



FYZIKA

pro I. ročník Gymnázia Jana Nerudy

Milan Rojko a kol.



Učebnice je určena jen pro vnitřní potřebu Gymnázia Jana Nerudy.

OBSAH

Úvod.....	5
1. Kinematika	6
Relativnost klidu a pohybu.....	6
Poloha předmětu a její zápis.....	7
Záznam pohybu	8
Rychlost pohybu rovnoměrného	11
Průměrná rychlost	12
Okamžitá rychlost	12
Měření rychlosti	14
Volný pád	16
Rovnoměrný pohyb	18
Zrychlený pohyb	20
Zrychlení	21
2. Síly a jejich vlastnosti	28
Měření síly	28
Znázorňování síly	32
Skládání sil	33
Rozklad síly ve složky	35
Gravitační síla	41
Newtonův gravitační zákon	42
Tření.....	43
Moment síly	45
Těžiště	49
Tíha a beztlákový stav	51
První Newtonův pohybový zákon	54
Druhý Newtonův pohybový zákon.....	55
Třetí Newtonův pohybový zákon	56
3. Práce	59
Práce síly	59
Výkon.....	61
Účinnost.....	62
Energie.....	63
4. Tekutiny	67

Tlak tuhých těles.....	67
Tlak kapalin	69
Hydrostatické paradoxon.....	70
Kapaliny netlačí jen dolů	71
Archimédův zákon	72
Tlak v plynech	76
Hrajeme si s tlakem vzduchu	77
Měříme tlak vzduchu	80
Vývěvy - čerpadla na vzduch	81
Splněný lidský sen.....	83
Tlak vyvolaný stlačením kapaliny vnější silou	85
Tlak v proudících tekutinách	87
Létání.....	90
5. Částicová stavba látek	92
Látky a jejich složení	92
Brownův pohyb.....	93
Atom – základní stavební panel látek	94
Zářící atomy	96
6. Termika	98
Délková teplotní roztažnost.....	98
Objemová teplotní roztažnost.....	99
Teplota a její měření.....	102
Teplotní stupnice.....	107
Teplo	109
Zahřívání konáním práce	114
Výměna tepla mezi tělesy – kalorimetrická rovnice	116
Skupenské přeměny	118
Parní motory	122
Spalovací motory	124
7. Elektrostatika.....	129
Elektrování těles	129
Rozložení náboje na vodiči	132
Elektrostatická indukce	133
Elektrostatické pole.....	135
Nevodič v elektrickém poli	140
Piezoelektrický jev	142

ÚVOD

motto:

*Jay Orear: „Fyzika je to, čím se fyzikové
zabývají dlouho do noci.“*

Přesná definice, která by nám řekla, co do fyziky patří a co ne, neexistuje. Hrubý obrázek o tom ale získáte v hodinách fyziky na našem gymnáziu. Už na základní škole jste se však s fyzikou setkali. V našem prvním a druhém ročníku si sjednotíte, osvěžíte a doplníte své poznatky a připravíte k hlubšímu studiu na vyšším stupni našeho gymnázia.

Přitom budete mít možnost si v konzultacích s vyučujícími vyjasnit vše, o čem se domníváte, že tomu ještě dobře nerozumíte. Přejeme vám úspěšný start do studia fyziky na GJN, kde budete poznávat základní zákony běhu světa, ve kterém žijeme, i to, jak je fyzikové objevovali a dnes popisují.

Fyzikové po zákonech přírody usilovně pátrají pomocí pokusů i trpělivým přemýšlením. Z této dobrodružné cesty za poznáním vám můžeme ukázat jen některé jednoduché cesty bádání a dosažené výsledky. Jestli to vyprovokuje vaši zvědavost a dostanete chuť účastnit se na naší škole ve svém studiu detektivního pátrání po zákonech přírody, tohoto dobrodružství poznávání, bude to nejcennější výsledek výuky fyziky.

1. KINEMATIKA

RELATIVNOST KLIDU A POHYBU

Podívejte se na obrázek, vžijte se do role pana výpravčího a popište, kdo a co všechno je z vašeho pohledu v pohybu a kdo a co naopak v klidu.



Teď se ve své fantazii posadte do jedoucího vlaku. Změní se nějak situace? Může být auto jedoucí po sousední silnici vzhledem k vám v klidu? Vymyslete, kdy by to nastalo.

Při pohledu z nástupiště je nádražní budova a okolní stromy vůči vám v klidu; vlak s cestujícími a zavazadly se pohybuje. Sedíte-li ale ve vlaku, vidíte jak nádraží, výpravčí i okolní krajina ubíhají dozadu. Soused na sedačce i kufr nad vámi jsou naopak z vašeho pohledu v klidu.

Mluvíme-li o klidu a pohybu, je třeba vždy dodat, odkud se díváme. Popis z pohledu různých osob může být odlišný. Říkáme, že **klid a pohyb jsou relativní**.

Pro mluvení o pohybu se ujalo několik ustálených názvů: podle tvaru dráhy se rozlišuje **pohyb přímočarý** (vlak, auto v rovném úseku silnice) a **křivočarý** (pobíhající pes). Mezi křivočaré pohyby patří i pohyb po kružnici (sedačka kolotoče).

POLOHA PŘEDMĚTU A JEJÍ ZÁPIS

Při záznamu dráhy pohybu se ve fyzice používá způsob, který možná znáte z matematiky. Ukážeme si ho na jednoduchém příkladu.

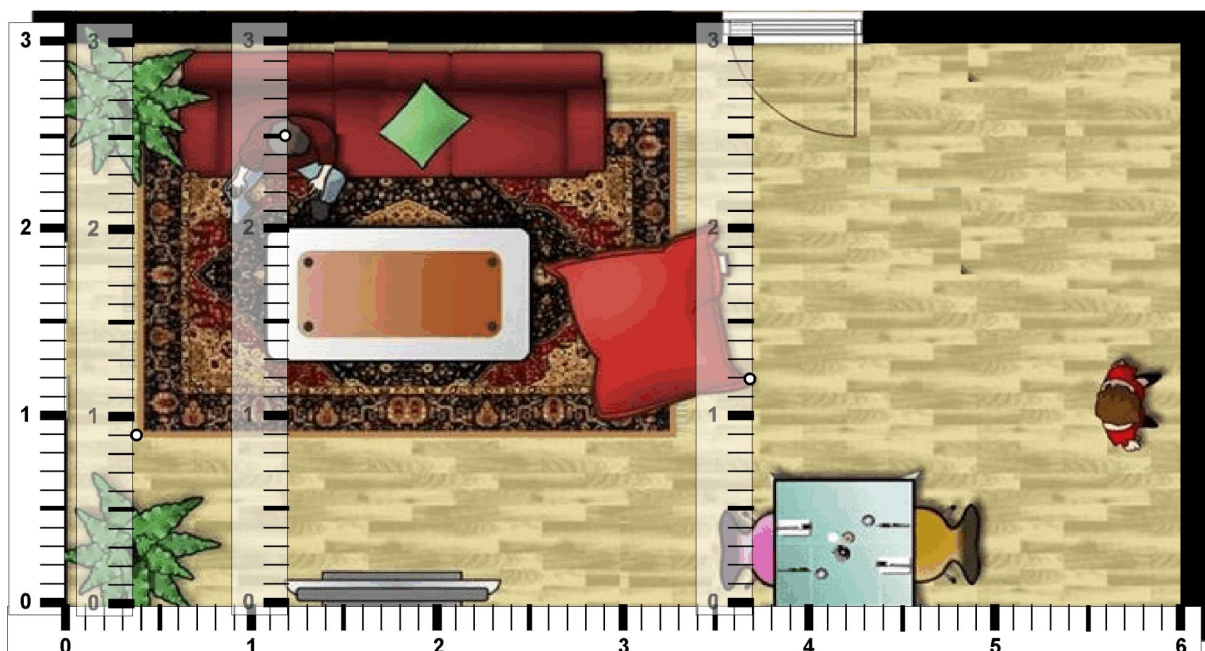
Na obrázku je pohled shora do místnosti.



Na podlahu místnosti položíme jedno měřidlo délky, například podél delší stěny, druhé měřidlo podél kratší stěny, jak je to vidět na obrázku.



Každé místo na podlaze místnosti pak určuje dvojice čísel (souřadnic).



Levý dolní roh koberce je tedy v místě $[0,35 \text{ m} ; 0,90 \text{ m}]$. Pravý dolní roh polštáře v místě $[3,7 \text{ m} ; 1,20 \text{ m}]$
 Co je nad místem, které má souřadnice $[5,7 \text{ m} ; 1,1 \text{ m}]$?

Jak byste určili polohu vrcholu hlavy osoby sedící na pohovce? Stačí vám k tomu dvě souřadnice?

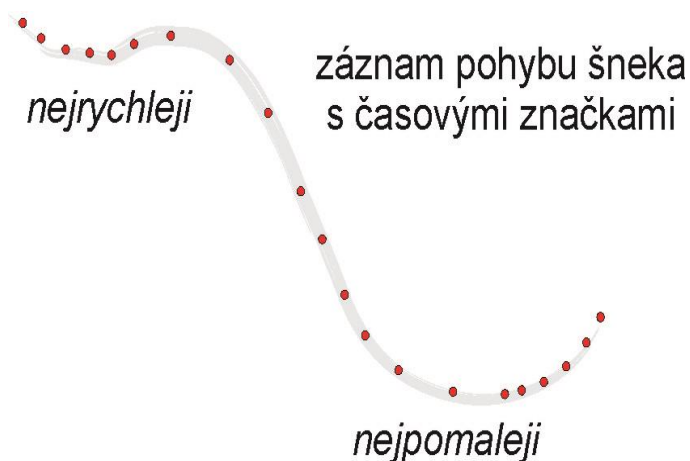
K určení poloh na podlaze nám stačily dvě souřadnice. K určení polohy bodu označeného na hlavě sedícího potřebujete kromě dvou „podlahových“ souřadnic $[1,2 \text{ m} ; 2,5 \text{ m} ; ?]$ i souřadnici třetí „?“, kterou z obrázku nezjistíme. Můžete se pokusit odhadnout její přibližnou velikost.

„Podlahové“ souřadnice označujeme písmeny x a y , „výškovou“ souřadnici nazýváme souřadnice z .

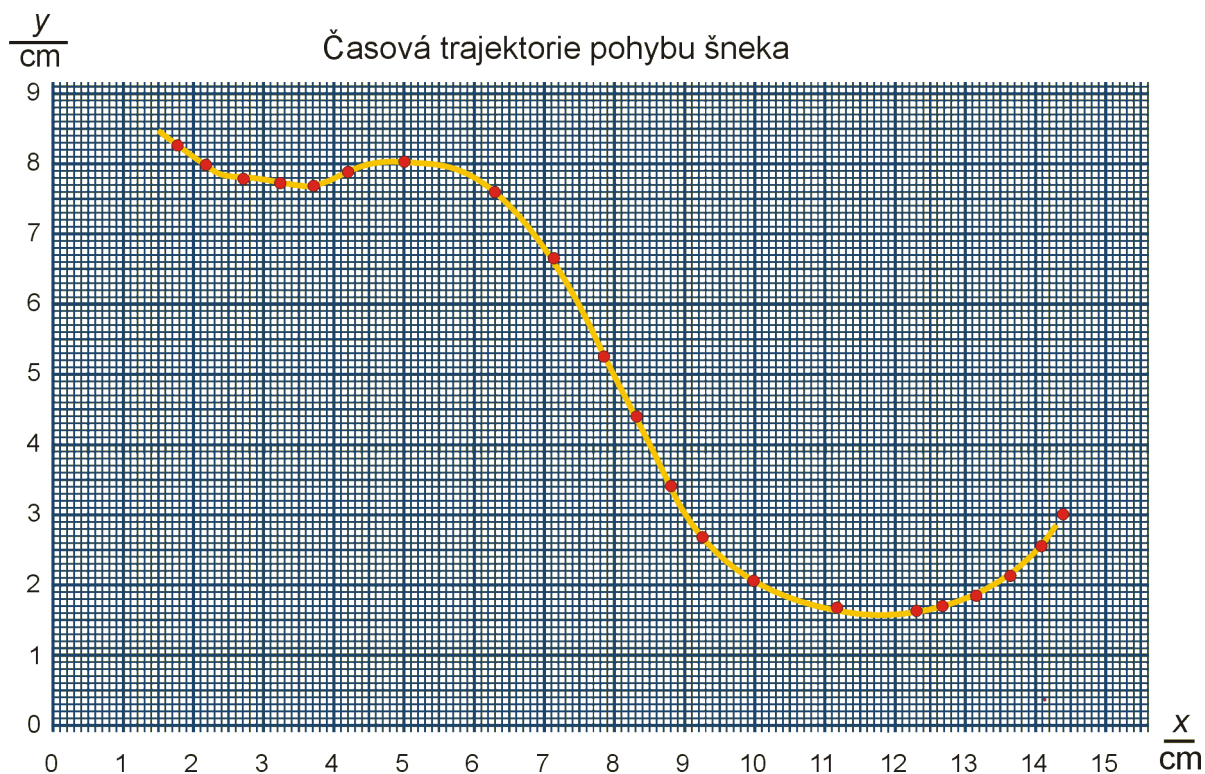
ZÁZNAM POHYBU

Kolem nás se stále pohybuje spousta věcí, lidí a zvířat. Chcete-li mít úplnou informaci o pohybu třeba cyklisty, potřebujete vědět, **kde kdy** byl. Zaznamenávat pohyb auta, cyklisty či pobíhajícího psa by pro vás bylo obtížné - jsou moc rychlí. Abychom stihli zachycovat polohu něčeho ve třídě, zvolili jsme si pro začátek něco pomalejšího - šneka.

Položili jsme šneka na projektor, a když se dal do pohybu, zaznamenávali jsme na papíře na tabuli fixem polohu konce jeho nohy po 4 sekundách odťukávaných metronomem. Zde je výsledek:



Když použijeme k záznamu navíc milimetrový papír, získáme lepší popis jeho pohybu.



Dokážete odpovědět na několik otázek, jež se týkají jeho pohybu?

- Jakou nejdelší a nejkratší vzdálenost ulezl za měřený čtyřsekundový úsek času?
- Kolik šnek ulezl za posledních 20 sekund svého pohybu?.
- Jaké byly souřadnice šneka na konci 60 s a 80 s?
- Jaká je celková vzdálenost, kterou ulezl šnek za dobu 80 sekund, co jsme ho sledovali?

(Zkontrolujte si, jestli jsou vaše odpovědi blízké zde uvedeným přibližným hodnotám:

20 mm, 4 mm, 26 mm, [123 mm, 16 mm], 166 mm)

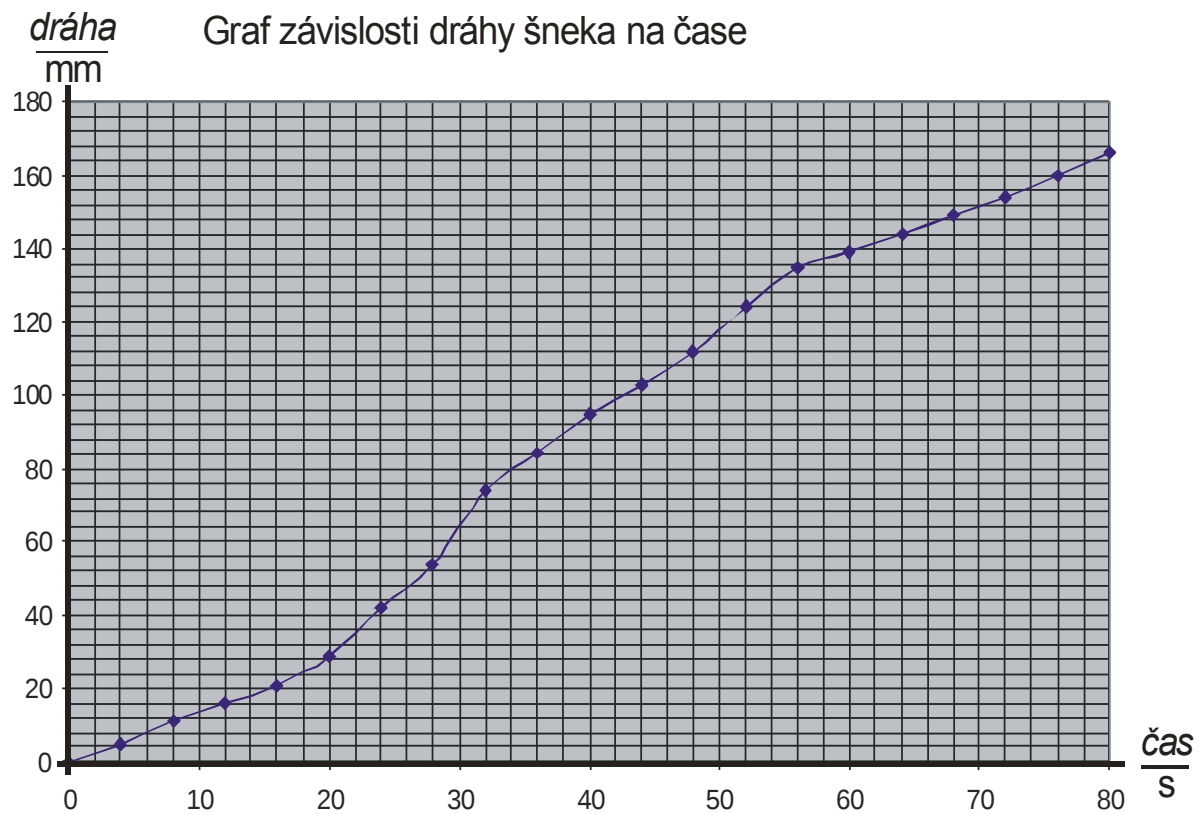
Pomocí záznamu můžeme nakreslit ještě jiný graf, z něhož budeme moci pohodlně číst, jakou dráhu šnek urazil při svém pohybu. Musíme ale napřed změřit a zapsat délky jednotlivých „etap“ jeho cesty.

časový úsek	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
dráha úseku/mm	5	6	5	5	5	8	13	12	20	10	11	8	9	12	11	4	5	5	6	6

Ted' můžeme snadno sečíst, jakou dráhu šnek urazil na koncích za 4 s, 8 s ... až 80 s.

čas /s	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
dráha /mm	0	5	11	16	21	29	42	54	74	84	95	103	112	124	135	139	144	149	154	160	166

Tentokrát nakreslíme (ve fyzice i v praxi často používaný) graf, kde na vodorovnou osu vynášíme čas, zatímco svislou souřadnicí bude dráha, kterou šnek (v jiných případech něco jiného) urazil.



ÚLOHY:

1. Uved'te příklady těles, které jsou v klidu vzhledem k jedoucímu vagonu.
2. Uved'te příklady pozorovatelů, kteří pozorují, že se dlažební kostky a sloupy veřejného osvětlení pohybují.
3. Rozhodněte, které z dole uvedených pohybů jsou přímočaré a které křivočaré.
(pád jablka se stromu, let motýla, pohyb puku po ledu po úderu hokejkou, pohyb Měsíce, běh sprintera na 100 m.)

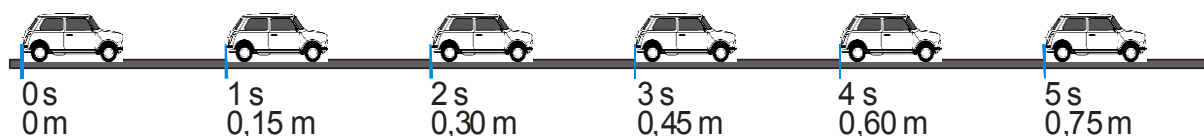
RYCHLOST POHYBU ROVNOMĚRNÉHO

Zatím jsme zkoumali, jak se mění s časem dráha, kterou ulezl šnek. Často nás také zajímá, jak je pohyb rychlý. Slovo rychlost jste zvyklí běžně užívat. Asi docela dobře víte, co znamená, když řekneme, že šnek lezl zpočátku 20 sekund pomaleji a dalších 20 sekund rychleji, ale možná hůře se vám to vysvětluje.

Určitě ale dokážete odpovědět na otázku, jak by vypadaly tečky na jeho dráze, kdyby lezl stále stejně rychle.

Dráha mezi nimi by byla stále stejně dlouhá. O takovém pohybu říkáme, že je **rovnoměrný**.

Rovnoměrně jelo autíčko na baterii, které jsme pustili po katedře. Na obrázku jsou zaznamenány jeho polohy každou sekundu jeho jízdy.



Pro rovnoměrný pohyb je rychlost určena tím, jak velkou dráhu těleso urazí za jednotku času.

$$\text{rychlost pohybu} = \frac{\text{úsek dráhy}}{\text{spotřebovaný čas}}$$

Raději než slovy se ve fyzice vyjadřujeme pomocí vzorců s písmeny. V takové úsporné formě by vypadal předcházející zápis takto:

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

Písmeno Δ delta označuje, že jde o přírůstek dráhy, resp. interval času. Přitom v tomto případě nezávisí hodnota rychlosti na tom, jaký úsek dráhy nebo času si vybereme. Rychlost autíčka vyjde vždy $v = 0,15 \text{ m/s}$.

Pro základní jednotku dráhy (metr) a času (sekunda) je hlavní jednotka rychlosti metr za sekundu (m/s).

V praxi se setkáváme i s jednotkou rychlosti km/h.

Naučíme se na tomto příkladu jednoduchý převod jednotek, který lze používat všeobecně.

$$v = 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,15 \frac{0,001 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 0,15 \cdot 3600 \cdot 0,001 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 0,54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Nebo naruby pro devadesátikilometrovou rychlost skutečného auta:

$$v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 90 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{90 \cdot 1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

PRŮMĚRNÁ RYCHLOST

Vrátíme se teď k nerovnoměrnému pohybu šneka, kde je situace složitější.

V nejpomalejším 16. úseku svého úprku měl šnek rychlost $4 \text{ mm} : 4 \text{ s} = 1 \text{ mm/s}$ ($0,001 \text{ m/s}$). Nejrychleji lezl v 9. etapě. Za 4 s ulezl 20 mm a měl tedy rychlost $20 \text{ mm} : 4 \text{ s} = 5 \text{ mm/s}$ ($0,005 \text{ m/s}$)

Nejsme si ale jisti, jestli šnek lezl celé 4 sekundy stejně rychle a proto takové rychlosti označujeme jako **průměrné rychlosti**, u nichž musíme vždy říci, ke kterému časovému úseku nebo k jakému úseku dráhy patří. Jistě dokážete spočítat, jak velká průměrná rychlost připadá na celých 80 sekund pohybu šneka (tj. na celých 166 mm jeho „útěku“)

$$\text{průměrná rychlost celého pohybu} = \frac{\text{uražená dráha}}{\text{spotřebovaný čas}} = \frac{0,166 \text{ m}}{80 \text{ s}} \approx 0,002 \text{ m/s} \quad (2 \text{ mm/s})$$

vzorcem:

$$v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,166 \text{ m}}{80 \text{ s}} \approx 0,002 \text{ m/s} \quad (2 \text{ mm/s})$$

kde

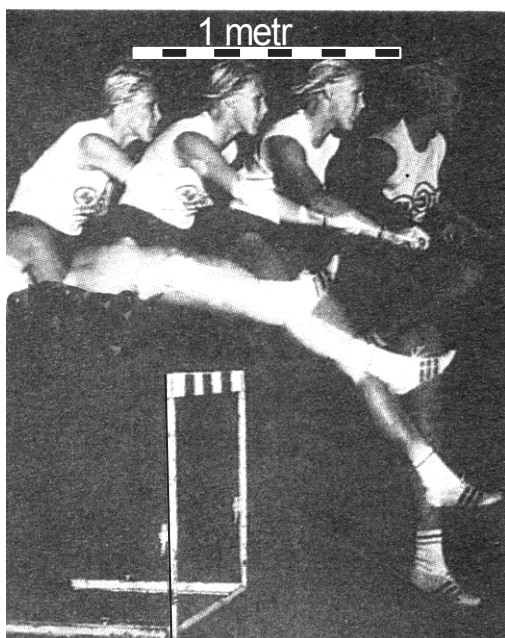
v_p je průměrná rychlost za 80 s jeho pohybu

Δs je přírůstek dráhy pohybu (m)

Δt je časový úsek – interval pohybu (s)

OKAMŽITÁ RYCHLOST

Průměrná rychlost neumožňuje popsat dostatečně jemně průběh pohybu. Chceme-li popsat pohyb lépe, musíme rozdělit pohyb na kratší úseky. Čím kratší úseky máme, tím přesnější jsou informace o pohybu. Průměrná rychlost určená v co nejkratším časovém úseku se nazývá **okamžitá rychlost**. Jak nejpřesněji můžeme změřit okamžitou rychlost závisí na tom, s jakou přesností jsme schopni měřit malé časy a k nim příslušné miniúseky dráhy. Okamžitou rychlost (s nevelkou přesností) ukazují na bicyklech a v automobilech rychloměry (tachometry).



Na obrázku je série 4 snímků (po časových úsecích 0,05 s) atletky překonávající překážku při běhu na 100 překážek. Z jejího výsledného času v cíli 12,8 s můžeme vypočítat její průměrnou rychlost pro celý běh.

$$v_p = \frac{100 \text{ m}}{12,8 \text{ s}} = 7,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obrázek nám umožňuje odhadnout i „skoro okamžitou“ rychlost těsně před a těsně za překážkou.

$$v_{\text{PRED}} = \frac{0,40 \text{ m}}{0,05 \text{ s}} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_{\text{ZA}} = \frac{0,35 \text{ m}}{0,05 \text{ s}} = 7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ÚLOHY:

1. Souprava metra ujede vzdálenost 1,5 km mezi dvěma sousedními stanicemi za 1 minutu 40 sekund. Jaká je její průměrná rychlost? Výsledek uveďte v metrech za sekundu a kilometrech za hodinu.

2. Podle knihy Julese Vernea vykonal Fog cestu kolem světa (60 000 km) za 80 dní.

Dobrodruh a miliardář Steve Fossett v roce 2005 se svým ultralehkým letounem sólově obletěl zeměkouli za 67 hodin (při letu urazil 37 tisíc kilometrů), aniž by přistál nebo dočerpál palivo.

Mezinárodní kosmická stanice ISS Zemi obletí (42 500 km) za 1 hodinu 32 minuty.

Jaké byly přibližně průměrné rychlosti všech těchto pohybů? Výsledky veďte v metrech za sekundu a kilometrech za hodinu.

3. Kolo bicyklu, které má obvod 2,2 m se při jízdě s kopce otočí šestkrát za sekundu. Jakou rychlostí se pohybuje?

4. Z fotografie (osvit 0,01 s) stojícího automobilu zjistili policisté jeho délku 4,2 m. Když se automobil pohyboval, byl jeho obraz (při stejné vzdálenosti fotoaparátu) rozmazán tak, jako by měl délku 4,5 m.

Jakou měl přibližně okamžitou rychlost?

5. Automobil jel 30 km rychlostí 100 km/h a potom následovalo 10 km rychlostí 80 km/h.

Jakou měl průměrnou rychlost během celé popsané jízdy?

6. Na obrázku je graf závislosti dráhy tělesa na čase.

a) Jak se bude těleso pohybovat

první dvě sekundy, druhé dvě sekundy, od čtvrté do osmé sekundy?

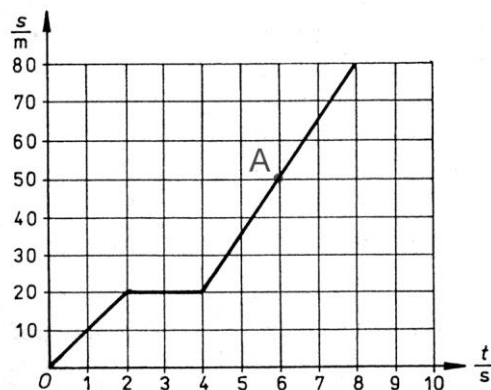
b) Urči velikost rychlosti pohybu v jednotlivých časových úsecích.

$v_1(0,2)$, $v_2(2,4)$, $v_3(4,8)$.

c) Jak velké jsou průměrné rychlosti v_p pohybu tělesa v časových úsecích (0 s, 4 s), (0 s, 6 s), (1 s, 7 s), a (0 s, 8 s)?

d) Můžeme rozhodnout podle grafu zda je pohyb tělesa přímočarý nebo křivočarý? Zdůvodněte odpověď.

e) Jakou informaci o pohybu nám podává bod A vyznačený v grafu?



7. Na obrázku jsou znázorněny dráhy pohybu osobního automobilu a traktoru v závislosti na čase.

a) Který z grafů a, b přísluší pohybu traktoru?

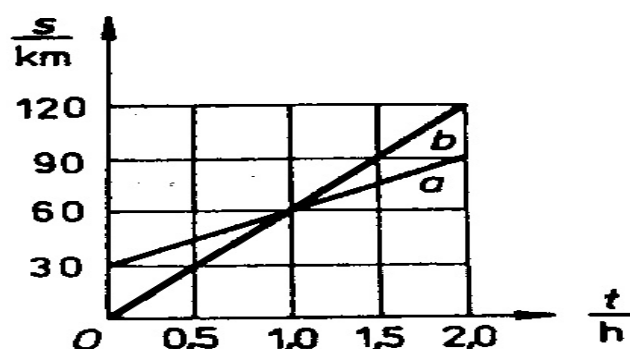
b) Které z vozidel se pohybovalo déle?

c) Jak velkou dráhu urazila jednotlivá vozidla?

d) Jak velkou rychlostí jela jednotlivá vozidla?

e) Kdy a kde předjel osobní automobil traktor?

f) Kde byla jednotlivá vozidla když začalo měření času?

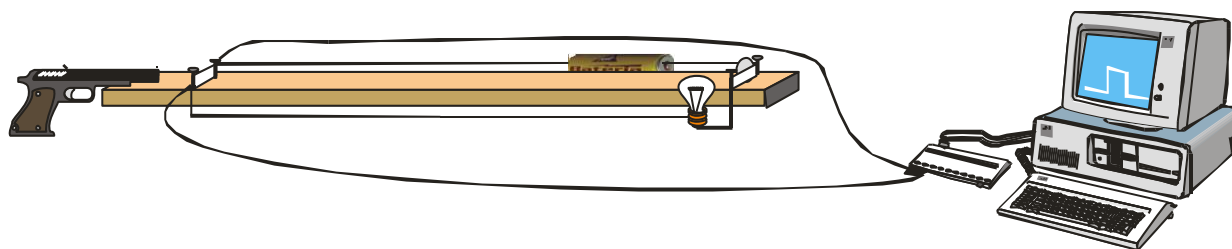


MĚŘENÍ RYCHLOSTI

Pokusy na měření rychlostí pomocí počítače se systémem ISES

Počítač sloužil jako stopky

Měření rychlosti broku ze vzduchové pistole



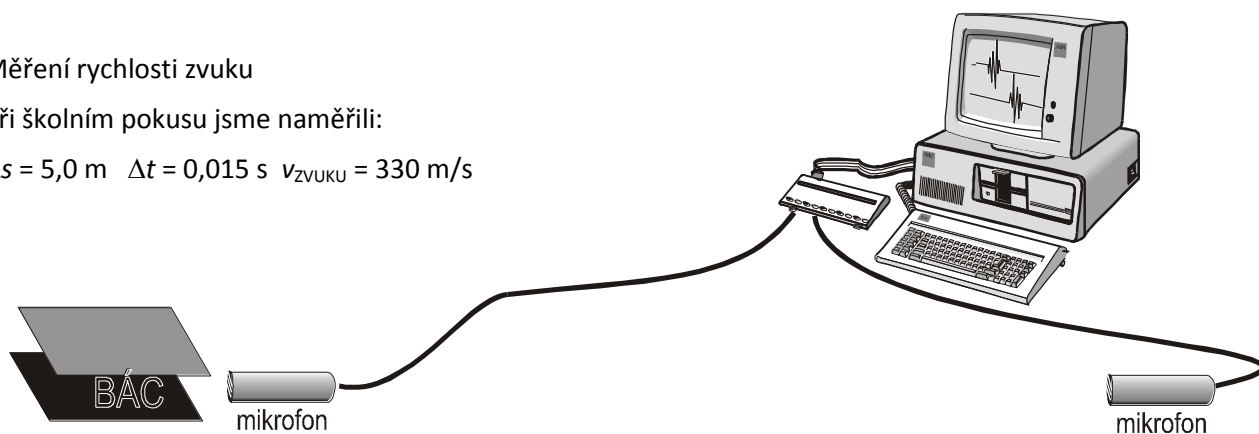
Při školním pokusu jsme naměřili:

$$\Delta s = 1,22 \text{ m} \quad \Delta t = 0,022 \text{ s} \quad v_{\text{BROKU}} = 55 \text{ m/s}$$

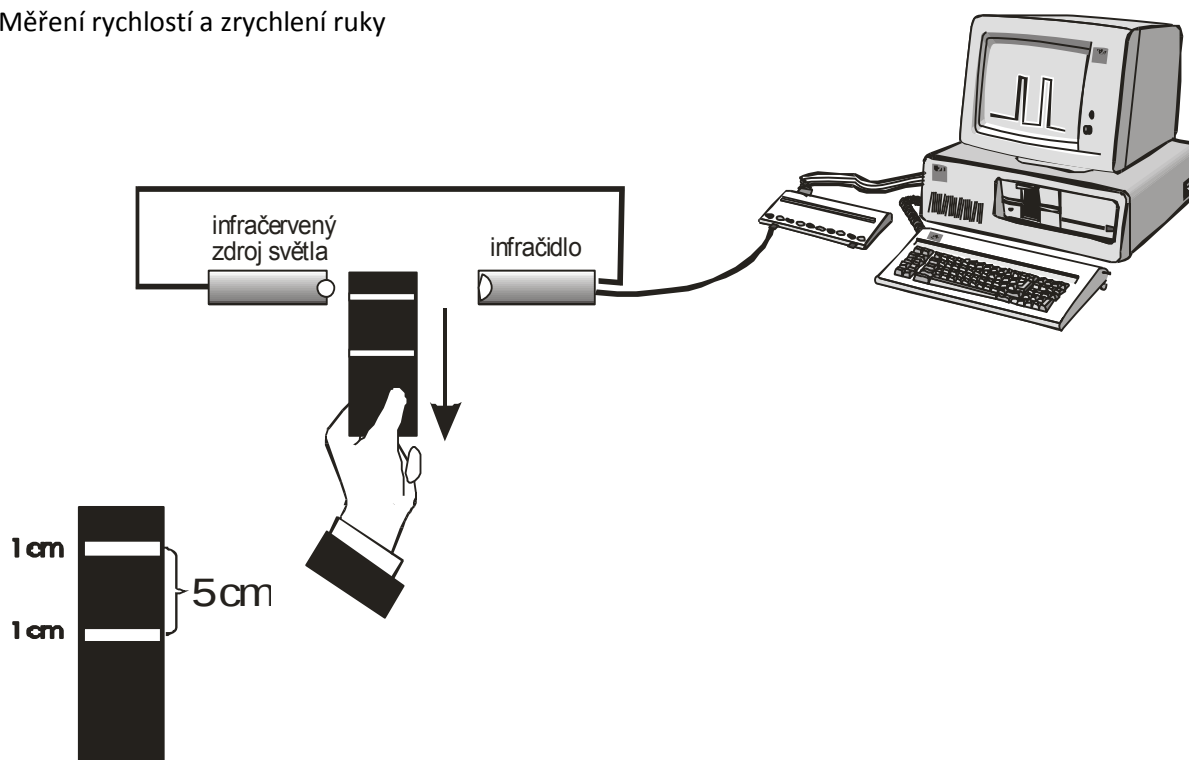
Měření rychlosti zvuku

Při školním pokusu jsme naměřili:

$$\Delta s = 5,0 \text{ m} \quad \Delta t = 0,015 \text{ s} \quad v_{\text{zvuku}} = 330 \text{ m/s}$$



Měření rychlostí a zrychlení ruky



Při školním pokusu jsme naměřili:

$$\Delta s_1 = 0,01 \text{ m} \quad \Delta t_1 = 0,005 \text{ s} \quad v_{1\text{RUKY}} = 2 \text{ m/s}$$

$$\Delta s_2 = 0,01 \text{ m} \quad \Delta t_2 = 0,003 \text{ s} \quad v_{2\text{RUKY}} = 3 \text{ m/s}$$

$$\Delta s = 0,05 \text{ m} \quad \Delta v = 1 \text{ m/s} \quad \Delta t = 0,030 \text{ s}$$

$$a_{\text{RUKY}} = 30 \text{ m/s}^2$$

VOLNÝ PÁD

Jeden pohyb zajímal fyziky a filozofy už v dávnověku. Bylo jím padání předmětů. Galileo byl prvním, kdo došel ze svých pokusů k závěru, že různé padání různých předmětů je vyvoláno odporem vzduchu. Dnes, kdy máme k dispozici tzv. Newtonovu trubici, můžeme ukázat, že pírko i brok padají ve vzduchoprázdnu stejně.

Na internetu si Googlem vyhledejte video „Apollo 15 Hammer and Feather Drop“ na kterém je zachycen pád kladiva a paviho pera na Měsíci.



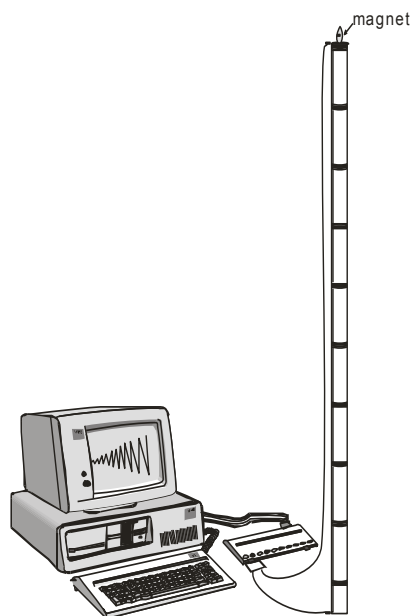
Pokud padá těžké tělísko z nevelké výšky, je odpor vzduchu zanedbatelný a průběh pádu je dobře měřitelný i ve vzduchu.

K pokusu použijeme experimentální systém ISES s počítačem.

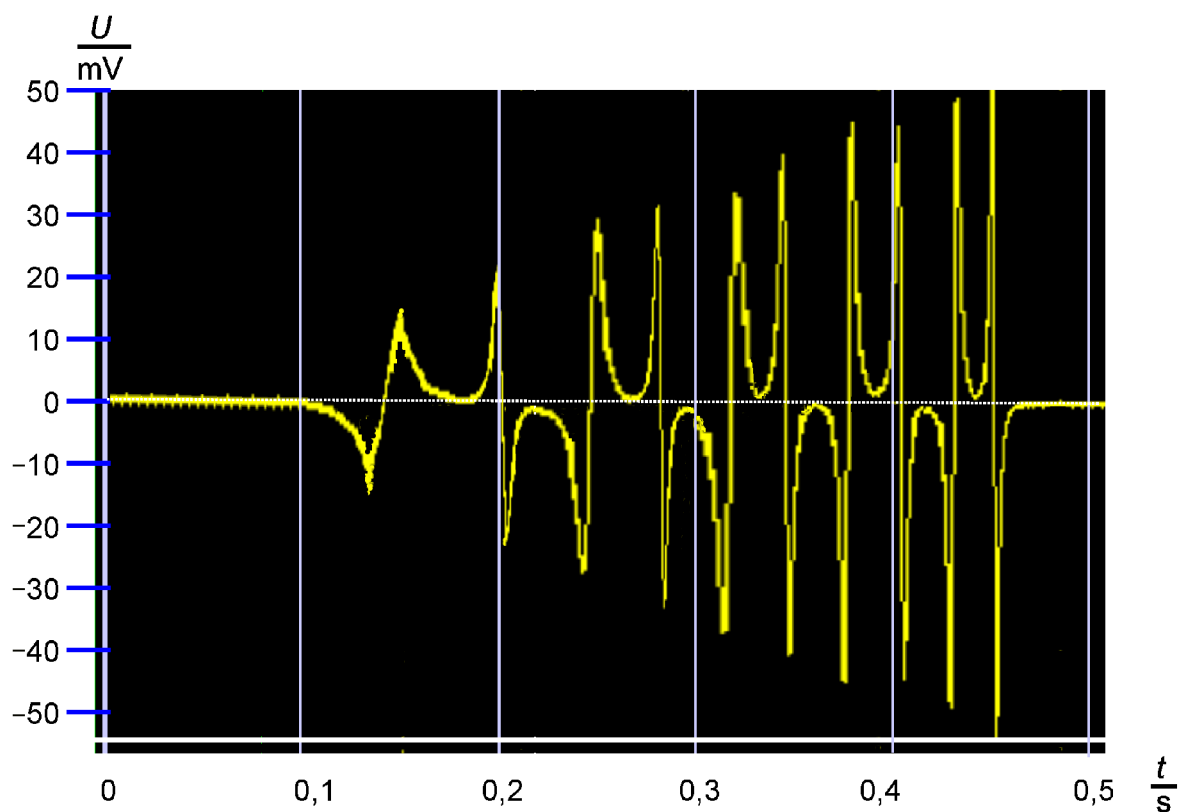
Proměřovat budeme pád olůvka, v němž je ukryt magnet, trubicí, na které jsou navinuty cívečky. Využijeme přitom tzv. elektromagnetické indukce.

Průlet magnetu cívkami v nich vyvolá impuls elektrického napětí, které počítač zaregistruje a graficky znázorní v závislosti na čase. Čím rychleji se magnet padá, tím větší napětí vzniká.

Na naší skleněné trubici je navinuto 10 měděných cívek se stejným počtem závitů. Cívečky jsou od sebe v deseticentimetrových vzdálenostech. Trubicí necháme padat magnet a pomocí počítače budeme během pádu zaznamenávat desettisíckrát za sekundu napětí vznikající na jednotlivých cívkách.



Výsledky se nám zobrazí do grafu, z něhož budeme moci sledovat, jak se napětí měnilo na každé cívce.



Z výsledku vidíme, že napěťové pulsy jsou časově stále blíž a blíž u sebe, což je samozřejmé, magnet padal čím dál rychleji. I růst výšky napěťových pulsů ukazuje, že rychlost pádu magnetu vzrůstá.

Průlety středem cívek jsou na grafu v bodech, kde křivka protíná časovou osu. Z počítače jsme získali hodnoty uvedené v tabulce:

dráha/m	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
čas/s	0,00	0,143	0,202	0,247	0,286	0,319	0,350	0,378	0,404	0,428	0,452

Získaná data nám dovolují vypočítat průměrné rychlosti olůvka v úsecích mezi cívečkami:

úsek času / s	0,000 až 0,143	0,143 až 0,202	0,202 až 0,247	0,247 až 0,286	0,286 až 0,319	0,319 až 0,350	0,350 až 0,378	0,378 až 0,404	0,404 až 0,428	0,428 až 0,452
průměrná rychlost m/s	0,7	1,7	2,2	2,6	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3

ROVNOMĚRNÝ POHYB

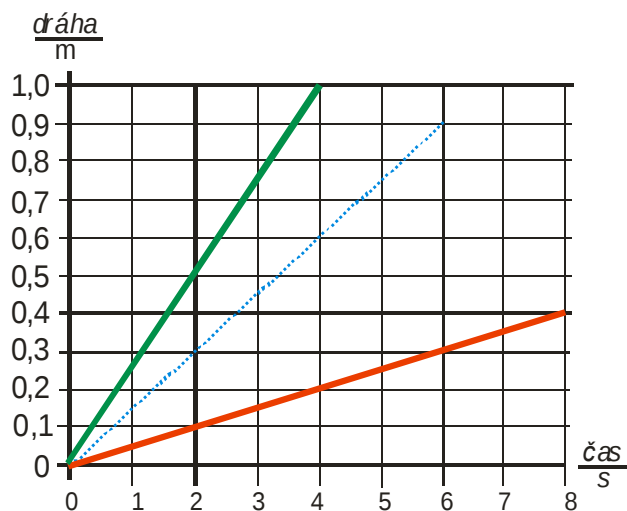
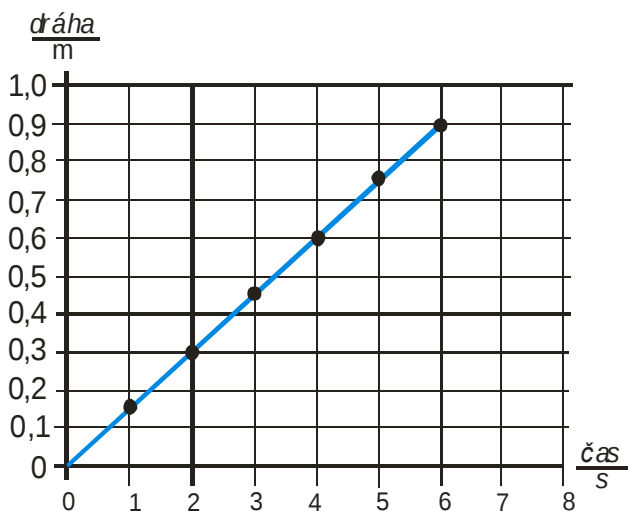
Pohyby jsou názorně popisovány grafy.

Nejjednodušším grafem je graf znázorňující jak se **dráha tělesa mění s časem**.

Rovnoměrný pohyb autíčka popisuje tabulka.

<i>doba jízdy / s</i>	1	2	3	4	5	6
<i>uražená dráha / m</i>	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90

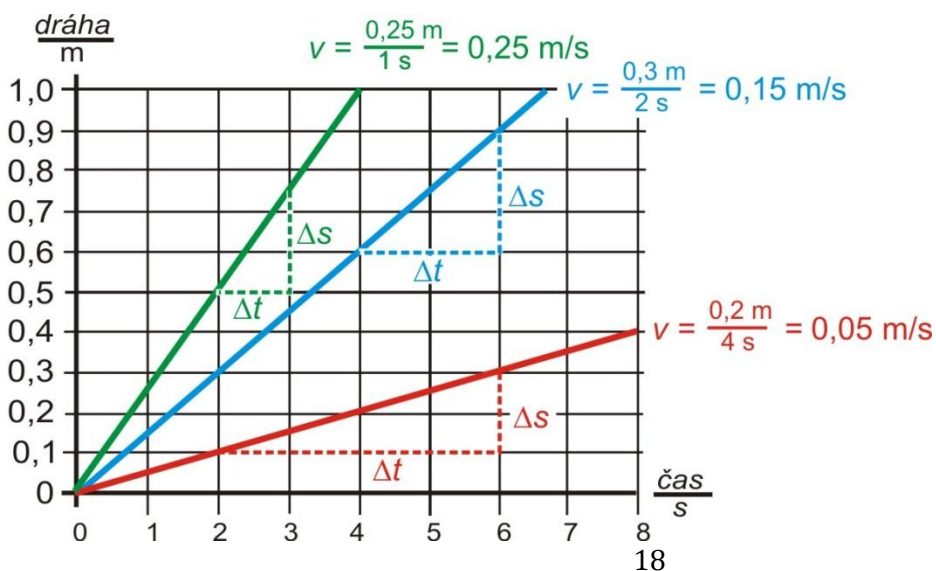
Graf tohoto pohybu je velmi jednoduchý (**modrá úsečka**).



Na pravém obrázku jsou navíc dva grafy pro jiné autíčko (**zelená úsečka**) a traktůrek (**červená úsečka**). Jistě dokážete objevit, jak se tyto pohyby liší od pohybu znázorněného na **modrém grafu**.

Kde je v takových grafech ukryta informace o rychlosti pohybu? Odpověď dává vzorec $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Rychlost zobrazuje sklon grafů.



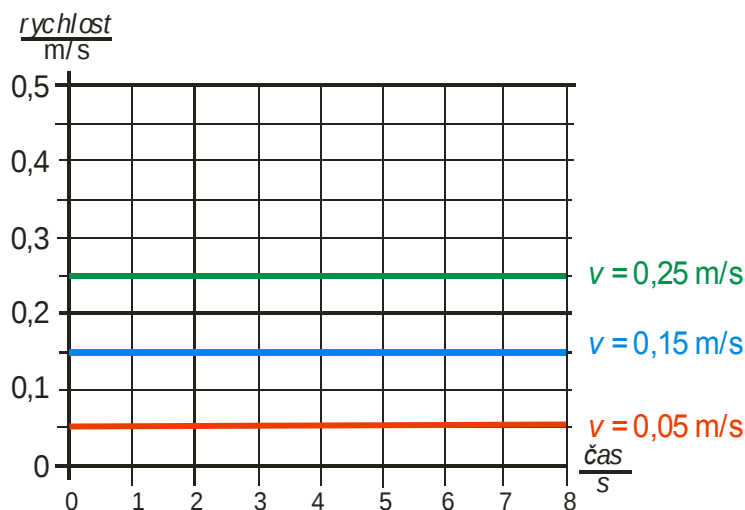
Všimněte si, že u rovnoměrného pohybu nezáleží na tom, kde na grafu dvojici úseků Δs a Δt pro výpočet rychlosti zvolíme.

Druhým často používaným grafem popisujícím pohyb je graf závislosti rychlosti na čase.

V takovém grafu na vodorovnou osu vynášíme čas, svisle rychlost k času příslušnou.

Protože se při rovnoměrném pohybu velikost rychlosti nemění, jsou grafy rychlostí ještě jednodušší než grafy dráhy.

Pro naše tři pohyby autíček a traktúrku jsou grafy rychlosti v závislosti na čase na dolním obrázku.

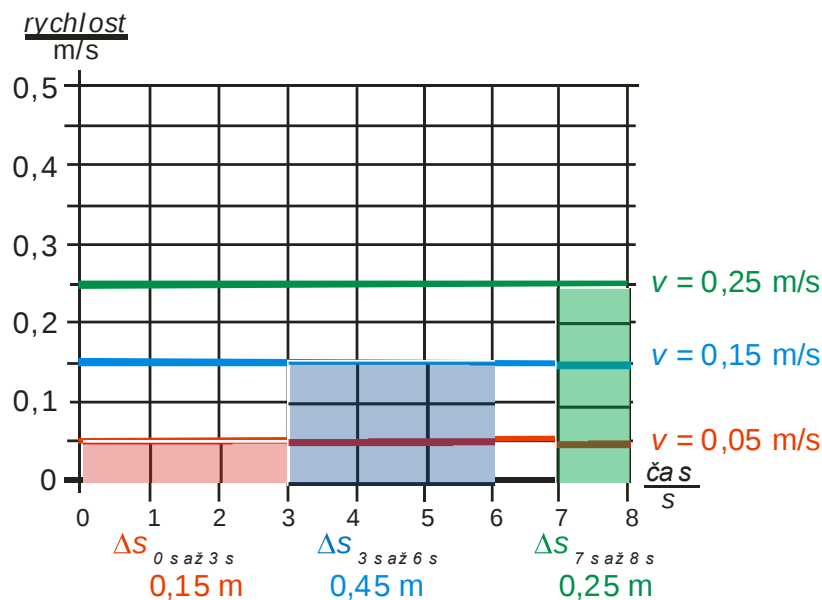


Takové grafy nám nevypovídají jen o rychlosti, ale skrývají v sobě i informaci o dráze, kterou pohybující se těleso urazí v časovém úseku, jenž nás zajímá.

Ze vzorce $rychlost\ pohybu = \frac{úsek\ dráhy}{spotřebovaný\ čas}$ je vidět, že úsek dráhy vypočítáme, vynásobíme-li rychlost

spotřebovaným časem: $rychlost\ pohybu \cdot spotřebovaný\ čas = úsek\ dráhy$

V grafech rychlosti je úsek dráhy popsán „obsahem plochy obdélníka“ se stranami Δt (základna) a v (výška). Názorně to ukazuje dolní obrázek pro dráhy v několika časových úsecích.

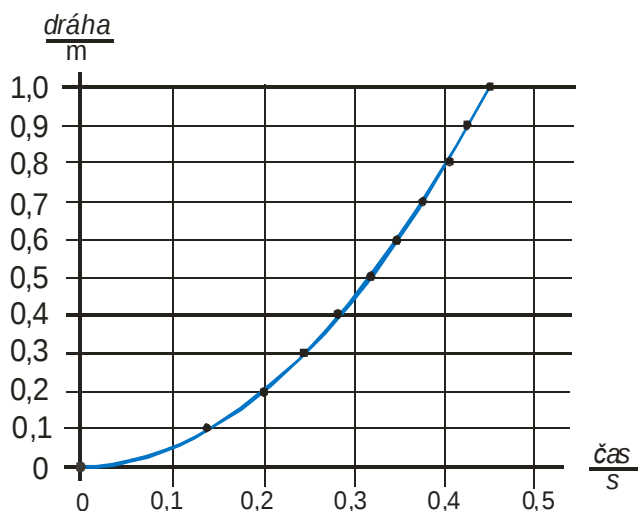


ZRYCHLENÝ POHYB

Pád olůvka byl příkladem jiného pohybu, při kterém dráha nerostla s časem rovnoměrně.

