

Fyzika pro 9. ročník

(učební texty)

David Michálek

OBSAH

1. OPAKOVÁNÍ	4
1.1. ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE	4
1.2. ELEKTRICKÝ PROUD, NAPĚTÍ A ODPOR	7
1.3. KIRCHHOFFOVY ZÁKONY	10
1.4. ZAPOJOVÁNÍ REZISTORŮ	11
2. ELEKTROMAGNETICKÉ JEVY	12
2.1. MAGNET, MAGNETICKÉ POLE A INDUKČNÍ ČÁRY	12
2.2. MAGNETICKÉ VLASTNOSTI LÁTEK	12
2.3. MAGNETICKÉ POLE PŘÍMÉHO VODIČE A CÍVKY S PROUDEM	13
2.4. CÍVKA JAKO ELEKTROMAGNET	14
2.5. PŮSOBNÍ MAGNETICKÉHO POLE NA PŘÍMÝ VODIČ S PROUDEM	16
2.6. VZÁJEMNÉ PŮSOBNÍ DVOU PŘÍMÝCH VODIČŮ S PROUDY	16
2.7. PŮSOBNÍ MAGNETICKÉHO POLE NA CÍVKU S PROUDEM	17
2.8. ELEKTROMOTOR	17
2.9. ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE	19
3. STŘÍDAVÝ PROUD	23
3.1. VZNIK STŘÍDAVÉHO PROUDU	23
3.2. HODNOTY STŘÍDAVÉHO PROUDU A STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ	27
3.3. TRANSFORMÁTORY	28
3.4. ROZVODNÁ ELEKTRICKÁ SÍŤ	29
4. VEDENÍ PROUDU V KAPALINÁCH A PLYNECH	30
4.1. CO UŽ VÍME O VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU	30
4.2. VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU V KAPALINÁCH	31
4.3. VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU V PLYNECH	33
5. ELEKTRICKÝ PROUD V POLOVODIČÍCH	35
5.1. STAVBA HMOTY A NOSIČE NÁBOJE	35
5.2. PÁSOVÝ MODEL KRYSTALU	36
5.3. POLOVODIČOVÉ MATERIÁLY	37
5.4. VLASTNÍ VODIVOST POLOVODIČE	38
5.5. NEVLASTNÍ VODIVOST POLOVODIČE	40
5.6. TERMISTORY	42
5.7. FOTOREZISTOR	43
5.8. PŘECHOD PN (POLOVODIČOVÁ DIODA)	44
5.9. DIODY JAKO USMĚRŇOVAČE	47
5.10. DALŠÍ SOUČÁSTKY S JEDNÍM PN PŘECHODEM	51
6. BEZPEČNÉ ZACHÁZENÍ S ELEKTRICKÝMI ZAŘÍZENÍMI	55
6.1. ELEKTRICKÉ SPOTŘEBIČE V DOMÁCNOSTI	55
6.2. OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM	56
6.3. PRVNÍ POMOC PŘI ÚRAZU ELEKTRICKÝM PROUDEM	57
7. ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ (VLNĚNÍ)	58
7.1. ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY A ZÁŘENÍ	58
7.2. ZDROJE ZÁŘENÍ	63
8. SVĚTELNÉ JEVY A JEJICH VYUŽITÍ	67
8.1. ZÁKLADNÍ POZNATKY O SVĚTLE	67
8.2. ZÁKON ODRAZU A ZÁKON LOMU	67
8.3. ZOBRAZOVÁNÍ ROVINNÝM A KUPOVÝM ZRCADLEM	69

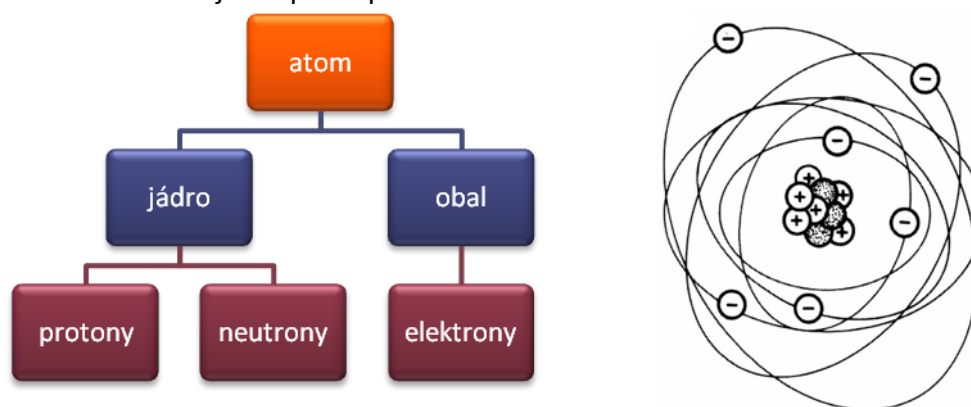
8.4.	ZOBRAZOVÁNÍ ČOČKAMI	73
8.5.	OPTICKÉ VLASTNOSTI OKA	76
8.6.	LUPA, MIKROSKOP A DALEKOHLÉD	77
9.	JADERNÁ ENERGIE.....	83
9.1.	CO UŽ VÍME O ATOMECH	83
9.2.	ATOMOVÉ JÁDRO	83
9.3.	RADIOAKTIVITA.....	84
9.4.	VYUŽITÍ JADERNÉ ENERGIE	87
9.5.	JADERNÉ REAKCE	88
9.6.	UVOLŇOVÁNÍ JADERNÉ ENERGIE	89
9.7.	OCHRANA PŘED ZÁŘENÍM	97
10.	VESMÍR, GALAXIE, SLUNEČNÍ SOUSTAVA, HVĚZDY A PLANETY	97
10.1.	VESMÍR	97
10.2.	SLUNEČNÍ SOUSTAVA	99
10.3.	SLUNCE – NEJDŮLEŽITĚJŠÍ NAŠE HVĚZDA	103
10.4.	MERKUR.....	115
10.5.	VENUŠE	115
10.6.	PLANETA ZEMĚ.....	117
10.7.	MARS	121
10.8.	JUPITER	122
10.9.	SATURN.....	125
10.10.	URAN	127
10.11.	NEPTUN	129
11.	POUŽITÁ LITERATURA A POUŽITÉ PRAMENY	131

1. Opakování

1.1. Elektrický náboj a elektrické pole

Stavba hmoty

Základním stavebním prvkem hmoty je **atom** (obr. 1). Je to elektricky neutrální částice (nemá elektrický náboj, tj. $Q = 0 \text{ C} \rightarrow$ počet protonů je stejný jako počet elektronů). Atom se skládá z **jádra** a z **obalu**. Jádro obsahuje **neutrony** n^0 (elektricky neutrální částice) a **protony** p^+ (kladně nabitě částice). Protony a neutrony jsou v jádře vázány jadernými silami. Protonům a neutronům se dohromady říká **nukleony**. Obal obsahuje **elektrony** (záporně nabitě částice), které obíhají v různých vzdálenostech od jádra po slupkách.



Obrázek 1: Struktura a model atomu

Každý prvek se charakterizují dvě čísla:

- nukleonové číslo **A** – udává počet nukleonů (protonů **Z** a neutronů **N**) v jádře;
- protonové číslo **Z** – udává počet protonů v jádře.

$$A = Z + N \qquad {}^A_Z\text{X}$$

Elektrický náboj

Elektrický náboj Q [C] nám udává **míru elektřiny obsažené v tělese**. Jednotkou je jeden coulomb.

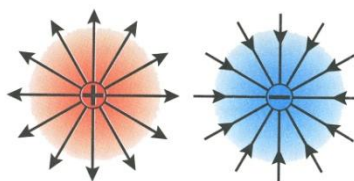
Důležité vlastnosti:

- hodnota náboje je dána množstvím nejmenšího náboje, tzv. **elementárního náboje** $q^- = e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (hodnota náboje elektronu –);
- je kvantován, tj. těleso může obsahovat celistvé násobky náboje $Q = k \cdot q_{el}$;
- **platí zákon o zachování náboje**: vždy vzniknou oba náboje současně + a -. Tyto vzniklé náboje jsou vždy stejně veliké, ale mají opačná znaménka!

Ze elektrování tělesa – např. třením dvou těles se elektrony z jednoho tělesa odtrhnou a přesunou na druhé těleso. Z tělesa, ze kterého byly odtrženy elektrony, se stane **kladně nabitý iont (kationt)**, jelikož $p^+ > e^-$. Z tělesa, které elektrony přijalo, se stane záporný iont (aniont), jelikož $e^- > p^+$.

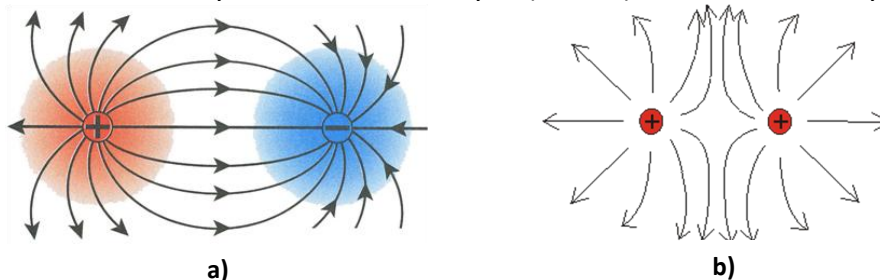
Mezi dvěma náboji **vzniká elektrické pole** a zároveň na ně **působí elektrická síla** (přitažlivá na nesouhlasné náboje nebo odpuzivá na souhlasné náboje). Směr a silové působení elektrického pole znázorňujeme **siločarami** (myšlené čáry). U kladně nabitého tělesa siločáry směřují od tělesa a u záporně nabitého tělesa směřují siločáry k tělesu (*obr. 2*). Tato síla je přímo úměrná součinu nábojů těles a zmenšuje se s druhou mocninou jejich vzdálenosti – **Coulombův zákon**

$$F_C = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \text{ [N]}.$$



Obrázek 2: Siločáry kladného a záporného tělesa

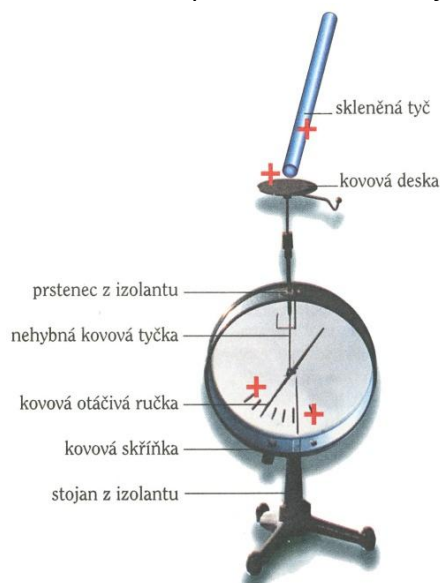
Siločáry mezi dvěma tělesy nesouhlasně nabitými (*obr. 3a*) a souhlasně nabitými (*obr. 3b*).



Obrázek 3: Siločáry elektrického pole dvou těles a) nesouhlasně nabitých; b) souhlasně nabitých

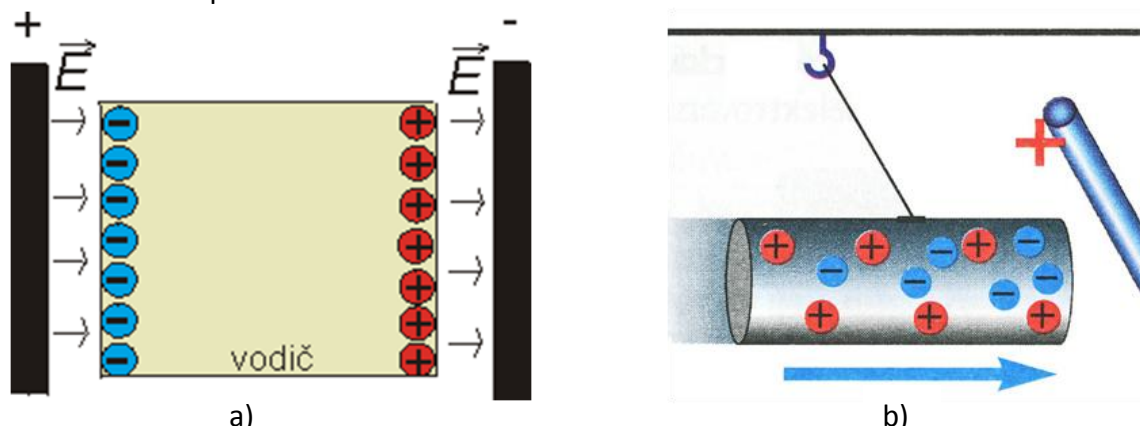
Elektroskop

Pomocí elektroskopu zjišťujeme, zda je těleso nabité, popř. zda je jeho náboj kladný či záporný. Podle výchylky usuzujeme na velikost přeneseného náboje (*obr. 4*).



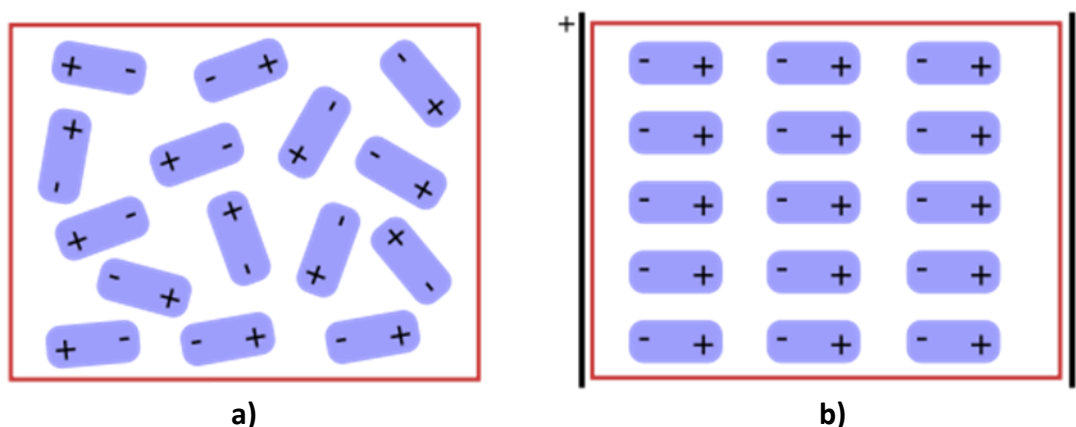
Obrázek 4: Popis ručkového elektroskopu

Elektrostatická indukce – přesunutí volných elektronů v izolovaném vodiči působením elektrického pole (obr. 5a). Například ke kovovému elektricky neutrálnímu válečku přiblížíme kladně nabitou tyč (obr. 5b), volné elektrony se přesunou ve válečku více ke konci, který je blíže k nabitě tyči, kde vznikne převaha záporných částic (záporného náboje). Na vzdálenějším konci válečku vznikne díky nedostatku volných elektronů převaha kladných nepohyblivých iontů. Záporně nabitý konec válečku je přitahován ke kladně nabitě tyči. Pod oddálení tyče se elektrony opět rovnoměrně rozprostou ve válečku.



Obrázek 5: Princip elektrostatické indukce

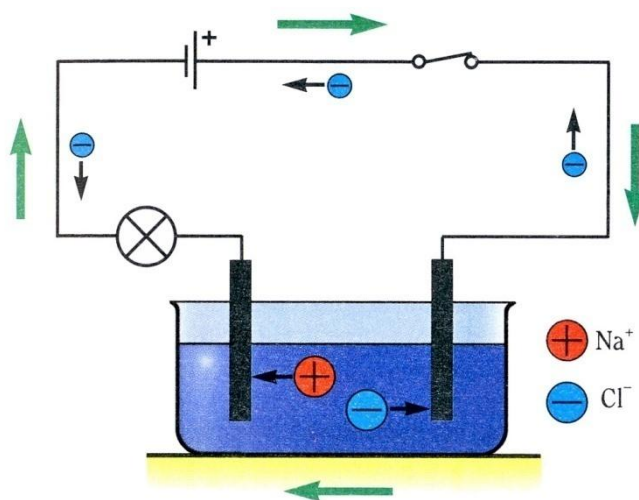
Polarizace dielektrika (izolantu) – izolanty neobsahují téměř žádné volné nosiče náboje. Při vložení látky do elektrického pole se atomy (molekuly) natočí tak, aby jejich "kladnější" konec směřoval k záporné desce a "zápornější" konec ke kladné desce. Uvnitř tělesa se náboje vzájemně vyrovnávají, ale na krajích u nabitých desek nejsou náboje vyrovnány. Na koncích tělesa izolantu se tedy v elektrickém poli projeví nesouhlasné náboje – póly. Tento jev nazýváme **polarizace** (obr. 6).



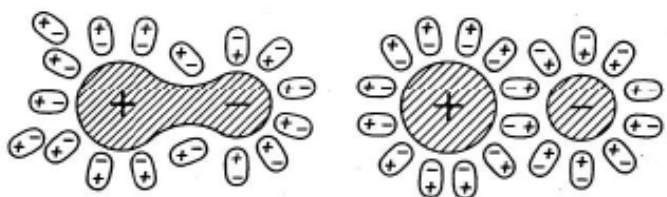
Obrázek 6: Izolant a) bez elektrického pole; b) v elektrickém poli (polarizace)

1.2. Elektrický proud, napětí a odpor

Elektrický proud je uspořádaný pohyb volných nosičů náboje (elektronů, iontů) za jednotku času $I = \frac{Q}{t} [A; C, s]$. V případě elektronů se jedná o vodivost elektronovou, v případě iontu o vodivost iontovou (obr. 7). Směr proud je od kladného pólu k zápornému, tedy od + k -. Ale **směr toku elektronů je opačný**, tj. od - k +. Elektrický proud měříme ampérmetrem a zapojujeme jen do série.

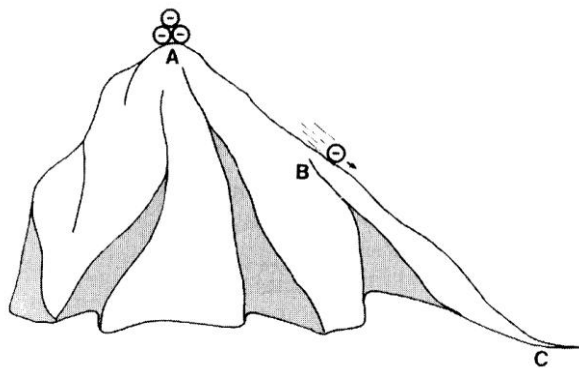


Obrázek 7: Elektrolýza NaCl (kuchyňské soli) - iontová vodivost



Obrázek 8: Princip disociace rozpouštěné látky rozpouštědlem

Elektrické napětí – je podílem práce vynaložené na přenesení náboje mezi dvěma místy a velikostí tohoto náboje $U = \frac{W}{Q} [V; J, C]$ (rozdíl potenciálů – „rozdíl výškových bodů, kdy se kulička kutálí ze svahu“ viz. obr. 9). K měření napětí používáme voltmetr a zapojujeme jej paralelně. Orientace napětí je dána šipkou od kladného pólu k zápornému.



Obrázek 9: Zjednodušený princip elektrického napětí (rozdíl potenciálů)

Elektrický odpor – každý materiál klade elektrickému proudu určitý odpor. U kovů je například el. odpor způsoben tepelným chvěním atomů, do nichž narážejí volné elektrony, tím se el. proud zmenší. Touto srážkou se také uvolňuje teplo a vodič se zahřívá (Joule-Lencovo teplo: $Q = UIt$) – spirála varné konvice, žárovka aj. Zahřívá-li se vodič, jeho elektrický odpor roste, jelikož atomy kmitají rychleji a naráží do nich více elektronů. Vztah mezi el. odporem, proudem a napětím nám určuje **Ohmův zákon** $R = \frac{U}{I} [\Omega; \text{V}, \text{A}]$, jednotkou je jeden ohm.

Opačnou vlastností k elektrickému odporu je **elektrická vodivost** $G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} [\text{S}; \text{A}, \text{V}]$, je to převrácená hodnota odporu, jednotkou je jeden siemens [S].

Elektrický odpor vodiče je závislý na jeho vlastnostech: **materiálu, délce a průřezu vodiče.**

$R = \rho \frac{l}{S} [\Omega]$, kde $\rho [\Omega \cdot \text{m}]$ je měrný odpor a je pro každý materiál jiný. Pro lepší počítání se

v praxi uvádí dílčí jednotka $\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} \right]$.

Př. 1:

Odpor rezistoru je 150Ω . Největší proud, který jím může protékat je $0,5 \text{ A}$. Na jaké nejvyšší napětí může být připojen? Co by se stalo při vyšším napětí?

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow U_{\max} = RI_{\max} = 150 \cdot 0,5 \text{ V} = 75 \text{ V}$$

Při překročení tohoto napětí může dojít k přehřátí rezistoru a tím k jeho destrukci.

Př. 2:

Při elektrickém napětí 16 V prochází rezistorem proud $0,2 \text{ A}$. Jaký proud bude tímto rezistorem procházet, připojíme-li jej ke zdroji napětí o 48 V ?

$$\text{Vypočítáme hodnotu rezistoru: } R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{16}{0,2} \Omega = 80 \Omega \quad I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{48}{80} \text{ A} = 0,6 \text{ A}$$

Př. 3:

Stanovte vodivost vodiče, kterým při napětí 120 V prochází proud 60 mA .

$$G = \frac{1}{R} \quad R = \frac{U}{I} \Rightarrow G = \frac{I}{U} = \frac{0,06}{120} \text{ S} = 0,0005 \text{ S} = 0,5 \text{ mS} = 500 \mu\text{S}$$

Př. 4:

Stanovte průřez a průměr nikelinového vodiče délky 50 m . Vodič má odpor 3Ω .

$$\left[\rho_{\text{nikelinu}} = 0,4 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} \right]$$

Průřez vodiče:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow S = \rho \cdot \frac{l}{R} = 0,4 \cdot \frac{50}{3} \text{ mm}^2 \doteq 6,67 \text{ mm}^2$$

Průměr vodiče:

$$S_{\circ} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,67}{\pi}} \text{ mm} = 2,91 \text{ mm}$$

Př. 5:

Z jakého materiálu je vodič, mezi jehož konci je napětí 11,4 V a kterým protéká proud 2 A? Vodič má délku 500 m a průměr 1,78 mm.

Odpor vodiče:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{11,4}{2} \Omega = 5,7 \Omega$$

Průřez vodiče:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,78^2}{4} \text{ mm}^2 \doteq 2,49 \text{ mm}^2$$

Rezistivita materiálu (měrný odpor materiálu):

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{l} = \frac{5,7 \cdot 2,49}{500} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} = 0,0284 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

Z tabulek ρ materiálu odpovídá pro hliník.

Př. 6:

Žárovka je připojena ke zdroji napětí 120 V a prochází jí proud 0,5 A. Urči příkon žárovky.

$$P_p = U \cdot I = 120 \cdot 0,5 \text{ W} = 60 \text{ W}$$

Př. 7:

Na jedné žárovce je údaj 150 W / 220 V, na druhé 500 W / 220 V. Jaký proud prochází první a druhou žárovkou, je-li každá z nich připojen ke zdroji napětí 120 V? Jaký odpor mají žárovky?

Z údajů o žárovkách vypočítáme jejich ohmické odpory:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow P_p = UI = U \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P_p}$$

$$R_{z1} = \frac{U_1^2}{P_{p1}} = \frac{220^2}{150} \Omega = 322,67 \Omega \doteq 323 \Omega$$

$$R_{z2} = \frac{U_2^2}{P_{p2}} = \frac{220^2}{500} \Omega = 96,8 \Omega \doteq 97 \Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{z1}} = \frac{120}{323} \text{ A} = 0,37 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_{z2}} = \frac{120}{97} \text{ A} = 1,24 \text{ A}$$

Př. 8:

Topnou spirálou elektrického krbu o odporu 10 Ω prochází proud 20 A po dobu 2,5 h. Urči příkon krbu a spotřebovanou elektrickou energii.

$$P_p = U \cdot I = RI^2 = 10 \cdot 20^2 = 4000 \text{ W} = 4 \text{ kW}$$

$$W = UIt = RI^2t = P_p \cdot t = 4000 \cdot 9000 \text{ J} = 36\,000\,000 \text{ J} = 36\,000\,000 \text{ W} \cdot \text{s} = 36\,000 \text{ kW} \cdot \text{s} = 10 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

Př. 9:

Vysavač prachu má příkon elektromotoru 750 W a účinnost 70%. Jak velký je jeho výkon?

$$\eta_e = \frac{P_v}{P_p} \Rightarrow P_v = \eta_e \cdot P_p = 0,7 \cdot 750 \text{ W} = 525 \text{ W}$$

Př. 10:

Ponorný vaříč předává teplo kapalině takřka bez ztrát. Je určen pro napětí 230 V a má příkon 750 W. Urči proud, procházející topnou spirálou vaříče. Za jakou dobu se jím ohřeje 2,5 kg vody z teploty 12,5 $^{\circ}\text{C}$ na teplotu varu? [$c_{\text{vody}} = 4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$]

$$P_p = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_p}{U} = \frac{750}{230} \text{ A} = 3,26 \text{ A} \quad W = UIt = P_p \cdot t$$

$$Q = mc(t - t_0) \quad W = Q \Rightarrow P_p \cdot t = mc(T - T_0) \Rightarrow t = \frac{mc(T - T_0)}{P_p}$$

$$t = \frac{mc(T - T_0)}{P_p} = \frac{2,5 \cdot 4186 \cdot (100 - 12,5)}{750} \text{ s} \doteq 1220 \text{ s} \doteq 20 \text{ min}$$

Př. 11:

Stejnoseměrný elektromotor s výkonem 10 kW odebírá při napětí 230 V ze zdroje proud 52 A. Určete příkon motoru, účinnost a ztráty.

Příkon elektromotoru:

$$P_p = U \cdot I = 230 \cdot 52 \text{ W} = 11960 \text{ W} = 11,96 \text{ kW}$$

Účinnost elektromotoru:

$$\eta_e = \frac{P_v}{P_p} = \frac{10000}{11960} = 0,84 \quad \eta_e = 84\%$$

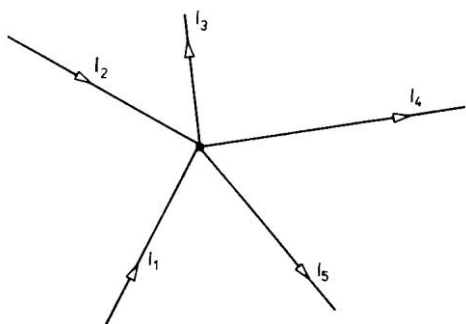
Ztráty elektromotoru:

$$P_z = P_p - P_v = 11,96 - 10 \text{ kW} = 1,96 \text{ kW}$$

1.3. Kirchhoffovy zákony

I. KZ

Součet proudů do uzlu vcházejících se rovná součtu proudů z uzlu vycházejících (obr. 10), resp. součet všech proudů do uzlu vstupujících a vycházejících se rovná nule. Vyjde-li nám ve výpočtech **proud záporný, teče proud opačným směrem**, než jsme předpokládali. Při počítání obvykle označujeme všechny proudy vstupující do uzlu stejným znaménkem (např. +) a všechny vystupující proudy opačným znaménkem (např. -).



Obrázek 10: I. Kirchhoffův zákon

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0 \text{ (dodržení znamének),}$$

ale lze i obecně napsat.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

II. KZ

Součet všech svorkových napětí na zdrojích se musí rovnat součtu všech úbytků napětí na spotřebičích, resp. součet všech svorkových napětí na zdrojích a všech úbytků na spotřebičích se musí rovnat nule.

1.4. Zapojování rezistorů

Rezistory můžeme spojit **sériově** (za sebou, *obr. 11a*) nebo **paralelně** (vedle sebe, *obr. 11b*) a tato zapojení můžeme libovolně kombinovat. Při počítání složitějšího obvodu počítáme tak, že si obvod postupně zjednodušujeme.

Sériové zapojení rezistorů

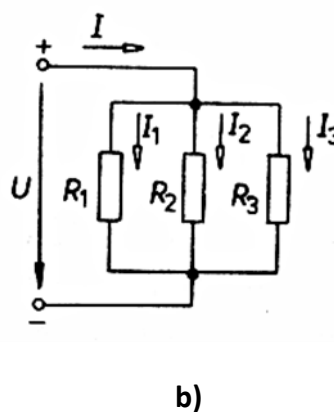
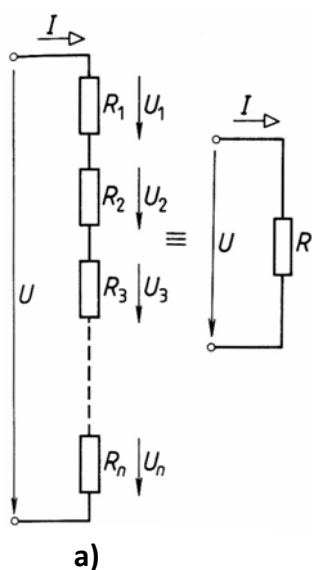
Výsledný odpor je dán součtem všech dílčích odporů:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Paralelní zapojení rezistorů

Výsledný odpor je dán převrácenou hodnotou celkové vodivosti, která je dána součtem převrácených hodnot dílčích odporů (vodivostí).

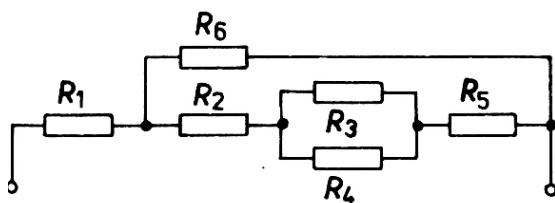
$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \Rightarrow R = \frac{1}{G}$$



Obrázek 11: a) sériové; b) paralelní zapojení rezistorů

Př. 12:

Vypočtěte výsledný odpor zapojení podle obrázku, kde $R_1 = 16 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$, $R_4 = 120 \Omega$, $R_5 = 4 \Omega$ a $R_6 = 60 \Omega$.



$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{30 \cdot 120}{30 + 120} = 24 \Omega$$

$$R_{2345} = R_2 + R_{34} + R_5 = 12 + 24 + 4 = 40 \Omega$$

$$R_{23456} = \frac{R_{2345} \cdot R_6}{R_{2345} + R_6} = \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} = 24 \Omega$$

$$R_{123456} = R_1 + R_{23456} = 16 + 24 = 40 \Omega$$

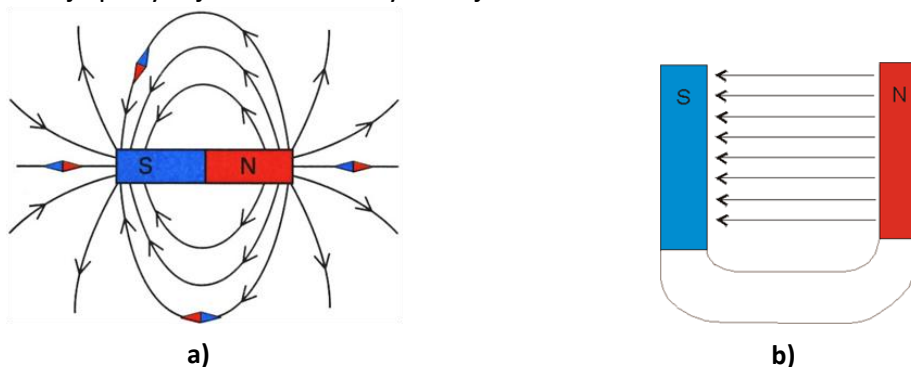
2. Elektromagnetické jevy

2.1. Magnet, magnetické pole a indukční čáry

Magnet – je trvale nebo dočasně zmagetované těleso, které je zdrojem magnetického pole. Trvalý magnet se nazývá **permanentní magnet**. Magnet má severní (**N**) a jižní (**S**) pól (obr. 12). Nesouhlasné póly magnetů se **přitahují**, souhlasné póly magnetů se **odpuzují**. Země má rovněž magnetické vlastnosti. Chová se jako tyčový magnet, jehož severní magnetický pól je v blízkosti jižního zemského pólu a jižní magnetický pól je v blízkosti severního zemského pólu.

Magnetické pole – se projevuje silovými účinky, tj. přitahuje železo (nikl, kobalt a některé slitiny). Magnetickou silou (**přitažlivou** či **odpudivou**) na sebe také působí dva magnety. Magnetické pole existuje i kolem **vodičem**, kterým **protéká proud**.

Indukční magnetické čáry – znázorňují **velikost** (čím jsou čáry hustší, tím je magnetické pole silnější) a **směr** působení magnetického pole (obr. 12). Vně magnetu směřují od severního k jižnímu pólu, uvnitř magnetu směřují od jižního pólu k severnímu pólu. Příčinou magnetického pole v okolí vodiče je pohybující se elektrický náboj.

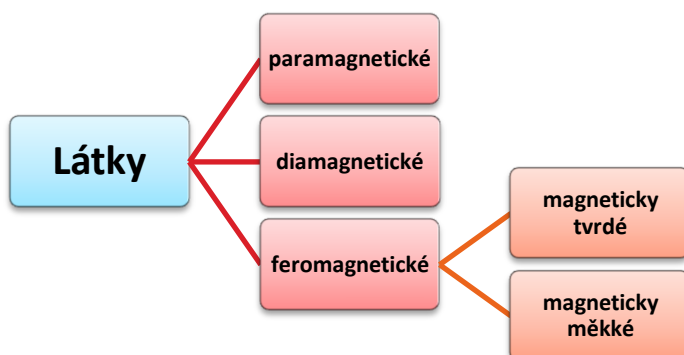


Obrázek 12: Indukční čáry magnetického pole a) tyčového magnetu; b) podkovového magnetu

2.2. Magnetické vlastnosti látek

Permeabilita μ - je fyzikální veličina, která charakterizuje magnetické vlastnosti prostředí, v němž existuje magnetické pole. Udává míru magnetizace v důsledku působícího magnetického pole. Permeabilita vyjadřuje reakci určitého prostředí na silové účinky magnetického pole. Některá prostředí tyto účinky zesilují, jiná je zeslabují.

Relativní permeabilita μ_r – je materiálová konstanta (proste číslo), která udává, kolikrát je permeabilita určitého prostředí větší než permeabilita vakua.



Magnetické vlastnosti látek určují **elektrické proudy uvnitř těchto látek**. Velmi jednoduše si můžeme představit, že jednotlivé elektrony v atomech se pohybují po uzavřených smyčkách a vytvářejí elementární magnetická pole, která se skládají a vytvářejí výsledné magnetické pole atomu. Podle uspořádání elektronů v atomu může

nastat případ, že se magnetická pole uvnitř atomu navzájem zcela ruší, takové atomy nazýváme **diamagnetické**. Pokud se elementární pole ruší jen částečně, jsou atomy **paramagnetické**.

Diamagnetické látky – mají relativní permeabilitu nepatrně menší než 1, $\mu_r < 1$ tzn., že zeslabují magnetické pole (rtuť, inertní plyny, zlato, měď aj.).

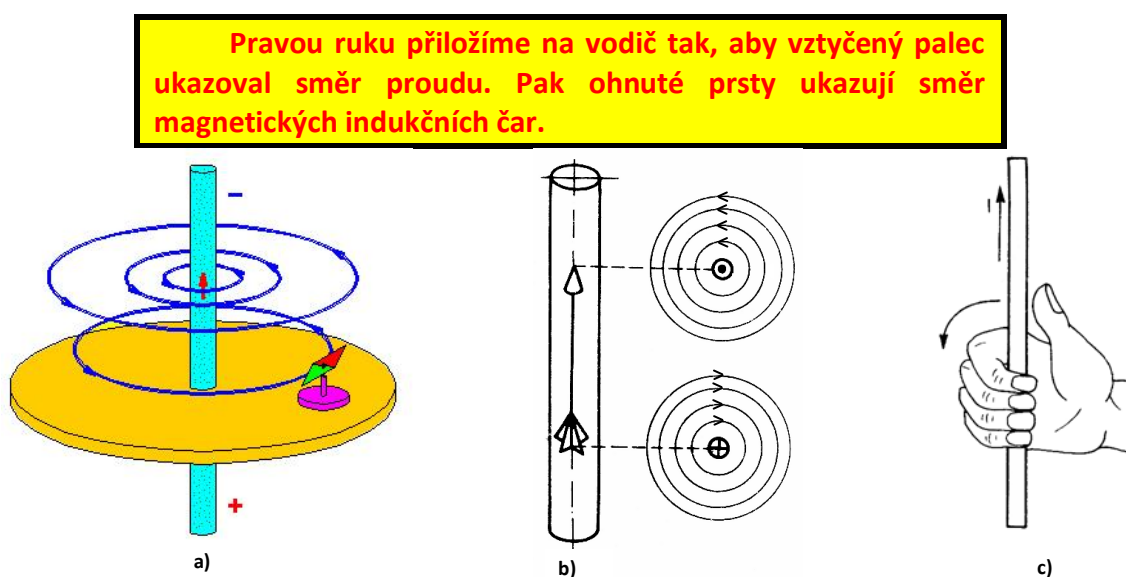
Paramagnetické látky – mají relativní permeabilitu nepatrně větší než 1, $\mu_r > 1$ tzn., že mírně zesilují magnetické pole (sodík, draslík, hliník aj.). Atomy paramagnetických látek mají vlastní magnetické pole.

Feromagnetické látky – mají rovněž paramagnetické atomy, ale v takovém uspořádání, že silně zesilují magnetické pole, jejich relativní permeabilita je daleko větší než 1, $\mu_r \gg 1$, řádově 100 až 100 000. Patří sem železo, kobalt, nikl aj. Např. relativní permeabilita oceli $\mu_r = 8000$. Feromagnetické látky můžeme rozdělit na magneticky tvrdé a na magneticky měkké.

- **magneticky tvrdé látky** – zůstávají trvalými (permanentními) magnety a po zániku magnetického pole (po oddálení magnetu);
- **magneticky měkké látky** – ztrácejí vlastnost magnetu po zániku magnetického pole.

2.3. Magnetické pole přímého vodiče a cívky s proudem

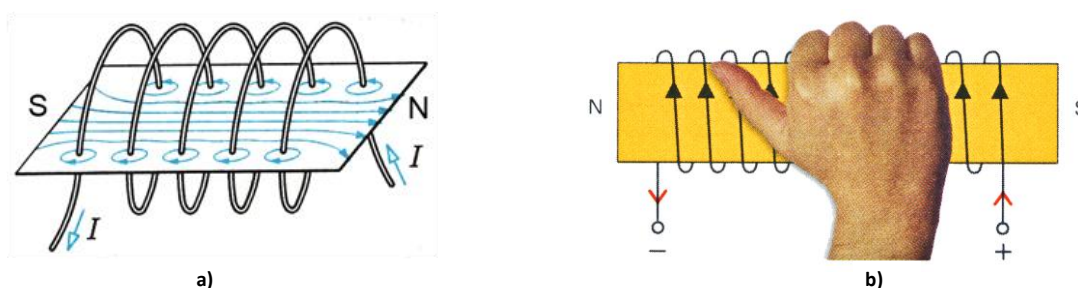
Přímý vodič s proudem – ve vodiči s proudem se uspořádaně pohybují volné nosiče náboje (elektrony – jejich směr je opačný než myšlený směr proudu), tím vzniká kolem vodiče magnetické pole (obr. 13a). Je-li vodič ve směru našeho pohledu, indukční čáry mají tvar soustředných kružnic. Proud vystupující z vodiče (letící k nám) značíme tečkou •, proud vstupující do vodiče (letící od nás) značíme křížkem x (obr. 13b). Směr magnetických indukčních čar určíme pomocí Ampérova pravidla pravé ruky pro přímý vodič s proudem (obr. 13c):



Obrázek 13: Přímý vodič a), b) směr indukčních čar; c) Ampérovo pravidlo pravé ruky

Cívka s proudem – má kolem sebe magnetické pole podobné tyčovému magnetu. Na jednom konci cívky s proudem je severní a na druhém konci jižní magnetický pól (obr. 14a). Změníme-li proud v cívce, její magnetické póly se obrátí. Magnetické pole cívky je nejen vně, ale i uvnitř, kde je jeho směr od jižního k severnímu pólu. Cívka se chová jako magnet. Rozmístění magnetických pólů cívky lze určit pomocí Ampérova pravidla pravé ruky pro cívku s proudem (obr. 14b):

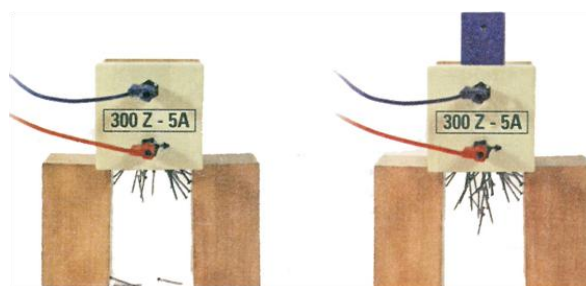
Uchopíme-li cívky do pravé ruky tak, že prsty ukazují směr průchodu elektrického proudu vodičem, natažený palec ukazuje severní magnetický pól cívky.



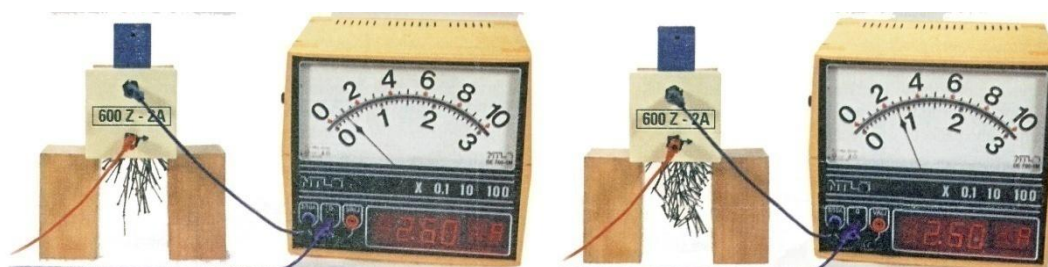
Obrázek 14: a) indukční magnetické čáry v cívce; b) Ampérovo pravidlo pravé ruky

2.4. Cívka jako elektromagnet

V minulé kapitole jsme se dozvěděli, že pokud cívkou prochází proud, tak se chová jako magnet, tudíž přitahuje předměty. Ale jelikož jádrem (vnitřní výplní) cívky je vzduch (malá permeabilita), není magnetické pole tak silné – malé silové účinky (obr. 15a). Proto se v elektromagnetech používají látky z feromagneticky měkkých materiálů (velká permeabilita), které magnetické pole zesilují – velké silové účinky (obr. 15b). Dalšími způsoby jak je možné zvýšit magnetické silové účinky je zvýšením počtu závitů v cívce (obr. 16a) nebo zvětšením procházejícího proudu v cívce (obr. 16b)

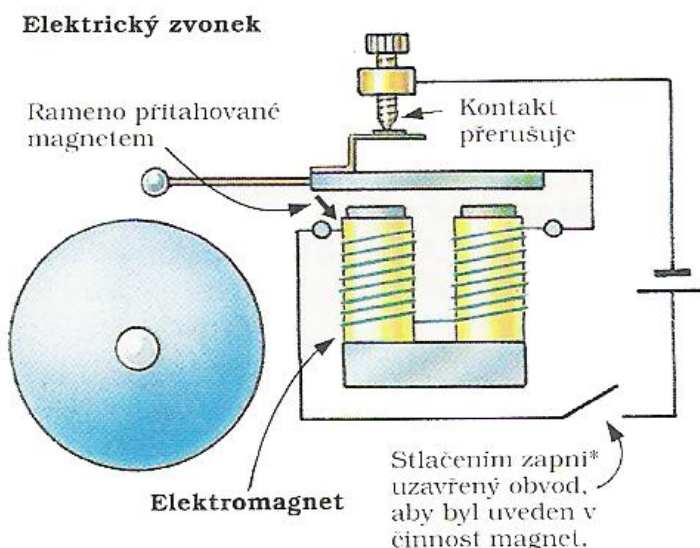


Obrázek 15: cívka a) bez jádra; b) s jádrem



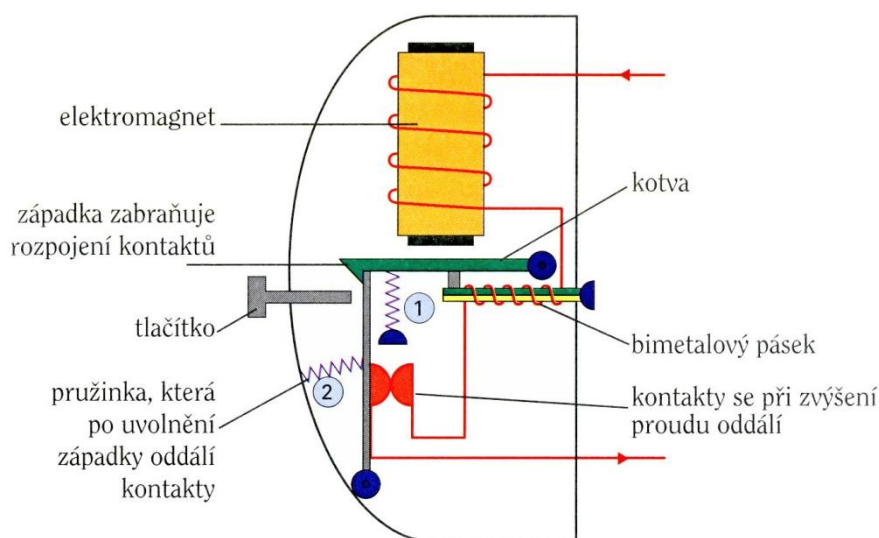
Obrázek 16: a) zvýšení závitů z 300 na 600; b) zvýšení proudu

Domovní elektrický zvonek – obsahuje elektromagnet. Při stisknutí tlačítka zvonku se uzavře elektrický obvod a obvodem začne protékat elektrický proud, díky kterému v elektromagnetu (v cívkě s jádrem) vzniknou přitažlivé magnetické silové účinky. Tyto účinky přitáhnou k elektromagnetu kotvu, čímž se ale obvod mezi šroubkem a dotykovou pružinou přeruší, což má za následek rozpojení obvodu – neprotéká jím elektrický proud a elektromagnet na kotvu nepůsobí. Tím se kotva vrátí zpět, kde opět sepně obvod a celý jev se opakuje (obr. 17), což má za následek drnění zvonku (palička Źuká do zvonku).



Obrázek 17: Princip elektrického zvonku

Jistič – chrání elektrické spotřebiče před zkratem a dlouhodobým proudovým přetížím. Součástí jističe je také elektromagnet (obr. 18). Dojde-li v odvodu ke zkratu, vroste prudce elektrický proud, který prochází i cívkou elektromagnetu v jističi. Magnetické pole elektromagnetu zesílí na tolik, že přitáhne kotvu, která je odtahována pružinkou (1). Tím se oddálí západka a pružinka (2) oddálí kontakty, čímž se obvod přeruší a přestane jím protékat elektrický proud. Nahození jističe se provádí páčkou nebo tlačítkem. V jističi je také bimetalový pásek, který se při vyšších (ne kritických) proudech zahřívá, tím se prohýbá a přitlačuje kotvu k elektromagnetu. To má za následek rozpojení kontaktu a následné přerušení obvodu.

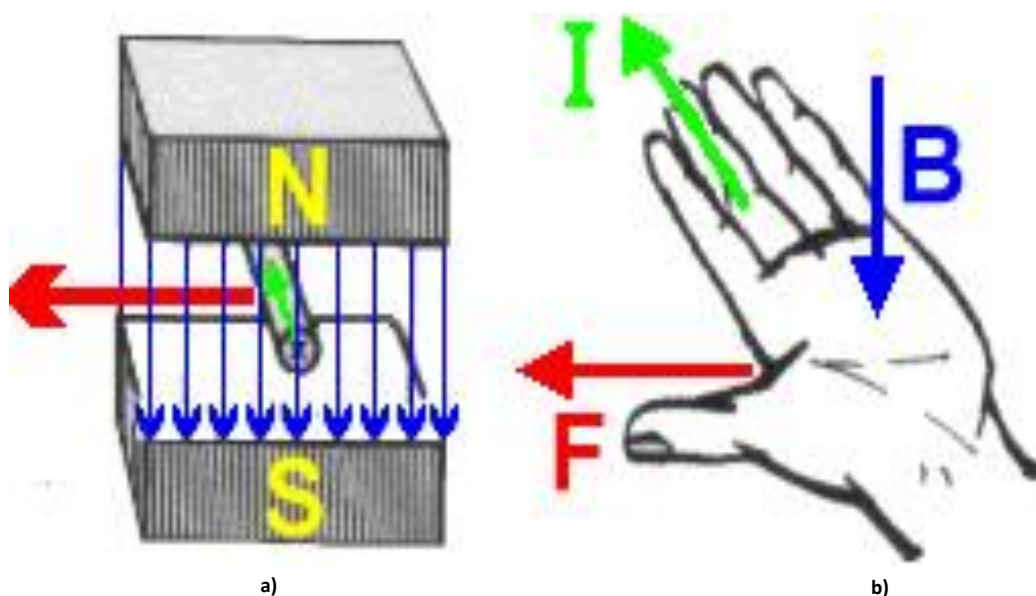


Obrázek 18: Princip jističe

2.5. Působení magnetického pole na přímý vodič s proudem

Jak už víme, **protéká-li vodičem elektrický proud, vytváří se kolem něho magnetické pole**. Pokud tento přímý vodič s proudem I vložíme kolmo na homogenní magnetické pole magnetu (kolmo na směr magnetických indukčních čar B – obr. 19a), magnetické pole vodiče a magnetu budou spolu nějakým způsobem reagovat, tj. **na vodič s proudem bude působit magnetická síla F_m - vodič se začne pohybovat**. Směr pohybu závisí na směru proudu a lze ho určit pomocí **Flemingova pravidla levé ruky** (obr. 19b):

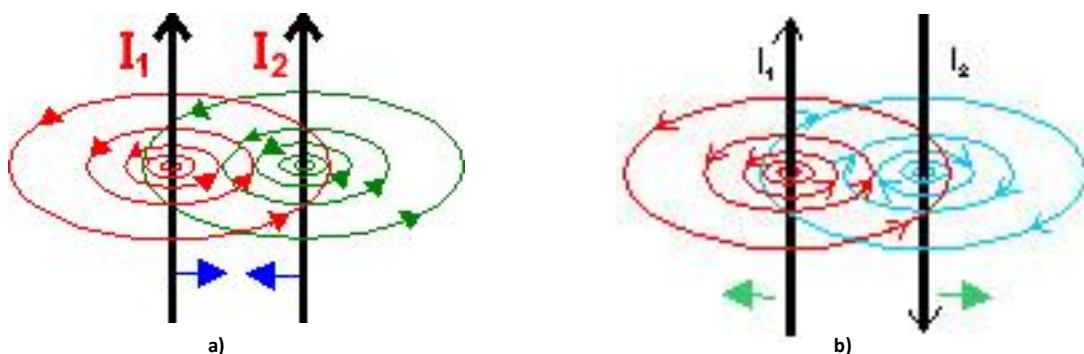
Položíme-li otevřenou ruku k přímému vodiči tak, aby magnetické indukční čáry vstupovaly do dlaně a natažené prsty ukazovaly směr průchodu elektrického proudu, pak odtažený palec ukazuje směr síly, kterým působí magnetické pole na vodič.



Obrázek 19: a) vodič v magnetickém poli; b) Flemingovo pravidlo levé ruky

2.6. Vzájemné působení dvou přímých vodičů s proudy

Kolem dvou vodičů, kterými prochází elektrický proud, vzniká magnetické pole a každý z nich se chová jako magnet. Pokud jsou tyto vodiče dostatečně blízko sebe, jejich magnetická pole mezi sebou vzájemně reagují – **prochází-li vodiči proudy souhlasným směrem, tak se vodiče přitahují, prochází-li proudy směrem opačným, vodiče se odpuzují**. Silové účinky lze dokázat kombinací Ampérova pravidla pravé ruky pro přímý vodič a Flemingova pravidla levé ruky pro přímý vodič v magnetickém poli. Nejprve pomocí Ampérova pravidla pravé ruky určíme směr magnetických indukčních čar u obou vodičů. Poté na druhý vodič (vpravo) uplatníme Flemingovo pravidlo levé ruky, tím zjistíme, jaké má silové účinky magnetické pole prvního vodiče (vlevo) na druhý vodič. Pak Flemingovo pravidlo použijeme na první vodič, čímž zjistíme, jaké silové účinky má magnetické pole druhého vodiče na vodič první. Pokud silové účinky směřují k sobě, vodiče se přitahují (obr. 20a), pokud od sebe, vodiče se odpuzují (obr. 20b).

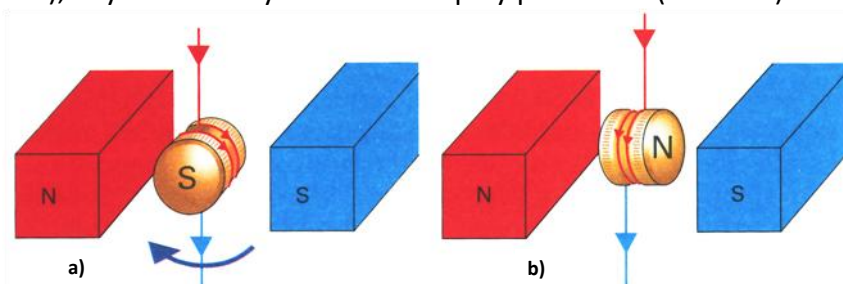


Obrázek 20: Vzájemné působení dvou vodičů a) přitahují; b) odtahují

2.7. Působení magnetického pole na cívku s proudem

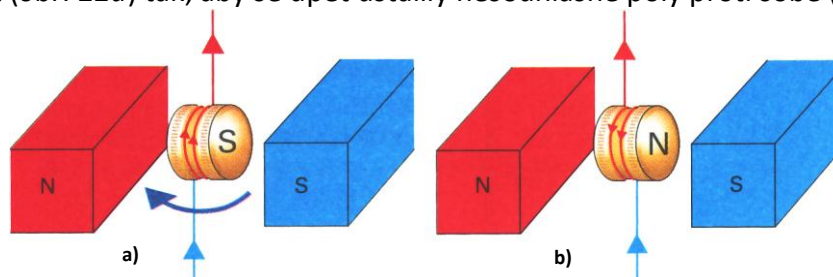
Prochází-li cívkou elektrický proud, chová se cívka jako magnet (má severní a jižní pól) a svým magnetickým polem ovlivňuje magnetku a přitahuje hřebíky atd. Podle zákona akce a reakce musí také magnet ovlivňovat cívku s proudem.

Umístíme-li cívku visící na dvou svislých vodičích, kterými zatím neprochází elektrický proud (obvod je rozpojen), mezi podkovový, cívka zůstane v námi nastavené pozici beze změny. Jakmile ale sepne obvod, cívku začne procházet elektrický proud, tím stane se z ní magnet a začne se otáčet tak (obr. 21a), aby se nastavily nesouhlasné póly proti sobě (obr. 21b).



Obrázek 21: a) natočení cívky těsně po sepnutí obvodu; b) cívka po ustálení v mag. poli

Změníme-li směr elektrického proudu v cívce, magnetické póly cívky se prohodí a cívka se zase bude otáčet (obr. 22a) tak, aby se opět ustálily nesouhlasné póly proti sobě (obr. 22b).



Obrázek 22: a) otočení cívky při změně směru toku proudu; b) cívky po ustálení v mag. poli

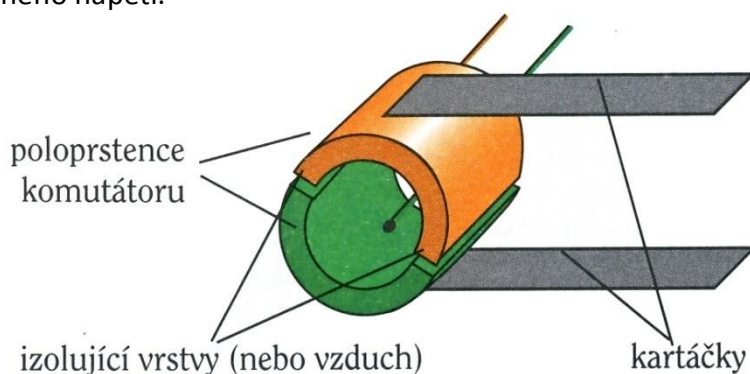
2.8. Elektromotor

Chování (otáčivý účinek) cívky s proudem v magnetickém poli je základem činnosti elektromotoru. Elektromotor je točivý stroj, který **přeměňuje elektrickou energii na energii pohybovou** (mechanickou práci). Elektromotor můžeme nalézt v pračce, mixéru, vysavači, ventilátoru aj.

V běžném životě se používá mnoho druhů elektromotorů, můžeme je rozdělit na dvě základní skupiny – na elektromotory **stejnosměrné** a **střídavé** (synchronní a asynchronní, jednofázové a trojfázové). Synchronní elektromotory mají rychlost otáček rotoru shodnou s rychlostí otáček točivého magnetického pole. U asynchronních elektromotorů je rotor zpožděn za otáčkami točivého magnetického pole – rotor má tzv. skluz.

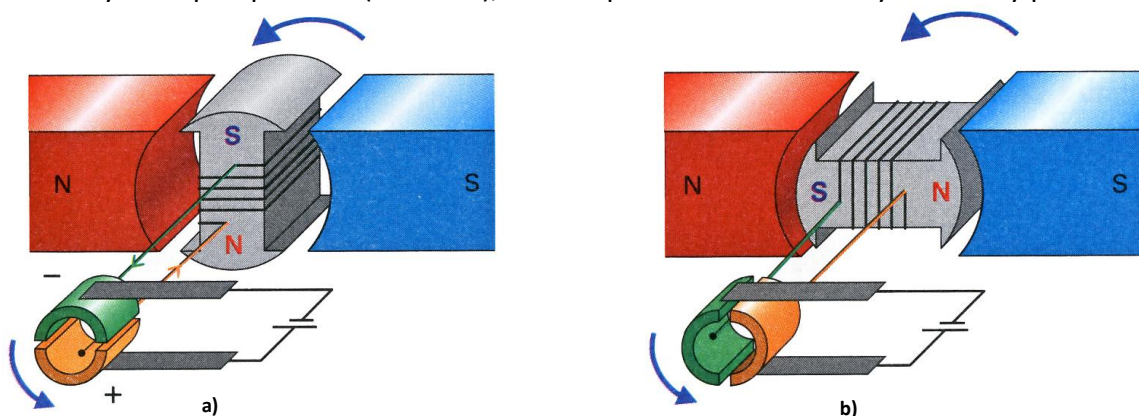
Základní princip elektromotoru si vysvětlíme na stejnosměrném elektromotoru. Každý elektromotor se skládá z pevné (nepohyblivé) části **statoru** (permanentní magnet či elektromagnet) a točící (pohyblivé) části **rotoru** (cívky).

V předchozí kapitole jsme si vysvětlili, že cívka s elektrickým proudem se v magnetickém poli začne pootáčet tak, aby se její severní pól natočil k jižnímu pólu magnetu a její jižní pól k severnímu pólu magnetu, poté zůstane v této poloze. Aby se ale cívka **stále otáčela**, musíme **změnit směr toku elektrického proudu**, čímž se prohodí magnetické póly cívky. Zařízení, které nám umožňuje přepínání směru proudu, se nazývá **komutátor** (obr. 23). Jsou to dva vodivé poloprstence navzájem oddělené izolující vrstvou. Každý prstenec je vodivě spojen s jedním koncem vinutí cívky. Komutátor se otáčí spolu s cívkou. K poloprstencům přiléhají z opačných stran nepohyblivé pružící kovové nebo uhlíkové kontakty, kterým se říká **kartáčky**, které jsou připojeny ke zdroji stejnosměrného napětí.



Obrázek 23: komutátor elektromotoru

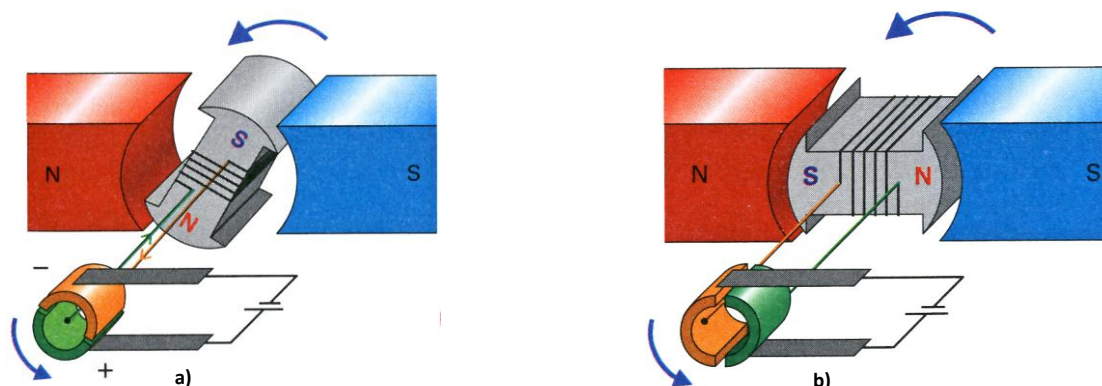
Dotýkají-li se kartáčky poloprstenců komutátoru (obr. 24a), protéká cívkou elektrický proud, který kolem cívky vytvoří magnetické pole, které se snaží cívku natočit tak, aby byly opačné póly permanentního magnetu a cívky proti sobě, tím se také pootočí komutátor a kartáčky se dotýkají izolující vrstvy mezi poloprstenci (obr. 24b), čímž neprochází cívkou žádný elektrický proud.



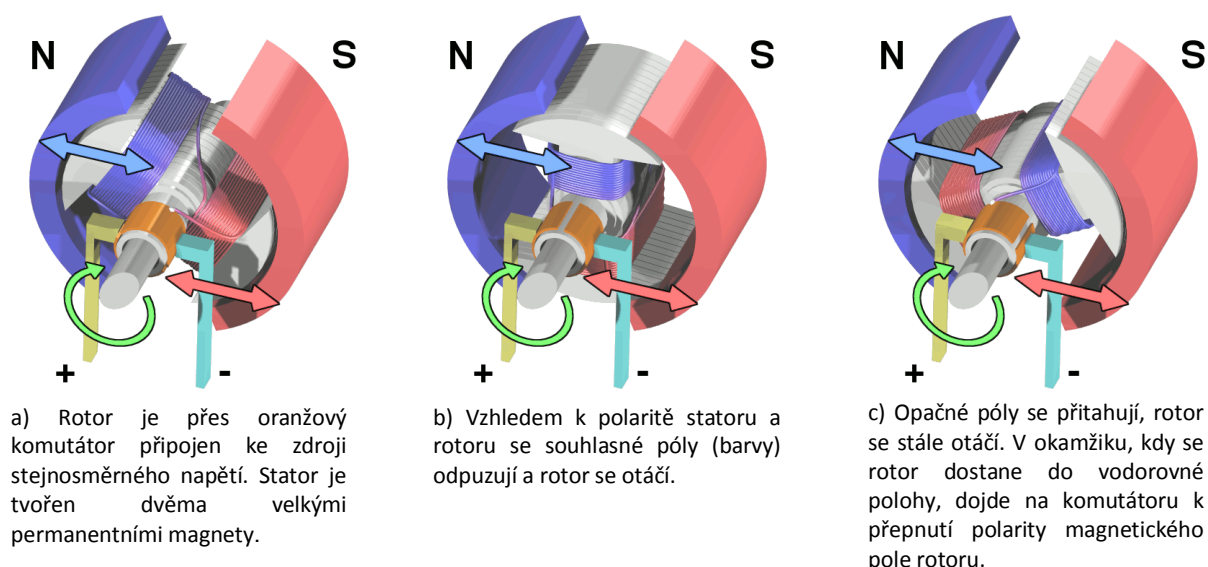
Obrázek 24: a), b) Princip stejnosměrného elektromotoru s komutátorem

Avšak cívka se setrvačností ještě kousek pootočí, čímž kartáčky opět přilehnou k vodivým poloprstencům s opačnou polaritou než před tím (obr. 25a). Cívkou opět začne protékat proud, ale

opačným směrem. To způsobí prohození magnetických pólů cívky a motor se opět pootočí (obr. 25b). Směr proudu v cívce se mění po každém jejím otočení o 180° , když kartáčky přejíždí přes izolující vrstvu komutátoru. Tím se cívka stále otáčí, dokud jí prochází proud.



Obrázek 25: a), b) Princip stejnosměrného elektromotoru s komutátorem

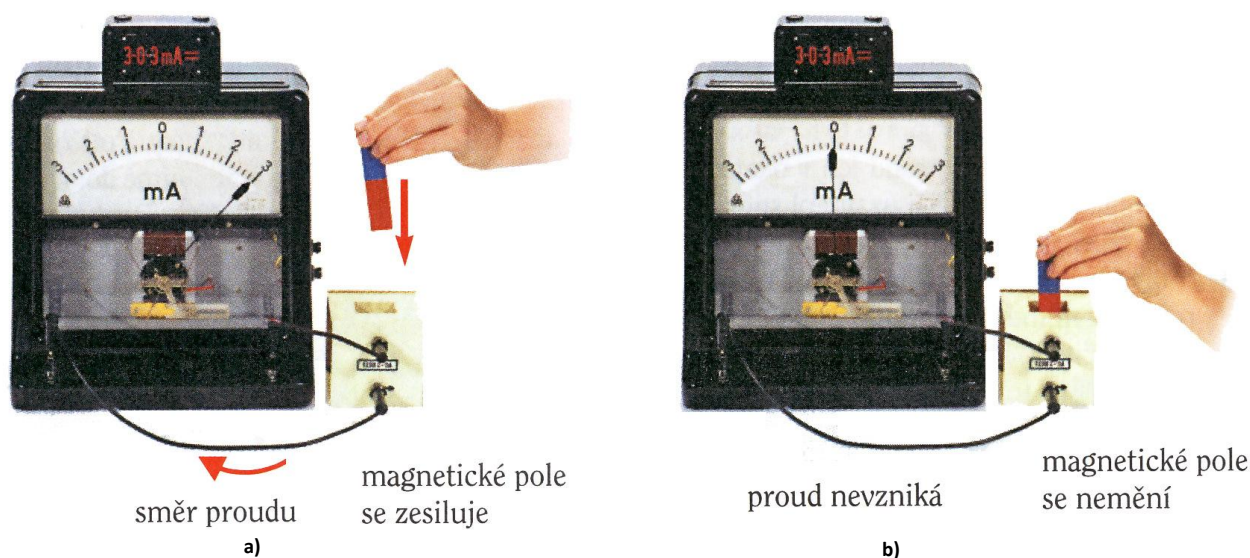


Obrázek 26: Princip školního stejnosměrného elektromotoru

2.9. Elektromagnetická indukce

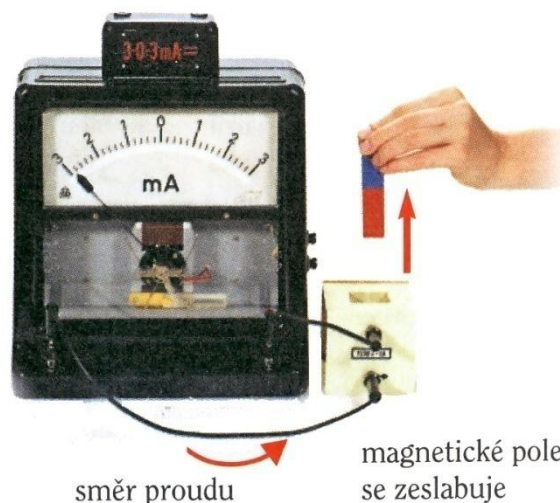
Už víme, že kolem vodiče s proudem vzniká magnetické pole. Magnetické pole vzniká jako následek pohybu elektrického náboje, tedy proudového elektrického pole. Lze tedy předpokládat, že existuje i děj opačný – pohybující se (měnící se) magnetické pole vytvoří ve vodiči elektrické pole. Experimentálně to v roce 1831 dokázal M. Faraday a tento jev nazval **elektromagnetická indukce**. Elektromagnetická indukce je dosud nejrozšířenější způsob získávání elektrické energie a je základem činnosti i dalších elektrických strojů (transformátory, elektromotory, indukční pece, měřicí přístroje atd.).

