

Intuitivní představy o gravitačním působení

DANA MANDÍKOVÁ

V článkách [1], [2] jsme se zabývali intuitivními (prvotními) představami, které si žáci přinášejí do výuky fyziky. Konkrétně jsme se věnovali chybným představám spojeným se vztahem síly a pohybu. V tomto článku chceme upozornit na některé chybné představy dětí o gravitačním působení a postavení Země ve vesmíru.

Původ zemské gravitace

Zkuste se svých žáků zeptat, kde se bere zemská přitažlivost, s čím ji spojují, nechte je popsat, jak podle nich funguje. Nejspíš zjistíte, že jejich představy jsou velmi různorodé. Dále uvádíme ty, které se při různých průzkumech objevují nejčastěji.

- *gravitace je vázaná na vzduch*

V rámci průzkumu [6] uváděli 11 – 17 letí žáci, že gravitace je něco, co „táhne“, „strká“ nebo „drží“ – to se objevovalo nejčastěji. Souvisí to s častou představou, že gravitace je vázaná na vzduch, který tlačí dolů či na atmosféru, která brání věcem, aby odlétly.

- *gravitace souvisí s rotací Země*

Některé děti se domnívají, že příčinou gravitace je rotace Země. Např.: „Myslím, že gravitace je způsobena rotací Země, protože, jak se Země otáčí, je to jakési přitahování, a proto lidé nebo my nespadneme ze Země ...“ nebo „Myslím, že gravitace je jako když máte míč v košíku a točíte s ním, míč nevypadne, protože ho tam něco drží.“ [6].

- *gravitace souvisí se zemským magnetismem*

Gravitace bývá také spojovaná se zemským magnetismem. Děti mají představu, že Země přitahuje věci a lidi podobně jako magnet. O tom, že představy dětí mohou být velmi propracované, svědčí i následující odpověď, kterou v rámci průzkumu [7] uvedla dívka z páté třídy: „... vzduch obsahuje trochu železa. Země je magnet a přitahuje vzduch. Lidé dýchají vzduch, a proto jsou také přitahováni. Dřevo a další předměty také obsahují železo, protože stromy potřebují vodu a vzduch, tak také obsahují železo. Jsem si téměř jista, že to tak je.“.

- *gravitace je síla působící směrem vzhůru , která nás drží ve svislé poloze*

Většina dětí sice uvádí, že gravitace strká či tlačí směrem dolů (o tom, jak děti chápou směr dolů, se ještě zmíníme), nicméně občas se objeví i výše uvedený názor.

V průzkumu [7] se objevila představa, že gravitace je jen na povrchu Země, protože jinak by se ptáci neudrželi ve vzduchu.

Gravitace a síla

- *gravitace je tendence těles padat dolů, často není považovaná za sílu*

Mnozí žáci považují to, že tělesa padají k Zemi za jejich přirozenou vlastnost, ke které není třeba silového působení.

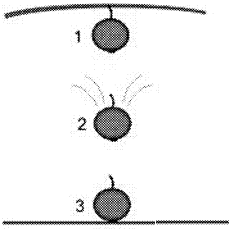
Když se např. zeptáte, zda na volně padající míček působí nějaké síly, odpovídají, že ne, že prostě jen padá. Případně uvádějí, že na něj působí gravitace, kterou ale nespojují se silovým působením.

- *působení gravitace se neuplatňuje ihned po puštění či vržení tělesa, ale až s jistým zpožděním nebo až poté, co přestanou působit jiné síly*

Tato představa se objevuje např. v odpovědích na otázky následujícího typu: „Jaké síly působí na člověka, který se odrazil od země a vyskočil?“, „Jaké síly působí během letu na míček, který jsme vyhodili svisle vzhůru?“. Někteří žáci se domnívají, že během pohybu vzhůru působí na člověka „síla odrazu“, na míček „síla ruky“, ty se postupně zmenšují. V bodě obratu přestanou tyto síly působit a začne působit gravitační síla, díky níž člověk či míček začne padat dolů.

- *po dopadu tělesa gravitace přestane působit*

Tato představa zřejmě souvisí s tím, že někteří žáci si myslí, že když je těleso v klidu, tak na ně nepůsobí žádná síla. Příkladem jsou odpovědi v následující úloze.

Jaké síly působí na jablko na obrázku v situaci 1 – 3?  Obr. 1	Typická odpověď: Situace 1: Nepůsobí žádná síla, jablko v klidu visí. Situace 2: Působí gravitační síla, jablko padá dolů. Situace 3: Nepůsobí žádná síla, jablko v klidu leží na zemi.
---	---

- *gravitace je velmi velká síla, když působí na tolik věcí najednou*

Děti nechápou gravitační působení jako vzájemné působení dvou objektů závislé navíc na hmotnosti obou (viz ještě dále). Země je velká a přitahuje hodně věcí, tak musí mít podle dětí obrovskou sílu.

Gravitace a výška

- *gravitační působení vzrůstá s výškou*

Některé děti se domnívají, že tělesa padají z větší výšky rychleji právě proto, že gravitační síla roste s výškou nad zemským povrchem. Jindy je tato představa důsledkem zaměňování gravitačního působení s potenciální energií. Podle dětí vzrůstá gravitační působení s výškou, ale jen do té doby, než se věci dostanou mimo zemskou atmosféru.

- *gravitační působení s výškou slábne, ale mnohem rychleji než ve skutečnosti*

Řada dětí má sice správnou kvalitativní představu, že gravitační působení Země slábne s rostoucí výškou, ale pokles je podle nich podstatně rychlejší než odpovídá skutečnosti.

