

RNDr. Daniel Polčín, CSc.

# **Základné poznatky z fyziky**

Prehľad  
pojmov, zákonov, vzťahov,  
fyzikálnych veličín  
a ich jednotiek

EDITOR  
vydavateľstvo vzdelávacej literatúry,  
Bratislava 2003

Autor: © Daniel Polčín, 2003

Recenzenti: Mgr. Ján Putera  
RNDr. Igor Ridoška  
RNDr. Eva Tomanová, CSc.

Desing: © Bruno Musil, 2003 - výnimky uskutočnené so  
súhlasom autora v elektronickej forme publikácie

---

Všetky práva vyhradené  
Toto dielo ani jeho časť nemožno žiadnym spôsobom repro-  
dukovať bez súhlasu majiteľa práv.

**ISBN 80-968877-3-4**

# Obsah

ÚVOD	5
<b>1. MECHANIKA</b>	<b>7</b>
1.1. KINEMATIKA	7
1.2. DYNAMIKA	16
1.3. GRAVITAČNÉ POLE	20
1.4. PRÁCA A ENERGIA	24
1.5. MECHANIKA TUHÉHO TELESA	27
1.6. MECHANIKA KVAPALÍN A PLYNOV	29
<b>2. MOLEKULOVÁ FYZIKA A TERMODYNAMIKA</b>	<b>32</b>
2.1. TEPLOTA, TEPLA A PRÁCA	32
2.2. TEPELNÉ DEJE V PLYNOCH	37
2.3. MECHANICKÉ A TEPELNÉ VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTKOK A KVAPALÍN	40
2.3.1. PEVNÉ LÁTKY	40
2.3.2. KVAPALINY	43
2.4. ZMENY SKUPENSTVA	45
<b>3. ELEKTRINA</b>	<b>49</b>
3.1. ELEKTROSTATIKA	49
3.2. ELEKTRODYNAMIKA	55
3.2.1. ELEKTRICKÝ PRÚD V KOVOCH	56

3.2.2.	ELEKTRICKÝ PRÚD V POLOVODIČOCH	63
3.2.3.	ELEKTRICKÝ PRÚD V ELEKTROLYTOCH	68
<b>4.</b>	<b>MAGNETIZMUS</b>	<b>70</b>
<b>5.</b>	<b>KMITANIE</b>	<b>79</b>
<b>6.</b>	<b>STRIEDAVÝ PRÚD</b>	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>VLNENIE A AKUSTIKA</b>	<b>87</b>
7.1.	VLNENIE	87
7.1.1.	MECHANICKÉ VLNENIE	89
7.1.2.	ELEKTROMAGNETICKÉ VLNENIE	93
7.2.	AKUSTIKA	95
<b>8.</b>	<b>OPTIKA</b>	<b>97</b>
8.1.	GEOMETRICKÁ OPTIKA	97
8.2.	VLNOVÁ OPTIKA	103
8.3.	KVANTOVÁ OPTIKA	106
<b>9.</b>	<b>ATÓMOVÁ A JADROVÁ FYZIKA</b>	<b>112</b>
<b>10.</b>	<b>ŠPECIÁLNA TEÓRIA RELATIVITY</b>	<b>117</b>
10.1.	RELATIVISTICKÁ KINEMATIKA	117
10.2.	RELATIVISTICKÁ DYNAMIKA	121
	<b>DÔLEŽITÉ FYZIKÁLNE KONŠTANTY</b>	<b>123</b>

<b>ASTRONOMICKÉ VELIČINY</b>	<b>123</b>
<b>GRÉCKA ABECEDA</b>	<b>125</b>
 ZOZNAM LITERATÚRY	 126
PRÍLOHA	



# Úvod

Kniha je určená predovšetkým žiakom stredných škôl ako pomôcka počas štúdia, no i pri príprave na maturitu a prijímacie skúšky z fyziky na vysoké školy prírodovedného a technického zamerania. Je vhodná i pre začínajúcich vysokoškolákov a diaľkovo študujúcich, ktorí si potrebujú častejšie oživiť niektoré zabudnuté vedomosti.

Obsahuje prehľad stredoškolského učiva fyziky. Uvedené pojmy, vzťahy, zákony a definície tvoria nevyhnutnú, základnú súčasť potrebných poznatkov na úspešné riešenie fyzikálnych úloh, pochopenie študovaných javov a ich súvislostí počas celého stredoškolského i v začiatkoch vysokoškolského štúdia fyziky.

Vreckový formát publikácie je vhodný pre jej každodenné používanie doma i v škole a pohotovo poslúži namiesto výpiskov pri samostatnom štúdiu. Svojim stručným a systematicky usporiadaným obsahom pomôže v každej chvíli nájsť rýchlo potrebné poznatky bez rozsiahleho vysvetľovania a popisovania.

Fotografiami niektorých velikánov tak klasickej, ako i modernej fyziky, s ktorých menami sa stretnete i pri listovaní v tejto užitočnej pomôcke, poteší obrazová príloha.

Používaná terminológia, veličiny a ich jednotky sú v súlade so súčasnými **Slovenskými technickými normami STN ISO 31**, ktoré sú prekladom noriem vydaných Medzinárodnou organizáciou pre štandardizáciu (*International Organisation for Standardisation – ISO*) a mali by sa v záujme jednotnosti v praxi i na školách podľa možnosti dodržiavať.

*Výnimkou* je zaužívaná **značka elektromotorického napätia**  $U_e$ , keďže normy uvádzajú značku  $E$ . To je však i značka energie a používanie rovnakej značky pre dve rôzne fyzikálne veličiny by mohlo viesť k nedorozumeniam.

**Rýchlosť svetla** v danom prostredí sa označuje ako fázová rýchlosť  $v$  (v súlade s normami), **vo vákuu** však  $c$ , pričom norma uvádza  $c_0$ . Termín **čas** na rozdiel od požiadaviek noriem ISO sa používa na viacerých miestach vo význame časového intervalu, resp. doby, čo zjednodušuje formulácie zákonov a definičných vzťahov.

V prípadoch, keď sa u nás zaužívaný názov fyzikálnej veličiny uvádza ako rovnocenný ekvivalent hlavného názvu, je hlavný názov v zátvorke za povoleným ekvivalentom.

V texte používame nasledovnú všeobecne zaužívanú symboliku:

- $[X]$  označuje jednotku fyzikálnej veličiny  $X$

napr.  $[s] = \text{m}$  (meter)

$$[F] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N} \quad (\text{newton})$$

Poznámka: Vyjadrenie jednotky fyzikálnej veličiny pomocou základných jednotiek sústavy SI sa nazýva často i fyzikálny rozmer jednotky

napr.  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  je fyzikálny rozmer jednotky N (newton)

- $X$  (naklonené písmeno – kurzíva) označuje skalárnu fyzikálnu veličinu

napr.  $s$  – dráha

- $\mathbf{X}$  (polohrubé naklonené písmeno) označuje vektorovú fyzikálnu veličinu

napr.  $\mathbf{F}$  – sila

- $F = |\mathbf{F}|$  označuje veľkosť vektora sily  $\mathbf{F}$

$v = |\mathbf{v}|$  označuje veľkosť vektora rýchlosti  
a pod.

Autor



# 1. MECHANIKA

## 1.1. KINEMATIKA

### FYZIKÁLNE VELIČINY A ICH JEDNOTKY V SÚSTAVE SI

#### Základné veličiny a ich základné jednotky

Veličina	Značka	Jednotka	Značka
dĺžka	$l$	meter	m
hmotnosť	$m$	kilogram	kg
čas	$t$	sekunda	s
látkové množstvo	$n$	mól	mol
svietivosť	$I$	kandela	cd
termodynamická tep- lota	$T$	kelvin	K
elektrický prúd	$I$	ampér	A

**Odvođené veličiny, resp. jednotky** sú odvodené zo základných, príp. už odvodených veličín, resp. jednotiek. Napríklad:

práca	$W = F s$	joule	$J = N \cdot m$
hustota	$\rho = \frac{m}{V}$		$kg \cdot m^{-3}$
rovinný uhol	$\alpha = \frac{s}{r}$	radián	rad
priestorový uhol	$\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}$	steradián	sr

Základné a odvodené veličiny a ich jednotky sú **hlavné veli-**

**činy a jednotky** medzinárodnej sústavy SI (*Système International d'Unités*).

**Násobky a diely jednotiek** sa tvoria pomocou predpôň z názvov základných a odvodených jednotiek s významom zodpovedajúcim mocninám desiatky.

Predpony	Značka	Mocnina
<i>N á s o b n é:</i>		
kilo	k	$10^3$
mega	M	$10^6$
giga	G	$10^9$
tera	T	$10^{12}$
<i>Č i a s t k o v é:</i>		
mili	m	$10^{-3}$
mikro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
piko	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$

## HMOTA A POHYB

**HMOTA.** Objektívna realita, ktorú vnímame prostredníctvom svojich zmyslov, pričom existuje nezávisle od nášho vedomia.

**FORMY HMOTY:** *látka* – štruktúrnou jednotkou sú častice s nenulovou pokojovou hmotnosťou (molekuly, atómy, ióny

a pod.)  
*pole* – gravitačné, elektrické, magnetické pole, pole jadrových síl. Prejavuje sa silovým pôsobením.

**POHYB.** Akákoľvek zmena, zmena vôbec. Je to spôsob existencie hmoty. Pohyb je základná a neoddeliteľná vlastnosť hmoty. Neexistuje hmota bez pohybu a pohyb bez hmoty.

**DRUHÝ POHYBU** (podľa jeho zložitosti):

- fyzikálny
- chemický
- biologický
- spoločenský
- myslenie

Mechanický pohyb je najjednoduchšia forma pohybu. Ide o zmenu polohy telesa vzhľadom na iné telesá.

**HMOTNÝ BOD.** Je to teleso, ktorého tvar a rozmery pri riešení daného problému zanedbávame, berieme do úvahy len jeho hmotnosť.

**HMOTNOSŤ.** Je to miera gravitačných a zotrvačných vlastností telies.

**TRAJEKTÓRIA** je súhrn všetkých bodov, do ktorých sa hmotný bod pri svojom pohybe dostane (trajektória nie je fyzikálna veličina).

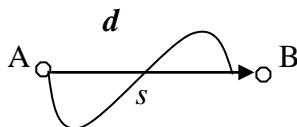
**DRÁHA** (zn.  $s$  – skalárna fyzikálna veličina) je dĺžka trajektórie.

$$[s] = \text{m} \quad (\text{meter})$$

Definícia metra (m) súvisí s rýchlosťou svetla vo vákuu, preto ju uvádzame v uvedených súvislostiach neskôr (kapitola 8.1.GEOMETRICKÁ OPTIKA, heslo RÝCHLOSŤ SVETLA).

**POSUNUTIE** (zn.  $d$  – vektorová fyzikálna veličina). Je to orientovaná úsečka spájajúca začiatočný bod A a koncový bod B trajektórie hmotného bodu.

- Smer posunutia určuje smer orientovanej úsečky.
- Veľkosť posunutia určuje dĺžka orientovanej úsečky **AB**.



## Rozdelenie mechanických pohybov

*Podľa trajektórie*

Pohyb hmotného bodu:

**priamočiary:** trajektóriou je priamka

**krivočiary:** trajektóriou je krivka

Pohyb telesa:

**translačný (posuvný):** všetky body telesa opíšu za ten istý čas rovnakú trajektóriu; ľubovoľné priamky pevne spojené s telesom si zachovávajú svoj smer vzhľadom na zvolenú

vzťažnú súradnicovú sústavu,

**rotačný(otáčavý):** všetky body telesa sa pohybujú po kružniciach so stredmi na osi otáčania a v rovinách na ňu kolmých.

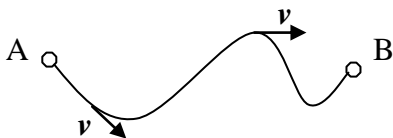
*Podľa rýchlosti*

Rovnomerný pohyb: veľkosť rýchlosti  $v = \text{konšt.}$

Nerovnomerný pohyb:  $v \neq \text{konšt.}$

**OKAMŽITÁ RÝCHLOSŤ** (zn.  $\mathbf{v}$  – vektorová fyzikálna veličina). Ide o rýchlosť telesa *v danom časovom okamihu*. Je to rýchlosť, ktorou by sa teleso pohybovalo, keby od tohto okamihu bol jeho pohyb rovnomerný priamočiary.

*Smer:* v smere dotýčnice k trajektórii AB



*Veľkosť*

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}; \quad \Delta t \rightarrow 0$$

$\Delta s$  – dráha prejdená telesom za čas  $\Delta t$

**PRIEMERNÁ RÝCHLOSŤ** (zn.  $v_p$  – skalárna fyzikálna veličina). Zavádzame ju pri nerovnomernom pohybe.

$$v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$\Delta s$  – celková dráha prejdená telesom pri nerovnomernom pohybe za čas  $\Delta t$

**VEĽKOSŤ RÝCHLOSTI ROVNOMERNÉHO POHYBU** je určená podielom dráhy a času, za ktorý hmotný bod prešiel dráhu rovnomerným pohybom.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$
$$[v] = \frac{[\Delta s]}{[\Delta t]} = \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

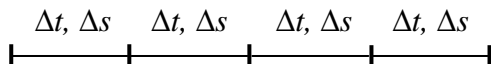
**Definícia:**  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  je rýchlosť, pri ktorej hmotný bod prejde dráhu 1 m rovnomerným pohybom za čas 1 s.

**ZRÝCHLENIE** (zn.  $a$  – vektorová veličina) zrýchleného alebo spomaleného pohybu je určené podielom zmeny okamžitej rýchlosti a času, za ktorý zmena nastala.

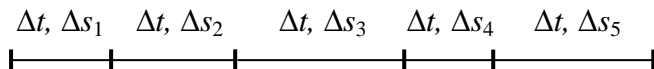
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

**Definícia:**  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  je zrýchlenie, pri ktorom sa rýchlosť hmotného bodu za čas 1 s zmení o  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**ROVNOMERNÝ POHYB** je pohyb, pri ktorom hmotný bod (teleso) prejde v ľubovoľných, ale rovnakých časových intervaloch rovnaké dráhy.



**NEROVNOMERNÝ POHYB** je taký pohyb, pri ktorom hmotný bod (teleso) prejde v ľubovoľných, ale rovnakých časových intervaloch rôzne dráhy.



**ROVNOMERNÝ POHYB.** Pre priamočiary i krivočiary pohyb platia vzťahy

$$s = v t \qquad v = \frac{s}{t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$s = s_0 + v t$$

$s$  – dráha

$s_0$  – začiatková dráha (v čase  $t = 0$  s)

$v$  – rýchlosť pohybu

**ROVNOMERNE ZRÝCHLENÝ POHYB** je taký pohyb, pri ktorom sa hmotný bod (teleso) pohybuje pri konštantnom zrýchlení po priamke.

$a = \text{konšt.}$

všeobecne:

$$v = v_0 + a t$$

$$v = a t \quad \text{pre } v_0 = 0$$

$v$  – okamžitá rýchlosť

$v_0$  – začiatková rýchlosť

$a$  – zrýchlenie

### ROVNOMERNE ZRÝCHLENÝ PRIAMOČIARY POHYB:

*Rýchlosť*

$$v = v_0 + a t$$

pre  $v_0 = 0$

$$v = a t$$

*Dráha*

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

pre  $s_0 = 0$  ( $s_0$  – začiatková dráha)

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

pre  $s_0 = 0, v_0 = 0$

$$s = \frac{1}{2} a t^2$$

### ROVNOMERNE SPOMALENÝ PRIAMOČIARY POHYB:

*Rýchlosť*

$$v = v_0 - a t$$

*Dráha*

$$s = s_0 + v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$$

pre  $s_0 = 0$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$$

**VOĽNÝ PÁD** je pohyb voľne spustených telies (bez udeľovania začiatkovej rýchlosti) smerom k Zemi vo vákuu. Pre



okamžitú rýchlosť a dráhu tohto pohybu platí:

$$v = g t \qquad s = \frac{1}{2} g t^2$$

$g \doteq 9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  je normálne tiažové zrýchlenie.

**ROVNOMERNÝ POHYB PO KRUŽNICI.** Hmotný bod koná rovnomerný pohyb po kružnici, ak v ľubovoľných, ale rovnakých časových intervaloch opíše rovnako veľké oblúky  $\Delta s$ , ktorým zodpovedajú rovnako veľké stredové uhly  $\Delta\varphi$ .

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r} \quad \text{je uhol v oblúkovej miere}$$

(v radiánoch) opísaný pri  
pohybe telesa po kružnici  
za čas  $\Delta t$

**Periód**a (zn.  $T$ ) je čas jedného obehu hmotného bodu po kružnici.

$$[T] = \text{s}$$

**Frekvencia** (zn.  $f$ ) je prevrátená hodnota periódy; je to počet obbehov hmotného bodu po kružnici za 1 s.

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

$$[f] = \text{s}^{-1} = \text{Hz} \quad (\text{hertz})$$

**Definícia: 1 hertz (Hz) je frekvencia deja s periódou 1 sekunda.**

**Obvodová rýchlosť:** 
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2 \pi r}{T} = 2 \pi r f$$

**Uhlová rýchlosť:** 
$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \frac{v}{r}$$

**Dostredivé zrýchlenie:**

$$a_d = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r = 4\pi^2 f^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

## 1.2. DYNAMIKA

**SILA** (zn.  $F$  – vektorová fyzikálna veličina) je miera vzájomného pôsobenia telies.

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

$$[F] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N} \quad (\text{newton})$$

Definícia: **1 newton (N)** je sila, ktorá telesu s hmotnosťou **1 kg** udeľuje zrýchlenie **1 m . s<sup>-2</sup>**.

Účinky sily: – *statické* (deformácia)  
– *dynamické* (zmena pohybového stavu telies)

**1. NEWTONOV POHYBOVÝ ZÁKON – zákon zotrvačnosti:** *Každé teleso v inerciálnej vzťažnej sústave zostáva v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe, kým nie je nútené vonkajšími silami svoj pohybový stav zmeniť.*

**HYBNOSŤ** (zn.  $p$  – vektorová fyzikálna veličina) je miera pohybového stavu telies. Je určená súčinom hmotnosti a

okamžitej rýchlosti telesa.

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v}$$
$$[p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Definícia:**  $1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  je hybnosť telesa s hmotnosťou  $1 \text{ kg}$  a rýchlosťou  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 2. NEWTONOV POHYBOVÝ ZÁKON – zákon sily:

- *Sila pôsobiaca na teleso je určená súčinom jeho hmotnosti a zrýchlenia, ktoré mu udeľuje.*

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

- *Sila pôsobiaca na teleso je určená podielom zmeny jeho hybnosti a času, za ktorý túto zmenu spôsobila.*

$$\mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$$

**3. NEWTONOV POHYBOVÝ ZÁKON – zákon akcie a reakcie:** *Dve telesá na seba navzájom pôsobia rovnako veľkými silami opačného smeru.*

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2, \quad F_1 = F_2$$

Jedna zo síl je *akcia*, druhá je *reakcia*. Akcia vyvoláva reakciu. Akcia a reakcia súčasne vznikajú, a súčasne aj zanikajú.

**IMPULZ SILY** (zn.  $\mathbf{I}$  – vektorová fyzikálna veličina) je miera časového účinku sily. Je určený súčinom sily a času, za ktorý sila pôsobí na teleso. Rovná sa zmene hybnosti telesa.

$$\mathbf{I} = \mathbf{F} \Delta t = \Delta \mathbf{p}$$

Pre  $\mathbf{p}_0 = \mathbf{0}$  (začiatočná hybnosť v čase  $t_0 = 0$ ) platí:

$$\mathbf{I} = \mathbf{F} t = \mathbf{p} = m \mathbf{v}$$

**DOSTREDIVÁ A ODS TRE DIVÁ SILA.** Vznikajú pri pohybe telesa po kružnicovej trajektórii.

**Dostredivá sila:**  $\mathbf{F}_d = m \mathbf{a}_d$ ,  $\mathbf{a}_d$  – dostredivé zrýchlenie

- smeruje do stredu kružnicovej trajektórie,
- veľkosť:

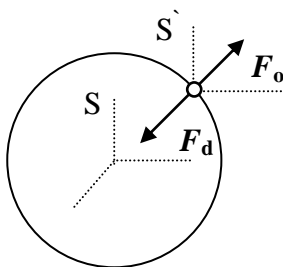
$$F_d = m a_d = \frac{m v^2}{r} = m \omega^2 r = m \frac{4 \pi^2 r}{T^2} = m 4 \pi^2 f^2 r$$

**Odstredivá sila:**  $\mathbf{F}_o = -\mathbf{F}_d = -m \mathbf{a}_d$

- smeruje von od stredu kruhovej trajektórie
- veľkosť:

$$F_o = F_d$$

Zavádza sa iba v otáčajúcej sa neinerciálnej sústave  $S'$ . Ide o špeciálny prípad *zotrvačnej sily*.

**TRECIA SILA:**

$$F_t = f F_n$$

$f$  – faktor trenia (koeficient trenia)

$F_n$  – normálová sila, ktorou je teleso pritláčané na podložku

**Šmykové trenie.** Vzniká pri kĺzaní telesa po podložke.

Druhy šmykového trenia:

*statické:* teleso je v pokoji

$$F_t \leq F_{t\max} = f_o F_n$$

$f_o$  – faktor šmykového trenia v pokoji

*kinetické:* teleso je v pohybe

$$F_t = f F_n$$

$f$  – faktor šmykového trenia v pohybe

**Valivý odpor** vzniká pri valivom pohybe telesa po podložke.

$$F_t = f_v F_n = \frac{\xi}{r} F$$

$f_v$  – faktor valivého odporu

$\xi$  – rameno valivého odporu

$r$  – polomer valiaceho sa telesa

Pre rovnaké materiály (teleso aj podložka) platí:  $f_v \ll f < f_o$ .

### 1.3. GRAVITAČNÉ POLE

#### NEWTONOV VŠEOBECNÝ GRAVITAČNÝ ZÁKON:

*Každé dve telesá sa navzájom priťahujú rovnako veľkými gravitačnými silami  $F_g$  opačného smeru. Veľkosť  $F_g$  je priamo úmerná súčinu ich hmotností a nepriamo úmerná štvorcu ich vzdialenosti.*

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad F_{g1} = -F_{g2}$$

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$  je gravitačná konštanta.

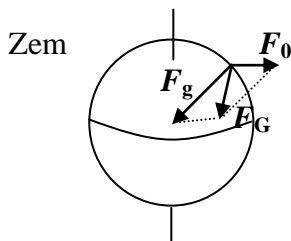
#### GRAVITAČNÁ A TIAŽOVÁ SILA

**Gravitačná sila:**  $F_g = m a_g$ ,  $a_g$  je gravitačné zrýchlenie  
Sila smeruje do stredu Zeme.

**Tiažová sila:**  $F_G = F_g + F_o$ ,  $F_o$  je odstredivá sila

$F_G = m g$ ,  $g$  je tiažové zrýchlenie  
Smer sily je zvislo nadol

(určuje ho napr. olovnica).



