



Středoškolská technika 2019

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

ELEKTROMOTOR VE FYZIKÁLNÍCH POKUSECH

Václav Riss

Doctrina – Podještědské gymnázium, s.r.o., Sokolovská 328, 460 14, Liberec 14

Anotace

Maturitní práce se zabývá využitím stejnosměrného elektromotoru ve fyzikálních pokusech a tyto pokusy popisuje. Fyzikální pokusy demonstrují fyzikální zákony a jevy, které jsou součástí výuky fyziky na osmiletých gymnáziích. V první části práce je popsán stejnosměrný elektromotor a vybrané fyzikální jevy. V druhé části je popsáno provedení fyzikálních pokusů v praxi. K popisům výroby jednotlivých modelů jsou přiloženy obrázky modelů.

Klíčová slova: Maturitní práce, fyzikální pokus, stejnosměrný elektromotor, demonstrace fyzikálních zákonů a jevů

Annotation

The maturita project deals with the use of a dynamic current electric motor in physical experiments and describes them. Physical experiments demonstrate many disciplines of physics taught in a grammar school. These experiments serve teachers to describe physical phenomena and laws. In the first part, there is described dynamic current electric motor and physical phenomena. In the second part, there are described a performances of the experiments. Descriptions of creating models contain photos of experiments.

Key words: Maturita project, physical experiment, DC motor, demonstration of physical laws and phenomena

Obsah

Úvod.....	6
1 Teoretická část	7
1.1 Stejnoseměrný elektromotor.....	7
1.1.1 Stavba.....	7
1.1.2 Princip	7
1.1.3 Využití.....	7
1.1.4 Typy elektromotorů	8
1.2 Vrtule	10
1.2.1 Princip	10
1.2.2 Typy a užití	10
1.2.3 Historie.....	11
1.3 Vibrační elektromotory.....	12
1.3.1 Typy a využití	12
1.3.2 Pohyb vibrujícího tělesa.....	12
1.4 Mechanické převody.....	13
1.4.1 Princip	13
1.4.2 Převodový poměr	13
1.4.3 Moment síly (krouticí moment)	14
1.4.4 Otáčení se zátěží.....	14
1.5 Setrvačnost oka.....	15
1.5.1 Míchání barev	15
1.6 Odstředivá síla	16
1.6.1 Inerciální vztažná soustava	16
1.6.2 Neinerciální vztažná soustava.....	16
1.7 Gyroskop	17
1.7.1 Zachování směru rotace	17

2	Praktická část	18
2.1	Elektromotor	18
2.1.1	Výroba.....	18
2.1.2	Využití ve výuce	19
2.2	Hračka poháněná vrtulí.....	20
2.2.1	Výroba.....	20
2.2.2	Využití ve výuce	21
2.3	Archimédův šroub	22
2.3.1	Výroba.....	22
2.3.2	Využití ve výuce	23
2.4	Vibrobot.....	24
2.4.1	Výroba.....	24
2.4.2	Využití ve výuce	25
2.5	Převodovka	26
2.5.1	Výroba.....	26
2.5.2	Využití ve výuce	27
2.6	Podstava s elektromotorem.....	28
2.6.1	Výroba.....	28
2.7	Newtonovo kolo	29
2.7.1	Výroba.....	29
2.7.2	Využití ve výuce	29
2.8	Fenakistiskop	30
2.8.1	Výroba.....	30
2.8.2	Využití ve výuce	31
2.9	Míčky v kapsli	32
2.9.1	Výroba.....	32
2.9.2	Využití ve výuce	32

2.10	Gyroskop	33
2.10.1	Výroba	33
2.10.2	Využití ve výuce	33
2.11	Papírová kotoučová pila	34
2.11.1	Výroba	34
2.11.2	Využití ve výuce	35
	Závěr	36
	Zdroje	37
	Přílohy	39

Úvod

V dnešní době je pro pedagoga čím dál těžší získat pozornost žáků při výuce, zejména při hodinách fyziky. Teorie je obsáhlá a k jejímu pochopení je třeba znalost matematiky. Pedagogové hledají nejlepší způsob, jak upoutat studenty a zdá se, že velmi účinným prostředkem jsou praktické experimenty, které si žáci mohou „osahat“.

Tato práce má sloužit pedagogovi jako pomůcka k přípravě experimentů, které se mohou provádět při hodině. Protože žáky často upoutává pohyb, je do všech fyzikálních pokusů začleněn elektromotor, který pokaždé s jistou částí zařízení pohybuje.

1 Teoretická část

1.1 Stejnoseměrný elektromotor

Stejnoseměrný elektromotor je točivý stroj, který dokáže energii stejnosměrného elektrického proudu přeměnit na mechanickou energii. Elektromotor využívá magnetických sil působících v magnetickém poli na vodič, kterým protéká stejnosměrný proud.

1.1.1 Stavba

Elektromotor se skládá z rotoru a statoru (obr. č. 25). Stator je nepohyblivá část motoru, která vytváří magnetické pole. Na statoru se nacházejí hlavní póly, které mohou být tvořeny cívkami (tzv. budící napětí), nebo permanentními magnety. Rotor (kotva) je pohyblivá část elektromotoru, na kterou působí magnetické pole vytvářené statorem. Rotor se skládá z hřídele, na které jsou izolované plechy vyrobené z elektrotechnické křemíkové oceli. V jejich drážkách je namotáno vinutí. Cívky vinutí kotvy jsou připojeny k lamelám komutátoru, který usměrňuje proud. Komutátor je přes uhlíkové kartáče zapojen do obvodu (Vrána, Kočman, Kolář, 2006).

1.1.2 Princip

Pokud vodičem o délce l prochází v magnetickém poli s indukcí B proud I , působí na něj magnetická síla F_m .

$$F_m = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Úhel α mezi sebou svírá směr proudu a vektor magnetické indukce. Síly, které působí na jednotlivé závitky cívky, vytvářejí točivý moment, jehož směr bude závislý na směru proudu v cívce (obr. č. 26). Ve chvíli, kdy magnetické síly vytvářejí nulový otáčivý účinek, komutátor změni směr proudu v cívce. Díky komutaci začnou působit síly opačným směrem a tím se celý cyklus zopakuje (Vrána, Kočman, Kolář, 2006).

1.1.3 Využití

Díky jednoduchému principu má elektromotor velmi nízkou poruchovost a je poměrně levný. Kvůli těmto vlastnostem je velmi často součástí elektrických domácích spotřebičů. Najdeme ho například ve vysavačích, fěnech, přímotopech, myčkách, počítačích nebo elektrických hračkách. Bývá také často součástí experimentu ve fyzikálních pokusech.

1.1.4 Typy elektromotorů

Stejnoseměrné elektromotory se dělí podle způsobu zapojení vinutí kotvy a budícího vinutí. Motory se dělí na:

- sériové
- paralelní
- se smíšeným buzením
- s cizím buzením
- s permanentním magnetem

1.1.4.1 Sériový motor

Vinutí kotvy je zapojeno sériově s budícím vinutí (obr. č. 27a). Proud, který prochází kotvou, je zároveň budícím proudem. Otáčky motoru se zmenšují s narůstajícím zatížením. Moment motoru se zvětšuje s narůstající zátěží. Motor by neměl běžet bez zatížení, protože velké množství otáček by mohlo poškodit motor. Proto musí být stále připojen na zatížení buď pevnou spojkou, nebo ozubeným soukolím (Pavlis, 1987). Tyto motory se používají tam, kde je potřeba velké tažné síly při rozběhu, příkladem můžou být tramvaje, elektrické lokomotivy, výtahy, jeřáby apod. (Králová, 2018).

1.1.4.2 Paralelní (derivační) motor

Vinutí kotvy je zapojeno paralelně s budícím vinutí (obr. č. 27b). Čím větší prochází proud, tím větší má motor moment. Motor dokáže udržet stejnou rychlost otáčení i přes to, že je napojen na velké zatížení (Pavlis, 1987). Používají se proto k pohonu takových zařízení, u nichž požadujeme pokud možno stálou rychlost otáčení i při změně zátěže. Jsou to například obráběcí stroje, čerpadla, textilní stroje apod. (Králová, 2018).

1.1.4.3 Motor se smíšeným buzením

Budící vinutí je zapojeno sériově i paralelně (obr. č. 27c). Indukční toky cívek tak mohou působit stejně (kompaundní buzení) nebo proti sobě (protikompaundní buzení). Při kompaundním zapojení jsou vlastnosti podobné jako u sériového a paralelního motoru. Záběrový moment je větší než u paralelního motoru a rychlost otáčení není tak proměnlivá jako u sériového motoru. Při absenci zatížení tak nehrozí poškození jako u sériového motoru. Používá se k pohonu výtahů, bagrů, trolejbusů atd. (Pavlis, 1987).

