Masarykova univerzita
Pedagogická fakulta

Příklady z fyziky pro chemiky

verze pro studenty

Hana Cídlová, Zuzana Mokrá, Eva Němcová

Brno 2009

Obsah

Předmluva

Člověka baví to, čemu rozumí, s čím si umí poradit. Podmínkou porozumění probíranému problému na přednášce je pochopit jej v širších souvislostech, oprostit se od povrchního memorování poznatků, jejichž podstata bez logického promyšlení může unikat.
Pokud chceme postavit první patro domu, mělo by už být hotové přízemí. V opačném případě domek pravděpodobně spadne a práce na něm nás bavit nebude. Z této myšlenky vychází také předmět Fyzika pro chemiky, který má za úkol zrekapitulovat se studenty během prvního semestru studia to gymnaziální učivo fyziky, které je potřebné pro pochopení výkladu obecné a fyzikální chemie na Pedagogické fakultě Masarykovy univerzity, programu Specializace v pedagogice, oboru Pedagogické asistentství chemie pro základní školy. Na úvod předmětu Fyzika pro chemiky je zopakován (pro některé studenty, v závislosti na předchozím studiu nově probrán) matematický aparát nutný pro výpočet nejjednodušších derivací, integrálů a pro řešení nejjednodušších typů diferenciálních rovnic, neboť tyto dovednosti jsou nezbytné ke správnému využívání některých fyzikálně-chemických vztahů a pro pochopení odvození některých fyzikálně-chemických zákonitostí.

Předkládaná sbírka příkladů v souladu s výše uvedeným obsahuje příklady, umožňující procvičení jak nezbytného matematického aparátu, tak i vybraného fyzikálního učiva. Příklady jsou rozděleny do 13 celků podle předpokládaných 13 výukových týdnů v semestru.
Kromě zadání příkladů obsahují i seznamy potřebných výpočetních vzorců s vysvětlením symbolů. Záměrně nejsou uvedeny autorské výsledky ani autorská řešení, aby nedocházelo k bezmyšlenkovitému opisování. Po samostatném vypočtení příkladů a odevzdání protokolu zkontroluje výsledky vyučující.

Mnoho úspěšně vyřešených příkladů Vám přejí

autorky

Brno, 2009

Zadání protokolů

Opakování elementárních vztahů

Protokol č. 1: Jednotky fyzikálních veličin

1. Převeďte:
a) 373 K = ……………°C
b) 137 °C = ……………K
c) –37 °C = ……………K
d) –137 °C = …………..K

2. Vyberte správnou odpověď a odůvodněte.
Frekvence dýchání zdravého dospělého člověka v klidu je přibližně (1 Hz = 1 s^{-1}):
a) 25 mHz
b) 250 mHz
c) 15 Hz
d) 70 Hz

3. Absorbance A je definována vztahem $A = -\log \frac{I}{I_0}$, kde I_0 je intenzita záření vstupujícího do vzorku a I je intenzita záření ze vzorku vystupujícího. V jakých jednotkách udáváme absorbanci?

4. Pro absorbanci A platí Lambetrův-Beerův zákon $A = \varepsilon \ell c$, kde ℓ je délka optické dráhy udávaná v cm a c je koncentrace zkoumané látky v roztoku udávaná v jednotkách mol dm^{-3}. Jaký je rozměr molárního absorpčního koeficientu ε?

5. Převeďte:

a) 270 nm =……………... m
b) 3,5 · 10^{-3} mV =……….. V
c) 0,0032 A =…………….mA
d) 50 pF =……………….. F
e) 0,998 g cm^{-3} =………... kg m^{-3}
f) 150 ml =……………… l
g) 101,325 kPa =……….. Pa
h) 10 mol s^{-1} =…………...mol min^{-1}
i) 53 GW =……………… MW =…………………... kW =…………………… W
j) 0,6 mm =……………... µm
k) 5,42 m^2 =………………dm^2 =…………………… cm^2
l) 0,273 m^3 =……………..dm^3 =…………………… cm^3 =……………………ml
m) 72 km h^{-1} =…………... m s^{-1}
n) 4 m s^{-1} =……………… km h^{-1}
o) 470 µl =………………. cm^3

6. Převeďte:
a) 60 mol dm^{-3} s^{-1} = ……. mol cm^{-3} min^{-1}
b) 60 mol cm^{-3} s^{-1} = ……..mol dm^{-3} min^{-1}
c) 841,54 J g^{-1} = . ………..J mol^{-1}
Jedná se o ethanol, M(H) = 1 g mol^{-1}, M(C) = 12 g mol^{-1}, M(O) = 16 g mol^{-1}.
d) 20 000 J mol^{-1} = ……... J g^{-1}
Jedná se o methanol, M(H) = 1 g mol^{-1}, M(C) = 12 g mol^{-1}, M(O) = 16 g mol^{-1}.
e) 19,435 g cm^{-3} = ……… kg m^{-3}
f) 1,078 · 10^{-3} Pa s = …… kPa min
g) 72,4 · 10^{-3} N m^{-1} = …… g hod^{-2}
h) 1,5 eV = ……………….J
i) 12 870 kg m^{-3} =………. g cm^{-3}

7. Jednotky uvedených fyzikálních veličin vyjádřete pomocí základních jednotek SI. Rozložení na základní jednotky soustavy SI odvoďte.

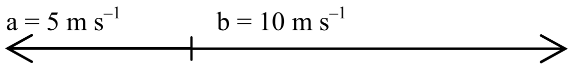
a) povrchové napětí
b) práce
c) teplo
d) molární tepelná kapacita
e) tepelná kapacita
f) výkon
g) dynamická viskozita
h) vnitřní energie
i) entropie
j) elektrická vodivost

Protokol č. 2: Skládání vektorů, směrnice přímky, povrch, hustota a objem

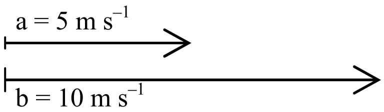
Skládání vektorů

8. Numericky i graficky (narýsujte) složte vektory znázorněné na obrázku:

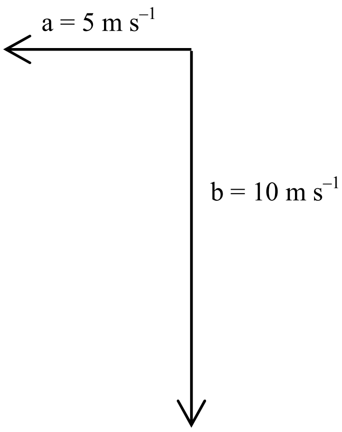
a)



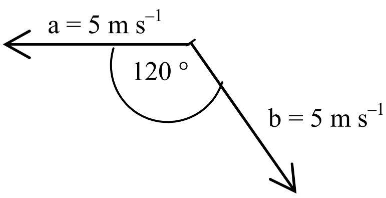
b)



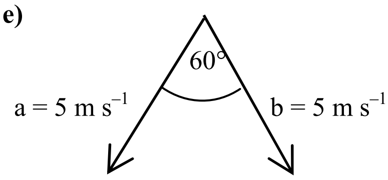
c)



d)



e)



9. Turista jde do kopce rychlostí 5 km h^{-1} a přitom stoupá rychlostí 300 m h^{-1}.
a) Vypočtěte úhel, který svírá svah kopce s vodorovným směrem.
b) Vypočtěte rychlost, jakou postupuje ve vodorovném směru.

