

## **Měření setrvačnosti lidského oka**

*OTA KÉHAR*

*Fakulta pedagogická ZČU, Plzeň*

Příspěvek si klade za cíl představit experiment, jak změřit setrvačnost lidského oka. Úloha vychází z principu skládání barev. Metoda je snadno aplikovatelná i v prostředí školní třídy. Během experimentu lze upozornit, případně v další výuce odkázat, na některé vedlejší jevy (měření magnetické indukce, měření frekvence, zvýšení přesnosti měření). Bude uvedena i alternativní metoda užívající svítivé diody.

### **Setrvačnost lidského oka**

Naše smyslové orgány nepatří zrovna mezi dokonalé měřicí zařízení, přesto jsme na nich závislí a informacemi, které nám o okolním světě přináší, se řídíme a dost často na ně bezmyšlenkovitě spoléháme. Na principu nedokonalosti jsou založeny např. optické klamy. Některé nedokonalosti lidského těla ovšem můžeme s výhodou využít, u lidského oka se jedná zejména o jeho setrvačnost.

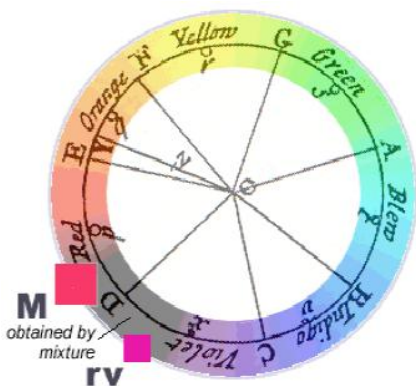
Lidské oko neumí zpracovávat spojitý tok světelné informace, od světelného podnětu po vyhodnocení informace nervovým systémem uplyne určitá doba (zpoždění), která činí zhruba jednu šestnáctinu sekundy. Jestliže přijdou do oka světelné podněty v kratším časovém rozmezí, vnímáme sledovanou scénu spojitě, v pohybu. Díky této nedokonalosti si můžeme užívat televizního a filmového světa již od minulého století, kdy pro plynulý pohyb obrazů na filmovém plátně v kině nebo na televizní obrazovce stačilo promítat 24, resp. 25 snímků za sekundu.

Zpoždění 20 ms je hodnota empirická, která platí pro průměrného člověka. Je různá pro přímý pohled a pro periferní vidění. Pokud se na danou věc podíváme přímo, má mozek tendenci blikání potlačovat, tedy hodnota pro přímý pohled bude jiná než pro pohled nepřímý. Záleží i na intenzitě světla – jasnější objekty se jeví jako méně blikající (setrvačnost fotochemické reakce v oku).

Setrvačnost lidského oka lze relativně snadno demonstrovat i ve třídě. Však i pro tento experiment mi byla inspirací problémová úloha s rybičkou a akváriem aneb jak dostat rybičku do akvária uvedená na metodickém portálu RVP [1]. Zde se užívá vnímání obrazů následujících v rychlém sledu po sobě.

## Skládání barev

Ve stručnosti lze říci, že skládání barev aditivním způsobem je založené na tom, že k jednomu barevnému světlu připojíme další barevná světla tak, že výsledné světlo má bohatší spektrální složení než dílčí světlo. Lze jej realizovat subjektivně na sítnici lidského oka a v mozku člověka při současném a rychle se střídajícím působení dvou nebo více barevných světel na totéž místo sítnice. Toho dosáhneme otáčením kruhového kotouče s barevnými výsečemi. Lidské oko není schopno rozlišit jednotlivé barvy ve složeném světle. Již v roce 1665 prováděl Newton pokusy s hranolem a lámáním světla při vzniku barevného spektra. Vynalezl speciální barevný kotouč (Newtonův kotouč), aby ilustroval, jak dochází k míchání barev. Kotouč byl pomalován sadou šesti různých barev (rozlišoval sedm základních barev: červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou, indigovou a fialovou), které se opakují čtyřikrát za sebou. Pokud je rychlost otáčení kola větší než 100 otáček



za minutu, nestačí oko sledovat jednotlivé barvy. Mozek místo toho spojí všech šest barev dohromady a vytvoří novou barvu – bílou. Na obr. 1 je originální Newtonův barevný kruh z roku 1704 složený ze spektrálních tónů.