Pomocí dat získaných z pokusu můžeme zakreslit do grafu body popisující růst dráhy v závislosti na čase:

dráha/m	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
čas/s	0,00	0,143	0,202	0,247	0,286	0,319	0,350	0,378	0,404	0,428	0,452



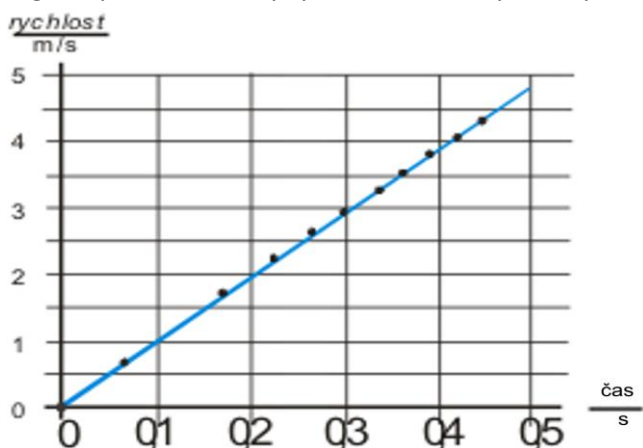
Tato křivka se nazývá *parabola* (přesněji jde o část paraboly).

K zakreslení grafu rychlosti použijeme hodnoty z tabulky, jež jsme už vypočítali.

úsek času / s	0,000 až 0,143	0,143 až 0,202	0,202 až 0,247	0,247 až 0,286	0,286 až 0,319	0,319 až 0,350	0,350 až 0,378	0,378 až 0,404	0,404 až 0,428	0,428 až 0,452
průměrná rychlost m/s	0,7	1,7	2,2	2,6	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3

střed úseku času / s	0,072	0,173	0,224	0,267	0,303	0,335	0,364	0,391	0,416	0,440
rychlost m/s	0,7	1,7	2,2	2,6	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3

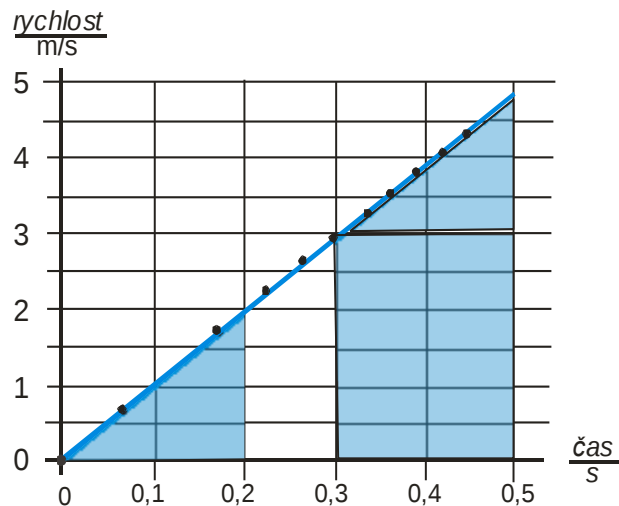
V grafu posadíme body rychlosti na středy časových úseků:



Z grafu je vidět, že při pádu olůvka rychlost rovnoměrně roste. Takový pohyb nazýváme **rovnoměrně zrychlený**.

I rozjíždění auta, rozbíhání sprintera nebo první okamžiky startu rakety je možné **zhruba** považovat za rovnoměrně zrychlený pohyb. Také při tomto pohybu můžeme z plochy pod grafem číst dráhu uraženou v časových úsecích, které nás zajímají.

Na dalším grafu jsou barevně vyznačeny plošky, které nás informují, jaké dráhy olůvko uletělo od startu v čase 0 s do 0,2 s a od 0,3 s do 0,5 s, kdy ještě můžeme předpokládat stále malé brzdění vzduchem.



$$\Delta s_{0 \text{ až } 0,2 \text{ s}} = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 2 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$$

$$s_{0,3 \text{ až } 0,5 \text{ s}} = 0,2 \cdot 3 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 1,8 \text{ m} \approx 0,78 \text{ m}$$

ZRYCHLENÍ

Jak rychle se mění rychlost popisuje fyzikální veličina zrychlení, která nám říká, o kolik se rychlost změní za jednu sekundu:

$$\text{zrychlení} = \frac{\text{změna rychlosti}}{\text{časový úsek změny rychlosti}}$$

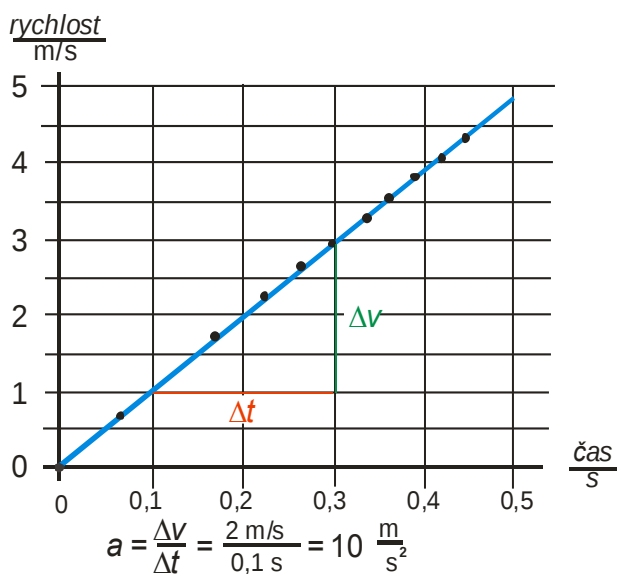
vzorcem:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

a zrychlení pohybu s jednotkou $\frac{\frac{m}{s}}{s} = \frac{m}{s^2}$

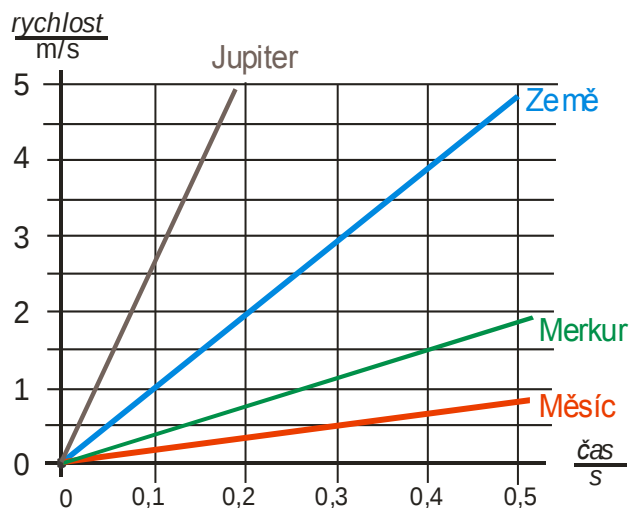
v ...změna rychlosti (m/s)

t ...časový úsek kdy došlo ke změně rychlosti (s)



Zrychlení pádu olůvka (přibližně 10 m/s^2) je v grafu rychlosti vidět v jeho sklonu.

Jak padají předměty na Měsíci a planetách Merkur a Jupiter popisují grafy rychlostí na dalším obrázku.



Důležité upozornění:

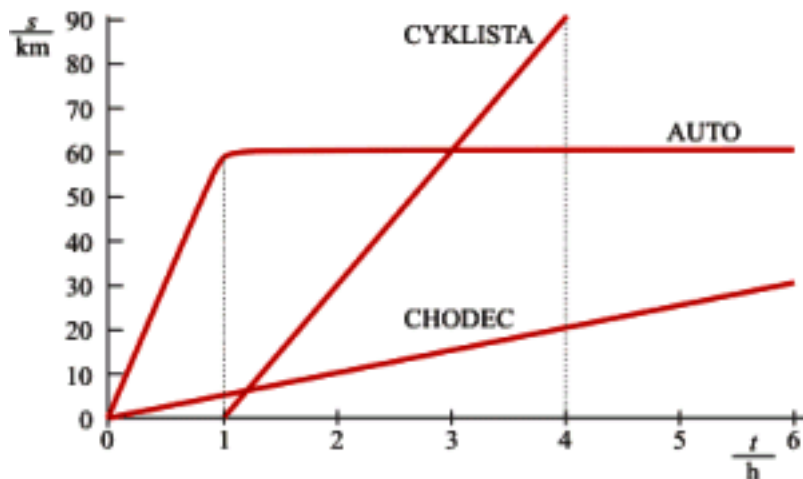
Při „čtení“ informací z grafů je nutné si v první řadě všimnout toho, zda jde o graf závislosti dráhy na čase nebo rychlosti na čase!!!

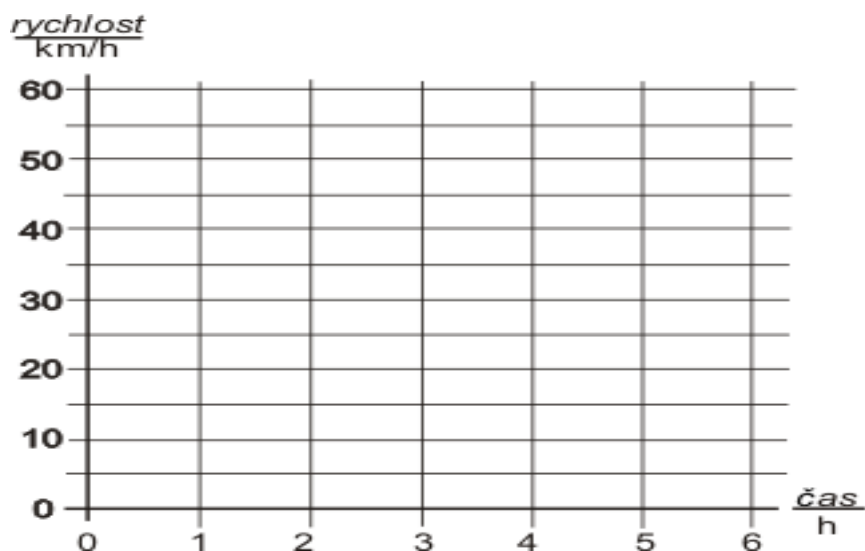
ÚLOHY

1. Auto, chodec a cyklista se pohybují po stejné silnici. Na obrázku je graf závislosti jejich drah na čase.

Určete:

- který z nich má během prvních tří hodin nejvyšší průměrnou rychlost
- po jaké době se potkal cyklista s autem
- nakreslete grafy závislosti velikostí jejich rychlostí na čase.



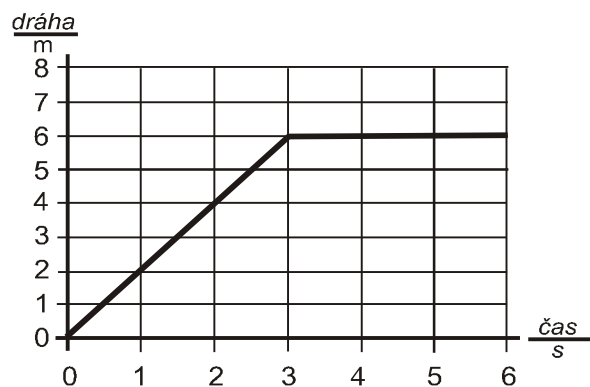


Návod na řešení najdete na internetové adrese:

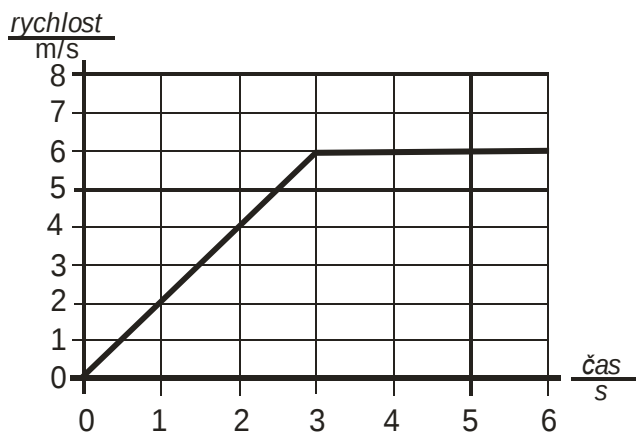
<http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=226>

2. Jaká je průměrná rychlost chodce, který šel 2 km rychlostí 6 km/h, a potom unaven 2 km rychlostí 4 km/h? (Výsledek uveďte v km/h i m/s.)

3. Na obrázku je graf závislosti dráhy na čase pro pohyb vozíčku. Popište pohyb.



4. Na obrázku je graf závislosti rychlosti na čase pro pohyb kuličky. Popište pohyb.



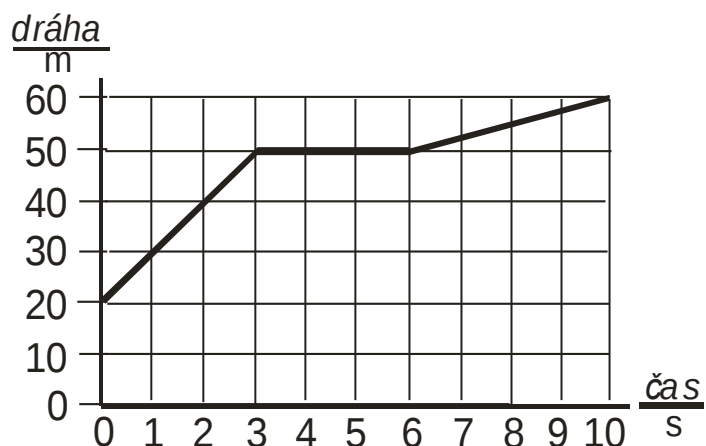
5. V rámečku je vzorec pro rychlost rovnoměrného pohybu

Napište vzorce pro dráhu s rovnoměrného pohybu.

Napište vzorce pro dobu t rovnoměrného pohybu.

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

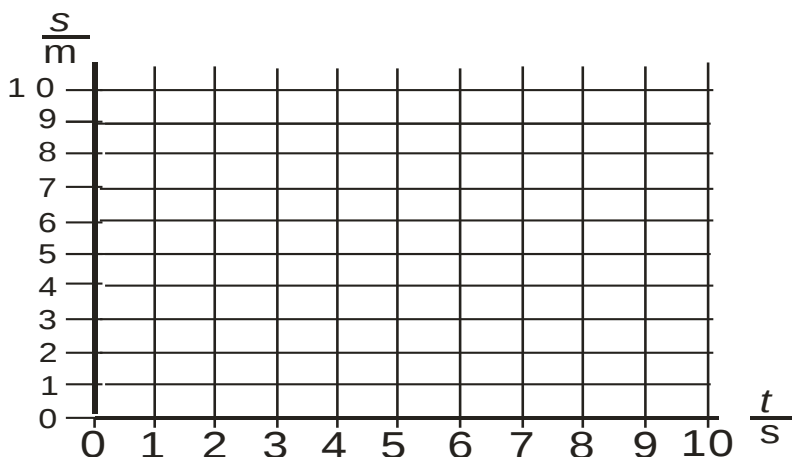
6. Graf na obrázku popisuje dráhu přímočarého pohybu tělesa v kladném směru po ose x v závislosti na čase.



- Ve které místě osy x bylo těleso v okamžiku, kdy jsme začali měřit čas?
- Jakou dráhu s_1 ujelo těleso během prvních tří sekund svého pohybu?
- Jakou rychlostí v_1 se při tom pohybovalo?
- Jakou dráhu s_2 těleso ujelo za 3 sekundy v časovém úseku $3 \text{ s} < t < 6 \text{ s}$?
- Jakou rychlostí v_2 se těleso pohybovalo mezi 6. až 10. sekundou?
- Jaká byla průměrná rychlost v_p tělesa během zaznamenaných 10 sekund pohybu?

7. Dvě autíčka jela rovnoměrně po dráze ze stejné startovní čáry stejným směrem. První autíčko jelo rychlostí $v_1 = 1 \text{ m/s}$, druhé, které vyjelo o 4 sekundy později, jelo dvojnásobnou rychlostí.

- Nakreslete grafy (dráha, čas) pro obě autíčka.
- Určete z grafu kdy a kde dohonilo rychlejší autíčko to pomalejší.



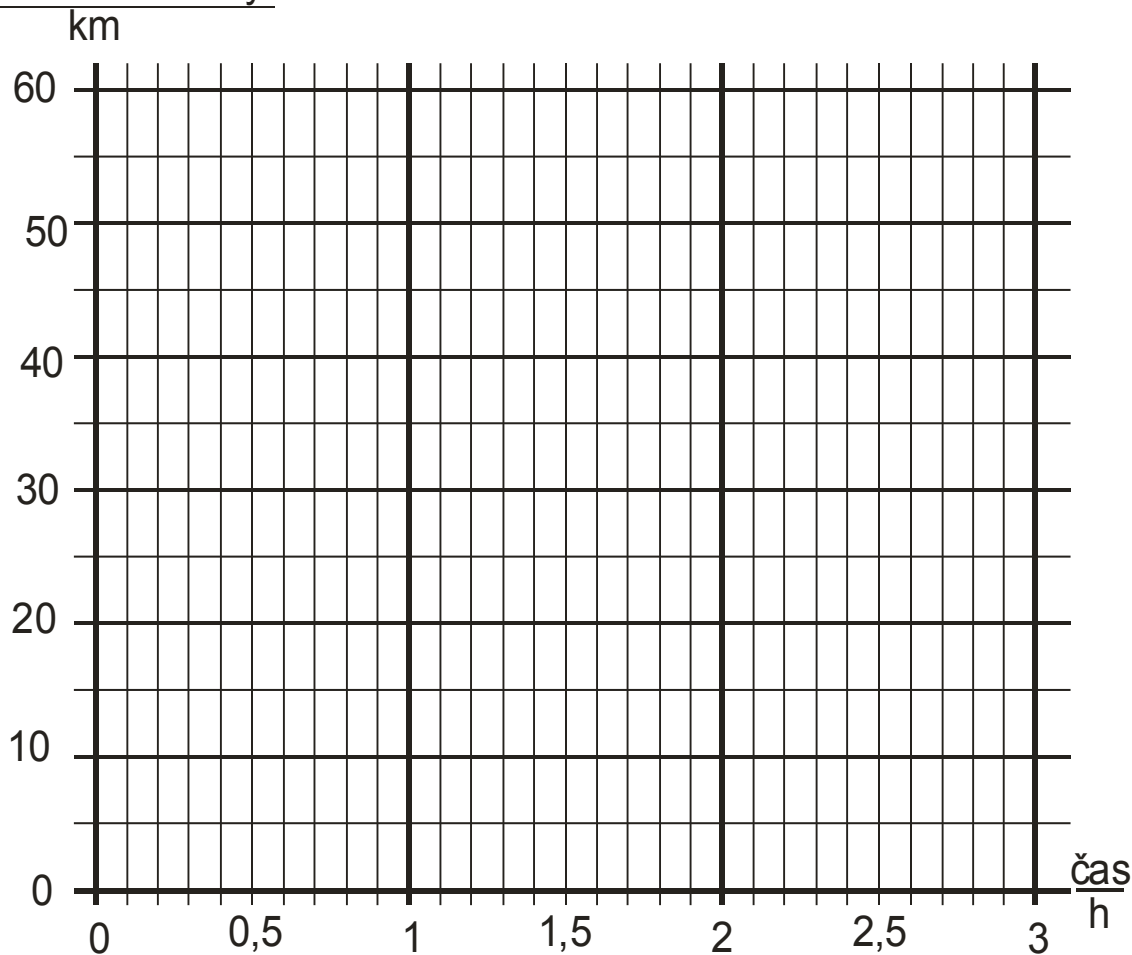
8. Chodec vyšel z Prahy rychlostí $v_1 = 4 \text{ km/h}$ a současně mu vyjel naproti z Lovosic vzdálených 60 km cyklista rychlostí $v_2 = 20 \text{ km/h}$.

a) Nakreslete grafy dráhy $\frac{\text{vzdálenost od Prahy}}{\text{km}}$ v závislosti na čase $\frac{t}{h}$ pro oba pohyby.

b) Z grafů určete kdy se cyklista a chodec setkají.

c) Jak daleko od Prahy bude místo jejich setkání?

vzdálenost od Prahy



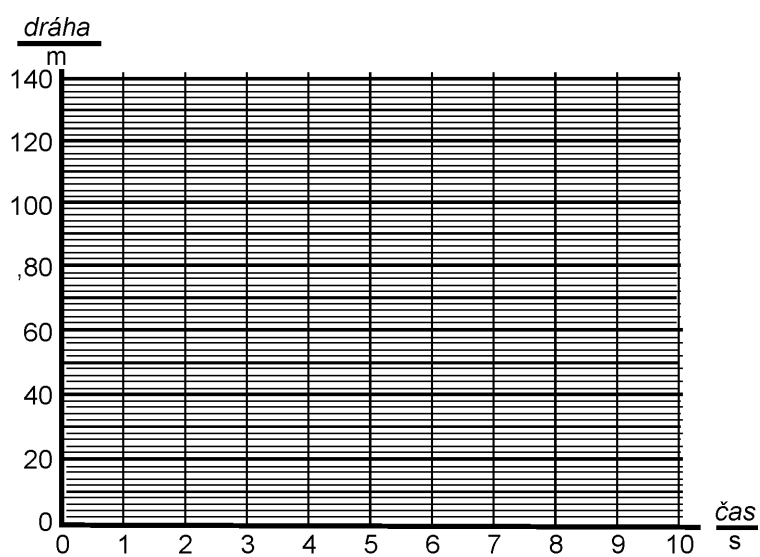
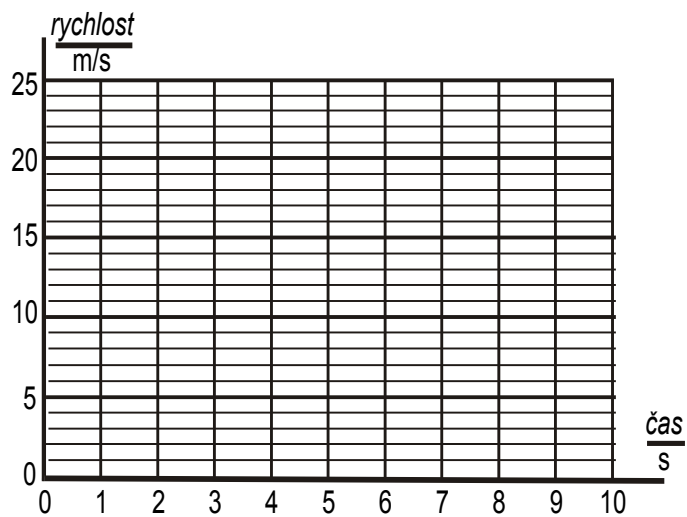
9. Jaké zrychlení (m/s^2) měl automobil, který za 10 sekund po startu získal rychlost 90 km/h.

10. Doplňte tabulku pro rychlosti předcházejícího pohybu a nakreslete graf (čas, rychlost).

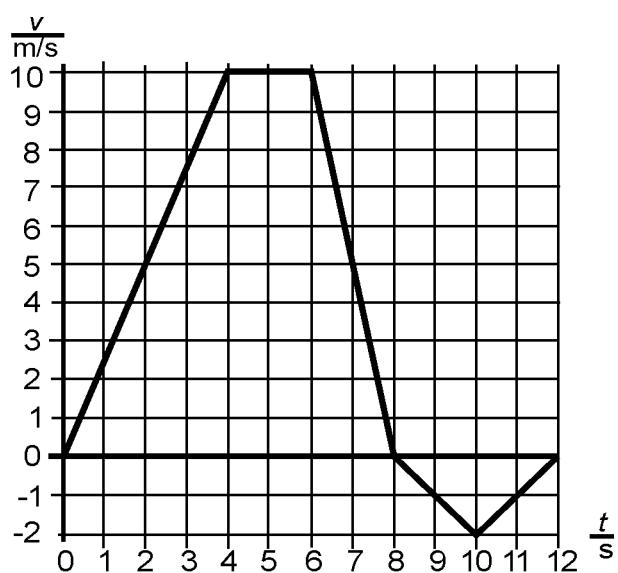
Z grafu čtěte hodnoty uražené dráhy za 2 s, 4 s až 10 s a запиšte do dolního řádku tabulky.

Zakreslete graf dráhy v závislosti na čase

čas / s	0	2	4	6	8	10
rychlost m/s	0					
dráha / m	0					



11. Graf na obrázku popisuje průběh rychlosti tělesa, které se pohybovalo podél osy x.
V čase $t = 0$ s bylo těleso v počátku.



- a) Kdy byl hmotný bod v klidu?
- b) Kdy se hmotný bod pohyboval rovnoměrně?
- c) Jakou dráhu s urazil při rovnoměrném pohybu? Jaký byl směr pohybu? (vlevo nebo vpravo)
- d) Kdy měla rychlost **maximální** hodnotu?
- e) Jaké bylo zrychlení a_1 když se bod rozjížděl po startu?
- f) Jakou dráhu s_1 s tímto zrychlením bod urazil?
Jaký byl směr pohybu? (vlevo nebo vpravo)
- g) Jak se těleso pohybovalo od 6. s do 8. s?
- h) Jak se těleso pohybovalo od 8. s do 10. s?
- i) Jak se těleso pohybovalo od 10. s do 12. s?
- j) Ve kterém okamžiku t_{MAX} byl bod nejvíce vzdálen od počátku?
- k) Kde se hmotný bod nacházel v čase $t = 12$ s?
- l) Jakou celkovou dráhu (bez ohledu na směr) bod urazil během celé doby svého pohybu?
- m) Jaká byla průměrná rychlost pohybu v_p (m/s) od startu do 8. sekundy?

2. SÍLY A JEJICH VLASTNOSTI

MĚŘENÍ SÍLY

Jestliže řekneme, že **na míč působí síla**, vlastně něco zatajujeme. Tato informace nám sice říká, kdo je „obětí“ působení, ale skrývá „pachatele“. Uvedené sdělení může znamenat, že do míče kope fotbalista, že na míči sedí vrabec, že se do míče opírá vítr nebo že míč přitahuje Země, a dokážete jistě vymyslet ještě velkou řadu dalších „pachatelů“. Za slovem síla jsou tedy vždy skryty dva objekty. Ten, který působí, a ten, na který je působeno. Na každém z obrázků můžete takových dvojic najít několik.

Vyberte na obrázcích dvojice „pachatel“ (který působí silou) a „oběť“ (na níž síla působí).



Účinky působící síly můžeme rozdělit do dvou zásuvek. Na jedné bude označení **deformace**, na druhé **pohybové účinky**.

Popište u horních obrázků u různých dvojic „pachatel – oběť“ kdy nastává **deformace** nebo dochází k **pohybovému účinku**.

Jednotkou síly je **newton** (značka **N**).

Jeden newton je přibližně síla (brzy jednotku newton zpřesníme), kterou na dlaň působí závaží o hmotnosti 100 g. Kilogramové závaží v klidu na Zemi tedy působí silou přibližně 10 N velkou.

Působící síla je určena svou **velikostí**, **směrem** působení a místem ve kterém působí - tzv. **působišťem**.

Proto síla patří mezi fyzikální **veličiny vektorové** (krátce *vektory*), spolu s rychlostí, zrychlením aj.

Veličiny, které nejsou směrové, jako např. hmotnost, teplota, hustota, čas aj., jsou **veličiny skalární**, (krátce *skaláry*).

Měření síly

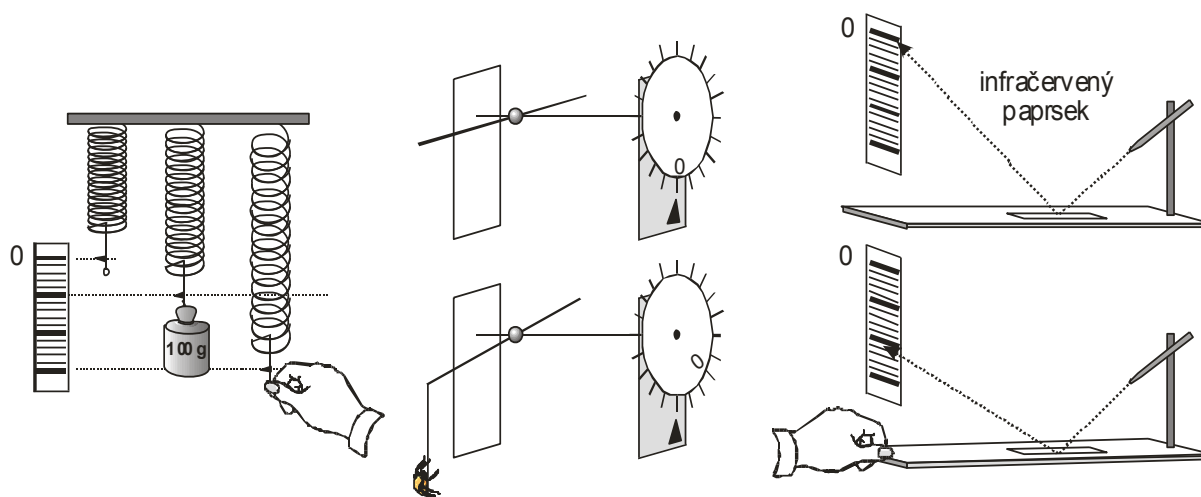
K měření sil se využívá převážně deformačních účinků síly.

Na dolních obrázcích jsou tři siloměry tohoto typu.



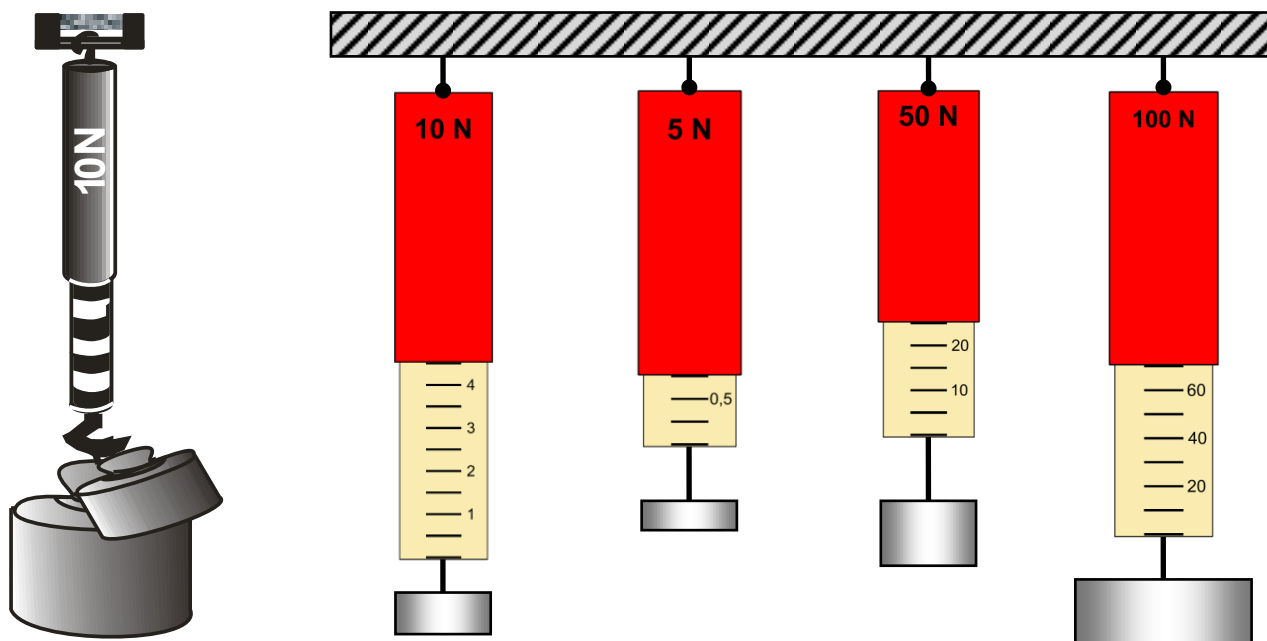
Žákovský siloměr (vlevo) určuje sílu z prodloužení pružiny v siloměru. Torzní siloměr na měření malých sil (uprostřed), měří sílu ze zkroucení vlákna uvnitř. Digitální siloměr systému ISES (vpravo) měří sílu z prohnutí ocelového plátku.

Principy měření těchto siloměrů je vidět z dolních schematických obrázků.



ÚLOHY:

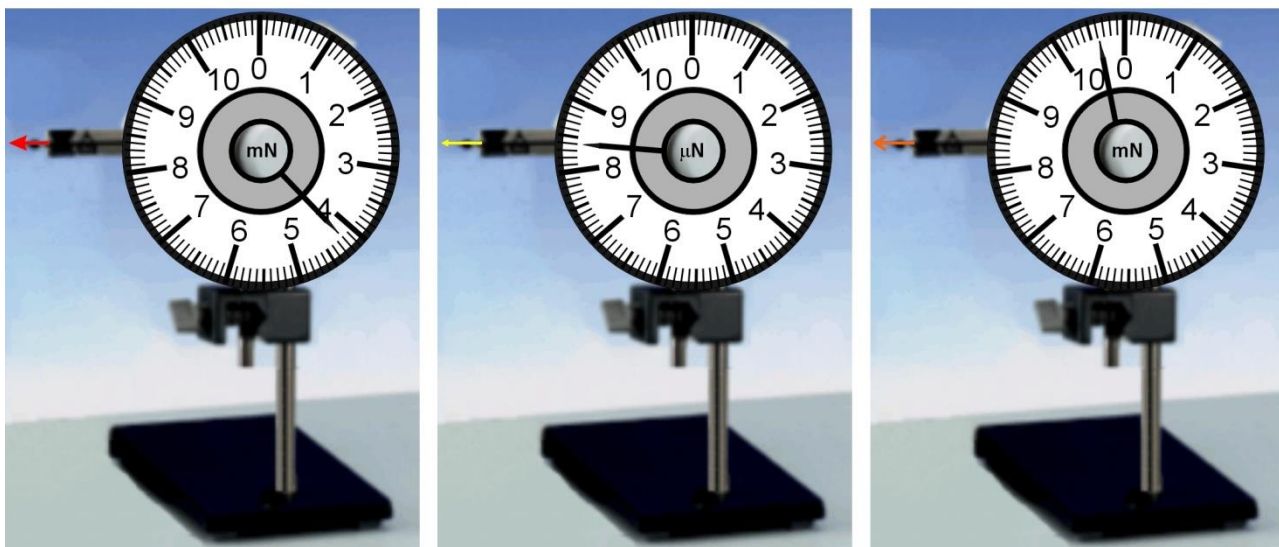
1. Jak velké síly F_1 , F_2 , F_3 , F_4 a F_5 ukazují siloměry na obrázku?



2. Jak jsou přibližně velké hmotnosti m_1 , m_2 , m_3 a m_4 zavěšených závaží na předchozím obrázku? Hmotnosti uveďte v gramech a kilogramech.

3. Jak velké síly F_1 , F_2 , a F_3 ukazují torzní siloměry na obrázku?

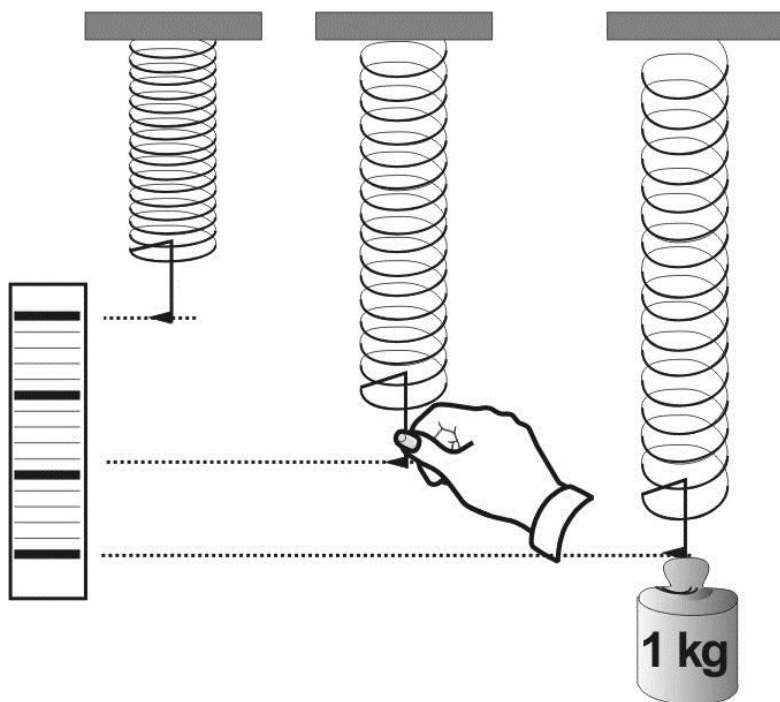
Výsledky uveďte i v newtonech.



4. Jak jsou přibližně velké síly F_1 až F_7 , kterými jsou na povrchu Země gravitační silou přitahována tělesa o hmotnostech: $m_1 = 12 \text{ t}$, $m_2 = 200 \text{ q}$, $m_3 = 350 \text{ kg}$, $m_4 = 0,40 \text{ kg}$, $m_5 = 55 \text{ g}$, $m_6 = 650 \text{ mg}$, $m_7 = 8 \text{ mg}$.

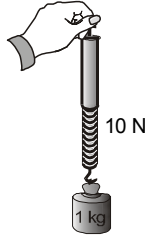
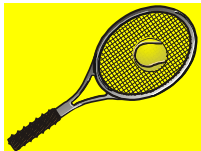
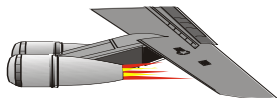
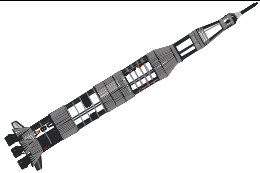
Síly vyjádřete v hlavní jednotce newton (N) a ve vhodných případech použijte i jednotky násobné, meganewton MN, kilonewton kN, milinewton mN, mikronewton μN . (Volte $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

5. Jak velkou silou táhne ruka za pružinu na obrázku?



ZNÁZORŇOVÁNÍ SÍLY

Příklady různých sil a jejich přibližných velikostí ukazuje dolní tabulka.

síla potřebná k přetržení vlákna pavučiny	přibližně 0,03 N (30 mN)	
gravitační přitahování kilogramového závaží Zemí	přibližně 10 N	
síla potřebná k utržení uzávěru plechovky	přibližně 20 N	
síla, kterou působí tenisová raketa na míček	přibližně 2 000 N (2 kN)	
tahová síla proudového motoru letadla	přibližně 200 000 N (0,2 MN)	
tahová síla motorů rakety Saturn 5 při startu	přibližně 30 000 000 N (30 MN)	

Sílu znázorňujeme „šipkou“ (orientovanou úsečkou) mířící směrem působící síly a délkou určenou velikostí síly (větší síla → delší šipka).

Měřítka pro velikost síly si můžeme volit.

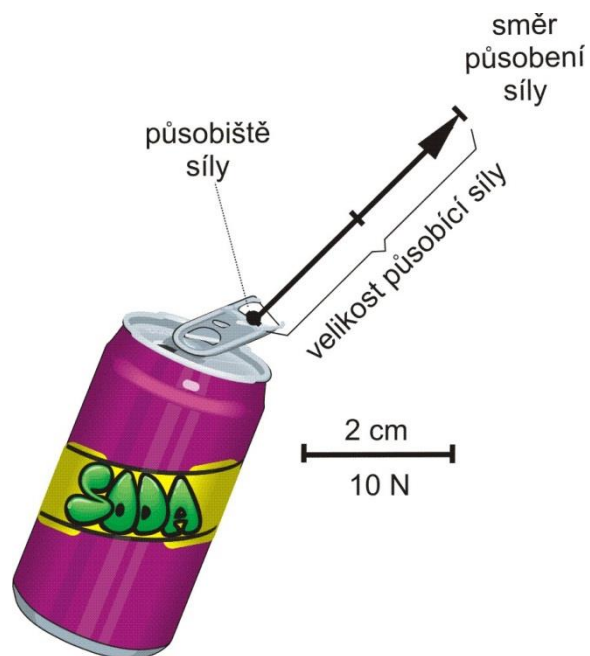
Pro dané měřítko (1 cm odpovídá síle 5 N)

má síla působící na uzávěr plechovky velikost 20 N.

Počátek šipky umísťujeme do místa,

kde síla působí nebo častěji do těžiště tělesa.

Kde je těžiště tělesa se brzy dozvíte.

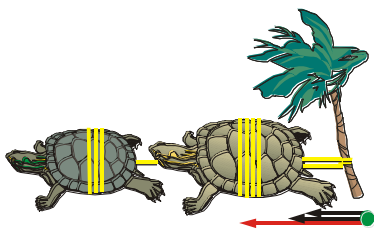


SKLÁDÁNÍ SIL

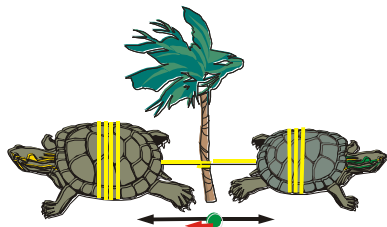
Protože jsou síly veličiny určené kromě velikosti také směrem, nelze je sčítat stejně, jako např. hmotnosti, kde 30 kg mouky a 40 kg mouky dá vždy jednoduše dohromady 70 kg mouky.

Jaký výsledek dá sečtení dvou sil, z nichž jedna (F_1) má velikost 30 N a druhá (F_2) má velikost 40 N?

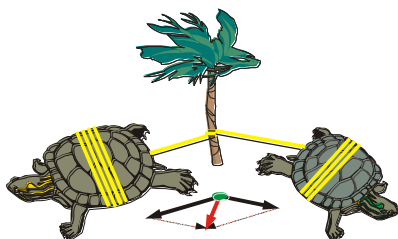
Několik možností naznačují obrázky, kde dvěma silami působí želvy na palmu.



Působí-li želvy silami 30 N a 40 N stejným směrem, má výsledná síla (červená šipka) velikost $30\text{ N} + 40\text{ N} = 70\text{ N}$ a míří ve směru obou sil.



Působí-li opačným směrem, má výsledná síla velikost $40\text{ N} - 30\text{ N} = 10\text{ N}$ a míří ve směru větší síly.

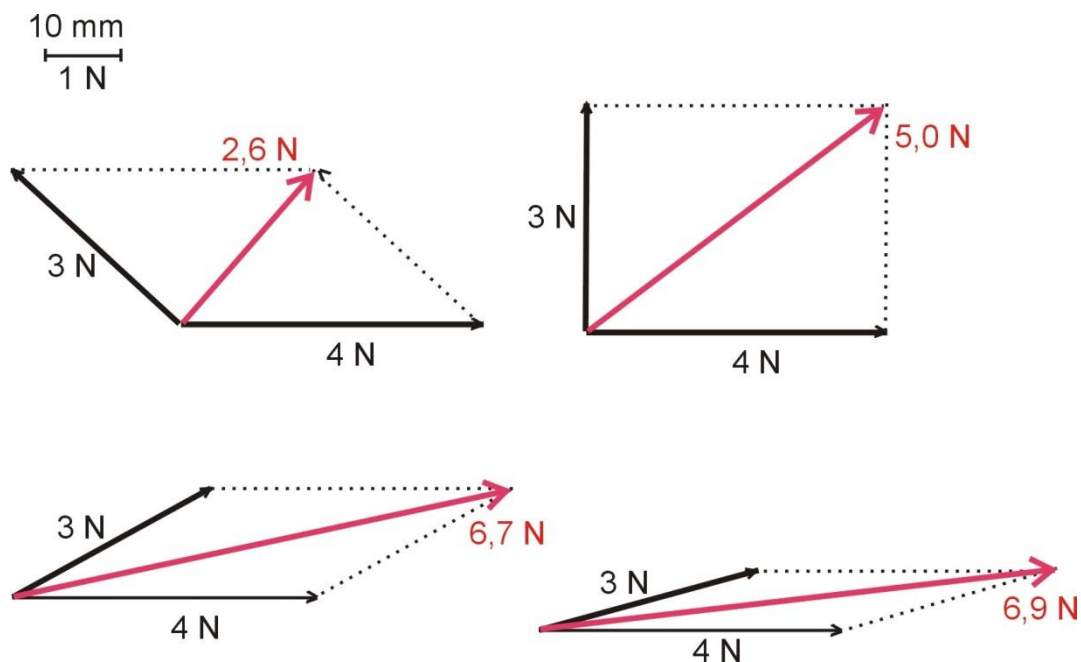


Pro jiné úhly sevřené těmito silami může velikost výsledné síly nabýt libovolné hodnoty mezi 10 N až 70 N. Jak získáme výslednou sílu, kterou můžeme nahradit dvě síly, ukážeme v dalším odstavci.

Grafické skládání rovnoběžníkem sil

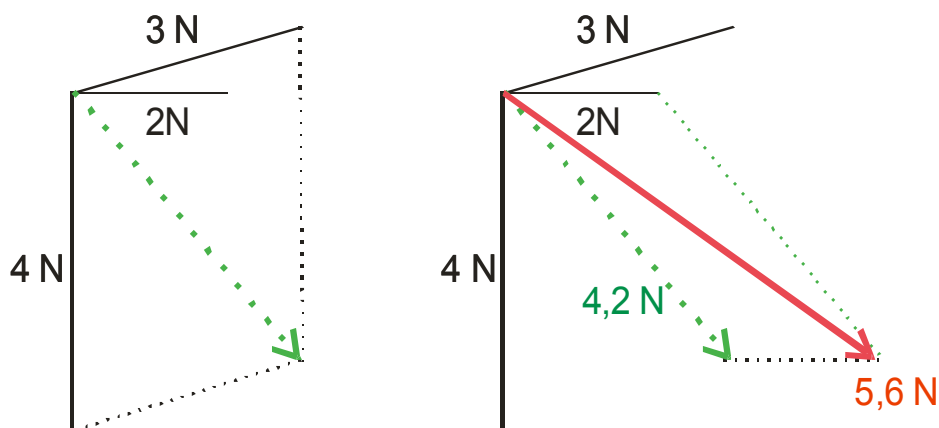
Vektory sil posuneme do společného působiště a nad nimi sestojíme rovnoběžník.

Jeho **úhlopříčka** je **výslednicí**, díky níž můžeme dvě síly nahradit jednou.



Důležité upozornění: Skládáme-li dvě síly působící na těleso, neznamená to, že ke dvěma působícím silám přibude další a na těleso pak působí 3 síly. **Výsledná červeně znázorněná síla je jedinou působící silou**, jež nahrazuje dvě síly původní (znázorněné černě).

Při skládání 3 a více sil postupujeme tak, že nejdříve složíme dvě síly a jejich **výslednici** (v obrázku zakreslenou zeleně) složíme se silou třetí. (U čtyř sil složíme dvě dvojice a pak jejich výslednici.)



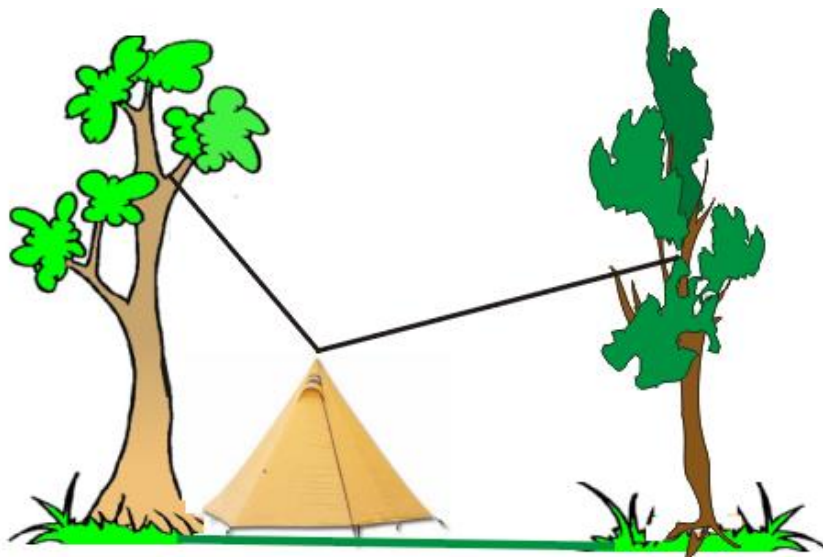
ROZKLAD SÍLY VE SLOŽKY

Obrácený úkol k předcházejícímu je situace, kdy jednu sílu chceme nahradit dvěma.

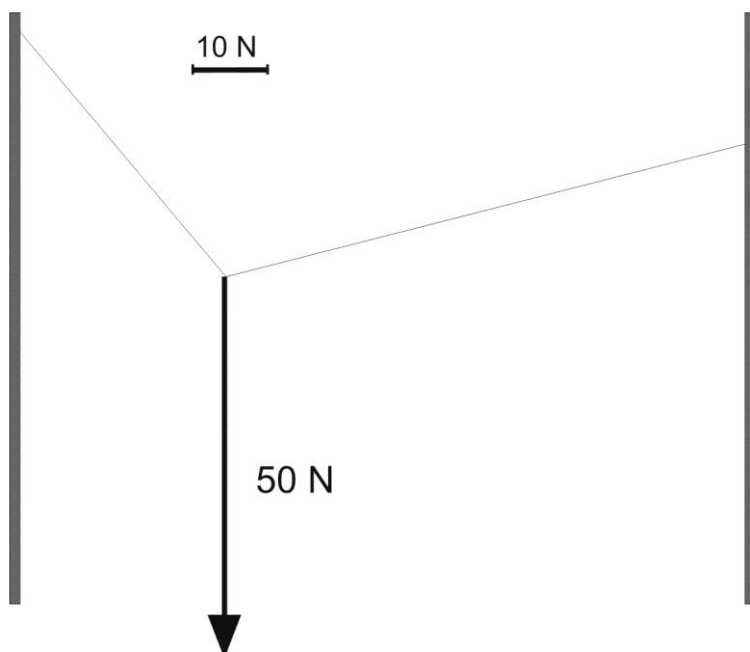
Uvedeme konkrétní příklad.

Stan o hmotnosti 5 kg chceme zavěsit mezi dva stromy na dvě lanka, jak ukazuje obrázek.

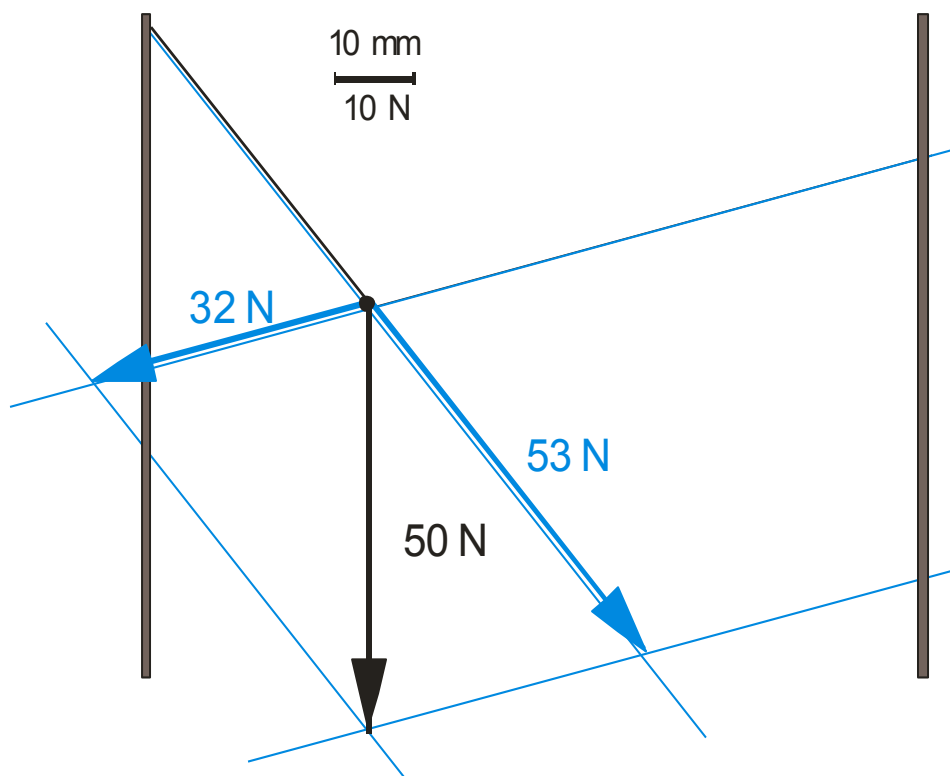
Zajímá nás, jak velkou silou budou obě lanka napínána.