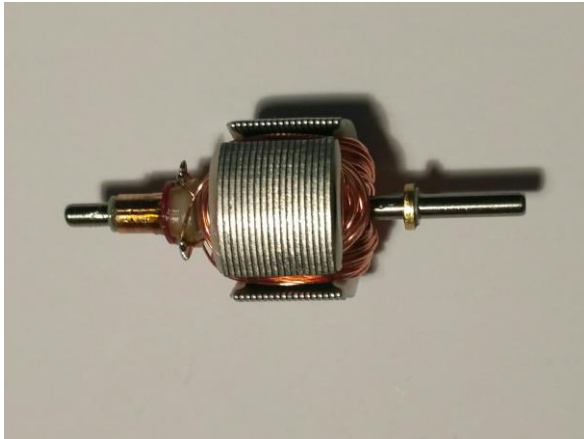
1.1.4.4 Motor s cizím buzením

Budící vinutí je zapojeno v jiném obvodu než vinutí kotvy (obr. č. 27d). Budící magnetický tok je tak nezávislý na napětí na kotvě, rychlost otáčení závisí na svorkovém napětí a moment je úměrný proudu tekoucímu kotvou. Hlavní výhodou motoru je tedy snadné, široké

a plynulé řízení rychlosti. Z toho vyplývá použití cize buzených stejnosměrných motorů převážně u regulačních pohonů (Pavlis, 1987).

1.1.4.5 Motor s permanentním magnetem

Magnetické pole vytváří místo budícího vinutí permanentní magnet (obr. č. 27e). Vlastnosti motoru odpovídají vlastnostem paralelního motoru (Pavlis, 1987). Součástí modelů popsaných v praktické části je tento typ elektromotoru (obr. č. 1 a 2).



Obrázek 1 - rotor elektromotoru s permanentním magnetem



Obrázek 2 - stator elektromotoru s permanentním magnetem

1.2 Vrtule

Vrtule je nástroj, který se díky svému tvaru dokáže, když se točí kolem své osy, vytvořit před sebou podtlak a za sebou přetlak. Tím vytvoří tah, který jí posune vpřed. (Woodford, 2018)

1.2.1 Princip

Když se vrtule otáčí, tlačí vzduch lopatkami za sebe. Tím za sebou vytváří přetlak a před sebou podtlak a pohybuje se tak vpřed. Tah vrtule ovlivňuje několik faktorů. Záleží na množství lopatek, jejich ploše, jejich úhlu sklopení a rychlosti otáčení. Každá vrtule má stanovené parametry tak, aby byla co nejefektivnější. Vrtule, které během točení potřebují reagovat na změnu situace (vzlet nebo přistání letadla), mohou měnit úhel sklopení lopatek. Změna úhlu může být provedena ručně nebo může být napojena na hydraulický systém, který reaguje na změnu rychlosti. Tyto vrtule jsou ale oproti běžným relativně drahé, proto jsou využívány většími stroji, především dopravními letadly (Woodford, 2018).

1.2.2 Typy a užití

Vrtule se klasifikují na základě několika faktorů. Nejčastěji se dělí podle počtu lopatek nebo podle možnosti nastavení úhlu sklopení (Wankhede, 2017).

1.2.2.1 Počet lopatek

Čím je počet lopatek menší, tím je vrtule efektivnější. Prakticky by ale takové vrtule k vyvinutí dostatečného tahu musely mít velký průměr, což může být problém, který se řeší přidáním lopatek. Větší počet lopatek také zajišťuje větší plynulost tahu a zmenšuje hluk, který vrtule při práci vytváří. Vždy je tedy potřeba brát v úvahu, k jakému účelu vrtule slouží a kolik prostoru má (Par Guillaume, 2015).

1.2.2.2 Úhel sklopení

Prvním typem jsou pevně nastavené vrtule (obr. č. 28). Úhel sklopení se u těchto vrtulí nedá změnit. Celá vrtule se dá označit jako jeden kus, proto je tento typ vrtulí jednoduchý a poměrně levný. Vrtule se vyrábí do určitých podmínek a využívají je např. letadla s nižším výkonem, rychlostí a dosahem.

Další jsou na zemi nastavitelné vrtule (obr. č. 29). Úhel sklopení se dá nastavit pouze na zemi, když vrtule nerotuje. Lopatky se pomocí mechanismu uvolní a přenastaví se do potřebné polohy. Tyto vrtule využívají malé dražší letouny, ale v dnešní době se příliš nepoužívají.

Další typ vrtulí se snaží držet stálou rychlost otáček (obr. č. 30). Při nabírání nadmořské výšky vrtule obvykle ztrácí otáčky, při klesání se frekvence otáček zvyšuje. Tento typ vrtulí problém řeší tak, že při létání vzhůru zmenší úhel sklopení, takže vrtule se bude točit pořád stejnou rychlostí. To samé se bude naopak dít při klesání. Změnu úhlu sklopení provádí hydraulický systém zabudovaný ve vrtuli. Tento typ vrtulí se používá v turbínových motorech (Woodford, 2018).

1.2.3 Historie

Poprvé použil šroub Archimédes ve třetím století př. n. l., který přišel na to, jak uzavřít dlouhý spirálový šroub do válce, aby mohl zvednout vodu. Voda se drží na dně válce, a šroub vodu svou rotací tlačí nahoru. Archimédovy šrouby jsou v dnešních továrnách stále používány k pohybu věcí, např. prášků a peletek, V šestnáctém století Leonardo da Vinci nakreslil stroj, který měl létat pomocí vrtule, nikdy ho však nepostavil. O dvě století později, roku 1798 americký vynálezce John Fitch vyrobil první vrtuli, tvarovanou jako šroub, pro parní člun. Později, roku 1836 Angličan Francis Petit-Smith a švédsko-americký vynálezce John Ericsson vyvinuli nezávisle na sobě moderní lodní šrouby pro lodě. Velký pokrok udělali Bratři Wilbur a Orville Wrightovi, kteří realizovali první poháněný let. (Woodford, 2018)

1.3 Vibrační elektromotory

Vibrační elektromotory (vibromotory) jsou elektromotory, které kvůli nevyváženému rotoru vibrují (Tran, 2017).

1.3.1 Typy a využití

Vibromotor dokáže rozkmitat těleso, na které je pevně připnutý. Toho se využívá v několika průmyslových odvětvích, např.: chemie, hornictví, strojírenství, hutnictví, balírenství, stavebnictví nebo potravinářství. Jde nejčastěji o přesun drobných kousků materiálu nebo jeho třídění.

V běžném životě se můžeme setkat se vibračním elektromotorem např. v telefonech, elektrických zubních kartáčcích nebo v masážních pomůckách.

Existují dva základní typy elektromotorů: ERM (Eccentric Rotating Mass) motor a LRA (Linear Resonant Actuator) motor. ERM jsou motory, které točí se zátěží, která nemá těžiště v ose otáčení. Vibrace se přenáší na těleso, které pak vibruje do všech stran. LRA jsou motory, které pohybují se zátěží pouze přímočaře. Motor nevibruje do všech směrů, ale pouze do dvou opačných směr (Tran, 2017).

1.3.2 Pohyb vibrujícího tělesa

V běžném životě si můžeme například všimnout, že naše mobilní telefony se za určitých podmínek během vibrování posouvají. Podobný jev můžeme sledovat při vaření, když kuchyňský mixér není upevněn ke stolu a jako vedlejší efekt mixování může být pomalé posouvání mixéru.

Na těleso, které vibruje, působí síla, která má působiště v místě, kde motor kmitá. Když je toto působiště ve stejném místě jako těžiště tělesa, těleso bude kmitat přesně tam, kam kmitá motor. Pokud je ale působiště síly jinde než v těžišti tělesa, začne se uplatňovat moment síly. Moment síly, pokud je dostatečně velký, aby překonal tření, zapříčiní pohyb tělesa (Tran, 2017).

1.4 Mechanické převody

Mechanický převody je soustava na sebe napojených těles, která slouží k přenosu rotačního pohybu a točivého momentu, ke změně rychlosti tohoto pohybu a velikosti přenášeného točivého momentu, popř. ke změně směru rotačního pohybu z hnací na hnanou hřídel. Hnací převod se skládá minimálně z hnacího a hnaného kola.

Točivý moment a rotační pohyb se přenáší z hnacího na hnané kolo pomocí řemene, pásu, lana, řetězu apod., nebo jsou kola spolu v přímém záběru, např. ozubená kola.

Hojné využití převodů najdeme např. v autech, kolech, vlecích nebo větrných elektrárnách (Doleček, Holoubek, 1989).

1.4.1 Princip

Kola jsou propojena a navzájem se roztáčí. Protože se kola navzájem roztáčí propojením svých obvodů, musí být jejich obvodová rychlost v stejná. Obvodovou rychlost v vypočítáme ze vzorce

$$v = r \cdot \omega \quad (2)$$

kde r je poloměr kola a ω je úhlová rychlost kola. Pokud mají kola rozdílný poloměr r , musejí mít zároveň rozdílnou úhlovou rychlost ω . Tu můžeme převést na rychlost otáček n . Obě tyto veličiny nám udávají, jak rychle se bude kolo otáčet (Svoboda, Bartuška, Bednařík, Lepil, Široká, 2016).

