

25 let s HRW

Petr Dub

Ústav fyzikálního inženýrství a CEITEC VUT, Vysoké učení technické v Brně



25 let s HRW

Překlad zahraniční moderní učebnice se objevil až na přelomu století



HRW 1, 2001

Proč tak pozdě?

Překlad zahraniční moderní učebnice se objevil až na přelomu století

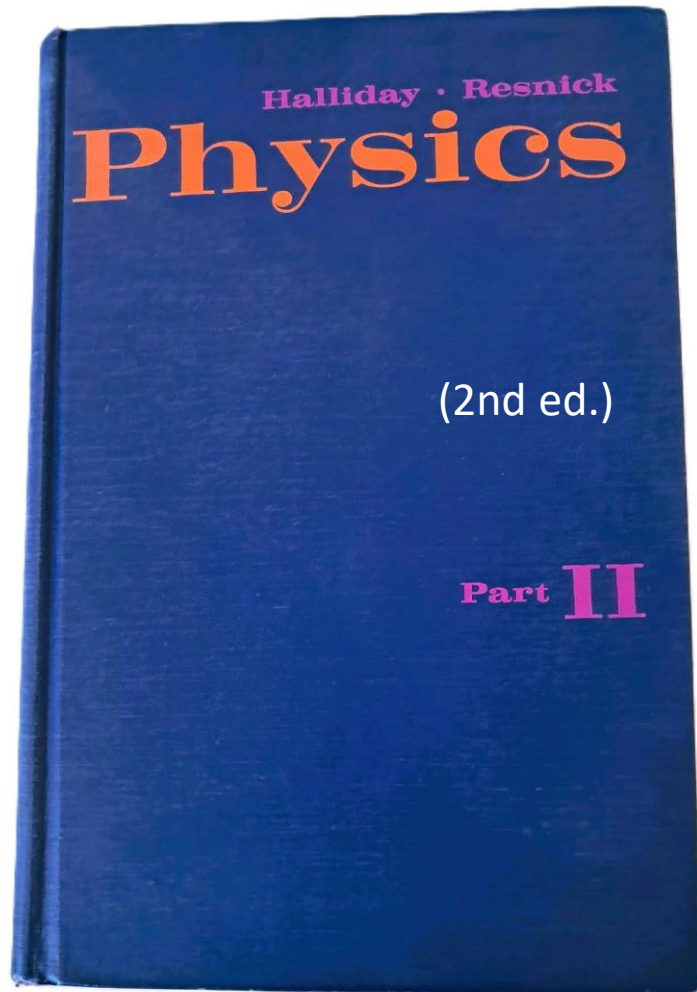
Před 1989 byla vydavatelská činnost pod přísným dohledem ...

Fyzikové se snažili, ale marně ...

Prof. Ivan Šantavý
VUT v Brně
(1923-2004)



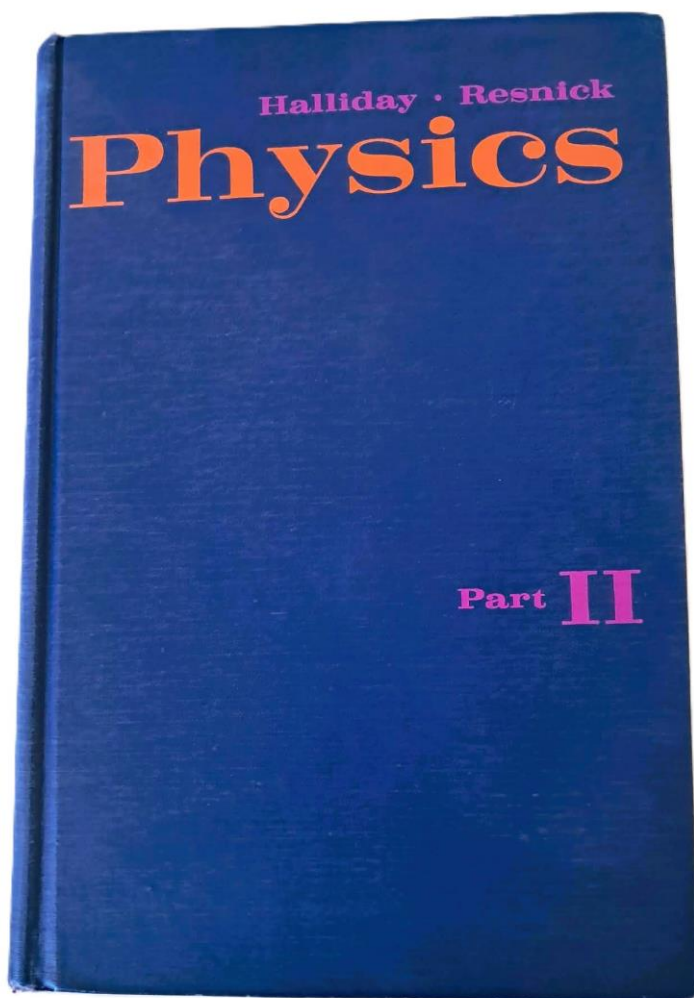
HRW (ještě bez W) na scéně



Prof. Ivan Šantavý
VUT v Brně
(1923-2004)



HRW (ještě bez W) na scéně



Otázka (tehdy i dnes):

Proč překládat, a nevytvořit naši učebnici?

Odpověď je jednoduchá:

Proč ztěžka vytvářet něco, co už bylo

- vytvořeno
- promyšleno
- vyzkoušeno
- ověřováno po desetiletí v mnoha zemích světa.

Vytvořit dobrou **ucelenou učebnici pro začátek studia na VŠ**, odpovídající soudobým nárokům po stránce obsahové, didaktické a grafické, **není lehká (a laciná) věc**.

1999: 100 let VUT

Výzva a příležitost

Edice překlady vysokoškolských učebnic

Svazek 1 *Fyzika*

Později: *Konstruování, Organická chemie ...*

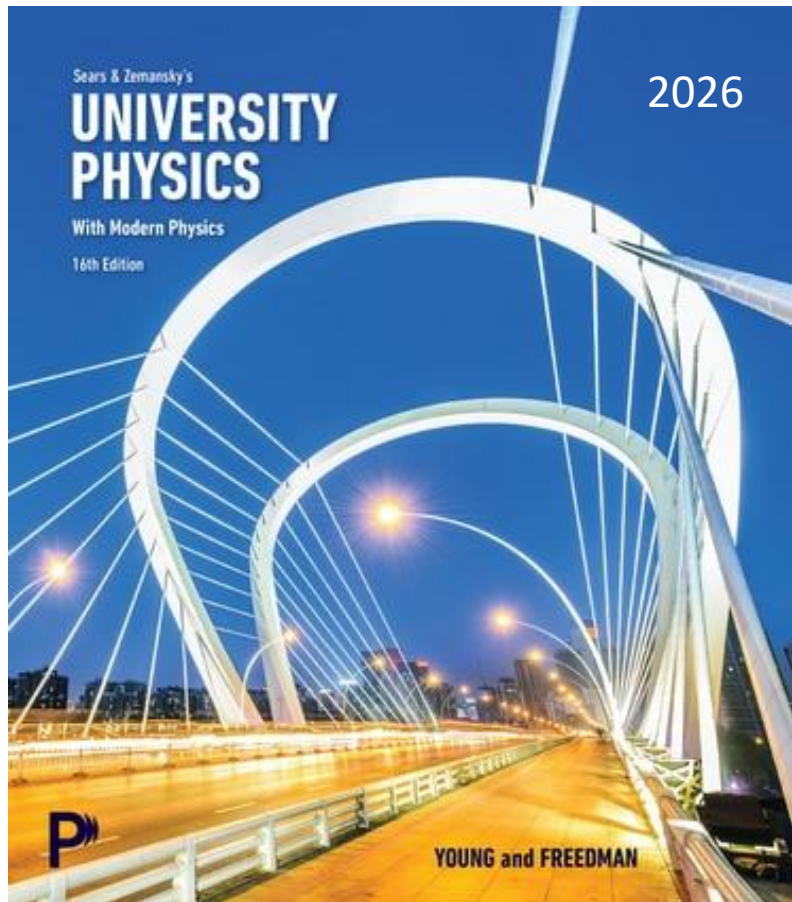
Výběr titulu

Požadavky na učebnici

- osvědčená (vychází opakovaně a je inovována)
- plnobarevné provedení s mnoha ilustracemi
- pokrývá celý kurz obecné fyziky (klasické i moderní)
- motivuje ke studiu jednotlivých partií
- výklad je věcně správný, čtivý a současně názorný s mnoha aplikacemi
- rozvíjí kvalitativní uvažování
- obsahuje zastavení s kontrolními otázkami
- velmi podrobně řešené příklady
- rozsáhlé sady zajímavých úloh různé obtížnosti
- vhodná pro různé obory (i pro učitele)

Výběr titulu

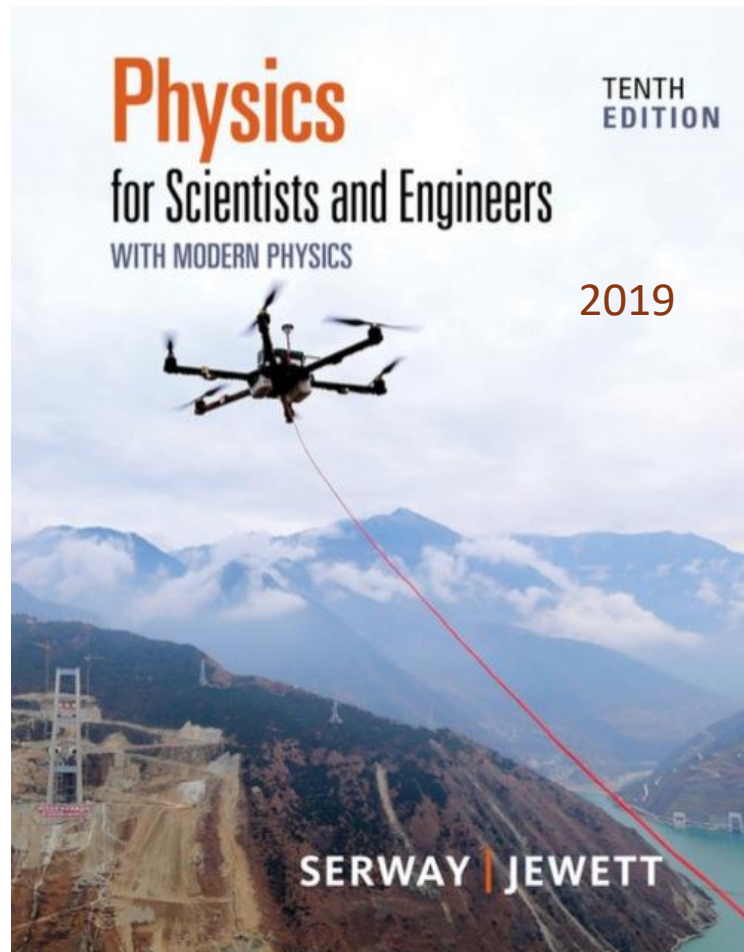
Vychází od (1949, 1973) 1996 (9th ed) **Požadavky** na učebnici



- osvědčená (vychází opakovaně a je inovována)
- plnobarevné provedení s mnoha ilustracemi
- pokrývá celý kurz obecné fyziky (klasické i moderní)
- motivuje ke studiu jednotlivých partií
- výklad je věcně správný, čtivý a současně názorný s mnoha aplikacemi
- rozvíjí kvalitativní uvažování
- obsahuje zastavení s kontrolními otázkami
- velmi podrobně řešené příklady
- rozsáhlé sady zajímavých úloh různé obtížnosti
- vhodná pro různé obory (i pro učitele)

Výběr titulu

Vychází od 1982 (1996 4th ed)

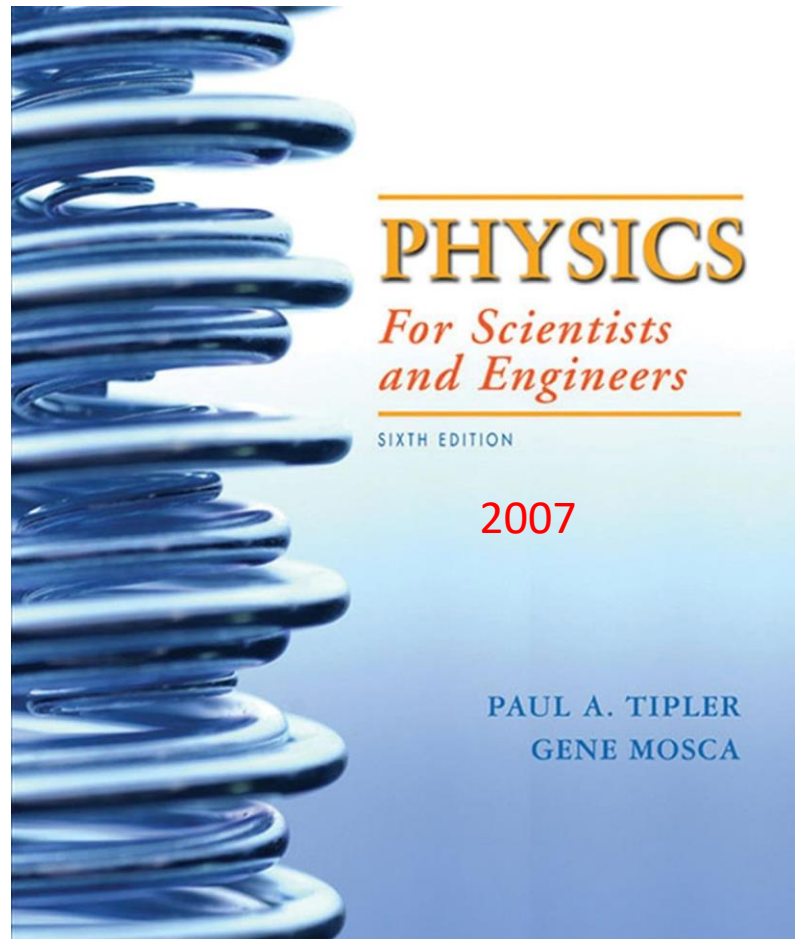


Požadavky na učebnici

- osvědčená (vychází opakovaně a je inovována)
- plnobarevné provedení s mnoha ilustracemi
- pokrývá celý kurz obecné fyziky (klasické i moderní)
- motivuje ke studiu jednotlivých partií
- výklad je věcně správný, čtivý a současně názorný s mnoha aplikacemi
- rozvíjí kvalitativní uvažování
- obsahuje zastavení s kontrolními otázkami
- velmi podrobně řešené příklady
- rozsáhlé sady zajímavých úloh různé obtížnosti
- vhodná pro různé obory (i pro učitele)

Výběr titulu

Vychází od 1982 (1999 4th ed)

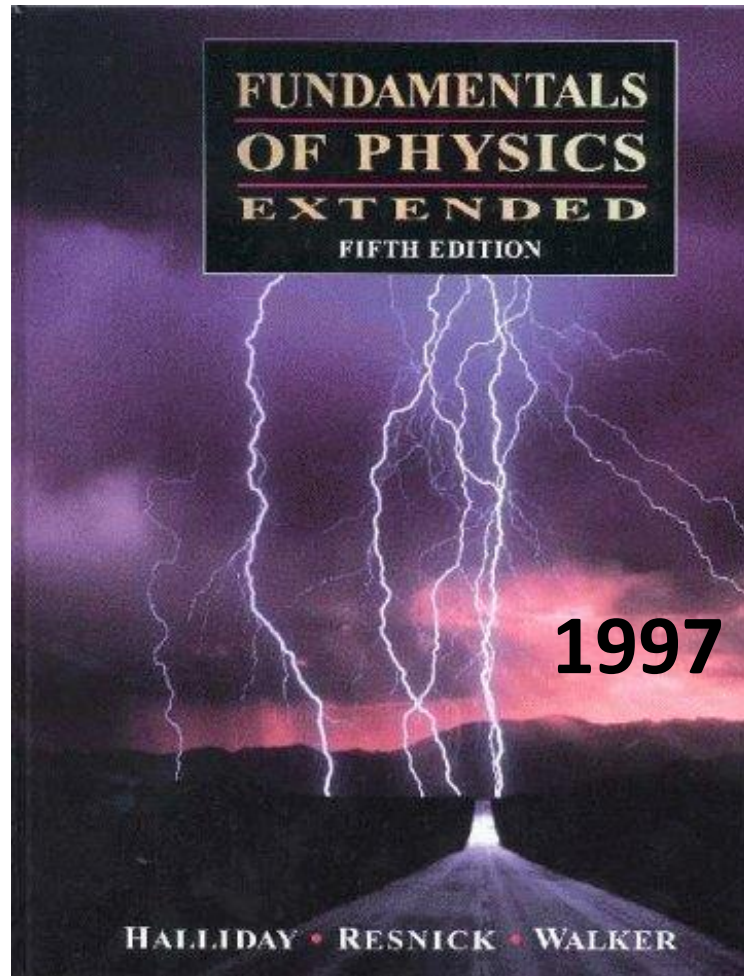


Požadavky na učebnici

- osvědčená (vychází opakovaně a je inovována)
- plnobarevné provedení s mnoha ilustracemi
- pokrývá celý kurz obecné fyziky (klasické i moderní)
- motivuje ke studiu jednotlivých partií
- výklad je věcně správný, čtivý a současně názorný s mnoha aplikacemi
- rozvíjí kvalitativní uvažování
- obsahuje zastavení s kontrolními otázkami
- velmi podrobně řešené příklady
- rozsáhlé sady zajímavých úloh různé obtížnosti
- vhodná pro různé obory (i pro učitele)

Výběr titulu

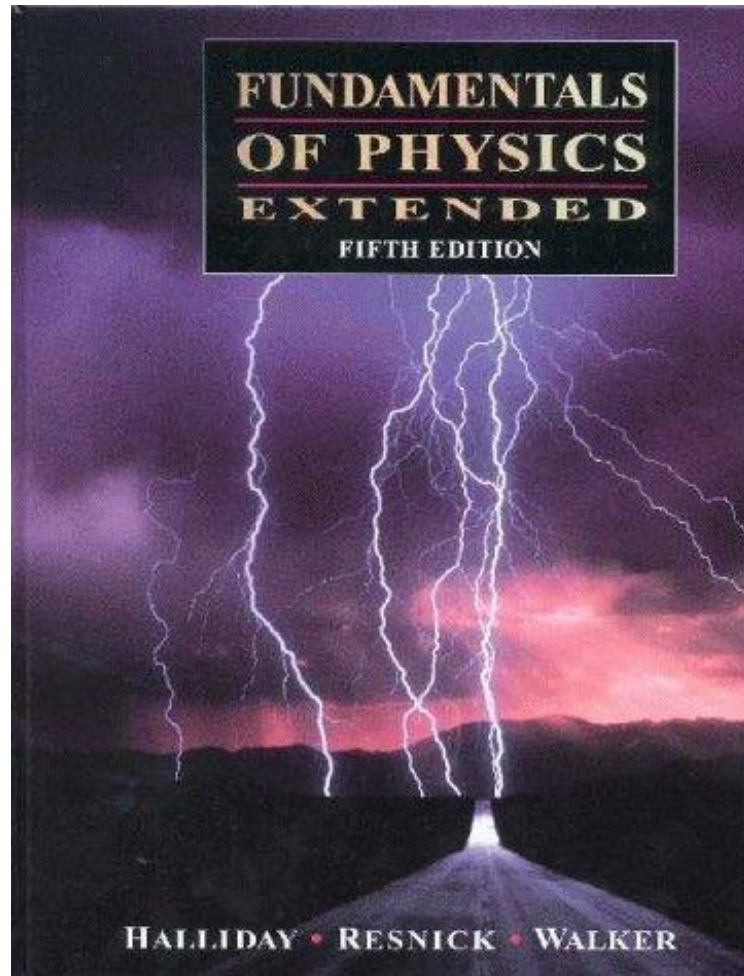
Vychází od 1960 (1997 5th ed)



Požadavky na učebnici

- osvědčená (vychází opakovaně a je inovována)
- plnobarevné provedení s mnoha ilustracemi
- pokrývá celý kurz obecné fyziky (klasické i moderní)
- motivuje ke studiu jednotlivých partií
- výklad je věcně správný, čtivý a současně názorný s mnoha aplikacemi
- rozvíjí kvalitativní uvažování
- obsahuje zastavení s kontrolními otázkami
- velmi podrobně řešené příklady
- rozsáhlé sady zajímavých úloh různé obtížnosti
- vhodná pro různé obory (i pro učitele)

Vychází od 1960 (1997 5th ed)



Požadavky na učebnici

měla by být spolehlivým **pomocníkem pro studenty**

- usnadnit jim spleťitou a dlouhou cestu poznávání
- pomoci vytvořit výstižný obraz o fyzice, porozumět jí a naučit se ji používat, a **mít ji rád**

měla by být **inspirací pro učitele**

měla by být sympatická

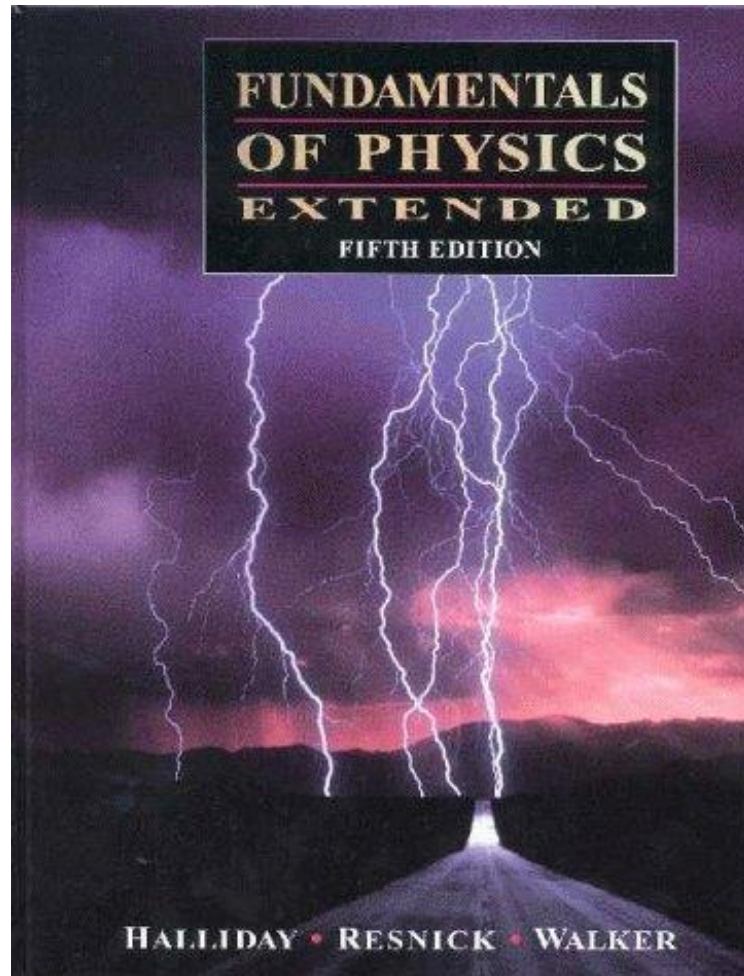
Český titul *FYZIKA*
s dovětkem sympaticky