Schematicky situaci vystihuje dolní obrázek.



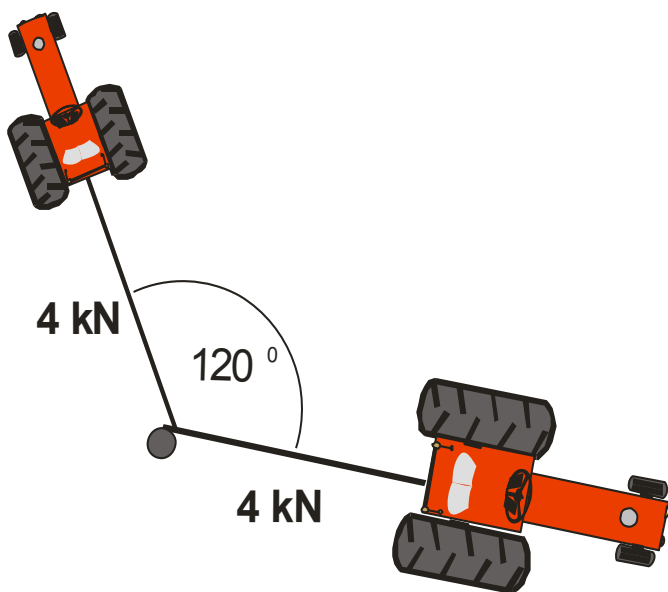
Máme nyní k jedné síle - výslednici (tedy úhlopříčce zatím neznámého rovnoběžníka) doplnit rovnoběžník. Směry lanek nás informují o směrech stran. Stačí tedy **rovnoběžkami** vedenými konci úhlopříčky rovnoběžník dokreslit. Výsledek je na dalším obrázku.



Velikosti **složek** změříme a určíme ze zvoleného měřítka obrázku. Stan táhne za levé lanko silou 53 N, za pravé lanko silou 32 N.

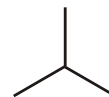
ÚLOHY

1. Jak velkou výslednou silou působí traktory na kolík? (volte měřítko síly $1 \text{ kN} \rightarrow 1 \text{ cm}$.)

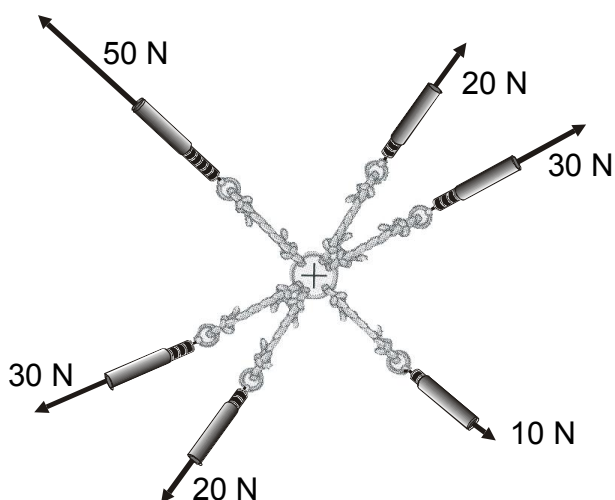


2. Určete graficky velikost výsledné síly, která vznikne složením tří sil

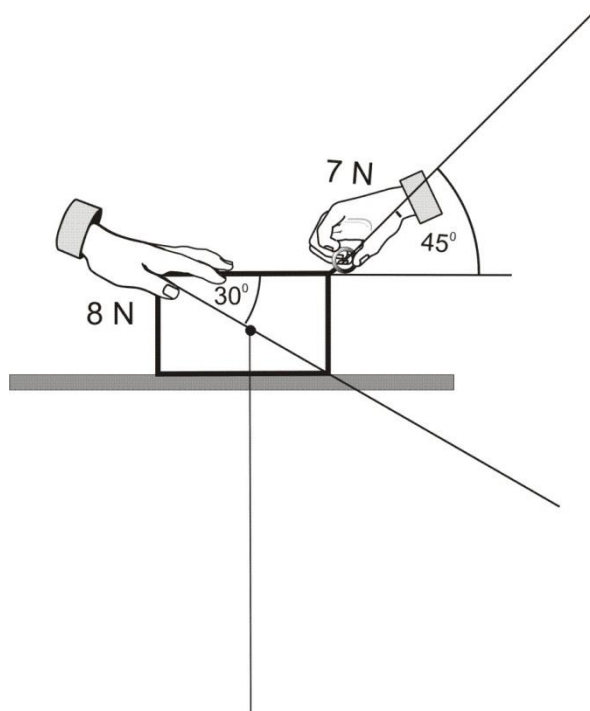
$F_1 = 5 \text{ N}$, $F_2 = 5 \text{ N}$, $F_3 = 5 \text{ N}$, které spolu svírají úhel 120° .



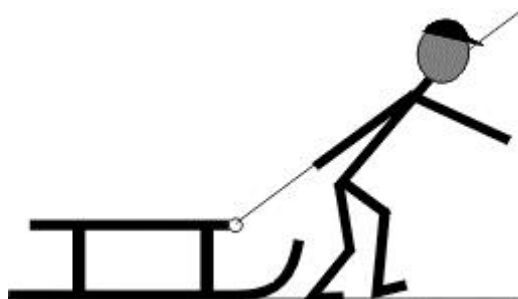
3. Určete velikost výslednice 6 sil znázorněných na obrázku.



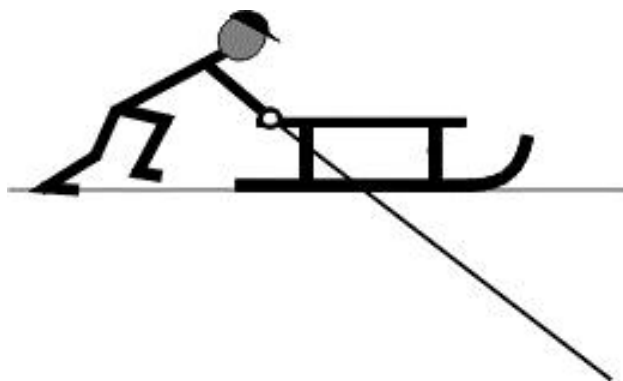
4. Určete graficky jak velká výsledná síla tří sil (dvě ruce a gravitační síla) působí na kvádr o hmotnosti 0,5 kg (viz obrázek). Měřítko $1\text{ N} \rightarrow 5\text{ mm}$. Působíště všech sil umísťujete do středu kvádru. Ruka vlevo tlačí šikmo na kvádr, ruka vlevo za kroužek kvádr šikmo táhne.



5. Rozložte sílu $F = 50\text{ N}$, kterou chlapec táhne sáňky, na vodorovnou pohybovou složku a na svislou nadlehčovací složku. Volte měřítko $10\text{ N} \rightarrow 5\text{ mm}$.

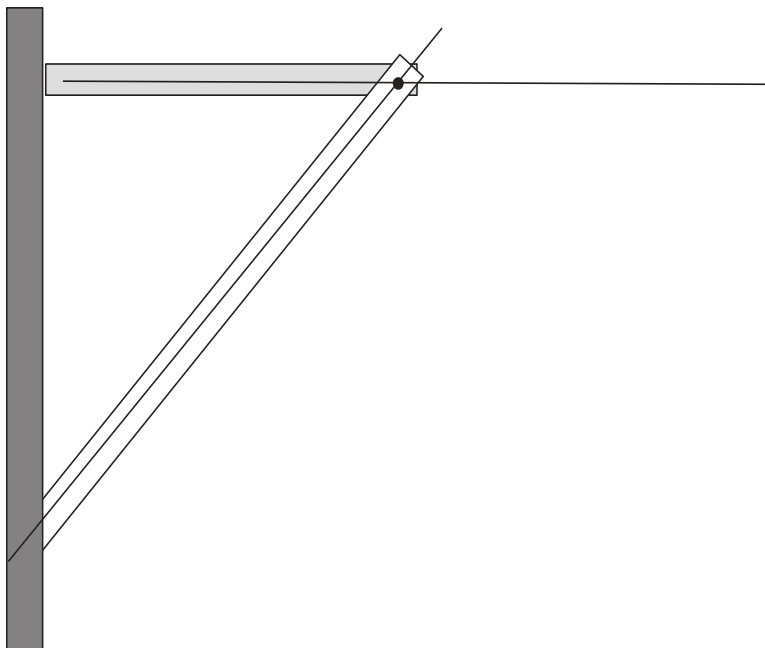


6. Rozložte sílu $F = 50\text{ N}$, kterou chlapec tlačí sáňky, na vodorovnou pohybovou složku a na svislou tlakovou složku. Který způsob působení je výhodnější? Proč? Volte měřítko $10\text{ N} \rightarrow 5\text{ mm}$.



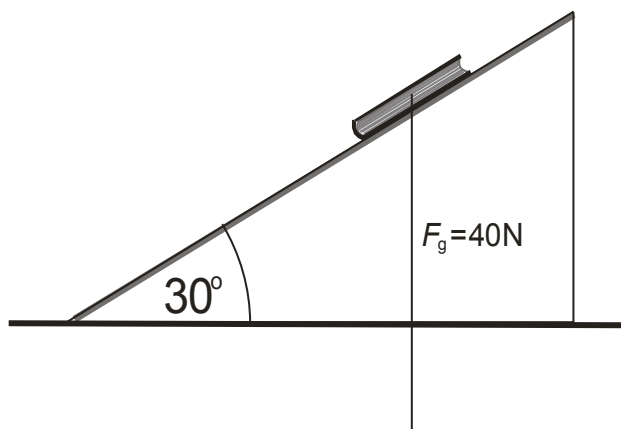
7. Na dvojici nosníků bude zavěšena na konci kabinka o hmotnosti 1 t. Jakou velikost bude mít vodorovná složka síly působící na šedý nosník? Jak velká síla bude působit šikmo na bílý nosník?

Volte měřítko 1 kN $\rightarrow$ 5 mm.



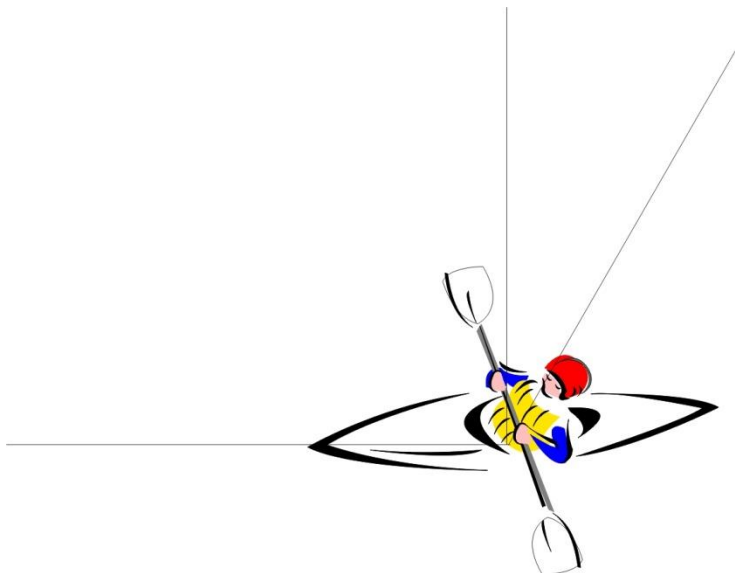
8. Rozložte gravitační sílu o velikosti 40 N, působící na knihu na nakloněné rovině, na složku pohybovou (míří dolů podél roviny) a tlakovou (míří kolmo k nakloněné rovině).

Volte měřítko 10 N $\rightarrow$ 1 cm.

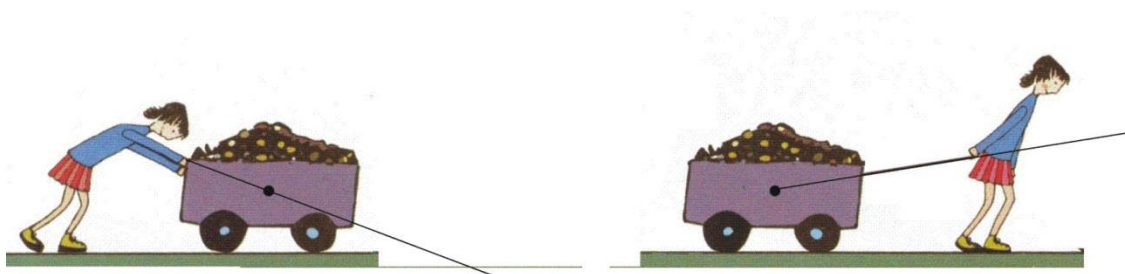


9. Na loďku na řece působí současně tři síly: síla vodáka $F_1 = 4 \text{ kN}$, síla proudu vody $F_2 = 3 \text{ kN}$ a síla větru $F_3 = 2 \text{ kN}$. Síly F_1 a F_2 svírají úhel 90° , síly F_2 a F_3 svírají úhel 30° .

Určete graficky ($1 \text{ kN} \rightarrow 20 \text{ mm}$) velikost a směr výslednice sil F_{CELK} .



10. Na stejný vozík působí děvče ve dvou případech stejně velkými silami $F_1 = F_2 = 50 \text{ N}$, ale síly F_1 a F_2 mají různé směry, které ukazují obrázky. Zakreslete síly F_1 a F_2 do obrázku (působíště označeno $\bullet$) a rozkladem do složek vhodných směrů určete velikosti pohybových složek ($F_{1\text{POHYB}}$, $F_{2\text{POHYB}}$) a tlakových složek ($F_{1\text{TLAK}}$, $F_{2\text{TLAK}}$) obou sil. Podle výsledků rozhodněte, ve kterém případě bude síla vyvolávat větší vodorovné zrychlení vozíku a ve kterém případě bude vozík třením více brzděn. Napište i zdůvodnění.



GRAVITAČNÍ SÍLA

Přestože rukou dokážeme působit silou jen na věci, kterých se dotýkáme, existuje i silové působení bez dotyku. Příkladem je gravitační přitahování všech předmětů Zemí. Můžeme si zjednodušeně představit, že kolem Země na všechny strany míří neviditelná vlákna zemského *gravitačního pole* (siločáry), která k Zemi poutají tělesa v jejím okolí. Čím větší hmotnost předmět má, tím silněji na něj Země svým gravitačním polem působí.

Čím je předmět dál od Země, tím slabší je gravitační síla, i když se jeho hmotnost nemění. Ve dvojnásobné vzdálenosti (měřeno od středu Země) je gravitace čtyřikrát menší. V trojnásobné vzdálenosti devětkrát, ve čtyřnásobné klesne gravitační síla na šestnáctinu.

Sílu, kterou Země přitahuje předměty na svém povrchu, s dostatečnou přesností vypočítáme, násobíme-li

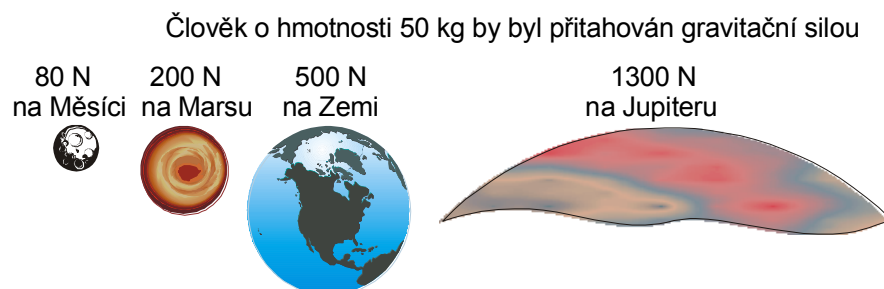
hmotnost předmětu udanou v kilogramech veličinou $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Proč se tato veličina nazývá *gravitační*

zrychlení (přesněji *tíhové zrychlení*) se dozvíte později.

předmět	hmotnost	přibližné gravitační silové působení na povrchu Země
tabulka čokolády	0,1 kg	1 N
kilogramové závaží	1 kg	10 N
pytel brambor	50 kg	500 N

Gravitační působení Země pociťujeme na vlastním těle v každém okamžiku. Tvzení, že se gravitačně přitahují **každá** dvě tělesa se ale nezdá být důvěryhodné. Nic podobného přece nepozorujeme. Důvod je prostý. Velikost gravitačního působení závisí na hmotnosti těles, ale u těles, se kterými přicházíme denně do styku, jsou gravitační síly nesmírně malé. I kdyby dvě mamutí rakety Saturn o hmotnosti 3 000 t stály tak těsně vedle sebe, že by se skoro dotýkaly, přitahovaly by se menší gravitační silou, než by tlačil komár na naši dlaň.

Proto se gravitační síly znatelně projevují teprve u těles velkých hmotností.



NEWTONŮV GRAVITAČNÍ ZÁKON

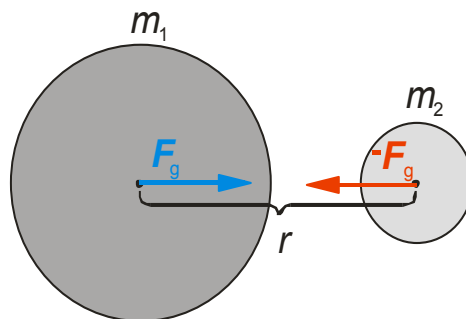
Tento zákon odvodil na základě pozorování pohybu Měsíce kolem Země a planet kolem Slunce již v 17. století Isaac Newton. Příčinou jejich obíhání kolem Slunce je gravitační síla.

Gravitační zákon říká, že každá dvě tělesa se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami F_g , $-F_g$ opačného směru. Velikost gravitační síly je přímo úměrná součinu jejich hmotností m_1 , m_2 a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r jejich středů. Platí tedy

$$F_g = \kappa \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

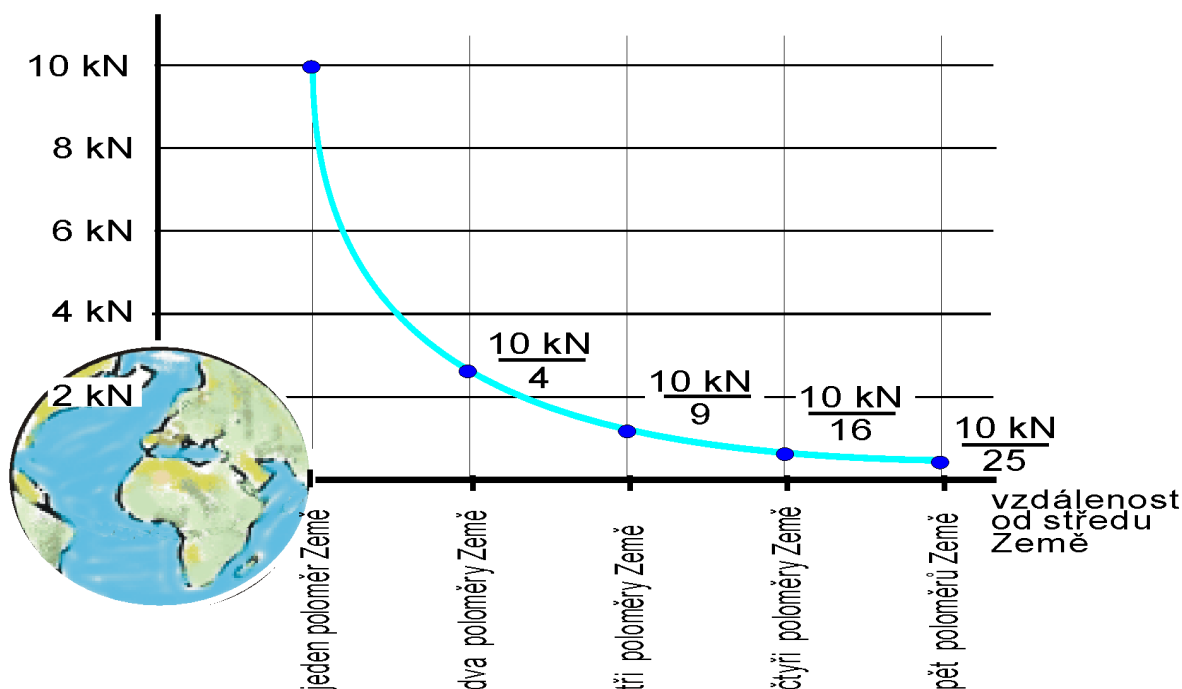
Konstanta κ se nazývá gravitační konstanta. Dosazujeme-li hmotnost v kilogramech a vzdálenost v metrech, je její hodnota přibližně $0,0000000000667 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$.

Vztah můžeme použít pro jiná než kulová tělesa jen tehdy, jestliže můžeme zanedbat jejich rozměry vzhledem k jejich vzdálenosti.

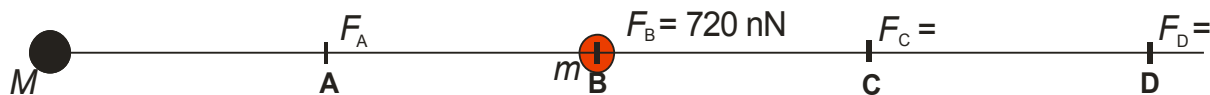


Gravitační síla na družici o hmotnosti 1 t se vzdáleností od Země klesá, jak ukazuje graf na obrázku.

přitažlivá gravitační síla
působící na tunovou družici

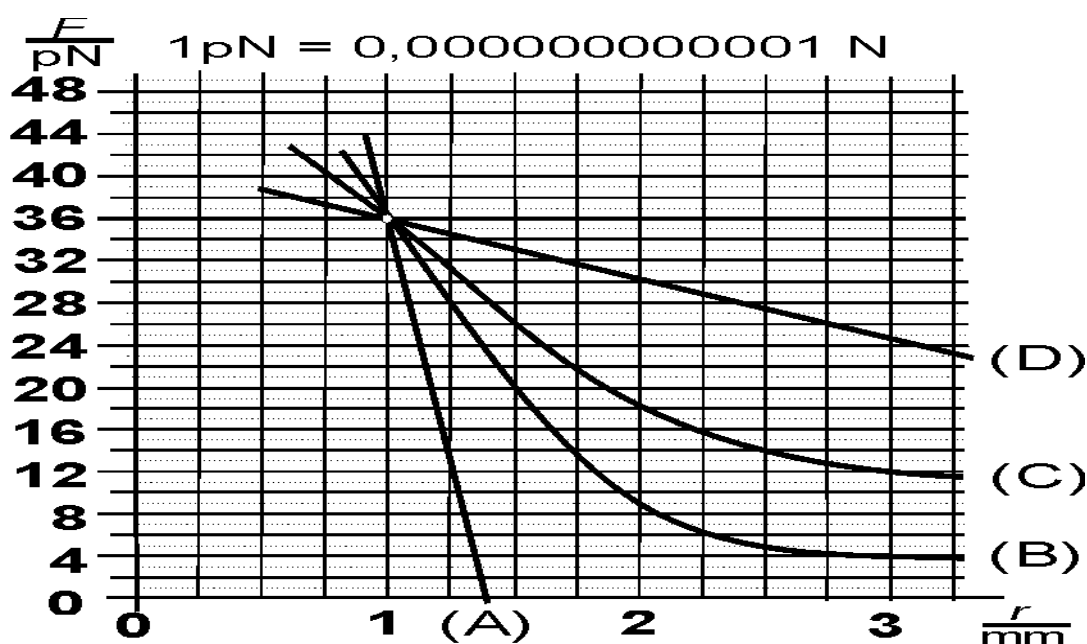


ÚLOHY



1. Černé těleso vlevo působí na červené těleso v bodě B gravitační silou $F_B = 720 \text{ nN}$ (0,00000072 N). Jak velká přitažlivá síla na červené těleso bude působit, přemístíme-li ho do bodu A, C nebo D?

2. Který z grafů (A), (B), (C), (D) správně ukazuje zmenšování gravitační síly, již na sebe působí dvě kuličky, při růstu jejich vzdálenosti r ?



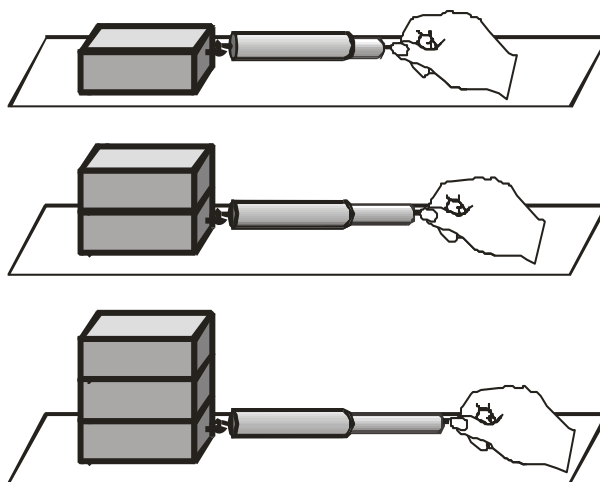
TŘENÍ

Přitiskněte k sobě své dlaně a posuňte je po sobě. Musíte vyvinout určitou sílu. Když potom přimáčknete dlaní zvětšíte, bude jejich posouvání obtížnější. Pohybu dlaní brání **síla smykového tření**, kterou na sebe dlaně působí.

Tento jednoduchý pokus nám ukázal, že síla tření závisí na síle, kterou jsou tělesa k sobě přitisknuta.

Ověřit to můžeme lépe než třením dlaní pomocí siloměru a dřevěných kostek, způsobem, který je zřejmý z obrázků.

Síla tření, kterou udává při rovnoměrném tažení siloměr, roste přímo úměrně s přitlakem k podložce.



Když ale položíme kostku na podložku stěnou, na které je smirkový papír, plast či textilie, budou se výsledky i při stejném přitlaku lišit. Síla tření závisí na kvalitě styčných ploch.

Platí tedy:

síla smykového tření = konstanta charakterizující kvalitu přitlačných ploch · přitlačná síla

Vzorcem:

$$F_{\text{TRENI}} = f \cdot F_{\text{PRITLAK}}$$

Konstanta f charakterizující „klouzavost“ přitlačných ploch se nazývá *součinitel smykového tření*. Pro řadu dvojic styčných ploch je *součinitel smykového tření* udán v tabulkách nebo na internetu.

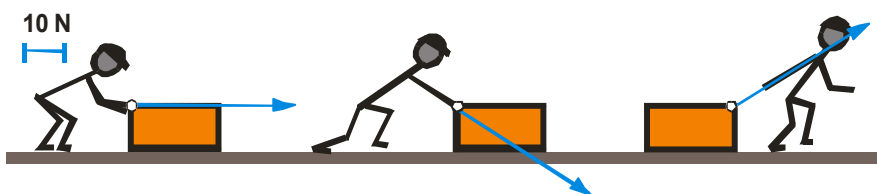
Ze vztahu $f = \frac{F_{\text{TRENI}}}{F_{\text{PRITLAK}}}$ je vidět, že součinitel smykového tření je „holé“ číslo (bez jednotky) a jeho velikost je menší než 1.

ÚLOHY

1. Uved'te několik příkladů

- kdy je tření nežádoucí a jak tření zmenšujeme
- kdy je tření žádoucí a jak tření zvětšujeme

2. Jak velká je síla tření, kterou působí parketová podlaha na dřevěnou bednu ($m = 10 \text{ kg}$, $f = 0,25$), jestliže dělník působí na bednu silou o velikosti 40 N a) vodorovně b) šikmo dolů c) šikmo vzhůru?



3. Dívka na sáňkách (celková hmotnost $m = 60 \text{ kg}$) sjíždí z kopce, jak ukazuje obrázek.



a) Určete graficky pohybovou složku gravitační síly na sáňky s dívkou F_{POHYB} a tlakovou složku gravitační síly na sáňky s dívkou F_{TLAK}

b) Vypočtěte přibližnou velikost síly smykového tření $F_{\text{TŘENÍ}}$, je-li součinitel smykového tření mezi sáňkami a dráhou $f = 0,04$.

c) Vypočtěte přibližnou velikost síly $F_{\text{ZRYCHLENÍ}}$, jež způsobuje zrychlování pohybu sáněk s dívkou.

MOMENT SÍLY

Ve třídě jsme uspořádali „souboj“ žáků s otáčením dveří.

Slabší dívka v blízkosti kliky dveře otvírala, chlapec se snažil větší silou, blízko osy otáčení (panty), dveře zavírat.

Ukázalo se, že při otáčení může v soupeření sil vítězit menší síla.

Otáčivý účinek závisí kromě velikosti síly i na tom, v jaké vzdálenosti od osy síly působí.

Otáčivý účinek je dán **momentem síly**.

$\text{moment síly} = \text{síla} \cdot \text{rameno síly}$

vzorcem:

$$M = F \cdot a$$



M ... moment síly (N.m)

F ... působící síla (N)

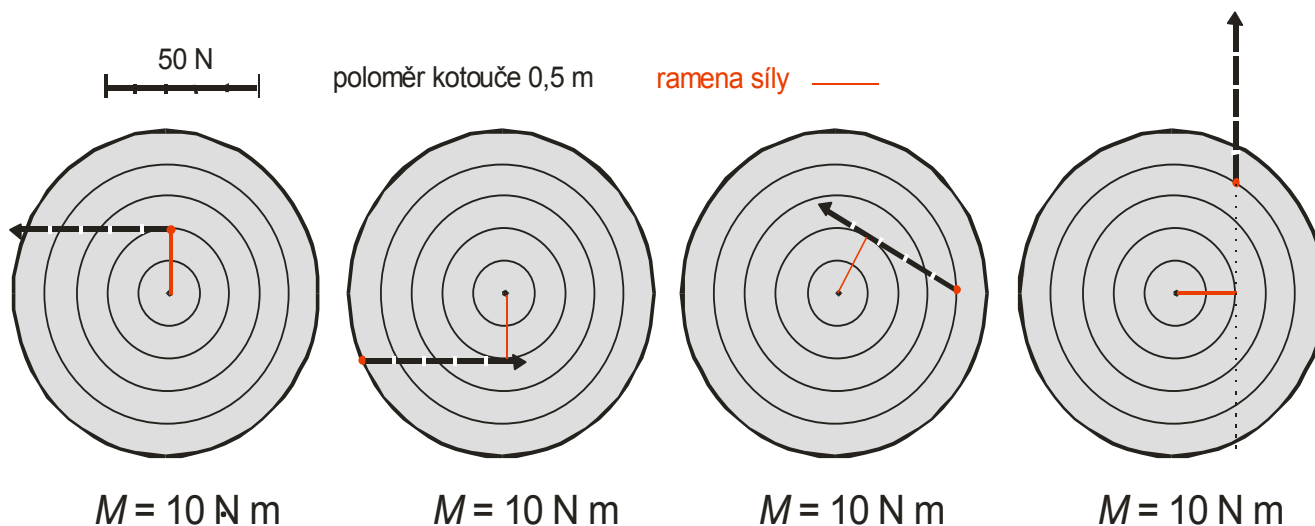
a ... rameno síly (m)

Rameno síly je kolmá vzdálenost přímky síly od osy otáčení

Důležité upozornění!

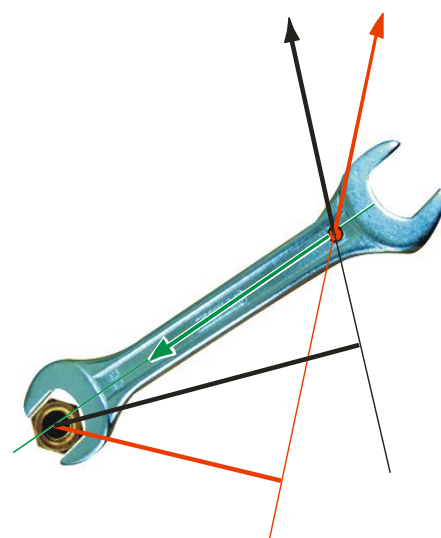
Rameno síly není vzdálenost osy otáčení od působíště síly • !

Na dolním obrázku vidíte několik stejně velkých sil se stejnými rameny sil, ale s různým působišťem • .



Momenty sil jsou stejně velké, protože ramena sil jsou stejně velká.

Různý směr stejně velkých sil, kterými působíme na klíč uvolňující matku, vyvolává různé momenty. Největší moment má síla znázorněná černou šipkou, nulovým momentem působí síla znázorněná zeleně (nulové rameno).



Příklad:

Když držíme v ruce kouli o hmotnosti 7 kg, působí na naši dlaň silou 70 N. Abychom ji udrželi v klidu musí náš biceps působit tak velkou silou, aby moment působící koule vyrovnal. Dokážete z údajů v obrázku vypočítat velikost síly F_b bicepsu?

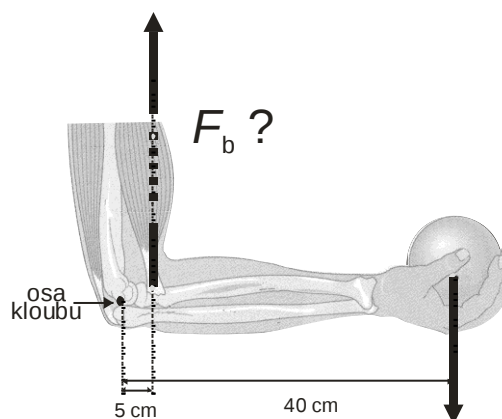
Řešení:

moment koule = moment bicepsu

$$70 \text{ N} \cdot 0,4 \text{ m} = F_b \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$28 \text{ N} \cdot \text{m} / 0,05 \text{ m} = F_b$$

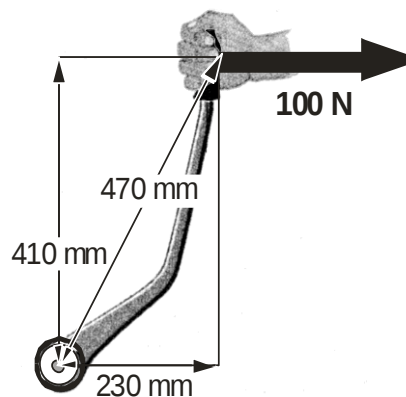
$$F_b = 560 \text{ N}$$



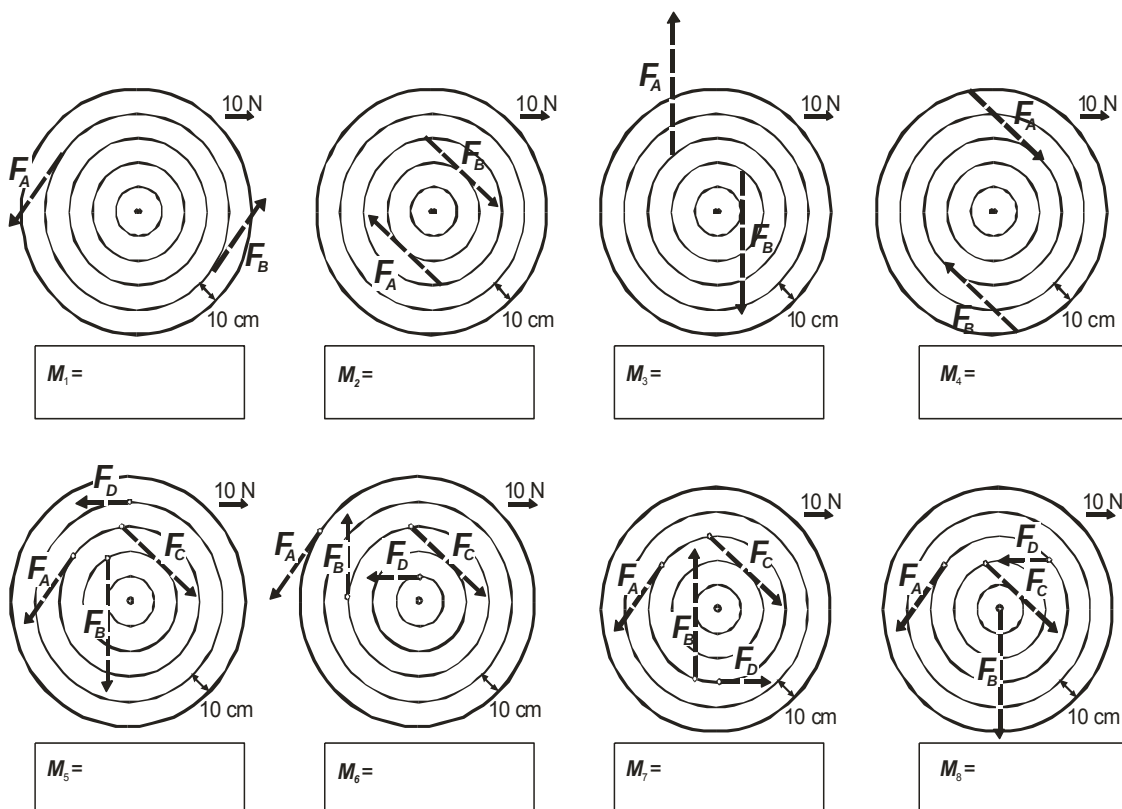
Pokud potřebujeme rozlišovat, jakým směrem moment otáčení vyvolává, platí úmluva, že kladný moment přiřazujeme roztáčení **proti směru hodinových ručiček**. Podle této dohody by tedy byl moment koule záporný, moment bicepsu kladný.

ÚLOHY:

1. Jak velkým momentem působí ruka na páku brzdy?

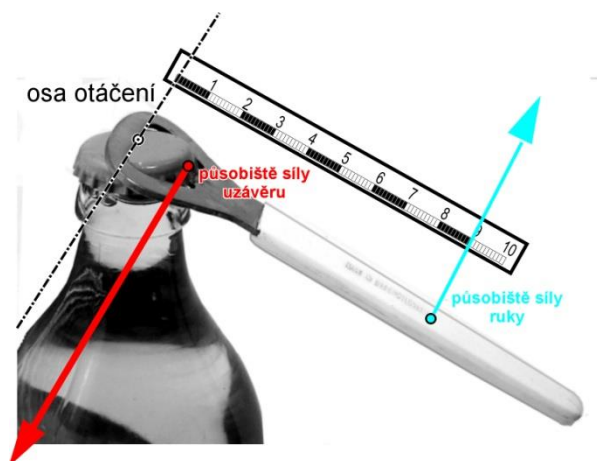


2. Určete momenty sil působících na kotouče a výsledný moment.



3. Jak velkou silou páčí otvírák pивní uzávěř, jestliže ruka působí na otvírák silou 20 N?

Potřebná data zjistěte z obrázku.

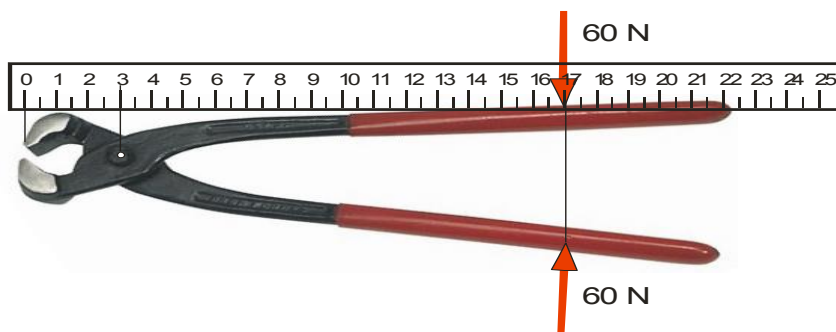


4. Odhadněte pomocí obrázku, jak velkou silou F_{DELNIK} musí zvedat dělník kolečko, na kterém je naloženo 200 kg zeminy.

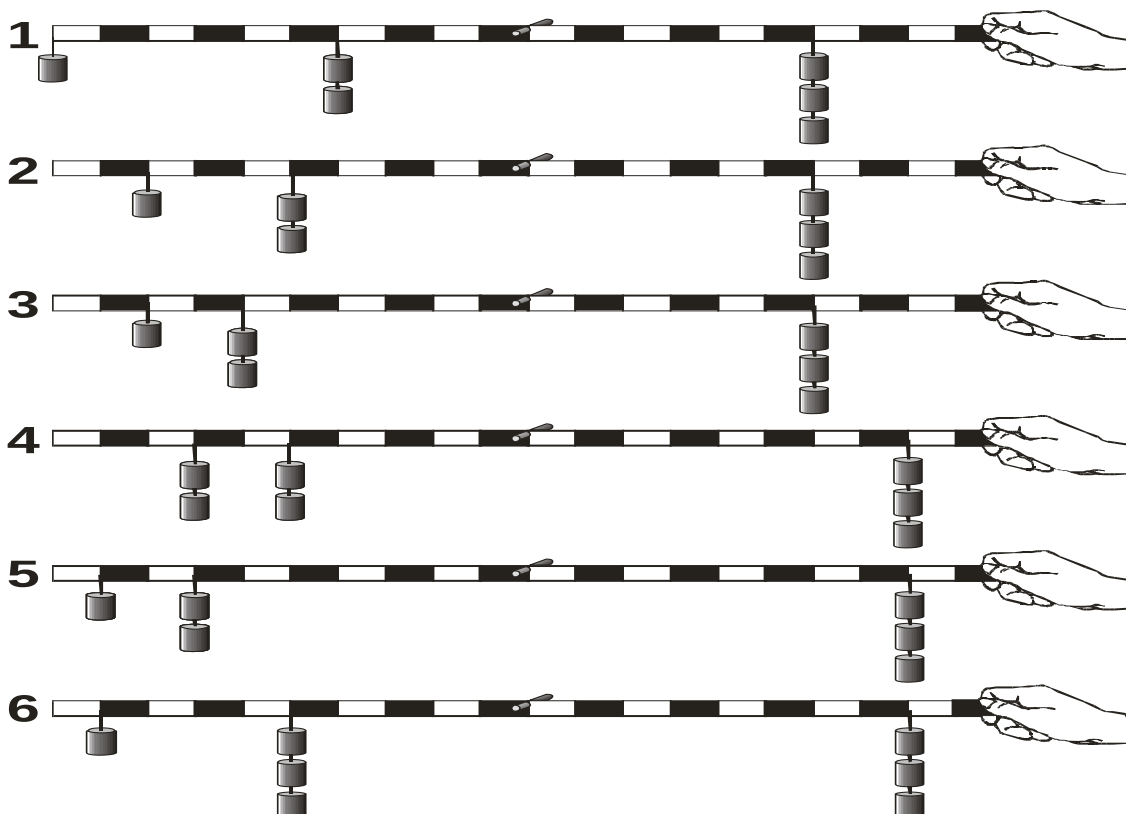


5. Jak velkou silou F_{CELISTI} budou stisknuty čelisti kleští na obrázku, jestliže naše dlaň zapůsobí na kleště silami o velikosti $F_{\text{DLAN}} = 60 \text{ N}$.

Velikosti ramen sil určete z obrázku.



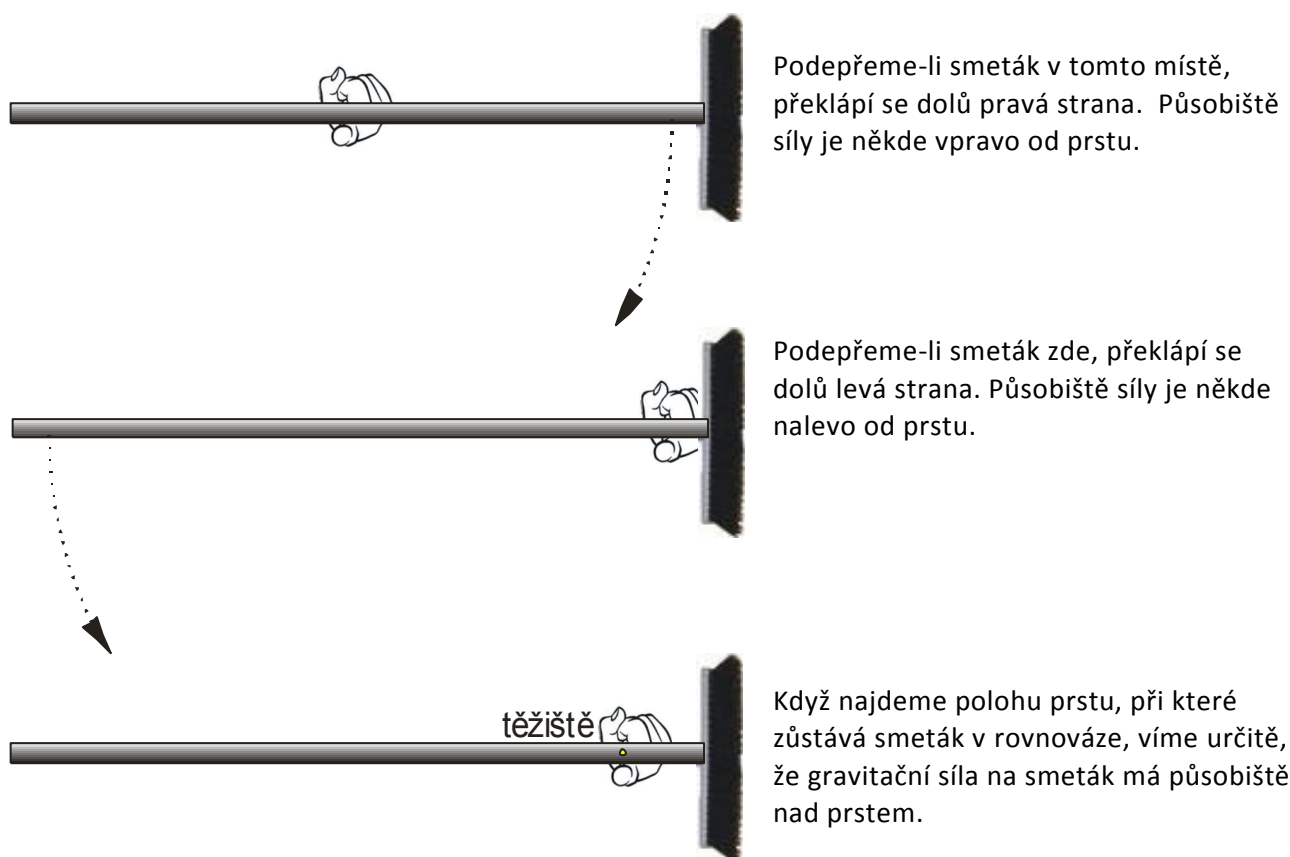
6. Která z pák 1 až 6 zůstane v rovnováze, když ji pustíme? Závaží mají stejnou hmotnost.



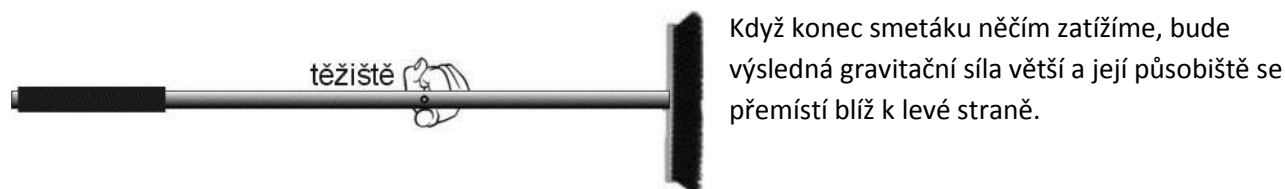
TĚŽIŠTĚ

Na obyčejný smeták stejně jako na všechny předměty kolem nás působí Země svou gravitací. Představte si nyní smeták rozdělený na maličké kousky. Každý z nich je přitahován Zemí, na každý působí nějaká gravitační síla. Jak velká je přibližně výslednice všech těchto „pidisil“ je jednoduchá otázka, na kterou snadno odpovíme poté co smeták zvážíme. Ze změřené hmotnosti ($m = 0,6 \text{ kg}$) vychází celková gravitační síla na smeták $F = 6 \text{ N}$. I směr této síly známe, míří do středu Země.

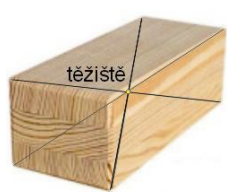
Kde je ale působíště výsledné síly? To snadno zjistíme.



Bod, ve kterém má výslednice gravitačních sil, působících na všechny části smetáku své působíště, se nazývá **těžiště**.

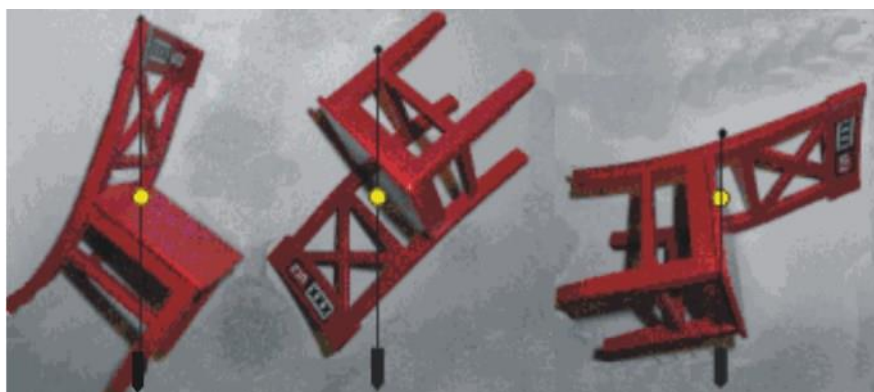


Jednoduchá tělesa, která mají ve všech částech stejnou hustotu, mají těžiště ve svém geometrickém středu. Někdy to je i mimo těleso.



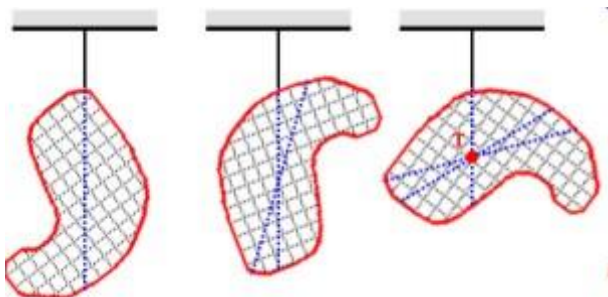
U nepravidelných nebo nehomogenních těles zjišťujeme polohu těžiště zavěšováním. Těžiště je průsečnice svislic (těžnic) procházejících bodem závěsu.

Určování těžiště židle zavěšováním vidíte na obrázku.



ÚLOHY

1. Vystříhněte z tuhého papíru nepravidelné těleso a určete zavěšováním jeho těžiště. Zkontrolujte výsledek tím, že ho pod těžištěm podepřete prstem.



2. Vystříhněte z tuhého papíru trojúhelník a určete zavěšováním jeho těžiště. Zkontrolujte výsledek tím, že ho pod těžištěm podepřete prstem. Určete těžiště trojúhelníku, jak jste se učili v matematice (těžnice jako úsečky spojující vrcholy se středy protějších stran). Vyšlo vám „matematické“ těžiště do stejného místa jako „fyzikální“?

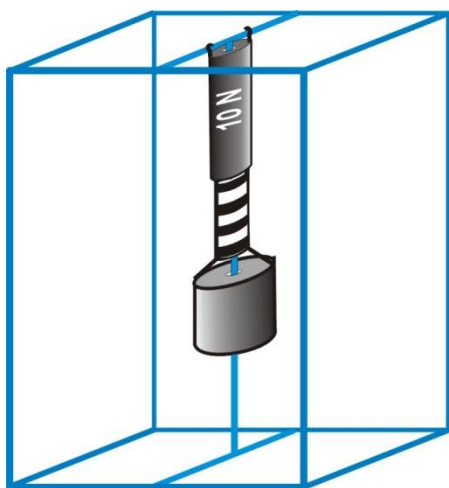
TÍHA A BEZTÍŽNÝ STAV

Musíme nejdříve začít vysvětlením, co znamená slovo *tíha*. Když se posadíme na židli, nepřestane na nás působit Země gravitační silou. Objeví se zde ale další síla – síla, kterou tlačí náš zadek na desku židle. Je jasné, že tato síla není gravitační a právě téhle síle říkáme *tíha*. Tíhou působí i obraz na háček, na který je zavěšen na stěně nebo kabát či závaží na stojan, na kterém visí.



K pokusům s tíhou jsme si vyrobili jednoduchou pomůcku, kterou vidíte na obrázku.

Země působí gravitační silou na váleček a váleček působí svou tíhou na siloměr. Ten ukazuje, že tíha je 6 N. Když bude tíha nulová, tj. kabinka bude v beztížném stavu, siloměr se zaklapne, ukáže 0 N.



Kdyby si takovou kabinku vzali kosmonauti do družice, ukazoval by tam siloměr nulovou tíhu.