Elektromagnetickou indukci můžeme dokázat pomocí jednoduchého pokusu. Cívku připojíme k citlivému ampérmetru s nulou uprostřed měřicí stupnice. Poté do cívky pomalu zasunujeme tyčový magnet (obr. 27a), ručka ampérmetru se vychýlí. Je-li magnet v klidu (nepohybujeme-li s ním) ručka ampérmetru je na nule (obr. 27b).



Obrázek 27: Elektromagnetická indukce a) magnet zasunujeme; b) magnet v klidu

Vytahujeme-li magnet z cívky, ručka se vychýlí na opačnou stranu (obr. 28).



Obrázek 28: Elektromagnetická indukce - vysouvání vytahování magnetu

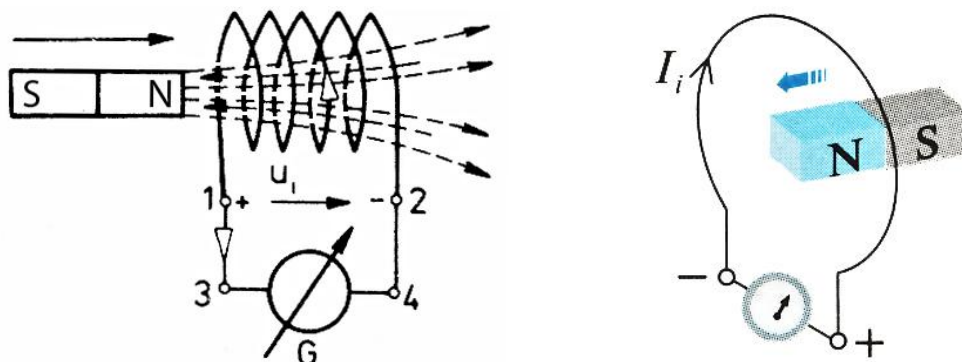
Proudu, který vzniká pohybem magnetu v cívce, říkáme **indukovaný proud**. Jeho velikost je závislá na rychlosti pohybu magnetu (rychlosti změny velikosti magnetického pole). Tento jev by nastal i tehdy, kdybychom pohybovali místo magnetu cívkou nebo kdybychom místo trvalého magnetu použili elektromagnet.

Směr indukovaného proudu v cívce či ve smyčce lze určit podle Lencova zákona a pravé ruky:

Indukovaný proud má vždy takový směr, aby svým účinkem působil proti změně, která ho vyvolala.

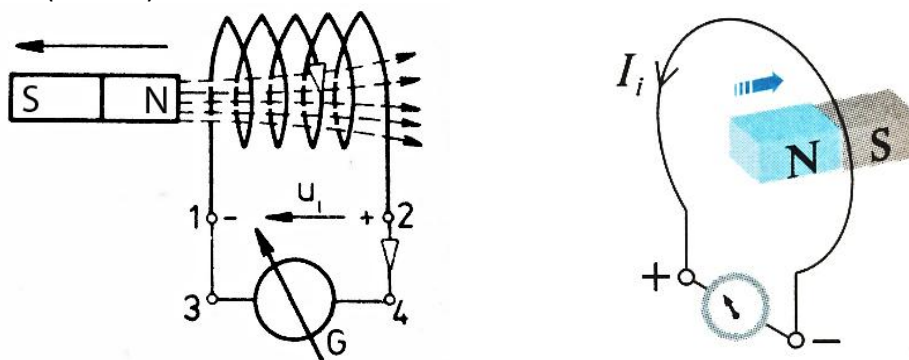
Uchopíme-li cívku do pravé ruky tak, aby natažený palec působil proti změně, která vyvolala indukovaný proud (palec ukazoval severní pól magnetického pole indukovaného proudu), ohnuté prsty ukazují směr indukovaného proudu.

To znamená, že při vzrůstu magnetického pole (zasunutím magnetu nebo zapojením, či zvětšením proudu) má indukovaný proud takový směr, že magnetické pole indukovaného proudu svým účinkem působí proti zvětšování (zesílení) magnetického pole. Indukovaný proud vytváří magnetické pole, které potlačuje zesilování magnetického pole, které jej vyvolalo, magnetické pole indukovaného proudu má opačnou orientaci (obr. 29).



Obrázek 29: Směr indukovaného proudu při zasouvání magnetu do cívky (závitu)

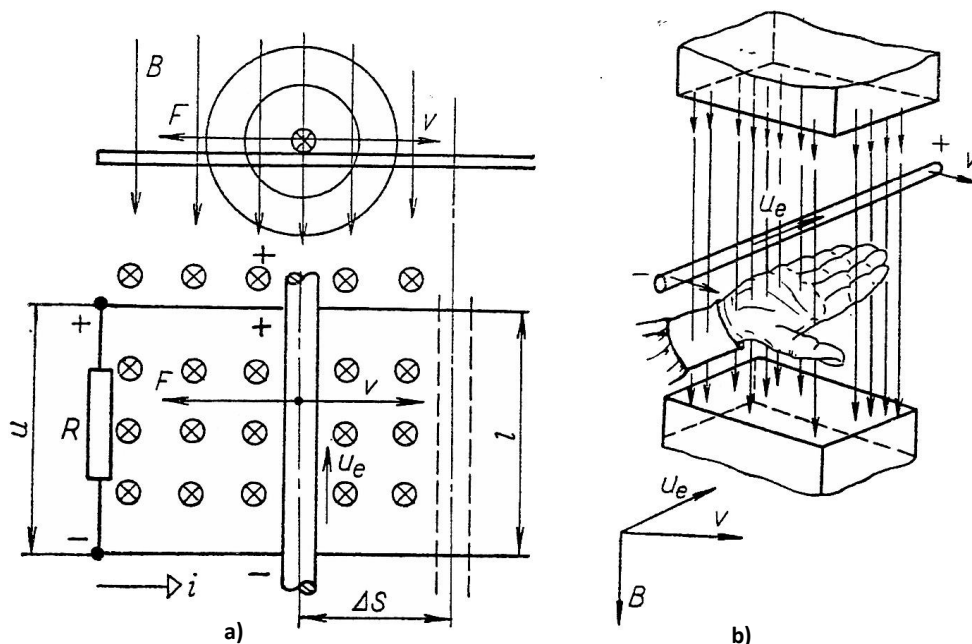
Při zmenšení (zeslabení) magnetického pole (vytažením magnetu nebo zmenšením, či vypnutím proudu) působí indukovaný proud svým účinkem proti poklesu magnetického pole. Indukovaný proud vytvoří magnetické pole souhlasné orientace a tím podporuje zanikající magnetické pole (obr. 30).



Obrázek 30: Směr indukovaného proudu při vytahování magnetu z cívky (závitu)

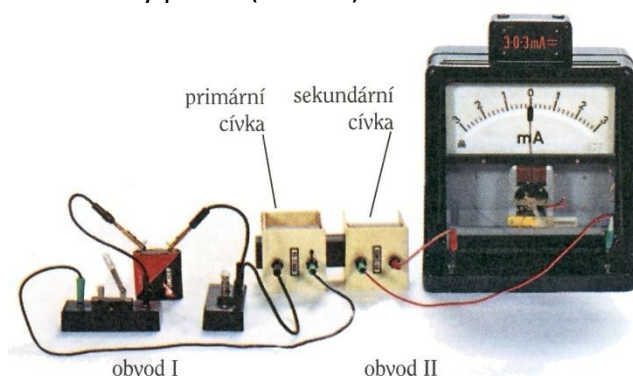
Pohybuje-li se vodič délky l v homogenním magnetickém poli rychlostí v kolmo k indukčním magnetickým čarám, indukuje se v něm pohybové elektromotorické napětí a proud. Při pohybu vodiče působí totiž síly magnetického pole na volné elektrony ve vodiči, ty se dají do pohybu a nahromadí se na jednom konci vodiče, kde vznikne převaha záporného náboje (záporný pól). Na druhém konci je nedostatek elektronů. Tím ve vodiči vznikne indukované elektrické pole. Polarita vodiče závisí na směru pohybu vodiče a na směru magnetického pole. Na (obr. 31a) se pohybuje vodič po dvou nehybných rovnoběžných vodičích, na jejichž koncích je připojen rezistor o odporu R . Tím je vytvořen uzavřený obvod, kterým prochází indukovaný proud i . Směr indukovaného proudu a elektromotorického napětí určíme podle **Flamingova pravidla pravé ruky** (obr. 31b):

Pravou ruku vložíme do magnetického pole tak, aby indukční magnetické čáry vstupovaly do dlaně a natažený palec ukazoval směr pohybu vodiče, pak ostatní natažené prsty ukazují směr indukovaného proudu (elektromotorického napětí).



Obrázek 31: a) pohybující se vodič v magnetickém poli; b) Flemingovo pravidlo pravé ruky

Elektromagnetická indukce nastane v následujícím pokusu, kdy použijeme dvě cívky. První (primární) cívku připojíme k ploché baterii přes spínač, vytvoříme obvod I. Druhou (sekundární) cívku připojíme k ampérmetru, vytvoříme obvod II. Obě cívky nasuneme na společné jádro z magneticky měkké oceli. Je-li spínač trvale rozpojen, nedochází ke změně magnetického pole a sekundární cívkou neprochází žádný proud (obr. 32).



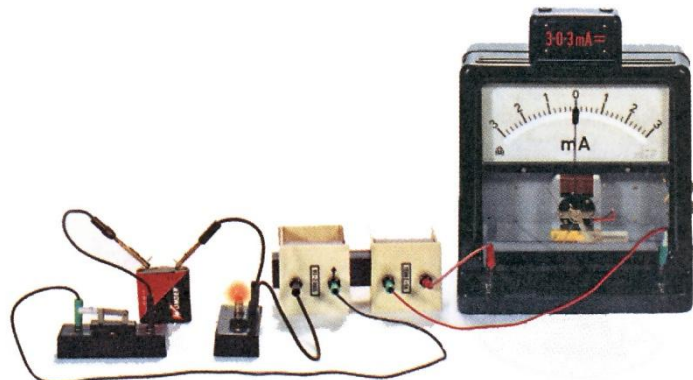
Obrázek 32: Primární a sekundární cívka v rozpojeném obvodu

Jakmile ale sepneme spínač, začne postupně v primární cívce narůstat elektrický proud a začne se vytvářet magnetické pole. Tento narůstající elektrický proud a narůstající magnetické pole v sekundární cívce indukuje elektrický proud, ručka ampérmetru se vychýlí (obr. 33).



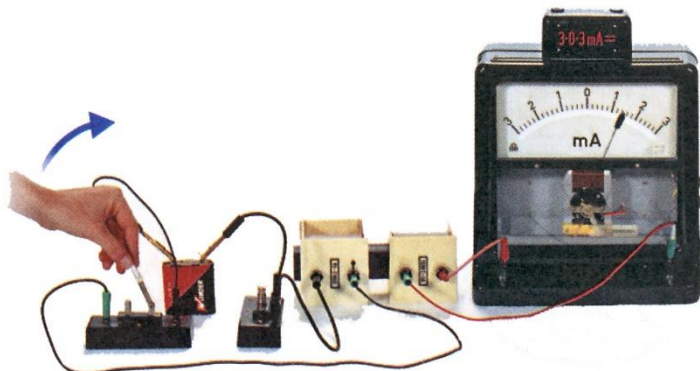
Obrázek 33: Primární a sekundární cívka těsně po sepnutí spínače

Po velmi krátké chvilce se elektrický proud a magnetické pole ustálí na určité stálé hodnotě (již nedochází ke změnám el. proudu ani magnetického pole), v sekundární cívce se tudíž neindukuje žádný elektrický proud, ručka ampérmetru je na nule (obr. 34).



Obrázek 34: Primární a sekundární cívka při sepnutém spínači

Těsně po rozpojení obvodu (vypnutí spínače) začne elektrický proud a magnetické pole v primární cívce klesat až na nulu, jelikož dochází ke změně magnetického pole, v sekundární cívce se opět indukuje elektrický proud, ale opačného směru (obr. 35).



Obrázek 35: Primární a sekundární cívka těsně po rozpojení obvodu

3. Střídavý proud

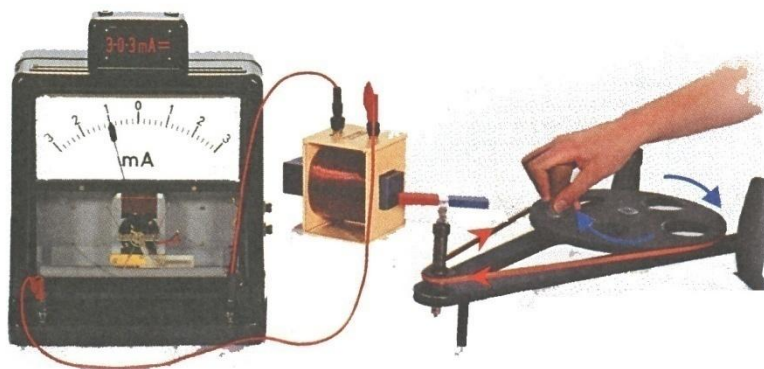
3.1. Vznik střídavého proudu

V našich pokusech jsme doposud používali stejnosměrný zdroj elektrického napětí či proudu. Stejnosměrným zdrojem elektrického napětí protéká stejnosměrný elektrický proud, tj. proud, který prochází obvodem **stále stejným směrem od kladného pólu k zápornému pólu zdroje (ve zdroji teče proud od záporného pólu ke kladnému)** a jeho velikost se nemění. Tok elektronů je opačný, než je směr proudu.

V pokusech, ve kterých jsme dokazovali elektromagnetickou indukci, procházel el. proud při zasouvání magnetu jedním směrem a při vysouvání druhým směrem. Vznikal tak **střídavý proud**. Jedem směr toku proudu se bere jako kladný, druhý jako záporný.

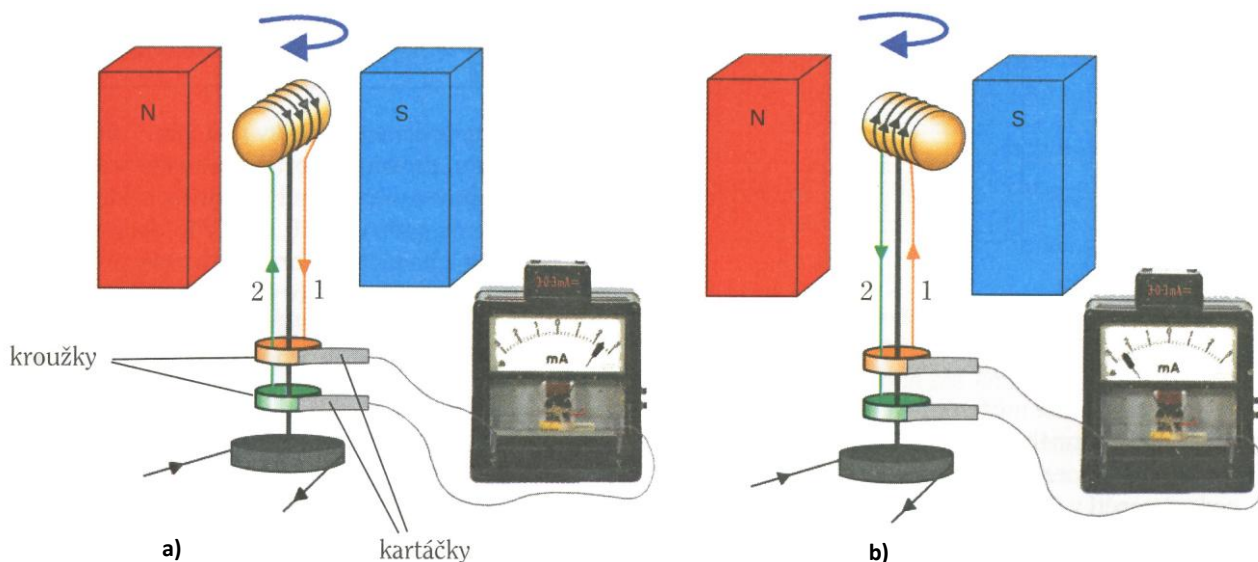
V domácnostech máme také střídavé napětí, resp. proud. Jeho směr se změní 100krát za sekundu.

Pro výrobu střídavého proudu je jednodušší pohyb otáčivý (rotační) místo zasouvání a vysouvání magnetu. Zapojíme-li cívku na jádře z měkké oceli k ampérmetru a budeme-li v blízkosti cívky točit tyčovým magnetem, také se nám bude indukovat střídavý proud (obr. 36).



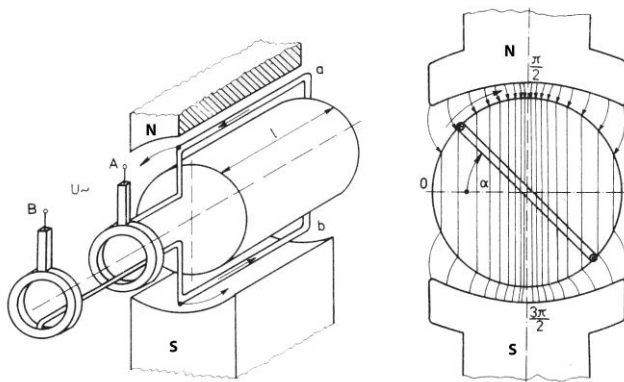
Obrázek 36: Vznik střídavého proudu otáčením magnetu v blízkosti cívky

Ale střídavý proud lze také vyrobit opačným postupem, kdy místo magnetu otáčíme závitem (cívku) v magnetickém poli, které je tvořeno nesouhlasnými póly dvou magnetů. Otáčením cívky se ručka ampérmetru vychýlí na jednu stranu (obr. 37a) a po dalším pootočení cívky se vychýlí ručka na stranu druhou (obr. 37b). Indukovaný střídavý proud odebíráme pomocí kartáčků za dvou kroužků.



Obrázek 37a, b: Vznik střídavého proudu otáčením cívky v magnetickém poli

Na tomto principu elektromagnetické indukce (otáčení cívky v magnetickém poli), pracuje alternátor, stroj na výrobu střídavého proudu (obr. 38).

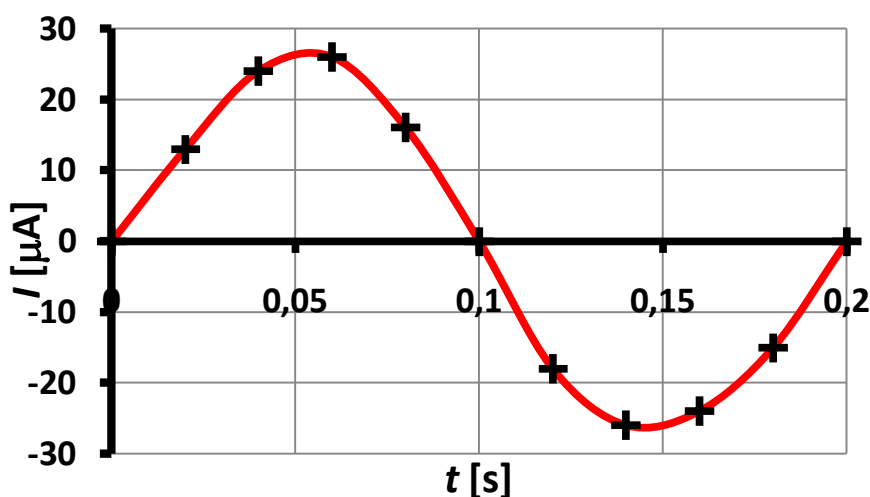


Obrázek 38: Princip alternátoru

Hodnoty střídavého proudu (napětí) nestačíme pouhým okem odečítat, v tom nám pomůže počítač, který každých 0,02 s zaznamená okamžitou hodnotu střídavého proudu (viz. tabulka).

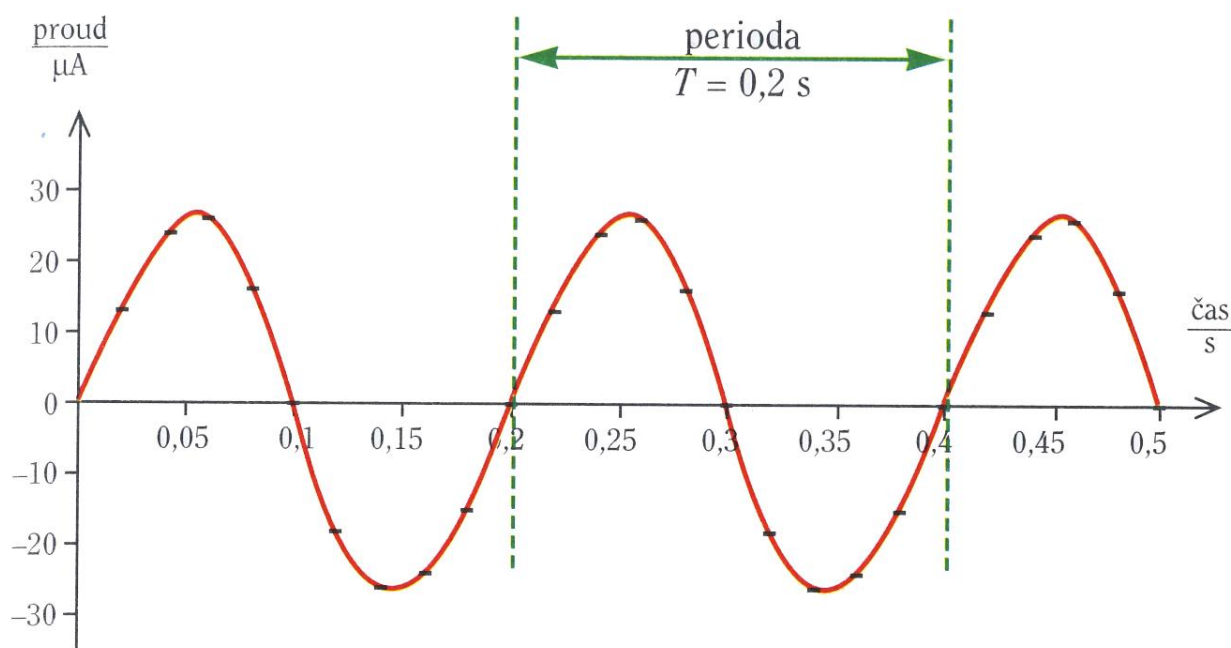
t [s]	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
I [μ A]	0	13	24	26	16	0	-18	-26	-24	-15	0

Sestrojíme-li graf z předchozí tabulky (obr. 39), vznikne nám **sinusoida (resp. cosinusoida)**, která nám znázorňuje průběh střídavého proudu (napětí).

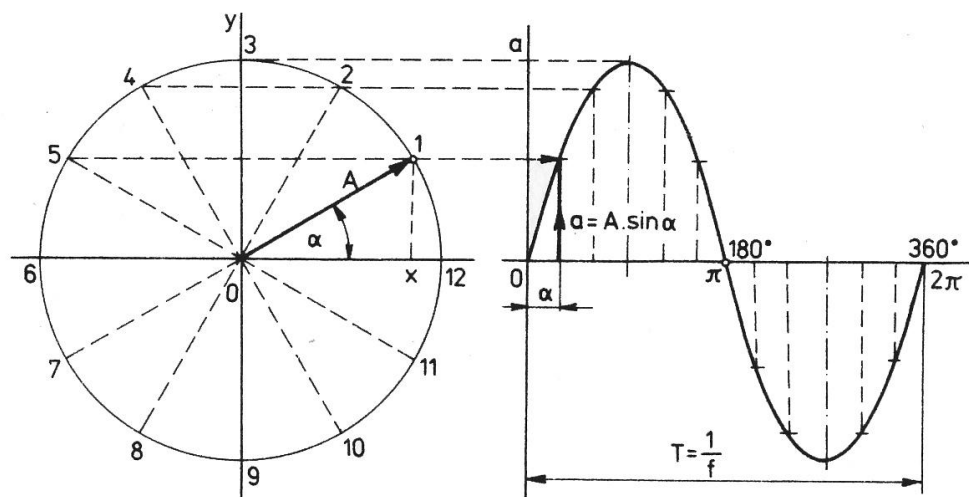


Obrázek 39: Sinusoida znázorňující harmonický průběh střídavého proudu

Z grafu je názorné, že celý průběh se po určitém čase znovu opakuje (obr. 40). V našem případě se opakuje po čase 0,2 s. Celý tento jeden průběh odpovídá jednomu otočení (otočce) cívky v magnetickém poli – jedna otočka je jedna kružnice (obr. 41). Doba, za kterou se celý průběh opakuje, se nazývá perioda, značí se T a měříme ji v sekundách [s].



Obrázek 40: Graf časového průběhu střídavého proudu s vyznačenou dobou periody

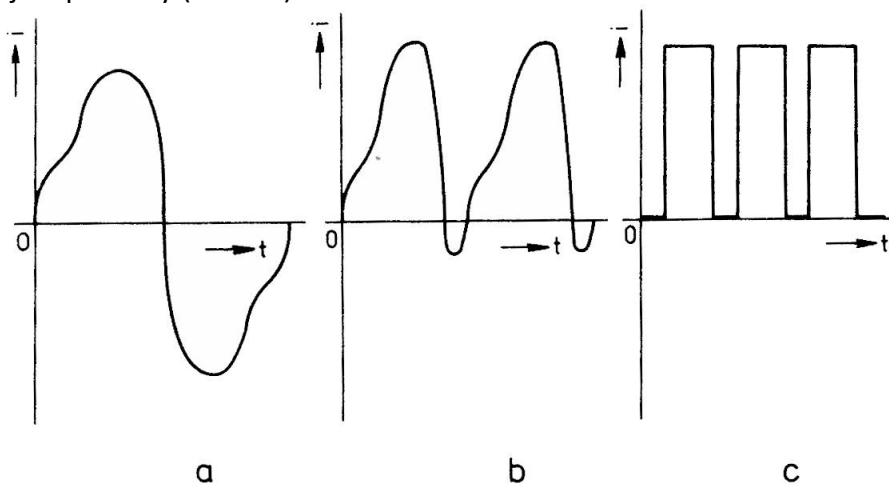


Obrázek 41: Konstrukce sinusoidy z jednotkové kružnice

Další veličinou, kterou můžeme charakterizovat průběh střídavého proudu je **frekvence (kmitočet)**. Označujeme ji f a měříme ji v [Hz] v hertzích; $1 \text{ Hz} = 1 \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ s}^{-1}$. Frekvence nám udává počet period za jednu sekundu. Frekvenci (resp. periodu) lze vypočítat z doby periody podle vzorce:

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f}$$

Střídavý proud (napětí) nemusí mít vždy harmonický periodický průběh (sinusoidu), ale může mít zcela jiné průběhy (obr. 42).

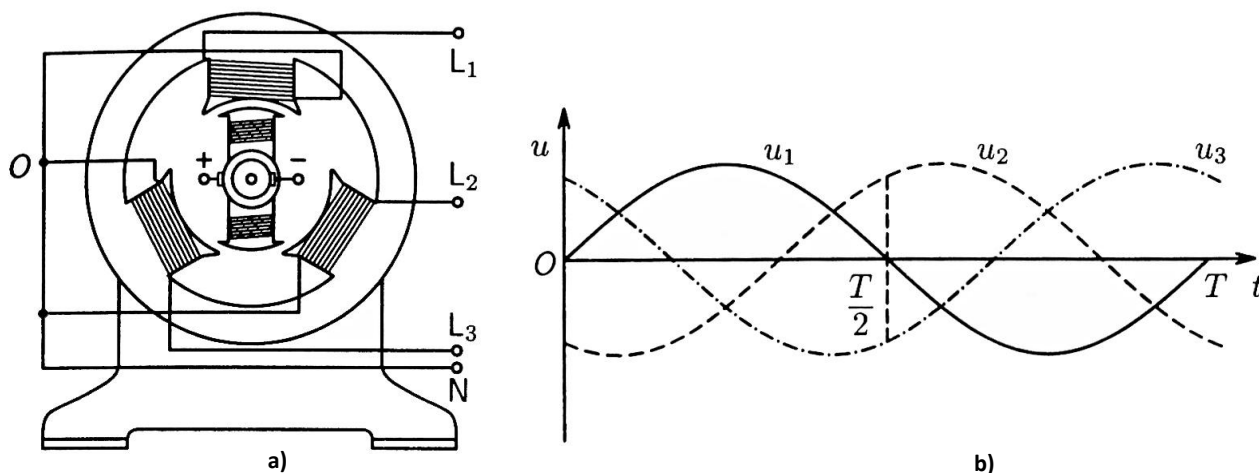


a – střídavý periodický proud, b – kmitavý periodický proud,
c – pulsuující periodický proud

Obrázek 42: Různé periodické průběhy střídavého proudu

V elektrárnách se však alternátor od popsaného principu z praktických důvodů poněkud liší. Rovnoměrný otáčivý pohyb nekoná cívka, ale elektromagnet (rotor), který je napájený stejnosměrným proudem. Rotorem otáčí turbína, která může být poháněna horkou párou (tepelné a jaderné elektrárny) nebo proudem řeky (vodní elektrárny). Střídavé napětí se indukuje v soustavě cívek (statoru). To umožňuje odvádět proud pevnými svorkami přímo ze statoru alternátoru. Odběr proudu je v tomto případě jednodušší a vznikají menší ztráty, než kdyby se

proud odebíral z rotoru. V elektrárnách je zdrojem střídavého proudu trojfázový alternátor (obr. 43a). Stator netvoří jedna cívka, ale tři cívky, které mezi sebou svírají úhel 120° ($360^\circ : 3 = 120^\circ$). V každé cívce tak vznikají tři střídavá napětí, která jsou právě fázově posunuta o 120° (obr. 43b). Stroje, které vyrábějí stejnosměrný proud, se nazývají **dynama**.



Obrázek 43: a) trojfázový alternátor; b) průběh trojfázového napětí

3.2. Hodnoty střídavého proudu a střídavého napětí

V pokusech, kdy jsme vytvářeli střídavý proud, se nám ručka ampérmetru vychylovala z jedné strany na druhou, tzn. že se proud v čase neustále měnil – v každém okamžiku má jinou hodnotu. Proto u střídavého proudu a napětí rozeznáváme tyto hodnoty:

- a) **okamžité hodnoty** – jsou to hodnoty, které odpovídají určitému časovému okamžiku. Značíme je malými písmeny (i , u);
- b) **maximální hodnoty** – jsou to největší možné hodnoty (maxima, amplitudy), kterých daný průběh střídavého proudu může dosáhnout. Značíme je I_m , U_m (resp. $I_{\max}$, $U_{\max}$);
- c) **efektivní hodnoty** – jsou to většinou hodnoty, které nám ukazují měřicí přístroje; jsou vyznačeny na spotřebičích; efektivní hodnota střídavého napětí a proudu odpovídá hodnotě stejnosměrného proudu, který v rezistoru vyvolává za stejnou dobu stejné tepelné účinky jako uvažovaný střídavý proud (resp. efektivní hodnota střídavého proudu je rovna hodnotě stejnosměrného proudu, který by při průchodu odporovou zátěží dával stejný průměrný výkon). Značíme je I a U (resp. I_{ef} a U_{ef});
- d) **střední hodnoty** – střední hodnota střídavého napětí a proudu se rovná hodnotě stejnosměrného proudu, který v elektrolytu přenesl za stejnou dobu stejný elektrický náboj jako uvažovaný střídavý proud (má stejné elektrochemické vlastnosti jako stejnosměrný proud o dané hodnotě). Značíme je $I_{\text{stř}}$ a $U_{\text{stř}}$.

Efektivní hodnota:

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad U_m = \sqrt{2} U_{\text{ef}}$$

Měřením jsme zjistili v zásuvce efektivní hodnotu napětí $U = 230 \text{ V}$, výpočtem zjistíme, že $U_m = \sqrt{2} U_{\text{ef}} = \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} \doteq 325 \text{ V}$.

3.3. Transformátory

Transformátor je **netočivý stroj** (obr. 44), který pomocí **elektromagnetické indukce mění velikost střídavého napětí (proudu) při nezměněné frekvenci**. S podstatou transformátoru jsme se už setkali, když jsme zkoumali elektromagnetickou indukci dvou cívek na společném jádře.

Jednofázový transformátor se skládá ze dvou cívek – cívky vstupní (primární) o N_1 závitů a cívky výstupní (sekundární) o N_2 závitů a uzavřeného obvodu magnetického obvodu (jádra - plechy z magneticky měkké oceli).

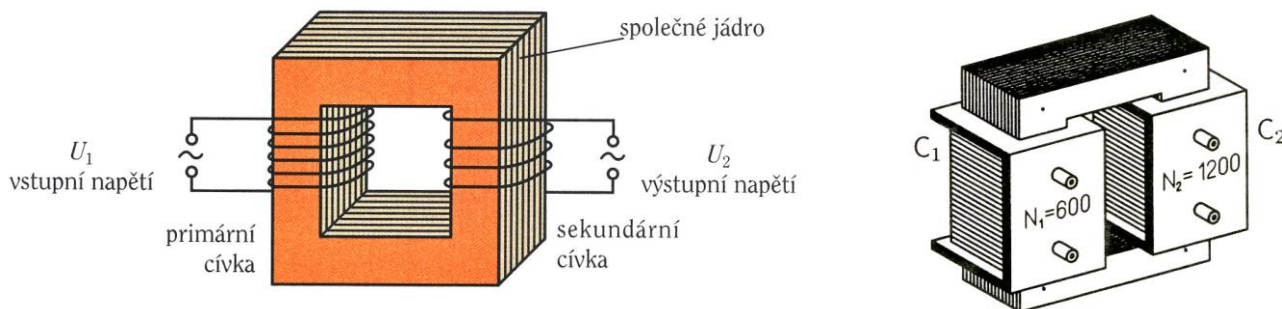
Střídavý proud procházející primární cívkou, vytváří v jádře transformátoru měnící se magnetické pole. Toto měnící se magnetické pole indukuje v sekundární cívce střídavé napětí o stejné frekvenci, jako má vstupní napětí. Velikost výstupního napětí (proudu) je dán poměrem počtu závitů primární N_1 a sekundární cívky N_2 . Schéma zapojení pro měření transformátoru je na obr. 45.

$$p = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}, \text{ kde } p \text{ je transformační poměr}$$

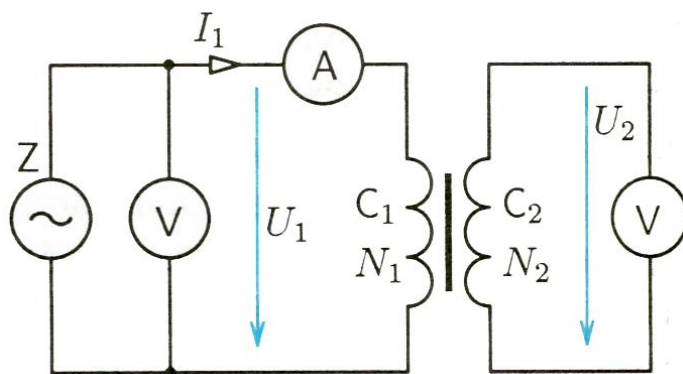
Tento poměr by přesně platil, kdyby nedocházelo ke ztrátám energie zahříváním cívek a jádra transformátoru aj.

Je-li transformační poměr $p > 1$, je $U_2 > U_1$ (**transformace nahoru**). Výstupní napětí je větší než vstupní napětí.

Je-li transformační poměr $p < 1$, je $U_2 < U_1$ (**transformace dolů**). Výstupní napětí je menší než vstupní napětí.



Obrázek 44: Model jednofázového transformátoru



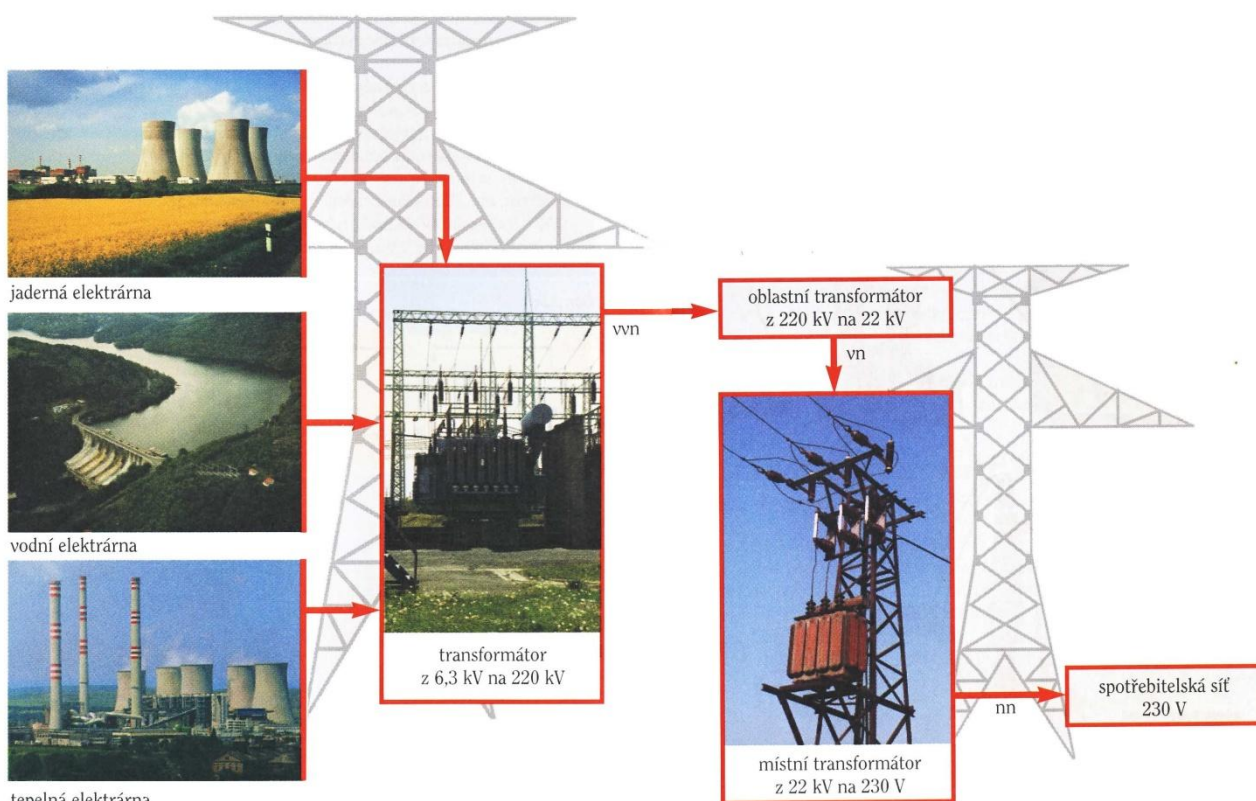
Obrázek 45: Schéma pro měření na transformátoru

3.4. Rozvodná elektrická síť

Rozvodná síť (obr. 46) nám díky transformaci napětí pomocí elektromagnetické indukce umožňuje přenášet elektrickou energii na velké vzdálenosti, elektrické napětí se transformuje na velmi vysoké hodnoty, což nám umožní minimalizovat ztráty ve vedení, zvýšením napětí se totiž sníží proud, který teče vedením – sníží se tím ztráty.

Elektrickou energii získáváme v naší republice z elektráren tepelných, jaderných, vodních a větrných.

V elektrárnách se vyrábí střídavé vysoké napětí o efektivní hodnotě 6,3 kV až 10 kV. Napětí 6,3 kV až 10 kV získané v alternátorech se transformuje na velmi vysoké napětí 110 kV, 220 kV nebo 400 kV. Pro mezistátní přenos se napětí transformuje na 750 kV nebo 1 000 kV. Velmi vysoké napětí se pak v oblastních rozvodných transformuje na vysoké napětí 22 kV. V místních rozvodnách se pak toto vysoké napětí transformuje na nízké napětí 230 V, které je pak dále distribuováno do domácností.



Obrázek 46: Schéma rozvodné sítě

4. Vedení proudu v kapalinách a plynech

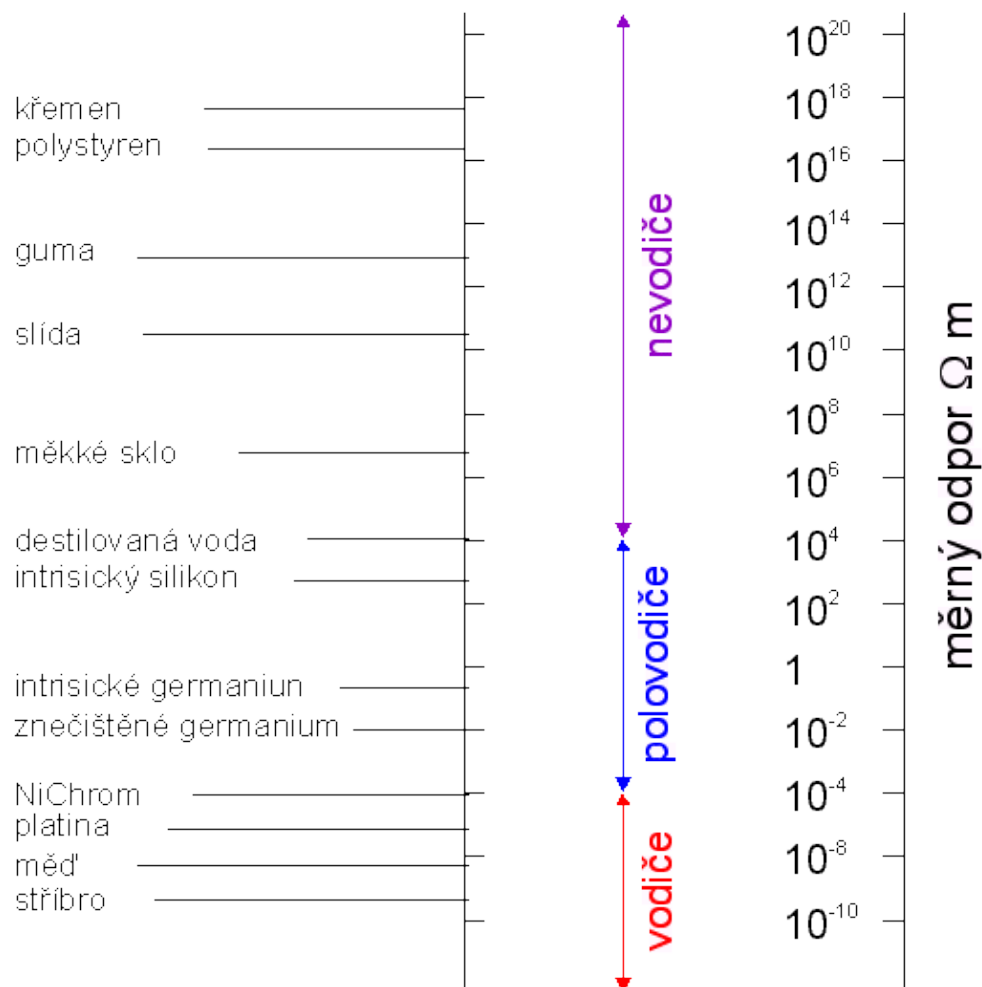
4.1. Co už víme o vedení elektrického proudu

Elektrický proud prochází uzavřeným obvodem, je-li k němu přiložen zdroj elektrického napětí. **El. proud je způsoben uspořádaným pohybem volných nosičů náboje (elektronů, iontů).**

Látky, které vedou nejlépe elektrický proud, nazýváme **vodiče** (kovy – zlato, měď, platina, stříbro, hliník,...), obsahují volné nosiče náboje – vodivostní elektrony. Vodivost způsobenou elektrony nazýváme **elektronovou vodivostí**. Kovy mají velmi malý měrný odpor (velkou měrnou vodivost). Elektrický proud vedou i některé roztoky solí, vzduch (plyny) za některých podmínek také vede elektrický proud (blesk), i když je dobrý izolant. Vodivost kapalin a plynů je způsobena volnými nosiči náboje (kladnými a zápornými ionty). Tato vodivost se nazývá **iontová vodivost**. Rychlost pohybu elektronů od záporného pólu ke kladnému pólu zdroje je cca 0,1 mm/s. Ale jelikož elektrické pole vzniká v celém vodiči takřka okamžitě, zapojené žárovky se rozsvítí najednou.

Látky, které nevedou elektrický proud, označujeme jako **izolanty (dielektrika)**. Patří sem dřevo, polystyrén, sklo, papír,... Mají velký měrný odpor (malou měrnou vodivost).

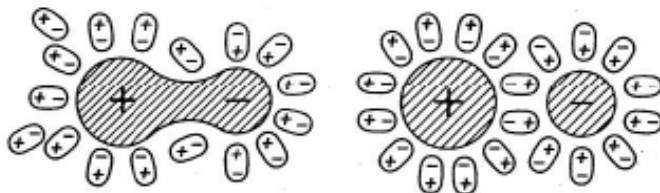
Pak existují látky, které se někdy chovají jako kovy a někdy jako izolanty, ty nazýváme **polovodiče** (křemík, germanium,...). Jejich měrný odpor (měrná vodivost) se pohybuje uprostřed mezi hodnotami vodičů a izolantů. Měrný odpor vodičů, polovodičů a izolantů shrnuje *obr. 47*.



Obrázek 47: Vodivostní rozdělení látek podle měrného odporu (měrná vodivost)

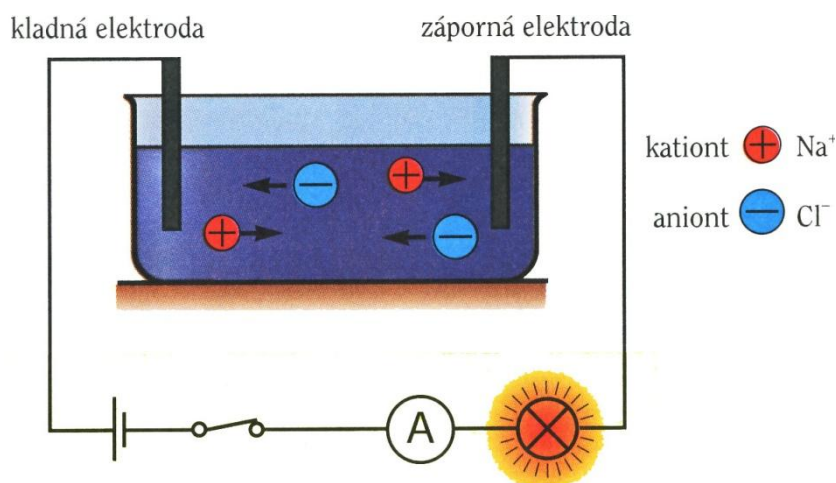
4.2. Vedení elektrického proudu v kapalinách

Destilovaná voda je elektrický izolant, je to způsobeno tím, že je chemicky čistá – neobsahuje nečistoty a ani žádné rozpuštěné minerální soli. Rozpustíme-li v destilované vodě kuchyňskou sůl (chlorid sodný NaCl), sůl se začne ve vodě rozpouštět. Voda zde plní funkci rozpouštědla. Molekuly vody obklopí molekulu NaCl a rozštěpí ji na Na^+ a Cl^- . Tomuto rozštěpení říkáme **disociace** (obr.48).



Obrázek 48: Disociace molekuly NaCl molekulami vody na kladný a záporný iont

Disociací vzniknou volné ionty (kladný iont – **kationt** a záporná iont – **aniont**), které se ve vodě neuspořádaně pohybují. Tyto kladné a záporné ionty se pro **přiložení elektrického pole** (zdroje napětí) začnou **uspořádaně pohybovat** a **obvodem začne procházet elektrický proud**. Což nám indikuje rozsvícená žárovka (obr. 49). **Záporné ionty Cl^- (anionty) se pohybují ke kladné elektrodě (anodě) a kladné ionty Na^+ (kationty) se pohybují k záporné elektrodě.**



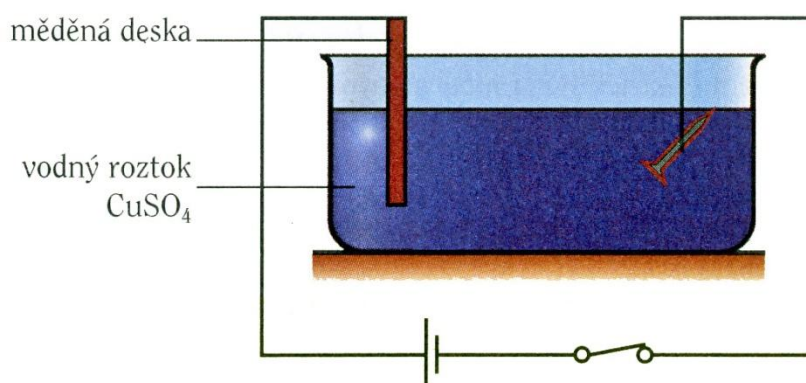
Obrázek 49: Elektrický proud v roztoku NaCl

Obdobným způsobem vedou elektrický proud i jiné roztoky solí, kyselin a zásad (roztok modré skalice – síranu měďnatého CuSO_4 , roztok kyseliny sírové H_2SO_4 , octanu olovnatého $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$). Kapaliny, které obsahují volné ionty, vedou elektrický proud a označujeme je **elektrolyty**.

Elektrolýza roztoku modré skalice (CuSO_4)

- Do elektrolytu z modré skalice ponoříme dvě měděné elektrody. Molekuly modré skalice se disociují podle vzorce $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$. Po vložení napětí na elektrody dospějí kationty Cu^{2+} na katodu, kde se neutralizují (přijmou dva elektrony) a vylučují se jako atomy čisté mědi. Anionty SO_4^{2-} předají svůj nábor anodě (odevzdají dva elektrony) a chemicky s ní reagují. Při této reakci vznikají neutrální molekuly CuSO_4 , které přecházejí do roztoku a znovu se v něm disociují (rozštěpí). Výsledkem elektrolýzy je, že se na záporné elektrodě (katodě) vylučuje čistá měď, zatímco na kladné elektrodě (anodě) mědi ve stejném množství ubývá, přitom koncentrace roztoku se nemění. Použití elektrolýzy je při výrobě chemicky čisté mědi.

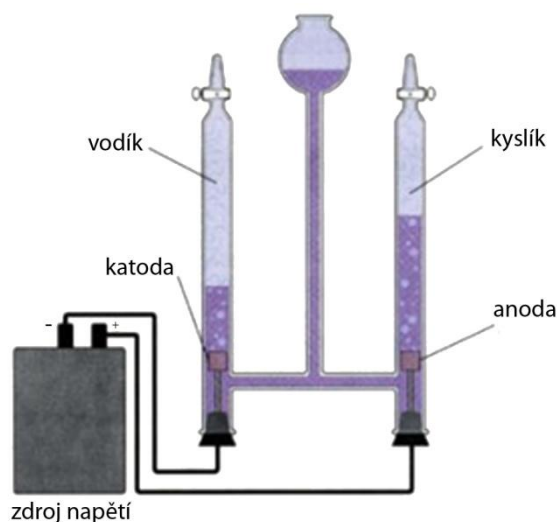
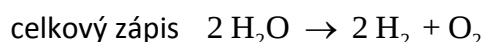
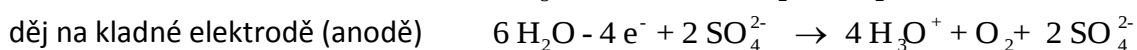
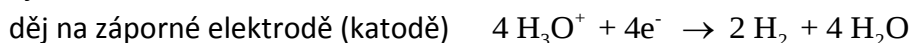
- b) Nyní zopakujeme elektrolýzu roztoku modré skalice s tím rozdílem, že měděnou kladnou elektrodu (anodu) za anodu platinovou. Kationty Cu^{2+} se po odevzdání náboje vylučují na katodě jako atomy mědi, stejně jako v předchozím příkladě. Anionty SO_4^{2-} jsou přitahovány platinovou anodou, kde odevzdají svůj náboj. Avšak SO_4^{2-} po odevzdání náboje nemůže reagovat s platinovou anodou a reaguje proto s vodou v blízkosti jejího okolí. Výsledek je, že na anodě se uvolňuje kyslík O_2 , kdežto na katodě se vylučuje měď a uvolňuje se z ní vodík H_2 . Koncentrace elektrolytu se v tomto případě mění – ubývá v něm mědi a vody a roste koncentrace kyseliny sírové. Využití k pokovování předmětů mědí, aby nedocházelo ke korozi – zápornou elektrodu vyměníme za předmět, který chceme pokrýt mědí. Ještě k lepšímu pokovení dochází, použijeme-li anodu měděnou (obr. 50).



Obrázek 50: Pokovení hřebíku mědí

Hoffmanův přístroj

Hoffmanův přístroj (obr. 51) slouží k laboratorní výrobě vodíku, kde dochází k elektrolýze vody s malým množstvím kyseliny sírové. Elektrody jsou z platiny. Na anodě dochází k uvolňování kyslíku O_2 a na katodě k uvolňování vodíku H_2 , které ho je dvakrát větší množství než kyslíku, což dokazují chemické rovnice:



Obrázek 51: Hoffmanův přístroj

4.3. Vedení elektrického proudu v plynech

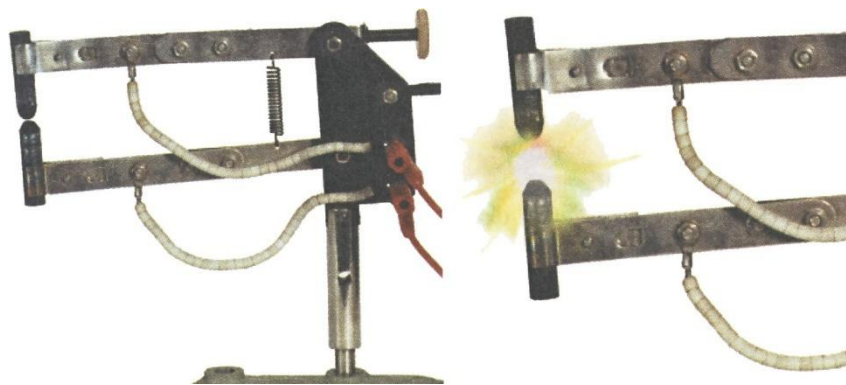
Rozpojíme-li někde uzavřený obvod, elektrický proud přestane obvodem téci. Mezeru mezi rozpojenými kontakty vyplňuje vzduch. Jelikož vzduch za normálních podmínek (pokojové teploty a atmosférického tlaku) elektrický proud nevede, považujeme jej za elektrický izolant (dielektrikum). Ale jak je možné, že při bouři vznikne blesk (obr. 52)? Blesk je na 0,00001 sekundy trvající elektrický proud o cca 30 000 A mezi mrakem a zemí nebo mezi dvěma mraky, doprovázený jasným světlem a silným zvukem (hromem).



Obrázek 52: Ionizace vzduchu a následný blesk

Ve vzduchu se vyskytuje velmi malé množství volných elektricky nabitých částic (elektronů a kationtů). Před bouřkou vzniká mezi mrakem a zemí velmi silné elektrické pole (napětí dosahuje stovek milionů až miliard voltů), které urychluje volné částice. Tyto volné částice naráží do neutrálních molekul vzduchu, které se dále rozštěpí na kladný iont (kationt) a elektron. Těmito srážkami se postupně vytvoří další a další volné elektrony a kladné ionty. Tomuto procesu říkáme **ionizace** – vzduch se **ionizuje**. Jak postupně přibývá volných nabitých částic, roste elektrická vodivost vzduchu, až v určitém okamžiku nastane **jiskrový výboj** (elektrostatický výboj). V těsné blízkosti blesku se ohřeje vzduch až na teplotu 30 000 °C. Jeho silné zahřátí má za následek jeho rozpínání a následný silný hluk – hrom.

Vedení elektrického proudu ve vzduchu dochází také při **elektrickém oblouku** (obr. 53). Elektrický oblouk se využívá při svařování. Přiblížíme-li dvě uhlíkové elektrody, které jsou připojeny ke zdroji elektrického napětí většímu jak 60 V a k ochrannému rezistoru tak, aby se jejich hroty dotýkaly, procházející proud bude žhavit hroty elektrod. Po jejich nepatrném oddálení vznikne mezi hroty elektrický oblouk. Volné částice, v našem případě elektrony, vyletují z rozžhavené záporné elektrody směrem ke kladné elektrodě. Tyto vyletující elektrony naráží na neutrální molekuly vzduchu, které jsou dále štěpeny na kladné ionty a volné elektrony. Tím se vrstva vzduchu mezi elektrodami stává vodivá a vzniká elektrický oblouk (teplota vzduchu dosahuje až 5 000 °C, proto se elektrického oblouku využívá také v obloukových pecích při tavení kovů).



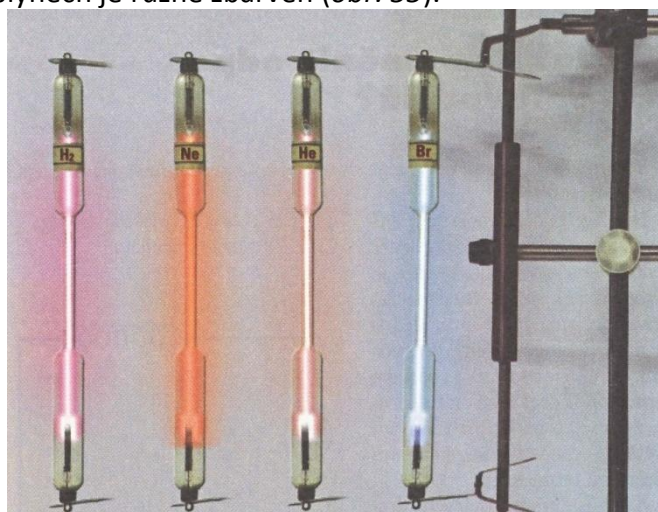
Obrázek 53: Vznik elektrického oblouku

Mezi další příklady vedení elektrického proudu ve vzduchu (plynu) je **elektrický výboj**. Ten vzniká v trubici se dvěma elektrodami, ve které je částečně vyčerpán vzduch (*obr. 54*). Tyto elektrody jsou připojeny na vysoké napětí. V trubici vzniká elektrický výboj a mezi elektrodami teče elektrický proud.



Obrázek 54: Elektrický výboj v trubicích s různě zředěným vzduchem

V trubicích, které obsahují malé množství plynů, jiných než je vzduch, má elektrický výboj jinou barvu. V různých plynech je různě zbarven (*obr. 55*).

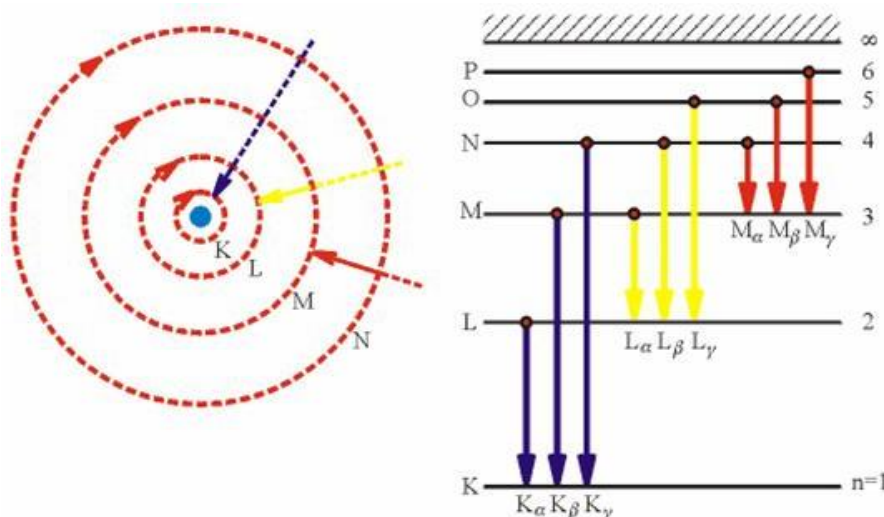


Obrázek 55: Elektrický výboj v různých plynech

5. Elektrický proud v polovodičích

5.1. Stavba hmoty a nosiče náboje

Hmota se skládá z **atomů** (základní stavební částice hmoty). Stavbu atomu nám dává Bohrovův model atomu (obr. 56), který vychází z představ Rutherfordova modelu atomu (planetárního modelu atomu), kde atom je tvořen soustavou částic, které jsou uspořádány podobným způsobem jako planety v naší sluneční soustavě. Uprostřed atomu je umístěno jádro (Slunce) a kolem něho se pohybují elektrony (planety).



Obrázek 56: Bohrovův model atomu

Jádro se skládá z **kladných protonů** s hmotností $m_p = 1,672623 \cdot 10^{-27}$ kg a z **elektricky neutrálních neutronů** s téměř stejnou hmotností $m_n = 1,674954 \cdot 10^{-27}$ kg. Částice jsou stěsnány na velmi malinkatém prostoru, tudíž rozměry jádra jsou nepatrné. Jádro si můžeme představit jako kulovitý tvar o průměru 10^{-14} až 10^{-15} m.

Průměr **elektronu** je řádově stejný jako průměr atomového jádra. Jeho hmotnost je však pouze nepatrná oproti protonu $m_e = 9,109389 \cdot 10^{-31}$ kg. Náboj elektronu je stejně veliký jako náboj protonu, má však opačné znaménko $q_e = 1,602177 \cdot 10^{-19}$ C.

Tento náboj je ve srovnání s nepatrnou hmotností elektronu obrovský. Kdybychom měli 1 kg elektronů, což odpovídá $1,1 \cdot 10^{30}$ počtu elektronů. Tento počet elektronů nám dá celkový náboj $Q = 1,76 \cdot 10^{11}$ C. Pro představu o velikosti tak obrovského náboje nám dá výpočet, kdy při konstantním proudu 1 A a při této velikosti náboje, by tento proud procházel vodičem po dobu přibližně 5 577 let.

Je-li atom v prostoru osamocen a nepůsobí-li na něj vnější silové pole, jsou dráhy elektronů kruhové. Pohyby elektronů kolem jádra po těchto kruhových drahách nejsou libovolné. Možné dráhy pohybů elektronů jsou sdruženy do tzv. **sfér** (vrstev, slupek), které značíme písmeny **K, L, M, N, O** a **P**. Každá sféra je složena z velkého počtu drah, přitom na jedné dráze se mohou nacházet nejvýše dva elektrony.

Sféry jsou od sebe vzdáleny v poměrně značných vzájemných vzdálenostech. V prostorech mezi sférami nejsou žádné dráhy, na kterých by se elektron mohl trvale udržet.

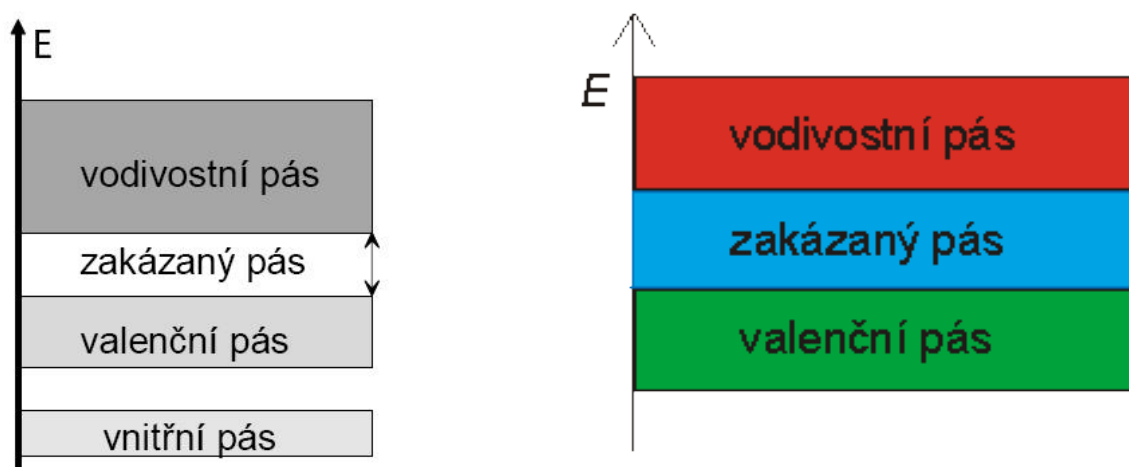
Průměr atomu vodíku je proti průměru atomového jádra značný, je asi 10^{-10} m, což je přibližně 100 000 krát více než je velikost atomového jádra. Když si představíme jádro jako kouli o průměru 1 m, tak pak by celý atom měl v průměru 100 km.

Jelikož mezi jádrem a elektronem působí vlivem rozdílného náboje přitažlivá síla, odpovídá každé vzdálenosti od jádra určitá potenciální energie. Ve středu jádra je potenciální energie nulová. Čím je elektron dále od jádra, tím je jeho potenciální energie větší.

Atom je navenek elektricky neutrální – počet protonů je roven počtu elektronů. Každá sféra (vrstva, slupka) může obsahovat určitý omezený počet elektronů. Přičemž poslední (nejvyšší, svrchní) obsazenou sféru nemá většina prvků zcela zaplněnou. Elektrony této sféry vstupují do vzájemných vazeb s elektrony jiných atomů. Této sféře se říká **valenční**. Veškeré děje, které souvisejí s vedením proudů v látkách a chemickými reakcemi, se týkají právě této valenční vrstvy.

5.2. Pásový model krystalu

Látku můžeme rozdělit na vodiče, polovodiče a izolanty (dielektrika). K pochopení vodivosti látek nám slouží pásový model krystalu, který se skládá z různých energetických pásů (obr. 57).



Obrázek 57: Jednoduchý pásový model pevné látky

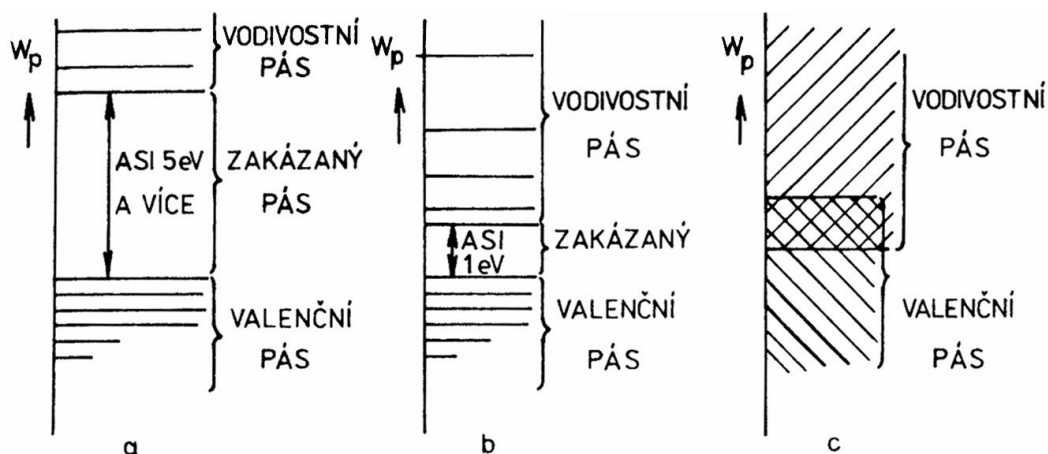
Ve **vnitřních pásech** jsou elektrony pevně vázány k jádru atomu a neúčastní se žádného dění kolem. Ve **valenčním pásu** jsou elektrony, které vytvářejí chemickou vazbu. Tento valenční pás je poslední pás, ve kterém se mohou v základním stavu vyskytovat elektrony. **Zakázaný pás** je interval energií, které elektrony nemohou nabývat, odděluje od sebe pásy dovolených energií (valenčního a vodivostního pásu). **Vodivostní pás** je za hranicí samotného atomu. Aby elektron překonal zakázaný pás a dosáhl tak vodivostního pásu, musíme mu dodat dostatečně velké množství energie (zahřátím, světlem). Elektron, který dosáhl vodivostního pásu, se nazývá **volný elektron**. Tento volný elektron není už součástí svého atomu (není přitahován k jádru), ale volně se pohybuje v meziatomovém prostoru.

Právě ze samotné **šířky zakázaného pásu** můžeme látky rozdělit na **vodiče, polovodiče a izolanty** (obr. 58). Čím je tento energetický pás širší, tím je horším vodičem.