Směrnice přímky

10. Určete směrnici přímky:
a) y = 5x + 3
b) určené body [1;3], [2;5]
c) y = kx + 3, k je neznámá konstanta, přímka prochází bodem [1;2]

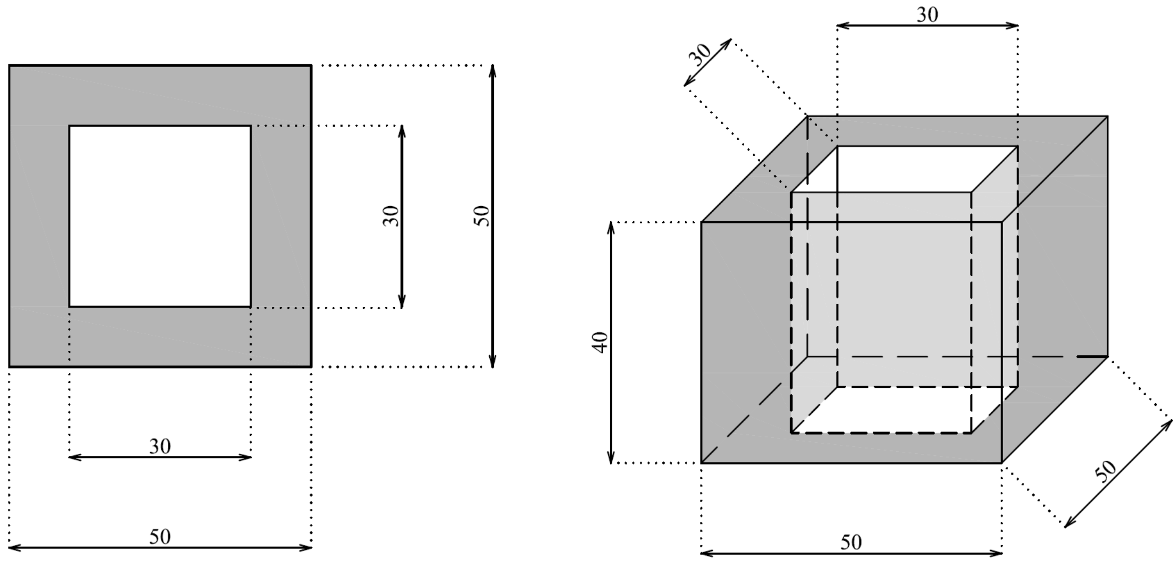
Povrch, hustota a objem těles

11. Vypočtěte velikost povrchu koule, jejíž objem je 1 dm^3.

12. Vypočtěte objem koule o poloměru 10 cm a její hmotnost. Hustota materiálu, z nějž je koule vyrobena, je 7 874 kg m^{-3}.

13. Kolik litrů barvy je potřeba na natření povrchu koule o poloměru 1 m, jestliže na natření 1m^2 potřebujeme 20 ml barvy?

14. Vedoucí laboratorního cvičení z jaderné chemie na chvíli opustil laboratoř. Neposlušní studenti se rozhodli toho využít a postavit si domeček z olověných kvádrů, které normálně slouží jako ochrana před radioaktivním zářením. Vypočítejte, jakou hmotnost by měly stěny (tj. jen boční stěny bez podlahy a stropu – viz obrázek vpravo) tohoto domečku. Výška stěn je 40 cm, další rozměry (půdorys domečku) viz obrázek vlevo. Hustota olova je 11 350 kg m^{-3}. Co myslíte, vydrží dřevěný stůl toto zatížení? Kóty v obrázku jsou uvedeny v centimetrech.



Matematická část

Protokol č. 3: Derivace a diferenciál

Derivace

1. Derivace podle základních vzorců

15. Vypočtěte první derivaci těchto funkcí:

a) $y = \sqrt[3]{x}$

b) $y = x^3$

c) $y = x^4$

d) $y = \sqrt{x}$

e) $y = \sin x$

f) $y = \dfrac{1}{x}$

g) $y = \dfrac{1}{\sqrt{x}}$

h) $y = \dfrac{1}{x^2}$

i) $y = \dfrac{1}{x^3}$

2. Derivace součtu a rozdílu

16. Najděte 1. derivaci funkcí:

a) $y = \dfrac{x^3}{3} - 2x^2 + 4x - 5$

b) $y = \dfrac{bx + c}{a}; (a \neq 0)$

c) $y = \dfrac{x^5}{5} - \dfrac{2x^3}{3} + x$

d) $y = \left(1 - \dfrac{x^2}{2}\right)^2$

e) $y = x + 2\sqrt{x}$

17. Vypočtěte 1. derivaci zadané funkce v bodě x_0:

a) $y = \dfrac{x^3}{3} - x^2 + x$ $\quad x_0 = 0$

b) $y = \dfrac{x^3}{3} - x^2 + x$ $\quad x_0 = 1$

c) $y = \dfrac{x^3}{3} - x^2 + x$ $\quad x_0 = -1$

3. Derivace součinu a podílu

18. Najděte 1. derivaci funkcí:

a) $y = \dfrac{x}{1-4x}$

b) $y = x^2 \sin x$

c) $y = x^2\, tg\, x$

d) $y = \sqrt{x} \cos x$

e) $y = \dfrac{x^2 - 1}{x^2 + 1}$

Derivace ve fyzice a v chemii

19. Hmotný bod se pohyboval pohybem rovnoměrně zrychleným, přičemž dráha s, kterou urazil, byla následující funkcí času t: $s = 5t^2 + 3t + 10$. Odvoďte vztah pro závislost rychlosti tohoto hmotného bodu na čase, víte-li, že platí $v = \dfrac{ds}{dt}$.

20. Probíhá chemická reakce A → B. Pro koncentraci látky A platí: $c_A = c_{Ao} \cdot e^{-kt}$, kde c_A je koncentrace látky A v čase t, c_{Ao} je počáteční koncentrace látky A (tj. v čase t = 0 s) a $k = 5\ s^{-1}$ je rychlostní konstanta. Vypočtěte rychlost chemické reakce v čase $t = 0$ s, je-li $c_{Ao} = 0{,}2\ mol \cdot dm^{-3}$. Rychlost chemické reakce je dána vztahem $v = -\dfrac{dc_A}{dt}$. Uveďte správné jednotky.

Derivace funkcí více proměnných

21. Vypočítejte všechny parciální derivace uvedených funkcí:

a) $z = x^3 + 2xy + y^2$

b) $z = 3x^2y + \sin x$

c) $w = xy^2 + \ln(z + x) - 2 \cdot \sin z$

d) $z = 5x^2y + 3xy^2$

Diferenciál

22. Vypočítejte totální diferenciál uvedených funkcí:

a) $z = x^3 + 2xy + y^2$

b) $z = 3x^2y + \sin x$

c) $w = xy^2 + \ln(z + x) - 2 \cdot \sin z$

d) $z = 5x^2y + 3xy^2$

23. Gibbsova energie G je funkcí tlaku p a teploty T. Platí tedy $G = f(p,T)$. Vypočtěte totální diferenciál Gibbsovy energie, víte-li, že $\left(\dfrac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S$ a $\left(\dfrac{\partial G}{\partial p}\right)_T = V$.