Proč tomu tak je?? Proč se kosmonauti na oběžné dráze kolem Země pohybují v beztížném stavu?

Vyvedeme z omylu všechny, kdo si myslí, že je to způsobeno tím, že se kosmické lodi pohybují daleko od Země.

Vyvrací to už jednoduchý obrázek nakreslený v měřítku 1: 100 000 000, který znázorňuje oběžnou dráhu družice s lidskou posádkou obíhající v maximální výšce 400 km na Zemi. To je největší výška, v níž Zemi obíhají družice s lidskou posádkou. Ve větších výškách totiž hrozí kosmonautům při delším pobytu nebezpečné ozáření.



Už z obrázku je vidět, že gravitace tak blízko Země nebude o moc menší než u povrchu. Výpočet pomocí gravitačního zákona ukazuje, že je gravitace v těchto výškách téměř 90% gravitace u povrchu.

Na pokusech jsme si ukázali, že beztlžný stav lze krátce zažít dokonce tady na Zemi, přímo ve třídě.

Petr se postavil s kabinkou na katedru a z rukou vztyčenými nad hlavou ji pustil k zemi. Během pádu se siloměr „zaklapl“, ukazoval nulovou tíhu. Nulovou tíhu ukazoval siloměr, i když kabinku hodil před sebe nebo svisle vzhůru. Když kabinka volně letí působením samotné gravitace, vždy se v ní objeví stav beztlže, i když se nachází v silném gravitačním poli Země.

Beztížný stav může nastat i v letadle, které pilot kormidluje tak, aby průběh letu kopíroval volný parabolický pád ve vakuu. (Musí proto tahem motorů vykompenzovat odpor vzduchu). Tíha na několik desítek sekund zaniká a lidé i předměty v letadle se ocitají ve stavu beztíže.



Jak je to tedy s družicí na oběžné dráze? Kdyby se družice nepohybovala, spadla by na Zemi. Protože však dostatečně rychle letí rovnoběžně se zemským povrchem, je výsledkem padání po kruhové nebo častěji eliptické dráze kolem Země. A při padání nastává stav beztíže.

Ještě jeden pokus s překvapivým průběhem jsme viděli při hodině. Když jsme z výšky pustili PET-láhev naplněnou vodou, otevřeným hrdlem obrácenou dolů, voda z láhve během pádu nevytékala. Na vodu u otvoru přestala tlačit tíha vody nad otvorem. Láhev s vodou byla v beztížném stavu.

Závěr: Beztížný stav nastává vždy, když těleso volně padá jen působením gravitační síly nebo i zcela bez působení sil.

ÚLOHA

1. Pomocí gravitačního zákona vypočítejte, jak je přibližně velká gravitační síla F_{G400} na tunovou družici vzdálenou 400 km od povrchu Země. Porovnejte tuto sílu s gravitační silou na povrchu Země. (Volte $g = 10 \text{ m/s}^2$). Hmotnost Země $m_{\text{ZEMĚ}} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, poloměr Země $r_{\text{ZEMĚ}} = 6378 \text{ km}$.

PRVNÍ NEWTONŮV POHYBOVÝ ZÁKON

Když chcete přestěhovat skříň, musíte do ní tlačít. Aby vůz jel, musí jej koně táhnout. Z běžné zkušenosti se zdá, že ke každému pohybu je nutná síla. Není divu, že s touto myšlenkou přišel již filozof Aristoteles před více než dvěma tisíci lety. U většiny lidí přetrvává toto přesvědčení dodnes.



Isaac Newton 1642 - 1727



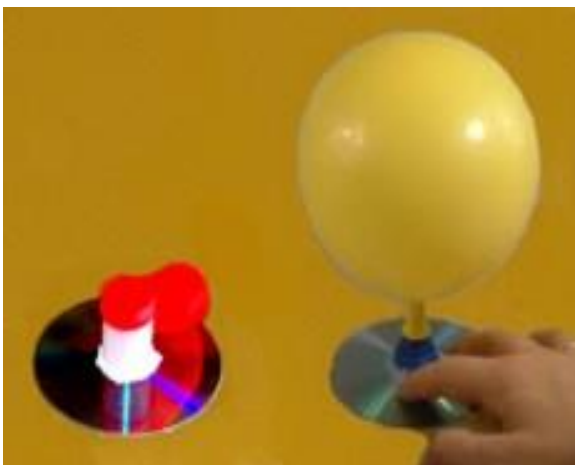
Aristoteles 384 - 322 př. n. 1.

Jak to tedy je se vztahem síly a pohybu?

Jednoduchý pokus se vznášedlem nám to ukázal.

Když jsme jeho balónek nenafoukli a postrčili ho po katedře, rozjelo se vznášedlo, ale daleko nedojelo. Rozjela ho ruka. Proč se ale zastavilo? Aristoteles by nad naší otázkou nechápavě zakroutil hlavou. Přece proto, že ho nic netlačí dopředu.

Newtonovu odpověď jste dokázali najít sami. Zastavení vznášedla má na svědomí deska katedry. Učeněji bychom řekli: Síla tření od desky katedry. Jak by to dopadlo, kdybychom vznášedlo postrčili po ledu? Vznášedlo pochopitelně dojede dál, tření, kterým brzdí led vznášedlo je menší než brždění stolní desky.



Jak se pohybovalo vznášedlo, když jsme ho pustili po hladké katedře potom, co jsme ho nafoukli? Díky vzduchovému polštáři teď nebrzdilo vznášedlo téměř žádné tření. Rychlost vznášedla se neměnila. Jelo stále dál v původním směru, dokud se nevyfoukl balónek nebo nenarazilo na překážku.

Závěr pokusu:

V případě, že výslednice sil působících na vznášedlo je nulová, nemění vznášedlo svou rychlost - pohybuje se rovnoměrně přímočaře, nebo je v klidu.

Podobně i auto, loď, letadlo a cokoliv jiného se pohybují rovnoměrně přímočaře právě tehdy, když je výsledná působící síla nulová. Vlastnosti všech předmětů setrvávat v rovnoměrném přímočarém pohybu bez pohonu se často říká **setrvačnost**.

I. Newtonův pohybový zákon (zákon setrvačnosti) tedy zní:

Nepůsobí-li na těleso síla (nebo se působící síly ruší), pohybuje se těleso přímočaře stálou rychlostí, nebo je v klidu.

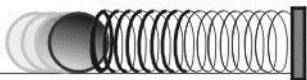
DRUHÝ NEWTONŮV POHYBOVÝ ZÁKON

Jak probíhá pohyb tělesa, když na něj nepůsobí síly, už víme. Pohybuje se rovnoměrně a po přímce. Jestliže pozorujeme, že se nějaké těleso pohybuje zrychleně, zpomaleně nebo že mění směr svého pohybu, je to tím, že na něj síla působí.

síla pružiny
zrychluje
kuličku



síla pružiny
zpomaluje
kuličku



síla pružiny
zakřivuje pohyb
kuličky



Ke zrychlování dochází působením síly „do zad“ tj. ve směru rychlosti.

Zpomalování pohybu je účinek síly působící „čelně“ proti směru rychlosti.

Působí-li síla „z boku“ má za následek zakřivení trajektorie pohybu.

I stejně velké síly nemusí stejně měnit rychlost dvou různých těles.

Čtvrtkilový kámen odhozený rukou odletí větší rychlostí než atletická sedmikilová koule, do které se opřeme stejnou silou. Změna rychlosti odhozeného předmětu (z nuly až na konečnou rychlost sníž opouští ruku) závisí i na jeho hmotnosti.

Zrychlení předmětu závisí přímo na velikosti působící síly a nepřímo na hmotnosti tělesa

(větší síla $\uparrow\uparrow$ větší zrychlení)

(větší hmotnost $\uparrow\downarrow$ zrychlení).

Pod slovem zrychlení přitom fyzikové ukrývají nejenom zvětšení rychlosti, ale i zmenšování rychlosti (záporné zrychlení) a dokonce i „zatáčecí“ normálové zrychlení.

II. Newtonův pohybový zákon označovaný často jako zákon síly:

Zrychlení, které působící síla „naděluje“ tělesu, je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa, na které síla působí.

II. Newtonův pohybový zákon (zákon síly) říká:

$$\text{zrychlení tělesa} = \frac{\text{působící síla}}{\text{hmotnost tělesa}}$$

vzorcem

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

kde a ... zrychlení tělesa (m/s^2)

F ... působící síla (N)

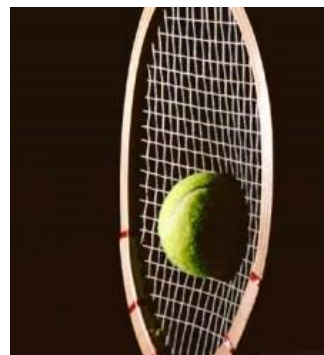
m ... hmotnost tělesa (kg)

TŘETÍ NEWTONŮV POHYBOVÝ ZÁKON

Položte na lavici svou aktovku a roztlačujte ji jedním prstem. Překoná-li váš prst tření, dá se aktovka do pohybu. Váš prst působil na aktovku a ta získala zrychlení. Asi nebylo moc velké, protože ho tření o lavici zmenšovalo. Udělejte pokus ještě jednou, ale místo toho abyste pozorovali aktovku, všimněte si prstu, který na ni tlačí. Vidíte, jak se prohnul? To se „oběť“ vašeho silového působení mstí tím, že obráceně tlačí do prstu.

Takové odvetné silové působení nastává úplně vždy.

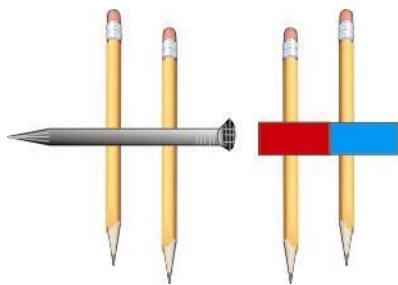
Tenisová raketa strunami brzdí pohyb míčku a obráceně tenisový míček deformuje stejně velkou silou opačného směru výplet rakety.



Voda v kádince nadlehčuje ponořenou kostku, podle Archimédova zákona, vztlakovou silou. Obráceně kostka tlačí v opačném směru na vodu v kádince. Siloměry, kterými můžeme tyto síly změřit, ukazují, že obě síly mají stejnou velikost.



Magnet působí přitažlivou silou na hřebík a hřebík stejně velkou silou přitahuje magnet.



III. Newtonův pohybový zákon (zákon akce a reakce) zní:

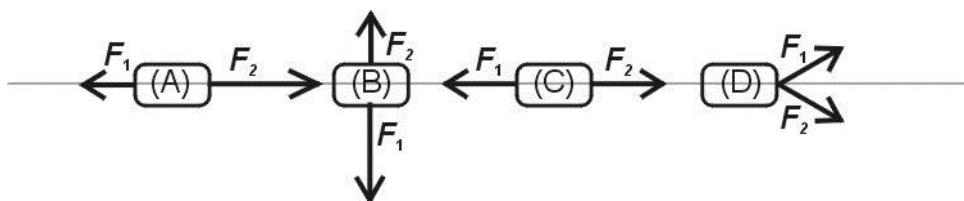
Působí-li těleso A na těleso B silou $F_{A \text{ na } B}$ působí současně těleso B na těleso A silou $F_{B \text{ na } A}$, která je stejně velká a opačného směru než $F_{A \text{ na } B}$.

Vyjádřeno stručněji. $F_{A \text{ na } B} = - F_{B \text{ na } A}$

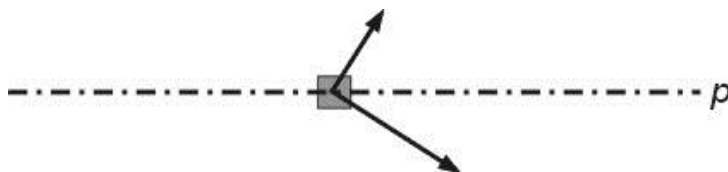
Poznámka: Zdá se podivné, že kilové závaží padající k Zemi účinkem gravitační síly, kterou na něj Země působí, přitahuje Zemi stejně velkou silou. Proč silové působení závaží na Zemi nepozorujeme? Háček je v tom, že účinek síly na obě tělesa – zrychlení spoluurčuje hmotnost těles. Země, která má 6 000 000 000 000 000 000 000 000 větší hmotnost než kilové závaží, získává i při stejně velké síle zrychlení právě tolikrát menší tj. nezjistitelné.

ÚLOHY

1. Na obrázku jsou 4 pohybující se tělesa. Na každé působí 2 síly F_1 a F_2 . Které z nich se pohybuje rovnoměrně?

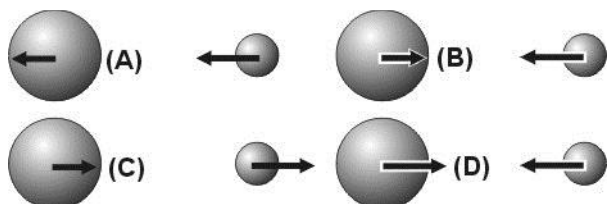


2. Kostka se pohybuje stálou rychlostí po přímce p . Při tom na ni působí 3 síly, z nichž 2 ukazuje obrázek. Určete třetí sílu, která v obrázku není zakreslena.

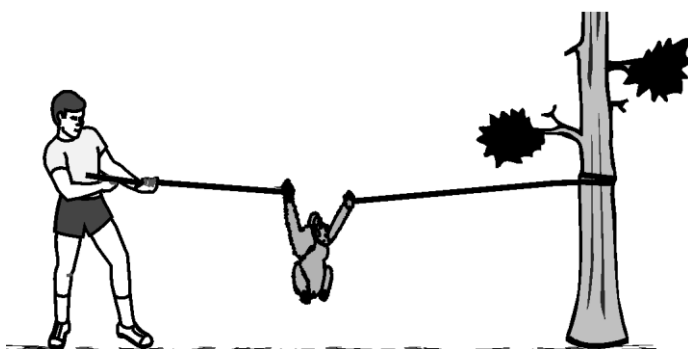


3. Vlak o hmotnosti 250 000 t táhne lokomotiva silou 10 MN. S jakým zrychlením se vlak rozjíždí?

4. Vlak o hmotnosti 250 000 t se při brždění pohyboval rovnoměrně zpomaleně, přičemž se během 1 minuty snížila jeho rychlost ze 20 m/s na 2 m/s. Určete velikost „zrychlení“ vlaku a velikost brzdící síly působící na vlak.
5. Jaká byla hmotnost šípu, jestliže na něj tětíva působila při výstřelu průměrnou silou 24 N a šíp měl při výstřelu průměrné zrychlení $0,6 \text{ km/s}^2$?
6. Hokejista udeřil do puku o hmotnosti 200 g ležícího v klidu na ledě průměrnou silou 420 N ve vodorovném směru. Jak velké bylo zrychlení puku? Jakou rychlost získal puk, trval-li náraz hokejky 0,01 s?
7. U které dvojice koulí jsou správně znázorněny gravitační síly akce a reakce?



8. Které dvě síly v situaci na obrázku jsou dvojicí, již zmiňuje zákon akce a reakce?



- (A) Síla, kterou chlapec táhne za levé lano, a síla, kterou strom táhne za pravé lano.
- (B) Síla, kterou opice táhne za levé lano, a síla, kterou opice táhne za pravé lano.
- (C) Síla, kterou působí Země na opici, a výsledná síla, kterou levé a pravé lano působí na opici opačným směrem.
- (D) Síla, kterou chlapec táhne za levé lano, a síla, kterou toto lano táhne za paže chlapce.

Najdete na obrázku ještě další dvojice sil akce a reakce?

3. PRÁCE

PRÁCE SÍLY

Slovo práce běžně používáme, ale jeho význam je velmi různorodý. Hovoříme o duševní práci, jindy o práci fyzické, někdy o práci manuální. Fyzikální veličina *práce* je ale přesně určena. Co ve fyzice znamená konání práce nejlépe, ukazuje příklad řezání polena.

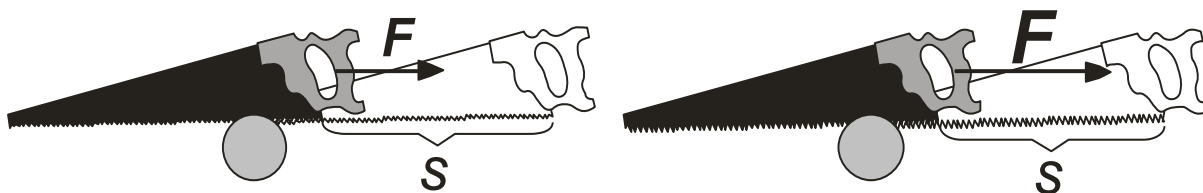
I pro nefyzika jistě představuje řezání dřeva práci. Podívejme se na toto konání očima fyziky.



Při řezání musíme za pilu táhnout určitou silou. Když pilu popotáhneme jen o dvacet centimetrů vykonáme určitou práci (nic moc). Jestliže ale bude řez čtyřiceticentimetrový, bude určitě práce dvojnásobná a podobně poroste s dalším růstem dráhy řezu.

Práce tedy roste rovnoměrně s dráhou řezu.

Větší práci můžeme ale vykonat i jiným způsobem – použijeme pilu s většími zuby. Ta ovšem bude vyžadovat vynaložení větší síly. I zde budeme předpokládat, že práce poroste rovnoměrně s velikostí vynaložené síly.



Jinak koná práci motor kladkostroje, který zvedá panel do výšky. I zde ale platí, že práce již vykoná bude záviset na dráze – zde výšce zdvihu a na síle, kterou musí vyvinout na zvednutí.

Obecně fyzikální práci rozumíme veličinu danou součinem velikosti působící síly a dráhy po níž síla působí.

práce = působící síla · dráha po které síla působí

vzorcem:

$$W = F \cdot s$$

kde W ... práce vykonaná silou ($\text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$)

F ... síla konající práci (N)

s ... dráha po které síla působila (m)

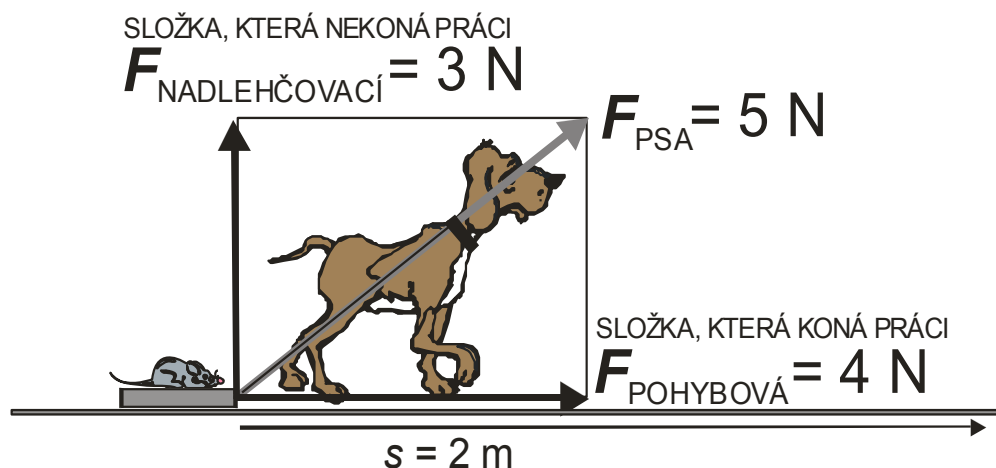
Jednotka práce $\text{N} \cdot \text{m}$ dostala název joule (J) [čti džaul].

Práci jeden joule vykonáme, když zvedneme stogramovou čokoládu s podlahy na polici, která je metr na zemi. (Působili jsme silou 1 N po dráze 1 m.)

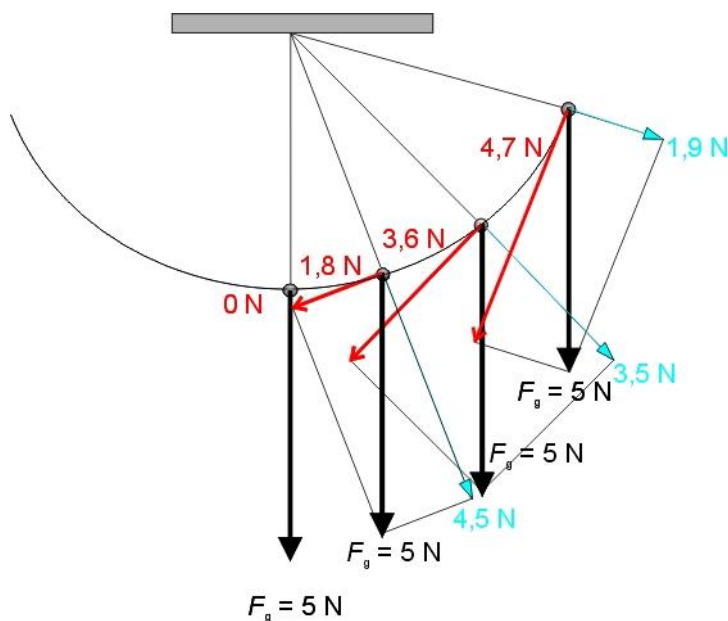
Pozor! Uvedený vztah pro práci platí jen v případě, že síla působí ve směru dráhy.

Znamená to, že síla mířící kolmo na směr dráhy práci nekoná.

Pokud síla nepůsobí rovnoběžně se směrem dráhy, musíme sílu rozložit ve dvě složky – na sílu, která je s dráhou rovnoběžná, a na sílu, která je k dráze kolmá. Pes, jenž táhne destičku s myší silou $F_{\text{PSA}} = 5 \text{ N}$, vykonal na dvoumetrové dráze práci 8 J, protože ve směru dráhy působil jen silou $F_{\text{POHYBOVÁ}} = 4 \text{ N}$.



Na dalším obrázku působí na kouli ($m = 500 \text{ g}$) kývající se na niti Země stále gravitační silou $F_g = 5 \text{ N}$. Složka ve směru pohybu (která koná práci) se ale postupně zmenšuje z hodnoty **4,7 N** na **3,6 N**, **1,8 N** až k nule. Výsledkem je pokles zrychlování koule až k okamžiku, kdy je dole na okamžik pohyb rovnoměrný.



VÝKON



Na obrázku je naznačeno, že muž táhnul bednu 3 metry daleko a vykonal při tom práci 620 J.

Je vidět, že mu tažení bedny nedělalo velké obtíže a dejme tomu, že na to spotřeboval jen 2 sekundy.

Představíme si teď na jeho místě dýchavičného kuřáka, který na stejné třímetrové posunutí téže bedny potřeboval 10 sekund. Jak se jejich práce lišily?

Velikostí ne, oba přestěhovali stejnou bednu o stejný úsek. Kuřák ale pracoval pomaleji. Rychlost konání práce popisuje fyzikální veličina zvaná *výkon*. Popisuje, jakou práci člověk nebo stroj vykonal za jednu sekundu. (V praxi se výkon vztahuje i na jiné časové jednotky, na hodinu, na pracovní směnu apod.)

V našem příkladu při tažení bedny byl výkon prvního pracovníka $620 \text{ J} : 2 \text{ s} = 310 \frac{\text{J}}{\text{s}}$.

Kuřákův výkon byl jen $620 \text{ J} : 10 \text{ s} = 62 \frac{\text{J}}{\text{s}}$, tedy pětikrát menší.

Obecně zavádíme výkon podílem:

$$\text{výkon} = \frac{\text{vykonaná práce}}{\text{spotřebovaná doba}}$$

vzorcem

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

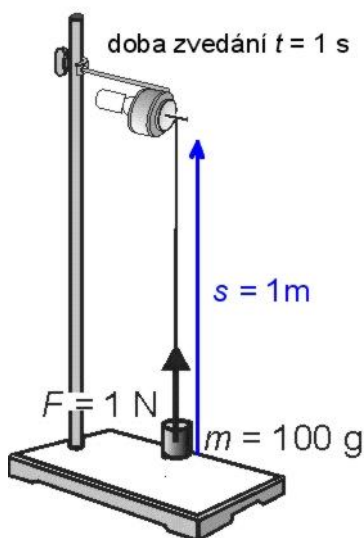
kde P je výkon (rychlost konání práce) s jednotkou $\frac{\text{J}}{\text{s}}$, již nazýváme watt a značíme W .

W je vykonaná práce (J)

t doba konání práce (s)

Poznámka: Stejná písmena velké dvojité W pro práci a jednotku výkonu odlišujeme v tištěném textu tím, že práci zapisujeme italikou (kurzivou) W , jednotku výkonu watt značíme latinkou W .

Na obrázku je pokus, který jsme provedli při vyučování - zvedání závaží motorkem, jenž měl při práci výkon 1 watt.



ÚČINNOST

Všechny stroje mají jednu zásadní vadu: pouze část energie, kterou jim dodáváme, dokáží přeměnit v užitečnou práci proto porovnáváme stroje i podle velikosti ztrát.

Rozlišujeme:

P - užitečný výkon (výkon) = výkon, kvůli kterému je přístroj konstruován (u auta výkon vložený do pohybu, u výtahu výkon využitý na zvedání nákladu, u vrtačky výkon využitý na vrtání)

P_0 - příkon = výkon odebraný ze zdroje energie (u auta výkon obsažený v palivu, u výtahu a vrtačky výkon odebraný ze zdroje elektřiny, u elektrárny výkon dodávaný vodou dopadající na turbínu generátoru)

Účinnost přístroje je dána poměrem

$$\text{účinnost zařízení} = \frac{\text{využitá práce(energie)}}{\text{celková spotřebovaná energie}} = \frac{\text{užitečný výkon}}{\text{celkový odebraný výkon}}$$

$$\text{vzorcem: } \eta = \frac{E}{E_0} \quad \text{nebo} \quad \eta = \frac{P}{P_0}$$

Účinnost je „holé“ číslo bez jednotky.

Výkon se často udává v procentech. U všech zařízení je výkon vždy menší než 1.

ÚLOHY:

1. Doplň do tabulky, jak velkou práci W vykoná síla (ruka, motor, zvedák atd.), zvedne-li rovnoměrným pohybem po svislé dráze s předmět silou o velikosti F .

F	0,5 N	2 kN	100 N	100 m N	2 MN
s	2 m	0,5 m	25 cm	5 m	5 mm
W					

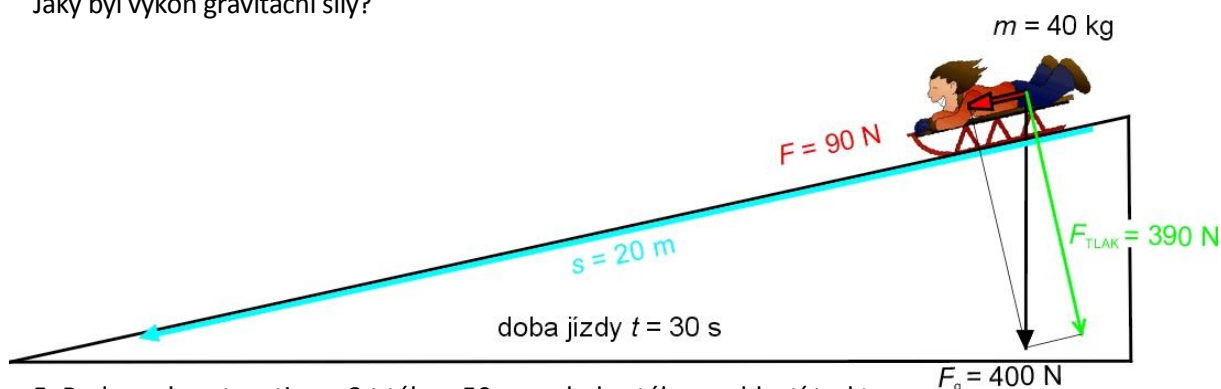
2. Do jaké výšky s musíme zvednout břemeno o hmotnosti $m = 18000$ g, abychom při tom vykonali práci $W = 0,162$ kJ?

3. Jakou silou F svisle zvedal jeřáb rovnoměrně panel $s = 12$ m, jestliže vykonal práci $W = 18$ kJ?

4. Jak velkou práci vykonala gravitační síla, jestliže chlapec na sáňkách sjel z kopce?

Potřebné údaje čtete z obrázku.

Jaký byl výkon gravitační síly?



5. Bednu o hmotnosti $m = 2$ t táhne 50 m po ledu stálou rychlostí traktor.

Součinitel smykového tření mezi dřevem a ledem je $f = 0,035$. Jak velkou práci traktor vykonal?

6. Kladkostroj s motorem o příkonu $P_0 = 3,5$ kW zvedl za 20 sekund panel o hmotnosti $m = 1,5$ t do výšky 20 m. Jakou užitečnou práci W přitom vykonal. Jaká byla účinnost výtahu, jestliže zvednutí proběhlo za 5 minut?

ENERGIE

O tom, co fyzikové rozumějí pod slovem „práce“ jsme se již dověděli. Práce a energie spolu úzce souvisí. Řekneme-li, že někdo nebo něco má energii sdělujeme, že tento objekt je schopen konat práci. Obrazně by šlo říci, že energie je zakonzervovaná práce.

Když například vykonáme práci natáhnutím pera dětského autíčka nebo napnutím luku, zůstane v nich naše práce ve formě energie uschována do okamžiku, kdy zase pérko či luk nezačne pracovat. Jak? Tím, že bude rozjíždět autíčko nebo vystřelovat šíp. Energii, kterou má natažené pérko, napnutý luk, natažená guma apod., říkáme **polohová (potenciální) energie pružnosti**.



O **polohové energii gravitační** mluvíme v jiném případě. Získá ji třeba kámen, který vyneseme na kopec. To moc často neděláme, ale možná jste již slyšeli o tom, že v noci pracují čerpadla, která ženou vodu do vodních nádrží na kopci. Tím jí nadělují polohovou energii, aby pak v ranních hodinách, kdy je spotřeba elektřiny největší, dolů proudící voda zase pracovala při pohonu turbín elektrárny.

Pro polohovou energii gravitační platí vztah:

$$E_{p\text{GRAVITAČNÍ}} = m \cdot g \cdot h$$

kde je

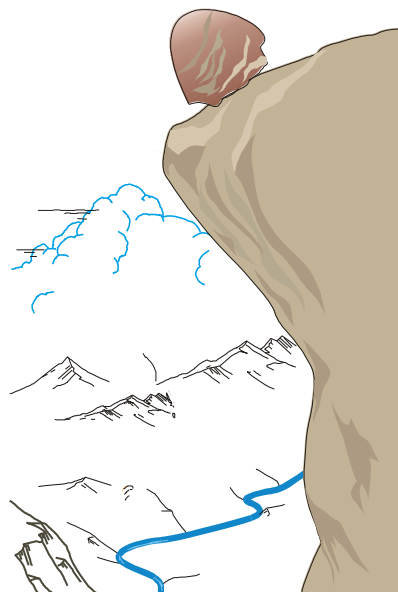
m ...hmotnost tělesa (kg)

g ...gravitační zrychlení (10 m/s^2)

h ...výška nad „hladinou“, kde volíme $E_p = 0$

Vzorec pro polohovou gravitační energii jsme dostali vlastně ze zákona zachování energie. V polohové energii je „schována“ práce $W = F_g \cdot h = (m \cdot g) \cdot h$, kterou bylo nutné na zvednutí tělesa do výšky h vynaložit.

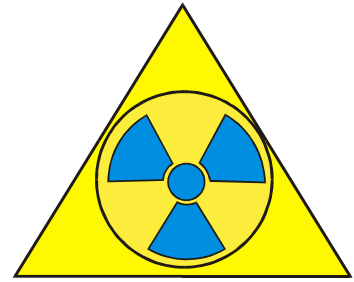
Jestliže se na energii díváme jako na zásobu práce, nepřekvapí nás, že energii měříme ve stejných jednotkách jako práci, tj. v joulech (J).



Pohonné hmoty, benzín a nafta stejně jako uhlí ale i potraviny nebo elektrické baterie mohou sloužit ke konání práce díky chemickým reakcím, při nichž se uvolňuje **chemická energie** v nich skrytá.



Jaderná energie má své sídlo v jádrech atomů, odkud ji lze uvolňovat při jaderných přeměnách. Slunce nás zásobuje právě z takové zásobárny. Mnohem nedokonaleji jadernou energii využíváme na Zemi v jaderných elektrárnách.



Pohybová (kinetická) energie, jak sám název napovídá, přísluší všemu, co se pohybuje. Pohybovou energii má míč, jenž míří do branky, stejně jako hruška, jež padá se stromu.

Platí:

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

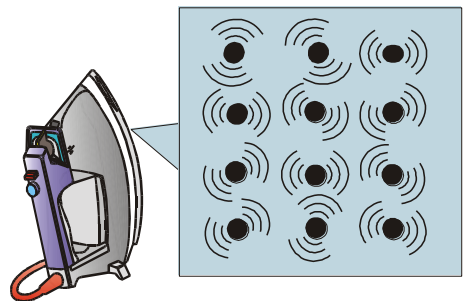
E_k je pohybová (kinetická) energie tělesa (J)

m je hmotnost tělesa (kg)

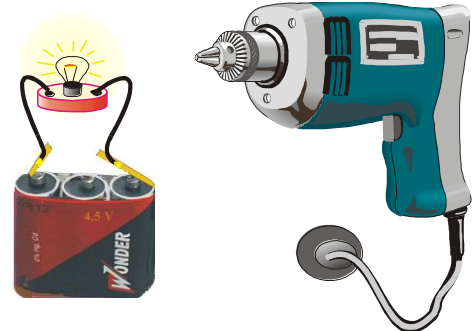
v je velikost jeho rychlosti (m/s)



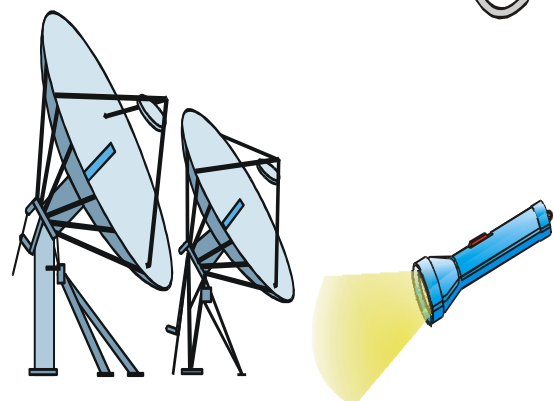
Pohybovou a polohovou energii mají také částice, které jsou stavebními panely všech těles. Tuto energii skrytou uvnitř předmětů, nazýváme **vnitřní energie**. Změny vnitřní energie těles se projevují změnami teploty nebo přeměnami skupenství látek, z nichž jsou složena.



Elektrická energie je přenášena elektrickými náboji, které se pohybují ve vodičích díky činnosti elektráren.



Energie záření je skryta v elektromagnetických vlnách. Nesou ji rozhlasové, televizní nebo radarové signály z vysílačů, je ve světle i v kosmickém záření. Vysílají ji k nám plameny v krbu. Potraviny v mikrovlnné troubě se zahřívají tím, že zářivou energii pohlcojí.





Zvukovou energii předávají okolí reproduktory a jiné zdroje zvuku, od nichž se šíří do okolí rychlé kolísání tlaku vzduchu.

O tom, jak velká (spíš bychom měli říci malá) je energie 1 joule, si můžeme udělat představu z toho, že 100 000 joulů energie bychom mohli zhruba získat:

- spuštěním 50 kg pytle brambor do hloubky 200 m
- spálením lžice benzínu
- snědením čokoládového bonbónu
- vybitím deseti elektrických monočlánků
- ochlazením talíře horké polévky
- zbrzděním osobního auta, které jede rychlostí 50 km/h
- rozštěpením 0,000 001 g uranu

Zařízení na přeměny energie, která jistě znáte:

- ponorný vaříč (mění elektrickou energii na vnitřní energii)
- motor automobilu (mění chemickou energii na pohybovou energii)
- výtah (mění elektrickou energii na polohovou energii)
- mikrofón (mění zvukovou energii na elektrickou energii)
- jaderný reaktor (mění jadernou energii na vnitřní a zářivou energii)

4. TEKUTINY

TLAK TUHÝCH TĚLES

Africký slon má hmotnost až 7 tun a jistě dokážete vypočítat, jak velkou silou se opírá o zem každá ze sloních nohou. I žirafa obvykle stojí na všech čtyřech, a protože i ji dokážeme zvážit (hmotnost se pohybuje kolem 700 kg), ani u ní není obtížné zjistit, jak velkou silou tlačí její kopýtko.

Jestli umíte dělit čtyřmi a víte, že každý kilogram sloního i žirafího těla je k Zemi tažen silou přibližně 10 N, nemohli jste dostat jiný výsledek než 17 500 N (u slona) a 1 750 N (u žirafy).

Kolik centimetrových čtverečků se vejde do sloní a žirafí šlápoty vám prozradí obrázek. Jak velká síla připadne na jeden čtverečný centimetr, si ale už musíte spočítat sami.

$$tlak = \frac{\text{působící síla}}{\text{obsah plochy, na kterou působí}}$$

vzorcem:

$$p = \frac{F}{S}$$

Takhle vypadají stopy slona a žirafy



Tlak nohy u slona ($p_{\text{SLON}} = 13 \text{ N/cm}^2$) a u žirafy ($p_{\text{ŽIRAFY}} = 15 \text{ N/cm}^2$) se příliš neliší.

Uvěříte tomu, že štíhlá padesátikilogramová slečna může zapůsobit na zem více než 30 krát větším tlakem než žirafa?

Jak to dokáže, vám napoví značka na vedlejším obrázku.

Stačí, když si slečna obuje elegantní lodičky s jehlovými podpatky a na podlaze pokryté plastem dokážete i bez indiánského výcviku stopovat každý její krok.

Jak velkým tlakem se zaboří podpatek o obsahu 1 cm^2 , když síla 500 N na okamžik působí jen na něj? Jehlové podpatky, které jsou tak zničující pro podlahy pokryté plastem, korkem nebo dřevem, ale neublíží keramickým nebo kameninovým dlaždicím. Někdy si ale „pevnost podlahy“ nedokážeme vynutit.



V přírodě musí často člověk používat cestu v takovém stavu, v jakém ji dává příroda. Prohlédněte si následující obrázky a vyčtěte z nich, jak člověk může snížit tlak, kterým on sám, nebo jeho dopravní prostředky, působí na zem.



Dosud jsme tlak vyjadřovali v jednotkách N/cm^2 . Hlavní jednotkou je ale tlak působený silou 1 newtonu na plochu 1 m^2 . Nazývá se pascal (čti „paskal“), značka Pa. Jak nepatrný je tlak 1 Pa, lze poznat z faktu, že to je zhruba tlak listu papíru na podložku. Proto se častěji používá jednotka tisíckrát větší (kilopascal, kPa) nebo miliónkrát větší (megapascal, MPa). Můžete se také setkat se starší jednotkou „atmosféra“ (atm), která je přibližně 100 kPa.

příklady různých tlaků:

$$1 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ Pa} \quad (\text{list papíru})$$

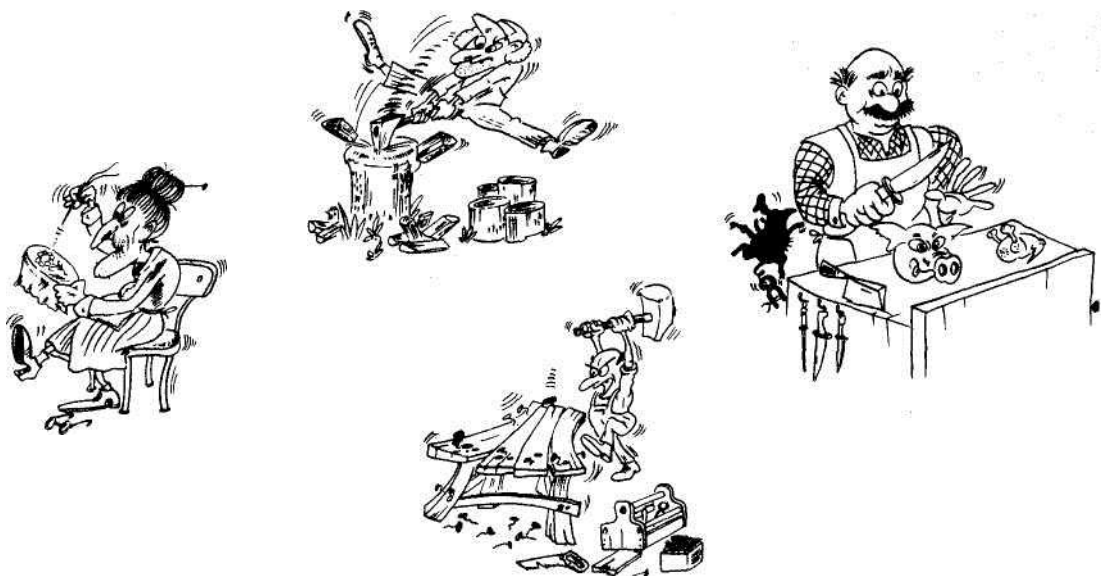
$$1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa} \quad (\text{bruslař na jedné brusli})$$

$$1 \text{ N}/\text{cm}^2 = 10\,000 \text{ Pa} = 10 \text{ kPa} \quad (15 \text{ cm vysoký sloupeček desetikorun})$$

$$1 \text{ atm} = 100\,000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa} \quad (3 \text{ m vysoký žulový sloup})$$

Jistě dokážete určit, jakým tlakem působí vaše chodidlo na zem, když stojíte na jedné noze. Kolik vážíte, snad víte a obsah otisku chodidla na čtverečkováném papíru určitě umíte spočítat.

Zatím jsme o tlaku mluvili jako o nepříteli, kterého se sice nemůžeme zcela zbavit, ale snažíme se, aby byl co nejmenší. Je načase ukázat, že to vlastně často chceme naopak - aby byl tlak co největší. Prohlédněte si následující obrázky a najděte na nich předměty, které nám slouží právě tím, že dokáží vyvinout velký tlak. Čím se liší ostrý a tupý nůž, ostrá jehla od tupého špendlíku a nabroušená sekera nebo nůžky od stejných pomůcek, které už dlouho neviděly brousek?



TLAK KAPALIN

Budeme zkoumat, v čem se podobá a v čem se liší tlak, kterým působí váleček z tuhého materiálu, např. z teflonu, a stejně velký vodní sloupec. Tlak spočítáme jako sílu, kterou váleček tlačí na podstavu, dělenou jejím obsahem. Síla je určena hmotností, a tu zase vypočítáme z objemu a hustoty:

Plastový váleček má výšku $h = 0,2$ m, jeho podstava má obsah $S = 0,01$ m² a je z materiálu o hustotě $\rho = 2\,000$ kg/m³. Jeho hmotnost $m = 0,002$ m³ · 2 000 kg/m³ = 4 kg tedy tlačí silou $F = 40$ N.

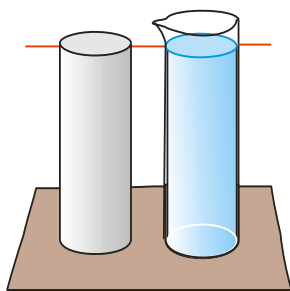
Tlak je pak roven $p = F : S = 40 \text{ N} : 0,01 \text{ m}^2 = 4000$ Pa.

Když podobný výpočet uděláte pro vodní váleček o stejných rozměrech, vyjde vám jeho hmotnost 2 kg a tlak na dno 2000 Pa.

Pro oba válce platí tedy pro tlak u dna:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

Kdo nemá zkratky v lísce, může si recept výpočtu tlaku napsat slovy:



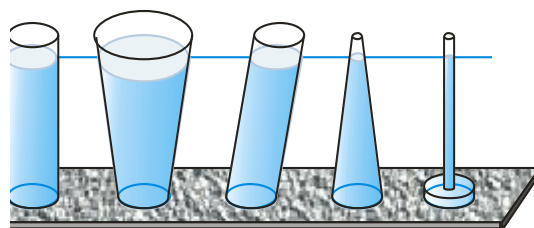
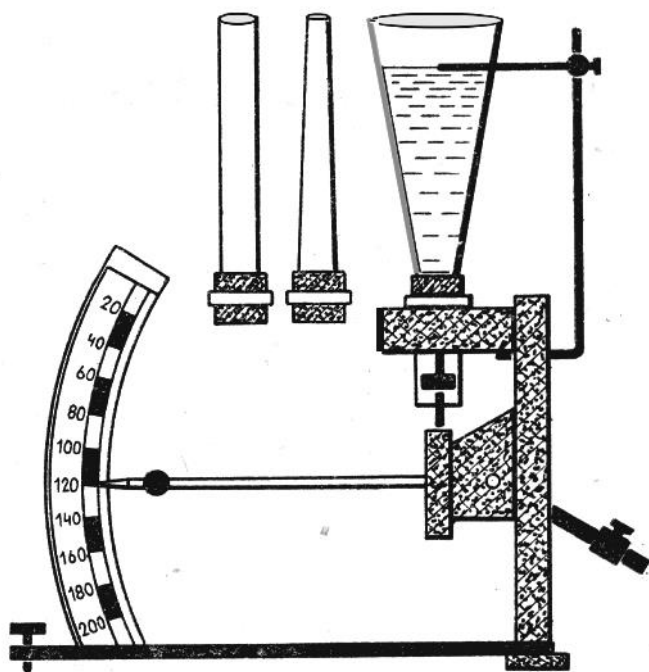
tlak sloupce = výška sloupce · hustota materiálu · 10 m/s²

Dokážete vypočítat, jaký by byl tlak na dno válce, kdybychom ho naplnili místo vodou jinými kapalinami do různých výšek?

kapalina	výška m	hustota kg/m ³	tlak u dna Pa	plocha dna m ²	síla na dno N
voda	0,20	1000		0,01	
olej	0,40	950		0,01	
benzín	0,30	770		0,01	
glycerol	0,15	1260		0,01	
rtuť	0,02	13 500		0,01	

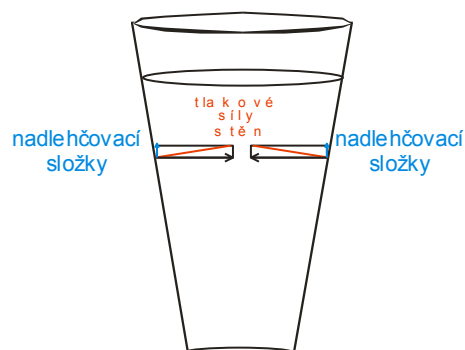
HYDROSTATICKÉ PARADOXON

To, že tlak nezávisí na tvaru nádoby a objemu vody v ní, nám ukázal pokus s Hartlovým přístrojem.



tlak u dna a tlaková síla na dno jsou ve všech nádobách stejné

Vysvětlení plyne z obrázku:



Skutečnost, že tlak u dna i tlaková síla na stejně velké dno nezávisí na tvaru nádob, je tak překvapující, že tento jev označujeme jako *hydrostatické paradoxon* (podivnost).

ÚLOHY:

1. V U trubici je v pravém rameni červeně obarvená voda, v levém rameni olej. Určete podle údajů v obrázku hustotu oleje.
2. Nádoba s vodou a rtuťový barometr (měřidlo tlaku vzduchu) je na stole. Barometr ukazuje tlak 762 mm rtuťového sloupce. ($\rho_{\text{RTUT}} = 13\,700 \text{ kg/m}^3$) Vypočítejte tlak v nádobě u dna, jež je 40 cm pod hladinou.



3. Nádoba má dutinu tvaru válce, jehož dno má plochu $S = 1 \text{ dm}^2$.

a) Do jaké výšky h musí sahat voda, aby tlak vody na dno (atmosférický tlak neuvažujte) byl 100 Pa ?

b) Jak velkou tlakovou silou F působí voda na dno?

c) Jaký objem V vody jsme museli do nádoby nalít?

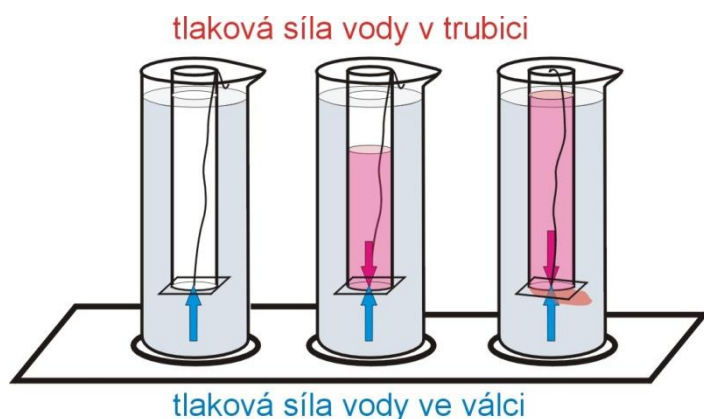
4. Jak velkou silou působí voda na vrata zdymadla o šířce 10 m a výšce 16 m , jestliže voda sahá 4 m pod horní okraj vrat?

KAPALINY NETLAČÍ JEN DOLŮ

Na obrázku je pokus, jenž jsme dělali při hodině. Na prvním obrázku je prázdná válcová trubice válec s plastovou destičkou u dna, kterou přitlačuje zdola voda ve válci **tlakovou silou**. Jakým směrem je destička tlačena? Zřejmě vzhůru!!!

Kapaliny tlačí nejen dolů, ale stejně silně i směrem vzhůru.

Když jsme do válce vlévali obarvenou vodu destička odpadla, když byla **tlaková síla obarvené vody v trubici působící na destičku shora** stejná jako **zdola**, tj. při stejné úrovni hladin.



Tlačí voda i zboku?

I to nám ukázal jeden z pokusů, které jsme dělali při hodině.

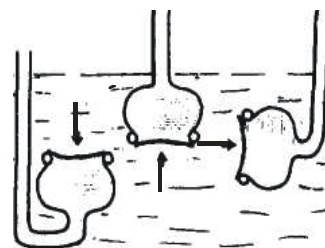
Když jsme ve stejné hloubce různě natáčeli jednoduchou tlakovou sondu, ukázalo se, že tlaková síla je stále stejná.

Tlaková síla kapaliny tlačí na potopenou plochu vždy kolmo na ni.

Ve stejné hloubce má stejnou velikost, na směr nezávisí.

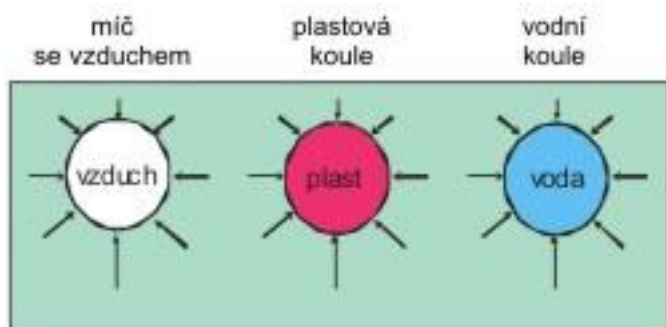
Ze vzorce pro tlak jistě dokážete vytvořit vzorec pro výpočet tlakové síly když známe tlak v místě dané plochy a obsah S plochy

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = p \cdot S$$



ARCHIMÉDŮV ZÁKON

Na obrázku níže jsou šipkami zakresleny síly, kterými okolní voda tlačí ze všech stran na míček, na stejně velkou plastovou kouli a na „vodní kouli“. Liší se výsledná síla, jíž tlačí voda na jednotlivé koule?



Ne, voda nerozliší z jaké látky je ponořené těleso!

Vysvětlení, proč se míč rozběhne k hladině, plastová koule klesá ke dnu a „vodní koule“ zůstane na místě, jste sami odhalili při hodině. Výsledná tlaková síla vody, která tlačí koule vzhůru, není jedinou silou, jež působí na koule. Soupeří s gravitační silou, která koule táhne naopak dolů.

U míče souboj sil vyhrává „Archimédova“ vztlaková síla vody. Míč stoupá vzhůru.

U plastové koule vítězí gravitační síla. Koule klesá ke dnu.

U vodní koule je výsledek zápasu nerozhodný, vodní koule se vznáší na místě.

Na obrázku je plavec v Černém moři. Proč by v rybníku nemohl plavec takhle ležet?

Čím je způsobena větší velikost vztlakové síly?



Kouzlo s vajíčkem

Do nádoby nalijeme do poloviny co nejkoncentrovanější roztok kuchyňské soli a opatrně po stěně doplníme do nádoby vodu.

Pozorujte, co se bude dít s vajíčkem, které opatrně vložíte do nádoby. Dokážete vysvětlit výsledek?