**INTENZITA GRAVITAČNÉHO POĽA** (zn.  $K$  – vektoreváž fyzikálna veličina) je určená podielom gravitačnej sily v danom mieste gravitačného poľa pôsobiacej na teleso a hmotnosti tohto telesa. Číselne sa rovná gravitačnej sile pôsobiacej v danom mieste poľa na 1 kg látky.

$$K = \frac{F_g}{m} = a_g$$

Smer pôsobenia je zhodný so smerom  $F_g$ .

Veľkosť:  $K = \frac{F_g}{m} = a_g$

$$[K] = \frac{[F_g]}{[m]} = \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**Definícia:** Gravitačné pole má v danom mieste intenzitu  $1 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ , ak pôsobí v tomto mieste na teleso s hmotnosťou 1 kg silou 1 N.

**GRAVITAČNÝ POTENCIÁL** (zn.  $\varphi_g$  – skalárna fyzikálna

veľičina) je:

- ❖ v danom mieste poľa určený podielom gravitačnej potenciálnej energie  $E_p$  telesa s hmotnosťou  $m$  v tomto bode a hmotnosti tohto telesa (číselne sa rovná  $E_p$  pripadajúcej na 1 kg látky)

$$\varphi_g = \frac{E_p}{m}$$

- ❖ v danom mieste poľa určený podielom práce, ktorú vykoná  $F_g$  pri premiestnení telesa s hmotnosťou  $m$  z daného miesta poľa na povrch Zeme, a hmotnosti tohto telesa.

$$\varphi_g = \frac{W}{m}$$

V homogénnom gravitačnom poli ( $K = \text{konšt.}$ ):

$$E_p = m K h$$

$$\varphi_g = K h$$

$K$  – veľkosť intenzity gravitačného poľa

$h$  – výška telesa s hmotnosťou  $m$  nad povrchom Zeme

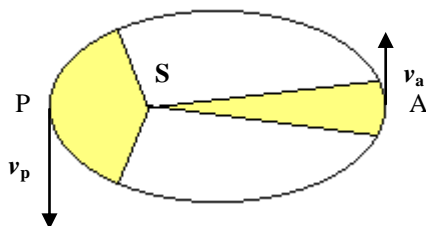
$$[\varphi_g] = \frac{[E_p]}{[m]} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**Definícia:  $1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  je gravitačný potenciál v danom mieste gravitačného poľa, ak na premiestnenie telesa s hmotnosťou 1 kg z daného miesta poľa na povrch Zeme vykoná gravitačná sila  $F_g$  prácu 1 J.**



## KEPLEROVE ZÁKONY

- 1. Keplerov zákon:** *Planéty sa pohybujú po elipsách málo odlišných od kružníc; v ich spoločnom ohnisku je Slnko.*
- 2. Keplerov zákon:** *Plochy opísané sprievodičom planéty za jednotku času sú konštantné.*



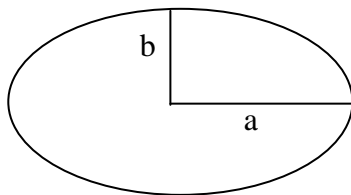
S – Slnko

P – perihélium (príslnie – bod trajektórie planéty, v ktorom je rýchlosť planéty  $v_p$  najväčšia)

A – afélium (odslnie – bod trajektórie planéty, v ktorom je rýchlosť planéty  $v_a$  najmenšia)

- 3. Keplerov zákon:** *Pomer druhých mocnín obežných dôb  $T_1, T_2$  dvoch planét sa rovná pomeru tretích mocnín hlavných polosí  $a_1, a_2$  ich trajektórií.*

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



a, b – hlavná a vedľajšia polos eliptickej trajektórie planéty

## 1.4. PRÁCA A ENERGIA

**MECHANICKÁ PRÁCA** (zn.  $W$  – skalárna fyzikálna veličina) je mierou dráhového účinku sily, makroskopickou formou prijímania alebo odovzdávania energie.

Vypočítame ju ako súčin sily a dráhy, po ktorej pôsobí táto sila v smere posunutia.

$$W = F s$$

$$[W] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{J} \quad (\text{joule})$$

**Definícia: 1 joule (J) je práca, ktorú vykoná sila 1 N pôsobiaca po dráhe 1 m v smere posunutia.**

Ak smer sily zvierá so smerom posunutia uhol  $\alpha$ , tak platí:

$$W = F s \cos \alpha$$

**VÝKON** (zn.  $P$  – skalárna fyzikálna veličina) je určený podielom práce a času, za ktorý bola práca vykonaná.

$$P = \frac{W}{t}$$

Číselne sa rovná práci vykonanej za jednotku času.

$$[P] = \frac{[W]}{[t]} = \text{J} \cdot \text{s}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} = \text{W} \quad (\text{watt})$$

**Definícia: 1 watt (W) je výkon, pri ktorom sila vykoná prácu 1 J za čas 1 s.**

**PRÍKON** (zn.  $P_o$  – skalárna fyzikálna veličina) je výkon dodávaný zariadeniu.

$$P_o = \frac{E}{t}, \quad E - \text{energia dodaná za čas } t$$

**ÚČINNOSŤ** (zn.  $\eta$  – skalárna fyzikálna veličina) je podiel výkonu a príkonu zariadenia alebo podiel práce vykonanej za daný čas a energie dodanej zariadeniu v danom čase.

$$\eta = \frac{P}{P_o} = \frac{W}{E}$$

Účinnosť je bezrozmerná veličina.

**ENERGIA** (zn.  $E$  – skalárna fyzikálna veličina) je mierou akéhokoľvek druhu pohybu. Je stavová veličina, charakterizuje pohybový stav telies.

$$[E] = \text{J} \quad (\text{joule})$$

**KINETICKÁ (POHYBOVÁ) ENERGIA** (zn.  $E_k$ ). Je to mechanická energia v dôsledku pohybu telesa.

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$[E_k] = \text{J} \quad (\text{joule})$$

$v$  – okamžitá rýchlosť telesa

$m$  – hmotnosť telesa

**POTENCIÁLNA (POLOHOVÁ) ENERGIA TIAŽOVÁ**  
(zn.  $E_p$ ). Je to mechanická energia v dôsledku polohy telesa.

$$E_p = m g h$$

$$[E_p] = \text{J} \quad (\text{joule})$$

Závisí od voľby nulovej hladiny  $E_p$ .

$h$  – výška telesa nad nulovou hladinou ( $E_p = 0$ ) potenciálnej energie

$m$  – hmotnosť telesa

## **ZÁKONY ZACHOVANIA NIEKTORÝCH FYZIKÁLNYCH VELIČÍN V MECHANIKE**

### **ZÁKON ZACHOVANIA MECHANICKEJ ENERGIE**

*V izolovanej sústave telies pri všetkých dejoch v nej prebiehajúcej ostáva celková mechanická energia sústavy konštantná.*

$$E = E_k + E_p = \text{konšt.}$$

$E$  – celková mechanická energia

$E_k$  – celková kinetická energia

$E_p$  – celková potenciálna energia

### **ZÁKON ZACHOVANIA ENERGIE**

*V izolovanej sústave telies pri všetkých dejoch v nej prebiehajúcich ostáva celková energia sústavy konštantná.*

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \text{konšt.}$$

### **ZÁKON ZACHOVANIA HMOTNOSTI**

*V izolovanej sústave telies pri všetkých dejoch v nej prebiehajúcich ostáva celková hmotnosť sústavy konštantná.*

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \text{konšt.}$$

### **ZÁKON ZACHOVANIA HYBNOSTI**

*V izolovanej sústave telies pri všetkých dejoch v nej prebiehajúcich ostáva celková hybnosť sústavy konštantná.*

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \dots + \mathbf{p}_n = \text{konšt.}$$

## **1.5. MECHANIKA TUHÉHO TELESA**

**MOMENT SILY** (zn.  $\mathbf{M}$  – vektorová fyzikálna veličina) je mierou otáčavého účinku sily.

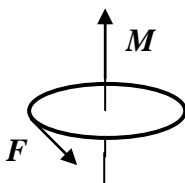
Veľkosť momentu sily vzhľadom na os otáčania kolmú na smer sily určíme ako súčin veľkosti sily a ramena sily.

$$M = F r$$

$r$  – rameno sily

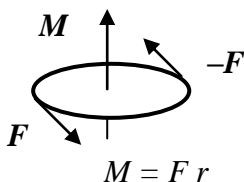
Vektor momentu sily leží v osi otáčania, pričom jeho smer určujeme podľa pravidla pravej ruky.

**Pravidlo pravej ruky:** Keď položíme pravú ruku na povrch telesa tak, aby prsty ukazovali smer sily, ktorá spôsobuje jeho otáčanie, vztýčený palec ukazuje smer momentu sily.



### MOMENT DVOJICE SÍL

Dvojica síl sú dve rovnako veľké rovnobežné sily opačného smeru neležiace na jednej priamke.



$r$  – rameno dvojice síl (kolmá vzdialenosť vektorových priamok síl)

Veľkosť momentu dvojice síl sa rovná súčinu veľkosti jednej sily dvojice a ramena dvojice síl.

**MOMENTOVÁ VETA:** Otáčavý účinok síl pôsobiacich na

tuhé teleso otáčajúce sa okolo nehybnej osi sa ruší, ak vektorový súčet momentov všetkých síl vzhľadom na túto os je nulový vektor momentu sily.

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \dots + \mathbf{M}_n = \mathbf{0}$$

## 1.6. MECHANIKA KVAPALÍN A PLYNOV

**TLAK** (zn.  $p$  – skalárna fyzikálna veličina) je určený podielom sily a obsahu plochy, na ktorú pôsobí táto sila kolmo a je na nej rovnomerne rozložená.

$$p = \frac{F}{S}$$
$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa} \quad (\text{pascal})$$

**Definícia:** 1 pascal (Pa) je tlak, ktorým pôsobí sila 1 N kolmo na plochu 1 m<sup>2</sup>, pričom je na nej rovnomerne rozložená.

### PASCALOV ZÁKON

*Tlak vyvolaný vonkajšou silou, ktorá pôsobí kolmo na povrch uzavretého objemu kvapaliny, je vo všetkých miestach kvapaliny rovnaký.*

### ARCHIMEDOV ZÁKON

*Teleso ponorené do kvapaliny je nadľahčované hydrostatickou vztlakovou silou, ktorej veľkosť sa rovná tiaži kvapaliny*

vytlačenej telesom.

$$F_{vz} = V\rho g$$

$V$  – objem vytlačenej kvapaliny (t. j. objem ponorenej časti telesa)

$\rho$  – hustota kvapaliny

$g$  – tiažové zrýchlenie

Archimedov zákon platí aj pre plyny.

**HYDROSTATICKÝ TLAK** je tlak spôsobený vlastnou tiažou kvapaliny.

$$p = h \rho g$$

$h$  – výška kvapalinového stĺpca (hlbka) kvapaliny

$\rho$  – hustota kvapaliny

$g$  – tiažové zrýchlenie

**ATMOSFÉRICKÝ TLAK** je tlak spôsobený vlastnou tiažou vzduchu (atmosféry).

Normálny atmosférický tlak

$$p_n = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 101,3 \text{ kPa}$$

**ROVNICA SPOJITOSTI.** Vyjadruje zákon zachovania hmotnosti pri ustálenom prúdení ideálnej kvapaliny.

*Pri ustálenom prúdení rôznymi prierezmi prúdovej trubice za rovnaký čas pretečie rovnaké množstvo kvapaliny, t. j. rovna-*



*ky hmotnostný prietok ( $q_m = \frac{m}{t} = S v \rho$ ).*

$$S v \rho = \text{konšt.}$$

$S$  – obsah prierezu prúdovej trubice

$v$  – rýchlosť kvapaliny pretekajúcej daným prierezom

$\rho$  – hustota kvapaliny

Pre dva rôzne prierezy platí:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

**BERNOULLIHO ROVNICA.** Vyjadruje zákon zachovania mechanickej energie pri ustálenom prúde ideálnej kvapaliny.

*Pri ustálenom prúde kvapaliny je súčet tlakovej a kinetickej energie v jednotkovom objeme kvapaliny rovnaký.*

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konšt.}$$

Pre dva rôzne prierezy platí:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

## **2. MOLEKULOVÁ FYZIKA A TERMODYNAMIKA**

### **2.1. TEPLOTA, TEPLO A PRÁCA**

**IZOLOVANÁ SÚSTAVA.** Je to sústava, ktorá si nevymieňa energiu s okolím.

**ROVNOVÁŽNY STAV.** Je stav, pri ktorom sú stavové veličiny tlak, objem, teplota a energia ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $E$ ) konštantné. Pri nezmenených vonkajších podmienkach každá sústava prejde samovoľne po istom čase do rovnovážneho stavu.

**TEPLOTA.** Je to fyzikálna veličina charakterizujúca tepelný stav látok (teda mieru pohybu ich častíc – rýchlejší pohyb častíc znamená vyššiu teplotu látky).

**CELZIOVA TEPLITNÁ STUPNICA.** Založená je na dvoch základných teplotách:

0 °C      ... bod mrazu vody  
100 °C    ... bod varu vody  
(pri normálnom atmosférickom tlaku)

Meraná teplota v tejto stupnici (zn.  $t$ ) sa nazýva **Celziova teplota**

$[t] = ^\circ\text{C}$  (stupeň Celzia)

Táto stupnica sa používa v bežnom živote, v každodennej praxi.

**TERMODYNAMICKÁ TEPLOTNÁ STUPNICA** (Kelvinova). Je to základná teplotná stupnica používaná vo fyzike a v technickej praxi. Je založená na jednej základnej teplote – teplote rovnovážneho stavu sústavy, ktorú tvoria ľad, voda a nasýtená para (trojný bod vody).

Meraná teplota v tejto stupnici (zn.  $T$ ) sa nazýva **termodynamická teplota**

$$[T] = \text{K} \quad (\text{kelvin})$$

Teplota trojného bodu vody:  $T_r = 273,16 \text{ K}$  ( $t_r = 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Definícia: **1 kelvin (K) je 273,16 -tá časť termodynamickej teploty trojného bodu vody.**

**VZŤAH MEDZI CELZIOVOU A TERMODYNAMICKOU TEPLOTOU:**

$$\begin{aligned} t &= (\{T\} - 273,15) \text{ }^\circ\text{C} \\ T &= (\{t\} + 273,15) \text{ K} \end{aligned}$$

$\{t\}$ ,  $\{T\}$  – číselné hodnoty teplôt

**VNÚTORNÁ ENERGIA TELESA** (zn.  $U$ ). Je to energia, ktorá súvisí s jeho vnútornou časticovou štruktúrou.

Je súčtom celkovej kinetickej energie chaoticky sa pohybujúcich častíc telesa (molekúl, atómov, iónov) a celkovej potenciálnej energie vzájomnej polohy týchto častíc.

**ZOVŠEOBECNENÝ ZÁKON ZACHOVANIA MECHANICKEJ ENERGIE.** *V izolovanej sústave telies pri všetkých dejoch v nej prebiehajúcich zostáva súčet celkovej kinetickej, potenciálnej a vnútornej energie telies konštantný.*

$$E_k + E_p + U = \text{konšt.}$$

**TEPLO** (zn.  $Q$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to energia, ktorú pri tepelnej výmene odovzdá teplejšie teleso chladnejšiemu. Je mierou zmeny vnútornej energie telesa – mikroskopická forma prijímania alebo odovzdávania energie.

$$Q = \Delta U$$

$$Q = c m \Delta T = C \Delta T$$

$$\text{resp. } Q = c m \Delta t = C \Delta t$$

- $\Delta U$  – zmena vnútornej energie telesa
- $C$  – tepelná kapacita látky
- $c$  – hmotnostná tepelná kapacita látky
- $\Delta T, \Delta t$  – zmena teploty telesa
- $m$  – hmotnosť telesa

$$[Q] = \text{J} \quad (\text{joule})$$

**Teplo prijaté (resp. odovzdané) telesom je priamo úmerné jeho hmotnosti a prírastku (resp. úbytku) jeho teploty.**

**TEPELNÁ KAPACITA** (zn.  $C$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to množstvo tepla potrebné na zmenu teploty telesa o  $1^\circ\text{C}$ , resp. o  $1\text{ K}$ .

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$[C] = \text{J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}, \text{ resp. } \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$$

**HMOTNOSTNÁ TEPELNÁ KAPACITA** (zn.  $c$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to množstvo tepla potrebné na zmenu teploty 1 kg látky telesa o 1 °C, resp. o 1 K.

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \Delta t} = \frac{Q}{m \Delta T}$$

$$[c] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}, \text{ resp. } \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

**KALORIMETRICKÁ ROVNICA.** V izolovanej sústave platí:

$$Q_1 = Q_2$$

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$$

$m_1, m_2$  – hmotnosti telies

$c_1, c_2$  – hmotnostné tepelné kapacity telies

$t_1$  – teplota teplejšieho telesa

$t_2$  – teplota chladnejšieho telesa

$t$  – výsledná teplota

$c_1 m_1 (t_1 - t)$  je teplo odovzdané teplejším telesom

$c_2 m_2 (t - t_2)$  je teplo prijaté chladnejším telesom

**Pre kalorimeter platí:**

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2) + C (t - t_2)$$

$C$  – tepelná kapacita kalorimetra

$C (t - t_2)$  – teplo prijaté kalorimetrom

**1. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON** – zákon zachovania energie pre mechanické a tepelné deje.

**1. formulácia:**

$$\Delta U = Q + W$$

*Prírastok vnútornej energie termodynamickej sústavy sa rovná súčtu práce vykonanej telesami, ktoré pôsobia na túto sústavu silami, a tepla odovzdaného okolitými telesami sústave.*

**2. formulácia:**

$$Q = \Delta U + W'$$

*Teplo dodané termodynamickej sústave sa rovná súčtu prírastku jej vnútornej energie a práce, ktorú sústava vykonala.*

**3. formulácia:**

$$W' = Q - \Delta U$$

*Nemožno zostrojiť zariadenie (tzv. perpetuum mobile prvého druhu), ktoré by vykonávalo prácu bez toho, aby sa menila veľkosť jeho energie alebo energie okolitého prostredia. Môže konať teda prácu len na úkor svojej vnútornej energie a na úkor tepla z okolia.*

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$U_1$  – energia na začiatku deja

$U_2$  – energia na konci deja

## 2. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

*Nemožno zostrojiť periodicky pracujúci tepelný stroj (perpetuum mobile druhého druhu), ktorý by teplo od istého telesa (ohrievača) iba prijímal a vykonával tomu ekvivalentnú prácu.*

$$W' \neq Q_1$$
$$W' = Q_1 - Q_2$$

$Q_1$  – teplo prijaté od ohrievača

$Q_2$  – teplo odovzdané chladiču

## 2.2. TEPELNÉ DEJE V PLYNOCH

**STAVOVÁ ROVNICA IDEÁLNEHO PLYNU** vyjadruje vzťah medzi stavovými veličinami  $p$ ,  $V$ ,  $T$  charakterizujúcimi plyn.

1. tvar:

$$p V = N k T$$

$p$ ,  $V$ ,  $T$  – tlak, objem a teplota plynu

$N$  – počet molekúl plynu

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ... Boltzmannova konštanta

2. tvar:

$$p V = n R T$$

$n$  – látkové množstvo plynu

$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  ... molárna plynová konštanta

3. tvar:

$$p V = \frac{m}{M} R T$$

$m$  – hmotnosť plynu

$M$  – molárna hmotnosť

4. tvar:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

**Pri stavovej zmene ideálneho plynu so stálou hmotnosťou**

**je výraz  $\frac{p V}{T}$  konštantný.**

Stavová rovnica platí presne len pre ideálny plyn. Pre reálny plyn platí tým presnejšie, čím je nižší jeho tlak a vyššia jeho teplota.

**IZOTERMICKÝ DEJ.** Je to dej, pri ktorom je teplota plynu konštantná.

$$p V = \text{konšt.}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$



**Boylov-Mariottov zákon.** *Pri izotermickom deji s ideálnym plynom so stálou hmotnosťou je súčin tlaku plynu a objemu plynu konštantný.*

**IZOCHORICKÝ DEJ.** Je to dej, pri ktorom je objem plynu konštantný.

$$\frac{p}{T} = \text{konšt.}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

**Charlov zákon.** *Pri izochorickom deji s ideálnym plynom so stálou hmotnosťou je podiel tlaku plynu a termodynamической teploty plynu konštantný.*

**IZOBARICKÝ DEJ.** Je to dej, pri ktorom je tlak plynu konštantný.

$$\frac{V}{T} = \text{konšt.}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

**Gay-Lussacov zákon.** *Pri izobarickom deji s ideálnym plynom so stálou hmotnosťou je podiel objemu plynu a termodynamической teploty plynu konštantný.*

**ADIABATICKÝ DEJ.** Je to dej, pri ktorom neprebíha výmena tepla medzi plynom a okolím (plyn je tepelne izolovaný).

$$p V^\chi = \text{konšt.}$$

$$Q = 0 \text{ J}$$

$$p_1 V_1^\chi = p_2 V_2^\chi$$

$$\chi = \frac{c_p}{c_v} \dots \text{Poissonova konštanta}$$

$c_p$  – hmotnostná tepelná kapacita plynu pri konštantnom tlaku

$c_v$  – hmotnostná tepelná kapacita plynu pri konštantnom objeme

**Poissonov zákon.** *Pri adiabatickom deji s ideálnym plynom so stálou hmotnosťou je súčin tlaku a objemu plynu umocneného na kapu konštantný.*

## 2.3. MECHANICKÉ A TEPELNÉ VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTOK A KVAPALÍN

### 2.3.1. PEVNÉ LÁTKY

**DEFORMÁCIA.** Je to zmena tvaru pevného telesa spôsobená vonkajšími silami.

**Pružná deformácia (elastická).** Po ukončení vonkajšieho silového pôsobenia teleso nadobudne pôvodný tvar – nastala dočasná deformácia.

**Tvárna deformácia (plastická).** Po ukončení vonkajšieho silového pôsobenia teleso nenadobudne svoj pôvodný tvar –

– nastala trvalá deformácia.

**NORMÁLOVÉ NAPÄTIE** (zn.  $\sigma$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to napätie určené podielom veľkosti sily pružnosti pôsobiacej kolmo na plochu a obsahu tejto plochy  $S$ .

$$\sigma = \frac{F_p}{S}$$

$$[\sigma] = \text{Pa} \quad (\text{pascal})$$

$$F_p = F$$

$F_p$  – sila pružnosti

$F$  – vonkajšia sila

**HOOKOV ZÁKON.** Normálové napätie pri pružnej deformácii je priamo úmerné relatívnemu predĺženiu.

$$\text{Pre } \sigma \leq \sigma_u \text{ platí } \sigma = E \varepsilon$$

$\sigma_u$  – medza úmernosti

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1} \quad \dots \text{ relatívne predĺženie}$$

$\Delta l = l - l_1$  ... predĺženie

$l_1$  – pôvodná dĺžka telesa

$l$  – nová dĺžka telesa

$E$  – Youngov modul pružnosti v ťahu

$$[E] = \text{Pa}$$

Z uvedeného dostávame

$$\frac{F_p}{S} = E \frac{\Delta l}{l_1}$$

**TEPLOTNÁ ROZŤAŽNOSŤ.** Je to zmena rozmerov telesa zapríčinená zmenou teploty.

$$\Delta t = t - t_1$$

Dĺžková teplotná rozťažnosť:

$$l = l_1 (1 + \alpha_l \Delta t)$$

$l$  – dĺžka telesa pri teplote  $t$

$l_1$  – dĺžka telesa pri teplote  $t_1$

$\alpha_l$  – teplotný koeficient dĺžkovej rozťažnosti

Objemová teplotná rozťažnosť:

$$V = V_1 (1 + \alpha_v \Delta t)$$

$V$  – objem telesa pri teplote  $t$

$V_1$  – objem telesa pri teplote  $t_1$

$\alpha_v$  – teplotný koeficient objemovej rozťažnosti

Pre izotropné látky platí:

$$\alpha_v \doteq 3\alpha_l$$

Hustota sa mení podľa vzťahu

$$\rho = \rho_1 (1 - \alpha_V \Delta t)$$

Význam veličín ako skôr.