Vodiče (kovy) nemají zakázaný pás (valenční pás a vodivostní pás se částečně překrývají), proto jsou kovy dobrými elektrickými i tepelnými vodiči, a to i za velmi nízkých teplot.

Izolanty (dielektrika) mají zakázaný pás velmi široký, který nedovoluje elektronům jej překonat, aby tak vstoupily z valenčního pásu do pásu vodivostního.

Polovodiče mají pásový model shodný s modelem izolantů, avšak šířka zakázaného pásu je o něco užší, což umožňuje snadněji překonávat zakázaný pás a dosáhnout tak vodivostního pásu.



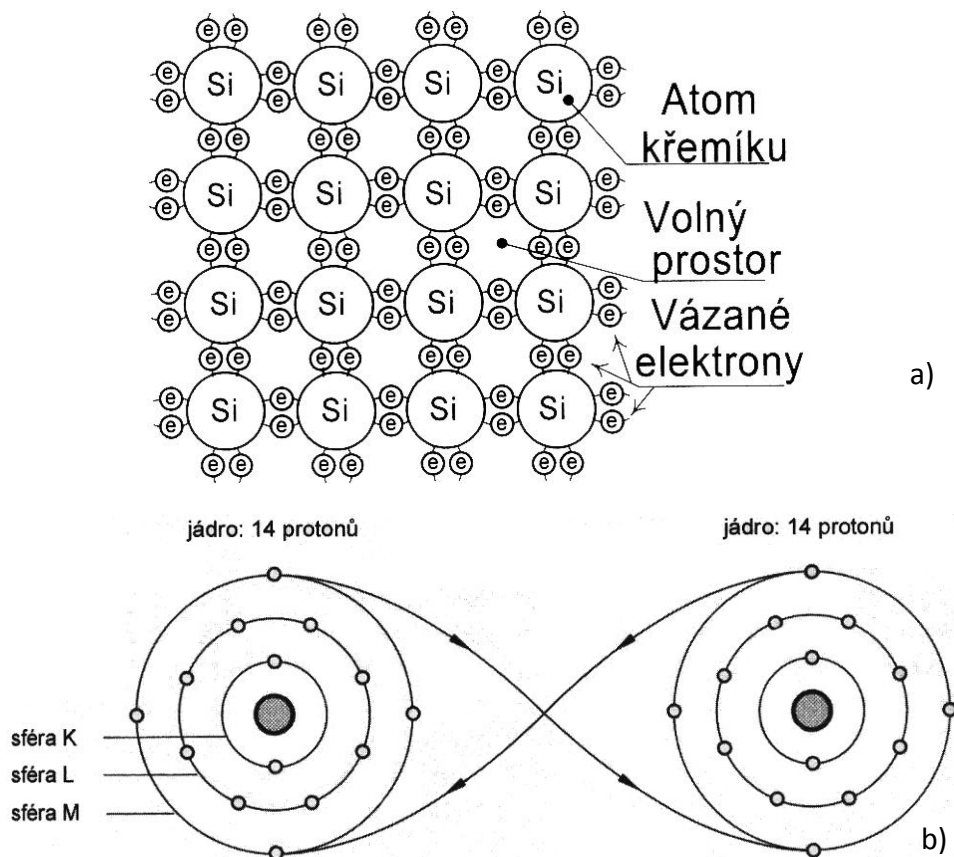
Obrázek 58: Pásový model a) izolantu; b) polovodiče; c) vodiče (kovu)

5.3. Polovodičové materiály

Základními polovodičovými materiály jsou prvky IV. skupiny PSP. Uhlík (diamant), křemík (Si), germanium (Ge), cín (Sn), olovo (Pb) a selen (Se). V dnešní době se především používá křemík a germanium.

Tyto prvky patří do skupiny čtyřmocných prvků – mají čtyři elektrony ve valenční vrstvě (sféře) a jejich atomy jsou vázány kovalentní vazbou tvořenou čtyřmi dvojicemi elektronů (obr. 59).

K těmto prvkům můžeme také přiřadit některé sloučeniny: galium-arsenid (GaAs), galium-fosfid (GaP), indium-fosfid (InP), indium-antimonid (InSb), indium-arsenid (InAs) aj.



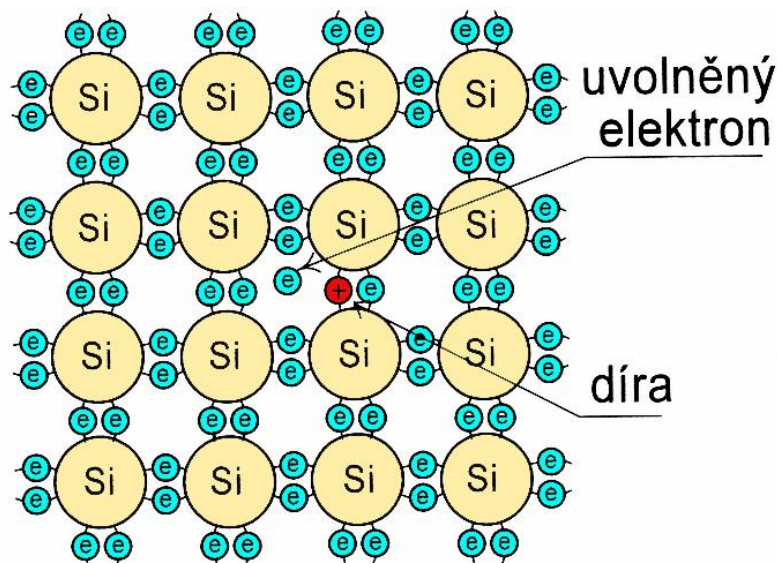
Obrázek 59: a) struktura krystalu atomu křemíku; b) vzájemná vazba mezi dvěma atomy křemíku

Výroba polovodičových prvků je velmi náročná, jelikož se musí dosáhnout vysokého stupně čistoty daného prvku. Surový křemík se, vyrobený v obloukové peci z křemenného písku a uhlíku, má čistotu asi 98 %. Z tohoto surového křemíku se několikerým čištěním získávají křemíkové tyče (salámy) o čistotě 99,9999 % (na 10^6 atomů křemíku připadá 1 atom znečišťujícího prvku). Dalším zpracováním se získá monokrystalický křemík, a to opět v podobě tyčí. Takto získaný křemík musí mít stupeň čistoty 99,99999999 %, tzn. na 10^{10} atomů křemíku připadá jeden znečišťující prvek. Takto čisté křemíkové tyče se řezou na velmi tenké plátky, ze kterých se různými technologiemi vyrábějí polovodičové součástky (diody, tranzistory, tyristory, diaky, triaky, integrované obvody,...).

5.4. Vlastní vodivost polovodiče

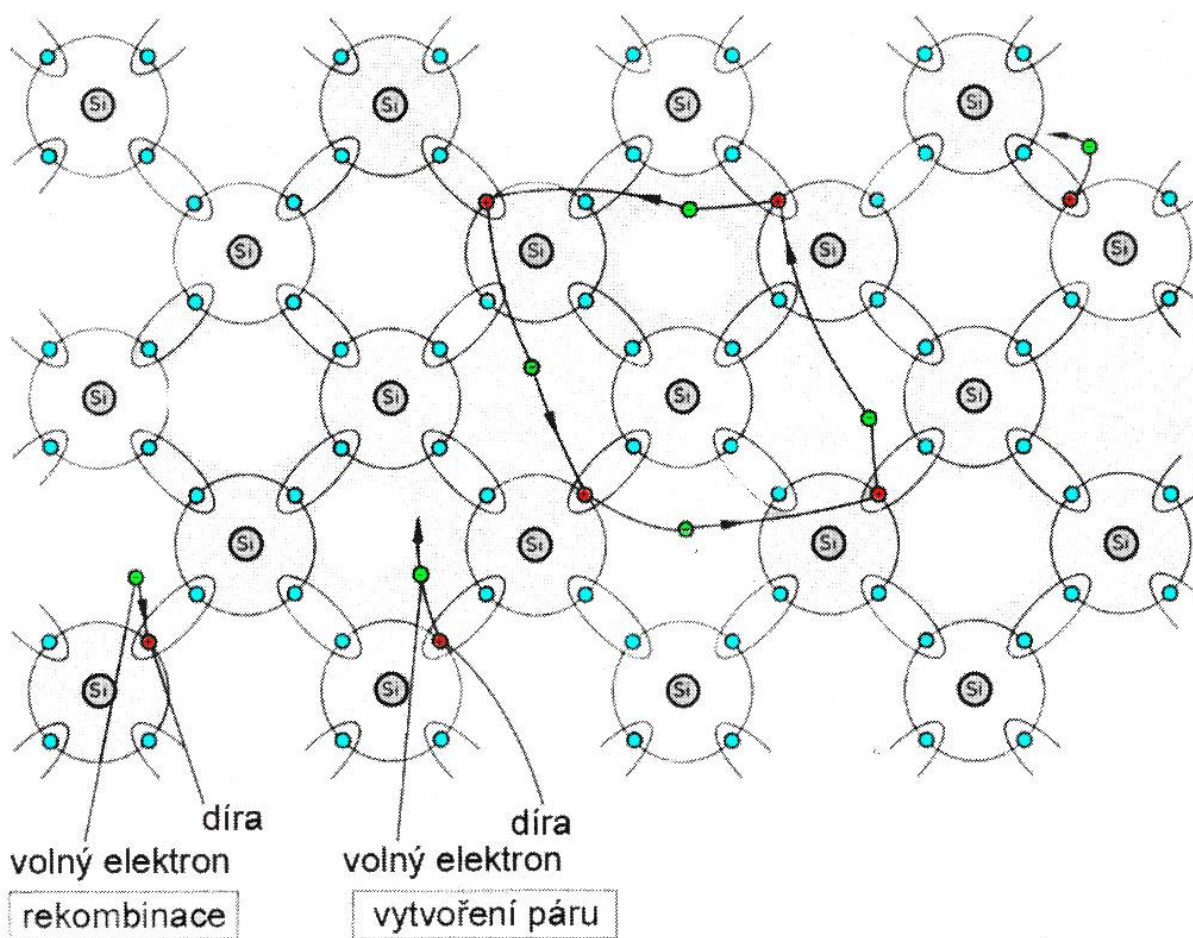
Čisté polovodičové prvky (např. křemík či germanium) mají při teplotě absolutní nuly (cca $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) valenční elektrony pevně vázány ve valenční vrstvě (*obr. 59*) – ustává tepelný vířivý pohyb atomů a krystal se chová jako izolant (má téměř nekonečný elektrický odpor, resp. nulovou elektrickou vodivost).

Dodáme-li tomuto krystalu energii formou záření (tepla, světla), atomy začnou tepelně kmitat, dojde k porušení některých kovalentních vazeb - některé valenční elektrony, které byly předtím pevně vázány, získají dostatek energie k překonání zakázaného pásu a přeskočí z valenčního pásu do vodivostního a budou se neuspořádaně pohybovat prostorem krystalové mřížky (mezi atomy). Na takto „postiženém“ místě, kde vyskočil valenční elektron z vazby, vznikl nedostatek záporného náboje (přebytek kladného náboje), kterému říkáme defektní elektron, zkráceně **díra** (*obr. 60*). Vznik páru elektronu – díra nazýváme **generací**. Díra a elektron vznikají současně.



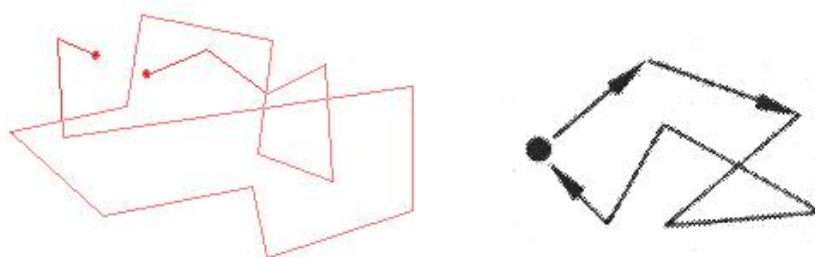
Obrázek 60: Vlastní vodivost polovodiče

Při nepřetržitém dodávání energie se bude uvolňovat stále více volných elektronů a vznikat více děr. Krystalem neuspořádaně se pohybující volné elektrony jsou přitahovány dírami. Když se setká volný elektron s dírou, zaniknou a utvoří tak opět pevnou vazbu. Jelikož elektrony přeskakují z díry do díry, jeví se nám toto přeskakování elektronů zároveň i jako pohyb děr. Tento proces se nazývá **rekombinací**. Takto popsáný děj (generace a rekombinace) se v látce na mnoha místech neustále opakuje (*obr. 61*). Popsaný druh vodivosti podmíněný vznikem volně pohyblivých párů nosičů náboje elektron-díra v důsledku rozbíjení vazeb mezi atomy čistého polovodiče, nazýváme **vlastní (intrinziční) vodivost polovodiče**.

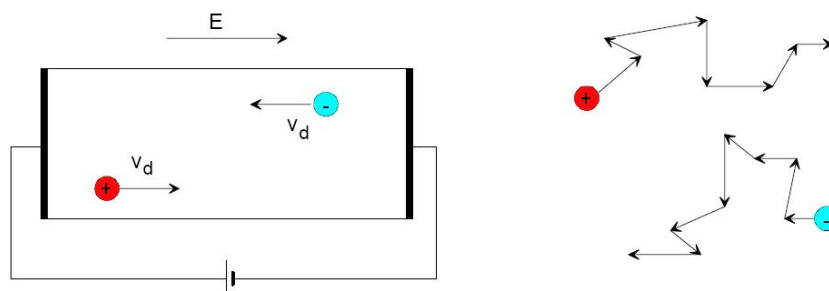


Obrázek 61: Generace a rekombinace páru elektron-díra v krystalu křemíku

Připojíme-li na krystal polovodiče zdroj elektrického napětí, vytvoří se v krystalu elektrické pole, které neuspořádaný vířivý tepelný pohyb nosičů náboje (volných elektronů) *obr. 62* přemění na pohyb uspořádaný a volné elektrony se začnou pohybovat od záporného pólu ke kladnému, díry od kladného pólu k zápornému (*obr. 63*). Pohyb nosičů náboje důsledkem elektrického pole nazýváme **drift**.



Obrázek 62: Neuspořádaný vířivý tepelný pohyb nosičů náboje (volných elektronů)



Obrázek 63: Driftový pohyb nosičů náboje (volných elektronů a děr) důsledkem elektrického pole

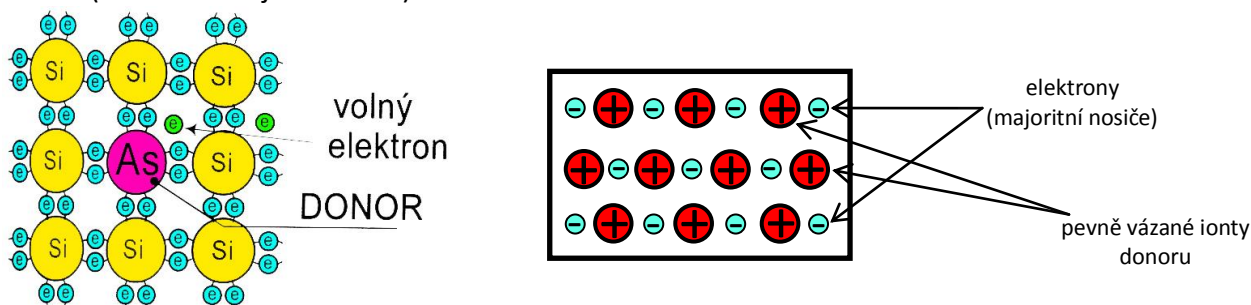
5.5. Nevlastní vodivost polovodiče

Vodivost čistého polovodiče závisí na teplotě (s rostoucí teplotou elektrický odpor polovodičů klesá, resp. elektrická vodivost roste). U kovů je tomu obráceně – s rostoucí teplotou roste elektrický odpor, resp. klesá elektrická vodivost.

Závislost polovodiče na teplotě zmenšíme a elektrickou vodivost zvýšíme úmyslným zabudováním cizích (rušivých) atomů do krystalové mřížky čistého polovodiče. Tato vestavba rušivých atomů se nazývá **dotováním** či **dopováním**. K dotování čtyřmocných krystalů křemíku či germania jsou vhodné prvky, které mají o jeden valenční elektron více či o jeden valenční elektron méně, než má křemík a germanium. Jelikož Si a Ge patří do IV. skupiny PSP, přicházejí v úvahu prvky ze III. skupiny se třemi valenčními elektrony nebo prvky z V. skupiny PSP s pěti valenčními elektrony.

Polovodič typu N

Přidáme-li do čistého čtyřmocného křemíku pětimocný prvek (fosfor, arsen nebo antimon) vznikne nám **polovodič typu N** (obr. 64). Prvku příměsi, který má o jeden elektron více, říkáme **donor** (dárce – daruje elektron). Obecně: $A^{IV} + B^V \rightarrow N$



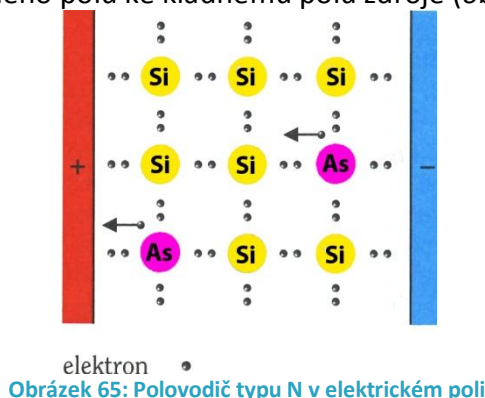
Obrázek 64: Polovodič typu N

Čtyři valenční elektrony arsenu se naváží se sousedními atomy křemíku, ale jeden elektron partnera nenajde, proto se může velmi snadno uvolnit z vazby s vlastním atomem a pohybovat se prostorem krystalové mřížky. Tyto zbylé volné elektrony dárce zprostředkovávají svým pohybem záporných (negativních) nábojů **elektronovou vodivost (nevlastní vodivost typu N)**.

Elektronů, které jsou do polovodiče dodány, je mnohem více, než vlastních nosičů náboje polovodiče a proto jsou **většinovými (majoritními) nosiči náboje**.

Polovodič typu N obsahuje také i díry, ale ty vznikají jako produkt působení teploty, jsou to vlastní nosiče náboje. Jejich množství je závislé na teplotě polovodiče (s rostoucí teplotou roste). Tyto díry jsou v polovodiči **menšinovými (minoritními) nosiči náboje**.

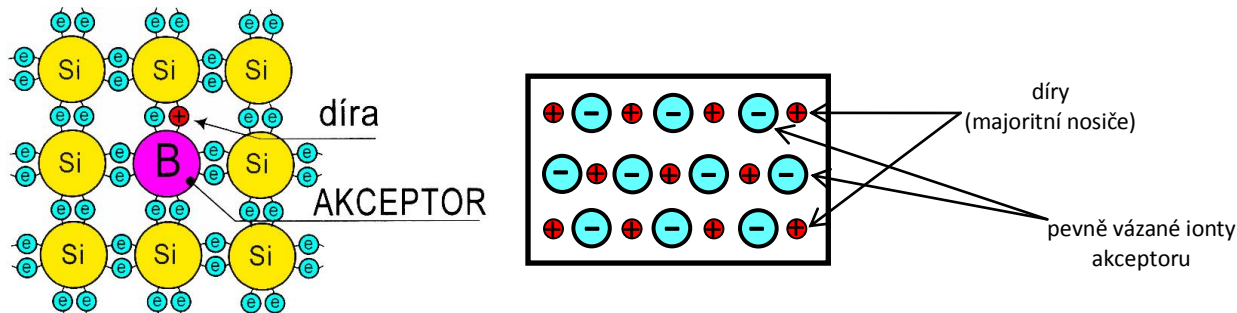
Připojíme-li polovodič typu N ke zdroji napětí, jsou volné elektrony usměrněny elektrickým polem a pohybují se od záporného pólu ke kladnému pólu zdroje (obr. 65).



Obrázek 65: Polovodič typu N v elektrickém poli

Polovodič typu P

Budeme-li dotovat čtyřmocný křemík trojmocným prvkem (bór, hliník, galium nebo indium) vznikne nám **polovodič typu P** (obr. 66). Prvku příměsi, který má o jeden elektron méně, říkáme **akceptor** (příjemce – přijme (akceptuje) do své valenční sféry jeden volný elektron uvolněný teplem). Obecně: $A^{IV} + B^{III} \rightarrow P$



Obrázek 66: Polovodič typu P

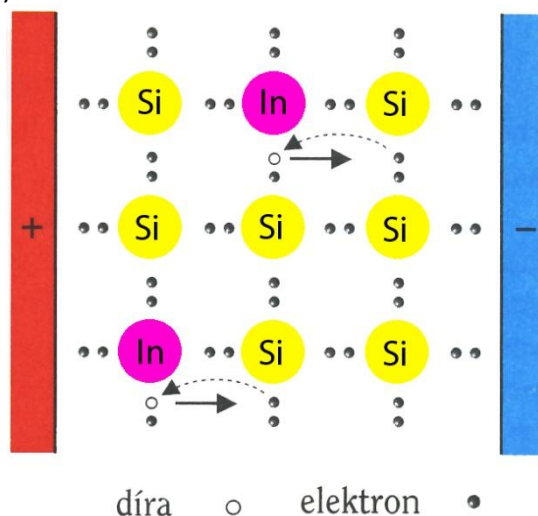
Při použití trojmocného prvku chybí jeden elektron k tomu, aby se mohla vytvořit kovalentní vazba vytvořená ze čtyř dvojic elektronů. Toto volné místo po chybějícím elektronu se chová jako díra (defektní elektron). Tyto díry cizího atomu způsobují **děrovou vodivost polovodiče (nevlátní vodivost typu P)**.

Děry, které jsou do polovodiče dodány, je mnohem více, než vlastních nosičů náboje polovodiče a proto jsou **většinovými (majoritními) nosiči náboje**.

Polovodič typu P obsahuje také i volné elektrony, ale ty vznikají jako produkt působení teploty, jsou to vlastní nosiče náboje. Jejich množství je závislé na teplotě polovodiče (s rostoucí teplotou roste). Tyto elektrony jsou v polovodiči **menšinovými (minoritními) nosiči náboje**.

Volné elektrony, které vznikly tepelným zahřátím vlastního polovodiče, se snaží zaplnit sousední díru akceptoru. Ale při jejich generaci (vzniku) vznikají zároveň i nové díry, které se snaží zaplnit další volné elektrony a tento celý děj se neustále opakuje, což se nám jeví, jako by se pohybovaly díry (odtud děrová vodivost), avšak ve skutečnosti se pohybují volné elektrony, které se snaží díry zaplnit a následně s dírami rekombinují.

Pokud na polovodič typu P přiložíme zdroj napětí, volné elektrony budou přeskakovat do děr směrem od záporného pólu zdroje ke kladnému a díry se budou pohybovat od kladného pólu zdroje k zápornému (obr. 67).



Obrázek 67: Polovodič typu P v elektrickém poli

5.6. Termistory

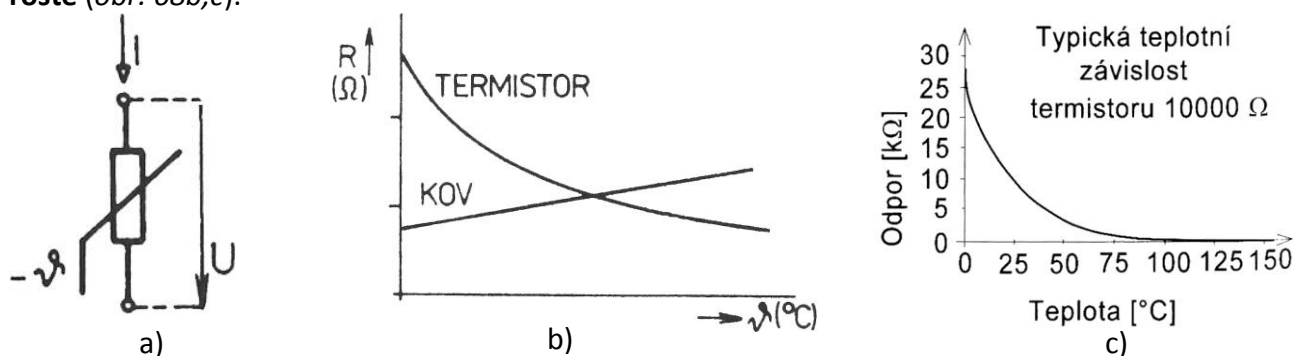
Jsou polovodičové součástky, jejichž elektrický odpor (elektrická vodivost) se s teplotou mění. Podle toho zda odpor (vodivost) s teplotou roste či klesá, můžeme termistory rozdělit do dvou skupin:

- **negativní termistory (NTC), zkr. termistory** – jejichž odpor s rostoucí teplotou klesá.
- **pozitivní termistory (PTC), zkr. pozistory** – jejichž odpor s rostoucí teplotou stoupá.

Termistor (negativní termistor, NTC)

Termistor je polovodičová součástka bez přechodu PN (obr. 68a), vyrobená z polykrytalického materiálu (oxidů kovů).

Klasickou vlastností termistoru je jeho velký záporný teplotní součinitel odporu. To znamená, že jeho elektrický odpor při **zvyšování teploty značně klesá, resp. jeho elektrická vodivost značně roste** (obr. 68b,c).

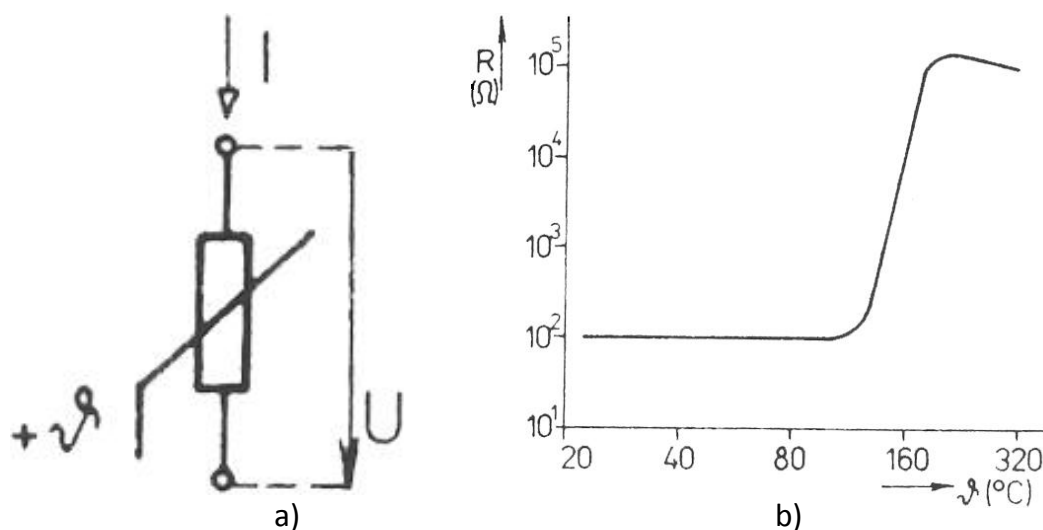


Obrázek 68: a) schematická značka termistoru; b) porovnání teplotní závislosti termistoru a kovu; c) teplotní závislost termistoru

Pozistor (pozitivní termistor, PTC)

Pozistor je stejně jako termistor nelineární součástka (obr. 69a), jejíž odpor se značně mění s teplotou. Má kladný teplotní součinitel odporu. To znamená, že jeho **elektrický odpor při zvyšování teploty roste, resp. klesá jeho elektrická vodivost**.

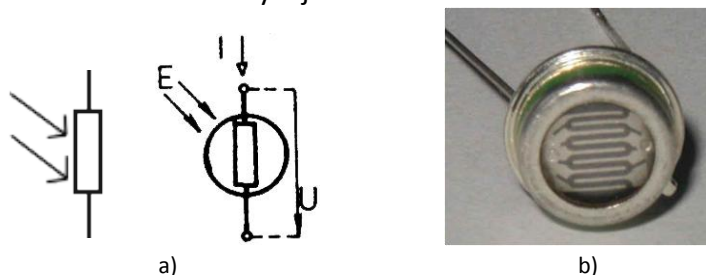
Při nízkých teplotách jeho odpor jen pozvolna vzrůstá. Při určité teplotě náhle prudce vzroste až o několik řádů. Při dalším zvětšování odpor pozistoru mírně klesá (obr. 69b).



Obrázek 69: a) schematická značka pozistoru; b) teplotní závislost pozistoru

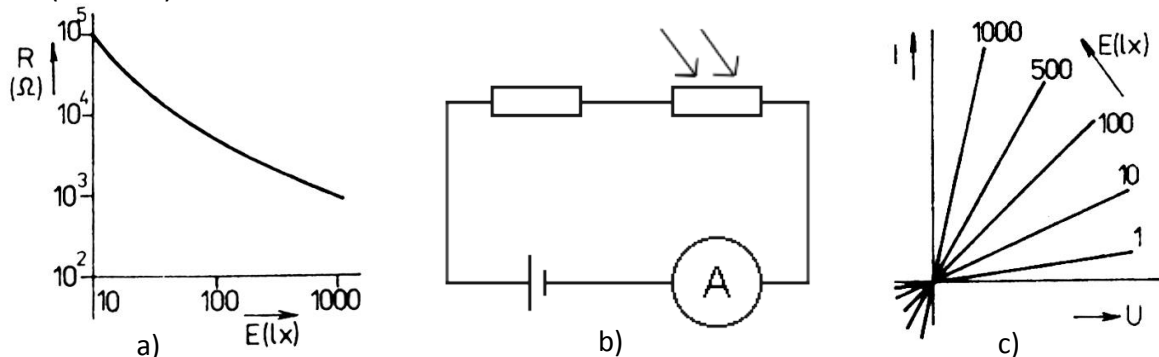
5.7. Fotorezistor

Fotorezistor (fotoodpor) je polovodičová součástka (*obr. 70*), která **mění svůj elektrický odpor** (elektrickou vodivost) v závislosti na **velikosti intenzity osvětlení**. Je vyráběn převážně z materiálů s vlastní vodivostí CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe, InSb, InAs aj. Fotorezistory jsou konstruovány tak, že za tmy mají největší odpor a s přibývajícím osvětlením se jejich elektrický odpor snižuje, resp. elektrická vodivost zvyšuje.



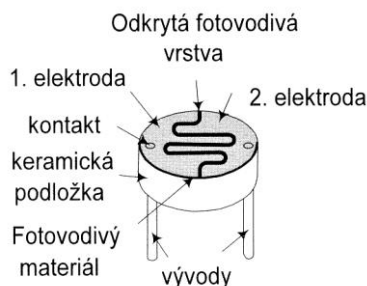
Obrázek 70: a) schematická značka fotorezistoru; b) reálný fotorezistor

Změna elektrického odporu spočívá na principu **fotoelektrického jevu**. Světlo, které dopadá na povrch fotorezistoru, předá svoji energii pevně vázanému elektronu ve valenční sféře. Tím získá elektron dostatek energie k překonání zakázaného pásu a přeskočí do pásu vodivostního, kde se z něj stává **volný elektron**, který přispívá ke zvýšení vodivosti fotorezistoru. Čím více světla dopadá na povrch fotoodporu, tím se uvolňuje více elektronů z valenčních sfér a jeho vodivost stále roste. Závislost elektrického odporu fotorezistoru na intenzitě osvětlení je uveden na *obr. 71a*. Pokud zapojíme fotorezistor dle schématu (*obr. 71b*), můžeme měřit VA charakteristiku při konstantním osvětlení. Je-li konstantní osvětlení, jsou jeho VA charakteristikami přímky – jeho závislost I na U je lineární (*obr. 71c*).



Obrázek 71: a) závislost odporu na osvětlení; b) schéma zapojení; c) VA charakteristiky při konst. osvětlení

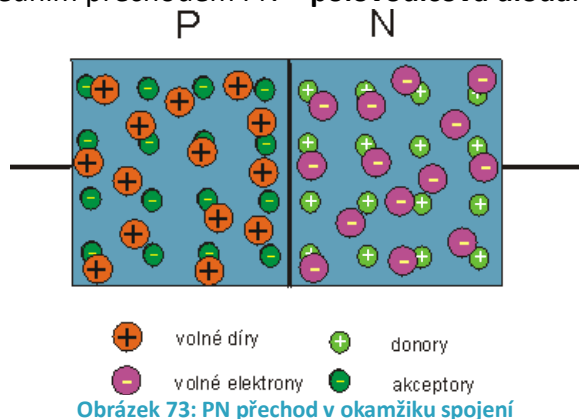
Často používanou metodou pro výrobu fotorezistorů je metoda tlustých vrstev, kdy je na podložku nanesen vhodně upravený fotovodivý materiál, který je potom vysušen. Následuje sintrace (spékání) materiálu při vysoké teplotě. Na povrch fotovodivé vrstvy je nanesen vodivý materiál tvořící elektrody a jsou vytvořeny kontakty. Velikost odporu fotorezistoru je určena spirálovitě vytvořenou nezakrytou vrstvou fotoodporového materiálu mezi kontakty (*obr. 72*).



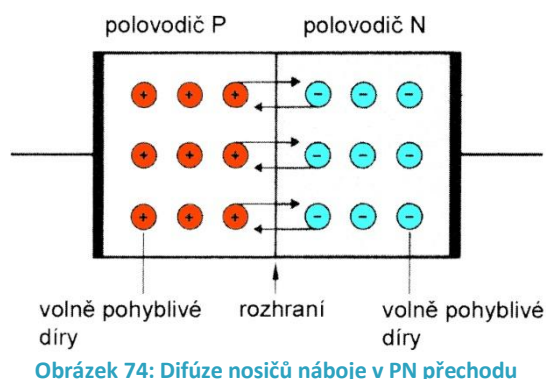
Obrázek 72: Konstrukční uspořádání fotorezistoru

5.8. Přechod PN (polovodičová dioda)

Jestliže spojíme polovodič typu P a polovodič typu N, vznikne přechod PN (obr. 73) - základní polovodičová součástka s jedním přechodem PN – **polovodičová dioda**.

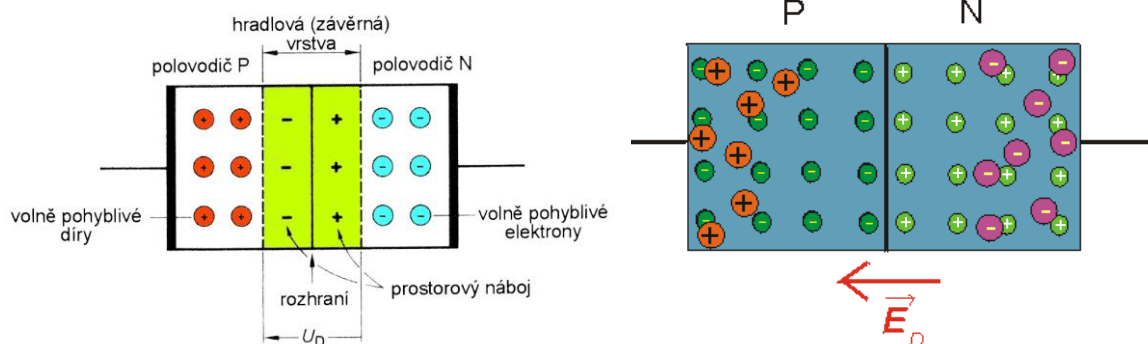


Ihned po spojení polovodiče P s polovodičem N začnou v těsné blízkosti spoje přecházet (**difundovat**) volné nosiče náboje (v typu P díry, v typu N elektrony) do oblasti s nižší koncentrací náboje, tj. **díry difundují z oblastí P do oblasti N a elektrony difundují z oblasti N do oblasti P** (obr. 74). Tomuto ději říkáme **difúze**. Můžeme si to představit také tak, že elektrony jsou přitahovány děrami a naopak.



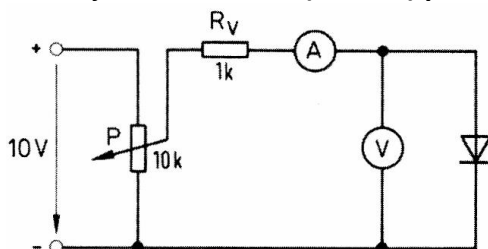
Protože elektrony, které přecházejí z oblasti N do oblasti P, nacházejí dostatečný počet volných děr a díry, které přecházejí z oblasti P do oblasti N, nacházejí dostatečný počet volných elektronů, dochází v blízkosti rozhraní mezi oběma materiály k rekombinaci elektronů a děr.

Díky difúzi a následné rekombinaci vzniká na obou rozhraních zóna, v níž nejsou žádné volné nosiče náboje (v oblasti P chybí díry a v oblasti N chybí elektrony). Tuto vyprázdněnou oblast nazýváme **potenciálová bariéra, potenciálový val, hradlová vrstva**. V této potenciálové bariéře vznikne díky iontům akceptoru a donoru prostorový náboj (obr. 75).



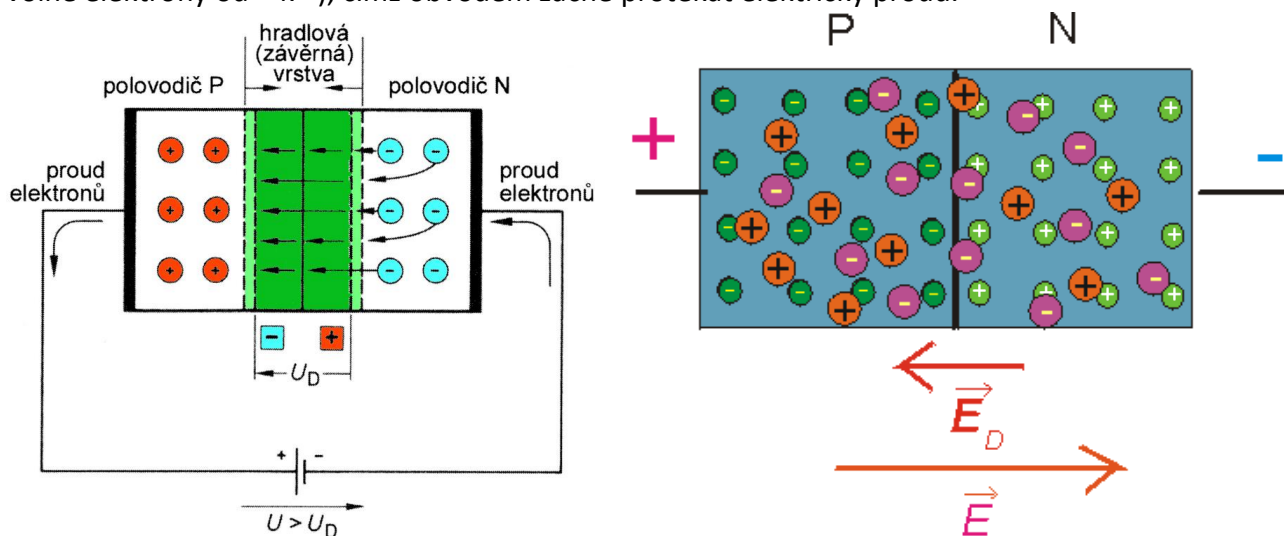
PN přechod (dioda) v propustném směru

Dosud jsme zkoumali diodu (PN přechod) bez přiloženého napětí – dioda nebyla zapojena v elektrickém obvodu. Nyní však zapojíme diodu v tzv. **propustném směru** (obr. 76), kdy na oblast **P (anodu)** přivedeme kladný pól zdroje a na **oblast N (katodu)** přivedeme záporný pól zdroje.



Obrázek 76: Schéma zapojení obvodu diody v propustném směru

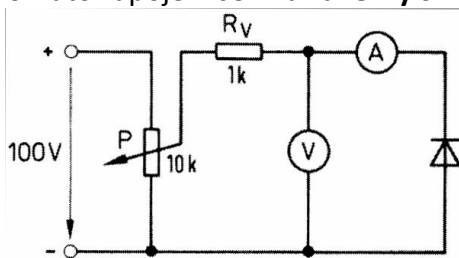
Potenciometrem P postupně zvyšujeme napětí na diodě. Toto zvyšující se napětí má za následek, že se kladné nosiče náboje (díry) začnou odpuzovat od elektrody A (anody) v oblasti P směrem do středu PN přechodu (resp. jsou přitahovány záporným pólem zdroje ke katodě) a záporné nosiče náboje (volné elektrony) se začnou odpuzovat od elektrody K (katody) směrem do středu PN přechodu (resp. jsou přitahovány kladným pólem zdroje k anodě). Tím se bude potenciálová bariéra (potenciálový val, hradlová vrstva) postupně zužovat (obr. 77). Do této doby neteče obvodem žádný elektrický proud. Teprve až potenciálová bariéra téměř zanikne (při cca 0,6 V), mohou **majoritní nosiče přecházet přes celý krystal** (v oblasti P díry od + k –, v oblasti N volné elektrony od – k +), čímž obvodem začne protékat elektrický proud.



Obrázek 77: Zúžení potenciálové bariéry v propustném směru

PN přechod (dioda) v závěrném směru

Nyní zapojíme diodu podle schématu na (obr. 78), kdy na **oblast P** připojíme **záporný pól zdroje** a na **oblast N** **kladný pól zdroje**. Tomuto zapojení se říká **závěrný směr**.

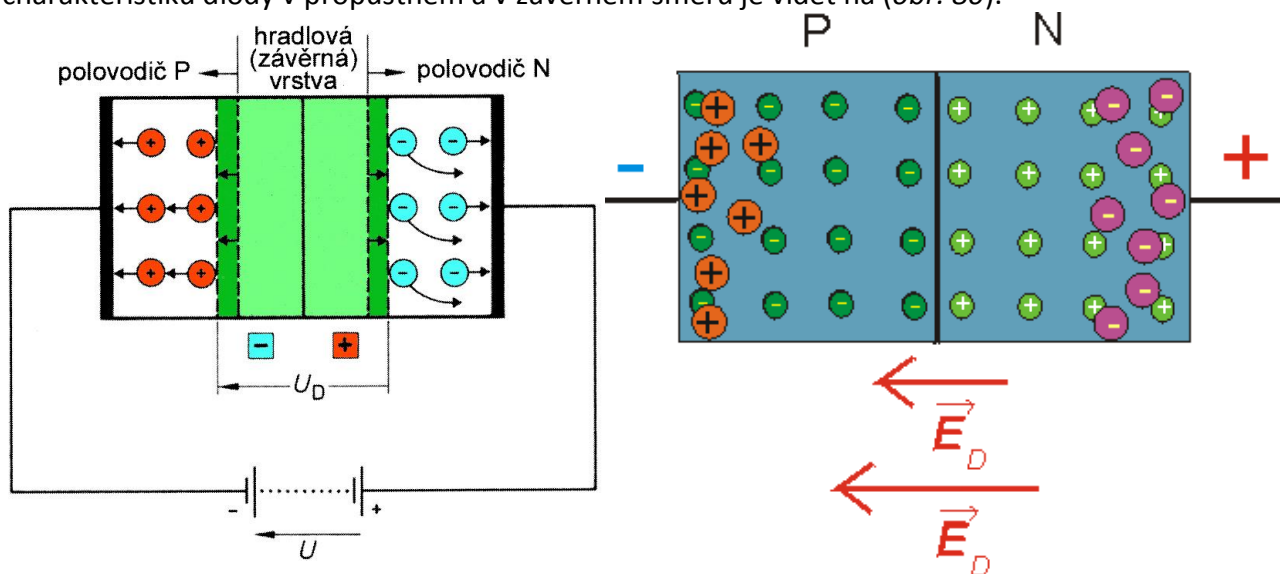


Obrázek 78: Schéma zapojení obvodu diody v závěrném směru

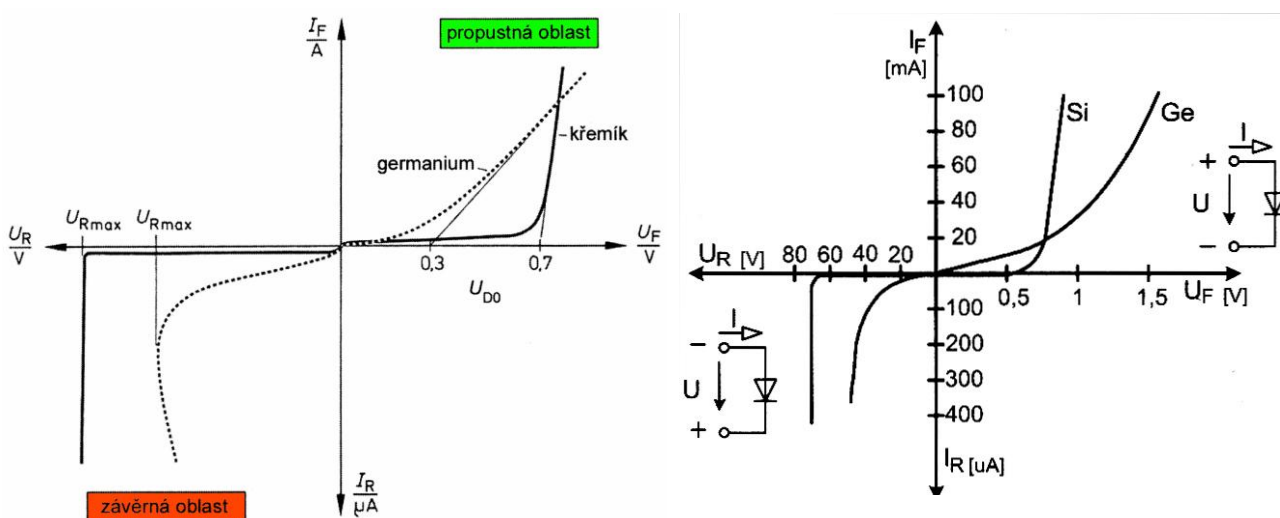
Nyní jsou díry v oblasti P přitahovány k zápornému pólu zdroje a volné elektrony ke kladnému pólu zdroje, tím je ještě větší nedostatek majoritních nosičů (děr a volných elektronů) poblíž přechodu PN, čímž se potenciálová **bariéra ještě více rozšíří (zvětší)**. **Proud obvodem neprotéká.**

Vlivem tepelných kmitů atomů krystalové mřížky vznikají v krystalu neustálé páry elektron-díra (vlastní vodivost) – minoritní (menšinová) nosiče náboje. Elektrony z materiálu P putují přes celý krystal skrz potenciálovou bariéru ke kladnému pólu zdroje a díry z materiálu N putují přes celý krystal skrz potenciálovou bariéru k zápornému pólu zdroje (*obr. 79*). Tento pohyb minoritních nosičů označujeme jako **závěrný proud** (někdy teplotní proud). Tento proud je velmi silně teplotně závislý. Při pokojové teplotě je u germania $I_R = 10$ až $500 \mu\text{A}$ a u křemíku $I_R = 5$ až 500nA . **Jelikož je tento proud velmi nepatrný, proto říkáme, že dioda v závěrném směru elektrický proud nevede.**

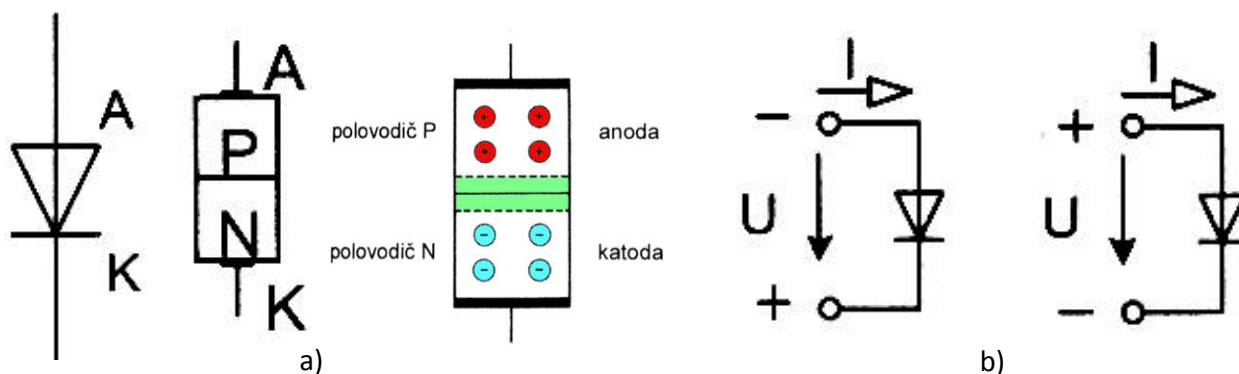
Napětí v závěrném směru na diodě nemůžeme libovolně zvětšovat, jelikož při určitém napětí (10 až 100 V) začne proud obrovsky stoupat, což může mít za následek zničení diody. VA charakteristiku diody v propustném a v závěrném směru je vidět na (*obr. 80*).



Obrázek 79: Rozšíření potenciálové bariéry v závěrném směru



Obrázek 80: VA charakteristiky křemíkových a germaniových diod



Obrázek 81: a) schematická značka a struktura diody; b) zapojení v závěrném a propustném směru

Shrnutí:

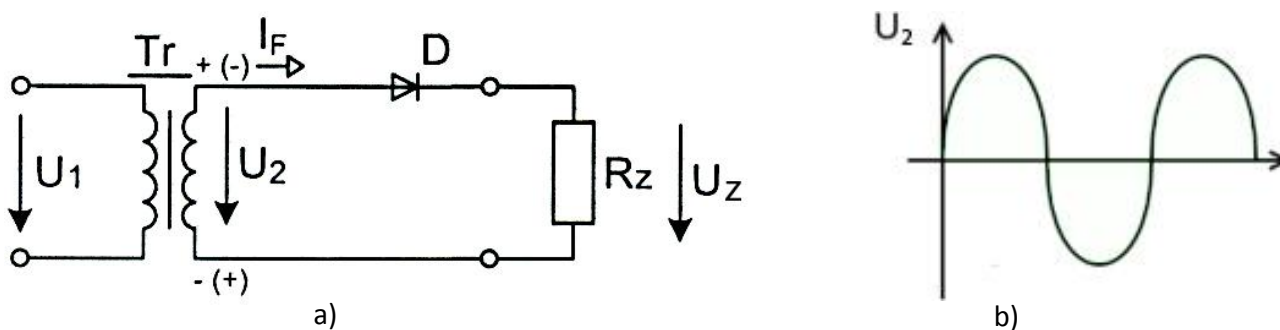
- ☞ Dioda je polovodičová součástka, která se používá především jako usměrňovač (pro usměrnění střídavého proudu).
- ☞ V propustném směru vede elektrický proud, v závěrném směru elektrický proud nevede (proud je zanedbatelně malý).
- ☞ V propustném směru způsobují proud majoritní (většinové) nosiče náboje, v závěrném směru je proud způsoben minoritními (menšinovými) nosiči náboje.

5.9. Diody jako usměrňovače

Doposud jsme se zabývali diodou v obvodu se stejnosměrným proudem, kdy v propustném směru dioda elektrický proud propouští, v závěrném směru nikoli. Nyní budeme zkoumat diodu v obvodu se střídavým proudem. Dioda v obvodu se stř. proudem se chová jako **usměrňovač střídavého proudu**.

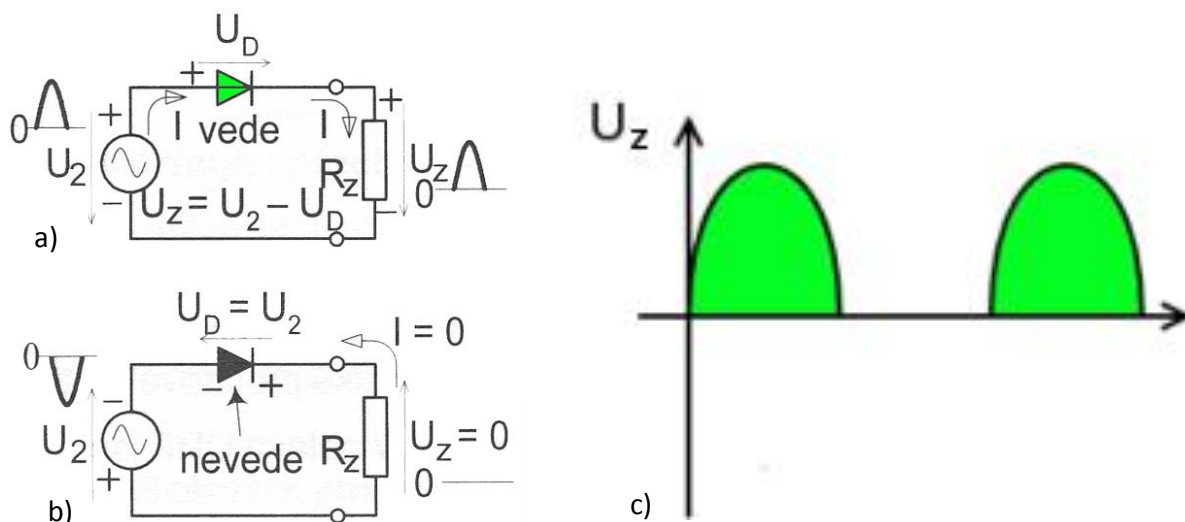
Jednocestný usměrňovač

Jednocestný usměrňovač (obr. 82a) je přiveden na střídavé výstupní napětí transformátoru U_2 (obr. 82b). Z tohoto střídavého napětí propouští usměrňovač pouze jednu půlvlnu, druhou nepropouští.

Obrázek 82: a) schéma zapojení jednocestného usměrňovače; b) výstupní napětí transformátoru U_2

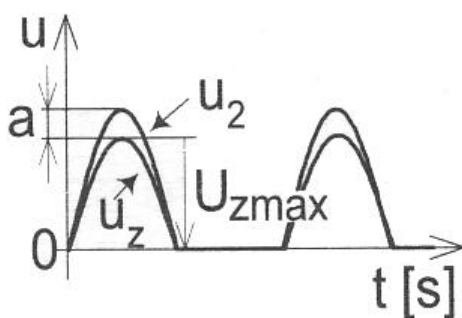
Je-li dioda polarizována v propustném směru (na anodě je vyšší napětí než na katodě), propouští usměrňovač pouze kladné půlvlny z výstupního napětí U_2 (obr. 83a).

Je-li dioda polarizována v závěrném směru (na anodě je nižší napětí než na katodě), proud obvodem neprochází, dioda blokuje zápornou půlvlnu výstupního napětí U_2 (obr. 83b).



Obrázek 83: a) usměrňovač v propustném směru; b) v závěrném směru; c) usměrněné napětí na zátěži

Tomu zapojení usměrňuje střídavé napětí na stejnosměrné napětí (obr. 83c). Usměrněné napětí na zátěži je o něco menší než napětí U_2 na výstupu transformátoru, jelikož i na diodě vznikl úbytek napětí (obr. 84).

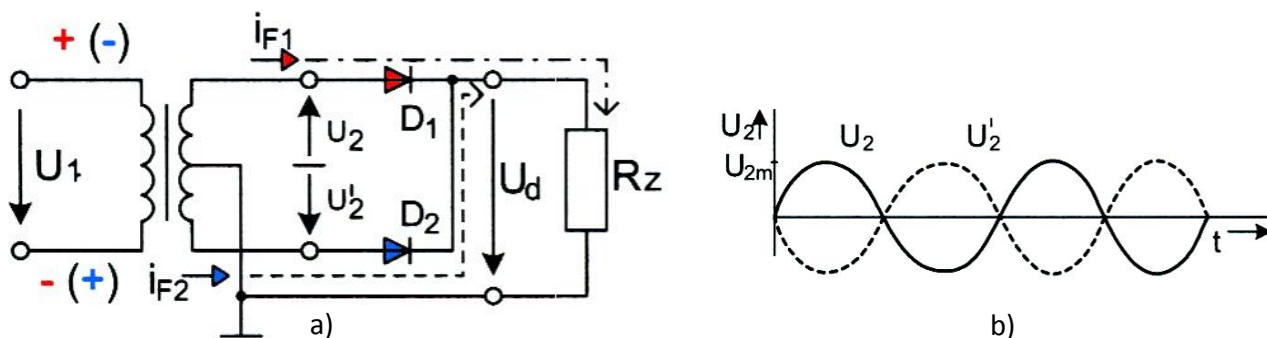


Obrázek 84: Usměrněné napětí na zátěži snižené o úbytek napětí na diodě

Díky difúznímu napětí diody (asi 0,6 V), které je potřeba překonat pro otevření diody, je původní napětí na zátěži o něco užší.

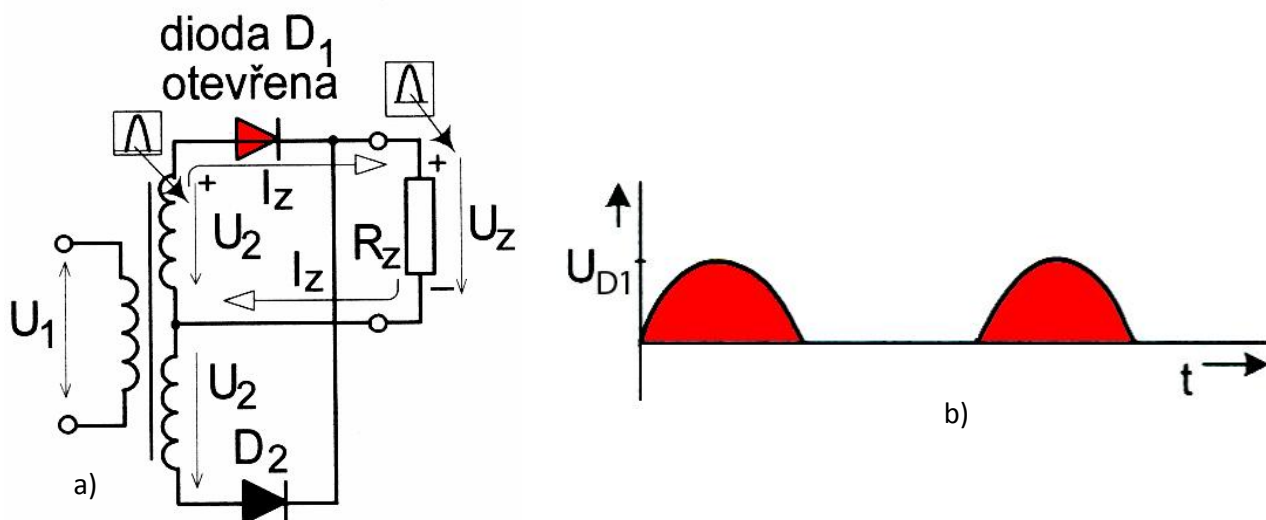
Dvojecenný usměrňovač se dvěma diodami

Tento dvojecenný usměrňovač díky dvěma paralelně zapojeným diodám (obr. 85a) propouští na rozdíl od jednocestného usměrňovače **obě kladné půlvlny v každé fázi** (obr. 85b). Způsob zapojení umožňuje, že obě půlvlny mají na výstupu usměrňovače stejnou polaritu.



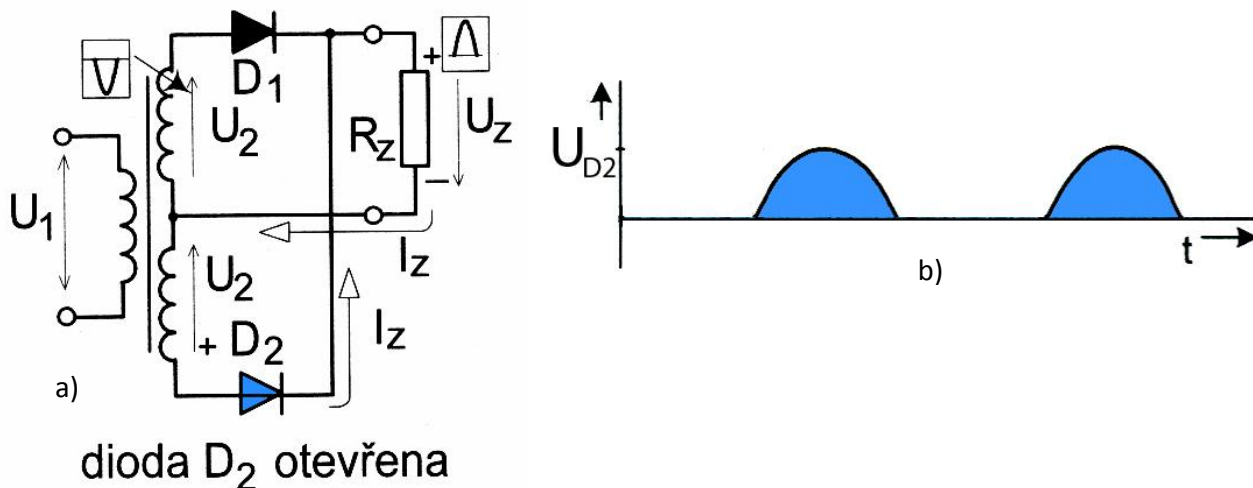
Obrázek 85: a) schéma zapojení dvojecenného usměrňovače; b) průběhy napětí na diodách

Je-li polarita střídavého napětí na výstupu transformátoru orientována tak, že + je u diody D_1 a – u diody D_2 , je dioda D_1 polarizována v propustném směru a dioda D_2 polarizována v závěrném směru – dioda D_1 propouští proud a D_2 nepropouští proud. **V tomto případě bude dioda D_1 vždy propouštět liché kladné půlvlny** (obr. 86).



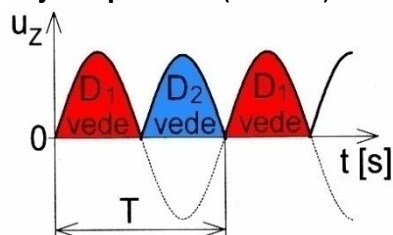
Obrázek 86: Dvojecenný usměrňovač (princip) - otevřená dioda D_1 , dioda D_2 uzavřena

Je-li polarita střídavého napětí na výstupu transformátoru orientována tak, že – je u diody D_1 a + u diody D_2 , je dioda D_1 polarizována v závěrném směru a dioda D_2 polarizována v propustném směru – dioda D_1 nepropouští proud a D_2 propouští proud. **V tomto případě bude dioda D_2 vždy propouštět sudé kladné půlvlny** (obr. 87).



Obrázek 87: Dvojecenný usměrňovač (princip) - dioda D_2 otevřena, dioda D_1 uzavřena

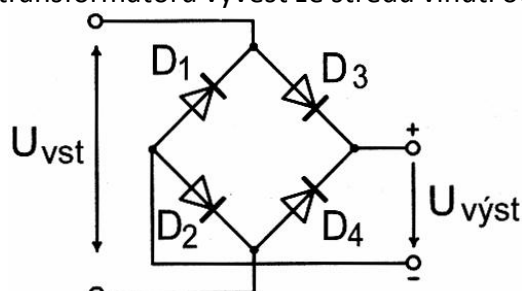
Díky tomuto zapojení, kdy obě diody propouští vždy kladné půlvlny v každé fázi přes zátěž jedním směrem, **mají obě půlvlny stejnou polaritu** (obr. 88).



Obrázek 88: Výsledné napětí na zátěži dvojecenného usměrňovače

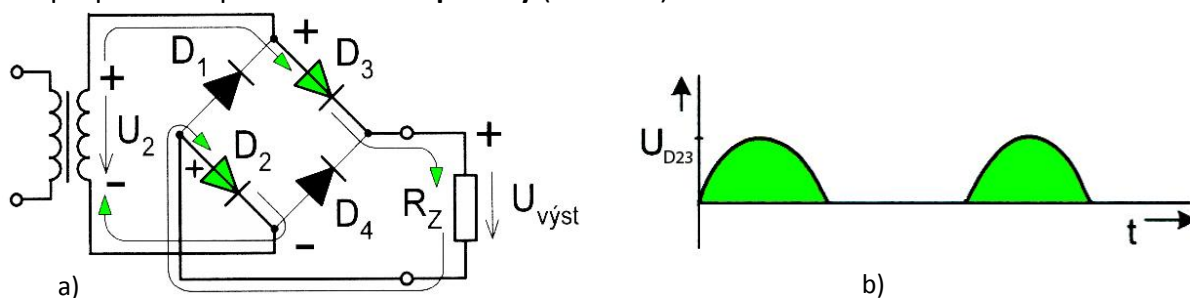
Dvocestný usměrňovač se čtyřmi diodami (Graetzův můstek)

Tento dvocestný usměrňovač (Graetzův usměrňovač - můstek) se čtyřmi diodami se používá nejvíce (obr. 89). Má oproti předchozímu dvocestnému usměrňovači výhodu v tom, že nepotřebuje z výstupní cívky transformátoru vyvést ze středu vinutí odbočku.



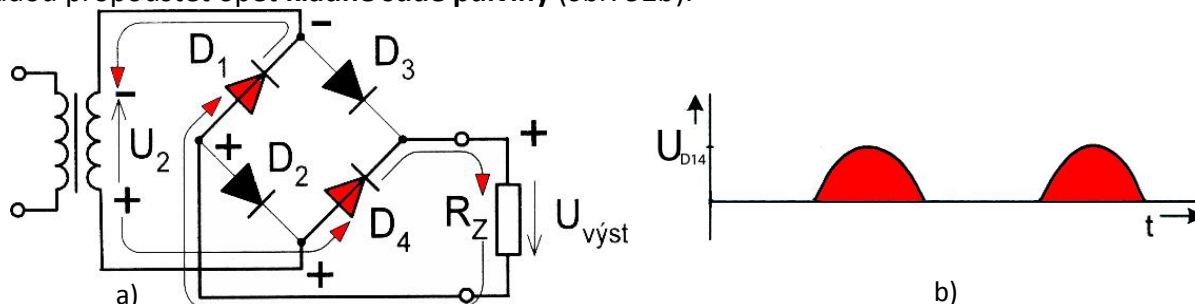
Obrázek 89: Graetzův diodový můstek

Princip Graetzova usměrňovače je obdobný jako u klasického dvocestného usměrňovače. Pokud je na uzlu mezi diodami D_1 a D_3 kladné napětí a na uzlu mezi diodami D_2 a D_4 záporné napětí, jsou otevřeny pouze diody D_2 a D_3 . Tyto otevřené diody umožňují průchod proudu, který protéká přes diodu D_3 a zátěž R_Z , poté se proud uzavírá přes diodu D_2 (obr. 90a). Obě tyto diody budou propouštět opět **kladné liché půlvlny** (obr. 90b).

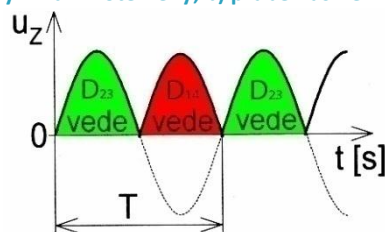


Obrázek 90: a) Graetzův usměrňovač - diody D_2 a D_3 otevřeny; b) průběh usměrněného napětí na zátěži přes diody D_2 a D_3

Je-li na uzlu mezi diodami D_1 a D_3 záporné napětí a na uzlu mezi diodami D_2 a D_4 kladné napětí, jsou otevřeny pouze diody D_1 a D_4 . Tyto otevřené diody umožňují průchod proudu, který protéká přes diodu D_4 a zátěž R_Z , poté se proud uzavírá přes diodu D_1 (obr. 91a). Obě tyto diody budou propouštět opět **kladné sudé půlvlny** (obr. 92b).