Velikost gravitační síly, kterou Země působí na okolní předměty, klesá se čtvercem vzdálenosti od jejího středu. Představte si, že šplháte s desetikilogramovým batohem na zádech na Mt. Everest, tedy do výšky 8 848 metrů nad mořem. Síla, kterou Země batoh přitahuje na jeho vrcholu, by poklesla jen o 0,27 N oproti síle, kterou ho přitahuje na úrovni moře. Kdybyste chtěli, aby tato síla poklesla o 10 N, museli byste šplhat ještě asi dalších 343 km.

- *při pádu se rychlost tělesa zvětšuje díky vzrůstajícímu gravitačnímu působení*

Tato představa souvisí zřejmě s tím, že pro mnoho dětí je ke zrychlenému pohybu potřeba rostoucí síla.

Gravitace a hmotnost

- *těžší tělesa padají rychleji*

Toto je tvrzení, které považuje nejen řada dětí, ale i dospělých za všeobecně platné. Domnívají se, že gravitační síla těžší tělesa více urychluje. Navíc tato představa odpovídá běžné zkušenosti, list se snáší k zemi pomaleji než padající jablko.

To, že ve vzduchu padají různé věci různou rychlostí, má na svědomí působení vzduchu. Známý jednoduchý pokus ukáže, že i těžší list papíru může padat pomaleji než jeho zmačkaný utržený růžek. O tom, jak se bude padající předmět pohybovat rozhoduje výsledná síla, která na něj působí – tedy výslednice gravitační síly, odporové síly vzduchu a vztlakové síly. Odporová síla závisí na tvaru a velikosti předmětu a také na jeho rychlosti (u malých rychlostí narůstá s první, u větších s druhou mocninou rychlosti). Při určité rychlosti pádu dojde k vyrovnání sil a předmět pak už padá stálou rychlostí. U padajícího peříčka či bubliny se síly vyrovnají při menší rychlosti než třeba u padajícího jablka.

Pokud ovšem tělesa padají ve vakuu, uděluje jim gravitační síla stejné zrychlení bez ohledu na jejich hmotnost či tvar a dopadnou stejně. Je-li to možné, měly by děti vidět experiment s vyčerpanou Newtonovou trubicí, ve které padá brok a peříčko, nebo třeba záznam, který pořídili kosmonauti na Měsíci, když nechali padat kladívko a paví pero. Výsledek je pro ně velmi překvapivý a působivý.

- *při vzájemném gravitačním působení dvou těles různé hmotnosti působí těžší těleso větší gravitační silou*

- *gravitační síla, kterou působí těleso, závisí jen na jeho hmotnosti a ne na hmotnosti toho, na co působí*

Zeptáte-li se, jak je to s velikostí gravitačních sil, kterými na sebe působí Země a družice, která ji obléhá, odpoví i většina vysokoškolských studentů, že Země působí na družici větší silou, protože je těžší.

Ještě obtížnější je uvědomit si, že kámen, který padá k Zemi, ji přitahuje stejně velkou silou jako ona kámen. Účinek síly působící na kámen o hmotnosti např. 1 kg je dobře patrný, zatímco u Země, která má hmotnost $6 \cdot 10^{24}$ kg, je účinek stejně velké síly nepozorovatelný. Zrychlení, které udělí kámen Zemi, je $6 \cdot 10^{24}$ krát menší.

Vztah pro velikost gravitační síly, kde vystupuje součin hmotností těles, přitom většina studentů bez potíží odřiká a rozpor s uvedenou představou si ani neuvědomí.

Gravitace a prostředí

- *gravitační působení je závislé na prostředí*
 - *ve vakuu je slabší nebo neexistuje*
 - *ve vodě je slabší, popř. působí směrem vzhůru*

Některé děti se domnívají, že gravitační působení je ovlivňováno prostředím. Můžete to vyzkoušet na následující otázce.

„Závaží visící na pružině dáme pod vývěvu a vyčerpáme vzduch. Změní se nějak délka pružiny?“ K typickým odpovědím patří, že pružina se zkrátí, protože ve vakuu nepůsobí gravitace, popř. je slabší. Nejpersvědčivějším argumentem je ukázat dětem experiment.

Z běžné zkušenosti, že voda „nadlehčuje“, pak děti usuzují, že gravitační působení je ve vodě slabší – „táhne to dolů méně“. Děti si zřejmě neuvědomují, že na předmět působí ve vodě nejen gravitační síla, ale i vztlaková síla a při pohybu ještě odporová síla prostředí a pohyb je dán jejich výslednicí. Některé děti si dokonce myslí, že gravitace působí ve vodě směrem vzhůru. V tomto případě nejspíše zaměňují vztlakovou sílu za gravitační.

Gravitace ve vesmíru

- *gravitační působení je jen záležitostí Země, ve vesmíru gravitace neexistuje*

Představa souvisí s tím, že děti silně spojují gravitaci se vzduchem. Ve vzduchoprázdnu se pak gravitace nemůže uplatňovat.

- *kosmonauti jsou v beztížném stavu, protože jsou mimo gravitační působení Země*

Toto bývá jedno z nejčastějších vysvětlení nejen mezi dětmi ale i dospělými. Jako reakci můžete položit otázku, proč potom družice či kosmická loď krouží kolem Země a neodletí někam pryč. Na oběžné dráze ji udržuje právě gravitační síla, kterou ji Země přitahuje.

