

Obsah

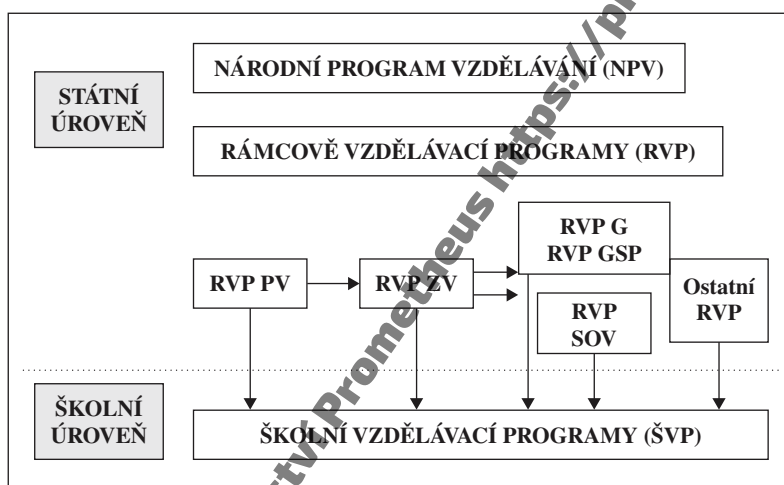
Úvod	6
1 Fyzika v Rámcových vzdělávacích programech pro střední školy	7
1.1 Rámcové vzdělávací programy pro gymnaziální a odborné vzdělávání	7
1.2 Fyzika a vzdělávání ve fyzice	9
1.3 Kompetence žáka a cílové zaměření fyzikálního vzdělávání na gymnáziu	11
1.4 Kompetence žáka a cílové zaměření fyzikálního vzdělávání na střední odborné škole	16
1.5 Fyzika v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia	20
1.6 Fyzika v Rámcových vzdělávacích programech pro střední odborné vzdělávání	23
2 Vytváříme Školní vzdělávací programy - fyzika (fyzikální vzdělávání)	30
2.1 Požadavky na strukturu a obsah Školního vzdělávacího programu	30
2.2 Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání - fyzika	32
2.2.1 Přírodovědně zaměřený vzdělávací program	32
2.2.2 Všeobecně zaměřený vzdělávací program	54
2.2.3 Vzdělávací program s minimální hodinovou dotací	74
2.3 Školní vzdělávací program na odborné škole	91
2.3.1 Vzdělávací program na odborné škole technického zaměření	91
2.3.2 Vzdělávací program na odborné škole s nižší hodinovou dotací fyziky (SOŠ netechnického zaměření, SOU)	101
3 Metodické poznámky k učivu	107
3.1 Úvod do výuky středoškolské fyziky	107
3.2 Mechanika	110
3.3 Molekulová fyzika a termika	131
3.4 Mechanické kmitání a vlnění	145
3.5 Elektřina a magnetismus	168
3.6 Optika	207
3.7 Speciální teorie relativity	221
3.8 Fyzika mikrosvěta	228
4 Nové směry ve fyzikálním vzdělávání	247
4.1 Integrace a mezipředmětové vztahy ve fyzice na střední škole	248
4.2 Nová témata ve výuce středoškolské fyziky	254
4.3 Metody výuky fyziky podporující aktivitu žáků	260
4.4 Informačně komunikační technologie ve výuce fyziky	263
5 Literatura pro přípravu školních vzdělávacích programů na střední škole	275

1 Fyzika v Rámcových vzdělávacích programech pro střední školy

1.1 Rámcové vzdělávací programy pro gymnaziální a odborné vzdělávání

S novými principy kurikulární politiky, zformulovanými v *Národním programu rozvoje vzdělávání v České republice* (tzv. *Bílé knize*, prosinec 2002) a zakotvenými v *Zákoně o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání* (platný od 1. 1. 2005), se do české vzdělávací soustavy postupně zavádí nový systém kurikulárních dokumentů pro vzdělávání žáků od 3 do 19 let. Kurikulární dokument je pedagogický dokument, který vymezuje především koncepci, cíle a vzdělávací obsah daného typu školy.

Kurikulární dokumenty jsou vytvářeny na dvou úrovních – úroveň státní a úroveň školní (viz obrázek podle [1], s. 9). **Státní úroveň** představují **Národní program vzdělávání (NPV)** a **Rámcové vzdělávací programy (RVP)**.



Národní program vzdělávání formuluje požadavky na vzdělávání jako celek, Rámcové vzdělávací programy vymezují závazné rámce vzdělávání pro jednotlivé etapy vzdělávání (pro předškolní – RVP PV, základní – RVP ZV, gymnaziální – RVP G, pro gymnázia se sportovní přípravou – RVP GSP, střední odborné vzdělávání – RVP SOV a Ostatní RVP (umělecké, jazykové a případně další). Těmito rámci je vymezeno organizační uspořádání vzdělávání na daném stupni školy, podmínky přijetí ke vzdělávání, způsob a podmínky ukončování vzdělávání, pojetí a cíle výuky, klíčové kompetence, povinný obsah učiva, očekávané výstupy všeobecného i odborného vzdělávání a rámcový učební plán.

Školní úroveň kurikulárních dokumentů představují **Školní vzdělávací programy (ŠVP)**. Podle nich se postupně uskutečňuje vzdělávání na jednotlivých školách. ŠVP si vytváří každá škola sama podle zásad stanovených v příslušném RVP.

Oba programy – RVP a ŠVP – jsou veřejné dokumenty, které mohou být inovovány podle měnících se potřeb společnosti, dispozic a skutečných potřeb a zájmů žáků, na základě zkušeností učitelů s realizací ŠVP vzhledem k podmínkám, ve kterých je vzdělávání realizováno.

FYZIKÁLNÍ VELIČINY A JEJICH MĚŘENÍ

Očekávané výstupy

Žák

- **měří** vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, **zpracuje a vyhodnotí** výsledky měření;
- **rozliší** skalární veličiny od vektorových a **využívá** je při řešení fyzikálních problémů a úloh.