24. Vnitřní energie U soustavy je funkcí entropie S a objemu V. Platí tedy $U = f(S,V)$. Vypočtěte totální diferenciál vnitřní energie, víte-li, že $\left(\dfrac{\partial U}{\partial S}\right)_V = T$ a $\left(\dfrac{\partial U}{\partial V}\right)_S = -p$.

Protokol č. 4: Neurčitý a určitý integrál

Neurčitý integrál

25. Vypočtěte:

a) $\int (4x^3 + 2x)dx$

b) $\int \frac{2x^3 + 4x^5}{x^2} dx$

c) $\int \frac{1}{2x+3} dx$

d) $\int (2x+1) \cdot (2x-1)dx$

e) $\int (x^4 + 3x^3 - x^2 + 2x - 3)dx$

f) $\int (5x^2 + 7x + 3)dx$

g) $\int e^{10x+3} dx$

h) $\int \frac{1}{15y+9} dy$

i) $\int (x^2 + 4)^2 dx$

j) $\int \frac{x+1}{x} dx$

Určitý integrál

26. Vypočtěte určitý integrál:

a) $\int_0^1 dx$

b) $\int_{-2}^{-1} dx$

c) $\int_{-3}^{3} dx$

d) $\int_0^1 x dx$

e) $\int_{-1}^{2} x dx$

f) $\int_{-3}^{3} x dx$

g) $\int_a^b x dx$

h) $\int_{-1}^{1} x^3 dx$

i) $\int_{3}^{4} \frac{dx}{x}$

j) $\int_{3}^{x} \frac{dt}{t}$

k) $\int_{2}^{x} \frac{dt}{t}$

l) $\int_{1}^{3} x^3 dx$

27. Pro velikost práce *W* vykonané ideálním plynem platí vztah $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$, kde *p* je tlak plynu a *V* je jeho objem. Vypočtěte, jakou práci vykoná 1 mol ideálního plynu, jestliže se při teplotě 300 K roztáhne z 1 m^3 na 2 m^3.

28. Elektrický náboj prošlý elektrickým obvodem lze ze známého času a proudu spočítat podle vztahu $Q = \int_{t_1}^{t_2} I dt$. Jaký náboj prošel obvodem mezi druhou a dvacátou sekundou, závisí-li proud na čase vztahem $I = -0{,}1t + 50$?

29. Vypočtěte obsah rovinného obrazce ohraničeného osou x, čarami $x = -2$, $x = 2$ a grafem funkce $y = 4 - x^2$.

Protokol č. 5: Diferenciální rovnice

30. Řešte diferenciální rovnice:

a) $dy = 2x\,dx$

b) $dy = x^3\,dx$

c) $dy = \cos x\,dx$

d) $x\,dy = dx$

e) $\dfrac{dy}{dx} = 5y+7$

f) $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{3y}{x}$

g) $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{2x}{3y}$

h) $y + (1+x)\dfrac{dy}{dx} = 0$

31. Řešte diferenciální rovnice s danými počátečními podmínkami:

a) $\dfrac{1}{y}\cdot\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{x^2}$, kde pro $x = 2$ je $y = 3$

b) $-\dfrac{dx}{dy} = 15\cdot x$, kde pro $y = 0$ je $x = 10$

c) $dy = K\cdot\dfrac{1}{x}dx$ s podmínkami $x = x_1 \Rightarrow y = y_1$ a současně $x = x_2 \Rightarrow y = y_2$

d) $-\dfrac{dc}{dt} = k\cdot c$, kde pro $t = 0$ je $c = a$, kde c a a jsou koncentrace $\Rightarrow$ $c \geq 0, a \geq 0$.

e) $-\dfrac{dc}{dt} = k\cdot c^2$, kde pro $t = 0$ je $c = a$

f) $-\dfrac{dc}{dt} = k$, kde pro $t = 0$ je $c = a$

g) $\dfrac{dp}{pdT} = \dfrac{\Delta H_{m,výp}}{RT^2}$, kde tlaku p_1 odpovídá teplota T_1 a tlaku p_2 odpovídá teplota T_2;

Fyzikální část

Protokol č. 6: Tlak, stavová rovnice ideálního plynu

Tlak

32. Vypočítejte hydrostatický tlak v hloubce 20 m pod volnou hladinou vody. Počítejte s hustotou $\rho = 1\,000 \text{ kg m}^{-3}$.

33. Na píst o obsahu plochy 10 cm^2 působí síla 100 N. Jak velký tlak vyvolá tato síla v kapalině?

Stavová rovnice ideálního plynu

34. Jestliže se při izotermickém ději s ideálním plynem o daném látkovém množství zvětšil objem na trojnásobek hodnoty v počátečním stavu, jak se změnil tlak?
a) nezměnil se,
b) klesl na 1/9 původní hodnoty,
c) klesl na 1/3 původní hodnoty,
d) klesl o 1/3 původní hodnoty.

35. Ideální plyn o hmotnosti 0,2 kg má při teplotě 27 °C objem 0,4 m^3 a tlak $2 \cdot 10^5$ Pa. Jaký bude tlak tohoto plynu, zvětší-li se při stálém objemu jeho teplota na 327 °C?

36. Kolikrát se zvýší tlak ideálního plynu, jestliže se jeho termodynamická teplota zvětší třikrát a jeho objem se zvětší o 30 % původního objemu?

37. Vyberte jednu správnou odpověď: Při izobarickém ději s ideálním plynem o daném látkovém množství se objem zvětšil na čtyřnásobek hodnoty naměřené při počátečním stavu. Jak se přitom změnila teplota?
a) nezměnila se,
b) klesla 4×,
c) vzrostla 16×,
d) vzrostla 4×.

Protokol č. 7: Kinematika

Pohyb rovnoměrný přímočarý

38. Kvalitu materiálu zjišťujeme ultrazvukovým defektoskopem. Za jak dlouho se vrátí vlnění v měděném bloku, odrazí-li se od dutiny v hloubce 0,05 m? Rychlost šíření ultrazvuku v mědi je 3 600 m s^{-1}.

39. Balón stoupal do výše rychlostí 2 m s^{-1} a vítr foukal horizontálním směrem rychlostí 12 m s^{-1}. Do jaké vzdálenosti měřené na zemském povrchu jej odnesl vítr, jestliže balón urazil dráhu 4 km?

40. Uprostřed řeky široké 20 m je proudem unášena loďka rychlostí 20 km h^{-1}. Vodáci před sebou ve vzdálenosti 15 m zpozorují peřej a začnou usilovně pádlovat přímo ke břehu, přičemž loďka se ke břehu bude přibližovat rychlostí 12 km h^{-1}. Za jak dlouho je voda donese k peřeji? Za jak dlouho dopádlují ke břehu? Oba časy uveďte v sekundách. Dosáhnou břehu dříve, než budou strženi do peřeje?