HRW

Trocha historie

Vychází od 1960 (1997 5th ed)

1960



1960

D. Halliday, R. Resnick, *Physics for Students of Science and Engineering*

<https://www.youtube.com/watch?v=THPGQDLdeHw>

Nakladatelství
John Wiley & Sons



D. Halliday, R. Resnick, **J. Walker**,
Fundamentals of Physics
(plnobarevné,
výrazná motivační složka)

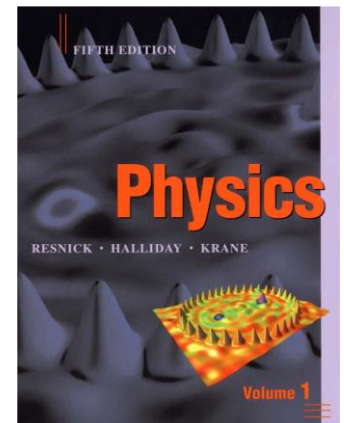
1993: 4. vydání

1997: 5. vydání

·
·
·

D. Halliday, R. Resnick, K. S. Krane,
Physics

2002: 5. vydání



HRW

Trocha historie

1960

D. Halliday, R. Resnick, *Physics for Students of Science and Engineering*

Nakladatelství
John Wiley & Sons

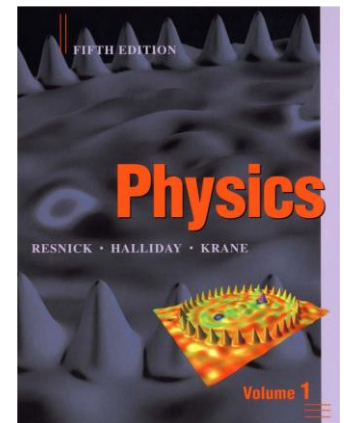
<https://www.youtube.com/watch?v=THPGQDLdeHw>

D. Halliday, R. Resnick, **J. Walker**,
Fundamentals of Physics
(plnobarevné,
výrazná motivační složka)

1993: 4. vydání
1997: 5. vydání

D. Halliday, R. Resnick, K. S. Krane,
Physics

2002: 5. vydání



2002

American Physical Society

„H&R ... the most outstanding introductory physics text of the twentieth century”

Překlad

PŘF MUNI FSI, FEKT VUT MFF UK

Mnoho překladatelů – nutnost text sjednotit a jazykově i odborně zredigovat

Mechanika – prof. Jana Musilová, PŘF MUNI

Kmity, vlny, termodynamika – doc. Jan Obdržálek, MFF UK

Elektřina a magnetismus – doc. Marian Štrunc, FEKT VUT

Optika – prof. Jiří Komrská, ÚFI FSI VUT

Moderní fyzika – prof. Michal Lenc, PŘF MUNI

Hlavní redakce – prof. Petr Dub a doc. Jan Obdržálek

Práce bylo mnohem více, než jsme na začátku předpokládali

2001: první české vydání HRW



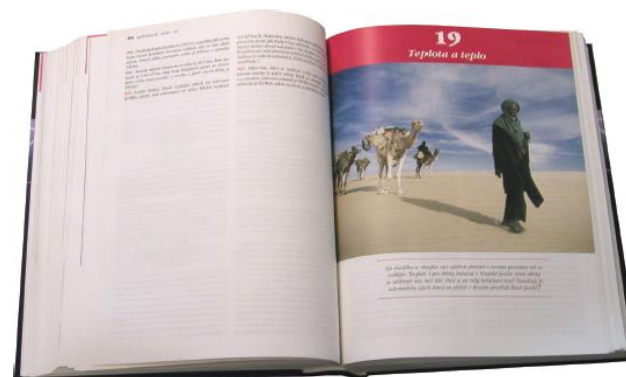
HRW 1, 2001

2001: první české vydání HRW

Poděkování

Dr. Karel Horák, MÚ AV ČR
sazba

Velký zájem
nejen na VŠ,
ale i na SŠ
2 dotisky

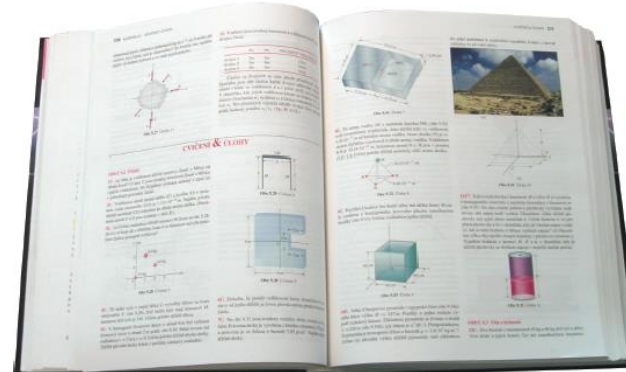


„Vskutku, když jsem začal pročítat živý a nápaditý text – a zvláště zadání úloh – připadlo mi, že čtenář, kterému je spis určen, nemůže neprožívat podobné překvapující zážitky z neobyčejných pohledů na velmi obyčejné věci a vztahy mezi nimi, jaké jsem prožíval jako naprosto nevědomý učeník v přírodních vědách ve svých jedenácti letech.“

Jiří Grygar, Fyzikální ústav AV ČR

„Zdá se mi, že právě tato učebnice bude opravdu tím prvním úspěšným krokem k překonání tragicky a tradičně špatného poměru naší mládeže k fyzice ...“

*Vladimír Malíšek,
Univerzita Palackého v Olomouci
Matematika – fyzika – informatika 11, 2001*



„Velkou předností knihy je velké množství ilustrací, mnohé jsou vskutku pozoruhodné.“

*Vojtěch Kapsa,
Matematicko-fyzikální fakulta UK,
Československý časopis pro fyziku, 5/2002*

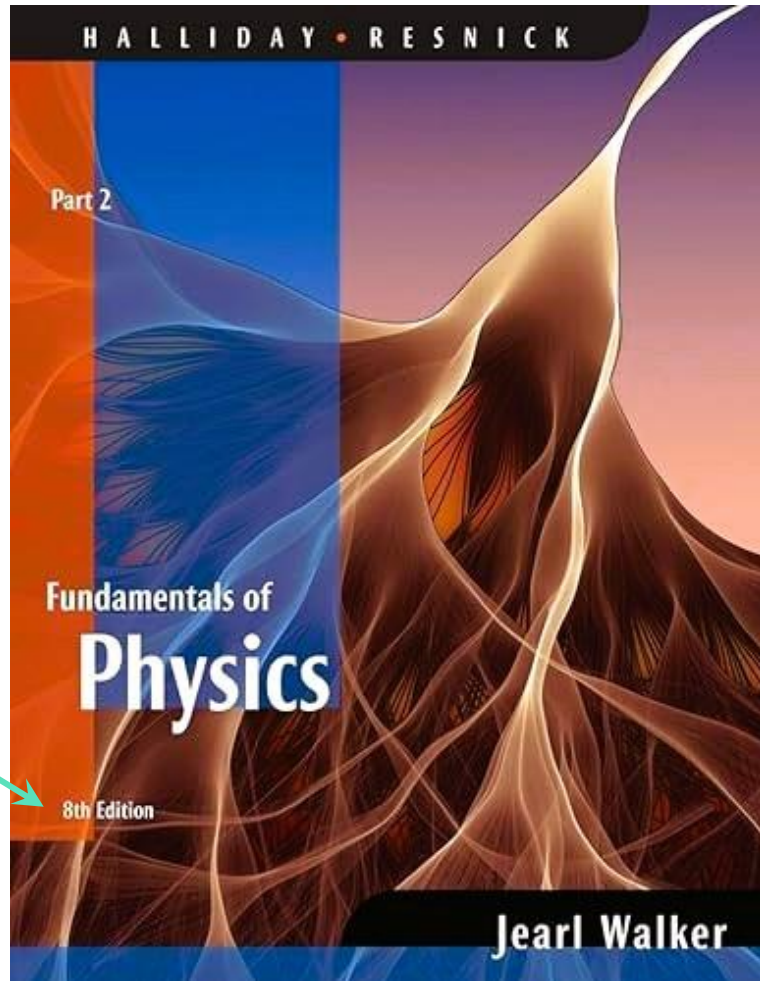
„Asi nejvíce na této publikaci oceňuji její zajímavost, přehlednost a propojení s praxí.“

*Irena Koudelková
Základní škola Červený Vrch, Praha,
Československý časopis pro fyziku, 5/2002*

„Fyzika je určena zejména těm, kteří svůj vztah k fyzice a k přírodním vědám teprve hledají. Pokud jej najdou, pak je uchvátí i knihy obrázků zcela prosté, zato přeplněné podivnými matematickými symboly. ... A pokud jej nenajdou, zůstane v nich snad povědomí o fyzice jako úžasné vědě. Co více by si učitel fyziky mohl přát?“

*Zdeněk Bochníček,
Přírodovědecká fakulta MU v Brně,
Vesmír 6/2002*

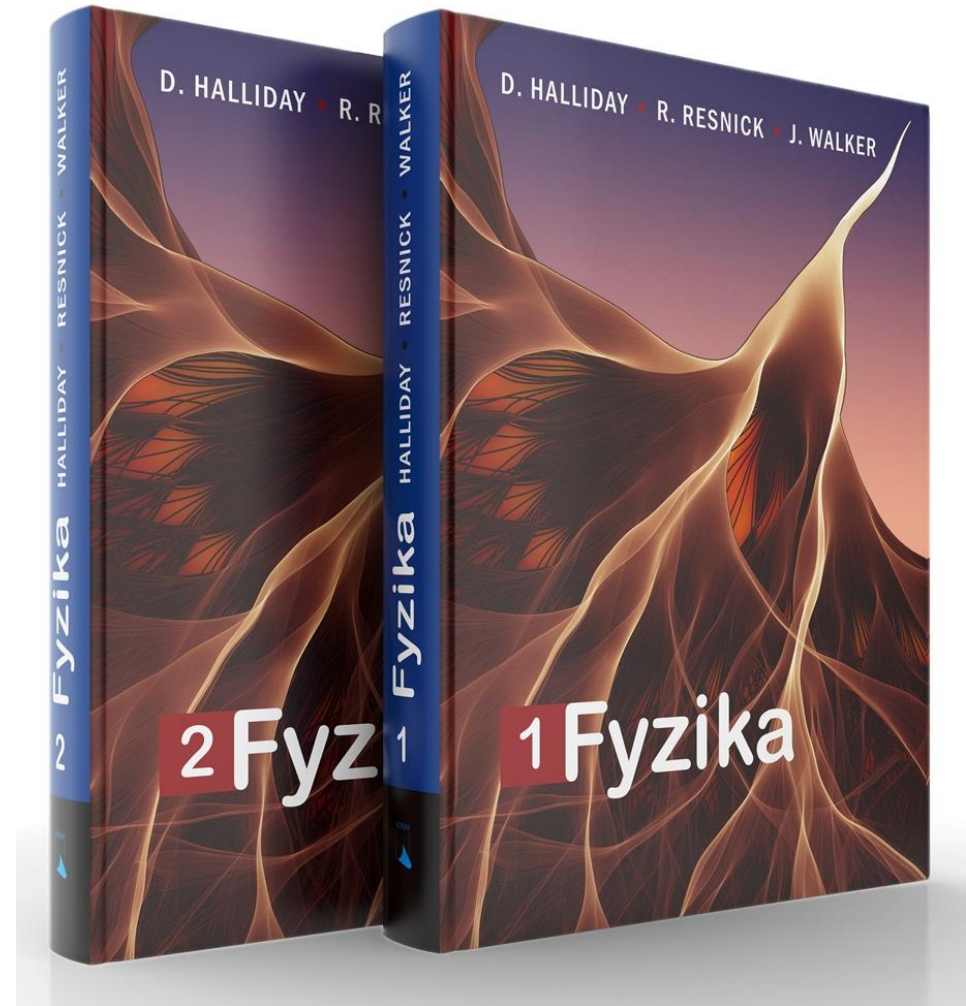
2013: druhé české vydání HRW



2013: druhé české vydání HRW

Podoba knihy a způsob výkladu
se výrazně proměnily

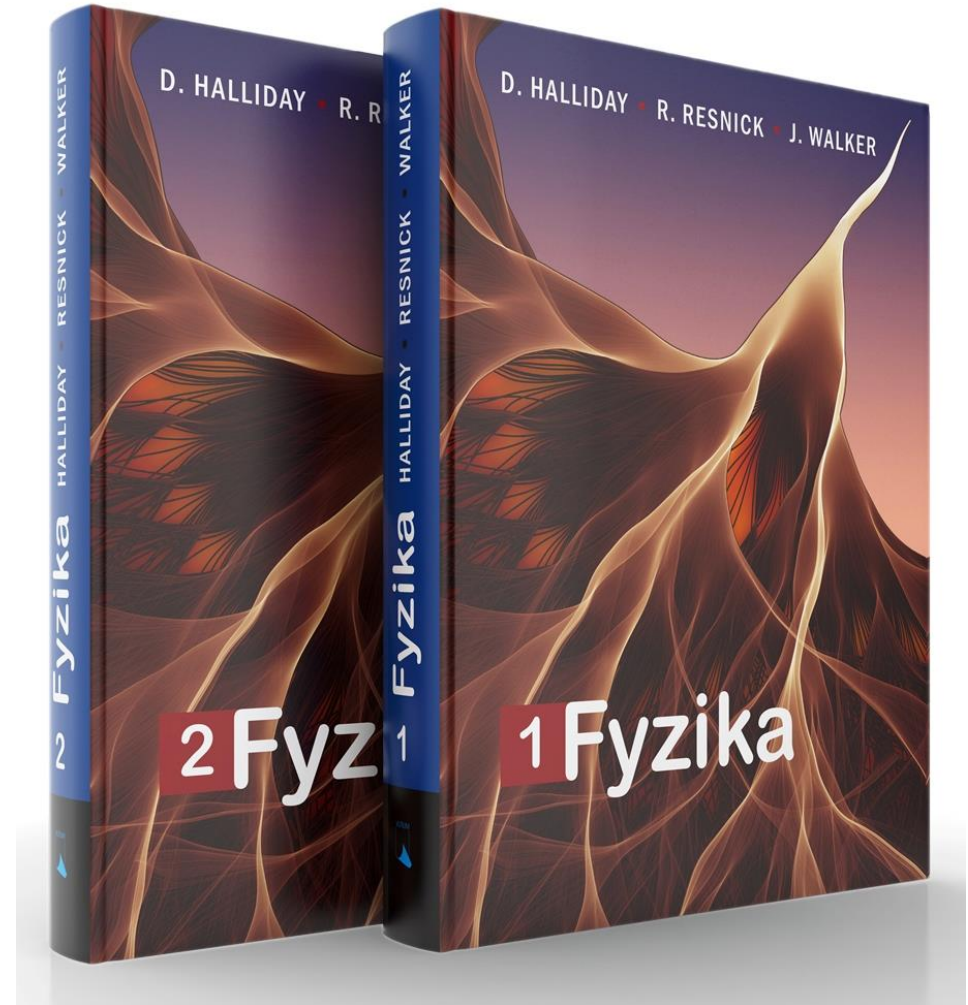
Práce bylo mnohem více, než jsem
na začátku předpokládal ...



2013: druhé české vydání HRW

1. dotisk: 2018

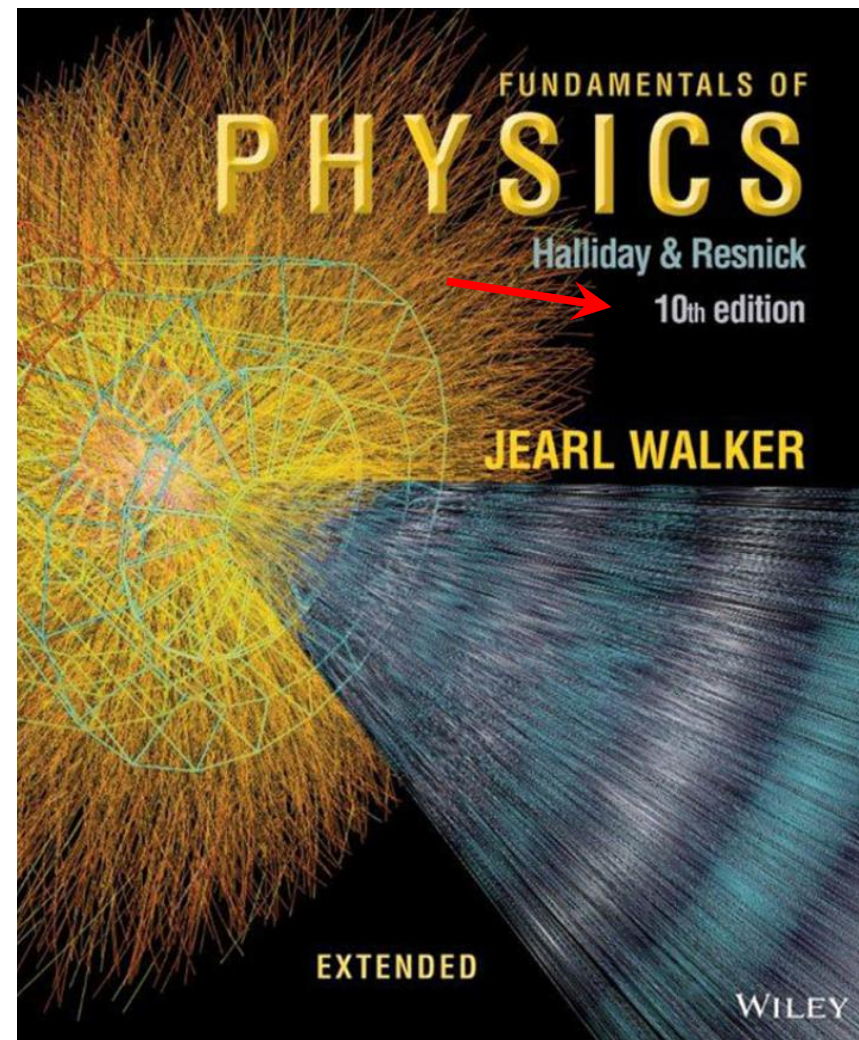
2. dotisk: 2021



2025: třetí české vydání HRW

Podoba knihy a způsob výkladu se opět výrazně proměnily

Práce bylo mnohem více, než jsem na začátku předpokládal ...



Co je v HRW3 nové a jinak

MNOHÉ

Co je v HRW3 nové a jinak

Z článků byly vytvořeny **Výukové moduly**

„Výukové cíle“

Na začátku každého modulu jsou uvedeny *cíle učení* (pod názvem „Co se naučíme a čemu porozumíme“) a přehled *klíčových poznatků*. Ty upozorňují na to nejdůležitější, co byste si měli z modulu odnést, a pomohou vám soustředit se na podstatné myšlenky při studiu.

O co jde a jak na to

Touto částí se otevírá každá kapitola; stručná odpověď vysvětluje, proč se dané téma studuje a jak k němu přistoupit.

Síla a pohyb I

5-1 PRVNÍ A DRUHÝ NEWTONŮV ZÁKON

Co se naučíme a čemu porozumíme

Po prostudování tohoto modulu bychom měli umět ...

- 5.01 Zavést vektorovou veličinu síla a pracovat s ní.
- 5.02 Sčítat síly jako vektory graficky a algebraicky.
- 5.03 Zavést skalární veličinu hmotnost.
- 5.04 Objasnit, co je inerciální vztažná soustava.
- 5.05 Formulovat první Newtonův zákon.
- 5.06 Formulovat druhý Newtonův zákon, a užívat jej na konkrétní úlohy.

Klíčové poznatky

- Rychlost tělesa se může měnit, jestliže na ni okolní objekty působí silami. Newtonovská mechanika uvádí do souvislosti celkové silové působení na zkoumané těleso s jeho zrychlením.
- Síla je vektorová veličina, která kvantitativně vyjadřuje vzájemné působení objektů. Jednotkou síly je newton (N), platí $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- Síly lze skládat podle pravidel vektorové algebry.
- Vztažné soustavy, v nichž platí zákony Newtonovy mechaniky, se nazývají inerciální. Ostatní vztažné soustavy jsou neinerciální.
- První Newtonův zákon zní: Nepůsobí-li na těleso žádná síla, nemění se jeho rychlost, tj. setrvává v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře.
- Hmotnost tělesa je jeho charakteristika, která zprostředkovává vztah mezi jeho zrychlením a výslednicí sil,

5.07 Nakreslit pro dané těleso silový diagram.

5.08 Určit zrychlení částice, známe-li síly, jimiž na ni působí okolní objekty.

5.09 Určit výslednici sil, jimiž okolí působí na částici, známe-li její zrychlení, a případně určit některou ze sil, známe-li kromě zrychlení ostatní síly.

kterými na toto těleso působí okolní objekty. Hmotnost je skalární veličina.

● Druhý Newtonův zákon zní: Síly působící na těleso o hmotnosti m mu udělají zrychlení $\vec{a}$, které je dáno jejich výslednicí $\sum \vec{F}$ podle vztahu

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}.$$

Tento vztah lze rozepsat do složek

$$m a_x = F_x, \quad m a_y = F_y, \quad m a_z = F_z.$$

● Silový diagram je užitečný pro řešení úloh pomocí druhého Newtonova zákona; je to zjednodušený diagram, konstruovaný pro jediné těleso reprezentované bodem. Síly působící na toto těleso jsou znázorněny jako vektory. V diagramu je rovněž zakreslena soustava souřadnic zvolená tak, aby řešení úlohy bylo co nejjednodušší.

O co jde a jak na to

Jak už víme, zabývá se jedna z částí fyziky studiem pohybu, zejména změnami jeho rychlosti – zrychlením. Fyzika však také zkoumá, proč se tělesa urychlují. Příčinou je jejich **interakce** (vzájemné působení) s okolními objekty. Tu lze popsat pomocí **síly**, která třeba těleso tlačí či táhne. Na těleso zkrátka musí **působit síly**, aby se mohla **změnit jeho rychlost**. * Například takový dragster: ** K jeho urychlení je třeba docílit toho, aby jízdní dráha působila na jeho zadní pneumatiky silou, která právě toto urychlení vyvolá. Při aktivaci brzdného mechanismu zase vzniká síla, která vůz zbrzdí. V přírodovědných, technických, lékařských i právnických časopisech je řada článků pojednávajících o působení sil na předměty i na lidi.

* Síla kvantitativně vyjadřuje vzájemné působení objektů. Přesněji bychom tedy měli hovořit o silách, kterými na sledované těleso T působí jednotlivé okolní objekty. Často však stručně říkáme, že na těleso působí síly, aniž se staráme o jejich původ. Některé typy sil uvedeme v následujícím modulu.