1.4.2 Převodový poměr

Převodový poměr se značí i , je to poměr mechanického převodu a vyjadřuje poměr mezi rychlostí otáček hnacího a hnaného kola.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

Otáčky hnacího kola se značí n_1 a rychlost otáček hnaného kola se značí n_2 . Pokud je poměr otáček větší než jedna, jde o převod do tzv. pomala. Rychlost otáček hnacího kola jsou v tomto případě větší než kola hnaného. Pokud je o poměr rychlostí otáček menší než jedna, jde o převod do tzv. rychla. Tzn., že rychlost otáček hnacího kola jsou menší než rychlost otáček kola hnaného. Pokud se i rovná jedné, znamená to, že rychlost otáček obou kol jsou stejné. (Doleček, Holoubek, 1989)

1.4.3 Moment síly (krouticí moment)

Je fyzikální veličina, která vyjadřuje otáčivý účinek síly. Velikost momentu síly M definujeme vztahem

$$M = F \cdot d \quad (4)$$

kde F je velikost působící síly a d je kolmá vzdálenost vektorové přímky p síly od osy otáčení. Vzdálenost d se nazývá rameno síly (obr. č. 31).

Čím blíž těleso bude k ose otáčení, tím větší účinek bude mít síla na těleso při stejném momentu síly. (Svoboda, Bartuška, Bednařík, Lepil, Šíroká, 2016)

1.4.4 Otáčení se zátěží

Stroj, který otáčí zátěží, má výkon P . Ten je popsán vztahem

$$P = M \cdot \omega \quad (5)$$

kde M je moment síly, která působí na těleso a ω je úhlová rychlost zátěže. Výkon P a rychlost otáček n můžeme pomocí převodů měnit. Při změně úhlové rychlosti se bude nepřímo úměrně měnit velikost momentu síly M působící na těleso (Svoboda, Bartuška, Bednařík, Lepil, Šíroká, 2016).

1.5 Setrvačnost oka

Lidské oko je orgán, který nám umožňuje vidět. Světlo dopadající na sítnici podráždí čípky a tyčinky, které potom vysílají signál do mozku. Mozek informaci z obou očí zpracovává a vytváří nám obraz. Celý systém není dokonalý, důkazem je například iluze pohybu na televizních obrazovkách.

Iluze pohybu na televizní obrazovce se vytváří tak, že televize za sebou promítá obrázky tak rychle, že je oko do mozku vysílá s vysokou frekvencí. Než se v mozku zpracuje jeden signál, trvá to zhruba jednu šestnáctinu vteřiny a pokud mezitím oko vyše další velmi podobný signál, mozek situaci vyhodnotí jako pohyb. Tomuto jevu se říká setrvačnost oka (Rauner, 2010).

1.5.1 Míchání barev

Pro lepší porozumění optickému klamu míchání barev, je potřeba znát mechanismus vnímání barev člověka.

V lidském oku se na sítnici nacházejí čípky, díky kterým je člověk schopen rozeznat barvy. Mechanismus vnímání barev není doposud zcela objasněn, avšak nejvíce uznávaná je trichomatická teorie. Čípky rozlišují všechny barvy skládáním tří základních barev, červené, modré a zelené. (Wikiskripta, 2012)

Optický klam vzniká rychlým promítáním barev na jednom místě. Pokud se barvy dostatečně rychle střídají, čípky vysílají signály o dopadu světla různých vlnových délek rychle za sebou a mozek nedokáže tyto signály oddělit od sebe. Promítané barvy místo toho „smíchá“, což znamená, že člověk uvidí objekt jinak barevný. Známa hračka využívající tento klam se jmenuje Newtonovo kolo (Rauner, 2010).

1.6 Odstředivá síla

Pokud se těleso v jakékoli soustavě otáčí, působí na něj dostředivá síla F_d a těleso má zrychlení a_d . Těleso můžeme pozorovat z hlediska inerciální vztažné soustavy, kde platí zákon setrvačnosti a zákon akce a reakce, nebo z hlediska neinerciální vztažné soustavy, kde tyto zákony neplatí (Svoboda, Bednařík, Šíroká, 2015).

1.6.1 Inerciální vztažná soustava

Na těleso působí dostředivá síla F_d směřující od středu otáčení, jejíž velikost vyplývá ze vztahu

$$F_d = m\omega^2 r \quad (6)$$

kde r je vzdáleností od středu otáčení, hmotnost m je hmotnost tělesa a ω je úhlová rychlost. Kvůli zákonu akce a reakce musí vznikat ještě stejně velká síla F_s působící na druhé těleso opačného směru. A jelikož je pokaždé nějakým způsobem (např. provázkem, stěnami nádoby nebo gravitačními silami) těleso připojeno ke středu, působí na střed přes propojení odstředivá síla F_s , která je stejně velká jako dostředivá síla F_d (Svoboda, Bednařík, Šíroká, 2015).

1.6.2 Neinerciální vztažná soustava

Těleso je vzhledem ke středu otáčení v klidu, ale protože je jeho pohyb křivočarý, působí na něj dostředivá síla F_d . Pokud má být těleso v klidu, musí na něj působit ještě nějaká stejně velká síla, která bude mít opačný směr. A přitom nemá původ působením ostatních těles. Jedná se o setrvačnou odstředivou sílu F_s . Díky této síle se síly vykompenzovaly, což by se stát nemělo, kvůli zachování akce a reakce – síly totiž působí na jedno těleso.

Proto používáme dva různé názvy: Setrvačná odstředivá síla, která nemá svůj původ v silovém působení ostatních těles a odstředivá síla, která působí jako reakce na sílu dostředivou (Svoboda, Bednařík, Šíroká, 2015).

1.7 Gyroskop

Obecně je gyroskop volný rotační setrvačnick. Jinými slovy jakékoliv těleso, které má tendenci zachovat svou osu rotace díky svému momentu setrvačnosti. Tomuto jevu se říká gyroskopický efekt, a čím více hmoty rotuje dál od osy otáčení, tím víc se tento jev projevuje. Gyroskop může být například kolo od bicyklu, kolotoč nebo hračka s názvem Fidget spinner. Výhodou gyroskopu jsou nízké energetické ztráty při otáčení. Gyroskop se nejčastěji zavěšuje do Kardanova závěsu, kde je gyroskop pevně uchycen. Kardanův závěs se skládá ze tří na sebe kolmých os (obr. č. 32). Takový gyroskop se nazývá třístupňový. V některých případech se používá i jeho dvouosá varianta, u které vnější osa chybí (Hájek, Hambálek, 2010).

1.7.1 Zachování směru rotace

Pokud na gyroskop působí síla, která se snaží změnit náklon osy rotace, bude gyroskop kvůli gyroskopickému efektu klást odpor. Místo toho, aby se jeho osa natočila přirozeně směrem, kterým na něj síla působí, bude se snažit najít výslednici vlastní osy a osy otočení gyroskopu jako celého tělesa. Klasickým příkladem, který se používá k demonstrování takového jevu, je kolo od bicyklu na hřídeli, která je přivázaná k lanu přivázanému ke stropu (Hájek, Hambálek, 2010).

2 Praktická část

2.1 Elektromotor

Jedná se o velmi jednoduchý typ elektromotoru. Cívka napojená k baterii se otáčí v magnetickém poli. Výroba elektromotoru je poměrně jednoduchá, komplikované je pouze doladění otáčení. Princip je popsán v kapitole 1.1.2.

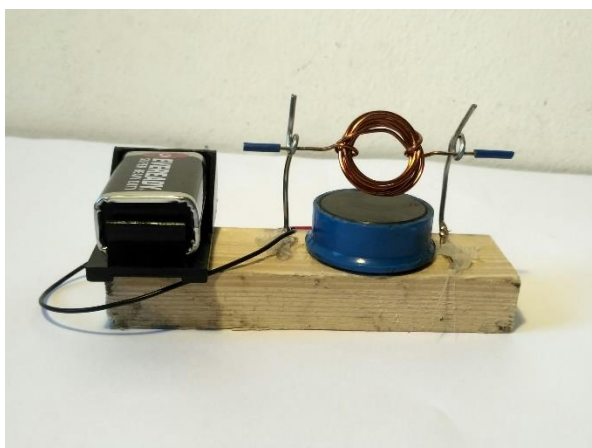
2.1.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, brusný papír, lihový fix a pájka

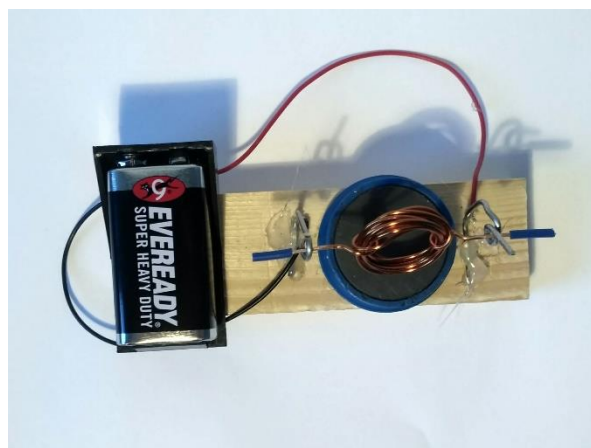
Součástky: dřevěná podložka, měděný drát potřený izolací, baterka (9 V), drát, cín na pájení, držák na baterii (9 V), magnet

Postup:

- 1) Na dřevěnou podložku připevníte držák na baterii. Vedle držáku nalepte dvě cínové nožičky s ohybem a mezi ně vložte magnet.
- 2) Z měděného drátu vytvořte cívku, její konce obruste brusným papírem. Potom polovinu plochy drátu přetřete lihovým fixem. Následně cívku nasuňte do ohybů cínových noh.
- 3) Aby cívka nevypadávala z ohybů, je možné použít izolaci z drátu, kterou navlečete na konce cívky. Poté je elektromotor připraven k provedení experimentu.