Pohyb nerovnoměrný přímočarý – průměrná rychlost

41. První třetinu dráhy projel automobil rychlostí 18 km h^{-1}, druhou třetinu rychlostí 36 km h^{-1} a poslední třetinu rychlostí 72 km h^{-1}. Určete průměrnou rychlost pohybu automobilu v jednotkách m s^{-1}.

Pohyb rovnoměrný po kružnici

42. Hmotný bod koná rovnoměrný pohyb po kružnici o poloměru 0,2 m úhlovou rychlostí 25 rad s^{-1}. Jak velká je obvodová rychlost hmotného bodu?

43. Jak velké je odstředivé zrychlení centrifugy při 5 000 otáček za minutu, jejíž rotor má poloměr 10 cm?

44. Perioda pohybu oběžného kola parní turbiny je 0,02 s. Určete počet otáček za minutu.

45. Kolotoč se za 5 minut otočil kolem své osy dvacetkrát. Uveďte frekvenci jeho otáček v jednotkách Hz. (1 Hz = 1 s^{-1}).

Pohyb rovnoměrně zrychlený

46. Těleso se pohybovalo rovnoměrně zrychleně se zrychlením $a = 5$ m s^{-2}. Počáteční rychlost byla nulová. Jak velkou rychlost dosáhlo na konci dráhy dlouhé 100 m?

47. Vůz, který jel rychlostí 54 km h^{-1}, zvýšil na přímé silnici rychlost na 90 km h^{-1}, přičemž ujel dráhu 200 m. Vypočtěte zrychlení vozu za předpokladu, že jeho pohyb byl rovnoměrně zrychlený.

Příklady využívající integrální a diferenciální počet

48. Těleso se pohybuje po ose x podle rovnice $x = \frac{c}{3}t^3 - 2a_0 t^2 + 3v_0 t$.

a) Určete rychlost pohybu.
b) Určete zrychlení pohybu.
c) Ve kterých okamžicích mění těleso směr pohybu?

Protokol č. 8: Síla, práce, energie

Newtonovy zákony

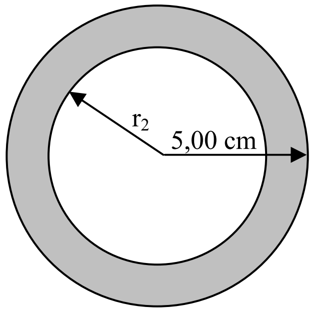
49. Autobus o hmotnosti 3,5 t jede po vodorovné cestě rychlostí 90 km h^{-1}. Jaká stálá brzdící síla je potřebná, aby autobus zastavil pohybem rovnoměrně zpomaleným na dráze 100 m?

50. Volejbalista odrazil míč o hmotnosti 0,5 kg silou 200 N. Jak velká je počáteční rychlost odraženého míče, jestliže na něj působila nárazová síla po dobu 0,04 s?

Archimédův zákon

51. Ledovec o hustotě 920 kg m^{-3} plave po mořské hladině. Jaká část objemu ledovce je nad hladinou, jestliže hustota mořské vody je 1 025 kg m^{-3}?

52. Máte dutou zlatou kouli následujících rozměrů (viz obrázek). Určete vnitřní poloměr r_2 tak, aby se koule nepotopila ani neplavala po hladině, ale právě se vznášela ve vodě. Hustota zlata je 19,32 g cm^{-3}. Uvažujte hustotu vody 1 g cm^{-3}.



Zákon zachování hybnosti

53. Raketa vystřelí 15 g plynu rychlostí 180 m s^{-1}. Jaké rychlosti v důsledku toho raketa nabude, je-li její hmotnost po výstřelu 54 kg?

Mechanická práce a energie

54. Alfa částice (tj. ${}^{4}_{2}He^{2+}$) opustila při alfa-rozpadu jádro radionuklidu. Určete počáteční rychlost alfa částice, jestliže její počáteční kinetická energie byla 2 MeV.

1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J,

$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}, $A_r(He) = 4{,}003$.

55. Fotbalista o hmotnosti 80 kg běžící po hřišti rychlostí 2 m s^{-1}, odkopne míč o hmotnosti 0,7 kg. Počáteční rychlost odkopnutého míče je 20 m s^{-1}. Vypočítejte kinetickou energii fotbalisty po odkopnutí míče.

56. Fotbalista o hmotnosti 80 kg běžící po hřišti rychlostí 2 m s^{-1}, odkopne míč o hmotnosti 0,7 kg. Počáteční rychlost odkopnutého míče je 20 m s^{-1}. Vypočítejte celkovou výslednou kinetickou energii fotbalisty a míče po odkopnutí míče.

57. Člověk o hmotnosti 80 kg vynesl pytel cementu o hmotnosti 50 kg z přízemí do druhého poschodí. Jak velkou celkovou práci přitom vykonal, je-li výška poschodí 4 m?

58. Člověk o hmotnosti 80 kg vynesl pytel cementu o hmotnosti 50 kg z přízemí do druhého poschodí. Jak velkou užitečnou práci přitom vykonal, je-li výška poschodí 4 m?

Příklady využívající integrální počet

59. Vypočtěte, jak velká práce byla vykonána, jestliže pružina ve svislém směru protažená o 2 cm při zavěšeném závaží 2 kg byla z této polohy protažena o 10 cm.

Zákon zachování energie

60. Kladivo o hmotnosti 1 kg dopadlo na skobu rychlostí 5 m s^{-1}, přičemž skoba pronikla do stěny o 2 cm. Jak velká je průměrná odporová síla stěny?

61. Motor auta vyvíjí tažnou sílu 180 N. Určete jeho výkon, jede-li auto po vodorovné rovině rychlostí 48 km h^{-1}.

Účinnost

62. Elektromotor, jehož příkon je 20 kW, zvedá kabinu výtahu o hmotnosti 600 kg stálou rychlostí 3 m s^{-1}. Jaká je jeho účinnost?

Protokol č. 9: Termodynamika

63. Termodynamická soustava, na kterou okolí nepůsobí silami, přijme od okolí teplo 30 kJ. Jakou práci soustava vykoná, vzroste-li současně její vnitřní energie o 10 kJ?

64. Termodynamická soustava, na kterou okolí nepůsobí silami, přijme od okolí teplo 30 kJ. Určete přírůstek vnitřní energie soustavy, vykoná-li při témže ději současně práci 40 kJ.

65. Vyberte jednu správnou odpověď ze čtyř nabídnutých: Matematické vyjádření první věty termodynamické je:
a) $\Delta U = W + Q$
b) $\Delta U = W - Q$
c) $\Delta U = Q - W$
d) $\Delta U = -W - Q$,
kde ΔU je zvýšení vnitřní energie soustavy, W je práce soustavě dodaná a Q je teplo soustavě dodané.

66. Vyberte jednu správnou odpověď ze čtyř nabídnutých: Při adiabatickém ději můžeme přírůstek vnitřní energie soustavy vyjádřit:
a) $\Delta U = Q$
b) $\Delta U = -Q$
c) $\Delta U = W$
d) $\Delta U = -W$, kde W je práce soustavě dodaná a Q je teplo soustavě dodané.