Co bylo zjištěno:

Když byli testováni studenti na znalost Archimédova zákona, dokázali skoro všichni odříkat tuto „básničku“:

Těleso ponořené do kapaliny

je nadlehčováno silou,

která se rovná tíze kapaliny

tělesem vytlačené.

Při řešení primitivních otázek (například jak se liší vztlaková síla u tří koulí, které byly jedním z předcházejících obrázků) téměř všichni ukázali, že zákonu nerozumí. Tvrdili totiž, že největší vztlak je u míčku se vzduchem).

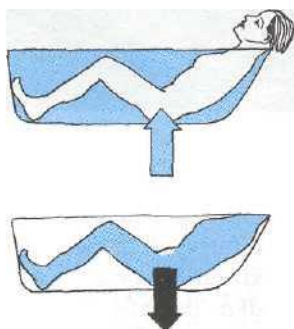
Nabízím vám proto Archimédův zákon v jiné formulaci. Musíte předtím ale prokázat svou fantazii.

Představte si, že do nádoby s vodou potopíme plastový válec. Teď přijde ta fantazie. Válec vytáhneme a zůstane tam po něm válcová díra, jakási dutá forma válce. Do této formy napustíme obarvenou vodu. Dostaneme stejný válec, jako byl plastový, ale tentokrát z vody. Tomuto válci budeme říkat „Archimédův válec“. Vztlaková síla na Archimédův válec je stejně velká jako gravitační síla na Archimédův válec. To je vidět z toho, že se vodní válec vznáší.

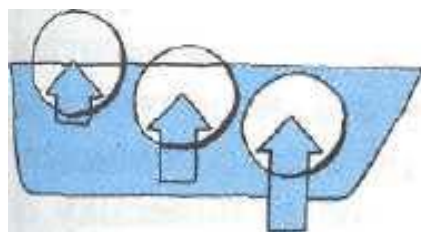
Když tedy rozumíme co to je „Archimédovo těleso“ můžeme Archimédův zákon formulovat takto:

Vztlaková síle na těleso je stejně velká jako gravitační síla na Archimédovo těleso.

Přitom samozřejmě gravitační síla na Archimédovo těleso míří dolů, ale stejně velká vztlaková síla míří vzhůru.



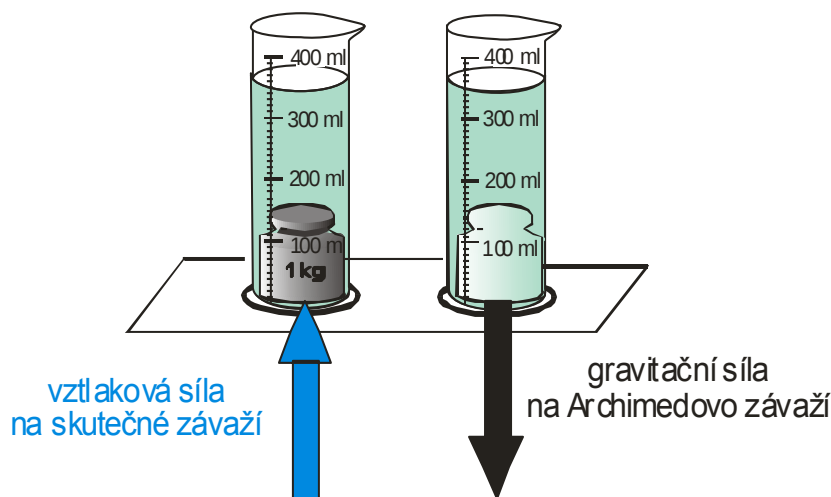
Když se koupete ve vaně, nadlehčuje vaše tělo voda stejně silně, jako Země přitahuje bezhlavé vodní „Archimédovo tělo“.



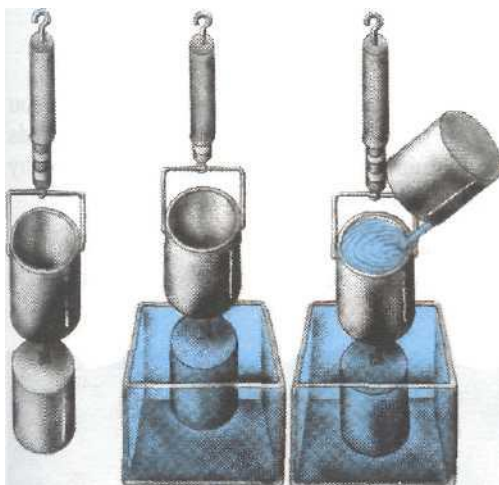
Porovnejte, jak se zvětšuje „Archimédův uříznutý míč“, když skutečný míč noříte víc a víc pod vodu.

Vztlaková síla vytlačující ponořený míč vzhůru je stejně velká jako gravitační síla, která táhne „Archimédův míč“ dolů.





Pokus, který vše co jsme doposud řekli, potvrzuje:



Plastový válec zavěšený na siloměru jsme ponořili do vody.

Na siloměru poznáme, že voda válec nadlehčuje.

Když jsme do nádoby pod siloměrem nalili vodu a vytvořili tak Archimédův válec, siloměr ukázal původní hodnotu.

Z toho bylo vidět, že válec potopený do vody je nadlehčován stejně velkou silou, jakou Země přitahuje „Archimédův válec“.

Plavání

Voda vždy nadlehčuje předmět, který je do ní potopený. Proč ale skleněná kulička klesá ve vodě ke dnu, zatímco stejně velký dřevěný korálek se rozběhne vzhůru ke hladině? Nadlehčuje snad voda skleněнку slaběji než stejně velký dřevěný korálek? „Archimédova kulička“, a proto i vztlaková síla se přece pro oba stejně velké předměty neliší. Pokuste se vysvětlit různé chování skleněčky a korálku, když víte, že obě potopené věci jsou ve vodě stejně nadlehčovány. Nezapomeňte, že na potopené předměty nepůsobí jen vztlaková síla okolní vody.

Příklad:

Jak velkou silou je nadlehčováno dvoukilogramové mosazné závaží ponořené do vody.

Řešení:

$$m_{\text{závaží}} = 2 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{mosaz}} = 8\,500 \text{ kg/m}^3 \text{ (z tabulek nebo internetu)}$$

$$\rho_{\text{voda}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{Archimédova}} = ?$$

Vypočteme nejdříve objem závaží z jeho známé hmotnosti a hustoty:

Vyjdeme ze vzorce pro hustotu

$$\rho_{\text{MOSAZ}} = \frac{m_{\text{ZÁVAŽÍ}}}{V_{\text{ZÁVAŽÍ}}} \Rightarrow V_{\text{ZÁVAŽÍ}} = \frac{m_{\text{ZÁVAŽÍ}}}{\rho_{\text{MOSAZ}}}$$

Poté vyjádříme vztakovou Archimédovu sílu jako gravitační sílu na „Archimédovo závaží“.

$$F_{\text{ARCHIMÉDOVA}} = V_{\text{ZÁVAŽÍ}} \cdot \rho_{\text{VODA}} \cdot g = \frac{m_{\text{ZÁVAŽÍ}}}{\rho_{\text{MOSAZ}}} \cdot \rho_{\text{VODA}} \cdot g = \frac{2}{8500} \cdot 1000 \cdot 10 \text{ N} = 2,4 \text{ N}$$

Vztaková síla na závaží má velikost 2,4 N.

ÚLOHY

1. Jaký je objem ponořené části sudu („Archimédův sud“), když sud plave ve vodě. Hmotnost sudu $m = 35 \text{ kg}$.

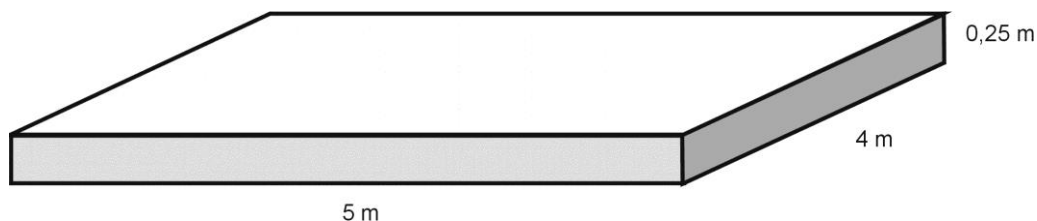
2. Ve vodě plave dřevěné poleno o hmotnosti 5 kg a hustotě 700 kg/m^3 .

Jakou vztakovou silou na něj působí voda? (Nepočítejte, přemýšlejte)

3. Jaká je hustota ρ_K materiálu kostky, jestliže kostka plave ve vodě ponořena 80% svého objemu V_K .

4. Jak vzroste tlaková síla vody ve vaně na její dno $\Delta F_{\text{TLAKOVÁ SILA NA DNO}}$, jestliže se v naplněné vaně zcela potopí člověk o hmotnosti $m = 80 \text{ kg}$? Hustotu lidského těla po vydechnutí volte $\rho_{\text{ČLOVEK}} = 1020 \text{ kg/m}^3$.

5. Vor z tvrzeného polystyrénu o hustotě $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$, jehož rozměry ukazuje obrázek, plave na vodě.



a) Jaká je hmotnost m_{VOR} voru?

b) Jak hluboko h je vor ponořen?

c) Jaká je maximální hmotnost zatíženého voru m_{MAX} ?

6. Horkovzdušný balon o objemu $V = 2000 \text{ m}^3$ má hmotnost (plášť + koš + hořákový agregát + posádka) $m = 480 \text{ kg}$. Vzduch v balonu je zahřát tak, že se balon vznáší (neklesá ani nestoupá). Okolní vzduch má teplotu $t_a = 20^\circ \text{C}$.

Určete hustotu ρ_t zahřátého vzduchu v balonu. Pomocí následujícího grafu popisujícího závislost hustoty vzduchu na teplotě pak určete teplotu vzduchu v balonu.



TLAK V PLYNECH

Na to, že nás neustále objímá vzduch, jsme si tak zvykli, že to vůbec nepocítujeme. Ani věci kolem nás se nechovají tak, jako by na ně vzduch tlačil. Udělali jsme si jednoduchý pokus.

Nalili jsme trochu vody do plechovky od coca-coly a zahřáli ji až k varu. Potom jsme rychle plechovku vhodili dnem vzhůru do nádoby se studenou vodou. Co se stalo? Plechovka se zborčila jako bychom ji rozmačkali šlápnutím. Kdo na ni „šlápnul“? Zmačkal jí svým tlakem okolní vzduch.

Přesvědčil vás pokus o tlaku vzduchu? Proč se tlak vzduchu projevil teprve tehdy, když jsme část vzduchu z plechovky párou vypudili?

Vysvětlení je jednoduché.

Pokud je plechovka otevřená, působí na ni zvenčí i zevnitř vzduch tlakem proti sobě a tlakové síly se ruší.

Varem vody v plechovce vznikající horká pára vzduch z plechovky vytlačuje, horký vzduch se roztahuje a z plechovky uniká. Stále ale tlak zevnitř vyrovnával tlak vzduchu z vnějšku. Situace se změnila, když se potom studenou vodou zbytek vzduchu a pára ochladily. Pára zkapalnila a vzduch se smrštil. Na stěny zevnitř tlačily menší silou než venkovní vzduch. Ten proto v přetlačování zvítězil. Dříve než se stačila voda nahnout otvorem do plechovky, atmosférický tlak vzduchu ji zmačkal.



HRAJEME SI S TLAKEM VZDUCHU

Přísavka

Přitiskněte na zrcátko nebo na hladkou dlaždičku gumovou přísavku. Co ji drží u skla?

Proč přísavka nedrží, když ji přitiskneme na věc s hrubým povrchem?

Papírová zátka

Zopakujte si doma pokus, kdy na skleničku vrchovatě naplněnou vodou položíte list papíru a převrátíte ji. Co se do papíru opírá proti vodě, která ho tlačí shora?



Injekční stříkačka

Injekční stříkačku s pístem u dna ucpěte ukazováčkem a pokuste se píst vytáhnout. Jaká síla se přitom s vámi přetlačuje? Proč jde píst snadno vytáhnout hned, jak uvolníte prst?



Borcení láhve

Vytéká-li voda z láhve od limonády delší hadičkou, jak ukazuje obrázek, začne se láhev bortit. Co ji tak mačká? Proč se láhev nebortí, když z ní vytéká voda otvorem ve stěně bez připojené hadičky?

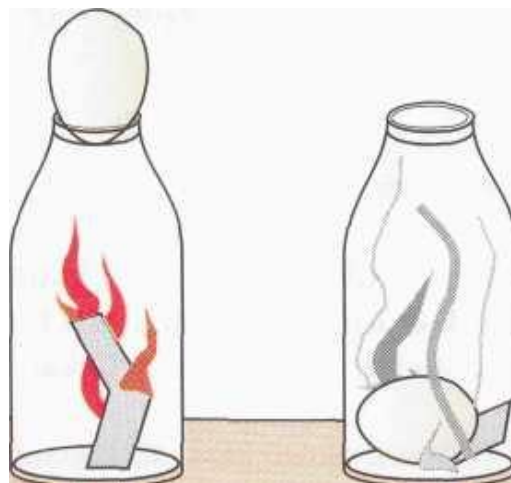
Šup do láhve

Vhodte do láhve od mléka nebo od kečupu hořící proužek papíru a vzápětí položte na hrdlo láhve oloupané vajíčko uvařené natvrdo. Popište, co jste pozorovali a vysvětlete průběh pokusu.

Hořící papír zahřál vzduch v láhvi, ten se rozpínal a unikl z láhve. Vajíčko při tom nadzvedával a to nadskakovalo. Poté co plamen zhasnul, vzduch v láhvi se ochladil o stěny a smrštil se. Jeho tlak se zmenšil. Vnější vzduch vtlačil vajíčko dovnitř.

Objevíte způsob, jak vejce z láhve vysvobodit?

Vypuzení lze docílit otočením láhve a fouknutím do láhve. Vajíčko při tom zafunguje jako ventilek.



Až se někdy vydáte na výlet do hor, udělejte si při návratu jednoduchý pokus. Nahoře v horách důkladně uzavřete prázdnou plastovou láhev od limonády. Až se vrátíte dolů, uvidíte na ní, jak se projeví zvětšení tlaku venkovního vzduchu.

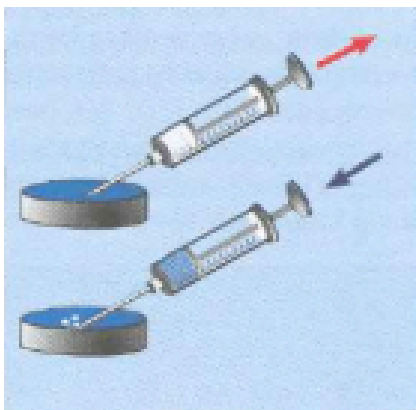
Jak pijeme brčkem

Asi mezi vámi nebude nikdo, kdo by někdy nepil limonádu brčkem. Zamysleli jste se ale nad tím, co nutí limonádu cestovat vzhůru do vašich úst? Myslíte si, že ústy vysávaný vzduch za sebou **táhne** limonádu? Prohlédněte si pozorně obrázek, na kterém vám trochu napovídáme, jak je tomu doopravdy. Světlejší modrou barvou je na něm znázorněn řidší vzduch, tmavší modrou pak vzduch, jenž má normální hustotu. Limonáda je červená.

Určitě jste objevili, že limonádu do brčka **vtlačuje** vzduch, který se opírá do hladiny limonády ve skleničce a kterému z druhé strany marně odporuje menší tlak. Zředěný vzduch v ústech tlačí na limonádu v brčku méně než venkovní.



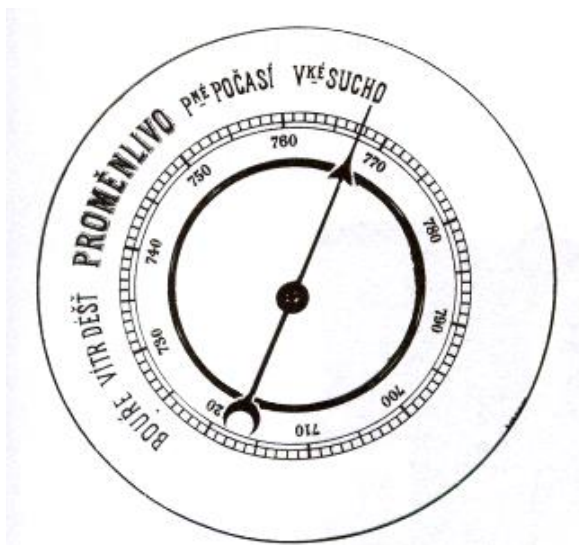
Jak funguje injekční stříkačka



I do injekční stříkačky nebo vodní pumpy se kapalina dostává přetlačováním dvojice tlaků. Odstínem modré barvy je znázorněna hustota vzduchu. To vám napoví, kdy tlak vzduchu na hladinu vody v misce přetlačí zředěný vzduch pod pístem injekční stříkačky.

Tlak jako metr na výšku

Tlak vzduchu může sloužit i k měření výšky. Nechybí-li vám fantazie, dokážete si představit metrové kostky vzduchu naskládané na sebe jako malé dřevěné kostky při hře s dětskou stavebnicí. Jedna taková vzduchová kostka (1 m^3) má při hladině moře hmotnost něco málo přes 1 kilogram. Země ji tady k sobě přitahuje přibližně silou 10 N a taková kostka vzduchu působí tlakem 10 Pa. Kdybychom tedy při lezení na žebřík sebou měli citlivý barometr, zaznamenal by zmenšení tlaku asi o 10 Pa na každý metr výstupu.



Místo lezení po žebříku jsme s barometrem vyjeli výtahem ze suterénu do 3. patra naší školy. Víme, že v Praze má vzduch hustotu $\rho_{\text{VZDUCH}} = 1,25 \text{ kg/m}^3$ a rtuť hustotu $\rho_{\text{RTUŤ}} = 13\,600 \text{ kg/m}^3$. Tlakoměr, který jsme měli k dispozici ukazuje tlak ne v pascálech, ale v milimetrech rtuťového sloupce. Při pokusu bylo zmenšení tlaku přibližně o 2 dílky, tj. 2 mm rtuťového sloupce. Jaká výška vzduchového sloupce tomu odpovídá?

$$\Delta p_{\text{VZDUCH}} = \Delta p_{\text{RTUŤ}}$$

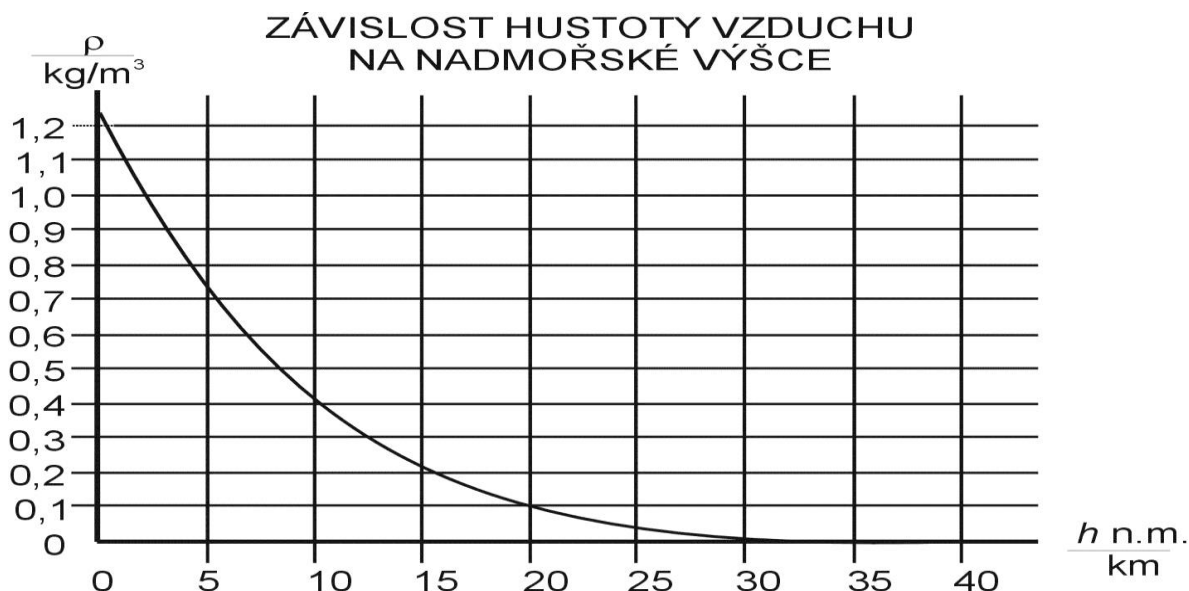
$$\Delta h_{\text{VZDUCH}} \cdot \rho_{\text{VZDUCH}} \cdot g = \Delta h_{\text{RTUŤ}} \cdot \rho_{\text{RTUŤ}} \cdot g$$

$$\Delta h_{\text{VZDUCH}} = \frac{\Delta h_{\text{RTUŤ}} \cdot \rho_{\text{RTUŤ}}}{\rho_{\text{VZDUCH}}} = \frac{0,002 \cdot 13600}{1,25} \text{ m} = 22 \text{ m}$$

Rozdíl výšek je tedy přibližně 22 metrů.

ÚLOHY

1. Jak velkou silou by byly atmosférickým tlakem k sobě přitlačovány 2 přísavky o průměru 10 cm, kdyby mezi nimi bylo dokonalé vakuum? Předpokládejte tlak $p_A = 100\,000 \text{ Pa}$.
2. Jak velkou vztlakovou silou F_a , F_b , F_c působí vzduch na kvádr o rozměrech $2 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 5 \text{ m}$
 - a) u hladiny moře
 - b) v nadmořské výšce 10 km
 - c) v nadmořské výšce 20 km?



MĚŘÍME TLAK VZDUCHU

Abychom tlak vzduchu změřili, připravíme si proti němu vodního soupeře, který se s ním bude přetlačovat. Asi 10,5 m dlouhou průhlednou hadici, se skleněnou zatavenou koncovkou, pověsíme a naplníme ji po okraj obarvenou vodou. Konec hadice zazátkujeme a ohneme, jak ukazuje obrázek. Potom hadici převrátíme skleněnou koncovkou nahoru, zazátkovaným koncem dolů. Jak vysoký očekáváte vodotrysk po odzátkování konce? Asi vás překvapilo, že z hadice vyteklo jen maličko vody. Změřte, jak vysoký sloupec vody udržel v trubici silák vzduch.

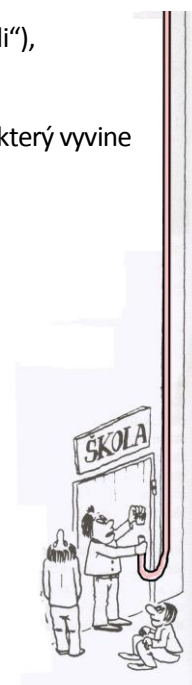
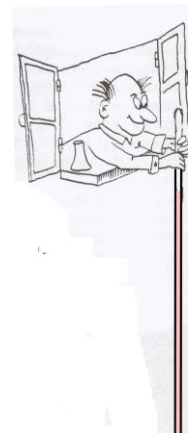
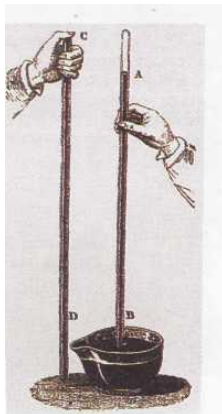
Užitečný vzorec $p = h \cdot \rho \cdot g$ si jistě pamatujete, a tak snadno spočítáte tlak vody a tím i tlak vzdušného protivníka, jenž se opírá do hladiny na otevřeném konci.

Tlak vzduchu je přibližně stejně velký jako tlak 10 m vysokého sloupce vody, tedy asi 100 000 Pa.

Když v roce 1644 podobný pokus dělal italský profesor fyziky EVANGELISTA TORRICELLI (čti „toričeli“), používal místo vody rtuť, a proto mu stačila mnohem kratší skleněná trubice.

Dokážete použít vzorec $p = h \cdot \rho \cdot g$ „naruby“ a vypočítat přibližnou výšku rtuťového sloupce, který vyvine tlak 100 000 Pa? Prozradíme vám, že rtuť má mnohem větší hustotu než voda.

1 m³ rtuti má hmotnost 13 600 kg.



VÝVĚVY - ČERPADLA NA VZDUCH

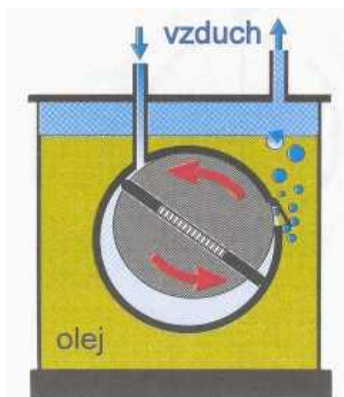
Někdy nepotřebujeme vzduch stlačit, ale naopak ho zředit či dokonce ho co nejvíce odstranit. Takové hustilce naruby se říká **vývěva**.

Dokážete jednoduchou vývěvu vyrobit úpravou své hustilky? Vysvětlete, jak byste ji upravili, aby jí šel alespoň částečně vyčerpat vzduch z plastové láhve od limonády. Jak se na láhvi projeví vyčerpání vzduchu? Co udělá vzduch, když mu otevřete zpáteční cestu? Proč vzduch neponechá prázdné žádné místo, do kterého se může dostat, bylo dlouho záhadou. Před několika stoletími by na tuto otázku i slovní filozofové odpovídali: „Příroda se bojí prázdna“. Latinsky to nazývali *horror vacui* (čti horor vakuí).

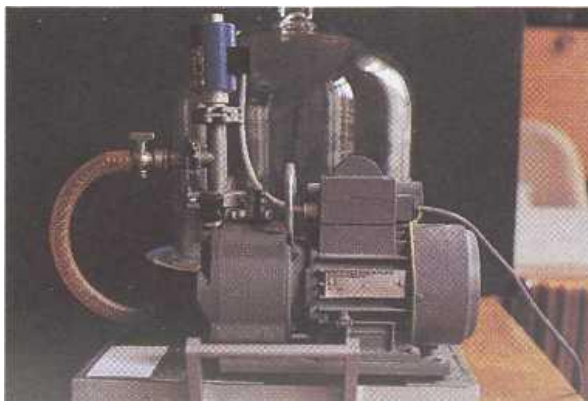
Dnes už víme, že příčinou není bázlivost vzduchu, ale to, že vzduch vždy proudí z míst kde je více stlačen, do míst, kde je jeho tlak nižší. Až se později naučíte vzduch ve své fantazii vidět, snadno si dokážete představit, jak se rozbíhá do prázdného prostoru podobně, jako vy se rozprchnete po tělocvičně.

V naší škole máme motorovou olejovou vývěvu.

Jistě i na jejím schematickém obrázku dokážete popsat, jak čerpá vzduch.

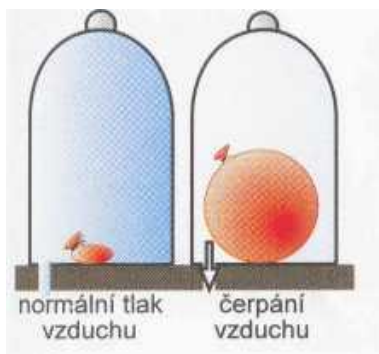


Rotační olejová vývěva



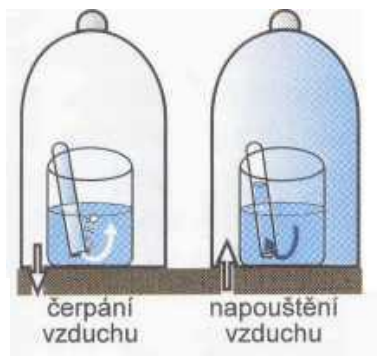
Pokusy s vývěvou

Pokuste se vysvětlovat děje, jež jste viděli při pokusech s vývěvou.



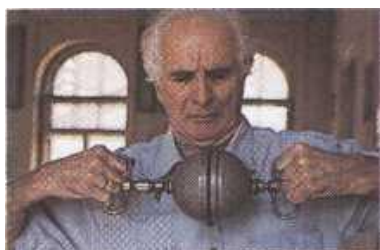
Balónek, který se sám nafoukne

Pouťový balónek, který jen maličko nafoukneme a zavážeme, umístíme pod zvon vývěvy. Při čerpání vzduchu se nafoukne. Vysvětlete proč.



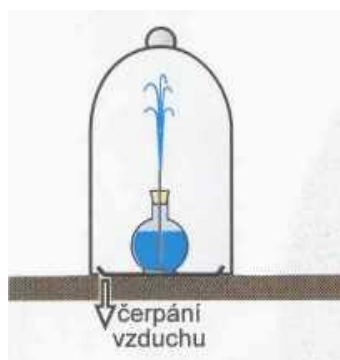
Žíznivá zkumavka

Pod zvon vývěvy umístíme zkumavku otočenou dnem vzhůru a ponoříme ji do kádinky s vodou. Viděli jsme, jak z ní při činnosti vývěvy unikaly bubliny vzduchu. Proč potom při vpuštění vzduchu pod zvon začne žíznivě vodu pít?



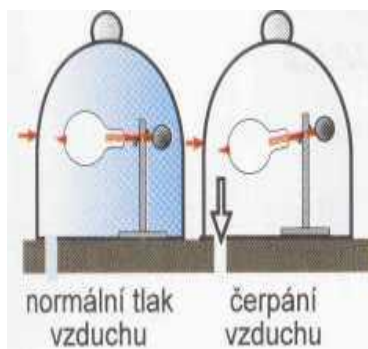
Magdeburské polokoule

Zmáčknutím dvou spojených gumových polokoulí z nich vytlačíme vzduch. Potom se nám nepodaří je prostým tahem od sebe odtrhnout, aniž bychom je poškodili. Dokážete to vysvětlit?



Heronova baňka

Umístíme pod zvon vývěvy na misku baňku naplněnou vodou s tryskou v zátce. Pozorujte, co se stane, když začneme ze zvonu vyčerpávat vzduch.



Archimédův zákon

Pod zvon vývěvy umístíme vyváženou „houpačku“ se závažím na jednom rameni a plastovou koulí na druhém. Pozorujte, zda zůstane houpačka v rovnováze, když vyčerpáme ze zvonu vzduch. Než uděláte pokus, předpovězte, co se bude dít, a vysvětlete proč.

Dva pokusy bez vývěvy

Vnikání zkumavky do zkumavky

K pokusu jsme použili dvojici zkumavek, z nichž menší se dá zasunout do větší. Větší ze zkumavek naplníme vodou a do ní zasuneme druhou a obě pak rychle nad miskou obrátíme „vzhůru nohama“. Přitom do vnitřní zkumavky ještě trochu zatlačíme. Voda z velké zkumavky začne po stěnách menší vytékat a vnitřní zkumavka pomalu leze vzhůru, dokud se její okraj nezarazí u okraje velké zkumavky.

Co tlačí malou zkumavku dovnitř?



Uzavření zavařovací láhve plamenem

Proužek papíru zapálíme a vhodíme do zavařovací láhve. Na hrdlo láhve za okamžik přitiskneme víčko. Papír za chvilku zhasne a víčko pevně drží na láhvi.

Proč víčko nejde sejmut z láhve?

Horké plyny, vzniklé při hoření papíru, se nejdřív roztáhly a částečně unikly ze sklenice. Po přiklopení víčka se o stěny sklenice plyny ochladily a tím klesl jejich tlak. Na víčko tlačí zvenku větší tlaková síla, která tiskne víčko k láhvi.

ÚLOHY

1. Jakou minimální délku by musela mít Torricelliho trubice, ve které by k měření tlaku sloužil glycerol?

$$\rho_{\text{GLY}} = 1260 \text{ kg/m}^3.$$

2. Jak velká je výsledná tlaková síla, jíž působí zemská atmosféra na Zemi? Zemi považujeme za kouli o poloměru $r_z = 6378 \text{ km}$ a tlak atmosféry $p_A = 100\,000 \text{ Pa}$.

Nepočítejte, přemýšlejte!!

3. O kolik by se lišila hmotnost osoby (80 kg) změřená na vahách v pokoji, ve srovnání hmotností změřenou na stejných vahách ve vakuové komoře?

$$\text{Předpokládejte, že hustota těla je } \rho_{\text{TELA}} = 1000 \text{ kg/m}^3, \rho_{\text{VZDUCH}} = 1,25 \text{ kg/m}^3.$$

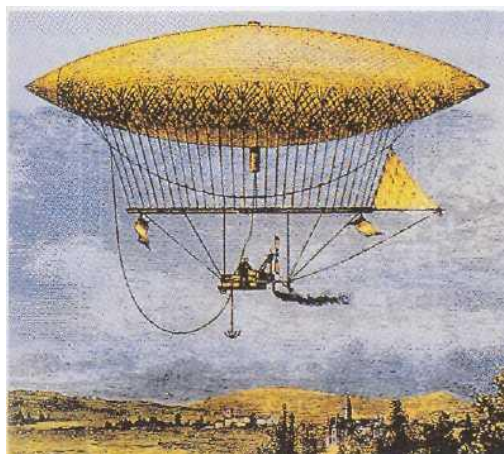
4. Při co nejpřesnějších analytických měřeních v chemii se provádí při vážení tzv. korekce na vakuum, aby se odstranily chyby v údajích o hmotnosti způsobené vztlakem vzduchu.

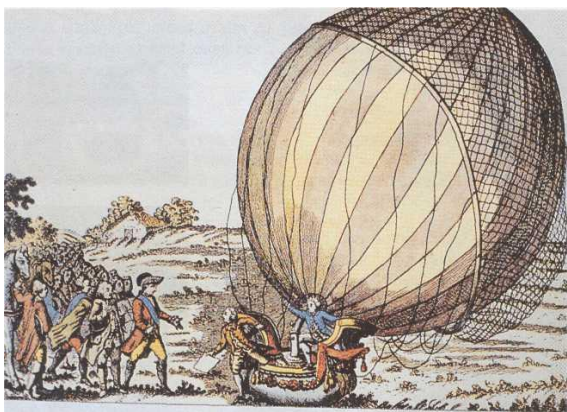
Vypočítejte skutečnou hmotnost po korekci na vakuum, jestliže bylo naváženo 5000 mg síry (s přesností na miligramy) o hustotě $\rho_s = 2070 \text{ kg/m}^3$ a 7000 mg železa (s přesností na miligramy) o hustotě $\rho_{\text{Fe}} = 7\,860 \text{ kg/m}^3$.

SPLNĚNÝ LIDSKÝ SEN

19. září 1783 se v balónu bratří MONTGOLFIERŮ vznesli do vzduchu první vzduchoplavci: kohout, kachna a ovce. Balón byl naplněn teplým vzduchem a po krátkém letu úspěšně přistál 2,5 km od místa startu.

O čtvrt roku později odstartoval v Paříži první balón naplněný vodíkem s dvoučlennou posádkou a po dvouhodinovém letu bez nehody přistál. Přistání prvního vodíkového balónu s dvoučlennou lidskou posádkou u Nesle po letu z Paříže ukazuje obrázek.





Člověku se tak sice podařilo vyplout do oblak, nemohl si ale vybrat cíl své cesty. O tom rozhodoval jen směr větru. Od startu prvního balónu muselo uplynout plných 70 let, než se do vzduchu vznesla v Paříži první „řiditelná“ vzducholod’.

První vzducholod’ poháněl parní stroj, jenž otáčel třílistou vrtulí o průměru 3 m. Trojúhelníková plachta na zádi měla sloužit jako kormidlo. Řídit směr letu se ale dařilo jen za úplného bezvětří. Také rychlost letu nebyla příliš vysoká. Stačili byste jí rychlou chůzí.

Ani další zdokonalování vzducholodí a používání benzínových motorů pro pohon vrtulí nevedlo k plnému úspěchu. Vítězit nad silou větrů vzducholodě nikdy nedokázaly.

Vodíková náplň vzducholodí byla ale časovanou bombou, která nejednou vybuchla.

6. května 1937 po přeletu Atlantského oceánu shořela při přistání německá vzducholod’ Hindenburg s 97 osobami na palubě. Z nich 35 katastrofu nepřežilo. To byla tečka za snahami o využití vzducholodí pro osobní dopravu. Dnes se používají vzducholodi jen zřídka (například k reklamě) a plní se nehořlavým héliem. Daleko častěji můžete vidět na obloze sportovní teplovzdušné balóny, jež plní plynové hořáky horkým vzduchem.

Na obrázcích vpravo vidíte start teplovzdušných balonů.



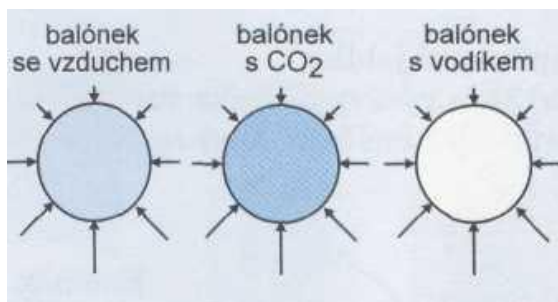
Princip teplovzdušného balónu jsme si při hodině znázornili pomocí mikroténového sáčku. Když jsme vzduch v sáčku zahřáli, vznesla se naše montgolfiéra ke stropu.

Lehoučké vzducholodě z černé fólie se dokáží vznést i tím, že v nich vzduch zahřejí sluneční paprsky. Dokážete odpovědět na otázku, proč musí mít povrch „sluneční vzducholodě“ černou barvu?



ÚLOHY

1. Na obrázku jsou tři stejně velké poutové balóny. První je naplněn vzduchem, druhý oxidem uhličitým a třetí vodíkem. Šipkami jsou znázorněny síly, kterými na balóny tlačí okolní vzduch.



Proč jsou šipky v dolní části trochu větší než v horní? Kam bude mířit výsledná síla? Proč balóny se vzduchem a s oxidem uhličitým padají k zemi a třetí balónek naplněný vodíkem stoupá? Vzduch přece tlačí na všechny tři stejně.

2. Vypočtete, jak velký je objem válce V_{VALEC} o hmotnosti $m = 1 \text{ kg}$, který je vyroben z prvku, jehož název začíná stejným písmenem jako vaše příjmení.

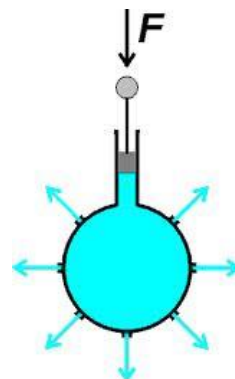
[např. Rojko – Ra (radium) nebo Svoboda – Si (křemík)]. Hustotu zvoleného prvku najdete v tabulkách nebo na internetu.

Jak velkou silou F_{ARCHVODA} je tento válec nadlehčován ve vodě, je-li zcela potopen? Jak velkou silou $F_{\text{ARCHVZDUCH}}$ je tento válec nadlehčován ve vzduchu?

TLAK VYVOLANÝ STLAČENÍM KAPALINY VNĚJŠÍ SILOU

Tlak, o kterém jsme dosud hovořili, byl tlak kapaliny vyvolaný působením zemské přitažlivosti.

V plastové láhvi můžeme tlak kapaliny zvýšit i dalšími způsoby. Například tak, že naplněnou láhev stiskneme v dlaních nebo do ní foukneme. Často se zvýšení tlaku v kapalinách dosahuje pomocí pístu, který na kapalinu tlačí.



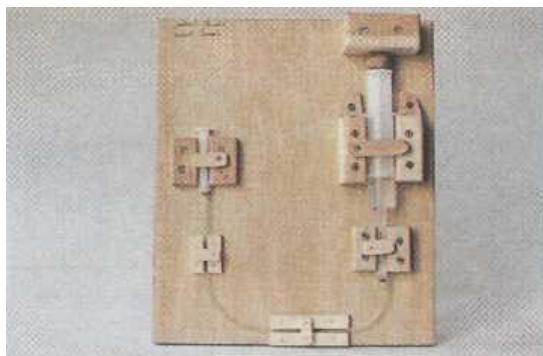
Nalijte do plastového sáčku vodu, sáček zavažte, udělejte do něj špendlíkem pár dírek a mačkejte ho v ruce. Pokus dělejte raději ve vaně než v obývacím pokoji, neboť síla, již stlačíte kapalinu v uzavřené nádobě, se projeví tím, že ve všech místech kapaliny vzroste tlak o stejnou hodnotu.

Pascalův zákon

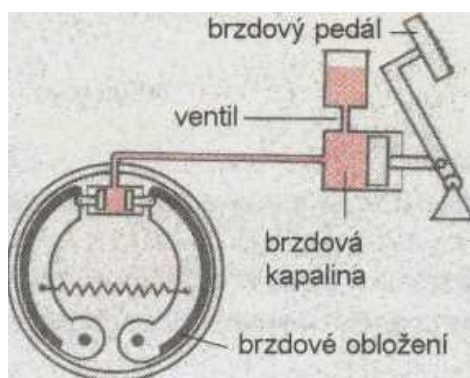
Zvýšení tlaku v uzavřené nádobě, vyvolané vnějším stlačením, je ve všech místech kapaliny stejné.

V mnoha zařízeních se této vlastnosti kapalin úspěšně využívá. Žáci Minks a Čermák ze Základní školy v Borkovicích vyrobili louskáček na ořechy, který bychom učeně nazvali hydraulický louskáček.

Když na malý píst o obsahu $S_1 = 1 \text{ cm}^2$ tlačíme jen malou silou $F_1 = 10 \text{ N}$, přenesе kapalina tlak $p = 100\,000 \text{ Pa}$ i na pravý píst. Protože je obsah pravého pístu $S_2 = 10 \text{ cm}^2$, tlačí voda na píst silou desetkrát větší - $F_2 = 100 \text{ N}$. To stačí k rozlousknutí ořechu.



Na podobném principu fungují např. hydraulické brzdy automobilů, zvedáky nákladních aut, hydraulické výtahy a lisы.



U všech hydraulických tlakových zařízení platí

tlak u malého pístu = tlak u velkého pístu

vzorcem:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

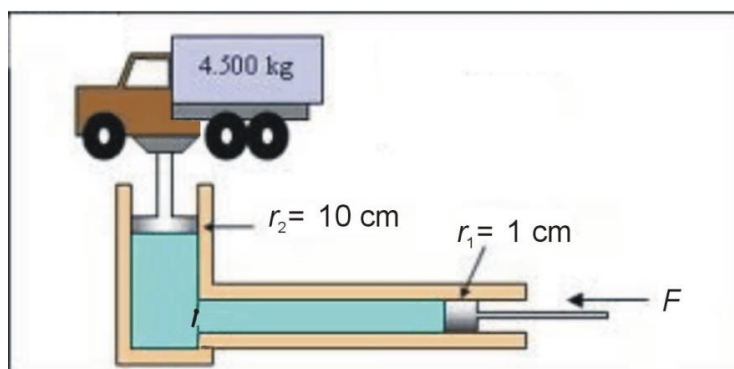
Síla, kterou působí hydraulická kapalina (nebo plyn) na velký píst, je tolikrát větší než síla na malý píst, kolikrát je plocha většího pístu větší než plocha malého pístu.

Poznámka: I u hydraulických zařízení vstupuje do hry hydrostatický tlak. Ten je ale většinou zanedbatelně malý, můžeme ho proto většinou při výpočtech zanedbávat.

ÚLOHY

1. Jak velkou silou musí působit čerpadlo hydraulického zvedáku na malý píst?

2. Po jak dlouhé dráze musí působit malý píst, má-li zvednout nákladní auto o $s_2 = 0,5$ m?



TLAK V PROUDÍCÍCH TEKUTINÁCH

Když jedete na kole proti větru, je to děsná dřina. Proudící vzduch se dokáže pořádně opřít do překážek, které má v cestě před sebou. Proto nemají protivítr rádi ani cyklisti, ani běžci. I motoristé mají s odporem vzduchu své zkušenosti. Pokud byste se z Prahy do Brna ploužili Favoritem rychlostí 50 km/h, byla by spotřeba paliva jen 4 litry benzínu na 100 km. Při rychlosti 100 km/h by souboj s odporem vzduchu zvýšil spotřebu o 6 l benzínu na 100 km.

Čím větší je rychlost, tím větší je odpor vzduchu.

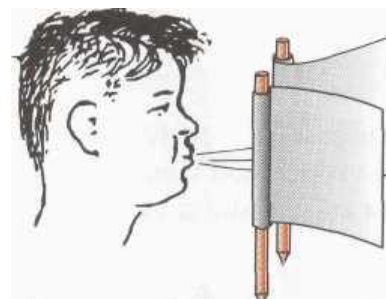
Odpor vzduchu při běžných rychlostech roste s druhou mocninou rychlosti. Při dvojnásobné rychlosti vzroste odpor vzduchu na čtyřnásobek.

Odpor vzduchu u aut můžeme zmenšit vhodným tvarem karosérie. Aerodynamické tvary najdeme na většině dopravních prostředků. Víte, proč je sjezdař tak schoulený?

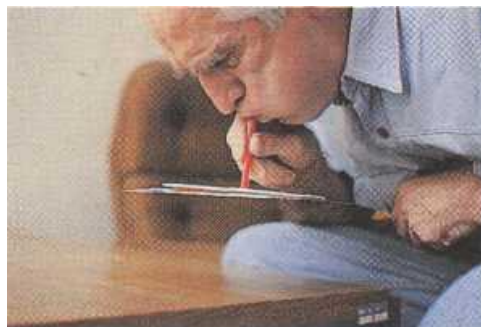


Zkuste rozfouknout dva listy papíru. Na dvě tužky připevněte lepenkou dva listy papíru vytvarované podle obrázku.

Jaký pohyb listů očekáváte, jestliže mezi ně prudce fouknete? Způsobilo proudění vzduchu, že se listy rozestoupily, jak jste asi očekávali? Rozhodněte, zda do papíru víc tlačil vzduch proudící mezi papíry nebo nehybný vzduch kolem.



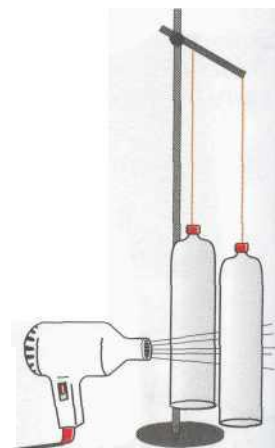
Zmenšení tlaku vzduchu při jeho pohybu jsme prokázali i další pomůckou. Tu byste si jistě také bez problému dokázali vyrobit. Stačí vám k tomu papírová nebo plastová trubička a dva kousky tuhého papíru např. pивní tácky. Ostatní dokážete vyčíst z obrázku. Než do trubičky poprvé foukne většinou pozorovatel předpovídá, že se nic nestane. Jiný výsledek, který ukáže pokus, jste jako fyzici dokázali vysvětlit. Jde o účinek proudění vzduchu na jeho tlak.



Jestli jste byli ve svém prorokování neúspěšní i podruhé, ale důkladně jste se nad pokusy zamysleli, potřetí se už určitě nezmýlíte.

Jak se pohnou láhve zavěšené na nitích, jestliže mezi ně prudce fouknete?

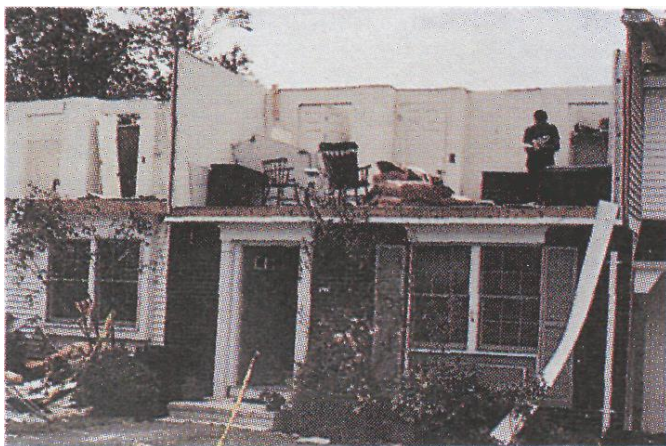
Udělejte si tento pokus doma. Můžete otestovat své rodiče a sourozence, jestli i oni vědí, že proudící vzduch tlačí do stran méně než okolní vzduch jenž se nehýbe.



Půjčte si od maminky fén, nasuňte na hrdlo stočený papír jako trysku. Zapněte fén a namiřte ho vzhůru. Položte do proudu vzduchu pingpongový míček. Odfoukne fén míček do strany nebo ne?



Při pohledu na dolní fotografii byste asi před provedením předcházejících pokusů řekli, že střechu z domu strhnul prudký vítr. Dokážete už teď vysvětlit zvednutí střechy přesněji? Rozdíl tlaku na půdě a nad střechou je tím větší, čím rychlejší je vítr.

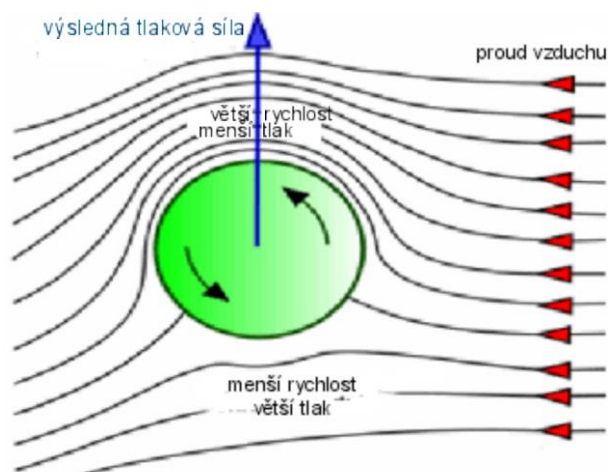


Nehybný vzduch pod střechou měl větší tlak než velmi rychlý vítr proudící nad ní.

Střecha tedy byla vytlačena zespoda, nikoli vytažena větrem. Víme už z předcházející výuky, že plyny dokáží jen tlačit, nikdy táhnout.

V proudící kapalině nebo v proudícím plynu není tlak ve všech místech stejný. Na plochu postavenou kolmo na směr pohybu tekutiny je tlaková síla větší (ve srovnání s tím, když je vzduch v klidu). Na plochu postavenou ve směru podél tekutiny je tlaková síla menší než při klidu. Tlak je tím menší, čím větší je rychlost vzduchu.

Ve sportu se závislost tlaku vzduchu na rychlosti jeho proudění využívá k tzv. „falším“ letu míče ve fotbale, odbíjení, v tenisu i dalších míčových sportech. Protože i vzduch je trochu „lepkavý“, vhodnou rotací udělenou míči se docílí, že vzduch proudí kolem míče různou rychlostí. Díky různému tlaku vzduchu se pak trajektorie letu různě zakřivuje. Uvedený jev se po svém objeviteli nazývá Magnusův jev.



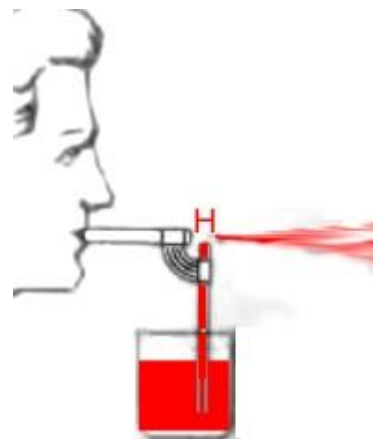
ÚLOHY

1. Fotbalista na obrázku kopne do míče tak, že letí vpřed, ale přitom rotuje ve směru otáčení hodinových ručiček, jak ukazuje obrázek. Dokážete předpovědět, na kterou stranu bude při letu vpřed míč zatáčet? Uvažte, kde bude „lepkavý“ vzduch proudící kolem míče rotací míče zrychlován a kde zpomalován.



2. Vysvětlete princip činnosti fixírky sloužící k rozprašování tekutin. Porovnejte tlak u hladiny barvy v nádobce a tlak v místě **H** u ústí foukací trubičky.

Vysvětlete, proč se tyto tlaky liší.

