře z wolframu a olova (lidově je zvaný "**kobaltová bomba**"). Kobalt-60 emituje gama záření (fotony). Vycházející svazek záření lze také dále upravovat filtry a kolimátory. Kobaltové zdroje (201 zdrojů) má i Leksellův gama nůž.

Pozitronová emisní tomografie (Positron Emission Tomography - PET)

PET je jednou z nejnovějších metod nukleární medicíny. Umožňuje pořizování dat z řezů orgánů těla a jejich rekonstrukci, podobně jako CT. PET však přináší specifická data, která vypovídají o funkci orgánů. PET zobrazení pracuje s izotopy, při jejichž přeměně dochází k vytváření pozitronů (rozpad $^{+}\beta$). Když se srazí elektron a pozitron, dojde k anihilaci, tj. k jejich zániku, a přitom se uvolní dva fotony gama záření. Toto záření je vyzařováno z těla pacienta a průběžně je detekována a počítačově vyhodnocována poloha zdroje gama záření. Z této informace pak počítač vyhodnocuje snímky řezů nebo obrazy vyšetřovaných orgánů. Protože pozitronovými zářiči jsou biogenní prvky (např. uhlík, vodík, kyslík aj.), je tato zobrazovací technika schopna zobrazit rozložení dějů, které charakterizují buněčné procesy. Pomocí této metody lze např. lokalizovat místa spotřeby glukózy v těle pacienta. Toho lze využít při průkazu nádorů a jejich metastáz vzhledem k tomu, že v těchto tkáních je velmi intenzivní kumulace glukózy.



Obr. 35 Aktivita mozku snímaná metodou PET

Jednofotonová emisní tomografie (Single Photon Emission Tomography - SPECT)

Slovo „jednofotonová“ v názvu znamená, že se tento postup provádí pomocí zářičů gama běžně používaných pro klasické zobrazování pomocí scintilační kamery. Slovo „emisní“ označuje fakt, že se registruje záření gama emitované radioaktivní látkou nacházející se v těle pacienta, čímž se SPECT odlišuje od CT, při níž systém detektorů registruje rentgenové záření z rentgenky po jeho průchodu tělem.

Moderní **přístroje pro SPECT** vyšetření využívají většinou dva nebo tři detektory. Při samotném vyšetření se pak detektory otáčí kolem těla pacienta buď po malých úhlech nebo plynule a získané obrazy se ukládají do počítače. Z velkého počtu obrazů se pak rekonstruuje trojrozměrný obraz distribuce radioaktivní látky ve vyšetřované oblasti. Systémy SPECT mohou pracovat nejen v tomografickém režimu, ale lze pomocí nich provádět i klasická planární vyšetření. Metoda SPECT je levnější než PET, proto je dostupná ve všech větších nemocnicích.

Terapeutické aplikace v nukleární medicíně

Nedílnou součástí nukleární medicíny jsou i terapeutické aplikace, při nichž se využívají radionuklidy, které emitují záření β , tzn. elektrony. Střední dolet částic tohoto záření v měkkých tkáních u nejčastěji užívaného radionuklidu ^{131}I (izotop jódu) je zhruba 0,5 mm. Intenzita ozáření tkání je tak mimo cílový orgán velice nízká. Terapie pomocí tohoto radionuklidu se podává u pacientů se zvýšenou funkcí štítné žlázy. Dalšími vhodnými indikacemi pro nukleární medicínskou terapii je terapie bolesti při mnohočetných metastázách ve skeletu a terapie některých kloubních postižení.

Radiační riziko, spojené s diagnostickými výkony nukleární medicíny, je obdobné jako např. při vyšetření pomocí rentgenového záření, jelikož většina radiofarmak užívá zářiče, které mají nejenom krátký poločas rozpadu, ale navíc se tato radiofarmaka velmi rychle vylučují z těla močí.

Endoskopie



Obr. 36 Flexibilní (ohybný) endoskop

Endoskop se do dutin zavádí přirozenými otvory, např. ústy, močovou trubicí, řitním otvorem apod. nebo otvory pro tento účel uměle vytvořenými. V současné době se jako zdroje světla používají halogenové nebo xenonové zdroje o výkonu 150W.

Pomocí endoskopu se provádí řada vyšetření, konkrétně lze hovořit o **gastroskopi**, vyšetření žaludku, **kolonoskopii**-vyšetření tlustého střeva, **laparoskopii**-vyšetření břišní dutiny a orgánů v ní uložených a řadě dalších.

Endoskopická zařízení kromě „světelného a zobrazovacího kanálu“, tvořeného optickými vlákny, obsahují „pracovní kanál“, kterým je možné provádět operační zákrok.

Budoucnost - miniaturizace a robotizace endoskopických výkonů.

Rehabilitační a fyzikální medicína

(„habilis“ znamená schopný a „re“ znamená znovu)

Magnetoterapie

Působením pulzního magnetického pole dochází k ovlivňování tkání lidského těla na buněčné úrovni, což může vést k potlačení, případně vymizení některých zdravotních potíží.

Magnetoterapie je nejstarší formou fyzikální terapie. Již Etruskové poznali léčebnou sílu kamene nazývaného magnetovec. Asi před 100 lety byly přihlášeny první patenty pro přístroje magnetické terapie. Aparatury ale byly nevhodné pro praktické nasazení, přestože podávaly velmi dobré medicínské výsledky.

Princip a užití magnetoterapie

Pulzní magnetická pole indukují slabé elektrické proudy ve tkáni. To znamená, že jde o určitý druh elektroléčebné procedury, která má hlavní výhody v tom, že není možné lokální poškození elektrickým proudem, jako u přímých kontaktních elektroléčebných metod. Magnetické pole prostupuje danou tkání rovnoměrně, tzn. každou buňkou. Ionty, které jsou obsaženy v buňkách, jsou magneticky ovlivnitelné, což způsobuje aktivizaci každé buňky. Je známo, že při různých onemocněních se mění povrchové potenciály buněk v organismu oproti normálním hodnotám. Dochází tak k zvyšování propustnosti mezibuněčných membrán a tím k zvýšenému prokrvování, okysličování a lepšímu odvádění zplodin v exponované tkáni.

Použití magnetoterapie v důsledku jejího širokého působení na lidský organismus je z lékařského hlediska velmi rozsáhlé. Magnetoterapie se s úspěchem používá ve sportovní medicíně, interní medicíně, urologii, gynekologii, ortopedii, pediatrii, dermatologii, chirurgii, neurologii, očním lékařství a v řadě dalších lékařských oborech..

Elektroléčba

Základ elektroléčby položil sám **Luigi Galvani**. Každý z nás si vzpomene na Galvaniho pokus s žabími stehýnkami, kdy dráždil jejich nervosvalový aparát galvanickým (stejnosemerným) proudem. Již ve starém Egyptě použili k léčbě částečně ochrnutých končetin speciální druh elektroléčby, a to výboje rejnoka elektrického.

Dnes se v elektroléčbě používají proudy stejnosměrné i střídavé o různých frekvencích. Velikost proudu se nastavuje tak, aby pacientovi nepůsobila nepříjemné pocity.

Nanotechnologie

Vymezení pojmu nanotechnologie

Nanotechnologie patří do oblasti nanosvět, do oblasti atomů a struktur o rozměrech 1 – 100 nm. Soustřeďuje poznatky klasických vědních oborů (fyzika, chemie, biologie) a využívá je pro tvorbu užitečných materiálů, struktur a zařízení, které mají v důsledku svých velmi malých rozměrů zcela nové a mnohdy nečekané vlastnosti.



Richard Philips Feynman (1918 – 1988), Stál u zrodu nanotechnologií a na jeho počest je každoročně udělována Feynmanova cena za přínos v tomto oboru.

O dvacet let později na tyto názory navázal K. E. Drexler. Ve svém článku o molekulárním inženýrství předložil představu výroby molekulárních zařízení, jejichž základní stavební kameny by tvořily proteiny. Termín nanotechnologie byl poprvé použit v roce 1974 Taniguchim v souvislosti s výrobními způsoby, jimiž lze vyrobit součástky s přesností jednotek nanometrů. Ve druhé polovině 20. století probíhaly výzkumy orientované na poznání způsobů, jakými příroda vytváří rozmanité struktury, tedy na jevy probíhající na atomové a molekulární úrovni.

Aplikace nanotechnologií

Nanotechnologický výzkum se dá rozdělit do několika základních oblastí:

• *Materiálové inženýrství*

Zde patří především výzkum a vývoj nových druhů materiálů. V současné době se jedná o nejvíce rozvíjející se oblast nanotechnologií. Některé výsledky základního výzkumu již opustily laboratoře a uplatňují se v praxi (např. nanotextilie s velmi dobrými filtračními vlastnostmi, které se uplatní především v lékařství, antibakteriální a fungicidní ponožky s nanočásticemi stříbra). Nanočástice (zejména Fe_2O_3) mají uplatnění prakticky ve všech oborech od lékařství (např. nové filtrační metody, detoxikace tekutin a krve, kontrastní činidla pro metody vyšetřování magnetickou rezonancí), chemický průmysl (např. katalyzátory chemických reakcí), přes automobilový průmysl (např. zpevnění pneumatik, vylepšení airbagů) a technický průmysl (např. nanopigmenty do průmyslových barviv, přísady do barevných skel, přísady do kosmetických přípravků s UV filtry, počítačové paměti, magnetická záznamová média, laky s reflexními vlastnostmi, otěruvzdorné nanovrstvy) až po ochranu životního prostředí (např. čištění podzemních vod, detoxikace území)

• *Nanobiotechnologie* (aplikace v medicíně)

Zde se jedná zejména o nové diagnostické metody (např. použití fluorescenčních částic pro odhalení nádoru, analýza genetických a infekčních chorob, výzkum léčiv, užití magnetických nanočástic k urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti při analýze tělních tekutin). Dalšími oblastmi zájmu jsou cílené dopravy léků, nové metody likvidace nádorových onemocnění či molekulární analýza.

• *Informační technologie* (nanooptika, nanoelektronika)

Informační technologie patří k rychle rozvíjející se oblasti nanotechnologií. V nanoelektronice se

výzkum soustřeďuje na tvorbu nových typů tranzistorů či čtecích hlav harddisků, které mají větší kapacitu i výkonnost. Nejvýznamnějším objevem v této oblasti jsou tzv. fullereny nebo uhlíkové trubičky. Mají vynikající vlastnosti jako je tvrdost (větší než u diamantu), supravodivost či magnetické chování. Nanotrubičky tvoří základ pro novou generaci tranzistorů, displejů či procesorů. První krůčky ke kvantovým počítačům představují kvantové tečky. Jsou to ohraničené oblasti polovodiče o rozměrech 30 nm. Používají se ve speciálních součástkách pracujících s jednotlivými elektrony či fotony (např. jednofotonová LED dioda, jednofotonový QDFET tranzistor), jenž našly uplatnění v kvantové kryptografii (odvětví moderní informatiky zabývající se ochranou komunikace).