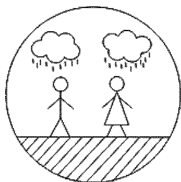
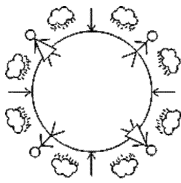
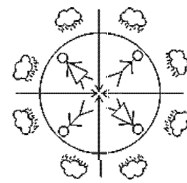
Je dobré dětem předvést, že beztížný stav existuje i na Zemi. Můžeme je nechat sledovat, co se stane, když vezmeme do ruky závaží zavěšené na gumě či pružině a seskočíme s ním se stolu. Případně je můžeme vyzvat, aby si na dlaň natažené ruky položily pár učebnic a seskočily s nimi ze židle. V případě závaží se během letu guma (pružina) stáhne, protože za ni závaží přestane tahat – padá dolů stejně jako guma (pružina). Podobně přestanou knihy během letu tlačit na dlaň. A v kosmické lodi je to také tak. Stav beztíže je způsoben tím, že loď, kosmonauti i všechno ostatní v kabině jsou v neustálém pádu.

Postavení Země ve vesmíru

Představy dětí o Zemi jako vesmírném tělese, o jejím tvaru, o tom, jak po ní lidé vlastně chodí, o tom, co je to nahoru a dolů se s věkem postupně mění. Několik průzkumů sledovalo tento vývoj u dětí z nejrůznějších zemí z různých končin světa. Ukazuje se, že děti procházejí v zásadě obdobnými stádii vývoje bez ohledu na kulturní zázemí, ve kterém vyrůstají.

Představy dětí a jejich vývoj s věkem zachycuje následující obrázek (podle [8]).

Věk	7 – 9 let
Země je placatá Absolutní chápání směru dolů Omezený prostor	 Obr. 2a Obr. 2b Obr. 2c Ostrov uprostřed moře

Věk	9 – 12 let	12 – 14 let	
Země je kulatá Absolutní chápání směru dolů Prostor může být omezený nebo ne	 Obr. 2d Lidé žijí uvnitř.	 Obr. 2e Lidé žijí na povrchu na horní polokouli.	 Obr. 2f Lidé žijí na celém povrchu.
Věk	14 let a dále		
Země je kulatá Směr dolů vztahen k Zemi Zemi obklopuje obloha	 Obr. 2g Dolů směrem k povrchu Země.	 Obr. 2h Dolů směrem do středu Země.	

Den a noc

Několik průzkumů se věnovalo představám dětí o tom, proč se střídá den a noc. Vývoj představ lze rozdělit do čtyř následujících skupin.

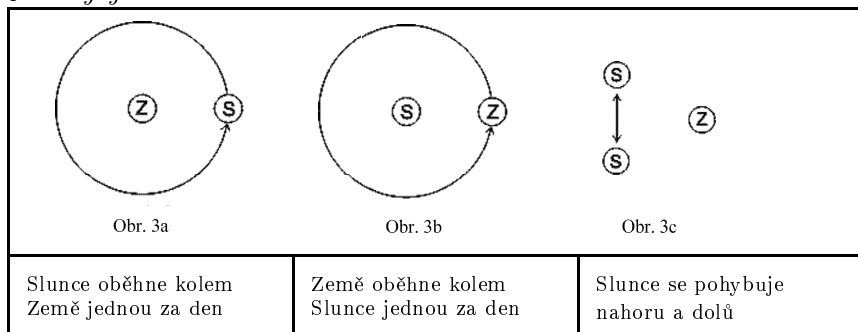
1. Živé Slunce

Mnoho malých dětí považuje Slunce za živý objekt. Slunce podle nich „jde večer spát“, „vypne se“, „odejde“, „schová se za stromy“, „zajde za hory“.

2. Zakryté Slunce

Do další skupiny patří představy o tom, že Slunce něco zakryje. Zakrýt ho mohou mraky, Měsíc nebo noc či tma.

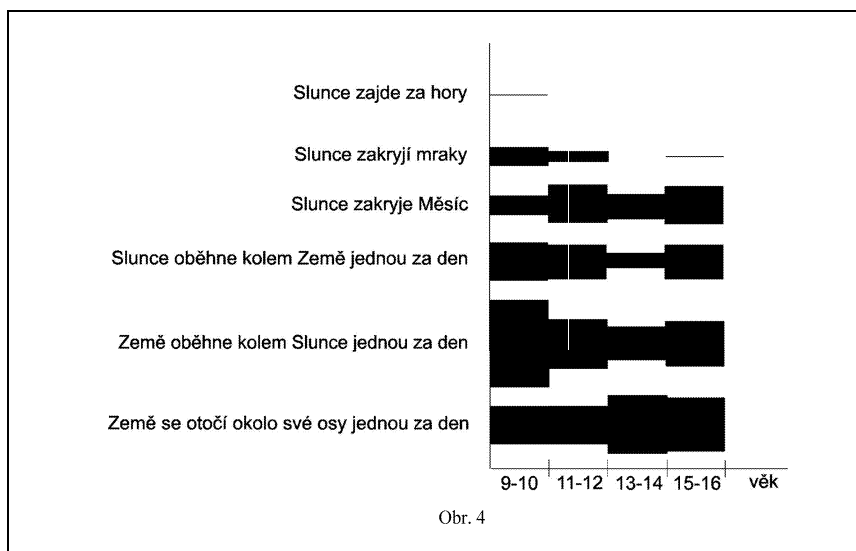
3. Pohyby a obíhání Slunce a Země



4. Rotace Země

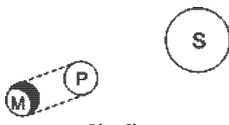
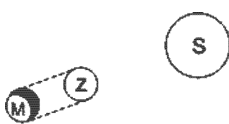
Správná fyzikální představa o střídání dne a noci díky rotaci Země kolem vlastní osy.