### 2.3.2. KVAPALINY

**POVRCHOVÉ NAPÄTIE** (zn.  $\sigma$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to napätie určené podielom veľkosti sily pôsobiacej na povrch kvapaliny a dĺžky okraja povrchovej blany kvapaliny, na ktorú táto sila pôsobí kolmo.

$$\sigma = \frac{F_p}{l} = \frac{\Delta E}{\Delta S}$$

$F_p$  – sila pôsobiaca na povrch kvapaliny

$l$  – dĺžka okraja povrchovej blany

$\Delta E$  – povrchová energia kvapaliny

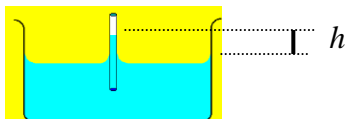
$\Delta S$  – obsah plochy povrchu kvapaliny

Číselne sa rovná povrchovej energii pripadajúcej na jednotku plochy

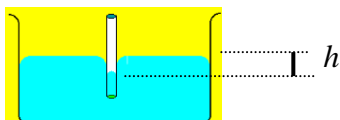
$$[\sigma] = \text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

### KAPILARITA

**Kapilárna elevácia.** Je to zdvihnutie voľnej hladiny v kapiláre nad voľnú hladinu kvapaliny v nádobe (pri kvapalinách, ktoré zmáčajú steny nádoby).



**Kapilárna depresia.** Je to pokles voľnej hladiny v kapiláre pod voľnú hladinu v nádobe (pri kvapalinách, ktoré nezmáčajú steny nádoby).



$$p_k = p_h$$

$$\frac{2\sigma}{R} = h \rho g$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \vartheta$$

$p_k$  – kapilárny tlak

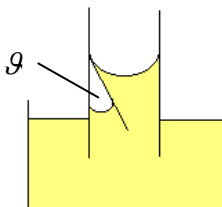
$p_h$  – hydrostatický tlak

$h$  – výška zdvihnutia, resp. poklesu kvapaliny v kapiláre

$R$  – polomer guľového povrchu kvapaliny

$r$  – polomer kapiláry

$\vartheta$  – stykový uhol (uhol dotýčnice k povrchu kvapaliny na rozhraní s ponorenou časťou steny kapiláry)



## 2.4. ZMENY SKUPENSTVA

**SKUPENSKÉ TEPLLO TOPENIA** (zn.  $L_t$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí prijať pevná látka zahriata na teplotu topenia, aby sa premenila na kvapalinu s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLLO TOPENIA** (zn.  $l_t$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí prijať 1 kg pevnej látky zahriatej na teplotu topenia, aby sa premenila na kvapalinu s rovnakou teplotou.

$$l_t = \frac{L_t}{m}$$

$$[l_t] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**Definícia:** 1 J . kg<sup>-1</sup> je merné skupenské teplo topenia pevnej látky, ktorej 1 kg zahriaty na teplotu topenia musí prijať teplo 1 J, aby sa premenil na kvapalinu s rovnakou teplotou.

**SKUPENSKÉ TEPLA TUHNUTIA** (zn.  $L_t$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí odovzdať kvapalina ochladená na teplotu tuhnutia, aby sa premenila na pevnú látku s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLA TUHNUTIA** (zn.  $l_t$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí odovzdať 1 kg kvapaliny ochladenej na teplotu tuhnutia, aby sa premenila na pevnú látku s rovnakou teplotou.

$$l_t = \frac{L_t}{m}$$

$$[l_t] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Definícia: **1 J . kg<sup>-1</sup> je merné skupenské teplo tuhnutia kvapaliny, ktorej 1 kg ochladený na teplotu tuhnutia musí odovzdať teplo 1 J, aby sa premenil na pevnú látku s rovnakou teplotou.**

**SKUPENSKÉ TEPLA VYPAROVANIA** (zn.  $L_v$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí prijať kvapalina s danou teplotou, aby sa premenila na paru s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLA VYPAROVANIA** (zn.  $l_v$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí prijať 1 kg kvapaliny s danou teplotou, aby sa premenila na paru s rovnakou teplotou.

$$l_v = \frac{L_v}{m}$$



$$[l_v] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**Definícia:**  $1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  je merné skupenské teplo vyparovania kvapaliny, ktorej  $1 \text{ kg}$  s danou teplotou musí prijať teplo  $1 \text{ J}$ , aby sa premenil na paru s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLA VARU.** Je merné skupenské teplo vyparovania kvapaliny pri teplote varu.

**Var** nastáva vtedy, keď tlak nasýtených pár kvapaliny sa vyrovná s vonkajším tlakom. Kvapalina sa vyparuje nielen z voľného povrchu, ale v celom svojom objeme.

**SKUPENSKÉ TEPLA KONDENZÁCIE** (zn.  $L_k$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí odovzdať plyn (para) s danou teplotou, aby sa premenil na kvapalinu s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLA KONDENZÁCIE** (zn.  $l_k$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí odovzdať  $1 \text{ kg}$  plynu (pary) s danou teplotou, aby sa premenil na kvapalinu s rovnakou teplotou.

$$l_k = \frac{L_k}{m}$$

$$[l_k] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**Definícia:**  $1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  je merné skupenské teplo kondenzácie plynu (pary), ktorého  $1 \text{ kg}$  s danou teplotou musí odovzdať teplo  $1 \text{ J}$ , aby sa premenil na kvapalinu s rovnakou teplotou.

**SKUPENSKÉ TEPLLO SUBLIMÁCIE** (zn.  $L_s$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí prijať pevná látka s danou teplotou, aby sa premenila na plyn s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLLO SUBLIMÁCIE** (zn.  $l_s$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí prijať 1 kg pevnej látky s danou teplotou, aby sa premenila na plyn s rovnakou teplotou.

$$l_s = \frac{L_s}{m}$$

$$[l_s] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Definícia: **1 J . kg<sup>-1</sup>** je merné skupenské teplo sublimácie pevnej látky, ktorej 1 kg s danou teplotou musí prijať teplo 1 J, aby sa premenil na plyn s rovnakou teplotou.

**SKUPENSKÉ TEPLLO DESUBLIMÁCIE** (zn.  $L_d$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí odovzdať plyn (para) s danou teplotou, aby sa premenil na pevnú látku s rovnakou teplotou.

**MERNÉ SKUPENSKÉ TEPLLO DESUBLIMÁCIE** (zn.  $l_d$  – skalárna fyzikálna veličina). Je množstvo tepla, ktoré musí odovzdať 1 kg plynu (pary) s danou teplotou, aby sa premenil na pevnú látku s rovnakou teplotou.

$$l_d = \frac{L_d}{m}$$

$$[l_d] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pri rovnakých podmienkach (pri rovnakom vonkajšom tlaku a teplote) zodpovedajúce si merné skupenské teplá (napr. vyparovania a kondenzácie) sa číselne rovnajú.

**KRITICKÝ BOD** (zn.  $K$ ) určuje kritický stav látky charakterizovaný kritickou teplotou  $T_K$ , kritickým tlakom  $p_K$  a kritickou hustotou  $\rho_K$ .  $T_K$  je teplota, pri ktorej zaniká rovnovážny stav medzi kvapalinou a nasýtenou parou. Skupenstvo látky, ktorej teplota  $T > T_K$ , sa nazýva plyn. Aby sme plyn mohli skvapalniť, musíme ho ochladiť pod  $T_K$ .

**TROJNÝ BOD** (zn.  $A$ ) určuje rovnovážny stav pevnej, kvapalnej a plynnej fázy danej látky (pre vodu  $T_A = 273,16 \text{ K}$ ,  $p_A = 0,61 \text{ kPa}$ ; je to rovnovážny stav ľadu, vody a nasýtenej vodnej pary).

## 3. ELEKTRINA

### 3.1. ELEKTROSTATIKA

**PERMITIVITA PROSTREDIA** (zn.  $\varepsilon$  – skalárna fyzikálna veličina) charakterizuje vplyv prostredia na elektrické pole.

Rozlišujeme dva druhy permitivity:  
permitivita vákua (tzv. elektrická konštanta):

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

relatívna permitivita prostredia:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

$\varepsilon$  – permitivita prostredia

$\varepsilon_0$  – permitivita vákua

**ELEMENTÁRNY ELEKTRICKÝ NÁBOJ** (zn.  $e$ ). Je to elektrický náboj, ktorý je už ďalej nedeliteľný.

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (coulomb)}$$

**BODOVÝ ELEKTRICKÝ NÁBOJ.** Je to náboj telesa, ktoré pokladáme za hmotný bod.

**COULOMBOV ZÁKON.** *Veľkosť elektrickej sily  $F_e$ , ktorou pôsobia vzájomne na seba dva bodové elektrické náboje  $Q_1$ ,  $Q_2$ , je priamo úmerná súčinu ich veľkostí a nepriamo úmerná štvorcu ich vzdialeností  $r$ .*

$$F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}$$

**ZÁKON ZACHOVANIA ELEKTRICKÉHO NÁBOJA.** *V elektricky izolovanej sústave telies pri všetkých v nej prebiehajúcich dejoch ostáva celkový elektrický náboj konštantný.*

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \text{konšt.}$$

Elektrický náboj nemožno utvoriť ani zničiť.

**INTENZITA ELEKTRICKÉHO POĽA** (zn.  $E$  – vektoreváž fyzikálna veličina) charakterizuje silové účinky elektrického poľa na elektrický náboj. Je určená podielom elektrickej sily pôsobiacej na kladný bodový náboj v danom bode elektrického poľa a veľkosti tohto náboja.

$$E = \frac{F_e}{Q}$$

$$[E] = \text{N} \cdot \text{C}^{-1} = \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

**Definícia:**  $1 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$  je intenzita elektrického poľa v danom bode, v ktorom na kladný bodový elektrický náboj  $1 \text{ C}$  pôsobí elektrické pole silou  $1 \text{ N}$ .

**ELEKTRICKÝ POTENCIÁL** (zn.  $\varphi_e$  – skalárna fyzikálna veličina) je ďalšou veličinou charakterizujúcou elektrické pole.

1. Elektrický potenciál v danom bode elektrického poľa je určený podielom elektrickej potenciálnej energie  $E_p$  kladného elektrického náboja  $Q$  v tomto bode a tohto náboja.

Číselne sa rovná elektrickej potenciálnej energii  $E_p$  pripadajúcej v danom bode poľa na náboj  $1 \text{ C}$ .

2. Elektrický potenciál v danom bode elektrického poľa je určený podielom práce  $W_e$ , ktorú vykoná elektrická sila  $F_e$  pri

premiestnení kladného elektrického náboja  $Q'$  z daného bodu poľa na povrch Zeme, a tohto náboja.

Číselne sa rovná práci  $W_e$ , ktorú vykoná  $F_e$  pri premiestnení elektrického náboja veľkosti 1 C z daného bodu poľa na povrch Zeme.

$$\varphi_e = \frac{E_p}{Q'} = \frac{W_e}{Q'}, \quad Q' > 0$$

$$[\varphi_e] = \frac{[W_e]}{[Q']} = \text{J} \cdot \text{C}^{-1} = \text{V} \quad (\text{volt})$$

**Definícia:** Elektrické pole má v danom mieste elektrický potenciál 1 volt (V), keď pri premiestnení kladného elektrického náboja 1 C z daného miesta na povrch Zeme vykoná elektrická sila prácu 1 J.

**ELEKTRICKÉ NAPÄTIE** (zn.  $U$  – skalárna fyzikálna veličina). Rovná sa absolútnej hodnote rozdielu elektrických potenciálov medzi dvoma bodmi v elektrickom poli.

$$U = |\varphi_{e2} - \varphi_{e1}|$$

V homogénnom elektrickom poli platí:

$$|E| = \frac{U}{d}$$

$E$  – intenzita elektrického poľa (vektor)

$U$  – elektrické napätie (skalár)

$d$  – vzdialenosť dvoch bodov s rozdielom elektrických potenciálov  $U$  v smere siločiar

$$[E] = V \cdot m^{-1} = N \cdot C^{-1}$$

Elektrická práca  $W_e$  je určená súčinom veľkosti elektrického náboja  $Q$  a elektrického napätia  $U$  medzi dvoma bodmi v elektrickom poli, medzi ktorými bol tento náboj elektrickou silou prenesený.

$$W_e = |E| Q d = Q U$$

$d$  – dráha, po ktorej pôsobila elektrická sila  $F_e$  v smere siločiar pri prenose elektrického náboja  $Q$

**ELEKTRICKÁ KAPACITA VODIČA** (zn.  $C$  – skalárna fyzikálna veličina) charakterizuje schopnosť izolovaného vodiča zhromažďovať voľný elektrický náboj. Je určená podielom veľkosti elektrického náboja vodiča a jeho elektrického potenciálu, resp. podielom veľkosti elektrického náboja vodiča a elektrického napätia medzi ním a Zemou.

$$C = \frac{Q}{\varphi_e} = \frac{Q}{U}$$

$$[C] = \frac{[Q]}{[U]} = C \cdot V^{-1} = F \quad (\text{farad})$$

**Definícia: 1 farad (F) je elektrická kapacita vodiča, ktorý sa nabije nábojom 1 C na potenciál 1 V.**

**ELEKTRICKÁ KAPACITA PLATŇOVÉHO KON-**

**DENZÁTORA** je priamo úmerná obsahu účinnej plochy platní a nepriamo úmerná vzdialenosti medzi nimi.

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

$C$  – elektrická kapacita kondenzátora

$S$  – obsah účinnej plochy platní

$d$  – vzdialenosť platní

$\varepsilon$  – permitivita prostredia medzi platňami

$$[\varepsilon] = \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$$

## SPÁJANIE KONDENZÁTOROV

Paralelné spojenie (vedľa seba):

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – elektrické kapacity spojených kondenzátorov

Výsledná elektrická kapacita paralelne spojených kondenzátorov sa rovná súčtu elektrických kapacít jednotlivých kondenzátorov.

Sériové spojenie (za sebou):

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Prevrátená hodnota výslednej elektrickej kapacity sé-



riovo spojených kondenzátorov sa rovná súčtu pre-vrátených hodnôt elektrických kapacít jednotlivých kondenzátorov.

## 3.2. ELEKTRODYNAMIKA

### ELEKTRICKÝ PRÚD

- Ako fyzikálny jav je to usporiadaný pohyb voľných častíc s nábojom.
- Ako fyzikálna veličina (zn.  $I$  – skalárna fyzikálna veličina) je určený podielom veľkosti celkového elektrického náboja prejdeného prierezom vodiča za daný časový interval  $\Delta t$  a tohto intervalu

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$[I] = \text{A} \quad (\text{ampér})$$

**Definícia:** 1 ampér (A) je stály prúd, ktorý pri prechode dvoma priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi so zanedbateľným kruhovým prierezom a umiestnenými vo vákuu vo vzájomnej vzdialenosti 1 m vyvolá medzi týmito vodičmi silu s veľkosťou  $2 \cdot 10^{-7}$  N na každý meter dĺžky vodiča.

**SMER ELEKTRICKÉHO PRÚDU.** Je určený smerom usporiadaného pohybu kladne nabitých častíc alebo opačným smerom, ako je smer usporiadaného pohybu záporne nabitých častíc.

**ELEKTROMOTORICKÉ NAPÄTIE ZDROJA** (zn.  $U_e$ ) je určené podielom práce elektrického zdroja, ktorá sa vykoná pri prenesení náboja  $Q$  cez zdroj a veľkosti tohto náboja  $Q$ .

$$U_e = \frac{W_z}{Q}$$

**SVORKOVÉ NAPÄTIE ZDROJA** (zn.  $U$ ) je napätie medzi svorkami zdroja. Spôsobujú a udržiavajú ho neelektrostatické sily.

Pre nezaťažený zdroj (zdroj nie je zaradený do elektrického obvodu so spotrebičom) platí:

$$U = U_e$$

Pre zaťažený zdroj (zdroj je zaradený do elektrického obvodu so spotrebičom) platí:

$$U < U_e$$

### 3.2.1. ELEKTRICKÝ PRÚD V KOVOCH

#### OHMOV ZÁKON PRE ČASŤ ELEKTRICKÉHO OBVODU

1. *Elektrický prúd  $I$  v kovovom vodiči je priamo úmerný elektrickému napätiu  $U$  medzi jeho koncami.*

$$I = G U$$

$G$  – elektrická vodivosť vodiča

2. *Elektrický prúd v kovovom vodiči sa rovná podielu elektrického napätia  $U$  medzi jeho koncami a elektrického odporu vodiča  $R$ .*

$$I = \frac{U}{R}$$

3. *Elektrické napätie  $U$  medzi koncami vodiča sa rovná súčinu elektrického odporu  $R$  vodiča a prúdu  $I$ , ktorý ním prechádza.*

$$U = R I$$

### **OHMOV ZÁKON PRE UZAVRETÝ ELEKTRICKÝ OBVOD**

1. *Elektrický prúd v uzavretom elektrickom obvode sa rovná podielu elektromotorického napätia zdroja  $U_e$  a súčtu elektrických odporov vonkajšej a vnútornej časti obvodu.*

$$I = \frac{U_e}{R + R_i}$$

$R$  – elektrický odpor vonkajšej časti obvodu

$R_i$  – elektrický odpor vnútornej časti obvodu

2. *Elektromotorické napätie zdroja  $U_e$  sa rovná súčtu svorkového napätia  $U$  a úbytku napätia na vnútornom elektrickom odpore  $R_i$  zdroja (súvis medzi  $U_e$  a  $U$ ).*

$$U_e = U + R_i I$$

$I$  – elektrický prúd v obvode

**ELEKTRICKÝ ODPOR VODIČA** (zn.  $R$  – skalárna fyzikálna veličina) je určený podielom napätia  $U$  medzi koncami vodiča a elektrického prúdu  $I$ , ktorý ním prechádza.

$$R = \frac{U}{I}$$

$$[R] = \text{V} \cdot \text{A}^{-1} = \Omega \quad (\text{ohm})$$

**Definícia: 1 ohm ( $\Omega$ ) je elektrický odpor vodiča, ktorým pri stálom napätí 1 V medzi jeho koncami prechádza prúd 1 A.**

Závislosť elektrického odporu od geometrických rozmerov vodiča:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$\rho$  – rezistivita (číselne sa rovná elektrickému odporu vodiča s jednotkovou dĺžkou a jednotkovým prierezom)

$$[\rho] = \Omega \cdot \text{m}$$

$l$  – dĺžka vodiča

$S$  – obsah prierezu vodiča

Závislosť elektrického odporu od teploty vodiča:

$$R = R_1 (1 + \alpha \Delta t) = R_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$\alpha$  – teplotný koeficient elektrického odporu;  $[\alpha] = \text{K}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-1}$

$R$  – elektrický odpor vodiča s teplotou  $t, T$

$R_1$  – elektrický odpor vodiča s teplotou  $t_1, T_1$

$\Delta t = t - t_1, \Delta T = T - T_1$

**ELEKTRICKÁ VODIVOSŤ** (zn.  $G$  – skalárna fyzikálna veličina) je prevrátená hodnota elektrického odporu  $R$  vodiča.

$$G = \frac{1}{R}$$

$$[G] = \Omega^{-1} = \text{S} \quad (\text{siemens})$$

**Definícia:** **1 siemens (S) je elektrická vodivosť vodiča s odporom 1  $\Omega$ .**

**KONDUKTIVITA** (zn.  $\gamma$  – skalárna fyzikálna veličina) je prevrátená hodnota rezistivity. Číselne sa rovná elektrickej vodivosti vodiča s jednotkovou dĺžkou a jednotkovým prierezom.

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

$$[\gamma] = \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$$

**REZISTOR** je prvok elektrického obvodu, ktorý je charakterizovaný svojím elektrickým odporom  $R$ .

**1. KIRCHHOFFOV ZÁKON** (pre uzol elektrického obvodu). *Algebrický súčet prúdov v uzle sa rovná nule.*

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

$I_k$  – elektrické prúdy stretávajúce sa v uzle

Uzol elektrického obvodu je miesto vodivého spojenia aspoň troch vodičov.

**2. KIRCHHOFFOV ZÁKON** (pre jednoduchý uzavretý obvod elektrickej siete). *V jednoduchom uzavretom obvode elektrickej siete sa algebrický súčet elektromotorických napätí  $U_{e_i}$  zaradených zdrojov rovná algebrickému súčtu úbytkov napätí  $R_k I_k$  na jednotlivých rezistoroch.*

$$\sum_{i=1}^m U_{e_i} = \sum_{k=1}^n R_k I_k$$

$m$  – počet zdrojov

$n$  – počet rezistorov

Pri riešení elektrických sietí použijeme 1. Kirchhoffov zákon pre  $n - 1$  uzlov ( $n$  – počet uzlov v sieti) a 2. Kirchhoffov zákon iba pre nezávislé slučky, ktoré majú aspoň jednu vetvu nepatriacu žiadnej inej slučke.

**PARALELNÉ ZAPOJENIE REZISTOROV.** Pri paralelnom zapojení rezistorov s odpormi  $R_1, R_2, \dots, R_n$  sa prevrátená hodnota celkového odporu rezistorov rovná súčtu prevrátených hodnôt odporov jednotlivých rezistorov.

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

**SÉRIOVÉ ZAPOJENIE REZISTOROV.** Pri sériovom zapojení rezistorov s odporami  $R_1, R_2, \dots R_n$  sa ich celkový odpor rovná súčtu odporov jednotlivých rezistorov.

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

**ZVÄČŠENIE ROZSAHU AMPÉRMETRA.** Ampérmeter sa do obvodu zapája vždy **sériovo**. Označme ako  $I_A$  maximálny prúd, ktorý môže ampérmetrom prechádzať.

Pri meraní prúdov  $n$ -krát väčších ako  $I_A$  sa k ampérmetru paralelne pripája rezistor s odporom  $R_B$  (tzv. bočník). Platí:

$$R_B = \frac{R_A}{(n-1)}$$

$R_A$  – vnútorný odpor ampérmetra

**ZVÄČŠENIE ROZSAHU VOLTMETRA.** Voltmeter sa do obvodu zapája vždy **paralelne**. Označme ako  $U_V$  maximálne napätie, ktoré môže byť na voltmetri.