Obrázek 3 - elektromotor, pohled zepředu



Obrázek 4 - elektromotor, pohled shora

2.1.2 Využití ve výuce

Tento model může pedagog použít k demonstraci principu fungování elektromotoru nebo chování cívky v magnetickém poli.

Při pokusu lze měnit místo, které je potřeno lihovým fixem. Při plném kontaktu mezi ohybem cínové nožičky a měděného drátu dojde jen k natočení cívky do směru magnetického pole, ale ne k trvalému otáčení cívky. To žákům pomůže pochopit funkci komutátoru v elektromotoru.

Dále si lze vyrobit cívku s hustším vinutím, což způsobí, že se cívka bude rychleji otáčet. Tím lze dokázat, že čím je hustší vinutí cívky na rotoru, tím větší síly působí na cívku.

2.2 Hračka poháněná vrtulí

Hračka ve tvaru letadla, která je poháněná vrtulí připevněnou ke stejnosměrnému elektromotoru, je schopna se pohybovat dopředu. Tvar hračky je jen dekorativní, může být vyroben v jiném tvaru. Princip je popsán v kapitole 1.2.1.

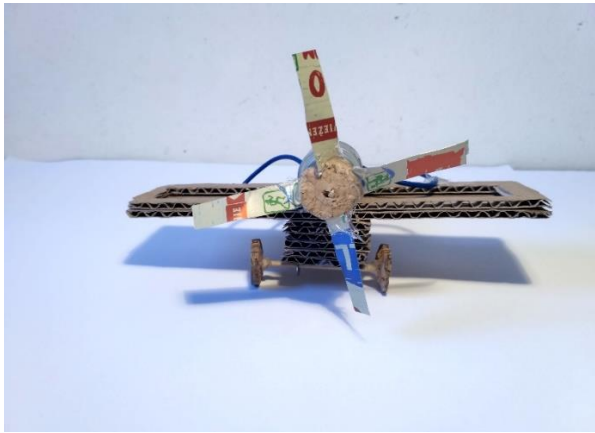
2.2.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko, tužka a pájka

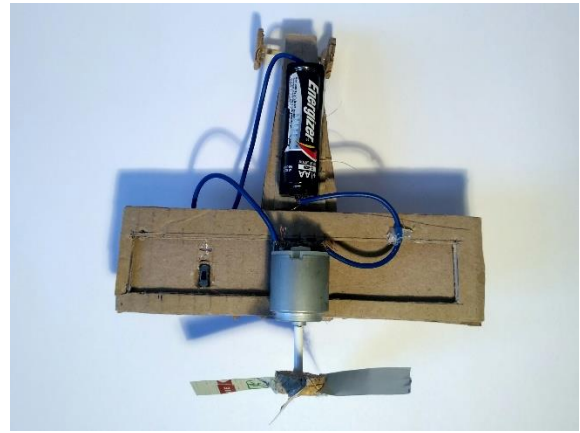
Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, špejle, spínač, 4 podložky šroubu, korková zátka od vína, plechovka, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm)

Postup:

- 1) Na karton narýsujte tělo a křídla letadla, které poté vyříznete a přilepte k sobě tavící pistolí. Následně narýsujte a vyříznete stejně velké obdélníky, které nalepte na sebe. Potom je přilepte pod přední část letadla, kde se křídla překrývají s trupem.
- 2) K tělu zespoda přilepte 4 podložky šroubu tak, aby se v nich mohla točit špejle s kolečkem. Kolečka vytvořte z korkové zátky a špejle. Kolečka odříznete od zátky. Špejli prostrčte přilepenými podložkami a potom na ní ze stran přilepte kolečka.
- 3) Vrtulí vytvořte z korkového kolečka, které ze stran naříznete a do štěrbin vložte lopatky vytvořené z plechovky. Doprostřed kolečka připevněte tři centimetry dlouhou plastovou izolaci jako spoj.
- 4) Motor připevněte tavící pistolí k letadlu společně s držákem na baterii. Do jednoho křídla zabudujte spínač, ke kterému napojte dráty vedoucí od držáku baterie k motoru. Z motoru ved'te drát zpět do držáku baterie. Poté je letadélko připraveno k provádění experimentu.



Obrázek 5 - letadélko, pohled zepředu



Obrázek 6 – letadélko, pohled shora

2.2.2 Využití ve výuce

Letadélko může posloužit k demonstraci principu funkce vrtule, Newtonových pohybových zákonů nebo třecí síly.

Pedagog může vyrobit dvě různé vrtule s rozdílným úhlem sklopení lopatek. Vrtule s menším úhlem nebude vytvářet takový tah a letadélko se bude pohybovat pomaleji. Rozdíl v rychlosti dokazuje, že při větším úhlu sklopení lopatek bude mít vrtule větší tah.

Dále lze vyrobit vrtule s rozdílnou délkou lopatek. Letadlo bude mít s delšími lopatkami větší rychlost. To dokazuje, že čím jsou lopatky delší, tím větší vrtule vytváří tah.

2.3 Archimédův šroub

Výroba modelu Archimédova šroubu trvá oproti ostatním modelům déle. Jedná se o šroubovici, která dokáže přemístit vodu do vyšší polohy. Na jeho konci je navíc připojený setrvačnick, který zajišťuje pomalé roztáčení šroubu. Princip Archimédova šroubu je velmi podobný principu vrtule, vysvětlení je popsáno v kapitole 1.2.3.

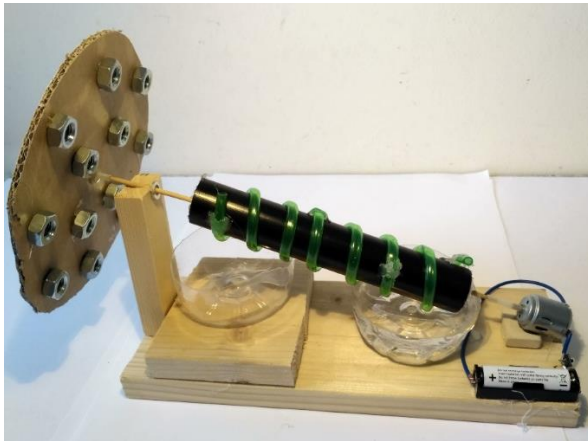
2.3.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko, pila, tužka, kružítko a pájka

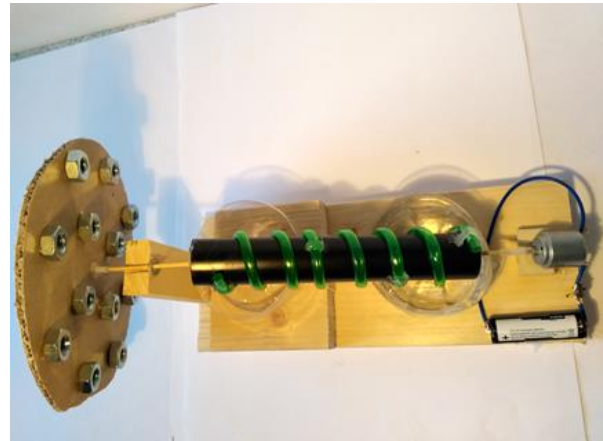
Součástky: prkno (50 cm x 10 cm x 2 cm), stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, dvě PET láhve spínač, špejle, 1 podložka šroubu, roura od vysavače (20 cm), polystyren, guma, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), hadice (vnitřní poloměr 2 mm), karton, 12 matic

Postup:

- 1) Z prkna uřízněte podložku na celé zařízení 30 cm dlouhé a 10 cm široké. Na jednu jeho stranu přilepte další čtvercovou podložku dlouhou 10 cm. Potom přilepte na stranu svisle další prkno dlouhé 10 cm jako vrchní držák šroubu (obr. č. 7). Nahoru doprostřed pak vyřízněte žlábek, ke kterému nalepte podložku šroubu.
- 2) Na spodní a horní část přilepte uřezaná dna PET lahví. Vezměte gumu a seřízněte ji tak, aby na ní mohl být přilepený motorek hřídelí šikmo nahoru. Vedle spodního dna nalepte motorek s gumou a na hřídel nasuňte izolaci drátu, která bude sloužit jako pojídlo se špejli.
- 3) Vedle motorku nalepte spínač a držák baterie. Poté vše spojte drátem a vytvořte obvod. Při tomto kroku je důležité si uvědomit, jak se bude šroub otáčet, aby se šroub otáčel na správnou stranu.
- 4) Na rouru od vysavače (seřízněte na 20 cm) namotejte a přilepte hadici, potom konce roury vyplňte polystyrenem. Prostředkem polystyrenu ved'te špejli, kterou na koncích zašpičat'te.
- 5) Z kartonu vyřízněte kruh o poloměru 8,5 cm. Na něj nalepte rovnoměrně po jeho povrchu 12 matic. Doprostřed nalepte izolaci drátu, která bude sloužit jako pojídlo se špejli.
- 6) Připojte špejli k motorku a z druhé strany připojte setrvačnick. Do spodní části nalijte vodu. Poté je Archimédův šroub připraven k provádění experimentu.