Nanomateriály

Nanočástice, nanovrstvy

V oblasti nanomateriálů se využívají především částice ve formě nanoprášků. Jedná se např. o nanoprášky TiO_2 a ZrO_2 používané v kosmetických krémech, pleťových vodách a opalovacích krémech. S přísadou nanočástic TiO_2 se vyrábějí laky s reflexními vlastnostmi. Výrobce skel použili TiO_2 v podobě nanočástic pro optimální zatmavení. Sklo je dokonce schopné odrazet dobře sluneční paprsky.

Nanočástice Fe_2O_3 se používají jako základní přísada do rtěnek a líčidel (UV filtr). Tento prášek lze též použít pro detoxikaci kontaminovaného území.

V „Centru pro výzkum nanomateriálů (CVN)“ na Univerzitě Palackého v Olomouci se zkoumají metody syntézy nanočástic oxidů železa pomocí termicky indukovaných reakcí v pevné fázi, včetně příprav vzácných strukturních forem, jako jsou amorfni Fe_2O_3 , β - Fe_2O_3 a ϵ - Fe_2O_3 , s předem požadovanými vlastnostmi. Řeší se zde i otázka aplikací nanomateriálů (nanočástic) např. jako barevné pigmenty pro přípravu průmyslových barviv či jako přísada do barevných skel, jako katalyzátory pro řadu chemických reakcí, magnetická záznamová média či počítačové paměti. Katalytické vlastnosti nanoprášku Fe_2O_3 se dají využít v raketovém, vojenském průmyslu a automobilovém průmyslu při konstrukci dokonalejších airbagů. Mimo jiné se zde vědci věnují rozvoji analytických a měřicích metod pro výzkum nanotechnologií. Magnetické vlastnosti se dají využít v lékařství v nových metodách filtrování, detoxikace tekutin a krve, nebo jako kontrastní činidla pro tělní orgány při zobrazování metodou magnetické rezonance (MRI).

Vědci pokryli nanočásticemi SiO_2 povrch skla. Přítomnost nanočástic zabraňuje srážení vody na skle, a tím zůstává stále suché a „nepotí se“. Speciální vlastnost takto upraveného skla se dá využít např. pro skla automobilů, brýlí či u koupelnových zrcadel. Na trh byly uvedeny obkladačky s povrchovým filmem z nanočástic, na nichž se nedrží voda ani špína.

Na řezné nástroje či některé části strojů se nanášejí nanostrukturní povlaky. Nanovrstva chrání nástroj před oděrem, opotřebením, či povolením šroubu apod. Pro tento účel se používají vrstvy z uhlíku, jež mají senzorké vlastnosti. Působí-li na ně tlak či síla, mění se jejich elektrický odpor. Toho lze využít pro diagnostiku a kontrolu strojů. Např. uvolní-li se šroub, vyšle uhlíková vrstva jeho podložky signál do řídicího elektronického systému.

Nanočástice jsou využívány pro leštění optických materiálů a elektronických substrátů (např. Si, GaAs). Nanočástice karbidu křemíku, diamantu a karbidu bóru se používají pro lapování součástek (velmi přesné leštění) s cílem omezit vlnitost povrchu na 1- 2 nm. Výroba těchto součástek s vysoce kvalitními povrchy mají velký význam pro miniaturizaci elektronických zařízení a rozvoj optoelektronických systémů.

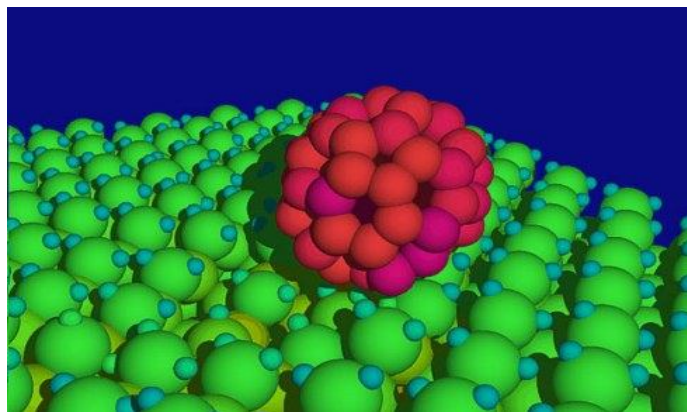
Nejvýznamnější využití nanomateriálů najdeme v oblasti informačních technologií při výrobě křemíkových tranzistorů, která používá řízené depozice vrstvených struktur pouze několik atomů tenkých přibližně 1 nm. Laterální rozměry kritické délky hradla tranzistoru dosáhly 180 nm a podařilo se některým výrobcům dosáhnout hodnoty 90 nm. Čím je délka hradla kratší, tím lze vytvořit menší, rychlejší a energeticky účinnější tranzistory. S tím souvisí také zlepšení výkonnosti digitálního zařízení a snížení jeho ceny.

Další využití vrstvených heterostruktur nalezneme u čtecích hlav standardních harddisků. Přítomnost nanostruktur je příčinou vzniku velkého magnetického odporu, který významně zvyšuje jejich paměťovou kapacitu a snižuje jejich cenu.

Fullereny, uhlíkové trubičky, nanopěna

Začátkem 90. let byly objeveny kulovité uhlíkové molekuly, tzv. fullereny, které nastartovaly koncepci nanotechnologií. Fullereny byly objeveny britským profesorem Harrym Krotoem a americkým fyzikem Richardem Smallym. Použili k tomu grafitový disk, který odpařovali laserem, páry chladili v proudu hélia, a pak měřili jejich spektra. V nich vyčetli přítomnost stabilních velkých molekul o složení C₆₀ a C₇₀. Za tento objev dostali Nobelovou cenou za chemii.

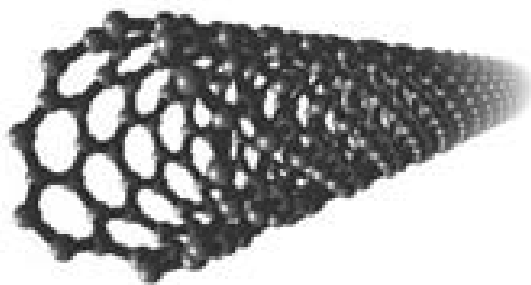
V molekule C₆₀ je šedesát atomů uspořádáno pravidelně na povrchu jedné společné koule. Z obr. 1 je vidět, že vazby mezi atomy uhlíku vytváří na povrchu koule vzor jako u fotbalového míče. Název fullereny právě pochází od tohoto seskupení podle amerického architekta R. Buckminstera Fullera, který podobný typ struktur používal při stavbě výstavních hal.



Obr. 37 Fuleren C₆₀ - počítačem vytvořený obrázek

Postupně byla zvládnuta výroba těchto molekul a zájem byl soustředěn na zkoumání jejich vlastností, a to jejich supravodivost, tvrdost (někdy větší než diamant), magnetické chování a léčivé účinky chemických derivátů fullerenů.

V roce 1991 Japonci zjistili, že lze vyrobit i fullereny válcového tvaru. Jsou to velmi dlouhé a úzké čistě uhlíkaté nanotrubičky, které mohou vykazovat mechanickou pevnost 50 až 100 krát vyšší, než má podstatně těžší ocel. Mohou vést elektrický proud i teplo, je to dosud nejperspektivnější materiál, který mají nanotechnologie k dispozici. Ukázalo se, že některé nanotrubičky se mohou chovat jako polovodiče, což vedlo k vytvoření molekulárního tranzistoru, který funguje za pokojové teploty. Tím byla otevřena cesta molekulové elektronice, miniaturizaci výpočetní techniky a zvýšení rychlosti počítačů.

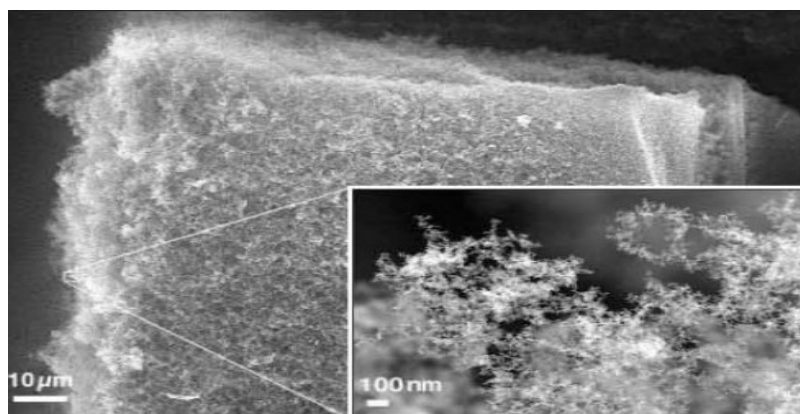


Obr. 38 Model nanotrubičky

Nanotrubičky mohou změnit i oblast úschovy energie a vést k rozvoji alternativních pohonů vozidel založených na vodíku.

Z nanotrubiček se podařilo vyrobit superpevnou fólii, která má velmi dobré mechanické vlastnosti (zejména velká pevnost), je průhledná a vodivá. Uplatnění nachází při výrobě skel. Sklo potažené touto fólií je velmi pevné a díky její vodivosti ho lze vyhřívat. V elektrotechnice by se dala použít na výrobu lepších kondenzátorů (více namotaných závitů při stejném objemu díky velmi malé tloušťce), ohebných displejů (fólie umí zářit jako zářivka).

Fyzikům se podařilo vytvořit novou formu uhlíku, tzv. nanopěnu, působením laserových pulsů na uhlíkový terčik v argonové atmosféře, zahřáním na teplotu 10^4 °C. Její struktura je tvořena sítí pospojovaných uhlíkových nanotrubiček dlouhých 5 nm, viz obr.. Jedná se o další formu uhlíku, vykazující překvapivé feromagnetické vlastnosti, které za pokojové teploty po pár hodinách vymizí, ale při nižších teplotách je lze dlouhodobě udržet. Tato vlastnost by se podle názoru některých fyziků dala v budoucnu využít například v medicíně při léčbě rakoviny. Vstříknutím látky do nádoru by bylo možné zničit jej lokálním zvýšením teploty nanopěny po pohlcení infračerveného záření, zatímco okolní zdravá tkáň by zůstala neporušena. Vstříknutím nanopěny do krevního oběhu by se mohl metodou jaderné magnetické rezonance sledovat průtok krve tkáněmi. Tyto a další představy aplikace a vlastnosti nanopěny jsou v současné době ve fázi výzkumu.