Pri meraní napätí  $n$ -krát väčších ako  $U_V$  je potrebné použiť sériovo zapojený rezistor s odporom  $R_P$  (tzv. predradný rezistor – delič napätia). Platí:

$$R_P = (n-1) R_V$$

$R_V$  – vnútorný odpor voltmetra

**PRÁCA  $W_e$  ELEKTRICKÉHO PRÚDU VO VONKAJŠEJ ČASTI OBVODU** sa rovná energii dodanej elektrickým zdrojom do vonkajšej časti obvodu.

$$W_e = U I t = R I^2 t = \frac{U^2}{R} t$$

**JOULOVO TEPLLO** je teplo  $Q$  uvoľnené vo vodiči prechodom elektrického prúdu.

$$Q = R I^2 t$$

$R$  – elektrický odpor vodiča

$I$  – prúd prechádzajúci vodičom

$t$  – čas prechodu prúdu vodičom

**PRÁCA ELEKTRICKÉHO ZDROJA  $W_z$  :**

$$W_z = U_e I t = (R + R_i) I^2 t = \frac{U_e^2}{R + R_i} t$$

**VÝKON ELEKTRICKÉHO ZDROJA  $P_z$  :**

$$P_z = \frac{W_z}{t} = U_e I$$

**VÝKON ELEKTRICKÉHO PRÚDU VO VONKAJŠEJ ČASTI ELEKTRICKÉHO OBVODU (ELEKTRICKÝ PRÍKON SPOTREBIČA)  $P$  :**

$$P = \frac{W_e}{t} = U I$$



**ÚČINNOSŤ ELEKTRICKÉHO ZDROJA  $\eta$ :**

$$\eta = \frac{P}{P_z} = \frac{W_e}{W_z} = \frac{U}{U_e} = \frac{R}{R + R_i} < 1$$

**3.2.2. ELEKTRICKÝ PRÚD V POLOVODIČOCH**

**POLOVODIČE** sú látky, ktorých veľkosť rezistivity je medzi rezistivitou vodičov a izolantov (polovodičmi sú napríklad Si, Ge, Ga, As ...).

$$\rho \dots 10^{-2} \, \Omega \cdot \text{m} - 10^9 \, \Omega \cdot \text{m}$$

**VLASTNÉ POLOVODIČE** sú dostatočne čisté polovodiče, pri ktorých prevláda vlastná vodivosť vyvolaná vlastnými voľnými elektrónmi a dierami (diera je pseudočastica – neobsadené miesto elektrónom v kryštálovej mriežke polovodiča javiace sa ako kladný elementárny elektrický náboj zúčastňujúci sa v polovodiči na vedení elektrického prúdu).

**NEVLASTNÉ (PRÍMESOVÉ) POLOVODIČE** sú polovodiče, pri ktorých prevláda prímesová vodivosť vyvolaná voľnými elektrónmi a dierami vzniknutými vplyvom prímesí.

**DONORY** (donor – darca) sú prímesové atómy, ktoré poskytujú kryštálu polovodiča voľné elektróny, čím vzniká polovodič typu N (napr. pre Si a Ge sú donormi N, P, As, Sb, Bi).

**AKCEPTORY** (akceptor – príjemca) sú prímesové atómy,

ktoré sú schopné zo svojho okolia v kryštáli polovodiča prijať jeden väzbový elektrón, čím vznikajú diery. Spôsobujú tak vznik polovodiča typu P (napr. pre Si a Ge sú akceptormi B, Al, Ga, In, Tl).

**POLOVODIČE TYPU N (POLOVODIČE S ELEKTRÓNOVOU VODIVOSŤOU).** Sú to polovodiče, v ktorých majoritnými (väčšinovými) nosičmi elektrického náboja sú voľné elektróny uvoľnené z donorov. Minoritnými (menšinovými) nosičmi náboja sú diery.

**POLOVODIČE TYPU P (POLOVODIČE S DIEROVOU VODIVOSŤOU).** Sú to polovodiče, v ktorých majoritnými nosičmi elektrického náboja sú diery vzniknuté zachytením uvoľnených elektrónov z väzieb na akceptoroch. Minoritnými nosičmi náboja sú voľné elektróny.

**PRECHOD PN** vzniká v monokryštáli polovodiča na rozhraní dvoch oblastí s rozličným typom vodivosti (typu P a typu N). Má schopnosť usmerňovať – prepúšťať elektrický prúd iba jedným smerom.

**POLOVODIČOVÁ DIÓDA** je polovodič s jedným prechodom PN.

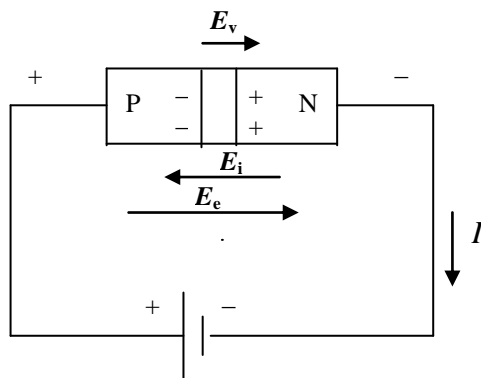
**DIÓDOVÝ JAV** je závislosť elektrického odporu prechodu PN od polarita pripojeného napätia.

**Zapojenie diódy:**

a) v priepustnom smere:  $I \neq 0$  ... priepustný prúd

b) v závernom smere:  $I = I_Z \rightarrow 0 \dots$  záverný prúd

Priepustný smer



Vnútorne elektrické pole  $E_i$  je vykompenzované vonkajším elektrickým poľom  $E_e$ , čo spôsobuje obnovenie pohybu dier a elektrónov cez prechod PN. Nastáva pokles elektrického odporu prechodu PN.

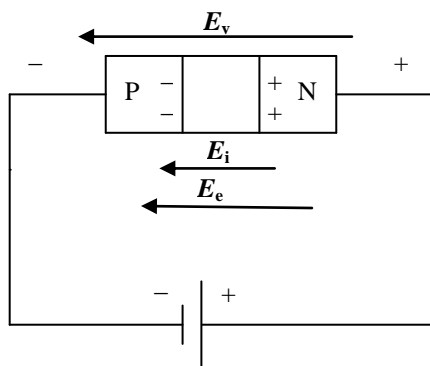
$$|E_v| = |E_e| - |E_i| \neq 0$$

$E_e$  – intenzita vonkajšieho elektrického poľa

$E_i$  – intenzita vnútorného elektrického poľa

$E_v$  – intenzita výsledného elektrického poľa

## Záverný smer

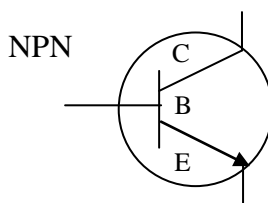
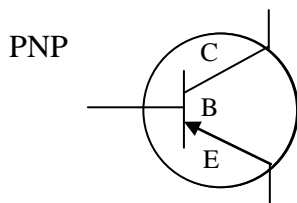


Vonkajšie elektrické pole  $E_e$  zosilňuje vnútorné pole  $E_i$ , čo vyvolá pohyb majoritných častíc od rozhrania, a tým rast elektrického odporu prechodu PN.

$$|E_v| = |E_e| + |E_i|$$

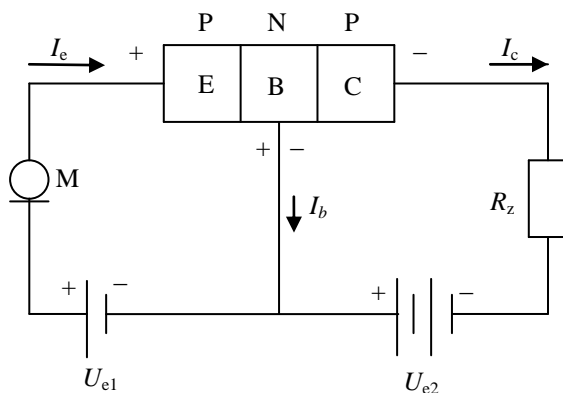
**TRANZISTOR** je polovodič s dvoma prechodmi PN.

Rozlišujeme dva typy – tranzistor typu PNP a typu NPN.



E – emitor  
 B – báza  
 C – kolektor

### ZAPOJENIE TRANZISTORA DO OBVODU SO SPO- LOČNOU BÁZOU



M – mikrofón  
 $R_z$  – spotrebič (pracovný rezistor)  
 $I_e$  – emitorový prúd  
 $I_b$  – bázový prúd  
 $I_c$  – kolektorový prúd

$$I_c = I_e - I_b \doteq I_e$$

Zmena  $\Delta I_e$  vyvolá skoro rovnakú zmenu  $\Delta I_c$ .

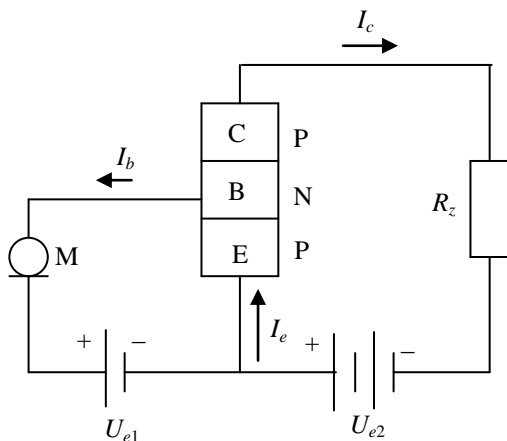
**TRANZISTOROVÝ JAV.** Zmena  $\Delta I_e$  vyvolá skoro rovnakú zmenu  $\Delta I_c$ , t. j. prúd  $I_c$  je ovplyvňovaný prúdom  $I_e$ .

Malé zmeny napätia medzi emitorom a bázou  $\Delta U_{EB}$

(zosilňovaný signál) vyvolávajú veľké zmeny napätia  $\Delta U_{BC}$  (zosilnený signál), ktoré spôsobujú približne rovnako veľké zmeny napätia  $\Delta U_{Rz}$  na pracovnom rezistore (snímaný signál). Tak nastáva **zosilňovanie napätia**.

### ZAPOJENIE TRANZISTORA DO OBVODU SO SPOLOČNÝM EMITOROM

Malé zmeny prúdu  $\Delta I_b$  (zosilňovaný signál) vyvolávajú veľké zmeny prúdu  $\Delta I_c$  (zosilnený signál). Tak nastáva **zosilňovanie prúdu**. Malý prúd  $I_b$  ovplyvňuje veľký prúd  $I_e$ .



### 3.2.3. ELEKTRICKÝ PRÚD V ELEKTROLYTOCH

**1. FARADAYOV ZÁKON ELEKTROLÝZY.** *Hmotnosti látok vylúčených na elektródach pri elektrolyze sú priamo úmerné celkovému elektrickému náboju  $Q$ , ktorý preniesli ióny k daným elektródam.*

$$m = A Q = A I t$$

$I$  – elektrický prúd prechádzajúci elektrolytom

$t$  – čas priebehu elektrolýzy

$A$  – konštanta úmernosti, tzv. **elektrochemický ekvivalent látky** (závisí od druhu elektrolytu)

$A = \frac{m}{Q}$  ... číselne sa rovná hmotnosti látky vylúčenej nábojom 1 C na príslušnej elektróde

**2. FARADAYOV ZÁKON ELEKTROLÝZY.** *Hmotnosti látok vylúčených na elektródach pri elektrolýze tým istým elektrickým nábojom sú chemicky ekvivalentné (zodpovedajúce ich chemickému zloženiu).*

$$A = \frac{M_m}{\nu F}$$

$M_m$  – molová hmotnosť vylúčenej látky

$\nu$  – mocenstvo iónov (počet elementárnych nábojov, ktorými je ión nabitý)

$F = e N_A = 9,648 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  ... Faradayova konštanta

Spojením predchádzajúcich vzťahov dostaneme:

$$m = \frac{M_m}{\nu F} Q$$

## 4. MAGNETIZMUS

### AMPÉROVO PRAVIDLO PRAVEJ RUKY

**a) Pre vodič s prúdom.** Ak naznačíme uchopenie vodiča s prúdom do pravej ruky tak, aby palec ukazoval dohodnutý smer prúdu vo vodiči, tak prsty ukazujú orientáciu magnetických indukčných čiar.

**b) Pre cievku s prúdom.** Ak naznačíme uchopenie cievky s prúdom do pravej ruky tak, aby ohnuté prsty ukazovali dohodnutý smer prúdu v závitoch cievky, tak vystretý palec ukazuje orientáciu magnetických indukčných čiar v dutine cievky.

**FLEMINGOVO PRAVIDLO ĽAVEJ RUKY.** Ak položíme otvorenú dlaň ľavej ruky na priamy vodič s prúdom tak, aby prsty ukazovali smer prúdu vo vodiči a magnetické indukčné čiary vstupovali do dlane, tak vystretý palec ukazuje smer sily, ktorou pôsobí magnetické pole na vodič s prúdom.

**MAGNETICKÁ INDUKCIA (HUSTOTA MAGNETICKÉHO TOKU, zn.  $B$  – vektorová fyzikálna veličina).** Je to fyzikálna veličina charakterizujúca silové pôsobenie homogénneho magnetického poľa na priamy vodič s prúdom.

$$B = \frac{F_m}{I l \sin \alpha} \quad \dots \text{veľkosť vektora } B$$

$F_m$  – magnetická sila pôsobiaca na vodič s prúdom

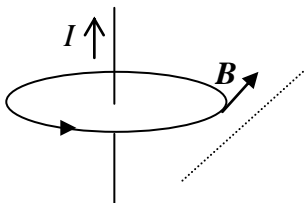
$I$  – elektrický prúd pretekajúci vodičom



$l$  – aktívna dĺžka vodiča (časť vodiča v magnetickom poli)

$\alpha$  – uhol, ktorý zvierajú vodič a magnetické indukčné čiary

Smer vektora  $\mathbf{B}$  je zhodný so smerom súhlasne orientovanej dotýčnice k magnetickej indukčnej čiare v danom mieste poľa.



$$[B] = \text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{T} \quad (\text{tesla})$$

**Definícia: 1 tesla (T) je magnetická indukcia magnetického poľa, pri ktorej plochou  $1 \text{ m}^2$  kolmou na magnetické indukčné čiary prechádza magnetický tok 1 weber (Wb).**

Poznámka: 1 weber (Wb) je jednotka magnetického toku, pomocou ktorého je definovaná jednotka tesla (pozri ďalej heslo MAGNETICKÝ TOK).

V okolí dlhého priameho vodiča s prúdom  $I$  vo vzdialenosti  $d$  od vodiča platí:

$$B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d}$$

$\mu$  – permeabilita prostredia – vyjadruje vplyv prostredia na magnetické pole:

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$\mu_0$  – permeabilita vákua (tzv. magnetická konštanta)

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$$

$\mu_r$  – relatívna permeabilita prostredia

V dutine dlhej valcovej cievky (solenoidu) s dĺžkou  $l$ , prúdom  $I$  a  $N$  závitmi platí:

$$B = \mu \frac{N I}{l}$$

Na osi prstencovej cievky kruhového prierezu (toroidu) s prúdom  $I$ ,  $N$  závitmi a polomerom  $r$  platí:

$$B = \mu \frac{N I}{2\pi r}$$

V strede kruhovej cievky s prúdom  $I$ ,  $N$  závitmi a polomerom  $r$  platí:

$$B = \mu \frac{N I}{2r}$$

**INTENZITA MAGNETICKÉHO POĽA** (zn.  $H$  – vektorová fyzikálna veličina)

$$H = \frac{B}{\mu}$$

veľkosť

$$H = \frac{B}{\mu}$$

Pre solenoid:

$$H = \frac{N I}{l}$$

$$[H] = \text{A} \cdot \text{m}^{-1}$$

**AMPÉROV ZÁKON.** *Magnetická sila  $F_m$ , ktorou pôsobí homogénne magnetické pole na priamy vodič s prúdom, je priamo úmerná súčinu prúdu vo vodiči, jeho aktívnej dĺžky a sínusu uhla, ktorý zvierajú vodič s magnetickými indukčnými čiarami.*

$$F_m = B I l \sin \alpha$$

### **SILOVÉ PÔSOBENIE $F_m$ DVOCH ROVNOBEŽNÝCH VODIČOV S PRÚDOM**

$$F_m = k \frac{I_1 I_2}{d} l$$

$$k = \frac{\mu}{2\pi}$$

$2\pi$  – racionalizačný člen

$l$  – dĺžka vodičov

$d$  – vzdialenosť vodičov

$I_1, I_2$  – prúdy vo vodičoch

Magnetická sila, ktorou pôsobia na seba dva priame rovnobežné vodiče s prúdom, ktorých vzdialenosť je omnoho menšia ako ich dĺžka, je priamo úmerná súčinu ich prúdov, ich dĺžke a nepriamo úmerná vzdialenosti vodičov.

### **MAGNETICKÁ SILA $F_m$ PÔSOBIACA NA POHYBujúCU SA ČASTICU S NÁBOJOM V MAGNETICKOM POLI**

$$F_m = B Q v \sin \alpha$$

$B$  – veľkosť magnetickej indukcie

$Q$  – náboj častice

$v$  – rýchlosť častice

$\alpha$  – uhol medzi  $v$  a  $B$  (uhol medzi smerom pohybu častice a magnetickými indukčnými čiarami)

$F_m$  je kolmá na vektory  $v$  a  $B$ .

Spôsobí:

pre  $\alpha = 90^\circ$  ... pohyb po kružnici

$\alpha \neq 90^\circ$  ... pohyb po skrutkovnici

**AMPÉROV MAGNETICKÝ MOMENT** (zn.  $m$  – vektorová fyzikálna veličina):

Veľkosť:

$$m = I S$$

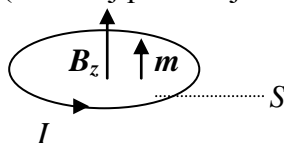
$S$  – obsah plochy obtekanej prúdom  $I$

$$[m] = A \cdot m^2$$

Smer:

$$m \perp S, m \uparrow \uparrow B_z$$

$B_z$  – magnetická indukcia vlastného magnetického poľa závitú s prúdom  $I$  (rovinnej prúdovej slučky) a plochou  $S$



**DIAMAGNETICKÉ LÁTKY.** Sú zložené z diamagnetických atómov (sú to atómy, ktoré majú výsledný magnetický moment  $\mathbf{m} = \mathbf{0}$ ) a nepatrne zoslabujú vonkajšie magnetické pole (také sú napr. zlato, meď). Platí pre ne:

$$\mu_r < 1$$

**PARAMAGNETICKÉ LÁTKY.** Sú zložené z paramagnetických atómov (sú to atómy, ktoré majú výsledný magnetický moment  $\mathbf{m} \neq \mathbf{0}$ ) a nepatrne zosilňujú vonkajšie magnetické pole (také sú napr. hliník, platina, kyslík). Platí pre ne:

$$\mu_r > 1$$

**FEROMAGNETICKÉ LÁTKY.** Sú zložené z paramagnetických atómov a ich magnetické nasýtenie sa dá dosiahnuť už v poli bežného elektromagnetu; výrazne zosilňujú vonkajšie magnetické pole (také sú napr. železo, kobalt, nikel). Platí pre ne:

$$\mu_r \gg 1, \text{ rádovo } 10^2 - 10^5$$

**FERIMAGNETICKÉ LÁTKY** sú zliatiny  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  s oxidmi iných kovov (napr.  $\text{MnO}$  .  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – ferit mangánatý).

Ide o magneticky tvrdé látky, t. j. aj po odstránení vonkajšieho magnetického poľa ostávajú zmagnetizované.

**MAGNETICKÝ TOK** (zn.  $\phi$  – skalárna fyzikálna veličina):

$$\phi = B S \cos \alpha \quad \dots \text{magnetický tok cez rovinnú plochu } S$$

$\alpha$  – uhol medzi normálou na plochu  $S$  a magnetickou indukciou  $B$

$$[\phi] = T \cdot m^2 = V \cdot s = Wb \quad (\text{weber})$$

**Definícia: 1 weber (Wb) je magnetický tok, ktorý indukuje v obopínajúcom ho záвите elektromotorické napätie 1 V, ak sa rovnomerne znižuje tak, že o 1 s zanikne.**

Poznámka: Definícia uvedenej jednotky (Wb) vychádza z matematického vyjadrenia Faradayovho zákona elektromagnetickej indukcie (pozri ďalej heslo FARADAYOV ZÁKON ELEKTROMAGNETICKEJ INDUKCIE).

**FARADAYOV ZÁKON ELEKTROMAGNETICKEJ INDUKCIE.** *Indukované elektromotorické napätie sa rovná zápornej časovej zmene magnetického toku.*

$$U_i = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

$U_i$  – indukované elektromotorické napätie

$\Delta \phi$  – zmena magnetického toku

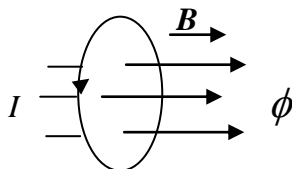
$\Delta t$  – čas, za ktorý zmena  $\Delta \phi$  nastala

**LENZOV ZÁKON:** *Indukovaný prúd má vždy taký smer, že svojimi účinkami pôsobí proti zmene, ktorá ho vyvoláva.*

**VLASTNÁ INDUKČNOSŤ VODIČA** (zn.  $L$  – skalárna fyzikálna veličina). Charakterizuje závislosť magnetického to-

ku  $\phi$  vlastného magnetického poľa prechádzajúceho plochou ohraničenou vodičom od prúdu  $I$ , ktorý týmto vodičom prechádza a tento tok vyvoláva (indukčnosť je popri  $R$  a  $C$  ďalší parameter vodiča).

$$\phi = L I$$



$$[L] = \text{H} \quad (\text{henry})$$

Poznámka: Definícia uvedenej jednotky (H) vychádza zo vzťahu pre indukované elektromotorické napätie pri vlastnej indukcii, preto ju uvádzame až ďalej v uvedenej súvislosti (pozri heslo **INDUKOVANÉ ELEKTROMOTORICKÉ NAPÄTIE PRI VLASTNEJ INDUKCII**).

Vlastná indukčnosť dlhej valcovej cievky:

$$L = \mu \frac{N^2 S}{l}$$

- $\mu$  – permeabilita prostredia
- $N$  – počet závitov cievky
- $S$  – prierez cievky
- $l$  – dĺžka cievky

**VLASTNÁ INDUKCIA** je jav, keď vzniká indukované elektromotorické napätie  $U_i$  v dôsledku zmeny vlastného

magnetického poľa vodiča s prúdom, ktoré prechádza plochou ohraničenou vodičom.

### **INDUKOVANÉ ELEKTROMOTORICKÉ NAPÄTIE PRI VLASTNEJ INDUKCII:**

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$\Delta I$  – zmena prúdu vyvolávajúca zmenu magnetického toku vlastného magnetického poľa za čas  $\Delta t$

$$[L] = \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} = \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1} = \text{H} \quad (\text{henry})$$

**Definícia: 1 henry (H) je vlastná indukčnosť cievky, v ktorej sa pri rovnomernej zmene prúdu o 1 A za čas 1 s indukuje elektromotorické napätie 1 V.**

**ENERGIA MAGNETICKÉHO POĽA CIEVKY S PRÚDOM** (zn.  $E_m$  – skalárna fyzikálna veličina). Je priamo úmerná druhej mocnine prúdu v cievke.