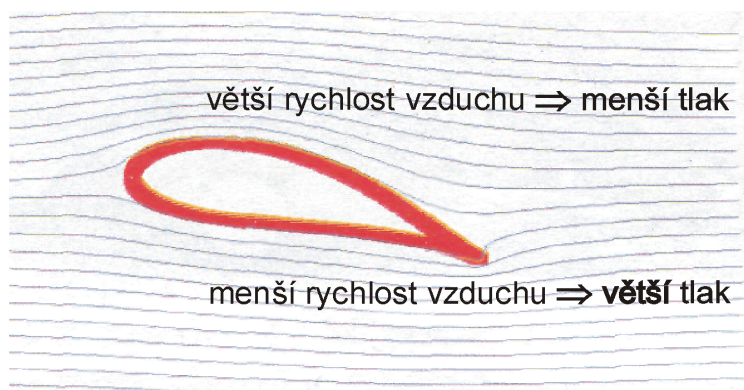


LÉTÁNÍ

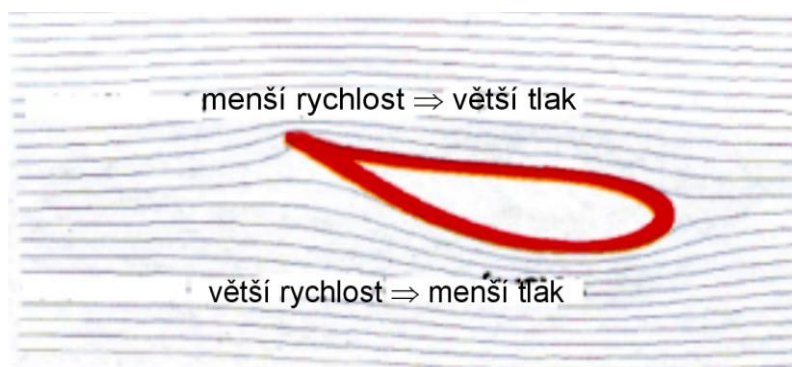
Daleko dříve před lidmi se naučili využívat proudění vzduchu ptáci. Dokáží se udržet ve vzduchu dlouhé minuty bez jediného mávnutí křídel.

I v tomto případě přemáhá gravitaci tlak vzduchu, jenž proudí kolem křídel.

Proud vzduchu, který obtéká křídlo, nemá všude stejnou rychlost. Nahoře proudí rychleji a tlačí na křídlo méně než pomalejší vzduch pod křídlem.



Závodní automobily používají křídla „naruby“ tzv. spoilery natočené tak, aby vůz přitlačovaly k závodní dráze a zvětšeným třením zlepšily jeho ovladatelnost.



První pokusy, kdy chtěl člověk napodobit ptáky, skončily neslavně. Skot DAMIAN si zlomil nohu při pokusu s perutěmi slepenými z orlích per. Krejčovský mistr BERBLINGER přistál v Dunaji.



První úspěch slavil až kluzák s pevnými křídly GEORGE CALEYE (čti kelaj), s nímž se vznesl desetiletý chlapec. Motorový let letadla se o více než 50 let později zdařil Američanům G. WHITEHEADovi (čti „vajthed“), který se svým letadlem uletěl přes 11 km a bratrům ORVILLU A WILBUROVI WRIGHTOVÝM (čti „rajt“).

Přelet průlivu La Manche uskutečněný Francouzem BLERIOTEM v roce 1909 odstartoval pionýrské lety přes oceány a kontinenty, jež znamenaly začátek letecké dopravy. V Čechách byl prvním úspěšným letcem pardubický aviatik JAN KAŠPAR.

5. ČÁSTICOVÁ STAVBA LÁTEK

LÁTKY A JEJICH SLOŽENÍ

Vše, co kolem sebe vidíme, se skládá z látek, někdy jednodušších, jindy složitějších. Některé látky jsou za běžných podmínek pevné (např. dřevo, ocel, led ...), jindy kapalné (např. voda, líh, olej) nebo plynné (vzduch, vodík, oxid uhličitý, vodní pára....). Voda, kterou známe ze své denní zkušenosti ve všech třech podobách – tzv. *skupenstvích*, není výjimkou. Za určitých podmínek (tlaku a teplotě) se v pevném, kapalném i plynném skupenství může octnout železo, a podobně dokážeme, aby se oxid uhličitý, který známe jako plyn, jenž vybublává ze sodovky, stal kapalným nebo tuhým. Stejně je tomu u dlouhé řady dalších látek.

U složitějších látek ale dříve než dojde k jejich přeměně v plyn, dochází k jejich rozkladu v látky jednodušší.

Rozdíl mezi látkou v pevném, kapalném a plynném skupenství je v tom, jak jsou uspořádány částice (atomy, ionty, molekuly), které látku skládají, a jaký je způsob jejich pohybu.



Modelové znázornění stavby látky v tuhém, kapalném a plynném skupenství a tepelného pohybu jejích částic

Na obrázku je zjednodušeně znázorněno, že se látky v pevném skupenství vyznačují pravidelnou stavbou částic. V kapalném skupenství je tato pravidelnost jen na menší vzdálenost. Ve skupenství plynném je celá stavba zcela rozrušena, částice jsou tak daleko od sebe že se vzájemně nepřidrží, s výjimkou těch, které se k sobě náhodou přiblíží a srazí.

Vzdálenosti částic v pevných a kapalných látkách se pohybují v desetimiliontinách milimetru (*desetinách nanometru* tj. $0,0000000001\text{ m} = 10^{-10}\text{ m}$), v plynech při běžném tlaku a teplotě jakou má vzduch, který nás obklopuje, jsou vzdálenosti částic, ve srovnání s kapalinami a pevnými látkami, v průměru víc než desetinásobné.

Obrázek také ukazuje, že částičky ve svých polohách nejsou nehybné, ale konají neustálý pohyb. V pevné látce nesmírně rychle kmitají na všechny strany. Čím větší je teplota látky, tím více se částice vzdalují od své rovnovážné polohy a od sebe. Některé si dokonce vyměňují místo se sousedy. Říkáme,

že v látce dochází k *difuzi*. Jestliže k sobě těsně přitiskneme dva plíšky z různých kovů, objevíme po určité době v povrchové vrstvě atomy sousedního kovu.

V kapalinách je difuze mnohonásobně silnější. Jednoduchým pokusem dokážeme, že během několika hodin dojde díky *termickému pohybu* částic k rovnoměrnému rozptýlení barviva ve vodě.



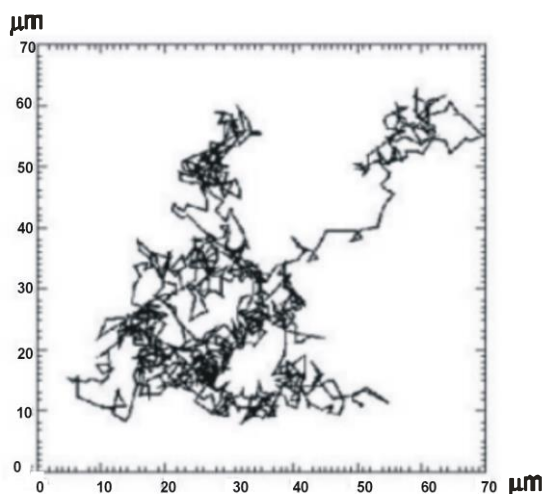
Difuze hypermanganu ve vodě

Voňavku otevřenou v místnosti za chvíli ucítíme ve vzdáleném rohu i když v místnosti nebude průvan. Difuze probíhá v plynu nejintenzivněji, protože částice jsou od sebe tak daleko, že na sebe mezimolekulárními silami nedosáhnou, mají i více volného místa pro svůj volný pohyb a pohybují se již při běžných teplotách rychlostí tryskových letadel.

BROWNŮV POHYB

Nejpřesvědčivějším důkazem o neustálém chaotickém pohybu částic v kapalinách a plynech je tzv. Brownův pohyb.

Skotský biolog Robert Brown si v roce 1827 při mikroskopickém pozorování pylových zrněk všiml, že se zrnka ve vodě pohybují. Brzy prozkoumal i podobné chování mikroskopicky malých částíček sazí, skla, nejrůznějších minerálů i kovových materiálů. Všechny se ve vodě bez ustání třaslavě chaoticky pohybovaly z místa na místo. Dnes už víme, že je to způsobeno tím, jak do nich narážejí ze všech stran molekuly vody, vykonávající tzv. Brownův pohyb.

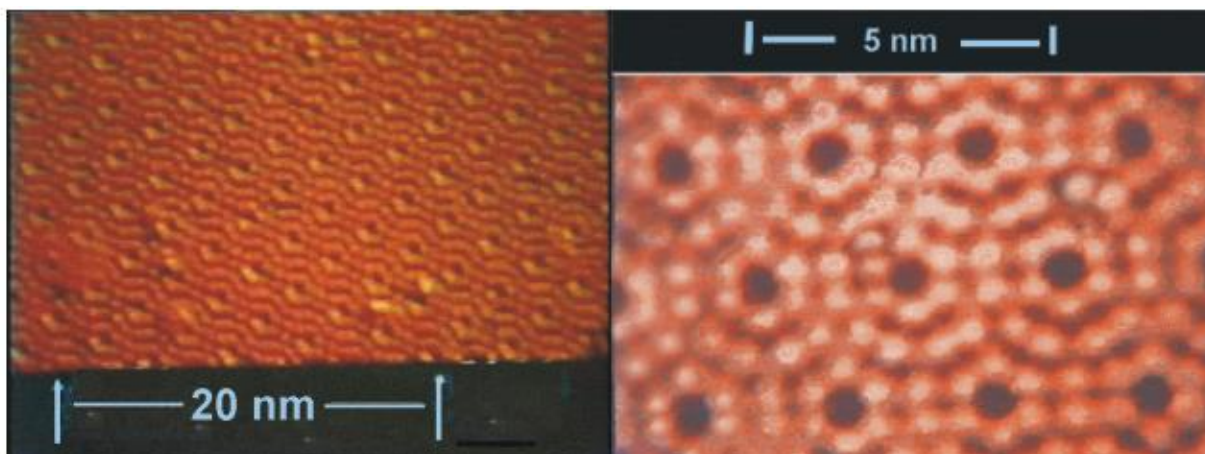


Na předchozím obrázku je záznam pohybu mikroskopické kapičky mléka ve vodě v čtyřsekundových intervalech

Brownův pohyb můžeme mikroskopem pozorovat i u částíček kouře ve vzduchu. Molekuly vzduchu (kyslíku a dusíku) i za běžných teplot neustále létají úžasnou rychlostí tryskových letadel (stovky metrů za sekundu), narážejí do zrníček z nichž je složen dým a tím je rozhýbávají.

ATOM – ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ PANEL LÁTEK

Všechny látky jsou složeny ze stavebních částic – *atomů* nebo z jejich skládanek – *molekul*. Dnes již existují mikroskopy (např. tunelový), které dokáží ostrým hrotem na dokonale vyhlazeném povrchu kovového vzorku „nahmatat atomové hrby“.



Povrch křemíku zobrazený tunelovým mikroskopem

Vidět do nitra atomu ovšem nikdy nedokážeme, ať budou naše mikroskopy sebedokonalejší. Proto se musíme spokojit s obrázky, na nichž si atom zjednodušeně znázorňujeme modelem,

Pudingový model navrhl britský fyzik Thomson. Atom si představoval jako nepatrnou kuličku kladně nabitého „pudinku“, ve kterém jsou záporné „minihrozinky“ – elektrony.

O necelých 20 let později se při ostřelování tenké zlaté folie „těžkými“ částicemi α (7342 krát těžší než elektron) ukázal neočekávaný výsledek:

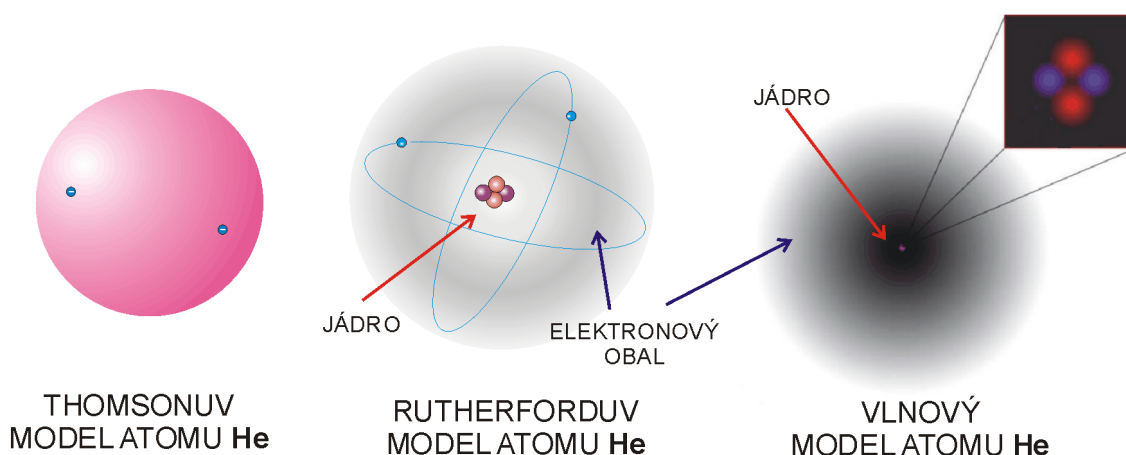
Ernest Rutherford o tom píše:

Jednou ke mně přišel rozrušený Geiger a povídá: „Zdá se, že jsme pozorovali v několika případech rozptylu odrazení částice alfa dozadu“. Toto je nejnepravděpodobnější událost v celém mém životě. Je to takměř tak málo pravděpodobné, jako kdybyste patnáctipalcovým dělostřeleckým nábojem stříleli do tenkého cigaretového papíru a náboj by se od papíru odrazil dozadu a vletěl rovnou do vás. Když jsme to všechno analyzovali, pochopil jsem, že takový rozptyl dozadu musí být výsledkem jediné srážky a po příslušných výpočtech jsem viděl, že to není možné jinak, jen když předpokládáme, že převážná většina hmotnosti atomu je soustředěná v maličkém

jádře, zajímavícím jenom ždibíček z celého objemu atomu. Právě tehdy se ve mně zrodila myšlenka o atomu s maličkým jádrem, ve kterém je soustředěný celý kladný náboj atomu".

Tak bylo objeveno, že kladný náboj není v atomu rozmáznut po celém objemu, ale naopak stěsnán na nepatrné *atomové jádro*, jež je obklopeno *elektronovým obalem*. Na svět přišel planetární model Rutherfordův. Dnes víme, že i ten má daleko k věrnému obrazu atomu, ale přesto ho dodnes v učebnicích najdete, protože pro vysvětlení některých vlastností atomu postačuje.

Ani obrázek vlnového modelu není zdaleka dokonalý. Elektronový obal může být různého tvaru podle stavu, ve kterém se atom nachází.



Thomsonův, Rutherfordův a vlnový model atomu helia

Atomové jádro

Atomové jádro není jednotlivý celek, ale tvoří ho kladně nabitě *protony* společně s přibližně stejně těžkými, avšak elektricky neutrálními *neutrony*. Elektronový obal vytvářejí záporně nabitě elektrony, které jsou téměř dvoutisíckrát lehčí než částice jádra. Záporně nabitých elektronů je v obalu stejný počet jako kladných protonů v jádře. Atomy se proto navenek často chovají tak, jako by elektrické náboje v sobě neměly.

elektron	proton	neutron
J.J.Thomson	E.Rutherford	J.Chadwick
1897	1920	1932

Stavební částice atomu

Atomy téhož prvku mají v jádře stejný počet protonů, ale mohou se lišit počtem neutronů, říkáme, že prvek má různé *izotopy*. Většina prvků je směsí několika izotopů.

Stříbro, které má 47 protonů v jádře, tvoří zhruba napůl izotop s 60 neutrony v jádře a další izotop s 62 neutrony v jádře. Stručněji zapisujeme $^{107}_{47}\text{Ag}$ a $^{109}_{47}\text{Ag}$.

Horní číslo je *nukleonové*, udává součet protonů a neutronů (společný název *nukleony*).

Dolní číslo je *protonové*. Rozdíl obou čísel informuje o počtu neutronů. Počet protonů souhlasí i s pořadím prvku v periodické tabulce prvků D.I.Mendělejeva.

I nejlehčí prvek, vodík, má dva izotopy. V přírodě je zdaleka nejvíce zastoupen izotop ${}^1_1\text{H}$ (*lehký vodík*) ale nepatrně i ${}^2_1\text{H}$ (těžký vodík – *deuterium*, někdy zapisovaný značkou ${}^2_1\text{D}$). *Těžká voda* D_2O je sloučenina kyslíku a těžkého vodíku.

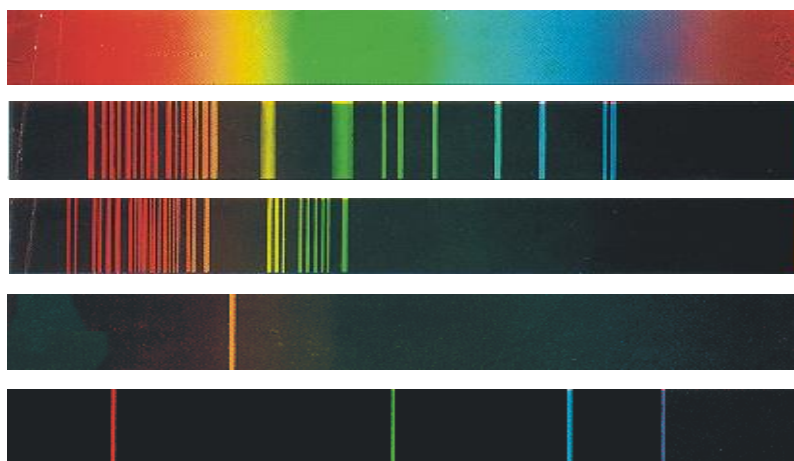
ZÁŘÍCÍ ATOMY

Stejně jako se liší atomy různých prvků stavbou svých jader, jsou rozdílné i jejich elektronové obaly. Nejpodrobnější zprávy o elektronovém obalu nám přináší světlo, které atom vysílá, jestliže ho k tomu vyprovokujeme dodáním energie. Původně se fyzikové domnívali, že energie nashromážděná v elektronovém obalu závisí téměř výhradně na tom, jak daleko od jádra elektrony obalu obíhají.

Dnes víme, že představa o elektronu jako malé kuličky obíhající kolem jádra patří skoro do říše pohádek. Přesnější je nahlížet na elektronový obal jako na komůrku, v níž bychom našli elektron v různých místech s různou pravděpodobností.

Se změnou energie atomu se mění i elektronový obal, tj. pravděpodobnost výskytu elektronů v různých oblastech okolo jádra.

Ve svítících neonových reklamách, pouličních sodíkových výbojkách i v zářivkách světlo vyzařují atomy, když se zbavují energie, kterou jsme jim poskytli. Díky odlišné stavbě elektronových obalů je vysílané světlo pro každý prvek stejně charakteristické, jako otisky prstů pro pachatele. Astronomové tak mohou zkoumat i vzdálené hvězdy. Aby světlo prozradilo víc o svém zdroji je ovšem potřeba ho rozložit. Barva světla, jak ji vidíme prostým okem, je totiž namíchána z palety barev, které atom vysílá. Jak ze složeného světla získáváme jednoduché barvy této palety, tzv. spektrum, se dozvíte v optice.



spektrum
žárovky
spektrum
dusíku
spektrum
neonu
spektrum
sodíku
spektrum
vodíku

Spektrum žárovky a spektra N, Ne, Na, H

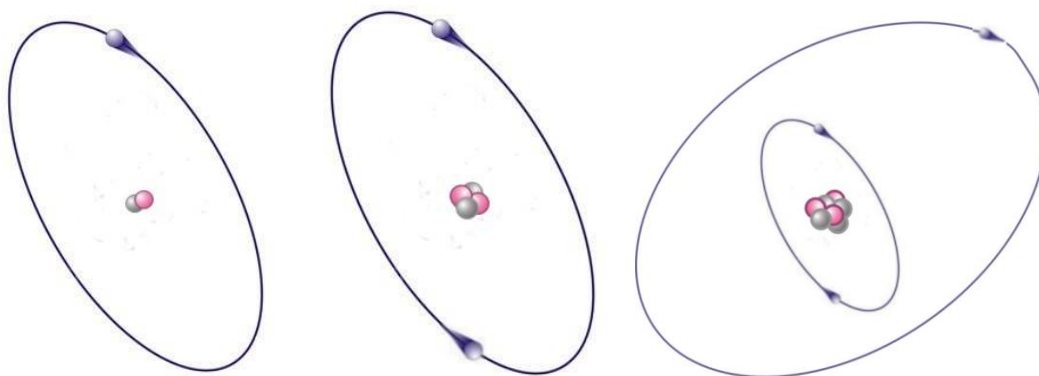
Dodáním dostatečně velké energie, například nárazem prudce letícího elektronu nebo jiné částice můžeme dokonce z obalu elektron vyrazit a přetvořit atom v kladně nabitý *iont*.

O elektronovém obalu atomů nám přináší podrobné zprávy světelné záření, které atomy vysílají a to jak *viditelné*, tak i neviditelné *infračervené* a *ultrafialové* i *rentgenové*.

Podobně nás o atomovém jádře informuje *jaderné záření*, které vysílají některá jádra i bez našeho přičinění (říkáme, že jsou *radioaktivní*). Jiná *stabilní* jádra dokážeme dodáním dostatečně velkých porcí energie k záření vyprovokovat. O těchto a dalších vlastnostech jádra se dozvíte v dalším roce.

ÚLOHY:

1. Co znázorňují modely na obrázcích?



2. Kterých atomů je v lidském těle nejvíc? (Uvažujte, převládající látku v těle a její složení.)

3. Kolikrát je atom Pb (v jádře 82 protonů a 125 neutronů) těžší než atom He?

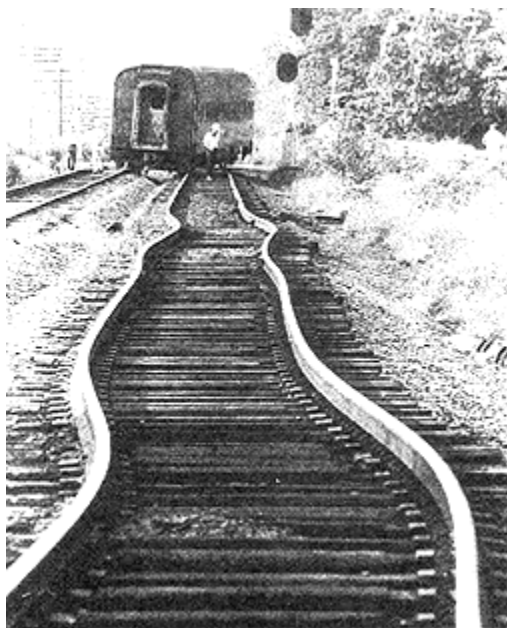
4. Proč atomy v látce, jež je v plynném skupenství, nemohou kmitat a mezi srážkami jen přímočaře rovnoměrně létat?

6. TERMIKA

DÉLKOVÁ TEPLOTNÍ ROZTAŽNOST

Proč vykolejil vlak, který vidíte na sousedním obrázku je zřejmé. Příčinou byly zdeformované koleje. Vlivem jejich zahřátí při mimořádně parném dnu došlo k jejich nadměrnému prodloužení, jemuž neodolaly špatně ukotvené pražce ani upínací svorky.

Koleje nejsou samozřejmě výjimkou. S růstem teploty se zvětšují rozměry téměř všech předmětů. Jev označujeme jako teplotní délkovou roztažnost.

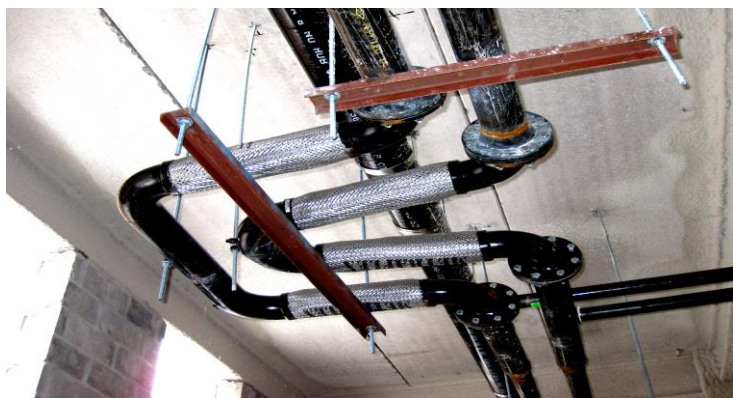


Všimněte si na druhé fotografii drátů elektrického vedení - jsou vždy prověšené. Co by se stalo v zimě, kdyby byly v létě při montáži co nejvíce napnuty, jistě dokážete odhadnout.

Změny délky předmětů s růstem teploty jsou nejvýraznější u dlouhých objektů. Aby se např. zabránilo deformování dlouhých mostků, nejsou jejich vodorovné části (mostovky) často pevně ukotveny, ale spočívají na válečkách a jsou mezi nimi spáry.



Teplovodní potrubí mají tzv. expanzní smyčky, umožňující při změnách teploty pružné teplotní deformace bez nebezpečí poškození potrubí.



OBJEMOVÁ TEPLOTNÍ ROZTAŽNOST

U předmětů se samozřejmě nemění s teplotou jen jeden rozměr. Při hodině fyziky jsme viděli pokus s kuličkou a prstencem, který ukazoval teplotní roztažnost objemu kuličky.



Studená kulička snadno prstencem prošla. Po zahřátí nad plamenem kahanu se však její objem zvětšil natolik, že prstencem okamžitě neproklouzla. Když ale chvíli na prstenci seděla, podařilo se jí opět propadnout na opačnou stranu. Proč? Prstenec se trochu ohřál a jeho otvor se zvětšil. Teplota kuličky se naopak zmenšila a její objem se tedy naopak zmenšil.

Při zahřívání nebo ochlazování mění svůj objem i plyny a kapaliny.

Když jsme nafouknutý pouťový balónek zahřáli fénem, zjistili jsme zvětšení jeho objemu změřením obvodu.



Podobný pokus jsme udělali s vodou.

Skleněnou láhev jsme naplnili až k okraji obarvenou studenou vodou. Pak jsme do láhve zastrčili tenkou trubičku a utěsnili ji v hrdle láhve tak, aby vyčnívala několik centimetrů ven. Po ponoření láhve do nádoby s horkou vodou jsme viděli, že voda v trubičce začala stoupat. Voda v láhvi zvětšila svůj objem a vystoupala do trubičky.



I to, proč se nevyrušilo zvětšení objemu skleněné láhve a vody uvnitř jsme odhalili. Sklo se zřejmě roztahuje zahříváním méně než voda.

Měli bychom si ale zapamatovat, že voda je v rozmezí od 0°C do 4°C mezi kapalinami výjimkou z hlediska závislosti svého objemu na teplotě. Zahříváme-li vodu z 0°C na 4°C, zmenšuje se její objem a její hustota roste. Při teplotě 4°C voda dosahuje max. hustoty 1000 kg na kubický metr. Teprve od teploty 4°C zahříváním vody její objem roste a hustota se zmenšuje. Tuto odlišnou závislost hustoty vody na teplotě (v porovnání s ostatními kapalinami) nazýváme *anomálie vody*.

Anomálie vody je důležitá pro život vodních živočichů.

V zimě se voda o největší hustotě (teplota 4 °C) nachází u dna. Proto zde mohou přežívat organismy v zimním období. Studenější nebo zmrzlá voda (s menší hustotou) je ve vrchní části vodní nádrže.

Při výuce jsme proměřili prodlužování kovové tyče při růstu teploty. Vzorec pro přírůstek délky jste sami našli:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_1 \cdot \Delta t$$

kde Δl přírůstek délky tyče (m)

α materiálová konstanta tzv. součinitel délkové roztažnosti (1/°C)

l_1 počáteční délka tyče (m)

Δt přírůstek teploty (°C)

Hodnoty několika součinitelů teplotní délkové roztažnosti udává tabulka.

látko	α (1/ °C)	látko	α (1/ °C)
Hliník	$24 \cdot 10^{-6}$	Měď	$17 \cdot 10^{-6}$
Olovo	$29 \cdot 10^{-6}$	Zinek	$29 \cdot 10^{-6}$
Železo	$12 \cdot 10^{-6}$	Iridium	$6 \cdot 10^{-6}$
Ocel	$11 \cdot 10^{-6}$	Beton	$10 \cdot 10^{-6}$
Sklo	$6 \cdot 10^{-6}$ až $9 \cdot 10^{-6}$		

ÚLOHY

1. Eiffelova věž má (včetně antény na vrcholu) výšku 324 metrů. Předpokládejte, že tato výška byla naměřena při teplotě 30 °C. Věž je vyrobena z oceli. Zanedbejte změny součinitele α při tak velkém teplotním rozdílu.

a) Určete zkrácení délky této věže při teplotě -273 °C (téměř absolutní nula).

b) Jaká by byla délka věže při této teplotě?

2. Hliníková tyč měla při teplotě 24 °C délku 513,1 mm. Při teplotě 75 °C vzrostla její délka na 513,7 mm. Jaká hodnota součinitele teplotní roztažnosti α vychází z tohoto měření pro hliník?

3. Ocelová krychlová kostka o hraně $a_1 = 10$ cm (při teplotě 0 °C) byla zahřata na 100 °C.

$$\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

a) Jaký byl počáteční objem V_1 kostky?

b) Jaký byl přírůstek Δa délky hrany kostky?

b) Jaký byl konečný objem V_{100} kostky?

c) Jaký byl přírůstek objemu ΔV kostky?

d) Jaký součinitel objemové roztažnosti β z toho vychází, předpokládáme-li pro objemovou roztažnost obdobný vztah, jako pro roztažnost délkovou: $\Delta V = \beta \cdot V_1 \cdot \Delta t$.

4. O kolik by musela vzrůst teplota zinkového drátu, aby přírůstek jeho délky byl roven 1‰ tj. 1/1000 původní délky? (

5. Ve kterém případě se délka ocelové tyčky nejvíce změnila, jestliže

a) vzrostla ze 2 °C na 12 °C

b) klesla ze 100 °C na 90 °C

c) vzrostla z -5 °C na 5 °C

d) poklesla z 1 °C na -11 °C

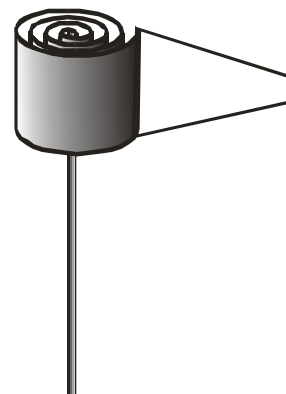
6. Zhotovte model „bimetalu“

Potřeby: Papír, alobal, špejle, lepidlo, nůžky svíčka, zápalky

Provedení:

Na papír narýsujte obdélník 10 x 1,5 cm. Vystříhněte ho a nalepte na alobal. Opět vystříhněte a nechte zaschnout. Vyrobili jste model papírmetalového pásku. Pásek nalepte koncem na špejli a omotejte pásek několikrát kolem špejle do tvaru spirály tak, aby alobal byl na vnější straně. (viz obrázek). Model uchopte za špejli a dejte zahřívát například k plameni svíčky. Bude se spirála stáčet nebo roztáčet?

Rozhodněte z výsledku pokusu, zda se prodlužuje alobal při zahřívání více nebo méně než papír? Svůj výrobek přineste na obodování do školy.

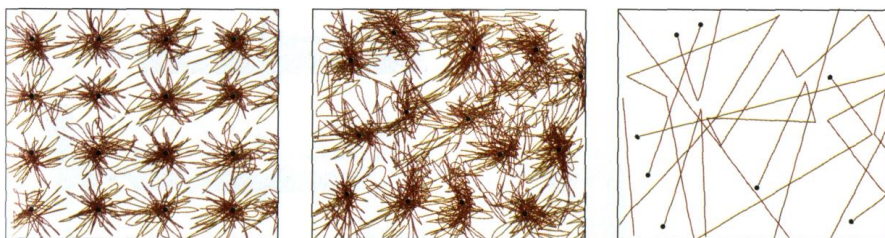


TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ

Když se dotkneme různých předmětů kolem sebe cítíme, že je vodovodní kohoutek studenější než deska lavice, radiátor ústředního topení teplejší než sklo okenní tabule, vzduch, jež foukneme na svou dlaň je chladnější než vzduch proudící z fénu na sušení vlasů.

Veličina, která charakterizuje tento stav těles je **teplota**.

Teplota souvisí s *termickým pohybem* částic látky, který modeluje následující obrázek.



Čím intenzivněji se částice látky pohybují, tím je teplota látky větší.

U pevných a kapalných látek se s růstem teploty zvětšuje rozkmit částic a jejich vzdálenost.

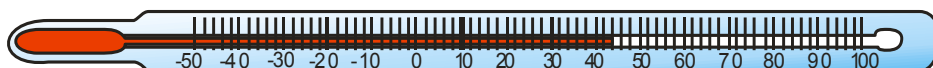
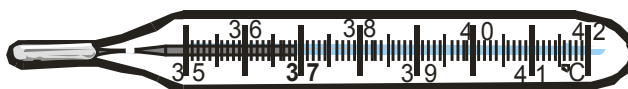


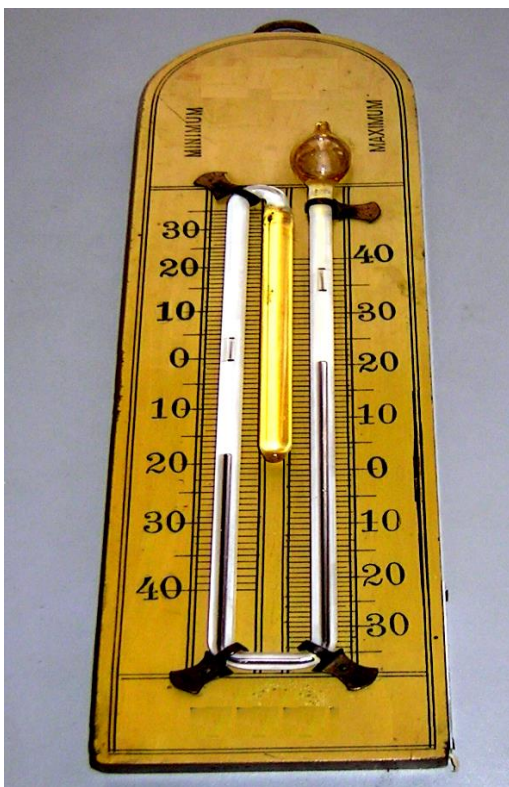
V plynech je při vyšší teplotě větší rychlost rovnoměrného pohybu jejich částic mezi srážkami.

Teploměry

K měření teploty se využívají teploměry, jež pracují na různých principech.

Nejznámější jsou **kapalinové teploměry**, které využívají objemovou roztažnost kapalin při růstu teploty.

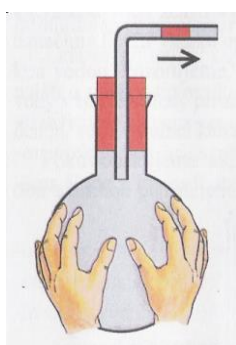




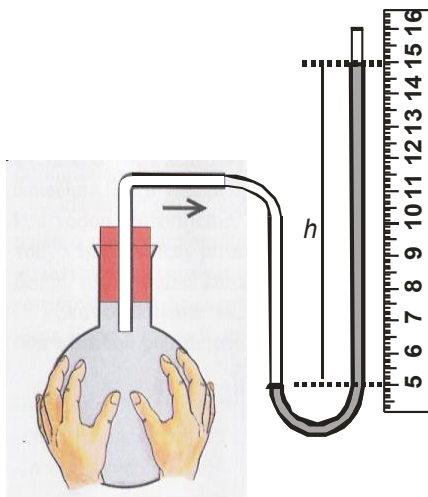
Kapalinový **minimo-maximální teploměr** měří teplotu podle roztažnosti alkoholu nebo etéru (žlutá kapalina v jímce uprostřed), který při svém roztahování posunuje stříbrnou rtuťovou zátku v U trubici. Hladina rtuti ukazuje hodnotu teploty v obou ramenech trubice. Při svém pohybu rtuť posouvá i ocelové hřebíčky, které ukazují nejvyšší dosaženou teplotu (vpravo) a nejnižší teplotu (hřebíček v levém rameni).

Při počátku měření stáhneme hřebíčky magnetem tak, aby se hladina rtuti dotýkaly.

Plynové teploměry měří teplotu ze změny objemu plynu nebo tlaku plynu při změně jeho teploty. Objem a tlak plynu roste rovnoměrně s růstem jeho teploty. Pokus vlevo ukazuje změny objemu a vpravo změny tlaku plynu při zahřívání dlaněmi.

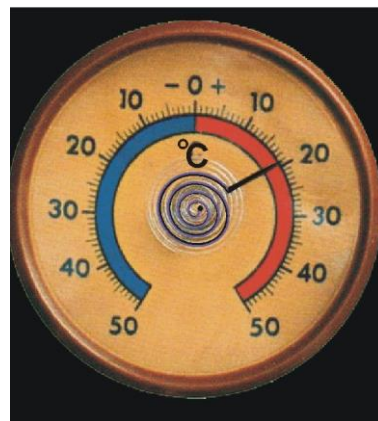


měření teploty ze změny objemu

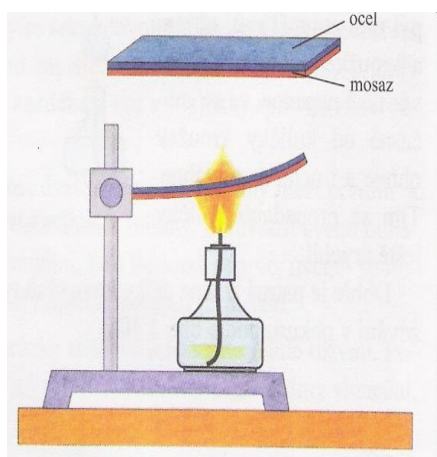


měření teploty ze změny tlaku

Bimetalové teploměry (bimetal – dvojkov) využívají různou teplotní roztažnost dvojice kovů (např. ocel a mosaz). Bimetalový pásek je složen ze dvou kovů o různých tepelných roztažnostech. Kovy jsou navzájem pevně spojeny (např. slisovány nebo spojeny plošným svarem). Při ohřívání nebo ochlazování dochází na různých stranách pásku k různému roztahování kovů. Pásek z oceli s větší tepelnou roztažností se při vyšší teplotě více prodlužuje oproti pásku s menší tepelnou roztažností a dvojice se proto zkrucuje na stranu méně roztaženého pásku. Ohyb pásku je převeden na pohyb ručičky přístroje.

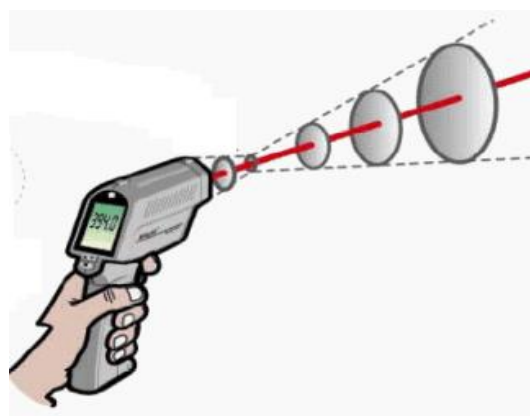


U teploměru je bimetal zkroutený a při větší teplotě je více stočen, při poklesu teploty se poněkud rozkrucuje. Ohyb je mechanicky převeden na pohyb ručičky teploměru.



Infračervený teploměr vyhodnocuje teplotu předmětu měřením energie infračerveného záření, která dopadá na jeho detektor. Základní konstrukce většinou sestává z čočky k soustředění této energie, a poté se tato energie mění na elektrický signál a ten může být zobrazen v jednotkách teploty.

Toto uspořádání usnadňuje měření teploty ze vzdálenosti bez dotyku s daným měřeným objektem. Proto se infračervené teploměry používají pro měření teploty v podmínkách, kde nemohou být použity dotykové teploměry.



Termočláňkové teploměry

Spojí-li se konce dvou různých vhodných kovových vodičů (např. z mědi a konstantanu) a zahřejí se v tomto místě, vznikne mezi vodiči elektrické napětí. Měření teploty tak převádíme na měření elektrického napětí.



Elektrické digitální multimetry změřené napětí převádějí automaticky na údaj o teplotě.

Odporové teploměry využívají vlastnosti kovů, že s rostoucí teplotou hůře vedou elektrický proud (roste jejich elektrický odpor).

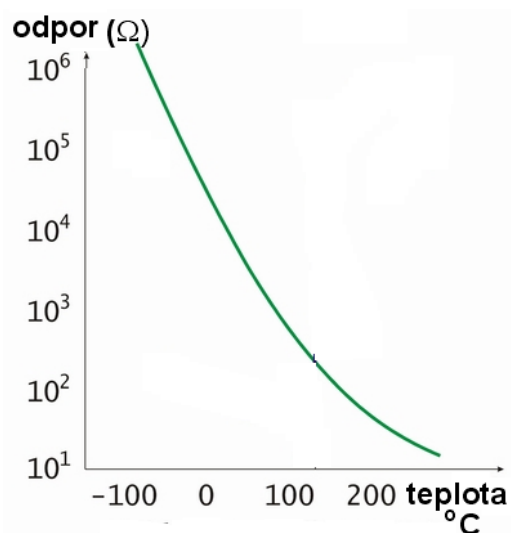
I v tomto případě změřený odpor měřidlo převádí přímo na digitální údaj o teplotě.

Většinou jsou odporové elementy tvořeny tenkým drátkem určité délky, navinutým kolem keramického nebo skleněného tělíska. Odporový element je vyroben z čistého materiálu, jehož odpor byl při různých teplotách co nejpřesněji proměřen. Materiál má tedy určitou změnu odporu při určité změně teploty.

Odporové teploměry patří k nejpřesnějším snímačům teploty. Nejčastěji používané kovy jsou platina, nikl a měď.



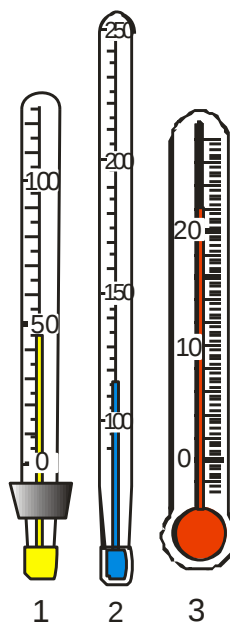
Polovodičové teploměry, podobně jako kovové odporové teploměry, využívají změny odporu s měnící se teplotou. U polovodičů se ale s růstem teploty jejich vodivost zlepšuje (odpor nerovnoměrně velmi silně klesá).



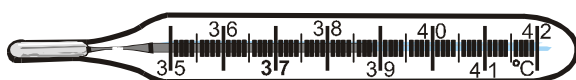
Tyto teploměry nalézají využití zejména při měření extrémně nízkých teplot, kde je využito jejich vysoké [citlivosti](#). Jako materiál k výrobě čidla se nejčastěji používá germanium, křemík a indium.

ÚLOHY

1. Jaké teploty ukazují teploměry 1, 2, 3 ?



2. Jakou teplotu ukazuje lékařský teploměr na obrázku?



3. Proč nelze rtuťovým teploměrem měřit nižší teploty než -39°C ?

TEPLOTNÍ STUPNICE

Než došlo k volbě jednotné stupnice teploměrů, bylo nutno stanovit její počátek – jistou základní teplotu. Anglický fyzik **Robert Boyle** stanovil v r. 1664 u svého teploměru jako základní bod stupnice teplotu tajícího ledu. V roce 1665 určil další stálý bod stupnice holandský vědec **Christian Huygens**. Byla to teplota varu vody při normálním tlaku ovzduší (tj. 1013 hPa, neboť se změnou tlaku vzduchu se mění i teplota varu vody). A tak **Huygens** navrhl, aby se za základ stupnice teploměru vzala buď teplota tání ledu nebo teplota varu vody, čímž vlastně navrhl způsob používaný dodnes.

Švédský matematik a geodet **Anders Celsius** zavádí do měření desítkovou soustavu, kde teplota varu vody má číslo 0 a teplota tání ledu číslo 100. Dalo by se říci, že jím udávané hodnoty bychom spíš než *teplota* měli nazývat „*studenost*“.

Jméno toho, kdo později tyto hodnoty obrátil tak, jak je známe a používáme dnes (teplotě tajícího ledu přiřazena 0 a teplotě varu vody 100), nebylo s jistotou zjištěno. Jednotkou této stupnice je teplotní stupeň Celsiův ($^{\circ}\text{C}$).

To však nebránilo **Danielu Gabrielu Fahrenheitovi**, který začal později (r.1724) vyrábět lihové a posléze i rtuťové teploměry v Holandsku, aby si svérázně vybral za počátek stupnice tj. nulu svých teploměrů teplotu směsi ledu, vody a salmiaku (chlorid amonný NH_4Cl).

Za horní základní teplotu zvolil teplotu zdravého člověka a označil ji číslem 96 (není jasné proč – možná chtěl být originální?). Vzdálenost mezi oběma teplotami rozdělil na 24 dílů a každý z nich pak ještě na další 4, aby tak konečně dostal stupně ($^{\circ}\text{F}$). Teplota tání ledu je na této stupnici označena 32°F a teplota varu vody hodnotou 212°F . Je s podivem, že takto komplikovaně zkonstruovanou a zcela nelogickou stupnici dodnes používají v např. v USA.

Rozumnější **René de Réaumur**, pařížský zoolog, navrhl (r.1730) stupnici s nulou při teplotě tání ledu a s hodnotou 80 při teplotě varu lihu. Později byla hodnota 80°Re přiřazena teplotě varu vody.

Stupně této škály se označují $^{\circ}\text{R}$ nebo $^{\circ}\text{Re}$.

Absolutní teplotní stupnici navrhl skotský matematik a fyzik **William Thomson**, jenž byl za své výrazné vědecké úspěchy povýšen do šlechtického stavu pod jménem **lord Kelvin**.

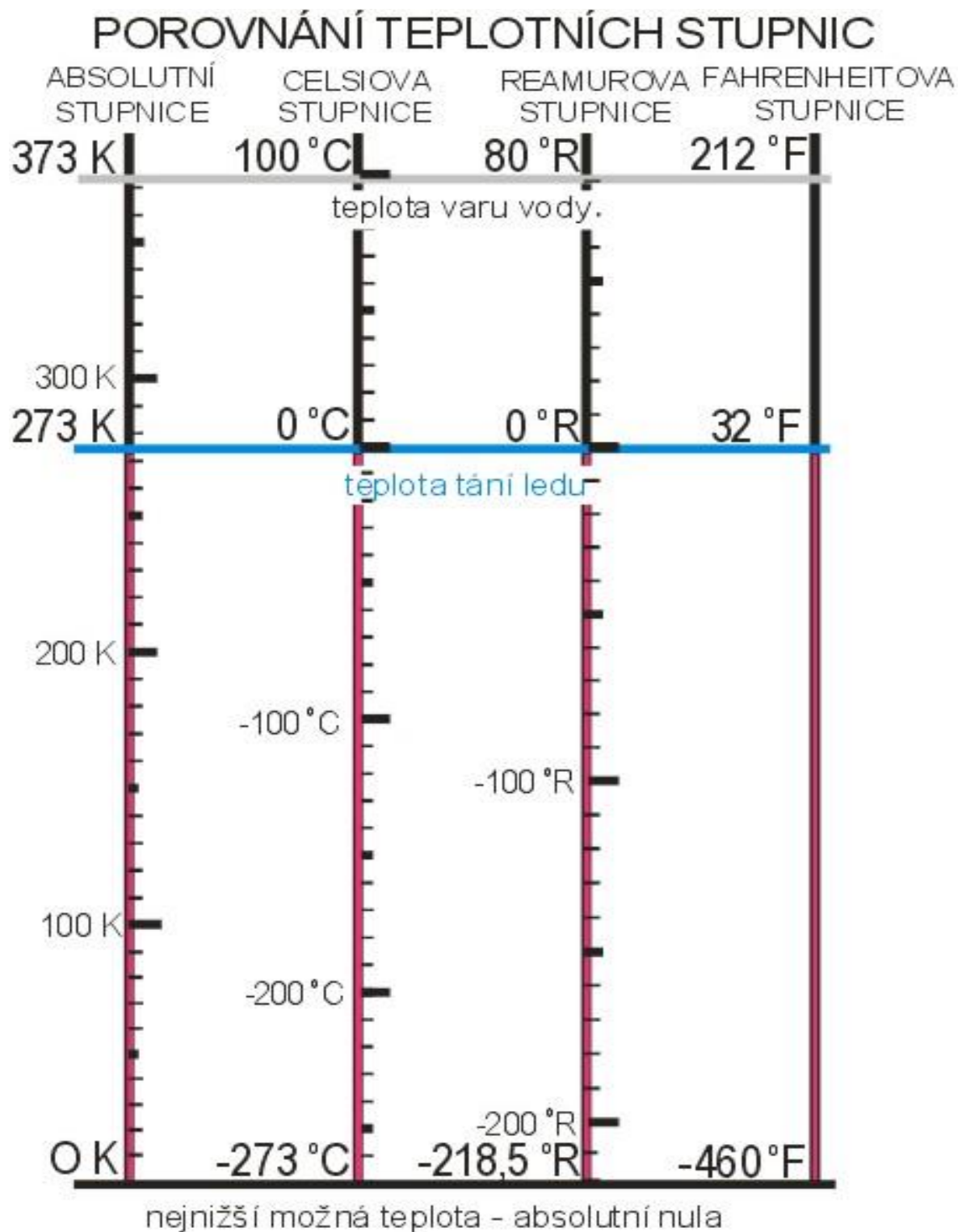
Jak jsme se už dozvěděli, souvisí teplota s kinetickou (pohybovou) energií částic, které látky skládají. Je z toho zřejmé, že nejmenší možnou hodnotu představuje nulová vnitřní energie. K tomu dochází, když teplota klesne na $-273,15^{\circ}\text{C}$. Je proto přirozené posunout nulu teplotní stupnice až na tuto nejnižší možnou hranici – tzv. **absolutní nulu**. Absolutní nula představuje takový stav látky, v níž by se zastavil veškerý tepelný pohyb částic.

Do roku 1967 se používal pro stupně absolutní teplotní stupnice pojem „*stupeň Kelvina*“ a označením $^{\circ}\text{K}$. Roku 1967 však Generální konference pro míry a váhy toto označení zrušila a nahradila prostou jednotkou *kelvin* (K).

Velikost jednoho stupně v Celsiově i Kelvinově stupnici je stejná.

Teplotní rozdíl 1 K je roven rozdílu 1°C .

V roce 2003 se fyzikům z Massachusettského technologického institutu (MIT) podařilo ochladit plyn tvořený atomy sodíku na dosud nejnižší teplotu, jaké bylo na Zemi (a možná i v celém vesmíru) zatím dosaženo. Nejnižší teplota, která byla při experimentu naměřena, dosahovala neuvěřitelných 0,5 nK (nanokelvinů) = 0,000 000 000 5 K.



ÚLOHY

1. Vyberte, ve kterém ze čtyř následujících případů vzrostla teplota o $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- | | |
|--|--|
| a) počáteční teplota $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ | konečná teplota $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| b) počáteční teplota $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ | konečná teplota $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| c) počáteční teplota $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ | konečná teplota $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| d) počáteční teplota $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ | konečná teplota $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ |

2. Která z dvojic zápisů **(A)**, **(B)**, **(C)**, **(D)** vyjadřuje tutéž teplotu?

- a) $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T = 263,15\text{ K}$
b) $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T = 283,15\text{ K}$
c) $t = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T = 274,15\text{ K}$
d) $t = -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T = -274,15\text{ K}$

3. Vyjádřete teplotu $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ v kelvinech $T =$ a teplotu $T = 200\text{ K}$ ve stupních celsia $t =$.

4. O kolik kelvinů se změnila teplota, jestliže vzrostla z $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $33\text{ }^{\circ}\text{C}$?

5. Jak se liší fyzikální význam zápisů $T = 100\text{ K}$ a $\Delta T = 100\text{ K}$. Převed' oba údaje na $^{\circ}\text{C}$.

TEPLO

Když teploměr zastrčíte do podpaždí tak vás zpočátku studí. Je zřejmé, že má jinou teplotu než vaše tělo. Po chvíli studit přestane. Vaše tělo ho zahřálo a jeho teplota se vyrovnala s teplotou vašeho těla. Když teploměr vytáhnete z podpaždí, hřeje vás do prstů. Je teplejší než prsty. Na stupnici si přečtete svou teplotu a posoudíte, jestli je menší nebo větší než $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Při měření teploty jste pozorovali, že teploměr se od vašeho těla ohřál a teplota teploměru a teplota těla se vyrovnaly. Aby se to opravdu stalo, musíte pár minut počkat. Rtuť se v baňce roztáhla, proplazila se zúženým místem do tenké trubičky. Při chladnutí se rtuť v zúženém místě přetrhne. Její sloupec bude i potom ukazovat největší teplotu, na kterou se teploměr ohřál. (I sloupeček rtuti, jenž zůstane v kapiláře se ochlazením zkrátí, ale asi jen o 1 %, tedy nepozorovatelně).

