Střední průmyslová škola sdělovací techniky
Panská 3
Praha 1

© Jaroslav Reichl, 2002

Sbírka úloh z fyziky

určená studentům 3. ročníku technického lycea jako doplněk ke studiu fyziky

Jaroslav Reichl

OBSAH

1. Optika - zákon odrazu a lomu ___ ***3***
2. Optika - interference, ohyb, polarizace ___ ***5***
3. Optika - zobrazení zrcadly, čočkami a optickými přístroji ___ ***9***
4. Základní poznatky molekulové fyziky ___ ***14***
5. Teplo, vnitřní energie, kalorimetrická rovnice ___ ***14***
6. Struktura a vlastnosti plynů ___ ***18***
7. Struktura a vlastnosti pevných látek ___ ***21***
8. Struktura a vlastnosti kapalin ___ ***24***
9. Změny skupenství ___ ***27***

Hodnoty vybraných fyzikálních konstant

Nebude-li v zadání úlohy uvedeno jinak, používejte tyto konstanty:

velikost tíhového zrychlení: $9{,}81\ m.s^{-2}$
hustota vody: $1000\ kg.m^{-3}$
normální atmosférický tlak: $10^5\ Pa$
permitivita vakua: $8{,}85.10^{-12}\ C^2.N^{-1}.m^{-2}$
permeabilita vakua: $4\pi.10^{-7}\ N.A^{-2}$
měrná tepelná kapacita vody: $4{,}2\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
měrná tepelná kapacita ledu: $2{,}1\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
skupenské teplo tání ledu: $334\ kJ.kg^{-1}$
skupenské teplo varu vody: $2{,}26\ MJ.kg^{-1}$

Boltzmannova konstanta: $1{,}38.10^{-23}\ J.K^{-1}$
Avogadrova konstanta: $6{,}02.10^{23}\ mol^{-1}$
molární plynová konstanta: $8{,}31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$
povrchové napětí vody: $73\ mN.m^{-1}$
klidová hmotnost elektronu: $9{,}1.10^{-31}\ kg$
náboj elektronu: $1{,}602.10^{-19}\ C$
Planckova konstanta: $6{,}62.10^{-34}\ J.s$
velikost rychlosti světla ve vakuu c: $3.10^8\ m.s^{-1}$

1. Optika - zákon odrazu a lomu

1.1 V jaké výšce nad hladinou vody jezera u skály je oblak, který pozorujeme ze skály vysoké $76\ \mathrm{m}$ ve výškovém úhlu $56\,°$ a jeho obraz na vodní hladině jezera u skály v hloubkovém úhlu $58\,°$?

V: $1989\ \mathrm{m}$

1.2 Na dvě navzájem kolmé rovinné plochy dopadá postupně světelný paprsek (viz obr. 1). Jaký úhel svírá paprsek dopadající na plochu *AB* a paprsek odražený od plochy *BC*?

V: $180°$

1.3 Kovová pravoúhlá nádrž o délce $1{,}1\ m$ a výšce $85\ cm$ je naplněna až po okraj neznámou kapalinou. Pozorovatel, jehož oči jsou na úrovni hladiny v levém horním rohu nádrže, vidí právě pravý dolní roh nádrže. Určete index lomu kapaliny.

V: 1,26

1.4 Na skleněnou desku s indexem lomu 1,6 dopadá ze vzduchu světelný paprsek. Určete úhel dopadu, je-li úhel lomu a) poloviční, b) dvojnásobný než úhel dopadu.

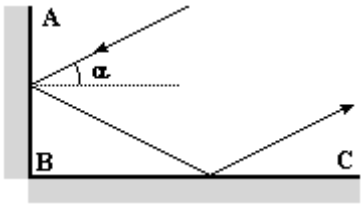
V: a) $73{,}74°$; b) nelze

1.5 Korková zátka plave na hladině rybníka, jehož hloubka je $1{,}6\ m$. Kde se nachází stín zátky na dně rybníka, když Slunce právě zapadá? Index lomu vody je 1,33.

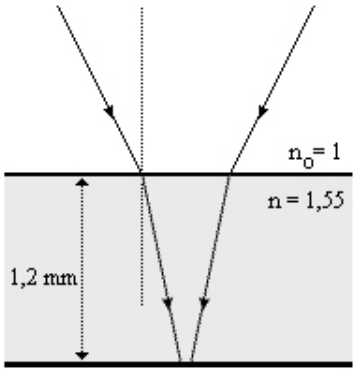
V: $1{,}8\ m$ od paty kolmice spuštěné ze zátky na dno

1.6 Polykarbonát na CDčku, který chrání vlastní médium se zaznamenanými informacemi, má index lomu 1,55 a je silný 1,2 mm (viz obr. 2). Svazek laserových paprsků, který dopadá na povrch polykarbonátu má průměr $800\ \mu\mathrm{m}$, průměr stejného svazku při dopadu na vlastní médium je $1{,}7\ \mu\mathrm{m}$. Určete, pod jakým úhlem dopadá svazek na polykarbonát a pod jakým úhlem se do něj láme. Index lomu okolního vzduchu uvažujte roven jedné.

V: $28{,}26°$; $18{,}4°$



obr. 1



obr. 2

1.7 Na skleněnou desku s indexem lomu 1,6 a tloušťky 1 cm dopadá z vody s indexem lomu 1,33 světlo pod úhlem $60°$. Určete posun lomeného paprsku oproti dopadajícímu paprsku po průchodu deskou.

V: 0,7 cm

1.8 Svislá tyč délky $2\ m$ vyčnívá do výšky $50\ cm$ nad hladinou vody v rybníce. Slunce se nachází $55°$ nad horizontem. Jaká je délka stínu tyče na dně rybníka?

V: $1{,}07\ m$

1.9 Dřevěná tyč o průřezu $1\ \mathrm{cm}^2$ a délce 1,5 m je zatížena závažím o hmotnosti 40 g a je ponořena ve svislé poloze do rybníka, který má v daném místě hloubku 2 m. Slunce se nachází $30\,°$ nad obzorem. Určete délku stínu tyče na dně rybníka. Hustota dřeva tyče je $600\ \mathrm{kg.m^{-3}}$, hustota materiálu závaží je $7800\ \mathrm{kg.m^{-3}}$ a index lomu vody je 1,33.

V: 2,15 m

1.10 Rybka se dívá svému chovateli do očí skrz sklo akvária. Úhel jejího pohledu vůči vodorovné rovině je $30°$. Pod jakým úhlem vidí rybičku chovatel, jestliže index lomu skla je 1,5 a index lomu vody je 1,3? Jak závisí tento úhel na tloušťce stěny akvária?

V: $48{,}6°$; nezávisí

1.11 Na dně potoka je cíl $40\,cm$ hluboko. Střelec jej chce zasáhnout střelou z pušky. Míří-li přesně na cíl, svírá tento směr s vodorovnou rovinou úhel $60°$. O kolik se střelec mine za předpokladu, že by cíl zasáhl, kdyby nebylo vody? Index lomu vody je 1,33.

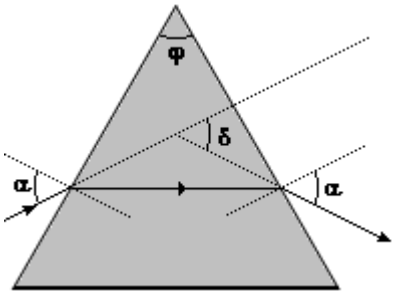
V: $6{,}87\,cm$

1.12 Na rovinný povrch kapaliny dopadá ze vzduchu pod úhlem $50°$ paprsek a vstupuje do ní pod úhlem $30°$. Lomený paprsek dopadá na dno, které je průhledné a které má index lomu 1,2. Určete index lomu kapaliny a směr šíření paprsku lomeného do dna.

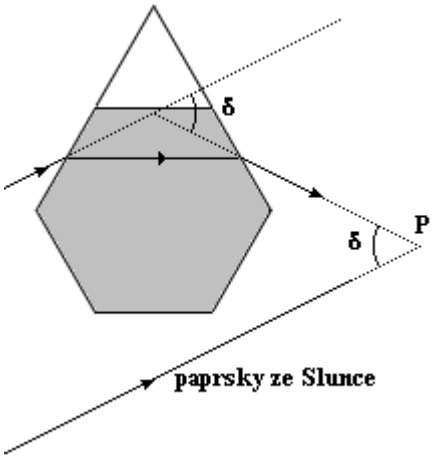
V: $1{,}53;\ 39{,}7°$

1.13 Trojboký skleněný hranol na obr. 3 je umístěn ve vzduchu. Úhel dopadu α je zvolen tak, že paprsek po průchodu hranolem vychází z protilehlé plochy také pod úhlem α. Určete, jak závisí index lomu skla hranolu na lámavém úhlu hranolu φ a na deviaci δ. (Za uvedených podmínek je úhel δ minimální a nazývá se *úhel minimální deviace*.)

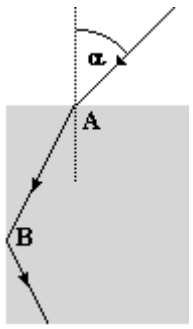
V: $n = n_{vzduchu}\dfrac{\sin\dfrac{\varphi+\delta}{2}}{\sin\dfrac{\varphi}{2}}$



obr. 3



obr. 4



obr. 5

1.14 Když je atmosféra chladná, mohou se z vlhkosti vytvářet ledové krystalky různého tvaru. Pokud atmosféra obsahuje ve směru ke Slunci dostatečné množství plochých hexagonálních destiček, objeví se napravo a nalevo $120°$ od Slunce jasná (někdy barevná) oblast nazývaná *vedlejší Slunce* (*paranthelium*), případně v protisměru *protislunce* (*antihelium*). Je vytvářena slunečním světlem, které prošlo ledovými destičkami. Tyto paprsky jsou navzájem rovnoběžné, když dopadají na Zem k pozorovateli *P* (viz obr. 4). Jejich směr se změnil lomem při průchodu ledovou destičkou a ty, které prošly pod úhlem minimální deviace, mohou vytvořit protislunce. To je vidět pod úhlem δ od Slunce. Je-li index lomu ledu 1,31, jak velký je úhel δ?

V: $21{,}8°$

1.15 Světelný paprsek vstupuje do skleněné desky pod úhlem $\alpha = 45°$ v bodě *A* a potom se úplně odráží v bodě *B* (viz obr. 5). Jaký minimální index lomu může mít sklo na základě této informace?

V: 1,22

1.16 Paprsek světla znázorněný na obr. 6 je kolmý ke stěně *AB* skleněného hranolu s indexem lomu 1,52. Najděte největší hodnotu úhlu φ, při kterém je paprsek totálně odražen na stěně *AC*, jestliže je hranol umístěn a) ve vzduchu, b) ve vodě.

V: $48{,}9°$; $28{,}9°$

obr. 6

1.17 Jak daleko před sebou vidí řidič automobilu za jasného letního dne „mokrou silnici“, je-li index lomu vzduchu do výšky $5\,cm$ nad silnicí roven 1,002? Index lomu okolního vzduchu je roven 1,004. Oči řidiče se nachází ve výšce $150\,cm$ nad zemí.

V: větší než $22{,}92\,m$

1.18 Na hladinu vody v 3 m hlubokém bazénu dopadá pod úhlem $60\,°$ sluneční světlo. Vypočítejte šířku barevného spektra, které vznikne na dně bazénu. Index lomu vody pro červené světlo je 1,331, index lomu vody pro fialové světlo je 1,343.

V: 4 cm

2. Optika - interference, ohyb, polarizace

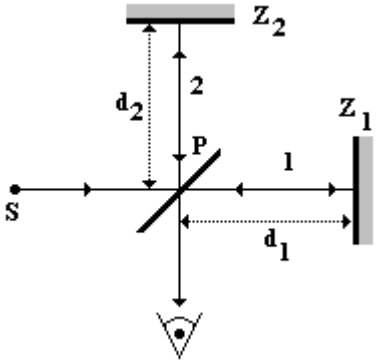
2.1 Na obr. 7 jsou zobrazeny dva stejné zdroje světla *A* a *B*, které jsou ve fázi a mají stejnou vlnovou délku λ. Vzdálenost mezi zdroji je $d = 3\lambda$. Určete na ose *x* největší vzdálenost od zdroje *A*, pro kterou nastává destruktivní interference.

V: $8,75\lambda$

2.2 V roce 1881 sestrojil americký fyzik A. A. Michelson interferometr, tj. přístroj umožňující měřit s vysokou přesností délkové změny a délku pomocí interference světla (jeho schéma je na obr. 8). Skládá se z polopropustného zrcadla *P*, které slouží jako dělič svazku. Rozdělená vlna postupuje k zrcadlům Z_1 a Z_2, kde se odrazí, vrací se zpět a vstupují do oka pozorovatele. Posuneme-li jedno z zrcadel v Michelsonově interferometru o $0,233\,mm$, posune se interferenční obrazec o 792 proužků. Jaká je vlnová délka světla vytvářející strukturu proužků?

V: 588,4 nm

obr. 7



obr. 8

2.3 Vzduchotěsná komora dlouhá $5\,cm$ se skleněnými okénky je umístěna v jedné větvi Michelsonova interferometru. Je použito světlo o vlnové délce $500\,nm$. Jestliže je vzduch z komory zcela vyčerpán, dojde k posunutí interferenčního obrazce o 60 proužků. Určete index lomu vzduchu při atmosférickém tlaku.

V: 1,0003

2.4 Bílé světlo o stejné intenzitě v celé viditelné oblasti vlnových délek dopadá kolmo na vrstvu s indexem lomu 1,33 a tloušťce $320\,nm$ ze vzduchu. Při jakých vlnových délkách se pozorovateli jeví vrstva nejjasněji osvětlena?

V: $567,5\,nm$

2.5 Bílé světlo se odráží kolmo na plochách vzduchové vrstvy silné $1\,\mu m$, která se nachází mezi dvěmi skleněnými deskami. Určete vlnové délky světla ve viditelné oblasti spektra, které jsou v odraženém světle nejvíce a) zesílené, b) zeslabené.

V: a) 444,4 nm ; 571,4 nm ; b) 400 nm ; 500 nm ; 666,7 nm

2.6 Na $500\,nm$ silnou vrstvu oleje, která plave na vodorovné vodní hladině, dopadá kolmo bílé světlo. V odraženém světle se vrstva jeví v barvě, jíž přísluší vlnová délka $640\,nm$. Určete index lomu použitého oleje a velikost rychlosti světla v tomto oleji.

V: 1,6; $1,88.10^8\ m.s^{-1}$

2.7 Na vodní hladině plave dokonale planparalelní vrstva oleje. Při kolmém osvětlení bílým světlem v prošlém světle chybí světlo vlnové délky $600\,nm$. Určete minimální tloušťku olejové vrstvy. Jaká barva se nejvíce zesiluje v odraženém světle? Index lomu oleje je 1,25, index lomu vody je 1,33.

V: 240 nm; 600 nm

2.8 Jarda drží v ruce slídovou fólii tloušťky 300 nm s indexem lomu 1,65. Světlo jaké vlnové délky chybí v prošlém světle a světlo jaké vlnové délky chybí v odraženém světle? Přepokládejte, že na slídu dopadu bílé světlo přibližně kolmo k rovně fólie.

V: 660 nm; 495 nm

2.9 Na planparalelní mýdlovou blánu umístěnou ve vzduchu dopadá kolmo bílé světlo. Určete dvě přípustné tloušťky blány, jestliže v prošlém světle chybí světlo vlnové délky 550 nm. Velikost rychlosti světla v mýdlovém roztoku je $2,26 \cdot 10^8 \ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

V: 104 nm; 312 nm

2.10 Jaké jsou dvě možné tloušťky tenké olejové vrstvy plovající na vodě, jestliže se při kolmém pohledu v daném místě jeví olej v barvě, jíž přísluší vlnová délka 600 nm? Velikost rychlosti světla v oleji je $2 \cdot 10^5 \ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$.

V: 100 nm; 300 nm

2.11 Na vrstvu oleje tloušťky d vytvořené na vodě dopadá kolmo sluneční záření. Určete vlnové délky světla, které ovlivní barevný vzhled olejové vrstvy tím, že se toto světlo: a) bude odrážet s největší relativní intenzitou, b) při odrazu od vrstvy nejvíce zeslabí. Řešte nejdříve obecně, potom pro $d = 300 \ \mathrm{nm}$. Velikost rychlosti světla ve vakuu je $3.10^8 \ \mathrm{m.s^{-1}}$, v oleji $2.10^8 \ \mathrm{m.s^{-1}}$ a ve vodě $2,2.10^8 \ \mathrm{m.s^{-1}}$.