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2$$

Tento vzťah neplatí pre cievku s feromagnetickým jadrom, kde  $L \neq \text{konšt.}$  ( $L = f(I)$ ).



## 5. KMITANIE

**OSCILÁTOR** je každé zariadenie, ktoré môže bez vonkajšieho silového pôsobenia voľne kmitať.

Ak oscilátor vykonáva mechanický pohyb, tak sa nazýva mechanický oscilátor, pri vykonávaní elektromagnetického pohybu ide o elektromagnetický oscilátor.

**PERIÓDA** (zn.  $T$  – skalárna fyzikálna veličina) – čas jedného kmitu.

**FREKVENCIA** (zn.  $f$  – skalárna fyzikálna veličina) – prevrátená hodnota periódy. Číselne sa rovná počtu kmitov vykonaných za 1 s.

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

$$[f] = \text{s}^{-1} = \text{Hz} \quad (\text{hertz})$$

### ZÁKLADNÁ POHYBOVÁ ROVNICA KMITAVÉHO POHYBU:

$$y = y_m \sin \omega t$$

- $y$  – okamžitá výchylka (určuje polohu *harmonicky* kmitajúceho telesa v danom okamihu – v čase  $t$ )
- $y_m$  – amplitúda kmitavého pohybu (číselná hodnota maximálnej výchylky)
- $\omega$  – uhlová frekvencia

Zovšeobecnená rovnica kmitavého pohybu:

$$y = y_m \sin (\omega t + \varphi)$$

$y$  – okamžitá výchylka

$y_m$  – amplitúda kmitavého pohybu

$\omega$  – uhlová frekvencia

$\varphi$  – začiatočná fáza kmitavého pohybu

### **RÝCHLOSŤ KMITAVÉHO POHYBU:**

$$v = \omega y_m \cos (\omega t + \varphi)$$

Najväčšia rýchlosť je pri prechode oscilátora rovnovážnou polohou a najmenšia v maximálnych výchylkách (v amplitúdach).

### **ZRÝCHLENIE KMITAVÉHO POHYBU:**

$$a = -\omega^2 y = -\omega^2 y_m \sin (\omega t + \varphi)$$

Z uvedeného vzťahu je zrejmé, že  $a \neq \text{konšt.}$  (ide o nerovnomerne zrýchlený pohyb).

Znamienko „mínus“ má symbolický význam – vyjadruje skutočnosť, že zrýchlenie má v každom okamihu opačný smer ako okamžitá výchylka  $y$ .

**UHLOVÁ FREKVENCIA** (zn.  $\omega$  – skalárna fyzikálna veličina):

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$[\omega] = \text{rad} \cdot \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$$

(Radián (rad) ako odvodenú jednotku SI so zvláštnym názvom nie je potrebné uvádzať.)

**VLASTNÉ KMITANIE OSCILÁTORA.** Je to kmitanie oscilátora bez vonkajšieho silového pôsobenia (je vždy tlmené, t. j. po istom čase zaniká).

**PERIÓDA VLASTNÉHO KMITANIA:**

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$m$  – hmotnosť oscilátora

$k$  – tuhosť oscilátora (napr. pružiny)

**FREKVENCIA VLASTNÉHO KMITANIA:**

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

**SILA SPÔSOBUJÚCA KMITAVÝ POHYB OSCILÁTORA:**

$$F = -k y$$

Záporné znamienko symbolicky vyjadruje opačný smer tejto sily, ako má okamžitá výchylka.

**POTENCIÁLNA ENERGIA PRUŽNOSTI MECHANICKÉHO OSCILÁTORA:**

$$E_p = \frac{1}{2} k y^2$$

**THOMSONOVE VZŤAHY PRE ELEKTROMAGNETICKÝ OSCILÁTOR:**

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC} \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$T_0, f_0, \omega_0$  – perióda, frekvencia a uhlová frekvencia vlastného kmitania elektromagnetického oscilátora

**REZONANCIA** je jav, keď frekvencia nútených kmitov sa rovná vlastnej frekvencii oscilátora.

$$f = f_0 \qquad \omega = \omega_0$$

Počas rezonancie dochádza k maximálnemu odovzdávaniu energie oscilátora. Amplitúda aj celková energia oscilátora sú maximálne. Dochádza k tzv. **rezonančnému zosilneniu kmitania**.

## 6. STRIEDAVÝ PRÚD

**STRIEDAVÝ PRÚD** (zn.  $i$  – skalárna fyzikálna veličina).  
Je to prúd meniaci s časom svoj smer.

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi)$$

$I_m$  – amplitúda striedavého prúdu

$\omega$  – uhlová frekvencia

$\varphi$  – začiatočná fáza

Záporné hodnoty charakterizujú prúd, ktorý prechádza opačným smerom, ako je dohodnutý kladný smer prúdu.

**STRIEDAVÉ NAPÄTIE** (zn.  $u$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to napätie meniace s časom svoju polaritu.

$$u = U_m \sin (\omega t + \varphi)$$

$U_m$  – amplitúda striedavého napätia

$\omega$  – uhlová frekvencia

$\varphi$  – začiatočná fáza

Záporné hodnoty charakterizujú napätie s opačnou polaritou, ako je dohodnutá kladná polarita napätia.

**EFEKTÍVNA HODNOTA STRIEDAVÉHO PRÚDU** je taká hodnota jednosmerného prúdu, ktorý má v obvode striedavého prúdu s elektrickým odporom rovnaký výkon ako daný striedavý prúd.

Vzťahy medzi amplitúdami a efektívnymi hodnotami strieda-

vého napätia a prúdu:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

**REZISTANCIA** (zn.  $R$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to elektrický odpor, ktorý kladie rezistor striedavému prúdu.

$$R = \frac{U_m}{I_m}$$

Rezistor v obvode striedavého prúdu nespôsobuje fázový, resp. časový posun (rozdiel) medzi  $u$  a  $i$ .

**INDUKTANCIA** (zn.  $X_L$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to elektrický odpor, ktorý kladie cievka striedavému prúdu.

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L$$

$$[X_L] = \text{V} \cdot \text{A}^{-1} = \Omega \quad (\text{ohm})$$

Cievka v obvode striedavého prúdu spôsobuje medzi  $u$  a  $i$  fázový posun  $\frac{\pi}{2}$ , časový posun  $\frac{T}{4}$ ; hovoríme, že *napätie predbieha prúd*, resp. prúd sa oneskoruje za napätím fázovo o  $\frac{\pi}{2}$ , časovo o  $\frac{T}{4}$ .

**KAPACITANCIA** (zn.  $X_C$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to elektrický odpor, ktorý kladie kondenzátor striedavému prúdu.

$$X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C}$$

$$[X_C] = \text{V} \cdot \text{A}^{-1} = \Omega$$

Kondenzátor v obvode striedavého prúdu spôsobuje medzi striedavým napätím  $u$  a striedavým prúdom  $i$  fázový posun  $\frac{\pi}{2}$ , časový posun  $\frac{T}{4}$ ; hovoríme, že *prúd predbieha napätie* fázovo o  $\frac{\pi}{2}$ , časovo o  $\frac{T}{4}$ .

**REAKTANCIA** (zn.  $X$  – skalárna fyzikálna veličina). Je to elektrický odpor tej časti obvodu striedavého prúdu, kde sú zapojené cievka a kondenzátor (t. j. časti obvodu, v ktorej sa elektrická energia zdroja mení na energiu magnetického poľa cievky a energiu elektrického poľa kondenzátora, a teda nie na Joulovo teplo).

$$X = |X_L - X_C|$$

**IMPEDANCIA** (zn.  $Z$  – skalárna fyzikálna veličina) je elektrický odpor obvodu proti striedavému prúdu.

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

## VÝKON STRIEDAVÉHO PRÚDU V OBVODE S IMPE- DANCIOU:

$$P = U I \cos \varphi$$

- $P$  – výkon striedavého prúdu  
 $\varphi$  – číselná hodnota fázového rozdielu medzi  $u$  a  $i$   
 $\cos \varphi$  – účinník – určuje účinnosť prenosu energie zo  
zdroja na spotrebič  
 $U, I$  – efektívne hodnoty napätia a prúdu

Ide o tzv. **činný výkon** striedavého prúdu – predstavuje tú časť výkonu striedavého prúdu, ktorá sa v obvode mení na teplo alebo na užitočnú prácu (podľa druhu spotrebiča). Zvyšok výkonu sa periodicky vracia späť na zdroj bez úžitku.

## ROVNICA TRANSFORMÁTORA:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = k$$

- $N_1, N_2$  – počty závitov primárnej a sekundárnej cievky  
 $U_1, U_2$  – napätia na primárnej a sekundárnej cievke  
 $I_1, I_2$  – prúdy v primárnej a sekundárnej cievke  
 $k$  – transformačný pomer

Transformácia nahor:

$$k > 1$$

Transformácia nadol:

$$k < 1$$



Pomer napätí indukovaných na sekundárnej a primárnej cievke transformátora sa rovná pomeru počtu závitov oboch cievok a obrátenému pomeru prúdov v cievkach.



## 7. VLNENIE A AKUSTIKA

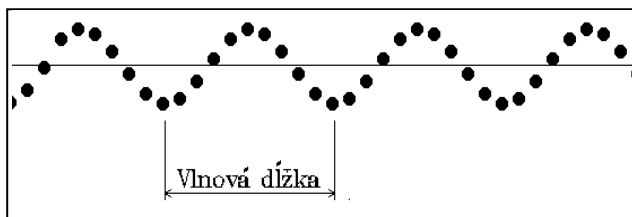
### 7.1. VLNENIE

**VLNENIE** je kmitavý pohyb šíriaci sa akýmkoľvek prostredím.

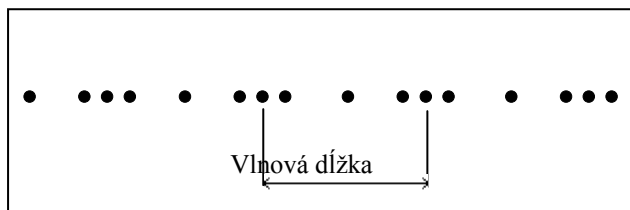
Druhy vlnenia:

- podľa fyzikálnej podstaty:  
*mechanické* a *elektromagnetické*
- podľa šírenia sa vlnenia prostredím:  
*postupné* – postupuje prostredím od bodu k bodu  
*stojaté* – nepostupuje prostredím (realizuje sa iba na ohraničenom úseku)
- podľa smeru kmitov:  
*priečne* – kmity sú kolmé na smer šírenia vlnenia  
*pozdlžne* – kmity sú v smere šírenia vlnenia

Priečne vlnenie



## Pozdĺžne vlnenie



**VLNOVÁ DĹŽKA** (zn.  $\lambda$  – skalárna fyzikálna veličina) je vzdialenosť, do ktorej sa vlnenie dostane za 1 periódu kmitania zdroja vlnenia, resp. vzdialenosť dvoch najbližších bodov (v rade bodov) kmitajúcich s rovnakou fázou.

$$\lambda = v T = \frac{v}{f}$$

$v$  – rýchlosť šírenia vlnenia – fázová rýchlosť vlnenia

$T$  – perióda vlnenia

$f$  – frekvencia vlnenia (rovná sa frekvencii zdroja)

## 7.1.1. MECHANICKÉ VLNENIE

**ROVNICA POSTUPNEJ VLNY PRE RAD BODOV**

Predpokladajme, že zdroj (aj v ďalšom texte) kmitá *harmonicky* podľa rovnice

$$y = y_m \sin \omega t$$

Šírenie vlnenia v smere osi  $x$  (vpravo od zdroja):

$$y = y_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Postup vlnenia proti smeru osi  $x$  (k zdroju po odraze):

$$y = y_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$

$x$  – vzdialenosť bodu s výchylkou  $y$  od zdroja

$T$  – perióda vlnenia

$\lambda$  – vlnová dĺžka vlnenia

$y_m$  – amplitúda vlnenia

$2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  – fáza vlnenia

### **PODMIENKY NA VZNIK MAXIMA A MINIMA PRI INTERFERENCII VLNENIA V RADE BODOV**

Fázový rozdiel interferujúcich vlnení:  $\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda}$

$d$  – dráhový rozdiel vlnení (vzdialenosť ich zdrojov)

$\lambda$  – vlnová dĺžka interferujúcich vlnení

#### **❖ interferenčné maximum:**

$$d = 2k \frac{\lambda}{2} \dots \text{párny násobok polvln}$$

$$\Delta\varphi = 2k\pi, \quad k = 0, 1, 2 \dots$$

Interferujúce vlnenia sa stretávajú v každom bode s rovnakou fázou.

Amplitúda výsledného vlnenia:

$y_{mv} = y_{m1} + y_{m2} \dots$  je maximálna, nastáva maximálne zosilnenie vlnenia

❖ *interferenčné minimum:*

$d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \dots$  nepárny násobok polvln

$\Delta\varphi = (2k + 1)\pi, \quad k = 0, 1, 2 \dots$

Interferujúce vlnenia sa stretávajú v každom bode s opačnou fázou.

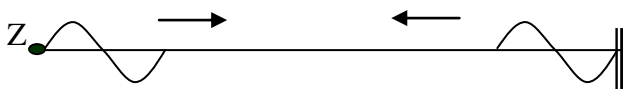
Amplitúda výsledného vlnenia:

$y_{mv} = |y_{m1} - y_{m2}| \dots$  je minimálna, nastáva maximálne zoslabenie vlnenia

## ROVNICA STOJATEJ VLNY V RADE BODOV

Priame vlnenie

Odrazené vlnenie



Priame vlnenie:

$$y_1 = y_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Odrazené vlnenie:

$$y_2 = y_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$

Stojaté vlnenie vzniknuté interferenciou:

$$y = y_1 + y_2$$
$$y = 2y_m \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

$2y_m \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$  ... amplitúda stojatého vlnenia

**UZLY** sú body, v ktorých sú amplitúdy výchyliek nulové.

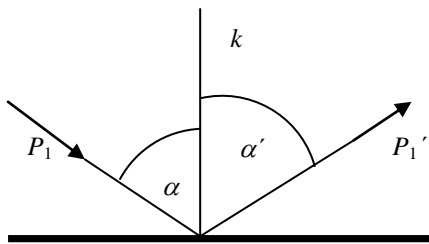
**KMITNE** sú body, v ktorých sú amplitúdy výchyliek maximálne.

**VLNOPLOCHA.** Je množina všetkých bodov tvoriacich plochu, v ktorých má vlnenie v danom okamihu rovnakú fázu.

**HUYGENSOV PRINCÍP.** Každý bod vlnoplochy, do ktorého sa vlnenie dostalo v istom okamihu, možno pokladať za zdroj elementárneho vlnenia, ktoré sa z neho šíri všetkými smermi v elementárnych vlnoplochách. Vlnoplocha v ďalšom okamihu je vonkajšia obalová plocha všetkých elementárnych vlnoplôch.

**ZÁKON ODRAZU VLNENIA.** Uhol odrazu vlnenia  $\alpha'$  sa rovná uhlu dopadu vlnenia  $\alpha$ . Odrazený lúč zostáva v rovine dopadu.

$$\alpha = \alpha'$$



$k$  – kolmica dopadu

$P_1$  – dopadajúci lúč

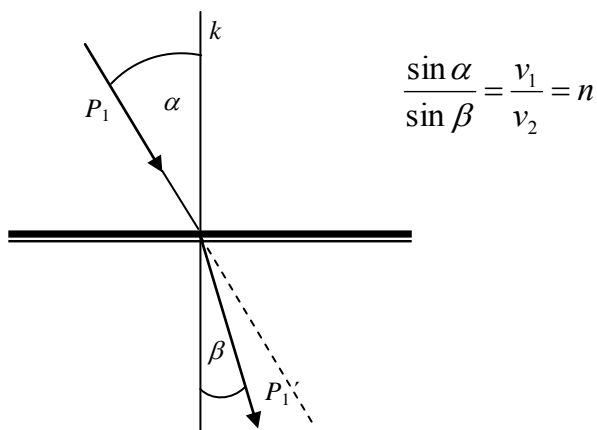
$P_1'$  – odrazený lúč

$\alpha$  – uhol dopadu

$\alpha'$  – uhol odrazu

**ZÁKON LOMU VLNENIA.** Pomer sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu je pre dané dve prostredia stály a rovná sa pomeru fázových rýchlostí vlnení v oboch prostrediach. Nazýva sa relatívny index lomu vlnenia  $n$  pre dané prostredia. Lomený lúč zostáva v rovine dopadu.





$k$  – kolmica dopadu

$P_1$  – dopadajúci lúč

$P_1'$  – lomený lúč

$\alpha$  – uhol dopadu

$\beta$  – uhol lomu

### 7.1.2. ELEKTROMAGNETICKÉ VLNIENIE

**ROVNICA POSTUPNEJ ELEKTROMAGNETICKEJ VLNY:**

$$u = U_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$u$  – napätie medzi vodičmi dvojvodičového vedenia vo vzdialenosti  $x$  od zdroja napätia

$T$  – perióda vlnenia

$\lambda$  – vlnová dĺžka vlnenia

$U_m$  – amplitúda napätia

$2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  ... fáza vlnenia

Poznámka: Uvažujeme o zdroji s *harmonickou* zmenou striedavého napätia

$$u = U_m \sin \omega t$$

**ROVNICA STOJATEJ ELEKTROMAGNETICKEJ VLNY.** Pri odraze na konci dvojvodičového vedenia bez pripojeného spotrebiča (vedenie naprázdno) vzniká stojaté elektromagnetické vlnenie opísané rovnicou

$$u = 2U_m \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

$2U_m \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$  ... amplitúda stojatého vlnenia

## RÝCHLOSŤ ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNENIA

V prostredí s relatívnou permitivitou  $\epsilon_r$  a relatívnou permeabilitou  $\mu_r$  platí

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

$c$  – rýchlosť elektromagnetického vlnenia vo vákuu

Podľa Maxwellovej teórie elektromagnetického poľa pre rýchlosť elektromagnetického vlnenia vo vákuu  $c$  platí vzťah:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$\epsilon_0$  – permitivita vákua

$\mu_0$  – permeabilita vákua

## 7.2. AKUSTIKA

**ZVUK** je mechanické vlnenie schopné vyvolať sluchový vnem.

### **FREKVENCIA ZVUKU:**

16 Hz až 16 kHz (deti až 20 kHz)

**TÓN** je periodický (hudobný) zvuk.

**JEDNODUCHÝ TÓN.** Je to tón iba jednej frekvencie.

**ZLOŽENÝ TÓN** je tón zložený zo *základného tónu* (s najnižšou – *základnou frekvenciou*  $f_z$ ) a z *vyšších harmonických tónov* (s *harmonickými frekvenciami*  $f_k = k f_z$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ ).

**VÝŠKA JEDNODUCHÉHO TÓNU** (tzv. **absolútna výška**

**tónu)** sa rovná frekvencii jeho zdroja.

**VÝŠKA ZLOŽENÉHO TÓNU** je určená frekvenciou najnižšieho (základného) tónu spomedzi tónov, z ktorých pozostáva – základnou frekvenciou  $f_z$ .

**RELATÍVNA VÝŠKA TÓNU** je pomer výšky daného tónu a výšky základného tónu stanoveného dohodou.

Základný tón v hudobnej akustike:

$$f = 440 \text{ Hz} \quad \dots \text{komorné a (a')}^1$$

Základný tón v technickej praxi:

$$f = 1 \text{ kHz} \quad \dots \text{referenčný tón}$$

**FARBA TÓNU** je charakteristikou zloženého tónu. Daná je jeho vyššími harmonickými tónmi. Umožňuje rozlíšiť dva tóny s rovnakou výškou vydávané rozličnými zdrojmi zvuku, napr. hudobnými nástrojmi.

**RÝCHLOSŤ ZVUKU** (zn.  $v$  – skalárna fyzikálna veličina).

Závisí od prostredia. Rýchlosť zvuku vo vzduchu:

$$v = (331,82 + 0,61\{t\}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$t$  – teplota vzduchu

Pri 20 °C je teda rýchlosť zvuku vo vzduchu približne 340 m . s<sup>-1</sup>.

## 8. OPTIKA

### 8.1. GEOMETRICKÁ OPTIKA

**SVETLO.** Je to elektromagnetické vlnenie vyvolávajúce zrakový vnem.

**VLNOVÁ DĹŽKA SVETLA:** 380 – 780 nm  
(rádovo  $10^{-6} - 10^{-7}$  m)

Frekvencia určuje farbu svetla.

**MONOFREKVENČNÉ SVETLO** je svetlo iba s jednou frekvenciou.

Prirodzené slnečné (biele) svetlo pozostáva zo siedmich monofrekvenčných svetiel s rôznymi vlnovými dĺžkami, teda z rozličných farieb: červeného, oranžového, žltého, zeleného, modrého, indigového, fialového svetla (červené má najväčšiu vlnovú dĺžku, fialové najmenšiu).

### RÝCHLOSŤ SVETLA

Vo vákuu sa označuje  $c$ .

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq 2,99 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vo výpočtoch používame približnú hodnotu:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

V každom inom prostredí rýchlosť svetla  $v < c$  (vo vzduchu

$v \doteq c$ ).

Rýchlosť svetla vo vákuu je najväčšia známa rýchlosť vo vesmíre, je to univerzálna konštanta. Pomocou rýchlosti svetla vo vákuu bola definovaná jednotka dĺžky meter (m).

**Definícia: 1 meter (m) je vzdialenosť, ktorú prejde svetlo vo vákuu za čas  $\frac{1}{2,99792458 \cdot 10^8}$  s.**

**ZÁKON ODRAZU SVETLA.** *Uhol odrazu svetla  $\alpha'$  sa rovná uhlu dopadu svetla  $\alpha$ . Odrazený lúč zostáva v rovine dopadu.*

$$\alpha = \alpha'$$

**ABSOLÚTNY INDEX LOMU  $n$**  (stručne index lomu prostredia) určuje, koľkokrát je rýchlosť svetla vo vákuu väčšia ako v danom prostredí.

$$n = \frac{c}{v}$$

Vždy platí:  $n \geq 1$

$c$  – rýchlosť svetla vo vákuu

$v$  – rýchlosť svetla v danom prostredí (v látke)

$[n]$  je bezrozmerná veličina

Absolútny index lomu prostredia závisí od fyzikálnych vlastností prostredia a od frekvencie svetla.

**RELATÍVNY INDEX LOMU** je daný podielom indexu lo-

mu druhého prostredia  $n_2$  (do ktorého svetlo rozhraním prechádza) a indexu lomu prvého prostredia  $n_1$  (z ktorého svetlo cez rozhranie prechádza).