Učivo

- **soustava fyzikálních veličin a jednotek** – Mezinárodní soustava jednotek (SI)
- absolutní a relativní odchylka měření

POHYB TĚLES A JEJICH VZÁJEMNÉ PŮSOBENÍ

Očekávané výstupy

Žák

- **užívá** základní kinematické vztahy při řešení problémů a úloh o pohybech rovnoměrných a rovnoměrně zrychlených/zpomalených;
- **určí** v konkrétních situacích síly a jejich momenty působící na těleso a **určí** výslednici sil;
- **využívá** (Newtonovy) pohybové zákony pro předvídání pohybu těles;
- **využívá** zákony zachování některých důležitých fyzikálních veličin při řešení problémů a úloh;
- **objasní** procesy vzniku, šíření, odrazu a interference mechanického vlnění.

Učivo

- **kinematika pohybu** – vztažná soustava; poloha a změna polohy tělesa, jeho rychlost a zrychlení
- **dynamika pohybu** – hmotnost a síla; první, druhý a třetí pohybový zákon; inerciální soustava; hybnost tělesa; tlaková síla, tlak; třecí síla; síla pružnosti; gravitační a tíhová síla; gravitační pole; moment síly; práce, výkon; souvislost změny mechanické energie s prací; zákony zachování hmotnosti, hybnosti a energie
- **mechanické kmitání a vlnění** – kmitání mechanického oscilátoru, jeho perioda a frekvence; postupné vlnění, stojaté vlnění; vlnová délka a rychlost vlnění; zvuk, jeho hlasitost a intenzita

STAVBA A VLASTNOSTI LÁTEK

Očekávané výstupy

Žák

- **objasní** souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturu; **aplikuje** s porozuměním termodynamické zákony při řešení konkrétních fyzikálních úloh;

Výsledky vzdělávání	Učivo
<ul style="list-style-type: none"> • <i>řeší</i> jednoduché případy tepelné výměny; • <i>popíše</i> principy nejdůležitějších tepelných motorů; • <i>popíše</i> přeměny skupenství látek a jejich význam v přírodě a v technické praxi. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ struktura pevných látek a kapalin, přeměny skupenství látek.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>popíše</i> elektrické pole z hlediska jeho působení na bodový elektrický náboj; • <i>vysvětlí</i> princip a funkci kondenzátoru; • <i>řeší</i> úlohy s elektrickými obvody s použitím Ohmova zákona; • <i>zapojí</i> elektrický obvod podle schématu a změní napětí a proud; • <i>popíše</i> princip a praktické použití polovodičových součástek; • <i>určí</i> magnetickou sílu v magnetickém poli vodiče s proudem; • <i>vysvětlí</i> podstatu elektromagnetické indukce a její praktický význam; • <i>popíše</i> princip generování střídavých proudů a jejich využití v energetice. 	<p>3 ELEKTRINA A MAGNETISMUS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ elektrický náboj tělesa, elektrická síla, elektrické pole, kapacita vodiče; ▪ elektrický proud v látkách, zákony elektrického proudu, elektrické obvody, vodivost polovodičů, přechod PN; ▪ magnetické pole, magnetické pole elektrického proudu, elektromagnet, elektromagnetická indukce, indukčnost; ▪ vznik střídavého proudu, přenos elektrické energie střídavým proudem.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>rozlišit</i> základní druhy mechanického vlnění a <i>popíše</i> jejich šíření; • <i>charakterizuje</i> základní vlastnosti zvukového vlnění; • <i>chápe</i> negativní vliv hluku a zná způsoby ochrany sluchu; • <i>charakterizuje</i> světlo jeho vlnovou délkou a rychlostí v různých prostředích; • <i>řeší</i> úlohy na odraz a lom světla; • <i>řeší</i> úlohy na zobrazení zrcadly a čočkami; • <i>vysvětlí</i> principy základních typů optických přístrojů; • <i>popíše</i> význam různých druhů elektromagnetického záření z hlediska působení na člověka a využítí v praxi. 	<p>4 VLNĚNÍ A OPTIKA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mechanické kmitání a vlnění; ▪ zvukové vlnění; ▪ světlo a jeho šíření; ▪ zobrazování zrcadlem a čočkou; ▪ spektrum elektromagnetického záření, rentgenové záření, vlnové vlastnosti světla.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>popíše</i> strukturu elektronového obalu atomu z hlediska energie elektronu; • <i>popíše</i> stavbu atomového jádra a charakterizuje základní nukleony; • <i>vysvětlí</i> podstatu radioaktivity a <i>popíše</i> způsoby ochrany před jaderným zářením; • <i>popíše</i> tepnou reakci jader uranu a její praktické využití v energetice; • <i>pohodí</i> výhody a nevýhody způsobů, jimiž se získává elektrická energie. 	<p>5 FYZIKA ATOMU</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ model atomu, spektrum atomu vodíku, laser; ▪ nukleony, radioaktivita, jaderné záření, jaderná energie a její využití, biologické účinky záření.

2 Vytváříme Školní vzdělávací programy – fyzika (fyzikální vzdělávání)

Školní vzdělávací program (ŠVP) je kurikulární dokument školní úrovně, který předkládá podobu vzdělávání na konkrétní škole a její profilaci. ŠVP je zpracováván školou na základě příslušného Rámcového vzdělávacího programu (RVP), jehož požadavky se řídí, a uskutečňuje se podle něj vzdělávání na konkrétní škole. V případě středního odborného vzdělávání budou ŠVP vytvářeny ve spolupráci s představiteli světa práce.

Tvorbou ŠVP se výrazně posílí nejen autonomie každé školy – především v pedagogické oblasti, ale bude zdůrazněna profesní kompetence učitelů – tvůrců a realizátorů školního vzdělávacího programu. Školní vzdělávací program musí zohlednit jak reálné dispozice žáků a jejich skutečné vzdělávací potřeby, tak skutečné podmínky, ve kterých je vzdělávání realizováno.

ŠVP je povinnou součástí dokumentace školy a musí být přístupný veřejnosti. ŠVP vydává ředitel školy. Odpovědnost za realizaci vytvořeného ŠVP bude nadále věcí školy a jednotlivých vyučujících.