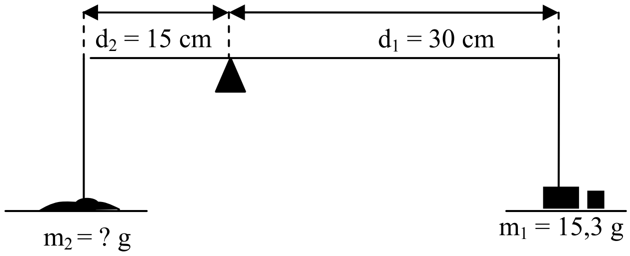
Protokol č. 10: Moment síly, moment setrvačnosti

Moment síly

67. Na obvodu kola o poloměru 0,5 m působí ve směru tečny síla o velikosti 50 N. Jak velký je moment této síly vzhledem k ose kola?

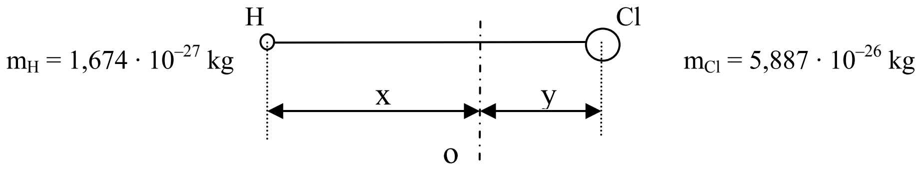
Rovnováha na páce

68. Na pravé misce nerovnoramenných vah je závaží o hmotnosti 15,3 g. Jakou hmotnost má předmět na levé misce, jestliže pravé rameno vah má délku 30 cm a levé rameno 15 cm a váhy jsou právě v rovnováze?



Moment setrvačnosti

69. Jaký je moment setrvačnosti molekuly znázorněné na obrázku vůči ose otáčení označené o? $x + y = 1{,}274\,5 \cdot 10^{-10}$ m.



Protokol č.11: Kmitání a vlnění

Kmitání

70. Hmotný bod koná harmonický pohyb s periodou 4 s a amplitudou výchylky 6 cm. Jaká je úhlová frekvence harmonického pohybu?

Vlnění

71. Pružným vláknem se šíří vlnění s frekvencí 2 Hz rychlostí 3 m s^{-1}. S jakým fázovým rozdílem kmitají body vlákna, mezi nimiž je vzdálenost 0,75 m?

72. Příčné postupné vlnění popisuje rovnice $y = 0{,}20 \sin 40 \cdot \left(t - \frac{x}{20}\right)$, kde souřadnice jsou v metrech a čas v sekundách. Jaká je perioda kmitavého pohybu jednotlivých bodů?

a) 1/20 s,
b) 1,0 s,
c) $2\pi/40$ s,
d) $40/(2\pi)$ s.

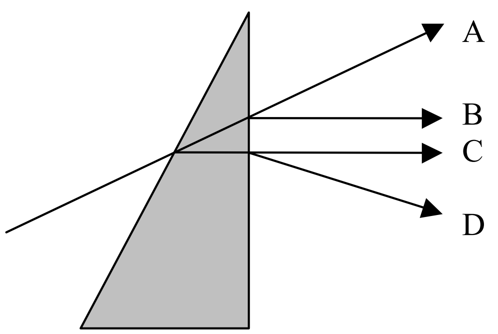
73. Rentgenové záření mělo frekvenci $6 \cdot 10^{18}$ s^{-1}. Rychlost světla ve vakuu je $3 \cdot 10^8$ m s^{-1}. Jaká je vlnová délka rentgenového záření ve vakuu?

74. Vyberte dvě správné odpovědi. Mezi elektromagnetické záření patří:
a) gama záření
b) měkké rentgenové záření
c) beta záření
d) ultrazvuk
e) alfa záření
f) infrazvuk

Zákon odrazu, zákon lomu, totální odraz, polarizace odrazem

75. Opticky aktivní látky :
a) samovolně emitují světelné záření
b) stáčejí rovinu lineárně polarizovaného světla
c) zbarvují pokožku v závislosti na změně teploty
d) po ozáření bílým světlem se změní frekvence procházejícího světla

76. Na optický hranol dopadá ze vzduchu paprsek X monochromatického (monofrekvenčního) světla. Který z paprsků A, B, C, D na obr. 1 odpovídá zákonům paprskové optiky ?
a) paprsek A
b) paprsek B
c) paprsek C
d) paprsek D



77. Pod jakým úhlem musí dopadat světelný paprsek na vodní hladinu (n_{voda} = 1,33), jestliže má odražený a lomený paprsek svírat úhel 90°?

78. Cukerný roztok v polarimetrické trubici o délce 18 cm stáčí rovinu kmitů sodíkového světla (589,3 nm) o 30°. Jaké množství cukru se nachází v 1 m^3 roztoku, je-li specifická otáčivost 0,663 7 $m^2\,kg^{-1}$? Specifickou otáčivostí se rozumí otočení roviny kmitů (v úhlových stupních), které způsobí sloupec roztoku o optické délce 1 m a o koncentraci 1 kg rozpuštěné látky na 1 m^3 roztoku.

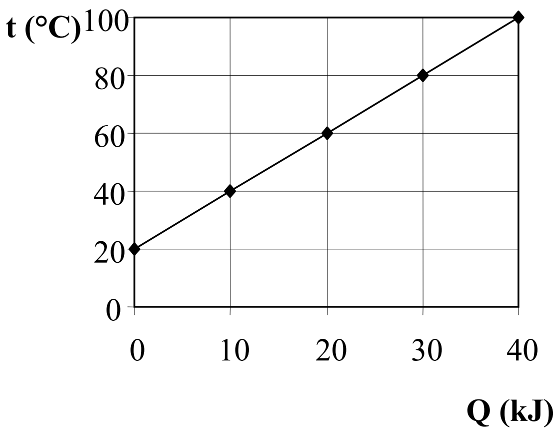
79. Určete hodnotu mezního úhlu pro dvojici optických prostředí vzduch (n_{vzduch} = 1,00) a voda (n_{voda} = 1,33).

Protokol č.12: Termika, kalorimetrie

Termika

Výpočet tepla

80. Na obrázku je nakreslen graf vyjadřující změnu teploty tělesa o hmotnosti 2 kg jako funkci tepla přijatého tělesem. Jaké teplo přijme těleso při ohřátí ze 40 na 100 °C?



81. Jakou měrnou tepelnou kapacitu má těleso podle zadání předchozího příkladu?

82. Elektrický průtokový ohřívač vody připojený na síť 220 V ohřeje za minutu jeden litr vody z vodovodu o teplotě 14 °C na teplotu 80 °C. Jaký je příkon výhřevné spirály ohřívače? Měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ kg^{-1} K^{-1}.

Kalorimetrická rovnice

83. Jaká bude výsledná teplota vody, jestliže smícháme vodu o hmotnosti 1 kg a teplotě 20 °C s 2 kg vody o teplotě 30 °C?