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

**ZÁKON LOMU SVETLA (Snellov zákon).** *Pomer sínusu uhla dopadu  $\alpha$  a sínusu uhla lomu  $\beta$  je pre dané dve prostredia veličina stála. Rovná sa pomeru fázových rýchlostí svetla v oboch prostrediach alebo obrátenému pomeru absolútnych indexov lomu prostredí. Lomený lúč zostáva v rovine dopadu.*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n = \text{konšt.}$$

$v_1$  – fázová rýchlosť svetla v prvom prostredí

$v_2$  – fázová rýchlosť svetla v druhom prostredí

$n_1$  – absolútny index lomu prvého prostredia

$n_2$  – absolútny index lomu druhého prostredia

$n$  – relatívny index lomu

### **ZOBRAZOVACIA ROVNICA GUĽOVÉHO ZRKADLA:**

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

$p$  – predmetová vzdialenosť

$p'$  – obrazová vzdialenosť

$f$  – ohnisková vzdialenosť zrkadla

$r$  – polomer krivosti zrkadla

Platí pre duté i vypuklé zrkadlá, pre všetky body a ich obrazy v paraxiálnom priestore.

Znamienková konvencia:

Pred zrkadlom:  $p, p', f, r > 0$

Za zrkadlom:  $p, p', f, r < 0$

### ZOBRAZOVACIA ROVNICA ŠOŠOVKY:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

$p, p'$  – ako skôr

$f$  – ohnisková vzdialenosť šošovky

Platí pre tenké spojky a rozptylky.

Znamienková konvencia:

Pred šošovkou:  $p > 0$

$p' < 0$

Za šošovkou:  $p < 0$

$p' > 0$

**PRIEČNE ZVÄČŠENIE** (zn.  $Z$  – skalárna fyzikálna veličina) je dané podielom výšky obrazu  $y'$  a výšky predmetu  $y$ .

$$Z = \frac{y'}{y}$$

Znamienková konvencia:



Nad optickou osou:  $y, y' > 0$

Pod optickou osou:  $y, y' < 0$

Pre zrkadlá i šošovky platí:

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{p'}{p} = -\frac{p'-f}{f} = -\frac{f}{p-f}$$

**OPTICKÁ MOHUTNOSŤ ŠOŠOVKY** (zn.  $\varphi$  – skalárna fyzikálna veličina) je prevrátená hodnota ohniskovej vzdialenosti šošovky  $f$ .

$$\varphi = \frac{1}{f}$$

$$[\varphi] = \text{m}^{-1} = \text{D} \quad (\text{dioptria})$$

**Definícia: 1 dioptria (D) je optická mohutnosť šošovky s ohniskovou vzdialenosťou 1 m.**

Pre tenké šošovky platí:

$$\varphi = \frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$n_1$  – index lomu prostredia

$n_2$  – index lomu šošovky

$r_1, r_2$  – polomery krivosti guľových plôch

Znamienková konvencia:

Spojky:  $r_1, r_2 > 0 \Rightarrow f, \varphi > 0$

Rozptylky:  $r_1, r_2 < 0 \Rightarrow f, \varphi < 0$

Uvedené znamienka ohniskovej vzdialenosti a optickej mŕhutnosti platia za predpokladu, že šošovka je z optickej hustejšieho prostredia ako okolité prostredie ( $n_2 > n_1$ ).

**UHLOVÉ ZVÄČŠENIE** (zn.  $\gamma$  – skalárna fyzikálna veličina) je dané podielom

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau}$$

$\tau'$  – zorný uhol, pod ktorým vidíme predmet optickým prístrojom

$\tau$  – zorný uhol, pod ktorým vidíme predmet voľným okom

**UHLOVÉ ZVÄČŠENIE LUPY**

$$\gamma = \frac{d}{p}$$

Vždy  $p \leq f$ .

$d$  – konvenčná zrková vzdialenosť ( $d = 25 \text{ cm}$ )

$p$  – predmetová vzdialenosť

**UHLOVÉ ZVÄČŠENIE MIKROSKOPU**

$$\gamma = \frac{\Delta}{f_1} \frac{d}{f_2}$$

$\Delta = |F_1' F_2| \dots$  optický interval mikroskopu

$F_1'$  – obrazové ohnisko objektívu

- $F_2$  – predmetové ohnisko okulára  
 $f_1$  – ohnisková vzdialenosť objektívu  
 $f_2$  – ohnisková vzdialenosť okulára  
 $d$  – ako skôr

## UHLOVÉ ZVÄČŠENIE ĎALEKOHLĎADU

Keplerov (hvezdársky) ďalekohľad:

$$\gamma = \frac{f_1}{f_2}$$

Galileiho (pozemský, holandský) ďalekohľad:

$$\gamma = \frac{f_1}{|f_2|}$$

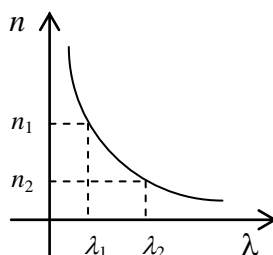
- $f_1$  – ohnisková vzdialenosť objektívu  
 $f_2$  – ohnisková vzdialenosť okulára

## 8.2. VLNOVÁ OPTIKA

- DISPERZIA SVETLA** (ako jav) je rozklad bieleho svetla pri jeho dopade na rozhranie dvoch prostredí na farebné zložky (spektrálne farby) – vzniká farebné **spektrum bieleho svetla**.
- DISPERZIA SVETLA** (ako funkčná závislosť) je závislosť indexu lomu prostredia  $n$  od frekvencie  $f$ , resp. od vlnovej dĺžky  $\lambda$  prechádzajúceho svetla.

$$n \sim f \Rightarrow n \sim \lambda \Rightarrow n = F(f, \lambda)$$

Túto závislosť vyjadruje tzv. **disperzná krivka** (pozri obrázok).



$$\lambda_1 < \lambda_2 \Rightarrow n_1 > n_2$$

Pri väčšine látok s rastúcou vlnovou dĺžkou index lomu prostredia klesá, ide o tzv. **normálnu disperziu** (platí napr. pre všetky priehľadné látky). V ostatných prípadoch ide o **anomálnu disperziu**.

**OPTICKÁ DRÁHA** (zn.  $l$  – skalárna fyzikálna veličina) je dráha, ktorú by prešlo svetlo vo vzduchu, resp. vo vákuu za ten istý čas ako dráhu  $s$  v danom optickom prostredí s indexom lomu  $n$ .

$$l = n s$$

## INTERFERENČNÉ PODMIENKY PRI INTERFERENCII NA TENKEJ VRSTVE

V odrazenom svetle

**interferenčné maximum** (maximálne zosilnenie svetla):

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}$$

**interferenčné minimum** (maximálne zoslabenie svetla):

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

V prepustenom svetle

**interferenčné maximum:**

$$2nd = 2k \frac{\lambda}{2}$$

**interferenčné minimum:**

$$2nd = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

$n$  – index lomu tenkej vrstvy

$d$  – hrúbka tenkej vrstvy

$k = 1, 2, 3, \dots$  je rád interferenčného maxima (minima)

$\lambda$  – vlnová dĺžka svetla

**OHYB SVETLA** (difrakcia) je dobre pozorovateľný jav na prekážkach s rozmermi porovnateľnými s vlnovou dĺžkou svetla.

## INTERFERENČNÉ PODMIENKY PRI OHYBE

Na dvojštrbine a na optickej mriežke

**interferenčné maximum** (maximálne zosilnenie svetla):

$$b \sin \alpha_k = 2k \frac{\lambda}{2}$$

**interferenčné minimum** (maximálne zoslabenie svetla):

$$b \sin \alpha_k = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$b$  – vzdialenosť stredov štrbín (pri mriežke vzdialenosť stredov dvoch susedných štrbín – tzv. *mriežková konštanta*)

$\alpha_k$  – uhol ohybu

$\lambda$  – vlnová dĺžka svetla

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$  je rád interferenčného maxima (minima)

### 8.3. KVANTOVÁ OPTIKA

#### RÁDIOMETRICKÉ A FOTOMETRICKÉ VELIČINY

**Rádiometrické veličiny** charakterizujú množstvo energie prenášanej žiarením (objektívne, skalárne fyzikálne veličiny). Opisujú elektromagnetické žiarenie a energiu, ktorú prenáša žiarenie.

**ŽIARIVÝ TOK** (zn.  $\Phi_e$  – skalárna fyzikálna veličina) sa číselne rovná energii vyžiarenej zdrojom za 1 s.

$$\Phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$[\Phi_e] = \text{J} \cdot \text{s}^{-1} = \text{W} \quad (\text{watt})$$

$\Delta E$  – energia vyžiarená zdrojom

$\Delta t$  – čas, za ktorý bola energia  $\Delta E$  vyžiarená

**ŽIARIVOSŤ** (zn.  $I_e$  – skalárna fyzikálna veličina). V danom smere sa číselne rovná žiarivému toku vyžiarenému zdrojom do priestorového uhla 1 steradián (sr).

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}$$

$$[I_e] = \text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$$

$\Delta\Phi_e$  – žiarivý tok vyžiarený zdrojom

$\Delta\Omega$  – priestorový uhol, do ktorého bol vyžiarený  $\Delta\Phi_e$

**INTENZITA VYŽAROVANIA** (zn.  $M_e$  – skalárna fyzikálna veličina). Číselne sa rovná žiarivému toku vysielanému zdrojom s obsahom plochy 1 m<sup>2</sup>.

$$M_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

$$[M_e] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$\Delta\Phi_e$  – žiarivý tok vysielaný zdrojom

$\Delta S$  – obsah plochy zdroja

**HUSTOTA ŽIARIVÉHO TOKU** (zn.  $J_e$  – skalárna fyzikálna veličina). Číselne sa rovná žiarivému toku prechádzajúcemu plochou s obsahom 1 m<sup>2</sup>.

$$J_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

$$[J_e] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$\Delta\Phi_e$  – žiarivý tok prechádzajúci plochou s obsahom  $\Delta S$

**INTENZITA OŽAROVANIA** (zn.  $E_e$  – skalárna fyzikálna veličina). Číselne sa rovná žiarivému toku dopadajúcemu na plochu s obsahom  $1 \text{ m}^2$ .

$$E_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

$$[E_e] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$\Delta\Phi_e$  – žiarivý tok dopadajúci na plochu s obsahom  $\Delta S$

**Fotometrické veličiny** charakterizujú účinky energie prenášanej žiarením na zrak (subjektívne, skalárne fyzikálne veličiny). Opisujú viditeľné žiarenie (svetlo).

**SVETELNÝ TOK** (zn.  $\Phi$  – skalárna fyzikálna veličina) vyjadruje schopnosť žiarivého toku vyvolať zrakový vnem.

**SVIETIVOSŤ** (zn.  $I$  – skalárna fyzikálna veličina). V danom smere sa číselne rovná svetelnému toku vyžiarenému bodovým zdrojom svetla do priestorového uhla  $1 \text{ sr}$ .

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$$

$$[I] = \text{cd} \quad (\text{kandela})$$

$\Delta\Phi$  – vyžiarený svetelný tok

$\Delta\Omega$  – priestorový uhol, do ktorého bol  $\Delta\Phi$  vyžiarený



Definícia: **1 kandela (cd)** je svietivosť zdroja emitujúceho monofrekvenčné žiarenie s frekvenciou  $540 \cdot 10^{12}$  Hz vyžarujúceho v danom smere  $\frac{1}{683}$  wattov na steradián.

Z uvedeného vyplýva:

$$\Delta\Phi = I \Delta\Omega, \quad \Phi = I \Omega$$

$$[\Phi] = \text{cd} \cdot \text{sr} = \text{lm} \quad (\text{lúmen})$$

Definícia: **1 lúmen (lm)** je svetelný tok vysielaný do priestorového uhla s veľkosťou 1 sr bodovým zdrojom so svietivosťou 1 cd všetkými smermi.

**INTENZITA OSVETLENIA (OSVETLENOSŤ, zn.  $E$**  – skalárna fyzikálna veličina). Číselne sa rovná svetelnému toku dopadajúcemu na plochu  $1 \text{ m}^2$ .

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$

$$[E] = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2} = \text{lx} \quad (\text{lux})$$

$\Delta\Phi$  – svetelný tok dopadajúci na plochu s obsahom  $\Delta S$

Definícia: **1 lux (lx)** je intenzita osvetlenia plochy, pri ktorej na každý štvorcový meter dopadá rovnomerne rozložený svetelný tok 1 lm.

**FOTOMETRICKÝ ZÁKON.** *Intenzita osvetlenia plochy  $E$  je priamo úmerná svietivosti zdroja  $I$  a nepriamo úmerná štvorcu vzdialenosti  $r$  zdroja od plochy.*

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

$\alpha$  – uhol dopadu svetla na plochu

**WIENOW POSUNOVACÍ ZÁKON.** *Vlnová dĺžka  $\lambda_{\max}$ , na ktorú pripadá maximálne vyžarovanie energie čierneho telesa, je nepriamo úmerná jeho termodynamickej teplote  $T$ .*

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  (konštanta úmernosti)

**STEFANOV-BOLTZMANNOV ZÁKON.** *Intenzita vyžarovania čierneho telesa  $M_e$  sa zväčšuje so štvrtou mocninou jeho termodynamickej teploty.*

$$M_e = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  ... Stefanova-Boltzmannova konštanta

**ENERGIA FOTÓNU**

$$E_f = h f$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  ... Planckova konštanta  
 $f$  – frekvencia žiarenia

**HYBNOSŤ FOTÓNU**

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$\lambda$  – vlnová dĺžka žiarenia

$h$  – Planckova konštanta (pozri skôr)

**VONKAJŠÍ FOTOELEKTRICKÝ JAV.** Je to jav, pri ktorom sa z *povrchu* kovu pri jeho ožiarení elektromagnetickým žiarením s určitými vlnovými dĺžkami uvoľňujú elektróny.

### EINSTEINOVA ROVNICA FOTOELEKTRICKÉHO JAVU

$$hf = W_v + \frac{1}{2} m v^2$$

$h$  – Planckova konštanta

$f$  – frekvencia žiarenia

$W_v$  – výstupná práca (energia potrebná na uvoľnenie elektrónu z povrchu kovu)

$\frac{1}{2} m v^2$  – kinetická energia elektrónu pri jeho uvoľnení

**VNÚTORNÝ FOTOELEKTRICKÝ JAV.** Je to jav, pri ktorom dochádza k uvoľňovaniu viazaných elektrónov pri ožiarení polovodičov elektromagnetickým žiarením s určitými vlnovými dĺžkami *vnútri* štruktúry polovodiča.

Vo fyzike elementárnych častíc sa používa podstatne menšia jednotka energie, ako je 1 J; vyplýva zo vzťahu pre elektrickú prácu  $W = Q U$ :

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (\text{elektrónvolt})$$

**Definícia: 1 elektrónvolt (eV) je energia, ktorú získa častica s elementárnym elektrickým nábojom  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  urýchlená potenciálnym rozdielom 1 V.**

Ďalšie jednotky (násobné):

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$\text{k} - \text{kilo} = 10^3$$

$$\text{M} - \text{mega} = 10^6$$

$$\text{G} - \text{giga} = 10^9$$

**COMPTONOV JAV.** Je to zmena vlnovej dĺžky röntgenového žiarenia, ktorá nastáva pri jeho rozptyle na voľných elektrónoch.

**ROVNICA PRE COMPTONOV JAV:**

$$hf = hf' + E'$$

$hf$  – energia fotónu pred zrážkou

$hf'$  – energia fotónu po zrážke

$E'$  – energia elektrónu získaná zrážkou

## 9. ATÓMOVÁ A JADROVÁ FYZIKA

### BOHROVE POSTULÁTY

1. **Bohrov postulát:** *Atóm sa môže nachádzať len v istých tzv. kvantových energetických stavoch. Každý stav má presne určenú hodnotu (kvantum) energie  $E_1, E_2, \dots E_n$ , ktoré nazývame energetické hladiny atómu.*
2. **Bohrov postulát:** *Pri prechode atómu zo stavu s väčšou*

energiou  $E_n$  do stavu s menšou energiou  $E_m$  vysiela atóm monofrekvenčné žiarenie (kvantum energie – fotón) s frekvenciou  $f_{nm}$  (tzv. Bohrova frekvenčná podmienka).

$$f_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$$

$h$  – Planckova konštanta

**DE BROGLIEHO VLNOVÁ DĹŽKA  $\lambda$ .** Každá pohybujúca sa častica má korpuskulárno-vlnový charakter, t. j. správava sa ako častica aj ako vlnenie s vlnovou dĺžkou

$$\lambda = \frac{h}{m v}$$

$h$  – Planckova konštanta

$m$  – hmotnosť častice

$v$  – rýchlosť častice

**KVANTOVÉ ČÍSLA.** Kvantový stav každého elektrónu v elektrónovom obale atómu je určený štyrmi kvantovými číslami

$n$  – hlavné kvantové číslo

$l_i$  – orbitálové kvantové číslo

$m_i$  – magnetické kvantové číslo

$s_i$  – spinové kvantové číslo

**PAULIHO VYLUČOVACÍ PRINCÍP.** V jednom atóme nemôžu existovať dva elektróny, ktoré by mali všetky štyri kvantové čísla rovnaké (teda nemôžu byť v tom istom kvantovom stave).

## PROTÓNOVÉ, NEUTRÓNOVÉ A NUKLEÓNOVÉ ČÍSLO

**Protónové (atómové) číslo  $Z$**  určuje počet protónov v jadre atómu (i počet elektrónov elektrónového obalu elektricky neutrálneho atómu).

**Neutrónové číslo  $N$**  určuje počet neutrónov v jadre atómu.

**Nukleónové (hmotnostné) číslo  $A = Z + N$**  určuje počet nukleónov v jadre atómu.

## VÄZBOVÁ ENERGIA JADRA ATÓMU

Pokoiová hmotnosť jadra atómu je vždy menšia ako súčet pokojových hmotností nukleónov, z ktorých sa skladá. Ide o tzv. *hmotnostný schodok* (zn.  $B$ ) vznikajúci pri syntéze (utvorení) jadra z nukleónov, pri ktorej sa uvoľňuje isté množstvo energie – tzv. *väzbová energia jadra* (zn.  $E_j$ ).

- ❖ **Väzbová energia** je energia uvoľnená pri syntéze jadra. (Rovná sa práci väzbových síl vykonanej na úkor vnútornej energie nukleónov.)
- ❖ **Väzbová energia** je energia, ktorú je potrebné dodať jadrú, aby sa rozdelilo na voľné nukleóny. (Rovná sa práci vonkajších síl potrebnej na rozrušenie väzby medzi nukleónmi.)

$$E_j = B c^2$$

$B$  – hmotnostný schodok

$c$  – rýchlosť svetla vo vákuu

## HMOTNOSTNÝ SCHODOK

$$B = Z m_p + N m_n - m_j$$

$m_p$  – hmotnosť protónu

$m_n$  – hmotnosť neutrónu

$m_j$  – hmotnosť jadra atómu

**ZÁKONY ZACHOVANIA PRI JADROVÝCH PROCE-  
SOCH.** *V izolovanej sústave sa pri jadrových procesoch a reakciách zachováva celková relativistická hybnosť, relativistická energia, relativistická hmotnosť, elektrický náboj a počet nukleónov.*

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_a + \mathbf{p}_X = \mathbf{p}_Y + \mathbf{p}_b = \mathbf{p}'$$

$$E = E_a + E_X = E_Y + E_b = E'$$

$$m = m_a + m_X = m_Y + m_b = m'$$

$$Z = Z_a + Z_X = Z_Y + Z_b = Z'$$

$$A = A_a + A_X = A_Y + A_b = A'$$

Index  $a$  – označenie parametrov elementárnej častice  $a$   
(strely ostreľujúcej jadro  $X$ )

Index  $X$  – označenie parametrov ostreľovaného jadra  $X$   
(terčika)

Index  $Y$  – označenie parametrov nového jadra  $Y$  (produktu reakcie)

Index  $b$  – označenie parametrov vzniknutej elementárnej častice  $b$  pri reakcii

$Z$  – počet elementárnych nábojov zúčastnených častíc a jadier ( $Z < 0$ , ak určuje počet elektrónov  $e^-$ )

**RÁDIOAKTIVITA.** Ide o vysielanie prenikavého jadrového (rádioaktívneho) žiarenia z jadier prvkov pri ich premenách.

*Prirodzená rádioaktivita:* samovoľné premeny jadier nuklidov spojené s vyžarovaním jadrového žiarenia.

*Umelá rádioaktivita:* umelo vyvolané premeny jadier nuklidov spojené s vyžarovaním jadrového žiarenia.

Druhy jadrového žiarenia:

žiarenie  $\alpha$  : prúd jadier hélia

žiarenie  $\beta$  : prúd elektrónov  $e^-$  (žiarenie  $\beta^-$ ) alebo pozitronov  $e^+$  (žiarenie  $\beta^+$ )

žiarenie  $\gamma$  : elektromagnetické žiarenie – prúd fotónov s veľkou energiou ( $E_f = hf > 10 \text{ keV}$ )

### **ZÁKON RÁDIOAKTÍVNEJ PREMENY (ROZPADU):**

*Počet jadier rádioaktívnej látky klesá exponenciálne s časom.*

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N$  – počet ešte nepremených jadier v čase  $t$

$N_0$  – začiatkový počet jadier (v čase  $t = 0 \text{ s}$ )

$\lambda$  – konštanta premeny (charakteristika rádionuklidu)

$e$  – Eulerovo číslo ( $e = 2,718\,282$ )

**DOBA POLPREMENY** (zn.  $T_{1/2}$ ) je čas, za ktorý sa zo začiatkovného počtu jadier rádionuklidu premení práve polovica.

Súvis medzi dobou polpremeny a konštantou premeny  $\lambda$  je



daný vzťahom

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

**AKTIVITA RÁDIONUKLIDU** (zn.  $A$ ). Je to počet premien jadier za 1 s, t. j. počet vyžiarených častíc rádionuklidom za 1 s.

$$A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$A_0$  – začiatková aktivita rádionuklidu (v čase  $t = 0$  s)

$A$  – aktivita rádionuklidu v čase  $t$

Ostatné veličiny ako skôr.

Aktivita rádionuklidu *klesá exponenciálne s časom*.

$$[A] = \text{s}^{-1} = \text{Bq} \quad (\text{becquerel})$$

**Definícia:** 1 becquerel (Bq) je aktivita takého množstva rádionuklidu, v ktorom dôjde za 1 s k jednej jadrovej premene.

## 10. ŠPECIÁLNA TEÓRIA RELATIVITY

### 10.1. RELATIVISTICKÁ KINEMATIKA

**INERCIÁLNE VZŤAŽNÉ SÚSTAVY** sú také sústavy, v ktorých platí 1. Newtonov pohybový zákon – zákon zotrvačnosti. Tieto sústavy sú vzhľadom na seba v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe.

Špeciálna teória relativity vychádza z dvoch postulátov:

1. postulát – **princíp relativity**: *Vo všetkých inerciálnych sústavách platia rovnaké fyzikálne zákony.*

Nemožno teda žiadnymi mechanickými ani elektromagnetickými pokusmi uskutočnenými vnútri inerciálnej sústavy zistiť, či je táto sústava vzhľadom na inú v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe.

2. postulát – **princíp konštantnej rýchlosti svetla**: *Vo všetkých inerciálnych sústavách má rýchlosť svetla vo vákuu rovnakú veľkosť nezávislú od rýchlosti zdroja svetla. Táto rýchlosť nezávisí od smeru, ktorým sa svetlo šíri, ani od vzájomného pohybu svetelného zdroja a pozorovateľa.*

**RELATÍVNOSŤ SÚČASNOSTI.** Dve udalosti, ktoré sú *nesúmiestne* a *súčasné* v jednej inerciálnej sústave sú *nesúčasné* v ostatných inerciálnych sústavách, ktoré sú vzhľadom na danú sústavu v pohybe.