V naší příručce se zaměříme na možné varianty tvorby vzdělávacího obsahu **fyziky** jednak na gymnáziu, jednak na střední odborné škole. Budeme přitom vycházet z těchto předpokladů:

- vzdělávací obsah se bude týkat *čtyřletého* vzdělávacího programu (čtyřletá gymnázia, vyšší stupeň gymnázia);
- doporučené (námi navržené) hodinové dotace fyziky pro každý ročník v učebním plánu vycházejí z celkové minimální dotace stanovené v rámcovém učebním plánu pro vzdělávací oblast Člověk a příroda a z možnosti využít hodinové dotace v rámci disponibilních hodin;
- vzdělávací obsah průřezových témat bude realizován jako samostatný předmět v ŠVP;
- je vhodné a účelné využít dosavadní zkušenosti s učebními osnovami pro fyziku.

2.1 Požadavky na strukturu a obsah Školního vzdělávacího programu

Dokument [1, s. 101] stanovil několik zásad pro zpracování ŠVP pro základní školu. Vycházíme z předpokladu, že zpracování školního vzdělávacího programu pro střední školy po schválení Rámcových vzdělávacích programů pro oba typy středních škol se bude řídit obdobnými zásadami, tj.

ŠVP G (viz [2, s. 83]):

- je zpracován pro celé období vzdělávání na gymnáziu (v případě víceletých gymnázií pro celé období vzdělávání na víceletém gymnáziu) a řídí se při tom požadavky příslušného rámcového vzdělávacího programu;
- vytváří podmínky pro osvojování vzdělávacího obsahu stanoveného v rámcovém vzdělávacím programu, a tím pro utváření klíčových kompetencí žáků;
- prezentuje profilaci školy a profil absolventa školy;
- reflektuje postavení školy v regionu a její sociokulturní prostředí;

UČEBNÍ OSNOVY PRO FYZIKU – varianta O

1. ROČNÍK

Očekávané školní výstupy	Učivo	Přesahy a vazby, poznámky
<p>Žák:</p> <ul style="list-style-type: none"> • používá s porozuměním písemně zavedené fyzikální veličiny • užívá s porozuměním zákonné měřicí jednotky pro vyjadřování hodnot veličin a při řešení úloh • změřit vhodnou přímou nebo nepřímou metodou a s přiměřenou přesností délku, hmotnost a hustotu látky • zpracuje protokol o měření podle vzoru a určí relativní chyby měření • rozlišuje skalární veličiny od vektorových veličin a s porozuměním operuje s oběma těmito druhy veličin při řešení úloh • dodržuje pravidla bezpečnosti a ochrany zdraví 	<p>1. FYZIKÁLNÍ VELIČINY A JEDNOTKY (4 + 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ soustava základních a odvozených veličin ▪ Mezinárodní soustava jednotek SI a jednotky užívané spolu s jednotkami SI ▪ převody jednotek ▪ metody měření fyzikálních veličin, zpracování výsledků měření ▪ skalární a vektorové veličiny, operace s vektory 	<p>vhodné úvodní motivační pokusy; názvoslovné učivo fyziky ZŠ (NG); vazba na jednotky v matematice a na vektorový počet; postupné zdokonalování v měření; laboratorní práce: Měření hustoty látky, ze které je těleso pravidelného a nepravidelného tvaru (z naměřené hmotnosti a objemu); PT: Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech (VMEGS) – význam soustavy SI pro rozvoj vědeckých a hospodářských styků</p>
<p>Žák:</p> <ul style="list-style-type: none"> • využívá představy hmotného bodu při řešení úloh • rozhodne, o jaký druh pohybu se jedná • používá základní kinematické vztahy pro jednotlivé druhy pohybů při řešení úloh včetně problémových • sestrojí grafy závislosti dráhy a rychlosti na čase a využívá tyto grafy k řešení úloh na rovnoměrné a nerovnoměrné pohyby 	<p>2. MECHANIKA 2.1 KINEMATIKA HMOTNÉHO BODU (10 + 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ poloha a změna polohy hmotného bodu (tělesa) trajektorie, dráha, pohyby přímočaré a křivočaré ▪ průměrná a okamžitá rychlost, zrychlení ▪ rovnoměrný přímočarý pohyb, rovnoměrně zrychlený a rovnoměrně zpomalený pohyb ▪ volný pád, tíhové zrychlení ▪ skládání rychlostí ▪ rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici 	<p>názvoslovné učivo fyziky ZŠ (NG) a na matematické funkce, řešení rovnic); laboratorní práce: Experimentální studium pohybu kuličky na nakloněné rovině (nebo kuželového kyvadla); PT: Osobnostní a sociální výchova (OSV) – komunikace s odbornou terminologií (prolíná všemi dalšími tématy)</p>

2.2.3 Vzdělávací program s minimální hodinovou dotací

Podle varianty S pro vzdělávací program s minimální časovou dotací předpokládáme, že fyzika je vyučována celkem 6 (týdenních) hodin, tj. v každém ročníku po 2 h týdně. Pro plánování učiva v jednotlivých ročnících vycházíme z předpokladu 33 týdnů výuky v každém ročníku.

Časový harmonogram:*

Tematický okruh	Časové zařazení
1. Fyzikální veličiny a jednotky	1. pololetí prvního ročníku
2. Mechanika	První ročník
3. Molekulová fyzika a termika	Kapitoly 3.1 a 3.2 na závěr 2. pololetí prvního ročníku, kapitoly 3.3 až 3.7 v 1. pololetí druhého ročníku
4. Mechanické kmitání a vlnění	Konec 1. pololetí a začátek 2. pololetí druhého ročníku
5. Elektřina a magnetismus	Kapitoly 5.1 až 5.6 v 2. pololetí druhého ročníku, kapitoly 5.7 až 5.13 v 1. pololetí třetího ročníku
6. Optika	2. pololetí třetího ročníku
7. Speciální teorie relativity	2. pololetí třetího ročníku
8. Fyzika mikrosvěta	2. pololetí třetího ročníku
9. Astrofyzika	Závěr 2. pololetí třetího ročníku

* V předloženém návrhu uvádíme ty názvy tematických okruhů, které odpovídají názvům v současné řadě učebnic fyziky pro gymnázia. Nepoužíváme tedy názvy uvedené v RVP.