V: a) 600 nm ; b) 450 nm

2.12 Na fólii s indexem lomu 1,5 umístěnou ve vzduchu dopadá kolmo bílé světlo. V odraženém světle se v daném místě jeví fólie v barvě, jíž přísluší vlnová délka 600 nm. Určete dvě nejmenší přípustné tloušťky fólie v daném místě. Pro silnější z nich určete vlnovou délku světla, které se zesílí v prošlém světle.

V: 100 nm ; 300 nm ; 450 nm

2.13 Skleněná čočka je na jedné straně pokryta tenkou vrstvou MgF_2, která snižuje odrazivost povrchu čočky. Index lomu MgF_2 je 1,38 a index lomu skla je 1,50. Jaká je nejmenší tloušťka vrstvy, která interferencí odstraňuje odrazivost ve středu oblasti viditelného spektra, tj. vlnovou délku $550 \ nm$? Předpokládejte, že světlo se šíří přibližně kolmo k ploše čočky.

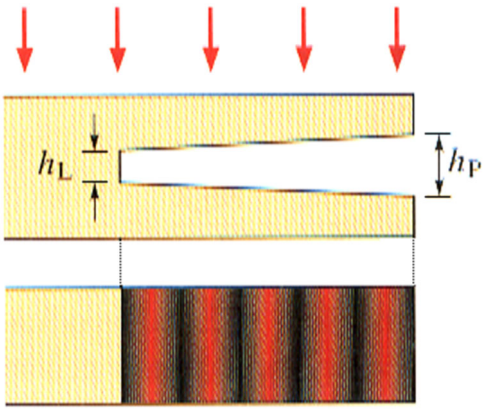
V: $99,6 \ nm$

2.14 Na plastovou fólii tloušťky 500 nm položenou na skle dopadá bílé světlo kolmo k rovině fólie. Určete vlnovou délku světla, které chybí v prošlém světle. Index lomu fólie je 1,45 a index lomu skla je 1,65.

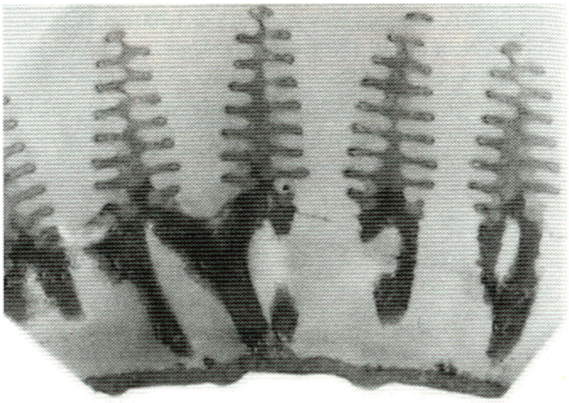
V: 483 nm

2.15 Na obr. 9 je zobrazen průhledný plastový blok s tenkým klínem, vyříznutým vpravo v plastu. Široký svazek červeného světla o vlnové délce $632,8 \ nm$ směřuje kolmo dolů přes vršek bloku. Část světla se odráží zpět od vrchní a spodní plochy klínu, který působí jako tenká vrstva vzduchu o tloušťce, která se stejnoměrně a postupně mění od h_L na levém konci do h_P na pravém konci. Pozorovatel dívající se dolů na blok vidí interferenční obrazec obsahující podél klínu šest tmavých proužků a pět světlých červených proužků. Jaká je změna tloušťky klínu?

V: $1,58 \ \mu m$



obr. 9



obr. 10

2.16 Duhové zbarvení povrchu křídel motýlů z rodu *Morpho* je důsledkem konstruktivní interference světla odraženého na tenkých terasovitě uspořádaných stupních průsvitných kutikul (buněčných blan na povrchu křídel). Ty jsou rovnoběžné s povrchem křídel a rozšiřují se směrem dolů ze středové části, kolmé ke křídlu. Řez středovou částí a terasovitými stupni ukazuje snímek z elektronového mikroskopu na obr. 10. Stupně mají index lomu 1,53 a tloušťku $63,5 \ nm$ a jsou odděleny vzduchovou mezerou

tloušťky $127\ nm$. Světlo na ně dopadá kolmo. Pro jakou vlnovou délku viditelného světla vzniká při odrazu interferenční maximum?

V: $448\ nm$

2.17 Odraz kolmo dopadajícího bílého světla od mýdlové blány ve vzduchu má interferenční maximum při $600\ nm$ a minimum při $450\ nm$, přitom mezi těmito hodnotami neexistuje žádné další minimum. Jaká je tloušťka vrstvy, je-li její index lomu 1,33?

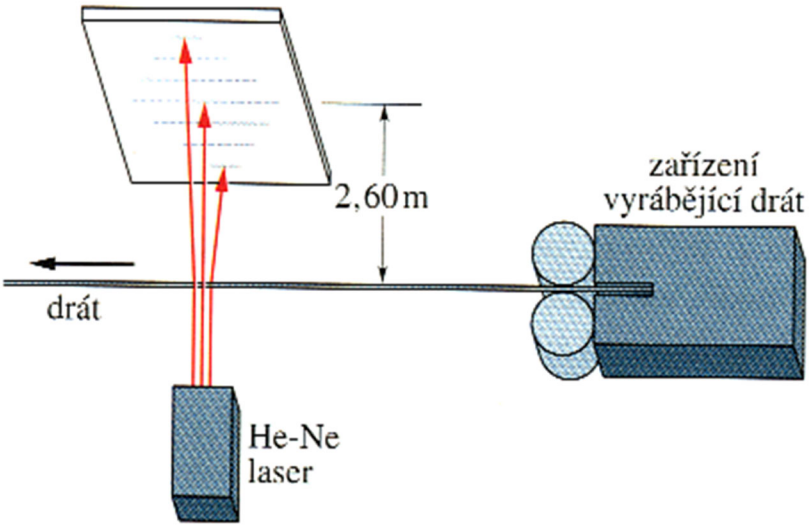
V: $338{,}3\ nm$

2.18 Intenzívní světlo o vlnové délce $585\ nm$ dopadá kolmo na mýdlovou blánu s indexem lomu 1,33 tloušťky $1{,}21\ \mu m$ umístěnou ve vzduchu. Je světlo odražené na obou plochách blány blíže k destruktivní nebo ke konstruktivní interferenci?

V: konstruktivní

2.19 Výrobci drátů (a jiných věcí s malými rozměry) používají někdy laseru, aby kontinuálně kontrolovali tloušťku výrobku. Na drát dopadá laserový svazek světla a vzniká difrakční obrazec, který je prakticky stejný jako difrakční obrazec od štěrbiny o šířce rovné průměru vlákna (viz obr. 11). Předpokládejte, že na drát svítí He-Ne laser, jehož světlo má vlnovou délku 632,8 nm, a že difrakční obrazec pozorujete na stínítku ve vzdálenosti 2,6 m. Požadovaná šířka drátu je 1,37 mm. Jaká je vzdálenost mezi oběma minimy desátého řádu?

V: 2,28 cm



obr. 11

2.20 Úzká štěrbina je osvětlená rovnoběžným svazkem bílého světla, dopadajícího kolmo na štěrbinu. Určete, pro kterou vlnovou délku splyne střed třetího tmavého proužku se středem druhého tmavého proužku pro červenou barvu vlnové délky 690 nm.

V: 414 nm

2.21 Světlo o vlnové délce $633\ nm$ dopadá na úzkou štěrbinu. Úhel mezi maximy prvních řádů je $1{,}2°$. Jaká je šířka štěrbiny?

V: $60{,}4\ \mu m$

2.22 Určete mřížkovou konstantu mřížky, která zobrazí maxima čtvrtých řádů vlnové délky dopadajícího světla 650 nm do vzájemné vzdálenosti 75 cm na stínítku vzdáleném 2 m od mřížky.

V: 14,7 μm

2.23 Na stínítku vzdáleném $40\ cm$ od štěrbiny je vzdálenost mezi prvním a pátým minimem difrakčního obrazce $0{,}35\ mm$. Použité světlo má vlnovou délku $550\ nm$. Určete šířku štěrbiny. Vypočtěte úhel prvního difrakčního minima.

V: $2{,}5\ mm$; $0{,}0125°$

2.24 Na optickou mřížku se 100 vrypy na jeden milimetr délky dopadá kolmo světlo s vlnovou délkou $500\ nm$. Jaká je vzdálenost maxim pátých řádů na stínítku ve vzdálenosti $3\ m$ od mřížky? Kolik maxim může na stínítku vzniknout?

V: $1{,}55\ m$; 20 na každou stranu

2.25 Na optickou difrakční mřížku dopadá kolmo světlo vlnové délky $650\,\text{nm}$. Na stínítku ve vzdálenosti $2{,}5\,\text{m}$ od mřížky vzniká interferenční obrazec, v němž je vzdálenost maxim druhých řádů $20\,\text{cm}$. Určete mřížkovou konstantu mřížky.

V: $32{,}5\,\mu\text{m}$

2.26 Bílé světlo, ohraničené elektromagnetickým zářením s vlnovými délkami 400 nm a 800 nm, dopadá na optickou mřížku s 2000 vrypy na jeden centimetr délky. Určete šířku spektra prvního řádu na stínítku vzdáleném 2,5 m od mřížky.

V: 20,5 cm

2.27 Ve dvojštěrbinovém experimentu je vzdálenost mezi štěrbinami $5\,mm$ a štěrbiny jsou $1\,m$ od projekčního stínítka. Na stínítku lze vidět dva interferenční obrazce: jeden, vytvořený světlem o vlnové délce $480\,nm$, a druhý, vytvořený světlem o vlnové délce $600\,nm$. Jaká je na stínítku vzdálenost mezi světlými proužky třetího řádu těchto dvou rozdílných obrazců?

V: $72\,\mu m$

2.28 Difrakční mřížka široká $20\,mm$ má 6000 vrypů. Vypočtěte vzdálenost mezi sousedními vrypy. Pod jakými úhly se objeví maxima intenzity, má-li dopadající záření vlnovou délku $589\,nm$?

V: $3{,}33\,\mu m$; $0°$; $\pm 10{,}2°$; $\pm 20{,}7°$; $\pm 32°$; $\pm 44{,}9°$; $\pm 62°$

2.29 Předpokládejte, že viditelné spektrum je vymezeno vlnovými délkami $430\,nm$ a $680\,nm$. Vypočtěte, kolik vrypů na jeden milimetr délky má mřížka, která rozloží spektrum prvního řádu do úhlu $20°$.

V: $1094\,mm^{-1}$

2.30 Na optickou mřížku s mřížkovou konstantou $0{,}01\,mm$ dopadá kolmo světlo s vlnovou délkou $600\,nm$. Maxima třetích řádů jsou na stínítku vzájemně vzdálena $20\,cm$. Jak daleko od mřížky je stínítko? Kolik maxim se na stínítku zobrazí?

V: $0{,}55\,m$; 16 (na každé straně od hlavního maxima)

2.31 Na mřížku s 350 vrypy na jeden milimetr délky dopadá kolmo bílé světlo, jehož spektrum pozorujeme na stínítku ve vzdálenosti $30\,cm$ do mřížky. Ve stínítku vyřízneme štěrbinu širokou $10\,mm$, která je rovnoběžná s centrálním maximem a jejíž vnitřní okraj je ve vzdálenosti $50\,mm$ od centrálního maxima. Určete interval vlnových délek, které projdou takto vytvořenou štěrbinou.

V: $(469{,}6;\, 559{,}8)\,nm$

2.32 Při jakém úhlu dopadu bude světlo odražené od hladiny vody úplně polarizované? Závisí tento úhel na vlnové délce světla? Vysvětlete. Index lomu vody je 1,33.

V: $53°$; ano

2.33 Světlo šířící se vodou s indexem lomu 1,33 dopadá na skleněnou desku s indexem lomu 1,53. Při jakém úhlu dopadu bude odražené světlo úplně polarizované?

V: $49°$

2.34 Vypočtěte horní a dolní hranici Brewsterových úhlů pro viditelné světlo dopadající na tavený křemen. Předpokládejte, že hranice vlnových délek viditelného světla jsou $400\,nm$ a $700\,nm$. Index lomu pro červené světlo je 1,455, pro fialové 1,470.

V: $\alpha_B = \langle 55{,}5°;\, 55{,}8° \rangle$

2.35 Světelný paprsek přechází z vody s indexem lomu 1,33 do flintového skla tak, že se láme pod úhlem $37°30'$. Určete index lomu flintového skla, je-li odražený paprsek zcela polarizován.

V: 1,73

2.36 Když červené světlo dopadá ve vakuu pod Brewsterovým úhlem na skleněnou desku, je úhel lomu $32°$. Jaký je index lomu skla? Jaký je Brewsterův úhel?

V: 1,6; $58°$

2.37 Světlo odražené od diamantu, který se nachází pod hladinou vody, je plně polarizované. Pod jakým úhlem vstupuje světlo do diamantu? Index lomu diamantu je 2,42 a index lomu vody je 1,33.

V: $28{,}8°$

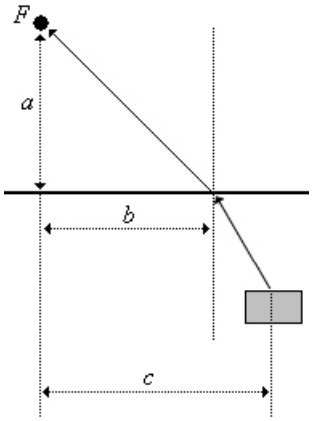
2.38 Na rozhranní vody a skla dopadá světlo, které se na rozhranní uvedených optických prostředí částečně odráží a částečně láme. Odražený paprsek světla je přitom zcela polarizován a s dopadajícím

paprskem svírá úhel 100° . Určete index lomu skla. Index lomu vody je 1,33. Řešte pro případ, kdy světlo dopadá a) z vody do skla, b) ze skla do vody.

V: a) 1,59; b) neodpovídá zadání

2.39 Fotograf *F* fotografuje za slunečního počasí z jeřábu nad jezerem bednu, která je pod hladinou jezera (viz obr. 12). Chce získat co nejlepší snímek, a proto našroubuje na objektiv fotoaparátu polarizační filtr. Při nejlepším nastavení, kterého lze za daných podmínek dosáhnout, byly naměřeny tyto rozměry: $a = 2{,}5$ m, $b = 3{,}2$ m a $c = 6$ m. Určete a) index lomu vzduchu nad vodou, b) hloubku, v níž se pod hladinou jezera nachází bedna. Index lomu vody je 1,33.

V: 1,04; 3,6 m



obr. 12

3. <u>Optika - zobrazení zrcadly, čočkami a optickými přístroji</u>

3.1 Mol je $10\,cm$ před rovinným zrcadlem přibližně v úrovni vašich očí; vy jste za molem, $30\,cm$ od zrcadla. Na jakou vzdálenost musíte zaostřit oči, abyste viděli obraz mola v zrcadle, tj. jaká je vzdálenost mezi vašima očima zdánlivou polohou obrazu mola?

V: $40\,cm$

3.2 Obraz kolibříka v rovinném zrcadle prohlížíte kamerou. Kamera je $4{,}3\,m$ před zrcadlem. Ptáček je výšce kamery, $5\,m$ napravo od vás a $3{,}3\,m$ od zrcadla. Na jakou vzdálenost musíte zaostřit kameru, abyste dostali otrou fotografii obrazu, tj. jaká je vzdálenost mezi objektivem a zdánlivou polohou obrazu kolibříka?

V: $9{,}04\,m$

3.3 Bodový zdroj je $10\,cm$ od rovinného zrcadla, oko pozorovatele (s průměrem pupily $5\,mm$) je $20\,cm$ od zrcadla. Uvažuje oko i zdroj ležící na téže přímce kolmé k povrchu zrcadla a nalezněte na zrcadle oblast, která je využita při pozorování obrazu bodového zdroje.

V: kruh o poloměru $0{,}83\,mm$

3.4 Malá žárovka je zavěšena $250\,cm$ nad hladinou vody plaveckého bazénu. Hloubka vody je $200\,cm$ a dno bazénu tvoří velké zrcadlo. Jak hluboko pod povrchem zrcadla je obraz žárovky?

<u>Návod:</u> Použijte konstrukci obrazu pomocí dvou paprsků blízko svislé osy procházející žárovkou a užijte aproximace $\sin\alpha \doteq \operatorname{tg}\alpha \doteq \alpha$ *platné pro malé úhly* α .