** Dragster je vůz pro závody v „automobilovém sprintu“. Cílem závodníka je dosáhnout co největší rychlosti v nejkratším čase, tedy, zhruba řečeno, co největšího zrychlení.

Co je v HRW3 nové a jinak

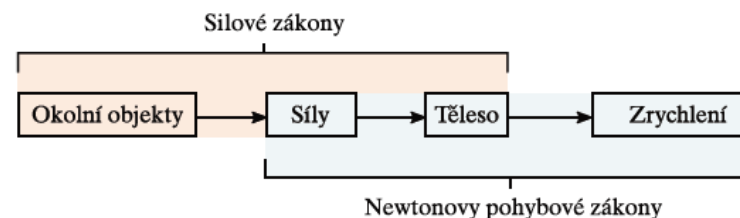
KAPITOLA 5

Síla a pohyb I

O co jde a jak na to

Touto částí se otevírá každá kapitola; stručná odpověď vysvětluje, proč se dané téma studuje a jak k němu přistoupit.

O co jde a jak na to názorně vystihuje následující schéma, kde levé podbarvené pole se týká interakce tělesa s okolím a pravé podbarvené pole říká, jak určit zrychlení tělesa.



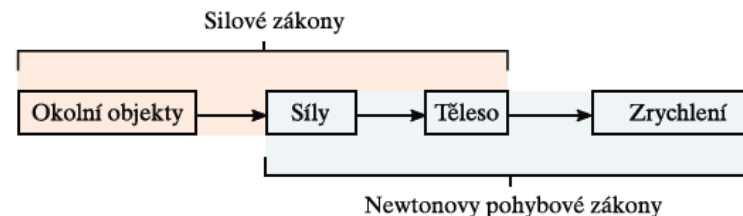
Upozornění. Mnoho studentů považuje tuto kapitolu za náročnější než předchozí. Jedním z důvodů je, že při sestavování rovnic budeme muset používat vektory. Potřebujeme tedy bezpečně ovládat matematiku z kapitoly 3, umět počítat s vektory a kreslit vhodné obrázky. Dalším důvodem je, že se setkáme s řadou nejrozumnějších situací: objekty se budou pohybovat po podlahách, stěnách či nakloněných rovinách. Budou taženy vlákny vedenými přes kladky či budou ležet na podlaze výtahu, který se pohybuje nahoru, nebo dolů se zrychlením. Někdy budou objekty dokonce svázané dohromady. K řešení všech různorodých úloh potřebujeme Newtonovy pohybové zákony. Abychom je uměli správně a efektivně použít k řešení problémů, musíme vyřešit mnoho a mnoho úloh.

Co je v HRW3 nové a jinak

KAPITOLA 5

Síla a pohyb I

O co jde a jak na to názorně vystihuje následující schéma, kde levé podbarvené pole se týká interakce tělesa s okolím a pravé podbarvené pole říká, jak určit zrychlení tělesa.



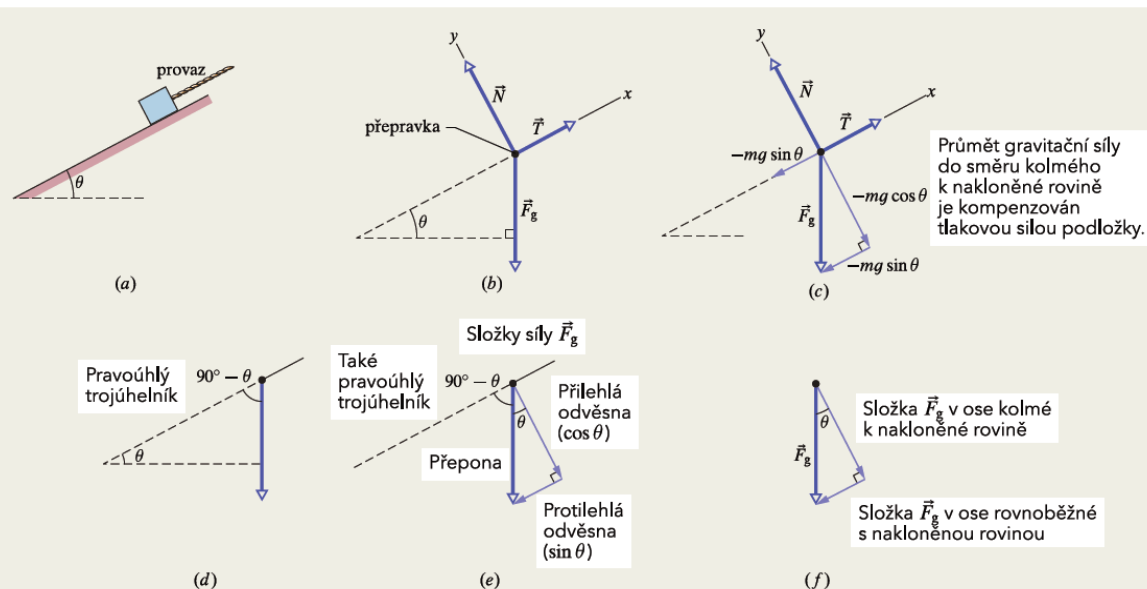
„A heads up”

Upozornění. Mnoho studentů považuje tuto kapitolu za náročnější než předchozí. Jedním z důvodů je, že při sestavování rovnic budeme muset používat vektory. Potřebujeme tedy bezpečně ovládat matematiku z kapitoly 3, umět počítat s vektory a kreslit vhodné obrázky. Dalším důvodem je, že se setkáme s řadou nejrozumnějších situací: objekty se budou pohybovat po podlahách, stěnách či nakloněných rovinách. Budou taženy vlákny vedenými přes kladky či budou ležet na podlaze výtahu, který se pohybuje nahoru, nebo dolů se zrychlením. Někdy budou objekty dokonce svázané dohromady. K řešení všech různorodých úloh potřebujeme Newtonovy pohybové zákony. Abychom je uměli správně a efektivně použít k řešení problémů, musíme vyřešit mnoho a mnoho úloh.

Co je v HRW3 nové a jinak

KAPITOLA 5

Síla a pohyb I



Obr. 5-15 Příklad 5.04. (a) Přepravka je tažena na provaze vzhůru po nakloněné rovině. (b) Na přepravku působí tři síly: tahová síla $\vec{T}$, gravitační síla $\vec{F}_g$ a normálová síla (tlaková síla podložky) $\vec{N}$. (c) Diagram sil působících na přepravku s vyznačením složek gravitační síly. (d)–(f) Hledání složek gravitační síly ($\sin \theta$ = protilehlá odvěsna/přepona, $\cos \theta$ = přilehlá odvěsna/přepona). (Připomeňme (viz modul 3-1), že pro vyznačení znamének složek vektorů používáme v obrázcích značky v podobě malých plných šipek (výrazně se lišících od šipek označujících vektory). Šipka míří v kladném směru souřadnicové osy, je-li příslušná složka vektoru kladná, a šipka míří v záporném směru souřadnicové osy, je-li příslušná složka vektoru záporná.)

Názvy příkladů

Příklad 5.04 Přepravka na nakloněné rovině

Na obr. 5-15a je přepravka se zbožím o hmotnosti $m = 5,00 \text{ kg}$ vytahována na provaze po dokonale hladké nakloněné rovině. Úhel sklonu nakloněné roviny je $\theta = 30,0^\circ$, provaz je napínán silou o velikosti $T = 25,0 \text{ N}$. Jaké je zrychlení přepravky?

ROZVAHA

(1) Zrychlení objektu je podle druhého Newtonova zákona dáno výslednicí sil na něj působících ($m\vec{a} = \sum \vec{F}$). (2) Na přepravku působí tři síly: tahová síla provazu $\vec{T}$, gravitační síla $\vec{F}_g$ a normálová síla (tlaková síla podložky) $\vec{N}$. (3) Přepravku budeme považovat za hmotný bod.

Výpočet: Pro zjednodušení výpočtu zvolíme souřadnicové osy a nakreslíme silový diagram podle obrázku 5-15b. Osa x míří podél nakloněné roviny vzhůru. Tahová síla provazu $\vec{T}$ má též směr a její velikost je $T = 25,0 \text{ N}$. Gravitační síla $\vec{F}_g$ je svislá a má velikost $mg = (5,00 \text{ kg})(9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}) = 49,0 \text{ N}$. Dále víme, že tlaková síla podložky $\vec{N}$ míří v kladném směru osy y .

Nyní můžeme zapsat x -ovou a y -ovou složku druhého Newtonova zákona, tedy

$$ma_x = T - mg \sin \theta, \quad (5.23)$$

$$0 = N - mg \cos \theta. \quad (5.24)$$

Z rov. (5.23) po dosazení zadaných hodnot dostaneme

$$a_x = 0,100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}. \quad (\text{Odpověď})$$

$$ma_x = T + F_{gx}, \quad (5.21)$$

$$ma_y = N + F_{gy}, \quad (5.22)$$

kde F_{gx} a F_{gy} jsou složky gravitační síly ve směru rovnoběžném s nakloněnou rovinou a ve směru k ní kolmém. Určíme je užitím obr. 5-15d až f, tj.

$$F_{gx} = -mg \sin \theta$$

a

$$F_{gy} = -mg \cos \theta.$$

Ve dvou rovnicích rov. (5.21) a rov. (5.22) nyní zbývají tři neznámé veličiny, velikost tlakové síly N a dvě složky zrychlení přepravky. Proto potřebujeme další poznatek. Uvědomíme si, že se přepravka pohybuje stále po přímce, její rychlost nemění směr, míří stále podél osy x . Tedy y -ová složka zrychlení přepravky a_y je nulová a pouze x -ová složka zrychlení a_x je nenulová. Dosadíme-li za této podmínky do rov. (5.21) a rov. (5.22) odvozené výrazy pro složky gravitační síly, dostáváme

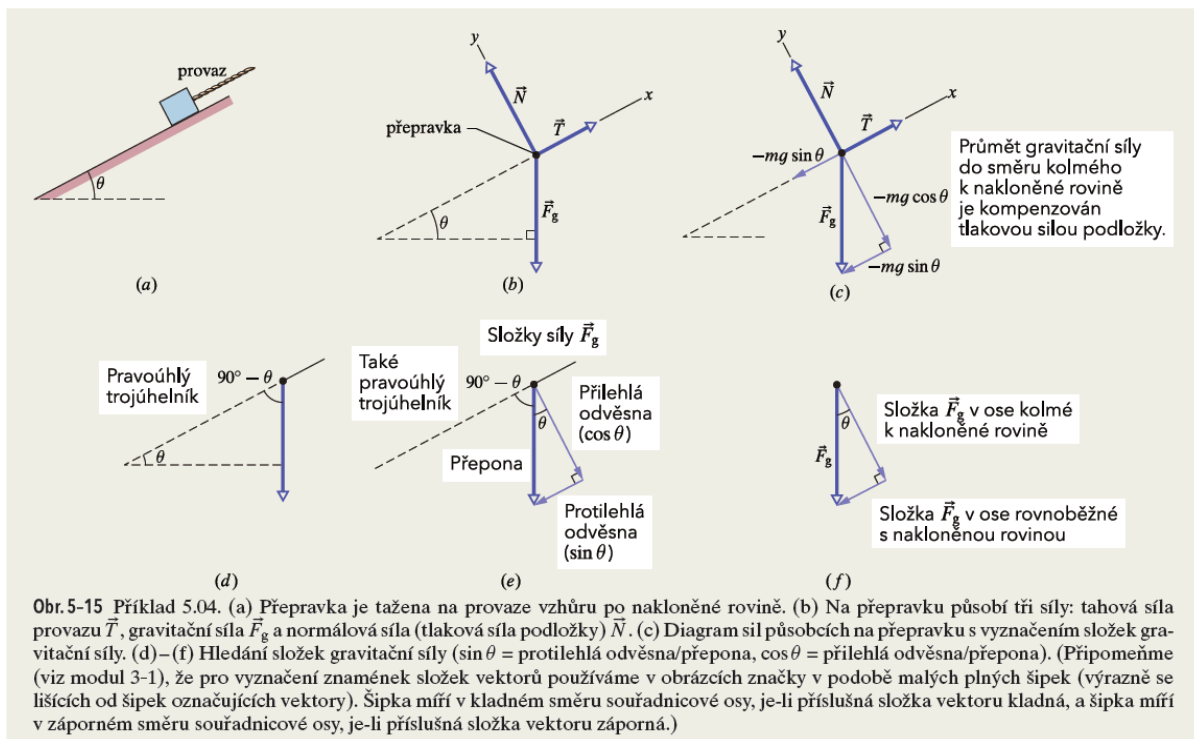
Kladné znaménko výsledku znamená, že se přepravka urychluje po nakloněné rovině směrem vzhůru.

Vztah (5.24) vyjadřuje skutečnost, že průmět gravitační síly do směru kolmého k nakloněné rovině je kompenzován tlakovou silou podložky. S tímto výsledkem se setkáme ještě v mnoha příkladech.

Co je v HRW3 nové a jinak

Animace obrázků Textová políčka

Složitější obrázky jsou rozděleny do více částí, aby jejich sdělení bylo přehledné a srozumitelné. V řadě z nich se navíc nacházejí textová políčka pro snadnější orientaci.



Názvy příkladů

Příklad 5.04 Přepravka na nakloněné rovině

Na obr. 5-15a je přepravka se zbožím o hmotnosti $m = 5,00 \text{ kg}$ vytahována na provaze po dokonale hladké nakloněné rovině. Úhel sklonu nakloněné roviny je $\theta = 30,0^\circ$, provaz je napínán silou o velikosti $T = 25,0 \text{ N}$. Jaké je zrychlení přepravky?

ROZVAHA

(1) Zrychlení objektu je podle druhého Newtonova zákona dáno výslednicí sil na něj působících ($m\vec{a} = \sum \vec{F}$). (2) Na přepravku působí tři síly: tahová síla provazu $\vec{T}$, gravitační síla $\vec{F}_g$ a normálová síla (tlaková síla podložky) $\vec{N}$. (3) Přepravku budeme považovat za hmotný bod.

Výpočet: Pro zjednodušení výpočtu zvolíme souřadnicové osy a nakreslíme silový diagram podle obrázku 5-15b. Osa x míří podél nakloněné roviny vzhůru. Tahová síla provazu $\vec{T}$ má též směr a její velikost je $T = 25,0 \text{ N}$. Gravitační síla $\vec{F}_g$ je svislá a má velikost $mg = (5,00 \text{ kg})(9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}) = 49,0 \text{ N}$. Dále víme, že tlaková síla podložky $\vec{N}$ míří v kladném směru osy y .

Nyní můžeme zapsat x -ovou a y -ovou složku druhého Newtonova zákona, tedy

$$ma_x = T - mg \sin \theta, \quad (5.23)$$

$$0 = N - mg \cos \theta. \quad (5.24)$$

Z rov. (5.23) po dosazení zadaných hodnot dostaneme

$$a_x = 0,100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}. \quad (\text{Odpověď})$$

$$ma_x = T + F_{gx}, \quad (5.21)$$

$$ma_y = N + F_{gy}, \quad (5.22)$$

kde F_{gx} a F_{gy} jsou složky gravitační síly ve směru rovnoběžném s nakloněnou rovinou a ve směru k ní kolmém. Určíme je užitím obr. 5-15d až f, tj.

$$F_{gx} = -mg \sin \theta$$

a

$$F_{gy} = -mg \cos \theta.$$

Ve dvou rovnicích rov. (5.21) a rov. (5.22) nyní zbývají tři neznámé veličiny, velikost tlakové síly N a dvě složky zrychlení přepravky. Proto potřebujeme další poznatek. Uvědomíme si, že se přepravka pohybuje stále po přímce, její rychlost nemění směr, míří stále podél osy x . Tudíž y -ová složka zrychlení přepravky a_y je nulová a pouze x -ová složka zrychlení a_x je nenulová. Dosadíme-li za této podmínky do rov. (5.21) a rov. (5.22) odvozené výrazy pro složky gravitační síly, dostáváme

Kladné znaménko výsledku znamená, že se přepravka urychluje po nakloněné rovině směrem vzhůru.

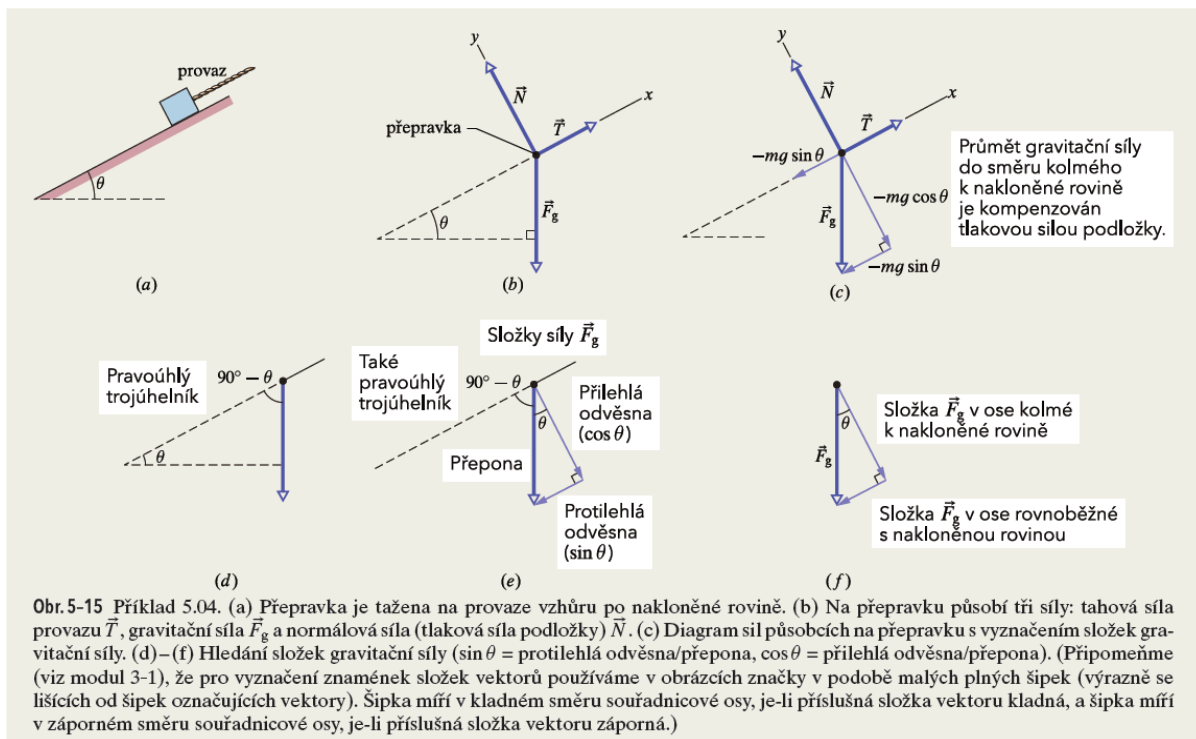
Vztah (5.24) vyjadřuje skutečnost, že průmět gravitační síly do směru kolmého k nakloněné rovině je kompenzován tlakovou silou podložky. S tímto výsledkem se setkáme ještě v mnoha příkladech.

Co je v HRW3 nové a jinak

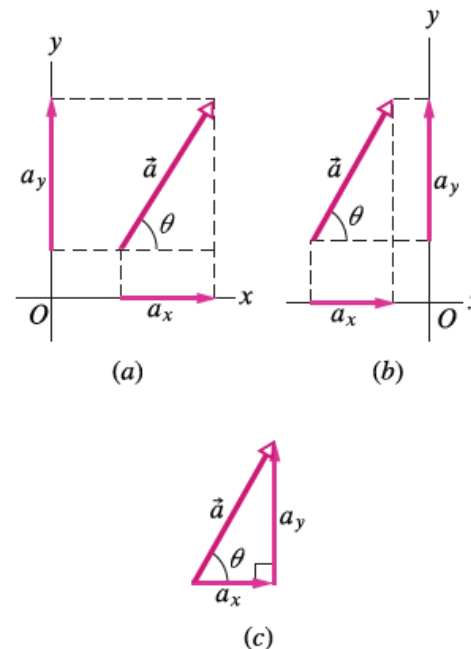
Animace obrázků

Textová políčka

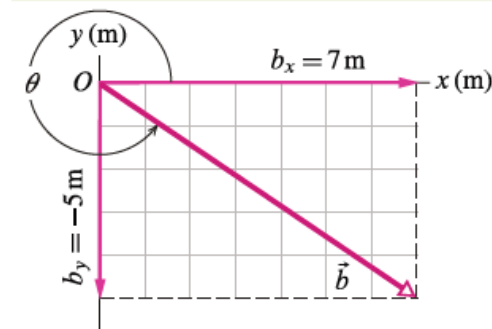
Složitější obrázky jsou rozděleny do více částí, aby jejich sdělení bylo přehledné a srozumitelné. V řadě z nich se navíc nacházejí textová políčka pro snadnější orientaci.



Složky vektoru



Pro vyznačení znaménka složek používáme v obrázcích malých plných šipek. Šipka míří v kladném směru osy, je-li příslušná složka vektoru kladná; šipka míří v záporném směru osy, je-li příslušná složka vektoru záporná.



Co je v HRW3 nové a jinak

KAPITOLA 8

Potenciální energie a zachování energie

Animace obrázků Textová políčka

8-3 INTERPRETACE KŘIVKY POTENCIÁLNÍ ENERGIE

Co se naučíme a čemu porozumíme

Po prostudování tohoto modulu bychom měli umět ...

- 8.10** Určit interakční sílu, je-li zadána závislost potenciální energie soustavy na (konfigurační) proměnné x .
- 8.11** Nakreslit graf závislosti potenciální energie soustavy na proměnné x a objasnit, co z něj lze vyčíst.
- 8.12** Určit závislost interakční síly na proměnné x , je-li zadán graf závislosti potenciální energie soustavy na proměnné x .
- 8.13** Určit pro zadanou hodnotu mechanické energie

- soustavy v grafu závislosti potenciální energie soustavy na proměnné x kinetickou energii.
- 8.14** Objasnit pojem bod obratu.
- 8.15** Vymezit pro zadanou hodnotu mechanické energie soustavy v grafu závislosti potenciální energie soustavy na proměnné x oblasti, v nichž se částice nemůže nalézat.
- 8.16** Objasnit pojmy volná, vratká a stálá rovnovážná poloha.