Dve udalosti sú *súčasné* vo všetkých inerciálnych sústavách, *ak sú súmiestne a súčasné* aspoň v jednej z nich.

*Súčasnosť je relatívna* a má zmysel o nej hovoriť len vzhľadom na zvolenú vzťažnú sústavu.

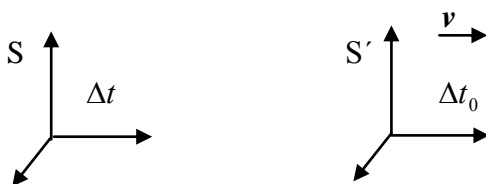
**DILATÁCIA ČASU** je predlžovanie trvania deja s rastúcou rýchlosťou pohybu miesta deja vzhľadom na pozorovateľa.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\Delta t_0$  – čas trvania deja v sústave  $S'$  (pohybujúcej sa vzhľadom na sústavu  $S$  rýchlosťou  $v$ ), v ktorej je miesto deja v pokoji (*vlastný čas deja*)

$\Delta t$  – čas trvania deja vzhľadom na sústavu  $S$  – pozorovateľa

$c$  – rýchlosť svetla vo vákuu



*Čas je relatívny* a má zmysel o ňom hovoriť len vzhľadom na zvolenú vzťažnú sústavu.

**KONTRAKCIA DĹŽKY** je skracovanie dĺžky telesa (napr. tyče) s jeho rastúcou rýchlosťou vzhľadom na pozorovateľa.

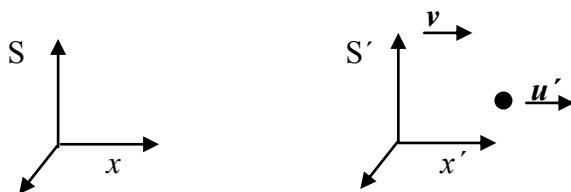
$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$l_0$  – dĺžka tyče vzhľadom na sústavu  $S'$ , v ktorej je tyč v pokoji (*vlastná dĺžka tyče*)

$l$  – dĺžka tyče vzhľadom na sústavu  $S$  – pozorovateľa, v ktorej sa tyč pohybuje (v smere svojej dĺžky) rýchlosťou  $v$

*Dĺžka je relatívna* a má zmysel o nej hovoriť len vzhľadom na zvolenú vzťažnú sústavu.

## RELATIVISTICKÉ SKLADANIE RÝCHLOSTÍ



Nech sa sústava  $S'$  pohybuje vzhľadom na sústavu  $S$  rýchlosťou veľkosti  $v$ , pričom osi  $x, x'$  oboch sústav splývajú. Nech  $u'$  je veľkosť rýchlosti telesa v sústave  $S'$  v smere osi  $x'$ . Potom veľkosť rýchlosti telesa vzhľadom na sústavu  $S$  (vzhľadom na pozorovateľa) bude

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

Z uvedeného vyplýva:

Pre  $u' \leq c, v \leq c$  **je vždy**  $u \leq c$ .

Skladaním dvoch rýchlostí *menších alebo rovnajúcich sa rýchlosti  $c$  nemožno získať rýchlosť  $u$  väčšiu ako  $c$* . **Rýchlosť svetla  $c$  vo vákuu je hraničnou rýchlosťou,**

ktorú žiadne teleso (t. j. hmota v látkovej forme) nemôže dosiahnuť.

## 10.2. RELATIVISTICKÁ DYNAMIKA

**RELATIVISTICKÁ HMOTNOSŤ.** Hmotnosť telesa rastie s jeho rastúcou rýchlosťou vzhľadom na pozorovateľa.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m_0$  – *pokojuv hmotnosť* telesa (vzhľadom na sústavu  $S'$ , v ktorej sa teleso nepohybuje)

$m$  – *relativistická hmotnosť* telesa (vzhľadom na sústavu  $S$ , v ktorej sa pohybuje rýchlosťou  $v$ )

**RELATIVISTICKÁ HYBNOSŤ.** Ak sa teleso pohybuje rýchlosťou  $v$ , pre jeho hybnosť platí:

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v} = \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

**SÚVISLOSŤ ENERGIE A HMOTNOSTI.** Súvislosť medzi celkovou energiou telesa a jeho hmotnosťou vyjadruje *Einsteinov vzťah pre energiu*.

$$E = m c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$E$  – relativistická energia telesa, ktoré sa pohybuje rýchlosťou  $v$

$m_0, m$  – ako skôr

Pokožová energia telesa je vyjadrená vzťahom

$$E_0 = m_0 c^2$$

Kinetická energia  $E_k$  telesa je rozdiel jeho celkovej energie  $E$  a pokojovej energie  $E_0$ :

$$E_k = E - E_0 = m c^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

Zmena energie súvisí so zmenou hmotnosti podľa vzťahu:

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

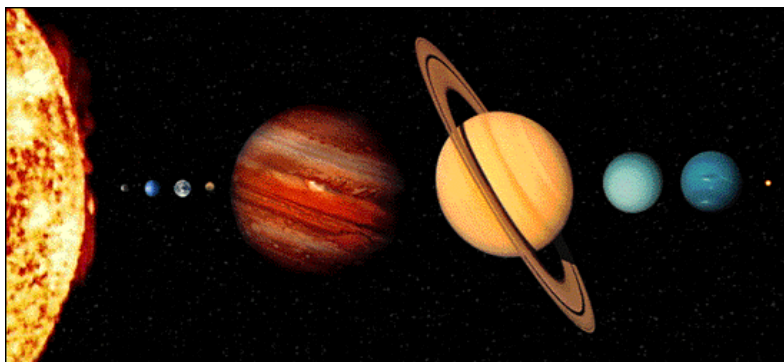
## DÔLEŽITÉ FYZIKÁLNE KONŠTANTY

Gravitačná konštanta	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
Molárna plynová konštanta	$R = 8,314 \, 510 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Avogadrova konštanta	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmannova konštanta	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
Stefanova–Boltzmannova konštanta	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Faradayova konštanta	$F = 9,648 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
Planckova konštanta	$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Atómová hmotnostná konštanta	$m_u = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Normálne tiažové zrýchlenie	$g_n = 9,806 \, 65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Permitivita vákua (elektrická konštanta)	$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
Permeabilita vákua (magnetická konštanta)	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
Rýchlosť svetla vo vákuu	$c = 2,997 \, 924 \, 5 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Elementárny náboj	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Pokoiová hmotnosť elektrónu	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Pokoiová hmotnosť protónu	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Pokoiová hmotnosť neutrónu	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## ASTRONOMICKÉ VELIČINY

Polomer Slnka	$R_\odot = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
Hmotnosť Slnka	$M_\odot = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Polomer Zeme	$R_Z = 6,36 \cdot 10^6 \text{ m}$
Hmotnosť Zeme	$M_Z = 5,975 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Polomer Mesiaca	$R_M = 1 \, 740 \text{ km}$

Hmotnosť Mesiaca	$M_m = 7,36 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Vzdialenosť Zem – Mesiac	384 400 km
Vzdialenosť Zem – Slnko	$1 \text{ AU} = 149,59 \cdot 10^6 \text{ km}$ (AU je astronomická jednotka)
Svetelný rok	$1. \text{ y.} = 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km}$
Parsek	$1 \text{ pc} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ km}$
Počet hviezd v našej galaxii	približne $10^{11}$
Vznik slnečnej sústavy	pred 4 – 5 miliardami rokov
Vznik súčasného stavu vesmíru (čas, ktorý uplynul od tzv. veľkého tresku, <i>Big Bangu</i> )	pred 10 – 20 miliardami rokov
Prvá kozmická rýchlosť	$v_{k0} = 7,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
Druhá kozmická rýchlosť	$v_{p0} = 11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
Tretia kozmická rýchlosť	$v_{h0} = 16,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$





## GRÉCKA ABECEDA

Písmeno		Názov
stojaté	kurzíva	
A α	A α	alfa
B β	B β	beta
Γ γ	Γ γ	gamma
Δ δ	Δ δ	delta
E ε	E ε	epsilon
Z ζ	Z ζ	dzéta
H η	H η	éta
Θ θ	Θ θ	théta
I ι	I ι	jota
K κ	K κ	kappa
Λ λ	Λ λ	lambda
M μ	M μ	mí
N ν	N ν	ní
Ξ ξ	Ξ ξ	ksí
O ο	O ο	omikron
Π π	Π π	pí
P ρ	P ρ	ró
Σ σ	Σ σ	sigma
T τ	T τ	tau
Υ υ	Υ υ	ypsilon
Φ φ	Φ φ	fí
X χ	X χ	chí
Ψ ψ	Ψ ψ	psí
Ω ω	Ω ω	omega

## **Zoznam literatúry**

- [1] VACHEK, J. a kol.: Fyzika pre 1. ročník gymnázia. Bratislava: SPN, 1984.
- [2] SVOBODA, E. a kol.: Fyzika pre 2. ročník gymnázia. Bratislava: SPN, 1985.
- [3] LEPIL, O. a kol.: Fyzika pre 3. ročník gymnázia. Bratislava: SPN, 1986.
- [4] PIŠÚT, J. a kol.: Fyzika pre 4. ročník gymnázia. Bratislava: SPN, 1987.
- [5] LEPIL, O. a kol.: Vybrané kapitoly z fyziky. Bratislava: SPN, 1987.
- [6] TOMANOVÁ, E. a kol.: Zbierka úloh z fyziky pre gymnázium, I. časť. Bratislava: SPN, 1987.
- [7] KOUBEK, V. a kol.: Zbierka úloh z fyziky pre gymnázium, II. časť. Bratislava: SPN, 1988.
- [8] BALÁŽ, P.: Zbierka úloh z fyziky. Bratislava: SPN, 1971.
- [9] MIKULČÁK, J. a kol.: Matematické, fyzikálne a chemické tabuľky. Bratislava: SPN, 1989.
- [10] JČSMF: Názvy a značky školské fyziky. Praha: SPN, 1979.
- [11] ODBORNÁ SKUPINA PRO TERMINOLOGII FPS JČSMF: Slovník školské fyziky. Praha: SPN, 1988.
- [12] CHALÚPKOVÁ, A.– ČERVENĚ, I.: Fyzikálne veličiny a jednotky. Informácia o súbore noriem STN ISO 31. Bratislava: MFF UK, 2000.
- [13] GARAJ, J. a kol.: Fyzikálna terminológia. Bratislava: SPN, 1987.
- [14] Úlehla, I.: Fyzika a filozofia. Bratislava: SPN, 1989.

RNDr. Daniel Polčín, CSc.

# **Základné poznatky z fyziky**

Redaktorka

*RNDr. Valéria Jablonská*

Obálka a grafická úprava

*Bruno Musil*

Zalomenie Koncept

Vydal EDITOR

vydavateľstvo vzdelávacej literatúry,

s. r. o., Bratislava ako svoju štvrtú publikáciu

Vytlačili Žilinské tlačiarne, a. s. , Žilina

**ISBN 80-968877-3-4**







**ISBN 80-968877-3-4**

## *Príloha*

# Niektorí významní fyzici 16. až 20. storočia

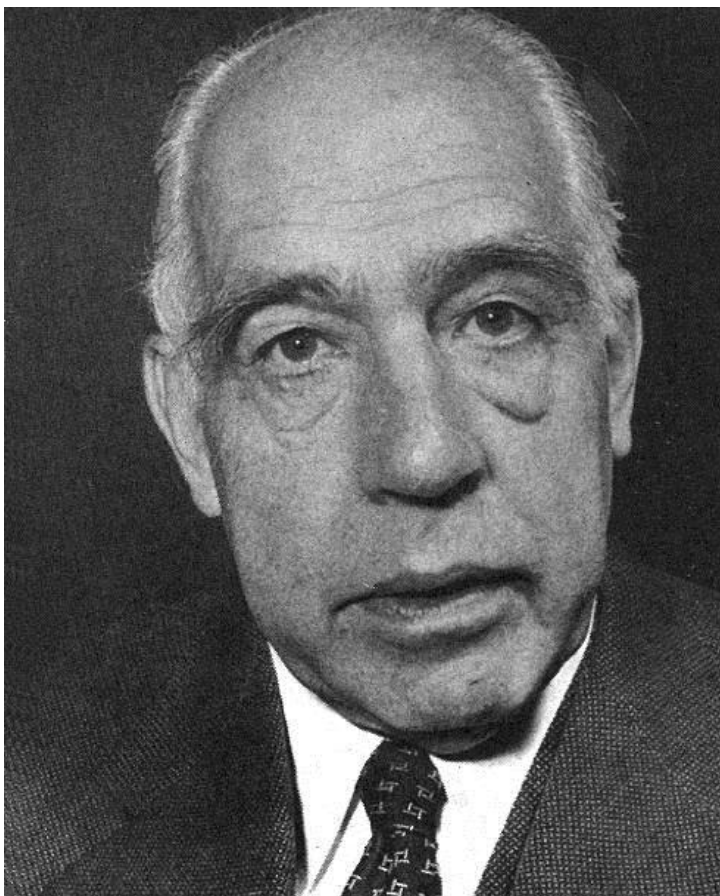
(zoradení abecedne)



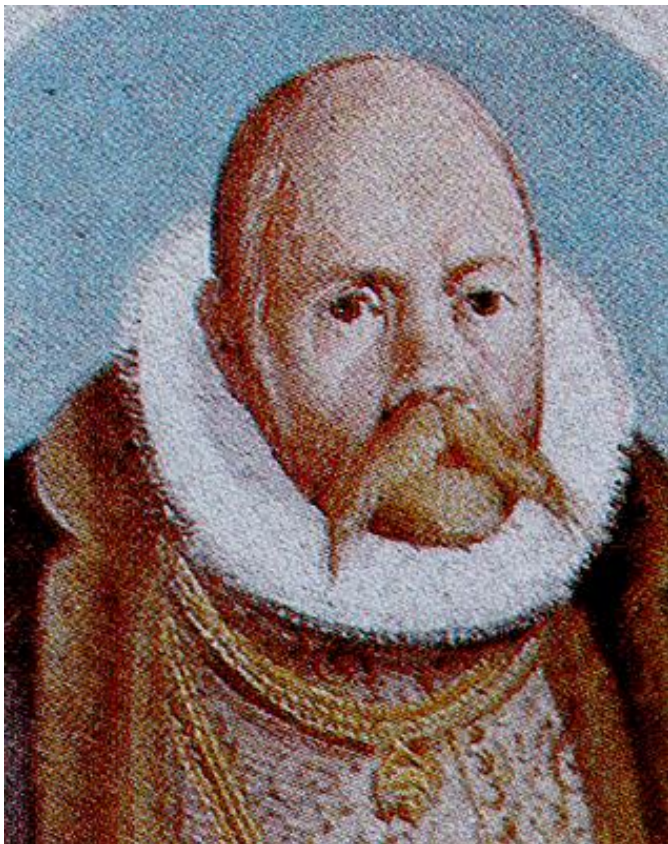




**Henri André Becquerel** (Francúz, 1852 – 1928; Nobelova cena za fyziku v r. 1903). Objavil jav rádioaktivity.



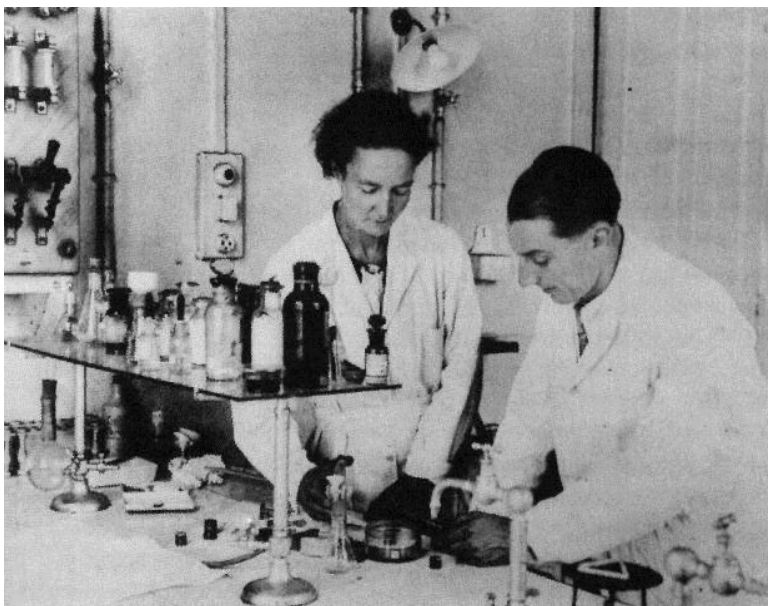
**Niels Henrik David Bohr** (Dán, 1885 – 1962; Nobelova cena za chémiu v r.1922). Skúmal štruktúru atómu. Vypracoval prvý kvantový model atómu vodíka.



**Tycho de Brahe** (Dán, 1546 – 1601). Astronóm, vynikajúci hviezdár pôsobiaci istý čas i v Prahe. Jeho veľmi presné merania pomohli J. Keplerovi odvodiť prvé dva zákony pohybu planét okolo Slnka.



**Louis Victor Pierre Raymond de Broglie** (Francúz, 1892 – –1987; Nobelova cena za fyziku v r. 1929). Priradil pohybujúcim sa časticiam vlnovú dĺžku. Na základe tejto hypotézy E. Schrödinger vybudoval kvantovú mechaniku.



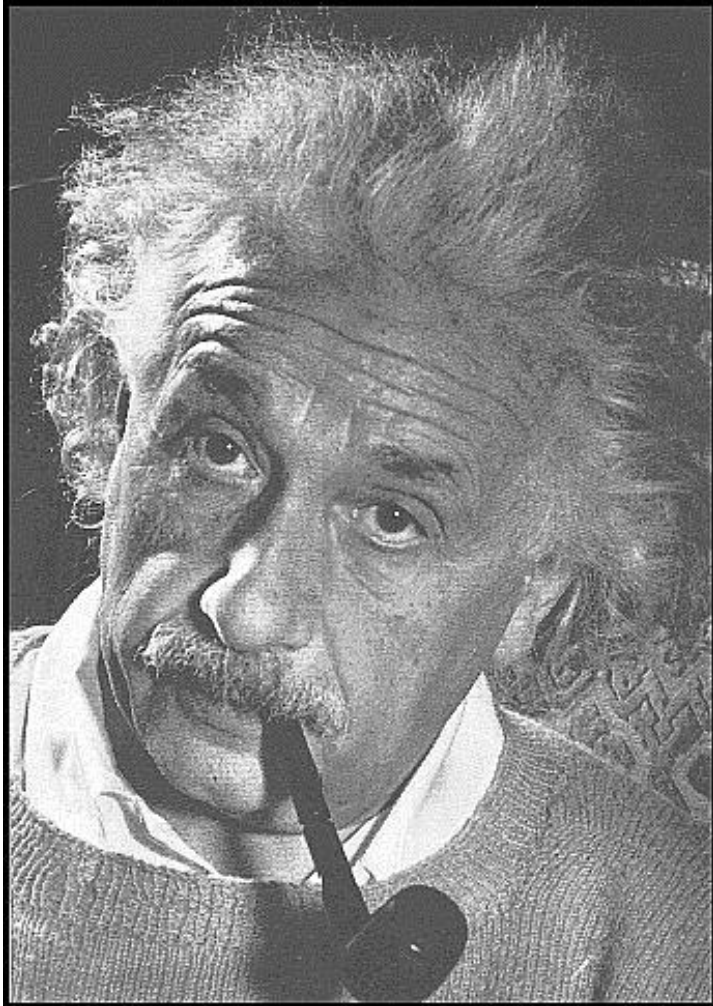
**Irène Joliot-Curie** (Francúzka, 1897 – 1956; Nobelova cena za chémiu v r. 1935). Dcéra Marie Curie-Sklodovskej s manželom F. Joliotom objavili umelú rádioaktivitu.

**Frederick Joliot-Curie** (Francúz, 1900 – 1958; Nobelova cena za chémiu v r. 1935).



**Marie Curie-Sklodowska** (Polka, Francúzsko, 1867 – 1934; Nobelova cena za fyziku v r. 1903, Nobelova cena za chémiu v r. 1911). Spolu s manželom P. Curie skúmali rádioaktivitu, objavili prvky rádium a polónium.

**Pierre Curie** (Francúz, 1859 – 1906; Nobelova cena za fyziku v r. 1903). Skúmal magnetické vlastnosti látok.

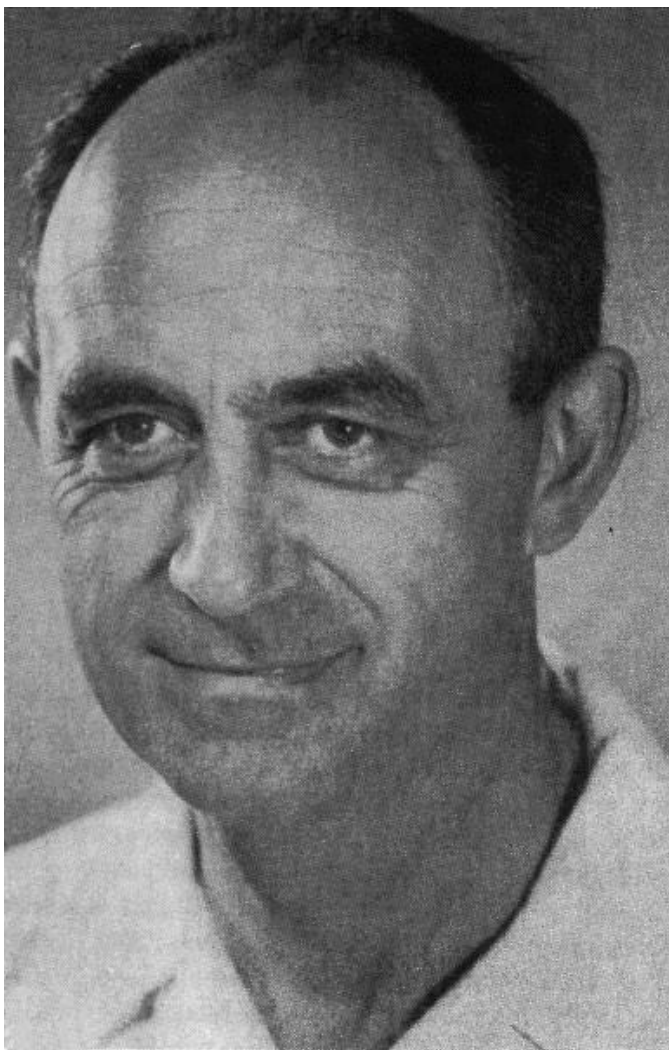


**Albert Einstein** (Nemec, Švajčiarsko, Nemecko, USA, 1879 – – 1955; Nobelova cena za fyziku v r.1921). Vysvetlil fotoelektrický jav, zaviedol do fyziky fotón ako časticu svetla, vytvoril špeciálnu (v r. 1905) a všeobecnú (v r. 1916) teóriu relativity. Patrí k najvýznamnejším fyzikom všetkých čias.