Obrázek 7 - Archimédův šroub, pohled z boku



Obrázek 8 - Archimédův šroub, pohled shora

2.3.2 Využití ve výuce

Model se hodí k demonstraci principu funkce šroubu – vrtule, k uchování kinetické energie v setrvačnicku, nebo přeměny energie kinetické v energii polohovou.

Archimédův šroub se točí bez setrvačnicku velmi rychle, takže nestíhá nabírat vodu. Po připojení setrvačnicku se šroub roztáčí pomalu, ale po vypnutí se ještě díky setrvačnosti chvíli točí. To je důkaz, že se kinetická energie v setrvačnicku uchovala.

Změnou sklonu Archimédova šroubu lze docílit čerpání vody do vyšší polohy. To je však dosaženo za cenu většího zatížení pohonu Archimédova šroubu, protože čerpaná voda získává větší polohovou energii.

Dále se může vyrobit podobný šroub s širší hadicí. Hadice bude nabírat více vody, ale bude se pomaleji roztáčet. To je důkazem, že na rozpočívání většího množství vody je potřeba dodat více energie.

2.4 Vibrobot

Vibrobot je hračka sestavená z vibračního elektromotoru připevněného ke kartáči. Při vibrování se zařízení posouvá dopředu. Je poměrně jednoduché na výrobu a je potřeba menší množství součástek. Princip fungování je popsán v kapitole 1.3.2.

2.4.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, pila, nůžky a pájka

Součástky: cín na pájení, baterka ve tvaru mince, vibrační elektromotor (jakýkoliv typ používaný v mobilu), 2 zubní kartáčky, spínač

Postup:

- 1) Odřízněte z každého kartáčku část se štětinami a přilepte je boky k sobě.
- 2) Na přilepené části kartáčků přilepte ze strany, kde nejsou štětiny, baterii. Na ní přilepte vibrační elektromotor.
- 3) Elektromotor a baterii propojte spínačem.
- 4) Sestříhňte štětiny zepředu tak, aby se Vibrobot po zapnutí posunoval správným směrem. Poté je Vibrobot připraven k provádění experimentu.



Obrázek 9 - Vibrobot, pohled shora



Obrázek 10 - Vibrobot, pohled z boku

2.4.2 Využití ve výuce

Tato hračka může být použita především k demonstraci třecí síly nebo Newtonových pohybových zákonů.

Při demonstraci pedagog může nechat model projíždět po různých površích (např. papír, dřevěná podložka, brusný papír, atd.). Rychlost modelu se bude lišit, což dokazuje, že se při rozdílné struktuře povrchu mění velikost třecí síly a že tím pádem existuje i koeficient tření.

2.5 Převodovka

Převodovka je zařízení, které dokáže přenášet točivý pohyb a zároveň měnit úhlovou rychlost. Její model je v tomto případě vyroben převážně z kartonu. Na hřídeli elektromotoru je nasazeno hnací kolečko, které je pomocí gumového řemínku napojeno na další kolo nasazené na upevněnou hřídel. Toto kolo je napojeno na třetí kolo také nasazené na upevněnou hřídel. Na kola je možné připravit zátěž a pozorovat, zdali je motorek se zátěží schopný točit. Celé zařízení je poměrně složité na výrobu, ale na jeho sestavení je třeba jen běžných součástek. Princip převodovky je popsán v kapitolách 1.4.2. a 1.4.3.

2.5.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko, kružítko, tužka a pájka

Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, špejle, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), gumový provázek, suchý zip, 4 matice

Postup:

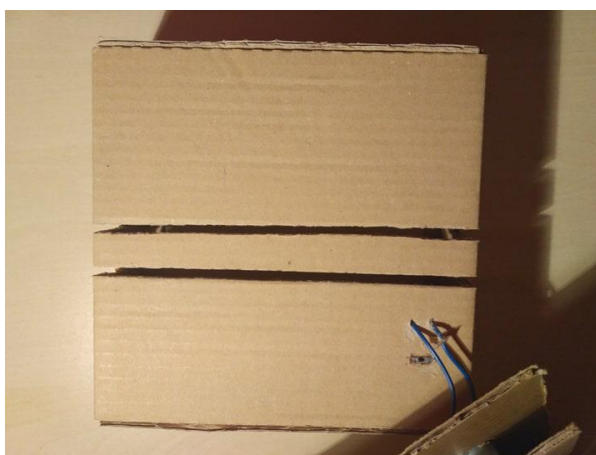
- 1) Vyrobte nebo si sežeňte otevřenou krabici s rozměry 10 x 10 x 7 cm. Do dna krabice vyřízněte dva rovnoběžné zářezy, které jsou 2,5 cm od sebe, hluboké 3 cm (obr. č. 11). Do jednoho z nich vložte karton, který dvakrát kolmo přehněte 14 cm nad krabicí a ved'te jej zpět do druhého zářezu. Takto vznikne konstrukce, na kterou se budou umísťovat hřídele a motor.
- 2) Do konstrukce vyřízněte místo pro elektromotorek, který zde poté upevněte tak, aby ze stěny kolmo vyčnívala pouze hřídel motorku.
- 3) Vyřízněte z kartonu tři kolečka o poloměru 1,75 cm a 2 kolečka o poloměru 1,3 cm. Všechny kolečka poté přilepte k sobě (střídejte velikosti koleček, aby vznikly drážky pro gumový řemínek). Středem slepených koleček potom ved'te izolaci drátu, kterou potom napojte na motorek. Složená kolečka se v dalším textu nazývají řemenicí.
- 4) Vyřízněte z kartonu dvě kolečka o poloměru 1,75 cm a jedno kolečko o poloměru 1,3 cm. Oblepte menší kolečko většími kolečky, aby vzniklo kolečko s drážkou pro gumový řemínek. Toto kolo je převodové.
- 5) Celý tento proces proved'te dvakrát: Vyřízněte z kartonu 2 kola o průměru 6 cm a 1 kolo o průměru 5,5 cm. Oblepte menší kolo, většími koly. Poté na jednu stranu kolečka přilepte část suchého zipu. Tato kola jsou tažná.
- 6) K jednomu tažnému kolu nalepte převodové kolo vyrobené v kroku č. 4.

7) Dovnitř krabice nalepte držák na baterii. Do krabice vyřízněte otvor pro spínač, který do otvoru posléze nalepte. Potom vytvořte obvod, napojený na motorek, spínač a držák na baterii.

7) Kartonovou konstrukcí ved'te kolmo dvě špejle, které budou tvořit pevné hřídele pro kola. Na špejle napíchněte kola.

8) Na kartonový obdélník o stranách 1 cm x 5 cm nalepte cínový drát. Na ten navlékněte 4 matice. Z druhé strany na obdélník nalepte druhou část suchého zipu.

9) Kola propojte gumovými smyčkami. Poté je převodovka připravena k provádění experimentu.



Obrázek 11 – zářezy do krabice



Obrázek 12 - převodovka, pohled zepředu

2.5.2 Využití ve výuce

Převodovka může být použita především k demonstraci veličiny momentu síly, fyzikálnímu popisu veličiny práce.

Pro pokus, na kterém je ukazován moment síly, je potřeba na jedno tažné kolo (s rychlejšími otáčkami) nalepit od jeho středu až ke kraji proužek jedné části suchého zipu. Pokud bude pedagog nalepovat zátěž blíž ke středu, motor bude schopen kolečko se zátěží otáčet. Se zátěží přilepenou na kraji tažného kola motor nebude schopen pohybovat. To je způsobeno různě velkým momentem tíhové síly, která motorku znesnadňuje pohyb se zátěží.

2.6 Podstava s elektromotorem

V několika následujících modelech je část modelu vždy stejná. Jedná se kartonovou krabici, ve které je elektromotor zabudovaný. Podstava je univerzální a při výrobě více modelů je možné používat pouze jednu vyrobenou podstavu.