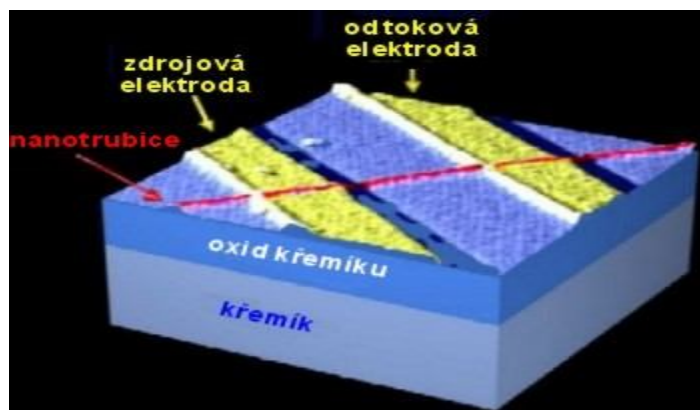
Obr. 39 Uhlíková nanopěna, snímek pořízený v elektronovém mikroskopu

Nanoelektronika

Nanoelektronika, jak bylo zmíněno v předchozí části, se zabývá uplatněním a využitím uhlíkových trubiček pro výrobu tranzistorů, displejů, pamětí a dalších elektronických zařízení, která mají díky nanotrubičkám výrazně lepší vlastnosti, než dosud vyráběné součástky.

Na obr. 4 je znázorněn model tranzistoru využívající nanotrubičku (červeně) o průměru 1 nm. Žlutou barvou jsou označeny hlavní platinové elektrody, které jsou nanesené na ionizující vrstvu SiO_2

(modře). Vzdálenost mezi elektrodami je 400 nm. Proud procházející trubičkou je řízen napětím hradla, které na obrázku není znázorněno.



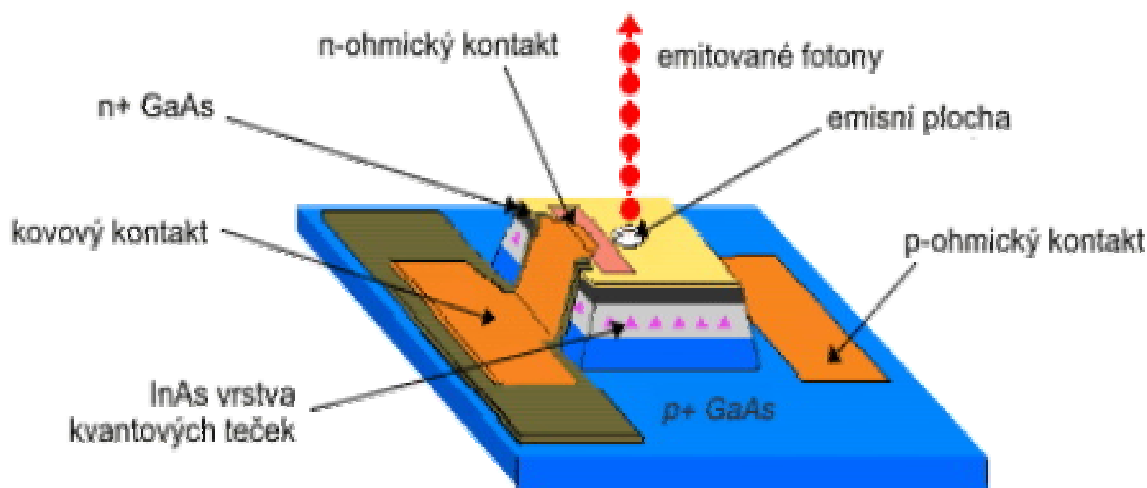
Obr. 40 Polem řízený tranzistor využívající uhlíkovou nanotrubicí s průměrem 1 nm

Byl vyvinut nový typ barevných plochých displejů mobilních telefonů, tzv. nanoemisní displeje (NED), jejichž výroba je opět založena na metodě použití nanotrubiček, které se nechají růst přímo na skle displeje. Díky této technologii je výroba displejů výrazně levnější, monitory mají vyšší životnost a lepší rozlišení obrazu. Současné vzorky NED displejů mají 5'' úhlopříčky a jsou součástí větších 42'' displejů s rozlišením 1280 x 720 pixelů, tenké pouze 3,3 mm, mají velmi široký úhel pohledu a rychlou reakční dobu. Předpokládá se, že tato technologie brzy nahradí současnou generaci plochých monitorů počítačů. V roce 2004 vytvořila firma Samsung prototyp ploché obrazovky obsahující uhlíkové trubičky s úhlopříčkou 38''. Obrazovky mají menší spotřebu energie a ostřejší obraz.

Technika nanášení povrchových vrstev ve vakuu je dosud jednou z nejpoužívanějších metod výroby mikrostruktur různého druhu. V mikroelektronice se tak, v kombinaci s optickými, nebo elektronovými litografickými metodami, vyrábí tranzistory, či optické spínače a rezonátory miniaturních rozměrů. Tato metoda však má své fyzikální meze spojené např. s vlnovou délkou používaného světla, či odvodem tepla z čipu. Snaha čím dál více zmenšovat rozměry elektronických součástek má dva podstatné důvody: zvětšit hustotu součástek na čipu a získat nové vlastnosti dané kvantovou mechanikou.

Nová technologie výroby mikrostruktur využívá tzv. kvantové tečky (quantum dots), což jsou ohraničené oblasti polovodiče o průměru 30 nm a výšce 8 nm, schopné v důsledku nižší energie ve srovnání s energií vodivostního pásu okolního polovodiče vázat elektrony. Mohou nabývat pouze diskretních hodnot energie, podobně jako je tomu u atomu. Každá tečka má omezenou kapacitu určenou jejími rozměry. Elektrony uvnitř teček vykazují kvantové vlastnosti. Kvantové tečky se využívají ve speciálních součástkách, které jsou schopny pracovat s jednotlivými elektrony či fotony.

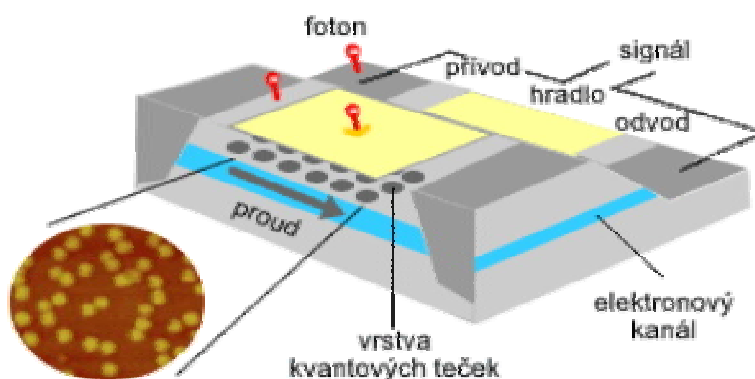
Kvantové tečky našly uplatnění zejména pro konstrukci optoelektronických součástek. Například v kvantové kryptografii (odvětví moderní informatiky) se pro generaci jemných světelných impulsů o energii odpovídající jednomu fotonu používají jednofotonové světlo emitující diody, které se vyrábí na základě modifikace struktury dosavadních LED diod vrstvou s kvantovými tečkami. Jedná se o optoelektronické součástky, jenž na základě elektroluminiscence, jsou schopné emitovat nekoherentní monochromatické světlo.



Obr. 41 Znáznornění struktury jednofotonové LED diody využívající kvantové tečky

Z obr. je vidět, že emise je umožněna pouze malým otvorem - emisní plochou, v ideálním případě z jediné kvantové tečky nacházející se pod otvorem. Ostatní kvantové tečky jsou zastíněné neprůhlednou vrstvou. Experimenty s takto upravenou LED diodou prokázaly, že již při proudu menším než 20 nA za teploty 5 K docházelo k emisi monochromatického záření o energii 1,3492 eV odpovídající infračervené oblasti a speciálními detektory bylo zjištěno, že se emitují jednotlivé fotony po sobě a ne ve shlucích jako u laserů. Emisi jednotlivých fotonů lze řídit jemnými proudovými pulsy až do frekvence 200 MHz.

K zařízením využívající kvantové tečky patří jednofotonový detektor (QDFET), který opět vznikl modifikací tranzistoru FET (tranzistor řízený polem) přidáním vrstvy s kvantovými tečkami paralelně k proudovému kanálu. QDFET tranzistor slouží k detekci jednotlivých fotonů. Funkce tranzistoru je popsána na obr. 7. Vrstva s kvantovými tečkami musí být od proudového kanálu vzdálena jen několik nanometrů. Záporné náboje elektronů zachycených v kvantových tečkách ovlivňují proud protékající kanálem tranzistoru. Citlivost tranzistoru lze ovlivňovat uvolněním jediného elektronu z kvantové tečky. Tím se změní velikost protékajícího proudu o měřitelnou hodnotu. Pohltí-li tečka foton, vzniká pár elektron – díra a elektron je uvolněn.



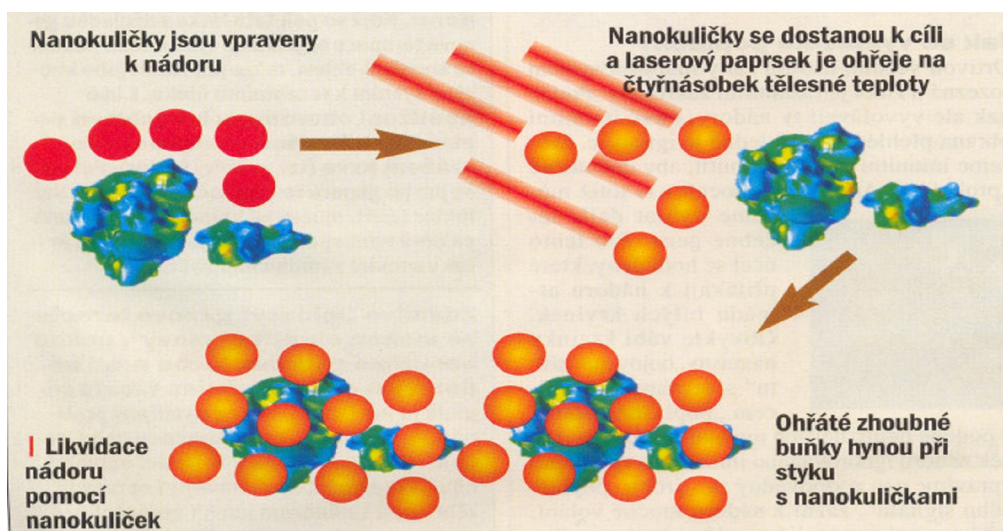
Obr. 42 Struktura jednofotonového detektoru QDFET

Nejvýznamnější použití jednofotonových součástek však spadá do oblasti přenosu dat, díky dokonalému bezpečnostnímu přenosu šifrovacího klíče v kvantové kryptografii.