Obrázek 91: a) Graetzův usměrňovač - diody D_1 a D_4 otevřeny; b) průběh usměrněného napětí na zátěži přes diody D_1 a D_4

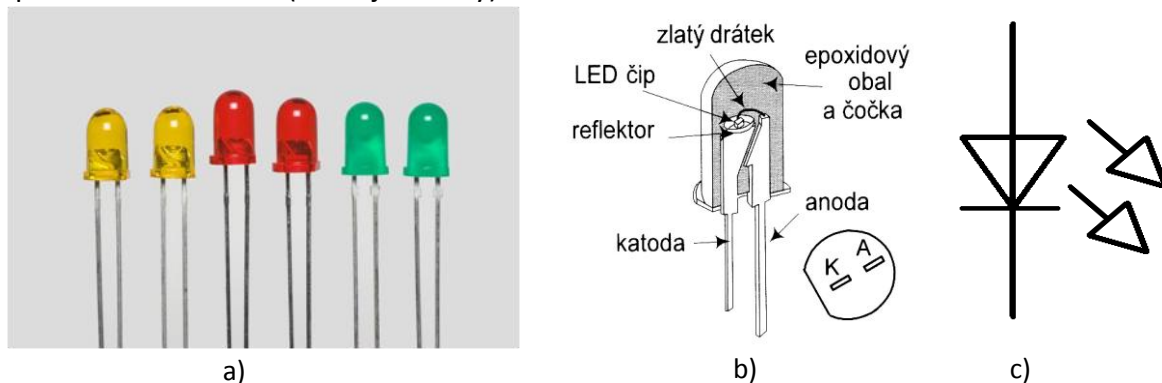


Obrázek 92: Výsledné usměrněné napětí na zátěži Graetzova usměrňovače

5.10. Další součástky s jedním PN přechodem

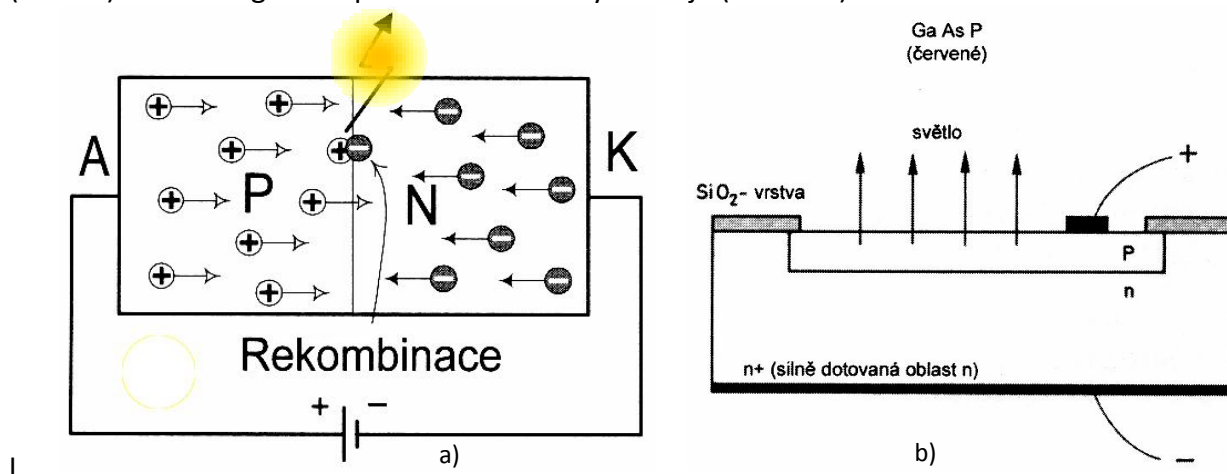
LED dioda (svítivá dioda)

LED (Light Emitting Diode) dioda je speciální typ diody (obr. 93), která při zapojení v propustném směru svítí (emituje fotony).



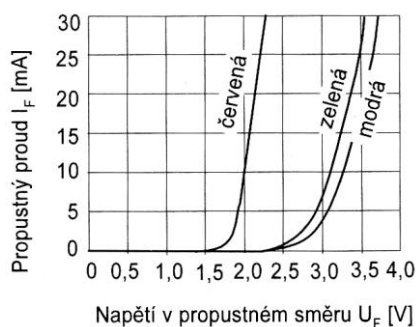
Obrázek 93: a) reálná LED dioda; b) konstrukční uspořádání LED diody; c) schematická značka LED diody

Princip svícení „ledek“ spočívá v tom, že na přechodu PN dochází k rekombinaci párů elektron-díra (obr. 94a). Elektron při rekombinaci s dírou vyzáří část své energie v podobě světla (fotonu). Technologické uspořádání LED diody ukazuje (obr. 94b).



Obrázek 94: a) princip svícení LED diody; b) technologické uspořádání LED diody

LED diody se prodávají v různých barvách: červená, žlutá, zelená, modrá a bílá. Barevnost LED diod závisí na druhu použitého materiálu. Existují i diody s infračerveným světlem, které se používají v dálkových ovladačích u televize, a také existují diody vícebarevné – jedna LED dioda má více vývodů a může tak svítit více barvami. Každá různobarevná dioda má jinak veliké prahové (difúzní) napětí U_D , které je potřeba překonat, aby nám diody svítily (obr. 95).



Obrázek 95: VA charakteristiky různobarevných LED diod

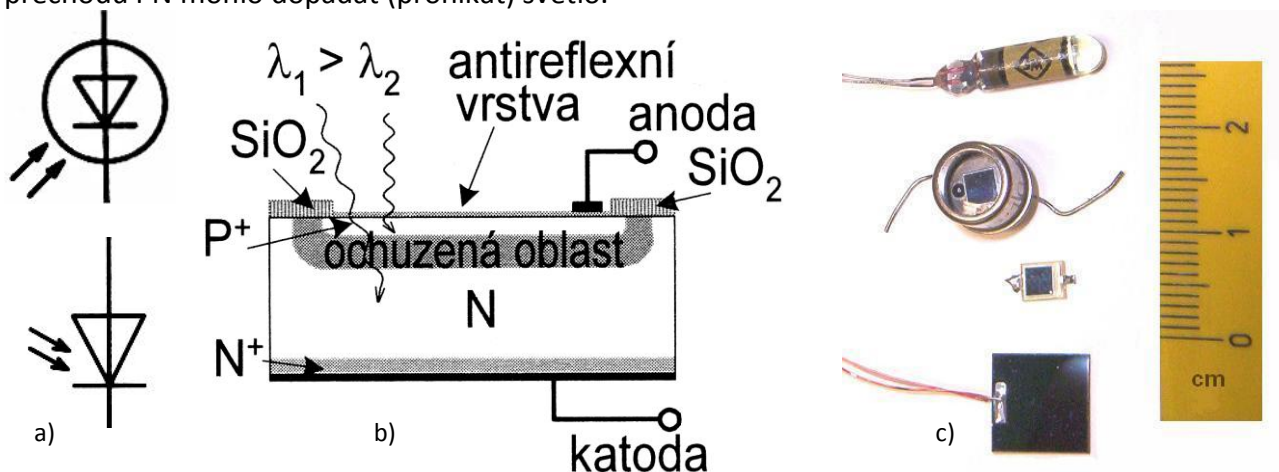
Následující tabulka nám shrnuje vlastnosti různobarevných diod (tab. 1):

Vlnová délka λ [nm]	Barva	U_F [V] při $I_F = 20$ mA	Svítivost při $I_F = 20$ mA [mcd]	Materiál LED
940	infračervená	1,5		GaAlAs/GaAs
880	infračervená	1,7		GaAlAs/GaAs
660	červená	1,8	200 při $I_F = 50$ mA	GaAlAs/GaAs
633	červená	2,0	3500 při	InGaAlP
612	oranžová	2,2	6500 při	InGaAlP
592	žlutá	2,2	7000 při	InGaAlP
585	žlutá	2,1	100 při	GaAsP/GaP
555	zelená	2,1	80 při	GaP
525	zelená	3,5	10 000 při	SiC/GaN
470	modrá	3,6	3000 při	SiC/GaN
4500 K	bílá	3,6	2000	SiC/GaN
8000 K	bílá	3,6	6000	SiC/GaN

Tabulka 1: Shrnutí vlastností LED diod

Fotodiody

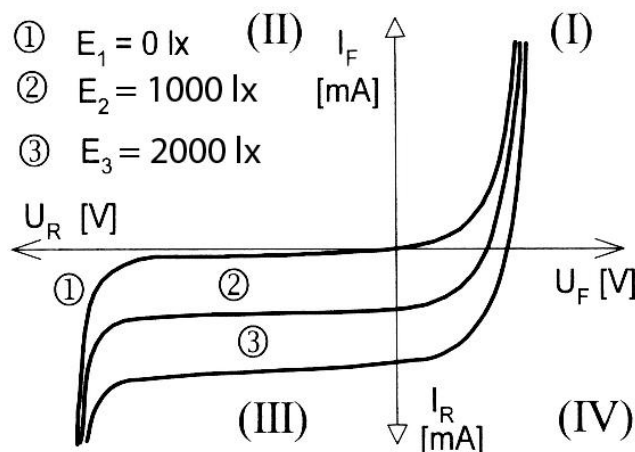
Fotodiody je polovodičová dioda (obr. 96) konstrukčně upravená tak, aby do oblasti přechodu PN mohlo dopadat (pronikat) světlo.



Obrázek 96: a) schematická značka fotodiody; b) technologické uspořádání fotodiody; c) reálné fotodiody

Není-li přechod PN osvětlen, má voltampérová charakteristika fotodiody (FD) stejný průběh jako běžná polovodičová dioda. VA charakteristika fotodiody prochází třemi kvadranty - I., III. a IV. kvadrantem (obr. 97), z nichž využíváme pouze dva kvadranty III. a IV. kvadrant.

Pracuje-li fotodiody ve III. kvadrantu, chová se obdobně jako fotorezistor. Tomuto režimu se říká **odporový (fotovodivostní) režim**. Pracuje-li fotodiody ve IV. kvadrantu, chová se jako zdroj elektrické energie. Tomuto režimu se říká **hradlový (fotovoltaický) režim**.

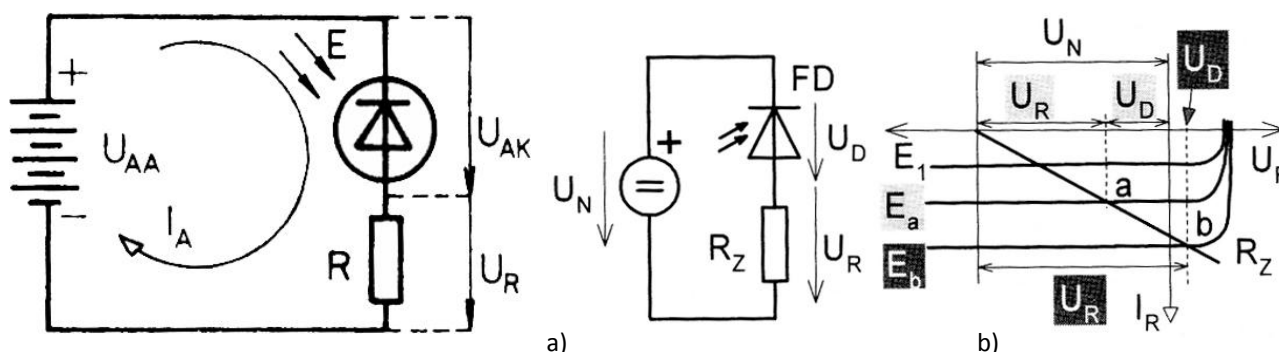


Obrázek 97: VA charakteristika fotodiody při různém osvětlení

Princip fotodiody spočívá stejně jako u fotorezistoru na **fotoelektrickém jevu**: světlo (foton) dopadá na odkrytý povrch přechodu PN, kde narazí do valenčního elektronu a předá mu svou energii. Elektron absorbuje energii světla (fotonu), čímž získá dostatek energie k překonání zakázaného pásu a přeskóčí z valenčního pásu do pásu vodivostního, kde opouští svůj atom a stává se tak volným elektronem pohybujícím se v prostoru krystalové mřížky. Čím více světla dopadá na přechod PN, tím více se vzniká volných elektronů (volných nosičů náboje) a zvyšuje se elektrická vodivost fotodiody, resp. se snižuje elektrický odpor.

Odporový (fotovodivostní) režim fotodiody

Zapojíme-li fotodiodu v nepropustném (závěrném) směru sériově se zatěžovacím rezistorem ke zdroji elektrického napětí, bude FD pracovat ve III. kvadrantu a její chování bude stejné jako u fotorezistoru. Při nulovém osvětlení obvodem nebude procházet žádný elektrický proud. Pokud osvětlíme přechod PN fotodiody začnou se vytvářet volné elektrony a na jejich místech vzniknou díry. Tyto volné elektrony zvýší vodivost (sníží odpor) fotodiody v závěrném směru a obvodem začne protékat elektrický proud, který je způsobený minoritními nosiči náboje (vlastní vodivostí). Velikost elektrického proudu (množství volných elektronů) je závislé na intenzitě osvětlení, čím je osvětlení větší, tím je větší elektrický proud. Tohoto režimu (zapojení) se používá při měření intenzity osvětlení, kdy se měří velikost procházejícího proudu (resp. napětí) na zatěžovacím odporu.

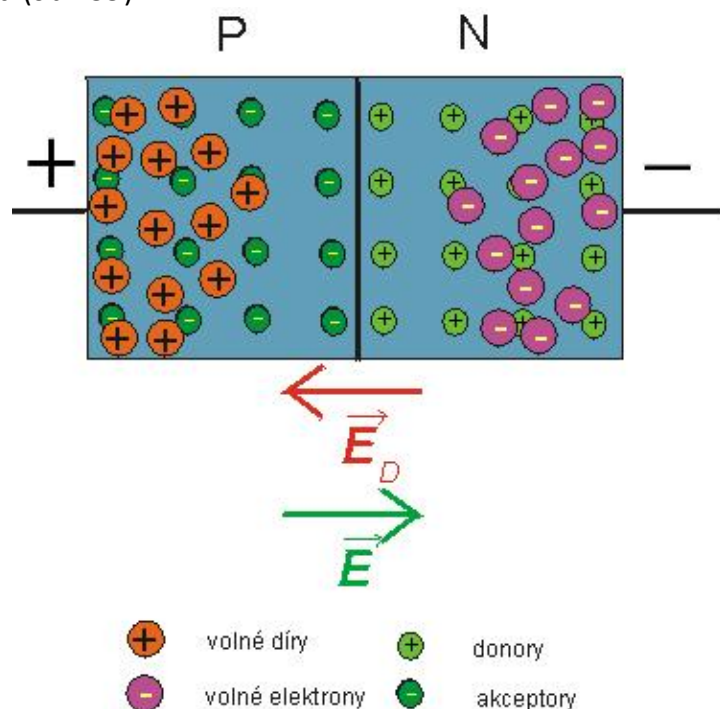


Obrázek 98: Odporový režim fotodiody a) schéma zapojení; b) VA charakteristika

Hradlový (fotovoltaický) režim fotodiody

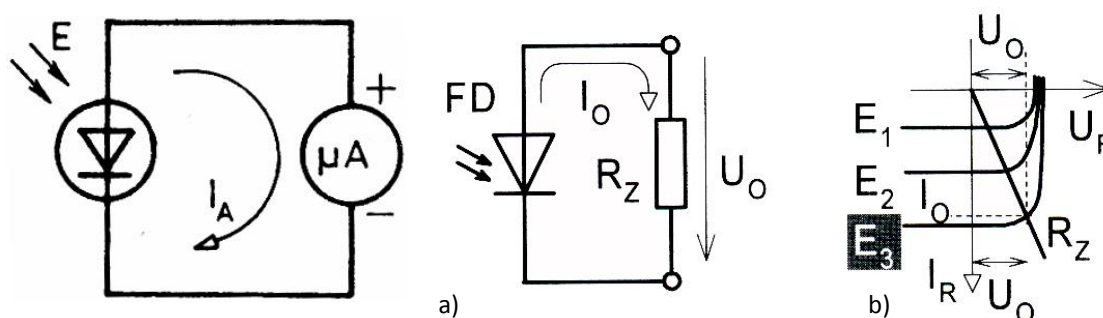
Nepřipojíme-li fotodiodu ke zdroji elektrické energie, ale pouze její přechod PN osvětlíme, bude se FD chovat jako zdroj elektrické energie a bude pracovat v IV. kvadrantu (hradlovém

režimu). Při osvětlení PN přechodu bez přiloženého vnějšího napětí vznikají také díky fotoelektrickému jevu volné elektrony a díry. Tyto volné elektrony a díry jsou elektrickým polem prostorového náboje (potenciálové bariéry) E_d přemísťovány – volné díry jsou zápornou částí pole E_d hromaděny v oblasti P u anody a volné elektrony jsou kladnou částí pole E_d hromaděny v oblasti N u katody. Tím díky volným nosičům náboje (volným elektronům a dírám) vzniká nové pole E . Což má za následek, že fotodioda se stává zdrojem elektrické energie – u anody je kladné napětí a u katody záporné napětí (obr. 99).



Obrázek 99: Princip hradlového režimu fotodiody - fotodioda jako zdroj el. energie

Využití fotodiody jako zdroje elektrické energie se využívá při výrobě **solárního (slunečního) článku**. Při běžné intenzitě osvětlení je získané napětí z jednoho článku cca 0,5 až 0,7 V. Spojením solárních článků vzniká solární (sluneční) baterie. Těchto solárních baterií se využívá především a výrobě elektrické energie u družic, satelitů a sond ve vesmíru.



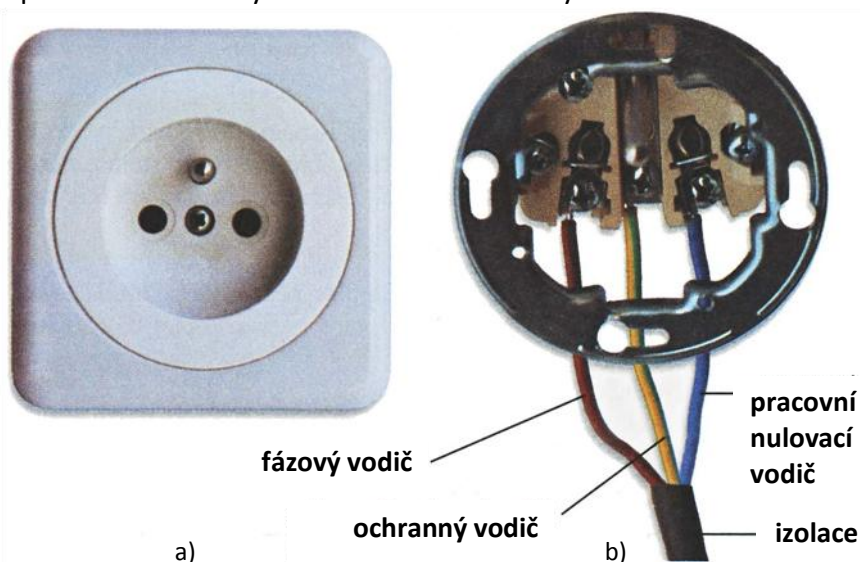
Obrázek 100: Hradlový režim fotodiody a) zapojení; b) VA charakteristika

6. Bezpečné zacházení s elektrickými zařízeními

6.1. Elektrické spotřebiče v domácnosti

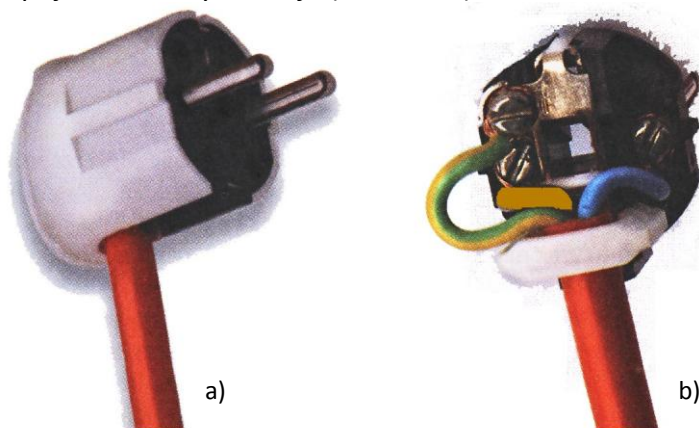
V domácnosti máme mnoho spotřebičů, které spotřebovávají elektrickou energii – **přeměňují** ji na jiný druh energie **světelnou** (žárovka, zářivka, televizor, monitor,...), **tepelnou** (elektrický sporák, elektrický a mikrovlnná trouba, pračka, topomet, elektrický kotel,...) a **mechanickou** (pračka, elektrický gril, holicí strojek, čerpadlo, výtah, vysavač, mixér, vrtačka...).

Elektrická energie je většinou z elektráren do domácností přiváděna dvěma vodiči. První vodič - **nulovací vodič** (nulák) modré barvy je vodivě spojen se zemí. Zde zem slouží jako nulový potenciál. Druhý vodič je **fázový vodič** (hnědá nebo černá barva). Mezi fázovým a nulovacím vodičem je efektivní napětí 230 V. Toto napětí je velmi nebezpečné. Vedení je ve zdi zakončeno **zásuvkou**, která má dvě zdířky (díry) a ochranný kolík (*obr. 101a*). Správné zapojení zásuvky je na (*obr. 101b*), kde do levé zdířky je přivedená hnědá fáze, do pravé zdířky modrý nulovací vodič a na ochranný kolík je přiveden ochranný vodič žlutozelené barvy.



Obrázek 101: a) zásuvka; b) správné zapojení vodičů v zásuvce

Do zásuvky připojujeme **zástrčku** neboli vidlici. Zástrčka může mít samotnou vidlici pro fázový a nulovací vodič bez zdířky pro ochranný kolík, nebo může mít i zdířku pro ochranný kolík (*obr. 102a*). Správné zapojení zástrčky ukazuje (*obr. 102b*).



Obrázek 102: a) zástrčka se zdířkou pro ochranný kolík; b) správné zapojení vodičů v zástrčce

Při zapojování elektrických spotřebičů do sítě elektrické energie bychom si měli vždy **přečíst návod (manuál, příručku) k použití nebo si přečíst štítek na spotřebiči**. Na štítku spotřebiče jsou informace na jaké napětí (stejnosměrné či střídavé) je spotřebič dimenzován, jaké může být maximální jeho velikost a u střídavého napětí jeho frekvence (kmitočet) a také je uveden příkon spotřebiče ve wattech.

Než zasuneme zástrčku do zásuvky, měli bychom zkontrolovat přívodní šňůru od spotřebiče. Zda není u šňůry narušená, popraskaná či prodřená izolace, jelikož by to mohlo mít za následek smrtelný úraz elektrickým proudem.

6.2. Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Úraz elektrickým proudem si přivodíme tehdy, dotkneme-li se fázového vodiče nebo vodivé části, na kterou je fázový vodič připojen, a současně se druhou rukou dotkneme nulovacího vodiče nebo předmětu, který je vodivě spojen se zemí (vana, vodovodní kohoutek, topení,...).

Následky úrazu elektrickým proudem jsou ovlivněny mnoha okolnostmi – jak velké elektrické napětí či elektrický proud námi prochází, zda jde o napětí stejnosměrné nebo střídavé, v jak vlhkém prostředí se nacházíme, jaký je přechodový odpor a odpor našeho těla atd.

Velikost protékajícího proudu naším tělem je ovlivněna hlavně odporem našeho těla a přechodovým odporem, tj. odporem naší kůže a fázovým vodičem – zpocená ruka má menší přechodový odpor (větší vodivost) než ruka suchá, bosá noha ve vodě taktéž.

Bezpečný proud je takový proud, který při průchodu naším tělem nezpůsobuje žádné křeče, popáleniny, zhmoždění vnitřních orgánů či smrt.

Bezpečnostní zásady a předpisy

- ☠ nedotýkáme se jakýchkoliv odkrytých částí elektrických zařízení, částí zásuvek a zástrček, patič žárovek; při výměně žárovek a zářivek vypneme vypínač, nikdy výměnu neprovádíme při sepnutém vypínači;
- ☠ nenahrazujeme pojistky kusem drátu; nedotýkáme se drátů spadlých na zem;
- ☠ nedotýkáme se mokrou rukou vypínačů; ve vodě nepoužíváme žádné elektrické přístroje;
- ☠ řídíme se vždy manuálem od spotřebiče; opravu necháme na odborníkovi;
- ☠ elektrický spotřebič zapojujeme do zásuvky vypnutý;
- ☠ nepoužíváme spotřebiče s poškozenou přívodní šňůrou;
- ☠ dbáme nápisů na rozvodech elektrické energie a na štítcích elektrických spotřebičů.

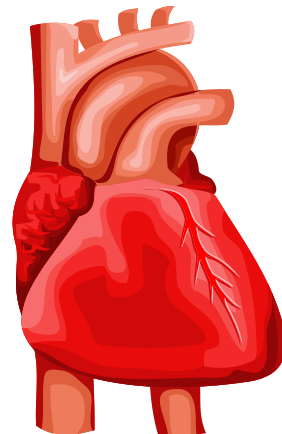


Obrázek 103: Bezpečnostní značky pro elektrotechniku

Dále bychom měli vědět, jak se chovat při bouřce. Je-li bouřka, neměli bychom se zdržovat v blízkosti vysokých stromů či kovových stožárů nebo na holé louce, kde jsme nejvyšším bodem my sami. Blesk si snaží najít co nejkratší a nejvodivější cestu. Ochranu nám poskytne budova s hromosvodem, auto se zavřenými okny (princip Faradayovy klece – náboj je na povrchu).

6.3. První pomoc při úrazu elektrickým proudem

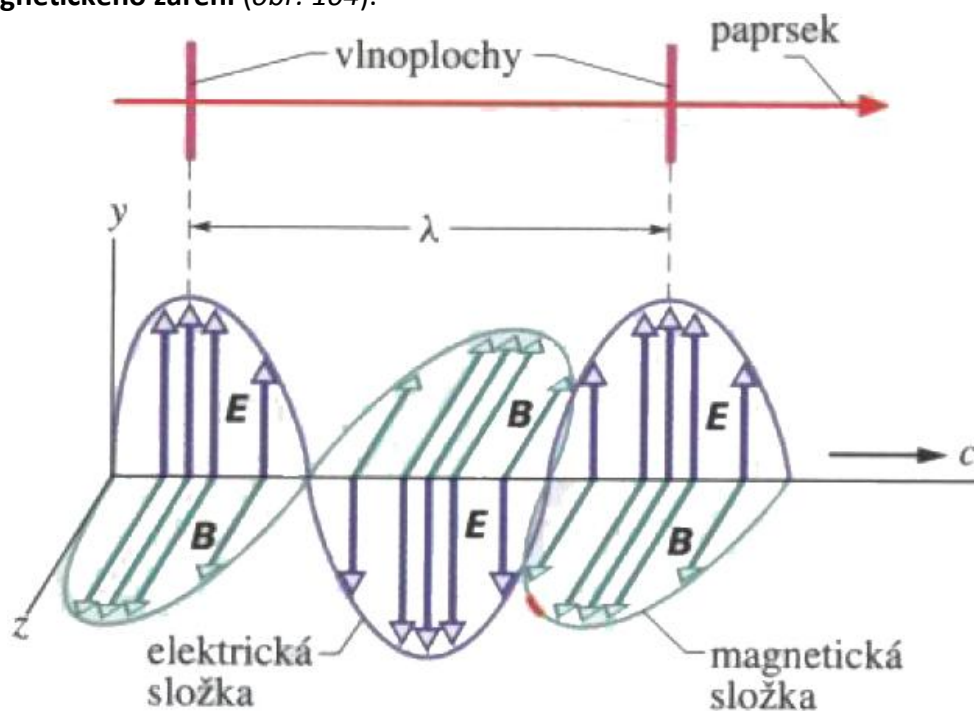
- ✓ postiženého se snažíme dostat z dosahu elektrického proudu takovým způsobem, aniž bychom byli sami v ohrožení života – shobením jističe, vypnutí přístroje či spínače, vytažením přírodní šňůry atd.;
- ✓ postiženého odtrhneme **nevodivým předmětem** (násadou od koštěte, suchým hadrem či oblečením apod.), od předmětu, kterého se vlivem elektrického proudu nemůže pustit; v žádném případě se postiženého pod proudem **nedotýkáme a nepodáváme mu ruku**;
- ✓ po vyproštění postiženého z dosahu elektrického proudu může být postižený při vědomí nebo v bezvědomí:
 - je-li postižený při vědomí v žádném případě ho **nenecháme** odejít, i kdyby tvrdil, že je v pořádku – může po chvilce upadnout do šoku, mít porušené vnitřní orgány od elektrického proudu atd.; zavoláme záchranou služby (**112, 155**);
 - je-li postižený v bezvědomí zkontrolujeme životní funkce (dýchání – sklíčko od hodinek, vlas, nit, proužek papíru, poslechem či pohledem; srdeční činnost pohmatem na krkavici, zápěstí,...); zavoláme záchrannou službu (**115, 112**);
 - má-li srdeční rytmus a dýchá, dáme poraněného do stabilizované polohy a do příjezdu RZS kontrolujeme jeho stav;
 - nedýchá-li a nemá-li srdeční rytmus, provedeme resuscitaci (oživení) – dýchání z úst do úst a nepřímou masáž srdce; cca po dvou minutách jej zkontrolujeme a v případě potřeby provádíme až do příjezdu lékaře;



7. Elektromagnetické záření (vlnění)

7.1. Elektromagnetické vlny a záření

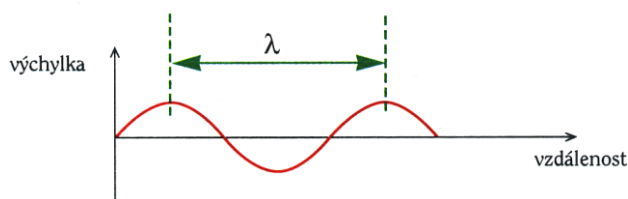
Mobilní telefony, televizní a rozhlasové vysílání, vysílačky, rentgen, infradalekohled a další zařízení pracují díky jevu, kterému říkáme **elektromagnetické vlnění (záření)**. Jak už jsme si v předchozích kapitolách řekli, kolem částice s nábojem vzniká elektrické pole. Pohybuje-li se tato elektricky nabitá částice nerovnoměrným pohybem, elektrické pole je příčinou vzniku pole magnetického. Výsledné pole má složku elektrickou a magnetickou – vzniklo **elektromagnetické pole**. Změnami složky elektrické vzniká pole magnetické a změnami složky magnetické vzniká pole elektrické. Tento děj vzájemných přeměn obou složek se šíří prostorem v podobě **elektromagnetického záření** (obr. 104).



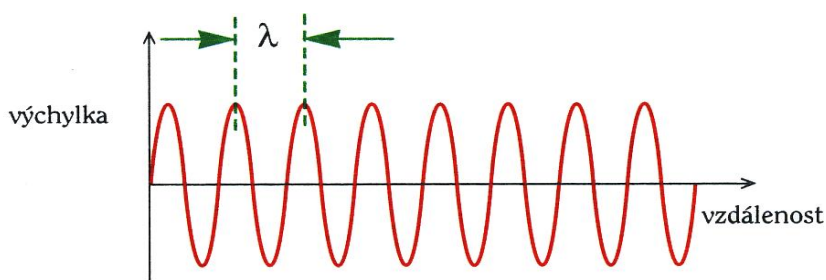
Obrázek 104: Elektromagnetická vlna (složka elektrická a magnetická)

Pro nás je nejdůležitějším elektromagnetickým vlněním **světlo**. James Clerk Maxwell dokázal, že světlo je druh elektromagnetického záření (část elektromagnetického spektra) a že existují ještě další druhy elektromagnetického vlnění. Celé elektromagnetické spektrum ukazuje (tab. 2), kde je elektromagnetické vlnění rozděleno podle vlnových délek.

Jako když jsme znázorňovali vlnu u střídavého proudu, můžeme pomocí **sinusoidy** znázornit i vlnu elektromagnetickou (obr. 105, 106). Důležitým parametrem elektromagnetického záření je **vlnová délka** λ (lambda), která udává délku vlny o jedné periodě, jednotkou jsou metry [m]. Dále je to pak **frekvence (kmitočty)**, které udává počet kmitů za sekundu, jednotkou je hertz [Hz]. Elektromagnetická vlna se šíří rychlostí světla c , tj. ve vakuu $299\,792\,458\text{ m/s}$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) $\doteq 300\,000\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 3\cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 300\,000\text{ km/s}$.



Obrázek 105: Vlna o dlouhé vlnové délce (nízké frekvenci)



Obrázek 106: Vlna o krátké vlnové délce (vysoké frekvenci)

Jak vlastně pracují mobily? Velmi zjednodušeně lze říci, že v anténě mobilu, pomocí střídavých proudů velmi vysokém kmitočtu, necháme pravidelně kmitat částice s elektrickým nábojem – tam a sem a sem a tam. Tato frekvence elektromagnetického záření jsou pro naše oči neviditelné, proto je nevidíme.

Na obdobném principu můžeme vysvětlit i vznik světla. V molekulách a atomech jsou také kmitající elektricky nabitě částice, které mohou vysílat elektromagnetické záření, jež je naším okem zachytitelné. Této části elektromagnetického spektra říkáme **viditelné světlo (světlo)**.

VLNOVÁ DÉLKA	VLNY	POUŽITÍ, VÝSKYT
	rádiové vlny	
2 000 m - 1 000 m	dlouhé	rozhlas televize
600 m - 150 m	střední	
50 m - 15 m	krátké	
15 m - 1 m	velmi krátké	
1 m - 0,3 mm	mikrovlny	mobilní telefony GPS mikrovlnné trouby
0,3 mm - 750 nm	infračervené záření	dálkové ovladače noční vidění tepelné záření
750 nm - 400 nm	světlo červené oranžové žluté zelené modré fialové	vidění
400 nm - 10 nm	ultrafialové záření	opalování solária sterilizace
10 nm - 1 pm	rentgenové záření	lékařská diagnostika průmyslová diagnostika
< 300 pm	záření gama	ozařování nádorů kosmické záření

Tabulka 2: Spektrum elektromagnetického záření

Frekvenci a vlnovou délku lze odvodit pomocí rychlosti světla dle následujících vztahů:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Čím je frekvence vyšší, tím je vlnová délka menší a naopak.

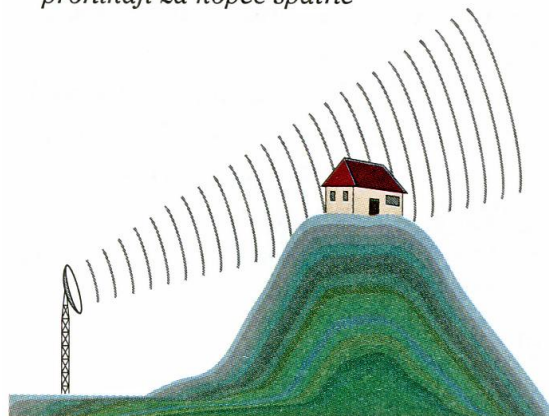
Elektromagnetické vlny se šíří na rozdíl od zvuku i ve vakuu. Je-li vlnová délka velká (frekvence nízká) – radiové vlny, pronikají elektromagnetické vlny snadněji za překážku (obr. 107a). Pokud je vlnová délka malá, nebude se tato vlna šířit za překážky, ale bude za nimi vytvářet stín (obr. 107b). Vlny o velmi malých vlnových délkách se šíří téměř prakticky přímočaře.

a) rádiové vlny o délkách stovek metrů
snadno proniknou za překážku



rozhlasový vysílač

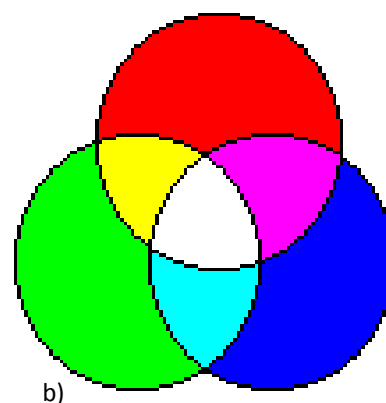
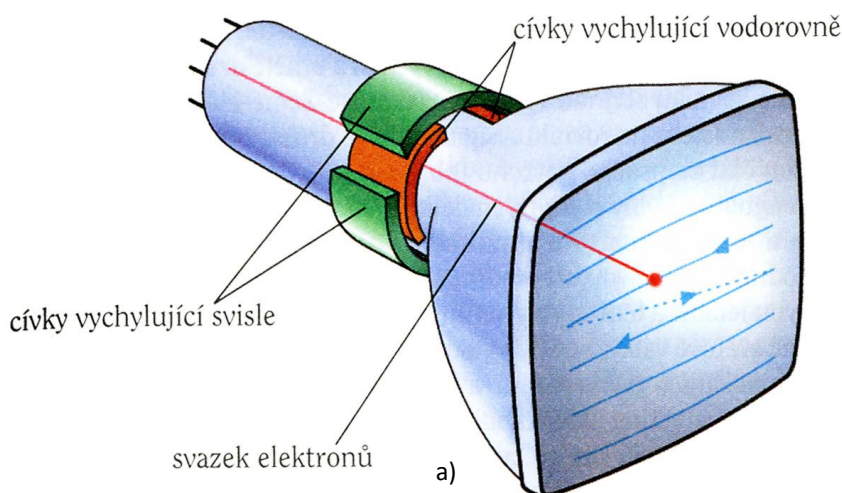
b) televizní vlny o metrových délkách
pronikají za kopec špatně



televizní vysílač

Obrázek 107: Šíření elektromagnetických vln a) o velké vlnové délce; b) o krátké vlnové délce

Televizní signál v podobě elektromagnetického vlnění přijímáme anténou. TV signál se ve speciálních obvodech dekoduje na obraz. Obraz vzniká tak, elektronové dělo vystřeluje svazek elektronů, který je následně urychlován a vychylován cívkami (obr. 108a). Elektron pak dopadá na sklo obrazovky, které je pokryto luminoforem, což je látka, které se po dopadu elektronu rozsvítí. Jas luminoforu závisí na rychlosti dopadajícího elektronu (větší rychlost, větší energie). U barevné televize jsou elektronová děla tři – pro každou barvu zvlášť (červená, modrá a zelená). Všechny barvy a jejich odstíny se skládají pomocí kombinací těchto barev o různé intenzitě jasu (obr. 108b). Elektronový svazek je vychylován ve svislém i vodorovném směru tak, že se elektronovým svazkem osvětluje postupně jeden řádek zleva do prava, pak druhý řádek, třetí řádek až do posledního 625 řádku. I když se nám obraz zdá plynulý, jde pouze o oklamání oka, jelikož je obraz skládán z mnoha snímků za sekundu, což se jeví plynule.



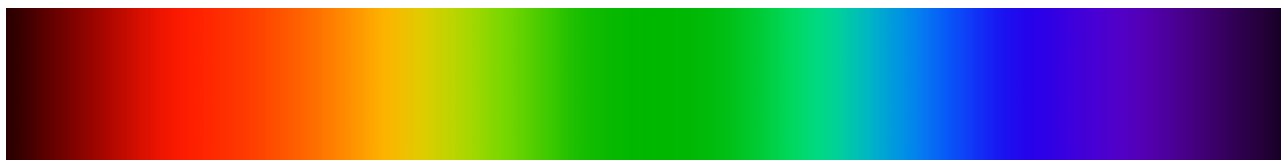
Obrázek 108: a) principy TV obrazovky; b) skládání barev u TV

Elektromagnetické vlny o délce několik km až po metrovou délku se řadí mezi **radiové vlny**. Používají se pro radiové a televizní vysílání. Můžeme je dělit na vlny **dlouhé (DV)**, **střední (SV)**, **krátké (KV)** a **velmi krátké (VKV)**.

Elektromagnetické vlny o vlnových délkách než vlny radiové jsou vlny **mikrovlnné** (decimetrové, centimetrové a milimetrové vlnová délka - 1 m až 0,3 mm). Mikrovlny se používají u mobilních telefonů (900 MHz, 1800 MHz a 1900 MHz), satelitních družic (1 227 MHz a 1575 MHz), radarů a mikrovlnných troub.

Vlny, které mají vlnovou délku ještě kratší než mikrovlny, se stávají vlnami směrovanějšími a nabývají podoby záření paprsků. Toto záření se nazývá **infračervené záření** (0,3 mm až 750 nm). Toto záření vysílají všechna tělesa, díky němu můžeme pomocí infračerveného dalekohledu vidět i ve tmě. Teplejší těleso se nám jeví jako červené a chladnější jako modré či fialové. Infračervené záření vnímá naše tělo jako teplo. Infračerveného paprsku se používá v dálkových ovladačích TV, videorekordéru atd.

Elektromagnetické záření o vlnové délce (750 nm – 400 nm) označujeme jako **viditelné světlo**. Toto elektromagnetické záření můžeme vidět naším okem. Největší vlnovou délku (nejmenší frekvenci) má světlo červené, poté oranžové, žluté, zelené, modré a fialové. Spektrum viditelného světla je podobné duze (*obr. 109*).



Obrázek 109: Spektrum viditelného světla

Překročíme-li vlnovou délku viditelného světla, dostáváme se k **záření ultrafialovému**. Toto záření způsobuje opálení a vytváří v našem těle vitamín D. Může však při nadměrném a nechráněném opalování způsobit i rakovinu kůže.

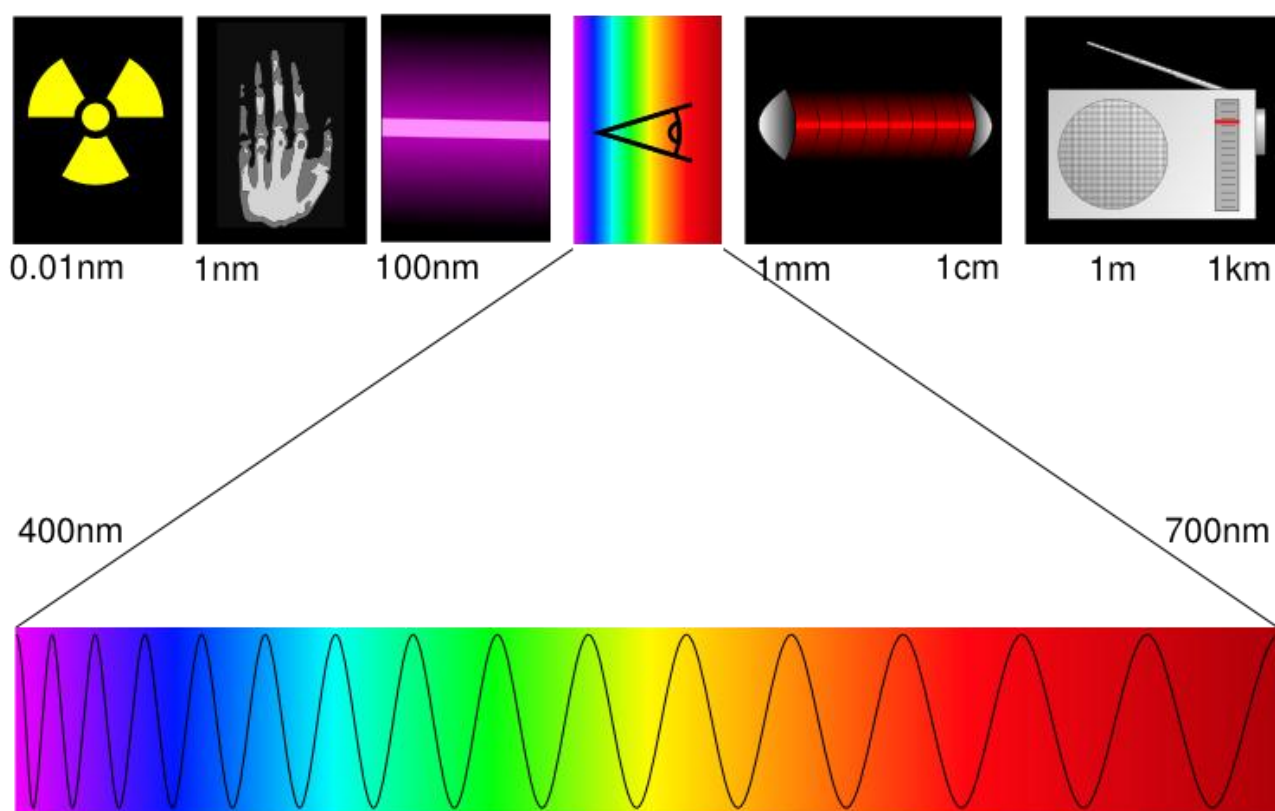
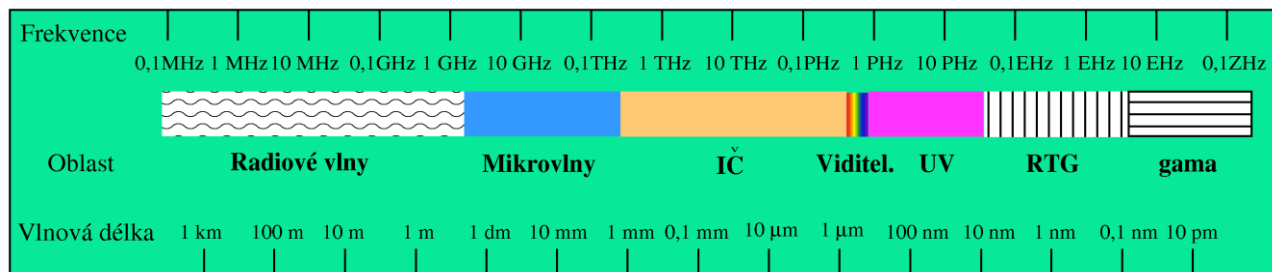
W. C. Röntgen objevil další druh elektromagnetického záření a to **rentgenové záření RTG** (paprsky X), pomocí něhož vyfotografoval kostru ruky. Svalovina, orgány a kosti různě pohlcují rentgenové záření a na rentgenovém snímku vidíme různé odstíny. Jelikož je i toto záření nebezpečné, neměli bychom rentgenové vyšetření podstupovat moc často, pokud to není nutné. Rentgenové záření rozdělujeme na měkké a tvrdé. Kromě lékařství se RTG paprsků používá ke zjišťování poruch v materiálech, tzv. **defektoskopie**.



Obrázek 110: Využití RTG záření v lékařství

Ještě pronikavější a nebezpečnější je **záření gama**. Vlnová délka γ -záření je menší než 10^{-11} metrů. Je součástí radioaktivního záření, které emitují atomová jádra při radioaktivních přeměnách, vzniká také při jaderných reakcích a anihilaci částic. Ochrana před ním je pouze olověným stíněním.

Celkový přehled a shrnutí elektromagnetického záření ukazuje (obr. 110).



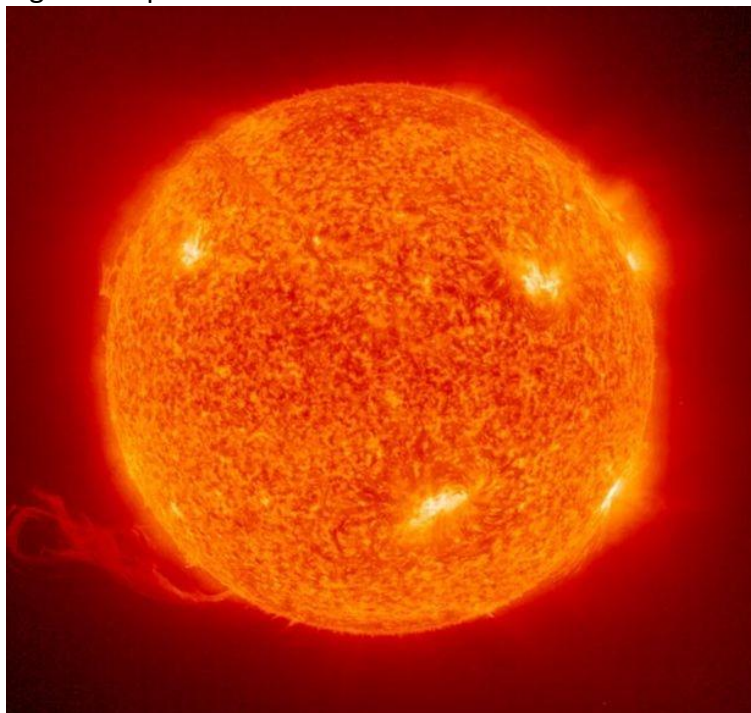
Obrázek 111: Shrnutí elektromagnetického vlnění - elektromagnetické spektrum

Shrnutí:

- ☞ Světlo jsou elektromagnetické vlny o velmi krátkých vlnových délkách (vysoké frekvenci).
- ☞ Čím je vlnová délka elektromagnetické vlny kratší, tím je vyšší její frekvence a paprsek se šíří přímočařeji.
- ☞ Červené světlo má nejdelší vlnovou délku (nejnižší frekvenci, u fialového světla je to naopak).
- ☞ Ultrafialové, RTG a gama záření má využití v lékařství, ale jsou životu nebezpečná, způsobují rakovinu.

7.2. Zdroje záření

Pro lidstvo je nejdůležitějším zdrojem elektromagnetického záření **Slunce** (obr. 112). Je to obrovské těleso o průměru cca 1 392 000 km (109 Zemí) o hmotnosti $1,9891 \cdot 10^{30}$ kg (332 950 Zemí). Teplota povrchu Slunce (fotosféry) se pohybuje kolem 5 800 °C. Slunce vyzařuje celé elektromagnetické spektrum, sluneční vítr a elektricky nabitě částice. Sluneční záření zahřívá Zemi a postupně se mění na jiný typ energie. Před většinou dopadajícího UV (ultrafialového) záření a RTG (rentgenového záření) nás chrání ozónová vrstva a atmosféra, které škodlivé záření částečně pohlcuje a odráží. Před velmi rychlými proudy elektricky nabitých částic přicházejících ze Slunce a u vesmíru nás chrání magnetické pole Země.



Obrázek 112: Fotografie Slunce

Také další tělesa jsou zdrojem světla (vyzařují celé spektrum záření) – žárovka, rozžhavený kov, žhnoucí uhlík, aj. Při zahřívání tělesa se nejprve vyzařuje infračervené záření, které okem nevidíme. Avšak při zahřátí na teplotu 525 °C se začíná objevovat červené světlo. Při dalším zvětšování bude těleso přecházet od žlutého světla až po světlo bílé. Žárovka většinu své energie promění na zahřívání vlákna, samotné svícení je jen malá část energie, proto je velmi neúsporná – **více topí, než svítí**.

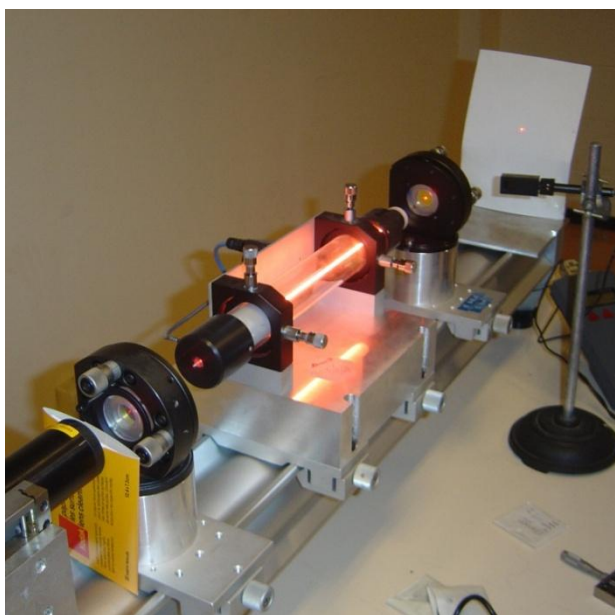
Jsou i jiné zdroje světla – o tzv. studeném světle, které vzniká díky jevu, jež označujeme **luminiscence**. **Luminiscence** je děj, při němž záření o kratší vlnové délce (větší frekvenci) vyvolá v látce určitého složení vznik záření o delší vlnové délce (nižší frekvenci). Setkáváme se s ní např. u zářivek – vyzařují světlo, ale jejich povrch je chladný. Ale také u TV, kdy elektronový paprsek dopadá stínítko s luminoforem a ten svítí, dále pak u světlušek atd.

Dalším zdrojem optického záření je **laser**. Pracuje na principu zesílení světla vynucenou emisí záření. Laser je tak oblíben proto, že jde o zdroj velmi kvalitního světelného záření.

Za prvé jde o záření monochromatické, to znamená s jednou, přesně definovanou vlnovou délkou. Za druhé jde o záření koherentní, což zjednodušeně řečeno znamená, že příslušné částice (fotony) se ve svazku pohybují jedním směrem, a jsou v jeho průřezu buď stejnoměrně, nebo alespoň velmi pravidelně rozděleny.

Princip fungování laseru není složitý. Jde o to, "vyrazit" v atomu aktivního prostředí externě dodanou energií některé částice na dráhy s vyšší energetickou hladinou. Částice tam ale moc dlouho nevydrží, a při sestupu na nižší hladinu přebytečnou energii vyzáří ve formě fotonů. Ty mohou při vhodné konstelaci podpořit působení externí energie, a tak postupně v aktivním prostředí putuje stále více a více fotonů. Abychom získali kýžený paprsek, musíme ještě prostředí vhodně vytvarovat. Nejčastěji jde o válec, na jehož jednom čele je dokonale odrazné zrcadlo, na konci protilehlém pak zrcadlo polopropustné. Odrazy mezi zrcadly je samozřejmě posilován proud fotonů mezi nimi, zatímco fotony, směřující kamsi napříč prostředím, jsou utlumovány. Výsledkem je kvalitní paprsek, vystupující z polopropustného zrcadla.

Laseru využívá v lékařství (operace očí, mozku apod.), k řezání, vrtání, broušení a obrábění různých materiálů, při čtení a vypalování CD, DVD, Blue-ray a HD DVD disků, v armádních zaměřovačích atd.



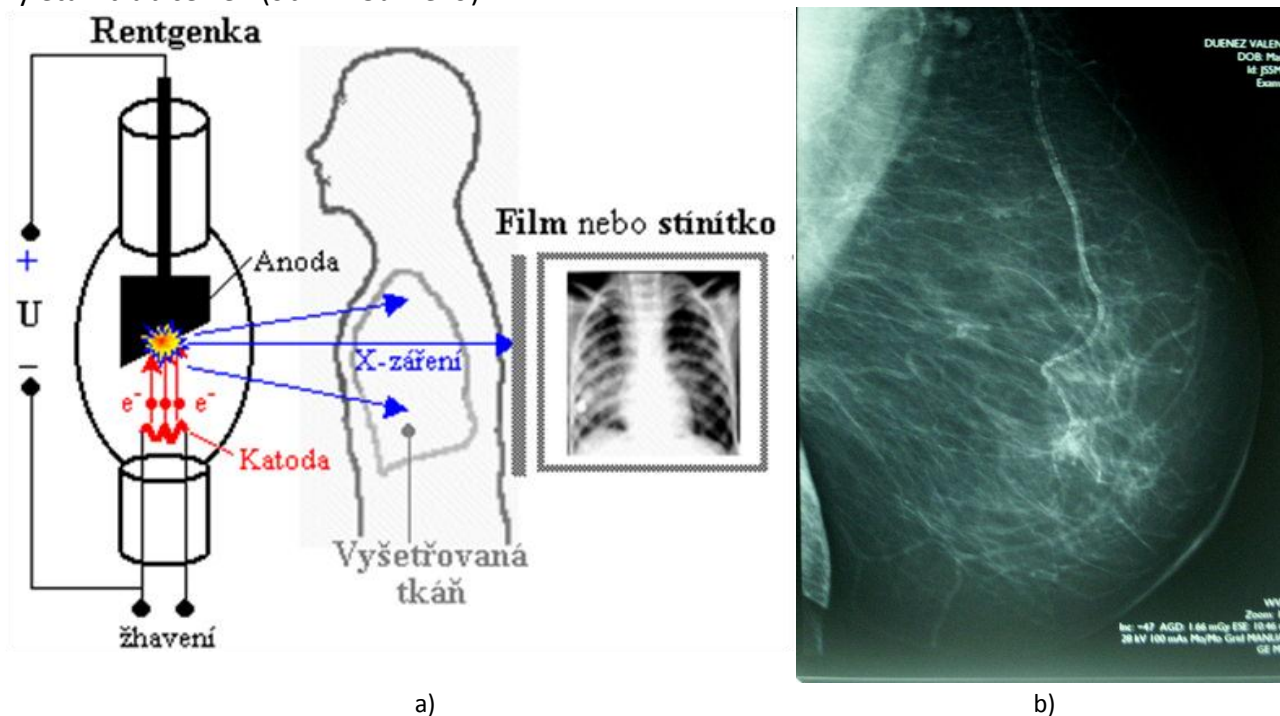
Obrázek 113: Laser

Zdroj rentgenového záření je rentgenka – rentgen (obr. 114).. Základní principiální schéma rentgenového zobrazení je v levé části (obr. 115a vpravo). Pronikavé elektromagnetické TRG záření (paprsky X), vznikající v **rentgenové elektronce**, prochází přes vyšetřovaný objekt (tkáň organismu), přičemž část záření se **absorbuje** v závislosti na **hustotě tkáně**, zatímco zbylá část **prochází tkání** a je **zobrazována** buď fotograficky, nebo na luminiscenčním stínítku, nebo nověji pomocí elektronických detektorů. Vzniká tak **rentgenový obraz** vyšetřované tkáně, který je **stínovým obrazem denzitním**, tj. zobrazujícím rozdíly v **hustotě** tkání. Jinak řečeno, RTG obraz vzniká projekcí RTG záření přes tkáňové struktury uvnitř organismu s různými absorpčními koeficienty a různými tloušťkami (obr. 115 b).



Obrázek 114: Přenosný rentgen Poskom PX-20HF plus

Zdrojem RTG záření pro RTG zobrazení je speciální vakuová elektronka zvaná **rentgenka**, rentgenová lampa či trubice. Z elektronického hlediska je rentgenka prostě **dioda** zapojená v obvodu s vysokým napětím cca 20 - 200kV. Žhavená katoda emituje elektrony, které jsou přitahovány k anodě, přičemž jsou silným elektrickým polem **urychlovány** na energii danou vysokým napětím (tj. cca 20 - 200keV). Po dopadu na anodu se elektrony **prudce zabrzdí**, přičemž část jejich kinetické energie se přemění na **brzdné elektromagnetické záření** – **RTG záření**, které vylétá z trubice ven (*obr. 115a vlevo*).



Obrázek 115: a) princip RTG záření - rentgenka; b) mamograf prsu měkkými RTG paprsky

RTG a gama záření vzniká také v **urychlovačích**. Je to zařízení o délce desítek kilometrů, které **urychluje pomocí magnetického pole nabitě částice na rychlosti blíží se k rychlosti světla**. Tyto částice, s touto obrovskou rychlostí (cca $299\,792\,458\text{ m/s} = 1\,079\,252\,848,8\text{ km/h}$), dopadají na **terčik z pevné látky nebo se vzájemně srážejí mezi sebou**.

V Evropském centru částicové fyziky (CERN) se na spuštění připravuje dosud největší urychlovač částic na světě, který by měl být uveden do provozu v roce 2008. Mezinárodní tým tvořený více než dvěma tisíci vědci připravuje největší fyzikální experiment. Kompaktní detektor částic nazvaný Compact Muon Solenoid (CMS) je konstruován proto, aby odhalil nové částice hmoty (subatomární částice), detekoval černé mini díry a aby odhalil některé ze záhad vesmíru. Toto zařízení by mělo najít odpověď na otázky: odkud se vzala hmota, kolik existuje dimenzí a z čeho je tvořena temná hmota atd.

Odpověď na zmíněné otázky by měly dát částice, jež jsou stavebními kameny hmoty a které jsou menší než atomy. Vědci doufají, že toto zařízení také přispěje k vytvoření sjednocující teorie, jež by vysvětlila všechny fyzikální jevy a která by konečně sjednotila fyziky bádající na zákonitostech makro a mikrosvěta.

Do projektu CMS jsou již zapojeny tisíce vědců a inženýrů, kteří již patnáct let krok po kroku budují ohromný detektor částic. Zařízení bude instalováno do šachty 90 metrů pod zemským povrchem a to pod francouzským městem Cessy, které je v těsném sousedství hranice se Švýcarskem.



a)



b)

Obrázek 116: Urychlovač a) detektor částic CMS; b) obří magnet urychlovače pro ohýbání dráhy elektricky nabitých částic

Napodobení velkého třesku by mělo odhalit celou řadu nových částic. Včetně těch, které se v rané fázi vesmíru vyskytovaly. Každá srážka proti sobě vystřelených částic způsobí gejzír všemi směry vylétajících rozpadných produktů. Nový detektor bude umět sledovat jejich směr a bude schopen stanovit jejich rychlost a energii. Extrémně silný magnet, který je součástí detektoru, bude ohýbat trasy těchto částic a tím umožní zjistit elektrický náboj všech takto vniklých produktů.

Jednou z částic, kterou šéfkonstruktor zařízení profesor Tejinder Virdee z Londýnské Imperial College hodlá objevit, je higgsův boson. Jde o předpovězenou částici, kterou vědci honí a ne a ne ji chytit. Je pro chápání mikrosvěta velmi podstatnou součástí. Právě bosony by měly propůjčovat vlastnosti částicím a pochopení jejich funkce přispěla k chápání podstaty hmoty.

Kdyby se vědcům higgsův boson nepodařilo prokázat, znamenalo by to, že teorie o nejmenších částicích, které byly tvořeny v podstatě celé 20. století, jsou špatné.

CMS detektor je jedním ze čtyř experimentů, které jsou rozmístěny na 27km dlouhém prstenci velkého hadronového urychlovače částic (LHC, Large Hadron Collider). Vlastní detektor částic je zařízení, na jehož vzniku se podílí 37 zemí. Urychlovač by měl zahájit svojí činnost před vánocemi roku 2007. Tehdy by také měl nový detektor částic CMS začít zaznamenávat data ze srážek emitujících malý „velký třesk“.

8. Světelné jevy a jejich využití

8.1. Základní poznatky o světle

V kapitole o elektromagnetickém vlnění jsme se dozvěděli, že **světlo je druh elektromagnetického vlnění** a že se **šíří** jako každé elektromagnetické vlnění ve vakuu **rychlostí světla** přibližně $300\,000\text{ km/s} = 300\,000\,000\text{ m/s}$. **Nejdelší vlnovou délku** (nejnižší frekvenci) má světlo **červené barvy**, **nejkratší vlnovou délku** (nejvyšší frekvenci) má světlo **fialové barvy**. Jelikož světlo má velmi malou vlnovou délku (vysokou frekvenci) **šíří se v homogenním** (stejnorodém) **přímočaře** (jako paprsek) a považujeme jej za **záření**. Známe prostředí **průhledné** (světlo se v něm nerozptyluje, úplně prochází), **průsvitné** (světlo částečně prostředím prochází a částečně se v prostředí rozptyluje) a **neprůhledné** prostředí (světlo se v prostředí pohlcuje).

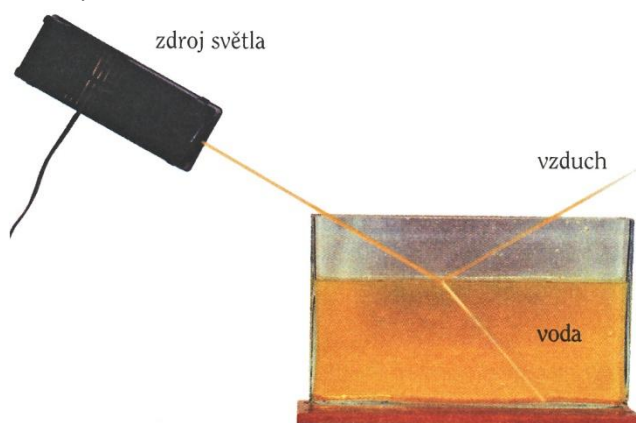
Světlem se zabývá část fyziky, které říkáme **optika**. Optika je vedle mechaniky jedním z nejstarších oborů fyziky, zabývá se zákonitostmi světla, jeho šířením a ději při vzájemných působeních světla na látku.

Podle přístupu k povaze světla, světelným jevům a podle jejich metod zkoumání můžeme optiku rozdělit na:

- vlnová optika** – zabývá se zejména jevy, které potvrzují vlnovou povahu světla – světlo je považováno jako elektromagnetické vlnění. Zkoumá např.: **disperze** (rozklad, rozptyl) světla, **interferenci** světla (skládání vlnění), **difrakci** (ohyb) světla a **polarizaci** světla;
- paprsková (geometrická) optika** – je založena na třech zákonech: **na přímočarém šíření světla v homogenním prostředí, zákona odrazu a zákona lomu**. Zabývá se zobrazováním optickými soustavami (vypuklým a dutým zrcadlem, spojkou a rozptylkou, dalekohledy a mikroskopy atd.);
- kvantová optika** – zabývá se ději, při nichž se projevuje kvantový (částicový) ráz světla. Jsou to především děje, při nichž dochází k vzájemnému působení světla v podobě fotonu (částice světla) a látkou. S touto částí optiky se detailně setkáte na střední škole, zejména pak na vysoké škole.

8.2. Zákon odrazu a zákon lomu

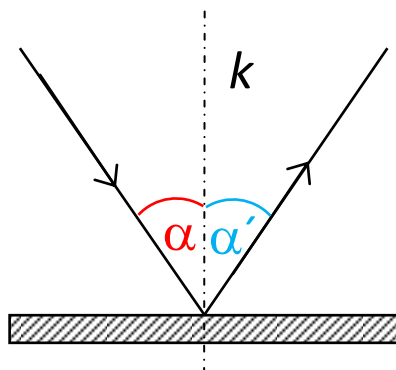
Jestliže světelný paprsek dopadá na rozhraní dvou prostředí s odlišnými optickými vlastnostmi, pak se světelný paprsek na rozhraní obou prostředí částečně odráží a částečně láme do druhého prostředí (*obr. 117*).



Obrázek 117: Částečný odraz a lom světla

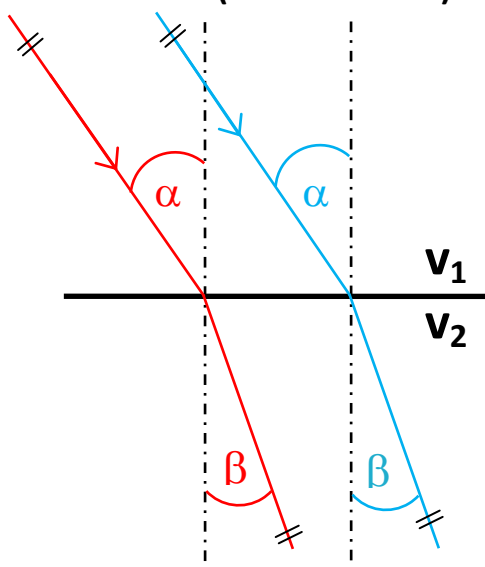
Zákon odrazu

Dopadá-li světelný paprsek na rozhraní pod úhlem dopadu α , který svírá s kolmicí k , vztyčenou v místě dopadu na rozhraní dvou prostředí, **odráží se pod stejným úhlem α' ($\alpha = \alpha'$)**. Úhel dopadu se rovná úhlu odrazu (obr. 118). Úhel odrazu nezávisí na frekvenci světla, proto se paprsky světla různých barev odrážejí stejně.



Obrázek 118: Zákon odrazu

Zákon lomu (Snellův zákon)



Obrázek 119: Zákon lomu

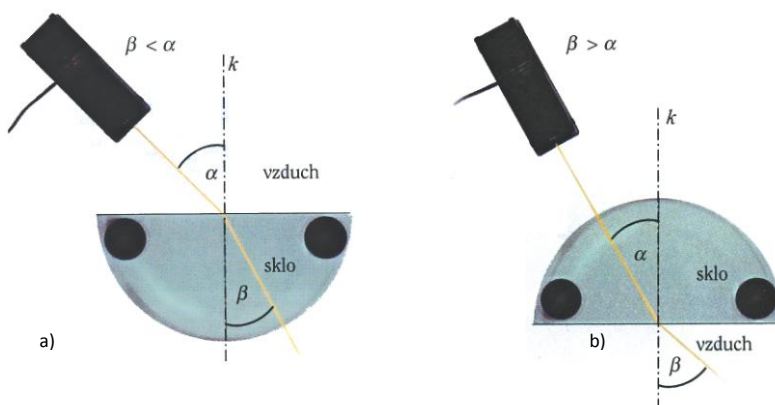
Jestliže dopadá paprsek z prostředí s indexem lomu n_1 do prostředí s o indexu lomu n_2 , **paprsek se láme** (obr. 119). Index lomu udává, kolikrát je rychlost šíření světla ve vakuu větší, než je rychlost šíření světla v daném prostředí.

Lom ke kolmici – nastává, dopadá-li paprsek z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího, tzn. $n_1 < n_2$ a $\alpha > \beta$.

Lom od kolmice – nastává, dopadá-li paprsek z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, tzn. $n_1 > n_2$ a $\alpha < \beta$.