Klíčové poznatky

- Známe-li závislost $E_p(x)$ potenciální energie soustavy, jejíž součástí je sledovaná částice, na (konfigurační) proměnné x , určující polohu částice vzhledem ke zbytku soustavy, můžeme vyjádřit odpovídající interakční sílu $F_x(x)$ působící na částici vztahem

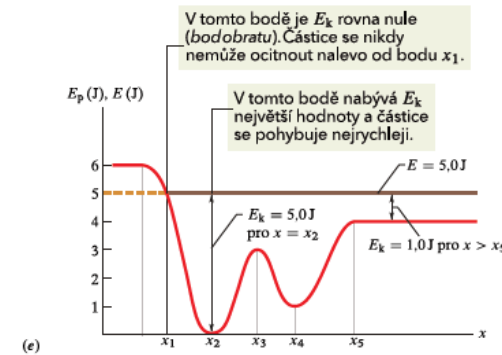
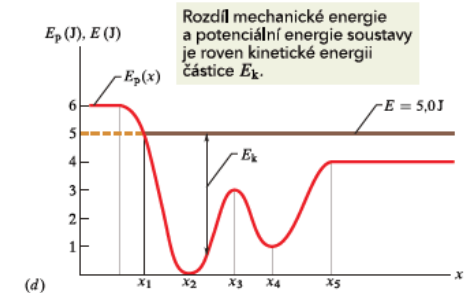
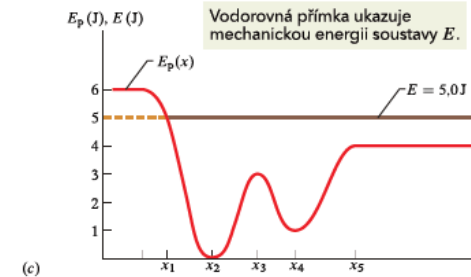
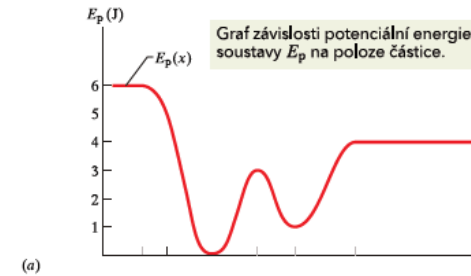
$$F_x(x) = -\frac{dE_p(x)}{dx}.$$

- Je-li funkce $E_p(x)$ zadána grafem, lze pro libovolnou hodnotu x zjistit hodnotu $F_x(x)$ jako záporně vzatou směrnicí tohoto grafu.

- Kinetickou energii soustavy lze pak určit jako rozdíl její mechanické a potenciální energie, tedy

$$E_k(x) = E - E_p(x).$$

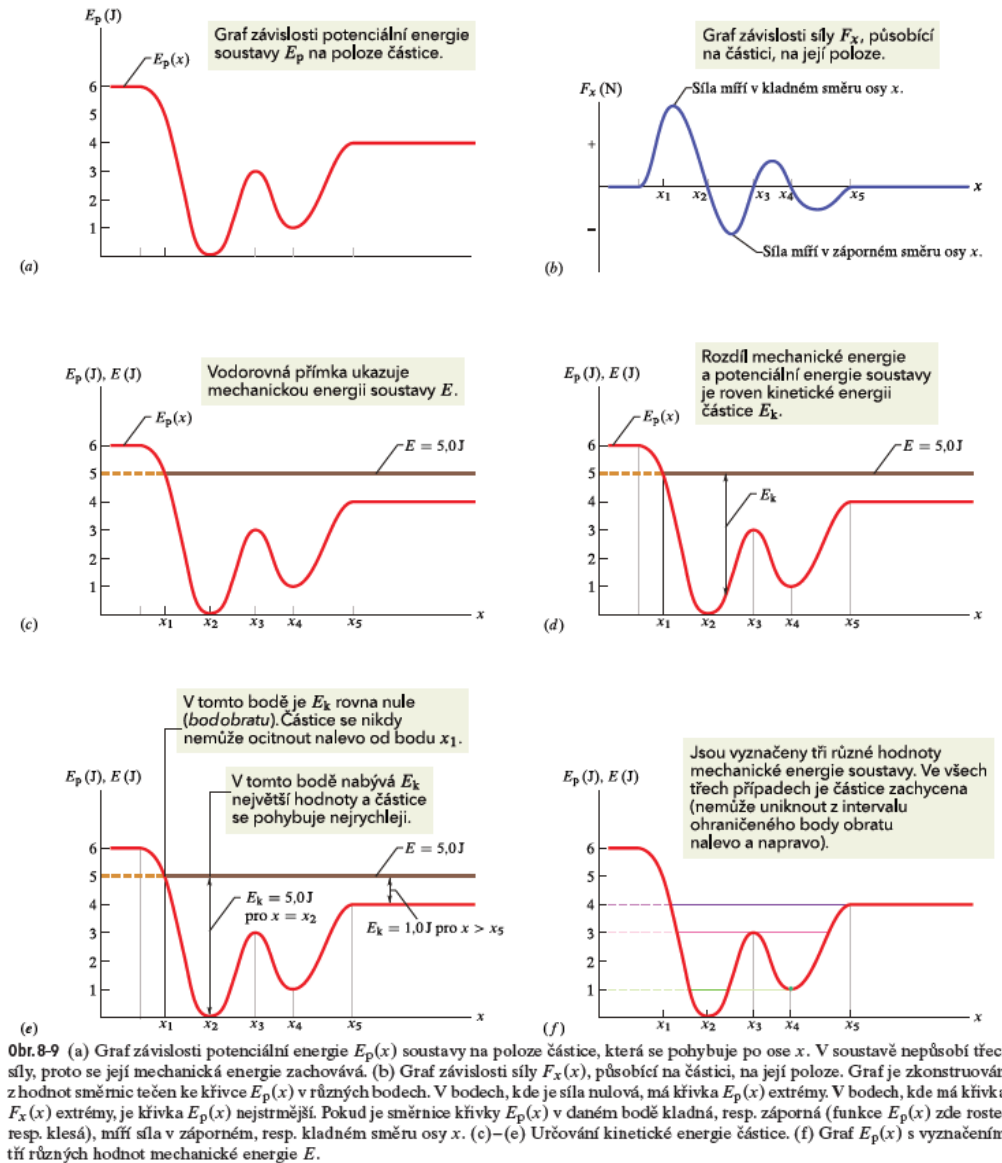
- Bodem obratu rozumíme takovou polohu x , v níž se obrací směr pohybu částice (tj. $E_k = 0$).
- Částice je v rovnováze v každém bodě, v němž je směrnice grafu funkce $E_p(x)$ nulová (tj. $F(x) = 0$).



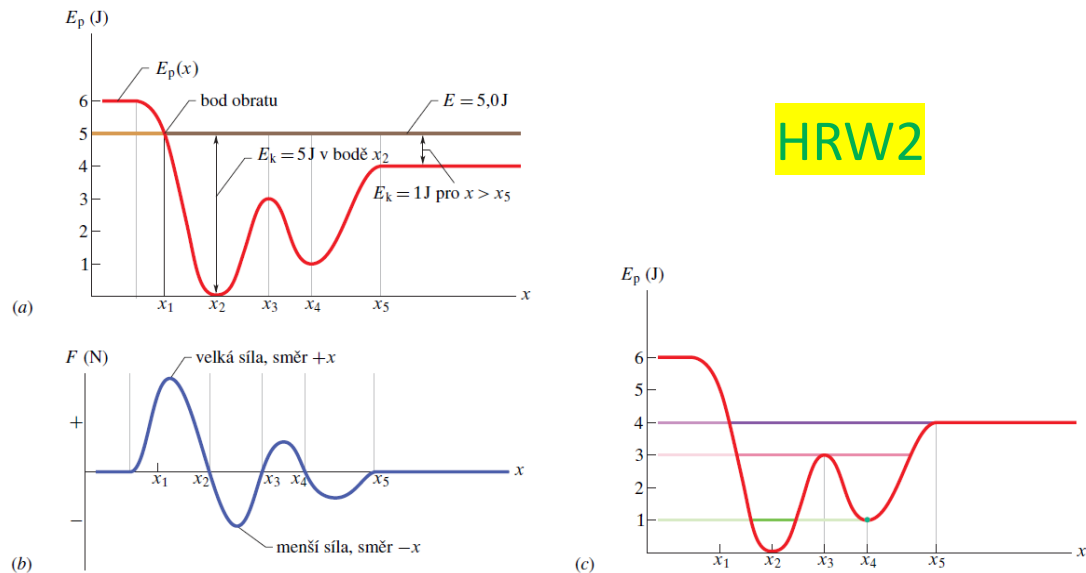
Obr. 8-9 (a) Graf závislosti potenciální energie $E_p(x)$ soustavy na poloze částice, která se pohybuje po ose x . V soustavě nepůsobí třecí síly, proto se její mechanická energie zachovává. (b) Graf závislosti síly $F_x(x)$, působící na částici, na její poloze. Graf je zkonstruován z hodnot směric tečen ke křivce $E_p(x)$ v různých bodech. V bodech, kde je síla nulová, má křivka $E_p(x)$ extrém. V bodech, kde má křivka $F_x(x)$ extrém, je křivka $E_p(x)$ nejstřímější. Pokud je směrnice křivky $E_p(x)$ v daném bodě kladná, resp. záporná (funkce $E_p(x)$ zde roste, resp. klesá), mívá síla v záporném, resp. kladném směru osy x . (c)–(e) Určování kinetické energie částice. (f) Graf $E_p(x)$ s vyznačením tří různých hodnot mechanické energie E .

Co je v HRW3 nové a jinak

Animace obrázků Textová políčka



HRW2



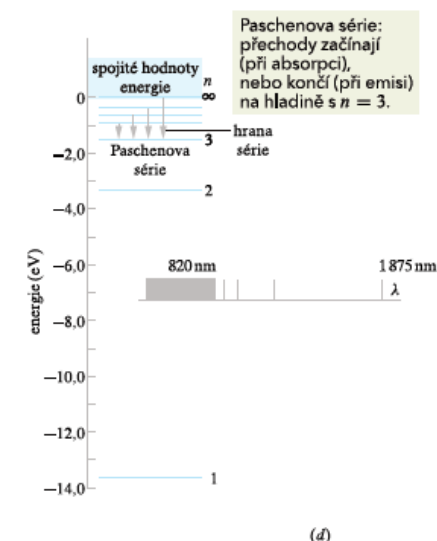
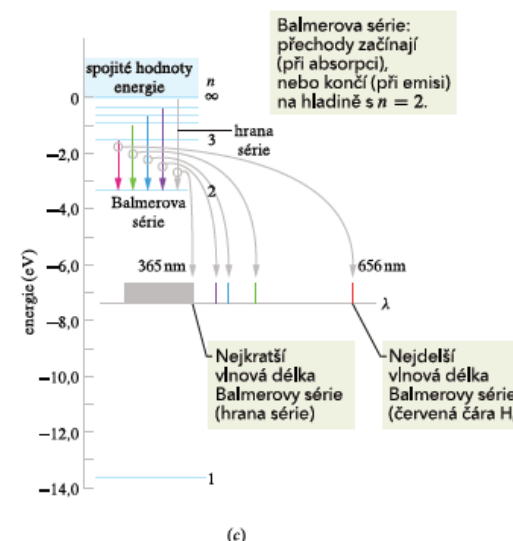
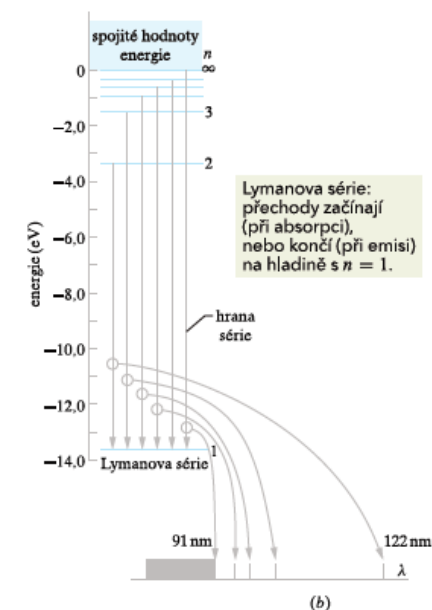
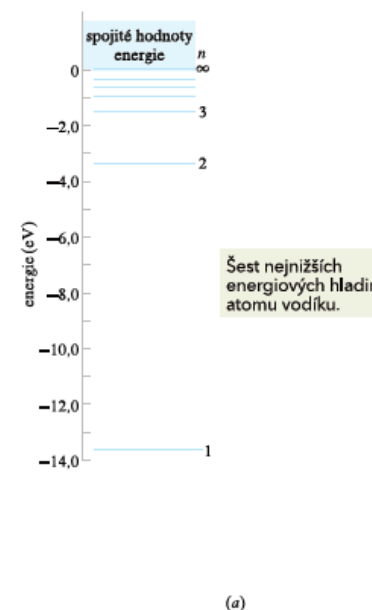
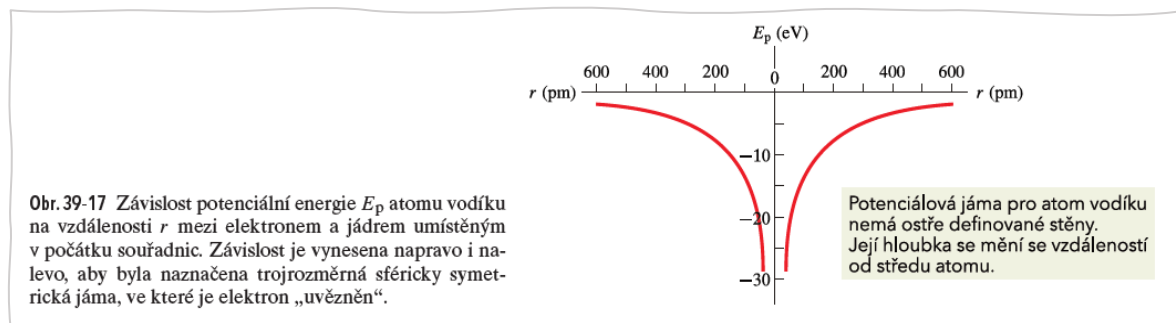
OBR.8-9 (a) Graf závislosti potenciální energie $E_p(x)$ soustavy na poloze částice, která se pohybuje po ose x . V soustavě nepůsobí třetí síly, a proto se její mechanická energie zachovává. Je vyznačena mechanická energie $E = 5,0 \text{ J}$. (b) Graf závislosti síly $F(x)$, působící na částici, na její poloze. Graf je zkonstruován z hodnot směrnic tečen ke křivce $E_p(x)$ v různých bodech. (c) Graf $E_p(x)$ s vyznačením tří různých hodnot mechanické energie E .

Co je v HRW3 nové a jinak

KAPITOLA 39

Více o de Broglieho vlnách

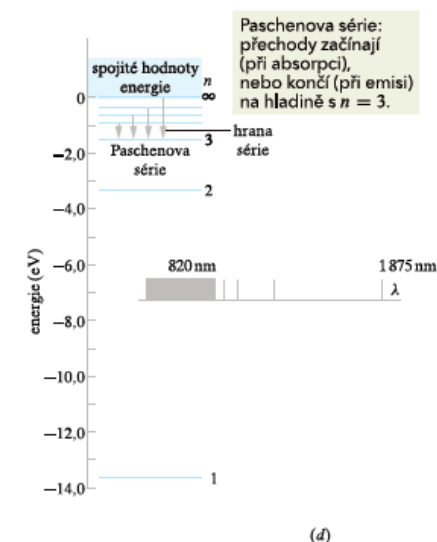
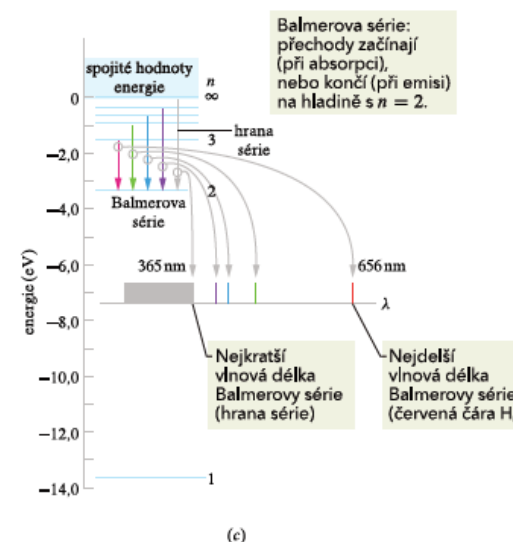
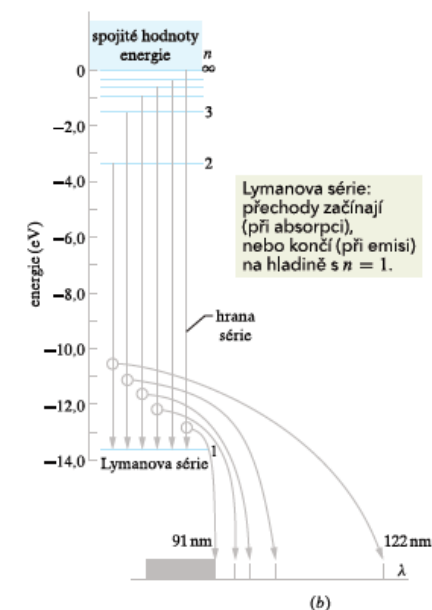
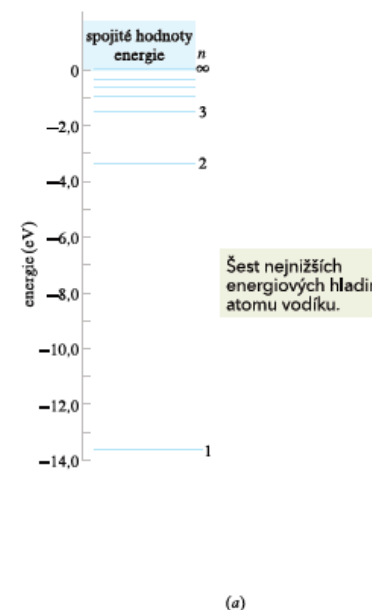
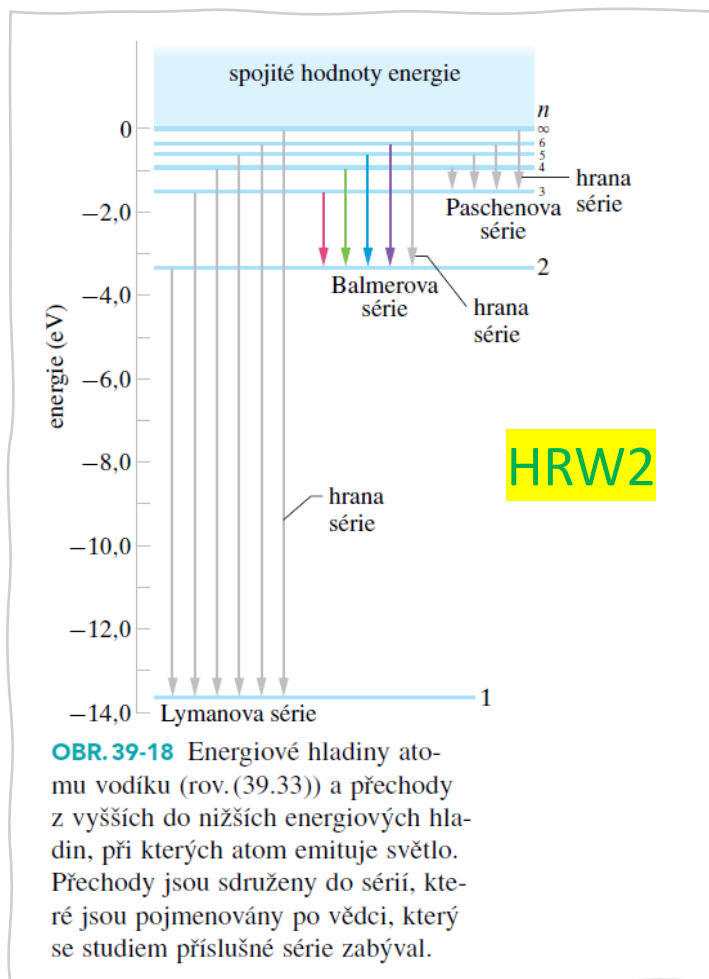
Animace obrázků
Textová políčka



Obr. 39-18 (a) Energetický diagram pro atom vodíku, v němž jsou vyznačeny přechody z vyšších do nižších energetických hladin, které tvoří (b) Lymanovu, (c) Balmerovu a (d) Paschenovu sérii. Pro každou z nich jsou vyznačeny čtyři čáry s nejdelšími vlnovými délkami a hrana série. Je uvedena vždy nejdelší vlnová délka série a vlnová délka hrany série. Pro vlnové délky kratší, než je hrana série, je spektrum spojitá a je vyznačeno šedým obdélníčkem.

Co je v HRW3 nové a jinak

Animace obrázků Textová políčka



Obr. 39-18 (a) Energiový diagram pro atom vodíku, v němž jsou vyznačeny přechody z vyšších do nižších energiových hladin, které tvoří (b) Lymanovu, (c) Balmerovu a (d) Paschenovu sérii. Pro každou z nich jsou vyznačeny čtyři čáry s nejdelšími vlnovými délkami a hrana série. Je uvedena vždy nejdelší vlnová délka série a vlnová délka hrany série. Pro vlnové délky kratší, než je hrana série, je spektrum spojitě a je vyznačeno šedým obdélníčkem.

Co je v HRW3 nové a jinak

KAPITOLA 42

Jaderná fyzika

Animace obrázků Textová políčka

HRW2

Příklad 42-1

Náhodou dojde k tomu, že α -částice s energií 5,30 MeV dopadá čelně na jádro atomu zlata ($Z = 79$). Jak blízko ke středu jádra je α -částice v okamžiku, kdy se zastaví a obrací směr pohybu? Zanedbejte zpětný ráz relativně velmi hmotného jádra.

ROZVAHA Během celého procesu se zachovává mechanická energie soustavy α -částice + jádro atomu zlata. Na počátku je celková mechanická energie těchto dvou interagujících těles rovna počáteční kinetické energii α -částice $E_{k,\alpha} = 5,30$ MeV. V okamžiku, kdy se α -částice zastaví, je celková energie rovna elektrické potenciální energii α -částice a jádra atomu zlata. Tato energie je dána rov. (24.43).

Výpočet: Označíme-li d hledanou vzdálenost mezi α -částicí a jádrem atomu zlata, zákon zachování mechanické energie dává

$$E_{k,\alpha} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_\alpha Q_{Au}}{d},$$

kde $Q_\alpha = 2e$ je náboj α -částice, $Q_{Au} = 79e$ je náboj jádra atomu zlata a d je vzdálenost mezi středy těchto těles.

Dosažením za náboje a řešením rovnice vzhledem k d dostaneme

$$\begin{aligned} d &= \frac{(2e)(79e)}{4\pi\epsilon_0 E_{k,\alpha}} = \\ &= \frac{(2 \cdot 79)(1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi(8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1})(5,30 \text{ MeV})} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}} = \\ &= 4,29 \cdot 10^{-14} \text{ m} = 42,9 \text{ fm}. \end{aligned} \quad (\text{Odpověď})$$

V atomovém měřítku je to velmi malá vzdálenost, nikoli však v jaderném měřítku. Například tato vzdálenost je podstatně větší, než je součet poloměrů α -částice a jádra atomu zlata. Částice α se po zastavení začne pohybovat zpět, aniž se ve skutečnosti „dotkla“ jádra atomu zlata.