3 Metodické poznámky k učivu

3.1 Úvod do výuky středoškolské fyziky

Úvod středoškolského kurzu fyziky má mít především motivační charakter. Učitel také získá první informace o představách žáků k fyzice, učení. Úvod můžeme rozdělit na dvě části.

V první části v návaznosti na fyziku základní školy, resp. nižšího stupně víceletého gymnázia (dále jen ZŠ), učitel seznamuje žáky s tím, co budeme dělat v následujících týdnech a měsících jednotlivých školních roků. Mělo by dojít k neformálnímu seznámení s učebními osnovami fyziky. Musíme se však vyvarovat příliš obecných formulací. Nemůžeme také vůbec podstatné, aby žáci znali podrobné dělení fyziky na jednotlivé obory, definovali, co je fyzika, fyzikální zákon, fyzikální teorie apod. Podstatné je uvedení jednoduchých příkladů (ve spolupráci se žáky), ze kterých vyplýne význam studia fyziky pro všeobecné vzdělání.

Musíme mít na zřeteli, že pro vzbuzení zájmu žáků o fyziku jsou rozhodující již první vyučovací hodiny fyziky. Proto ukážeme, že obsahem fyziky nejsou jen nezáživné vzorečky, definice pojmů apod., ale že poznání základních fyzikálních zákonitostí má dalekosáhlý význam nejen pro nejrůznější obory lidské činnosti (strojírenství, doprava, energetika, elektrotechnika, zemědělství, geofyzika, kosmonautika, lékařství a další), ale i pro náš každodenní život včetně ochrany životního prostředí.

Aby tyto informace byly přitažlivé, zajímavé, využijeme také různé informace a ilustrace získané z různých encyklopedií či časopisů, z internetu, videa. Hlavně je ale vhodné předvést vhodné motivační experimenty. Např. z mechaniky různé triky s těžištěm a rovnovážnou polohou těles (viz např. [1]), z termiky se hodí ukázat podstatu vypínání varné konvice při vaření vody, z elektrostatiky jednoduchý pokus na podstatu elektrostatického filtru (viz [2]), vhodné jsou také pokusy na vedení proudu v polovodičích, z optiky lze ukázat ohyb světla na mřížce (viz např. [3]) apod. Možností je mnoho, záleží na rozhodnutí učitele fyziky, na možnostech předvedení vhodného experimentu včetně dostupnosti pomůcek. V každém případě by úvodní hodiny měly vhodnými příklady a experimenty přímo „hýřit“. Vhodná je také diskuse se žáky založená na jejich poznatcích ze ZŠ. Učivo první části úvodu se nezkouší.

Druhá část úvodu je věnována fyzikálním veličinám a jejich jednotkám, měření a zpracování výsledků měření. Opět vycházíme ze zkušeností žáků a jejich poznatků ze ZŠ. Můžeme uplatnit nejjednodušší formy brainstormingu – žáci sami uvádějí příklady vlastností těles, látek, polí, dějů jako výchozí bod pro zavedení pojmu **fyzikální veličina**. Na příklady vlastností pak navazuje uvádění doposud poznaných fyzikálních veličin a **fyzikálních jednotek**. Následují příklady konkrétních hodnot fyzikálních veličin zapsaných ve tvaru symbolického součinu číselné hodnoty a měřicí jednotky. Na střední škole (dále jen SŠ) můžeme uvést symbolický součin, který vlastně vznikne úpravou výrazu $X/[X] = \{X\}$ (uvedené symboly mají obvyklý význam), jenž označuje skutečnost, zda a kolikrát je daná měřicí jednotka větší či menší než měřená veličina téhož druhu. U vektorových veličin ještě doplňujeme o směr, příp. informaci o umístění vektoru v prostoru.

Pozornost věnujeme **násobným a dílčím jednotkám** a jejich převodům na jednotky nenásobné a nedílčí. Pro nenasobnou (resp. nedílčí) jednotku je *metodicky* vhodný termín hlavní jednotka, i když tento termín norma bohužel neuvádí. Ve školské praxi se ale osvědčuje (je

větší sílu (o velikosti $F_{G1} + F_{s1}$) než v případě klidu. Siloměr (2) s těžším tělesem klesá rovnoměrně zrychleným pohybem a měří menší sílu (o velikosti $F_{G2} - F_{s2}$) než v případě klidu.

Výpočtem může učitel ukázat, že $F_{G1} + F_{s1} = F_{G2} - F_{s2}$: Vyjádříme-li velikost zrychlení soustavy ve tvaru

$$a = \frac{m_2 g - m_1 g}{m_1 + m_2}, \text{ potom platí pro velikosti setrvačných sil}$$

vztahy

$$F_{s1} = m_1 a = m_1 \frac{(m_2 - m_1) g}{m_1 + m_2},$$

$$F_{s2} = m_2 a = m_2 \frac{(m_2 - m_1) g}{m_1 + m_2}.$$

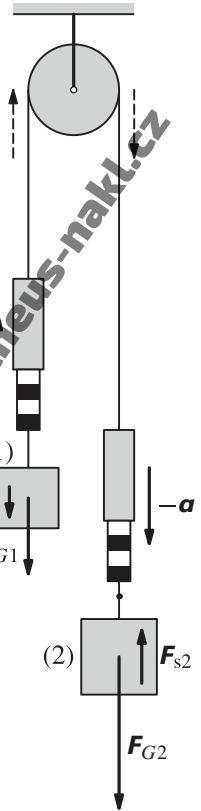
Proto

$$F_{G1} + F_{s1} = m_1 g + \frac{m_1 (m_2 - m_1) g}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g.$$