Dopadá-li paprsek kolmo na rozhraní prostředí, pak se paprsek neláme.

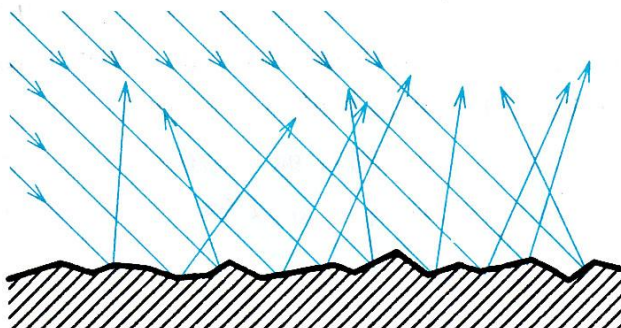
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



Obrázek 120: Lom světla a) ke kolmici; b) od kolmice

8.3. Zobrazení rovinným a kulovým zrcadlem

Na nerovných plochách např. na nevyleštěné kovové desce, na stěnách či stropě místnosti, na vodní hladině s vlnkami vzniká díky nedokonalému a hrubému povrchu **rozptyl světla** (obr. 121). Tyto plochy **nejsou vhodné pro zobrazení**.



Obrázek 121: Rozptyl světla na nedokonale hladkém (zvrásněném) povrchu

Zrcadla zobrazují předměty na **základě zákona odrazu světla**. Je několik typů zrcadel - **rovinná**, **kulová** (sférická) a **parabolická**. My se seznámíme se zrcadly rovinnými a kulovými. Zrcadla jsou dokonale opticky hladké plochy, určené k odrazu světla. Povrch zrcadel bývá z vysoce vyleštěné tenké vrstvy kovu nebo z vrstvy cínového amalgamu nanesené na hladké skleněné desce.

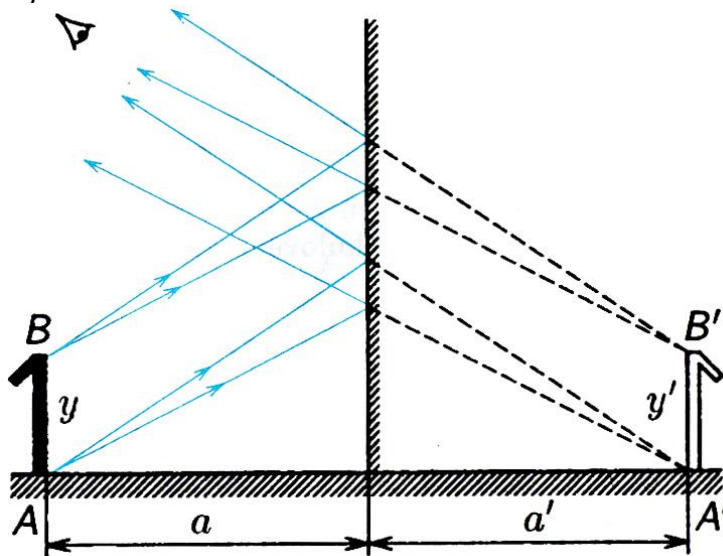
Jestliže paprsky při průchodu optickou soustavou vytvoří **sbíhavý paprsek**, vznikne **skutečný (reálný) obraz**. Tento obraz můžeme zachytit na film, promítací plátno či stěnu, zkr. na **stínítku**.

Jestliže po průchodu optickou soustavou vytvoří **rozbíhavý paprsek**, potom se nikde (kromě oka) neprotínají, v tomto případě vznikne **zdánlivý (neskutečný) obraz**.

Rovinné zrcadlo

Rovinné zrcadlo je rovná hladká plocha odrážející více než 90 % dopadajícího světla, pro které platí **zákon o odrazu**.

Obraz zobrazovaného předmětu sestojíme na základě zákona o odrazu. Jelikož jsou paprsky před zrcadlem rozbíhavé, průsečík vzniká za zrcadlem, vzniká **obraz zdánlivý (neskutečný)**, které nelze zachytit na stínítku. Obraz tvořený rovinným zrcadlem je zdánlivý, stejně veliký, vzpřímený, ale stranově převrácený.



Obrázek 122: Zobrazení rovinným zrcadlem

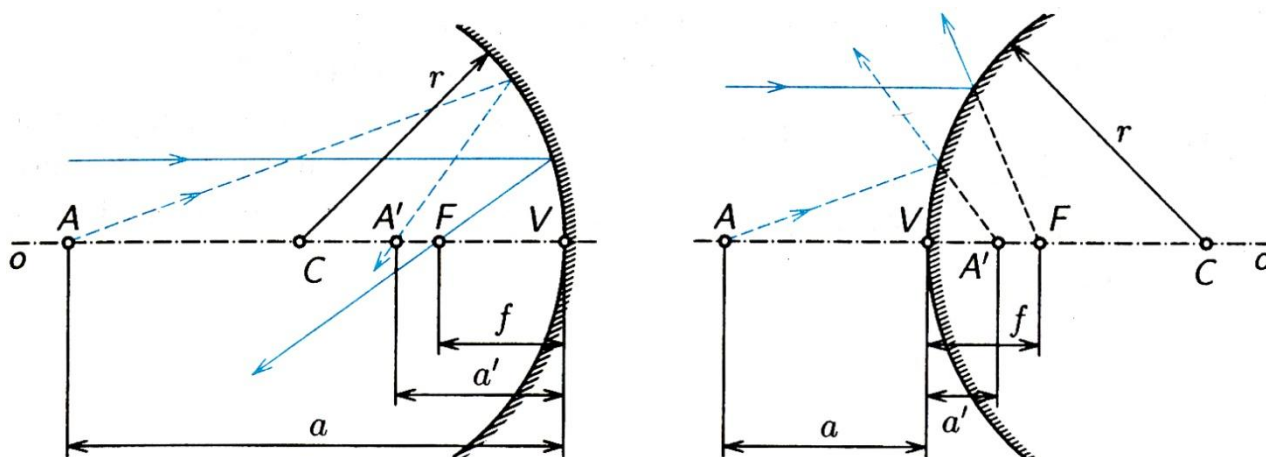
Kulová zrcadla

Zobrazovací plochu kulového zrcadla tvoří vnitřní (**duté kulové zrcadlo**) nebo vnější (**vypuklé kulové zrcadlo**) část povrchu koule (vrchlíku).

Základní pojmy u kulových zrcadel (obr. 123):

- ☞ **střed křivosti (střed optické plochy) C, resp. S** – střed kulové plochy, při kreslení střed části kružnice plochy zrcadla;
- ☞ **vrchol zrcadla V** – zvolený bod, kterým prochází optická osa;
- ☞ **optická osa o** – přímka vedená středem optické plochy, procházející středem křivosti C a vrcholem zrcadla V;
- ☞ **poloměr křivosti r** – je poloměr křivosti optické kulové plochy, $r = |CV|$;
- ☞ **ohnisko F** – je bod na optické ose, do něhož optická soustava soustředí paprsky, které na soustavu dopadají rovnoběžně s optickou osou; paprsky, které prochází přímo ohniskem a odráží se od optické soustavy rovnoběžně s optickou osou;
- ☞ **ohnisková vzdálenost f** – vzdálenost ohniska F od vrcholu zrcadla V;

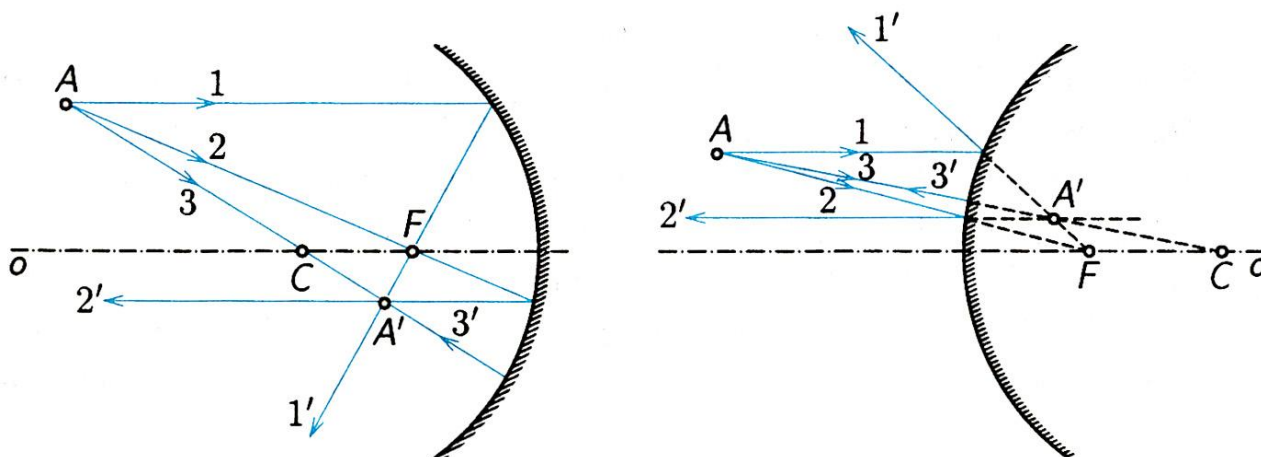
$$r = |FV| = \frac{|CV|}{2} = \frac{r}{2};$$
- ☞ **předmět A** – těleso, které zobrazujeme pomocí zrcadel (čoček);
- ☞ **obraz A'** – obraz předmětu vytvořený pomocí zrcadel (čoček);
- ☞ **předmětová vzdálenost a** – vzdálenost předmětu A od vrcholu zrcadla V;
- ☞ **obrazová vzdálenost a'** – vzdálenost obrazu A' od vrcholu zrcadla V.



Obrázek 123: Vyznačení základních pojmů u dutého zrcadla (vlevo) a u vypuklého zrcadla (vpravo)

Pro konstrukci obrazu používáme dva ze tří paprsků (dva paprsky stačí, třetí slouží pro kontrolu) – obr. 124:

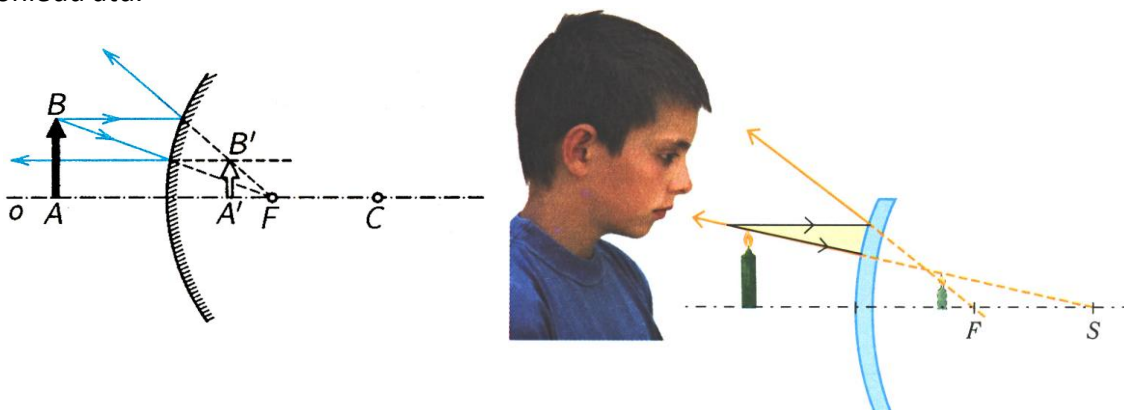
- paprsek jdoucí rovnoběžně s optickou osou;
- paprsek procházející ohniskem (nebo mířící do ohniska);
- paprsek jdoucí středem křivosti (středem optické plochy) nebo mířící do středu



Obrázek 124: Zobrazení pomocí třech paprsků u dutého zrcadla (vlevo), u vypuklého zrcadla (vpravo)

Vypuklé kulové zrcadlo

Je tvořeno vnější částí povrchu koule (vrchlíku) obraz tvořený vypuklým zrcadlem je vždy **zdánlivý (neskutečný), vzpřímený a zmenšený**. Zobrazení předmětu ukazuje (obr. 125). U vypuklými zrcadly se setkáváme ve zpětných zrcátkách aut, v zrcadlech na křižovatkách a u dalekohledů atd.

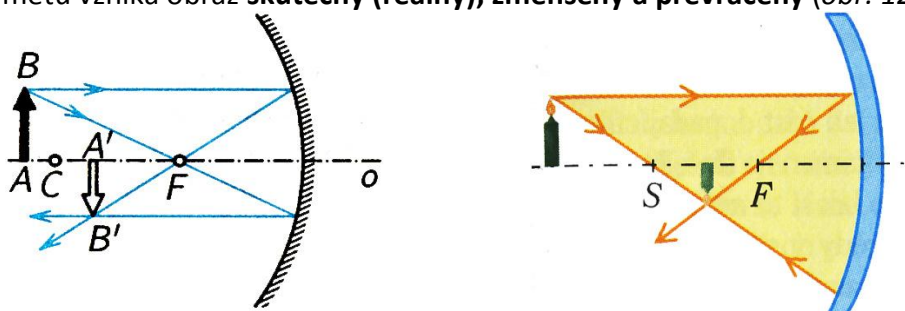


Obrázek 125: Zobrazení vypuklým zrcadlem

Duté kulové zrcadlo

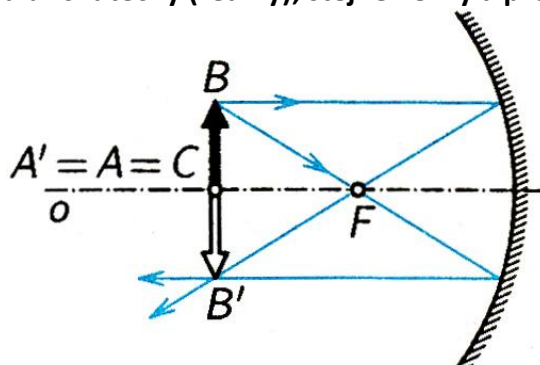
Je tvořeno vnitřní částí povrchu koule (vrchlíku). S tímto zrcadlem se setkáváme u dalekohledů, osvětlovací a projekční techniky a v energetice při získávání sluneční energie. U dutého zrcadla je více možností zobrazení. Záleží na tom, kde je na optické ose umístěn předmět:

- a) **předmět je umístěn za středem křivosti C (S), tj. $a > |CV|$, resp. $a > 2f$, při tomto umístění předmětu vzniká obraz **skutečný (reálný), zmenšený a převrácený** (obr. 126);**



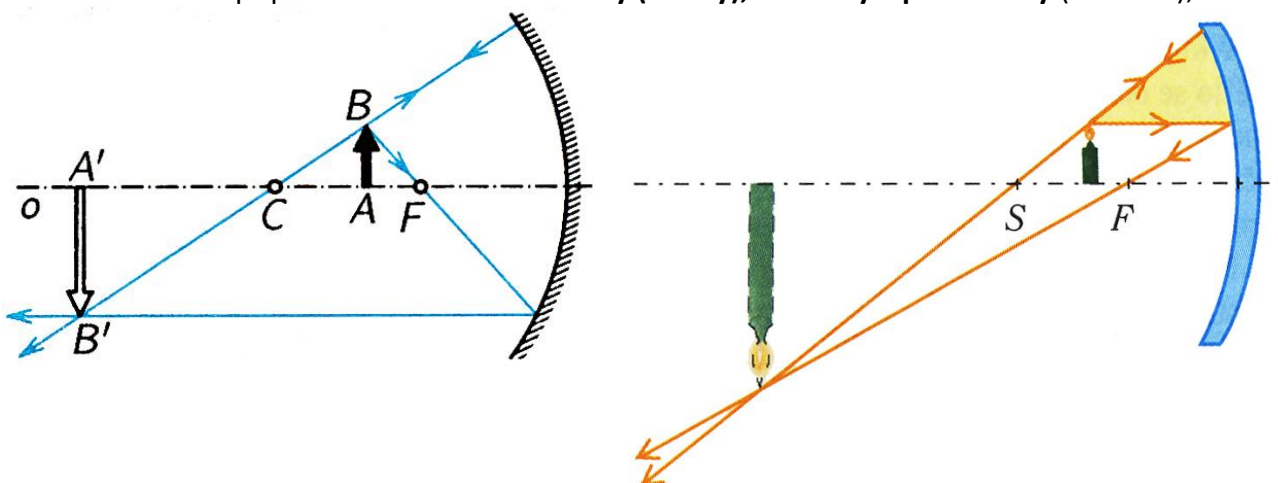
Obrázek 126: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět ve vzdálenosti $2f$ od zrcadla

- b) **předmět je umístěn ve středu křivosti C (S), tj. $a = |CV|$, resp. $a = 2f$, při tomto umístění předmětu vzniká obraz **skutečný (reálný), stejně veliký a převrácený** (obr. 127);**



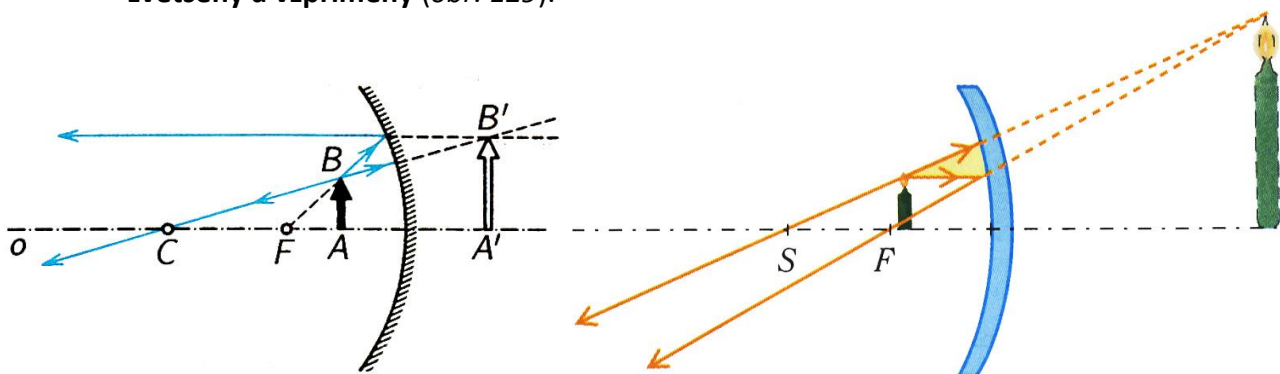
Obrázek 127: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět leží ve středu křivosti C

- c) **předmět je umístěn mezi středem křivosti C (S) a ohniskem F , tj. $a < 2f$ zároveň $a > f$, v tomto případě vzniká obraz **skutečný (reálný), zvětšený a převrácený** (obr. 128);**



Obrázek 128: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět leží mezi středem křivosti C (S) a ohniskem F

- d) **předmět je umístěn před ohniskem F , tj. $a < f$, zde vzniká obraz **neskutečný (zdánlivý), zvětšený a vzpřímený** (obr. 129).**



Obrázek 129: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět je ve vzdálenosti $a < f$

8.4. Zobrazení čočkami

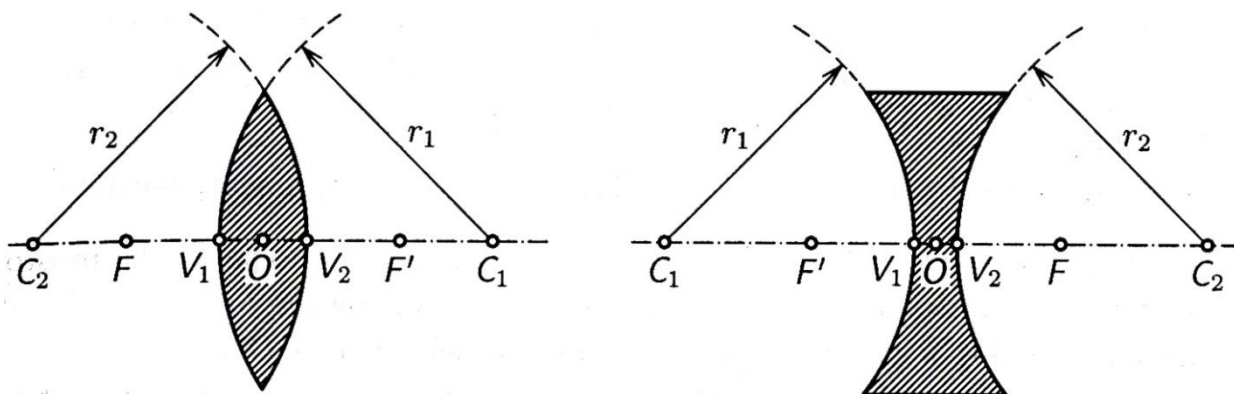
Čočky jsou obvykle vyrobeny ze skla nebo z materiálu, které má větší index lomu, než okolní prostředí. Specifický tvar čoček se docílí broušením. Na rozdíl od zrcadel je princip zobrazování na základě **zákona lomu**.

Čočky dělíme na:

- spojky (spojné čočky)** – které mění rovnoběžné paprsky světla po průchodu na sbíhavý svazek paprsků (uprostřed jsou tlustší);
- rozptylky (rozptylné čočky)** – které mění rovnoběžné paprsky světla po průchodu na rozbíhavý svazek paprsků (uprostřed jsou tenčí).

Základní pojmy u čoček (obr. 130):

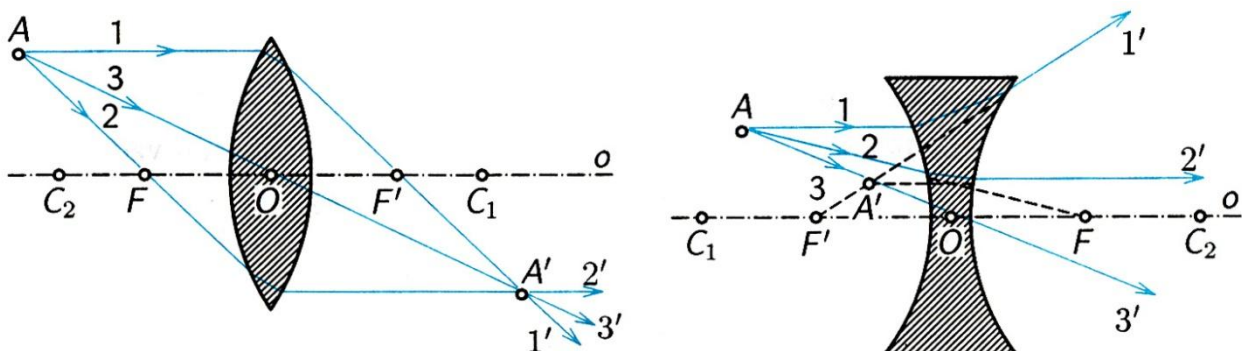
- ☞ **střed y křivosti (střed y optických ploch) C_1, C_2** – střed kulové plochy, které ohraničují čočky;
- ☞ **optická osa čočky o** – přímka, které prochází střed y křivosti C_1 a C_2 , vrcholy čočky V_1 a V_2 a ohnisky F a F' ;
- ☞ **poloměry křivosti r_1 a r_2** – poloměry kulových ploch, které ohraničují čočky;
- ☞ **vrcholy čočky V_1 a V_2** – průsečíky optické osy s optickými plochami, vzdálenost $|V_1V_2|$ je šířka čočky;
- ☞ **optický střed čočky O** – střed úsečky $|V_1V_2|$;
- ☞ **obrazový prostor** – prostor, do kterého světlo po průchodu čočkou vystupuje;
- ☞ **předmětový prostor** – prostor, ze kterého světlo do čočky vstupuje;
- ☞ **předmětové ohnisko F a obrazové ohnisko F'**
- ☞ **ohnisková vzdálenost f a f'** – vzdálenost $|FO|$ a $|F'O|$



Obrázek 130: Základní pojmy u čoček - spojka (vlevo), rozptylka (vpravo)

Při geometrické konstrukci obrazů u čoček nám vystačí dva paprsky ze tří (obr. 131), obdobně jako u zrcadel:

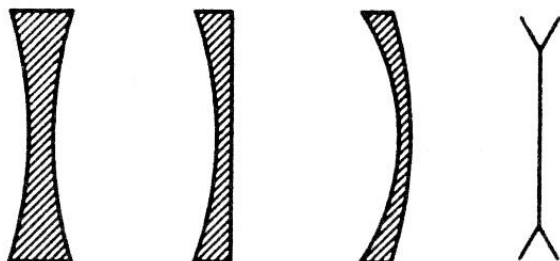
- **paprsek jdoucí rovnoběžně s optickou osou o ;**
- **paprsek procházející předmětovým ohniskem (nebo do něj mířící);**
- **paprsek jdoucí optickým středem O čočky.**



Obrázek 131: Zobrazování paprsků u čoček - spojka (vlevo), rozptylka (vpravo)

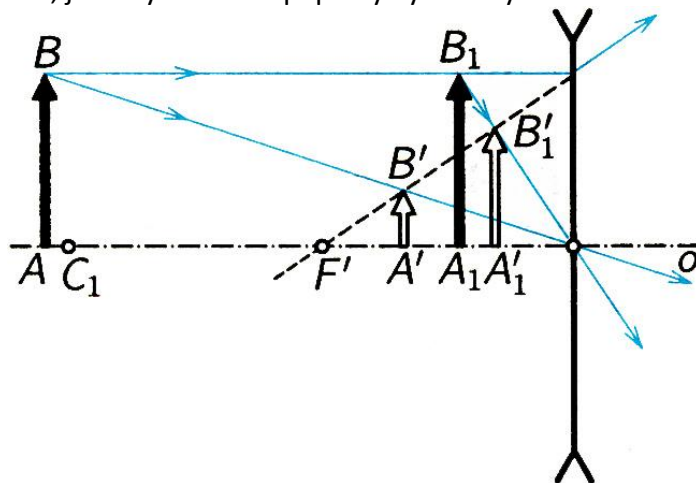
Rozptylná čočky (rozptylka)

Rozptylka je čočka, které je ve středu tenčí než na okrajích čočky. Mění vodorovné paprsky světla na rozbíhavý svazek paprsků. Existuje mnoho tvarů rozptylek (obr. 132).



Obrázek 132: Tvary rozptylek a schematická značky rozptylky

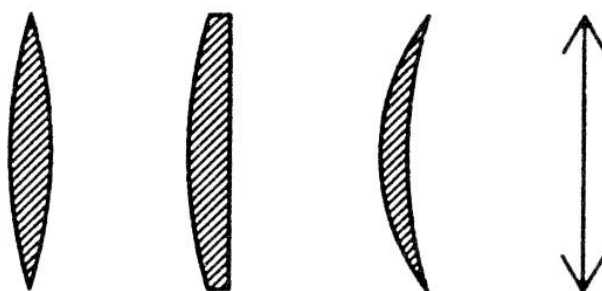
Dáme-li před spojku předmět, výsledný obraz bude **vždy zdánlivý (neskutečný), vzpřímený a zmenšený**. Jelikož je obraz zdánlivý, nemůžeme jej zachytit na stínítku. Podíváme-li se na předmět skrz rozptylku, zdá se nám, jako by světelné paprsky vycházely ze zdánlivého obrazu (obr. 133).



Obrázek 133: Zobrazení rozptylkou

Spojná čočky (spojka)

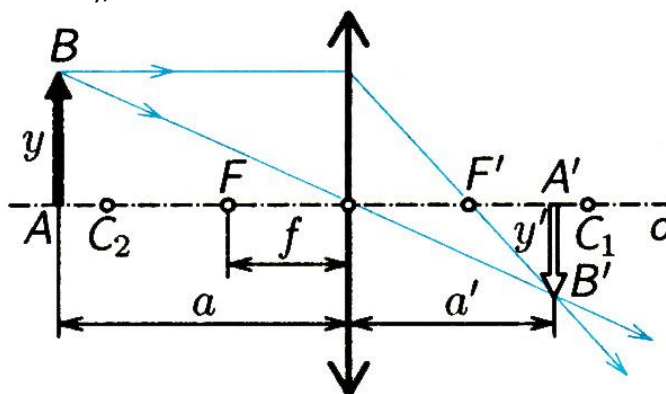
Spojka je čočka, které je ve středu tlustší než na okrajích čočky. Mění vodorovné paprsky světla na sbíhavý svazek paprsků. Existuje mnoho tvarů spojek (obr. 134).



Obrázek 134: Tvary spojek a schematická značka spojky

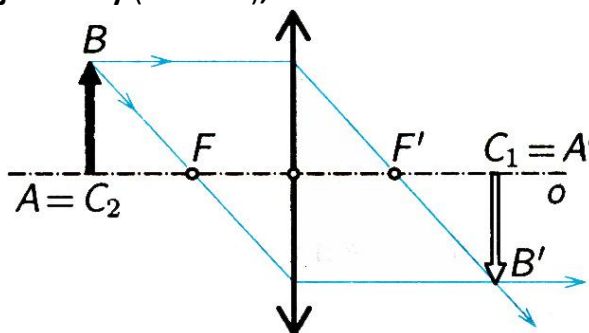
U spojky podle umístění předmětu na optické ose získáme více zobrazení:

- a) **předmět je ve vzdálenosti $a > 2f$** , zde vzniká obraz **skutečný (reálný)**, zmenšený a převrácený (obr. 135);



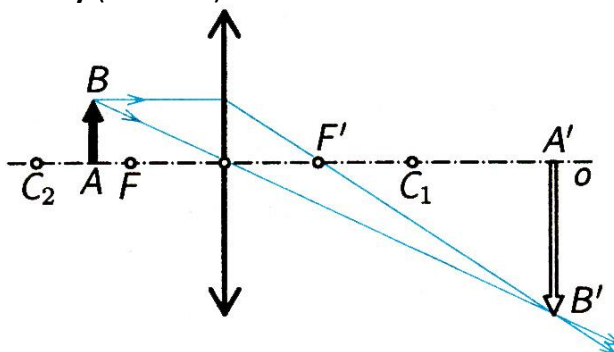
Obrázek 135: Zobrazení spojkou - předmět ve vzdálenosti $a > 2f$

- b) **předmět leží ve středu křivosti C_2** – v tomto případě vzniká obraz **skutečný (reálný)**, převrácený a stejně veliký (obr. 136);



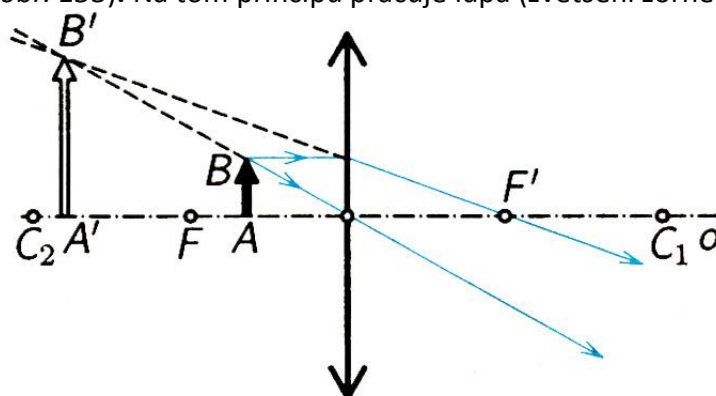
Obrázek 136: Zobrazení spojkou - předmět leží ve středu křivosti C_2

- c) **předmět leží mezi středem křivosti C_2 a ohniskem F** , zde vzniká obraz **skutečný (reálný)**, zvětšený a převrácený (obr. 137)



Obrázek 137: Zobrazení spojkou - předmět leží mezi středem křivosti C_2 a ohniskem F

- d) **předmět leží ve vzdálenosti $a < f$** , zde vzniká obraz **neskutečný (zdánlivý)**, **zvětšený a vzpřímený** (obr. 138). Na tom principu pracuje lupa (zvětšení zorného úhlu).

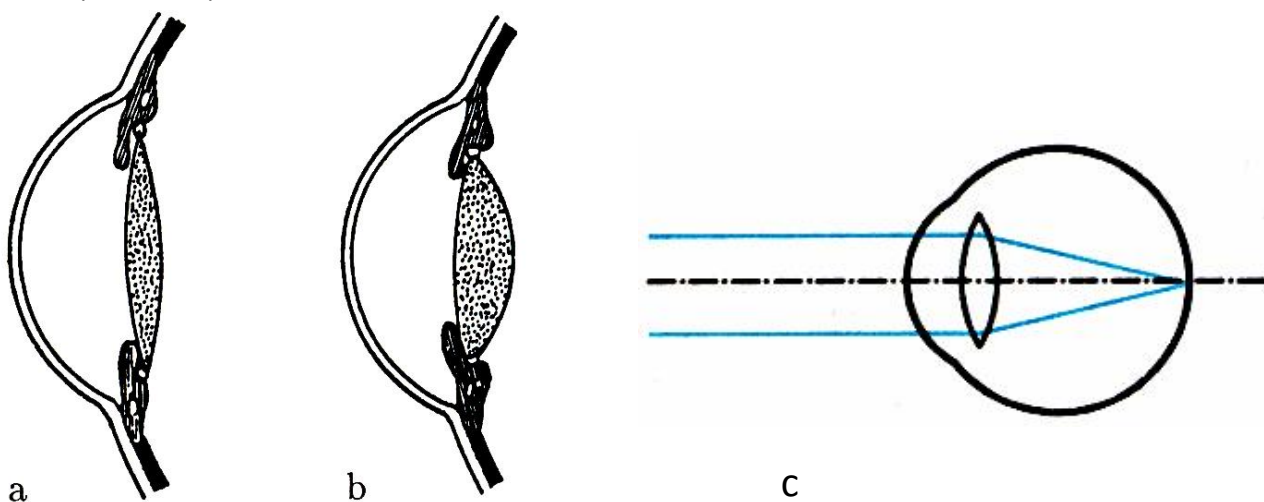


Obrázek 138: Zobrazení spojkou - předmět je ve vzdálenosti $a < f$

8.5. Optické vlastnosti oka

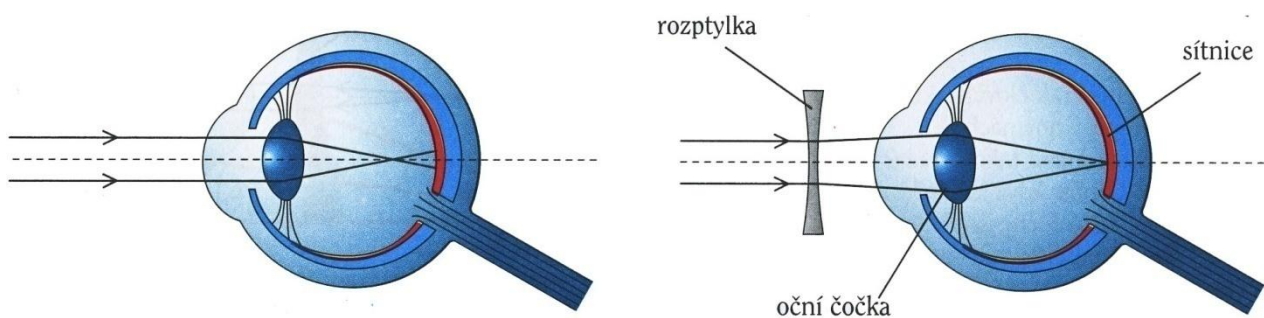
Oko je orgán zraku, skládá se z rohovky, čočky, sítnice, zornice a vyplňuje ho sklivec. Oční čočka je **spojka**, která vytváří na sítnici skutečný a převrácený obraz, menší než je pozorovaný předmět. Předmět vnímáme vždy ve směru, ve kterém dopadají paprsky na sítnici. Teprve mozek obraz na sítnici zpracuje tak, že jej vnímáme **vzpřímený**.

Normální (zdravé) oko mění zakřivení oční čočky (mohutnost čočky) podle vzdálenosti předmětu, zda čteme či hledíme do dálky. Schopnost oka měnit optickou mohutnost oční čočky nazýváme **akomodace** (přizpůsobení) viz. (obr. 139a,b). U zdravého oka se musí paprsky sbíhat na sítnici (obr. 139c).



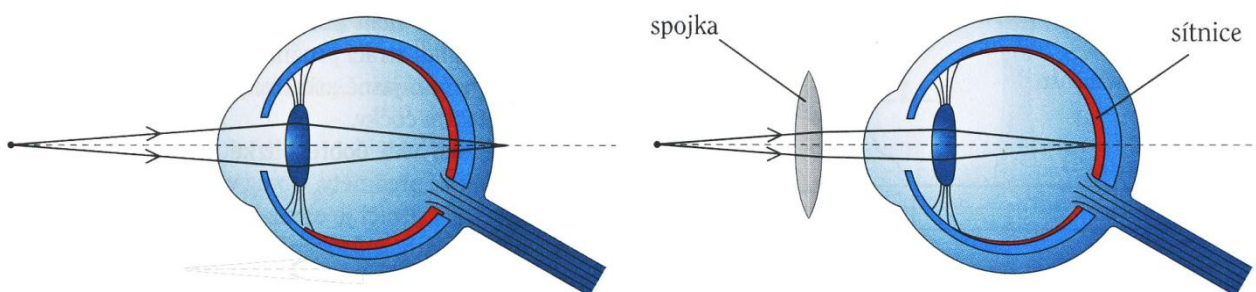
Obrázek 139: Akomodace oka a) do dálky, b) nablízko; c) zdravé oko

Krátkozraké oko vidí dobře předměty blízké, avšak předměty v dálce není schopno dostatečně zaostřit, obraz dalekých předmětů vzniká před sítnicí (obr. 140). **Krátkozrakost** (myopie) je koriguje **rozptylkami**, které obraz prodlouží až na sítnici (obr. 140). Krátkozrakost je také někdy způsobena protáhlým tvarem oka.



Obrázek 140: Krátkozraké oko bez korekce a s korekcí pomocí rozptylky

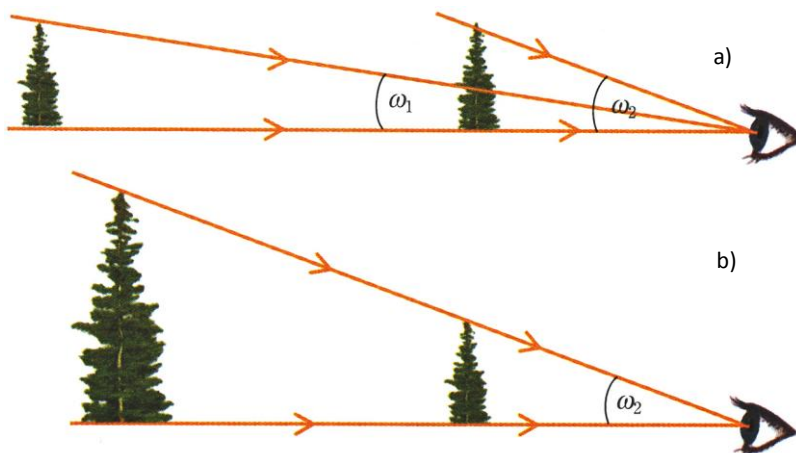
Dalekozraké oko vidí dobře vzdálené předměty, ale není schopno zaostřit na blízké předměty. Obraz blízkých předmětů vznikne za sítnicí oka (obr. 141). **Dalekozrakost** (hyperopie) se koriguje **spojkami**, které obraz zkrátí na sítnici (obr. 141). Dalekozraké oko je i oko zploštělé. Většina starších lidí je dalekozrakých, což je způsobeno zeslábnutím očního svalu, ten už vlivem stáří nedokáže dostatečně zakřivit čočku.



Obrázek 141: Dalekozraké oko bez korekce a s korekcí pomocí spojky

8.6. Lupa, mikroskop a dalekohled

Vnímání vzdálenosti u oka je dána velikostí **zorného úhlu**. Je to úhel mezi okrajovými paprsky vycházejícími z předmětu. Předměty, které jsou **více vzdáleny**, vidíme pod **menším zorným úhlem** a vnímáme je jako malé. Předměty, které jsou **blíže**, vidíme pod **větším zorným úhlem** a vnímáme je jako velké (obr. 142a). Když koukáme na dva **nestejně veliké** předměty, v **různých vzdálenostech**, jeví se nám oba jako **stejně veliké**, jelikož je vidíme pod **stejným zorným úhlem** (obr. 142b).

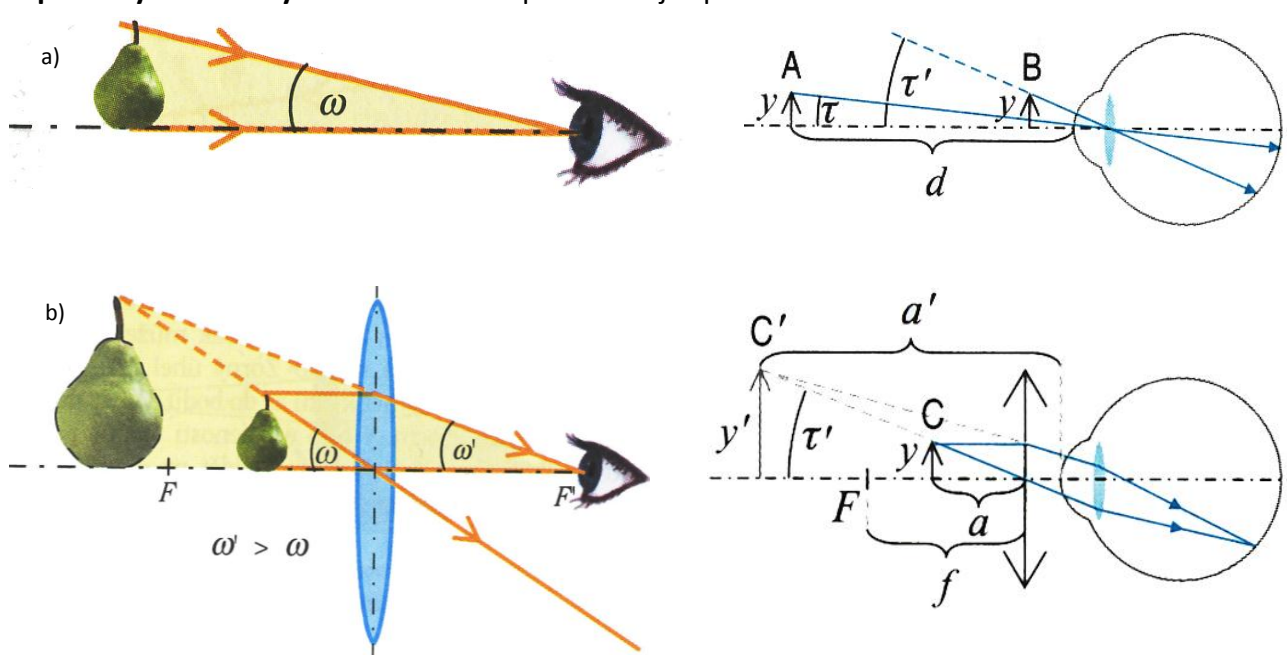


Obrázek 142: Zorný úhel a) při vzdalování předmětu od oka; b) různé vysoké stromy v různých vzdálenostech se pod stejným zorným úhlem jeví stejně vysoké

Oko je schopno rozlišit dva body, pokud je vidí pod zorným úhlem $1'$ (jedné úhlové minuty). Pokud chceme vidět větší (jemnější) details, musíme k tomu použít optické přístroje (lupa – spojná čočka, mikroskop, dalekohled).

Lupa

Lupa je spojná čočka (nebo soustava čoček) s ohniskovou vzdáleností menší, než je konvenční zraková vzdálenost (asi 25 cm). Umístíme-li lupu těsně před oko a předmět mezi ohnisko a lupu, vidíme obraz **zdánlivý** (jeví se nám jako by paprsky vycházeli z jiného místa), **vzpřímený a zvětšený**. Zvětšení obrazu předmětu je způsobeno zvětšením zorného úhlu.



Obrázek 143: Zorný úhel pozorovaného předmětu a) bez lupy; b) s lupou

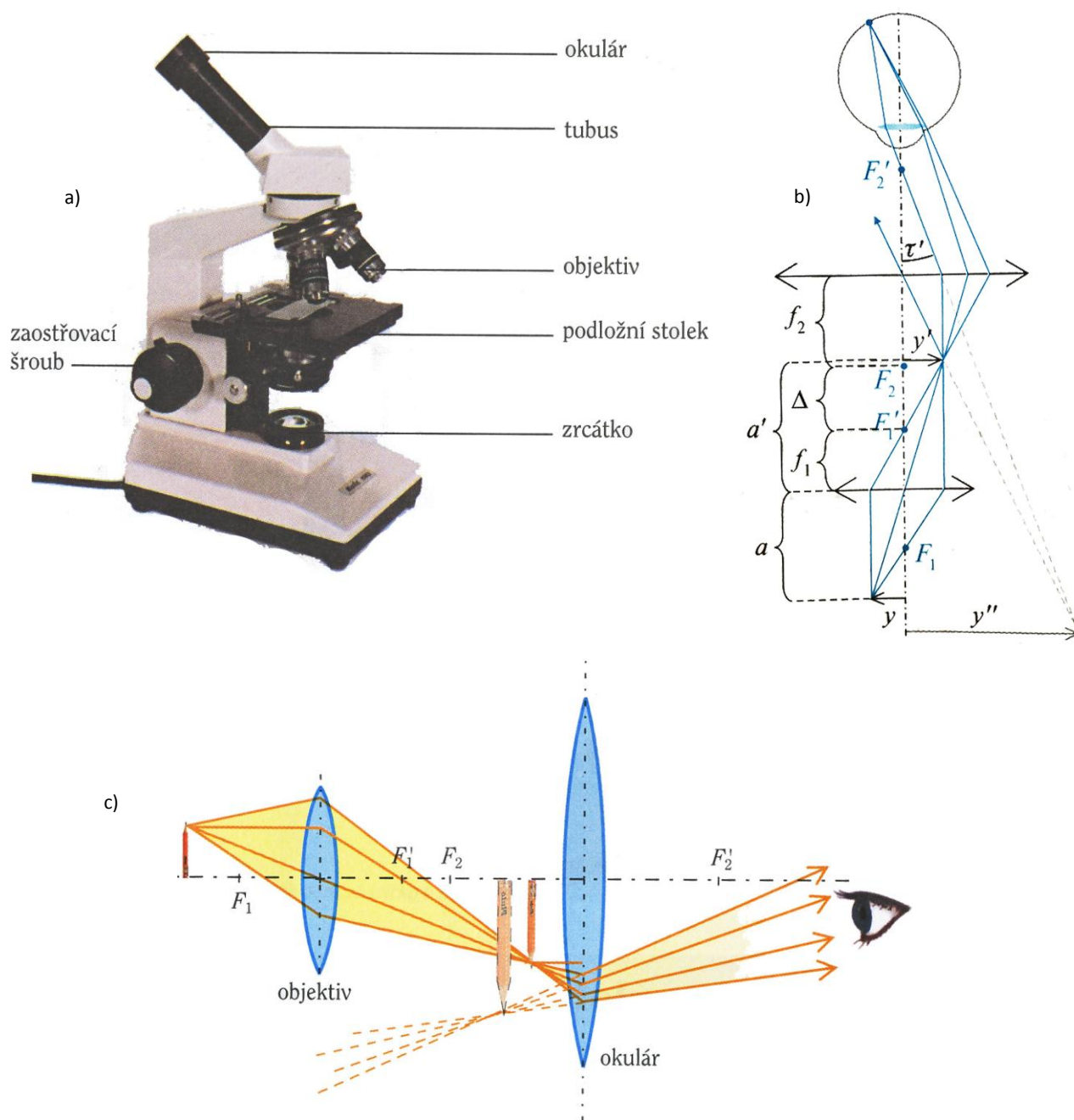
Mikroskop

Mikroskop je optický přístroj, který slouží ke zvětšení zorného úhlu při pozorování malilinkatých objektů (bakterií a mikroskopických organismů). Mikroskop se skládá ze dvou spojných čoček – **objektivu** (malá ohnisková vzdálenost) a **okuláru** (větší ohnisková vzdálenost), objektiv a okulár je propojen **tubusem**. Dále pak z podložního stolku a zrcátka (k osvětlení zkoumaného předmětu) a zaostřovacího šroubu (obr. 144a).

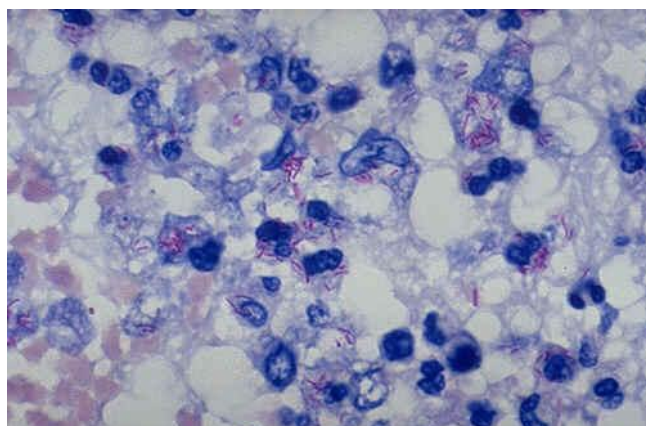
Umístíme-li předmět těsně před ohnisko první spojky (**objektivu**), vznikne nám obraz **zvětšený, převrácený a skutečný**. Okulár se nastaví tak, aby obraz vytvořený objektivem dopadal mezi ohnisko okuláru a samotný okulár. Druhá spojka (**okulár**) pak pracuje jako **lupa**, která nám zvětší zorný úhel obrazu, který vytvořil objektiv (obr. 144b, c).

Historie objevu mikroskopu je spjata se jmény Holanďanů Z. Janssena (1580 – 1638) a A. van Leeuwenhoeka (1632 – 1723) a anglického fyzika R. Hookea. Leeuwenhoek provedl podrobné studia mnoha mikroskopických organismů a byl první, kdo spatřil bakterie (obr. 145).

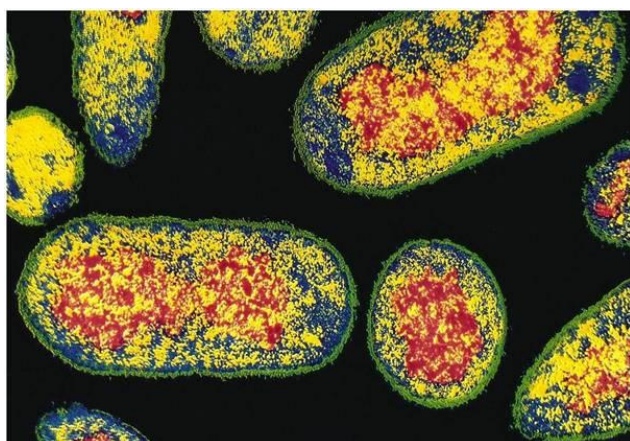
Klasické mikroskopy mají zvětšení 40 – 2 000 krát. Ke zvětšení nad 2 000 krát se používají elektronové mikroskopy, u kterých se k zobrazení využívá elektronového paprsku (obr. 146a, b, c). K zobrazení atomů na povrchu látky se používá tzv. elektronový rastrovací mikroskop (obr. 147, 148, 149).



Obrázek 144: a) popis mikroskopu; b), c) princip zvětšení mikroskopu



Obrázek 145: Bakterie tuberkulózy pod klasickým mikroskopem



a)

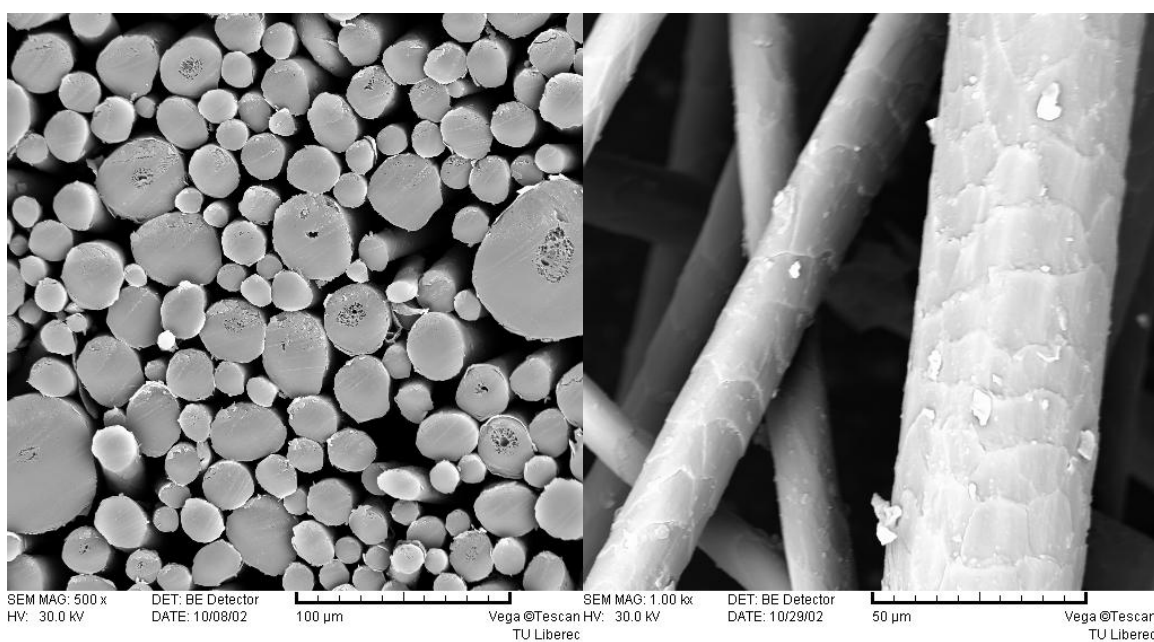


b)

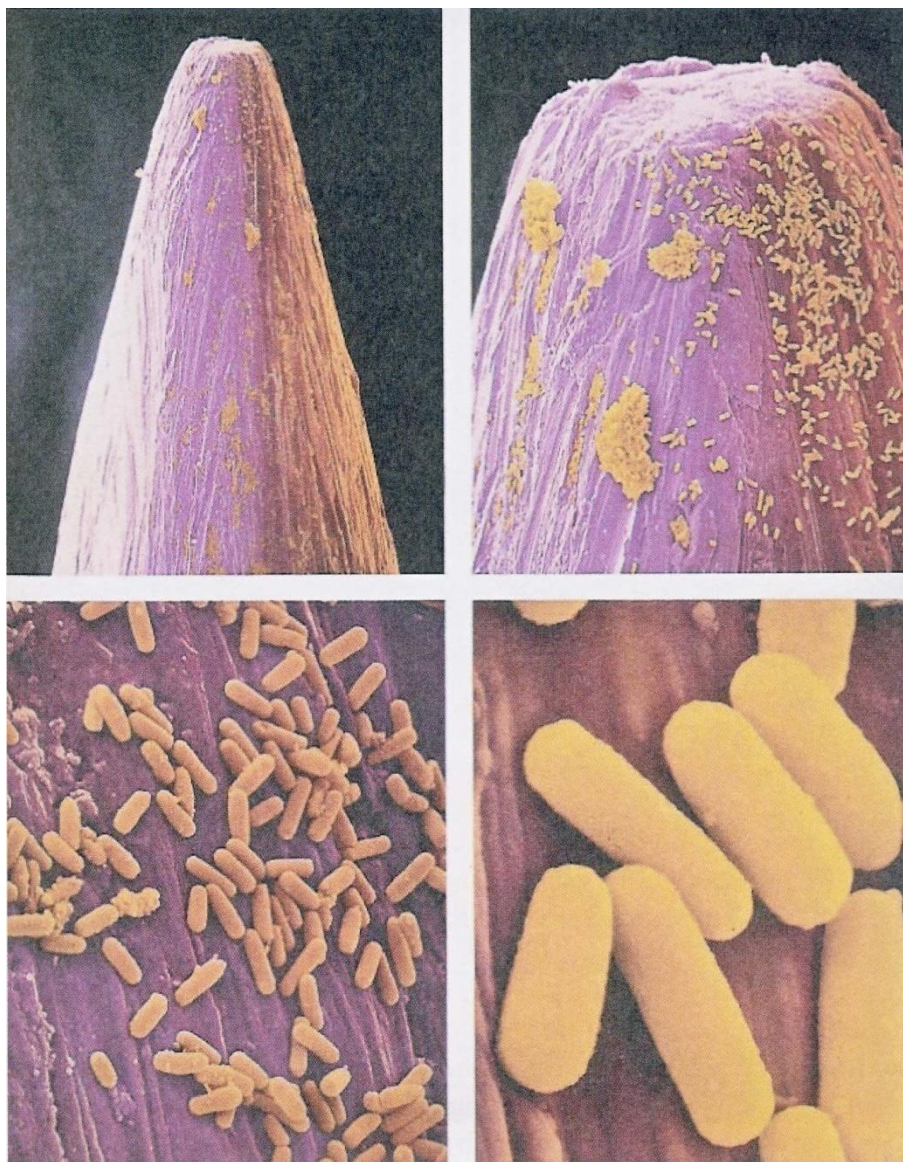


c)

Obrázek 146: a), b) Prokaryotické bakterie pod elektronovým mikroskopem; c) elektronový mikroskop



Obrázek 147: Velbloudí srst pod elektronovým rastrovacím mikroskopem



Obrázek 148: Zákeřné bakterie na špičce špendlíku pod elektronovým mikroskopem



Obrázek 149: Roztoči pasoucí se na prachovém poli pod elektronovým mikroskopem

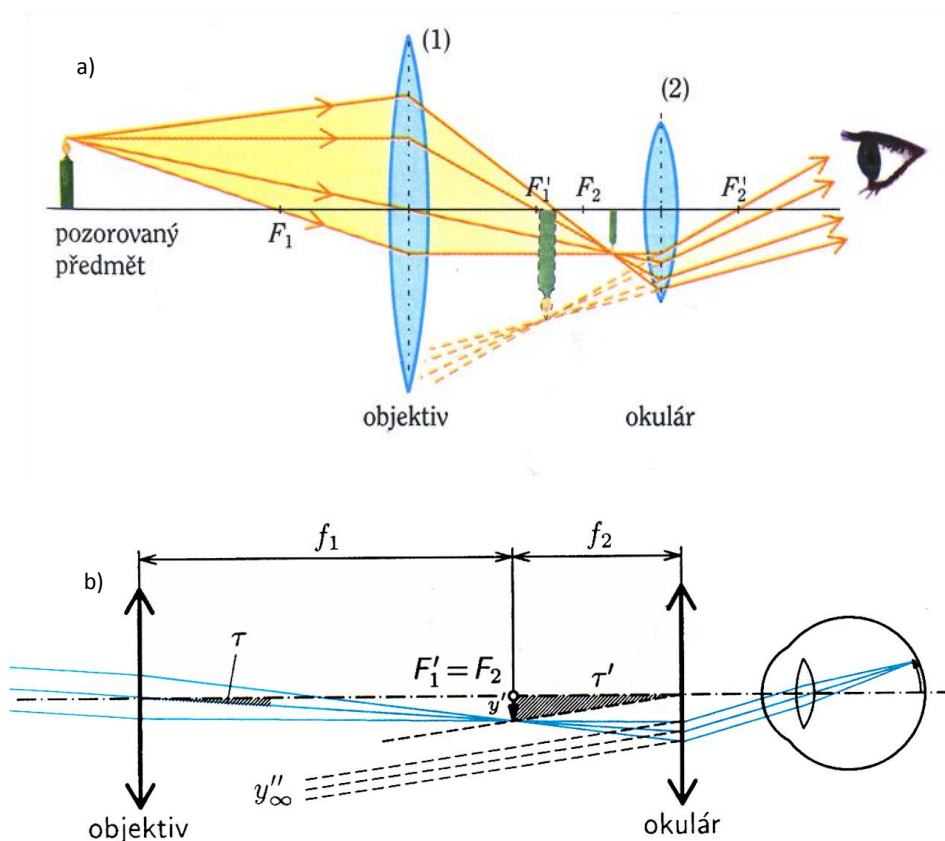
Dalekohled

Nejznámější je **Keplerův** dalekohled (*obr. 150*), který se také skládá ze dvou spojných čoček, ale na rozdíl od mikroskopu má první čočka (**objektiv**) větší ohniskovou vzdálenost a druhá čočka (**okulár**) menší ohniskovou vzdálenost.

Objektiv vytváří převrácený a skutečný obraz ve své ohniskové zobrazovací rovině. Ta je současně předmětovou ohniskovou rovinou okuláru (obě ohniska spolu splývají). Okulár slouží tedy jako lupa (zvětšuje zorný úhel). Pozorovatel vidí obraz zdánlivý, zvětšený a převrácený (*obr. 151a,b*). Hvězdářský dalekohled je zaostřen na nekonečno.



Obrázek 150: Hvězdářský (Keplerův) dalekohled



Obrázek 151: Princip Keplerova dalekohledu a) zjednodušený; b) se zaostřením na nekonečno

9. Jaderná energie

9.1. Co už víme o atomech

Fyzika atomového jádra (jaderná či nukleární fyzika) se zabývá **složením a strukturou atomových jader, zákonitostmi jaderných dějů a reakcí a jejich využitím v praxi**.

Tělesa mohou být **pevná, kapalná a plynná**. Všechna tělesa jsou složena z velmi malých, oku neviditelných, dále nedělitelných částic. Řekové tyto částičky nazvali **atomy** (z lat. atomos – nedělitelný).

Dnes ovšem víme, že atom není nedělitelný, že jej lze rozbít a že existují i desítky dalších subatomárních elementárních částic, že i protony a neutrony se skládají z dalších částic apod. Pro naše účely si vystačíme jen s některými částicemi. S detailnějším složením atomů se budete zabývat na střední a vysoké škole.

Atom se skládá z atomového **jádra** a **obalu**. V jádře jsou **protony** (kladně nabité částice) a **neutrony** (elektricky neutrální částice) v obalu atomu jsou **elektrony** (záporně nabité částice). Atom je **na venek elektricky neutrální** (kladný náboj je stejně veliký jako záporný)!

Existují látky složené – **sloučeniny**. A látky jednoduché – **chemické prvky**. **Atomy** se shlukují do **molekul**, ty pak tvoří **sloučeniny**.

Elektron, jak už jsme poznali, lze jednoduše odtrhnout od atomu tím, že mu dodáme dostatek energie k přeskocení z valenčního pásu do vodivostního – překoná zakázaný pás. Přijme-li atom jeden či více elektronů, vznikne **záporný iont (aniont)**. Odevzdá-li atom jeden či více elektronů, vznikne **kladný iont (kationt)**. Proces, kdy atom ztrácí či přijímá elektron, se nazývá **ionizace**.

Proces rozbití atomu (přesněji atomového jádra) je velmi obtížný, jelikož je k tomu zapotřebí **obrovské množství energie**, asi milionkrát větší než je množství energie k odtržení elektronu od atomu.

9.2. Atomové jádro

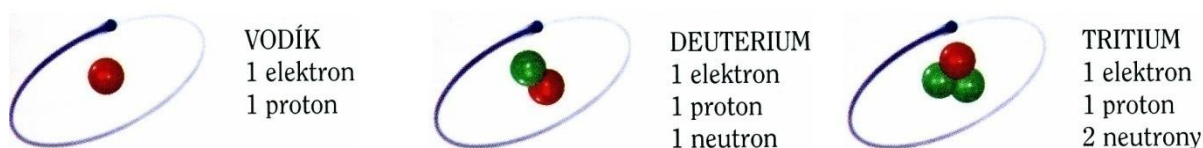
Atom se skládá z protonů a neutronů, dohromady tyto částice nazýváme **nukleony**. Počet protonů udává **protonové (atomové) číslo Z** a to je současně pořadové číslo prvku v periodické soustavě prvků. Proton má kladný elektrický náboj $e^+ = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ a hmotnost $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Počet neutronů udává **neutronové číslo N** . Neutron má **nulový elektrický náboj** a hmotnost $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Celkový počet všech protonů a neutronů udává **nukleonové číslo**:

$$A = Z + N \qquad {}^A_Z\text{X}$$

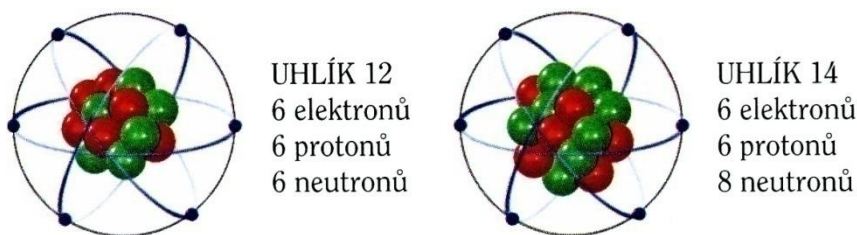
Z toho vyplývá, že veškerá hmotnost je soustředěna v atomovém jádře. Oproti atomovému obalu je atomové jádro přibližně 100 000 krát menší.

Látky složené z atomů, které jsou zcela stejné, tj. **mají stejná nukleonová čísla**, se nazývají **nuklidy**.

Atomy **jednoho prvku mohou náležet různým nuklidům**, které mají **stejné protonové číslo**, ale liší se **nukleonovým číslem** – tedy **počtem neutronů**. Atomům stejného prvku, které mají stejné protonové číslo, ale liší se nukleonovým (počtem neutronů) říkáme **izotopy** (obr. 152 a 153).



Obrázek 152: Izotopy vodíku



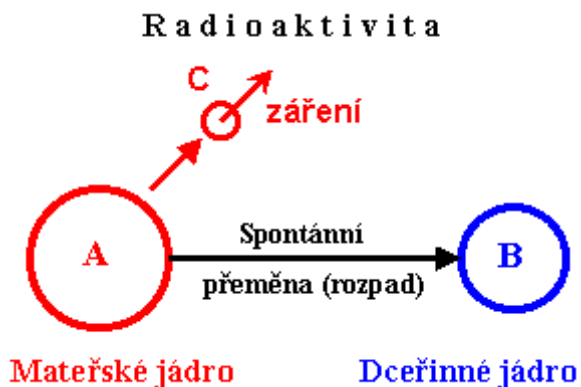
Obrázek 153: Izotopy uhlíku

9.3. Radioaktivita

Radioaktivitu objevil francouzský fyzik Antonie Henri Becquerel (1852 – 1908), že smolinec (uranová ruda), osvětí v papíře zabalenou fotografickou desku. Toto **neviditelné** pronikavé záření některých látek se nazývá **radioaktivita**. Podle tohoto významného fyzika byla pojmenována **jednotka radioaktivity**: 1 Becquerel [Bq], **1 Bq = 1 rozpad / 1 sekundu**.

Manželé Marie (1868 – 1934) a Pierre (1859 – 1906) Curieovi zkoumali záření čistého uranu a došli k závěru, že ve smolinci musí být ještě nějaký jiný prvek než uran. Měli pravdu, objevili dosud neznámé – **polonium** ($^{210}_{84}\text{Po}$) a **radium** ($^{226}_{88}\text{Ra}$).

Při radioaktivním vyzařování se **atomová jádra jednoho prvku přeměňují na jádra jiného prvku**, této přeměně také říkáme **transmutace** (obr. 154). Látky, které obsahují atomy, jež vyzařují radioaktivní záření, nazýváme **radionuklidy**.

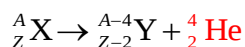


Obrázek 154: Princip transmutace a následné radioaktivity

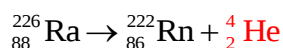
Radionuklidy mohou vyzařovat několik druhů radioaktivního záření (obr. 158) – **záření alfa** (α), **záření beta** (β), **záření gama** (γ) a **neutronové záření**, která se od sebe liší svojí pronikavostí.