V: $532{,}5\,cm$

3.5 Tarantule výšky *h* sedí před kulovým zrcadlem s ohniskovou vzdáleností $|f| = 40\,cm$. Obraz tarantule vytvořený zrcadlem je orientován stejně jako předmět a má výšku $h' = 0{,}2h$. Určete a zdůvodněte zbývající vlastnosti obrazu. O jaké kulové zrcadlo se jedná a jaká je jeho ohnisková vzdálenost (včetně znaménka)?

V: zmenšený, nereálný; vypuklé: $f = -40\,cm$

3.6 Vypuklé zrcadlo zobrazuje předmět vysoký 10 cm tak, že jeho obraz má výšku 2,5 cm. Jak daleko od zrcadla se nachází obraz, jestliže předmět je umístěn ve vzdálenosti 20 cm od zrcadla? Jaká je ohnisková vzdálenost použitého zrcadla?

V: -5 cm; -7 cm

3.7 Kulové vypuklé zrcadlo zobrazuje předmět tak, že vzniká dvakrát zmenšený obraz. Předmět je přitom od místa, kde se nachází obraz, vzdálen tři metry. Určete vzdálenost předmětu od vrcholu zrcadla, vzdálenost obrazu od vrcholu zrcadla a poloměr křivosti zrcadla. Jaké vlastnosti má obraz?

V: 2 m ; –1 m ; –4 m

3.8 Vypuklým kulovým zrcadlem s ohniskovou vzdáleností 30 cm je zobrazován předmět tak, že vzniká 3krát zmenšený obraz. Určete vzdálenost předmětu od zrcadla a vzdálenost obrazu od zrcadla.

V: 60 cm; -20 cm

3.9 Duté zrcadlo užívané při holení má poloměr křivosti odrazné plochy $35\ cm$. Je umístěno tak, že (nepřevrácený) obraz tváře je 2,5krát zvětšený. Jak daleko je tvář od zrcadla?

V: $10,5\ cm$

3.10 Na optické ose dutého zrcadla stojí ve vzdálenosti $20\ cm$ od jeho vrcholu špaček tužky o výšce $3\ cm$. Poloměr křivosti zrcadla je $80\ cm$. Určete početně i graficky polohu a vlastnosti obrazu.

V: $40\ cm$ od vrcholu zrcadla; 2krát zvětšený; neskutečný; přímý; $6\ cm$ vysoký

3.11 Obraz předmětu vysokého 10 cm zobrazovaného kulovým zrcadlem vzniká na stínítku a je 4krát větší než předmět. Ohnisková vzdálenost zrcadla je 20 cm. Určete a zdůvodněte, jaké zrcadlo je použito. Jak vysoký je obraz? Jak je daleko předmět od stínítka?

V: 40 cm; 75 cm

3.12 Dutým zrcadlem je zobrazován předmět tak, že vzniká 1,5krát zvětšený převrácený obraz ležící o 10 cm dále od zrcadla, než leží předmět. Určete: vzdálenost předmětu od zrcadla, vzdálenost obrazu od zrcadla a poloměr křivosti zrcadla.

V: 20 cm; 30 cm; 24 cm

3.13 Zrcadlo na křižovatce zobrazuje chodce vysokého 1,8 m ze vzdálenosti 10 m tak, že jeho obraz má výšku 18 cm. Jaká je ohnisková vzdálenost zrcadla?

V: -1,1 m

3.14 Krátký přímý předmět délky *L* leží na centrální optické ose kulového zrcadla ve vzdálenosti *a* od něho. Jakou délku má jeho obraz v zrcadle? Jaké je jeho podélné zvětšení?

V: $L' = L\left(\frac{f}{a-f}\right)^2$; $\frac{L'}{L} = \left(\frac{f}{a-f}\right)^2$

3.15 Předmět je $20\ \mathrm{cm}$ od tenké rozptylné čočky, jejíž ohnisková vzdálenost je $30\ \mathrm{cm}$. Jak daleko je obraz od čočky?

V: 12 cm

3.16 Tenká spojka s ohniskovou vzdáleností $20\ \mathrm{cm}$ vytváří na stínítku obraz Slunce. Jaký je poloměr jeho obrazu? Poloměr Slunce je $6,96.10^8\ \mathrm{m}$ a jeho vzdálenost od Země je $1,5.10^{11}\ \mathrm{m}$.

V: 0,9 mm

3.17 Čočkou vytvořený obraz je přímý, 2,5krát zmenšený a od předmětu je vzdálen $12\ \mathrm{cm}$. Určete vzdálenost obrazu od čočky, vzdálenost předmětu od čočky, optickou mohutnost čočky a typ čočky. Typ čočky zdůvodněte.

V: –8 cm ; 20 cm ; –7,5 D

3.18 Čočka zobrazuje předmět stojící 20 cm před ní. Vzniklý obraz je neskutečný, přímý a o 75 % oproti předmětu zmenšený. Určete a zdůvodněte typ čočky. Jaká je její optická mohutnost?

V: -15 D

3.19 Při experimentu byl předmět umístěn 20 cm před čočkou. Obraz vznikal na stínítku ve vzdálenosti 70 cm od předmětu. Jaká čočka byla k experimentu použita? Proč je to právě tento druh čočky? Jaká je optická mohutnost této čočky?

V: 7 D

3.20 Hračka o výšce 8 cm je zobrazována čočkou s optickou mohutností -2 D. Vzniklý obraz má výšku 2 cm. Určete vzdálenost hračky od čočky a vzdálenost obrazu hračky od čočky.

V: 1,5 m; 37,5 cm

3.21 Předmět se nachází 20 cm od čočky, která vytváří jeho 2krát zvětšený přímý obraz. Určete a zdůvodněte typ čočky. Jak daleko je obraz od čočky? Jaká je vzájemná vzdálenost obrazu a předmětu? Jaká je ohnisková vzdálenost čočky? Jaká je její optická mohutnost?

V: 40 cm; 20 cm; 40 cm; 2,5 D

3.22 Jak daleko od ohniska spojné čočky s ohniskovou vzdáleností 50 mm se nachází obraz předmětu vzdáleného od čočky 5 m?

V: 0,5 mm

3.23 Čočka vytváří převrácený třikrát zvětšený obraz, který je vzdálen 1 m od předmětu. Určete vzdálenost předmětu od čočky, vzdálenost jeho obrazu od čočky, ohniskovou vzdálenost čočky, optickou mohutnost čočky a typ čočky.

V: 0,25 m ; 0,75 m ; 0,19 m ; 5,3 D

3.24 Čočka vytváří na stínítku 5 cm dlouhý obraz předmětu, jehož délka je 2 cm. Stínítko je od čočky vzdáleno 25 cm. Určete typ čočky, její optickou mohutnost a vzdálenost předmětu od stínítka.

V: 14 D; 35 cm

3.25 Třikrát zvětšený ostrý obraz předmětu zobrazovaného čočkou vzniká na stínítku ve vzdálenosti 40 centimetrů od předmětu. O jakou čočku se jedná? Proč? Dále určete vzdálenost předmětu od čočky, vzdálenost obrazu od čočky a ohniskovou vzdálenost čočky.

V: 10 cm; 30 cm; 7,5 cm

3.26 Spojná čočka vytvoří obraz svítícího zdroje na stínítku ve vzdálenosti 1 m od zdroje. Jestliže čočku posuneme do jiné polohy, přičemž polohu zdroje a stínítka už neměníme, na stínítku se znova vytvoří ostrý obraz zdroje. Jaká je ohnisková vzdálenost čočky, jestliže k vytvoření druhého obrazu zdroje je třeba čočku posunout ke stínítku o vzdálenost 20 cm ?

V: 24 cm

3.27 Předmět o výšce 3 cm je zobrazen čočkou tak, že jeho skutečný obraz má výšku 18 cm. Když byl předmět posunut o 6 cm, vznikl zdánlivý obraz o výšce 9 cm. Jaká byla původní vzdálenost předmětu od čočky?

V: 14 cm

3.28 Dvě spojky A a B jsou umístěné na společné optické ose tak, že obrazové ohnisko spojky A splývá s předmětovým ohniskem čočky B. Ve vzdálenosti 10 cm před spojkou A stojí předmět. Jeho obraz vytvořený pouze spojkou A vzniká ve vzdálenosti 20 cm před spojkou B. Vzájemná vzdálenost obou spojek je 60 cm. Jaká je ohnisková vzdálenost spojky A? V jaké vzdálenosti od spojky B vzniká obraz předmětu vytvořený oběma spojkami? Jaké jsou jeho vlastnosti? Vyřešte též graficky.

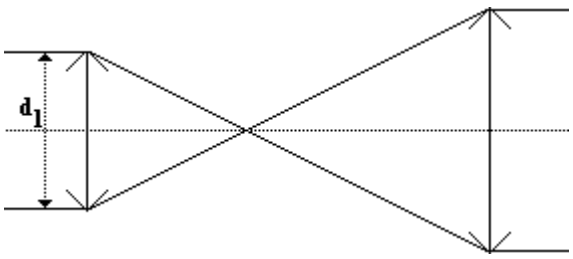
V: 8 cm; 32,5 cm

3.29 Před čočkou s optickou mohutností 4 D stojí na její optické ose předmět. Jeho obraz je převrácený a pětkrát zvětšený. Umístíme-li za čočkou kolmo k její optické ose rovinné zrcadlo, bude vzdálenost mezi čočkou a obrazem (vytvořeným čočkou a zrcadlem) 1,7 m. Určete, o jaký typ čočky se jedná a proč. Jak daleko od čočky se nachází předmět? V jaké vzdálenosti od zrcadla obraz vzniká? Vyřešte též graficky.

V: 30 cm; 10 cm

3.30 Dvě souosé spojné čočky s ohniskovými vzdálenostmi f_1 a f_2 jsou umístěny ve vzájemné vzdálenosti $f_1 + f_2$ (viz obr. 13). Takové zařízení se nazývá *rozšiřovač* (*expander*) *svazku* a užívá se často ke zvětšení průměru svazku paprsků vystupujícího z laseru. Je-li d_1 průměr dopadajícího svazku paprsků, jaký je průměr vystupujícího svazku paprsků? Jako expanderu je možné užít i soustavu jedné rozptylné a jedné spojné čočky. Vypočtěte i pro tuto soustavu průměr vystupujícího svazku paprsků. Dopadající i vystupující svazek paprsků je v obou rovnoběžný s osou soustavy čoček.

V: v obou případech $d_2 = d_1 \frac{f_2}{f_1}$



obr. 13

3.31 Spojka s ohniskovou vzdáleností 20 *cm* je umístěna 10 *cm* vlevo od rozptylky s ohniskovou vzdáleností 15 *cm* . Je-li předmět umístěn 40 *cm* nalevo od spojky, určete polohu a vlastnosti obrazu vytvořeného touto soustavou.

V: 30 *cm* vlevo před rozptylkou; obraz je zdánlivý, nepřímý, stejně vysoký

3.32 Obilné zrno je umístěno před dvojicí tenkých souosých spojných čoček s ohniskovými vzdálenostmi 24 *cm* a 9 *cm* a se vzdáleností 10 *cm* mezi nimi. Zrnko je 6 *cm* od čočky s větší ohniskovou vzdáleností. Kde se nachází jeho výsledný obraz?

V: 18 *cm* za druhou čočkou

3.33 Předmět je umístěn 1 *m* před spojkou s ohniskovou vzdáleností 0,5 *m*, která je 2 *m* před rovinným zrcadlem. V jaké vzdálenosti od čočky bychom viděli výsledný obraz, kdybychom se dívali přes čočku směrem k zrcadlu (těsně kolem předmětu)? Jaké je příčné zvětšení obrazu? Jaké jsou vlastnosti takto pozorovaného obrazu?

V: 3 *m*; -1; obraz je stejně vysoký, převrácený, nereálný

3.34 Kudlanka nábožná loví na ose tenké symetrické čočky ve vzdálenosti 20 *cm* od ní. Její příčné zvětšení při zobrazení čočkou je -0,25 a index lomu materiálu čočky je 1,65. Určete, jak daleko od čočky se nachází obraz lovící kudlanky a jaké jsou jeho vlastnosti. O jaký druh čočky se jedná? Proč? Jaký je poloměr křivosti kulových ploch čočky?

V: 5 *cm*; převrácený, zmenšený, reálný; spojka; 5,2 *cm*

3.35 Čočka omezená dvěma vypuklými povrchy je vyrobena ze skla s indexem lomu 1,5. Jeden povrch má mít dvojnásobný poloměr křivosti než druhý a ohnisková vzdálenost by měla být 60 *mm*. Jaké jsou poloměry křivosti kulových ploch čoček?

V: 45 *mm* a 90 *mm*

3.36 Čočka je vyrobená ze skla s indexem lomu 1,5. Jedna její plocha je plochá, druhá je vypuklá s poloměrem křivosti 20 *cm*. Jaká je její ohnisková vzdálenost? Je-li předmět umístěn 40 *cm* před čočkou, kde se nachází jeho obraz?

V: 40 *cm*; v nekonečnu

3.37 V románu Julese Verna *Tajuplný ostrov* je scéna, v níž inženýr Cyrus Smith spolu s novinářem Gedeonem Spilettem opatřili pro trosečníky oheň:
„… A kdo jej zapálil?“ ptal se Pencroff.
„Slunce.“
Ukázal pak zařízení, které mu sloužilo jako čočka. Byla to dvě sklíčka, která vyndal ze svých a novinářových hodinek. Spojil je těsně k sobě, prostor mezi nimi naplnil vodou a okraje zalepil pryskyřicí. Tak sestrojil opravdovou čočku, která soustředila sluneční paprsky na hořlavinu ze suchého mechu.
Předpokládejte, že sklíčka hodinek měla průměr 5 cm (větší kapesní hodinky) a hloubka sklíčka byla 3 mm. Hodinová sklíčka měla tvar části kulové plochy a obě byla stejná, velmi tenká a nepřispívala k optickým vlastnostem čočky vyrobené inženýrem Smithem. Jaká je optická mohutnost takto vyrobené čočky? Jak daleko od stébel trávy držel inženýr Smith svojí čočku? Index lomu mořské vody je 1,3.

V: 5,7 D; 17,6 cm

3.38 Jak vysoký bude na sítnici lidského oka obraz chlapce vysokého 180 cm sledovaného ze vzdálenosti 3,2 m?

V: 9 mm

3.39 Obraz stožáru vysokého 3 m má sítnici Jardova oka výšku 2 mm. Jak daleko od stožáru Jarda stojí?

V: 24 m

3.40 Brýle pro krátkozrakého člověka jsou vyrobeny z čočky, na níž je napsáno: $|f| = 40\ cm$. Určete, v jaké vzdálenosti je blízký a daleký bod oka dotyčného člověka.

V: 15 cm; 40 cm

3.41 Oko zobrazí ostře předmět, který se nachází v minimální vzdálenosti 125 cm od oka. Určete: vadu oka, kvalitativně i kvantitativně druh brýlí, které vadu odstraní.

V: dalekozrakost; spojka; 3,2 D

3.42 Maminka drží při čtení knihu ve vzdálenosti 1 m od očí. Jaké brýle potřebuje jako nápravu? Řešte kvalitativně i kvantitativně. Jakou vadou trpí?

V: dalekozrakost; spojka; 3 D

3.43 Babička při čtení novin bez brýlí drží tyto noviny ve vzdálenosti 125 cm od očí. Jaké brýle potřebuje? Do jaké maximální vzdálenosti uvidí s těmito brýlemi její vnuk, který má zdravé oči?

V: 3,2 D; 31,25 cm

3.44 Při pozorování určitým mikroskopem je předmět 10 mm od objektivu, vzdálenost mezi objektivem a okulárem je 300 mm a obraz vytvořený mezi nimi je 50 mm od okuláru. Jaké je celkové zvětšení mikroskopu?

V: -124,9

3.45 U fotoaparátu, u něhož je vzdálenost mezi čočkou a filmem nastavena na 50 mm, se sbíhají rovnoběžné paprsky přicházející ze vzdáleného předmětu do bodového obrazu na filmu. Předmět nyní přemístíme blíže k objektivu do vzdálenosti 100 cm a vzdálenost mezi filmem a čočkou upravíme tak, že na filmu vznikne reálný obraz. Jaká je nyní vzdálenost mezi filmem a čočkou? Jak se tato vzdálenost změnila?