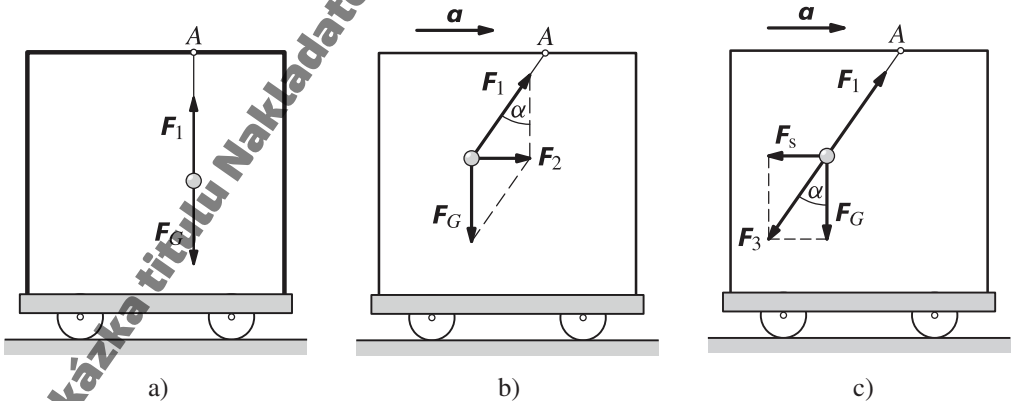
a také

$$F_{G2} - F_{s2} = m_2 g - \frac{m_2 (m_2 - m_1) g}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Pokud má učitel možnost věnovat výkladu setrvačných sil více času, je vhodné řešit úlohu na přímočarý rovnoměrně zrychlený pohyb, při němž setrvačná síla a síla tíhová jsou různoběžné. Lze provést pokus, který je znázorněn na obr. 3.2-6.



Obr. 3.2-5



Obr. 3.2-6

na ni působit **setrvačná odstředivá síla** $F_s = -F_d$ (obě síly se ruší, jejich výslednice je nulová). Protože $F_d = m\omega^2 r$, je také velikost setrvačné odstředivé síly

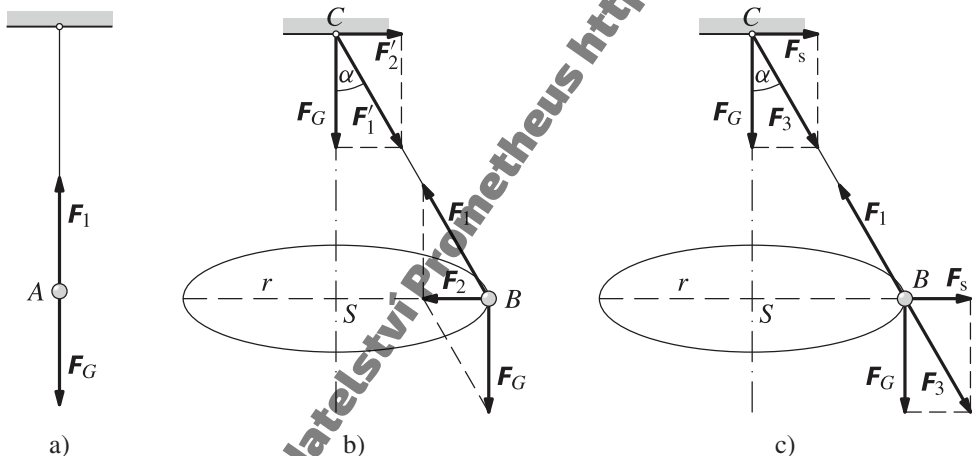
$$F_s = m\omega^2 r$$

a tato síla směřuje od osy otáčení.

K procvičení výše uvedených úvah je vhodné řešit úlohu na rovnoměrný pohyb po kružnici modelovaný pohybem kuličky kuželového kyvadla. Pokud je na vlákně zavěšena kulička hmotnosti m v klidu (obr. 3.2-7a), působí na ni tíhová síla F_G svisle dolů a stejně velká tahová síla F_1 napjaté niti svisle vzhůru. Obě síly jsou v rovnováze.

Když kuličku vychýlíme při napjaté niti z polohy A do polohy B , nit se odkloní od rovnovážné polohy o úhel α . Nárazem kolmým k úsečce SB ve vodorovné rovině udělíme kuličce počáteční rychlost v tak, aby konala rovnoměrný pohyb po kružnici se středem S .

Z hlediska pozorovatele v klidu popíšeme pohyb kuličky následovně: Kdyby kulička byla volná, pohybovala by se po nárazu rovnoměrným přímočarým pohybem ve směru vektoru v a vzdalovala by se od bodu B . Tahová síla závěsu však zakřivuje její trajektorii. V bodě B působí na kuličku tíhová síla F_G svisle dolů a tahová síla napjaté niti F_1 (obr. 3.2-7b).



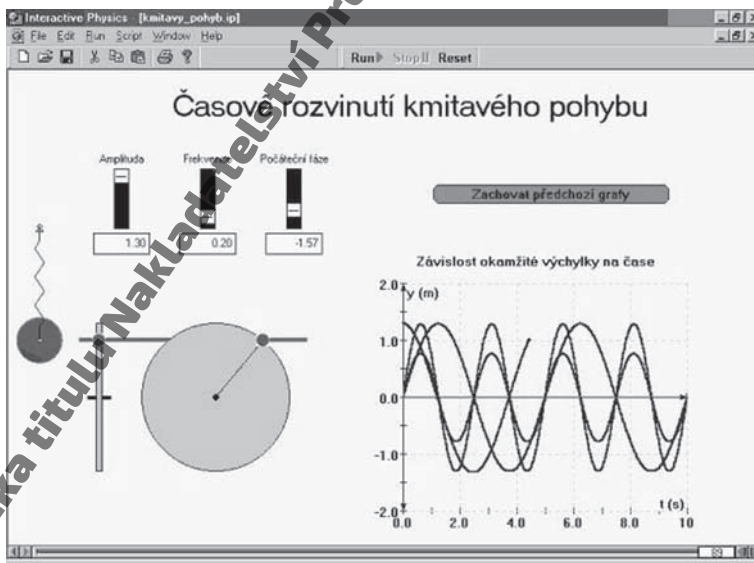
Obr. 3.2-7

Aby kulička vykonávala rovnoměrný pohyb po kružnici ve vodorovné rovině, musí výslednice těchto sil dávat potřebnou odstředivou sílu F_2 vodorovného směru. Velikost síly $F_2 = mv^2/r$. Pro úhel α platí vztah $\text{tg } \alpha = F_2/F_1 = v^2/(gr)$. Tento vztah vyjadřuje nutnou a postačující podmínku pro velikost rychlosti v , aby kulička vykonávala rovnoměrný pohyb po kružnici poloměru r . Kdyby kuličce v bodě B byla udělena rychlost menší, než odpovídá uvedenému vztahu, vrátila by se kulička do rovnovážné polohy. Kdyby naopak byla kuličce udělena rychlost větší v bodě B , konala by kulička pohyb po elipse. Jednotlivé možnosti lze experimentálně ověřit.