Nanomedicína, biotechnologie

V oblasti nanomedicíny se podařilo syntetizovat liposomální struktury - lipidové koule o průměru 100 nm, umožňující zlepšenou cílenou distribuci terapeutických látek. Používají se k zapouzdření protirakovinných léků. Vědci vyvinuli novou metodu k odhalení nádoru a jeho lokalizaci v těle. Jedná se o šetrnější zobrazovací metodu využívající nanočástice a infračervené světlo, která by mohla nahradit dosud používaná ionizující záření. Polymerní nanočástice obsahují fluorescenční barvivo a bílkoviny, které jsou schopny se vázat na určité typy nádorových buněk. Částice se koncentrují na povrchu nádoru a po ozáření je pak vidět jejich fluorescenci.

K likvidaci nádorů se s úspěchem dají využít křemíkové kuličky o rozměru 100 nm, potažené 10 nm vrstvičkou zlata. Tyto kuličky jsou vpraveny k nádoru, kde jejich přítomnost v těle nepředstavuje sama o sobě zdravotní riziko. Po ozáření jejich povrchu laserovým paprskem se kuličky prudce ohřejí a spálí nádorové buňky. K ničení zhoubných buněk je třeba ohřát nanočástice pouze na 55 °C.



Obr. 43 Likvidace nádoru pomocí nanokuliček

Magnetické nanočástice jsou využívány při analýze krve, moči a jiných tělních tekutin, pro urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti. Byly vyvinuty fluorescenční částice, které tvoří základ nových detekčních technologií pro analýzu infekčních a genetických chorob a výzkum léčiv.

Oděvní průmysl, sport

Příkladem využití nanočástic v tomto odvětví může být výroba nemačkových a nešpinících se bavlněných tkanin, nebo rámců tenisových raket, které jsou zpevněny uhlíkovými nanotrubicemi. Podobně tenisové míčky, jejichž vnitřní vrstva z nanokompozitu polymer – jíl zvyšuje jejich životnost.

Česká republika má konkrétní zásluhy v oblasti nanotechnologií. Na Technické univerzitě v Liberci vyvinuli odborníci, jako jedni z prvních na světě, vlákna tloušťky 200 nm. Univerzita ve spolupráci s libereckou firmou ELMARKO vytvořila i prototyp stroje pro výrobu netkaných nanovláknových textilií. Výrobní technologie nazvaná *Nanospider* je založena na principu zvláknování vodných roztoků polymerů bez použití chemických rozpouštědel v silném elektrickém poli. Z těchto vláken se dají vyrábět lehké, tenké, a současně pevné textilie, které jsou porézní, přitom jejich póry jsou dostatečně malé k tomu, aby jimi nemohly projít bakterie či viry. Tyto textilie mají

tedy vysokou filtrační schopnost a lze je použít pro výrobu superfiltročních textilií pro použití v laboratořích, chirurgických sálech apod. V medicíně je lze využít ke krytí ran. Jejich struktura je totiž velmi podobná struktuře buněčné hmoty lidské tkáně. Látka propouští kyslík, brání ve stupu bakteriím, zajišťuje odtok zánětlivého výtoku z krevních a mízních cest a lze na jejich povrch navázat antibakteriální a hojení urychlující léčiva. Kromě toho mohou být využity pro rekonstrukci kůže, kostí, cév, svalů i nervové tkáně, doručování a řízené uvolňování léčiv či buněk. Výborné schopnosti absorpce zvuku těchto nanotextilií se dá využít v průmyslu pro odhlučňování interiérů automobilů, letadel či ve stavebnictví. O nanotextiliích se aktuálně hovoří v souvislosti s ptačí chřipkou. Virus patří do skupiny ortomixoviry, jejichž genetická informace je uložena v bílkovinném obalu. Rozměry těchto virů se pohybují kolem 100 nm, a tedy nemohou projít přes strukturu nanotextilií, jejichž póry mají velikost pouze několika nanometrů. Roušky vyrobené z nanovláken by nás ochránily před kapénkovým přenosem přes dýchací cesty.

Firma Nanosilver již uvedla na český trh speciální ponožky „impregnované“ částicemi Ag. Ionty stříbrných nanočástic působí antibakteriálně. Ovlivňují látkovou výměnu bakterií, mají též fungicidní účinky. Kromě antibakteriálních účinků ponožky lépe vsřebávají pot, urychlují hojení ran a oděrek, zlepšují prokrvení nohou, předcházejí omrzlinám a jsou antialergenní. Ponožky jsou určeny pro všechny, kteří mají problémy s nadměrným pocením nohou, nebo pro celodenní chůzi či pohyb v náročném terénu (např. sportovci, vojáci, policisté, hasiči).

Elektronový mikroskop

Elektronový mikroskop (EM), stejně jako každý mikroskop, slouží k pozorování a zvětšování velmi malých a blízkých předmětů. EM ovšem, narozdíl od SM, využívá k zobrazování předmětů proud elektronů. Vlnová délka de Broglieho vlny elektronu je mnohem menší než vlnová délka světla. Proto je i rozlišovací mez EM až 1000x menší než rozlišovací mez SM. V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy EM jsou:

- **Transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM)**, v němž je předmět zobrazován prostřednictvím svazku elektronů, které jím procházejí.
- **Rastrovací (skenovací) elektronový mikroskop (REM, v některé literatuře i SEM)**. REM se používá především k zobrazení povrchu předmětu. Povrch předmětu je v něm zobrazován postupně, bod po bodu, prostřednictvím úzkého svazku elektronů, které interagují se vzorkem a uvolňují další signály, podílející se na tvorbě obrazu nebo nesou informaci o složení vzorku. Výsledný obraz vzniká složením obrazů jednotlivých bodů předmětu.

Transmisní elektronový mikroskop (TEM)

Stavba transmisního elektronového mikroskopu je principiálně stejná jako stavba světelného mikroskopu. I jednotlivé prvky TEM pracují analogicky jako prvky SM. Základním rozdílem ovšem je, že zobrazovacím vlněním není světlo, ale proud urychlených elektronů. A tomuto rozdílu je vše uzpůsobeno.

Zdrojem zobrazujícího vlnění je tzv. **elektronová tryska**. Zobrazovacím prostředím je vakuum, protože ve vzduchu by docházelo k pohlcování elektronů. K úpravě chodu elektronového svazku se používají tzv. **elektromagnetické čočky**, což jsou prakticky různé typy cívek. Výsledný obraz nelze pozorovat přímo okem, ale např. prostřednictvím **fluorescenčního stínítka** či obrazovky, díky nimž lze proud dopadajících elektronů zviditelnit.

Vlnová povaha elektronů

V roce 1925 přišel **Louis de Broglie** s hypotézou, že proud částic lze považovat za vlnění o frekvenci f

a vlnové délce λ , pro které platí:

$$f = \frac{E}{h}, \quad \lambda = \frac{h}{mv},$$

kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Planckova konstanta.

Každou nabitou částici (tedy i elektron) lze urychlit pomocí elektrického pole a tím i zmenšit její vlnovou délku. Ze zákona zachování energie lze pro libovolnou částici o náboji q odvodit vztah:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$

Pro elektron tedy platí:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} = \frac{1,226}{\sqrt{U}} [\text{nm}],$$

kde U je velikost urychlujícího napětí a $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ je (klidová) hmotnost elektronu.

Je-li urychlovací napětí větší než 100 kV, překročí již velikost rychlosti elektronu hodnotu $0,5 \cdot c$. A proto je nutné v uvedeném vztahu počítat se závěry teorie relativity. Pak platí

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eU \left(1 + \frac{eU}{2m_0 c^2} \right)}},$$

kde m_0 je klidová hmotnost elektronu a $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je rychlost světla ve vakuu.

Obvykle užívaná hodnota urychlovacího napětí v transmisním elektronovém mikroskopu je přibližně 100 kV. Pro tuto hodnotu urychlovacího napětí je vlnová délka elektronu $\lambda = 0,0037 \text{ nm}$, což je o 5 řádů nižší než vlnová délka světla. Pro **rozlišovací mez** ideálního TEM platí tentýž vztah jako pro rozlišovací mez ideálního SM. Lze tedy předpokládat, že TEM přinese o 5 řádů podrobnější informace o struktuře vzorku než SM. Ovšem důsledkem vad zobrazení je maximální rozlišovací mez TEM $d_{\min}$ jen o 3 řády menší než maximální rozlišovací mez SM (tzn. $d_{\min} \approx 0,2 \text{ nm}$). Maximální **užitečné zvětšení** TEM je tedy kolem 10^6 . Speciálními typy TEM lze dosáhnout i menší rozlišovací meze - až 0,1 nm.

Emise elektronů

Každý elektron je v atomu vázán jistou **výstupní energií** E_v . Abychom tento elektron z vazby uvolnili, musíme mu dodat energii, která je větší než E_v . To lze zrealizovat mnoha různými postupy. V elektronové mikroskopii našly své uplatnění především tyto:

a) **sekundární emise** - Studené kovové vlákno (zvané **katoda**) bombardujeme urychlenými ionty, které nárazem uvolňují elektrony z povrchu katody. Tento postup se využíval u prvních typů TEM, ale dnes se již prakticky nevyužívá.

b) **termoemise** - Zahříváme-li katodu, dodáváme jí vnitřní energii. Překročí-li teplota katody jistou mezní teplotu, dochází k uvolňování elektronů z jejího povrchu. Tento postup je nejužívanější.

c) **autoemise** - Proti studenému kovovému vláknu odleptanému do hrotu umístíme elektrodu s vysokým kladným napětím. V okolí hrotu vzniká velmi silné elektrické pole, které je schopno vytrhovat velké množství elektronů z povrchu hrotu. Nevýhodou tohoto postupu je velmi vysoká potřebná hodnota vakua (10^{-6} až 10^{-8} Pa).

Zdroj elektronů

Zdroj elektronů v elektronovém mikroskopu nazýváme **elektronová tryska** (popř. elektronové dělo). Elektrony jsou emitovány z **katody**, kterou zpravidla prochází elektrický proud. Tím dochází k jejímu zahřátí a následné termoemisi elektronů z jejího povrchu. Pravděpodobnost úniku elektronů může být ještě zvýšena vytvarováním katody do tvaru písmene V, což usnadní uvolnění elektronů v místě ohybu.