84. Za jaký čas ohřeje ponorný vařič s výkonem 500 W (1 W = 1 J s^{-1}) a účinností 75 % dva litry vody 10 °C teplé na bod varu? Měrná tepelná kapacita vody je c = 4,2 kJ kg^{-1} K^{-1}.

Protokol č. 13: Elektrostatika, elektrický proud, odpor, vodivost, napětí

Elektrostatika

85. Dva bodové náboje stejného znaménka o stejných velikostech $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C jsou od sebe vzdáleny $1 \cdot 10^{-11}$ m. Permitivita vakua je $8{,}854 \cdot 10^{-12}$ C V^{-1} m^{-1}.

a) Jak velkou silou na sebe náboje působí?
b) Přitahují se, nebo odpuzují?

86. V Bohrově modelu vodíkového atomu na sebe působí proton a elektron silou $23 \cdot 10^{-9}$ N. Určete vzájemnou vzdálenost protonu a elektronu.
Permitivita vakua je $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ C V^{-1} m^{-1}, $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C.

Elektrický proud, odpor, vodivost, napětí

87. Elektrický průtokový ohřívač vody připojený na síť 220 V ohřeje za minutu jeden litr vody z vodovodu o teplotě 14 °C na teplotu 80 °C. Jaký je elektrický odpor výhřevné spirály ohřívače? Měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ kg^{-1} K^{-1}.

88. Vyberte dvě správné odpovědi: Elektrický proud je skalární fyzikální veličina závislá:
a) přímo úměrně na velikosti náboje, který projde za jednotku času příčným řezem vodiče,
b) přímo úměrně na době, za kterou projde celkový elektrický náboj,
c) přímo úměrně na elektrickém napětí mezi konci vodiče,
d) přímo úměrně na měrném odporu vodiče,
e) přímo úměrně na délce vodiče, kterým proud prochází,
f) nepřímo úměrně na rychlosti pohybu elektronů v elektrickém poli.

89. Vodič má odpor 4 Ω a za 60 s jím prošel náboj 40 C. Jaké napětí bylo na koncích vodiče?

Potřebné vztahy

Protokol č. 1: Jednotky fyzikálních veličin

$T = t + 273{,}15$, kde (1.1)

T………………. termodynamická teplota (K)
t………………...teplota (°C)

$1\ \mathrm{Hz} = 1\ \mathrm{s}^{-1}$

FYZIKÁLNÍ VELIČINA	ZNAČKA VELIČINY	ZÁKLADNÍ JEDNOTKA	ZNAČKA JEDNOTKY
délka	ℓ	metr	m
hmotnost	m	kilogram	kg
čas	t	sekunda	s
elektrický proud	I	ampér	A
termodynamická teplota	T	kelvin	K
látkové množství	n	mol	mol
svítivost	I	Kandela	cd

Tab. 1: Základní jednotky soustavy SI

Vedlejší jednotky:

- min (minuta), h (hodina), den (d); 1 min = 60 s, 1h = 60 min, 1 d = 24 h
- ℓ (litr); 1 ℓ = 1 dm^3 = 0,001 m^3
- t (tuna); 1 t = 1 000 kg
- eV (elektronvolt); 1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J

PŘEDPONA	ZNAČKA	POMĚR K ZÁKLADNÍ JEDNOTCE
tera-	T	10^{12}
giga-	G	10^{9}
mega-	M	10^{6}
kilo-	k	10^{3}
hekto-	h	10^{2}
deka-	da	10^{1}
deci-	d	10^{-1}
centi-	c	10^{-2}
mili-	m	10^{-3}
mikro-	µ	10^{-6}
nano-	n	10^{-9}
piko-	p	10^{-12}

Tab. 2: Násobky a díly jednotek

Určování rozměru fyzikálních veličin

Pravidla:

1. Výrazy log x, ln x, 10^x, e^x, sin x, cos x, tg x, cotg x jsou definovány pouze pro bezrozměrná čísla (goniometrické funkce i pro úhlové stupně). Argument i hodnota těchto funkcí jsou bezrozměrná čísla.
2. Pokud se ve fyzikálním vzorci vyskytuje číslo (a ne symbol pro konstantu), je toto číslo bezrozměrné.
3. Hodnota sečítaných nebo odečítaných veličin musí mít stejný rozměr. Výsledek má stejný rozměr jako sečítané nebo odečítané jednotky.
4. Rozměr dané veličiny zjišťujeme následovně:
   - Místo symbolů fyzikálních veličin dosadíme do vzorce jejich rozměr, za bezrozměrnou veličinu píšeme hodnotu 1.
   - Symbol veličiny, jejíž jednotky chceme zjistit, napíšeme do hranaté závorky.
   - Běžnými matematickými úpravami vyjádříme, čemu se rovná hodnota v hranaté závorce. Pravidla pro násobení, dělení, odmocňování a umocňování jsou při práci s jednotkami stejná jako při práci s čísly. Sčítání a odečítání viz bod 3., další výrazy viz bod 1.
   - Výsledek je hledaný rozměr.

$\sigma = \frac{F}{\ell}$, kde (1.2)

σ ………………...povrchové napětí
F………………... velikost povrchové síly
ℓ ………………..délka okraje povrchové blanky

F = ma, kde (1.3)

F ………………….síla
m………………….hmotnost
a ………………….zrychlení

$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$, kde (1.4)

P………………….výkon
ΔW……………….mechanická práce
Δt…………………čas

ΔW = Fs, kde (1.5)

ΔW……………… mechanická práce
F………………… síla
s…………………. dráha

Q = UIt (Jouleův-Lenzův zákon), kde (1.6)

Q…………………teplo
U…………………napětí
I…………………. proud
T………………… čas

$c_m = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$, kde (1.7)

c_m..........................molární tepelná kapacita látky
Q…………………teplo dodané tělesu
n………………….látkové množství
ΔT………………..rozdíl teplot

ΔU = W + Q (1. věta termodynamická), kde (1.8)

ΔU……………… přírůstek vnitřní energie soustav
W………………...mechanická práce vykonaná vnějšími silami
Q…………………teplo soustavě dodané

$$C = \frac{Q}{\Delta T}, \text{ kde} \quad (1.9)$$

C………………… tepelná kapacita
Q………………… teplo dodané tělesu
ΔT………………..rozdíl teplot

$$F_s = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \text{ (Stokesův zákon), kde} \quad (1.10)$$

F_S……………… odpor prostředí
η………………..dynamická viskozita
r……………….. rychlost pohybu tekutiny
v………………..rychlost pádu kuličky

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}, \text{ kde} \quad (1.11)$$

ΔS………………..přírůstek entropie
ΔQ……………… teplo do soustavy dodané
T………………… teplota

$$G = \frac{1}{R}, \text{ kde} \quad (1.12)$$

G………………… elektrická vodivost
R………………… elektrický odpor

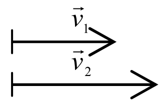
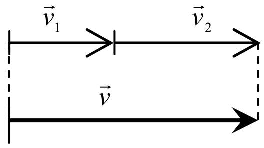
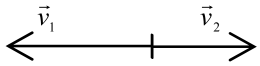
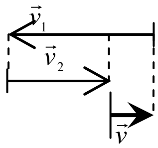
$$I = \frac{1}{R} \cdot U \text{ (Ohmův zákon), kde} \quad (1.13)$$