Prostřednictvím napjaté niti upevněné v bodě C působí obíhající kulička na závěs silou F_1' , která je reakcí na sílu F_1 .

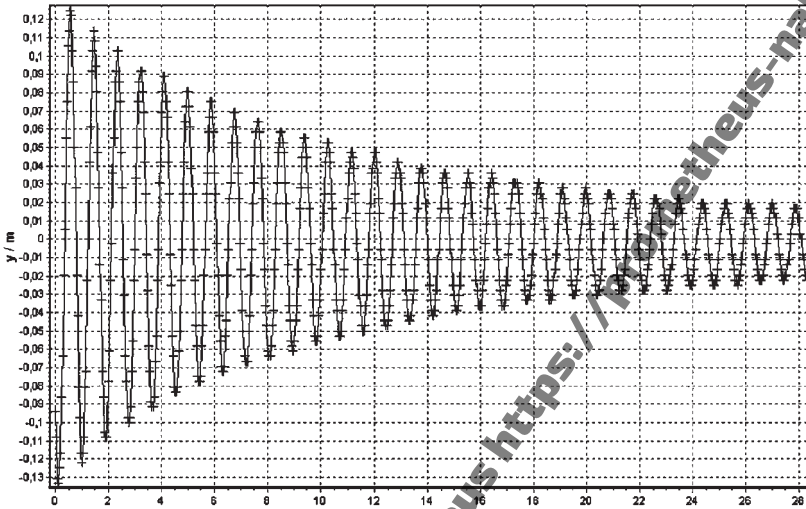
je přichycen feritový magnet. Při kmitavém pohybu magnet zasahuje do dutiny cívky s větším počtem závitů. V cívce se indukuje napětí, které je přivedeno na vstup počítačového systému. Při relativně malé amplitudě kmitů oscilátoru jsou změny magnetického toku cívkou přibližně harmonické a na obrazovce vidíme záznam, který se jen málo liší od sinusového průběhu. V [G3] je na obr. 1.4b (s. 13) výsledek experimentu získaný systémem ISES. Poněvadž záznam obsahuje konkrétní časové údaje, je možné vytvořit počítačový model harmonického kmitání s periodou určenou z grafu a obě křivky porovnat. Pro přesnost je však třeba připomenout, že elektrické napětí indukované v cívce snímače není funkcí polohy magnetu, ale závisí na rychlosti změny magnetického indukčního toku cívkou. Počítačem vytvořený časový diagram je tedy vlastně grafem rychlosti, což je ovšem rovněž důkaz, že kmitavý pohyb je harmonický.

2. Pro praxi nejvhodnější a metodicky nejpropracovanější je postup založený na souvislosti kmitavého pohybu s pohybem rovnoměrným po kružnici (viz [G3], s. 15). Východiskem výkladu je experiment, kterým kmitavý pohyb tělesa demonstrujeme jako průmět pohybu tělesa po kružnici. Odpovídající demonstrace je naznačena v [G3] na obr. 1-6 (s. 16). Její realizace s pružinovým oscilátorem není snadná a je zde chápána spíše jako myšlenkový experiment. Snadněji lze demonstraci realizovat pomocí kyvadla ([S2], s. 17, obr. 1.6.). Na rotující plošině (lze použít např. vyřazený gramofon) je stojánek s kuličkou a vedle plošiny zavěsíme kyvadlo s kuličkou stejných rozměrů na vlákně takové délky, že jeho perioda odpovídá periodě otáčení plošiny (při použití gramofonu je vhodné nastavit frekvenci otáčení 33,3 ot./min, které odpovídá perioda $T \approx 1,8$ s, a tedy délka závěsu $l \approx 0,95$ m). Při demonstraci synchronizujeme pohyb plošiny a kyvadla. Kuličky osvětlíme svazkem rovnoběžných paprsků např. z projektoru. Pohyb stínů kuliček na projekční ploše potvrzuje, že kmitavý pohyb lze získat projekcí pohybu rovnoměrného po kružnici do vhodně zvolené roviny.



Obr. 3.4-2

kmitů zmenšuje ([G3], s. 39, obr. 1-25), ale není patrný exponenciální úbytek amplitudy. Ten můžeme ukázat jiným uspořádáním experimentu, které je však náročnější než jednoduchý experiment uvedený v učebnici. Zajímavé řešení představuje videoanalýza kmitání oscilátoru, při níž je naopak žádoucí, aby amplituda kmitů byla větší (viz [4]). Touto metodou lze získat graf tlumeného kmitání, který je na obr. 3.4-7.



Obr. 3

Ke zobrazení tlumených kmitů můžeme použít i dynamický model tlumeného oscilátoru, na který působí odporová síla o velikosti $F_0 = bv$, kde b je konstanta plynoucí ze Stokesova zákona. Pohybová rovnice tlumeného oscilátoru pak je $ma = -ky - bv$ a rovnice dynamického modelu mají tvar:

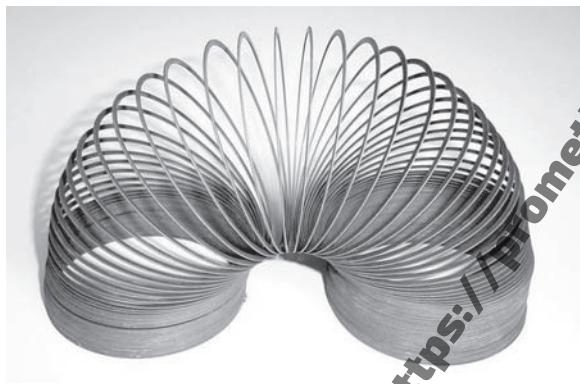
$$\begin{aligned}
 a_i &= -(k/m)y_i - (b/m)v_i \\
 y_{i+1} &= y_i + v_i h \\
 v_{i+1} &= v_i + a_i h \\
 t_{i+1} &= t_i + h
 \end{aligned}$$

Model tlumeného kmitání mechanického vytvořený programem Modeling systému Coach 5 je v kap. 4, obr. 4-5.