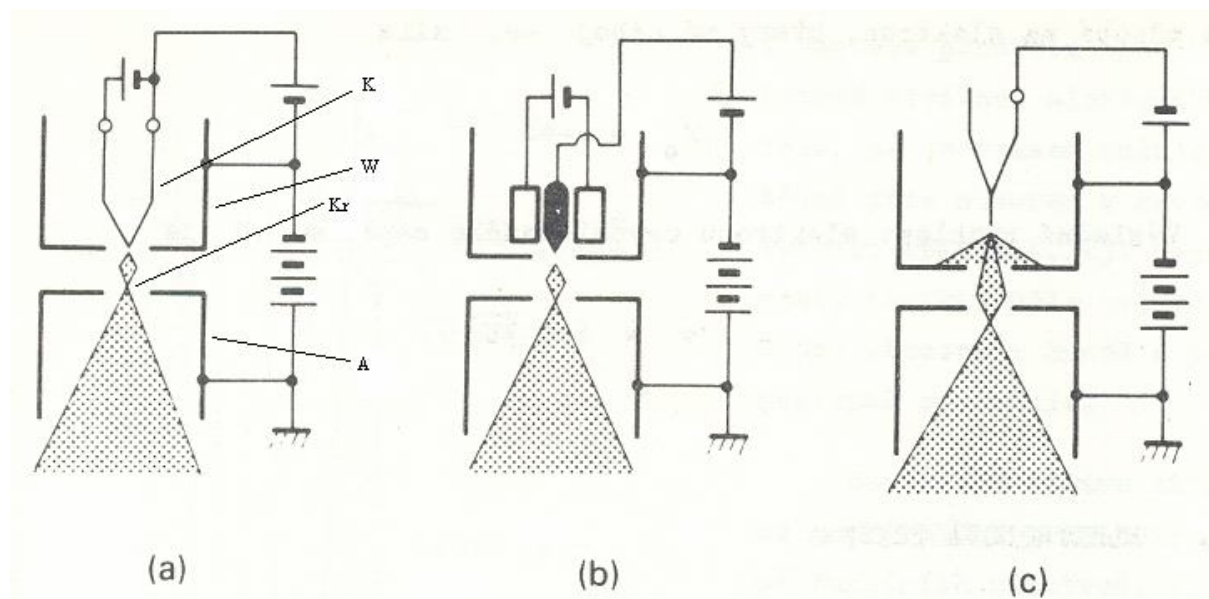
Katoda bývá nejčastěji vyrobena z wolframu, protože má nízkou výstupní energii valenčních elektronů ($E_v = 4,5$ eV) a vysoký bod tání ($T_t = 3653$ K) a protože pro svůj provoz nevyžaduje vysokou hodnotu vakua. Životnost vlákna katody je nepřímo úměrná teplotě, na kterou bývá vlákno obvykle žhaveno. Vlákno wolframové katody má provozní teplotu přibližně 2600 °C. Jeho životnost je pak asi 40 hodin.

V novějších typech výkonných elektronových mikroskopů se využívá místo wolframové katody katoda z LaB_6 (hexaborid lanthanu). Tento typ katody má asi $10\times$ větší emisi elektronů než wolframová katoda, vyžaduje ovšem mnohem větší hodnotu vakua (minimálně 10^{-4} Pa). Tato katoda má provozní teplotu cca. 1600 °C a vydrží asi 250 hodin.

V nejvýkonnějších elektronových mikroskopech bývá zdrojem elektronů **autoemisní katoda** (FEG), která vydrží až několik let.

Elektronovou trysku tvoří tedy katoda, která je spojena se záporným pólem urychlovacího napětí U a je obklopena tzv. **Wehneltovým válcem**, který má proti špičce vlákna katody otvor (viz. obr. 2.1a). Za válcem je umístěna **anoda** s otvorem uprostřed, která je spojena s kladným pólem urychlovacího napětí a je uzemněna. Wehneltův válec vytváří v okolí vlákna katody elektrické pole, které způsobuje, že se svazek elektronů emitovaných z katody zužuje tak, že těsně před otvorem v anodě vytváří **křížiště**, tj. nejužší místo svazku. Toto místo lze pak považovat za bodový zdroj urychlených elektronů. Rychlost urychlených elektronů ze zdroje je přibližně $v \approx 600\sqrt{U}$.

Dráha, rychlost a šířka svazku elektronů je poté ještě upravena systémem clonek a čoček, které společně s elektronovou tryskou vytvářejí **osvětlovací soustavu elektronového mikroskopu**.



Obr. 44 Schéma stavby a funkce elektronové trysky (a) wolframové; (b) z LaB_6

(c) autoemisní (zkratky K – katoda; W – Wehneltův válec; Kr – křižště; A – anoda)

Pohyb elektronů v magnetickém poli

Na náboj elektronu e , který se pohybuje v magnetickém poli o indukci $\vec{B}$, působí síla $\vec{F}$, jejíž velikost a směr lze určit ze vztahu:

$$\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B}),$$

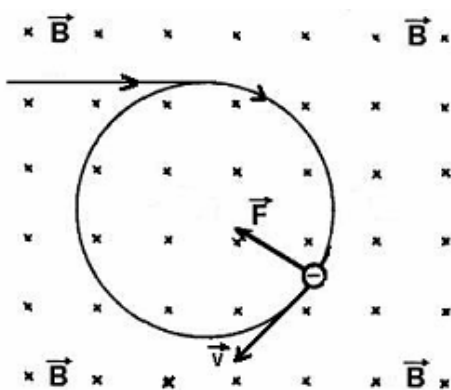
kde $\vec{v}$ je rychlost elektronu a α je úhel, který mezi sebou svírají vektory $\vec{v}$ a $\vec{B}$.

Pro velikost síly F pak platí vztah: $F = evB \cdot \sin \alpha$. Směr síly F určíme takto: Položíme-li otevřenou pravou ruku tak, aby prsty ukazovaly směr rychlosti $\vec{v}$ elektronu a vektor indukce $\vec{B}$ magnetického pole vstupoval do dlaně, pak odtažený palec ukazuje směr síly $\vec{F}$, kterou působí magnetické pole na elektron.

Jestliže elektron vlétne do **homogenního magnetického pole** ve směru kolmém k magnetické indukci pole, pak magnetická síla působící na elektron zakřivuje trajektorii elektronu do tvaru šroubovice. Tato šroubovice má v průmětu tvar kružnice o poloměru:

$$r = \frac{mv}{Be},$$

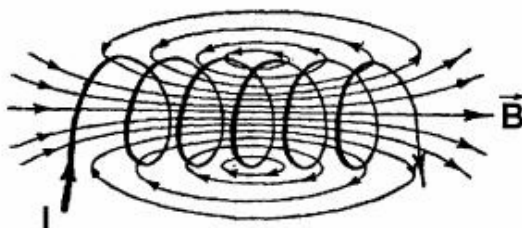
kde m je hmotnost elektronu.



Obr. 45 Trajektorie elektronu v homogenním magnetickém poli

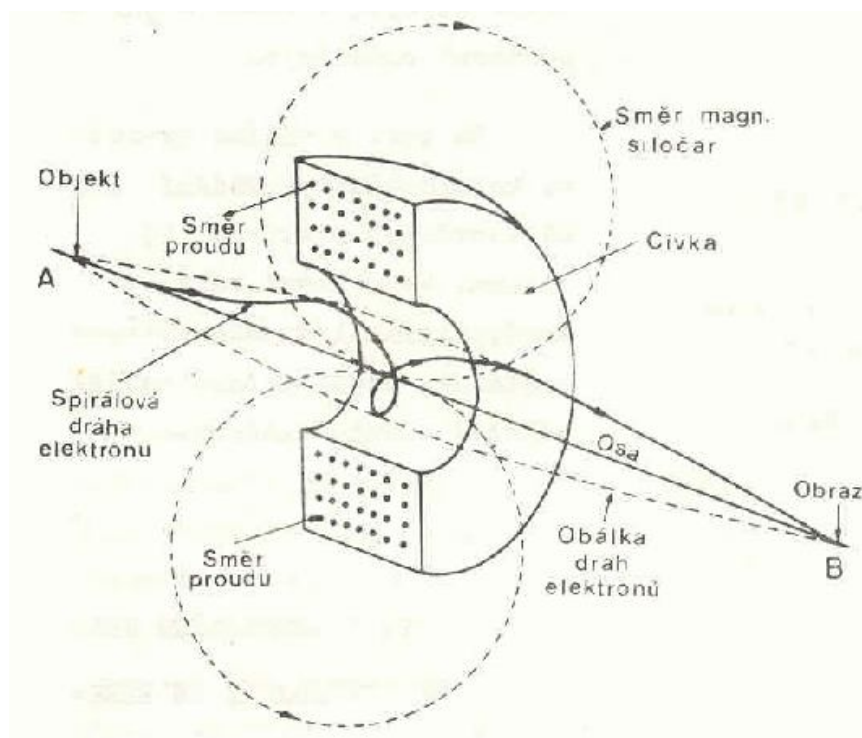
Elektromagnetická čočka

Působení magnetického pole na tvar trajektorie letícího elektronu lze využít k sestrojení tzv. elektromagnetické čočky, která by fungovala přibližně stejně jako skleněná čočka v případě světla. Nejjednodušší elektromagnetickou čočkou je solenoid. Solenoid je cívka s velkým počtem závitů, jejichž průměr je mnohem menší než délka cívky. Uvnitř solenoidu vzniká homogenní magnetické pole a v okolí solenoidu nehomogenní magnetické pole.



Obr. 46 Magnetické pole dlouhé jednovrstvé cívky

Trajektorie elektronu, který vletne do magnetického pole elektromagnetické čočky, má tvar prostorové spirály. Trajektorie všech elektronů, které procházejí stejným bodem A na ose čočky, jsou magnetickým polem čočky ovlivněny tak, že se za čočkou opět protínají ve stejném bodě B na ose čočky.



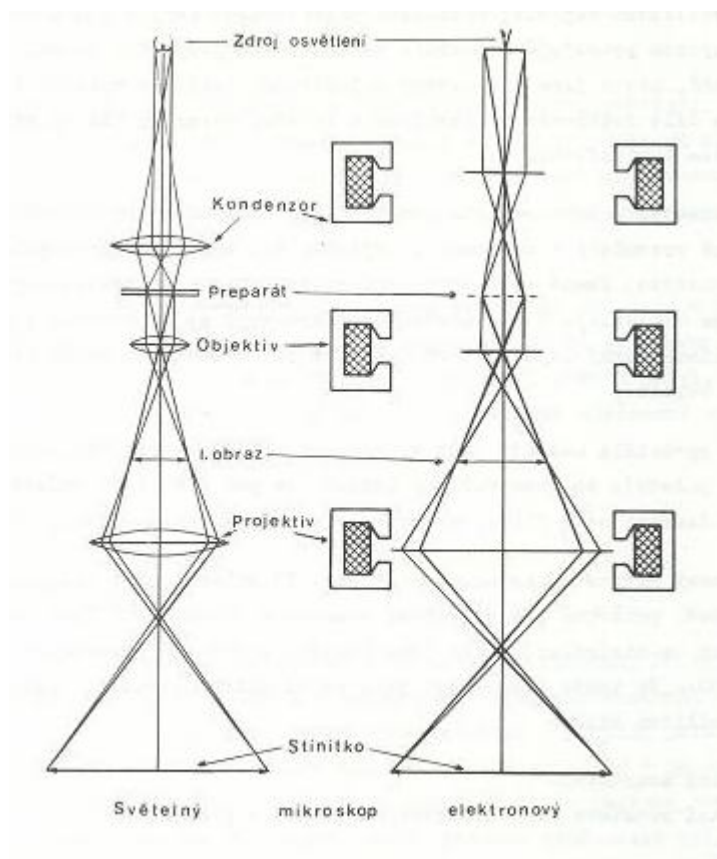
Obr. 47 Trajektorie elektronu v dutině elektromagnetické čočky

Čím větší je proud procházející čočkou, tím větší je magnetická indukce pole čočky a tím menší je **ohnisková vzdálenost čočky**. Elektromagnetická čočka je tedy pak výkonnější. Průchodem vysokého

proudu čočkou ovšem vzniká teplo, které zvyšuje teplotu čočky. Proto musí být elektromagnetické čočky chlazeny.