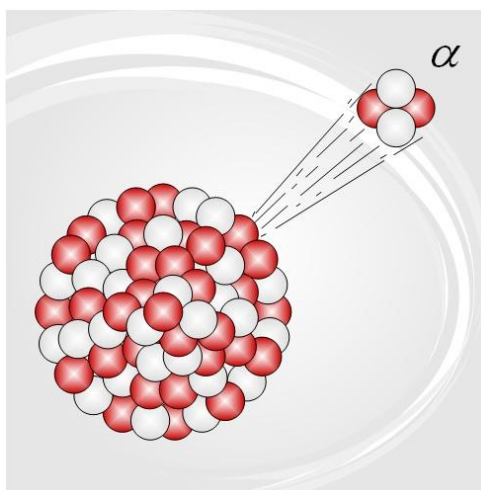
☠ **záření alfa** (α) – je to proud částic alfa (obr. 155), tj. proud jader hélia ($\alpha = {}^4_2\text{He}$); toto záření lze odstínit listem papíru či tenkou vrstvou vzduchu; alfa záření je nebezpečné vdechnutí či pozření v nevětraných místnostech, kde se hromadí radioaktivní plyn radon (Rn); částice α má **kladný elektrický náboj** (2 protony a dva neutrony), proto ji **ovlivňuje magnetické pole** (obr. 159);

alfa rozpad obecně



alfa rozpad radia na radon



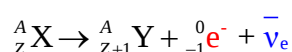


Obrázek 155: Princip α -rozpadu

☠ **záření beta (β)** – toto záření je dvojího druhu: **záření beta (β^-)** a **záření beta (β^+)**; u **záření β^-** jde o tok **elektronů** (e^- , viz. obr. 156), u **záření β^+** jde o tok **pozitronů** (e^+); pozitron je antičástice (opačná částice) k elektronu, pozitron je součástí antihmoty; obě tyto částice jsou **elektricky nabité** – elektron (e^-) a pozitron (e^+), tudíž **je ovlivňuje magnetické pole** (obr. 159); rychlost pozitronu a elektronu se blíží rychlosti světla; odstínit jej můžeme tenkým hliníkovým plech;

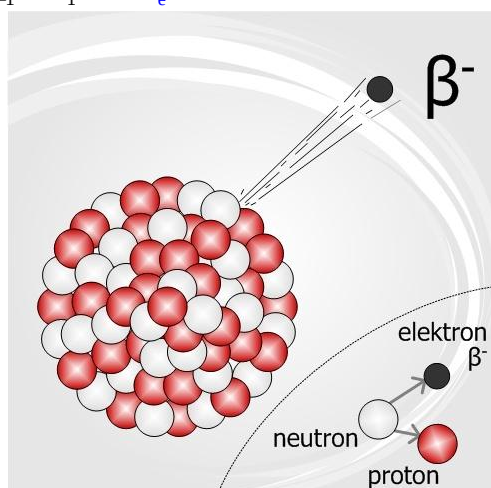
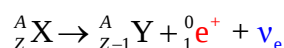
částice β^- - elektron vzniká při přeměně neutronu na proton uvnitř jádra:

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e, \text{ kde } \bar{\nu}_e \text{ je elektronové antineutrino (spec. částice)}$$



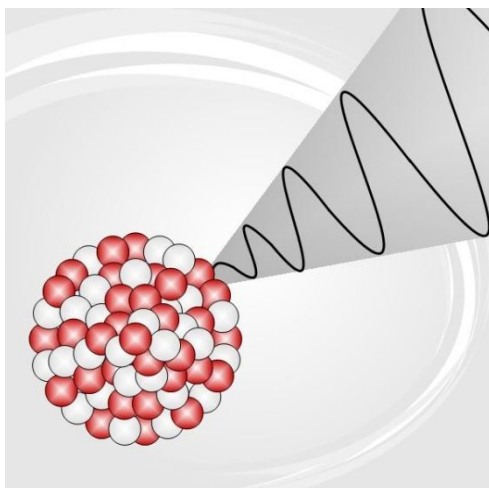
částice β^+ - pozitron vzniká při přeměně protonu na neutron uvnitř jádra:

$$p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu_e, \text{ kde } \nu_e \text{ je elektronové neutrino (spec. částice)}$$



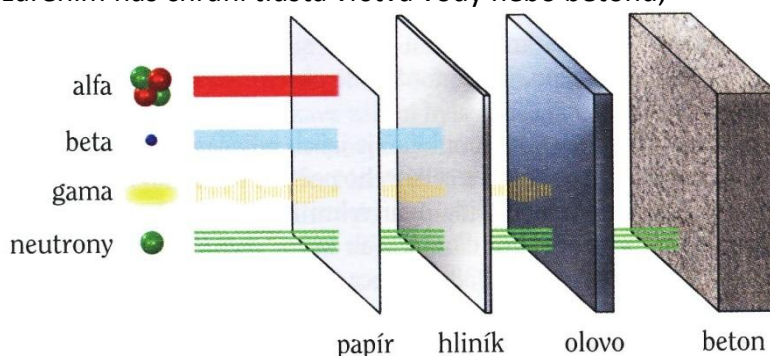
Obrázek 156: Princip β (minus) rozpadu (neutron se přemění na proton)

☠ **záření gama (γ)** – záření gama je velmi pronikavé záření o velmi vysoké frekvenci, větší než RTG záření; jde o proud **částic γ (fotonů** – částic elektromagnetického vlnění, viz. obr. 157); dá se odstínit **silnou vrstvou těžkých kovů** (např. olovem); je částice γ bez elektrického náboje neovlivňuje jí magnetické pole (obr. 159);



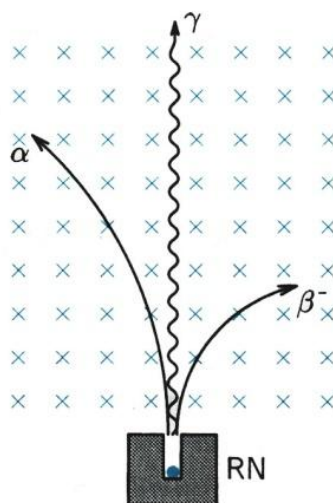
Obrázek 157: Princip γ -rozpadu (foton o vysoké energii)

☠ **záření neutronové** – jde o proud letících neutronů; toto záření vzniká např. v neutronových, které mají nepatrné škody na majetku, ale obrovské škody na lidských životech, jelikož letící neutron ničí velmi agresivně hlavně živou tkáň; před tímto zářením nás chrání tlustá vrstva vody nebo betonu;



Obrázek 158: Radioaktivní záření (alfa, beta, gama a neutronové záření)

Důležitou vlastností radionuklidů je jejich **poločas přeměny (poločas rozpadu)**. Je to doba, za níž se rozpadne (přemění) polovina původního počtu atomových jader. Poločas rozpadu u radionuklidů různý, může být velmi krátký (několik sekund) nebo nepředstavitelně dlouhý. Radon má poločas rozpadu 3,8 dne, radium 1 620 let, a uran 238 dokonce 4,5 miliardy let.



Obrázek 159: Částice alfa, beta (elektron) a gama v magnetickém poli

9.4. Využití jaderné energie

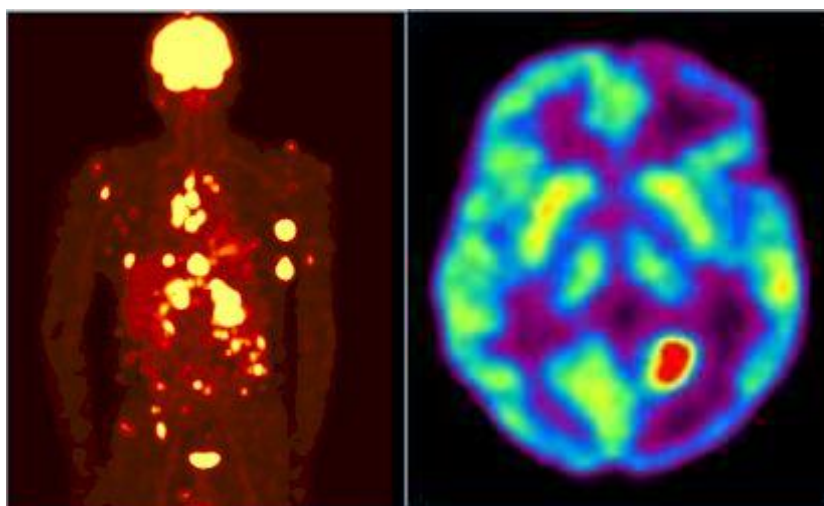
Radionuklidy a radioaktivita jsou životu **velmi nebezpečné**, ale jsou také velmi důležitými pomocníky člověka – **zdrojem elektrické energie v jaderných elektrárnách, zobrazování volných a ucpaných cév a vyhledání nádorů v nukleární medicíně, u určení stáří organických látek a hornin, v defektoskopie pevných látek, sterilizaci potravin atd.**

Leksellův gama nůž je naprosto unikátní radiochirurgický přístroj (obr. 160). Jde o radionuklidový ozařovač. Zdrojem gama záření je radionuklid ^{60}Co . Technologie nahrazující klasickou operaci při odstraňování nitrolebních lézí (nádorů, cévních malformací) se rozšiřuje po celém světě. V roce 1992 byl LGN instalován v pražské Nemocnici na Homolce.

Radionuklid se může pacientovi vstříknout do žil a tím se zjistí nádory a záněty apod., viz (obr. 161).



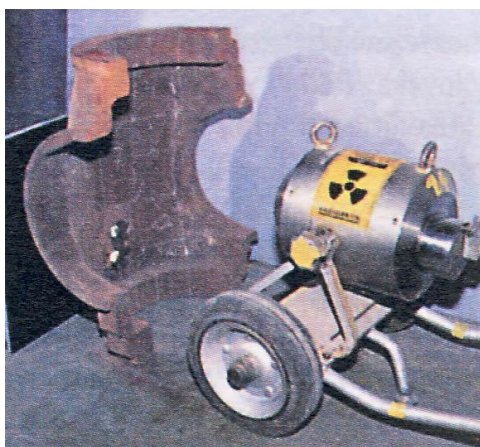
Obrázek 160: Leksellův gama nůž



Obrázek 161: Využití radionuklidu při hledání nádorů apod.

Radiouhlíková metoda slouží k určování stáří organických látek – kostí, zubů, dřevěných předmětů apod. Princip radiouhlíkové metody spočívá na porovnání podílu izotopu uhlíku $^{14}_6\text{C}$ (radiouhlíku), který vdechujeme spolu s oxidem uhličitým, ve zkoumaném předmětu a v živých organizmech, čímž můžeme určit jejich stáří. Radiouhlík $^{14}_6\text{C}$ má poločas rozpadu 5 730 let a vzniká v atmosféře vlivem jejího bombardování kosmickým zářením. Radioaktivní uhlík je užitečný při archeologickém datování až do doby asi před 35 000 lety. Při měření v řádu milionů let lze používat rozpad radioaktivního izotopu draslíku na argon.

Defektoskopie (gamadefektoskopie) je technika, způsob (metoda) kontroly povrchových a vnitřních vad v odlitcích, svařech a jiných kovových a nekovových výrobcích bez porušení jejich celistvosti. Povrchové vady lze zjišťovat vizuálně (okem nebo lupou), vnitřní vady pak řadou metod. Nejdůležitější z nich jsou barevná indikace, magnetické zkoušky, zkoušky ultrazvukem, rentgenovým a gama zářením a akustickou emisí. Výhodou většiny defektoskopických metod je možnost jejich automatizace a zapojení do výrobních linek. Přístroj sloužící k defektoskopii se nazývá defektoskop (obr. 162). Gamadefektoskopie využívá záření gama ke zjišťování vnitřních vad materiálu. Pro potřeby gamadefektoskopie se používají přirozené a zejména umělé radioaktivní zářiče, které mají krátké až velmi krátké vlnové délky. Záření gama proniká materiálem a je zeslabováno v závislosti na tloušťce, chemickém složení materiálu a vlnové délce záření. Intenzita záření, které prošlo zkoušeným materiálem, se zjišťuje například fotochemicky (fotografií na film), vizuálně obrazem na stínítku, dále pomocí elektrooptického převaděče nebo ionizačními metodami.

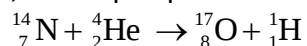


Obrázek 162: Defektoskop

9.5. Jaderné reakce

Při **chemických** reakcích se atom **nemůže** přeměnit v jiný – jeden chemický prvek se nemůže přeměnit ve druhý.

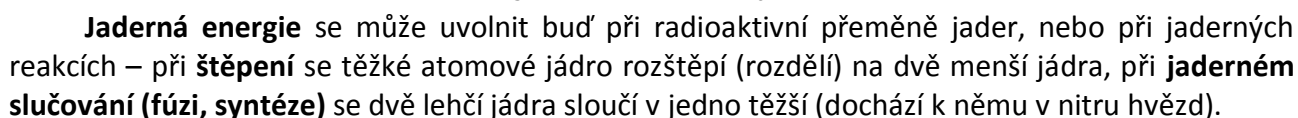
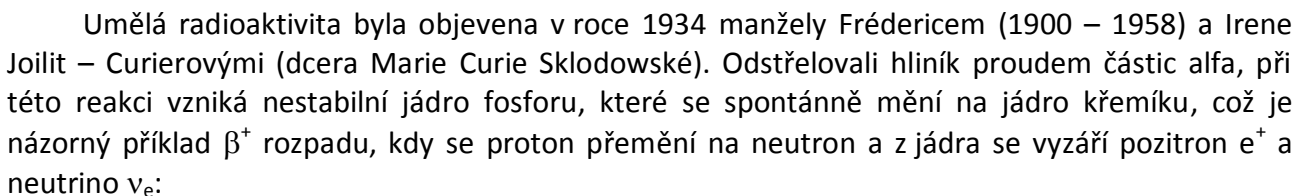
Teprve při **jaderných reakcích**, tj. při **vysokorychlostních srážkách částic s atomovými jádry** nebo při **srážkách atomových jader mezi sebou**, je možné, aby se **jeden chemický prvek přeměnil ve druhý**. Stejně tak jako chemické reakce, zapisujeme obdobnými rovnicemi i reakce jaderné. Vůbec první jadernou reakci (přeměnu – transmutaci) uskutečnil Rutherford v roce 1919, kdy nechal dusík ostřelovat alfa částicí, ten se pak přeměnil v kyslík a vodík:



Z předchozí rovnice je patrné, že **počet nukleonových a protonových čísel na levé straně se musí rovnat počtu nukleonových a protonových čísel na pravé straně** (zákon o zachování hmoty).

Elektrony a atomová jádra jsou mezi sebou vázány **elektrickými silami** (Coulombovskou silou), nukleony (protony a neutrony) jsou mezi sebou vázány **jadernými silami**, které jsou milionkrát větší než síly elektrické. Proto je daleko jednodušší odtrhnout elektron od atomu, než rozbít atomové jádro – je za to potřeba neskutečné energie. Při chemických (oxidace – hoření) a jaderných reakcích (jaderný elektrárna, jaderný výbuch) se uvolňuje energie. U reakcí jaderných je tato energie milionkrát větší než při reakcích chemických.

Uvolněná jaderná energie má podobu radioaktivního záření, projeví se účinky tlakovými a tepelnými a elektromagnetickým pulzem (EMP).

$${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$$

$$E = mc^2$$

Zjisti kolik energie se ukrývá v 1 gramu hmoty a převed' na MW.h.

$$= 9 \cdot 10^{13} \text{ J} = 9 \cdot 10^{13} \text{ W} \cdot \text{s} = 9 \cdot 10^7 \text{ MW} \cdot \text{s} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ MW} \cdot \text{h} = 25\,000 \text{ MW} \cdot \text{h}$$

9.6. Uvolňování jaderné energie

Využití **termojaderné fúze** je teprve ve vývoji. Zařízení (tokamak ITER – *obr. 163*) na zkoumání termojaderné fúze (syntézy) se začalo stavět koncem roku 2006 v jižní Francii ve městě Cadarache (*obr. 164*). Zařízení tokamak (*obr. 165*) napodobuje jaderné reakce ve hvězdách, je to takové malé slunce! A jeho výzkum přispěje tak k vývoji termojaderné elektrárny a tak získání takřka nevyčerpatelného zdroje elektrické energie.

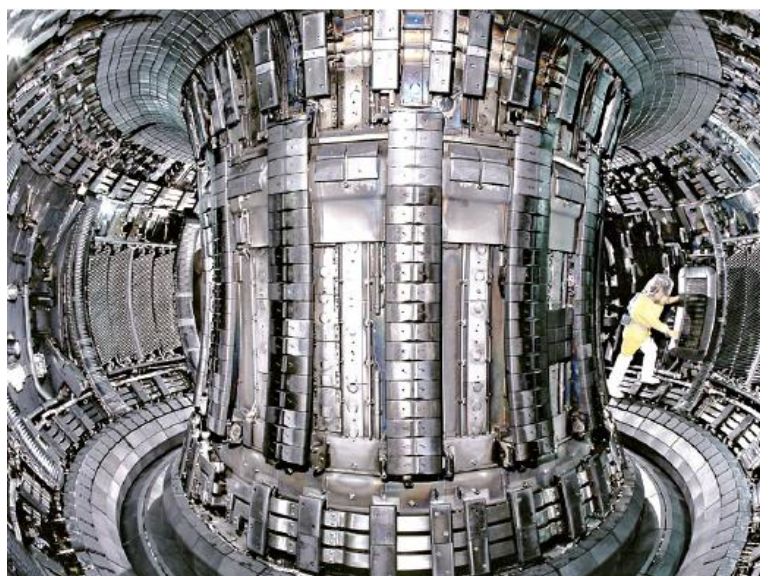
Princip termojaderné fúze spočívá ve slučování atomů lehkých prvků – izotopů vodíku (**deuteria** a **tritia**). Jenže sloučit dva atomy (dvě jádra) není tak jednoduché, jelikož se chovají jako dva magnety. Musíme je tedy zahřát na velmi vysokou teplotu (cca 6,5 až 15 milionů °C), díky níž atomy získají obrovskou energii (rychlost). Při vysokých rychlostech do sebe částice narážejí a dostanou se k sobě dostatečně blízko, aby se sloučily a tím se uvolnila užitečná energie (*obr. 166*).



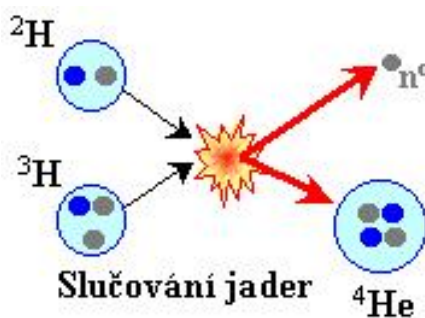
Obrázek 163: Výstavba tokamaku ITER



Obrázek 164: Jak by měl vypadat postavený projekt v Cadarache

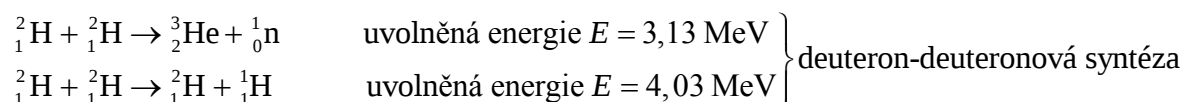
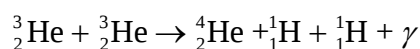
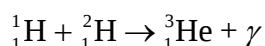
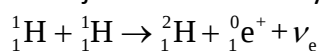


Obrázek 165: Vnitřek tokamaku JET v Culham Science Center poblíž v Oxfordu



Obrázek 166: Princip jaderné fúze

Existuje několik reakcí syntézy nejlehčích jader, při nichž se uvolňuje energie E :



Pro energetické využití je z nich nejzajímavější reakce mezi **deuteriem a tritiem**: ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$, která probíhá ze všech nejsnadněji a uvolňuje se při ní značné množství energie $E = 17,6 \text{ MeV}$; uvolněnou energii odnášejí ve formě své kinetické energie neutron (14,1 MeV) a jádro hélia (3,5 MeV). Dále je pak možné využít **deuteron-deuteronovou** reakci, jelikož deuterium je v neomezeném množství obsaženo v mořské vodě ve formě těžké vody D_2O .

Poznámka:

Jako jednotka **energie** se v atomové fyzice nepoužívá příliš velký 1Joule, nýbrž 1 **elektronvolt**, což je kinetická energie, kterou získá náboj jednoho elektronu v elektrickém poli při urychlení potenciálovým rozdílem jednoho voltu: $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{J}$. V jaderné fyzice, kde jsou vyšší energie a energetické rozdíly, pak dekadické násobky - kiloelentronvolt ($1\text{keV} = 10^3 \text{eV}$), megaelektronvolt ($1\text{MeV} = 10^6 \text{eV}$) a gigaelektronvolt ($1\text{GeV} = 10^9 \text{eV}$). V kosmu se setkáváme s kosmickým zářením, které má energii až 10^{20}eV !

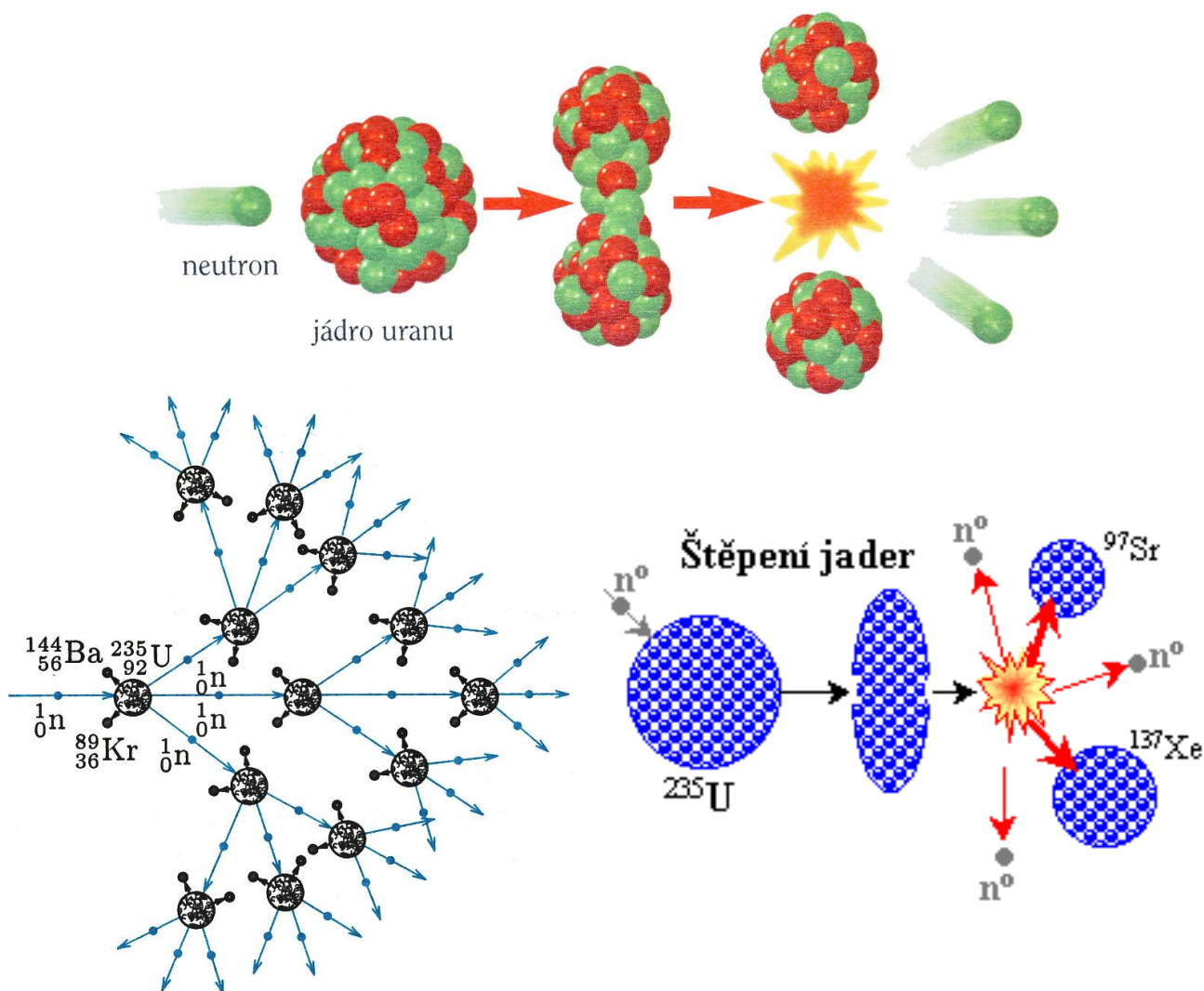
Oproti štěpení jader má jaderná syntéza velké **principiální výhody**:

- Podstatně **vyšší energetická účinnost** - ve vztahu na hmotností jednotku paliva je zhruba 10 krát vyšší než u štěpných reakcí.
- **Čistota** - nedochází k ohrožení radioaktivitou, produkty vznikající při jaderné syntéze v zásadě nejsou radioaktivní (výsledným "odpadem" je neškodné hélium). Radioaktivní tritium ${}^3\text{H}$ lze v budoucím reaktoru vyrábět i spotřebovávat v **uzavřeném cyklu** - neutrony vznikající při syntéze mohou jadernou reakcí s lithiem produkovat tritium: ${}_3^6\text{Li} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^3\text{H} + {}_2^4\text{He}$, ${}_3^7\text{Li} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^3\text{H} + {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$, které se pak spaluje syntézou s deuteriem na neaktivní hélium.

- **Bezpečnost provozu** - zatímco štěpný reaktor má uvnitř uloženo nadkritické množství štěpného paliva na celou dobu provozu palivových článků a hrozí nebezpečí nekontrolovatelné jaderné reakce, přehřátí reaktoru apod., do termojaderného reaktoru bude palivo přiváděno postupně v malých množstvích, přičemž jakákoli porucha funkce naruší optimální podmínky pro průběh fúze a **reakce se samovolně zastaví**.

Jediný štěpný materiál, který se vyskytuje v přírodě, je **přírodní uran**, který je směsí **uranu 238** (99,28 %), **uranu 235** (0,71 %) a **uranu 234** (přibližně 0,01 %). Ale uran 238 není štěpný (pouze rychlými neutrony) - pohlcuje zpomalené neutrony. Proto se přírodním uranu různými technologiemi procesy zvyšuje podíl uranu 235.

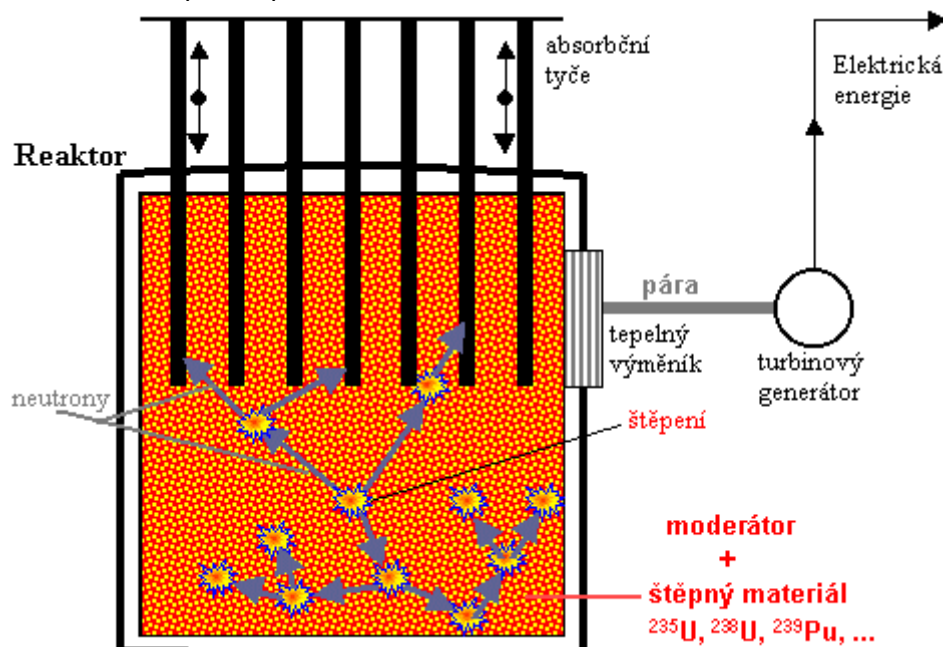
Vznik řetězové jaderné reakce závisí na **množství štěpného materiálu** v palivu. Je-li štěpného materiálu málo, tzv. **podkritické množství (hmotnost)**, řetězová reakce **nenastává**, jelikož z látky převážná část neutronů unikne, dříve než stačí rozštěpit nějaké jádro. Je-li štěpného materiálu dostatek, tzv. **kritické** či **nadkritické množství (hmotnost)**, **nastává řetězová jaderná reakce** – neutron naráží do jádra atomu, čímž ho rozštěpí (rozdělí) na dvě menší jádra a tím se neutron zpomalí, přičemž s tímto neutronem vyletí navíc další dva neutrony. Tyto tři neutrony opět štěpí další tři atomová jádra a z nich vylétá už celkem 9 neutronů, které štěpí další a další jádra – **nastává řetězová reakce (obr. 167)**.



Obrázek 167: Štěpení uranu 235

Jaderná elektrárna

Energie **řízené štěpné jaderné reakce** se využívá k získávání v jaderných elektrárnách. Zdrojem energie je **jaderný reaktor**, ve kterém jsou v aktivní oblasti umístěny palivové články se štěpným materiálem (obr. 168). Štěpným materiálem je nejčastěji uran 235, dále pak také uran 238 a 233, plutonium 239 (Pu) a v budoucnu se bude používat thorium 232 (Th) – v thoriových reaktorech nevzniká nebezpečné plutonium.

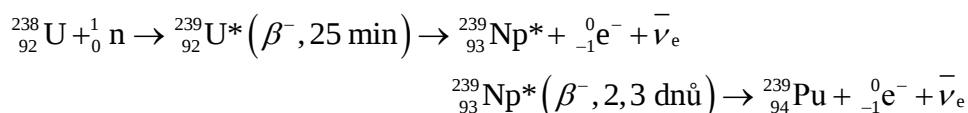


Obrázek 168: Jaderný reaktor

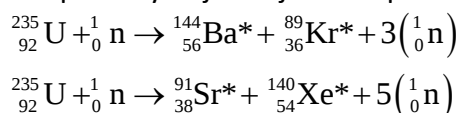
Svazky palivových článků jsou obklopeny **moderátorem**, tj. materiálem, který zpomaluje neutrony (nejčastěji voda, těžká voda, uhlík (grafit) či berylium). Voda také současně odvádí z reaktoru teplo vzniklé při jaderné reakci. Ohřátá voda proudí tzv. primárním okruhem do parogenerátoru, kde v něm pod vysokým tlakem vyrábí páru v sekundárním okruhu. Řetězová reakce se řídí regulačními tyčemi (ocel s obsahem boru, kadmium), které se více či méně zasunují mezi palivové články, kde absorbují neutrony. Vzniklá pára pohání turbínu, která roztáčí generátor elektrického proudu, voda se pak ochlazuje a kondenzuje v chladicí věži. Jaderný reaktor je celý obklopen pláštěm, který ochraňuje před zářením. Pak je ještě celý reaktor a primární okruh pod železobetonovým obalem, který odolá i pádu letadla. Jaderná elektrárna (obr. 169) je v dnešní době nejvýkonnější zdroj elektrické energie.

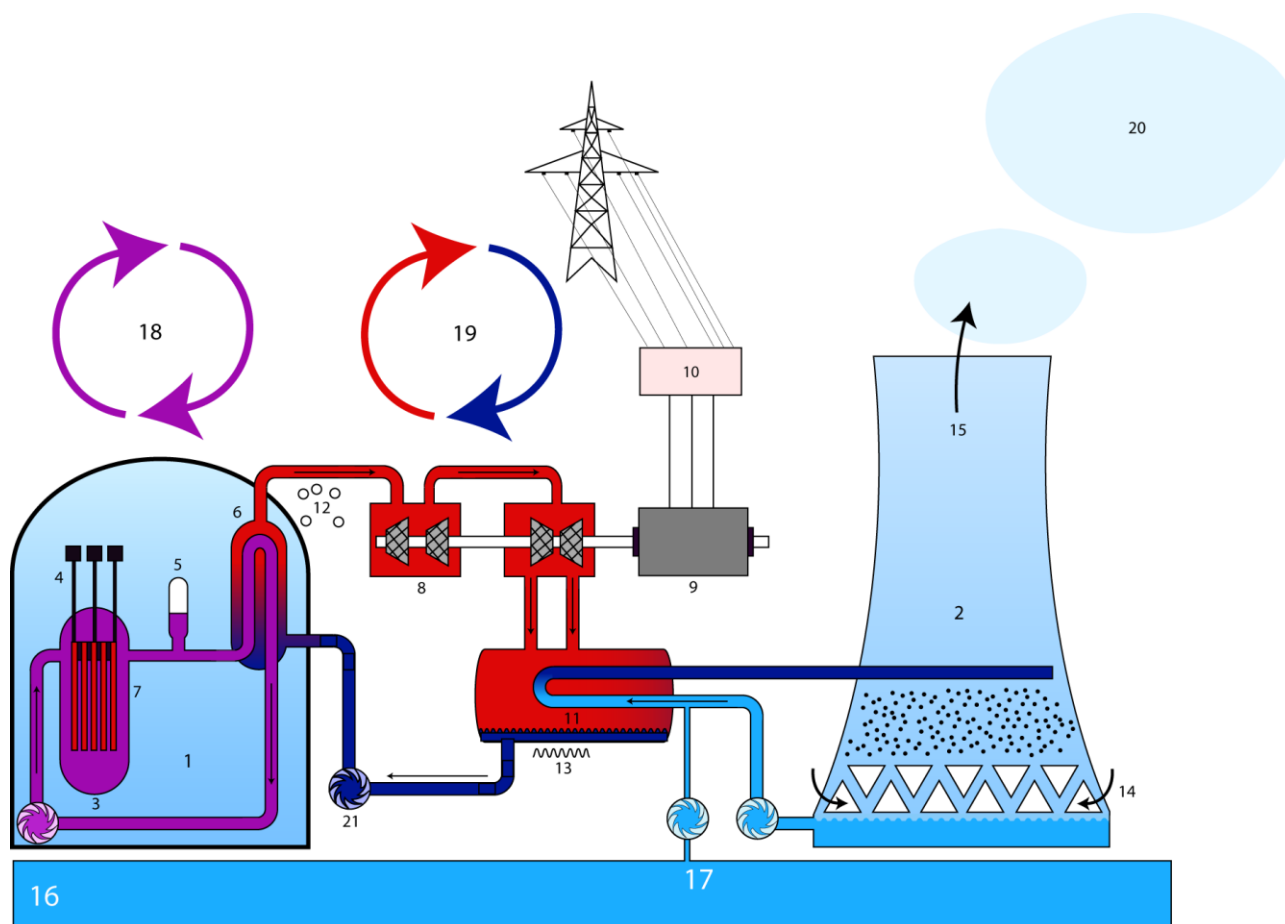
Nejčastější jaderné reakce v jaderných elektrárnách:

- jádro uranu $^{238}_{92}\text{U}$ zachytí pomalý neutron, vznikne radioaktivní izotop $^{239}_{92}\text{U}$, který se rozpadem β^- mění na izotop neptunia $^{239}_{93}\text{Np}$, které se dalším β^- mění na nebezpečné plutonium $^{239}_{94}\text{Pu}$ (*označené izotopy jsou velmi nestabilní a mění se):



- typické příklady nejčastějšího štěpení uranu 235:



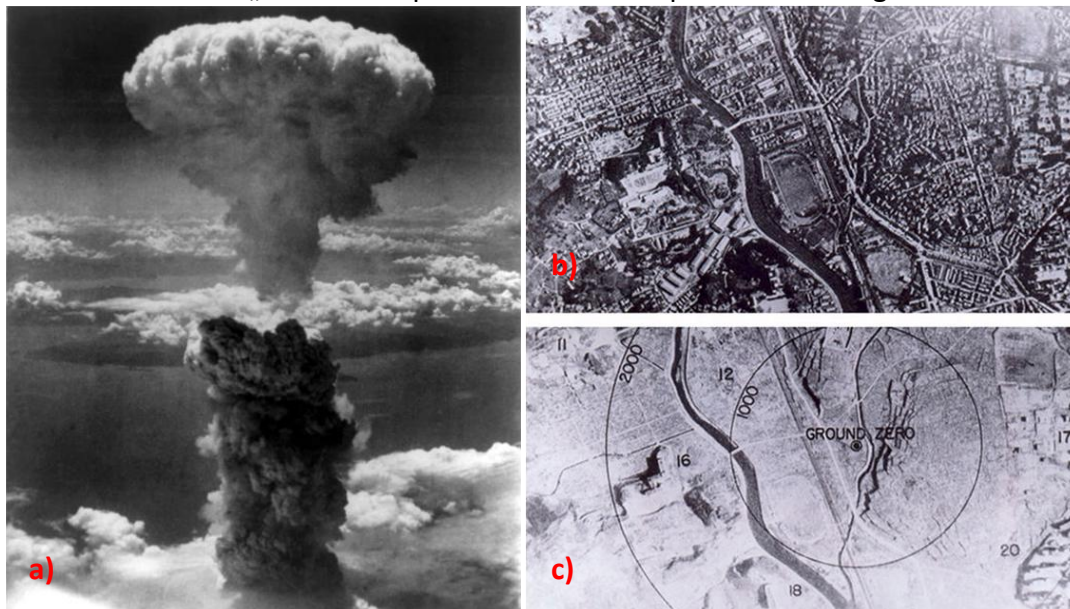


Obrázek 169: Schéma jaderné elektrárny

- 1. Reaktorová hala, uzavřená v nepropustném kontejnmentu.
- 2. Chladicí věž
- 3. Tlakovodní reaktor
- 4. Řídící (regulační) tyče
- 5. Kompenzátor objemu
- 6. Parogenerátor - v něm horká voda pod vysokým tlakem vyrábí páru v sekundárním okruhu
- 7. Palivový zásobník
- 8. Turbína - vysokotlaký a nízkotlaký stupeň
- 9. Elektrický generátor
- 10. Transformační stanice
- 11. Kondenzátor sekundárního okruhu
- 14. Přívod vzduchu do chladicí věže
- 15. Odvod teplého vzduchu a páry komínovým efektem
- 16. Oběhové čerpadlo primárního okruhu
- 17. Napájecí čerpadlo chladicího okruhu
- 18. Primární okruh (voda pouze kapalná pod vysokým tlakem)
- 19. Sekundární okruh (červeně značena pára, modře voda)
- 20. oblaka vzniklá kondenzací vypařené chladicí vody
- 21. oběhové čerpadlo sekundárního okruhu

Jaderná (atomová) bomba

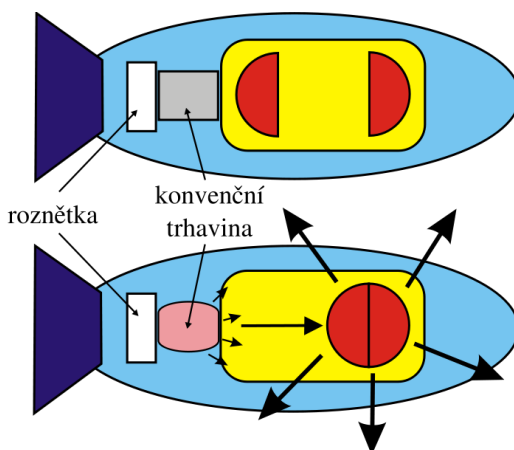
Řetězovou reakci objevili jako první Němci těsně před druhou světovou válkou v roce 1939. Před strachem z fašistického zneužití této zbraně hromadného ničení, se USA snažilo ve vývoji této ničivé zbraně předejnat. V roce 1945 byly naplánovány tři zkušební exploze. První byla 16. července 1945, kdy v Novém Mexiku byla zkušebně odpálena první atomová bomba „Trinititi“! 6. srpna 1945 svrhlo USA druhou atomovou bombu „Little Boy“ z uranu na Hirošimu a třetí ještě ničivější atomovou bombu „Fat Man“ z plutonia svrhlo 9. srpna 1945 na Nagasaki.



Obrázek 170: Atomová bomba shozená na Nagasaki a) výbuch; krajina b) před, c) po výbuchu

Jaderná (atomová) bomba pracuje na principu **neřízené jaderné reakce**. Neřízená reakce může být na principu **jaderného štěpení** pomocí neutronů či na principu **jaderného slučování** atomových jader (ničivější).

Jaderná bomba na principu **jaderného štěpení** obsahuje dvě od sebe bezpečně oddělená podkritická množství štěpného materiálu (např. plutonia) a výbušninu. Při explozi výbušniny jsou proti sobě obrovskými rychlostmi vymrštnuta obě podkritická množství, čímž vznikne množství nadkritické a dojde k jaderné explozi, při které se uvolní obrovské množství energie, tlaková vlna, teploty dosáhnou od několika tisíc až po několik milionů stupňů Celsia, elektromagnetický pulz, který zničí všechny elektrické spotřebiče (zejména polovodiče – i když jsou odpojené ze zásuvky) a radioaktivní spad (obr. 171).

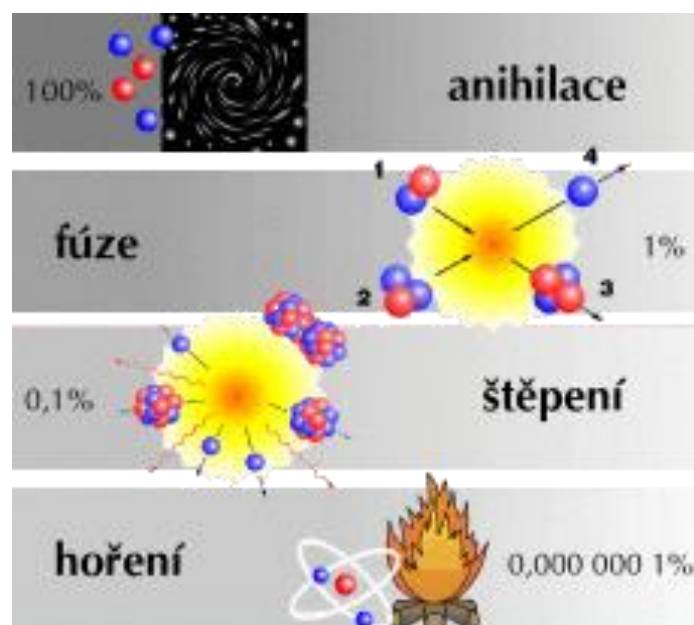


Obrázek 171: Princip štěpné jaderné bomby

Jaderná bomba pracující na principu **termonukleární fúze** deuteria, tritia či lithia. uto syntézu iniciují vysoká teplota (miliony °C) a tlak vyvolané výbuchem štěpné jaderné bomby (jaderná bomba slouží jako rozbuška). Syntézou vodíkových jader se uvolní obrovská energie, mnohem větší než při štěpné explozi. Při takto vysokých teplotách se plyn ionizuje – odtrhávají se elektrony a vznikají kladné ionty. Horkému plynu se říká **plazma** (volná jádra a elektrony). První zkouška s vodíkovou pumou, která nebyla ještě vojensky použitelná, byla provedena USA 1. 11. 1952 na atolu Eniwetok (Marshallovy ostrovy).

I při tak ohromné reakci jako je termojaderná fúze se uvolňuje pouze 1 % energie v hmotě obsažené. Dnešní fyzika zná způsoby, jak získat veškerou energii z hmoty. Setká-li (anihilace) se **částice hmoty** (např. elektron) s **částicí antihmoty** (např. pozitronem), **uvolní se všechna jejich energie a zářená gama**, obě částice **zaniknou**. Ukázalo se, že hmota má opačného dvojníka **antihmotu**, která má v jádře záporný antiproton a v obalu kladný pozitron (antielektron). Využití anihilace hmoty a antihmotou je velmi velmi vzdálená budoucnost.

V dnešní fyzice jsou známi i jiné částice klasické hmoty než je elektron, proton a neutron – např. neutrino (antičástice je antineutrino), je to částice bez náboje, která je nezadržitelná a proletí bez zastavení celou zeměkoulí. Naším tělem jich za selí život proletí desetitisíce, ale zadrží se jich cca 5 – 10. Celkem částic hmoty se pohybuje okolo tři set. Procentuální využití energie z hmoty ukazuje (obr. 172).



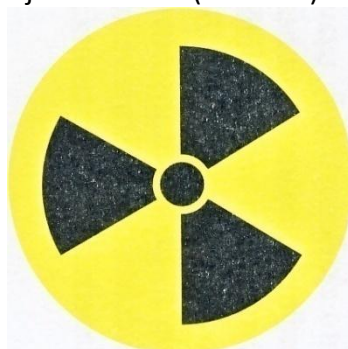
Obrázek 172: Procentuální získávání energie z hmoty

V ČR jsou v provozu dvě jaderné elektrárny v Dukovanech a v Temelíně. Největším problémem je v jaderných elektrárnách vyhořelé palivo, které se musí skladovat několik tisíc let, proto se hledá způsob, jak vyhořelé palivo přeměnit na radionuklidy s daleko menším poločasem rozpadu. Vyhořelé palivo se v elektrárnách uchovává v bazénech několik let, kde se ochladí. Pak se zalévá sklem a umísťuje do ocelových či betonových kontejnerů a odváží do meziskladů, kde je skladováno a vyčkává se na konečné řešení, zda nové technologie jej nevyužijí nebo zda se neodveze do hlubinových podzemních skladišť.

9.7. Ochrana před zářením

Radioaktivnímu záření a elektromagnetickému záření se nemůžeme vyhnout! Ozařují nás částice z vesmíru, sluneční paprsky, atmosféra, přírodniny i naše tělo má v sobě radioaktivní draslík 40 atd. Elektromagnetické záření je také kolem nás televize, mobilní telefony, mikrovlnné trouby apod. Během života přijmeme určitou dávku záření, ať chceme či nechceme. Fyzika má měřicí přístroje pro určení množství radiace, např. dozimetr – slouží k měření dávek záření.

Před jaderným zářením nás může ochránit stínění z vody, olověných a ocelových cihel či betonu. Při jaderném výbuch je jediná možnost se ukrýt pod úrovní terénu. Jaderný výbuch vyvolá obrovskou tlakovou vlnu a velmi vysoké teploty, radioaktivní spad se může v přírodě držet i několik desítek let. Člověk vydrží buď krátkodobé silné záření, nebo dlouhodobé záření v malých dávkách. Před nebezpečím radiace nás informuje značka na (obr. 172).

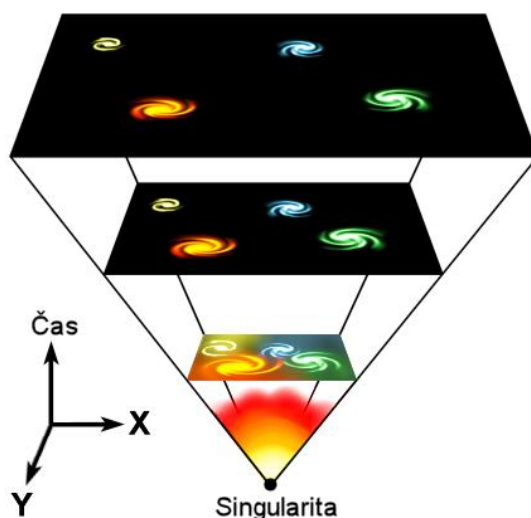


Obrázek 173: Značka nebezpečí záření (radiace)

10. Vesmír, galaxie, sluneční soustava, hvězdy a planety

10.1. Vesmír

Stáří vesmíru se uvádí od 13 až 18 miliardami let, nejčastější údaje hodnotí stáří vesmíru na 15 miliard let. Vesmír tak jak jej známe, vznikl při **velkém třesku** (Big Bang – obr. 174).



Obrázek 174: Velký třesk (Big Bang)

Vesmír byl před velkým třeskem nepatrně malý 10^{-35} m a panovaly v něm extrémní podmínky – obrovské teploty, tlak, hustota a energie, prakticky vše, co tvoří dnešní „nekonečný“ vesmír, bylo v malilinkatém bodě. V této podobě byl vesmír dokonale symetrický. Až náhle došlo k jedinečné události – **velkému třesku**, k explozi celého vesmíru došlo v čase $t = 0$ s a vesmír se začínal obrovskými rychlostmi rozpínat a tehdy vznikl čas.

Po uplynutí doby $t \approx 10^{-43}$ s byli z původně devíti nebo desíti dimenzí vybrány **tři prostorové rozměry** (dimenze – výška, šířka, délka) a spolu s **časem**, který považujeme za čtvrtý rozměr, vznikl **časoprostor** (správně prostoročas). Prostor se stal třídimenzionální (s časem čtyřdimenzionální) a jeho teplota byla 10^{32} °C.

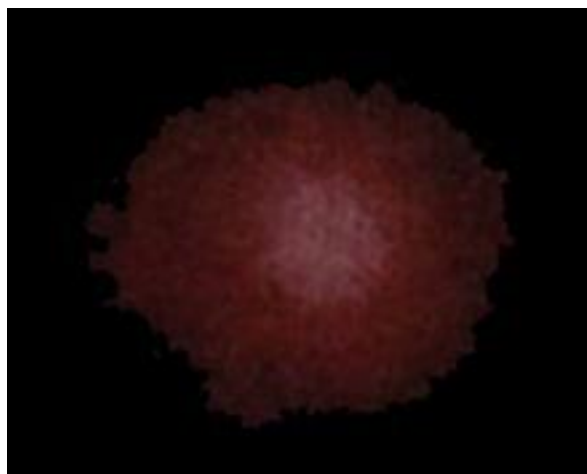
V čase $t \approx 10^{-43}$ až 10^{-34} , tj. v **období inflační expanze**, se rozměry vesmíru zvětšili zhruba 10^{30} krát. V tomto období se začala prudce zvyšovat rychlost expanze (rozpínání), začala působit gravitační, slabá elektromagnetická a silná jaderná síla. Vznikali první subatomární částice (kvarky, antikvarky a leptony). Teplota klesla na 10^{12} °C.

V čase $t \approx 10^{-34}$ až 10^{-4} s, **hadronová éra** (obr. 175), se z kvarků začali vytvářet hadrony (protony, neutrony hyperony a jejich antičástice). Částice a antičástice se srážely a docházelo k anihilaci. Protože bylo více hmoty než antihmoty, při jejich anihilaci zůstala jen část hmoty, antihmota se přeměnila na záření. Teplota poklesla na 10^{12} °C.



Obrázek 175: Hadronová éra vesmíru

V čase $t \approx 10^{-4}$ až 1 s, **leptonová éra** (obr. 176), elektrony anihilovaly s pozitrony a zůstal přebytek elektronů. Od ostatní látky se oddělila neutrina. Teplota vesmíru v tu dobu klesla na $6 \cdot 10^9$ °C.



Obrázek 176: Leptonová éra vesmíru

V čase $t \approx 1$ s až 106 let (někde se uvádí 300 000 let), **éra záření**, z protonů a neutronů začala vznikat první atomová jádra. Vesmír se zaplňuje látkou z lehkých jader nuklidu, její velká hustota stále ještě nedovoluje záření (fotonům), aby urazili velkou vzdálenost, protože jsou při srážkách s látkou absorbováni. Teplota klesla na 10^3 °C.

V čase $t \approx 106$ let (300 000 let) až do současnosti, **éra látky**, až 300 000 let po velkém třesku, když průměrná teplota vesmíru klesla již na „pouhých“ 3000 °C (což je přibližně teplota povrchu na chladných hvězdách) a elektrony se mohly pospojovat s atomovými jádry, čímž vznikly neutrální atomy, se vesmír stal průhledným pro fotony a elektromagnetické záření tím pádem přestalo ovlivňovat vývoj hmoty ve vesmíru – nastala éra látky. Z homogenní látky se nejdříve vydělily zárodky hvězd, hvězdokup, které byly menší než 300 světelných let. Ty se poté shlukovaly do galaxií a galaxie do kup a nadkupy galaxií a vznikl dnešní vesmír (obr. 177a,b).



Obrázek 177: Dnešní vesmír a) nespočetné galaxie; b) umístění Slunce v naší galaxii

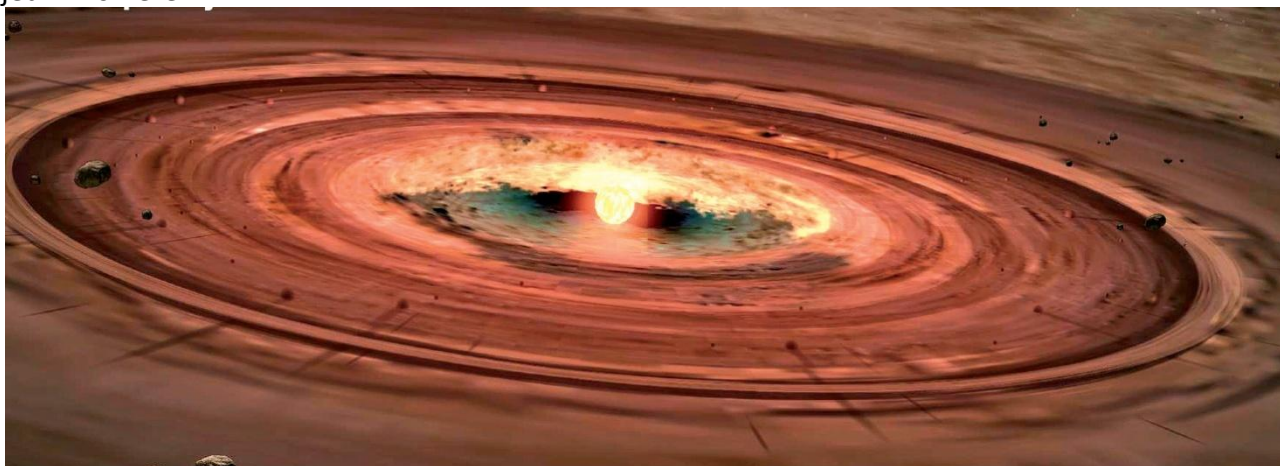
Existují dvě hlavní teorie, jak se bude vesmír dále vyvíjet, přičemž mezi nimi je rozhodující určení množství hmoty, již vesmír obsahuje. Pokud je jí méně, než určitá hranice, je vesmír "otevřený" a bude se stále rozpínat, což znamená, že ho čeká další ochlazování a pomalá a mrazivá "smrt".

Pokud ale množství hmoty ve vesmíru onu hranici přesahuje, jde o "uzavřený" vesmír. ten po dosažení určité maximální velikosti zastaví zvětšování svého objemu a začne se smršťovat. Vlivem gravitace jednotlivých těles se všechna hmota vrátí zpět do jednoho bodu - superžhavého a neuvěřitelně malého objemu, tedy do stádia před velkým třeskem. Je možné, že potom nastane "velký třesk" znovu.... Zda je jedna z těchto teorií správná či nesprávná, nebo se stane něco jiného, to nikdo na 100 % neví.

10.2. Sluneční soustava

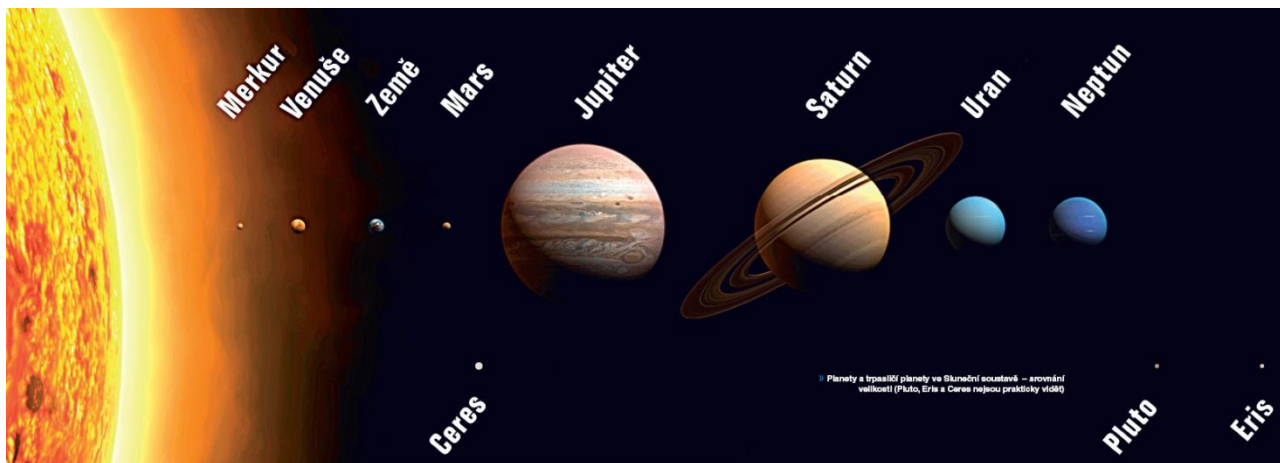
Zhruba před 7 miliardami let, tj. 2 miliardy let před vznikem slunce a naší sluneční soustavy, ukončily svůj život obří supernovy. Došlo k obří explozi a tlakové vlně, které do kosmického prostoru vyvrhly těžké prvky. Přičemž kontaminovaly obří mezihvězdný prachoplynný oblak

(stavební materiál naší sluneční soustavy). Rázová (tlaková) vlna inicializovala vznik gravitačního centra, které začalo ovlivňovat své nejbližší okolí a přitahovalo k sobě se stále větší vzdálenosti (jak sílila gravitace). Oblak se stále smršťoval a zhušťoval. začal více a více rotovat, až získal podobu protoplanetárního disku (*obr. 178*). V jeho centru, kde byla nejvyšší hustota, se později rozsvítilo naše Slunce. K blíže středu centra (blíže k Praslunci) se vytvářely kamenné planety a dále od slunce obíhaly plynné planety. Protože tělesa vznikla z rotujícího plochého disku, rotují všechna tělesa jedním směrem.



Obrázek 178: Protoplanetární disk, ze kterého vznikla naše sluneční soustava

Do srpna roku 2006 měla naše sluneční soustava **9 planet** (Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun a Pluto). Po tomto datu pouze 8, **Pluto bylo vyškrtnuto ze seznamu plnohodnotných planet** a bylo přeřazeno do třídy **trpasličích planet** (např. Pluto, Eris, Ceres), jelikož nestanovovalo nově dohodnuté definice pro planetu (*obr. 179*). Sluneční soustava obsahuje vše, co se v ní nalézá – planety, planetky, trpasličí planety, komety, meteority,... Porovnání velikosti Pluta a největších měsíců planet ukazuje (*obr. 180*).

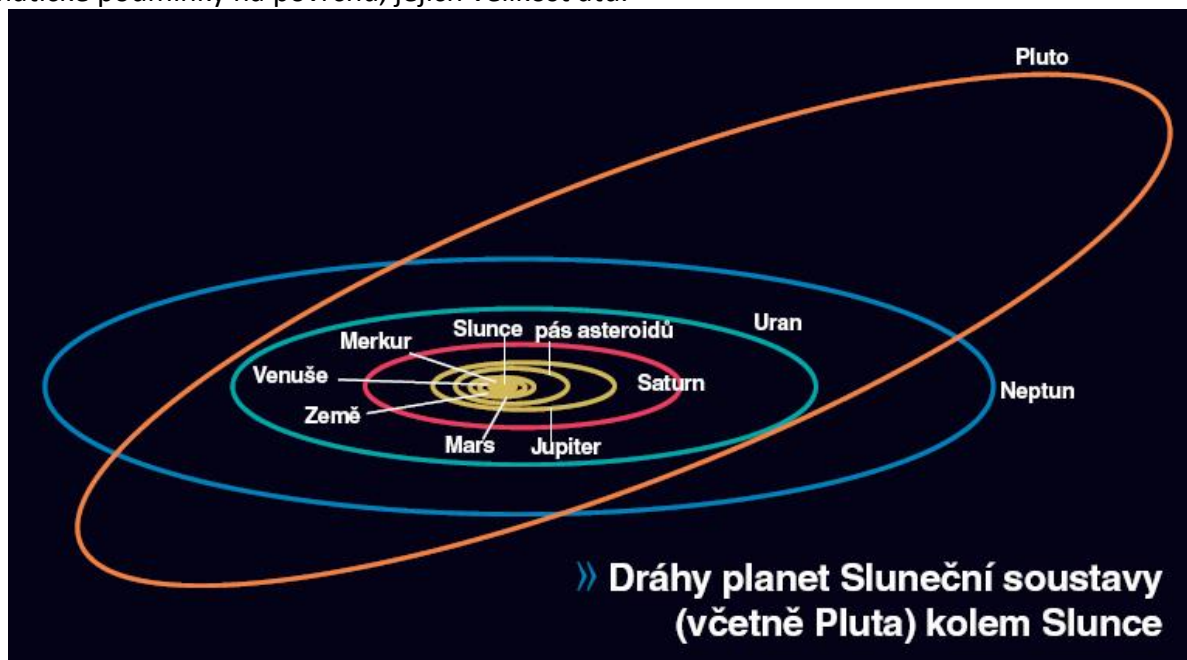


Obrázek 179: Sluneční soustava (Slunce, planety a trpasličí planety)



Obrázek 180: Porovnání velikosti Pluta s největšími měsíci planet

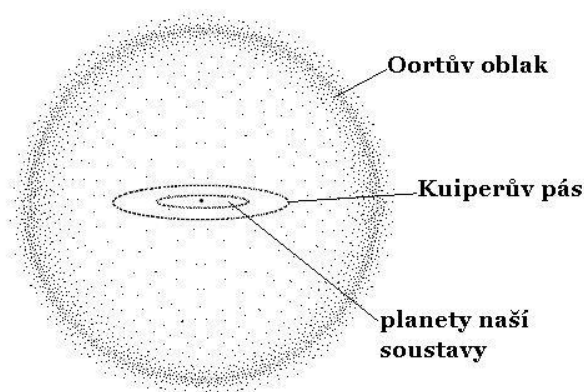
Planety naší sluneční soustavy se pohybují v jedné rovině po eliptických drahách, které se ale velmi podobají kružnicím (obr. 181). Vzdálenost planet od Slunce, ovlivňuje jejich složení, klimatické podmínky na povrchu, jejich velikost atd.



Obrázek 181: Dráhy planet sluneční soustavy (včetně Pluta)

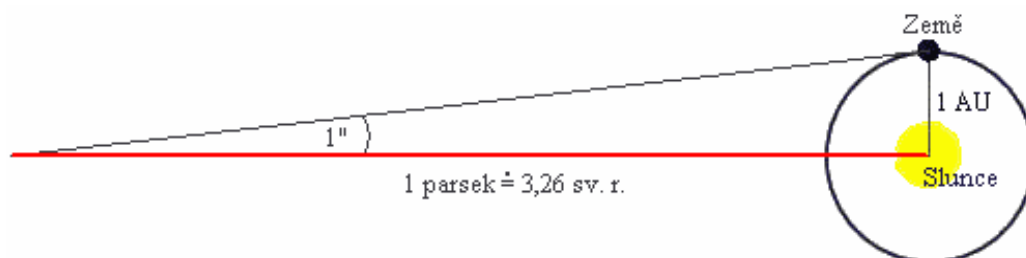
Za poslední planetou naší sluneční soustavy, Neptunem, se nachází tzv. Kuiperův pás. **Kuiperův pás** (obr. 182), zvaný též Edgeworthův-Kuiperův pás, je oblast ve Sluneční soustavě, která se nachází za dráhou Neptuna ve vzdálenosti 30 až 50 AU od Slunce (AU – astronomická jednotka, definovaná jako vzdálenost Země od Slunce, $1 \text{ AU} \doteq 149\,597\,870 \text{ km}$). Je pojmenován po astronomovi Gerardu Kuiperovi, který v roce 1951 navrhl teorii o původu některých komet v bližší oblasti než Oortův oblak. Tato oblast byla na jeho počest nazvaná Kuiperův pás. Protože však podobnou teorii vyslovil o více než deset let dříve irský astronom Kenneth Edgeworth (1940), bývá někdy do názvu přidáváno i jeho jméno. V současnosti je známo více než 1000 těles patřících do Kuiperova pásu (ke dni 20. srpna 2006 to bylo 1007 objektů, z nichž definitivní označení dostalo přesně 100 těles). Bývají obvykle označovány zkratkou KBO (z angl. Kuiper Belt Objects). Objekty mají zpravidla velikost jen několik desítek kilometrů, ale vyskytují se zde i tělesa o průměru několika tisíc kilometrů. Na základě optických pozorování se předpokládá, že se v Kuiperově pásu nachází kolem 50 tisíc objektů větších než 100 km. V současné době probíhá prohlídka nebe v rámci projektu *Taiwan–America Occultation Survey*, která by měla v dohledné době zjistit počet objektů o průměru od 1 km výše v této části Sluneční soustavy. Z Kuiperova pásu pocházejí také některé komety, většina jich však přilétá ze vzdálenějšího Oortova mračna.

Oortův oblak (Oortovo mračno) se nachází na okraji naší Sluneční soustavy za Kuiperovým pásem, přibližně 50 000 až 100 000 AU od Slunce. Jedná se o kulovitou skořápku kolem naší Sluneční soustavy, pozůstatek prapůvodní planetární mlhoviny. Svůj název nese po dánském astronomovi Janu Oortovi, který hypotézu o jeho existenci poprvé zveřejnil v roce 1950. Oortův oblak (obr. 182) je zdrojem kometárních jader, které díky gravitaci okolních hvězd občas změni svou dráhu směrem k Slunci. Tyto komety jsou většinou dlouhoperiodické a jejich úhel k ekliptice je náhodný, nebo proletí kolem Slunce pouze jednou. První a zatím jediná známá planetka pocházející z Oortova oblaku je pravděpodobně Sedna. Její dráha je menší než vnitřní poloměr Oortova oblaku, ale je to pravděpodobně důsledek gravitačního působení hvězdy, která kdysi prolétla v blízkosti našeho Slunce.



Obrázek 182: Kuiperův pás a Oortův oblak (mračno)

Další astronomickou jednotkou je parsek [pc] - jeden parsek je vzdálenost, z níž má 1 astronomická jednotka (1 AU) úhlový rozměr jedné vteřiny (obr. 183). Jeden parsek vyjádřen v jiných jednotkách vzdálenosti je přibližně roven $1 \text{ pc} \approx 3,262 \text{ ly}$ (světelný rok) $\approx 206\,265 \text{ AU} \approx 3,086 \times 10^{13} \text{ km}$.



Obrázek 183: Astronomická jednotka parsek [pc]

Nové definice pro planety:

- ☞ obíhá kolem Slunce;
- ☞ má dostatečnou hmotnost, aby její vlastní gravitace překonala vnitřní síly tělesa, takže se zformuje do kulového tvaru;
- ☞ svou gravitací „vyčistí“ své okolí od těles v dostatečné vzdálenosti (tuto podmínku Pluto nesplňuje).

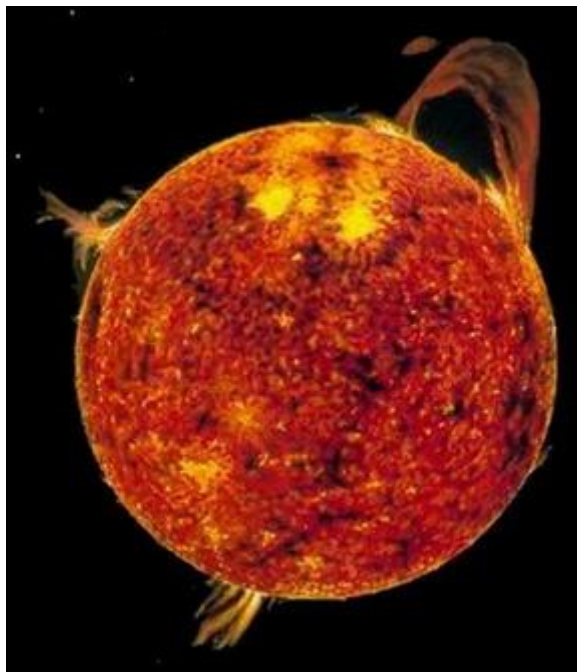
Základní informace o planetách (včetně Pluta) shrnuje (tabulka 3):

PLANETA	STŘEDNÍ VZDÁLENOST OD SLUNCE	OBĚŽNÁ DOBA OKOLO SLUNCE	ROVNÍKOVÝ PRŮMĚR	STŘEDNÍ HUSTOTA	POČET MĚSÍCŮ
Merkur	58 mil. km = 0,39 AU*	88 dnů	4 878 km	$5\,440 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	0
Venuše	108 mil. km = 0,72 AU	224,7 dne	12 103 km	$5\,240 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	0
Země	149,6 mil. km = 1,00 AU	1 rok	12 756 km	$5\,515 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1
Mars	228 mil. km = 1,52 AU	1 rok 322 dnů	6 794 km	$3\,750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2
Jupiter	778 mil. km = 5,20 AU	11 roků 314 dnů	142 980 km	$1\,330 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	16
Saturn	1 427 mil. km = 9,53 AU	29 roků 167 dnů	120 540 km	$690 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	18
Uran	2 871 mil. km = 19,20 AU	84 roků 8 dnů	51 120 km	$1\,285 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	20
Neptun	4 504 mil. km = 30,1 AU	164 roků 292 dnů	49 530 km	$1\,640 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	8
Pluto	5 900 mil. km = 39,5 AU	247 roků 252 dnů	2 300 km	$1\,900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1

Tabulka 3: Základní informace o planetách

10.3. Slunce – nejdůležitější naše hvězda

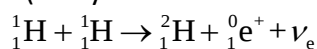
Naše nejbližší hvězda Slunce (obr. 184) vzniklo před téměř 5 miliardami let a je centrem naší sluneční soustavy, tvoří přibližně 99 % veškeré hmotnosti naší sluneční soustavy, zbytek jsou planety, komety, meteority apod.