Následující obrázek 4 zachycuje zastoupení některých z výše uvedených představ v různých věkových kategoriích dětí, tak jak bylo zjištěno v rámci průzkumu [9].

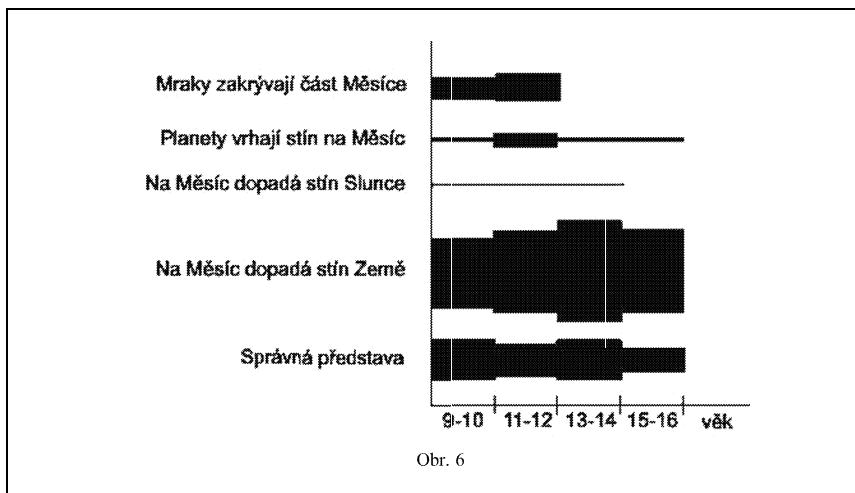


Fáze Měsíce

Průzkumu [9] odhalil pět následujících představ dětí o příčinách měsíčních fází.

1. <i>Mraky zakrývají část Měsíce.</i>	 Obr. 5a
2. <i>Planety vrhají stín na Měsíc.</i>	 Obr. 5b
3. <i>Na Měsíc dopadá stín Slunce.</i>	 Obr. 5c
4. <i>Na Měsíc dopadá stín Země.</i>	 Obr. 5d
5. Správná představa. Fáze Měsíce vysvětlují tím, jaká část viditelné strany Měsíce je osvětlená. Míra osvětlení závisí na vzájemné poloze Slunce, Země a Měsíce.	 Obr. 5e

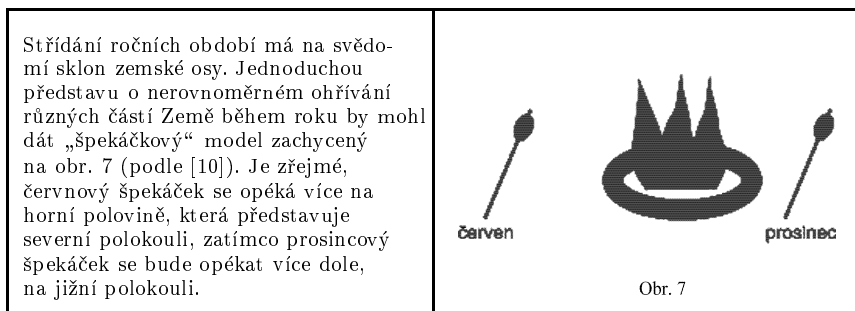
Zastoupení výše uvedených představ v různých věkových kategoriích dětí zjištěné v rámci průzkumu [9] ukazuje následující obrázek.



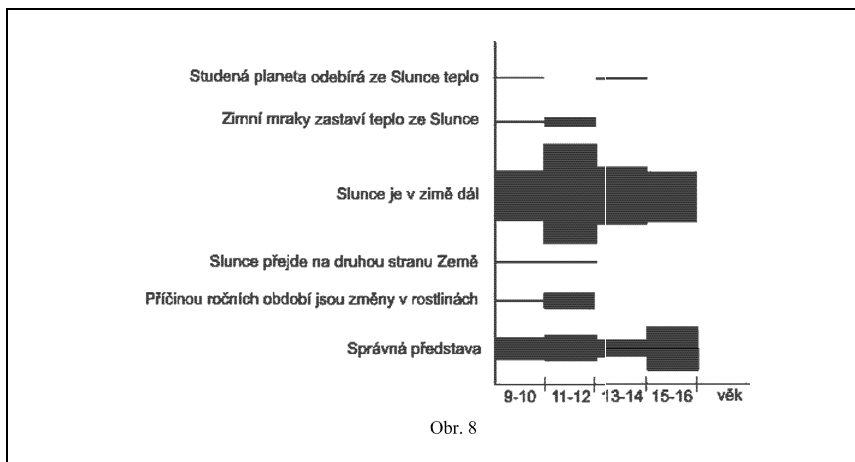
Roční období

- *roční období se střídají díky různé vzdálenosti Země od Slunce, v zimě je dále, v létě blíže*

Tato představa bývá silně zažitá nejen u dětí, ale i u řady dospělých. Bohužel je toto zdánlivě logické vysvětlení nepravdivé. Pro nás, obyvatele severní polokoule, je to právě naopak. V létě jsme od Slunce nejdále. Kdyby změny ročních období způsobovalo přibližování a vzdalování Země od Slunce, muselo by být léto i zima současně na obou polokoulích. Ve skutečnosti je na jižní polokouli zima, když je u nás léto, a naopak.