Tomu, co vaše tělo poslalo do teploměru, říkáme **teplo**.

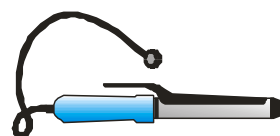
Podle překonané [fluidové teorie tepla](#) byla podstatou tepla substance - fluidum (zvané CALOR, CALORIQUE apod.), které cestuje od teplejších předmětů (našeho těla) ke studenějším (do teploměru).

Teplo je podle současných představ fyzikální veličina udávající energii, již si vyměňují tělesa různé teploty.

Jakkoli je fluidová teorie dnes překonaná, můžeme ji při řešení řady jednoduchých problémů a úloh docela užitečně používat.

Všimneme si nejdříve, jakým způsobem může teplo cestovat.

Nejsnáze cestuje mezi předměty, které se přímo dotýkají. Tomuto způsobu přechodu tepla říkáme **vedení**.



Vlasy si můžeme zahřát i nad plamenem ale lépe **prouděním** horkého vzduchu. Stejně se šíří teplo prouděním vody do hrníčku nebo do radiátorů ústředního topení.



Když se kočka vyhřívá na sluníčku, přichází k ní teplo ze Slunce **zářením**. Zářením posíláme teplo k chlebu v toustovači nebo do jídla v mikrovlnce.



Někdy ale chceme teplo v cestování zabránit.

Aby nás horký hrnec nepálil, izolujeme držadla plastem, jenž špatně vede teplo.

Aby nám nebyla zima ve studeném větru, zalezeme do závětrí a zabráníme přenosu tepla od našeho těla prouděním.

Lesklé pokovené stěny termosky se zmrzlinou zabrání přenosu tepla do jejího obsahu zářením.

Zkusme vymyslet, jak bychom ohodnotili, kolik tepla nějaký předmět spolykal.

Protože **teplo** je fyzikální veličina udávající energii, kterou si vyměňují tělesa různé teploty měříme teplo stejnými jednotkami jako energii tj. v **joulech**.

Teplo označujeme písmenem Q s jednotkou J.

V rychlovarné konvici se mění elektrická energie v teplo. Podle množství spotřebované elektrické energie je proto možné posoudit velikost předávaného tepla.

Chceme-li ohřát 1 litr vody z $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, trvá to kratší dobu než ohřátí stejného množství vody z $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je tedy jasné, že předané teplo bude tím větší, čím je větší rozdíl teplot.

Předané teplo je tím větší, čím větší je rozdíl teplot.

Když nalijeme vodu do rychlovarné konvice do její poloviny víme, že stačí polovina tepla na zahřátí do varu, ve srovnání s tím, když je plná vody. Zkušenost říká, že čím více vody nalijeme do konvice, tím déle ohřátí vody trvá (tím více tepla musíme vodě dodat na stejný vzrůst teploty).

Čím větší hmotnost má těleso, tím více tepla na jeho ohřátí spotřebujeme.

Když jsme stejně zahřívali olej a vodu, které měly stejnou hmotnost a stejnou počáteční teplotu, viděli jsme, že teplota oleje rostla mnohem rychleji než teplota vody. Různé látky potřebují na své zahřátí (při stejné hmotnosti a stejném přírůstku teploty) různou porci tepla.

*Veličině, jež charakterizuje látku co se týká její „žravosti tepla“ říkáme **měrná tepelná kapacita**, označujeme ji písmenem c . Její jednotka $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ nemá zvláštní jméno.*

Můžeme shrnout:

množství tepla, která látka přijala = měrná tepelná kapacita látky · hmotnost látky · přírůstek teploty

vzorcem:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

Q množství tepla, která látka přijala (odevzdala) (J)

c měrná tepelná kapacita látky ($\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)

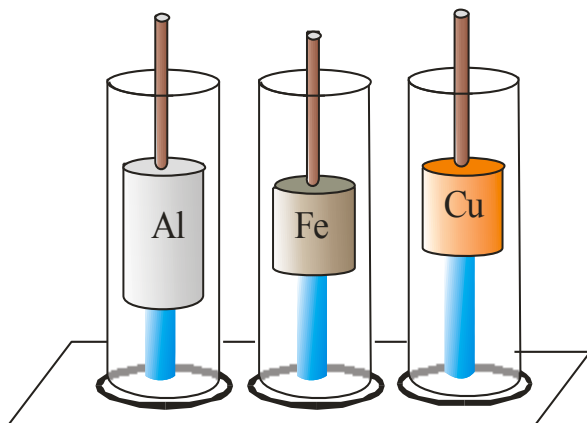
m hmotnost zahřívání látky (kg)

Δt přírůstek (úbytek) teploty ($^\circ\text{C}$) tj. rozdíl počáteční teploty t_1 a konečné teploty t_2 $\Delta t = t_2 - t_1$

Dolní tabulka obsahuje přibližné hodnoty měrné tepelné kapacity různých pevných látek, kapalin a plynů. Porovnejte, které látky potřebují k ohřátí 1 kilogramu o 1°C hodně tepla a které málo.

látka	měrná tepelná kapacita ($\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)
stříbro	230
měď	380
železo	450
hliník	900
rtuť	140
olej	1 980
voda	4 200
kyslík	910
vzduch	1 000
vodík	14 200

Různou měrnou tepelnou kapacitu nám ukázal tento pokus:



Tři válečky stejné hmotnosti z hliníku, oceli a mědi jsme zahřáli na stejnou teplotu 100 °C vnořením do vařící vody. Válečky jsme potom položili na tři svíčky. To, že válečky svíčkám nepředaly stejné teplo je vidět z toho, jaká část svíček předaným teplem roztála.

Příklad:

Na plotýnce elektrického sporáku je železný hrnec, jenž má hmotnost $m_{\text{HRNEC}} = 1 \text{ kg}$ a jsou v něm dva litry vody. Vypočítejte množství tepla potřebného na zahřátí hrnce s vodou na teplotu varu vody, byla-li jejich počáteční teplota 20 °C

- při stoprocentní účinnosti vařiče
- při 60 % účinnosti ohřevu

Řešení:

$$m_{\text{HRNEC}} = 1 \text{ kg}$$

$$m_{\text{VODA}} = 2 \text{ kg}$$

$$c_{\text{ŽELEZO}} = 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_{\text{VODA}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta t = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{použité vztahy : } Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad \eta = \frac{\text{využité teplo}}{\text{dodané teplo}}$$

potřebné teplo = teplo na ohřátí hrnce + teplo na ohřátí vody

$$Q = c_{\text{ŽELEZO}} \cdot m_{\text{HRNEC}} \cdot \Delta t + c_{\text{VODA}} \cdot m_{\text{VODA}} \cdot \Delta t = 450 \cdot 1 \cdot 80 \text{ J} + 4200 \cdot 2 \cdot 80 \text{ J} = 36 \text{ kJ} + 672 \text{ kJ}$$

Na zahřátí hrnce s vodou by bylo při stoprocentní účinnosti vařiče potřeba přibližně 710 kJ.

$$\text{dodané teplo} = \frac{\text{využité teplo}}{\eta} = \frac{710 \text{ kJ}}{0,60} = 1200 \text{ kJ}$$

Na zahřátí hrnce s vodou by bylo při šedesátiprocentní účinnosti vařiče potřeba přibližně 1200 kJ.

ÚLOHY

1. Radiátorem ústředního topení prošlo 100 litrů vody, která se ze vstupní teploty $t_1 = 50\text{ °C}$ ochladila na výstupní teplotu $t_2 = 30\text{ °C}$. Kolik tepla Q odevzdal radiátor místnosti?

2. Ve varné konvici o výkonu 1800 W ohříváme různé kapaliny. Které veličiny charakterizující ohřívanou kapalinu rozhodují o tom, jak dlouho bude třeba kapalinu ohřívát. (a tedy jak velké teplo přijme).

3. V ideální varné konvici o výkonu 2 000 W by se 1,5 litru vody ohřálo ze 5 °C na 100 °C za 5 minut.

a) Určete měrnou tepelnou kapacitu vody.

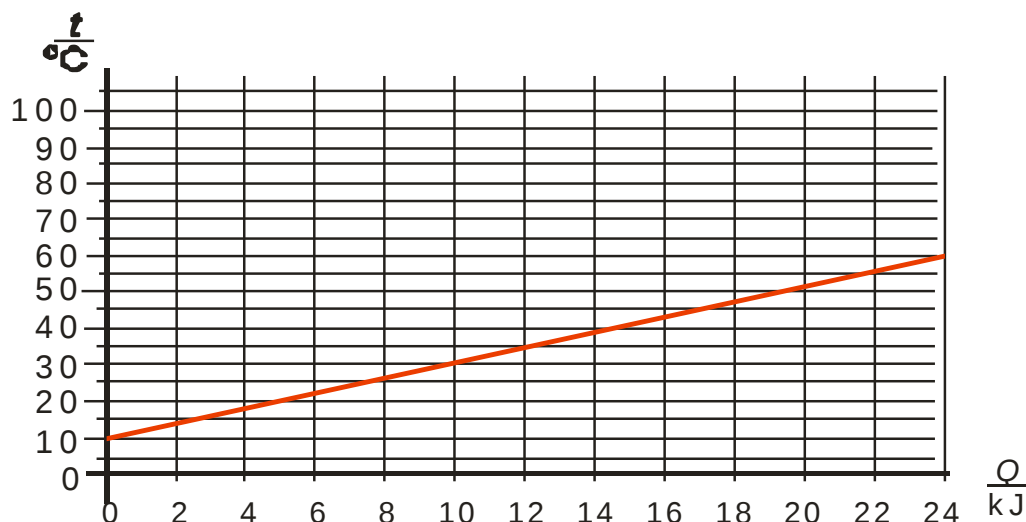
b) Vypočítejte, do jaké výšky by bylo možné vyzvednout automobil o hmotnosti 1 500 kg energií, která byla nutná k ohřátí vody.

4. V největším systému vodopádů na světě na řece Iguacu na hranicích mezi Argentinou a Brazílií padá do hloubky 70 m v době dešťů 6500 m^3 vody za sekundu.

O kolik stupňů by se zvýšila teplota vody, kdyby veškerá potenciální energie vody na hraně vodopádu nakonec vedla po jejím pádu k ohřátí vody?

5. Určete pomocí údajů z grafu měrnou tepelnou kapacitu glycerolu.

Teplo ta 0.2 kg glycerolu při ohřevu v závislosti na dodaném teple



6. Během noci klesla teplota vzduchu v pokoji horské chaty na 17 °C . Vzduch má hustotu $\rho = 1,28\text{ kg/m}^3$. Objem místnosti je $V = 35\text{ m}^3$.

Kolik tepla Q musí vzduchu předat topné těleso, aby teplota v uzavřené místnosti vzrostla na 22 °C ?

Měrná tepelná kapacita vzduchu za daných podmínek je $1\,005\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}$.

ZAHŘÍVÁNÍ KONÁNÍM PRÁCE

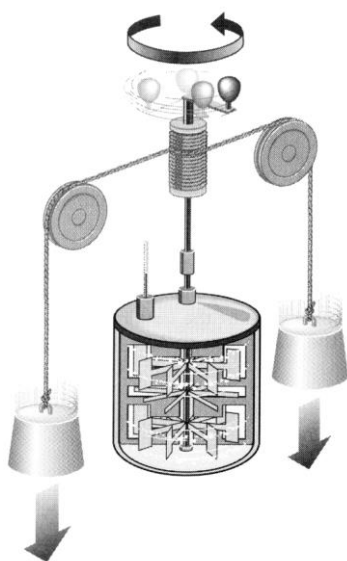
V hodině fyziky jsme viděli, že voda se mícháním nepatrně ohřeje. Do molekul vody, které jsou v neustálém pohybu, narážejí velkou rychlostí vidlice šlehače. Molekuly vody se od vidlic odrážejí s větší pohybovou energií. Rychlost molekul vody vzrůstá, roste proto i teplota vody a spolu s ní její vnitřní energie.

Podobný pokus provedl v polovině 19. století významný anglický fyzik James Prescott Joule [džejmz preskot džúl]. Chtěl zjistit, jakou práci musíme vykonat, aby se ohřalo určité množství vody. Použil k tomu nádobu s vodou, jejíž teplotu na začátku pokusu změřil. V nádobě se otáčela hřídel s několika lopatkami, roztáčení vody v nádobě zabraňovaly kulisy. Hřídel byla poháněna dvojicí závaží. Klesáním závaží se polohová energie závaží měnila na pohybovou energii lopatek. Lopatky předaly pohybovou energii molekulám vody. Tepelný pohyb molekul vody se proto zrychlil - voda se trochu ohřála. Joule nechal lopatky mnohokrát roztočit. Na konci pokusu zjistil, o kolik stupňů se teplota vody zvýšila.

Podmínky Jouleova pokusu (vyjádřené v našich současných jednotkách):

hmotnost každého závaží : 13,15 kg
pokles výšky : 20 krát 1,6 m = 32 m
hmotnost vody v nádobě : 2 kg
vzrůst teploty: 1,26 °C

Joule provedl měření ještě jedním způsobem, jenž jsme v zjednodušeném provedení udělali i my. Vodu o hmotnosti $m = 50$ gramů jsme zahřívali třením dvou ocelových prstenců.



Při točení prstenců jsme vykonali práci $W = F \cdot s = 2 \text{ N} \cdot (2\pi \cdot 0,5 \cdot 100) \text{ m} = 630 \text{ J}$.

(působící síla přibližně 2 N, dráha je 100 otoček s poloměrem 0,5 m).

Teplota vody přitom vzrostla zhruba o $\Delta t = 2,7^\circ\text{C}$.

Výsledek nám umožňuje odhadnout měrnou tepelnou kapacitu vody.

$$F \cdot s = c \cdot m \cdot \Delta t \Rightarrow c = \frac{F \cdot s}{m \cdot \Delta t} = \frac{2 \text{ N} \cdot 100\pi \text{ m}}{0,05 \cdot 2,5} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \approx 4700 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Změřená hodnota není přesná. Při tření se totiž ohřeje nejen voda v nádobě, ale i samotná nádoba a prstence (nepatrně i vzduch v okolí nádoby). To znamená, že na ohřátí samotné vody bylo vynaloženo o trochu méně práce.

Z přesnějších měření byla zjištěna hodnota $4\,180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

V praxi hodnotu c_{VODA} zaokrouhlujeme $c_{\text{VODA}} = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, což je hodnota, kterou zjistil už Joule.

Výsledek znamená:

Na zvýšení teploty **1 kg** vody o **1 °C** je třeba teplo nebo vykonání práce **4 180 J**

K hrubému určení měrné tepelné kapacity vody můžeme užít i známé hodnoty příkonu rychlovarné konvice. Do konvice vlijeme 1,5 litru studené vody a změříme její teplotu. Ze štítku na konvici nebo změřením elektrického napětí U a proudu I konvicí ($P = U \cdot I$) zjistíme elektrický příkon. Zapneme spínač na konvici a stopkami změříme dobu, za kterou se voda v konvici začne vařit (měříme dobu do automatického vypnutí spínače).

Počáteční teplota vody byla 10°C . Teplotní přírůstek při zahřátí k varu $\Delta t = 90^\circ\text{C}$. Elektrický příkon konvice je 2 kW a protože zahřívání trvalo 4 minuty 55 sekund (295 s) byla dodaná energie 590 000 J. $W_s = 590\,000 \text{ J}$.

$$E = c \cdot m \cdot \Delta t \Rightarrow c = \frac{E}{m \cdot \Delta t} = \frac{590\,000}{1,5 \cdot 90} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \approx 4\,400 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Tato hodnota je už bližší přesněji měřené hodnotě $4\,180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. "Ztráty energie" (zahřátí konvice a topného tělíska a ohřev okolního vzduchu) jsou oproti předcházejícímu pokusu procentuálně menší.

ÚLOHY

1. Popište alespoň tři příklady, kdy ve vašem okolí vzrostla teplota nějakých předmětů konáním práce.
2. Vysvětlete fyzikální princip, na kterém dokázal pračlověk rozdělat oheň.

VÝMĚNA TEPLA MEZI TĚLESY – KALORIMETRICKÁ ROVNICE

Na otázku co se bude dít s teplotami studené vody a horkého ocelového válečku, který do vody vnoříme, je snadné odpovědět.

Voda trochu svou teplotu zvýší, teplota válečku poklesne.

Handl s teplem skončí, když se teplota válečku a teplota vody vyrovnají.

Pro teplo, jež váleček předá vodě zřejmě podle zákona zachování energie platí:

teplo odevzdané teplejším válečkem = teplo přijaté studenější vodou

Označíme-li Q_1 teplo odevzdané válečkem a Q_2 teplo přijaté vodou dostaneme „kalorimetrickou rovnici“:

$$Q_1 = Q_2$$
$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)$$

m_1 je hmotnost teplejšího tělesa

m_2 je hmotnost studenějšího tělesa

c_1 je měrná tepelná kapacita teplejšího tělesa

c_2 je měrná tepelná kapacita studenějšího tělesa

$(t_1 - t)$ je pokles teploty teplejšího tělesa

$(t - t_2)$ je přírůstek teploty studenějšího tělesa

Tato kalorimetrická rovnice nám umožňuje vypočítat kteroukoli ze 7 veličin, které v ní vystupují, když známe, např. měřením, zbývajících 6.

Pokus:

Pokusně určíme přibližnou hodnotu měrné tepelné kapacity mosazi z níž je závaží.

Při školním pokusu jsme do $m_2 = 0,25$ kg vody o teplotě $t_2 = 10$ °C potopili mosazné závaží o hmotnosti $m_1 = 0,2$ kg které mělo teplotu $t_1 = 100$ °C. Teplota se za chvíli ustálila na hodnotě $t = 15$ °C.

Jaká je měrná tepelná kapacita mosazi c_1 ?

Řešení:

Měrnou tepelnou kapacitu vody známe $c_2 = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.)

Jednoduchou úpravou kalorimetrické rovnice dostaneme:

$$c_1 = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)}{m_1 \cdot (t_1 - t)} = \frac{0,25 \cdot 4200 \cdot 85}{0,2} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 309 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Výsledek je poněkud menší, než skutečná hodnota. Část tepla vzala studená nádoba.

Matematicky obtížnější je jiná úloha:

Upravte kalorimetrickou rovnici do tvaru, z něhož můžete prostým dosazením vypočítat výslednou teplotu t horkého čaje, do kterého jsme vnořili studenou hliníkovou lžici.

Řešení:

$$m_{\text{čaj}} = 0,2 \text{ kg}$$

$$t_{\text{čaj}} = 80 ^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{čaj}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m_{\text{lžice}} = 0,1 \text{ kg}$$

$$t_{\text{lžice}} = 10 ^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{lžice}} = 900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\frac{m_{\text{čaj}} \cdot c_{\text{čaj}} \cdot t_{\text{čaj}} + m_{\text{lžice}} \cdot c_{\text{lžice}} \cdot t_{\text{lžice}}}{m_{\text{čaj}} \cdot c_{\text{čaj}} + m_{\text{lžice}} \cdot c_{\text{lžice}}} = t$$

$$t = \frac{0,2 \cdot 4200 \cdot 80 + 0,1 \cdot 900 \cdot 10}{(0,2 \cdot 4200 + 0,1 \cdot 900)} ^\circ\text{C} = 73 ^\circ\text{C}.$$

ÚLOHY:

1. Upravte kalorimetrickou rovnici na vzorec pro výpočet:

a) m_1

e) t_1

b) c_1

f) t_2

c) m_2

g) t

d) c_2

2. Do termosky ve které je 0,5 l vody o teplotě $t_1 = 97 ^\circ\text{C}$ ($c_{\text{H}_2\text{O}} = 4200 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) jsme vložili mosazné závaží o hmotnosti 250 g o teplotě $t_2 = 50 ^\circ\text{C}$. Teplota v termosce se snížila na teplotu $t = 95 ^\circ\text{C}$. Jaká hodnota měrné tepelné kapacity c_{mosaz} z toho pro mosaz vychází?

(Řešte obecně do výsledku dosadíte.)

3. Kolik studeného čaje o teplotě $20 ^\circ\text{C}$ musíme nalít do 0,25 l horkého čaje o teplotě $80 ^\circ\text{C}$, abychom získali snesitelně teplý nápoj o teplotě $45 ^\circ\text{C}$.

SKUPENSKÉ PŘEMĚNY

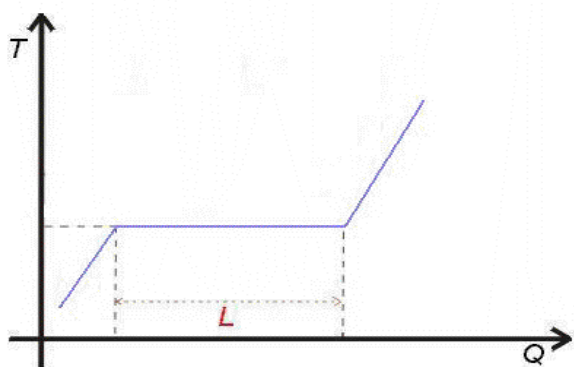
Na otázku: „Může těleso přijímat teplo a přitom neměnit svou teplotu?“ (neuvažujeme, že bychom současně teplo odebírali) jsme po delším hledání našli správnou odpověď.

Příkladem je kostka ledu o teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, jež dalším přidělem tepla taje, ale přitom svou teplotu (pokud celá neroztaje) nezvyšuje.

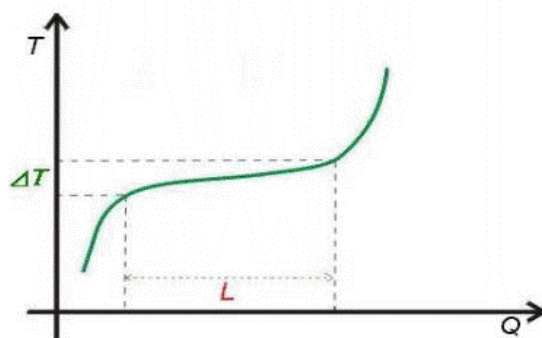
Podobně voda v nádobě po dosažení teploty $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (za normálních podmínek) dalším zahříváním svou teplotu nezvyšuje, ale mění se varem v páru stejné teploty.

U vosku je to trochu jinak. Tuhý vosk při zahřívání přechází plynule v kapalinu. Část dodávaného tepla se spotřebuje na změnu skupenství, část na postupné zvyšování teploty při tání. Podobný průběh teploty mají i jiné látky, které zařazujeme do kategorie látek **amorfních**. Mezi pevné látky amorfnní patří asfalt, plasty, parafín nebo sklo. Většina z nich vzniká smísením různých krystalických látek a jejich roztavením. Rychlým ochlazením taveniny její molekuly obvykle „zamrznou“ ve svých polohách, v nichž byly v kapalném stavu. Amorfnní látky proto mají značně porušenou pravidelnost krystalické struktury a vnitřní stavbou patří vlastně mezi kapaliny.

Idealizované křivky popisující průběh změn teploty těles z krystalické a amorfnní látky při rovnoměrném dodávání tepla (rovnoměrném zahřívání), ukazují dolní obrázky.

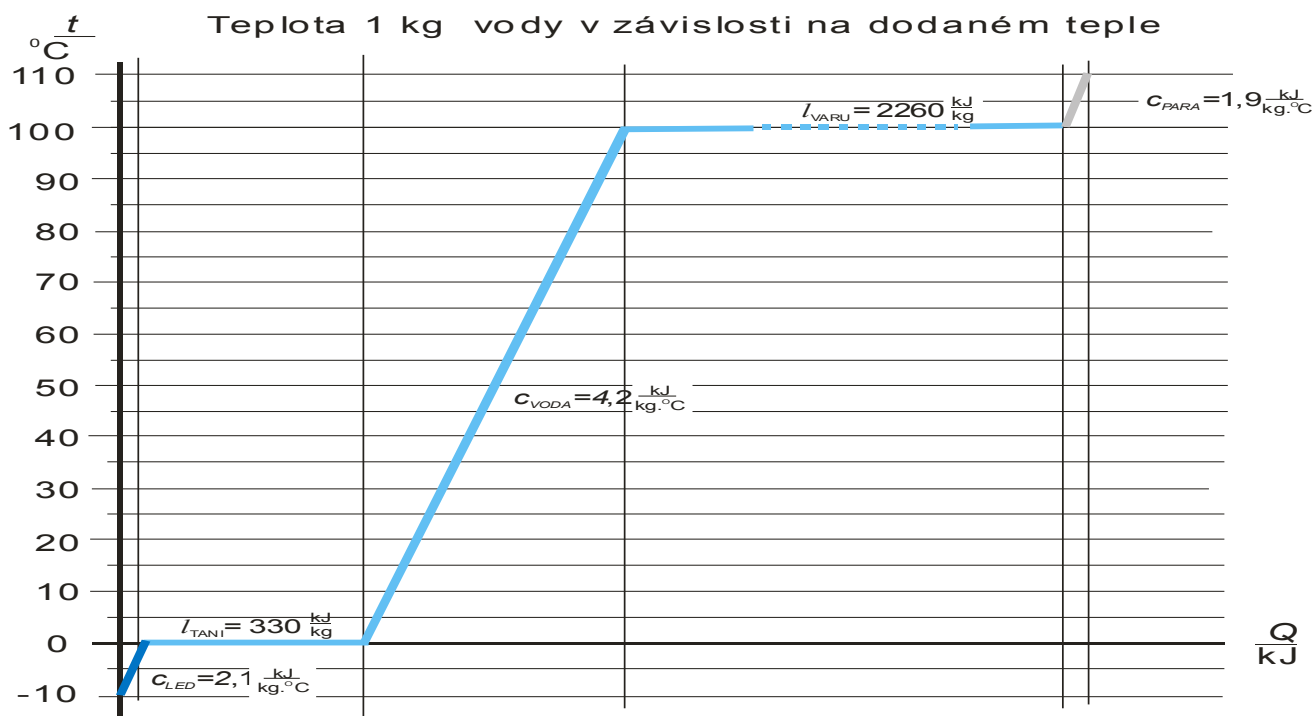


krystalická látka (např. stříbro, síra)



amorfní látka (např. parafín, sklo)

Idealizovaný graf růstu teploty vody při rovnoměrném dodávání tepla ukazuje dolní graf



Co můžeme z obrázku vyčíst:

Počáteční bod grafu (0, -10) popisuje vodu ve stavu, kdy je ledem s počáteční teplotou $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Krátká tmavomodrá šikmá úsečka popisuje růst teploty ledu (bez tání) až k teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Údaj o měrné tepelné kapacitě $c = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$ ukazuje, že zahřívání 1 kg ledu vyžaduje polovinu tepla ve srovnání se zahříváním 1 kg tekuté vody při stejném přírůstku teploty.

Následující vodorovná úsečka reprezentuje tání ledu, jež probíhá při konstantní teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Veličina $I_{\text{TANI}} = 330 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ - měrné teplo tání (které je stejně velké jako měrné teplo tuhnutí) udává teplo, jež je třeba dodat na úplnou přeměnu 1 kg ledu na vodu ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Stejné teplo je obráceně nutné odebrat, má-li se 1 kg vody ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) změnit v led stejné teploty.

Dlouhá šikmá část grafu popisuje růst teploty vody od teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až k teplotě varu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Teplo na to potřebné $Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 1 \cdot 4200 \cdot 100 \text{ J} = 420 \text{ kJ}$.

Předlouhá horní vodorovná úsečka reprezentuje var vody při stálé teplotě $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Veličina $I_{\text{VARU}} = 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (měrné teplo varu) u úsečky napsaná, udává, kolik tepla je třeba dodat na úplnou přeměnu 1 kg vody o teplotě $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ na vodní páru stejné teploty $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Poslední šedá část grafu zcela nahoře popisuje zahřívání vodní páry od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Podobně jako u vody jsou i u některých dalších látek změřeny a tabelovány hodnoty měrných teplot skupenských přeměn krystalických látek (l_{PREMENY}) udávající teplo příslušné ke změně skupenství 1 kg látky zahřáté na teplotu, při níž změna skupenství probíhá.

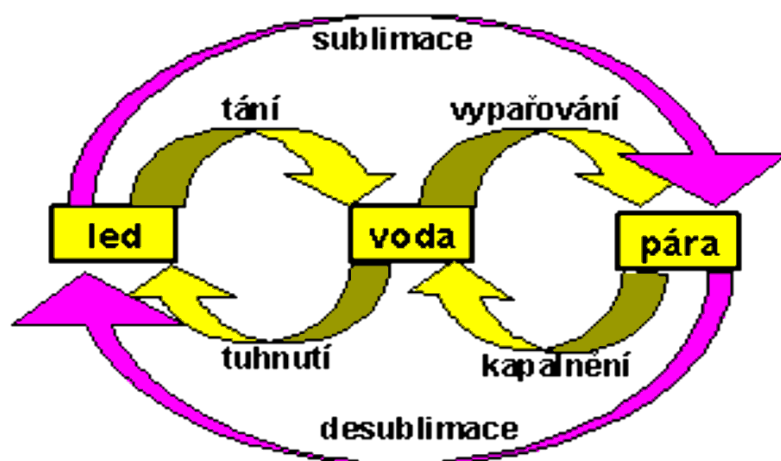
Pro teplo Q potřebné ke změně skupenství porce látky o hmotnosti m pak přirozeně platí.

$$Q_{\text{PREMENY}} = l_{\text{PREMENY}} \cdot m$$

l_{PREMENY} ... měrné skupenské teplo tání, varu ... ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$)

Často se teplo příslušné přeměně skupenství látky o určité hmotnosti (např. tání) značí místo písmenem Q (Q_{TANI}) písmenem L (L_{TANI}) kde dolní index udává o jakou změnu skupenství jde.

Možné skupenské přeměny vody schematicky znázorňuje dolní obrázek.



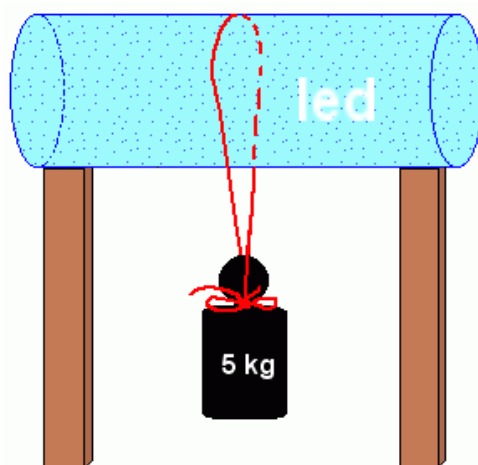
Sublimace, tání a vypařování jsou změny při nichž je teplo tělesem přijímáno, vnitřní energie roste. Tuhnutí, kapalnění a desublimace jsou procesy vyžadující odběr tepla, tj. snížení vnitřní energie.

Teplota tání i teplota varu závisí na tlaku působícím na těleso.

V tlakovém hrnci (Papinův hrnec) pod utěsněnou pokličkou vodní pára zvýší tlak na hladinu vody přibližně na 170 kPa a díky tomu v něm voda vře až při 117 °C. Ve velkých nadmořských výškách, kde je atmosférický tlak malý, je naopak teplota varu nižší než 100 °C. (Na Mount Everestu asi 70 °C) Závislost teploty tání na tlaku jsme si ukázali pokusem.

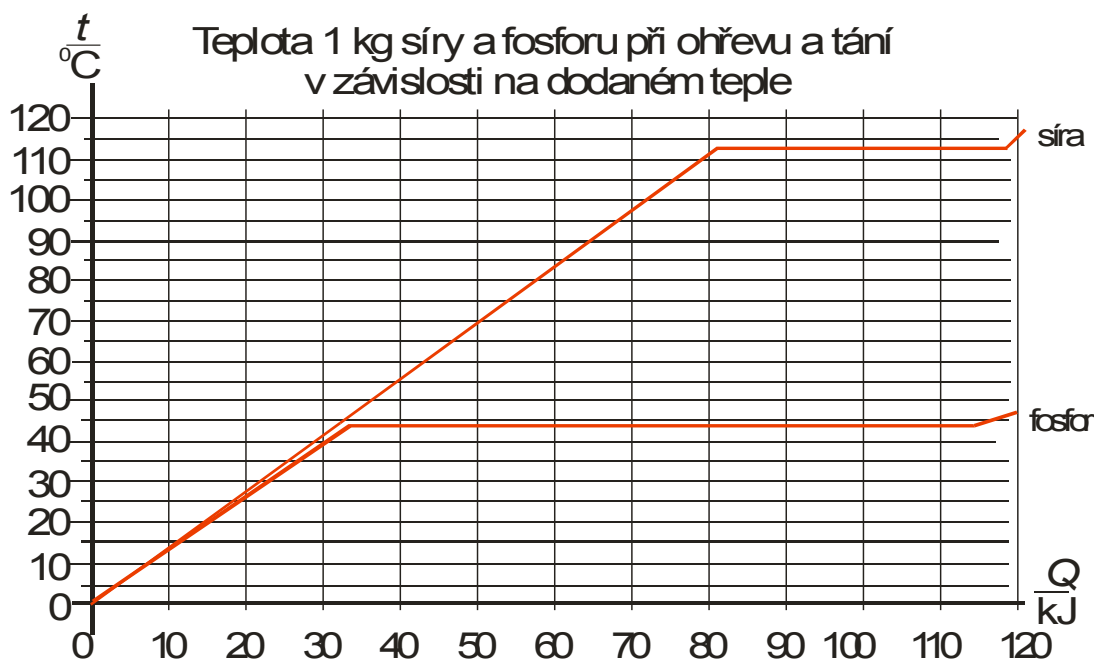
Tenký ocelový drátek zatěžený závažím působí vysokým tlakem na ledový váleček, který pod drátkem taje při teplotě nižší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nad drátkem už je opět tlak nižší (atmosferický) a led znova zamrzá (jevu říkáme regelace ledu).

S růstem tlaku teplota tání klesá.

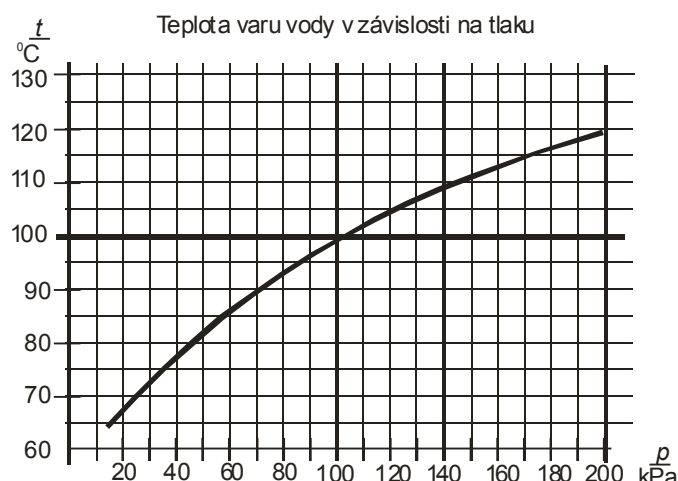
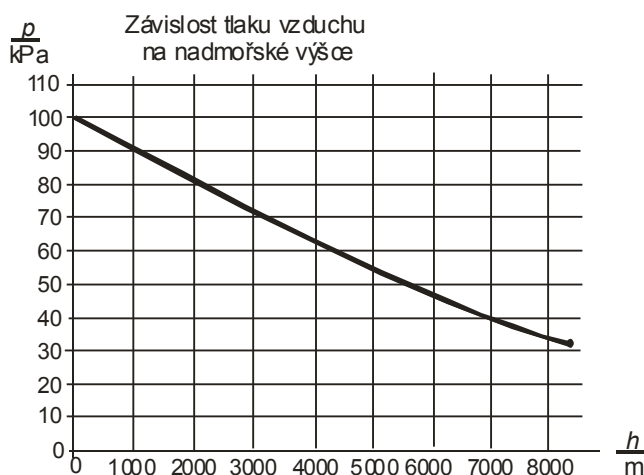


ÚLOHY:

- Jaké teplo přijme 5 kg vody o teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, je-li voda přivedena do bodu varu a poté se přemění varem na páru, jež dosáhne teploty $120\text{ }^{\circ}\text{C}$? Vše proběhne za tlaku 100 kPa .
- Do nádoby ve které jsou 2 litry vroucí vody vhodíme půlkilogramovou kostku ledu, jež má teplotu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na jaké teplotě se ustálí teplota ?
- Z grafů přečtěte přibližné hodnoty:
 - teploty tání t_{TANISIRA} síry a $t_{\text{TANIFOSFOR}}$ fosforu
 - měrné tepelné kapacity c_{SIRA} a c_{FOSFOR}
 - měrná skupenská tepla tání l_{TANISIRA} a $l_{\text{TANIFOSFOR}}$.

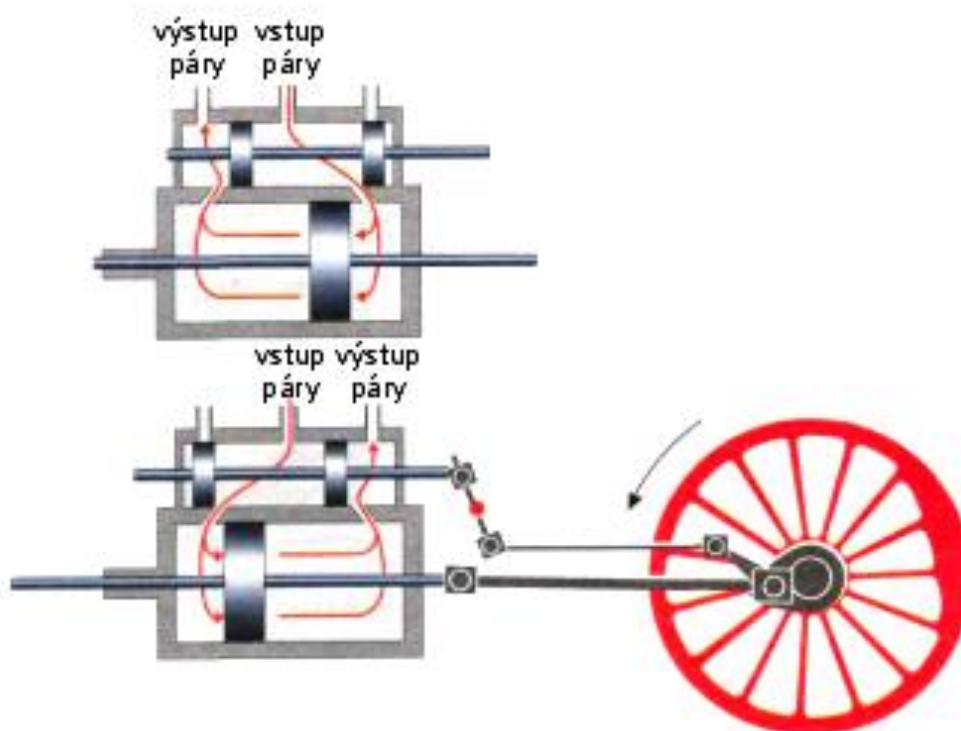


- V zeměpisném atlasu nebo na internetu zjistěte nadmořskou výšku několika hor. Pomocí dolních grafů určete přibližné teploty varu vody na jejich vrcholcích.



PARNÍ MOTORY

O síle, kterou má pára vytvářející se z vařící vody, věděli lidé již ve starověku. Prvního praktického využití se síla páry ale dočkala až na konci sedmnáctého století. Skutečné parní motory však vznikaly ve století osmnáctém. Měly již válec a píst, na nějž pára působila. Parní stroj vylepšil zásadním způsobem James Watt (čti „džejmz wat“) v letech 1765-1784 použitím pístu, na který tlačila pára střídavě z jedné a druhé strany. Po celé devatenácté století se parní stroje využívaly v mnoha oborech lidské činnosti. Proto se také devatenáctému století říká „století páry“.



Schematický obrázek ukazuje, jak parní stroj pracoval.

Z čeho se celý parní stroj skládal:

Parní kotel - pod ním hoří uhlí a vaří v něm vodu. Vznikající horká pára je vedena potrubím k válci parního stroje, kde tlačí na píst.

Pojistný ventil - zabráňuje tomu, aby parní kotel vybuchl, kdybychom pod kotlem moc topili a pára dosáhla příliš velkého tlaku. Podobný ventil máte doma na tlakovém hrnci, aby nedošlo k jeho výbuchu vysokým tlakem par.

Válec parního motoru s pístem - zde pára tlačí na píst a pohybuje jím. Šoupátka páru pouštějí buď na jednu nebo na druhou stranu pístu, jak ukazuje obrázek.

Klikový mechanismus - mění pohyb pístu sem-tam na otáčení hřídele.

Kondenzátor je zařízení, v němž se pára ochlazuje a mění zpátky ve vodu. Kapalnění páry se říká kondenzace. Voda z kondenzátoru se čerpá zpět do kotle.

U prvních parních lokomotiv většinou kondenzátory nebyly a pára z válců se vypouštěla rovnou do ovzduší. Proto byly parní lokomotivy tak žíznivé, že musely během jízdy často čerpat vodu.

S parním strojem se dnes už téměř nikdo z nás nesetká. Pára ale pro nás pracuje stále. Pohání mohutné **parní turbíny** v elektrárnách a na lodích.



Rotor parní turbíny elektrárny Temelín

Turbína má osu, na které je mnoho kol s lopatkami. Do turbíny vstupuje pára s vysokou teplotou a velkým tlakem. Při vstupu do turbíny má pára velkou rychlost. Naráží do lopatek, předává jí svou energii a kola se roztáčejí. Pára postupně chladne a snižuje se její tlak. Proto jsou další kola turbíny stále větší.

Zatímco účinnost parních strojů byla jen kolem 10 % (10 procent tepla bylo využito ke konání práce – 90 % tepla ohřívá přírodu), u parních turbín je přece jen účinnost vyšší – až přes 50 %.

Významnou skutečností při využívání tepla ke konání práce ve všech tepelných strojích je, že vždy nutně dochází nejen ke konání práce, ale část tepla musí být nutně předávána chladnějšímu tělesu tzv. chladiči (součástí „chladiče“ je většinou i příroda).

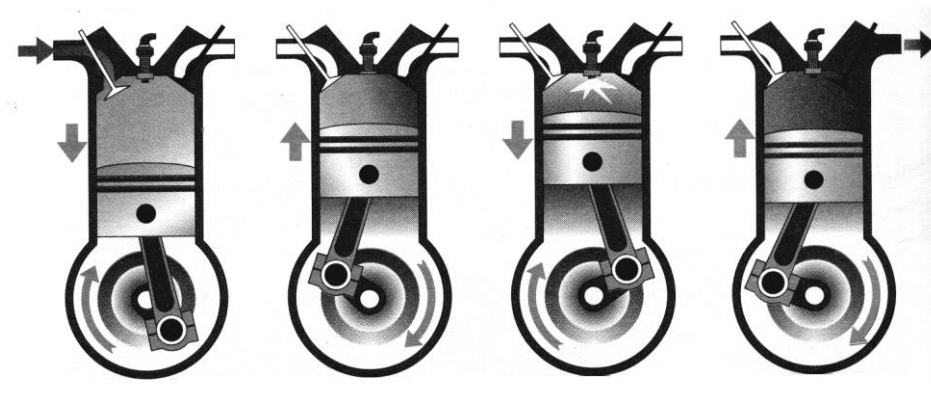
SPALOVACÍ MOTORY

V letech 1805 až 1807 major ISAAC DE RIVAZ sestrojil zařízení, jež už bylo možné nazvat spalovacím motorem. Princip vidíte na vedlejším obrázku.

Válec vynálezce zčásti naplnil tím, co velmi bouchalo (prý vodíkem), a zapálil ho elektrickou jiskrou. Výsledek předčil všechna očekávání! Horké plyny ve válci prudce vytlačily píst, který přes ozubenou tyč a ozubené kolo roztočil kola povozu. Výsledkem první jízdy s dělovým startem byla díra ve stěně dílny. Není divu, že na tento motor byl bez problému udělen patent. Bohužel se jednalo o vůz na jedno použití.



Princip dodnes nejrozšířenějšího **čtyřtakového zážehového spalovacího motoru** navrhl v roce 1876 německý vynálezce NIKOLAUS AUGUST OTTO. Čtyři kroky činnosti jeho motoru jsou na dalších obrázcích:



První doba -sání - píst nasává přes otevřený ventil směs chladného vzduchu a do něj vstřikované palivo do válce. Pak se ventil uzavírá.

Druhá doba - stlačování (komprese) - píst směs stlačuje. Stlačováním se směs zahřívá. Stlačení nesmí být velké, aby se směs sama nevznítla. Ve vhodném okamžiku je směs zapálena elektrickou jiskrou.

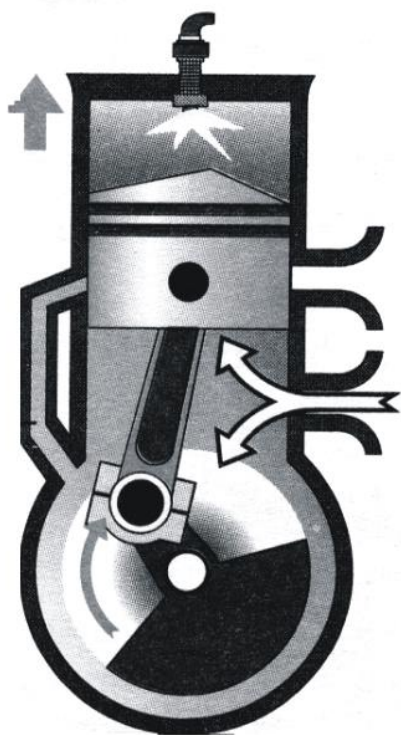
Třetí doba - rozpínání - po „výbuchu“ hořlavých plynů od elektrické jiskry spaliny o teplotě asi 2300 °C tlačí píst a tím pomocí klikového mechanismu roztáčí setrvačnick.

Čtvrtá doba - výfuk - píst poháněný setrvačnickem vytlačí spaliny přes otevřený výfukový ventil do ovzduší. Pak se ventil uzavírá.

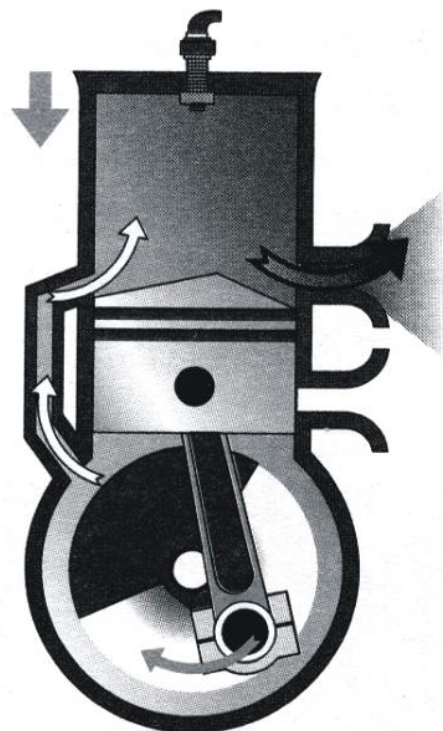
Motor pracuje pouze třetí **pracovní** dobu, při rozpínání plynů. V ostatních krocích motor udržuje v pohybu roztočená těžká kliková hřídel a setrvačnick. K pohonu se využije jen asi 1/4 tepla z paliva, tj. účinnost 25 %.

Spalovací motor se sám neroztočí. Proto ho musíme nastartovat dříve pomocí kliky nebo dne elektrickým spouštěčem (elektromotorem, jemuž říkáme startér) .

Samozřejmě se konstruktéři snažili spalovací motor ještě více zjednodušit. Na mušku si vzali ventily. Vznikl bezventilový **dvoutaktní spalovací motor**. Dva kroky jeho činnosti jsou znázorněny na obrázcích:



Sání a stlačování probíhá současně. Směs z karburátoru nejde do válce, ale do utěsněného prostoru pod pístem s klikovým mechanismem. Současně s tím probíhá stlačování směsi ve válci nad pístem. Na konci stlačování je směs zapálena elektrickou jiskrou.



Také v druhé době, která je pracovní, probíhají současně dva děje. Ve válci nad pístem se rozpíná žhavý plyn a nakonec je vyfouknut do ovzduší. A současně s tím dojde k přefouknutí směsi kanálkem zespodu od klikového mechanismu nad píst do válce. Nová směs pomáhá vytlačit ven spaliny po předešlém spálení.

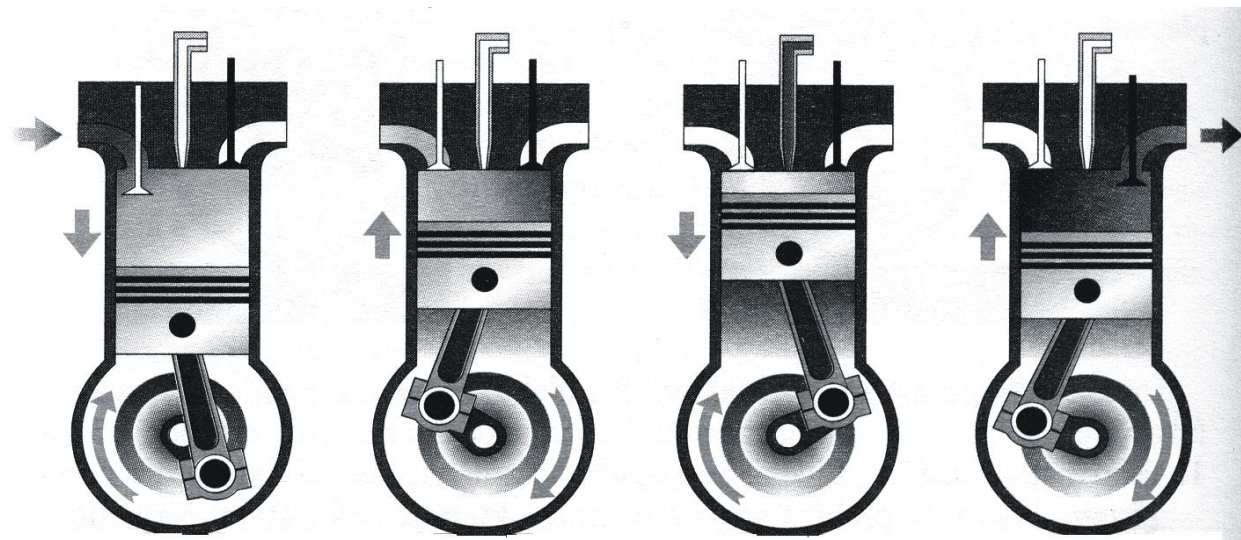
Tím motor pracuje při každé otáčce. Píst postupně odkrývá a zakrývá otvory pro sání, výfuk i přepouštění, a proto motor nepotřebuje ventily.

Dvoutaktní motor je jednodušší a lehčí než motor čtyřtaktní a měl by být i dvakrát výkonnější (každý druhý krok je pracovní). Protože však spaliny jsou vyháněny ven čerstvou směsí, do výfuku unikne i její část bez užitku. Proto má dvoutaktní motor vyšší spotřebu a ve výfukových plynech je mnohem více škodlivin než u motoru čtyřtaktního.

V současné době se dvoutaktní motory používají u ručních motorových pil, malých motocyklů a levnějších travních sekaček. Automobily s dvoutaktními motory (Trabant, Wartburg) se dnes už nevyrábějí, protože nesplňují stále přísnější požadavky na čistotu výfukových plynů.

Po třicetiletém úsilí Roberta Diesela spatřil světlo světa **čtyřdobý vznětový Dieselův motor** (1898) . Od zážehového čtyřtakového motoru se tento motor liší tím, že do válce se v 1. kroku nasává pouze čistý vzduch a nikoli směs vzduchu a paliva. Ve 2. kroku se vzduch více stlačí, čímž se zahřeje asi na 900 °C. Teprve pak je do žhavého vzduchu ve válci čerpadlem vstříknuto tryskou palivo a samo se od žhavého vzduchu **vznítí**. Dál už motor pracuje stejně jako zážehový motor.

Vzhledem k tomu, že ve válci dochází k velkému stlačování vzduchu, je motor těžší a hlučnější. Na druhou stranu dokáže přeměnit více než 1/3 tepla na mechanickou práci. Automobily se vznětovými motory se proto vyznačují nižší spotřebou paliva (motorová nafta).



První doba -sání - píst nasává přes otevřený ventil vzduch do válce. Pak se ventil uzavírá.