V: 52,6 mm; zvětšila se o 2,6 mm

3.46 Jakým časovým intervalem budeme fotografovat závodníka běžícího rychlostí o velikosti $8\ m.s^{-1}$ ze vzdálenosti 8 m, nemá-li rozmazání na snímku překročit 0,05 mm? Použitý objektiv má ohniskovou vzdálenost 50 mm.

V: $9,9.10^{-4}\ s \doteq \frac{1}{1000}\ s$

3.47 Fotograf fotografuje člověka výšky 180 cm ze vzdálenosti 18 m. Na čipu má obraz postavy výšku 5 mm. Jaká je ohnisková vzdálenost použitého objektivu?

V: 50 mm

3.48 Rodina sedí na gauči délky 2 m. Z jaké minimální vzdálenosti je musí fotografovat fotograf, aby se na políčko filmu o rozměrech 24 mm a 36 mm vešel celý gauč a) na šířku, b) na výšku. Ohnisková vzdálenost objektivu je 75 mm.

V: a) 4,24 m; b) 6,325 m

3.49 Fotografie na obr. 14 až obr. 16 byly pořízeny na Šumavě dne 23. 7. 2002 cestou z Čeňkovy Pily směrem na Srní z téhož místa objektivy s různou ohniskovou vzdáleností. Určete poměr ohniskových vzdáleností jednotlivých objektivů. Výška fotografované chalupy od základů po hřeben střechy je 5 m. Jakou ohniskovou vzdálenost měly objektivy pro pořízení snímků na obr. 15 a obr. 16, jestliže obr. 14 byl pořízen objektivem s ohniskovou vzdáleností 28 mm?

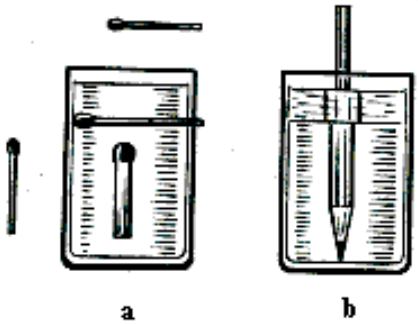
V: $f_1 : f_2 : f_3 = \frac{y_1'}{y - y_1'} : \frac{y_2'}{y - y_2'} : \frac{y_3'}{y - y_3'}$; po naměření $y_1' = 0,3\ cm$, $y_2' = 0,9\ cm$, $y_3' = 3\ cm$ dostáváme:

$f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 3,004 : 10,054$; $f_2 = 84\ mm$; $f_3 = 282\ mm$

obr. 14

obr. 15

obr. 16



obr. 17

3.50 Promítací stroj promítá z filmu širokého 24 mm tak, že obraz na plátně vzdáleném 30 m od čočky objektivu promítacího stroje má výšku 3,6 m. Jaká je ohnisková vzdálenost použité čočky objektivu?

V: 100 mm

3.51 Jak se změní obraz diapozitivu, vytvořený na plátně promítacím přístrojem, jestliže zakryjeme polovinu objektivu neprůhlednou destičkou?

V: na celém plátně poklesne intenzita osvětlení

3.52 a) Hledíme-li na zápalku ve vodorovné poloze přes válcovou sklenici naplněnou vodou (viz obr. 17), zdá se její délka větší, než je průměr sklenice, zatímco její tloušťka zůstává nezměněna. Je-li zápalka ve svislé poloze, pak při pohledu přes sklenici s vodou se její délka nemění, ale tloušťka se zdá větší.

b) Na sloupec vody ve sklenici nalijme vrstvu ricinového oleje. Při pozorování svisle postavené tužky přes takto naplněnou sklenici se jeví tlustší přes vrstvu ricinového oleje než přes vrstvu vody. Objasněte popsané jevy.

V: a) závisí na křivosti sklenice ve vodorovném a svislém řezu; b) $n_{oleje} > n_{vody}$

4. <u>Základní poznatky molekulové fyziky</u>

4.1 Kolik atomů obsahuje železná kulička o poloměru 1 cm?

V: $3{,}5 \cdot 10^{23}$

4.2 Určete látkové množství vody v bazénu v Podolí.

V: $1{,}4 \cdot 10^{8}$ mol

4.3 Jak dlouhá je délka hrany železné krychle, která obsahuje $1{,}4 \cdot 10^{24}$ atomů železa? Molární hmotnost železa je $55{,}8\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ a jeho hustota $7800\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$.

V: 2,6 cm

4.4 Mezi nejúčinnější látky dráždící horní cesty dýchají patří jed Clark II. $(C_6H_5)_2\,AsCN$, jehož výrobě se v nacistickém Německu věnovala velká pozornost. Hranici minimální dráždivosti je pouze $0{,}02\ \mathrm{mg.m^{-3}}$. Kolika molekulám tato hodnota odpovídá? Na jakou část vzduchu připadá jedna molekula? Kolik molekul při této koncentraci je v prázdném půllitru od piva? Molární hmotnosti jednotlivých prvků jsou: uhlíku $12\ \mathrm{g.mol^{-1}}$, vodíku $1\ \mathrm{g.mol^{-1}}$, arsenu $75\ \mathrm{g.mol^{-1}}$ a dusíku $14\ \mathrm{g.mol^{-1}}$.

V: $4{,}7.10^{16}$; $2{,}1.10^{-17}\ \mathrm{m^3}$; $2{,}36.10^{13}$

4.5 Pro Utah byla navržena tepelná elektrárna s denní spotřebou 5.10^{7} kg uhlí, které obsahuje 0,05 % síry a 8 % popela. Kolik popela vznikne za jeden den? Kolik oxidu siřičitého vznikne za jeden den? Kolik vzduchu je možné zamořit za hodinu provozu? Oxid siřičitý je jedovatý při koncentraci $11\ \mathrm{cm^3}$ v $1\ \mathrm{m^3}$.

V: 4.10^{6} kg; 5.10^{4} kg; 3.10^{10} mol

4.6 V zemské atmosféře je 2.10^{15} kg oxidu uhličitého. Lidé ročně spálí 6.10^{12} kg uhlíku z fosilních paliv. Jaký je roční přírůstek oxidu uhličitého za předpokladu, že veškerý oxid uhličitý je zachován v atmosféře?

V: $2{,}2.10^{13}$ kg, což je asi 1,1 %

4.7 Chemikálií, na kterou je lidský nos nejcitlivější, je vanilin (4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyd). Lze jej zaznamenat už při koncentraci 2.10^{-11} g v jednom litru vzduchu. Kolik molekul vanilinu musíme mít v nosní dírce, abychom ucítili jeho přítomnost? Molární hmotnost vanilinu je $152{,}2\ \mathrm{g.mol^{-1}}$. Objem nosní dírky odhadněte.

V: $7{,}91.10^{13}.V_{\text{nosní dírky}}$, tj. pro nosní dírku o objemu $2\ \mathrm{cm^3}$ to je $1{,}6.10^{8}$ molekul

5. <u>Teplo, vnitřní energie, kalorimetrická rovnice</u>

5.1 Nádobě s vodou, která je zakrytá pokličkou, je dodáno teplo 120 kJ. Jakou práci vykoná poklička, jestliže se 70 % dodaného tepla změnilo na vnitřní energii vody a hrnce?

V: 36 kJ

5.2 O kolik více energie získáme, vypijeme-li půl litru teplého mléka (tj. o teplotě 37 °C), než když mléko vypijeme studené (tj. o teplotě 20 °C)? Fyzikální vlastnosti mléka považujte za skoro totožné s fyzikálními vlastnostmi vody.

V: 35,53 kJ

5.3 Do 300 litrů vody o teplotě 10 °C přilijeme vodu o teplotě 90 °C tak, aby výsledná teplota byla 35 °C . Kolik vody je nutno přilít?

V: 0,14 m^3

5.4 Kus železa tíhy o velikosti 10 N se ochladil ze 600 °C na 24 °C . Kolik tepla předal chladnějšímu okolí? Měrná tepelná kapacita železa je 465 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: 267,84 kJ

5.5 Abychom určili měrnou tepelnou kapacitu lihu, smícháme 200 g lihu o teplotě 29,9 °C se 120 g vody teploty 15 °C . Vypočtěte měrnou tepelnou kapacitu lihu, ustálí-li se teplota směsi na 22,4 °C . Měrné teplo vody je 4180 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: 2474,56 $J.kg^{-1}.K^{-1}$

5.6 V kalorimetru o tepelné kapacitě 90 $J.K^{-1}$ je voda o hmotnosti 200 g o teplotě 80 °C . Do vody ponoříme měděný váleček o hmotnosti 100 g a teplotě 20 °C . Jaká bude teplota soustavy po dosažení rovnovážného stavu? Měrná tepelná kapacita vody je 4200 $J.kg^{-1}.K^{-1}$, měrná tepelná kapacita mědi je 380 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: 77,6 °C

5.7 Chladič určitého zařízení tvoří pět desek, z nichž každá má hmotnost 7 kg a které jsou celé ponořeny do oleje. Počáteční teplota oleje byla 10 °C a desky se mohou ohřát až na teplotu 910 °C . Kolik litrů oleje je nutné do chladiče nalít, má-li být teplota lázně při chlazení desek alespoň o 40 °C nižší, než je teplota vzplanutí oleje? Hustota oleje je 890 $kg.m^{-3}$, měrná tepelná kapacita oleje je 1870 $J.kg^{-1}.K^{-1}$, teplota vzplanutí oleje je 230 °C a měrná tepelná kapacita materiálu desek je 450 $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: 47,3 litru

5.8 Na chatě je starý vařič, v němž je topná spirála, umístěná v keramické formě. Vařič se připojí k napětí 230 V a spirálou prochází elektrický proud 3,5 A. Jednou se však spirála přepálila a tak soused (opravář amatér) odštípl spirálu o délce rovné desetině původní délky spirály a připojil spirálu zase ke kontaktům vařiče. Jaký byl původně výkon starého vařiče a jak se popsanou úpravou změnil? Jak se změnila doba, za níž lze ohřát 1 litr vody na čaj na tomto vařiči? Počáteční teplota vody je 15 °C, koncová teplota je 95 °C. K ohřátí stejného objemu vody na čaj varnou konvicí s příkonem 2 000 W a účinností 85 % potřebujeme právě polovinu původní doby ohřevu vody na starém vařiči. Jaká je účinnost starého vařiče? Závislost odporu vodiče na teplotě neuvažujte.

V: 805 W; 894 W; 417 s; 376 s; 52 %

5.9 Malý Jarouš o hmotnosti 30 kg je nemocný a má teplotu 40 °C . Starostlivá maminka mu chce teplotu snížit, tak mu připraví zábal, kdy prostěradlo namočí v 10 °C teplé vodě. Do tohoto prostěradla pak Jarouše zabalí a zabalí do peřin tak, že 40 % tepla produkovaného Jaroušem se uvolní do okolí. V prostěradle se udrží 1,5 kg vody. Na jakou hodnotu tímto způsobem matka srazí Jaroušovi teplotu? Měrnou tepelnou kapacitu dítěte uvažujte rovnou měrné tepelné kapacitě vody. Měrnou tepelnou kapacitu prostěradla zanedbejte.

V: 37,7 °C

5.10 Do topného systému rodinného domu bylo napuštěno 130 litrů vody o teplotě 15 °C . Na ohřev na teplotu 95 °C se spotřebuje 1,2 kg zemního plynu, přičemž 15 MJ tepla unikne do okolí. Vypočtěte výhřevnost zemního plynu. Jaký je výkon plynového kotle, ohřeje-li se voda za 1,5 hodiny?

V: 48,9 $MJ \cdot kg^{-1}$; 10,9 kW

5.11 Do topného systému domu bylo napuštěno 200 l vody o teplotě 15 °C . Určete objem spáleného plynu spotřebovaného na ohřev vody na 95 °C . Účinnost kotle je 60 % a 8 MJ tepla dodaného kotlem se uvolní do okolí. Výhřevnost použitého plynu je 34 $MJ \cdot m^{-3}$.

V: $3,7\ \mathrm{m}^3$

5.12 Automobil se spotřebou 8 l benzínu na 100 km jede stálou rychlostí a působí na něj odporová síla o velikosti 556 N. Motor auta má účinnost 20 %, Vypočtěte výhřevnost benzínu, který má hustotu $750\ \mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^{-3}$.

V: $46\ \mathrm{MJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$

5.13 Automobil s hmotností 2 t předjíždí cyklistu. Přitom je automobil nucen zpomalit z rychlosti o velikosti $80\ \mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ na rychlost o velikosti $60\ \mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ a potom zase zrychlit na původní velikost rychlosti. Jaká je spotřeba benzínu s výhřevností $46,4\ \mathrm{MJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$ při tomto manévru? Účinnost motoru je 60 %.

V: 16 g

5.14 Stroj pracující s výkonem $368\ \mathrm{W}$ vyvrtá za 2 minuty otvor do litinového bloku o hmotnosti $20\ \mathrm{kg}$. O kolik stupňů Celsia se blok ohřeje, jestliže 80 % práce vykonané při vrtání přispívá k nárůstu vnitřní energie bloku? Měrná tepelná kapacita litiny je $544,2\ \mathrm{J.kg}^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$.

V: 3,25 °C

5.15 Na brusce, jejíž kotouč má průměr $20\ \mathrm{cm}$ a koná 1500 otáček za minutu, se brousí hliníkový drát, aby měl špičku. Za čtvrt minuty se špička drátu o průměrném objemu $20\ \mathrm{mm}^3$ ohřeje o $50°\ \mathrm{C}$. Jak velkou silou je drát přitlačován k brusnému kotouči a) v ideálním případě, b) v případě, že 40 % uvolněného tepla se ztratí do okolí? Hustota hliníku je $2700\ \mathrm{kg.m}^{-3}$ a jeho měrná tepelná kapacita $896\ \mathrm{J.kg}^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$.

V: a) 10,27 mN ; b) 17,12 mN

5.16 Hopík o hmotnosti 50 g byl volně puštěn z výšky 1,8 m. Po odrazu od pevné podložky vystoupil do výšky 1,2 m. O kolik stupňů se změnila jeho teplota při odrazu, jestliže přijal 40 % energie, která se přeměnila na nemechanické formy. Měrná tepelná kapacita materiálu míčku je $1,6\ \mathrm{kJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}\cdot\mathrm{K}^{-1}$.

V: 0,0015 °C

5.17 Walter S. Tevis ve své sci-fi povídce *Hop - a skok!* popisuje vynález Olivera Triggera: kuličku z jakési pryže. Kulička má následující vlastnost: pustíme-li ji z určité výšky, odrazí se zpět, ale vystoupí do větší výšky, než byla výška původní. Příslušnou energii získává na úkor své vnitřní energie. K testovacím účelům Oliver vyrobil kouli o hmotnosti $16\ \mathrm{kg}$, která se během experimentu vymkla kontrole. Při pádu z výšky $20\ \mathrm{m}$ pak vystoupila do výšky $30\ \mathrm{m}$. Oč se snížila při odrazu její teplota a) v ideálním případě, b) v případě, že na kouli působila průměrná odporová síla vzduchu o velikosti $32\ \mathrm{N}$? Měrná tepelná kapacita použité pryže je $100\ \mathrm{J.kg}^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$.

V: a) 1 °C ; b) 2 °C

5.18 Olověná střela letí rychlostí $200\ \mathrm{m.s}^{-1}$. O kolik stupňů se zahřeje, zastaví-li se v okamžiku a všechna její kinetická energie se přitom přemění v teplo? Měrná tepelná kapacita olova je $129\ \mathrm{J.kg}^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$.

V: 155 °C

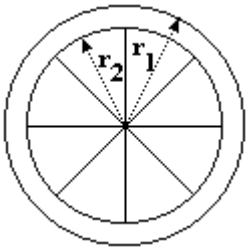
5.19 V kalorimetru o tepelné kapacitě $63\ J.K^{-1}$ je voda o hmotnosti $500\ g$ a teplotě $20\ °C$. Do vody ponoříme měděný váleček o hmotnosti $1000\ g$ a počáteční teplotě $100\ °C$. Určete výslednou teplotu soustavy po dosažení rovnovážného stavu. Předpokládejte, že tepelná výměna proběhla jen mezi kalorimetrem, vodou a vloženým tělesem. Které další děje nebudete v kalorimetru zohledňovat? Měrná tepelná kapacita vody je $4,18\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$, mědi $0,383\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$.