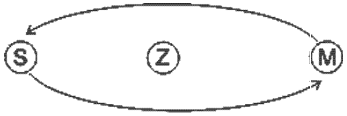
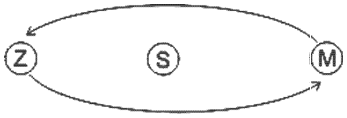
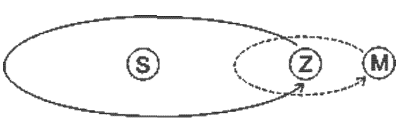
Dětem bude možná vrtat hlavou, zda se na Zemi během roku nějak projevuje měnící se vzdálenost od Slunce. Vždyť když je Země blíže, mělo by být tepleji. Když je Země v přísluní, přijme od Slunce během dne opravdu o něco více energie, než když je v odsluní (asi o 7 %). To se projevuje tím, že na severní polokouli jsou mírnější zimy a méně teplá léta. Na střídání ročních období má ale rozhodující vliv sklon zemské osy. Některé další představy dětí o střídání ročních období zjištěné v průzkumu [9] a jejich zastoupení v různých věkových kategoriích zachycuje další obrázek 8.



Slunce, Země a Měsíc

Děti mají také nejrůznější představy o tom, jak se ve vesmíru vzájemně pohybují Slunce, Země a Měsíc. Pět modelů, které zjistil průzkum [11], je na obr. 9.

Model 1: <i>Středem je nehybná Země.</i>	Obr. 9a
Model 2: <i>Středem je rotující Země.</i>	Obr. 9b

Model 3: <i>Středem je Země okolo níž obíhá Slunce a/nebo Měsíc.</i>	 Obr. 9c
Model 4: <i>Středem je Slunce okolo něhož obíhá Země a/nebo Měsíc.</i>	 Obr. 9d
Model 5 – fyzikálně správný: <i>Středem je Slunce okolo něhož obíhá Země a okolo ní obíhá Měsíc.</i>	 Obr. 9e

Řadu zkreslených představ mívají žáci a studenti také o relativních velikostech a vzdálenostech Slunce, Země a Měsíce.

Obrázky 4, 6 a 8 zachycují, jak se mění zastoupení různých představ dětí s věkem. Některé z nich po dočasném útlumu opět získávají na oblibě a děti se k nim zřejmě vrací. Bylo by zajímavé provést podobný průzkum i u našich žáků a zjistit, nakolik jejich představy ovlivňuje školní výuka.

L i t e r a t u r a

- [1] Mandíková, D.: Intuitivní představy o pohybu a síle I. MFI, roč. 15, 2006, č. 9, s. 539.
- [2] Mandíková, D.: Intuitivní představy o pohybu a síle II. MFI, roč. 15, 2006, č. 10, s. 598.
- [3] Mandíková, D.: Intuitivní představy o pohybu a síle. Disertační práce. Praha, MFF UK 1990.
- [4] Mandíková, D.: Intuitivní představy ve fyzice. MFI, roč. 3, 1993, č. 2.
- [5] Nachtigall, D.: Vorstellungen im Bereich der Mechanik. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie, 34, 1986, č. 13.
- [6] Stead, K., Osborne, R.: What is gravity? Some Children's Ideas. N.Z. Science Teacher. 30, 1981, s. 5–12.

- [7] *Nachtigall, D.*: Vorstellungen von Fünftklassers über den freien Fall. Rukopis, Dortmund, 1981.
- [8] *Driver, R., Squires, A., Rushford, P., Wood-Robinson, V.*: Making Sense of Secondary Science. Routledge Falmer, New York, 2003.
- [9] *Baxter, J.*: Children's understanding of familiar astronomical events. International Journal of Science Education 11 (Special Issue), 1989, s. 502 – 513.
- [10] *Rojko, M.*: Omyly, ktoré ovládly svet. PCVPP, Praha 1993.
- [11] *Jones, B.L., Lunch, P.P., Reesink, C.*: Children's conception of the Earth, Sun and Moon. International Journal of Science Education 9 (1), 1987, s. 43 – 53.

Meranie veľkých odporov pomocou prechodového deja v obvode RC

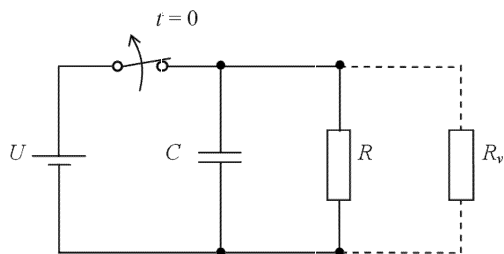
IGOR ŠTUBŇA

Fakulta prírodných vied UKF, Nitra, SLOVENSKO

Prechodové deje v jednoduchých obvodoch skladajúcich sa zo zdroja jednosmerného napätia, kondenzátora, rezistora a vypínača sú asi v každej učebnici fyziky a elektrotechniky, ak je v nej kapitola o časovo premenných prúdoch, napr. [1, 2, 3, 4]. Z tohto dôvodu uvidíme len výsledné vzťahy. Z nich, ak sú experimentálne zistené závislosti napätia na kondenzátore od času, je možné vypočítať neznámy odpor, ak poznáme kapacitu kondenzátora. V tomto príspevku preberieme postup, ak nie je známy vnútorný odpor voltmetra a kondenzátor má zvodový odpor.