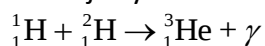
Obrázek 184: Hvězda naší sluneční soustavy - Slunce

Slunce vzniklo z mezihvězdného prachoplynného oblaku, který se díky explozi blízkých supernov začal smršťovat díky gravitaci do koule zhuštěných částic z prachu (atomů vodíku). V této kouli se zrodilo naše **Praslunce**, které na sebe začalo ve své blízkosti nabalovat stále více materiálu, což mělo za následek, že v nitru Praslunce panovaly obrovské teploty a tlaky, které měli za následek, že při dosažení teploty cca 10 milionů °C se zažehla termojaderná reakce (fúze), a vzniklo žhnoucí **Slunce**. Proto Slunce svítí a vydává teplo, jelikož v jeho nitru probíhá termojaderná fúze, kdy se vodík přeměňuje na helium. Světlu trvá minimálně **200 000 a až 2 miliony let**, než se dostane na povrch. Tělesa, která světlo vydávají (vyzařují) nazýváme **hvězdy**. Jadernou fúzi zachycují následující jaderné rovnice:

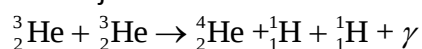
- ☞ Nejprve proběhne jaderný syntéza dvou protonů (dvou atom – jader vodíku), vznikne deuteron (těžký vodík deuterium), pozitron a neutrino:



- ☞ Druhou reakcí je syntéza deuteronu s protonem:



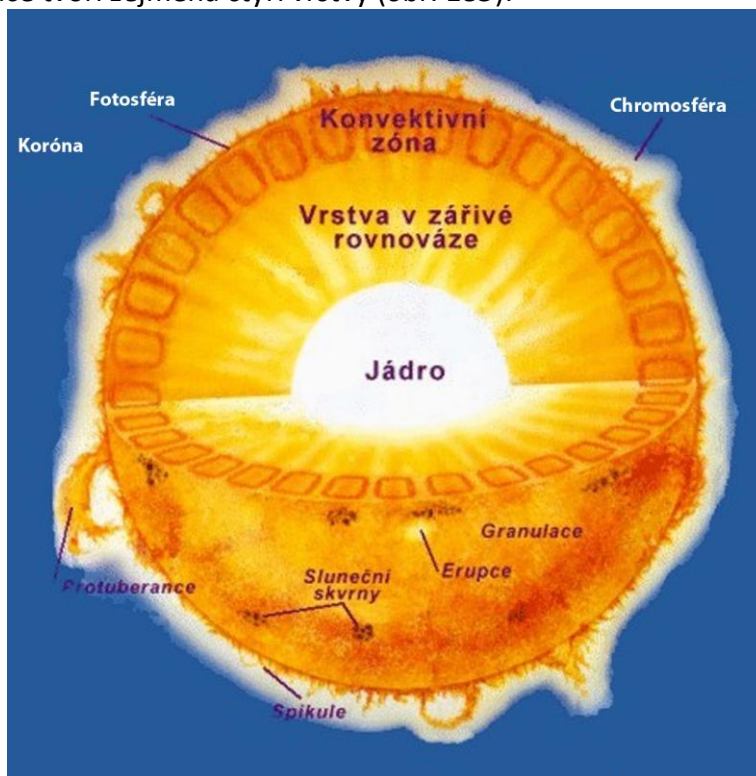
- ☞ Poslední reakcí je:



Některé údaje o slunci:

- ☞ poloměr Slunce: 695 550 km;
- ☞ hmotnost Slunce: $1,898 \cdot 10^{30}$ kg = 332 959 Zemí;
- ☞ střední hustota: $1\,410 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- ☞ teploty na Slunci: jádro kolem 15,6 milionů °C; fotosféra v průměru 5600 °C; chromosféra koróna 1 až 10 milionů °C.

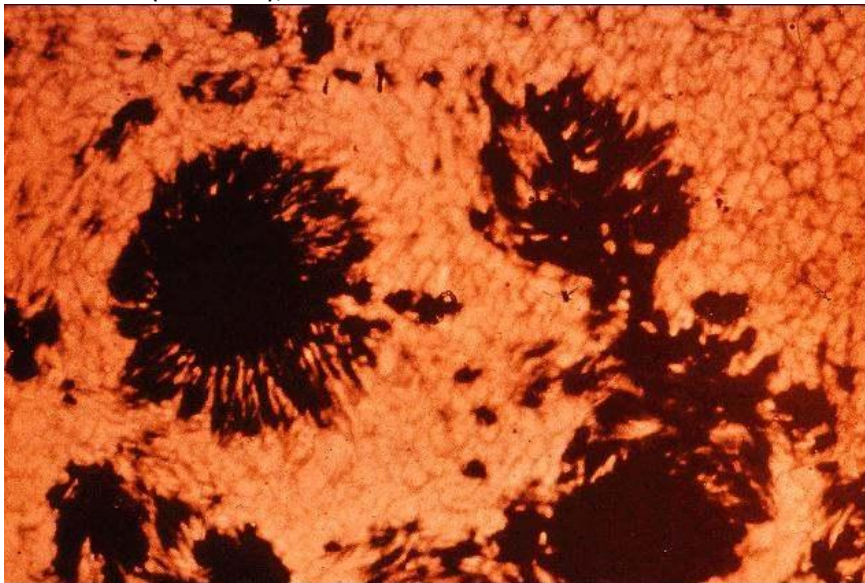
Strukturu Slunce tvoří zejména čtyři vrstvy (obr. 185):



Obrázek 185: Struktura Slunce

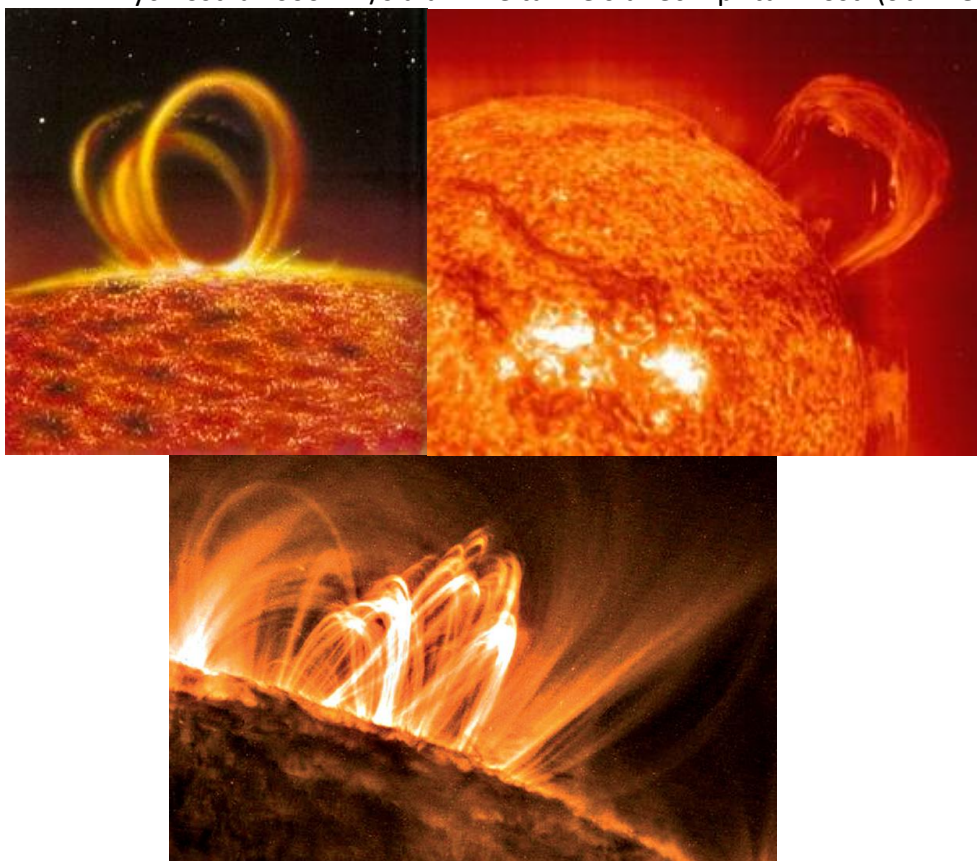
- **jádro** – probíhá v něm termojaderná fúze a teplota se v něm pohybuje od 12 do 18 milionů °C (průměrná teplota je 15,6 °C);
- **fotosféra** – označujeme ji jako viditelný povrch Slunce, je to svítící vrstva o tloušťce 200 – 300 km, ze které přichází většina světla, teplota se pohybuje kolem 5 500 °C, pozorujeme v ní **sluneční skvrny**, **erupce** a jsou z ní vyvrhovány **protuberance**;
 - **Sluneční skvrny** - jsou tmavší oblasti na povrchu Slunce. Tyto útvary, někdy velké i 50 tisíc km, vznikají interakcemi magnetického pole Slunce a vzhledem k nižší teplotě (cca 3000 – 4000 °C) se jeví jako tmavé oblasti. Chceme-li zjistit, co je příčinou vzniku takové skvrny, nemusíme hloubat dlouho. Rozhodně to není žádná díra do nitra Slunce (jak se první pozorovatelé domnívali), ale je to zjednodušeně „porucha“ v magnetickém poli Slunce. Jsou to velmi silné magnety, nejsilnější magnetická pole na Slunci. Ze skvrny prakticky „tryskají“ magnetické siločáry, které se následně vrací zpět. „Magnetismus sl. skvrn je důsledkem mohutných elektrických proudů, které tečou při povrchu.“ Mnohdy se jedná o velmi silné proudy, neboť plazma je výborným vodičem elektřiny. Magnetické siločáry ve skvrně jsou značně pokroucené, a proto

brzdí stoupající horké oblaky v konvektivní vrstvě. Díky tomu je potlačen přenos energie z nitra Slunce do skvrny, a tak má skvrna teplotu až o 2000 K nižší (obr. 186);



Obrázek 186: Sluneční skvrny

- **Protuberance** - jsou výtrysky sluneční hmoty desetitisíce kilometrů nad povrch (až do koróny), ovládané magnetickým polem Slunce. Jejich tvar kopíruje siločivky lokálního magnetického pole, dosahují výška až 50 000 km. Při eruptivní protuberanci dosahuje plazma (horký plyn, sluneční hmota) rychlosti až 600 km/s a unikne tak ze sluneční přitažlivosti (obr. 187).



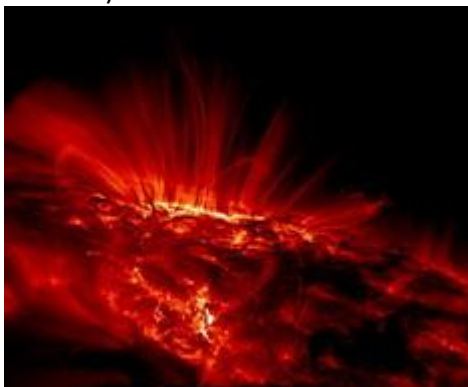
Obrázek 187: Protuberance

- **chromosféra** – leží nad fotosférou a je tlustá asi 15 000 km, průměrná teplota se pohybuje kolem 10 000 °C, nejnižší vrstvy mají teplotu okolo 4 000 °C a nejvyšší vrstvy sousedící s korónou až 100 000 °C, je zakončena spikulemi - úzké výtrysky plynů z chromosféry s dobou života několik minut. Dosahující velikosti několik až 15 000 km a rychlosti 20 až 30 km/s (*obr. 188*);



Obrázek 188: Spikule ve chromosféře

- **Erupce** – mohutné exploze v oblasti chromosféry a spodní koróny, tzn. náhlá zjasnění malé části slunečního povrchu, tedy náhlé uvolnění obrovské energie ve sluneční atmosféře; okolní hmota se ohraje až na miliony stupňů (v některých případech až na desítky milionů stupňů), erupce se může rozvinout do během několika minut do složitých vláken a kanálů několik set kilometrů dlouhých (*obr. 189*).



Obrázek 189: Sluneční erupce

- **koróna** - oblast nad chromosférou nazýváme koróna. Je to jakási řídká horní atmosféra Slunce, která nemá ostré hranice a zasahuje hluboko do Sluneční soustavy. Můžeme ji spatřit při úplném zatmění Slunce. Teplota koróny v blízkosti Slunce od 1,5 do 10 milionů °C, je paradoxně vyšší než teplota fotosféry. Vědci se dnes dohadují, čím je tato vysoká teplota způsobena, zřejmě působením magnetického pole Slunce (*obr. 190*).

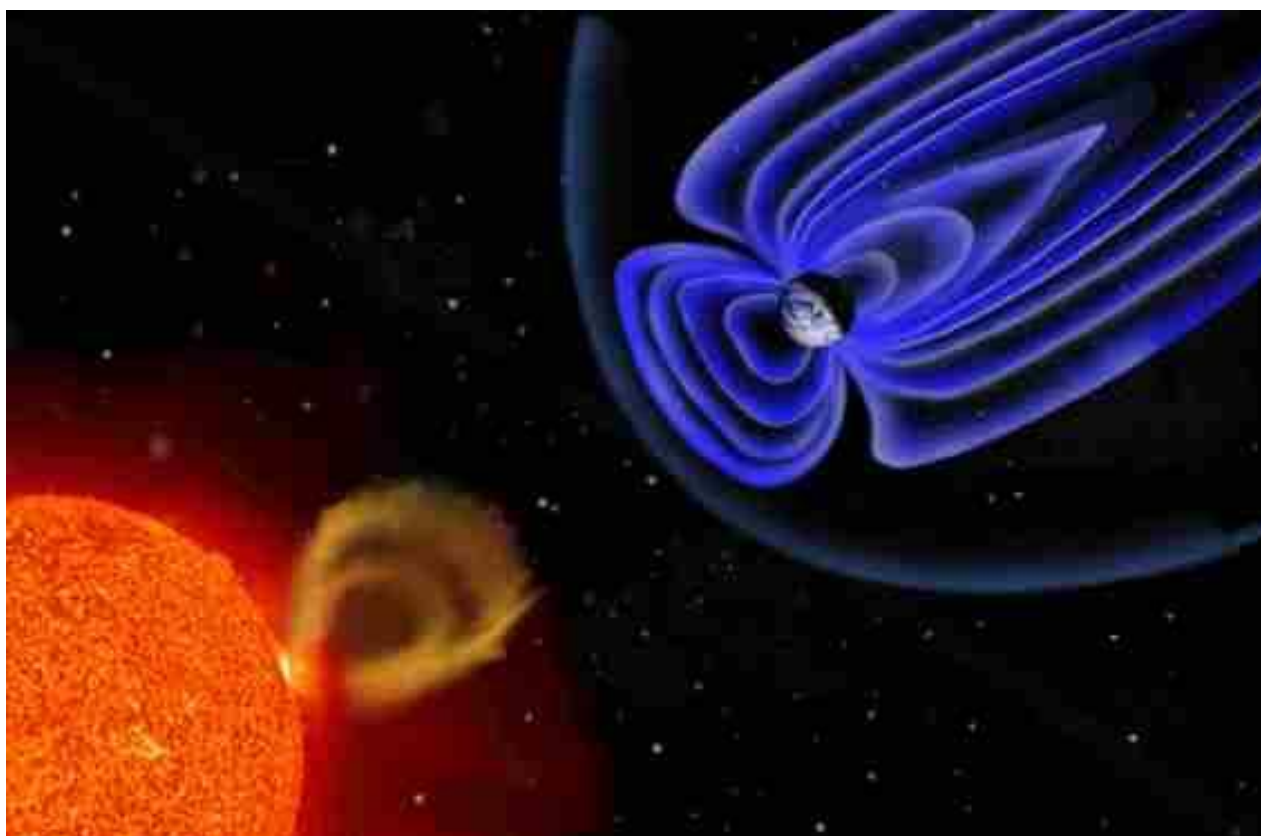


Obrázek 190: Koróna - nejvyšší vrstva Slunce

Další pozoruhodným jevem, který způsobuje Slunce je **sluneční vítr**. Sluneční vítr je proud nabitých částic (protonů, elektronů a alfačástic) vyvržených ze Slunce tlakem záření. Sluneční vítr v podstatě vytváří vnější atmosféru Slunce - korónu, která prostupuje celou sluneční soustavou. Sluneční vítr interaguje s magnetosférami planet a komet. Vytváří rázové vlny a tvaruje magnetické pole planet. Při průniku částic do magnetosféry Země dochází k polárním zářím (*obr. 191*) a magnetickým bouřím na obou pólech. Před smrtícím slunečním větrem nás chrání magnetické pole Země – magnetosféra (*obr. 192*), kdy nebylo, nevznikl by na Zemi život.

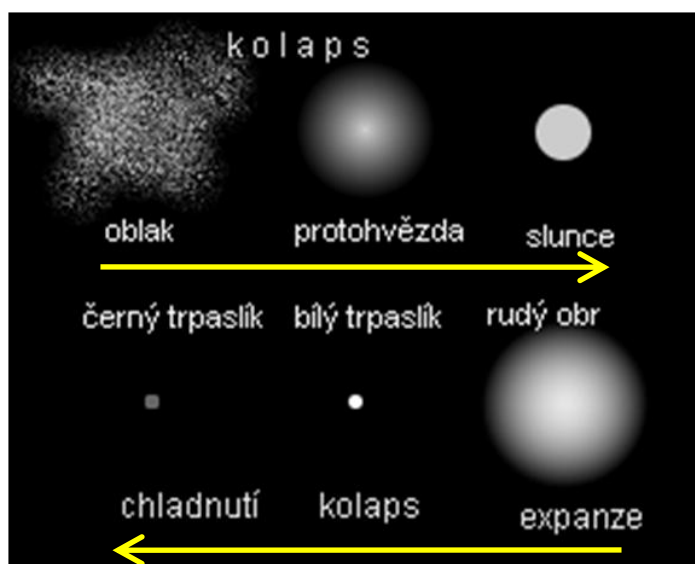


Obrázek 191: Polární záře způsobená slunečním větrem



Obrázek 192: Magnetosféra chrání život před slunečním větrem

Slunce je v půlce svého života. Odhaduje se, že se dožije termonukleárního stáří cca 11 mld. let (88 % svého celkového života). V tuto chvíli je v polovině svého života. Po celou dobu přeměňuje vodík na helium a jeho zářivý výkon se jen nepatrně mění. Teprve na konci se jeho vzhled bude nápadně měnit. Rozměry Slunce se budou nejprve pomalu a pak stále rychleji zvětšovat. Z dnešní hvězdy, klasifikované jako **žlutý trpaslík**, se stane **červený obr** - hvězda o poloměru nejméně 100krát větším než dnes, ale s nižší povrchovou teplotou - kolem 3 000 K. Planety blízké Slunci se roztaví. Ve fázi červeného (rudého) obra vydrží poměrně krátce - jen asi 100 milionů let. Řídká atmosféra obřího Slunce se bude rozpínat do okolního prostoru, zatímco jádro se bude pomalu smršťovat a hroutit působením gravitace na malou hvězdu s poloměrem pouhých 5 000 km (o něco méně než je poloměr Země), ale s neuvěřitelně vysokou hustotou. Toto staré Slunce bude mít sice na povrchu dvakrát vyšší teplotu než dnes, ale vzhledem k malému povrchu klesne jeho celková zářivost na tisícinu v porovnání se současností. Slunce bude nyní ve fázi tzv. **bílého trpaslíka**. Udrží se v ní desítky miliard let, během nichž bude chladnout, až se nakonec promění v prakticky neviditelného **černého trpaslíka**. Jeho gravitace však nebude dotčena, protože závisí pouze na hmotnosti. Planetární systém bude nadále existovat, i když v něm nebudou kroužit některé planety, které se během tohoto bouřlivého vývoje roztavily (některé teorie tvrdí, že se roztaví i Země, jiná že se Slunce zastaví těsně před ní). Vývoj Slunce ukazuje (*obr. 193*).



Obrázek 193: Vývoj Slunce

Dlouhověkost a konečné stádium vývoje hvězd závisí na její velikosti (hmotnosti). Čím je hvězda větší, tak tím se dožívá menšího věku, protože rychleji spaluje svoje jaderné palivo. Hvězdy může rozdělit podle hmotnosti a podle barev (spektrální dělení hvězd – *tab. 4*).

Je-li hmotnost hvězdy kolem **0,08 $M_{\odot}$** ($M_{\odot}$ = hmotnosti Slunce) vzniká **hnědý trpaslík**.

- **Hnědý trpaslík** je „nepovedená“ hvězda o malé hmotnosti, v jejímž nitru nemůže dojít k zažehnutí termojaderných reakcí. Podobné procesy (výtrysky) můžeme pozorovat především u mladých hvězd. Výsledky tohoto pozorování napovídají, že vznik hnědých trpaslíků probíhá obdobně jako vznik obyčejných hvězd. Zásadní rozdíl mezi hvězdou a hnědým trpaslíkem spočívá v tom, že teplota v nitru hnědého trpaslíka nikdy nedosáhne bodu vzplanutí dostatečně energetických termojaderných reakcí (alespoň 8 milionů °C). Přestože hnědí trpaslíci nejsou v pravém slova smyslu hvězdami, mají k nim velice blízko - mnohem blíže než k planetám - a proto je také k hvězdám řadíme. Rozdíl mezi

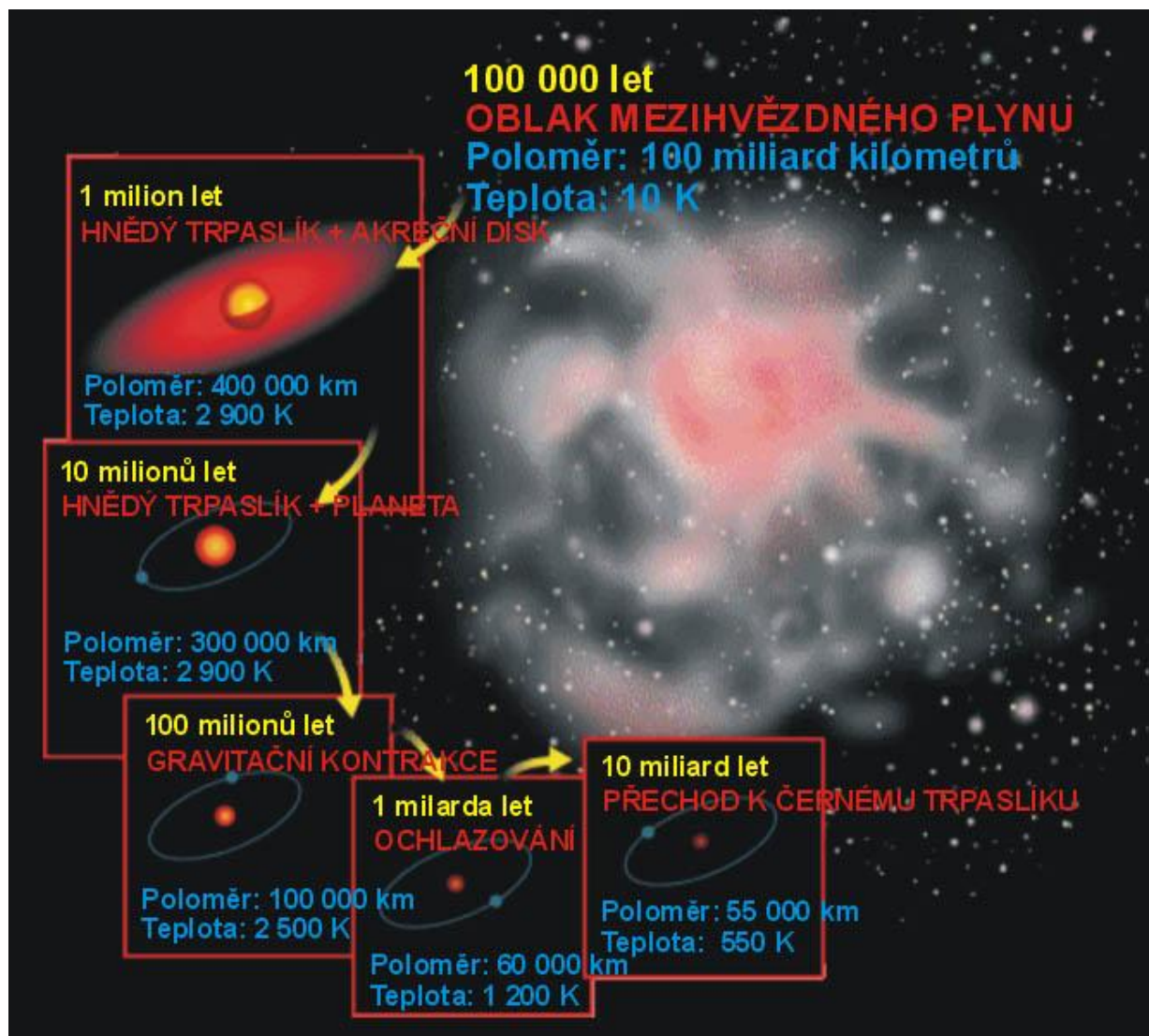
planetou a hnědým trpaslíkem je proto především ve způsobu jejich vzniku. Nutno podotknout, že hnědí trpaslíci nejsou ve skutečnosti hnědí, ale červení - pojem červený trpaslík je označení pro hvězdy červené barvy, jsou to málo hmotné hvězdy. Osud hnědého trpaslíka je, ostatně jako osud jakéhokoli jiného objektu, určen jeho počáteční hmotností. Ta je u těchto objektů menší než cca $0,08 M_{\odot}$. Znamená to, že v jejich nitru nedosáhne nikdy teplota hodnoty přibližně 8×10^6 K, při které dochází k zapálení dostatečně účinných jaderných reakcí, které kryjí energetické ztráty způsobené vyzařováním povrchu. Objekt se proto nadále gravitačně hroutí do doby, než dojde k elektronové degeneraci vnitřních vrstev. Jak víme, tlak v elektronově degenerovaném plynu prakticky vůbec nezávisí na teplotě - kontrakce objektu jako celku se zastaví. Svrchní vrstvy, kterých se elektronová degenerace zatím nedotkla, však dále gravitačně kontrahují, ale poloměr hnědého trpaslíka se s časem již mění zcela nepatrně. Poté, co zdegenerují i svrchní vrstvy, se kontrakce zastaví zcela. Protože povrchová teplota je ale nenulová, dochází k další ztrátě energie vyzařováním. Děje se tak ale výhradně na úkor vnitřní energie, potenciální energie zůstává konstantní. Objekt postupně chladne na povrchu i uvnitř, jeho celkový zářivý výkon klesá. Během prvních 3 miliard let poklesne svítivost hnědých trpaslíků o plné čtyři řády. Hnědý trpaslík se pozvolna stává nezářícím černým trpaslíkem (mrtvou vyhaslou hvězdou), chladným tělesem tvořeným degenerovaným plynem, zejména vodíkem. Foto hnědého trpaslíka ukazuje (obr. 194) a jeho vývojové fáze hnědého trpaslíka ukazuje (obr. 195).

Třída	Povrchová teplota (K)	Barva hvězdy	Typ hvězdy	Příklady hvězd	Hmotnost	Poloměr	Svítivost
O	50000 - 30000	modrá	modří nadobří	ζ Pup, δ Pup, ζ Ori	20 - 50	15	1 400 000
B	30000 - 11000	modrobílá	nadobří, bílí trpaslíci	Regulus, Rigel, Spica, Sirius B	3,2 - 17	7	20 000
A	11000 - 7500	bílomodrá	nadobří, bílí trpaslíci, hvězdy hl. posloupnosti	Deneb, Castor, Vega, Altair, Sirius A, Prokyon B	1,8 - 3,2	2,5	80
F	7500 - 6000	žlutobílá	nadobří, hvězdy hl. posloupnosti	Canopus, Polárka, Procyon	1,2 - 1,7	1,3	6
G	6000 - 5000	žlutá	nadobří, hvězdy hl. posloupnosti	Slunce, Capella	0,8 - 1,1	1,1	1,2
K	5000 - 3500	oranžová	červení nadobří, červení obří, hvězdy hl. posloupnosti	Pollux, Arktur, Dubhe (α UMa)	0,6 - 0,8	0,9	0,4
M	3500 - 3000	červená	červení nadobří, červení obří, červení trpaslíci	Mira Ceti, Betelgeuse, Antares, Barnardova hvězda, Proxima Centauri, VV Cephei A	0,008 - 0,05	0,4	0,04

Tabulka 4: Spektrální třídy hvězd

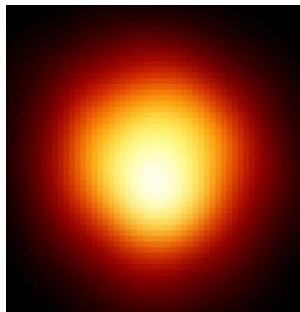


Obrázek 194: Foto hnědého trpaslíka



Obrázek 195: Vývojové fáze hnědého trpaslíka

Je-li hmotnost hvězdy kolem $0,5 - 5 M_{\odot}$ (patří sem naše Slunce – střední hvězdy), po spálení veškerého paliva se hvězda obrovsky zvětší na rudého (červeného) obra (obr. 196). Po nějakém čase odhodí vrchní obal a zůstane z něj jen malé jádro (přibližně o velikosti Země) – stane se z něj bílý trpaslík, který po několika milionů a miliard let bude chladnout, až se promění v černého trpaslíka.



Obrázek 196: Rudý (červený) obr

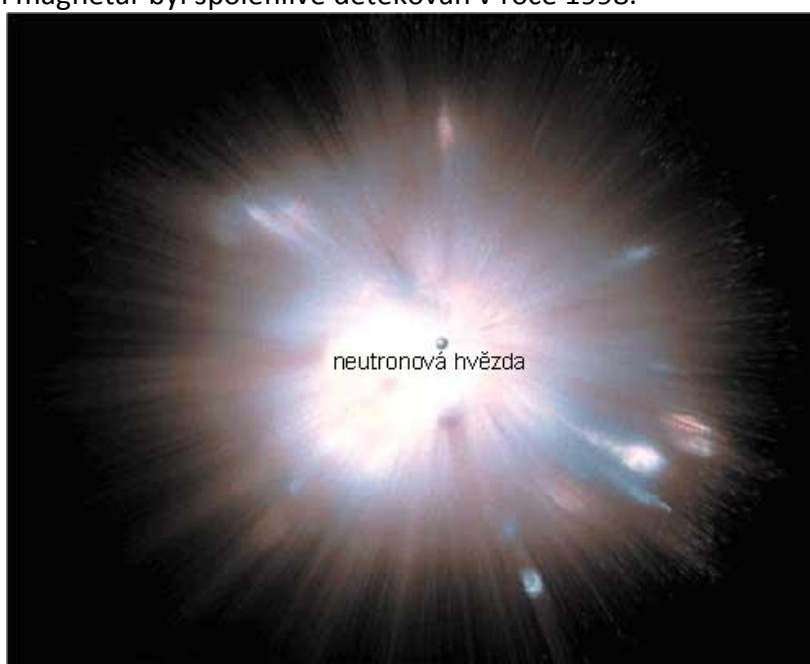
Je-li hmotnost hvězdy kolem $5 - 15 M_{\odot}$ (obři), prochází klasickým vývojem od žlutého obra až pod červeného obra, ale jelikož je její hmotnost daleko větší (větší gravitace) než u hvězd s malou nebo střední hmotností, se po dohoření heliové fáze jádro smrští mnohem více. Tím teplota roste

až do té doby, kdy překročí potřebnou hodnotu k zapálení termonukleární fúze uhlíku. Výsledkem je zánik hvězdy v podobě mohutného výbuchu supernovy a vznik neutronové hvězdy (obr. 197, 198, 199).

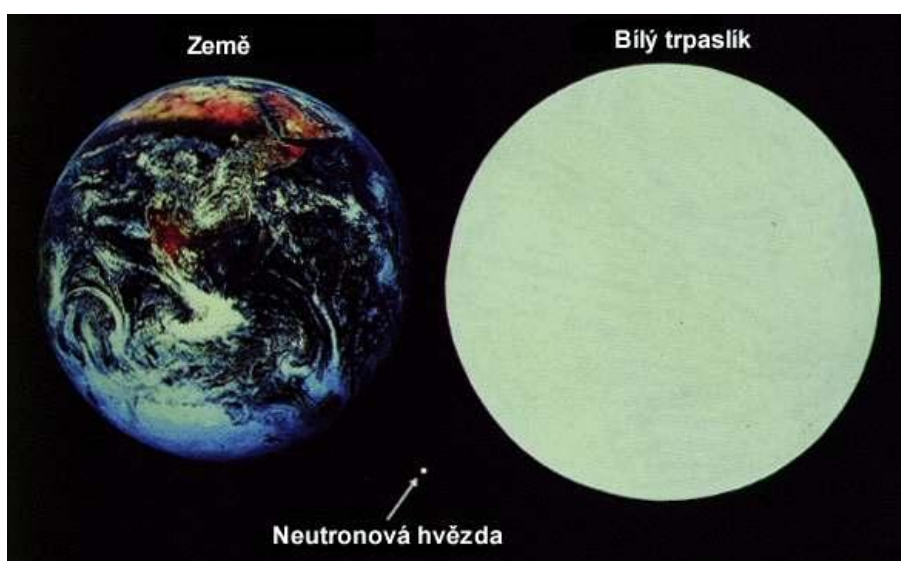
Neutronová hvězda je shluk neutronového plynu o rozměrech desítky kilometrů. Neutronová hvězda má velmi silné magnetické pole, její jádro je složeno převážně z neutronů. Tlak degenerovaných neutronů odolává gravitaci. Extrémní hustota při malých rozměrech (do 50 km). Pole běžných neutronových hvězd do 10^8 T. Neutronové hvězdy byly teoreticky předpovězeny ve 30. letech 20. století.

Pulsar - neutronová hvězda, jejíž magnetická a rotační osa nemají shodný směr. Zářící oblasti v magnetických pólech hvězdy díky rotaci vytvářejí pro pozorovatele majákovým efektem pulsy, zpravidla radiové, výjimečně až rentgenové. První pulsar byl objeven v roce 1967.

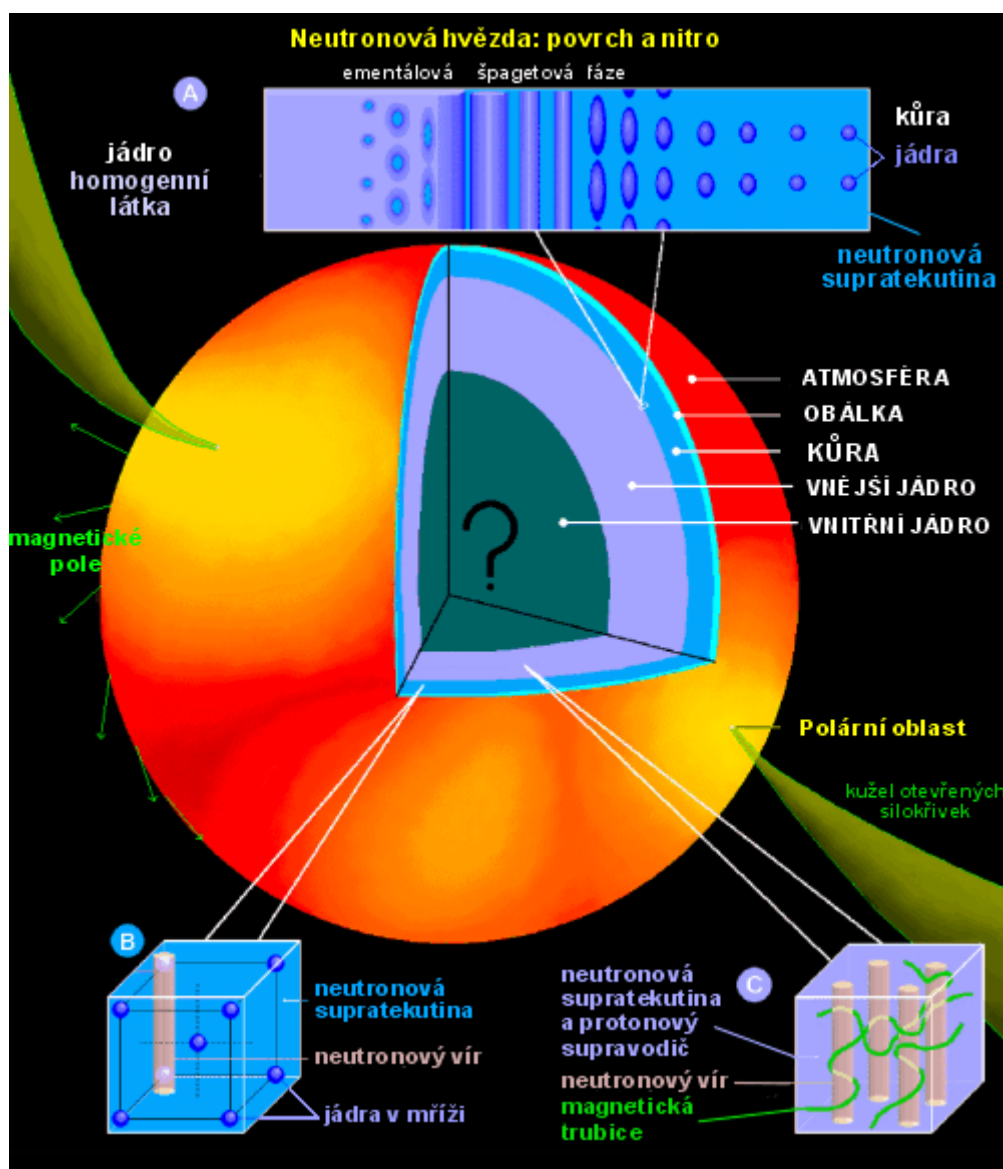
Magnetar - neutronová hvězda s mimořádně silným magnetickým polem až 10^{12} T. Kůra je již nestabilní, praská, dochází k pravidelným magnetotřesením doprovázeným záblesky v měkkém gama oboru. První magnetar byl spolehlivě detekován v roce 1998.



Obrázek 197: Výbuch supernovy a vznik neutronové hvězdy

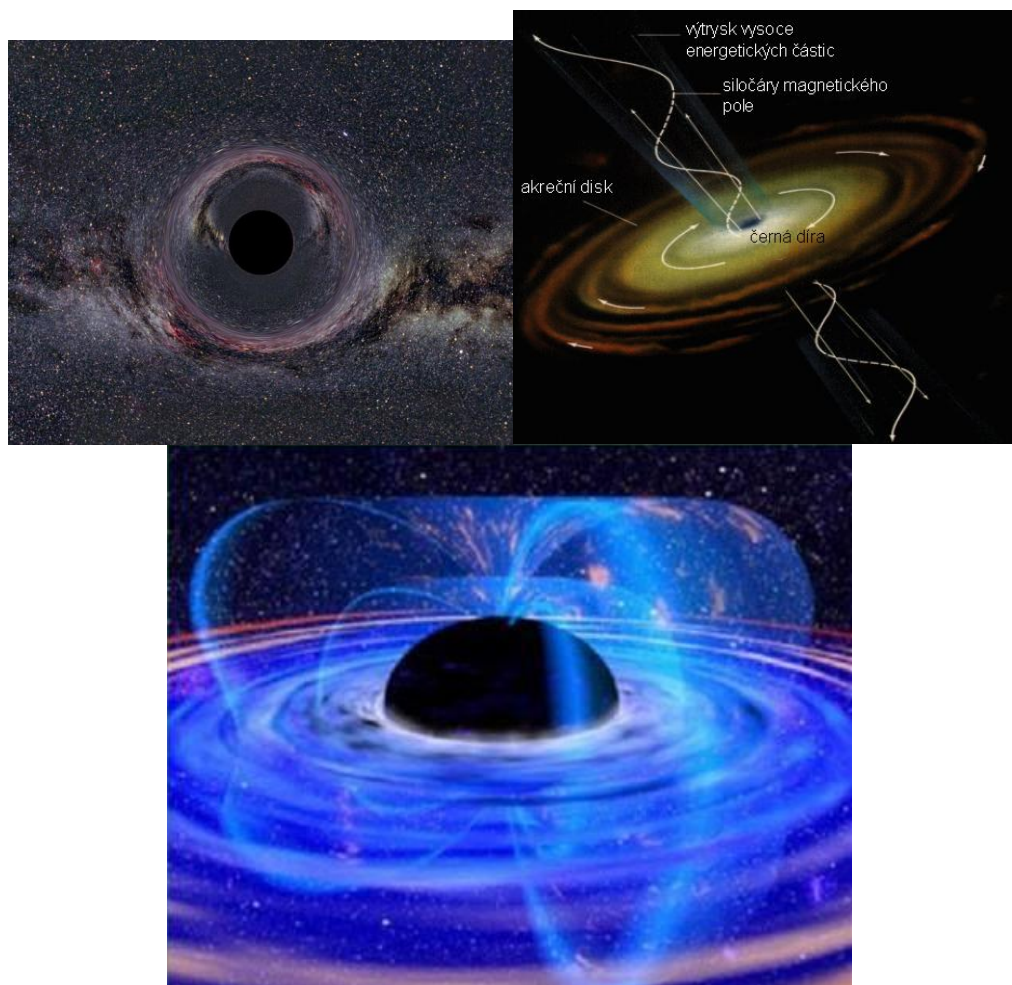


Obrázek 198: Velikost neutronové hvězdy v porovnání se Zemí a bílým trpaslíkem



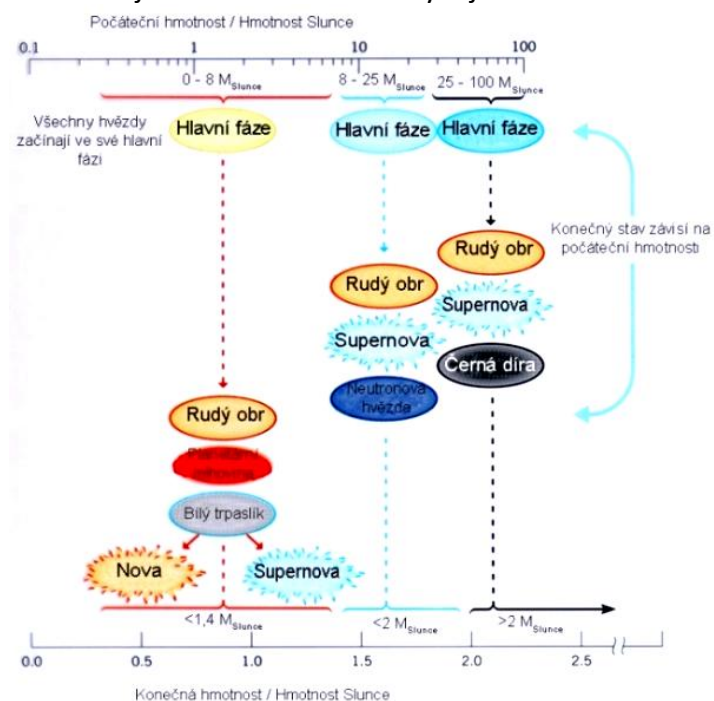
Obrázek 199: Řez neutronovou hvězdou

Je-li hmotnost hvězdy kolem **25 a více $M_{\odot}$** (veleobři), pokud hvězda s počáteční hmotností $25 M_{\odot}$ začne umírat, odehrává se prakticky stejný vývoj jako ten, který předchází vytvoření neutronové hvězdy. Hlavní fáze, rudý obr, supernova. Poslední fáze se však liší. Zatímco se smršťování neutronové hvězdy zastaví, gravitace je vyrovnána tlakem degenerovaných neutronů, při vzniku **černých děr** () neustále pokračuje - tlak degenerovaných neutronů je příliš slabý. Tuto kontrakci pak můžeme pozorovat až do doby, kdy se hvězda uzavře před okolním vesmírem vytvořením tzv. *Schwarzschildova poloměru* neboli *horizontu událostí*. Jediné, co si černá díra zachovává do dalšího vývoje, je hmotnost, moment hybnosti a elektrický náboj. Horizont má kruhový tvar a je zviditelněn tečnými paprsky světla, jež vznikly přesně na rozhraní mezi dvěma prostory. Paprsek světla letící v prostoru mimo horizont je silně ohnut, avšak může z dosahu černé díry uniknout. Na druhou stranu, paprsek, který vletí přímo do prostoru ohraničeného horizontem, je černou dírou pohlcen. Horizont událostí je oblast v prostoru, po jejímž překročení vše i světlo padá do černé díry a nemůže se z ní dostat.

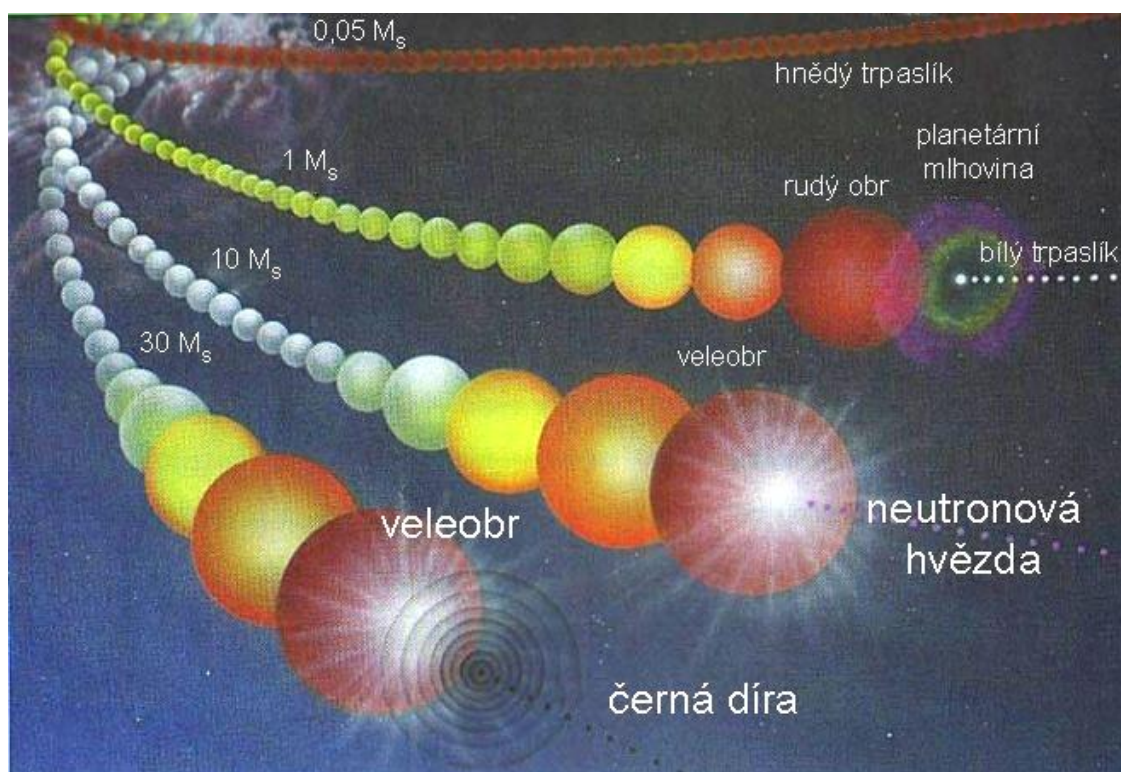


Obrázek 200: Černé díry

Celkový vývoj hvězd ukazuje *tab. 5 a obr. 201* a vývoj vesmíru *obr. 202*.



Tabulka 5: Vývoj hvězd



Obrázek 201: Vývoj hvězd

ČAS	ÉRA	VZNIKÁ	TEPLOTA (K)	HUSTOTA (kg.m^{-3})
10^{-44} s	kvantová	?		
10^{-23} s	hadronová	protony, neutrony	10^{33}	10^{97}
10^{-4} s	leptonová	elektrony, neutrina	10^{12}	10^{17}
10 s			10^{10}	10^7
10^5 let	záření	reliktní záření		
10^6 let			3000	10^{-18}
10^8 let		protogalaxie, galaxie a kvasary, naše Galaxie		
10^9 let				
$10 \cdot 10^9$ let			30	10^{-23}
$11 \cdot 10^9$ let		sluneční soustava		
$2 \cdot 10^9$ let				
$3 \cdot 10^9$ let		život na Zemi		
$4 \cdot 10^9$ let	látky			
$5 \cdot 10^9$ let				
$5,2 \cdot 10^9$ let				
$5,4 \cdot 10^9$ let				
$5,6 \cdot 10^9$ let		vícébuněčné organismy		
$5,8 \cdot 10^9$ let		savci		
$16 \cdot 10^9$ let		člověk	3	10^{-27}

Obrázek 202: Vývoj vesmíru

10.4. Merkur

Merkur je malá, skalnatá planeta bez měsíce, pokrytá velkým množstvím kráterů (*obr. 203*). Jeho oběžná dráha je blíže Slunci než dráha Země, proto se na nebi nikdy příliš nevzdaluje od Slunce. Merkur má velmi řídkou atmosféru, tvořenou hlavně sodíkem, se stopami vodíku a helia. Teplota na jeho povrchu po západu Slunce velmi rychle klesá až na $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ a přes den vystupuje na $430\text{ }^{\circ}\text{C}$. Merkur se otočí kolem vlastní osy jednou za 59 našich dní. Jeho doba oběhu kolem Slunce trvá 88 dní. Tento poměr způsobuje, že od jednoho svítání na Merкуру ke druhému uplynou dva Merkurovy roky (176 našich dní). Dráha Merkura kolem Slunce je protáhlá elipsa, jejíž stáčení v minulém století vysvětlovali astronomové existencí jiné planety. V roce 1916 vysvětlila stáčení dráhy Merkuru Einsteinova teorie relativity.

Hmotnost $3,3 \times 10^{23}\text{ kg}$

Průměr 4870 km

Hustota $5430\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

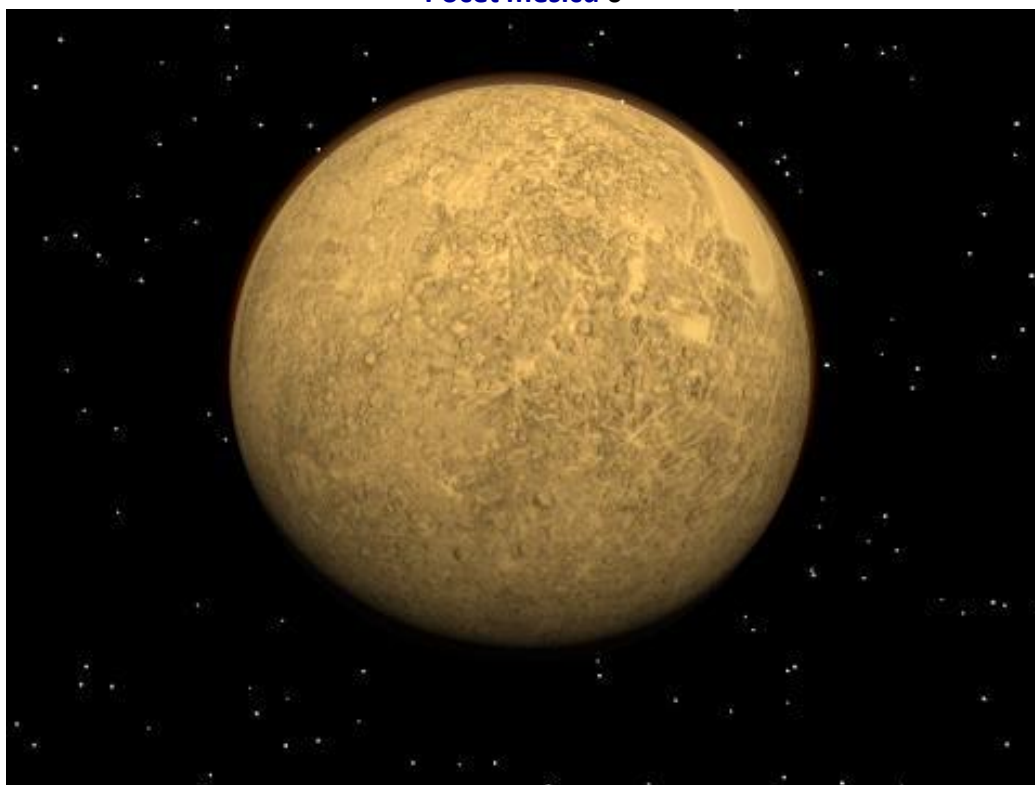
Povrchová teplota -180°C až 430°C

Doba otočení kolem osy 58,65 dne

Doba oběhu kolem Slunce 88 pozem. dní

Průměrná vzdálenost od Slunce 58 mil. km

Počet měsíců 0



Obrázek 203: Planeta Merkur

10.5. Venuše

Venuše, **perla oblohy**, starověkými astronomy zvaná též **Jitřenka** nebo **Večerka**. Venuše nese jméno podle řecké bohyně jara a probouzející se přírody, později však známé jako bohyně lásky a krásy a stejně tak, jako je tajemná láska, tak i Venuše před námi skrývá svou tvář a halí ji do oblaků a par. Toto jméno jí snad bylo přisouzeno díky jasnosti Venuše na obloze. A když se mnohem

později určovala jména objektů na povrchu, objevitelé pokračovali a byla jim, až na pár výjimek, dána ženská jména.

Venuše je druhou planetou od Slunce a její dráha leží nejbližší Země (*obr. 204*). Hustá oblaka kyseliny sírové zabraňují přímému pozorování povrchu. Díky skleníkovému efektu dosahuje teplota povrchu Venuše až 480 °C. Venuše krouží kolem Slunce takřka po kruhové dráze ve vzdálenosti 108 milionů km s periodou 225 dní. Otočení kolem vlastní osy (ve směru hodinových ručiček, proti oběhu, tzv. retrográdní rotace) trvá 243 pozemských dnů. To znamená, že na Venuši Slunce vychází a zapadá jen 2-krát za 1 oblet Slunce. Oblaka Venuše dobře odrážejí sluneční svit a proto je tato planeta po Slunci a Měsíci nejjasnějším tělesem na obloze. Na jaře můžeme Venuši spatřit na západní obloze chvíli po západu Slunce - proto jí lidé říkají Večernice. Přes tři měsíce potom vychází na východní obloze stejná planeta s tříhodinovým předstihem před Sluncem jako Jitřenka. Povrch této "sestry Země", zahalený v husté atmosféře, nám umožnily pozorovat teprve kosmické sondy, které sestoupily až k jejímu povrchu. Kosmická sonda Magellan, vypuštěná na oběžnou dráhu Venuše, zmapovala radarem detaily povrchu a objevila obrovské krátery, způsobené dopadem obřích meteoritů. Podmínky na Venuši jsou z pohledu člověka dosti nepříznivé: 95-krát vyšší tlak než na Zemi, deště kyseliny sírové a teplota 480°C. Tuto vysokou teplotu způsobuje skleníkový efekt. Sluneční záření proniká atmosférou a ohřívá Venuši. Tepelné záření jejího povrchu však atmosféra s velkým podílem CO₂ nepropustí zpět do Vesmíru. Ve vyšších vrstvách atmosféry by mohly přežívat nízké formy organismů (bakterie). Na Venuši je mnoho sopek, některé až 3 km vysoké a 500 km široké. Krátery, sopky a ztuhlé potoky lávy se za miliony let téměř nezměnily - nejsou tam bouřky, změny teplot, led ani jiné činitele, způsobující zvětrávání.

Hmotnost $4,87 \times 10^{24}$ kg

Průměr 12 100 km

Hustota 5250 kg m⁻³

Povrchová teplota max. 480 °C

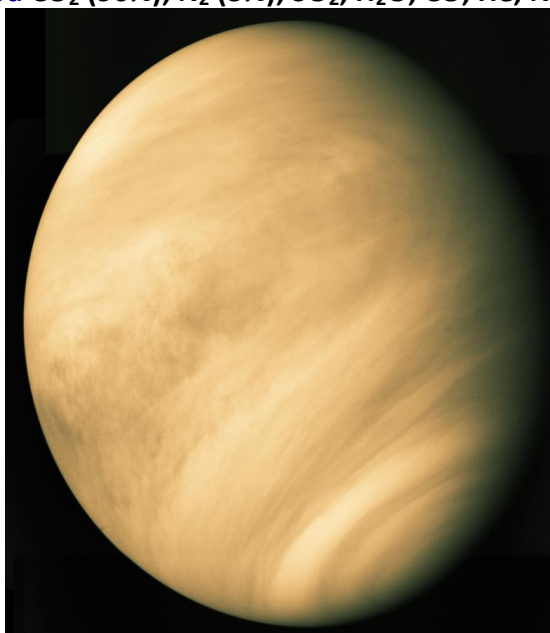
Doba otočení kolem osy 243 dní

Doba oběhu kolem Slunce 224,7 pozem. dní

Průměrná vzdálenost od Slunce 108×10^6 km

Počet měsíců 0

Atmosféra CO₂ (96%), N₂ (3%), SO₂, H₂O, CO, He, Ne, HCl, HF



Obrázek 204: Planeta Venuše

10.6. Planeta Země

Země je třetí planeta naší sluneční soustavy, počítáno z pohledu Slunce, od kterého je vzdálena 150 miliónů kilometrů a je zatím jedinou známou planetou, na které existuje život (*obr. 205*). Je to mimo jiné také otázka vzdálenosti naší planety od Slunce, která je právě taková, že jsou zde takřka ideální podmínky pro život. Kdyby naše planeta obíhala blíže Slunci, pak by na Zemi bylo příliš velké horko, v opačném případě by naopak bylo příliš chladno, aby zde mohl vzniknout život. Země je stále v pohybu, obíhá nejenom kolem Slunce a kolem vlastní osy, ale zároveň spolu se Sluneční soustavou obíhá v rámci Mléčné dráhy. Naše atmosféra se skládá ze 78 % z dusíku, z 21 % kyslíku a 1 % ostatních plynů. Země sestává z těchto vrstev: jádro, plášť, kůra, troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra. Plášť a kůra jsou odděleny tzv. Mohorovičovým rozhraním. Kůra se posouvá a "plave" na polotekutém plášti. Strukturu Země ukazuje (*obr. 206*). Teplota v centru Země je 5 100 °C, tlak 0,4 TPa. Magnetické pole Země má přibližně dipólový charakter, je deformováno Slunečním větrem do charakteristického tvaru.

Hmotnost $5,9 \times 10^{24}$ kg

Průměr 12 700 km

Hustota $5\,520 \text{ kg m}^{-3}$

Magnetický dipólový moment $8 \times 10^{15} \text{ T} \cdot \text{m}^3$

Průměrná povrchová teplota 13 °C

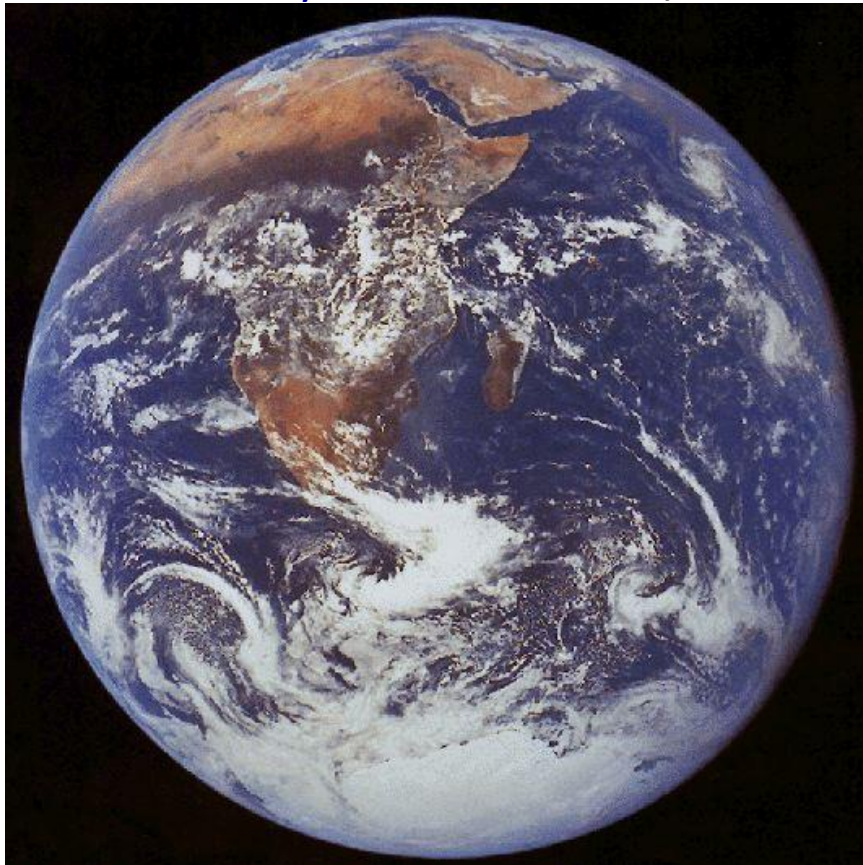
Doba otočení kolem osy 1 den

Doba oběhu kolem Slunce 365,256 dne

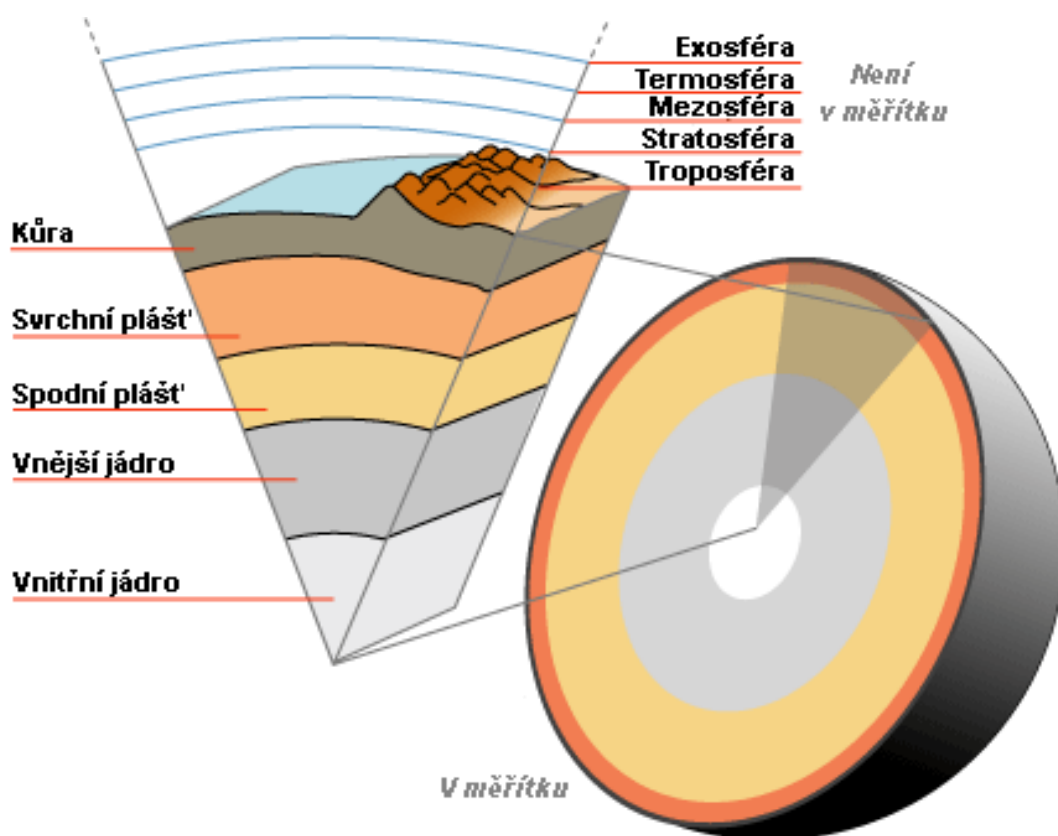
Průměrná vzdálenost od Slunce 149×10^6 km

Počet měsíců 1

Oběžná rychlost kolem Slunce 30 km/s



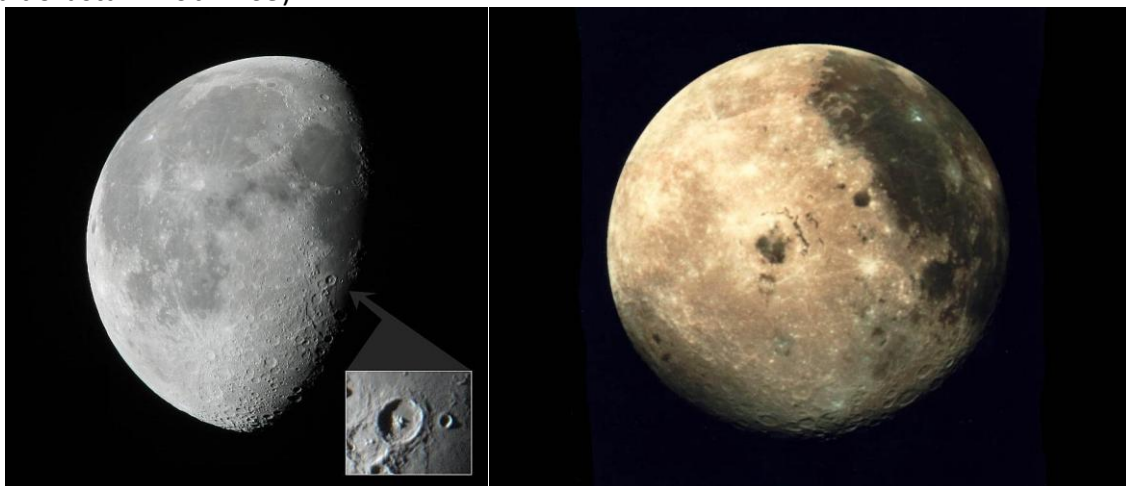
Obrázek 205: Planeta Země



Obrázek 206: Struktura planety Země

Měsíc

Měsíc je samozřejmě znám již z dob prehistorických. Hned po Slunci je to druhý nejjasnější objekt na naší obloze. Měsíc (*obr. 207*) je také jediný přirozený satelit Země a na obloze je viditelný pouze proto, že odráží sluneční paprsky, stejně jako je tomu i u ostatních měsíců a planet. Měsíc má vázanou rotaci, to znamená, že k nám má přivrácenu po celou dobu oběhu stejnou stranu. Měsíc nemá atmosféru, kůra Měsíce je v průměru 68 km silná, ale kolísá mezi 0 km pod Mare Crisium až po 107 km v blízkosti kráteru Korolev na jeho odvrácené straně. Jádro Měsíce je pevné s průměrem asi 700 km a již neaktivní. Měsíc také nemá magnetosféru, proto je jeho povrch přímo vystaven působení částic ze slunečního větru. U Měsíce pozorujeme jeho fáze (od úplňku, couvání, novu a dorůstání – *obr. 208*).