V: $32\ °C$; vypařování vody

5.20 Cyklista o hmotnosti 80 kg jede na kole o hmotnosti 5 kg stálou rychlostí o velikosti $36\ \mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ ze svahu, který má stálé klesání 40 m na 100 m ujeté dráhy. Při jízdě brzdí zadní brzdou. O kolik stupňů se zvýší teplota ráfku a špalíčků brzd za dobu jedné minuty, jestliže se na změně vnitřní energie ráfku a špalíčků podílí jen 30 % celkové energie uvolněné při brždění? Rozměry ráfku, který je znázorněn na obr. 18, jsou: $r_1 = 320\ \mathrm{mm}$, $r_2 = 308\ \mathrm{mm}$, šířka 24 mm a tloušťka použitého materiálu 3 mm. Předpokládejte pravoúhlý profil ráfku. Špalíček brzd má tvar kvádru o rozměrech $1\ \mathrm{cm}\times 1\ \mathrm{cm}\times 6\ \mathrm{cm}$.

Měrná tepelná kapacita materiálu ráfku je $896\,\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$, jeho hustota $2800\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$, měrná tepelná kapacita materiálu špalíčků je $5000\,\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$ a jeho hustota $1300\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$. Plocha příčného řezu cyklisty je $0,7\,\mathrm{m^2}$, součinitel odporu 1,2 a hustota vzduchu $1,3\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$. Valivé tření kol zanedbejte.

V: 82,9° C



obr. 18

5.21 Vojtěch Všechnosmíchal si vypůjčil ve fyzikálním kabinetě dvě tepelně izolované nádoby, aby mohl spolužačce Lucii názorněji vysvětlit měření kalorimetrem a tepelnou výměnu. Cestou domů ho napadl následující pokus. Do první nádoby nalil $5\,l$ vody o teplotě $60°\,C$, do druhé $1\,l$ vody o teplotě $20°\,C$. Z první nádoby přelil jeden plný hrníček do druhé, počkal až se v ní ustálí teplota, a poté vrátil stejné množství vody z druhé nádoby do první, takže v obou bylo stejné množství vody jako na začátku pokusu. Po ustálení tepelné rovnováhy naměřil v první nádobě teplotu $59°\,C$. Potom Lucii položil otázku: Jaký objem měl hrneček, kterým přeléval vodu?

V: $0,14\,l$

5.22 Jakou teplotu má čaj, v němž je ponořena měděná lžička délky 10 cm, prošlo-li příčným průřezem lžičky za dobu 15 s teplo 15 J? Příčný průřez lžičky je $5\,\mathrm{mm^2}$, součinitel tepelné vodivosti mědi je $400\ \mathrm{W.K^{-1}.m^{-1}}$. Druhý konec lžičky držíme v ruce.

V: 85 °C

5.23 V horském potůčku v Tatrách, jehož koryto má průřez $0,1\,m^2$, proudí voda o teplotě $8°\,C$ rychlostí o velikosti $75\,cm.s^{-1}$. Pro turisty, kteří bydlí v nedaleké chatě bez zavedené elektrické energie, skýtá potůček ideální možnost, jak ochladit pivo, které na slunci dosáhlo teploty $22°\,C$. Jak dlouho bude turista chladit pivo na svých oblíbených $12°\,C$? Kolik litrů vody za tu dobu proteče potůčkem? Předpokládejte, že do potůčku ponořenou část láhve je možné považovat za válec o výšce $15\,cm$ a vnějším průměru $6\,cm$. Tloušťka stěny láhve jsou $3\,mm$. Součinitel tepelné vodivosti skla láhve je $0,8\,W.m^{-1}.K^{-1}$. Měrnou tepelnou kapacitu piva uvažujte rovnou měrné tepelné kapacitě vody.

V: $696,6\,s$; $52245\,l$

5.24 Jaké teplo projde za 24 hodin čtyřmi bočními cihlovými stěnami místnosti o tloušťce 0,5 m, z nichž každá má délku 5 m a výšku 3 m? Teplota vzduchu uvnitř místnosti je 15 °C, teplota venku je −15 °C. Součinitel tepelné vodivosti cihlové stěny je $0,5\ \mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}}$. Určete hmotnost černého uhlí o výhřevnosti $30\ \mathrm{MJ.kg^{-1}}$, které se za tuto dobu spálí tak, že teplota v místnosti zůstává stálá. Tepelná účinnost kamen v místnosti je 20 %.

V: 155 MJ; 25,8 kg

5.25 Dvě destičky, měděná tloušťky $6\,mm$ a železná tloušťky $4\,mm$ jsou položeny na sebe. Vypočtěte, jaký by musel být součinitel tepelné vodivosti jednoduché homogenní destičky o tloušťce $10\,mm$, aby vedla teplo stejně jako tyto dvě destičky. Součinitel tepelné vodivosti mědi je $390\,W.m^{-1}.K^{-1}$ a železa $60\,W.m^{-1}.K^{-1}$.

V: $121,9\,W.m^{-1}.K^{-1}$

5.26 Tepelná izolace byla provedena korkovou vrstvou o tloušťce d_1, která byla vložena mezi dvě hliníkové desky, z nichž každá má tloušťku d_2. Součinitel tepelné vodivosti korku je λ_1, součinitel tepelné vodivosti hliníku je λ_2. Jaký musí být součinitel tepelné vodivosti homogenní desky o tloušťce *d*, která má stejné izolační vlastnosti?

V: $\lambda = \dfrac{\lambda_1\lambda_2 d}{2\lambda_1 d_2 + \lambda_2 d_2}$

6. Struktura a vlastnosti plynů

6.1 Kolik molekul plynu je obsaženo v elektronce o vnitřním objemu $25\,cm^3$, v níž je vakuum o tlaku $1,33.10^{-4}\ Pa$ při teplotě $17\,°C$?

V: $8,3.10^{11}$

6.2 Kompresor dodává do chladiče $1,5\,m^3$ vzduchu za minutu při stálém tlaku $800\,kPa$ a teplotě $207\,°C$. Vzduch se ochlazuje ve spirálovém trubkovém chladiči vodou. Teplota vzduchu vystupujícího z chladiče je $47\,°C$. Voda vstupující do chladiče má teplotu $12\,°C$, při výstupu z chladiče má teplotu $28\,°C$. Jaký je objem vody, která se spotřebuje za 1 hodinu v chladiči? Měrná tepelná kapacita vzduchu při stálém tlaku je $1,005\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, molární hmotnost vzduchu je $28,96\,g.mol^{-1}$, vzduch považujte za ideální plyn.

V: $1,43\,m^3$

6.3 Za jak dlouhou dobu bychom naplnili nádobu o objemu 1 litr vodíkem H_2 o tlaku 10^5 Pa, kdybychom vodík vyráběli elektrolýzou zředěné kyseliny sírové při proudu 10 A? Teplota vyvinutého vodíku je 27 °C.

V: $774\,s \doteq 13\,min$

6.4 Ve filmu „Poplach v oblacích“ režiséra Jindřicha Poláka a scénáristy Oty Hofmana z roku 1979 se znenadání objeví Pan Tau na křídle letícího letadla. Jak velkou odporovou silou na něj okolní vzduch působí? Předpokládejte, že letadlo letí ve výšce $10095\,m$, okolní vzduch má teplotu $-50°\,C$, je zde tlak $50\,kPa$, letadlo se pohybuje rychlostí o velikosti $850\,km.h^{-1}$, obsah příčného průřezu Pana Tau je $0,7\,m^2$ a součinitel odporu je 1,1. Vzduch, jehož molární hmotnost je $28,96\,g.mol^{-1}$, považujte za ideální plyn.

V: $16,74\,kN$

6.5 Určete hmotnost vzduchu v místnosti, jejíž rozměry jsou: šířka 4 m, délka 5 m a výška 3 m, při tlaku $0,1$ MPa a při teplotě 20 °C. Hustota vzduchu při teplotě 0 °C a tlaku $0,1$ MPa je $1,293\ \mathrm{kg.m^{-3}}$.

V: $72,28$ kg

6.6 Žárovka o objemu $150\ \mathrm{cm^3}$ je naplněná argonem. Jaká je jeho teplota, má-li při normálním atmosférickém tlaku tíhu $1,42$ mN?

V: 498 K

6.7 Ocelová tlaková nádoba o objemu $40\,l$ obsahuje $10\,kg$ oxidu uhličitého. Láhev vydrží maximální tlak $32\,MPa$. Určete, při jaké teplotě plynu může dojít k roztržení láhve.

V: $677,7\,K$

6.8 Vodík zaujímá při $15\,°C$ a při tlaku $10^5\ Pa$ objem 2 litry. Jaký bude jeho tlak, jestliže objem zmenšíme na 1,5 litru a současně zvýšíme teplotu na $30\,°C$?

V: $139\,kPa$

6.9 Z bomby se stlačeným vodíkem o objemu $0,01\,m^3$ uniká vadným ventilem plyn. Při teplotě $7\,°C$ byl tlak vodíku v bombě $5.10^6\ Pa$. Po určité době byl tlak stejný při teplotě $17\,°C$. Jaká je hmotnost uniknutého plynu?

V: $1,48\,g$

6.10 V nádobě o objemu $0,1\,m^3$ jsou $4\,kg$ oxidu uhličitého teploty $7\,°C$. Jaký je jeho tlak? O kolik se tlak změní, zvýšíme-li teplotu na $37\,°C$? Oxid uhličitý považujte za ideální plyn.

V: $2,11\,MPa$; vzroste o $0,23\,MPa$

6.11 Ze dna jezera hlubokého $10\,m$ se uvolnila vzduchová bublina a vystoupila k jeho povrchu. Určete, kolikrát se zvětší její objem. Teplota vody u dna jezera je $4\,°C$, u hladiny $18\,°C$, hustota vody je $1000\,kg.m^{-3}$ a atmosférický tlak $10^5\ Pa$.

V: 2,1krát

6.12 Jak velkou silou bude nadnášen balón při tlaku vzduchu $95\ kPa$ a teplotě $18°\ \mathrm{C}$, má-li poloměr $10\ m$, je naplněn vodíkem a má-li tenká obalová tkanina plošnou hustotu $\sigma = 0{,}2\ kg.m^{-2}$? Hustota vodíku a vzduchu při teplotě $0°\ \mathrm{C}$ a tlaku $100\ kPa$ je $\rho_{H_2} = 0{,}09\ kg.m^{-3}$ a $\rho_{vz} = 1{,}3\ kg.m^{-3}$.

V: $42\ kN$

6.13 Dvě nádoby s objemy $\mathrm{V}_1 = 8\,\mathrm{l}$ a $\mathrm{V}_2 = 12\,\mathrm{l}$ jsou spojeny tenkou trubičkou a obsahují určité látkové množství plynu. První nádobu udržujeme na teplotě $\mathrm{t}_1 = 0\ °\mathrm{C}$. Na jakou teplotu t_2 je třeba ohřát druhou nádobu, aby v ní zůstala $\frac{1}{3}$ celkového látkového množství plynu?

V: $546\ °C$

6.14 Plyn uzavřený ve válci s pohyblivým pístem zahřejeme při stálém tlaku tak, že se jeho objem zvětší 1,5krát. Potom píst upevníme a při stálém objemu ohřejeme plyn tak, že se jeho tlak zvětší dvakrát. Vypočítejte poměr výsledné termodynamické teploty plynu k počáteční termodynamické teplotě.

V: 3

6.15 Otevřená skleněná koule naplněná vzduchem o atmosférickém tlaku p_a byla zvážena při teplotě t_1. Potom byla i se vzduchem ohřáta na teplotu t_2 a uzavřena. Vážením byl zjištěn úbytek hmotnosti vzduchu Δm. Vypočtěte objem V vnitřku koule. Teplotní roztažnost skla zanedbejte. Hustota vzduchu při teplotě $t = 0\ °C$ a atmosférickém tlaku p_a je $1{,}3\ kg.m^{-3}$, $t_1 = 15\ °C$, $t_2 = 15\ °C$ a $\Delta m = 250\ g$.

V: $1{,}1\ l$

6.16 V tepelně izolované tlakové nádobě o vnitřním objemu V_1 je dusík hmotnosti m_1, tlaku p_1 a teploty t_1. Uzávěr láhve netěsní, takže dusík uniká. Po určité době bylo zjištěno, že tlaku plynu poklesl o q procent a teplota se snížila o Δt. Určete hmotnost uniklého dusíku za uvedenou dobu. Dusík považujte za ideální plyn. Řešte nejprve obecně, pak pro hodnoty: $m_1 = 30\ g$, $t_1 = 37\ °C$, $q = 40\%$ a $\Delta t = 20\ °C$.

V: $11\ g$

6.17 Při teplotě $27\ °C$ protéká potrubím ideální plyn o tlaku $0{,}8\ MPa$. Určete velikost rychlosti proudění plynu., projde-li průřezem o obsahu $5\ cm^2$ za čas $100\ s$ plyn o hmotnosti $12\ kg$. Střední molární hmotnost plynu je $40\ g.mol^{-1}$.

V: $19\ m.s^{-1}$

6.18 V jednom válci o objemu $5\ \mathrm{m}^3$ je oxid uhelnatý o tlaku $15\ \mathrm{MPa}$, ve druhém válci o objemu $8\ \mathrm{m}^3$ je vodík o tlaku $22\ \mathrm{MPa}$ a o stejné teplotě. Jaký bude výsledný tlak směsi po spojení obou nádob? Teplota se při spojení nemění.

V: $19{,}3\ \mathrm{MPa}$

6.19 Dvě stejné nádoby *A* a *B* o obsahu dna *S* a výšce *h* jsou postaveny vedle sebe na vodorovné desce a jsou spojeny těsně u dna krátkou trubičkou. Nádoba *A* je uzavřená. Otevřenou nádobu *B* zcela naplníme vodou. Jaký je maximální objem vody, kterou je možno do takto postavených nádob nalít, považujeme-li teplotu *t* vzduchu uvnitř nádoby za stálou? Tlak vodní páry, teplotní roztažnost vody i nádob a vnitřní objem spojovací trubičky zanedbejte. Řešte nejdříve obecně, pak pro hodnoty: $h = 90\ cm$, $S = 2\ dm^2$, $20\ °C$. Atmosférický tlak je $1000\ hPa$, tíhové zrychlení $10\ m.s^{-2}$ a hustota vody $1000\ kg.m^{-3}$.

V: $19\ l$

6.20 Jaké teplo je třeba k ohřátí $1\ m^3$ vzduchu a) z $0\ °C$ na $1\ °C$, b) z $91\ °C$ na $92\ °C$ při stálém objemu a počátečním tlaku $760\ mm$ rtuťového sloupce? Měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním objemu je $0{,}17\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, molární hmotnost vzduchu je $28{,}96\ g.mol^{-1}$ a hustota rtuti je $13600\ kg.m^{-3}$.

V: a) $220\ J$; b) $165\ J$

6.21 Ve válci je lehkým pohyblivým pístem uzavřen $1\ m^3$ vodíku o teplotě $1\ °C$ při tlaku $760\ mm$ rtuťového sloupce. Jaké teplo je třeba k ohřátí vodíku o $300\ °C$? Hustota rtuti je $13600\ kg.m^{-3}$. Měrná

tepelná kapacita při konstantním tlaku je $14189\ J.kg^{-1}.K^{-1}$, měrná tepelná kapacita při konstantním objemu je $10063\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: $490{,}13\ kJ$

6.22 Vypočtěte změnu vnitřní energie kyslíku při izobarickém zvětšení objemu z $5\ l$ na $10\ l$. Stálý tlak je roven $2.10^5\ Pa$. Měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku je $912\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: $3{,}51\ kJ$

6.23 V nádobě o objemu $5\,\mathrm{l}$ je uzavřen dusík o hustotě $1{,}72\ \mathrm{kg.m^{-3}}$ při tlaku $0{,}2\ \mathrm{MPa}$. Jaké teplo dusík přijme, zvětší-li se při stálém objemu jeho tlak na hodnotu $0{,}9\ \mathrm{MPa}$? Měrná tepelná kapacita dusíku při konstantním objemu je $738{,}6\ \mathrm{J.kg^{-1}.K^{-1}}$.

V: $8710{,}3\ \mathrm{J}$

6.24 V nádobě o objemu $2\,\mathrm{l}$ je argon při tlaku $0{,}12\ \mathrm{MPa}$. O kolik se změní vnitřní energie argonu, jestliže se při stálém objemu jeho tlak zvýší na hodnotu $0{,}4\ \mathrm{MPa}$? Molární hmotnost argonu je $39{,}95\ \mathrm{g.mol^{-1}}$ a měrná tepelná kapacita argonu při konstantním objemu je $314{,}7\ \mathrm{J.kg^{-1}.K^{-1}}$.