1 Vybíjanie kondenzátora cez rezistor

Vezmime si elektrickú sieť, v ktorej bude zdroj jednosmerného napätia U , vypínač, kondenzátor s kapacitou C a rezistor s odporom R podľa obr. 1 (odpor voltmetra považujeme za nekonečne veľký). V čase $t = 0$ odpojíme zdroj. Ostane len do série zapojený kondenzátor s rezistorom a nastane vybíjanie kondenzátora cez rezistor.



Obr. 1 Schéma pre vybíjanie kondenzátora cez rezistor

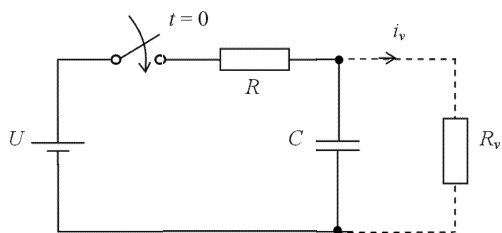
Pre počiatočnú podmienku $q(0) = CU$ napätie na kondenzátore bude

$$u_C = \frac{q}{C} = U \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \quad (1)$$

Graf časovej závislosti napätia na kondenzátore je na obr. 3.

2 Nabíjanie kondenzátora

V elektrickom obvode pozostávajúcom zo zdroja, vypínača, rezistora s odporom R a kondenzátora s kapacitou C (všetky prvky sú zapojené sériovo, obr. 2; odpor voltmetra považujeme za nekonečne veľký) v čase $t = 0$ zapneme vypínač.



Obr. 2 Schéma pre nabíjanie kondenzátora cez rezistor

Pre počiatočnú podmienku $q(0) = 0$ je okamžité napätie na kondenzátore

$$u_C = U \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right]. \quad (2)$$

Graf závislosti napätia u_C od času je na obr. 4.

Prechodové deje v týchto obvodoch RC , ktoré prebiehajú počas vybíjania, alebo nabíjania kondenzátora sú vďačným objektom laboratórnych prác z fyziky a elektrotechniky [5]. Pri vhodnom výbere hodnôt odporu a kapacity ($R > 3 \text{ M}\Omega$, $C > 10 \text{ }\mu\text{F}$) sú tieto javy dosť pomalé na to, aby sa dali zachytiť pomocou odčítania hodnôt zo stopiek a voltmetra. Na tento účel je potrebný elektrolytický kondenzátor a voltmeter s vysokým vstupným odporom. Nie vždy je takýto voltmeter k dispozícii v školskom laboratóriu. Tento nedostatok je možné obísť napr. aj pomocou malého lacného číslicového multimetra (napr. MASTECH). Ukážeme tento postup na príklade merania odporu R , ak je známa kapacita C (alebo merania kapacity C ak je známy odpor rezistora R). Keďže spomenuté multimetre majú hornú hranicu merania odporov $3,3 \text{ M}\Omega$ a nepoznáme ich vstupný odpor, musíme pri meraní veľkých odporov použiť iný postup. Ďalej sa zameriame na meranie odporov.

3 Meranie odporu pomocou vybíjania kondenzátora

Meranie sa rozdelí na dva kroky [6]. V prvom sa do schémy na obr. 1 zapojí len kondenzátor a číslicový voltmeter. Môžeme použiť vzťah (1), avšak teraz, v praktickom meraní máme paralelné zapojenie zvodového odporu kondenzátora R_K a vstupného odporu voltmetra R_V . Odpor tohto zapojenia označíme R_{KV} . To znamená, že technický kondenzátor predstavujeme v paralelnej náhrade z ideálneho kondenzátora s kapacitou C a rezistora s odporom R_K , cez ktorý prechádza zvodový prúd. U elektrolytického kondenzátora tento odpor nemôžeme zanedbať.

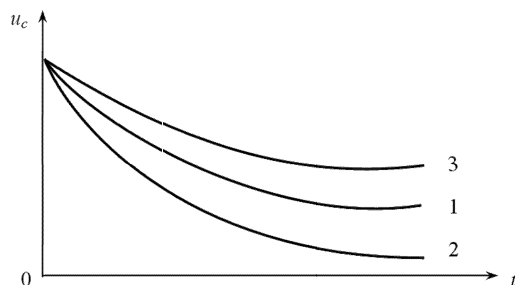
Kondenzátor nabijeme a vypneme vypínač. Od tohoto okamihu budeme merať závislosť napätia u_C od času. Podľa vzťahu (1) bude

$$u_C = U \exp(-t/R_{KV}C), \quad \text{alebo} \quad \ln u_C = \ln U - \frac{t}{R_{KV}C}. \quad (3)$$

V druhom kroku pripojíme paralelne ku kondenzátoru a voltmetru neznámy rezistor R_x . Postup zopakujeme a získame novú závislosť

$$u_C = U \exp(-t/R_C C), \quad \text{alebo} \quad \ln u_C = \ln U - \frac{t}{RC},$$

$$\text{kde} \quad R = \frac{R_{KV}R_x}{R_{KV} + R_x}. \quad (4)$$



Obr. 3 Závislosť $u_C(t)$. 1 – s odporom R_{KV} , 2 – s odpormi R_K , R_V a R_x , 3 – s ideálnym voltmetrom a ideálnym kondenzátorom

Hodnoty odporov R a R_{KV} zistíme zo smerníc priamok $\ln u_C$ od času nakreslených podľa (3) a (4). Na obr. 3 sú závislosti $u_C(t)$ namerané „ideálnym voltmetrom“, skutočným voltmetrom bez neznámeho rezistora a so skutočným voltmetrom a neznámym rezistorom. Krivka 1 zodpovedá vybíjaniu cez vstupný odpor voltmetra R_V a zvodový odpor kondenzátora R_K , krivka 2 zodpovedá vybíjaniu cez R_V , R_K a neznámy rezistor R_x .