**Michael Faraday** (Angličan, 1791 – 1867). Objavil elektromagnetickú indukciu, ktorá sa stala základom rozvoja elektrotechniky. Sformuloval zákon elektromagnetickej indukcie. Zaoberal sa aj chemickými účinkami prúdu. Objavil zákony elektrolýzy. Zaviedol pojem "elektrická" a "magnetická" siločiara.





**Enrico Fermi** ( Talian, USA, 1901 – 1954; Nobelova cena za fyziku v r.1938). Objavil možnosť uskutočnenia reťazovej jadrovej reakcie, v roku 1942 pripravil a spustil prvú riadenú jadrovú reakciu. Je konštruktérom prvého jadrového reaktora.



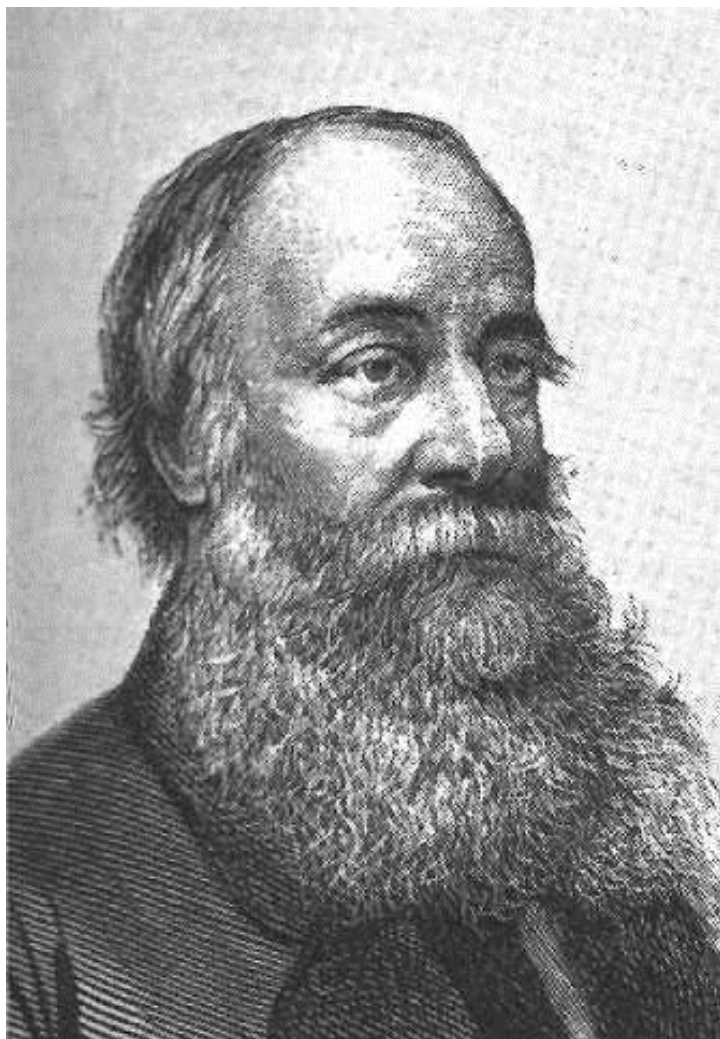
**Galileo Galilei** (Talian, 1564 – 1642). Skúmal javy pomocou pokusov, zostrojil hvezdársky ďalekohľad, prvý pozoroval ďalekohľadom nebeskú oblohu. Bol zástancom Kopernikovho modelu vesmíru. Cirkvou bol donútený odvolať svoje na tú dobu nebezpečné názory o pohybe Zeme okolo Slnka. Urobil to z obavy o podobný osud, ako stihol jeho súčasníka Giordana Bruna (talianský mysliteľ a dominikánsky mních upálený inkvizíciou v r. 1600).



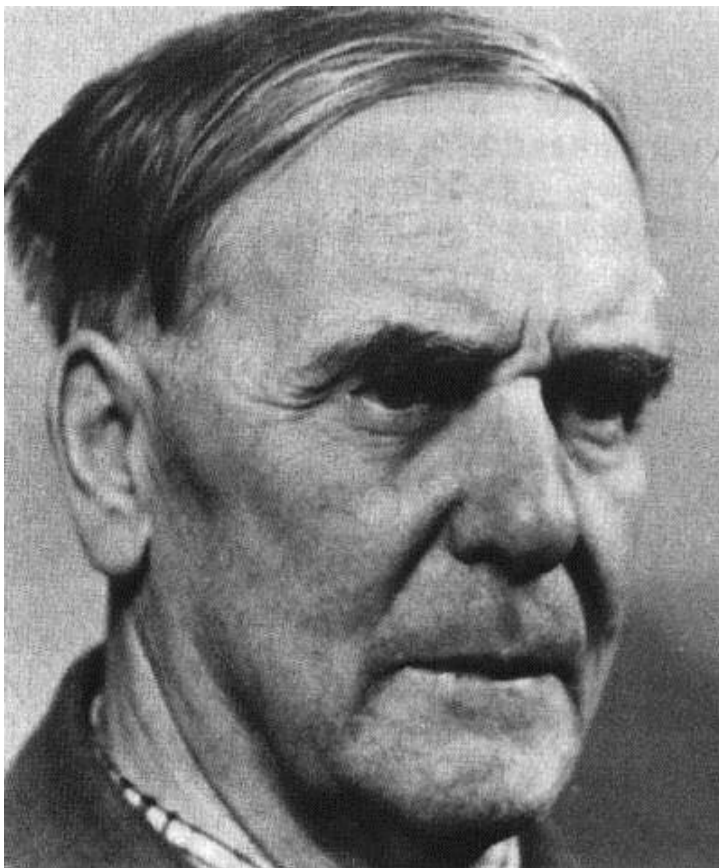
**Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz** (Nemec, 1821–1894). V roku 1847 zovšeobecnil platnosť zákona zachovania a premeny energie.



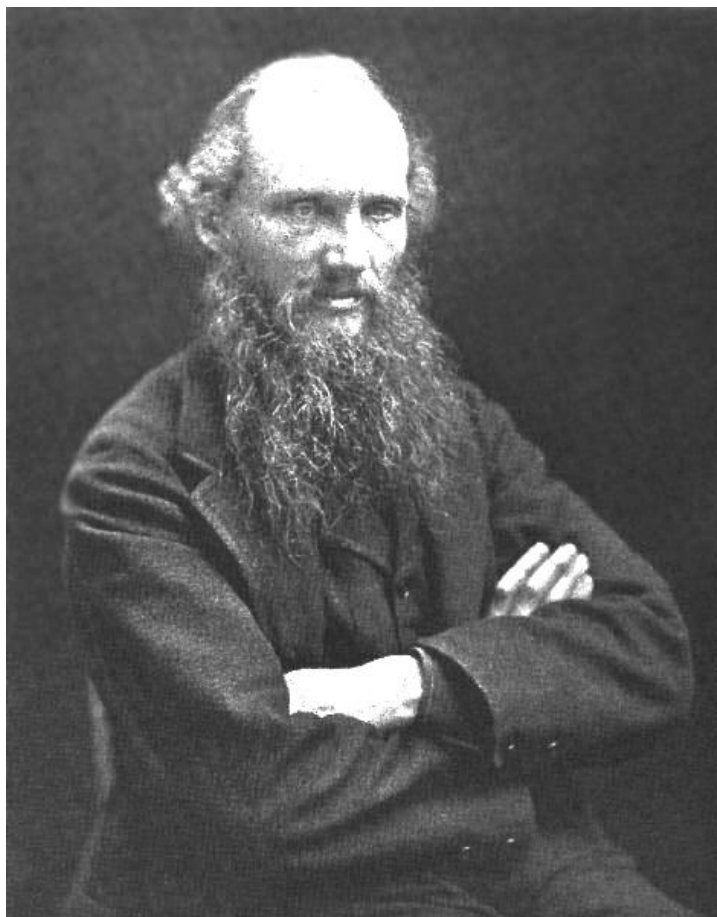
**Heinrich Hertz** (Nemec, 1857 – 1894; Nobelova cena za fyziku v r. 1925). Experimentálne dokázal existenciu elektromagnetických vln, ktoré predpovedal J. C. Maxwell. Hertzove práce mali základný význam pre rozvoj oznamovacej techniky a viedli k objavu rádia a televízie. Na jeho počesť bola pomenovaná jednotka frekvencie (kmtočtu) – hertz (Hz).



**James Prescott Joule** (Angličan, 1818 – 1889). Experimentálne overil platnosť zákona zachovania a premeny energie. Na jeho počesť bola pomenovaná jednotka energie – joule (J).



**Piotr Leonidovič Kapica** (ZSSR, 1894 – 1984). Významný sovietsky fyzik akademik zaoberajúci sa veľmi nízkymi teplotami. Vypracoval nové metódy skvapalňovania plynov.



**Kelvin lord of Largs, sir William Thomson** (Škót, Veľká Británia, 1824 – 1907). Zaviedol termodynamickú teplotnú stupnicu. Sformuloval druhý termodynamický zákon. Jeho práce o elektromagnetických kmitoch a vlnách mali veľký význam pri rozvoji bezdrôtového telegrafu a pri realizácii podmorskej telegrafie. Na jeho počesť bola pomenovaná základná jednotka termodynamickej teploty – kelvin (K).



**Johannes Kepler** (Nemec, 1571 – 1630). Objavil zákony pohybu planét, zostrojil hvezdársky ďalekohľad, bol zástancom Kopernikovho modelu vesmíru.

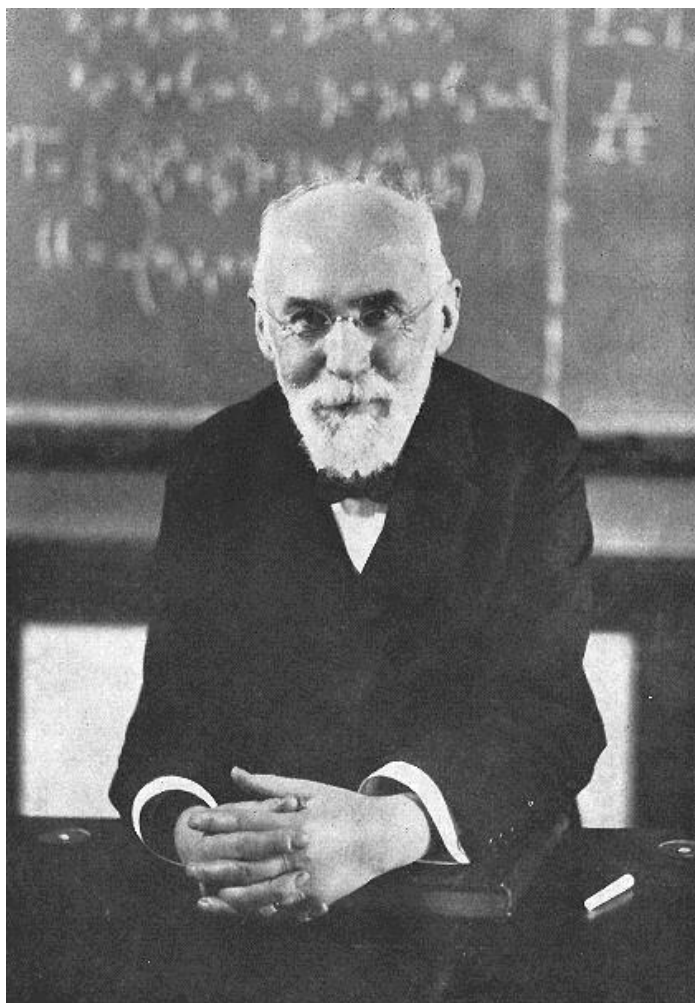




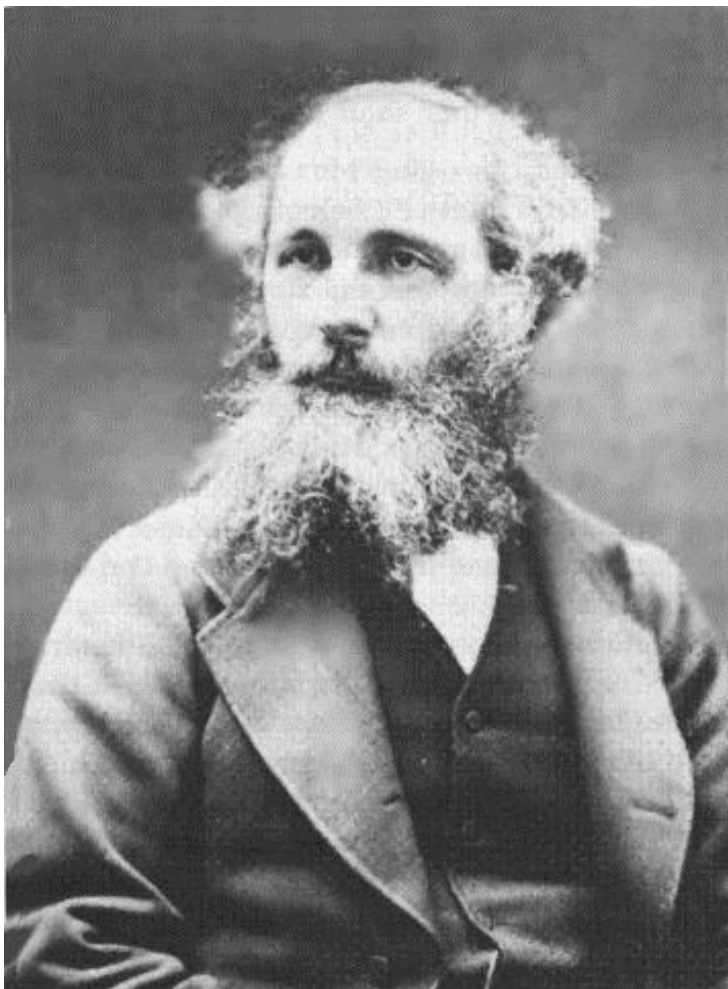
**Gustav Robert Kirchhoff** (Nemec, 1824 – 1887). Zovšeobecnil Ohmov zákon pre rozvetvené elektrické obvody. Sformuloval známe zákony pre riešenie elektrických sietí.



**Lev Davidovič Landau** (ZSSR, 1908 – 1968; Nobelova cena za fyziku v r.1962). Významný sovietsky fyzik. Uviedol kvantový výklad supratekutých javov.



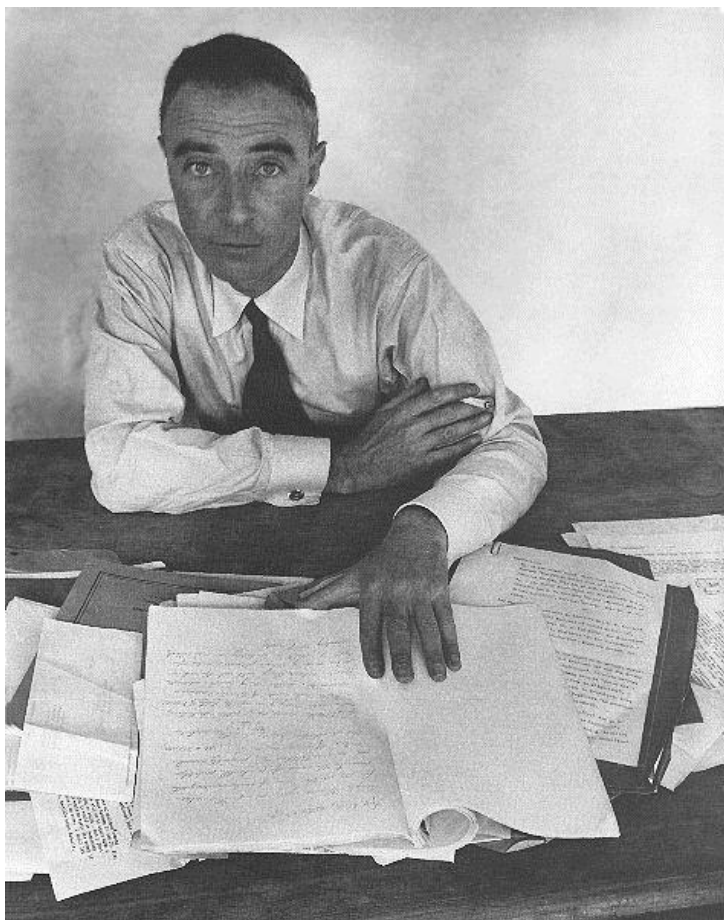
**Hendrik Antoon Lorentz** (Holand'an, USA, 1853 – 1928; Nobelova cena za fyziku v r. 1902). Je tvorcom elektrónovej teórie o vzájomnom pôsobení elektromagnetického poľa a nabitých častíc. Vypracoval tzv. Lorentzovu transformáciu používanú v špeciálnej teórii relativity.



**James Clerk Maxwell** (Angličan, 1831 – 1879). Vypracoval ucelenú teóriu elektromagnetického poľa. Jej kvantitatívnym vyjadrením sú známe Maxwellove rovnice.



**Sir Isaac Newton** (Angličan, 1643 – 1727). Opísal rozklad slnečného svetla hranolom, zostrojil zrkadlový hvezdársky ďalekohľad, formuloval zákony pohybu telies a zákon všeobecnej gravitácie, objavil príčinu pohybu planét okolo Slnka po kružniciach. Na jeho počesť bola pomenovaná jednotka sily – newton (N).



**Jacob Robert Oppenheimer** (Američan, 1904 – 1967). Viedol práce na konštrukcii atómovej bomby. Spolu s A. Einsteinom sa po vojne postavili proti zbrojeniu a presadzovali mierové spolužitie národov.

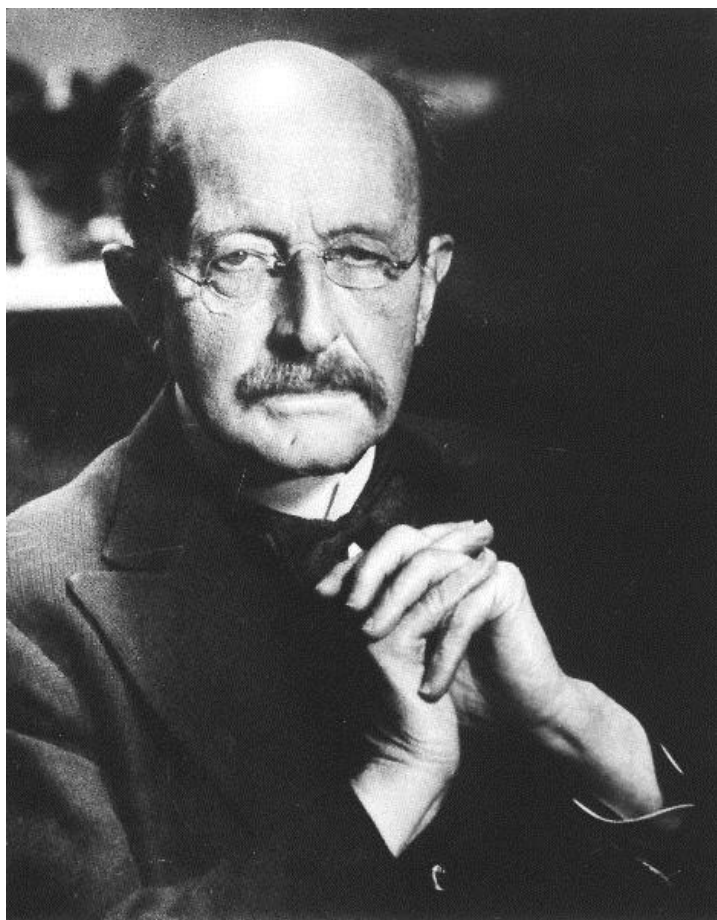


**Blaise Pascal** (Francúz, 1623 – 1662). Skúmal hydrostatický a atmosférický tlak. Formuloval základný zákon tlaku v kvapalinách a plynoch - Pascalov zákon.



**Wolfgang Pauli** (Švajčiar, 1900 – 1958; Nobelova cena za fyziku v r.1945). Pracoval na výskumoch štruktúry atómu, prispel k objasneniu fyzikálneho významu kvantovej teórie. Pomocou zákonov kvantovej mechaniky a princípu nerozlíšiteľnosti elektrónov odvodil známy Pauliho vylučovací princíp.

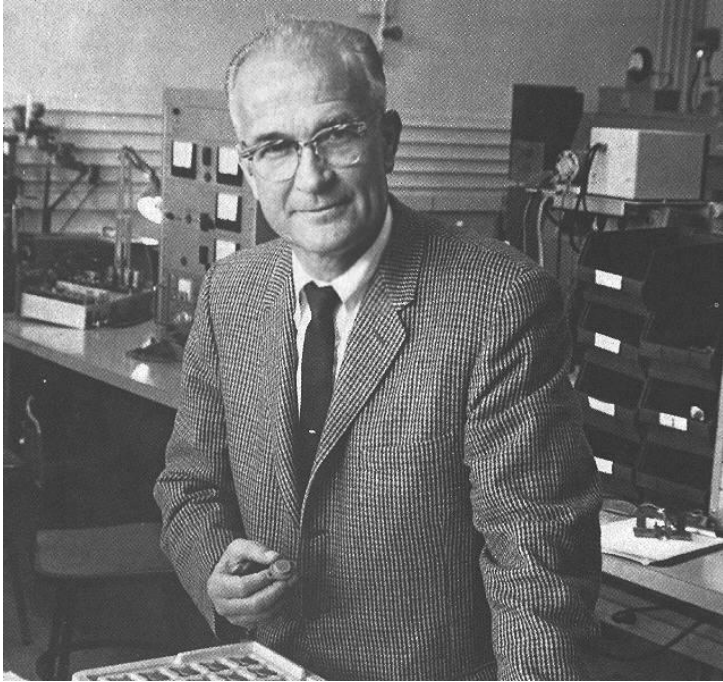




**Max Karl Ernst Ludwig Planck** (Nemec, 1858 – 1947; Nobelova cena za fyziku v r. 1918). Je zakladateľ kvantovej teórie. Skúmal žiarenie čierneho telesa. Zaviedol novú dôležitú prírodnú konštantu  $h$  – Planckovu konštantu.



**Wilhelm Conrad Röntgen** (Nemec, 1845 – 1923; Nobelova cena za fyziku v r. 1901). Uskutočnil neobyčajne významný objav lúčov X – röntgenového žiarenia. Urobil prvú röntgenovú snímku.



**William Bradford Shockley** (Američan anglického pôvodu, 1910 – 1989); Nobelova cena za fyziku v r. 1956). Vypracoval teóriu prechodu PN v polovodičoch a experimentálne potvrdil jeho schopnosť usmerňovania.



**Nikola Tesla** (Chorvát, 1856 – 1942, od r. 1884 v USA). Zaoberal sa bezdrôtovou telegrafiou a bezdrôtovým prenášaním elektrickej energie. Na jeho počesť bola pomenovaná jednotka magnetickej indukcie – tesla (T).



**Alessandro Guiseppe Antonio Anastazio Volta** (Talian, 1745 – 1827). Jeden zo zakladateľov náuky o elektrickom prúde. Vytvoril prvý elektrický článok – Voltov stĺp, ktorý umožňoval štúdium účinkov a zákonitostí elektrického prúdu.