Příklad 42.01 Rutherfordův rozptyl částice α na jádro atomu zlata

Náhodou dojde k tomu, že α -částice s energií 5,30 MeV dopadá čelně na jádro atomu zlata (obr. 42-4). Jak blízko ke středu jádra je α -částice v okamžiku, kdy se zastaví a obrací směr pohybu? Zanedbejte zpětný ráz relativně velmi hmotného jádra.

ROZVAHA

Během celého procesu se zachovává mechanická energie soustavy α -částice + jádro atomu zlata. Na počátku je celková mechanická energie těchto dvou interagujících těles rovna počáteční kinetické energii α -částice $E_{k,\alpha} = 5,30$ MeV. V okamžiku, kdy se α -částice zastaví, je celková energie rovna elektrické potenciální energii α -částice a jádra atomu zlata. Tato energie je dána rov. (24.43).

Argumentace: Pokud je α -částice vně atomu (obr. 42-4a), je elektrická potenciální energie soustavy nulová, protože atom má stejný počet elektronů jako protonů, a je tedy navenek elektricky neutrální, nevytváří elektrické pole. Jakmile však α -částice pronikne elektronovým obalem atomu (obr. 42-4b), působí na ni odpudivá elektrostatická síla, jejíž velikost rychle roste s klesající vzdáleností středů α -částice a jádra atomu. Je vyvolána odpuzováním protonů α -částice protony atomového jádra. (Neutrony, které jsou elektricky neutrální, k této odpudivé elektrostatické síle nepřispívají a silná interakce mezi nukleony α -částice a jádra atomu se vzhledem k uvedené vzdálenosti neuplatní. Elektrony, které jsou nyní vně oblasti výskytu α -částice, působí jako homogenně nabitá kulová vrstva, jejíž pole uvnitř je podle

Gaussova zákona nulové.) Vlivem odpudivé síly se α -částice zpomaluje a její kinetická energie se přeměňuje v elektrickou potenciální energii soustavy. Tato přeměna je ukončena v okamžiku, kdy se α -částice zastaví a její kinetická energie je nulová (obr. 42-4c).

Výpočet: Označíme-li d hledanou vzdálenost mezi α -částicí a jádrem atomu zlata, zákon zachování mechanické energie dává

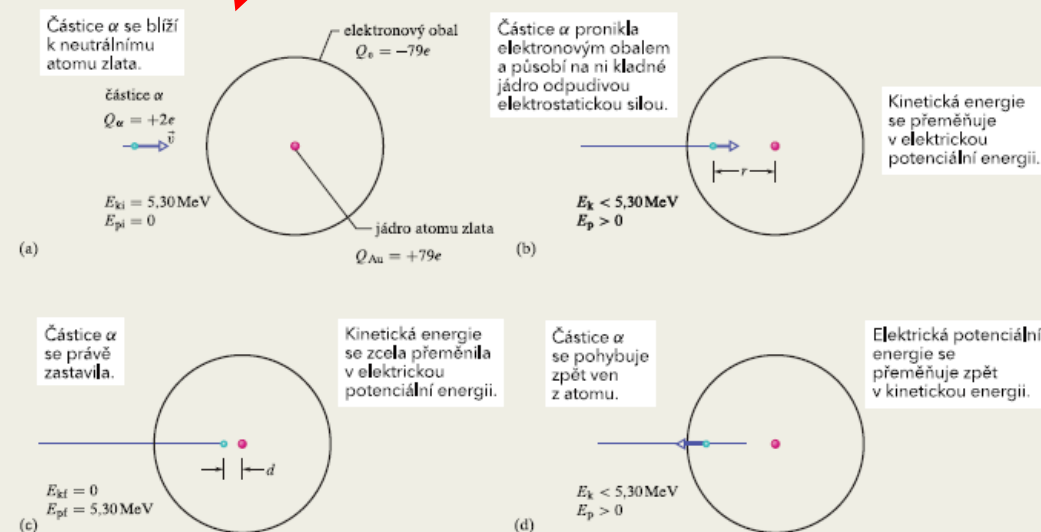
$$E_{k,\alpha} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_\alpha Q_{Au}}{d},$$

kde $Q_\alpha = 2e$ je náboj α -částice, $Q_{Au} = 79e$ je náboj jádra atomu zlata a d je vzdálenost mezi středy těchto těles.

Dosažením za náboje a řešením rovnice vzhledem k d dostaneme

$$\begin{aligned} d &= \frac{(2e)(79e)}{4\pi\epsilon_0 E_{k,\alpha}} = \\ &= \frac{(2 \cdot 79)(1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi(8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1})(5,30 \text{ MeV})} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}} = \\ &= 4,29 \cdot 10^{-14} \text{ m} = 42,9 \text{ fm}. \end{aligned} \quad (\text{Odpověď})$$

V atomovém měřítku je to velmi malá vzdálenost, nikoli však v jaderném měřítku. Například tato vzdálenost je podstatně větší, než je součet poloměrů α -částice a jádra atomu zlata. Částice α se po zastavení začne pohybovat zpět (obr. 42-4d), aniž se ve skutečnosti „dotkla“ jádra atomu zlata.



Obr. 42-4 Příklad 42.01. Částice α dopadá čelně na jádro atomu zlata. Částice se blíží k neutrálnímu atomu (a), pronikla elektronovým obalem a je působením jádra brzděna (b), právě se zastavila před jádrem (c) a pohybuje se zpět (d).

Co je v HRW3 nové a jinak

Kontrolní otázky

pomohou ověřit, zda byla látka zvládnuta a je možné s porozuměním pokračovat ve studiu dalších partií.

Příklady

Podrobně řešené a komentované příklady ukazují, jak lze získané poznatky aplikovat v konkrétních situacích.

Připraví na samostatné řešení úloh na konci kapitoly.

Rozvaha

Tou začíná řešení příkladu, připomíná základní pojmy, představy a vztahy, z nichž vychází následující výpočty.

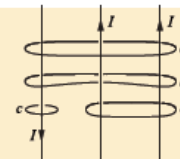
902

KAPITOLA 29 MAGNETICKÉ POLE ELEKTRICKÉHO PROUDU



Kontrola 2

Na obrázku jsou tři rovnoběžné vodiče se stejně velkými proudy I a čtyři Ampèrovy křivky. Seřadte křivky sestupně podle velikosti $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ podél každé z nich.



Příklad 29.03 Magnetické pole uvnitř dlouhého dutého válce

Na obr.29-15a je nakreslen příčný průřez dlouhého dutého vodivého válce s vnitřním poloměrem $a = 2,0\text{ cm}$ a vnějším poloměrem $b = 4,0\text{ cm}$. Válcem protéká proud kolmo k obrázku, směrem k nám, s proudovou hustotou, jejíž velikost je dána vztahem $J = cr^2$, kde $c = 3,0 \cdot 10^6\text{ A}\cdot\text{m}^{-4}$ a r je vyjádřeno v metrech. Určete magnetickou indukci $\vec{B}$ v bodě, který se nachází ve vzdálenosti $3,0\text{ cm}$ od podélné osy válce.

ROZVAHA

Protože rozložení proudu (a proto i magnetické pole) má válcovou symetrii vzhledem k podélné ose válce, můžeme k určení magnetické indukce $\vec{B}$ použít Ampèrův zákon. Protože chceme určit indukci ve vzdálenosti $R = 3,0\text{ cm}$ od osy, zvolíme za Ampèrovu křivku kružnici o tomto poloměru a se středem v ose válce (obr.29-15b).

Do Ampèrova zákona je třeba dále dosadit pravou stranu, tj. I_c , což je elektrický proud obepnutý Ampèrovou křivkou (obr.29-15c). Nemůžeme předpokládat přímou úměrnost mezi velikostí proudu a obsahem plochy, kterou proud protéká, jak tomu bylo v případě rov. (29.19), neboť nyní proud není v průřezu vodiče rozložen homogenně. Místo toho budeme postupovat jako v př.26.02b a budeme integrovat proudovou hustotu od vnitřního poloměru válce a až po poloměr křivky R (obr.29-15d).

Výpočet: Velikost celkového proudu je

$$I_c = \int_{\mathcal{S}} J dS = \int_a^R c r'^2 (2\pi r' dr') =$$

$$= 2\pi c \int_a^R r'^3 dr' = 2\pi c \left[\frac{r'^4}{4} \right]_a^R = \frac{\pi c (R^4 - a^4)}{2}.$$

Pravidlo pravé ruky přiřadí celkovému proudu I_c v Ampèrově zákonu kladné znaménko.

Dále vypočteme levou stranu Ampèrova zákona (29.14). Stejně jako v situaci na obr.29-14 dostáváme opět hodnotu $B(2\pi R)$. Ampèrův zákon dává rovnici

$$B(2\pi R) = \frac{\mu_0 \pi c}{2} (R^4 - a^4),$$

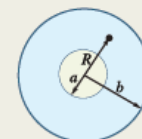
odkud vypočteme B , tedy

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 c}{4R} (R^4 - a^4) = \\ &= \frac{(4\pi \cdot 10^{-7}\text{ T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1})(3,0 \cdot 10^6\text{ A}\cdot\text{m}^{-4})}{4(0,030\text{ m})} \cdot ((0,030\text{ m})^4 - (0,020\text{ m})^4) = \\ &= 2,0 \cdot 10^{-5}\text{ T}. \end{aligned}$$

Magnetická indukce $\vec{B}$, která leží v tečně k Ampèrově křivce na obr.29-15b a má stejný směr jako $d\vec{s}$, tedy proti směru otáčení hodinových ručiček, má velikost

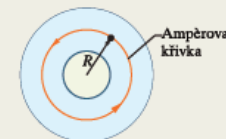
$$B = 2,0 \cdot 10^{-5}\text{ T}. \quad (\text{Odpověď})$$

Chceme určit magnetickou indukci ve vzdálenosti R od osy válce.



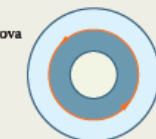
(a)

Za Ampèrovu křivku zvolíme kružnici o poloměru R , orientovanou proti směru otáčení hodinových ručiček.



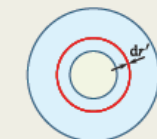
(b)

Proud obepnutý Ampèrovou křivkou přiřadíme podle pravidla pravé ruky kladné znaménko.



(c)

Protože hustota proudu závisí na r , musíme nejprve určit proud tenkým prstencem a poté sečíst proudy všemi prstenci s poloměry od a do R .



(d)

Obr.29-15 Příklad 29.03. (a) Průřez vodivým válcem s vnitřním poloměrem a a vnějším poloměrem b , jímž protéká proud směrem k nám. (b) Ampèrova křivka o poloměru R pro výpočet magnetického pole ve vzdálenosti R od osy válce. (c) Mezikruží o poloměrech a a R prochází proud I_c . (d) Tenký prstec o šířce dr' a obvodu $2\pi r'$. Jeho plocha má obsah $dS = 2\pi r' dr'$.

Co je v HRW3 nové a jinak

Sample Problem 29.03 Ampere's law to find the field inside a long cylinder of current

Figure 29-16a shows the cross section of a long conducting cylinder with inner radius $a = 2.0$ cm and outer radius $b = 4.0$ cm. The cylinder carries a current out of the page, and the magnitude of the current density in the cross section is given by $J = cr^2$, with $c = 3.0 \times 10^6$ A/m² and r in meters. What is the magnetic field $\vec{B}$ at the dot in Fig. 29-16a, which is at radius $r = 3.0$ cm from the central axis of the cylinder?

KEY IDEAS

The point at which we want to evaluate $\vec{B}$ is inside the material of the conducting cylinder, between its inner and outer radii. We note that the current distribution has cylindrical symmetry (it is the same all around the cross section for any given radius). Thus, the symmetry allows us to use Ampere's law to find $\vec{B}$ at the point. We first draw the Amperian loop shown in Fig. 29-16b. The loop is concentric with the cylinder and has radius $r = 3.0$ cm because we want to evaluate $\vec{B}$ at that distance from the cylinder's central axis.

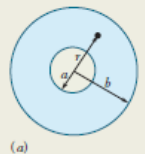
Next, we must compute the current i_{enc} that is encircled by the Amperian loop. However, we *cannot* set up a proportionality as in Eq. 29-19, because here the current is not uniformly distributed. Instead, we must integrate the current density magnitude from the cylinder's inner radius a to the loop radius r , using the steps shown in Figs. 29-16c through h.

Calculations: We write the integral as

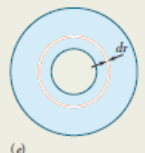
$$\begin{aligned} i_{\text{enc}} &= \int J dA = \int_a^r cr^2(2\pi r dr) \\ &= 2\pi c \int_a^r r^3 dr = 2\pi c \left[\frac{r^4}{4} \right]_a^r \\ &= \frac{\pi c(r^4 - a^4)}{2}. \end{aligned}$$

Note that in these steps we took the differential area dA to be the area of the thin ring in Figs. 29-16d-f and then

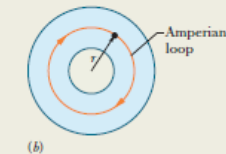
We want the magnetic field at the dot at radius r .



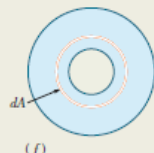
Its area dA is the product of the ring's circumference and the width dr .



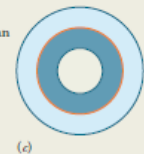
So, we put a concentric Amperian loop through the dot.



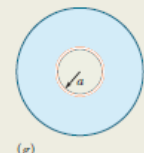
The current within the ring is the product of the current density J and the ring's area dA .



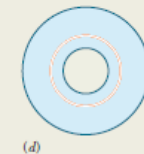
We need to find the current in the area encircled by the loop.



Our job is to sum the currents in all rings from this smallest one ...



We start with a ring that is so thin that we can approximate the current density as being uniform within it.



... to this largest one, which has the same radius as the Amperian loop.

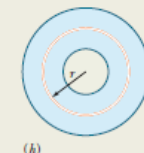
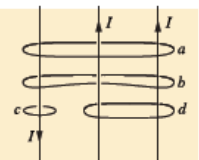


Figure 29-16 (a)–(b) To find the magnetic field at a point within this conducting cylinder, we use a concentric Amperian loop through the point. We then need the current encircled by the loop. (c)–(h) Because the current density is nonuniform, we start with a thin ring and then sum (via integration) the currents in all such rings in the encircled area.



Kontrola 2

Na obrázku jsou tři rovnoběžné vodiče se stejnými velkými proudy I a čtyři Ampèrovy křivky. Seřadte křivky sestupně podle velikosti $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ podél každé z nich.



Příklad 29.03 Magnetické pole uvnitř dlouhého dutého válce

Na obr. 29-15a je nakreslen příčný průřez dlouhého dutého vodivého válce s vnitřním poloměrem $a = 2,0$ cm a vnějším poloměrem $b = 4,0$ cm. Válcem protéká proud kolmo k obrázku, směrem k nám, s proudovou hustotou, jejíž velikost je dána vztahem $J = cr^2$, kde $c = 3,0 \cdot 10^6$ A·m⁻⁴ a r je vyjádřeno v metrech. Určete magnetickou indukci $\vec{B}$ v bodě, který se nachází ve vzdálenosti 3,0 cm od podélné osy válce.

ROZVAHA

Protože rozložení proudu (a proto i magnetické pole) má válcovou symetrii vzhledem k podélné ose válce, můžeme k určení magnetické indukce $\vec{B}$ použít Ampèrův zákon. Protože chceme určit indukci ve vzdálenosti $R = 3,0$ cm od osy, zvolíme za Ampèrovu křivku kružnici o tomto poloměru a se středem v ose válce (obr. 29-15b).

Do Ampèrova zákona je třeba dále dosadit pravou stranu, tj. I_c , což je elektrický proud obepnutý Ampèrovou křivkou (obr. 29-15c). Nemůžeme předpokládat přímou úměrnost mezi velikostí proudu a obsahem plochy, kterou proud protéká, jak tomu bylo v případě rov. (29.19), neboť nyní proud není v průřezu vodiče rozložen homogenně. Místo toho budeme postupovat jako v př. 26.02b a budeme integrovat proudovou hustotu od vnitřního poloměru válce a až po poloměr křivky R (obr. 29-15d).

Výpočet: Velikost celkového proudu je

$$I_c = \int J dS = \int_a^R cr'^2(2\pi r' dr') =$$

$$= 2\pi c \int_a^R r'^3 dr' = 2\pi c \left[\frac{r'^4}{4} \right]_a^R = \frac{\pi c(R^4 - a^4)}{2}.$$

Pravidlo pravé ruky přiřadí celkovému proudu I_c v Ampèrově zákonu kladné znaménko.

Dále vypočteme levou stranu Ampèrova zákona (29.14). Stejně jako v situaci na obr. 29-14 dostáváme opět hodnotu $B(2\pi R)$. Ampèrův zákon dává rovnici

$$B(2\pi R) = \frac{\mu_0 \pi c}{2} (R^4 - a^4),$$

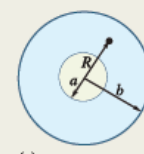
odkud vypočteme B , tedy

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 c}{4R} (R^4 - a^4) = \\ &= \frac{(4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1})(3,0 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-4})}{4(0,030 \text{ m})} \cdot ((0,030 \text{ m})^4 - (0,020 \text{ m})^4) = \\ &= 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}. \end{aligned}$$

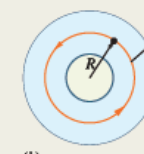
Magnetická indukce $\vec{B}$, která leží v tečně k Ampèrově křivce na obr. 29-15b a má stejný směr jako $d\vec{s}$, tedy proti směru otáčení hodinových ručiček, má velikost

$$B = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}. \quad (\text{Odpověď})$$

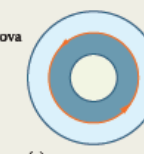
Chceme určit magnetickou indukci ve vzdálenosti R od osy válce.



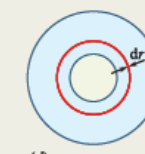
Za Ampèrovu křivku zvolíme kružnici o poloměru R , orientovanou proti směru otáčení hodinových ručiček.



Proudu obepnutému Ampèrovou křivkou přiřadíme podle pravidla pravé ruky kladné znaménko.



Protože hustota proudu závisí na r , musíme nejprve určit proud tenkým prstencem a poté sečíst proudy všemi prstenci s poloměry od a do R .



Obr. 29-15 Příklad 29.03. (a) Průřez vodivým válcem s vnitřním poloměrem a a vnějším poloměrem b , jímž protéká proud směrem k nám. (b) Ampèrova křivka o poloměru R pro výpočet magnetického pole ve vzdálenosti R od osy válce. (c) Mezikružím o poloměrech a a R prochází proud I_c . (d) Tenký prstec o šířce dr' a obvodu $2\pi r'$. Jeho plocha má obsah $dS = 2\pi r' dr'$.

Co je v HRW3 nové a jinak

Nová část

38 Fotony a de Broglieho vlny 1211

38-1 FOTON, KVANTUM SVĚTLA 1211

38-2 FOTOELEKTRICKÝ JEV 1213

38-3 FOTONY, HYBNOST, COMPTONŮV ROZPTYL, INTERFERENCE SVĚTLA 1217

Fotony mají hybnost 1217

Světlo jako vlna pravděpodobnosti 1220

38-4 ZROZENÍ KVANTOVÉ FYZIKY 1222

Záření černého tělesa 1223

38-5 ELEKTRONY A DE BROGLIEHO VLNY 1226

38-6 SCHRÖDINGEROVA ROVNICE 1230

38-7 HEISENBERGŮV PRINCIP NEURČITOSTI 1233

38-4 ZROZENÍ KVANTOVÉ FYZIKY

Co se naučíme a čemu porozumíme

Po prostudování tohoto modulu bychom měli umět ...

38.18 Vysvětlit podstatu tepelného záření a popsat, jak je realizováno černé těleso.

38.19 Objasnit veličinu spektrální intenzity vyzařování.

38.20 Nakreslit závislost spektrální intenzity vyzařování černého tělesa na vlnové délce záření pro dvě teploty.

38.21 Vyložit, jakou roli sehrálo záření černého tělesa při vzniku kvantové teorie.

38.22 Objasnit, za jakého předpokladu odvodil Max Planck vyzařovací zákon, který nese jeho jméno.

Klíčové poznatky

- Záření černého tělesa, které má spojitě spektrum, je charakterizováno veličinou spektrální intenzity vyzařování M_λ , která je definována jako podíl intenzity vyzařené s vlnovými délkami v intervalu $(\lambda, \lambda + d\lambda)$, a délky tohoto intervalu $d\lambda$.

- Na přelomu 19. a 20. století bylo záření černého tělesa intenzivně studováno. Experimentální výsledky se výrazně lišily od teoretických předpovědí založených na klasické fyzice. Na koci roku 1900 Max Planck našel vztah pro spektrální intenzitu vyzařování, který souhlasil s experimentálními výsledky. Učinil předpoklad, že kmitající atomy tvořící dutinu, v níž je uzavřeno záření, mají jen jisté hodnoty energie, které se rovnají nhf , kde $n = 0, 1, 2, \dots$, f je frekvence elektromagnetických vln vyzařovaných atomy a h je konstanta, nyní nazývaná Planckova.

38.23 Objasnit rozdíl mezi Planckovým a Einsteinovým přístupem.

38.24 Objasnit, jak se z Planckova vyzařovacího zákona odvodí Wienův posunovací zákon a Stefanův-Boltzmannův zákon.

38.25 Vyložit, jak se využívá Wienův posunovací zákon pro určování teploty povrchů těles.

- Z Planckova vyzařovacího zákona lze odvodit Wienův posunovací zákon a Stefanův-Boltzmannův zákon, s nímž jsme se setkali v modulu 18-5.

- Stefanův-Boltzmannův zákon vyjadřuje závislost výkonu P , s nímž černé těleso vyzařuje elektromagnetické vlny v celém spektru vlnových délek, na (absolutní) teplotě T :

$$P = \sigma S T^4,$$

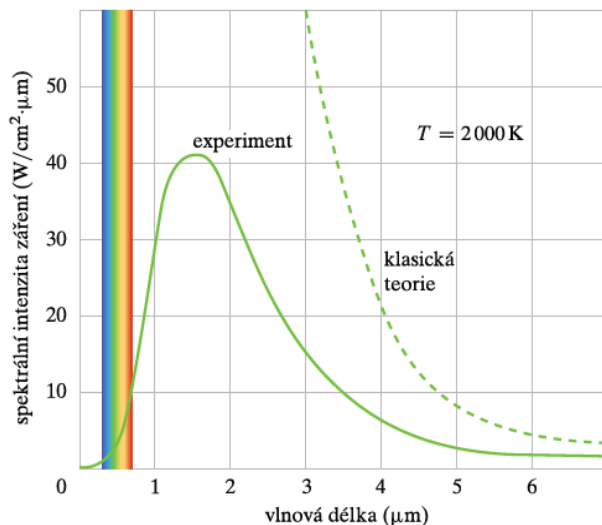
kde S je obsah plochy zářícího tělesa a σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta.