Magnetické pole uvnitř reálné elektromagnetické čočky není přesně homogenní. To vede k mnoha vadám, které jsou svou podstatou totožné s vadami optických čoček. Tyto vady negativně ovlivňují obraz vytvořený čočkou, především jeho kontrast, hloubku ostrosti a rozlišovací mez.

Zobrazení elektronovým mikroskopem



Obr. 48 Srovnání stavby SM a TEM

Základními stavebními prvky **zobrazovací soustavy TEM** jsou **objektiv** a **projektiv** (odpovídá okuláru SM). Objektiv je zpravidla tvořen pouze jednou elektromagnetickou čočkou, zatímco projektiv tvoří až čtyři elektromagnetické čočky. Součástí zobrazovací soustavy TEM je i systém clonek, které omezují šířku zobrazujícího svazku elektronů. Zobrazovaný předmět je v TEM umístěn v těsné blízkosti objektivu. Objektiv tedy stejně jako v SM vytváří základní obraz předmětu.

Objektiv je nejvýkonnější čočkou mikroskopu. Je schopen největšího **zvětšení** (50 až 100×) a má také nejkratší ohniskovou vzdálenost. Aby se dosáhlo požadovaného výkonu, má cívka objektivu velký počet závitů, kterými protéká značný proud.

Obraz vytvořený objektivem je dále zobrazen čočkami tvořícími projektiv. Proud procházející čočkami projektivu lze regulovat a tím i měnit výsledné zvětšení elektronového mikroskopu. Maximální zvětšení užívané v elektronovém mikroskopu je 10^6 , což odpovídá velikosti užitečného zvětšení TEM.

Interakce elektronového svazku s hmotou

Vlastním zdrojem obrazu v elektronovém mikroskopu jsou **interakce** mezi elektrony ze zdroje

(tzv. **primární elektrony** - PE) a hmotou zobrazovaného předmětu (preparátu), na něž elektrony dopadají. Tyto interakce lze zjednodušeně rozdělit do dvou skupin:

a) **Pružný (elastický) rozptyl** - Když urychlený elektron prolétá elektronovým obalem atomu preparátu, je vychýlen pod úhlem, který je tím větší, čím blíže tento elektron míjí jádro a čím větší je počet protonů jádra tohoto atomu. Tento úhel může přesáhnout i 90° a elektron je pak zpětně odražen. Při tomto ději se energie primárních elektronů nemění. Část elektronů vychýlených preparátem o příliš velký úhel je zachycena objektivovou clonou a tím vyřazena z tvorby obrazu preparátu na stínítku TEM. **Odražené elektrony** (BSE) se v TEM nevyužívají, podílejí se ovšem na tvorbě obrazu v REM.

b) **Nepružný rozptyl** – Dochází k němu při srážkách primárních elektronů s elektrony atomu preparátu. Jedná se tu tedy o srážku dvou částic stejné hmotnosti. Proto při těchto srážkách primární elektrony ztrácejí část své energie, neodchylují se od původního směru a tudíž se všechny podílejí na tvorbě obrazu na stínítku TEM. Změna energie a rychlosti těchto elektronů přispěje ke změně jejich vlnové délky. Proto jsou tyto elektrony jedním ze zdrojů vad zobrazení. Jejich nepříznivý vliv roste s tloušťkou preparátu a s klesajícím urychlovacím napětím.

Při nepružném rozptylu mohou být z atomů preparátu vyraženy elektrony (tzv. **sekundární elektrony** - SE), které se společně s odraženými elektrony vytvářejí obraz v REM. Současně vzniká ještě řada dalších signálů (např. rentgenové záření, Augerovy elektrony a katodoluminiscence), které nesou mnoho dalších informací o preparátu.

Pozorování a záznam obrazu vytvořeného elektronovým mikroskopem

Svazek urychlených elektronů, který nese informaci o zobrazovaném předmětu, nelze přímo vidět okem. Abychom tedy viděli obraz vytvořený elektronovým mikroskopem, je nutné převést tyto informace do viditelné podoby.

K **pozorování obrazu** se používá **stínítko** pokryté luminoforem (nejčastěji ZnS), které bývá umístěno na dně tubusu TEM. **Luminofor** je látka, která je schopna v závislosti na energii a množství dopadajících elektronů emitovat světlo různé intenzity o přibližně stejné vlnové délce. V případě ZnS má vlnová délka vznikajícího světla velikost okolo 550 nm. Na stínítku tedy vzniká obraz z odstínů zelené barvy, který je již možné pozorovat okem. Ve výsledném obrazu tedy nerozeznáme skutečné barvy předmětu. Rozlišení stínítka je dáno velikostí zrn ZnS, která se pohybuje okolo 50 nm.

Kromě velkého stínítka je většina elektronových mikroskopů vybavena ještě malým stínítkem, na kterém je možno detail obrazu ještě zvětšit pomocí světelného mikroskopu. Velikost zrn ZnS na malém stínítku se pohybuje kolem 10 nm.

V praxi je vhodné vytvořit **záznam obrazu** pozorovaného předmětu. V současnosti se obraz zaznamenává buď na speciální fotografický materiál nebo v digitální podobě pomocí SSC kamery.

Fotografický materiál vhodný pro EM musí být především citlivý na velmi krátké vlnové délky elektronového svazku a musí být stabilní i při vysoké hodnotě vakua, která je uvnitř EM. Nejpoužívanějším typem fotografického materiálu je polyesterová podložka, na které je nanášena želatinová vrstvička s drobnými krystalky chloridu stříbrného (Ag Cl).

Tzv. **slow-scan CCD kamery** (SSC) používané v TEM pracují obdobně jako klasické CCD kamery používané v SM. Rozdílem je pouze to, že detektor SSC kamery je schopen zaznamenávat intenzitu a energii zobrazujícího svazku elektronů.

Vakuový systém

Vnitřní prostor mikroskopu, ve kterém se pohybují elektrony musí být vakuovaný. Základní důvody tohoto požadavku jsou tyto:

- a) Dosah elektronového svazku ve vzduchu je maximálně 1 m.
- b) Elektronová tryska musí být izolována vakuem, protože vzduch není dostatečně dobrým izolantem.

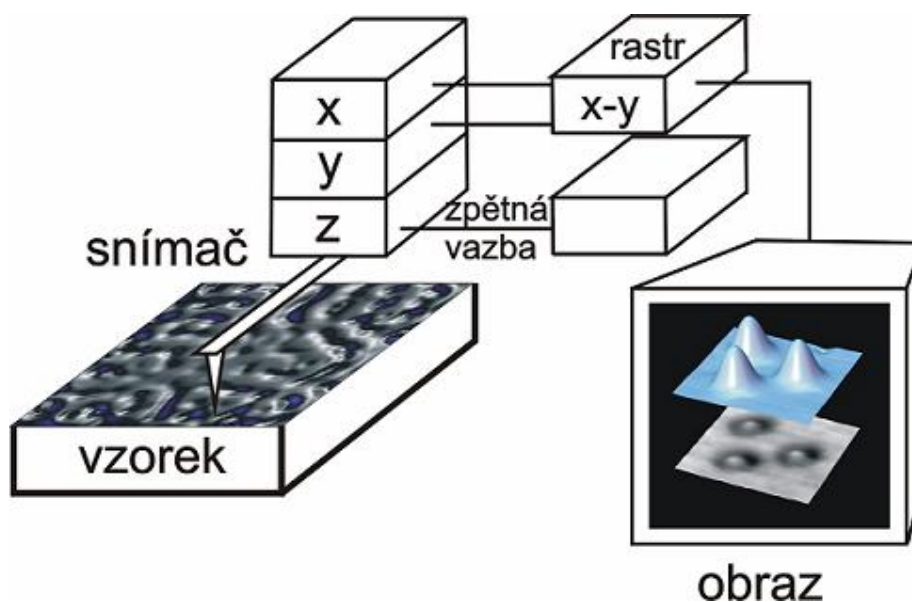
Vzniká totiž nebezpečí ionizace vzduchu a následného elektrického výboje mezi katodou a anodou trysky.

c) Vzduch obsahuje molekuly O_2 , N_2 , CO_2 a hydrokarbonáty, které způsobují kontaminaci tubusu i pozorovaného předmětu (vzorku).

Na dosažení pracovního vakua (minimálně 10^{-3} Pa) musí být mikroskop vybaven dostatečně výkonnými **vývěvami** mnoha různých typů. (Používají se především rotační, difúzní a iontové vývěvy.) Kvalitu vakua sleduje několik měrek a celý proces čerpání vzduchu je řízen automaticky.

Mikroskopie skenující sondou (Scanning Probe Microscopy - SPM)

Mikroskopie skenující sondou je soubor experimentálních metod určených ke studiu struktury povrchů s atomárním rozlišením. V SPM je povrch předmětu postupně rastrován (snímán bod po bodu) prostřednictvím sondy, která se pohybuje v přesně definované síti bodů ve vzdálenosti od několika desetin po několik desítek nm od povrchu vzorku. Výsledný trojrozměrný obraz povrchu získáme složením obrazů jednotlivých bodů povrchu pomocí počítače. Každý **SPM přístroj** se skládá ze tří základních částí - z mechanické a elektronické části a ze sondy tvořené zpravidla hrotem. Mechanická část zajišťuje mechanickou stabilitu přístroje a polohování sondy ve třech rozměrech. Elektronická část zajišťuje napájení, ovládání a součinnost všech částí přístroje, zpětnou vazbu a sběr naměřených dat. Další uspořádání mikroskopu a vlastnosti jeho jednotlivých součástí se mění podle druhů metod SPM, které tento přístroj využívá.