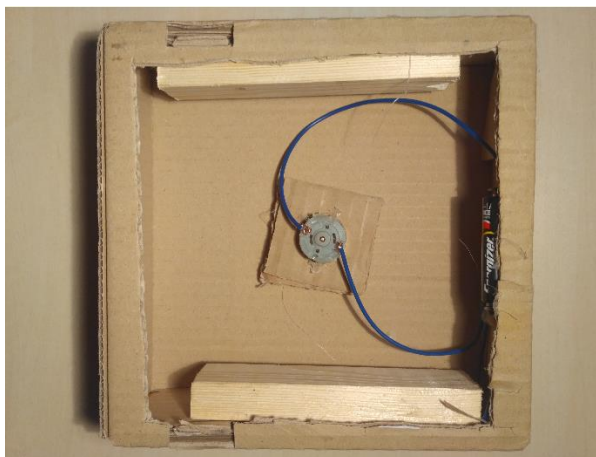
2.6.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko, tužka a pájka

Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, spínač, prkno (10 cm x 10 cm x 2 cm)

Postup:

- 1) Vytvořte nebo si sežeňte otevřenou krabici s rozměry 10 cm x 10 cm x 7 cm. Na její dno doprostřed na sebe nalepte tři čtvercové vrstvy kartonu (obr. č. 13), do kterých vyřízněte prostor pro elektromotor.
- 2) Elektromotor v prostoru upevněte tak, aby na druhé straně vyčnívala pouze hřídel (obr. č. 14).
- 3) Na straně krabice vyřízněte místo pro spínač (obr. č. 14), který poté do místa nalepte. Do krabice nalepte držák na baterii a celý obvod propojte drátem.
- 4) Zespoda nalepte dvě prkna, která zatíží celou podstavu, takže při pokusech nevibruje.



Obrázek 13 - podstava s elektromotorem, pohled zespoda



Obrázek 14 - podstava s elektromotorem, pohled shora

2.7 Newtonovo kolo

Newtonovo kolo je hračka, která nám dokáže díky rychlému pohybu smíchat barvy. Elektromotor rotuje s barevným kotoučem, který při pohybu změní barvu. Zařízení je jednoduché na výrobu i na shánění materiálu. Princip je podrobněji popsán v kapitole 1.5.1.

2.7.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko, tužka a pájka

Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii spínač, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), papír, prkno

Postup:

1) Pokud jste si ještě nevyrobili podstavu s elektromotorem, vyrobte si ji. Postup výroby je popsán v kapitole 2.6.1.

2) Z papíru vystříhnete kolečko o poloměru 8 cm a tužkou si jej rozdělíte na 8 stejných částí. Každý z nich zabarvíte podle toho, jakou barvu chcete poskládat (skládání bílé barvy: červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, tmavě modrá, fialová, bílá). Poté do středu kola nalepte izolaci drátu, kterou nasuňte na hřídel elektromotoru. Poté je Newtonovo kolo připraveno k provádění experimentu.



Obrázek 15 – Newtonovo kolo, pohled z boku



Obrázek 16 - Newtonovo kolo, pohled shora

2.7.2 Využití ve výuce

Newtonovo kolo lze využít pouze k demonstrování smíchání různých barev. Vedle kolečka se všemi barvami (obr. č. 16) si může pedagog vyrobit kolečko s méně barvami. Např. může použít červenou, modrou a zelenou (vznikne bílá) nebo jen zelenou a červenou (vznikne žlutá).

2.8 Fenakistiskop

Fenakistiskop je zařízení, které dokáže vyvolat iluzi pohybu. Na začátku 19. století vědci experimentovali s optickými iluzemi a projekcemi obrázků. V roce 1832 Josef Plateau v Bruselu a zároveň Simon von Stampfer v Berlíně nezávisle na sobě sestrojili první Fenakistiskop. Protože dokáže vytvořit jen krátkou animaci, byl překonán filmem a přestal se používat (Phenakistoscopes, 2017). Fenakistiskop je velmi jednoduchý na výrobu a při jeho ukázce si mohou žáci vyrobit vlastní animaci. Princip je podrobněji popsán v kapitole 1.5.

2.8.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko, tužka a pájka

Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii spínač, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), papír, černá čtvrtka

Postup:

- 1) Pokud jste si ještě nevyrobili podstavu s elektromotorem, vyrobte si ji. Postup výroby je popsán v kapitole 2.6.1.
- 2) Z papíru vystříhnete kolečko o poloměru 10 cm a tužkou si jej rozdělíte na 12 stejných dílů, do kterých namalujete svou animaci. Do středu kola nalepte izolaci drátu tak, že bude z obou stran kola vyčnívat. Animaci nasuňte potom na hřídel elektromotoru.
- 3) Z černé čtvrtky vyříznete kolečko o poloměru 10 cm a tužkou si jej rozdělíte na 12 stejných dílů. Do čar vedených tužkou vystříhnete tenké škvíry dlouhé 4 cm. Do středu kola nalepte špejli, kterou na druhém konci ztenčete. Špejli nasuňte na kolečko s animací. Poté je Fenakistiskop připraven k provádění experimentu.



Obrázek 17 – Fenakistiskop, pohled ze strany



Obrázek 18 - krabice se zabudovaným elektromotorem, pohled shora

2.8.2 Využití ve výuce

Fenakistiskop lze používat k demonstrování nedokonalosti oka, k principu fungování iluze pohybu, kterou vidíme např. v televizi, mobilu, počítači, atd.

Při demonstraci je důležité se koukat jedním okem skrz štěrbinu rotujícího černého kotouče na animaci nakreslenou na bílém kole.

2.9 Míčky v kapsli

Dva míčky jsou uzavřené v kapsli, po roztočení je odstředivá síla přitlačí ke stranám kapsle. Zařízení je časově méně náročné na výrobu. K jeho výrobě lze využít krabice z předchozích pokusů. Princip je popsán v kapitole 1.6.

2.9.1 Výroba

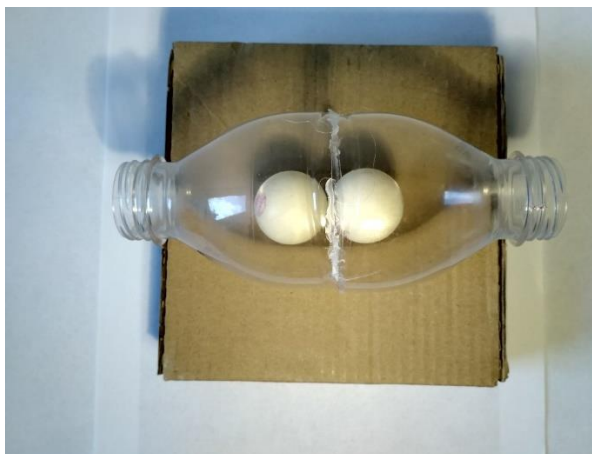
Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, pravítko a pájka

Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, spínač, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), 2 míčky na stolní tenis, 2 PET lahve, prkno

Postup:

1) Pokud jste si ještě nevyrobili podstavu s elektromotorem, vyrobte si ji. Postup výroby je popsán v kapitole 14.

2) Odřízněte z obou lahví dvě symetrické části (obr. č. 19). Do nich potom vložte 2 míčky na stolní tenis. Části potom přilepte k sobě. Na kapsli zespoda přilepte izolaci kabelu, kterou poté nasuňte na hřídel motoru. Potom je experiment připraven k demonstrování jevu.



Obrázek 19 - kapsle s míčky, pohled shora



Obrázek 20 - kapsle s míčky, pohled z boku

2.9.2 Využití ve výuce

Experiment může demonstrovat odstředivou sílu, nebo pohled na inerciální a neinerciální vztažnou soustavu.

Pro lepší efekt lze místo míček dát do kapsle vodu. Ta se pak při rotaci nahrne do stran kapsle.

2.10 Gyroskop

Gyroskop je zařízení, které dokáže odolávat gravitaci a drží svou osu otáčení. Tento model v klidovém stavu neudrží rovnováhu svisle k zemi, ale po zapnutí dokáže čelit gravitaci a udrží se ve svislé pozici. Na jeho výrobu je potřeba menší množství materiálu. Princip je popsán v kapitole 1.7.

2.10.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, kružítko a pájka

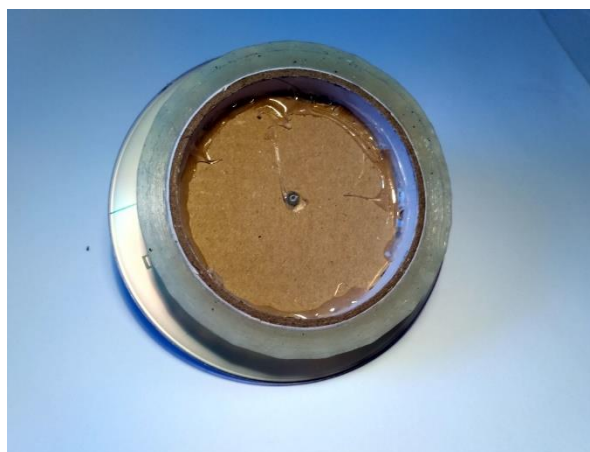
Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, spínač, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), 2 kompaktní disky, izolepa o vnitřním poloměru 4 cm.