I…………………. elektrický proud
R………………… elektrický odpor
U………………… elektrické napětí

$\pi = 3{,}141\ 592\ 654 \doteq 3{,}14$

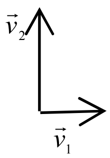
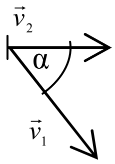
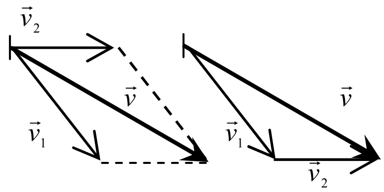
Protokol č. 2: Skládání vektorů, směrnice přímky, povrch, hustota a objem

Skládání dvou rovnoběžných vektorů

skládané vektory	konstrukce výslednice vektorů	Velikost výslednice získaná početně
		$v = v_1 + v_2$ (2.1)
		$v = v_1 - v_2$ (2.2)

Tab. 3: Skládání dvou rovnoběžných vektorů

Skládání dvou různoběžných vektorů se společným působištěm

skládané vektory	konstrukce výslednice vektorů	výsledek
		$v^2 = v_1^2 + v_2^2$ (2.3)
		$v^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 v_2 \cos\alpha$ (2.4)

Tab. 4: Skládání různoběžných vektorů se společným působištěm

$y = kx + q$, kde (2.5)

k………………. směrnice přímky

q………………..velikost úseku na ose y

$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, kde (2.6)

k………………. směrnice přímky

x, y……………..souřadnice

$V = \frac{4}{3}\pi r^3$, kde (2.7)

V……………….objem koule

r……………….. poloměr koule

$S = 4\pi r^2$, kde (2.8)

S………………. povrch koule

r……………….. poloměr koule

$\rho = \frac{m}{V}$, kde (2.9)

ρ………………..hustota tělesa

m……………….hmotnost tělesa

V……………….objem tělesa

Protokol č. 3: Derivace a diferenciál

Základní vztahy pro výpočet derivací

Funkce y	—
y = c (c = konst.)	$\frac{dy}{dx}=0$
y = x^n	$\frac{dy}{dx}= n \cdot x^{n-1}$
y = e^x	$\frac{dy}{dx}= e^x$
y = $\ln x$	$\frac{dy}{dx}= \frac{1}{x}$
y = $\sin x$	$\frac{dy}{dx}= \cos x$
y = $\cos x$	$\frac{dy}{dx}= -\sin x$
y = tg x	$\frac{dy}{dx}= \frac{1}{\cos^2 x}$
y = cotg x	$\frac{dy}{dx}= -\frac{1}{\sin^2 x}$

Tab. 5: Základní vztahy pro výpočet derivací

Základní vztahy pro výpočet součtu, rozdílu, součinu a podílu funkcí

$$\frac{d(y+z)}{dx}=\frac{dy}{dx}+\frac{dz}{dx}$$

$$\frac{d(y-z)}{dx}=\frac{dy}{dx}-\frac{dz}{dx}$$

$$\frac{d(y \cdot z)}{dx}=\frac{dy}{dx}\cdot z + y \cdot \frac{dz}{dx}$$

$$\frac{d\left(\frac{y}{z}\right)}{dx}=\frac{\frac{dy}{dx}\cdot z - y \cdot \frac{dz}{dx}}{z^2}$$

Protokol č. 4: Neurčitý a určitý integrál

Zadání	**Výsledek**
$\int 0 dx$	k
$\int dx$	$x + k$
$\int x^n dx$	$\frac{x^{n+1}}{n+1} + k;\ (n \neq -1)$
$\int x^{-1} dx$	$\int \frac{1}{x} dx = \int \frac{dx}{x} = \ln x + k$
$\int e^x dx$	$e^x + k$
$\int \sin dx$	$-\cos x + k$
$\int \cos dx$	$\sin x + k$
$\int \frac{1}{\sin^2 x} dx$	$-\text{cotg} + k$
$\int \frac{1}{\cos^2 x} dx$	$tg\, x + k$

Tab. 6: Základní vztahy pro výpočet integrálů

Protokol č. 5: Diferenciální rovnice

Teorie řešení diferenciálních rovnic:

Obyčejné diferenciální rovnice 1. řádu obsahují

- nezávisle proměnnou:(x)
- závisle proměnnou:(y)
- 1. derivaci: $\frac{dy}{dx}$
- rovnítko: =

Postup řešení:

a) obecné řešení

b) řešení vyhovující okrajovým (počátečním) podmínkám

Postupně provedeme tyto operace:

ad a)

1. Odstraníme diferenciál jmenovatele.
2. Separujeme proměnné, tj. na jedné straně rovnice bude jen **y**, na druhé straně rovnice jen **x**.
3. Integrujeme obě strany rovnice. Počítáme neurčitý integrál, ale integrační konstantu uvedeme jen na jedné straně rovnice.

ad b) Řeší se stejně jako obecné řešení, ale počítáme určitý integrál místo neurčitého. Meze pro integraci jsou dány okrajovými (počátečními) podmínkami.

Protokol č. 6: Tlak, stavová rovnice ideálního plynu

$p = \rho g h$, kde (6.1)

p……………... hydrostatický tlak
ρ……………... hustota
g……………... gravitační zrychlení
h……………... hloubka pod volnou hladinou kapaliny

$p = \frac{F}{S}$, kde (6.2)

p……………... tlak
S……………... obsah plochy, na kterou působí síla F
F……………... síla

$pV = nRT$ (stavová rovnice ideálního plynu),kde (6.3)

p……………... tlak plynu
V……………... objem plynu
n……………... látkové množství
R……………... univerzální plynová konstanta
T……………... termodynamická teplota

Protokol č. 7: Kinematika

$v = \frac{s}{t}$ (u rovnoměrně přímočarého pohybu), kde (7.1)

v……………... rychlost
s……………... dráha
t……………… čas

$v = \omega r$ (u rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici), kde (7.2)

v……………... obvodová rychlost
ω…………….. úhlová rychlost
r……………… poloměr kružnice

$a = \omega^2 r$ (u rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici), kde (7.3)

a……………... velikost odstředivého zrychlení
ω…………….. úhlová rychlost
r……………… poloměr kružnice

$\omega = 2\pi f$ (u rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici), kde (7.4)

ω…………….. úhlová rychlost
f……………… frekvence
($\pi \doteq 3{,}14$)

$f = \frac{1}{T}$ (u rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici), kde (7.5)

f……………… frekvence
T……………...perioda

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (u rovnoměrně zrychleného/zpomaleného přímočarého pohybu, při nulové počáteční rychlosti), (7.6)

kde
a……………... zrychlení
Δv…………… změna rychlosti
t……………… čas, za který došlo k uvedené změně rychlosti

$s = \frac{1}{2} at^2$ (závislost dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu na čase, při nulové počáteční rychlosti), (7.7)

kde
s……………... dráha
a……………... zrychlení
t……………… čas

$v = v_0 + at$ (u rovnoměrně zrychleného/zpomaleného přímočarého pohybu, při nenulové počáteční rychlosti), kde (7.8)

v……………... konečná rychlost
v_0……………..počáteční rychlost
a……………... zrychlení
t……………… čas