Obr. 49 Základní uspořádání SPM přístrojů

SPM přístroje mohou pracovat v různých prostředích. Mezi nejčastěji užívané patří: ultravysoké vakuum (UHV), vzduch, kapalně prostředí (vhodné pro studium biologických preparátů) a elektrochemické prostředí. Protože obraz získaný v SPM není reálným, ale počítačovým obrazem předmětu, bývá součástí všech komerčně dodávaných SPM přístrojů je software pro **počítačovou analýzu obrazu**. Tím je možné získat upravené obrázky. Je-li ovšem obrazová analýza použita nedbale, mohou být data zkreslena ještě více.

Mimo topografie povrchu vzorku lze tedy pomocí metod SPM studovat např. elektrické, magnetické i elastické vlastnosti povrchu vzorku, změny povrchové teploty i tepelné vodivosti povrchu, změny elektrické vodivosti, apod.

Skenovací tunelovací mikroskopie (Scanning Tunneling Microscopy - STM)

STM je metoda založená na existenci tunelového jevu.

Tunelový jev

Základním závěrem kvantové fyziky je, že v mikrosvětě je vše otázkou pravděpodobnosti. Proto se v mikrosvětě stávají jevy, které z hlediska klasické fyziky nemohou nastat. Jedním z nich je i **tunelový jev**. Pokud některá částice nemá dostatečnou energii k překonání jisté **potenciálové bariéry**, pak by podle závěrů klasické fyziky měla zůstat uvnitř oblasti ohraničené bariérou. Můžeme si to představit jako kuličku, která koná kmitavý pohyb uvnitř misky, ale nemá dostatečnou energii k překonání okraje. Tedy i elektron, který má menší energii než je jeho výstupní energie, by měl zůstat uvnitř atomu.

Ze závěrů kvantové fyziky ovšem plyne, že taková částice se může s nenulovou pravděpodobností vyskytnout i za touto potenciálovou bariérou. Může tedy tzv. tunelovat touto bariérou na druhou stranu. Proto i uvedený elektron může tunelovat ven z atomu. Uvedený jev se nazývá tunelový jev.

Pravděpodobnost tunelového jevu je velmi malá a přibližně se dá vyjádřit tímto vztahem:

$$P \approx e^{-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(V-E)}d}$$

kde $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Diracova konstanta, m hmotnost elektronu, E energie elektronu, V výška bariéry (= výstupní energie elektronu) a d je šířka bariéry.

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že s narůstající šířkou d prudce (exponenciálně) klesá pravděpodobnost výskytu částice za bariérou. A právě tato vlastnost je základem tunelovací mikroskopie.

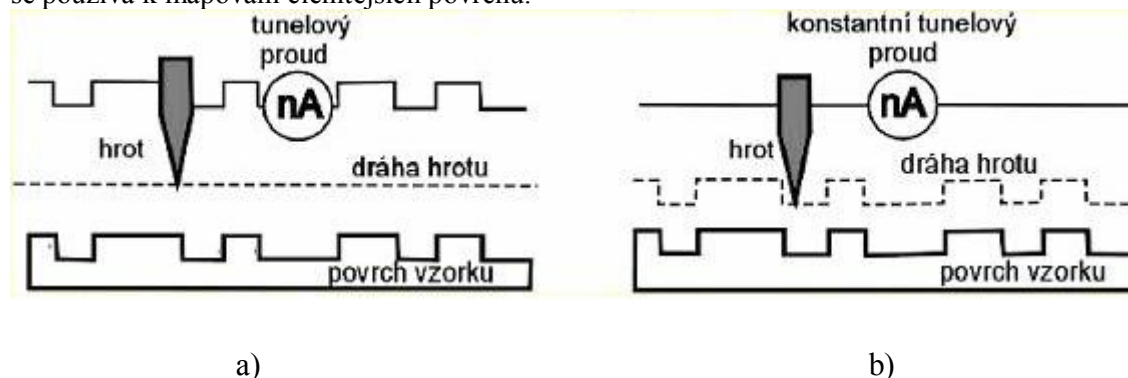
Princip práce skenovacího tunelovacího mikroskopu

STM užívá k mapování povrchu vzorku ostrý **vodivý hrot**. Mezi hrot a vzorek je přivedeno napětí. Ve volném prostoru mezi hrotem a vzorkem se vytvoří potenciálová bariéra, kterou mohou elektrony tunelovat s výše uvedenou pravděpodobností. Aby se tunelování vůbec uskutečnilo musí být vzorek také vodivý (případně polovodič) a vzdálenost mezi hrotem a vzorkem musí být do 1 nm.

Průběh potenciálové bariéry je vlivem přiloženého napětí nesymetrický. Proto převažuje počet tunelujících elektronů v jednom směru buď z hrotu k povrchu vzorku nebo obráceně. Obvodem tedy protéká tzv. **tunelový proud**, jehož závislost na vzdálenosti hrotu od vzorku (= šířka bariéry) bude velmi strmá (exponenciální). Průběh této závislosti tedy umožňuje určit vzdálenost mezi hrotem a povrchem vzorku, prostřednictvím měření velikosti tunelového proudu, s přesností na setiny nanometrů. Tímto způsobem ovšem získáme informace pouze o jednom bodě. K tomu, abychom mohli mapovat celý povrch vzorku, musí být každý SPM přístroj vybaven velmi přesným **polohovacím zařízením** (tzv. skenerem), které zajišťuje posuv a stabilitu polohy hrotu i vzorku. Při měření se hrot skokově posouvá v rovině xy po předem daných měřicích bodech. Tento velmi jemný posuv zajišťují **piezoelektrické látky** (např.: křemen, LiNbO_3 a LiTaO_3). Mechanickou stabilitu zajistíme mechanickým tlumením přístroje (pružinami a pneumatickým stolem).

STM přístroje mohou pracovat ve dvou různých režimech: v režimu konstantní výšky či v režimu konstantního proudu. V **režimu konstantní výšky** se hrot pohybuje ve vodorovné rovině xy nad vzorkem a tunelový proud se mění v závislosti na vzdálenosti povrchu vzorku od hrotu a na lokálních povrchových elektrických vlastnostech vzorku. Na základě stálého měření velikosti tunelového proudu v jednotlivých měřicích bodech se vytváří výsledný obraz (viz. obr. 3.2a). Tento režim umožňuje rychlé snímání obrazu. Je ovšem méně přesný, a proto se používá především u hladkých povrchů.

V režimu konstantního proudu využívá STM zpětné vazby tak, aby byla udržena konstantní hodnota tunelového proudu. V případě, že systém detekuje zvýšení tunelového proudu, je přivedeno odpovídající napětí k piezoelektrickému systému, který zajistí oddálení hrotu od povrchu vzorku. Je-li naopak zaznamenáno snížení proudu, pak systém přiblíží hrot ke vzorku (viz. obr. 3.2b). Výsledný obraz se vytváří na základě sledování vertikálního pohybu skeneru. To se zpravidla uskutečňuje pomocí laserového systému s optoelektronickou detekcí. Tento režim je pomalejší, ale přesnější. Proto se používá k mapování členitějších povrchů.



Obr. 50 Režimy měření tunelového proudu v STM

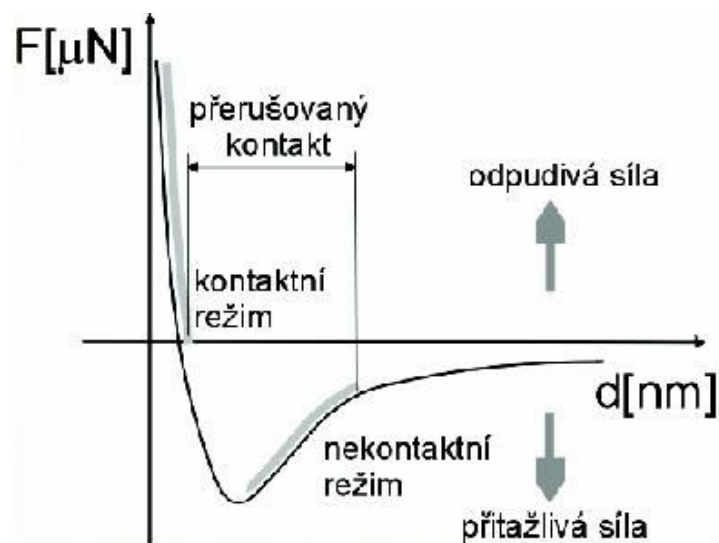
V režimu konstantního proudu může také dojít k poškození povrchu vzorku. Přejde-li totiž hrot nad oblast s výrazně odlišnými elektrickými vlastnostmi (např. zoxidovaná oblast), dojde k velkému snížení tunelového proudu a tedy i k velkému zmenšení vzdálenosti hrotu od vzorku, někdy i k dotyku hrotu a vzorku a následnému poškození povrchu vzorku. Vzhledem k exponenciálnímu průběhu závislosti velikosti tunelového proudu na vzdálenosti hrotu od povrchu vzorku, dochází při měření k interakcím pouze mezi několika nejbližšími atomy hrotu a povrchu. Proto lze pomocí STM dosáhnout věrného atomárního rozlišení (řádově desítiny nanometru).

Obraz získaný pomocí STM ovšem odpovídá jen přibližně topografii povrchu vzorku, protože tunelový proud nezávisí pouze na vzdálenosti hrotu od vzorku, ale i na lokálních elektrických vlastnostech povrchu vzorku.

Mikroskopie atomárních sil (Atomic Force Microscopy - AFM)

AFM využívá sondu, která rastruje povrch vzorku ostrým hrotem. **Hrot** je několik μm dlouhý s poloměrem zakřivení okolo 10 nm. Je umístěn na volném konci **raménka** (cantileveru), které je dlouhé 100 až 200 μm . Mezi hrotem a povrchem vzorku lze při malých vzdálenostech (max. několik desítek nm) pozorovat nezanedbatelné **silové působení**. Při tomto silovém působení se uplatňují především odpudivé a přitažlivé síly krátkého dosahu (van der Waalsovy síly, kapilární síly, Pauliho odpudivé síly, aj.). Tyto síly působí u jakéhokoliv vzorku nezávisle na jeho vodivosti, proto hrot ani povrch vzorku nemusí být vodivé, což je velká výhoda této metody oproti STM.

Vzájemné silové působení mezi hrotem a povrchem vzorku způsobuje ohyb a odklon raménka. Ohyb raménka je snímán citlivým (zpravidla laserovým) snímačem. Na základě tohoto snímání je pak pomocí počítače vytvářen celkový obraz povrchu vzorku. Aby rozlišení změn topografie povrchu zkoumaného vzorku bylo co největší, využíváme při měření strmějších oblastí uvedené závislosti. Podle oblasti závislosti, ve které pracujeme, rozlišujeme kontaktní a nekontaktní režim AFM.