4 Meranie odporu pomocou nabíjania kondenzátora

V tomto prípade sa musí požiť schéma s pripojeným voltmetrom, ktorý na obr. 2 predstavuje rezistor R_V . Tiež musíme vziať do úvahy zvodový odpor kondenzátora. Tieto odpory nahradíme odporom R_{KV} . Kirchhoffove zákony pre túto schému sú

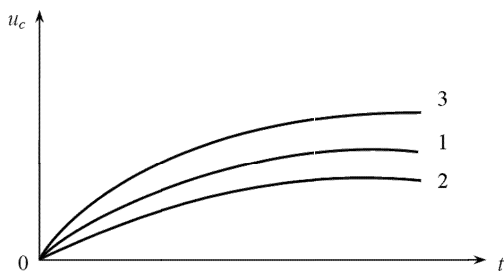
$$i - i_C - i_V = 0, \quad R_x i + \frac{q}{C} - U = 0, \quad \frac{q}{C} - R_{KV} i_V. \quad (5)$$

Z tejto sústavy rovníc a z počiatočnej podmienky $q(0) = 0$ dostaneme napätie na kondenzátore

$$u_C = \frac{R_{KV} U}{R_x + R_{KV}} \left[1 - \exp \left(-\frac{R_x + R_{KV}}{R_{KV} R_x C} \right) \right]. \quad (6)$$

Tento prípad zahrnutia vplyvu vstupného odporu voltmetra, ale bez uvažovania zvodového odporu kondenzátora, je riešený v [7]. Vplyv voltmetra sa prejavuje tak, že kondenzátor sa nabíja pomalšie, pretože popri nabíjaní prebieha zároveň aj jeho vybíjanie cez R_V . V rovnici (6) máme dve

neznáme veličiny: R_x a R_{KV} . Musíme urobiť zásah do schémy a vykonať ďalšie meranie, ktoré by nám pomohlo vylúčiť R_{KV} . V tomto prípade je to možné len nahradením rezistora R_x iným rezistorom so známym odporom R_N . Získame závislosť rovnakého typu ako (6) s tým rozdielom, že miesto R_x v nej bude R_N . Ďalší postup je nasledujúci: rovnice zlogaritmujeme a z priamkových závislostí $\ln u_C(t)$ zistíme hodnoty ich smerníc s_{xi} a s_N . Potom z rovnice vypočítame R_{KV} a dosadíme do rovnice, odkiaľ už môžeme vypočítať R_x . Z uvedených dvoch meraní získame grafy na obr. 4. V tomto prípade sa prejaví vplyv odporu voltmetra pomalším nabíjaním kondenzátora oproti závislosti 3, ktorá je nakreslená pre meranie napätia u_C ideálnym voltmetrom.



Obr. 4 Závislosť $u_C(t)$. 1 – s odporom R_x , 2 – s odporom R_N , 3 – s ideálnym voltmetrom a ideálnym kondenzátorom

5 Meranie napätia ideálnym voltmetrom

Pod ideálnym meracím prístrojom si predstavujeme prístroj, ktorý by neovplyvňoval meraný objekt. Ak zaradíme ideálny voltmeter (alebo ampérmeter) do elektrickej siete, sieť by sa nemala tým nijako pozmeniť. U voltmetra preto požadujeme, aby jeho vnútorný odpor $R_v = \infty$. V tomto prípade by neodoberal voltmeter nijaký prúd. Niektorí študenti si myslia, že nejestvovanie ideálneho voltmetra je zapríčinené len technickou nemožnosťou takýto prístroj vyrobiť. Iní si spomenú, že elektrostatický voltmeter má takýto veľký odpor, ktorý je daný odporom izolácie, a preto by mohol byť ideálnym voltmetrom.

Požadovanie ideálnosti u voltmetra je rovnocenné požadovaniu vykonať prácu bez dodania energie. Aby sme získali od prístroja informáciu, musí byť táto podaná v zrozumiteľnej človeku forme, napr. ako výchylka ručičky, číselný údaj na displeji, svetelná čiara na osciloskope. Aby sa vychý-

lila ručička analógového voltmetra, treba magnetickej sile vykonať prácu v magnetoelektrickom systéme prístroja. Energiu na túto prácu prístroj vezme v konečnom dôsledku zo zdroja napätia, ktorým je napájaná sieť. Aby mohol tiecť cez prístroj prúd I a vyvolať mechanický otáčavý moment $M = KI$ (K je konštanta daná konštrukciou prístroja), nemôže byť odpor voltmetra nekonečne veľký. Reálne sa môžeme snažiť len o maximálne zníženie prúdu potrebného na činnosť voltmetra. Dá sa to dosiahnuť v elektronických voltmetroch, ktoré zosilnia malý vstupný prúd na potrebnú hodnotu pre výstupný prístroj, alebo displej. Energia potrebná na toto zosilnenie sa čerpá zo sieťového zdroja prístroja a nie z meranej siete. Malý vstupný prúd v týchto voltmetroch zaisťuje vstupný rezistor s veľkým odporom (v špeciálnych prístrojoch až $10^{12} \Omega$). Energia odoberaná zo siete ide v tomto prípade na uvedenie elektrónov do pohybu vo vstupnom rezistore. V oboch druhoch voltmetroch sa odčerpáva zo siete aj energia na pokrytie strát (tepelných a strát trením v ručičkovom prístroji a tepelných vo vstupnom rezistore). Takže prichádzame k tomu, že ideálny voltmeter by nám nič neukazoval, lebo by do neho nevstupovala nijaká energia, ktorá by mohla byť prevedená na informáciu o napätí na jeho svorkách. Vyjadrujúc sa cez vstupný výkon prístroja, mali by sme $P = U \cdot 0 = 0$. Z tohoto tiež vyplýva, že voltmeter nevyhnutne musí ovplyvniť konfiguráciu meranej siete, a to paralelným pripojením jeho odporu R_v k meranému objektu (na obr. 1 a 2 je týmto objektom kondenzátor).