V: $847{,}2\ \mathrm{J}$

6.25 Dusík určité hmotnosti má při tlaku $p_1 = 10^5\ Pa$ objem $V_1 = 10^{-2}\ m^3$ a při tlaku $p_2 = 3.10^5\ Pa$ objem $V_2 = 4.10^{-3}\ m^3$. Přechod ze stavu *1* do stavu *2* probíhá ve dvou dějích: a) první je izobarický, druhý izochorický, b) první je izochorický, druhý je izobarický. Určete práci vykonanou plynem, teplo přijaté plynem a změnu jeho vnitřní energie. Měrná tepelná kapacita dusíku při konstantním tlaku je $1037\ J.kg^{-1}.K^{-1}$, při konstantním objemu $739\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: a) $-600\ J$; $4088{,}5\ J$; $4688{,}5\ J$; b) $-1800\ J$; $11269{,}4\ J$; $13069{,}4\ J$

6.26 Dusík v počátečním stavu *1* je uzavřen ve válci pístem, který se může pohybovat bez tření. Dusík má hmotnost $2\ kg$, teplotu $273\ K$ a tlak $1{,}01.10^5\ Pa$. Izobarickým dějem přejde do stavu *2*, v němž má objem $3{,}2\ m^3$ a teplotu $T_2 > T_1$. Izotermickým dějem dále přejde do stavu *3*, přičemž se jeho objem změní na $1{,}6\ m^3$ a tlak na $p_3 > p_1$. Do stavu *4* přejde dusík izochorickým dějem, jeho tlak se změní na $1{,}01.10^5\ Pa$ a teplota na T_4. Určete: teplo, které dusík přijal při přechodu ze stavu *1* do stavu *2*, práci, kterou přitom vykonal, a přírůstek vnitřní energie dusíku ve stavu *4* oproti stavu *1*. Měrná tepelná kapacita dusíku při konstantním tlaku je $1037\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: $563\ kJ$; $161{,}15\ kJ$; $1110\ J$

6.27 Vypočtěte tlak argonu po adiabatickém zvětšení objemu z $1\ l$ na $2\ l$, je-li jeho počáteční tlak $10^5\ Pa$. Poissonova konstanta argonu je 1,7.

V: $30{,}78\ kPa$

6.28 Válec obsahuje $0{,}1\ g$ helia při teplotě $27\ °C$ a tlaku $100\ kPa$. Plyn je adiabaticky stlačován až na osminu původního objemu. Určete teplotu a tlak plynu po popsaném stlačení. Poissonova konstanta pro helium je 1,4.

V: $416\ °C$; $1{,}84\ MPa$

6.29 Kyslík uzavřený ve válci s pístem byl adiabaticky stlačen tak, že se jeho objem zmenšil na desetinu původního objemu. Určete teplotu kyslíku po stlačení, je-li jeho počáteční teplota $18\,°\mathrm{C}$. Poissonova konstanta kyslíku je 1,401.

V: $459{,}6\,°\mathrm{C}$

6.30 Dvojatomový plyn, jehož teplota je $20\ °C$, expanduje v poměru 1:5. Jaká bude jeho výsledná teplota, jestliže expanduje a) izobaricky; b) adiabaticky? Poissonova konstanta je $\frac{7}{5}$.

V: $1192\ °C$; $-119\ °C$

6.31 Jednoatomový plyn s molárním množstvím $150\ mol$ má počáteční objem $0{,}31\ m^3$ a počáteční teplotu $26\ °C$. Jaký bude jeho tlak, rozepne-li se adiabatickým dějem na pětinásobný objem? Poissonova konstanta je $\frac{5}{3}$.

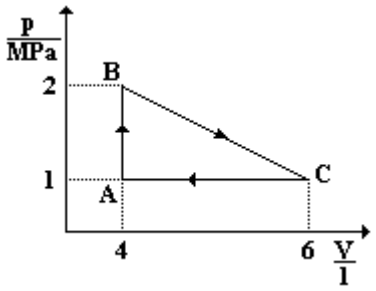
V: $82{,}23\ kPa$

6.32 Na obrázku obr. 19 je zobrazen cyklický děj, který proběhl se 45 gramy dusíku. Určete teplotu dusíku v bodech *A*, *B* a *C* cyklu a celkovou užitečnou práci vykonanou plynem během jednoho cyklu. Molární hmotnost dusíku je $14\ \mathrm{g.mol^{-1}}$.

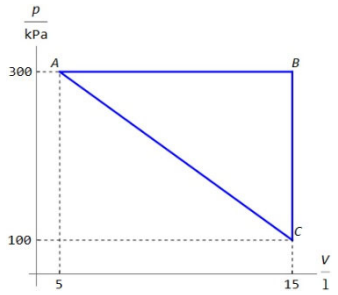
V: 299,5 K ; 599 K ; 449,3 K ; 1 kJ

6.33 Na obr. 20 je zobrazen kruhový děj, který proběhl s ideálním plynem. a) Určete směr průběhu jednotlivých dějů, aby plyn konal užitečnou práci. b) Popište jednotlivé děje. c) Jakou práci vykonal plyn mezi body A a B cyklu? d) Jakou užitečnou práci vykoná plyn během 1 cyklu?

V: 3 kJ; 1 kJ



obr. 19



obr. 20

6.34 Kruhový děj s ideálním plynem se skládá ze dvou izotermických dějů (expanze a komprese) a ze dvou adiabatických (expanze a komprese). Práce vykonaná plynem při izotermické expanzi je $6\ kJ$. Práce vykonaná plynem při adiabatické expanzi je $11\ kJ$. Poměr nejvyšší a nejnižší teploty plynu při jednom cyklu je 3:1. Jaká je práce získaná během jednoho cyklu?

V: $11{,}33\ kJ$

6.35 Teplota páry, která jde z kotle do parní turbíny, je $210\ °C$. Teplota v kondenzátoru je $40\ °C$. Jakou maximální práci lze teoreticky získat z $1\ kJ$ spotřebovaného na výrobu páry?

V: $0{,}35\ kJ$

6.36 Tepelný stroj pracuje podle Carnotova cyklu mezi teplotami $327\ °C$ a $127\ °C$. V jednom cyklu je stroji dodáno teplo $3000\ J$. Jaké množství tepla je odevzdáno chladiči? Jak velká práce je vykonána strojem během jednoho cyklu?

V: $2000\ J$; $1000\ J$

6.37 Jaký nejmenší musí být výkon stroje, který má odebrat vodě stálé teploty 17 °C teplo 41,9 kJ za sekundu a dodávat ho tepelnému radiátoru teploty 46 °C ? Kolik tepla se odevzdá vnějšímu zásobníku?

V: 4,19 kW ; $46{,}1\ \mathrm{kJ.s^{-1}}$

6.38 Kolikrát větší je energetická spotřeba mrazničky, která udržuje potraviny při −25 °C, ve srovnání s chladničkou, která potraviny udržuje při teplotě 5 °C ? Teplota okolního vzduchu je 25 °C.

V: 6,25krát

6.39 Uvažujme jadernou elektrárnu o výkonu 750 MW s teplotou reaktoru 315 °C. Vhodným tepelným zásobníkem by mohla být blízká řeka s vodou o teplotě 20 °C . Jaká by byla v tomto případě maximální možná účinnost elektrárny? Kolik tepla by řeka musela v tomto případě odvést? Je-li skutečná účinnost elektrárny rovna pouze 60 % teoretické hodnoty, kolik tepla odvede řeka nyní? Jaký je nárůst teploty v řece, je-li její průtok $165\ \mathrm{m^3.s^{-1}}$?

V: 50,2 %; 744 MJ ; 1740 MJ ; 2,5° C

7. Struktura a vlastnosti pevných látek

7.1 Na litinový válec o poloměru $20\ cm$ a výšce $3{,}2\ m$ působí shora tlaková síla o velikosti $100\ kN$. Určete zkrácení válce, je-li Youngův modul pružnosti v tlaku $50\ GPa$.

V: $51\ \mu m$

7.2 Oč se prodlouží železný drát délky $1{,}6\ m$ a poloměru $0{,}1\ mm$ při zatížení závažím o hmotnosti $2{,}5\ kg$? Langův modul pružnosti v tahu $0{,}2\ TPa$.

V: $6{,}4\ mm$

7.3 Mladý začínající fotograf je ochoten riskovat pro kvalitní a umělecký záběr klidně i své zdraví. To se potvrdilo, když ho jednoho dne vpodvečer natolik zaujal západ Slunce, že vyrazil z paneláku, kde bydlel, hledat příhodnější místo, odkud by mohl Slunce vyfotit. A našel! Znamenalo to jen jediné: vyškrabat se po těch složených betonových dlaždicích o rozměrech $40\ cm \times 40\ cm \times 5\ cm$ a první cena za snímek zapadajícího Slunce je jeho. Jenže horní dlaždice byla špatně vyvážena na dvoumetrové vrstvě ostatních dlaždic, svezla se a spadla fotografovi na nárt nohy. Fotograf stačil zaregistrovat, že dlaždice padala na výšku. Další veličiny odhadl na základě dlouholeté zkušenosti s fyzikou: průhyb kostí nártu pod dlaždicí $5\ mm$ a podle zakrvácené ponožky pak délku zasažené obdélníkové plochy nártu jako $10\ cm$. Jaké normálové napětí vydržely kosti v nártu při právě popsané deformaci? Hustota betonu je $2000\ kg.m^{-3}$.

V: $12,56\ MPa$

7.4 Dne 11. 7. 2002 uveřejnila televize Nova zprávu, že jistý litevský silák utáhl na svých vousech na vodorovné silnici džíp s pěti vojáky. Předpokládejte, že džíp má hmotnost $300\ kg$ a průměrná hmotnost vojáka je $80\ kg$. Lano, na němž byl džíp (i vousy o délce $15\ cm$) uvázán, svíralo se směrem pohybu džípu úhel $30°$. Jak velkou silou byly vousy namáhány, je-li rameno valivého odporu kola džípu na asfaltu $2\ mm$ a průměr kola je $62\ cm$? Kolik vousů bylo třeba přivázat k lanu, snese-li jeden vous namáhání v tahu silou o velikosti $1\ N$? O kolik se jeden vous prodlouží, je-li jeho průměr $0,1\ mm$ a modul pružnosti v tahu $5\ GPa$? Pohyb džípu považujte za rovnoměrný.

V: $51,15\ N$; 52 vousů; $3,8\ mm$

7.5 Tři skoby jsou zatlučeny ve vodorovném stropě tak, že tvoří rovnostranný trojúhelník o straně $80\ cm$. Na každé z nich je upevněno lanko o délce $1\ m$ a průřezu $0,2\ mm^2$. Tato lanka jsou na druhém konci zapletena k sobě a je na nich zavěšen ozdobný květináč s květinami. Jakou maximální hmotnost může mít květináč s květinami, je-li maximální dovolené relativní prodloužení lanka 5%? Modul pružnosti v tahu lanka je $20\ GPa$.

V: $54,25\ kg$

7.6 Dne 6. 7. 2002 odvysílala Česká televize ve svých zprávách informaci o setkání hasičů, které se konalo ve středních Čechách. Jednou z kuriozit, kterou hasiči na tomto setkání vytvořili a která se dostala i do Guinessovy knihy rekordů, bylo sešroubování hadic o celkové délce $53\ km$ k sobě. Předpokládejme nyní, že hasiči budou chtít tuto superhadici plnou vody pověsit na závěs, který bude tvořen ocelovými a měděnými lanky, která se budou pravidelně střídat (začíná se vždy lankem ocelovým). Jak velkou silou bude namáháno ocelové a měděné lanko, budou-li rozestupy mezi lanky a) $10\ m$, b) $100\ m$, c) $1\ km$? Nezatížená lanka měla stejnou délku, po zavěšení hadice je hadice ve všech případech ve vodorovné poloze. Průměr použitých hadic je $52\ mm$, hmotnost jednoho metru hadice je $270\ g$. Modul pružnosti v tahu oceli je $220\ GPa$, modul pružnosti v tahu mědi je $120\ GPa$. Průřez měděného lanka je dvojnásobný než průměr ocelového.

V: a) $244,9\ N$; $224,5\ N$; b) $2444,8\ N$; $2241\ N$; c) $24038,8\ N$; $22035,5\ N$

7.7 V letních měsících často při bouřkách padají i kroupy. Představte si ledovou kroupu ve tvaru koule s hustotou $900\ kg.m^{-3}$, která padá na povrch Země z výšky $5\ km$. Některé kroupy jsou dokonce schopné prorazit sklo na parkovišti stojícího automobilu, které vydrží průhyb $0,1\ mm$ a jehož mez pevnosti je $400\ MPa$. Sklo automobilu svírá s horizontální rovinou úhel $60°$. Jaký je poloměr kroupy, která dokáže toto sklo rozbít? Jak velkou rychlostí taková kroupa na sklo dopadne? Předpokládejte, že v okamžiku destruktivního nárazu se dotýká kroupa skla plochou rovnou 5 % svého povrchu. Hustotu vzduchu považujte za konstantní a rovnou $1,3\ kg.m^{-3}$, součinitel odporu pro kouli je 0,48.

V: $2,66\ cm$; $31,6\ m.s^{-1}$

7.8 Ocelové lanko má průměr $1,0\ mm$. Vypočtěte maximální možnou hmotnost na něm zavěšeného tělesa tak, aby se lanko nepřetrhlo. Předpokládejte, že těleso je: a) v klidu, b) je taženo lankem svisle vzhůru se zrychlením $1,0\ m.s^{-2}$. Mez pevnosti v tahu použité oceli je $1,3\ GPa$. Tíhové zrychlení volte $10\ m.s^{-2}$.

V: $102\ kg$; $92,8\ kg$

7.9 V roce 1977 na sebe poprvé výrazněji upozornil americký producent George Lucas filmem *Hvězdné války*. Jednalo se o první díl chystaného šestifilmového díla, který se ale dějově řadí až na čtvrté místo. Postupně byly natočeny: 5. díl (*Impérium vrací úder*), 6. díl (*Návrat Jediho*), 1. díl (*Skrytá*

hrozba) a v roce 2002 měl premiéru film *Klony útočí*, který je dějově v pořadí druhý, ale natočen byl jako pátý. V tomto filmu je scéna, kdy Obi-Wan Kenobi, učitel Anakina Skywalkera, navštíví Planetu Klonů, aby tam nalezl bližší informace o nezdařeném atentátu na princeznu Padmé Amidale. Když planetu opouští, svede boj s lovcem lidí, který byl předobrazem všech vyráběných klonů. V jedné chvíli padá z přistávací rampy do rozbouřených vod pod ní. Naštěstí se Kenobi o hmotnosti $80\ kg$ včas zachytí svým $10\ m$ dlouhým lankem, které má vždy při sobě. Při brždění volného pádu se lanko prodlouží o $1,25\ m$. Jak velké bylo zrychlení při zastavování jeho volného pádu, probíhalo-li zastavování rovnoměrně zpomaleným pohybem? Jaký je průměr lanka, které Kenobimu zachránilo život? Modul pružnosti v tahu použité oceli je $220\ GPa$, tíhové zrychlení na Planetě Klonů uvažujte rovné $10\ m.s^{-2}$. Odpor vzduchu zanedbejte.

V: $80\ m.s^{-2}$; $0,6\ mm$

7.10 Kvádr ze stejnorodé látky má délku *l*. Je namáhán ve směru podélné geometrické osy dvěma různými silami opačného směru $\overrightarrow{F_1}$ a $\overrightarrow{F_2}$. Účinkem těchto sil se kvádr pohybuje přímočarým rovnoměrně zrychleným pohybem po vodorovné podložce. Vypočítejte velikost síly pružnosti v ploše příčného řezu ve vzdálenosti *x* od působiště síly $\overrightarrow{F_1}$.

V: $F_p = \frac{l-x}{l}F_1 + \frac{x}{l}F_2$

7.11 Ocelová tyč o hmotnosti $1\ kg$ a délce $1\ m$ je na jednom konci upevněna ve svislé poloze. Určete velikost síly pružnosti působící na plochu příčného řezu ve vzdálenosti $0,2\ m$ od upevněného konce tyče a) není-li tyč na druhém konci zatížena, b) je-li na konci zatížena závažím o hmotnosti $2\ kg$.