- Wienův posunovací zákon spojuje (absolutní) teplotu T zářícího černého tělesa a vlnovou délku $\lambda_{\max}$, při níž nabývá spektrální hustota vyzařování maxima

$$\lambda_{\max} T = 2898 \mu\text{m}\cdot\text{K}.$$

Co je v HRW3 nové a jinak

Nová část



Obr. 38-8 Plná křivka ukazuje spektrální intenzitu vyzařování černého tělesa pro teplotu 2000 K získanou z experimentu. Všimněte si selhání klasické teorie, z níž plyne závislost zobrazená přerušovanou křivkou. V obrázku je vyznačena oblast vlnových délek viditelné části spektra.

38-4 ZROZENÍ KVANTOVÉ FYZIKY

Co se naučíme a čemu porozumíme

Po prostudování tohoto modulu bychom měli umět ...

38.18 Vysvětlit podstatu tepelného záření a popsat, jak je realizováno černé těleso.

38.19 Objasnit veličinu spektrální intenzity vyzařování.

38.20 Nakreslit závislost spektrální intenzity vyzařování černého tělesa na vlnové délce záření pro dvě teploty.

38.21 Vyloužit, jakou roli sehrálo záření černého tělesa při vzniku kvantové teorie.

38.22 Objasnit, za jakého předpokladu odvodil Max Planck vyzařovací zákon, který nese jeho jméno.

Klíčové poznatky

- Záření černého tělesa, které má spojitě spektrum, je charakterizováno veličinou spektrální intenzity vyzařování M_λ , která je definována jako podíl intenzity vyzařené s vlnovými délkami v intervalu $(\lambda, \lambda + d\lambda)$, a délky tohoto intervalu $d\lambda$.

- Na přelomu 19. a 20. století bylo záření černého tělesa intenzivně studováno. Experimentální výsledky se výrazně lišily od teoretických předpovědí založených na klasické fyzice. Na konci roku 1900 Max Planck našel vztah pro spektrální intenzitu vyzařování, který souhlasil s experimentálními výsledky. Učinil předpoklad, že kmitající atomy tvořící dutinu, v níž je uzavřeno záření, mají jen jisté hodnoty energie, které se rovnají nhf , kde $n = 0, 1, 2, \dots$, f je frekvence elektromagnetických vln vyzařovaných atomy a h je konstanta, nyní nazývaná Planckova.

38.23 Objasnit rozdíl mezi Planckovým a Einsteinovým přístupem.

38.24 Objasnit, jak se z Planckova vyzařovacího zákona odvodí Wienův posunovací zákon a Stefanův-Boltzmannův zákon.

38.25 Vyloužit, jak se využívá Wienův posunovací zákon pro určování teploty povrchů těles.

- Z Planckova vyzařovacího zákona lze odvodit Wienův posunovací zákon a Stefanův-Boltzmannův zákon, s nimiž jsme se setkali v modulu 18-5.

- Stefanův-Boltzmannův zákon vyjadřuje závislost výkonu P , s nímž černé těleso vyzařuje elektromagnetické vlny v celém spektru vlnových délek, na (absolutní) teplotě T :

$$P = \sigma S T^4,$$

kde S je obsah plochy zářícího tělesa a σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta.

- Wienův posunovací zákon spojuje (absolutní) teplotu T zářícího černého tělesa a vlnovou délku $\lambda_{\max}$, při níž nabývá spektrální hustota vyzařování maxima

$$\lambda_{\max} T = 2898 \mu\text{m}\cdot\text{K}.$$

DODATEK A

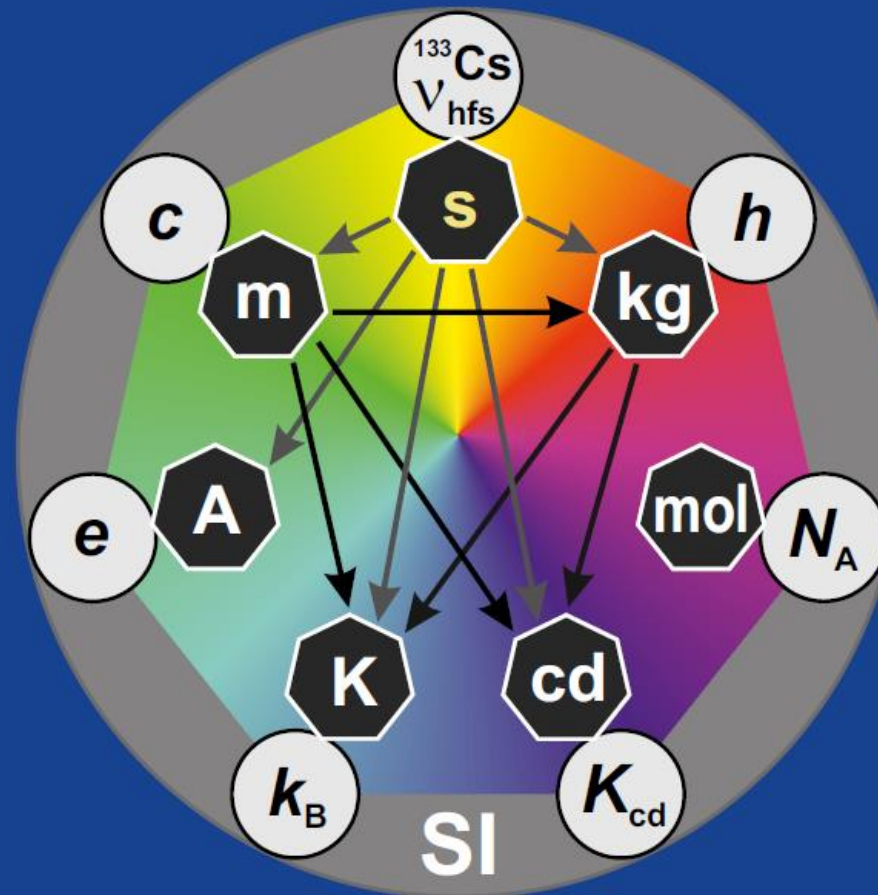
MEZINÁRODNÍ SOUSTAVA JEDNOTEK (SI)*

Tabulka 1 Základní jednotky SI

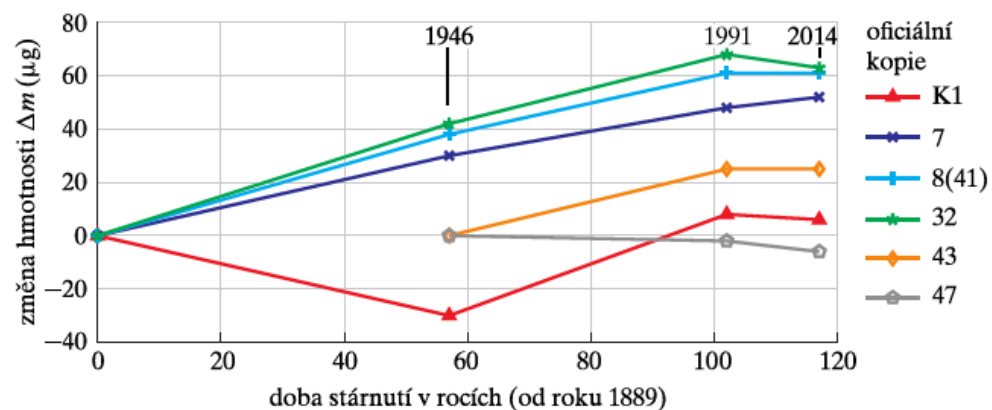
Veličina	Název	Značka	Jednotka	Definice
čas, doba trvání	sekunda	s		„Je definována stanovením pevné číselné hodnoty frekvence přechodu $\Delta\nu_{Cs}$ mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133 nacházejícího se v klidovém stavu, která je rovna 9 192 631 770, je-li vyjádřena v jednotce Hz, která je rovna s^{-1} .“
délka	metr	m		„Je definován stanovením pevné číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu c , která je rovna 299 792 458, je-li vyjádřena v jednotce $m \cdot s^{-1}$, kde jednotka s je definována prostřednictvím $\Delta\nu_{Cs}$.“
hmotnost	kilogram	kg		„Je definován stanovením pevné číselné hodnoty Planckovy konstanty h , která je rovna $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$, je-li vyjádřena v jednotce J·s, která je rovna $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány pomocí c a $\Delta\nu_{Cs}$.“
elektrický proud	ampér	A		„Je definován stanovením pevné číselné hodnoty elementárního náboje e , která je rovna $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$, je-li vyjádřena v jednotce C, která je rovna A·s, kde sekunda je definována pomocí $\Delta\nu_{Cs}$.“
termodynamická teplota	kelvin	K		„Je definován stanovením pevné zvolené číselné hodnoty Boltzmannovy konstanty k , která je rovna $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$, je-li vyjádřena v jednotce $J \cdot K^{-1}$, která je rovna $1 kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány pomocí h , c a $\Delta\nu_{Cs}$.“
látkové množství	mol	mol		„Jeden mol obsahuje přesně $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ elementárních jednotek. Toto číslo je pevná číselná hodnota Avogadrovy konstanty N_A , je-li vyjádřena v jednotce mol^{-1} , a nazývá se Avogadrovo číslo. Látkové množství n systému je mírou počtu specifikovaných elementárních entit; elementární entitou může být atom, molekula, ion, elektron, jakákoli jiná částice nebo specifikované seskupení částic.“
svítivost ^a	kandela	cd		„Je definována stanovením pevné číselné hodnoty světelné účinnosti monochromatického záření o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ Hz (K_{cd}), která je rovna 683, je-li vyjádřena v jednotce $lm \cdot W^{-1}$, která je rovna $cd \cdot sr \cdot W^{-1}$ nebo $cd \cdot sr \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3$, kde kilogram a sekunda jsou definovány prostřednictvím h , c a $\Delta\nu_{Cs}$.“

^a Veličina svítivost se v této knize nepoužívá.

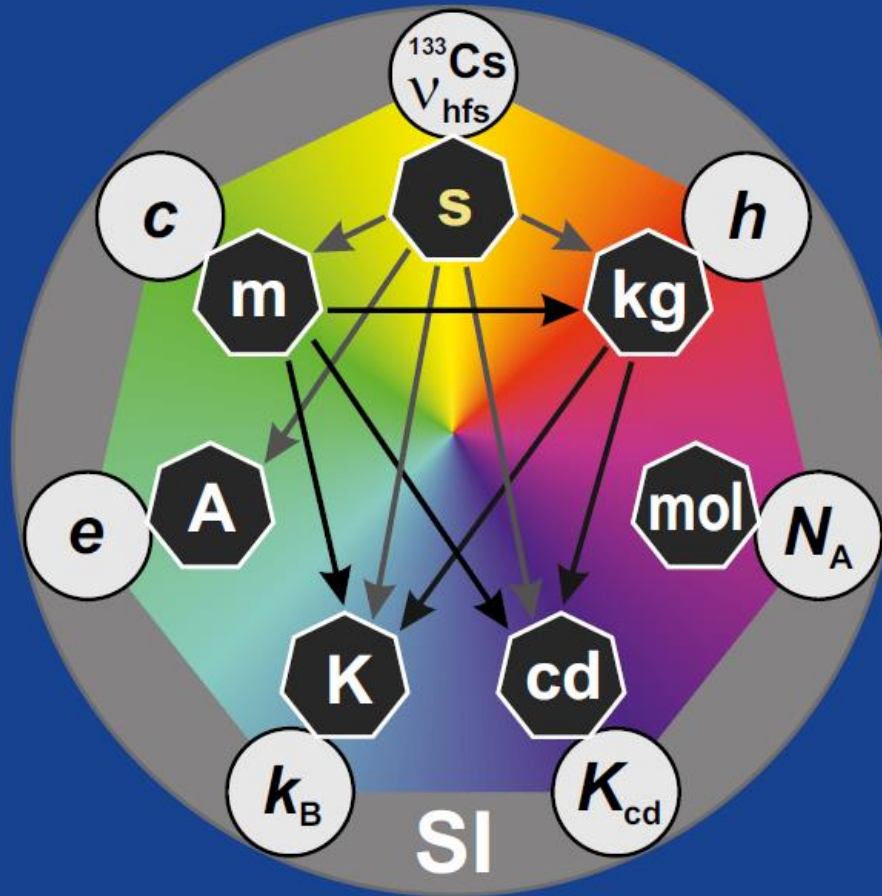
20. května 2019 vstoupila v platnost reformovaná soustava SI, která je založena na sedmi fyzikálních konstantách, jejichž hodnoty jsou pevně stanoveny. (Hodnoty konstant $\Delta\nu_{Cs}$, c a K_{cd} byly již v předchozí soustavě SI pevně nastaveny.) Reforma soustavy SI reflektuje možnosti současných vysoce přesných měření fyzikálních konstant a je významná pro základy metrologie, v běžné praxi se však nic nemění.



Sedmiúhelník základních jednotek SI a příslušných přírodních konstant. Na vrcholu stojí jednotka času, sekunda, která jako jediná (vedle molu) nevyžaduje využití dalších jednotek, naopak vstupuje (naznačeno šipkami) do definic všech jednotek kromě molu.



Obr.1-4 Jak nám stárnuly standardy kilogramu. (Upraveno podle uvedeného článku J. Obdržálka.)



Sedmiúhelník základních jednotek SI a příslušných přírodních konstant. Na vrcholu stojí jednotka času, sekunda, která jako jediná (vedle molu) nevyžaduje využití dalších jednotek, naopak vstupuje (naznačeno šipkami) do definic všech jednotek kromě molu.

Slovní vyjádření rovnic / Důsledné užívání složek

Přímé srážky

Na obr.9-14 jsou dvě tělesa těsně před *přímou* srážkou a těsně po ní. Jsou na něm rovněž znázorněny rychlosti obou těles před srážkou (index i) a po srážce (index f). Poněvadž obě tělesa tvoří uzavřenou soustavu, která je (nebo se chová jako) izolovaná, hybnost této soustavy se zachovává, tedy

$$\left(\begin{array}{c} \text{hybnost soustavy } \vec{P}_i \\ \text{před srážkou} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{hybnost soustavy } \vec{P}_f \\ \text{po srážce} \end{array} \right),$$

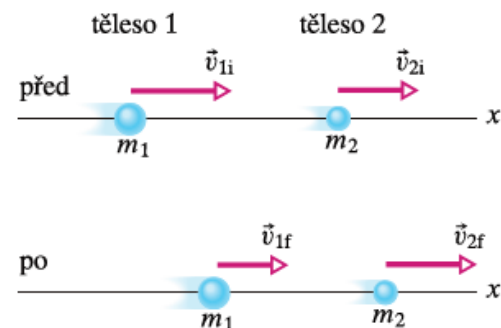
což lze zapsat jako

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} \quad (\text{zákon zachování hybnosti soustavy}). \quad (9.50)$$

Při přímé srážce leží vektory rychlostí těles ve stejné vektorové přímce. Poněvadž se v tomto případě tělesa pohybují po přímce, mají vektory rychlostí jedinou nenulovou složku v_x . Použijeme-li vztah $p_x = mv_x$, dostáváme**

$$m_1 v_{1i,x} + m_2 v_{2i,x} = m_1 v_{1f,x} + m_2 v_{2f,x}. \quad (9.51)$$

V případě nepružné srážky je (na rozdíl od pružné srážky) rov. (9.51) jediným vztahem spojujícím hmotnosti obou těles a jejich počáteční a koncové rychlosti. Proto musíme znát pět veličin, abychom určili šestou neznámou veličinu. Pokud známe například hmotnosti jednotlivých těles, jejich počáteční rychlosti a jednu z rychlostí po srážce, můžeme pomocí rov. (9.51) určit koncovou rychlost druhého tělesa. V další části probereme nejjednodušší situaci, kdy se obě tělesa spojí a pohybují se společnou rychlostí.



Obr.9-14 Tělesa 1 a 2 pohybující se podél osy x před přímou srážkou a po ní.

** Při popisu přímých srážek se často index x neuvádí a v pak značí x -ovou složku rychlosti v_x (která může být kladná i záporná). Z kontextu je potom nutno dobře rozlišit, zda v značí vskutku x -ovou složku vektoru, nebo jeho velikost, která je samozřejmě jen nezáporná. V úvodních kapitolách této učebnice tyto dva případy důsledně rozlišujeme.

Slovní vyjádření rovnic / Důsledné užívání složek

Přímé srážky

Na obr.9-14 jsou dvě tělesa těsně před *přímou* srážkou a těsně po ní. Jsou na něm rovněž znázorněny rychlosti obou těles před srážkou (index i) a po srážce (index f). Poněvadž obě tělesa tvoří uzavřenou soustavu, která je (nebo se chová jako) izolovaná, hybnost této soustavy se zachovává, tedy

$$\left(\begin{array}{c} \text{hybnost soustavy } \vec{P}_i \\ \text{před srážkou} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{hybnost soustavy } \vec{P}_f \\ \text{po srážce} \end{array} \right),$$

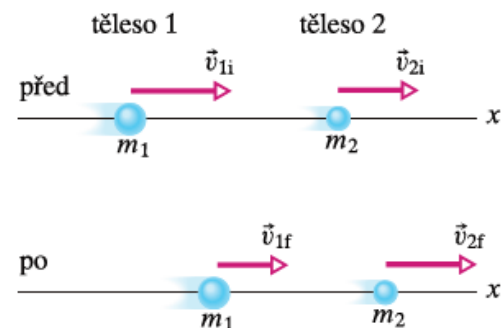
což lze zapsat jako

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} \quad (\text{zákon zachování hybnosti soustavy}). \quad (9.50)$$

Při přímé srážce leží vektory rychlostí těles ve stejné vektorové přímce. Poněvadž se v tomto případě tělesa pohybují po přímce, mají vektory rychlostí jedinou nenulovou složku v_x . Použijeme-li vztah $p_x = mv_x$, dostáváme**

$$m_1 v_{1i,x} + m_2 v_{2i,x} = m_1 v_{1f,x} + m_2 v_{2f,x}. \quad (9.51)$$

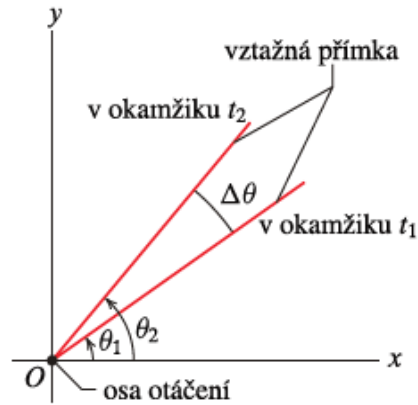
V případě nepružné srážky je (na rozdíl od pružné srážky) rov. (9.51) jediným vztahem spojujícím hmotnosti obou těles a jejich počáteční a koncové rychlosti. Proto musíme znát pět veličin, abychom určili šestou neznámou veličinu. Pokud známe například hmotnosti jednotlivých těles, jejich počáteční rychlosti a jednu z rychlostí po srážce, můžeme pomocí rov. (9.51) určit koncovou rychlost druhého tělesa. V další části probereme nejjednodušší situaci, kdy se obě tělesa spojí a pohybují se společnou rychlostí.



Obr. 9-14 Tělesa 1 a 2 pohybující se podél osy x před přímou srážkou a po ní.

** Při popisu přímých srážek se často index x neuvádí a v pak značí x -ovou složku rychlosti v_x (která může být kladná i záporná). Z kontextu je potom nutno dobře rozlišit, zda v značí vskutku x -ovou složku vektoru, nebo jeho velikost, která je samozřejmě jen nezáporná. V úvodních kapitolách této učebnice tyto dva případy důsledně rozlišujeme.

Rotace. Důsledné užívání složek



Obr. 10-4 Vztažná přímka tuhého tělesa z obrázků 10-2 a 10-3 má v okamžiku t_1 úhlovou polohu θ_1 a v okamžiku t_2 úhlovou polohu θ_2 . Rozdíl $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ představuje otočení tělesa v časovém intervalu $\Delta t = t_2 - t_1$. Otočení na obrázku je kladné. (Těleso není v obrázku zakresleno.)

Úhlová rychlost

Podle obr. 10-4 označme úhlovou polohu rotujícího tělesa v okamžiku t_1 jako θ_1 a v okamžiku t_2 jako θ_2 . **Průměrnou úhlovou rychlost** tělesa v časovém intervalu Δt od t_1 do t_2 definujeme vztahem

$$\bar{\omega}_z = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}, \quad (10.5)$$

kde $\Delta\theta$ je otočení tělesa v časovém intervalu Δt . Index z značí, že se těleso otáčí kolem osy z (která na obr. 10-2 míří nahoru a na obr. 10-3 a obr. 10-4 je kolmá k rovině stránky a míří k nám.) V následujícím článku uvidíme, že ω_z je z -ová složka vektoru úhlové rychlosti $\vec{\omega}$.

(Okamžitá) úhlová rychlost ω_z , se kterou budeme pracovat nejčastěji, je limitou podílu na pravé straně rov. (10.5) pro Δt blížící se nule. Tedy

$$\omega_z = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{úhlová rychlost}). \quad (10.6)$$

Známe-li časovou závislost úhlové polohy $\theta(t)$, můžeme úhlovou rychlost ω_z snadno určit jejím derivováním.

Rotace. Důsledné užívání složek

Schopnost síly $\vec{F}$ otáčet tělesem však závisí nejen na její tečné složce F_t , ale také na vzdálenosti působíště síly $\vec{F}$ od bodu O . Veličina, která bere v úvahu oba tyto vlivy, se nazývá **moment síly** (vzhledem k ose otáčení), a definujeme ji vztahem

$$M_z = (r)(F \sin \phi). \quad (10.39)$$

Index z značí, že se jedná o z -ovou složku vektoru $\vec{M}$, který leží v pevné ose otáčení. Složka M_z je kladná, nebo záporná podle toho, zda orientovaný úhel ϕ je kladný, nebo záporný. Složka M_z je tedy kladná, roztáčí-li působící síla těleso proti směru otáčení hodinových ručiček. (Taková situace je znázorněna na obr. 10-16a až c.) Složka M_z je záporná, roztáčí-li působící síla těleso ve směru otáčení hodinových ručiček.