Ako je to s elektrostatickým voltmetrom? Jeho konštrukcia predstavuje kondenzátor s jednou elektródou pevnou a druhou pohyblivou. Pripojením elektrostatického voltmetra k objektu v sieti sa jeho kondenzátor nabije, medzi elektródami začne pôsobiť príťažlivá elektrická sila, ktorá vychýli pohyblivú elektródu. Tento pohyb je nejakým mechanizmom prevedený na pohyb ručičky. Takže aj v tomto prípade sa musela z meranej siete čerpať energia, aby elektrická sila v prístroji mohla vykonať prácu na vychýlenie ručičky. Tento prístroj takisto mení konfiguráciu siete, prejaví sa ako kondenzátor, ktorý je paralelne pripojený k meranému objektu. Pokiaľ sa jeho výchylka neustáli, je to kondenzátor s premennou kapacitou.

Podobná úvaha platí aj pre ideálny ampérmeter. U neho požadujeme nulový odpor, vyjadrujúc sa cez vstupný výkon prístroja, by tento bol $P = I \cdot 0 = 0$. Aj v tomto prípade by do prístroja nevstupovala nijaká energia, ktorá by mohla byť prevedená na informáciu o prúde cez neho pretekajúcom.

Literatura

- [1] *Purcell, E. M.*: Electricity and Magnetism (Berkeley Physics Course), Nauka, Moskva 1983 (ruský překlad).
- [2] *Horák, Z. – Krupka, F.*: Fyzika pro vysoké školy technického smeru. SNTL/ALFA, Praha, 1981.
- [3] *Vybíral, B.*: Teorie elektromagnetického pole. Pedag. Fakulta, Hradec Králové 1984.
- [4] *Lorrain, P. – Corson, D.*: Electromagnetism: Principles and Applications. W. H. Freeman & Co., San Francisco 1970.
- [5] *Wood, H.*: The RC circuit – a multipurpose laboratory experiment. The Physics Teacher, 31, 1993, No 6, p. 372-373.
- [6] *Štubňa, I.*: Meranie veľkých odporov bežnými prístrojmi. In: Zb. konf. Modernizace vysokoškolské výuky technických předmětů, Hradec Králové 2000, s. 215-216.
- [7] *Priest, J.*: Meter Resistance: Don't forget It! The Physics Teacher, 41, 2003, No 1, p. 40-41.

(Dokončení ze s. 128.)

Sjezd schválil předložené návrhy na udělení vyznamenání JČMF za práci pro Jednotu a pro rozvoj matematiky a fyziky a udělil 15 vyznamenání Čestný člen JČMF, 21 vyznamenání Zasloužilý člen JČMF, 31 vyznamenání JČMF za pedagogickou činnost a 38 čestných uznání JČMF. Čestnými členy se stali: *Jindřich Bečvář* (Praha), *Jiří Cihlář* (Ústí nad Labem), *Eduard Fuchs* (Brno), *Libuše Hozová* (Opava), *Dag Hrubý* (Brno), *František Janeček* (Pardubice), *Josef Kubát* (Pardubice), *Miluše Lachmannová* (Praha), *Vladimír Malíšek* (Olomouc), *Josef Polák* (Plzeň), *Emanuel Svoboda* (Praha), *František Špůlák* (České Budějovice), *Jiří Váňa* (Ostrava), *Bohumil Vybíral* (Hradec Králové) a *Petr Wyslych* (Ostrava).

Závěrečným sjezdovým dokumentem je Program činnosti JČMF v období 2006 – 2010, který vymezuje aktivity Jednoty v oblasti vědecké a pedagogické práce, v oblasti vnitřní činnosti Jednoty a její

propagace a při spolupráci s dalšími organizacemi. Všechny dokumenty sjezdu jsou dostupné na webovém stránce JČMF (www.jcmf.cz), popř. na zvláštní stránce sjezdu (http://katmatprf.ujepurkyne.com/KMA_jcmfsjezd.asp), kde je i obsáhlá fotodokumentace.

Tradiční součástí sjezdových jednání jsou odborné přednášky. Na letošním sjezdu je přednesli *prof. RNDr. Petr Vopěnka, DrSc.* (Vzdělání, operabilita a matematika) a *RNDr. Anna Macková, Ph.D.* (Nové možnosti analýzy a syntézy materiálů v laboratoři Tandetronu v ÚJF AV ČR).

Závěrem lze konstatovat, že na úspěšném průběhu sjezdu má velkou zásluhu místní organizační výbor v čele s *doc. RNDr. Dušanem Novotným, CSc.*, který připravil delegátům sjezdu nejen výborné pracovní podmínky, ale poskytl prostor i pro přátelská setkání a neformální výměnu zkušeností.

Oldřich Lepil