V: a) $7,85\ N$; b) $27,47\ N$

7.12 Ve fyzikálním praktiku se jako modelu matematického kyvadla používá zařízení tvořené ocelovým drátem o průměru $1\ mm$ zavěšeným za jeden konec, k němuž je na druhém konci připevněna kulička. Určete hmotnost dodatečného závaží, které je třeba ke kuličce přidat, aby doba kmitu tohoto kyvadla byla stejná při teplotě $20\ °C$ jako při teplotě $25\ °C$. Modul pružnosti v tahu oceli je $9,8.10^{10}\ Pa$, součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli je $12.10^{-6}\ K^{-1}$.

V: $0,47\ kg$

7.13 V srpnu roku 2002 zasáhly většinu území České republiky ničivé povodně. Tato přírodní katastrofa se nevyhnula ani Praze, v níž hladina vody kulminovala ve středu 14. 8. 2002 v odpoledních hodinách. Jednou z ohrožených památek byl i Karlův most ze 14. století, který nebyl ohrožován jen více než stoletou vodou, ale též botelem *Kristian-Marco*, který kotvil mezi mostem Legií u Národního divadla a Karlovým mostem. Aby proudící voda, která se při kulminaci pohybovala rychlostí $\vec{v}$, nestrhla ukotvenou loď o hmotnosti *m* a délce *d*, upevnili jí záchranáři pomocí ocelového lana k vojenskému transportéru. Sklon řeky v daném místě vůči vodorovné rovině je β a lano o průřezu *S*, jehož délka l_0 byla určena při teplotě t_1, svíralo se směrem proudu řeky úhel φ. Součinitel odporu ponořené části lodi je *C*. Teplota okolního prostředí byla t_2 ($t_2 < t_1$). Součinitel délkové teplotní roztažnosti oceli je α, modul pružnosti oceli v tahu je *E*. Ponořenou část lodi považuje za kvádr. Jaké bylo v tomto případě prodloužení ocelového lana? Úlohu řešte nejdříve obecně. Potom pro hodnoty: $m = 140\ t$, $d = 40\ m$, $v = 5\ m.s^{-1}$, $\beta = 0,3'$, $\varphi = 30°$, $l_0 = 10\ m$, $S = 15\ cm^2$, $t_1 = 25°\ C$, $t_2 = 20°\ C$, $C = 1,1$, $\alpha = 1,2.10^{-5}\ K^{-1}$ a $E = 220\ GPa$.

<u>Poznámka:</u> *Kromě hmotnosti lodi a velikosti rychlosti vody byly ostatní číselné hodnoty odhadnuté.*

V: $\Delta l = \frac{l_0\left(1-\alpha.(t_1-t_2)\right)m}{SE\cos\varphi}.\left(\frac{Cv^2}{2d} + g\sin\beta\right) = 1,8\ mm$

7.14 Homogenní železná tyč o hmotnosti $3\ \mathrm{kg}$ má při teplotě $8\ °\mathrm{C}$ délku $1\ \mathrm{m}$. Jak se změní moment setrvačnosti této tyče vzhledem k ose kolmé k tyči procházející jejím koncovým bodem, ohřeje-li se tyč na teplotu $100\ °\mathrm{C}$? Součinitel délkové teplotní roztažnosti železa je $1,2.10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$.

V: vzroste o $2,2\ \mathrm{g.m}^2$

7.15 Pístové kroužky o výšce $3\ mm$ z oceli zapadají při teplotě $-5°\ C$ přesně do drážek pístu. Jakou budou mít vůli při provozní teplotě $250°\ C$? Součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli je $1,3.10^{-5}\ K^{-1}$, součinitel teplotní délkové roztažnosti materiálu pístu je $2,4.10^{-5}\ K^{-1}$.

V: $0,008\ mm$

7.16 Ocelový prstenec vnitřního průměru $75\ mm$ se má zahřát a navléknout na mosaznou tyč o průměru $75,05\ mm$ (průměry prstence i tyče byly změřeny při teplotě $20\ °C$). Na jakou teplotu je třeba prstenec ohřát? Při jaké teplotě sklouzne prstenec z tyče ochladí-li se tyč i s navlečeným prstencem? Součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli je $12.10^{-6}\ K^{-1}$ a mosazi $20.10^{-6}\ K^{-1}$.

V: $76\ °C$; $-63\ °C$

7.17 Kovová ladička vydává při pokojové teplotě zvuk o frekvenci 437 Hz. Po ochlazení v kapalném dusíku o teplotě $-196\,°C$ vydává ladička zvuk o frekvenci 445 Hz. Určete součinitel teplotní délkové roztažnosti materiálu ladičky. Diskutujte použitou metodu výpočtu.

V: $8,2\cdot10^{-5}\ K^{-1}$

7.18 Bimetalový pásek se skládá z měděného a ocelového pásku, jejichž tloušťky jsou $1\ mm$. Pásky jsou spolu svařeny a při teplotě $0\ °C$ bimetalový pásek rovný. Při zahřívání nabude bimetalový pásek tvar kruhového oblouku. Jaký je poloměr tohoto oblouku při teplotě $300\ °C$? Teplotní součinitelé teplotní roztažnosti jsou: $12.10^{-6}\ K^{-1}$ pro oceli a $17.10^{-6}\ K^{-1}$ pro měď. Který pásek bude na vnitřním oblouku?

V: $0,67\ m$; ocelový

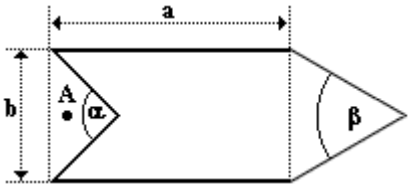
7.19 Tyč z mědi má při teplotě t_1 délku l_1 a obsah příčného průřezu S_1. Vypočítejte teplo, které tyč přijme, jestliže se při zahřátí prodlouží o Δl. Řešte nejprve obecně, pak pro hodnoty: $\Delta l = 0,2\ mm$, $S_1 = 1,7\ cm^2$. Hustota mědi je $8960\ kg.m^{-3}$, teplotní součinitel délkové roztažnosti $1,7.10^{-5}\ K^{-1}$ a měrná tepelná kapacita mědi je $383\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: $6,86\ kJ$

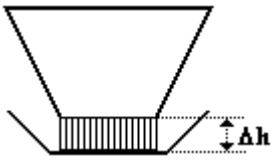
8. <u>Struktura a vlastnosti kapalin</u>

8.1 Na hladině vody plave korková lodička o hmotnosti $50\ g$, která má tvar podle obr. 21. Do místa A kápneme malé množství mycího prostředku. Vysvětlete, co se stane s loďkou a proč. S jak velkým zrychlením se bude loďka pohybovat? Odporovou sílu vody působící na pohybující se loďku zanedbejte. Povrchové napětí vody je $73\ mN.m^{-1}$, povrchové napětí směsi vody a mycího prostředku za loďkou je čtvrtinové. Rozměry z obrázku: $a = 20\ cm$, $b = 5\ cm$, $\alpha = 90°$, $\beta = 60°$.

V: $0,1\ m.s^{-2}$



obr. 21



obr. 22

8.2 Jakou práci je třeba vykonat při nafouknutí mýdlové bubliny o poloměru $7\ cm$, jestliže nafukování probíhá za stálé teploty? Povrchové napětí mýdlového roztoku je $40\ mN.m^{-1}$.

V: $4,9\ mJ$

8.3 Jak velká energie se uvolní, jestliže se po dešti z kapek o průměru $1\ \mu m$ vytvoří velká kapka s průměrem $3\ mm$?

V: $6,2\ mJ$

8.4 Jaký maximální poloměr může mít hliníková kulička, aby se udržela na vodní hladině? Předpokládejte, že voda kuličku nesmáčí. Hustota hliníku je $2700\ kg.m^{-3}$.

V: $2,03\ mm$

8.5 Jaká je hmotnost kapky vody, která odkápla z kapiláry o vnitřním průměru $1\ mm$?

V: $23,4\ mg$

8.6 Voda odkapává z kapiláry s vnitřním průměrem $1,8\ mm$. Kolik kapek vody je v $1\ cm^3$ vody?

V: 24

8.7 Určete povrchové napětí oleje hustoty $0,91\ g.cm^{-3}$, jestliže se při odkapávání z pipety s vnitřním průměrem $1,2\ mm$ vytvořilo ze $4\ cm^3$ oleje 304 kapek.

V: $31,2\ mN.m^{-1}$

8.8 Tlustostěnnou kapilárou vnějšího průměru $3,41\ mm$ odkapalo 100 kapek vody celkové hmotnosti $8,11\ g$. Určete povrchové napětí vody ve styku se vzduchem.

V: $74,3\ mN.m^{-1}$

8.9 Kapilárou bylo odměřeno 100 kapek lihu s celkovou hmotností $1,81\ g$. Stejné množství vody se stejnou teplotou mělo hmotnost $6,26\ g$. Určete povrchové napětí lihu, je-li povrchové napětí vody $73\ mN.m^{-1}$.

V: $21\ mN.m^{-1}$

8.10 Z kapiláry odkapalo 100 kapek vody o celkové hmotnosti $2,4\ g$. Hmotnost 50 kapek glycerinu z téže pipety je $1,1\ g$. Jaký je poměr povrchových napětí obou kapalin?

V: 12:11

8.11 Jak velká síla je třeba k odtržení hliníkového prstence od vodní hladiny, je-li jeho vnitřní průměr $50\ mm$, vnější průměr $52\ mm$ a výška $10\ mm$? Hustota hliníku je $2700\ kg.m^{-3}$.

V: $65,8\ mN$

8.12 Nepřetržité zalévání pokojových květin je možné zajistit pomocí pórovitého dna květináče (viz obr. 22). Jaký může být největší pokles hladiny vody v nádobě pod květináčem, při kterém se voda ještě dostane do květináče? Póry dna považujte za válcové trubičky o vnitřním průměru 0,01 mm.

V: 29,7 cm

8.13 Svislá kapilára s vnitřním poloměrem $0,3\ mm$ obsahuje sloupeček vody. Část vody visí na spodním konci kapiláry ve tvaru kapky, kterou je možné považovat za kouli o poloměru $3\ mm$. Určete výšku vody v kapiláře. Předpokládejte, že voda dokonale smáčí stěny kapiláry.

V: $5,5\ cm$

8.14 Kapilární zvýšení vody ze spodních vrstev půdy dosahuje $100\ cm$. Vypočítejte poloměr kapilár v půdě za předpokladu, že nejsou přerušené.

V: $14,9\ \mu m$

8.15 Dvě skleněné kapiláry s průměry d_1 a d_2 ($d_2 > d_1$) jsou současně ponořené svisle do kapaliny s hustotou ρ a povrchovým napětím σ. Určete vzdálenost povrchů kapaliny v obou kapilárách. Závisí na tom, jestli daná kapalina dokonale smáčí či dokonale nesmáčí povrch kapiláry?

V: $\Delta h = \dfrac{4\pi\sigma\left(d_2 - d_1\right)}{\rho g d_1 d_2}$

8.16 V kapilární trubici s vnitřním průměrem $2\ mm$ je voda. Jak vysoký sloupce vody zůstane v kapiláře ve svislé poloze, jestliže oba dva její konce jsou otevřené?

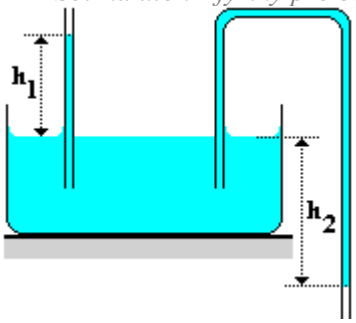
V: $3\ cm$

8.17 Jakou výšku musí mít sloupec lihu v otevřené kapiláře o vnitřním průměru $1\ mm$, aby se na spodním konci kapiláry utvořila kapka? Hustota lihu je $0,8\ kg.l^{-1}$ a povrchové napětí $20\ mN.m^{-1}$?

V: $2\ cm$

8.18 Do nádoby s vodou na obr. 23 jsou ponořené dvě kapiláry stejného vnitřního průměru. V rovné kapiláře vystoupí voda do výšky h_1. Určete tvar menisku a úroveň hladiny vodního sloupce v ohnuté kapiláře (tj. zda voda vytéká či ne), jestliže je ohnutý konec ve vzdálenosti h_2 od vodní hladiny v nádobě. Uvažujte tyto případy: a) $h_2 > h_1$, b) $h_2 = h_1$, c) $h_2 < h_1$, d) $h_2 = 0$; e) $h_2 < 0$, tj. konec ohnuté kapiláry je nad úrovní vodní hladiny v nádobě.

V: a) voda vytéká; b) vypuklý; voda nevytéká; c) vypuklý, ale méně než v b); voda nevytéká; d) plochý; voda nevytéká; e) dutý; voda nevytéká



obr. 23

8.19 Skleněná trubka o vnitřním průměru $3\ mm$ je svisle ponořená do nádoby se rtutí. Rozdíl hladin v nádobě a trubce je $3,7\ mm$. Určete poloměr a krajový úhel menisku v trubce. Hustota rtuti je $13600\ kg.m^{-3}$ a povrchové napětí je $491\ N.m^{-1}$.

V: $1,9\ mm$; $141,7°$

8.20 Do skleněné kapiláry o vnitřním průměru $2\ mm$ je souose zasazena skleněná tyčinka o průměru $1,5\ mm$. Určete kapilární převýšení vody v tomto uspořádání.

V: $5,95\ mm$

8.21 Skleněnou kapiláru délky o $30\ cm$ a vnitřním průměru $0,1\ mm$ svisle ponoříme do vody. Horní konec kapiláry je zataven. Jak hluboko musíme kapiláru ponořit, aby hladina vody vně i uvnitř kapiláry byla ve stejné výšce? Atmosférický tlak je $100\ kPa$.

V: $8,5\ mm$

8.22 Kapilára má vnitřní průměr $0,2\ mm$. Vypočítejte:

a) Jak vysoko v ní stoupne benzen s hustotou $870\ kg.m^{-3}$ a povrchovým napětím $29,1\ mN.m^{-1}$?

b) Jak se změní výsledek, jestliže použijeme kapiláru s dvojnásobným průměrem?

c) Jak by se změnil výsledek s původní kapilárou, kdybychom pokus konali na Měsíci?

d) Jak by probíhal pokus v družici, která se nachází v beztížném stavu?

e) Změní se délka sloupce v kapiláře, jestliže kapiláru nakloníme pod úhlem $60°$ vzhledem ke svislému směru?

V: a) $h = 6,8\ cm$; b) $\frac{h}{2}$; c) $6h$; d) vyteče z libovolné kapiláry; e) $2h$

8.23 Zásobník rtuťového teploměru je při teplotě $0\ °C$ naplněn po okraj a jsou v něm $2\ cm^3$ rtuti. Kapilára teploměru má průměr 1 mm. Do jaké výšky vystoupá rtuť v kapiláře při ohřevu o $20\ °C$? Součinitel teplotní závislosti objemu rtuti je $1,8.10^{-4}\ K^{-1}$.

V: 9,1 mm

8.24 Zásobník rtuti pokojového teploměru je možné považovat za válec o výšce $1,5\ cm$ a poloměru $0,3\ cm$. Jaký musí být poloměr kapiláry, aby změně teploty o $10\ °C$ odpovídala změna výšky rtuťového sloupce v kapiláře $2\ cm$? Součinitel teplotní objemové roztažnosti rtuti je $1,8.10^{-4}\ K^{-1}$.

V: 0,11 mm

8.25 Skleněný pyknometr o objemu $15\ cm^3$ je při teplotě $0\ °C$ naplněný rtutí. Zvýšíme-li teplotu okolí na $100\ °C$, z pyknometru vyteče $234\ mm^3$ rtuti. Jaký je součinitel teplotní objemové roztažnosti rtuti? Součinitel délkové teplotní roztažnosti skla je $10^{-5}\ K^{-1}$.

V: $1,86.10^{-4}\ K^{-1}$

8.26 Kanystr má při teplotě $20\ °C$ objem $4.10^3\ cm^3$ a je až po okraj naplněn benzínem. Kolik benzínu přeteče, když se teplota kanystru stojícího na slunci zvětší na $35\ °C$? Součinitel lineární teplotní roztažnosti oceli je $11.10^{-6}\ K^{-1}$, součinitel objemové teplotní roztažnosti benzínu je $9,6.10^{-4}\ K^{-1}$.