V programu EXCEL zapíšeme model pro $\{b/m\} = 0,2$ např. takto:

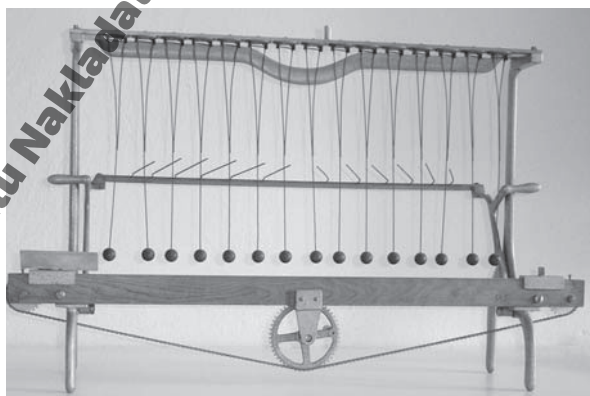
	t	y	a	v	h	k/m	b/m
	A	B	C	D	E	F	G
1	0	1		0	0,01	10	0,2
2	$A1+\$E\1	$B1+D1*\$E\1	$-\$F\$1*B2-\$G\$1*D1$	$D1+C2*\$E\1			
3	$A2+\$E\1	$B2+D2*\$E\1	$-\$F\$1*B3-\$G\$1*D2$	$D2+C3*\$E\1			
...			

řada a vzhledem k tomu, že učivo o mechanickém vlnění v podstatě nemění svoji podobu od jeho vymezení v osnovách střední školy již v 19. století, patří tyto experimenty k tradičním školním pokusům. V podstatě jde o dva experimenty. Prvním experimentem demonstrujeme reálně vznik vlnění ve vhodné pružné soustavě (např. pružná hadice, dlouhá spirála, lana apod.) a druhým základním pokusem je modelová demonstrace pomocí tzv. vlnostroje. Rada námětů na demonstrace mechanického vlnění je v [11] (s. 119 až 129).



Obr. 3.4-11

Z hlediska realizace prvního experimentu je nejvhodnější dlouhá spirála (tzv. slinky, obr. 3.4-11), která umožňuje ukázat nejen vznik a šíření příčné i podélné postupné vlny, ale i další jevy, např. odraz na volném a pevném konci a samozřejmě i stojaté vlnění. Vlnostroje patří k pomůckám s dlouhou historií a nejznámější z nich je Machův vlnostroj (obr. 3.4-12, viz také [11], s. 125). V něm však jde jen o simulaci vlnění, poněvadž není v modelu realizována pružná vazba jednotlivých kyvadel. Reálně vlnění vzniká v Juliově vlnostroji (obr. 3.4-13, viz také [11], s. 127), který je tvořen soustavou torzních kyvadel navzájem sprážených tak, že jsou kyvadla připojena ke dvojici rovnoběžných vláken. Kmitání prvního torzního kyvadla se natočením vláken přenáší na další kyvadlo a řadou kyvadel se šíří vlna.



Obr. 3.4-12

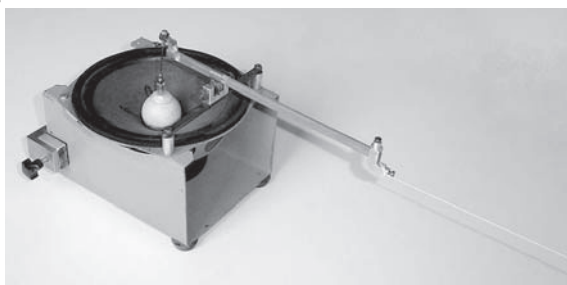
(fáze odraženého vlnění se mění v opačnou) a na volném konci (fáze odraženého vlnění se nemění). Demonstrace tohoto poznatku není tak snadná, jak by se zdálo. Poměrně snadno ukážeme odraz na pevném konci např. tak, že na podlahu položíme lano nebo gumovou hadici a jedním koncem kmitneme. Vlnový impuls se šíří k druhému konci, který je upevněn, a vlivem tření o podlahu se vlna po odrazu zastaví. Z jejího tvaru je patrné, že má opačnou fázi než před odrazem. Obtížněji ukážeme odraz na volném konci. K důkazu se nejlépe hodí dlouhá kovová pružina (slinky), na jejíž konec přivážeme asi 1 m dlouhý provázek, který pevně přidržíme. Přechod mezi pružinou a provázkem má vlastnosti volného konce a při kmitnutí opačným koncem je dobře vidět, že odraz nastal se stejnou fází.

Pro demonstraci stojatého vlnění existuje řada pomůcek a postupů, při nichž se stojaté vlnění zpravidla demonstruje pomocí pružného vlákna, jehož jeden konec je pevný a druhý konec je rozkmitáván vhodným budičem kmitů, který má obvykle konstantní frekvenci. Tím se vzbuzuje chvění vlákna a pozorujeme stojaté vlnění určité vlnové délky. Vlákno však představuje oscilátor s rozestřenými parametry a při určité délce l a mechanickém napětí na něm může vznikat stojaté vlnění i při dalších frekvencích, které jsou celistvými násobky základní frekvence $f = n f_z$.