Postup:

- 1) Dva kompaktní disky k sobě. Z jedné strany přilepte držák na baterii a do prázdného středu přilepte elektromotor tak, aby jeho hřídel vyčnívala na druhou stranu.
- 2) Vnitřek izolepy vyplňte kartonovým kolečkem. Do jeho středu připevněte izolaci drátu, kterou pak nasuňte na hřídel motorku.
- 3) Držák baterie propojte s motorkem. Gyroskop zapněte vložení baterie do držáku. Poté gyroskop připraven k provádění experimentu.



Obrázek 21 - gyroskop, pohled na zadní stranu



Obrázek 22 - gyroskop, pohled na přední stranu

2.10.2 Využití ve výuce

Model se může použít k demonstrování principu fungování gyroskopu nebo obecného Zákona zachování hybnosti.

Při demonstrování principu fungování gyroskopu lze roztočený gyroskop postavit šikmo na podložku. Gyroskop ani přesto nespadne, bude dál držet svou osu otáčení.

2.11 Papírová kotoučová pila

Je možné, aby se člověk říznul papírem. Tuto skutečnost umožňují dvě fyzikální vlastnosti tohoto materiálu. Velmi důležité je to, že papír není z boku pružný. To znamená, že pokud na něj bude působit jenom síla z boku, dokáže poměrně dlouho odolávat. Hrana papíru se pod mikroskopem jeví jako ostrá pila. Důkazem toho může být to, že se člověk pořeže o papír pouze v momentě, kdy je papír v pohybu jako pila (Stack Exchange, 2018).

Pokud bude papír roztočený, bude fungovat jako pila a dokáže přerezat jiný papír, který je na něj správně natočen (Stack Exchange, 2018).

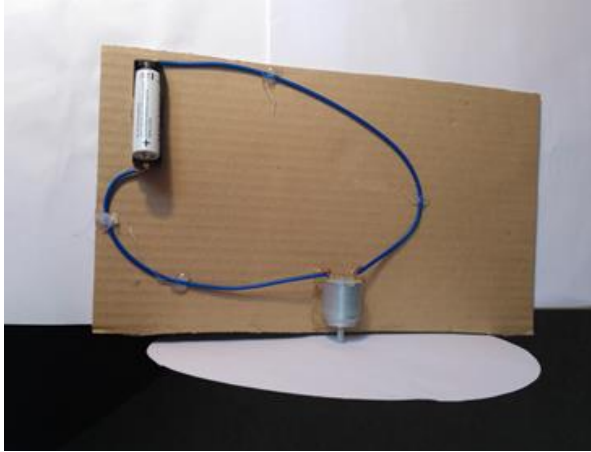
2.11.1 Výroba

Pomůcky: tavná pistole, lámací nůž, kružítko a pájka

Součástky: karton, stejnosměrný elektromotor (1,5 V), baterka, drát, cín na pájení, držák na baterii, izolace drátu (vnitřní poloměr 2 mm), papír.

Postup:

- 1) Do kartonové podložky vyřízněte škvíрку o délce 18 cm, před ní přilepíme elektromotor tak, že hřídel elektromotoru se bude tyčit nad škvírou.
- 2) Na desku přilepte rovněž držák na baterii. Ten propojte dráty s motorem.
- 3) Z papíru vyrobte kotouč o poloměru 8 cm. Do jeho středu nalepte izolaci drátu, kterou potom nasadíte na hřídel.
- 4) Po vložení baterie se kotouč roztočí. Hračka je poté připravena na provádění experimentu.



Obrázek 23 - papírový kotouč, pohled shora



Obrázek 24 - papírový kotouč, pohled z boku

2.11.2 Využití ve výuce

Model, který lze vyrobit na tento experiment, se svým tvarem může podobat stolní kotoučové pile. Výroba takového zařízení je poměrně jednoduchá. Experiment může demonstrovat fungování kotoučové pily, různé tvrdosti materiálu a využití rotace předmětu.

Závěr

V práci se pedagogovi nabízí celkem deset praktických modelů, které může vyrobit a při výuce využít. Většina principů fungování modelů je pro větší porozumění vysvětlena v první části práce. Pedagogovi jsou navrženy různé způsoby, jak konkrétní model využít k demonstraci daného fyzikálního jevu.

Všechny modely byly vyrobeny a vyzkoušeny v praxi. U postupu výroby jsou přiloženy fotografie zachycujících modely. K práci je přiložen kompaktní disk s nahrávkami potvrzující funkčnost modelů.

Zdroje

Knižní zdroje

DOLEČEK, Josef, HOLOUBEK, Zdeněk, 1989. *Strojnictví II pro SOU*. 3. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, ISBN 80-03-00036-X

VOŽENÍLEK, Ladislav, LSTIBŮREK, František, 1989. *Základy elektrotechniky II : Učební text pro 2. a 3. roč. elektrotech. učebních a stud. oborů SOU*. 2. vyd. Praha: SNTL. ISBN 80-03-00446-2

PAVLIS, Svatopluk, 1987. *Elektrotechnika motorových vozidel*. Praha: SNTL. ISBN 80-03-00452-7

RAUNER, Karel, 2010. *Setrvačnost lidského zraku*. In: *Fyzmatik píše*. [online] 13.5.2010 [cit. 20. 2. 2019]. Dostupné z: <http://www.veda.cz/article.do?articleId=68377>

SVOBODA, Emanuel, BEDNAŘÍK, Milan, ŠIROKÁ, Miroslava, 2015. *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. 5. vydání. Praha: Prometheus. ISBN: 978-80-7196-431-5

SVOBODA, Emanuel, BARTUŠKA, Karel, BEDNAŘÍK, Milan, LEPIL, Oldřich, ŠIROKÁ, Miroslava, 2016. *PŘEHLED STŘEDOŠKOLSKÉ FYZIKY*. 5. vydání. Praha: Prometheus. ISBN 978-80-7196-438-4

Internetové zdroje

HÁJEK, Ladislav, HAMBÁLEK, Tomáš, 2010. 1. vydání. Praha: 5. 12. 2010 [cit. 20. 2. 2019] Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2010-2011/Zima10/proc/gyroskopy.pdf> (Hájek, Hambálek 2010)

KRÁLOVÁ, Magdaléna, 2018. Elektromotory. In: *Techmania Science Center* [online]. [cit. 18. 3. 2019] Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticka-indukce/elektromotory#>

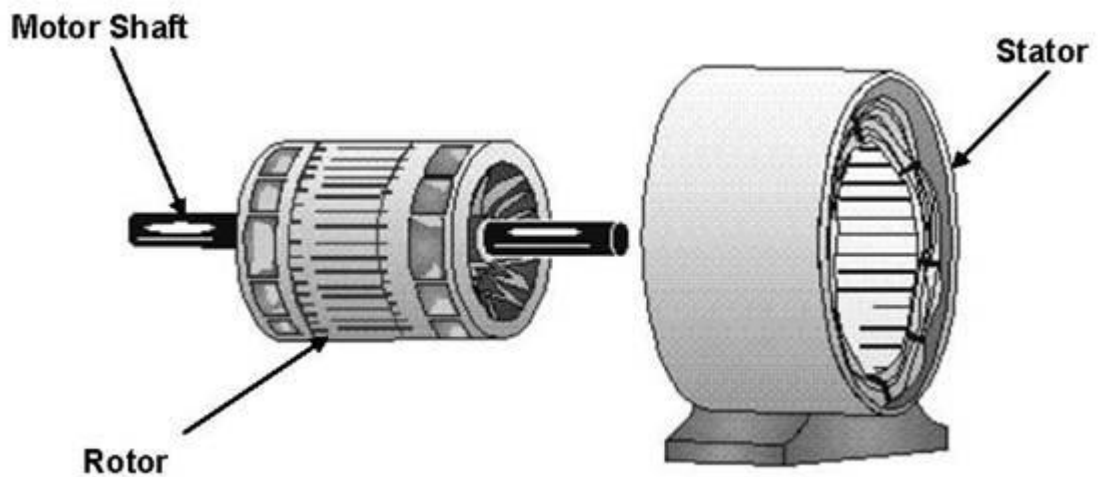
PAR GUILLAUME, Rédigé, 2015. 2-blade vs 3-blade and 4-blade propellers. In: *overblog*. [online]. Dostupné z: <http://aerotrash.over-blog.com/2015/02/2-blade-vs-3-blade-and-4-blade-propellers.html>

Phenakistoscopes, 2017 [online]. Public domain review. [Cit. 17. 3. 2019]. Dostupné z: <https://publicdomainreview.org>