Moment síly definovaný vztahem (10.39) můžeme vyjádřit také ve tvaru (viz obr. 10-16b)

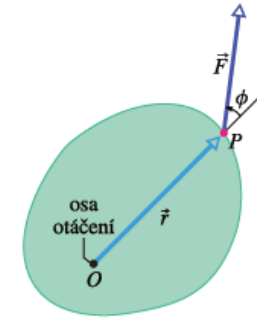
$$M_z = (r)(F \sin \phi) = rF_t, \quad (10.40)$$

kde $F_t (= F \sin \phi)$ je tečná složka* působící síly $\vec{F}$, nebo ve tvaru (viz obr. 10-16c)

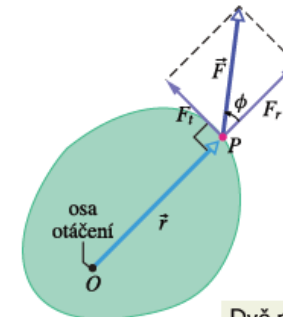
$$M_z = +r_{\perp}F, \quad M_z = -r_{\perp}F, \quad (10.41)$$



kde $r_{\perp}$ je kolmá vzdálenost bodu O od vektorové přímky síly $\vec{F}$, což je ta přímka, v níž vektor síly leží (obr. 10-16c). Veličinu $r_{\perp}$ nazýváme **rameno síly** $\vec{F}$. Součin ramena síly $r_{\perp}$ a velikosti působící síly F udává velikost momentu síly, $M = r_{\perp}F$. Znaménko ve vztazích (10.41) určíme podle toho, jakým směrem působící síla $\vec{F}$ roztáčí těleso.

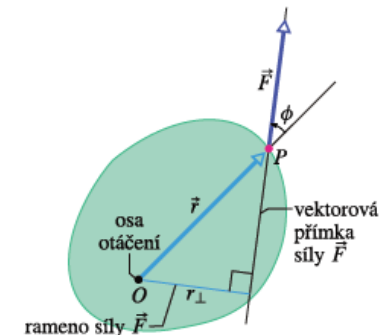


(a)



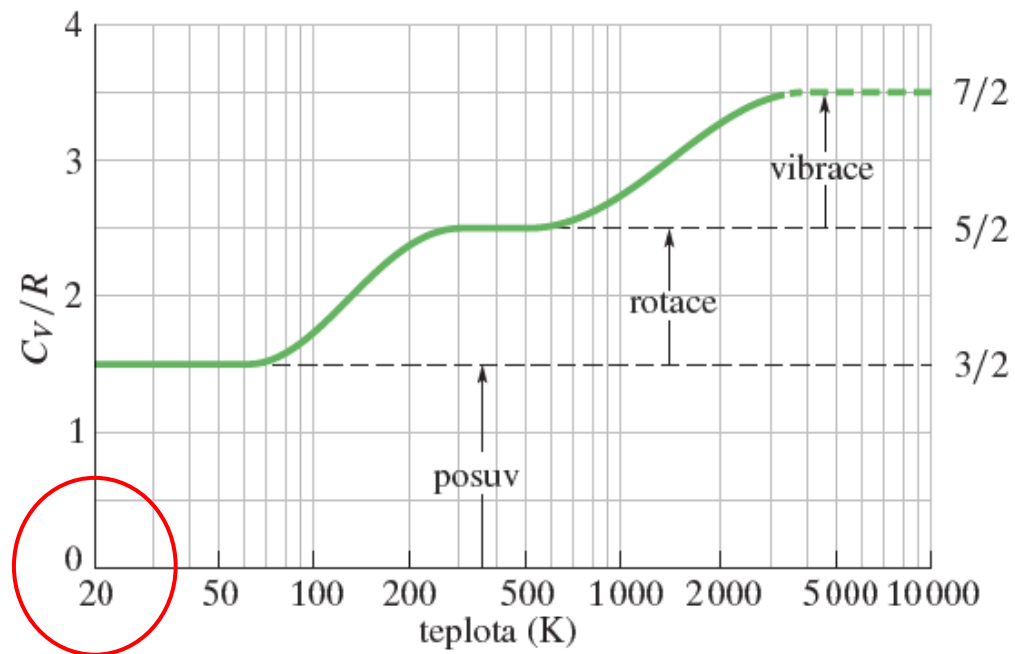
(b)

Dvě možnosti výpočtu momentu síly



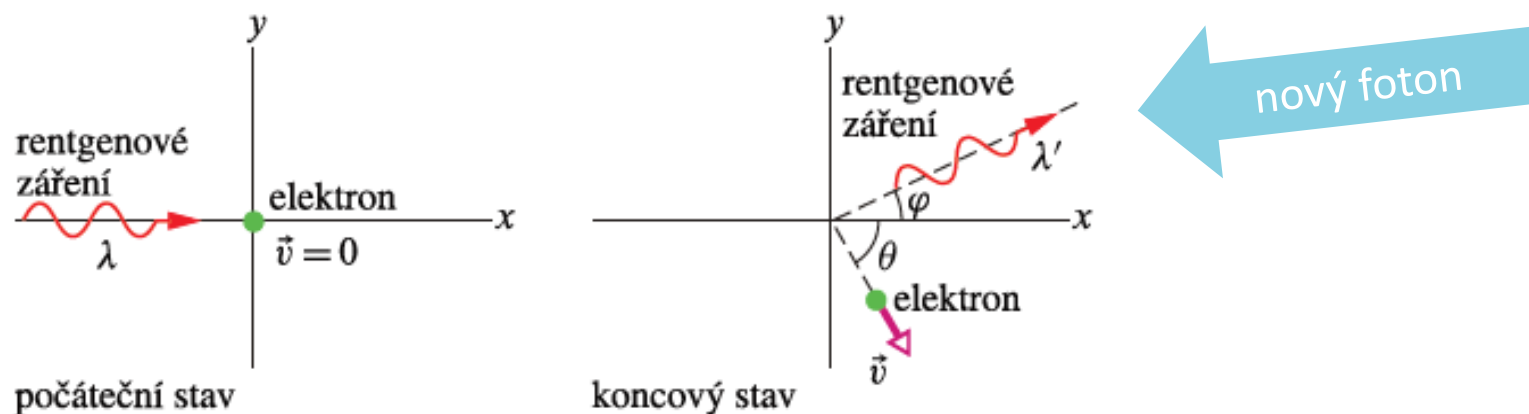
(c)

Details jsou podstatné (tepelná kapacita kolem 0 K)



Obr.19-14 Závislost C_V/R na teplotě pro (dvouatomový) vodíkový plyn. Protože rotační a vibrační pohyb vyžadují určitou minimální energii, je při nízkých teplotách možný pouze pohyb posuvný. S rostoucí teplotou plynu začínají molekuly nejprve rotovat a při dostatečných teplotách také kmitat. Všimněte si, že závislost není zakreslena pro teploty nižší než 20 K. Abychom objasnili chování látek při teplotách blízkých absolutní nule, potřebovali bychom hlubší poznatky z kvantové a statistické fyziky. Poznamenejme pouze, že z výpočtů (v souladu s výsledky měření) plyne, že pro T blížící se nule se C_V blíží nule.)

Details jsou podstatné (Comptonův rozptyl)



Obr. 38-5 Rentgenové záření o vlnové délce λ interaguje s elektronem v klidu. Rentgenový svazek je rozptýlen do úhlu φ a jeho vlnová délka vzroste na λ' . Elektron se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ pod úhlem θ .

Podle přesnějšího popisu Comptonova jevu v kvantové elektrodynamice se jedná o absorpci fotonu, šíření takto „excitovaného“ elektronu a emisi fotonu (časová následnost absorpce a emise je nepodstatná). Jak naznačuje obr. 38-5, pro experiment je důležitý jen počáteční a koncový stav, proto i náš zjednodušený výpočet dobře vyhovuje.

Grafy, grafy, grafy

KAPITOLA 7

Kinetická energie a práce

Příklad 7.07 Výpočet práce pomocí grafického integrování

Na obr. 7-13b je kostka o hmotnosti $m = 8,0 \text{ kg}$, která se pohybuje podél osy x po dokonale hladké vodorovné podložce. Na kostku mezi body o souřadnicích $x_1 = 0$ a $x_3 = 6,5 \text{ m}$ působí kromě gravitační a normálové síly rovněž další proměnná síla, která se mění podle grafu na obr. 7-13a. V bodě o souřadnici $x_1 = 0$ se kostka pohybuje v kladném směru osy x rychlostí o velikosti $v_1 = 8,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Určete rychlost kostky v bodech o souřadnicích $x_2 = 4,0 \text{ m}$ a $x_3 = 6,5 \text{ m}$.

ROZVAHA

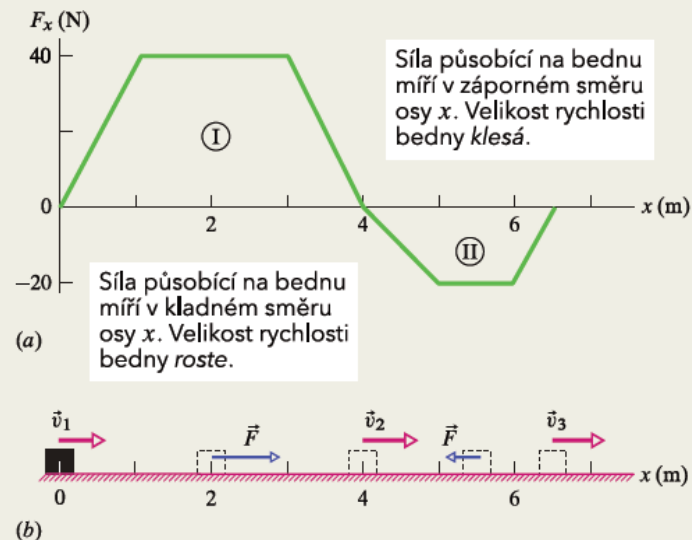
(1) Velikost rychlosti a kinetická energie kostky o hmotnosti m jsou svázány rov. (7.3) ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$). (2) Rozdíl výsledné hodnoty kinetické energie E_{kf} a její počáteční hodnoty E_{ki} souvisí s celkovou prací W podle vztahu (7.9), který nazýváme teorém o práci a kinetické energii ($E_{kf} - E_{ki} = W$). (3) Gravitační a normálová síla jsou kolmé k posunutí, a proto nekonají práci. Jedinou silou, která koná práci je zadaná proměnná síla. Proto je celková práce rovna práci této síly. (4) Práci, kterou koná proměnná síla, vypočteme podle vztahu (7.32)

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x(x) dx.$$

Protože funkce $F_x(x)$ je zadána grafem, provedeme grafické integrování. Práce síly $F_x(x)$ je rovna obsahu plochy mezi grafem a osou x v intervalu od x_i do x_f :

$$W = \left(\begin{array}{c} \text{obsah plochy mezi grafem a osou } x \\ \text{v intervalu od } x_i \text{ do } x_f \end{array} \right).$$

Argumentace: Nejprve provedeme *kvalitativní* rozbor problému. Budeme sledovat, jak se bedna pohybuje na dráze mezi body $x_1 = 0$ a $x_3 = 6,5 \text{ m}$.



Obr. 7-13 Příklad 7.07. (a) Graf proměnné síly působící na kostku pohybující se podél osy x po hladké vodorovné podložce. (b) Poloha bedny v několika bodech na ose x . Je vyznačena její rychlost a proměnná síla na ni působící.

(a) V intervalu od $x_1 = 0$ do $x_2 = 4,0 \text{ m}$, na *prvním* úseku dráhy, kde je graf na obr. 7-13a *nad* osou x , proměnná síla působící na bednu míří v *kladném* směru osy x , a tudíž velikost rychlosti bedny (která míří v kladném směru osy x) *roste*.

(b) V intervalu od $x_2 = 4,0 \text{ m}$ do $x_3 = 6,5 \text{ m}$, na *druhém* úseku dráhy, kde je graf na obr. 7-13a *pod* osou x , proměnná síla působící na bednu míří v *záporném* směru osy x , a tudíž velikost rychlosti bedny (která míří v kladném směru osy x) *klesá*.

Grafy, grafy, grafy

Příklad 16.02 Určení veličin v rovnici pro postupnou vlnu

Příčná postupná vlna šířící se podél osy x je popsána rovnicí

$$y(x, t) = y_m \sin(kx \pm \omega t + \varphi). \quad (16.21)$$

Na obr. 16-8a je závislost výchylky elementu struny na souřadnici x v čase $t = 0$ a na obr. 16-8b je závislost výchylky elementu struny v bodě $x = 0$ na čase t . Najděte hodnoty veličin v rov. (16.21) včetně znaménka.

ROZVAHA

- (1) Obr. 16-8a je snímek vlny na vlákně. Z něj můžeme určit vlnovou délku λ , z níž spočteme úhlový vlnčet $k (=2\pi/\lambda)$.
- (2) Obr. 16-8b je graf, který ukazuje, jak kmitá zvolený element struny v čase. Z tohoto grafu můžeme určit periodu T harmonického pohybu, který vykonává zvolený element. Pomocí T spočteme úhlovou frekvenci $\omega (=2\pi/T)$.
- (3) Abychom určili počáteční fázi, potřebujeme znát výchylku v bodě $x = 0$ a čase $t = 0$.

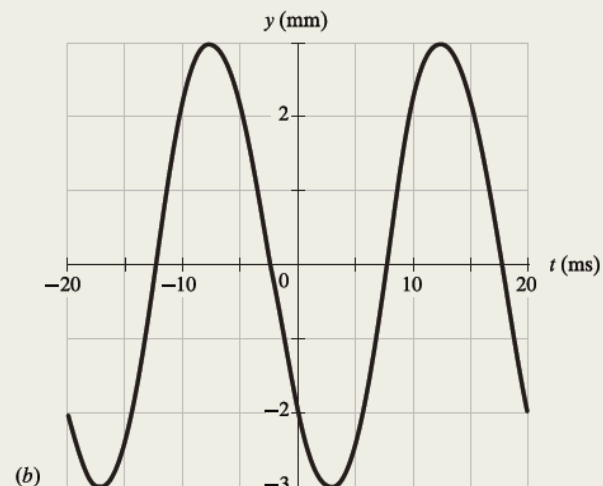
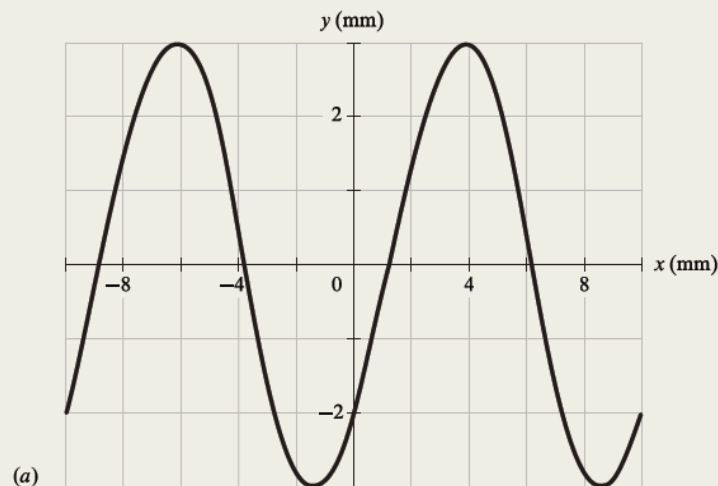
Amplituda: Na obr. 16-8a nebo obr. 16-8b vidíme, že maximální výchylka je 3,0 mm. Tudíž amplituda vlny $y_m = 3,0$ mm.

Vlnová délka: Na obr. 16-8a najdeme vlnovou délku jako vzdálenost dvou sousedních maxim, či minim. Tak dostaneme $\lambda = 10$ mm. Pomocí rov. (16.5) pak zjistíme, že

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi/0,010 \text{ m} = 200\pi \text{ rad}\cdot\text{m}^{-1}.$$

Perioda: Na obr. 16-8b odečteme časy odpovídající dvěma sousedním maximům (nebo minimům) grafu. Jejich rozdíl je roven periodě kmitů T . Tak dostaneme $T = 20$ ms. Pomocí rov. (16.8) pak zjistíme, že

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,020 \text{ s}} = 100\pi \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}.$$



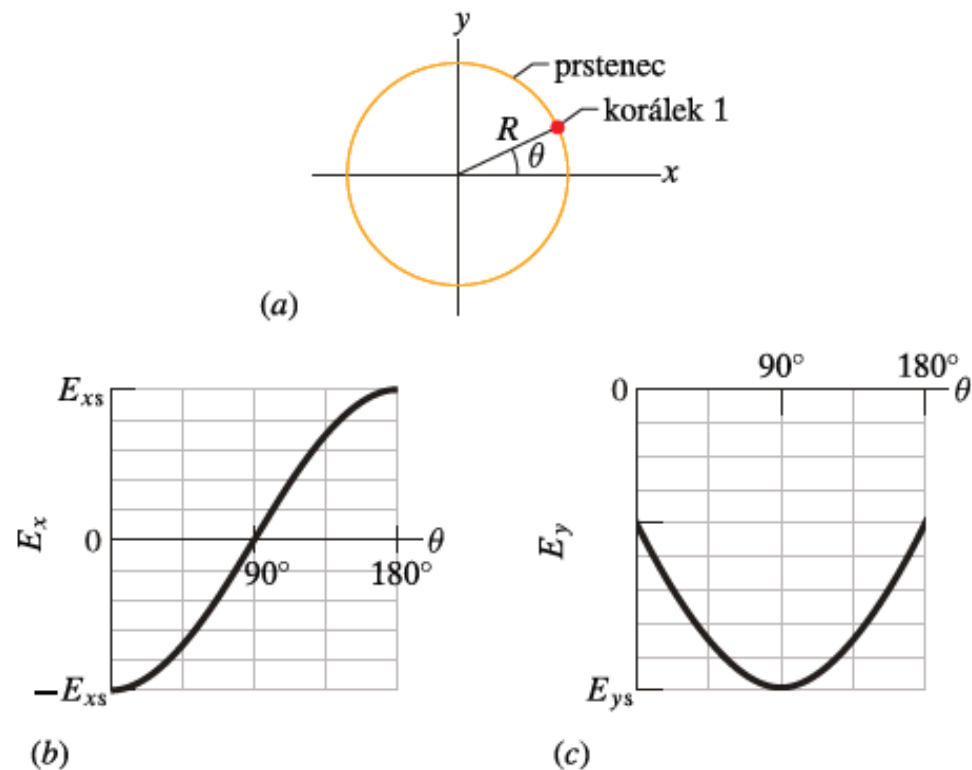
Obr. 16-8 (a) Snímek vlny šířící se podél osy x v čase $t = 0$. (b) Závislost výchylky y na čase t pro element struny v bodě $x = 0$.

Grafy, grafy, grafy

KAPITOLA 22

Elektrické pole

●●●17 Dva nabité korálky na obr.22-43a se nacházejí na plastovém prstenci o poloměru $R = 60,0\text{cm}$. Korálek 2, který není zobrazen, je pevně spojen s prstencem. Korálek 1 se posouvá prvním a druhým kvadrantem souřadnicové soustavy z počáteční polohy na ose x ($\theta = 0^\circ$) na opačnou stranu ($\theta = 180^\circ$). Na obr.22-43b je zobrazena závislost x -ové složky intenzity elektrického pole vytvořeného korálky v počátku souřadnicové soustavy na úhlu θ . Na obr.22-43c je stejná závislost její y -ové složky. Měřítko svislých os v grafech jsou $E_{xs} = 5,0 \cdot 10^4 \text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ a $E_{ys} = -9,0 \cdot 10^4 \text{N} \cdot \text{C}^{-1}$. (a) Určete polohu korálku 2 pomocí úhlu θ . Jaké jsou náboje (b) korálku 1 a (c) korálku 2?



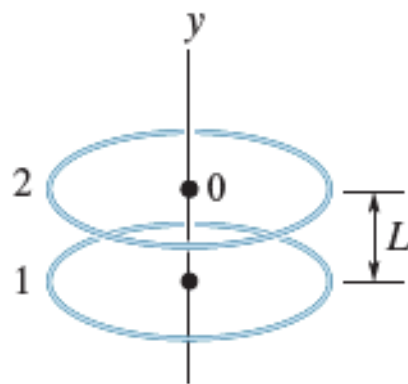
Obr.22-43 Úloha 17

Grafy, grafy, grafy

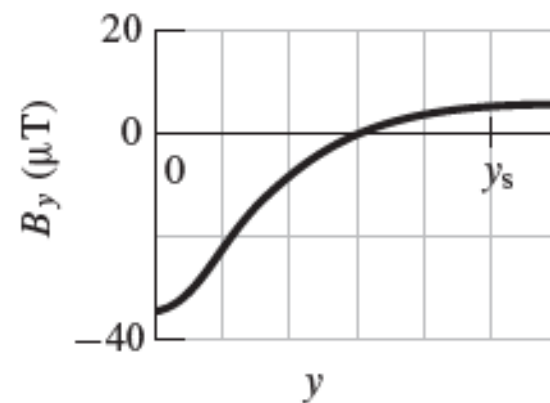
KAPITOLA 29

Magnetické pole elektrického proudu

••62 Dvě kruhové smyčky na obr.29-75a mají poloměr $4,0\text{ cm}$ a jejich středy leží na ose y v počáteční vzdálenosti $L = 3,0\text{ cm}$, přičemž střed smyčky 2 leží v počátku této osy. Smyčkami protékají různé proudy, které vytvářejí v počátku osy magnetické pole, jehož indukce má nenulovou jen y -ovou složku B_y . Když se smyčka 2 posune v kladném směru osy y , změní se B_y tak, jak je zobrazeno v grafu na obr.29-75b. Pro $y \rightarrow \infty$ se B_y limitně blíží hodnotě $7,20\text{ }\mu\text{T}$. Měřítka vodorovné osy je zadáno hodnotou $y_s = 10,0\text{ cm}$. Určete (a) proud I_1 tekoucí smyčkou 1 a (b) proud I_2 tekoucí smyčkou 2.



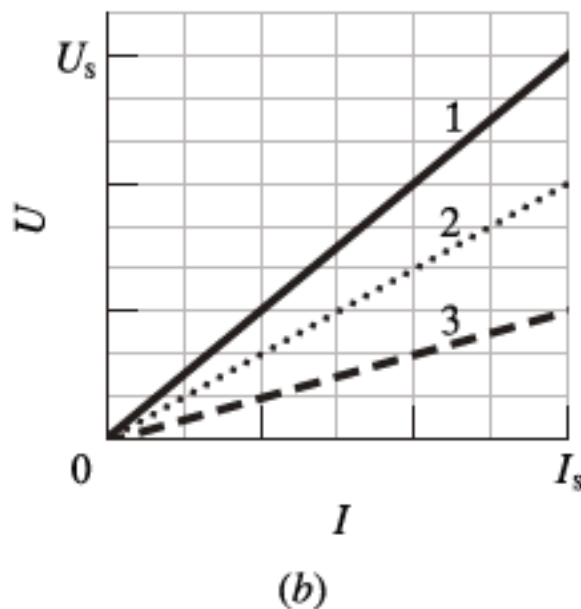
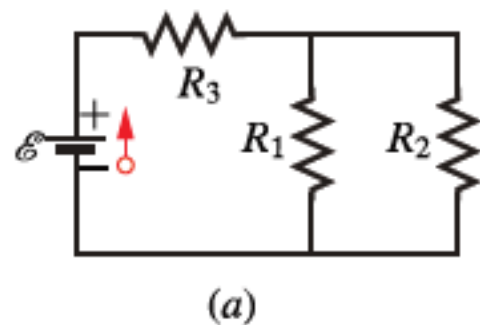
(a)



(b)

Obr.29-75 Úloha 62

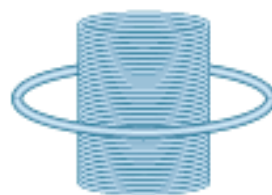
••28 Ideální baterie na obr.27-38a má emn $\mathcal{E} = 6,0\text{V}$. Graf 1 na obr.27-38b zobrazuje napětí U na rezistoru R_1 jako funkci proudu I procházejícího tímto rezistorem. Měřítko na osách jsou dána $U_s = 18,0\text{V}$ a $I_s = 3,00\text{mA}$. Grafy 2 a 3 zobrazují stejné závislosti pro rezistory R_2 a R_3 . Určete proud procházející rezistorem R_2 .