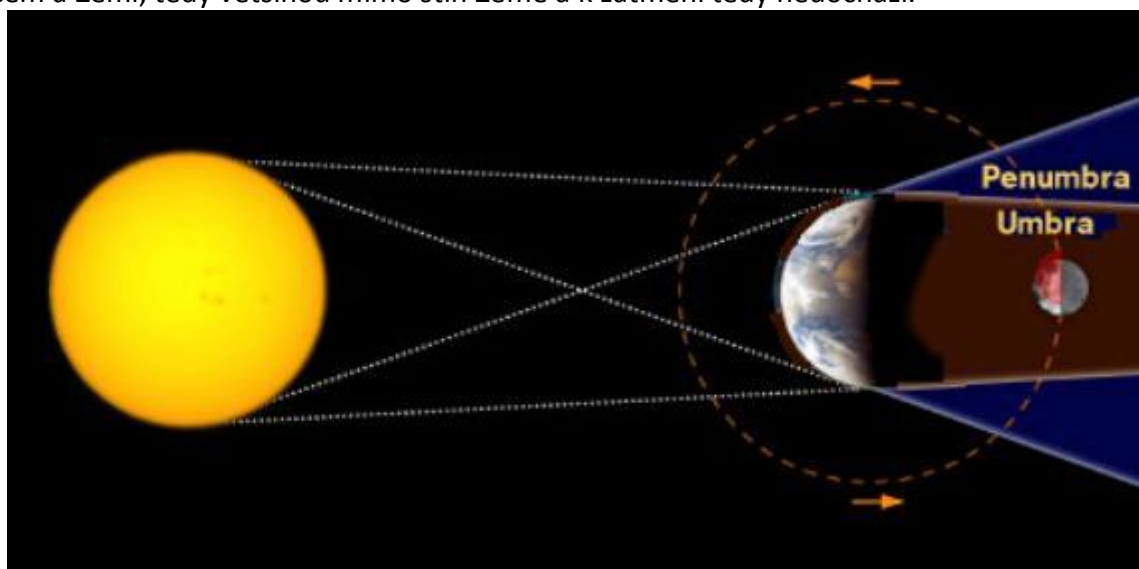


Obrázek 207: Měsíc - přirozená družice Země



Obrázek 208: Měsíční fáze

Na obloze můžeme občas pozorovat zatmění Slunce nebo Měsíce. Zatmění Měsíce nastává, jestliže se Měsíc dostane do stínu Země, při zatmění Slunce dopadne naopak na naši Zemi jeho stín (obr. 209). Úplné zatmění Měsíce může nastat jedině při úplňku. Tedy Slunce, Země a Měsíc leží na jedné přímce a zároveň ve stejné rovině. Země vrhá kuželovitý stín, který se promítá hluboko do vesmíru (1,4 mil. kilometrů). Měsíc obíhá mnohem blíže kolem Země, než kam dosahuje vrchol tohoto kuželu, ale přeci nemusí dojít k zatmění při každém úplňku. Příčinou je oběžná dráha Měsíce, která svírá s ekliptikou úhel 5° a její poloha se v prostoru neustále mění. Aby došlo k zatmění, musí Měsíc procházet stínem vrženým naší Zemí, který se skládá z úplného stínu (umbra) a polostínu (penumbra). Při úplňku se Měsíc většinou nachází pod nebo nad spojnici mezi Sluncem a Zemí, tedy většinou mimo stín Země a k zatmění tedy nedochází.



Obrázek 209: Zatmění Měsíce

Vzdálenost Měsíce od Země: 384 400 km

Průměr: 3 476 km

Hmotnost: $3,75 \times 10^{22}$ kg

Teorie o vzniku Měsíce:

Společný vznik - Měsíc "bratrem" Země.



Nejjednodušší způsob, jakým by se mohl vznik Měsíce vysvětlit, je společná akrece. Znamenalo by to, že se náš satelit poslepoval z pevných částic, které byly v blízkosti Země a obíhaly kolem hmotného středu rodícího se dvojsystému Země-Měsíc. Tato hypotéza má však několik trhlín: Především je to rozdílné složení Země a Měsíce.

Zachycení - Měsíc "manželem" Země.



Docela lákává se zdála být myšlenka z roku 1955 (H. Gersternkorn), že Měsíc nejprve samostatně obíhal jako velký asteroid nebo jiné těleso kolem Slunce a teprve později byl zachycen gravitací naší planety. Tato hypotéza je málo pravděpodobná i proto, že je téměř nepravděpodobný sám způsob zachycení.

Održení - Měsíc "synem" Země



Domněnka o vzniku Měsíce rozdělením Země a odtržením části naší mladé planety pochází z roku 1879. Jejím autorem je George Darwin, druhý syn slavného přírodovědce Charlese Darwina. Předpokládal, že Země zpočátku velmi rychle rotovala. Pak by ovšem slapové síly Slunce měly naši Zemi silně zdeformovat. Svým tvarem by Země připomínala protáhlou kapku. Výduť, která by se vytvořila v rovníkových částech planety, by se postupně vyťahovala směrem od Země, až by se její spojení s mateřským tělesem přerušilo. Takto vzniklé samostatné těleso (Měsíc) by se postupně vzdalovalo od Země. Současně by se zpomalovala původně rychlá rotace naší planety. Byl by to důsledek fyzikálního zákona o zachování celkového momentu hybnosti v soustavě Země-Měsíc: získává-li jej Měsíc (přechodem na poněkud vzdálenější dráhu kolem Země), ztrácí jej Země (zpomalováním rotace). O deset let později uvažoval Osmond Fisher o tom, že Měsíc se oddělil od Země v místech, kde se nyní rozkládá Tichý oceán. Toto je z dnešního pohledu zcela chybná úvaha - kontinenty se po plášti Země pohybují a Tichý oceán je tedy na povrchu naší planety jen přechodnou záležitostí. Darwinova domněnka byla přijímána po 30 let, dokud Forest Moulton nepoukázal na její podstatnou závadu: moment hybnosti soustavy Země-Měsíc k utvoření takové rovníkové výduť nestačí. Navíc vnitřní tření by utlumilo jakékoliv větší tvarové nepravidelnosti způsobené slapovými silami Slunce.

Teorie velkého impaktu

Kolem roku 1974 se zrodila velmi směrlá teorie o vzniku Měsíce (dnes nejpřijatelnější). Přišli s ní hned dva vědecké týmy (William Hartmann, Donald Davis a Alastair Cameron, William Ward), kteří na základě simulací vývoje systému Země - Měsíc došli k závěru, že naše planeta se v období svého formování (asi před 4,5 miliardami roků) srazila s jinou, menší planetesimálou. Od té doby vědci získávají stále více důkazů, které tomuto poněkud drastickému zrození našeho souseda nasvědčují. Srážka urychlila zemskou rotaci. Při přetavení se obohatil pláštěm impaktoru, zatímco Země jeho jádrem, což by vysvětlovalo velmi nízkou hustotu Měsíce. Těleso, se kterým se protozemě střetla, bylo pravděpodobně velké jako Mars (průměr 6 787 km). Srážka to musela být impozantní: Odhaduje se, že střet mohl být registrován na vzdálenost až 200 světelných let! Projektil s rychlostí přes čtyřicet tisíc kilometrů za hodinu se k Zemi přibližil z boku a pořádně se o ní otřel. Z pevného gravitačního objektu se však už nedostal; oblétl Zemi o sto osmdesát stupňů a definitivně se zabořil do její kůry. Pohybová energie tělesa se proměnila v gigantickou explozi - atmosféra se okamžitě vypařila, povrch planety se ohřál na teplotu deset tisíc stupňů Celsia. Nepředstavitelná kolize roztavila plášť Země a téměř celou dopadající planetesimálu. Značná část této žhavé směsi se ihned odpařila (tak zmizely těkavé látky, které na Měsíci nejsou) a zbytek se dostal v podobě plynu a žhavých kapiček na oběžnou dráhu kolem Země. Žhavý prstenec se počal rozpínat až do vzdálenosti, kde plyn i kapičky kondenzovaly na prachová zrnka, ta se pak spojila do větších hrud. Větší hroudy se znovu rychle spojovaly, až nakonec vzniklo jediné kompaktní těleso - Měsíc! Udivující je rychlost, s níž se Měsíc vytvořil: od okamžiku srážky neuplynulo více než jedno

století. Tehdy byl ovšem Měsíc vzdálen pouze 20 000 km (oproti dnešním 384 401 km). To způsobily slapové jevy. Země si na tuto kosmickou srážku nese trvalou památku: její rotační osa, původně kolmá k oběžné rovině, se po tečném nárazu sklonila šikmo a vykonává pomalý kývavý pohyb s periodou 26 000 roků tzv. precese. Nové počítačové simulace a složité modely, na kterých pracuje několik vědeckých týmů, se snaží co nejpřesněji určit scénář celé události. Jeden z možných modelů, který počítá s menšími rozměry impaktoru, než s jakými se dosud uvažovalo (asi 10% zemské hmoty), si můžete prohlédnout na animaci vědeckého týmu pod vedením Robina M. Canupa z Southwest Research Institute při Kalifornské univerzitě.

10.7. Mars

Mars (Rudá planeta) je třetí nejmenší planetou (po Merkuru a Plutu) a obíhá jako čtvrtá planeta kolem Slunce (*obr. 210*). Na obloze nás upoutá jeho načervenalá barva a proto je často označován za Rudou planetu. Horniny, půda a obloha mají červený nebo růžový odstín. Výrazná červená barva byla hvězdáři pozorována celou historií. Staré národy ji považovaly za symbol ohně a krve, a proto možná nepřekvapí, že mu bylo jeho jméno dáno Římany na počest jejich boha války. Podobná jména mu daly i ostatní civilizace. Staří Egypťané tuto planetu pojmenovali "*Her Descher*", ve významu červená planeta. Jeho význačnost spočívá v tom, že v minulosti, ale i dnes lidé spojují tuto planetu s mimozemskou formou života. Nedávné (1996) výzkumy meteoritu z povrchu Marsu, nalezeného v Antarktidě, připouštěli existenci života na Marsu před 3,8 miliardami let. Další podrobné průzkumy tohoto meteoritu tuto domněnku nepotvrdily. Rozpětí teplot, které dnes na Marsu panují (zima ne větší než v Antarktidě), by bylo snesitelné pro některé primitivní formy života, žijící na Zemi. Povrch planety je pokryt načervenalým pískem a prachem. Barva je způsobena vysokým obsahem železa. Načervenalá barva celé planety jí dala jméno (Mars - podle boha válek). Obrovské sopky, z nichž ta největší - Olympus Mons (24 km vysoká, 550 km široká, kráter o průměru 72 km) je největší sopkou Sluneční soustavy, jsou zkamenělými svědky vývoje planety. Charakteristické pro Mars jsou systémy kaňonů, vzniklé pohybem kůry (*obr. 211*). Snímky z Vikingů, Pathfinderu a MGS ukazují místa, kudy dříve tekla voda. Z toho co o Marsu víme, se zdá, že dříve byl Mars vlhčí a teplejší, než je dnes. Mars má dva malé měsíce - Phobos (Strach) a Deimos (Hrůza). Byly to pravděpodobně dříve planetky, které Mars zachytil svou gravitací. Je těžké zpozorovat je i velkým dalekohledem, protože mají průměr jen 23 a 16 km a jde o nepravidelná skaliska posetá krátery.

Hmotnost $6,4 \times 10^{23}$ kg

Průměr 6794 km × 6751 km

Hustota 3930 kg m⁻³

Povrchová teplota -130 °C až +17 °C

Povrchový tlak 590 Pa až 1400 Pa

Sklon rotační osy 24° **Doba otočení kolem osy** 24h 39min

Doba oběhu kolem Slunce 687 poz. dní

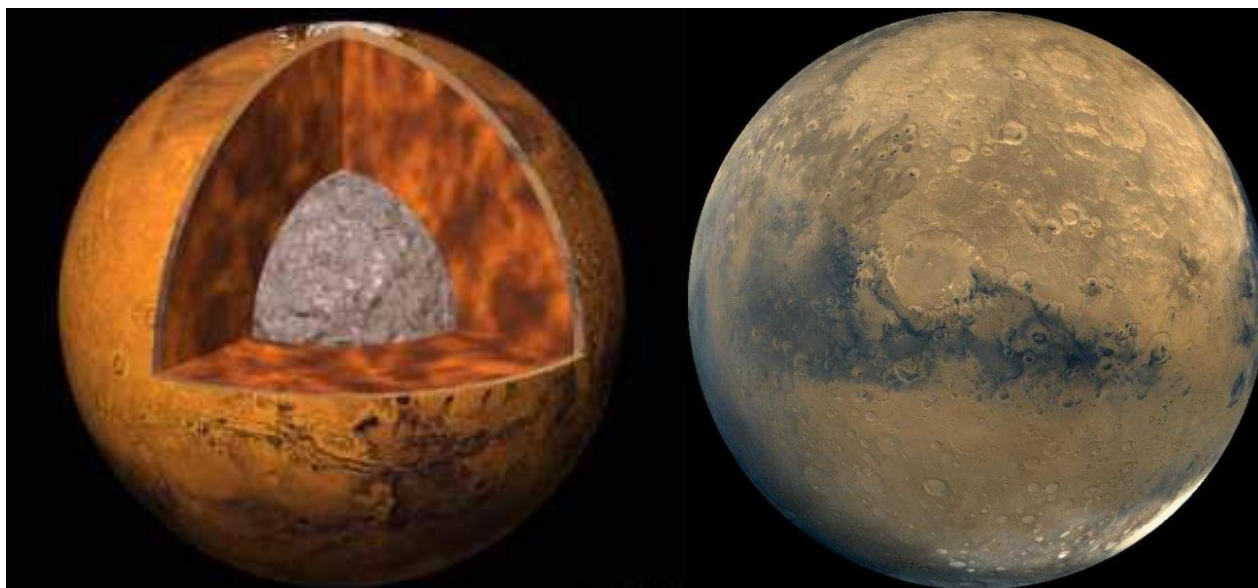
Vzdálenost od Slunce (207 až 249) × 10⁶ km

Průměrná oběžná rychlost 24 km/s

Gravitační zrychlení 3,725 ms⁻²

Úniková rychlost 5,024 ms⁻¹

Počet měsíců 2 – **rozměry Phobose** 22×19 km, **rozměry Deimose** 15×12×11 km



Obrázek 210: Planeta Mars



Obrázek 211: Povrch planety Mars

10.8. Jupiter

Jupiter je první z tzv. obřích planet a zároveň je největší a nehmotnější planetou sluneční soustavy. Je složen převážně z plynů, jejichž chemické složení je podobné Slunci. Rychlá rotace Jupiteru (s periodou 10 hodin) způsobuje vydouvání rovníkových vrstev a vznik pestře zbarvených pásů. Charakteristickým útvarem Jupiterovy atmosféry je Velká červená skvrna, větší než naše planeta (obr. 212).

K Jupiteru bylo vysláno celkem 5 sond. První byla dvojice sond Pioneer. Nejslavnější se stala mise dvou sond Voyager, která získala podrobné informace o planetě. V letech 1995 až 2003 byla u planety sonda Galileo, která zkoumala zejména Jupiterovy měsíce. Na svou šestiletou cestu byla sonda vypuštěna v roce 1989.

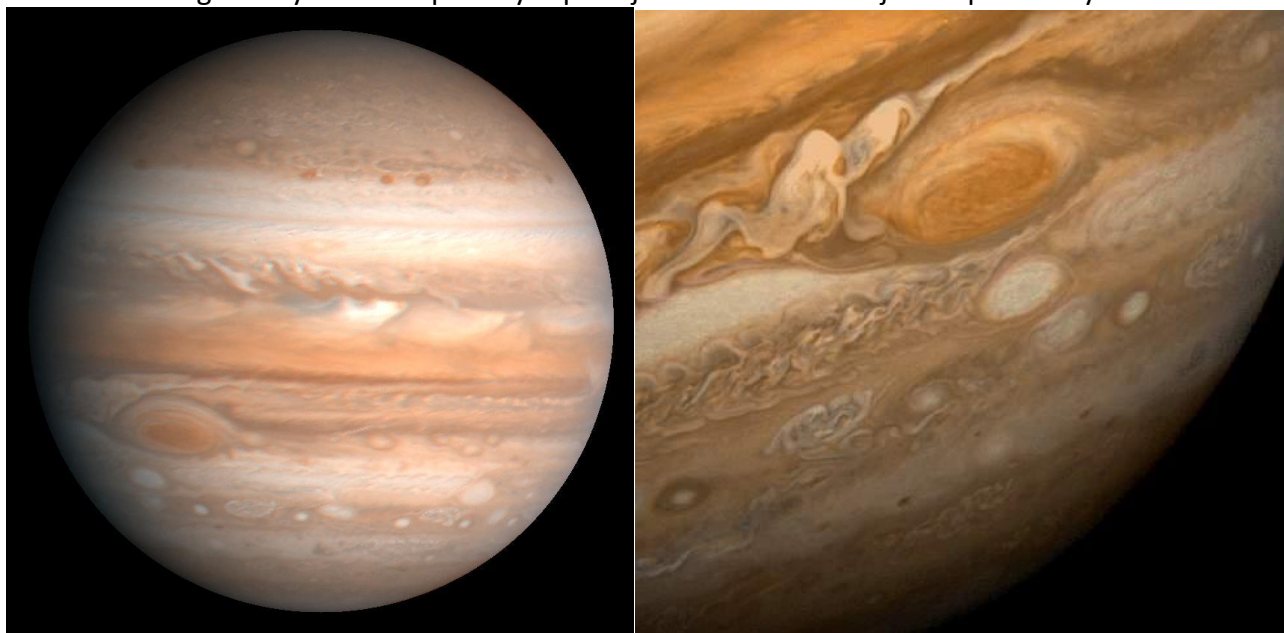
Vnitřní část planety tvoří oceán kapalného vodíku. Jeho hlubší část má díky velkému tlaku odtrhány elektrony z atomárních obalů a vykazuje kovové vlastnosti (tzv. kovový vodík). Vnější část

oceánu je tvořena stlačeným molekulárním vodíkem a tvoří vlastní povrch planety. Hranice mezi kovovým a molekulárním oceánem je v hloubce 17 000 km pod horní vrstvou mraků. Atmosféra obsahuje kromě vodíku a helia také metan, amoniak a vodní páry. Teplota pod oblaky směrem ke středu roste. Na vrcholcích mraků je $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, o 60 km hlouběji je přibližně stejná teplota jako na Zemi, ještě kousek hlouběji je teplota na bodu varu vody. Proudění tekoucí v nitru (v kovovém vodíku) vytvářejí kolem Jupiteru silné magnetické pole. Toto pole je odpovědné za pozorované polární záře způsobené Birkelandovými proudy tekoucími podél magnetických siločar.

Jupiter vydává asi o 60 % více tepelné energie, než přijímá ze slunečního záření. Předpokládá se, že tato energie pochází ze tří zdrojů: teplo z doby vzniku Jupiteru; energie, uvolňovaná pomalým smršťováním planety a energie velmi slabě probíhajících termonukleárních reakcí.

Jupiter má tři slabé prstence, objevené sondou Voyager 1. Soustavy prstenců pozorujeme u všech obřích planet. Jsou složeny z velmi malých, prachových částí (obr. 213).

Magnetosféra Jupiteru je fenomén, který nemá ve sluneční soustavě obdoby. Především se vymyká svou enormní velikostí. Ve směru ke Slunci (denní, návětrná strana) dosahuje magnetosféra až do devadesátinásobku poloměru planety. Ve směru od Slunce (noční strana) se táhne rozsáhlý magnetický ohon až k oběžné dráze Saturnu, tedy do vzdálenosti 5 astronomických jednotek! Magnetosféra je tak obrovská, že by se do ní vešlo Slunce i s korónou. Lineární rozměry magnetosféry jsou stokrát větší než rozměry magnetosféry Země, objem je dokonce větší milionkrát. Magnetický moment planety Jupiter je 20 000-krát silnější než pozemský.



Obrázek 212: Planeta Jupiter

hmotnost $1,9 \times 10^{27}\text{ kg}$

průměr 143 760 km

hustota $1,31\text{ g cm}^{-3}$

povrchová teplota – $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ (svrchní oblačná vrstva)

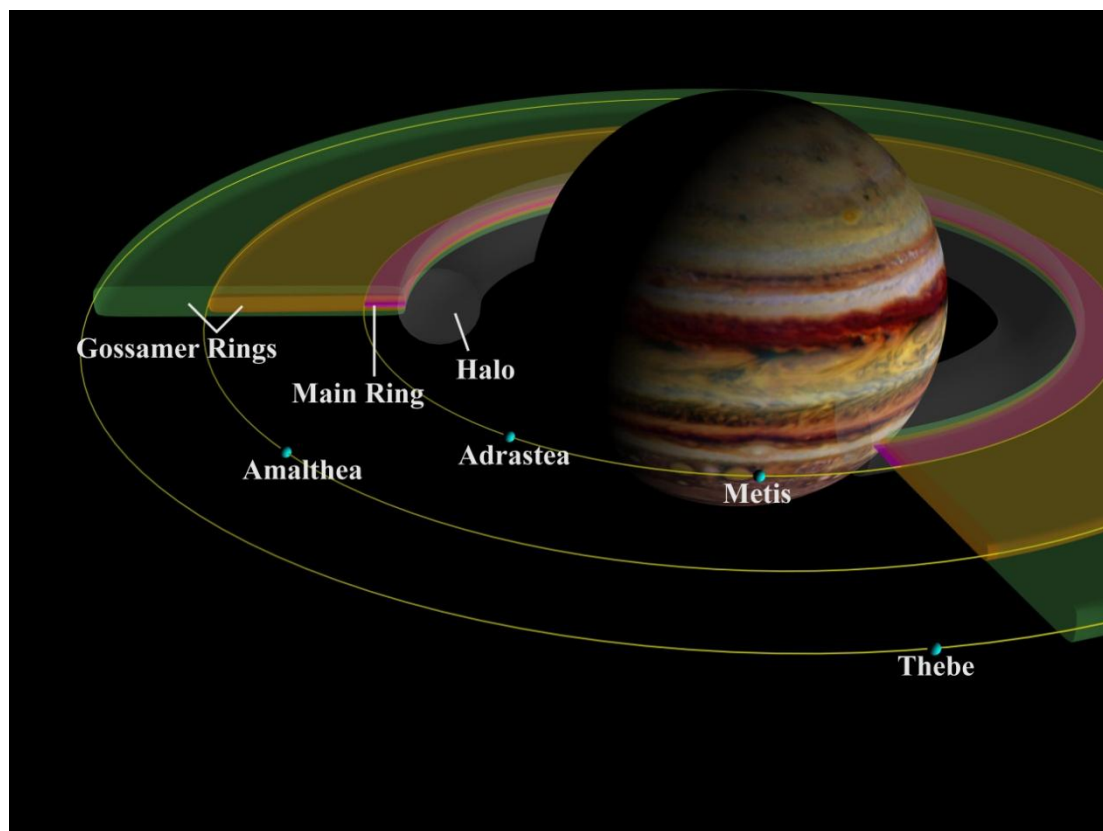
doba otočení kolem osy 9 hodin 55 minut

doba oběhu kolem Slunce 11,86 roku

průměrná vzdálenost od Slunce $778 \times 10^6\text{ km}$

průměrná oběžná rychlost 13 km/s

počet měsíců 63



Obrázek 213: Jupiterovi prstence a některé měsíce

Jupiterovi měsíce

- | | |
|--|---|
| 1 Metis 40 km 128 000 km 1979 | 23 Thyone 4 km 21 312 000 km 2001 |
| 2 Adrastea 20 km 129 000 km 1979 | 24 Pasisthee 2 km 23 029 000 km 2001 |
| 3 Amalthea 189 km 181 300 km 1892 | 25 S/2002 J1 3 km 23 064 000 km 2002 |
| 4 Thebe 100 km 222 000 km 1979 | 26 Kale 2 km 23 124 000 km 2001 |
| 5 Io 3 630 km 422 000 km 1610 | 27 Chaldene 4 km 23 179 000 km 2000 |
| 6 Europa 3 126 km 661 000 km 1610 | 28 Isonoe 4 km 23 217 000 km 2000 |
| 7 Ganymede 5 276 km 1 070 000 km 1610 | 29 Eurydome 3 km 23 219 000 km 2001 |
| 8 Callisto 4 800 km 1 883 000 km 1610 | 30 Erinome 3 km 23 279 000 km 2000 |
| 9 Themisto 8 km 7 507 000 km 2000 | 31 Taygete 5 km 23 360 000 km 2000 |
| 10 Leda 20 km 11 165 000 km 1974 | 32 Carme 46 km 23 404 000 km 1938 |
| 11 Himalia 170 km | 33 Aitne 3 km 23 547 000 km 2001 |
| 11 461 000 km 1904 | 34 Pasiphae 60 km 23 624 000 km 1908 |
| 12 Lysithea 36 km 11 717 000 km 1938 | 35 Kalyke 5 km 23 583 000 km 2000 |
| 13 Elara 86 km 11 741 000 km 1905 | 36 Magaclite 6 km 23 806 000 km 2000 |
| 14 S/2000 J11 4 km 12 555 000 km 2000 | 37 Sponde 2 km 23 808 000 km 2001 |
| 15 Euporie 2 km 19 302 000 km 2001 | 38 Sinope 38 km 23 939 000 km 1914 |
| 16 Iocaste 5 km 20 269 000 km 2000 | 39 Callirhoe 8 km 24 102 000 km 1999 |
| 17 Euanthe 3 km 21 027 000 km 2001 | 40 Autonoe 4 km 24 122 000 km 2001 |
| 18 Harpalyke 4 km 21 105 000 km 2000 | 41 S/2003 J1 4 km 24 557 000 km 2003 |
| 19 Praxidike 7 km 21 147 000 km 2000 | 42 S/2003 J2 2 km 28 570 000 km 2003 |
| 20 Orthosie 2 km 21 168 000 km 2001 | 43 S/2003 J3 2 km 18 340 000 km 2003 |
| 21 Hermippe 4 km 21 252 000 km 2001 | 44 S/2003 J4 2 km 23 257 000 km 2003 |
| 22 Ananke 28 km 21 276 000 km 1951 | 45 S/2003 J5 4 km 24 084 000 km 2003 |

46 **S/2003 J6** 4 km 10 973 000 km 2003
 47 **S/2003 J7** 4 km 23 808 000 km 2003
 48 **S/2003 J8** 3 km 24 514 000 km 2003
 49 **S/2003 J9** 1 km 22 492 000 km 2003
 50 **S/2003 J10** 2 km 24 250 000 km 2003
 51 **S/2003 J11** 2 km 22 395 000 km 2003
 52 **S/2003 J12** 1 km 19 002 000 km 2003
 53 **S/2003 J13** 2 km 24 000 000 km 2003
 54 **S/2003 J14** 2 km 25 000 000 km 2003

55 **S/2003 J15** 2 km 22 000 000 km 2003
 56 **S/2003 J16** 2 km 21 000 000 km 2003
 57 **S/2003 J17** 2 km 22 000 000 km 2003
 58 **S/2003 J18** 2 km 20 700 000 km 2003
 59 **S/2003 J19** 2 km 22 800 000 km 2003
 60 **S/2003 J20** 3 km 17 100 000 km 2003
 61 **S/2003 J21** 2 km 21 069 000 km 2003
 62 **S/2003 J22** 2 km 21 162 000 km 2003
 63 **S/2003 J23** 2 km 24 055 000 km 2003

10.9. Saturn

Saturnus, vládce bohů, měl v římské tradici stejné osudy jako řecký bůh Kronos, s nímž Saturn splynul. Řecké bájesloví vypráví, že Kronos sdílel osudy Titánů a teprve později byl Diem omilostněn a stal se vládcem ostrovů blažených, kde žili héróové. V římském podání Saturnus prchl před vítězným lovem do krajiny obklopené horami, kterou nazval Latium. V krajině vládl bájný král Ianus, který Saturna učinil svým spoluvládcem. Za vlády Saturnovy bylo v Itálii období zlatého věku. Saturnus chránil celou přírodu, lidstvo naučil pěstovat ovocné stromy a vinnou révu. Dal lidem mravní řád. Byla to nejšťastnější doba lidstva a lidstvo se utěšuje nadějí na návrat těchto blažených časů. Štěstí tehdejších lidí připomínaly Saturnalie, slavené po několik dní v prosinci, kdy panovala volnost a rovnost i mezi pány a otroky. Saturnus měl chrám na fóru na úpatí Capitolia; chrám byl současně státním archivem a pokladnou. Báje vypráví, že Saturnus zplodil v podobě hřebce s Ókeanovnou Filyrou moudrého Kentaura Cheiróna. V pozdějších dobách byl Saturnus bohem symbolizujícím Čas. Od starověku patřila planeta Saturn mezi sedm těles (společně s Merkurem, Venuší, Marsem, Jupiterem, Měsícem a Sluncem), pozorovaných na noční obloze. (O znalosti a zbožštění planet se lze dočíst v Platónově dialogu Timaios.)

Saturn, v pořadí 6. planeta od Slunce, druhá největší planeta sluneční soustavy, patří k obřím planetám sluneční soustavy (*obr. 214*). Oběhne Slunce za 30 pozemských let, ale kolem vlastní osy se otočí za pouhých 10 hodin. Tato rychlá diferenciální rotace způsobuje obdobně jako na Jupiteru vznik pásů. V atmosféře jsou někdy pozorovány velké žluté či bílé skvrny (Velká bílá skvrna – 1990). Atmosféra je tvořena převážně vodíkem a heliem, s oblaky čpavku. V nitru je snad malé jádro z křemičitanů železa obklopené kovovým vodíkem. Vítr v atmosféře dosahuje rychlosti až 1 800 km/h. Magnetické pole je slabší než u Jupiteru, má dipólový charakter s osou téměř rovnoběžnou s rotační osou. Dipólový moment je 35× menší než u Jupiteru, ale 575× větší než u Země.

Saturn má soustavu prstenců, z nichž 3 hlavní jsou viditelné velkými dalekohledy. Přestože prstence jsou široké několik desítek tisíc km, jejich tloušťka je jen pár stovek metrů, maximálně kilometr. Prstence tvoří drobné částice, patrně ledem obalené kousky hornin o velikosti od několika cm po desítky metrů. V prstenci B byly nalezeny radiální struktury (loukotě). Ukázalo se, že jde o levitující nabitý prach. Prstenec F je složen z několika propletených prstenců gravitačně ovlivňovaných tzv. „pastýřskými“ měsíci. Předpokládáme, že planetární prstence vznikly roztrháním některých měsíců dopadem komet a meteoroidů nebo slapovými silami mateřské planety. Čím blíže je měsíc k planetě, tím větší je rozdíl gravitačního působení na přivrácenou a odvrácenou stranu měsíce. Po překročení určité vzdálenosti rozdíl sil běžnou horninu roztrhá.

Saturn má velmi bohatou soustavu měsíců (56). Osm nejmenších má zcela nepravidelný tvar. Měsíc Phoebe obíhá planetu v opačném směru (retrográdně) a je pravděpodobně zachyceným

asteroidem. Měsíc Titan je největší Saturnův měsíc a s průměrem 5 150 km je větší než planeta Merkur. Má hustou atmosféru, v níž převažuje dusík s trochou metanu. Tlak atmosféry na povrchu je 1,5 atm (má tedy atmosféru hustší než Země), teplota $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto hodnoty nevylučují možnost primitivních forem života. Na Titanu přistálo v roce 2005 pouzdro Huygens. Na měsíci Enceladus buď probíhá, nebo probíhala v nedávné minulosti tektonická činnost. O jeho geologické aktivitě svědčí světlé zbarvení povrchu s různými kaňony a průrvami. Na měsíci Mimas je obrovský kráter způsobený impaktem, který málem měsíc roztrhl. Měsíc Hyperion se na své dráze namísto rotace chaoticky převaluje díky gravitační vazbě s Titanem. 13 měsíců bylo objeveno ze Země systémem adaptivní optiky dalekohledy umístěnými na hoře Mauna Kea.

Saturn má výrazně menší magnetosféru než Jupiter (asi 20 % velikosti). Struktura magnetického pole je relativně jednoduchá a připomíná zvětšeninu magnetosféry naší Země. V blízkosti planety má pole téměř ideální dipólový charakter. Plazma uvnitř magnetosféry zaujímá spolu s radiačními pásy oblast rozsáhlého toru, jehož vnitřní část je ukončena prstenci A, B a C, které absorbují veškeré částice z této oblasti. Součástí vnitřního toru jsou měsíce Mimas, Enceladus, Tethys a Dione. Koncentrace nabitých částic dosahuje až 3 000 v jednom cm^3 . Plazmosféra včetně radiačních pásů interaguje s měsíci obíhajícími v této oblasti. Měsíce vychytávají nabitě částice a vytvářejí v rozdělení koncentrace částic v radiálním směru charakteristická minima. Vnější část toru je rozprostřena kolem dráhy měsíce Rhea a zasahuje až k dráze Titanu, kde již převažují neutrální částice.



Obrázek 214: Planeta Saturn a jeho měsíce

Hmotnost $5,68 \times 10^{26}\text{ kg}$
Průměr 120 420 km
Hustota $0,71\text{ g cm}^{-3}$
Povrchová teplota (svrchní oblačná vrstva) $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$
Doba otočení kolem osy 10 hodin 32 minut
Doba oběhu kolem Slunce 29,46 roku
Průměrná vzdálenost od Slunce $1427 \times 10^6\text{ km}$
Průměrná oběžná rychlost 9,65 km/s
Pole na rovníku 21 μT
Magnetický dipólový moment $4,6 \times 10^{18}\text{ Tm}^3$ **Vybočení dipólu ze středu** 5 %
Počet měsíců 56

Saturnovi měsíce

1 Pan 19 km 133 600 km 1990	18 Rhea 1 530 km 527 040 km 1672
2 Daphnis 7 km 136 500 2005	19 Titan 5 150 km 1 221 860 km 1655
3 Atlas 40×20 km 137 670 km 1980	20 Hyperion 410×260×220 km 1 481 000 km 1848
4 Prometheus 140×100×80 km 139 353 km 1980	21 Iapetus 1 460 km 3 560 830 km 1671
5 Pandora 110×90×80 km 141 700 km 1980	22 Kiviuq 7 km 11 370 000 km 2000
6 Epimetheus 140×120×100 km 151 472 km 1980	23 Ijiraq 5 km 11 440 000 km 2000
7 Janus 220×200×160 km 151 422 km 1966	24 Phoebe 220 km 12 952 000 km 1898
8 Mimas 392 km 185 520 km 1789	25 Paaliaq 10 km 15 199 000 km 2000
9 Methone 3 km 194 000 km 2004	26 Skathi 8 km 15 645 000 km 2000
10 Pallene 4 km 211 000 km 2004	27 Albiorix 30 km 16 392 000 km 2000
11 Enceladus 520 km 238 020 km 1789	28 Erriapo 4 km 17 610 000 km 2000
12 Calypso 34×22×22 km 294 660 km 1980	29 Siarnaq 16 km 18 160 000 km 2000
13 Telesto 34×28×26 km 294 660 km 1980	30 Tarvos 16 km 18 239 000 km 2000
14 Tethys 1 060 km 294 660 km 1684	31 Mundilfari 3 km 18 709 000 km 2000
5 Polydeuces 4 km 377 400 km 2004	32 Narvi 8 km 18 719 000 km 2003
16 Dione 1 120 km 377 400 km 1684	33 Suttung 7 km 19 470 000 km 2000
17 Helene 36×32×30 km 377 400 km 1980	34 Thrymr 7 km 20 470 000 km 2000
	35 Ymir 20 km 23 096 000 km 2000

Další měsíce: S/2004 S7 až S19 (13 měsíců) S/2006 S1 až S8 (8 měsíců)

10.10. Uran

Uran byl starověký řecký bůh nebe, nejčasněji nejvyšší bůh. Uran byl syn a přítel Gaia, otce Cronuse (Saturnu) a byl z rodu Kyklopů a Titánů (tedy z předchůdců Olympských bohů). Uran je sedmá planeta od Slunce a je třetí největší ve sluneční soustavě. Má rovníkový průměr 51 800 kilometrů a oběhne okolo Slunce jednou za 84,01 pozemských let. V rovníkovém průměru je větší než Neptun, ale co do váhy je lehčí než on. Jeho střední vzdálenost od Slunce je 2 870 milionů kilometrů. Délka dne na Uranu je 17 hodin 14 minut. Uran má známých 21 měsíců, ale předpokládá se, že jich je ještě o něco více. Dva největší měsíce, Titania a Oberon, byly objeveny Williamem Herschelem už v roce 1787. Další z obřích planet, sedmá planeta sluneční soustavy má charakteristický modrozelený nádech (*obr. 215*). Průměrná hvězdná velikost 5,5 m je na hranici viditelnosti lidského oka. Planeta má soustavu prstenců a kolem krouží rozsáhlý systém měsíců podobně jako u ostatních obřích planet.

Uran je další z plynných obrů s velmi nízkou (−220 °C) teplotou. Kromě vodíku a helia obsahuje atmosféra také metan, způsobující namodralé zbarvení. Ve středu Uranu je pravděpodobně malé jádro z hornin a železa. Rotační osa Uranu je vzhledem k rovině oběhu stočená na bok (98°), patrně díky střetu s jinou velkou planetou při vzniku sluneční soustavy. Sama rotace je diferenciální s periodou 16–17 hodin. Rychlost větrů v atmosféře dosahuje až 600 km/h.

Magnetická osa svírá s osou rotace úhel 59° a je značně excentrická (prochází 8 000 km od středu planety). Sama magnetosféra je výrazná, intenzita pole na rovníku je srovnatelná s intenzitou pole Země, celkový dipólový moment je dvanáctkrát menší než u Saturnu, ale padesátkrát větší než u Země. Ohon je zkroucen do tvaru vývrtky díky vlastní rotaci planety. Radiační pásy u Uranu jsou podobné radiačním pásům u Saturnu.

Planeta má 11 málo patrných mladých prstenců, objevených při zákrytu jedné hvězdy Uranem. Uran má 5 větších a 22 drobných měsíců (do 150 km). Deset menších měsíců bylo

objeveno sondou Voyager 2 v roce 1986, měsíce Kaliban a Sycorax až v roce 1998, další měsíce v roce 1999, 2001 a 2003. Jeden z větších měsíců, Miranda, vypadá, jako by byl složen ze tří nebo čtyř obrovských kusů. Je možné, že v dobách dávno minulých byl měsíc rozlomen impaktem jiného tělesa a později se opět spojil v jediné těleso. Rýhy a kaňony na povrchu dosahují hloubky až 20 km, charakteristické jsou terasovité vrstvy a střídání geologicky mladších a starších oblastí. Měsíc Titania byl geologicky aktivní (rozsáhlé kaňony), Ariel je nejjasnější z Uranových měsíců a má pravděpodobně nejmladší povrch. Umbriel a Oberon jsou naopak tmavé a v minulosti byly málo geologicky aktivní. Měsíce ve vnějších oblastech obíhají planetu retrográdně, možná jde o zachycené planetky.



Obrázek 215: Planeta Uran

Hmotnost $8,7 \times 10^{25}$ kg

Průměr 51 300 km

Hustota $1270 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$

Povrchová teplota -220°C

Doba otočení kolem osy 17 h 14 min

Sklon rotační osy 98°

Doba oběhu kolem Slunce 84 let

Průměrná vzdálenost od Slunce $2,86 \times 10^9$ km

Magnetické pole na rovníku 23 μT

Magnetický dipólový moment $0,4 \times 10^{18} \text{ Tm}^3$

Vybočení dipólu ze středu 30 %

Počet měsíců 27

Uranovi měsíce

1 Cordelia 40 km 49 770 km 1986

2 Ophelia 43 km 53 790 km 1986

3 Bianca 51 km 59 170 km 1986

4 Cressida 80 km 61 780 km 1986

5 Desdemona 64 km 62 680 km 1986

6 Juliet 94 km 64 350 km 1986

7 Portia 135 km 66 100 km 1986

8 Rosalind 72 km 69 940 km 1986

9 Cupid 18 km 74 800 km 2003

10 Belinda 81 km 75 260 km 1986

11 Perdita 27 km 76 420 km 1986

12 Puck 162 km 86 010 km 1985

13 Mab 25 km 97 730 km 2003
 14 Miranda 472 km 129 900 km 1948
 15 Ariel 1 158 km 190 900 km 1851
 16 Umbriel 1 169 km 265 969 km 1851
 17 Titania 1 578 km 436 300 km 1787
 18 Oberon 1 523 km 600 000 km 1787
 19 Francisco * 12 km 4×10^6 km 2001
 20 Caliban * 98 km 7×10^6 km 1997

21 Stephano * 20 km 8×10^6 km 1999
 22 Trinculo * 10 km 8×10^6 km 2001
 23 Sycorax * 190 km 12×10^6 km 1997
 24 Margaret 11 km 14×10^6 km 2003
 25 Prospero * 30 km 16×10^6 km 1999
 26 Setebos * 30 km 17×10^6 km 1999
 27 Ferdinand * 12 km 21×10^6 km 2001

10.11. Neptun

Planeta Neptun byla objevena 23. září 1846 astronomem Johannem Gottfridem Gallem a studentem astronomie Louisem d'Arrestem s pomocí matematické předpovědi, kterou vypracoval Urbain Jean Joseph Le Verrier.

Neptun je typickým představitelem planety zvané plynný obr, jeho průměr je 49 500 km. Oběžná doba kolem Slunce činí 165 roků. Perioda rotace je 16 hodin a 7 minut. Narozdíl od Země se může pochlubit 8 měsíci, z nichž šest bylo objeveno sondou Voyager. Den na Neptunu trvá 16 hodin a 6,7 minut. Centrální část nitra planety, přibližně dvě třetiny poloměru, je složena postupně od středu z kamenného jádra, ledu, tekutého čpavku a metanu. Vnější část, zhruba třetina, je směs horkých plynů vodíku, hélia, vody a metanu. Metan dává Neptunu charakteristickou modrou barvu (obr. 216).

Na Neptunu lze pozorovat několik velkých, temných skvrn, připomínajících bouře na Jupiteru. Největší skvrna, známá jako Velká temná skvrna, o velikosti průměru asi jako naše Země, je podobná Velké rudé skvrně na Jupiteru. Voyager odhalil malé nepravidelnosti mezi východně se pohybujícími mračky, která oběhnou Neptun každých 16 hodin. Tato mračna jsou při svém oběhu doplňována mračky z nižších vrstev.

Dlouhé světlé mraky (podobným na Zemi říkáme cirry) je možné spatřit i vysoko v Neptunově atmosféře. V nízkých severních zeměpisných pásmech pořídil Voyager obrázky mraků, od kterých lze pozorovat stín na mracích pod nimi.

Neptun je místem, kde vanou nejsilnější větry v naší sluneční soustavě. Poblíž Velké temné skvrny dosahuje rychlost větru 2000 km/h. Většina větrů vane západním směrem, tedy proti rotaci planety.

Neptun má 4 slabě znatelné prstence. Prstence jsou tvořeny z prachových částic a malých tělísek, které často dopadají na povrch Neptunových měsíců. Z pozemských dalekohledů jsou prstence pozorovatelné jen jako oblouky. Pomocí přístrojů sondy Voyager 2, které nám umožnily vidět víc, se některá místa v prstencích jevila jako světlé skvrny nebo chomáče. Pravá příčina těchto světlých chomáčů zatím není přesvědčivě vysvětlena.

Osa magnetického pole Neptunu je obdobně jako u Uranu skloněna, má sklon 47 stupňů k ose rotace. Porovnáním magnetických polí Neptuna a Uranu došli vědci k závěru, že toto extrémní odklonění magnetického pole je charakteristické pro planety s pohyblivým jádrem.

Hmotnost $1,0 \times 10^{26}$ kg

Průměr 49 500 km

Hustota 1770 kg m^{-3}

Povrchová teplota – 213 °C

Doba otočení kolem osy 16 h 7 min

Doba oběhu kolem Slunce 165 let

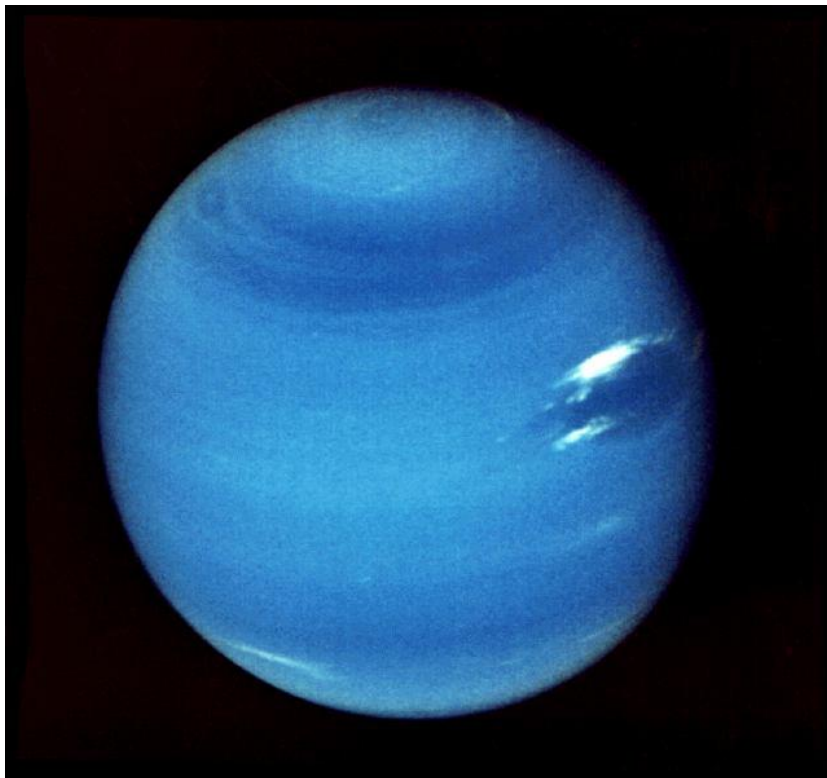
Průměrná vzdálenost od Slunce 4,5 miliard km

Magnetické pole na rovníku 14 μT

Magnetický dipólový moment $0,2 \times 10^{18} \text{ Tm}^3$

Vybočení dipólu ze středu 55 %

Počet měsíců 13



Obrázek 216: Planeta Neptun

Neptunovi měsíce

1 **Naiad** 50 km 48 227 km 1989
2 **Thalassa** 90 km 50 075 km 1989
3 **Despina** 140 km 52 526 km 1989
4 **Galatea** 160 km 61 953 km 1989
5 **Larissa** 200 km 73 600 km 1989
6 **Proteus** 420 km 117 600 km 1989
7 **Triton** 2 705 km 354 760 km 1846

8 **Nereid** 340 km 5 513 400 km 1949
9 **Halimede** 60 km 15 728 000 km 2002
10 **Sao** 38 km 22 422 000 km 2002
11 **Laomedeia** 38 km 23 571 000 km 2002
12 **Psamathe** 28 km 46 695 000 km 2003
13 **Neso** 60 km 48 387 000 km 2002

11. Použitá literatura a použité prameny

- [1] Kolárová R., Bohuněk J.: Fyzika pro 8. ročník ZŠ; Prometheus; 2003
- [2] Kolárová R., Bohuněk J., Štoll J.: Fyzika pro 9. ročník ZŠ; Prometheus; 2003
- [3] Bohuněk J.: Sbírka úloh z fyziky pro ZŠ 3. díl; Prometheus; 1995
- [4] Pešková E., Mulačová J.: Co je to, když se řekne FYZIKY? – výkladový slovník základním pojmů fyziky pro základní školy; ALBRA
- [5] Svoboda E. a kol.: Přehled středoškolské fyziky; Prometheus; 1998
- [6] Tabárek P., Červinková P. a kol.: Odmaturuj z fyziky; Didaktis; 2004
- [7] Mařátka J.: Elektronika; IDEA SERVIS; 1997
- [8] Frohn M., Oberthür W., Siedler H. J., Wimer M., Zastrow P.: Elektronika – polovodičové součástky a základní zapojení; BEN; 2006
- [9] Doleček J.: Moderní učebnice elektroniky 2. – polovodičové prvky a elektronky; BEN; 2005
- [10] Doleček J.: Moderní učebnice elektroniky 3. – optoelektronika a optoelektronické prvky; BEN; 2005
- [11] Voženílek L.: Kurs elektrotechniky; SNTL; 1988
- [12] Hajach T., Tuma M., Šteliarová E.: Základy elektrotechniky I pro 1. ročník SPŠE; SNTL; 1990
- [13] Blahovec A.: Elektrotechnika III. (příklady a úlohy); Informatorium; 1997
- [14] Bezděk M.: Elektronika I.; KOPP; 2006
- [15] Brzobohatý J., Musil V., Bajer A., Boušek J., Prokop R.: Elektronické součástky; VUT Brno
- [16] Vobecký J., Záhlava V.: Elektronika – součástky a obvody, principy a příklady; Grada Publishing; 2001
- [17] Láníček R.: Elektronika – obvody, součástky, děje; BEN; 1998
- [18] Stránský J.: Polovodičová technika I - učebnice pro elektrotechnické fakulty; SNTL; 1982
- [19] Brož J.: Elektřina a magnetismus I.; Univerzita Karlova a SNTL
- [20] Hey T., Walters P.: Nový kvantový vesmír; Argo a Dokořán; 2005
- [21] Časopisy SVĚT – věda, technika, člověk, příroda, historie; Extra Publishing s. r. o.; 2007
- [22] <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/>
- [23] <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/skripta/index.html>
- [24] <http://fyzika.gbn.cz/phprs/index.php?akce=temata>
- [25] http://www.printing.cz/art/ctp/ctp_principy_laseru.html
- [26] <http://cs.wikipedia.org>
- [27] <http://astronuklfyzika.cz/>
- [28] <http://www.vmk-rtg.cz/rentgeny-veterinari-poskom-prenosne.htm>
- [29] http://www.ct24.cz/porady/prizma/index_img.php?id=39714
- [30] <http://www.osel.cz/index.php?clanek=2313&akce=show2>
- [31] <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/node/41>
- [32] <http://biologie.webz.cz/www/prokaryota.html>
- [33] <http://www.ipshop.cz/>
- [34] <http://unm.lf1.cuni.cz/>
- [35] <http://www.tretipol.cz/index.asp?clanek&view&164>
- [36] http://technet.idnes.cz/co-dokazi-nejstrasnejsi-atomove-bomby-na-svete-mizely-ostrovy-vyparoval-se-beton-gjo-/tec-technika.asp?c=A060831_152144_tec-technika_NYV
- [37] <http://www.vesmir.info/>
- [38] <http://mfweb.wz.cz>
- [39] <http://www.mysmas.cz/astronomie-planety/vznik.html>
- [40] <http://oberon.troja.mff.cuni.cz/vp/pages/slunce.htm>
- [41] <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/index.html>

- [42] <http://www.astro.pef.zcu.cz/>
 [43] http://neviditelnypes.lidovky.cz/astro-cz-objeven-hnedy-trpaslik-s-vytrysky-hmoty-fvd-/p_veda.asp?c=A070603_174710_p_veda_wag
 [44] <http://planety.blog.cz/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Struktura a model atomu	4
Obrázek 2: Siločáry kladného a záporného tělesa	5
Obrázek 3: Siločáry elektrického pole dvou těles a) nesouhlasně nabitých; b) souhlasně nabitých ..	5
Obrázek 4: Popis ručkového elektroskopu	5
Obrázek 5: Princip elektrostatické indukce	6
Obrázek 6: Izolant a) bez elektrického pole; b) v elektrickém poli (polarizace)	6
Obrázek 7: Elektrolýza NaCl (kuchyňské soli) - iontová vodivost	7
Obrázek 8: Princip disociace rozpouštěné látky rozpouštědlem	7
Obrázek 9: Zjednodušený princip elektrického napětí (rozdíl potenciálů)	7
Obrázek 10: I. Kirchhoffův zákon	10
Obrázek 11: a) sériové; b) paralelní zapojení rezistorů	11
Obrázek 12: Indukční čáry magnetického pole a) tyčového magnetu; b) podkovového magnetu ..	12
Obrázek 13: Přímý vodič a), b) směr indukčních čar; c) Ampérovo pravidlo pravé ruky	13
Obrázek 15: cívka a) bez jádra; b) s jádrem	14
Obrázek 16: a) zvýšení závitů z 300 na 600; b) zvýšení proudu	14
Obrázek 14: a) indukční magnetické čáry v cívkě; b) Ampérovo pravidlo pravé ruky	14
Obrázek 17: Princip elektrického zvonku	15
Obrázek 18: Princip jističe	15
Obrázek 19: a) vodič v magnetickém poli; b) Flemingovo pravidlo levé ruky	16
Obrázek 21: a) natočení cívky těsně po sepnutí obvodu; b) cívka po ustálení v mag. poli	17
Obrázek 20: Vzájemné působení dvou vodičů a) přitahují; b) odtahují	17
Obrázek 22: a) otočení cívky při změně směru toku proudu; b) cívky po ustálení v mag. poli	17
Obrázek 23: komutátor elektromotoru	18
Obrázek 24: a), b) Princip stejnosměrného elektromotoru s komutátorem	18
Obrázek 25: a), b) Princip stejnosměrného elektromotoru s komutátorem	19
Obrázek 26: Princip školního stejnosměrného elektromotoru	19
Obrázek 28: Elektromagnetická infukce - vysouvání vytahování magnetu	20
Obrázek 27: Elektromagnetická indukce a) magnet zasunujeme; b) magnet v klidu	20
Obrázek 29: Směr indukovaného proudu při zasouvání magnetu do cívky (závitu)	21
Obrázek 30: Směr indukovaného proudu při vytahování magnetu z cívky (závitu)	21
Obrázek 32: Primární a sekundární cívka v rozpojeném obvodu	22
Obrázek 33: Primární a sekundární cívka těsně po sepnutí spínače	22
Obrázek 31: a) pohybující se vodič v magnetickém poli; b) Flamingovo pravidlo pravé ruky	22
Obrázek 34: Primární a sekundární cívka při sepnutém spínači	23
Obrázek 35: Primární a sekundární cívka těsně po rozpojení obvodu	23
Obrázek 36: Vznik střídavého proudu otáčením magnetu v blízkosti cívky	24
Obrázek 38: Princip alternátoru	24
Obrázek 37a, b: Vznik střídavého proudu otáčením cívky v magnetickém poli	24
Obrázek 39: Sinusoida znázorňující harmonický průběh střídavého proudu	25

Obrázek 40: Graf časového průběhu střídavého proudu s vyznačenou dobou periody	25
Obrázek 41: Konstrukce sinusoidy z jednotkové kružnice	26
Obrázek 42: Různé periodické průběhy střídavého proudu	26
Obrázek 43: a) trojfázový alternátor; b) průběh trojfázového napětí.....	27
Obrázek 45: Schéma pro měření na transformátoru.....	28
Obrázek 44: Model jednofázového transformátoru.....	28
Obrázek 46: Schéma rozvodné sítě.....	29
Obrázek 47: Vodivostní rozdělení látek podle měrného odporu (měrné vodivosti).....	30
Obrázek 48: Disociace molekuly NaCl molekulami vody na kladný a záporný iont	31
Obrázek 49: Elektrický proud v roztoku NaCl	31
Obrázek 50: Pokovení hřebíku mědí	32
Obrázek 51: Hoffmanův přístroj	32
Obrázek 52: Ionizace vzduchu a následný blesk.....	33
Obrázek 53: Vznik elektrického oblouku	34
Obrázek 54: Elektrický výboj v trubicích s různě zředěným vzduchem	34
Obrázek 55: Elektrický výboj v různých plynech.....	34
Obrázek 56: Bohrovův model atomu.....	35
Obrázek 57: Jednoduchý pásový model pevné látky	36
Obrázek 58: Pásový model a) izolantu; b) polovodiče; c) vodiče (kovu)	37
Obrázek 59: a) struktura krystalu atomu křemíku; b) vzájemná vazba mezi dvěma atomy křemíku	37
Obrázek 60: Vlastní vodivost polovodiče	38
Obrázek 61: Generace a rekombinace páru elektron-díra v krystalu křemíku	39
Obrázek 63: Driftový pohyb nosičů náboje (volných elektronů a děr) důsledkem elektrického pole	39
Obrázek 62: Neuspořádaný vířivý tepelný pohyb nosičů náboje (volných elektronů)	39
Obrázek 65: Polovodič typu N v elektrickém poli	40
Obrázek 64: Polovodič typu N	40
Obrázek 67: Polovodič typu P v elektrickém poli	41
Obrázek 66: Polovodič typu P	41
Obrázek 68: a) schematická značka termistoru; b) porovnání teplotní závislosti termistoru a kovu; c) teplotní závislost termistoru.....	42
Obrázek 69: a) schematická značka pozistoru; b) teplotní závislost pozistoru	42
Obrázek 72: Konstrukční uspořádání fotorezistoru	43
Obrázek 70: a) schematická značka fotorezistoru; b) reálný fotorezistor	43
Obrázek 71: a) závislost odporu na osvětlení; b) schéma zapojení; c) VA charakteristiky při konst. osvětlení.....	43
Obrázek 73: PN přechod v okamžiku spojení	44
Obrázek 74: Difúze nosičů náboje v PN přechodu.....	44
Obrázek 75: Vytvoření potenciálové bariéry v PN přechodu	44
Obrázek 76: Schéma zapojení obvodu diody v propustném směru	45
Obrázek 78: Schéma zapojení obvodu diody v závěrném směru.....	45
Obrázek 77: Zúžení potenciálové bariéry v propustném směru	45
Obrázek 79: Rozšíření potenciálové bariéry v závěrném směru	46
Obrázek 80: VA charakteristiky křemíkových a germaniových diod	46
Obrázek 82: a) schéma zapojení jednocestného usměrňovače; b) výstupní napětí transformátoru U_2	47

Obrázek 81: a) schematická značka a struktura diody; b) zapojení v závěrném a propustném směru	47
Obrázek 84: Usměrněné napětí na zátěži snížené o úbytek napětí na diodě	48
Obrázek 83: a) usměrňovač v propustném směru; b) v závěrném směru; c) usměrněné napětí na zátěži	48
Obrázek 85: a) schéma zapojení dvojcestného usměrňovače; b) průběhy napětí na diodách	48
Obrázek 88: Výsledné napětí na zátěži dvojcestného usměrňovače	49
Obrázek 86: Dvojcestný usměrňovač (princip)- otevřená dioda D_1 , dioda D_2 uzavřena	49
Obrázek 87: Dvojcestný usměrňovač (princip) - dioda D_2 otevřena, dioda D_1 uzavřena	49
Obrázek 89: Graetzův diodový můstek	50
Obrázek 92: Výsledné usměrněné napětí na zátěži Graetzova usměrňovače	50
Obrázek 90: a) Graetzův usměrňovač - diody D_2 a D_3 otevřeny; b) průběh usměrněného napětí na zátěži přes diody D_2 a D_3	50
Obrázek 91: a) Graetzův usměrňovač - diody D_1 a D_4 otevřeny; b) průběh usměrněného napětí na zátěži přes diody D_1 a D_4	50
Obrázek 95: VA charakteristiky různobarevných LED diod	51
Obrázek 93: a) reálná LED dioda; b) konstrukční uspořádání LED diody; c) schematická značka LED diody	51
Obrázek 94: a) princip svícení LED diody; b) technologické uspořádání LED diody	51
Obrázek 96: a) schematická značka fotodiody; b) technologické uspořádání fotodiody; c) reálné fotodiody	52
Obrázek 97: VA charakteristika fotodiody při různém osvětlení	53
Obrázek 98: Odporový režim fotodiody a) schéma zapojení; b) VA charakteristika	53
Obrázek 99: Princip hradlového režimu fotodiody - fotodiody jako zdroj el. energie	54
Obrázek 100: Hradlový režim fotodiody a) zapojení; b) VA charakteristika	54
Obrázek 101: a) zásuvka; b) správné zapojení vodičů v zásuvce	55
Obrázek 102: a) zástrčka se zdírkou pro ochranný kolík; b) správné zapojení vodičů v zástrčce	55
Obrázek 103: Bezpečnostní značky pro elektrotechniku	56
Obrázek 104: Elektromagnetická vlna (složka elektrická a magnetická)	58
Obrázek 105: Vlna o dlouhé vlnové délce (nízké frekvenci)	58
Obrázek 106: Vlna o krátké vlnové délce (vysoké frekvenci)	59
Obrázek 107: Šíření elektromagnetických vln a) o velké vlnové délce; b) o krátké vlnové délce	60
Obrázek 108: a) principy TV obrazovky; b) skládání barev u TV	60
Obrázek 109: Spektrum viditelného světla	61
Obrázek 110: Využití RTG záření v lékařství	61
Obrázek 111: Shrnutí elektromagnetického vlnění - elektromagnetické spektrum	62
Obrázek 112: Fotografie Slunce	63
Obrázek 113: Laser	64
Obrázek 114: Přenosný rentgen Poskom PX-20HF plus	64
Obrázek 115: a) princip RTG záření - rentgenka; b) mamograf prsu měkkými RTG paprsky	65
Obrázek 116: Urychlovač a) detektor částic CMS; b) obří magnet urychlovače pro ohýbání dráhy elektricky nabitých částic	66
Obrázek 117: Částečný odraz a lom světla	67
Obrázek 118: Zákon odrazu	68
Obrázek 119: Zákon lomu	68
Obrázek 120: Lom světla a) ke kolmici; b) od kolmice	68
Obrázek 121: Rozptyl světla na nedokonalé hladkém (zvrásněném) povrchu	69

Obrázek 122: Zobrazení rovinným zrcadlem	69
Obrázek 123: Vyznačení základních pojmů u dutého zrcadla (vlevo) a u vypuklého zrcadla (vpravo)	70
Obrázek 124: Zobrazení pomocí třech paprsků u dutého zrcadla (vlevo), u vypuklého zrcadla (vpravo)	71
Obrázek 125: Zobrazení vypuklým zrcadlem	71
Obrázek 126: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět ve vzdálenosti $2f$ od zrcadla	71
Obrázek 127: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět leží ve středu křivosti C	72
Obrázek 128: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět leží mezi středem křivosti C (S) a ohniskem F	72
Obrázek 129: Zobrazení dutým zrcadlem - předmět je ve vzdálenosti $a < f$	72
Obrázek 130: Základní pojmy u čoček - spojka (vlevo), rozptylka (vpravo)	73
Obrázek 131: Zobrazování paprsků u čoček - spojka (vlevo), rozptylka (vpravo)	74
Obrázek 132: Tvary rozptylek a schematická značky rozptylky	74
Obrázek 133: Zobrazení rozptylkou	74
Obrázek 134: Tvary spojek a schematická značka spojky	75
Obrázek 135: Zobrazení spojkou - předmět ve vzdálenosti $a > 2f$	75
Obrázek 136: Zobrazení spojkou - předmět leží ve středu křivosti C_2	75
Obrázek 137: Zobrazení spojkou - předmět leží mezi středem křivosti C_2 a ohniskem F	75
Obrázek 138: Zobrazení spojkou - předmět je ve vzdálenosti $a < f$	76
Obrázek 139: Akomodace oka a) do dálky, b) nablízko; c) zdravé oko	76
Obrázek 140: Krátkozraké oko bez korekce a s korekcí pomocí rozptylky	77
Obrázek 141: Dalekozraké oko bez korekce a s korekcí pomocí spojky	77
Obrázek 142: Zorný úhel a) při vzdalování předmětu od oka; b) různě vysoké stromy v různých vzdálenostech se pod stejným zorným úhlem jeví stejně vysoké	77
Obrázek 143: Zorný úhel pozorovaného předmětu a) bez lupy; b) s lupou	78
Obrázek 145: Bakterie tuberkulózy pod klasickým mikroskopem	79
Obrázek 144: a) popis mikroskopu; b), c) princip zvětšení mikroskopu	79
Obrázek 146: a), b) Prokaryotické bakterie pod elektronovým mikroskopem; c) elektronový mikroskop	80
Obrázek 147: Velbloudí srst pod elektronovým rastrovacím mikroskopem	80
Obrázek 148: Zákeřné bakterie na špičce špendlíku pod elektronovým mikroskopem	81
Obrázek 149: Roztoči pasoucí se na prachovém poli pod elektronovým mikroskopem	81
Obrázek 150: Hvězdářský (Keplerův) dalekohled	82
Obrázek 151: Princip Keplerova dalekohledu a) zjednodušený; b) se zaostřením na nekonečno ...	82
Obrázek 152: Izotopy vodíku	83
Obrázek 153: Izotopy uhlíku	84
Obrázek 154: Princip transmutace a následné radioaktivity	84
Obrázek 155: Princip α -rozpadu	85
Obrázek 156: Princip β (minus) rozpadu (neutron se přemění na proton)	85
Obrázek 157: Princip γ -rozpadu (foton o vysoké energii)	86
Obrázek 158: Radioaktivní záření (alfa, beta, gama a neutronové záření)	86
Obrázek 159: Částice alfa, beta (elektron) a gama v magnetickém poli	86
Obrázek 160: Leksellův gama nůž	87
Obrázek 161: Využití radionuklidu při hledání nádorů apod.	87
Obrázek 162: Defektoskop	88
Obrázek 163: Výstavba tokamaku ITER	90
Obrázek 164: Jak by měl vypadat postavený projekt v Cadarache	90

Obrázek 165: Vnitřek tokamaku JET v Culham Science Center poblíž v Oxfordu	90
Obrázek 166: Princip jaderné fúze	91
Obrázek 167: Štěpení uranu 235	92
Obrázek 168: Jaderný reaktor	93
Obrázek 169: Schéma jaderné elektrárny	94
Obrázek 170: Atomová bomba shozená na Nagasaki a) výbuch; krajina b) před, c) po výbuchu	95
Obrázek 171: Princip štěpné jaderné bomby	95
Obrázek 172: Procentuální získávání energie z hmoty	96
Obrázek 173: Značka nebezpečí záření (radiace)	97
Obrázek 174: Velký třesk (Big Bang)	97
Obrázek 175: Hadronová éra vesmíru	98
Obrázek 176: Leptonová éra vesmíru	98
Obrázek 177: Dnešní vesmír a) nespočetné galaxie; b) umístění Slunce v naší galaxii	99
Obrázek 178: Protoplanetární disk, ze kterého vznikla naše sluneční soustava.....	100
Obrázek 179: Sluneční soustava (Slunce, planety a trpasličí planety).....	100
Obrázek 180: Porovnání velikosti Pluta s největšími měsíci planet	100
Obrázek 181: Dráhy planet sluneční soustavy (včetně Pluta)	101
Obrázek 182: Kuiperův pás a Oortův oblak (mračno).....	102
Obrázek 183: Astronomická jednotka parsek [pc]	102
Obrázek 184: Hvězda naší sluneční soustavy - Slunce	103
Obrázek 185: Struktura Slunce	104
Obrázek 186: Sluneční skvrny.....	105
Obrázek 187: Protuberance	105
Obrázek 188: Spikule ve chromosféře	106
Obrázek 189: Sluneční erupce	106
Obrázek 190: Koróna - nejvyšší vrstva Slunce	106
Obrázek 191: Polární záře způsobená slunečním větrem.....	107
Obrázek 192: Magnetosféra chrání život před slunečním větrem.....	107
Obrázek 193: Vývoj Slunce	108
Obrázek 194: Foto hnědého trpaslíka.....	109
Obrázek 195: Vývojové fáze hnědého trpaslíka	110
Obrázek 196: Rudý (červený) obr	110
Obrázek 197: Výbuch supernovy a vznik neutronové hvězdy.....	111
Obrázek 198: Velikost neutronové hvězdy v porovnání se Zemí a bílým trpaslíkem.....	111
Obrázek 199: Řez neutronovou hvězdou	112
Obrázek 200: Černé díry	113
Obrázek 201: Vývoj hvězd	114
Obrázek 202: Vývoj vesmíru	114
Obrázek 203: Planeta Merkur.....	115
Obrázek 204: Planeta Venuše.....	116
Obrázek 205: Planeta Země	117
Obrázek 206: Struktura planety Země	118
Obrázek 207: Měsíc - přirozená družice Země	118
Obrázek 208: Měsíční fáze	119
Obrázek 209: Zatmění Měsíce	119
Obrázek 211: Povrch planety Mars.....	122
Obrázek 210: Planeta Mars	122

Obrázek 212: Planeta Jupiter.....	123
Obrázek 213: Jupiterovi prstence a některé měsíce	124
Obrázek 214: Planeta Saturn a jeho měsíce.....	126
Obrázek 215: Planeta Uran.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 216: Planeta Neptun	130

Seznam tabulek

Tabulka 1: Shrnutí vlastností LED diod.....	52
Tabulka 2: Spektrum elektromagnetického záření.....	59
Tabulka 3: Základní informace o planetách	102
Tabulka 4: Spektrální třídy hvězd	109
Tabulka 5: Vývoj hvězd.....	113