Obr. 51 Závislost výslednice působících atomárních sil na vzdálenosti hrotu od

V **kontaktním režimu AFM** je udržován jemný mechanický kontakt mezi hrotem a povrchem vzorku. Jejich vzájemná vzdálenost je max. 0,1 nm. Tuhost raménka, na kterém je upevněn hrot, musí být nižší než je vazebná síla mezi atomy vzorku. Výsledná síla působící mezi hrotem a povrchem je odpuzivá a pohybuje se v rozmezí od 10^{-8} N po 10^{-6} N.

Kontaktní režim lze provozovat ve dvou modifikacích: s konstantní výškou nebo s konstantní silou. V první z nich se hrot pohybuje ve vodorovné rovině xy a měří se ohnutí raménka. V druhé modifikaci se prostřednictvím zpětné vazby udržuje konstantní ohyb raménka a mění se poloha hrotu vzhledem k ose z. Častěji se využívá modifikace s konstantní silou. Měření je sice pomalejší, ale přesnější. Při **nekontaktním režimu AFM** raménko s hrotem kmitá v blízkosti povrchu vzorku, přičemž jejich vzájemná vzdálenost kolísá od 1 nm po několik desítek nm. Výsledná síla mezi hrotem a povrchem vzorku je přitažlivá a pohybuje se okolo 10^{-12} N. Měření je proto obtížnější než v kontaktním režimu. Jestliže se mění průměrná vzdálenost hrotu od povrchu vzorku, dochází ke změně rezonanční frekvence a amplitudy kmitů hrotu. Na základě sledování těchto změn se pak prostřednictvím počítače vytváří obraz topografie povrchu vzorku. Při nekontaktním režimu AFM se dosahuje nižšího rozlišení než při kontaktním režimu. Přesto je nekontaktní režim výhodnější pro studium měkkých a pružných vzorků, protože při něm nedochází k poškození či kontaminaci povrchu vzorku.

Při některých měřeních se využívá tzv. **poklepový režim AFM**. Při tomto režimu raménko s hrotem také kmitá v blízkosti povrchu vzorku. Rozkmit raménka je ovšem větší než v předchozím případě. Proto dochází k občasnému dotyku hrotu s povrchem. Obraz je tu opět vytvářen na základě sledování změn rezonanční frekvence a amplitudy kmitů hrotu. Tento režim je výhodnější než kontaktní, pokud hrozí nebezpečí poškození vzorku. Je také výhodnější než nekontaktní režim, a to v případě, že snímáme povrch, který má větší rozpětí v ose z.

Příčné rozlišení AFM obrazu je určeno dvěma faktory: velikostí obrazu a křivostí špičky hrotu. Ostřejší typy hrotů pro AFM mají poloměr křivosti okolo 5 nm. Při využití těchto hrotů může být dosaženo příčného rozlišení o velikosti 1 až 2 nm.

Pomocí AFM bývá snímána zpravidla čtvercová oblast povrchu vzorku, která je rovnoměrně rozdělena na 512×512 měřicích bodů. Oblast o rozměrech $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ tedy můžeme nasnímat s rozlišením okolo 2 nm ($\approx \frac{1\mu\text{m}}{512}$). Pokud tedy předpokládáme, že je využito ostřejších typů hrotů, pak má tato

oblast optimální rozměry pro AFM měření. Jsou-li rozměry snímané oblasti větší, je rozlišení povrchu vzorku menší pouze vlivem její větší velikosti. Zmenšíme-li rozměry snímané oblasti pod optimální hodnotu ($1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$), pak se vzhledem k velikosti poloměru křivosti použitého hrotu rozlišení obrazu nezvětší. Pomocí AFM tedy nelze dosáhnout věrného atomárního rozlišení.

Aplikace SPM

Všechny metody SPM jsou využívány především ke studiu topografie a vlastností nejrůznějších povrchů a ke studiu povrchových procesů (např. chemických reakcí). Kromě fyziky a chemie povrchů je však metoda použitelná i v dalších oborech. Pro **biologii** je největším přínosem metody možnost zobrazovat v libovolném okolním prostředí, což umožňuje zobrazit i živé organismy (např. bakterie, DNA, aj.). Pomocí speciální aplikace AFM lze také zjišťovat přítomnost biologicky aktivních materiálů (toxínů, bakterií, virů, apod.) ve studovaném vzorku.

SPM lze také využít v **metrologii** (pro přesná rozměrová měření, určování drsnosti povrchu, aj.).

Velmi zajímavou aplikací technik SPM jsou **nanotechnologie**. Možnost zobrazovat atomy a přesné polohování hrotu i vzorku lze totiž využít k manipulaci s atomy. Tímto způsobem je možno vytvářet struktury na atomární úrovni. Pro manipulaci s atomy je zapotřebí vzorek, který má velmi kvalitní povrch, a v okolí vzorku je nutné udržovat vysoké vakuum. S jednotlivými atomy je možno manipulovat dvěma způsoby:

- STM hrot nastavíme nad přemísťovaný atom a přiložíme napětí vhodné polarity. Tím dojde k přechodu atomu na hrot. Poté hrot oddálíme, přesuneme nad místo, kam chceme atom přemístit, a přiložíme napětí opačné polarity. Tím dojde ke zpětnému přechodu atomu na povrch vzorku. Prvním takto vytvořeným obrázkem byl v r. 1990 nápis IBM (viz. obr. 4.4), vytvořený z atomů xenonu na povrchu niklu, ochlazeném na teplotu 4 K (-269°C).
- Jakýkoliv SPM hrot přiblížíme k povrchu za zvoleným atomem a v blízkosti povrchu atom tlačíme před hrotem na žádané místo.

(Podobným způsobem je možno také manipulovat s celými molekulami.)



Obr. 52 Logo IBM vytvořené manipulací s atomy Xe na Ni

Jinou formou povrchových modifikací je přímý přenos materiálu. Ten lze realizovat např. použitím zlatého hrotu. Přiblížením hrotu k povrchu vzorku a použitím intenzivního napětového pulsu, lze pak na povrchu vzorku vytvořit zlatou "hromádku" (tzv. kvantovou tečku). Vytvářet kopečky či důlky na povrchu vzorku lze i zatlačováním hrotu do povrchu. Těto metody bylo použito i k ověření některých závěrů kvantové mechaniky.

Těmito převratnými technikami byly vytvořeny zdánlivě neskutečné věci: např.: osičky desetitisíckrát menší než lidský vlas, nanorezistory, nanomotorky, aj., které se již dnes využívají v mnoha různých odvětvích.

Literatura

1. Bohuněk, J. a kol.: *Fyzika pro 9. ročník základní školy* 1. vyd., Praha, Prometheus 1997.
2. Dolejší, J.: Částicová fyzika pro začátečníky. Dostupné on line http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/textbook/particle_textbook_CZ.htm 20.1.2011
3. Eckertová, L.; Frank, L.: *Metody analýzy povrchů - Elektronová mikroskopie a difrakce* 1. vyd., Praha, Academia 1996.
4. Hejtmánek, M.: *Úvod do světelné mikroskopie* 5. vyd., Olomouc, UP 2001
5. Janík, T.: *Znalost jako klíčová kategorie učitelského vzdělávání*. Brno: Paido 2005.
6. Hubeňák, J.: *Aplikovaná fyzika a moderní elektronika*. Repronis 2007. ISBN 978-80-7329-158-7.
7. Chráska, M.: Diagnostika postojů ke škole a učitelskému povolání u studentů učitelství. *Pedagogická orientace*, 1998, č. 4, s. 103-109.
8. Kalina, T.; Pokorný, V.: *Základy elektronové mikroskopie: pro biology* 1. vyd., Praha, SPN 1979
9. Kubínek, R. a kol.: *Mikroskopie skenující sondou* 1. vyd., Olomouc, UP 2003
10. Kvasničková, D. a kol.: *Přírodopis pro 5. ročník ZŠ* 1. vyd., Praha, Fortuna 1993
11. Kvasničková, D. a kol.: *Poznáváme život – Přírodopis pro 6. ročník ZŠ (2. část)* 1. vyd., Praha, Fortuna 1995
12. Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia – Optika* 3. vyd., Praha, Prometheus 2003.
13. Lepil, O.; Kupka, Z.: *Fyzika pro gymnázia – Optika* 1. vyd., Praha, SPN 1993
14. Lepil, O.; Šedivý, P.: *Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus* 5. vyd., Praha, Prometheus 2000
15. Mareš, J.: *Studentské posuzování vysokoškolské výuky*. Brno : Vojenská akademie, 1988.
16. Pospíšil, J.: *Základy vlnové optiky A* 1. vyd., Olomouc, UP 1990.
17. Pospíšil, J.: *Základy optiky B* 1. vyd., Olomouc, UP 1983.
18. Shulman, L. S. Knowledge and Teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 1987, roč. 57, s. 1-22.
19. Svatoš, T.: Dovednostní koncepty učitelské přípravy. *Pedagogická revue*, 2003, č. 5, s. 441-456.
20. Švec, V. Sebereflexe studentů v pregraduální didaktické přípravě. *Pedagogika*, 46, 1996, č. 3, s. 265-276.

21. Švec, V. *Pedagogická příprava budoucích učitelů: problémy a inspirace*. Brno : Paido, 1999.
22. Švec, V. (ed) *Monitorování a rozvoj pedagogických dovedností*. Brno: Paido, 2000.
23. Vybíral, B.: Fundamentální experimenty ve fyzice. *Matematika, fyzika, informatika* 15 (5/2006), s. 274.
24. Vyskočilová, E. Psychosomatická kondice jako základ schopnosti vychovávat. In. Švec, V. a kol. *Cesty k učitelské profesi: utváření a rozvíjení pedagogických dovedností*. Brno: Paido, 2002, s. 13-35.
25. Van Driel, J. H.; Verloop, N.; De Vos, W.: Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 1998, roč. 35, s. 673-695.
26. Žalud, V.: *Moderní radioelektronika*, BEN technická literatura, Praha 2000.

Internetové zdroje:

<http://exfyz.upol.cz/bf/index.htm>
<http://www.quido.cz/objevy>
<http://www.referaty.sk>
<http://www.paru.cas.cz/lem>
<http://atmilab.upol.cz>
<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/download/elmag.pdf>
<http://kdf.mff.cuni.cz/Heureka/>
<http://ises.info/>
<http://www.pasco.cz/>
<http://www.pasco.com/>
<http://www.vernier.cz/>
<http://www.vernier.com/>
<http://www.cma.science.uva.nl/english/>
<http://www.phywe.cz/>
<http://www.phywe-systeme.com/>
<http://www.pierron.cz/>
<http://www.pierron.com/>
<http://www.eduxe.cz/logitworld/>
<http://www.dcpmicro.com/>
<http://www.redidactic.cz/>
<http://phet.colorado.edu/>
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/>
<http://www.walter-fendt.de/>
<http://rcl.physik.uni-kl.de/>
<http://ises.tym.cz/>
<http://www.ictphysics.upol.cz/remotelab/>