Vybuzení stojatého vlnění při těchto vyšších harmonických frekvencích vyžaduje, aby bylo možné měnit frekvenci zdroje kmitů. Pro tento účel existují budiče kmitů, jejichž kmitání je řízeno elektronickým generátorem kmitů (obr. 3.4-15). Toto zařízení je však poměrně nákladné a lze ho nahradit svépomocně vyrobeným budičem popsáním v [7], obr. 3.4-16. Jde o upravený reproduktor, který je opatřen mechanickým pákovým převodem kmitů, jenž umožňuje přenos kmitání reproduktoru na pružné gumové vlákno délky přibližně 3 m až 5 m. Zdrojem kmitání je nízkofrekvenční generátor, jehož napětí je zesíleno zesilovačem a přivedeno do reproduktoru. Tímto zařízením potvrdíme, že stojaté vlnění v pružném vlákne má největší amplitudu (rezonance oscilátoru) při frekvencích, které jsou celistvými násobky základní frekvence dané délkou a napětím vlákna.



Obr. 3.4-15



Obr. 3.4-16

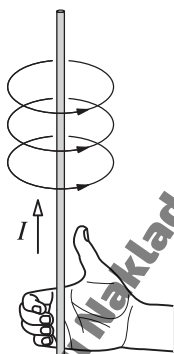
Vlnění v izotropním prostředí. Logickým pokračováním výkladu vlnění v řadě bodů je vlnění v prostoru, které pro názornost redukuje na vlnění v rovině. Jako modelovou představu tohoto děje obvykle využíváme vznik vlnění na vodní hladině. Pro tyto experimenty existuje ještě na řadě škol zdařilá pomůcka WSP 220 (viz [11], s. 148), pomocí níž lze pozorovat vlnové děje na hladině její projekcí obdobně jako u zpětného projektoru. Pomůcka má poměr-

vodiče s proudem od elektrického pole tělesa s nábojem. Zatím co elektrické pole nabitého tělesa popisujeme siločárami vycházejícími z kladně nabitého tělesa a směřujícími k záporně nabitému tělesu (zřídlové pole), je magnetické pole vodiče s proudem popsáno indukčními čarami, které vždy tvoří uzavřené křivky (vírové pole). To svědčí o tom, že v magnetismu neexistuje obdoba elektrického náboje.

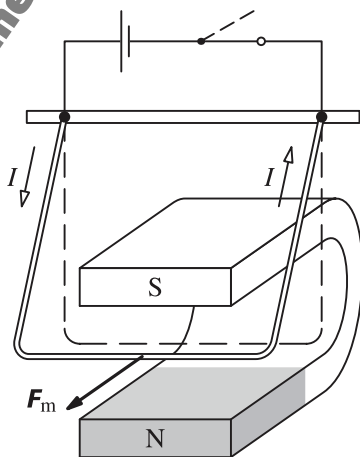
Východiskem výkladu jsou tradiční experimenty, při nichž magnetické pole přímého vodiče identifikujeme pomocí magnetky nebo je „zviditelníme“ pilinovým obrazcem, kterým prokážeme, že magnetické indukční čáry mají tvar soustředných kružnic (viz [G4] obr. 7-4). Pokusy jsou popsány v [1] na s. 164. Poněvadž jsou magnetické indukční čáry uzavřené křivky, není možné určit jejich orientaci tak jednoduchým způsobem, jako tomu bylo u siločar elektrického pole. Proto je zavedeno Ampérovo pravidlo pravé ruky (pro přímý vodič), které ilustruje obr. 3.5-9.

Jádrem výkladu o stacionárním magnetickém poli je jeho působení na vodič s proudem magnetickou silou F_m . Vycházíme z jednoduchého případu magnetické síly, která působí na přímý vodič v homogenním magnetickém poli. Přibližnou realizací této situace je klasický experiment na obr. 3.5-10 (viz [1], s. 161), který by nikdy neměl při výkladu chybět. Za předpokladu, že vodič, kterým prochází elektrický proud, je kolmý k indukčním čarám, je z názoru zřejmé, že magnetická síla bude záviset jak na délce l vodiče zasahujícího do magnetického pole, tak na velikosti I proudu. Konstantou úměrnosti je vztahu pro magnetickou sílu pak bude veličina, která charakterizuje magnetické pole. Tuto novou veličinu označíme B a pro velikost magnetické síly napíšeme vztah

$$F_m = lIl.$$



Obr. 3.5-9



Obr. 3.5-10

Tímto jednoduchým postupem zavedeme magnetickou indukci jako veličinu charakterizující magnetické pole a pro její velikost platí vztah

$$B = \frac{F_m}{Il}.$$



Obr. 3.6-8

K problematice ohybu světla optickou mřížkou ještě připomeňme, že optické mřížky a další difrakční struktury se vyrábějí různými technologiemi, z nichž nejstarší je klasická metoda rytí diamantovým nástrojem do povrchu skla nebo kovové desky, která má již jen speciální využití a je poměrně nákladná. V současné době se využívá optický záznam holografickou metodou, která spočívá v záznamu interferenčního obrazce na povrchu, popř. i ve struktuře světlocitlivého záznamového materiálu (fotografická emulze) pomocí laseru. Strukturu mřížky pak tvoří světlé a tmavé proužky interferenčního obrazce. Další možnost představuje fotografické kopírování masek zhotovených jinou (neoptickou) metodou a také záznam difrakční struktury pohybem světelného paprsku (optická litografie), popř. elektronového paprsku (elektronová litografie), což je obdoba vytváření struktury integrovaných elektronických obvodů.

Vlastnosti optické mřížky na odraz má také povrch kompaktního disku (CD audio, popř. CD ROM). Na 1 mm šířky záznamu připadá 625 drážek, což odpovídá periodě mřížky $b \approx 1,6 \mu\text{m}$. To umožňuje řadu experimentů z vlnové optiky např. s použitím laserového ukazovátka. V učebnici [G5] je CD ve funkci optické mřížky využito k měření vlnové délky světla (Cvičení 4, s. 190). Další experimenty s CD a jednoduchá měření jsou na adrese [20].

3.6.4 Elektromagnetické záření

Závěr optiky je zaměřen na některé obecnější poznatky o elektromagnetickém záření, přesahující rámec optiky jako části fyziky, která se zabývá světlem. Převážná část tohoto učiva je v učebnicích [G5] a [S2] označena jako rozšiřující učivo. Z celkové, poněkud heterogenní struktury této části učiva lze zdůraznit tři dílčí okruhy poznatků:

1. základní poznatky fotometrie,
2. elektromagnetické záření těles,
3. rentgenové záření.