Stack Exchange, 2018. PHYSICS. *Stack exchange* [online]. 9. 10. 2018 [Cit. 22. 2. 2019] Dostupné z: <https://physics.stackexchange.com/questions/427827/why-does-paper-cut-through-things-so-well>

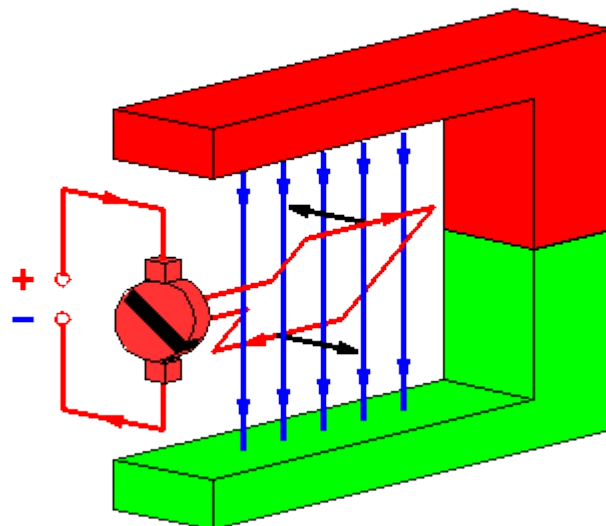
- TRAN, Tran, 2017. Intro to Haptic Technology: Vibration Motors. In: *fictiv: HWG*. [online], 6. 3. [cit. 30. 1. 2019], Dostupné z: <https://www.fictiv.com/hwg/design/intro-to-haptic-technology-vibration-motors>
- VRÁNA, Václav, KOČMAN, Stanislav, KOLÁŘ, Václav, 2006. *Stejnoseměrné elektromotory* [online]. Dostupné z: http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosmerne_stroje_bc.pdf
- WANKHEDE, Anish, 2017. Propeller, Types of Propellers and Construction of Propellers. In: *Marine insight* [online]. Dostupné z: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/propeller-types-of-propellers-and-construction-of-propellers/>
- Wikiskripta*, 2012 [online]. Wikiskripta [cit. 17. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu>
- WOODFORD, Chris, 2018. Propellers. In: *Explain that stuff* [online], 16. 7. [cit. 10. 1. 2019], Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/how-propellers-work.html>

Přílohy



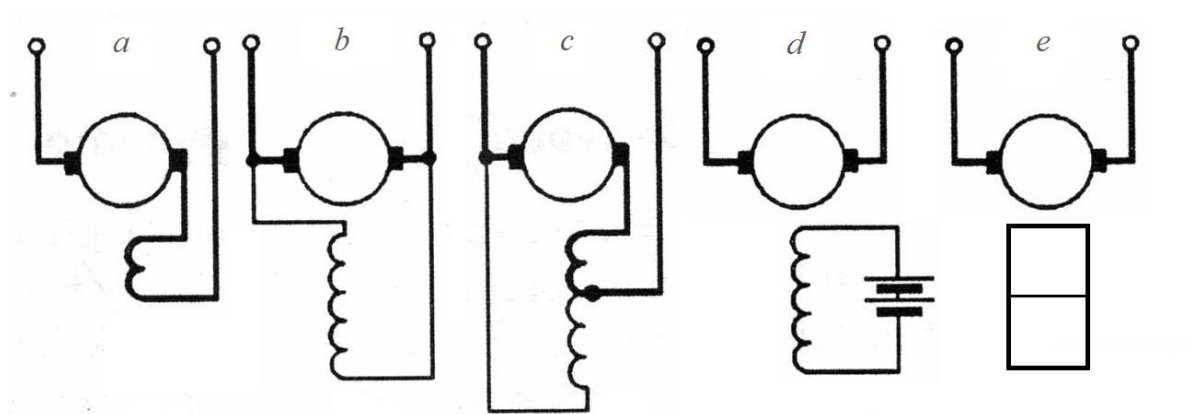
Obrázek 25 - Stavba motoru. Stator - stator, Rotor - rotor, Motor Shaft - hřídel motoru.

In: [dw-inductionheater.com](https://dw-inductionheater.com/shrink-fitting-stator-and-rotor-with-induction.html) [online] 23. února 2019. Dostupné z: <https://dw-inductionheater.com/shrink-fitting-stator-and-rotor-with-induction.html>



Obrázek 26 - princip působení sil v magnetickém poli

In: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz> [online] 24. února 2019. Dostupné z: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/sesit/sesit8.html>



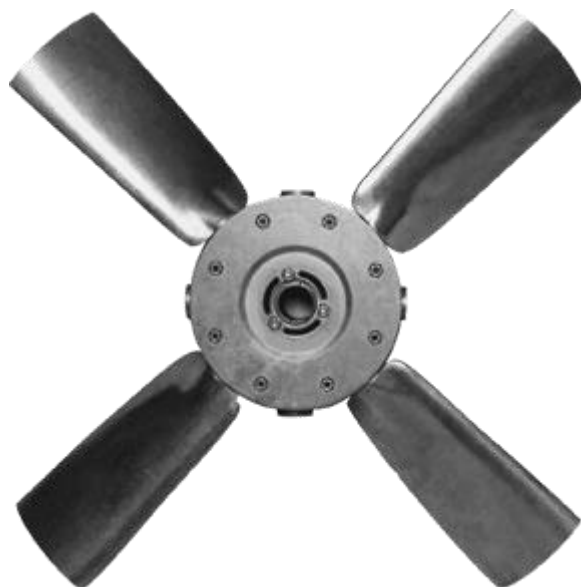
Obrázek 27 - - druhy elektromotorů s rozdílným zapojením. a - sériový motor, b - derivační motor, c - motor se smíšeným buzením, d - motor s cizím buzením, e - motor s permanentním magnetem

In: *elektrika.cz* [online] 24. února 2019. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/hlavni-druhy-stejnosmernych-stroju/view>



Obrázek 28 - pevně nastavená vrtule

In: *flight-mechanic.com* [online] 26. února 2019. Dostupné z: <http://www.flight-mechanic.com/types-of-propellers/>



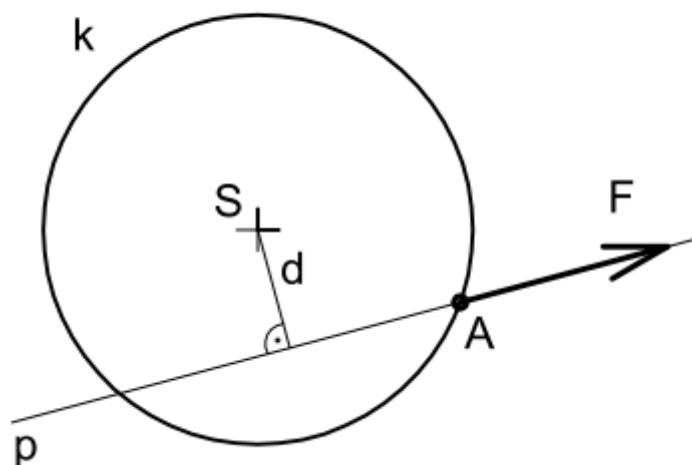
Obrázek 29 - na zemi nastavitelná vrtule

In: *flight-mechanic.com* [online] 26. února 2019. Dostupné z: <http://www.flight-mechanic.com/types-of-propellers/>



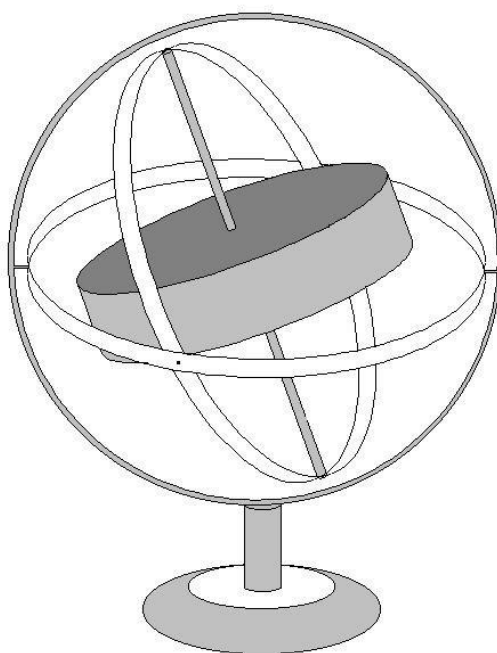
Obrázek 30 - letadlo s vrtulí držící stálou rychlost otáček

In: *boldmethod.com* [online] 26. února 2019. Dostupné z: <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aircraft-systems/how-a-constant-speed-prop-works/>



Obrázek 31 - Moment síly

In: <http://if.vsb.cz> [online] 20. února 2019. Dostupné z: <http://if.vsb.cz/bf/index.html>



Obrázek 32 - gyroskop zavěšený v Kardanově závěsu

In: mobilenet.cz [online] 10. února 2019. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/galerie/gyroskop-151036/clanek-15718>