$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ (závislost dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu na čase, při nenulové počáteční rychlosti), kde (7.9)

s……………... dráha
v_0……………..počáteční rychlost
a……………... zrychlení
t……………… čas

Protokol č. 8: Síla, práce, energie

$F = ma$, kde (8.1)

F……………...síla
m……………..hmotnost tělesa
a……………... zrychlení

Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, rovnající se tíze kapaliny stejného objemu, jako je ponořená část tělesa.Z toho vyplývá vztah: $F_{vz} = V\rho g$ (Archimedův zákon), kde (8.2)

F_{vz}…………… vztlaková síla
V……………..objem ponořené části tělesa
ρ……………...hustota kapaliny
g……………...tíhové zrychlení

$p = mv$, kde (8.3)

p……………...hybnost
m……………..hmotnost
v……………...rychlost

$E_K = \frac{1}{2} mv^2$, kde (8.4)

E_K……………kinetická energie
m……………..hmotnost
v……………...rychlost

$W = F \cdot s$, kde (8.5)

W……………. práce
F……………...síla
s……………... dráha

$E_P = mgh$, kde (8.6)

E_p……………. potenciální energie
m……………..hmotnost
g……………...tíhové zrychlení
h……………...výška tělesa nad podložkou

$\eta = \frac{P}{P_0} (\cdot 100\,\%)$, kde (8.7)

η……………...účinnost
P……………...výkon
P_0 ……………příkon

$P = \frac{W}{t}$, kde (8.8)

P……………...výkon
W……………. mechanická práce
t……………....čas

Protokol č. 9: Termodynamika

Podle první věty termodynamické je vzrůst vnitřní energie soustavy ΔU roven součtu práce W vykonané okolními tělesy působícími na soustavu silami po určité dráze a tepla Q odevzdaného okolními tělesy soustavě

$\Delta U = W + Q$, kde (9.1)

ΔU……………přírůstek vnitřní energie soustavy
Q…………….. teplo
W……………. mechanická práce

Soustava rovněž vykoná práci W' tím, že působí na okolní tělesa stejně velkou silou opačného směru po stejné dráze a platí:

$W = -W'$, kde (9.2)

W……………… mechanická práce vykonaná vnějšími silami
W'……………... mechanická práce vykonaná soustavou

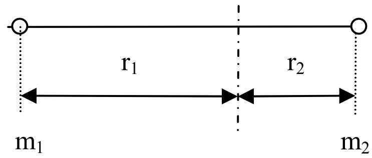
Protokol č. 10: Moment síly, moment setrvačnosti

$M = rF$, kde (10.1)

M……………. moment síly
r………………rameno síly
F……………...síla

$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$, kde (10.2)

I………………moment setrvačnosti
m_1, m_2……… hmotnost jednotlivých hmotných bodů (částic)
r_1, r_2…………..vzdálenost hmotných bodů od osy



Momentová věta:
Výsledný moment sil M je dán vektorovým součinem momentů jednotlivých sil vzhledem k dané ose.
Podle momentové věty se otáčivý účinek sil působící na tuhé těleso otáčivé kolem nehybné osy ruší, je-li jejich výsledný moment sil vzhledem k dané ose nulový.

$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \ldots + \vec{M}_n = \vec{0}$ (10.3)

Protokol č. 11: Kmitání a vlnění

$y = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$, kde (11.1)

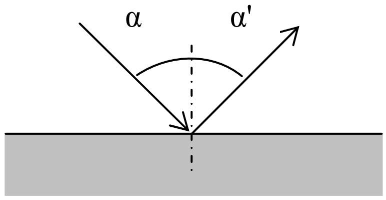
- y……………...... okamžitá výchylka
- A…………….. amplituda
- Ω…………….. úhlová frekvence
- t……………… čas
- φ_0…………..... počáteční fáze

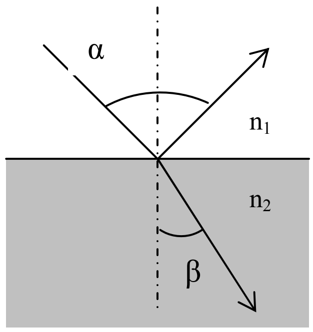
$\lambda = \dfrac{c}{\nu}$, kde (11.2)

- λ…………….. vlnová délka
- c…………….. rychlost světla ve vakuu
- ν…………...... frekvence

$\alpha = \alpha'$ (zákon odrazu), kde

- α …………… úhel dopadu
- α' …………… úhel odrazu





$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \dfrac{n_2}{n_1}$ (Zákon lomu = Snellův zákon), kde (11.3)

- α…………….. úhel dopadu
- β…………….. úhel odrazu
- n_1, n_2………... index lomu

$\alpha = [\alpha]\, \ell\, c$, kde (11.4)

- α…………….. optická otáčivost
- $[\alpha]$…………… specifická optická otáčivost
- ℓ ……………..optická délka
- c…………...... koncentrace roztoku

Protokol č. 12: Termika, kalorimetrie

Kalorimetrická rovnice: (12.1)
Teplo Q_1 odevzdané teplejším tělesem chladnějšímu tělesu se rovná teplu Q_2, které přijme chladnější těleso od teplejšího tělesa, tzn. $Q_1 = Q_2$

$\Delta Q = mc\,(t_2 - t_1)$, kde (12.2)

Q…………..... teplo přijaté tělesem při zahřátí z teploty t_1 na teplotu t_2, pokud nedojde ke změně skupenství
m……………..hmotnost
c……………... měrná tepelná kapacita
t_1, t_2………….. teplota

$Q = m\ell$. kde (12.3)

Q…………… teplo přijaté tělesem při konstantní teplotě, potřebné na změnu skupenství
m……………..hmotnost
ℓ……………... měrné skupenské teplo dané skupenské přeměny

$P_0 = \frac{Q}{\tau}$, kde (12.4)

P_0 …………… příkon
Q…………….. teplo
τ …………….. čas

$P = \frac{Q}{\tau}$, kde (12.5)

P……………...výkon
Q…………….. práce vykonaná tělesem
τ …………….. čas

Protokol č. 13: Elektrostatika, elektrický proud, odpor, vodivost, napětí

$$F = \frac{|Q_1 Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 \ell^2}, \text{ kde} \tag{13.1}$$

F……………...síla
Q_1, Q_2……… velikost nábojů
ε_0…………….. permitivita vakua
ℓ ……………..vzdálenost středů částic, které pokládáme za bodové náboje

$$R = \frac{U}{I} \text{ (Ohmův zákon), kde} \tag{13.2}$$

R…………….. elektrický odpor
U…………….. napětí
I………………proud

$$Q = UIt \text{ (Jouleův-Lenzův zákon), kde} \tag{13.3}$$

Q…………….. celkový náboj prošlý elektrickým obvodem topítkem
U…………….. napětí
I……………....proud
t………………čas

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \text{ kde} \tag{13.4}$$

I………………elektrický proud
Q…………….. celkový elektrický náboj prošlý daným místem vodiče za jednotku času
t………………čas