V: $55,62\ cm^3$

8.27 Termální bazén v Liptovském Jáně nedaleko Liptovského Mikuláše na Slovensku má rozměry $50\ m \times 20\ m$, přičemž jeho hloubka po délce bazénu rovnoměrně narůstá od $80\ cm$ až po $180\ cm$. Teplota vody v bazénu je $25°\ C$. Během sanitárního dne, kdy byla hladina vody v bazénu v klidu, chyběly k

okrajům bazénu $3\,cm$ vody. O kolik stupňů Celsia by bylo nutné vodu v bazénu ohřát, aby přetekla přes okraj bazénu? Jaká energie by k tomu byla zapotřebí? Kolik těchto bazénů by naplnila za minutu proudící Vltava v Praze při povodni dne 14. 8. 2002, kdy její průtok dosáhl maxima $5000\,m^3.s^{-1}$? Součinitel objemové teplotní roztažnosti vody je $0{,}18.10^{-3}\ K^{-1}$.

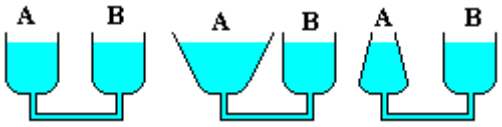
V: $131°\,C$; $698\,GJ$; 231

8.28 Ze dřeva je vyříznut hranol tak, že jeho nejdelší hrana je rovnoběžná s vlákny. Hranol plave v alkoholu o teplotě $10°\,C$. Zvyšujeme-li teplotu alkoholu, začne hranol při určité teplotě klesat ke dnu. Určete tuto teplotu. Součinitel délkové teplotní roztažnosti dřeva ve směru vláken je $4.10^{-6}\ K^{-1}$, ve směru kolmém na vlákna $18.10^{-6}\ K^{-1}$, součinitel teplotní objemové roztažnosti alkoholu je $1{,}1.10^{-3}\ K^{-1}$. Hustota alkoholu při teplotě $10°\,C$ je $0{,}8\,g.cm^{-3}$, hustota dřeva při téže teplotě je $0{,}755\,kg.m^{-3}$.

V: $62{,}9°\,C$

8.29 Dvě spojené nádoby *A* a *B* jsou naplněny stejnou kapalinou (viz obr. 24). Změní se výška hladiny kapaliny v nádobě *B*, jestliže zahřejeme kapalinu v nádobě *A*? Uvažujte postupně tři případy:
a) nádoba *A* je válcová
b) nádoba *A* se vzhůru rozšiřuje
c) nádoba *A* se vzhůru zužuje

V: a) nezmění; b) klesne; c) vzroste



obr. 24

9. Změny skupenství

9.1 Při zamrznutí zvýší voda svůj objem o $\frac{1}{11}$. O kolik se sníží objem ledu po roztátí?

V: o $\frac{1}{12}$

9.2 Jaké teplo je třeba dodat $2\,kg$ ledu o teplotě $-5°\,C$, aby a) se ohřál na teplotu tání, b) roztál na vodu, c) se z něho stala voda o teplotě $15°\,C$? U všech třech případů začíná děj s ledem, který má uvedené počáteční vlastnosti. Měrná tepelná kapacita vody je $4{,}2\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrná tepelná kapacita ledu je $2{,}1\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrné skupenské teplo tání ledu je $0{,}33\,MJ.kg^{-1}$.

V: $21\,kJ$; $681\,kJ$; $807\,kJ$

9.3 Dvěma kilogramům letu s počáteční teplotou $-5\,°C$ bylo dodáno teplo 773 kJ. Roztál všechen led? Pokud ano, určete teplotu vody, která z něj vznikla. Děj probíhá v izolované soustavě. Měrná tepelná kapacita vody je $4200\,J.kg^{-1}.K^{-1}$, měrná tepelná kapacita ledu je $2100\,J.kg^{-1}.K^{-1}$ a měrné skupenské teplo tání ledu je $334\,kJ.kg^{-1}$.

V: ano; $10\,°C$

9.4 Do hrnce s vodou o teplotě $45°\,C$ je vhozeno 5 kostek ledu, z nichž každá má hmotnost $100\,g$ a teplotu $-15°\,C$. Poté, co led roztaje se výsledná teplota ustálí na $30°\,C$. Kolik litrů vody bylo původně v hrnci? Veškeré ztráty do okolí a tepelnou kapacitu hrnce zanedbejte. Měrná tepelná kapacita vody je $4{,}2\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrná tepelná kapacita ledu je $2{,}1\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrné skupenské teplo tání ledu je $0{,}33\,MJ.kg^{-1}$.

V: $3{,}9\,l$

9.5 V hrnci, jehož tepelná kapacita je $200\,J.K^{-1}$, je $5\,kg$ ledu o teplotě $-7\,°C$. Spálením $0{,}5\,kg$ dřeva o výhřevnosti $16\,MJ.kg^{-1}$ všechen led roztaje. Jakou teplotu má voda vzniklá z ledu, jestliže se do okolí uvolní 70 % tepla dodaného dřevem?

V: $31{,}3\,°C$

9.6 Voda nedodává lidskému tělu žádnou energii, ale při ohřívání ledu na teplotu lidského těla člověk naopak energii spotřebuje. Kolik kostek ledu o hmotnosti $50\,g$ a teplotě $-20\,°C$ by člověk musel

spolykat, aby se zbavil pěti kilogramů čistého tuku? Při spálení jednoho gramu tuku při metabolismu v lidském těle se uvolní teplo $38\,\mathrm{kJ}$.

V: 7161 kostek, tj. asi $358\,\mathrm{kg}$

9.7 V kalorimetru bylo $1500\,\mathrm{g}$ vody o teplotě $6\,^{\circ}\mathrm{C}$, do které bylo přidáno $120\,\mathrm{g}$ ledu. Po vyrovnání teplot byl z kalorimetru vybrán led a bylo zjištěno, že se jeho hmotnost zvětšila o $12\,\mathrm{g}$. Jaká byla počáteční teplota ledu?

V: $-166\,^{\circ}\mathrm{C}$

9.8 Největší česká přehradní nádrž Lipno má plochu $49\,km^2$. V zimní sezóně 2001 - 2002 tato plocha ze 75 procent zamrzla a mnozí řidiči si přes Lipenskou přehradu zkracovali cestu, aby nemuseli jezdit ke vzdálenějšímu mostu. Předpokládejte, že k udržení osobního automobilu stačí vrstva ledu silná $25\,cm$. Jaké teplo se při zamrznutí uvolnilo do okolního prostoru? Počáteční teplota vody byla $5°\,C$. Kolika středoevropským lidem by tato energie stačila k životu na rok, spotřebuje-li průměrný středoevropan $200\,GJ.rok^{-1}$? Na jak dlouho by vydržela jednomu člověku?

V: $3,26.10^{15}\,J$; 16300 lidem; 16300 let

9.9 Barman ve vašem oblíbeném baru, kam jste zašli na kolu, má k dispozici z mrazícího boxu kostky ledu o rozměrech $2\,cm \times 3\,cm \times 3\,cm$, teplotě $-5°\,C$ a hustotě $900\,kg.m^{-3}$. Dáte si „trojku“ čepované koly, která má teplotu $25°\,C$ a hustotu $1100\,kg.m^{-3}$. Vy ale chcete pít kolu o $10°\,C$ chladnější. O kolik kostek ledu barmana požádáte a) v ideálním případě, b) v případě, že okolí předá kole teplo $25\,kJ$? Měrnou tepelnou kapacitu koly uvažujte stejnou jako je měrná tepelná kapacita vody, tj. $4,2\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$. Tepelnou kapacitu sklenice zanedbejte.

V: a) 2; b) 7

9.10 Jaroušek o hmotnosti $40\,kg$ si dal $100\,ml$ zmrzliny o teplotě $5\,°C$ a hustotě $1300\,kg.m^{-3}$. Jaká bude teplota žaludku o hmotnosti $1\,kg$ a) v ideálním případě, b) v případě, že 30 % tepla produkovaného žaludkem je odváděno do těla? Původní teplota žaludku byla $36\,°C$. Měrnou tepelnou kapacitu žaludku i zmrzliny uvažujte blízkou měrné tepelné kapacitě vody, skupenské teplo tání zmrzliny při teplotě $5\,°C$ je $200\,kJ.kg^{-1}$.

V: a) $26,95\,°C$; $23,06\,°C$

9.11 V kalorimetru s vodou o tepelné kapacitě $120\,J.K^{-1}$ je v rovnovážném stavu voda o hmotnosti $500\,g$ a led o hmotnosti $10\,g$. Do kalorimetru položíme měděný váleček o hmotnosti $100\,g$ a teplotě $300°\,C$. Jaká bude výsledná teplota po opětovném vytvoření rovnovážného stavu? Měrná tepelná kapacita mědi je $383\,J.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: $3,7°\,C$

9.12 Sedm a půl pinty vody se ve vodním plášti kulometu Maxim zahřejí k varu po 600 rychle po sobě vypálených nábojích, tj. asi po jeden a půl minutě. Pokud se ve střelbě pokračuje, vypaří se asi jeden a půl pinty vody po každých dalších 1000 ranách. Jaká energie se uvolní po prvních 600 ranách? Jaká energie připadá na jednu střelu? Jaká dodatečná energie se uvolní po dalších 1000 ranách? Připadá na jednu střelu zde stejná energie jako předtím? Tepelné ztráty do okolí zanedbejte.
Poznámka: 1 pinta je 0,568 litru

V: $1,3\,\mathrm{MJ}$; $2,2\,\mathrm{kJ}$; $1,9\,\mathrm{MJ}$; $1,9\,\mathrm{kJ}$

9.13 Topnou spirálu zapojenou do spotřebitelské sítě ponoříme do plecháčku, v němž je $300\,ml$ vody o teplotě $20°\,C$. Za $5\,min$ se voda začne vařit. Výkon spirály považujte za stálý a tepelné ztráty do okolí zanedbejte. Tepelnou kapacitu plecháčku zanedbejte. Měrná tepelná kapacita vody je $4,2\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrné skupenské teplo varu vody je $2,26\,MJ.kg^{-1}$.

a) Určete příkon spirály a její odpor. Jaké množství vody se vyvaří za další $3\,min$ varu?

b) Jak se změní výsledky bodu a) úlohy, jestliže topná spirála bude mít účinnost 80 %?

c) Jak se změní výsledky bodu a) úlohy, jestliže tepelná kapacita plecháčku je $100\,J.K^{-1}$?

V: a) $336\,W$; $157,4\,\Omega$; $26,8\,g$; b) $420\,W$; $157,4\,\Omega$; $26,8\,g$; c) $362,7\,W$; $145,9\,\Omega$; $28,9\,g$

9.14 Do termosky s vodou o hmotnosti m_1 a o teplotě t_1 byla přivedena sytá vodní pára o hmotnosti m_2 a o teplotě t_2. Všechna přivedená pára zkapalněla a voda s termoskou se ohřála o Δt. Tepelná

kapacita termosky je K. Určete měrné skupenské teplo kondenzační vodní páry teploty t_2. Řešte nejdříve obecně, pak pro hodnoty: $m_1 = 500\ \text{g}$, $t_1 = 20\ °\text{C}$, $m_2 = 12\ \text{g}$, $t_2 = 100\ °\text{C}$, $\Delta t = 14\ °\text{C}$ a $K = 0{,}12\ \text{kJ.K}^{-1}$. Tepelné ztráty do okolí termosky zanedbejte. Měrná tepelná kapacita vody je $4{,}18\ \text{kJ.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$.

V: $2{,}3\ \text{MJ.kg}^{-1}$

9.15 V termosce o tepelné kapacitě *K* je led o hmotnosti *m* a teplotě $t_1 < 0\ °\text{C}$. Do ledu zasuneme topnou spirálu o odporu *R*, jejíž tepelnou kapacitu lze zanedbat. Spirálu připojíme ke zdroji elektrického napětí. Jaké musí být napětí *U* tohoto zdroje, aby za dobu τ led roztál a teplota uvnitř termosky stoupla na hodnotu $t_2 > 0\ °\text{C}$?
Řešte nejprve obecně, pak pro hodnoty $K = 50\ J.K^{-1}$, $m = 1\ kg$, $t_1 = \text{-}6°\ C$, $t_2 = 21°\ C$, $R = 9\ \Omega$, $\tau = 72\ min$, $c_{ledu} = 2{,}1\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, $c_{vody} = 4{,}2\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, $l_{ledu} = 0{,}33\ MJ.kg^{-1}$.

V: $30\ V$

9.16 V elektrickém kalorimetru byl zahříván led o hmotnosti *m* a počáteční teplotě t_1. Za dobu τ led roztál a vzniklá voda se ohřála na teplotu t_2, při které se *p* procent vody vypařilo. Teplota tání ledu je t_0. Vypočítejte průměrnou účinnost topné spirály kalorimetru, má-li příkon *P*. Řešte nejdříve obecně, potom pro hodnoty: $m = 1{,}6\ kg$, $t_0 = 0°\ C$, $t_1 = -6°\ C$, $t_2 = 100°\ C$, $\tau = 1\ h$, p=5, $P = 0{,}5\ kW$. Měrná tepelná kapacita ledu je $2{,}1\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrná tepelná kapacita vody je $4{,}2\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$. Měrné skupenské teplo tání ledu je $334\ kJ.kg^{-1}$, měrné skupenské teplo varu vody je $2{,}25\ MJ.kg^{-1}$. Tepelnou kapacitu kalorimetru zanedbejte.

V: 78 %

9.17 Dva litry vody teploty $10\ °\text{C}$ začneme v nádobě ohřívat na vařiči. Za 5 minut začne voda vřít. Jak dlouho je třeba vodu zahřívat, aby se všechna vypařila, je-li přívod energie stále stejný? Jaký má vařič tepelný výkon? Měrné skupenské teplo varu vody je $2258\ kJ.kg^{-1}$ a měrná tepelná kapacita vody je $4{,}19\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

V: $2514\ W$; $1796\ s \doteq 30\ min$ po uvedení vody do varu

9.18 Olověná střela teploty $27\ °\text{C}$ narazí na terč rychlostí $600\ m.s^{-1}$. Předpokládejme, že se 70 % její kinetické energie změní na vnitřní energii. Jaká bude teplota střely? Roztaví se střela? Měrná tepelná kapacita olova je $0{,}13\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$, měrné skupenské teplo tání je $24{,}5\ kJ.kg^{-1}$ a teplota tání olova je $327\ °\text{C}$.

V: ano, střela se roztaví

9.19 Kolik ledu se vytvoří na výparníku mrazničky o objemu $210\ \text{dm}^3$ po jejím zapnutí a vychlazení na $-12\ °\text{C}$, jestliže před zapnutím měl vzduch teplotu $25\ °\text{C}$ a relativní vlhkost 80 %? Předpokládejte, že se při každém otevření celá mraznička naplní vzduchem o teplotě $25\ °\text{C}$ a relativní vlhkosti 80 %. Tlak nasycených par vody při teplotě $25\ °\text{C}$ je $3173\ \text{Pa}$ a ledu při teplotě $-12\ °\text{C}$ je $219\ \text{Pa}$. Jaké teplo se vytvořením ledu uvolní?

V: $3{,}5\ \text{g}$; $1{,}6\ \text{kJ}$

9.20 Má-li mraznička o objemu $210\ \text{dm}^3$ dobré těsnění a vyvětráme-li ji pokaždé dokonale, jakou energii spotřebujeme při každém jejím otevření na její zpětné ochlazení? Teplota vzduchu vně mrazničky je $25\ °\text{C}$, teplota vzduchu v mrazničce po ochlazení je $-12\ °\text{C}$. Měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním objemu je $718\ \text{J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$, molární hmotnost vzduchu je $28{,}96\ \text{g.mol}^{-1}$. Děj začíná za atmosférického tlaku.

V: $934\ \text{J}$; $2534\ \text{J}$ s využitím příkladu 9.19

Zdroje a inspirace příkladů:

[1] M. Kružík: „Sbírka úloh z fyziky pro žáky středních škol“, SPN Praha 1969

[2] Z. Kluiber: „Nápaditá fyzika“, nakladatelství ARSCI, Praha 2000

[3] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: „Fyzika“, Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM a Nakladatelství Prometheus, Brno 2000

[4] příklady z přijímacích zkoušek na vysoké školy technického směru z minulých let

[5] http://hockicko.utc.sk/

[6] učitelé SPŠST (hlavně fyzikáři)

[7] život a fantazie Jaroslava Reichla

[8] třídy 00M a 03K ze SPŠST Panská

Sbírka neprošla jazykovou úpravou. Za případné chyby se omlouvám a prosím na jejich upozornění.