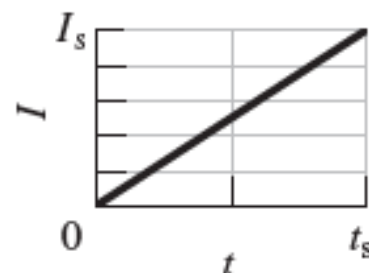
Obr.27-38 Úloha 28

Elektromagnetická indukce

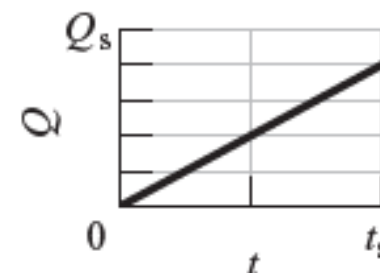
●●32 Na obr.30-54a je kruhová smyčka o poloměru 6,00 cm, která je souosá se zobrazeným solenoidem. Solenoid má poloměr 2,00 cm, hustotu vinutí 8000 závitů na metr a protéká jím proud I , jehož časový průběh je zobrazen na obr.30-54b. Měřítko na svislé ose je zadáno hodnotou $I_s = 1,00 \text{ A}$ a na vodorovné ose hodnotou $t_s = 2,0 \text{ s}$. Obr.30-54c zobrazuje Joulovo teplo Q , které se vyvíjí ve smyčce při průchodu indukovaného proudu, jako funkci času t . Měřítko svislé osy je dáno hodnotou $Q_s = 100,0 \text{ nJ}$. Jaký je odpor smyčky?



(a)



(b)



(c)

Obr.30-54 Úloha 32

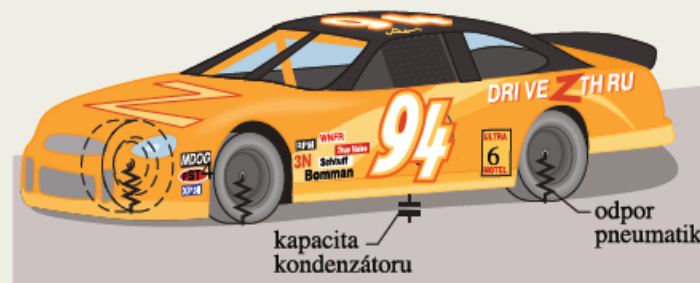
Příklad na zajímavou situaci

Příklad 27.05 Vybíjením obvodu RC se předejde vzniku požáru při tankování závodního auta

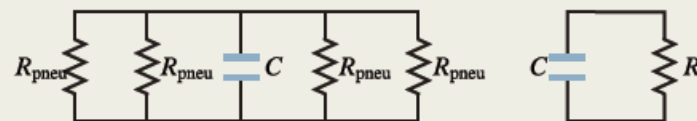
Když auto jede po vozovce, jeho pneumatiky se záporně nabíjejí. Elektrony přecházejí nejprve z vozovky na pneumatiky a pak na karoserii. Na autě se hromadí náboj, a tedy i elektrická potenciální energie, poněvadž karoserii lze považovat za jednu elektrodu kondenzátoru a vozovku za druhou (obr. 27-16a). Když auto zastaví, tento kondenzátor se vybíjí přes pneumatiky. Pokud se do blízkosti auta dostane vodivý předmět dříve, než se auto zcela vybije, může mezi ním a autem přeskočit jiskra. Jestliže by přitom probíhalo tankování, mohlo by dojít k požáru. Z experimentu víme, že jiskra palivo nezapálí, pokud je její energie menší než kritická hodnota $E_{zap} = 50 \text{ mJ}$.

Když v čase $t = 0$ auto zastaví, napětí mezi ním a vozovkou je $U_0 = 30 \text{ kV}$. Kapacita kondenzátoru, tvořeného karoserií auta a vozovkou, je $C = 500 \text{ pF}$ a odpor každé pneumatiky je $R_{pneu} = 100 \text{ G}\Omega$. Jak dlouho bude trvat, než se karoserie auta vybije přes pneumatiky tak, aby elektrická energie uložená na autě byla menší než kritická hodnota E_{zap} ?

Dojde, či nedojde k požáru? Zjistili jsme, že po zastavení tohoto auta je potřeba počkat alespoň $9,4 \text{ s}$, a teprve potom začít bezpečně tankovat. Během závodu však posádka závodního vozu nemůže tak dlouho čekat. Proto pneumatiky závodních automobilů obsahují jistý vodivý materiál (např. saze), čímž se sníží jejich odpor, a tím se zrychlí i vybíjení vozu. Obr. 27-16d ukazuje energii E_{el} v závislosti na čase t pro pneumatiky s odporem $100 \text{ G}\Omega$ (což je hodnota, kterou jsme použili ve výpočtech) a s desetkrát menším odporem $10 \text{ G}\Omega$. Všimněte si, že čím je odpor pneumatik auta menší, tím se auto rychleji vybije na bezpečnou mez.

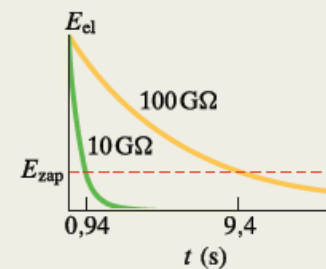


(a)



(b)

(c)



(d)

Obr. 27-16 Příklad 27.05. (a) Nabité karoserie auta a vozovka představují kondenzátor, který se může vybíjet přes pneumatiky. (b) Obvod s kondenzátorem, který tvoří karoserie auta a vozovka, a čtyřmi pneumatikami s odpory R_{pneu} uspořádanými paralelně. (c) Ekvivalentní odpor R čtyř pneumatik. (d) Elektrická energie E_{el} kondenzátoru tvořeného karoserií auta a vozovkou klesá během vybíjení.

Na těchto základech můžete stavět

http://www.ets.org/gre/subject/about?WT.ac=grehome_gresubject_130807



GRE Subject Test scores are used by admissions or fellowship panels to supplement your undergraduate records, recommendation letters and other qualifications for graduate-level study.

Na těchto základech můžete stavět

http://www.ets.org/gre/subject/about?WT.ac=grehome_gresubject_130807

- The test consists of approximately 70 5-choice questions based on such materials as diagrams, graphs, experimental data and descriptions of physical situations.
- The aim of the test is to determine the extent of the examinees' grasp of fundamental principles and their ability to apply these principles in the solution of problems.
- Most test questions can be answered on the basis of a mastery of the first 3 years of undergraduate physics.

80% úloh je na úrovni HRW.

Na těchto základech můžete stavět

GR9677

HRW

Kap. 27

1. The capacitor shown in Figure 1 above is charged by connecting switch S to contact a . If switch S is thrown to contact b at time $t = 0$, which of the curves in Figure 2 above represents the magnitude of the current through the resistor R as a function of time?

- (A) A
- (B) B
- (C) C
- (D) D
- (E) E

73 %

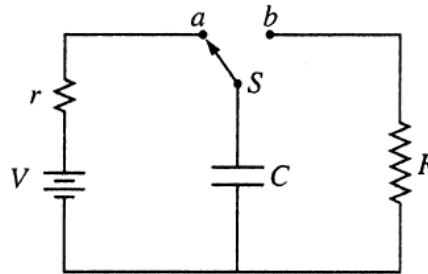


Figure 1

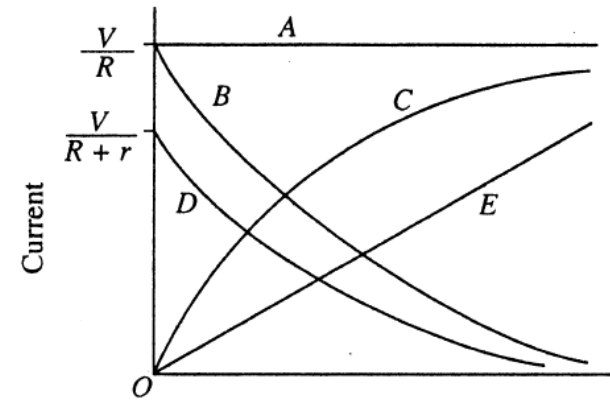


Figure 2

GR9677

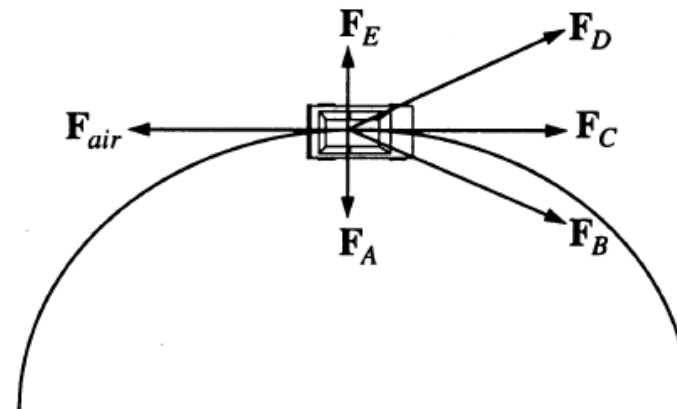
HRW

Kap. 5

5. A car travels with constant speed on a circular road on level ground. In the diagram above, $\mathbf{F}_{air}$ is the force of air resistance on the car. Which of the other forces shown best represents the horizontal force of the road on the car's tires?

- (A) $\mathbf{F}_A$
- (B) $\mathbf{F}_B$
- (C) $\mathbf{F}_C$
- (D) $\mathbf{F}_D$
- (E) $\mathbf{F}_E$

29 %



Na těchto základech můžete stavět

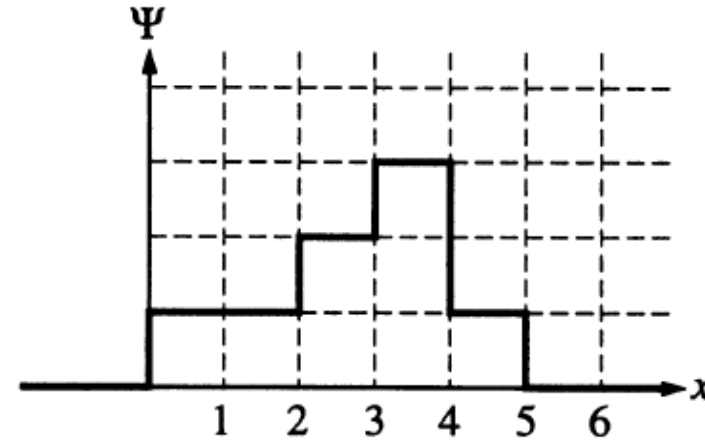
GR9677

HRW
Kap. 38

17. The wave function for a particle constrained to move in one dimension is shown in the graph above ($\Psi = 0$ for $x \leq 0$ and $x \geq 5$). What is the probability that the particle would be found between $x = 2$ and $x = 4$?

- (A) $17/64$
(B) $25/64$
(C) $5/8$
(D) $\sqrt{5/8}$
(E) $13/16$

20 %



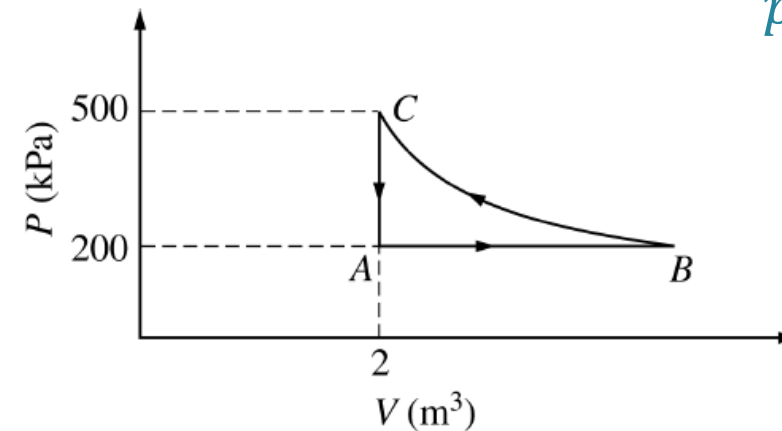
GR0177

HRW
Kap. 19

37. A constant amount of an ideal gas undergoes the cyclic process $ABCA$ in the PV diagram shown above. The path BC is isothermal. The work done by the gas during one complete cycle, beginning and ending at A , is most nearly

- (A) 600 kJ
(B) 300 kJ
(C) 0
(D) -300 kJ
(E) -600 kJ

36 %



$$pV = nRT$$

$$W = \int_{C_{if}} p dV$$

Na těchto základech můžete stavět

GR0177

45. Let $|n\rangle$ represent the normalized n^{th} energy eigenstate of the one-dimensional harmonic oscillator, $H|n\rangle = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right)|n\rangle$. If $|\psi\rangle$ is a normalized ensemble state that can be expanded as a linear combination $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{14}}|1\rangle - \frac{2}{\sqrt{14}}|2\rangle + \frac{3}{\sqrt{14}}|3\rangle$ of the eigenstates, what is the expectation value of the energy operator in this ensemble state?

- (A) $\frac{102}{14} \hbar\omega$
- (B) $\frac{43}{14} \hbar\omega$
- (C) $\frac{23}{14} \hbar\omega$
- (D) $\frac{17}{\sqrt{14}} \hbar\omega$
- (E) $\frac{7}{\sqrt{14}} \hbar\omega$

50 %

74. The Lagrangian for a mechanical system is

$$L = a\dot{q}^2 + bq^4,$$

where q is a generalized coordinate and a and b are constants. The equation of motion for this system is

- (A) $\dot{q} = \sqrt{\frac{b}{a}} q^2$
- (B) $\dot{q} = \frac{2b}{a} q^3$
- (C) $\ddot{q} = -\frac{2b}{a} q^3$
- (D) $\ddot{q} = +\frac{2b}{a} q^3$
- (E) $\ddot{q} = \frac{b}{a} q^3$

50 %

Na těchto základech můžete stavět

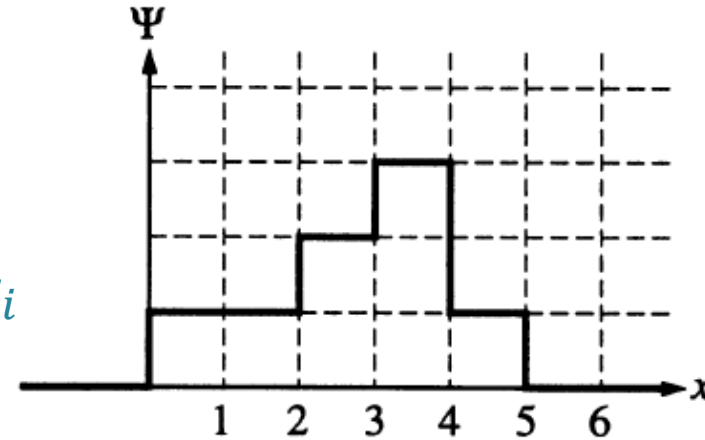
HRW Kap. 38

17. The wave function for a particle constrained to move in one dimension is shown in the graph above ($\Psi = 0$ for $x \leq 0$ and $x \geq 5$). What is the probability that the particle would be found between $x = 2$ and $x = 4$?

- (A) 17/64
(B) 25/64
(C) 5/8
(D) $\sqrt{5/8}$
(E) 13/16

20 %

$$P \propto \sum_i |\Psi_i|^2 \Delta x_i$$



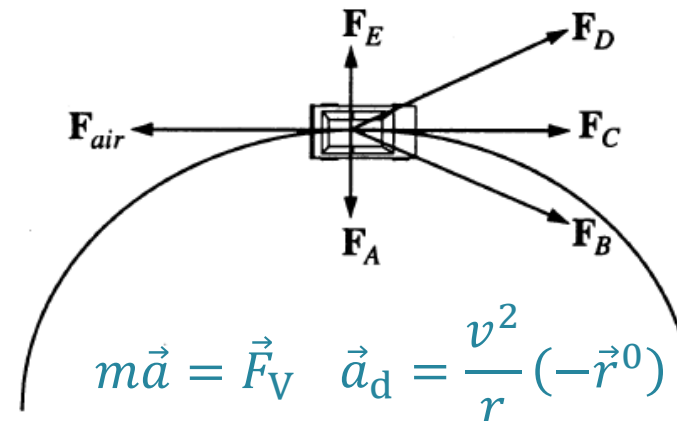
Otázky s nejhorší úspěšností odpovědí

HRW Kap. 5

5. A car travels with constant speed on a circular road on level ground. In the diagram above, $\mathbf{F}_{air}$ is the force of air resistance on the car. Which of the other forces shown best represents the horizontal force of the road on the car's tires?

- (A) $\mathbf{F}_A$
(B) $\mathbf{F}_B$
(C) $\mathbf{F}_C$
(D) $\mathbf{F}_D$
(E) $\mathbf{F}_E$

29 %



Na těchto základech můžete stavět

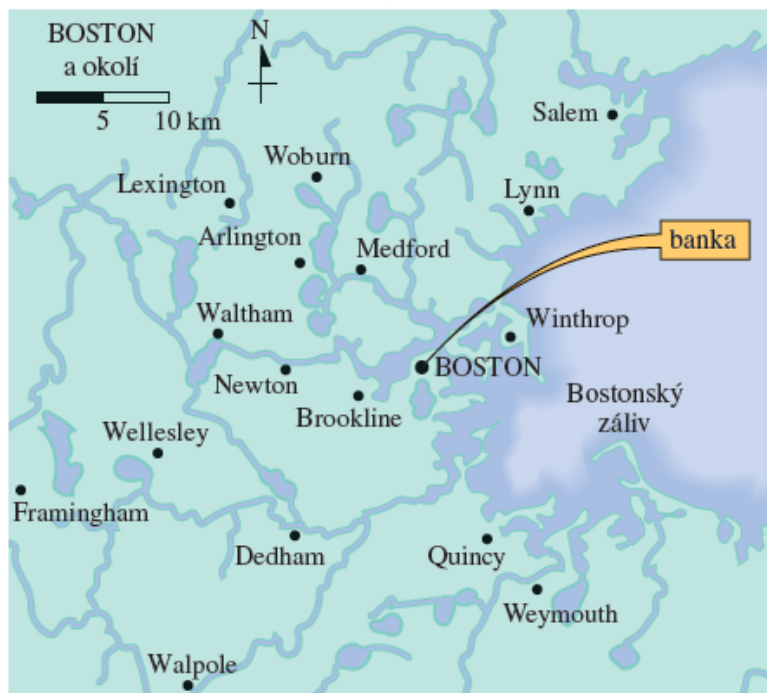
Otázky na úrovni **HRW** nedopadají dobře.

GRE[®]

Graduate Record Examinations[®]

Vektory

63 V jedné z bostonských bank došlo k loupeži (mapka na obr. 3-36). Při útěku použili lupiči vrtulník a letěli po trase tvořené třemi po sobě následujícími příkými úseky: 32 km přesně na jihovýchod, 53 km na severozápad pod úhlem 26° vůči místní rovnoběžce, 26 km na jihovýchod pod úhlem 18° vůči místnímu poledníku. Při posledním přistání byli dopadeni. Ve kterém městě to bylo? (Vektory posunutí sčítejte grafickou metodou přímo v mapě.)



Obr. 3-36 Úloha 63

***75** Karel Klostermann, známý spisovatel Šumavy, byl zdatný turista, který podnikal dlouhé a náročné výpravy po divoké Šumavě, často po těžko schůdných cestách – v té době neexistovaly turistické mapy ani značené trasy. Rád vycházel ze svého prázdninového domu zvaného Bílý dům, který stával na kopci Klapperl (dnes Klostermannův vrch), a vydával se na horu Luzný (něm. Lusen), která leží těsně za bavorskou hranicí. Nejprve sestoupil po strmém svahu do Rejštejna (tehdy Reichenstein), poté pokračoval proti proudu řeky Vydry do Mádr (dnes obec Modrava) a pak přes Cikánskou slaf do Pürstlingu (dnes Březník). Po zastávce v místní myslivně prošel malebným Luzenským údolím k Modrému sloupu u česko-bavorské hranice a poté vystoupal po strmé balvanité cestě – zvané „žebřík do nebe“ – na vrchol Luzného. Tuto cestu vylčil ve své knize *Črty ze Šumavy*.



(a) Aproximujte Klostermannovu trasu úsečkami a určete její délku. (Ve skutečnosti byla trasa podstatně delší.) (b) Určete vektor výsledného posunutí při jeho cestě. Počátek soustavy souřadnic zvolte v Rejštejnu; osa x mří na jih, osa y na východ a osa z nahoru. Potřebné údaje jsou uvedeny v tabulce.

Místo	Nadmořská výška	Zeměpisná šířka ^a	Zeměpisná délka ^b
Bílý dům	740 m n.m.	$49^\circ 08' 40'' \text{N}$	$13^\circ 31' 31'' \text{E}$
Rejštejn	568 m n.m.	$49^\circ 08' 07'' \text{N}$	$13^\circ 30' 43'' \text{E}$
Modrava	985 m n.m.	$49^\circ 01' 27'' \text{N}$	$13^\circ 29' 58'' \text{E}$
Modrý sloup	1197 m n.m.	$48^\circ 56' 41'' \text{N}$	$13^\circ 29' 23'' \text{E}$
Luzný	1373 m n.m.	$48^\circ 56' 21'' \text{N}$	$13^\circ 30' 25'' \text{E}$

^a Vzdálenost mezi rovnoběžkami odpovídající 1 vteřině zeměpisné šířky je přibližně rovna 30,8 m.

^b Na 49° severní šířky je vzdálenost mezi poledníky odpovídající 1 vteřině zeměpisné délky přibližně rovna 20,3 m.

2025: třetí české vydání HRW

At' kniha

přináší poznání a radost z poznávání

? 50 let s HRW

2025: třetí české vydání HRW

Poděkování

Kolegům z Ústavu fyzikálního inženýrství za pomoc, trpělivé a vlídné zacházení

Mgr. Evě Hermanové za pečlivou jazykovou redakci

Partnerům VUT – společností **Meopta, onsemi, Tescan, ThermoFisher Scientific**
za finanční podporu při vydání této knihy

Kolegyním a kolegům z VUTIAM za skvělou spolupráci a podporu