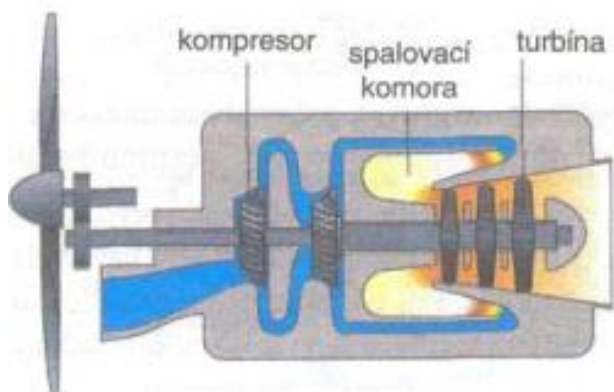
Druhá doba - stlačování (komprese) - píst vzduch silně stlačuje. Stlačováním se vzduch zahřeje na vysokou teplotu (až 900 °C). Nakonec je do žhavého vzduchu vstříknuta nafta, ta se rychle vypaří a vznítí.

Třetí doba - rozpínání - po „výbuchu“ hořících spaliny o vysoké teplotě přes 2500 °C tlačí na píst a ten pomocí klikového mechanismu roztáčí setrvačnick.

Čtvrtá doba - výfuk - píst poháněný setrvačnickem vytlačí spaliny přes otevřený výfukový ventil do ovzduší. Pak se ventil uzavírá.

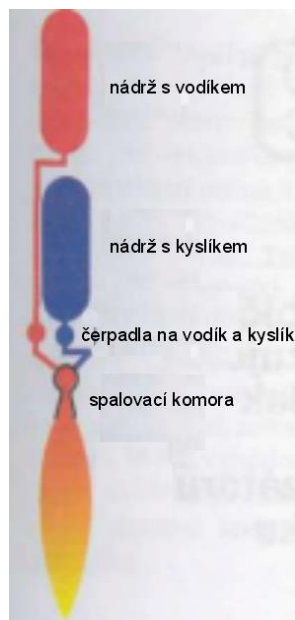
Účinnost Dieselových motorů dosahuje přes 35 %.

Dosud jsme si všímali pouze spalovacích motorů, jež pohánějí kola automobilů, motocyklů, vlaků a vrtule letadel. Právě u letadel se ale zjistilo, že letadlo poháněné vrtulí nedosáhne větší rychlosti než 700 km/hod. Možná že si vynálezci vzpomněli na dětskou hru s nafukovacím balónkem. Když pustíme nafouknutý balónek, s otevřeným otvorem, odletí jako střela. Neletí ale dlouho. Když z něj unikne stlačený vzduch, nemá ho co nadále pohánět. Jak to udělat, aby z motoru letadla stále tryskal plyn velkou rychlostí?



Moderní **tryskové motory** (proudové motory) pro vysoké rychlosti pracují tak, že kompresor vhání stlačený vzduch do komory v níž se mísí s jemně rozprášeným palivem. Pak je směs zapálena a vzniklé žhavé plyny se velkou rychlostí vyřítí tryskou ven, podobně jako z balónku vzduch. Přitom proud plynů roztáčí turbínu, která točí lopatkami kompresoru. Tím se motor sám plynule zásobuje kyslíkem ze vzduchu. V něm se spaluje palivo na žhavé plyny, jež vyletují velkou rychlostí tryskou ven.

Mohli bychom použít proudový motor k letu na Měsíc? Nemohli, protože by mu v meziplanetárním prostoru chyběl kyslík. **Raketový motor** (tryskový motor) si proto musí vedle paliva (nejčastěji tekutý vodík zchlazený na teplotu -253 tj. 20 K) nést i kyslík ($-183\text{ }^{\circ}\text{C}$, tj. 90 K) pro celou dobu činnosti motorů.



Hlavní částí raketového motoru je spalovací komora, v níž prudce hoří ohromná množství paliva, dodávaného čerpadlem z první nádrže. Kyslík potřebný k hoření je dodáván čerpadlem z druhé nádrže.

Vzniklé žhavé plyny díky tvaru komory vyletují značnou rychlostí ven. Čím větší je množství, teplota (až $3\,500\text{ K}$) a rychlost plynů, které za sekundu vyletí ven, tím větší náklad dokáže raketa vynést na oběžnou dráhu.

Raketa Saturn V, jež odstartovala cestu amerických kosmonautů na Měsíc, vážila na startu stejně jako třicet lokomotiv. Hmotnost vlastní kosmické lodi, kterou raketa vynesla na oběžnou dráhu, odpovídala jen hmotnosti většího automobilu.

ÚLOHY:

Prohlédněte si na internetu animace činnosti tepelných motorů:

Newcomenův parní stroj: newcomen atmospheric engine 2

<http://www.youtube.com/watch?v=dGxOsEr206c&feature=endscreen&NR=1>

Wattův parní stroj: Computer Animation - Maid of the Loch Steam Engine

<http://www.youtube.com/watch?v=yda4STR1Pe4&feature=fvwl> animace až od 1. min dále

zážehový čtyřtakt: Mercedes návod Benzínový motor princip

<http://www.youtube.com/watch?v=lpU1nnbQr6M>

vznětový čtyřtakt: How a diesel Engine Works

<http://www.youtube.com/watch?v=x9yS2xdPJSU&feature=related>

zážehový dvoutakt: Two stroke engine

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=MW1jixDvUSY> dvoutakt až od 1.22 min dále

tryskový motor: Jet Engine Animation

<http://www.youtube.com/watch?v=MUXP3PCDRTE&feature=related>

raketový motor: How Do Rocket Engines Work?

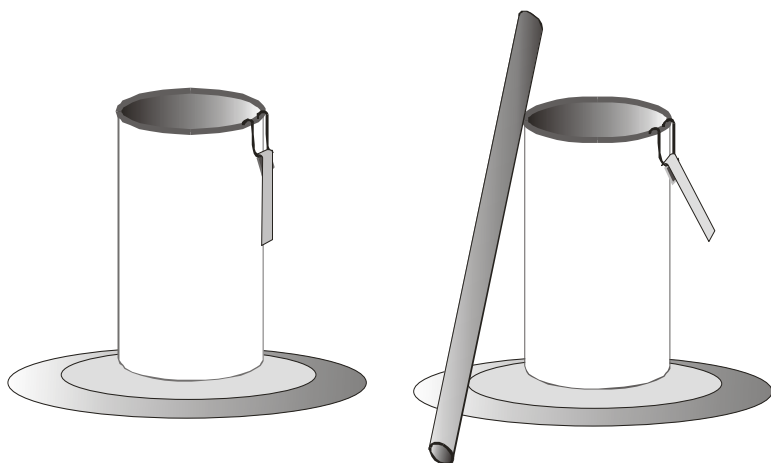
<http://www.youtube.com/watch?v=PDuUQF9WsRw>

7. ELEKTROSTATIKA

ELEKTROVÁNÍ TĚLES

Když plechovku se zavěšeným staniolovým lístkem postavíme na suchý porcelánový talíř a z novodurové tyče (předtím třené srstí) na ni přeneseme „něco z tyče“, lístek na plechovce se vychýlí. „Něco“ z tyče přešlo na plechovku s lístkem.

Co jsme z tyče seškrábli na plechovku? Zůstalo to jen na místě, kam jsme to setřeli, nebo se to rozlezlo po plechovce? Jak bychom to mohli zjistit?



Odpověď dal další pokus. Rozmístili jsme vně na plechovku další staniolové lístky, všechny se vychýlily.

Otázku co lístek odstrčilo od plechovky jsme dosud nezodpověděli.

Nejdříve si řekneme, že to „něco“ co jsme z tyče přenášeli na plechovku s lístkem nazýváme *elektrický náboj*.

Ukázalo se, že elektrický náboj na plechovce a náboj na pásku se odpuzují.

Co se asi stane, když k lístku přiblížíme tyč? Také náboj na tyči bude pásek od sebe odtlačovat a ten se přiblíží k plechovce.

Závěr prvních pokusů: Třením tyče srstí se na ní něco objevilo (elektrický náboj), co přešlo při seškrábnutí z tyče na plechovku a rozlezlo se po ní. Lístek, na kterém byl elektrický náboj, byl odtlačován od plechovky, na níž byl také elektrický náboj. I náboj na tyči odtlačoval náboj na lístku.

Když stejný pokus provedeme se skleněnou tyčí třenou kůží jsou první dva výsledky stejné.

Když ale k lístku na plechovce nabitě skleněnou tyčí přiblížíme novodurovou tyč, je k ní lístek přitahován.

Proč lístek novodurová tyč přitahuje?

Na lístku je elektrický náboj jiného druhu než na tyči. Tyto dva různé náboje se přitahují.

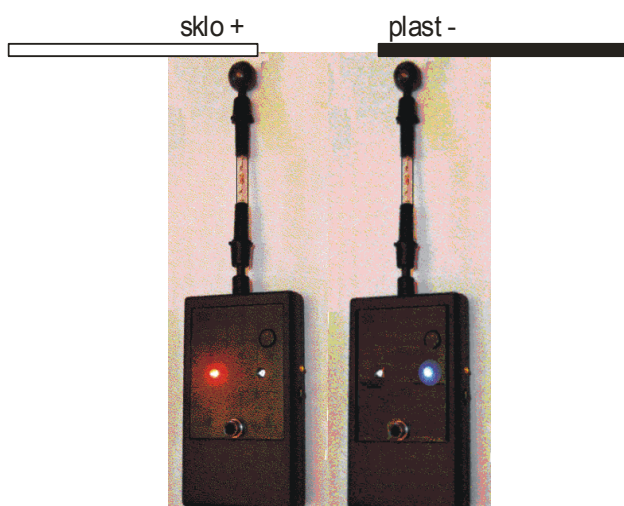
Závěr: Třením skla kůží „vzniká“ jiný druh náboje než třením novoduru srstí. Lístek nabitý jedním druhem náboje je stejným druhem odpuzován, druhým přitahován.

Dva druhy elektrického náboje odlišujeme znaménky - jeden z nábojů označujeme jako KLADNÝ a druhý jako ZÁPORNÝ.

Mnemotechnická pomůcka: **S**klenná tyč je **s k**ladným nábojem. Novodurová tyč má náboj záporný.

K určování znaménka elektrického náboje (tzv. polarity náboje) je možné použít např. elektronický indikátor.

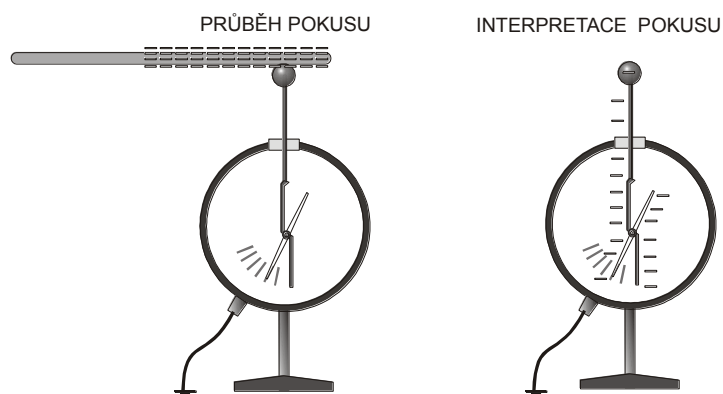
Při dotyku nabitého objektu indikátorem se rozsvítí červená LEDka při kladném náboji, modrá je-li náboj záporný.



Přítomnost elektrického náboje na tyči můžeme ukázat jeho přenesením na *elektroskop*.

Proč se vychyluje jeho ručka?

Nabití elektroskopu např. záporně nabitou tyčí způsobí, že záporně nabitá nosná tyčka odtlačuje záporně nabitou ručku.



Můžeme hledat předpověď, jak se změní výchylka nabitého elektroskopu, jestliže k němu přiblížíme souhlasně nebo nesouhlasně nabitou tyč.

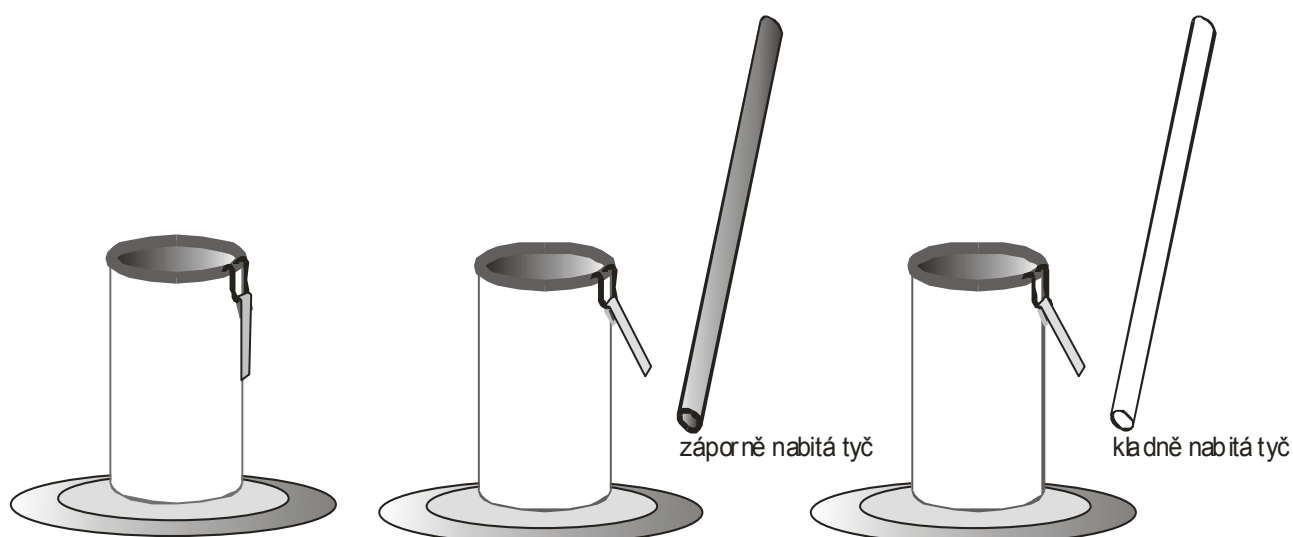
Přiblížením kladně nabitě tyče se část záporných nábojů ze spodní oblasti elektroskopu přesune nahoru k tyči s kladným nábojem, a tím se náboj spodní měřicí části zmenší. Obráceně, při přiblížení záporně nabitě tyče se záporné náboje přesunou působením odpudivých sil do vzdálenější měřicí části – výchylka se proto zvětší.

Vraťme se ale k pokusům s plechovkou s praporkem.

Na talíři byla nenabitá plechovka s praporkem visícím podél ní.

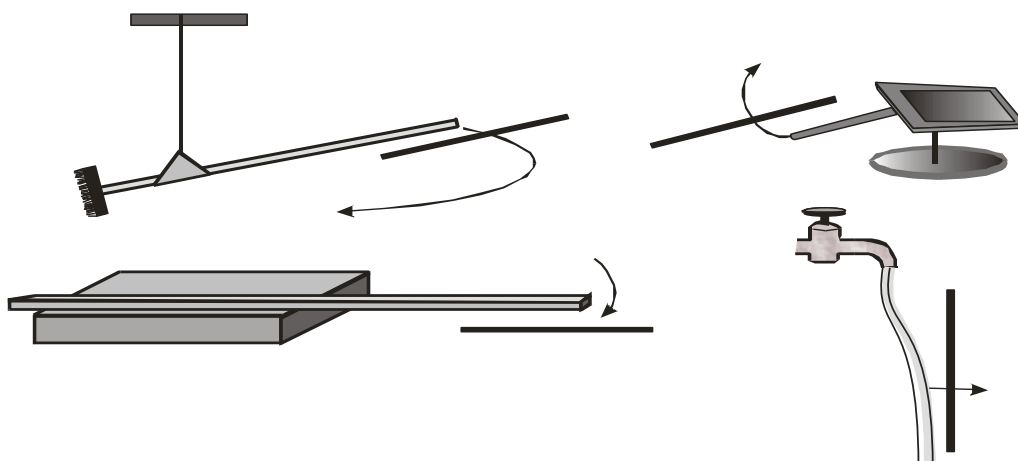
Když jsme k plechovce bez dotyku přiblížili záporně nabitou tyč, byl praporek tyčí přitahován – objevil se na něm kladný náboj. Po oddálení tyče se však „ztratil“.

Když jsme k plechovce bez dotyku přiblížili kladně nabitou tyč praporek byl tyčí přitahován – objevil se na něm kladný náboj. Po oddálení tyče však zase „zmizel“.



Jak to vysvětlit?

I na nenabitých předmětech jsou oba elektrické náboje, kladné i záporné. Jsou ale v rovnováze, takže se to navenek projevuje, jako by byly bez náboje. Nabitá tyč ale rozložení nábojů na plechovce poruší. Přitáhne si k sobě na lístek náboj opačného znaménka a souhlasné náboje odtlačí.



Přítomnost elektrických nábojů na smetáku, lopatce laťce i vodním čůrku ukázaly pokusy, které jsou na obrázku. Jistě dovedete vysvětlit proč je výsledek pokusů stejný ať přiblížíme kladně nebo záporně nabitou tyč.

To, co jsme viděli, nám prozrazuje, jak vlastně probíhá nabíjení tyčí třením. Nejde o „výrobu“ elektrických nábojů ale jen o jejich oddělování. Na skleněné tyči i na kůži, jíž tyč třeme, jsou zpočátku kladné i záporné náboje v rovnováze. Třením ale dochází k tomu, že část záporných nábojů přejde z tyče na kůži, a tak se tyč stane kladně nabitou, zatímco kůže bude mít převahu záporného náboje. Dotykem indikátoru nábojů se o tom můžeme přesvědčit. Při tření novodurové tyče srstí obráceně cestují záporné náboje ze srsti na tyč.

ROZLOŽENÍ NÁBOJE NA VODIČI

Při přenášení elektrického náboje na plechovku jsme viděli, že se náboj rozprostřel po plechovce a nezůstal jen na místě, kde jsme tyč setřeli. Protože jde o náboje stejného znaménka budou se přenesené náboje od sebe odtlačovat a vzdalovat co nejvíce. Kde se tedy asi elektrický náboj rozprostře a kde nikoli?

Na vnitřní stěně plechovky by byl náboj víc u sebe a dá se proto očekávat, že odpuzivé síly odtlačí náboje co nejdál - tedy na vnější povrch.

Jak bychom mohli tuto předpověď potvrdit nebo vyvrátit?

Zavěsíme staniolové proužky nejen na vnější, ale i na vnitřní na vnitřní stěnu plechovky a nabijeme ji zelektrovanou tyčí. Vnitřní lístky se nevychýlí, vnější ano.

I jiným pokusem ukážeme útěk náboje z vnitřního povrchu na vnější povrch. Nabitou zkoumou kuličkou se dotkneme vnitřku plechovky. Zatímco vnitřní praporek zůstává zplihle viset, vnější praporky se s každým dotykem stále víc a víc vychylují.

Dokážete vysvětlit proč celý náboj kuličky přejde na plechovku a kulička se tak každým dotykem úplně vybíjí?

Při dotyku se kulička stala součástí vnitřku plechovky, takže i z ní celý náboj unikne na vnější povrch.

Popsaný jev využívá **Van de Graaffův generátor**.

Pracuje tak, že se pryžový nevodivý pás nabíjí třením o plastovou tyčku a přenáší svým pohybem získané náboje dovnitř horního vodiče. Odtud náboje okamžitě přejdou na vnější povrch. Výhoda takového přenosu spočívá v tom, že přestupu dalších nábojů z pásu na vodič nebrání uvnitř žádné elektrické odpuzivé síly.

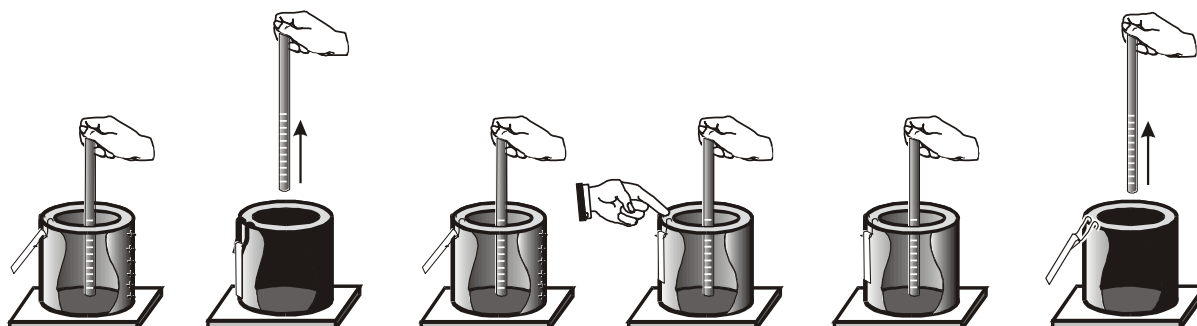


ELEKTROSTATICKÁ INDUKCE

Jev elektrostatické indukce i jeho vysvětlení hezky uvádí dobrovolný domácí úkol zpracovaný studentkou Eliškou Slavičkovou popisující školní pokus.

Je úterý čtvrtá vyučovací hodina. Ve třídě číslo 117 se okolo katedry tísni hlouček žáků. Mezi hlavami napjatých studentů je vidět postava stojící za katedrou, třímajíc v pravé ruce plastovou tyč. Napětí vesměs s očekáváním zcela zaplnilo třídu. Vzduch zhoustl, že by se dal nožem krájet. V místnosti je téměř hrobové ticho, jen občasné “vrznutí” obuvi nedočkavých přihlížejících je přerušuje. Avšak netrvalo dlouho, po několika málo vteřinách, možná sedm, možná osm, které se ovšem bez dechu očekávajícímu obecenstvu zdály jako věčnost, protnulo třídu několik málo slov jimiž profesor uvedl následující pokus, na který všichni čekají. Pokus, na němž nám měl předvést nabíjení elektrostatickou indukcí. Jeho slovům se zpočátku nedostalo sebemenší odezvy ale jen napjatého očekávání.

Konečně, profesor začal! Nejprve uchopil do druhé ruky kus srsti nějakého drobného zvířete a chvíli s ním přejížděl po tyči. Třídou znělo tiché, jemné šustění a šoupání. Mnozí zadržovali dech aby jim nic, ani ten nejmenší šustot a škrabot, neuniklo. Za okamžik zanechal profesor své dosavadní činnosti a vložil tyč do kovové plechovky, ale nedotkl se jí. Na plechovce připevněný alobalový proužek se s vložením tyče zvedl od plechovky! Veškeré obecenstvo bylo naplněno úžasem, odněkud ze zadní části třídy se ozvaly udivené výkřiky. Následovalo vyjmutí tyčky, provázené okamžitým poklesnutím proužku. Následovalo ale pokračování. Profesor opět vložil tyč do plechovky, proužek opět stoupl, avšak dotekem ruky, jenž vzápětí následoval, spadl do původní polohy. To ale nebyl ani zdaleka závěr tohoto pokusu! Když byla tyčka znovu vyňata, volný konec proužku opět vyskočil od plechovky! Ohlas, který následoval, se ani zdaleka nemohl rovnat tomu, jenž doprovázel první zvednutí proužku. Napětí, jež až dosud vládlo ve třídě, vyprchalo škvírami v oknech někam do oblak, zavládla jakási podivná euforie, která uhasla s řinčením zvonku. Dokážeme nad obrázkem zachycujícím pokus vysvětlit děje, které jsme právě viděli?



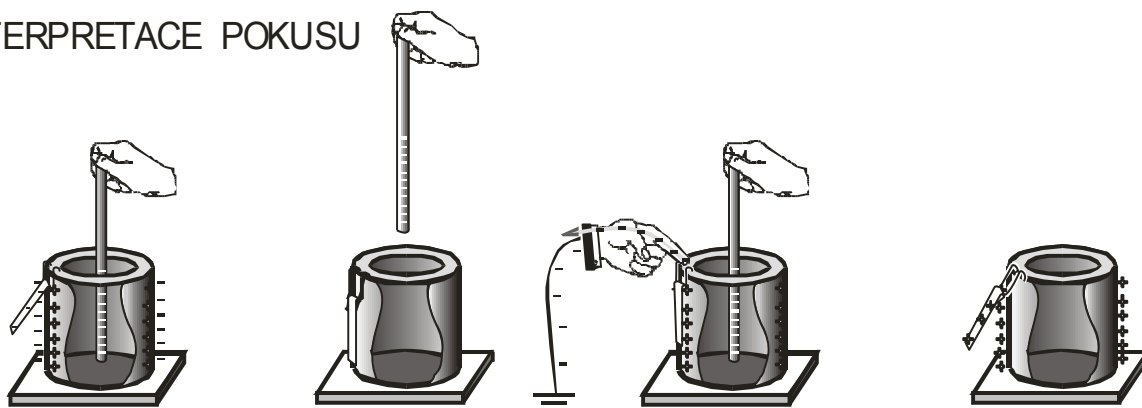
Společně jsme to zvládli:

Tření srsti o novodurovou tyč způsobilo nabití tyče záporným nábojem, zatímco na srsti zůstal náboj kladný. Připravená plechovka, na níž byl připevněn alobalový proužek, byla položena na nevodivém podkladu. Vložení tyče do plechovky (tyč se ovšem v žádném místě plechovky nedotýkala) způsobilo přitažení všech kladných částic v plechovce na vnitřní stěnu, co nejbližší k tyči, zatímco záporný náboj byly vytlačen na vnější povrch plechovky a na alobalový proužek. Následkem bylo jeho zvednutí – souhlasné náboje se přece odpuzují. Vyjmutí tyče přivedlo návrat kladného i záporného náboje do jejich původních poloh tj. rovnoměrně po celé plechovce. Tím došlo k jejich vyrovnání.

Ve druhé fázi se zpočátku se pokus opakuje, ovšem ve chvíli, kdy původně došlo k vyjmutí tyče z plechovky, profesor, jenž je uzemněný, se prstem, který je vodivý, dotkne plechovky. To zapříčiní útěk záporných částic z povrchu plechovky. Ty nejenže nejsou ničím vázány ale dokonce jsou elektrickým polem souhlasně nabitě tyče odpuzovány. Proto následuje poklesnutí proužku do původní polohy – nemá již v sobě žádný náboj. Nyní jsou uvnitř v plechovce kladné náboje, které jsou v plechovce vázány polem vytvářeným záporným nábojem tyče. Pak následovalo vyjmutí tyče. Ovšem tentokrát v plechovce převážil kladný náboj a ten se rozutekl na venkovní povrch a proužek. Výsledek? Protože měla plechovka i proužek náboj stejného znaménka, proužek se zvedl odtlačován kladným nábojem plechovky.

Obrázek vše vysvětluje i beze slov.

INTERPRETACE POKUSU

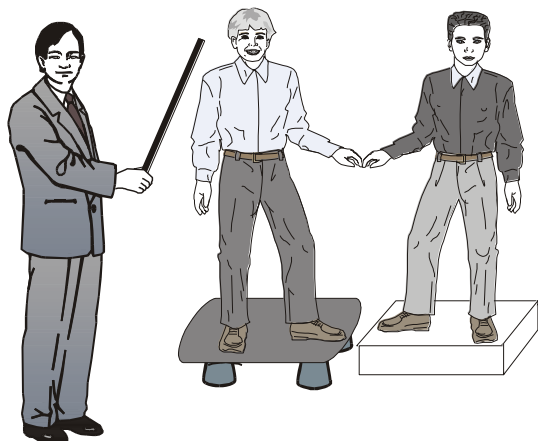


Nabíjení elektrostatickou indukcí ukazuje i jiný pěkný pokus.

Na dva izolované podstavce (např. na dvě desky na čtveřicích hrnečků na kávu, na zavařovacích lahvích nebo na polystyrenu) postavíme dva žáky a ti si podají ruce a pro jistotu se vybijí dotykem vodovodu. Poté k jednomu z nich přiblížíme zeлектроvanou nabitou tyč, a když se žáci přestanou držet, tyč oddálíme.

Popsat očekávaný výsledek pokusu a podat jeho výklad jistě sami dokážete.

(Žák, který byl blíž nabité tyči, bude nabit nesouhlasným vázaným nábojem, vzdálenější žák bude nabit souhlasným nábojem. Znaménka nábojů lze ukázat indikátorem polarity.)



nabíjení žáků elektrostatickou indukcí

ÚLOHY

Podat popis a vysvětlení jednotlivých pokusů.

ELEKTROSTATICKÉ POLE

Zamysleme se nad pokusem s nabíjením plechovky, na níž jsou připevněny lístky staniolu. Lístky, které se nabijí stejně jako plechovka, se zvednou. Jako by je od plechovky odstrkovaly neviditelné ručky. Když k lístkům přiblížíte tyč nabitou opačným nábojem, vychýlí se směrem k ní — neviditelné ručky táhnou tentokrát proužky k tyči.

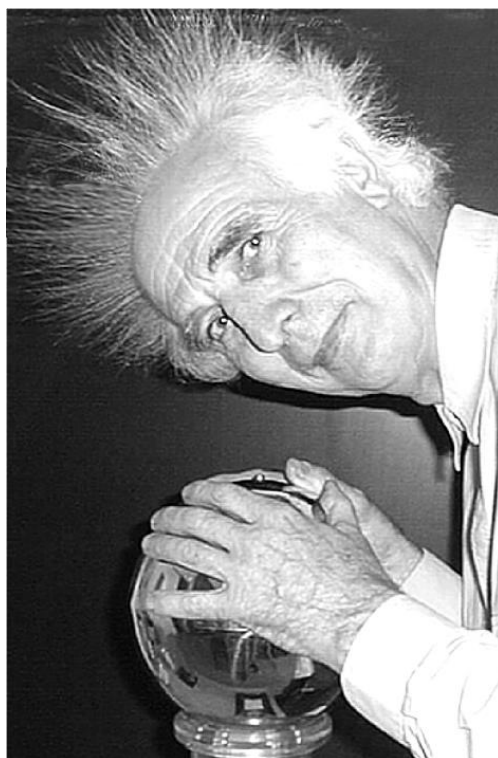
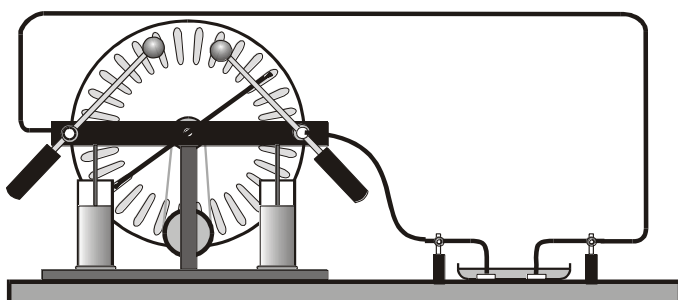
Uměli byste zjistit, jakým směrem se ručky v okolí nabité plechovky, tyče či jiných nabitých předmětů natahují?

Lístek staniolu nebo malou kuličku polystyrénu uvážeme na tenkou silonovou nit a nabijeme dotykem s plechovkou. Jak se kulička vychyluje v blízkém okolí nabité plechovky? Neviditelné ručky trčí kolem nabité plechovky či tyče do všech stran. Říkáme jim elektrické siločáry. Všude, kam dosáhnou, je elektrické pole.

Pokuste se odhadnout, jak obklopují elektrické siločáry nabitou kouli.

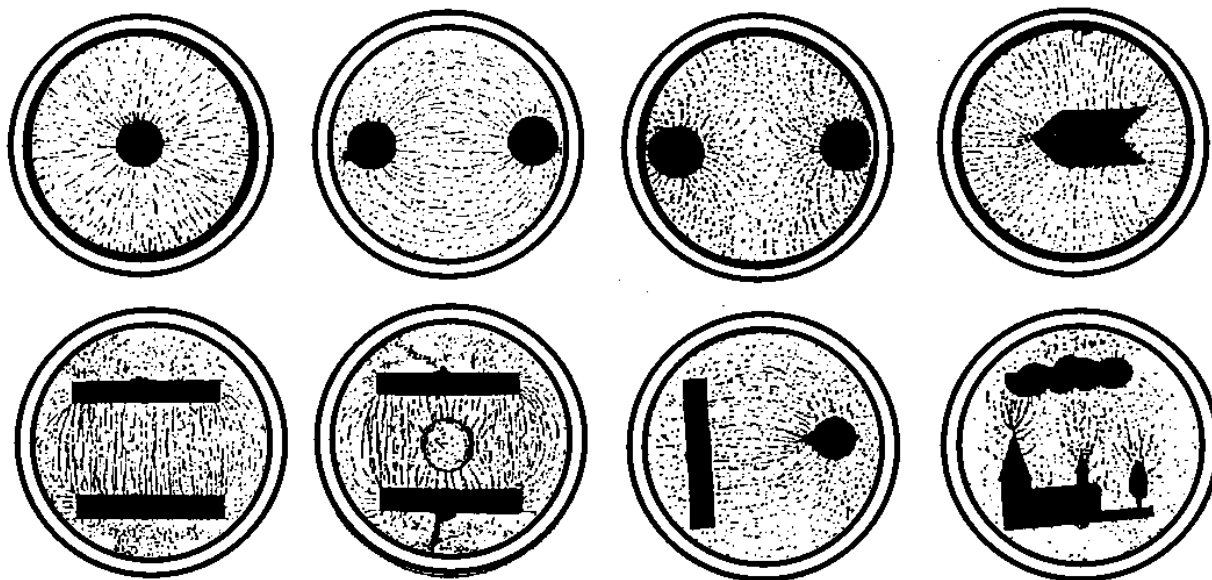
Svou předpověď si můžeme ověřit třeba sami na sobě.
Postavíme se na kus polystyrénu a necháme se nabít.
Pole v okolí naší hlavy je podobné jako kolem koule.
Vlasy prozradí směry jeho siločar.

Ke zviditelnění elektrických siločar nám může posloužit
krupice nasýpaná v oleji. Jak to udělat, zachycuje obrázek.



V mističce s olejem a krupicí jsou ponořeny kovové plíšky, jejichž okolí chceme zkoumat. Nabijeme-li je, zrnka krupice se seřadí a vystopují elektrické pole.

Řetízky, do kterých se krupice seřadila, prozrazují, kudy vedou neviditelné elektrické siločáry.



Modelování elektrostatického pole krupicí v ricinovém oleji pro různé elektrody

Elektrická pole mají pro různé elektrody rozdílný průběh siločar.

Kolem nabité koule míří siločáry do všech stran ve směru poloměrů (radiů), takové pole nazýváme pole radiální (viz 1. miska vlevo nahoře).

Pole mezi dvěma opačnými náboji (viz 2. miska nahoře) je pole dipólu.

Siločáry pole mezi dvěma rovinnými destičkami jsou „učesané“ rovnoběžky. Pole je homogenní (viz 1. miska vlevo dole).

Ve čtvrté dolní misce je zmapováno elektrické pole mezi mrakem a kostelíkem při bouřce. Tam, kde se krupice hromadí, je elektrické pole nejsilnější. Kam nejspíše uhoď blesk?

Vysvětlete, proč není vhodné pobíhat při bouřce po louce nebo se schovávat pod osamělé vysoké stromy.

Všimněte si hromosvodů připevněných na střechách domů. Proč jsou spojeny drátem se zemí?

Když do nich při bouřce udeří, svede drát elektrický náboj do země, aniž by napáchal v domě velkou škodu.

Zjistili jsme, že uvnitř nabitě plechovky nejsou elektrické náboje.

I pomocí krupice v oleji lze potvrdit, že uvnitř dutého vodiče není elektrické pole (viz 2. miska dole).

Proč při bouřce nemusíme mít strach, když se vezeme v autě?

Proč na horách ochrání horolezce před bouřkou plechová chatka lépe než obyčejný stan?

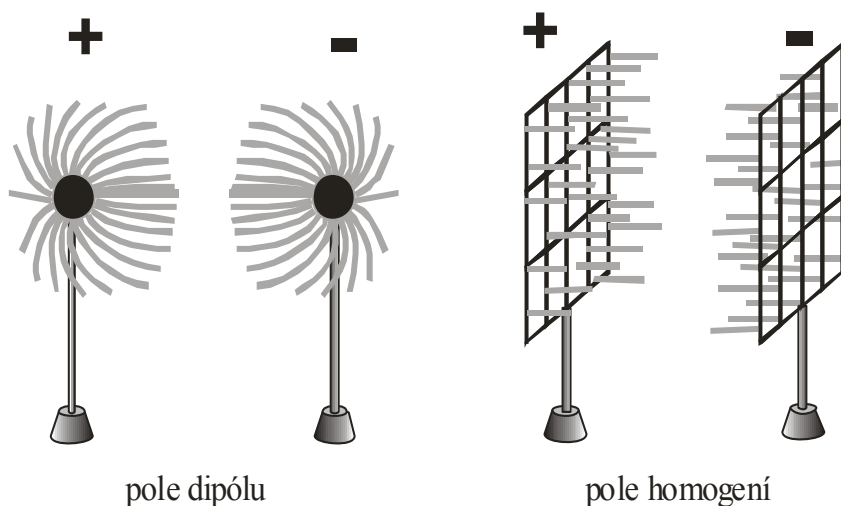
Musel se obávat bouřky rytíř v brnění?



K odstínění elektrického pole není ani nutné, aby těleso mělo souvislý povrch. Stačí dostatečně hustá klec (Faradayova klec), jak ukazuje dolní obrázek.

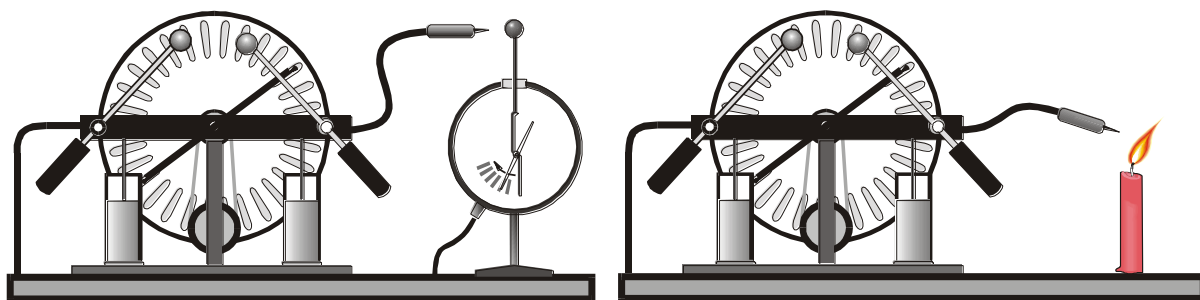


Modelování elektrického pole pomocí krupice má nevýhodu v tom, že neukazuje průběh neviditelných „ručiček“ elektrického pole - siločar v prostoru. Prostorové modelování elektrického pole ukazují papírkové chocholy podobně, jako to dělaly vlasy.



Pole v okolí hrotů

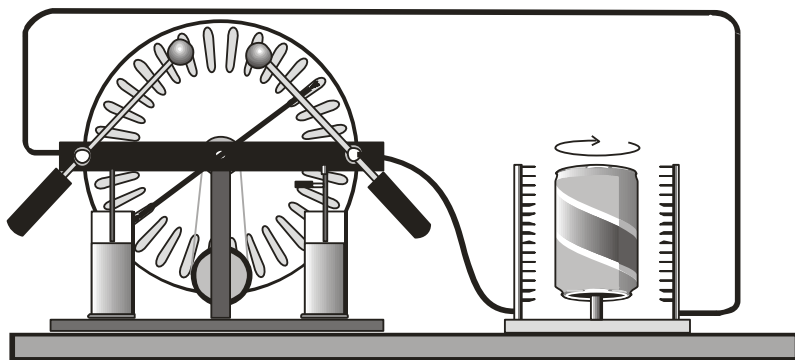
Za povšimnutí stojí pole v okolí hrotů které modelovala krupice na 4. obrázku nahoře a na 3. a 4. obrázku dole. Je zřetelně vidět, že v okolí hrotů jsou zrnka nahromaděna – pole je zde nejsilnější. Tuto skutečnost můžeme prokázat několika dalšími pokusy.



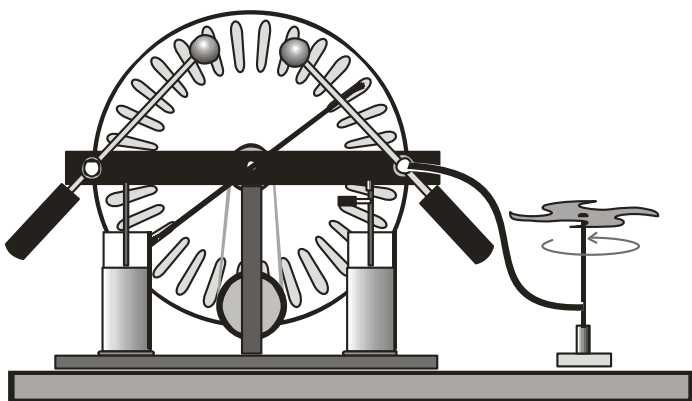
K jedné z elektrod elektriky připojíme vodič zakončený hrotem, který namíříme na elektroskop. Při chodu elektriky se začne elektroskop nabíjet, i když mezi hrotem a konduktorem nedošlo ke kontaktu.

V okolí hrotu je silné elektrické pole, jež dokáže z elektricky neutrálních molekul vzduchu vytvářet ionty. Ionty jsou od hrotu elektrickým polem odpuzovány a jsou zachycovány konduktorem. Namíříme-li hrot na plamen svíčky, vzduch strháváný proudem iontů plamen rozkmitá.

Na spodním obrázku je model elektrostatického motoru. Na jeho rotor – plechovku jsou tečně namířeny hroty připojené k indukční elektrice. Sršením nábojů z hrotů se plechovka roztočí.



Sršení náboje z hrotu vyvolává i reakci působící na hrot. K jedné z elektrod elektriky připojíme jehlu na níž je nasazené kolečko s hroty. Kolečko se při sršení nábojů z hrotů roztočí.



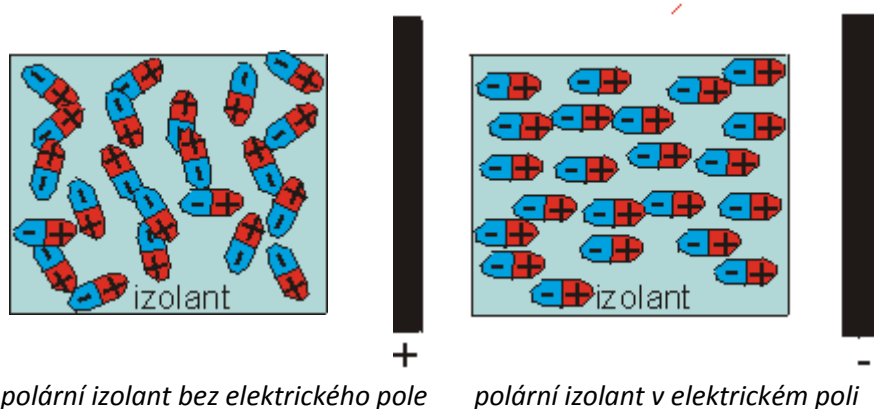
ÚLOHY

Popsat a vysvětlit průběh jednotlivých pokusů

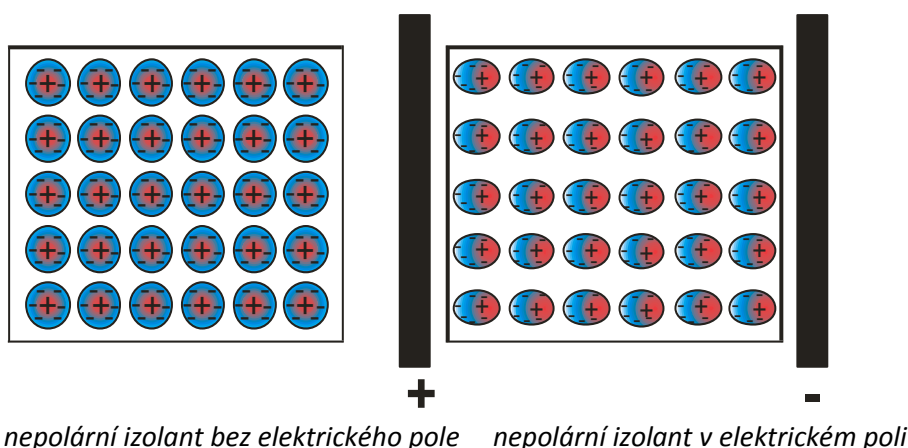
NEVODIČ V ELEKTRICKÉM POLI

Víme, že rozdíl mezi elektrickým vodičem a nevodičem spočívá v tom, že ve vodiči jsou volně pohyblivé nabitě částice, které mohou cestovat z místa na místo, zatímco v nevodičích jsou nabitě částice vázány do určitých poloh.

Nevodiče mohou mít molekuly dvou typů. Molekuly **polárních** nevodičů (dielektrik) např. voda  mají střed ("těžiště") kladného náboje jinde než střed záporného náboje, a jsou to tedy dipóly. Při jejich vložení do elektrického pole se molekuly natáčí tak, aby jejich "kladnější" konec směřoval k záporné desce a "zápornější" konec ke kladné desce (viz obrázek dole). Jev se nazývá polarizace dielektrika.



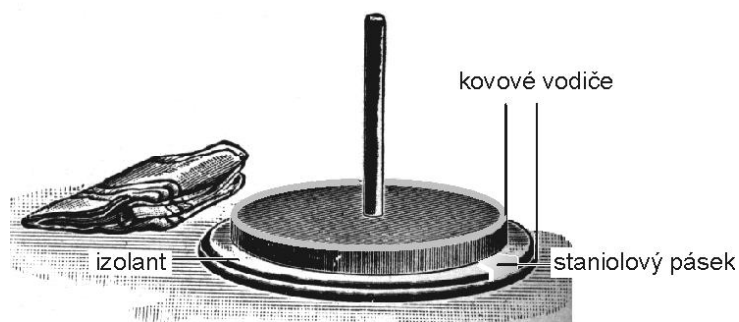
Nepolární nevodiče (izolanty) jsou ty, jejichž molekuly mají střed kladného náboje na stejném místě jako střed záporného náboje (molekulu můžeme znázornit jako kouli). Při vložení látky do elektrického pole je však kladný náboj molekuly přitahován na jednu stranu a záporný náboj na druhou stranu a molekula se "protáhne" ve směru el. pole (viz obrázek dole).



Tím se střed kladného náboje dostane jinam než střed záporného náboje, molekula se stane dipólem a situace vypadá obdobně jako u polárního dielektrika. Jak už bylo řečeno, jev se nazývá polarizace dielektrika.

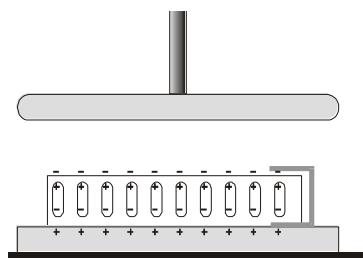
Zajímavý pokus na polarizaci umožňuje historická pomůcka zvaná elektrofor, jež funguje jako bezedný zdroj elektrického náboje.

Když vrchní stranu izolantu elektroforu nabijeme třením srstí, můžeme poté opakovaně přenášet horním kovovým talířem elektroforu náboj např. na elektroskop.

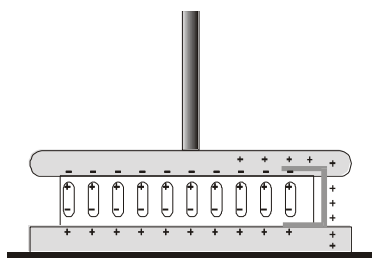


Elektrofor

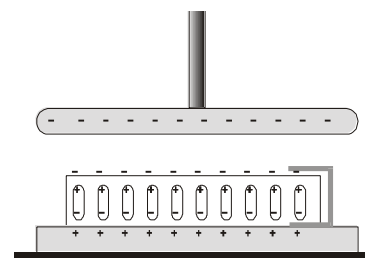
Vysvětlení vzniku náboje na desce elektroforu není jednoduché. Zkusíme postupovat po krátkých krocích, které jsou naznačeny na obrázcích.



Třením izolantu srstí vznikl na jeho horní stěně náboj, izolant se polarizuje, na dolní kovové desce se indukují elektrické náboje, volný záporný náboj ze spodní desky uteče do země



Na přiložené poklici se indukují elektrické náboje. Volný kladný náboj z ní uteče kovovým páskem do země, na poklici zůstane vázaný záporný náboj



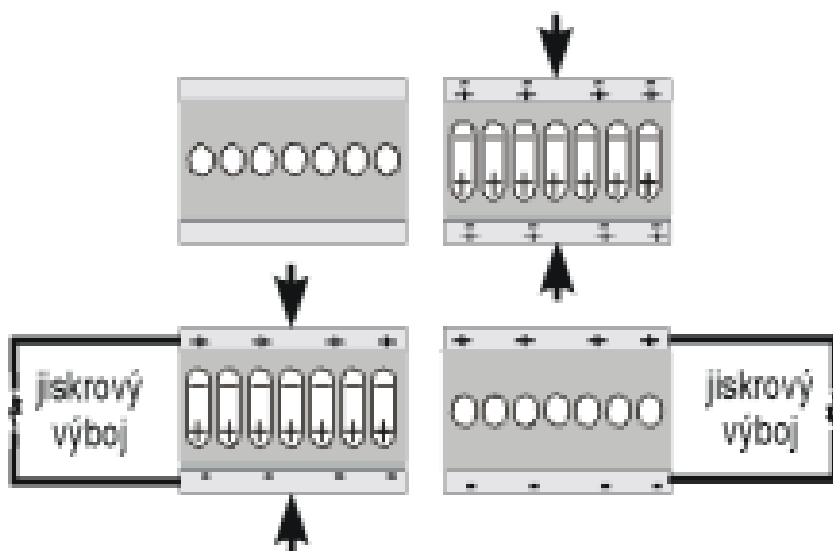
Po zvednutí horní desky lze z ní uvolněný záporný náboj přenést na elektroskop poklici tím vybit tj. obnovit na ní rovnováhu nábojů + a -.

Popsaný druhý a třetí krok je možné stále opakovat, aniž bychom museli izolant znova třít srstí, protože jeho polarizace přetrvává.

PIEZOELEKTRICKÝ JEV

Existuje jistý druh krystalů (piezoelektrické), které jsou v nedeformovaném stavu nepolarizované. Když je ale takový krystal stlačen, pak se vlivem působících sil silně polarizuje, takže se na jeho protějších stěnách objeví opačné náboje. Ty nejsou ale volně pohyblivé, jsou svázány s krystalem.

Proto se stěny krystalu opatřují kovovými polepy nebo napařeným kovovým povlakem. V polepech se elektrostatickou indukcí oddělí kladné a záporné náboje. Z nich jeden je vždy vázaný opačným nábojem na ploše krystalu, druhý je naopak volný.



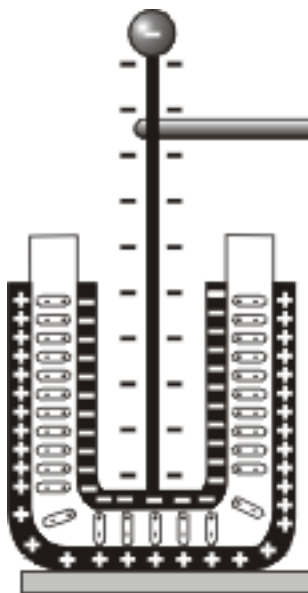
Volné náboje (na obrázku na horním polepu záporné a na dolním polepu kladné) se mohou jiskrou vybit, a to se například využívá v zapalovači plynu. Jestliže po vybití stlačený krystal uvolníme, krystal se depolarizuje a původně vázané náboje na polepech se stanou volnými a opět se mohou jiskrou vybit.

Piezokrystaly se využívají i v akustice. V piezoelektrických mikrofonech se zachycené změny zvukového tlaku mění v elektrický signál.

Obráceně je tomu v reproduktorech. Vložíme-li na takový krystal elektrické pole, krystal se deformuje a v případě proměnného elektrického pole se chvěje a vydává zvuk ve stejném rytmu, v jakém se mění vložené pole – funguje jako piezoelektrický reproduktor používaný např. v mobilech, počítačích a pod.

Kondenzátor

Dielektrika se využívají v součástkách na „uskladňování“ elektrických nábojů – kondenzátorech. Již jsme se s jedním druhem setkali u elektriky. Polarizace, ke které dochází ve skle Leidenských lahví, umožňuje pojmout do nich větší elektrické náboje.



ÚLOHY

Popsat a vysvětlit průběh jednotlivých pokusů