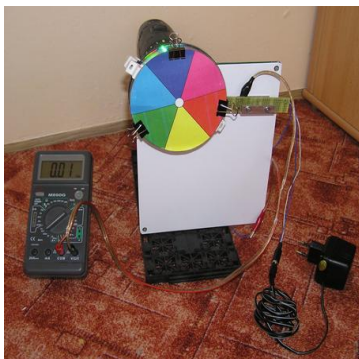
Obr. 1

## Experiment 1 – otáčivý kotouč

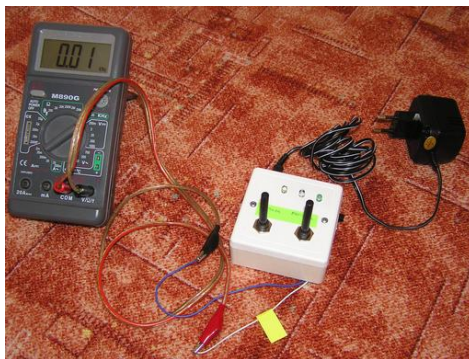
První experiment vychází z otáčivého kotouče využívající princip skládání barev a je doplněn o jednoduché měření otáček. Tím se dají změřit otáčky, při kterých splyne barevný kotouč v jednu barvu a tím ověřit zpoždění způsobující setrvačnost lidského oka, potažmo centrální nervové soustavy.

Měření otáček nebo jejich regulaci lze vyřešit různými způsoby – krokovým motorem, opticky nebo měřením magnetického pole. Já jsem se snažil o co nejjednodušší a zároveň v rámci školy realizovatelné řešení, protože jsem zvolil posledně zmiňovanou možnost – využití magnetického pole. Pro samotné měření magnetického pole vyvolané permanentními magnety jsem použil Hallovu sondu, běžně dostupnou v prodejnách s elektronickými součástky v řádu něko-

lika desetikorun. K sestavení tohoto experimentu jsou zapotřebí následující pomůcky: 3 ks CD nebo DVD disky, silnější brusný kotouč připojitelný na vrtačku, čtyři magnety na dvířka do skříněk, Hallova sonda, zdroj napájecího napětí, multimetr s možností měření frekvence v řádech desítek Hz, šroubky, matičky, nějaké destičky, akuvrtačka a hlavně šikovné ruce. Výsledkem je přípravek, jehož prototyp poháněný běžnou akuvrtačkou je na obrázku vpravo.



K experimentu 1



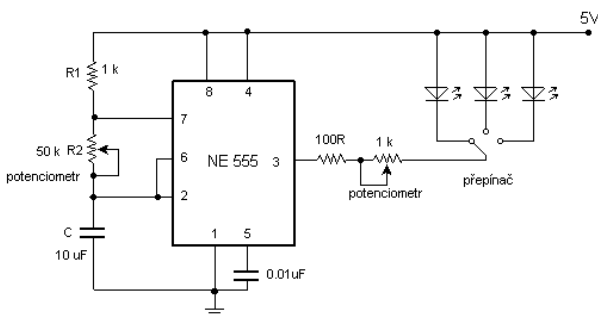
K experimentu 2

### Experiment 2 – svítivá dioda

Tento experiment je založen na čistě elektronickém řešení. Základem je generátor obdélníkového signálu, jehož frekvenci lze plynule měnit v rozsahu od jednotek Hz až po stovky Hz. Přesnou hodnotu frekvence, se kterou bliká bílá LED, je nutno měřit externím multimetrem nebo osciloskopem.

Pomocí tohoto přípravku můžeme určit relativně přesně frekvenci, při které je oko ještě schopno vnímat blikání bílé LED. Tuto mezní frekvenci můžeme určit pro přímý pohled na diodu, i pro periferní vidění (na LED se budeme dívat s odklonem  $45^\circ$ ). Kromě bílé LED můžeme použít i jinak zabarvenou a tak zjistit závislost barvy na vněm blikání. Je možné měnit intenzitu svitu LED a vynesť graf závislosti na intenzitě světla a mezní frekvenci.

Generátor obdélníkového signálu je tvořen známým integrovaným obvodem řady 555 [2], který lze zapojit jako astabilní klopný obvod s regulovatelnou výstupní frekvencí. Regulace frekvence je zajištěna změnou nabíjecího rezistoru, který je tvořen potenciometrem. Intenzita svitu LED je způsobena změnou proudu, který diodou teče.



### Vedlejší jevy

Primární zaměření úlohy je nedokonalost lidského oka, změření jeho setrvačnosti využitelné např. v hodině biologie. K tomu je nutné vytvořit výše uvedené přípravky, na kterých lze ovšem demonstrovat velké množství jevů a tím vyřešit otázku mezipředmětových vztahů. U měření otáček se využívá magnetického pole generované permanentními magnety. K samotnému měření je použita Hallova sonda. Výstupem jsou obdélníkové pulsy, jejichž četnost lze měřit čítačem, univerzálním multimetrem či osciloskopem. Při použití svítivé diody lze demonstrovat snadně využití univerzálního obvodu řady 555 a následně měření frekvence, případně úprava intenzity svícení LED. Přesnost měření lze zvýšit např. silnějšími magnety, ty ovšem budou přinášet potíže při roztáčení kotouče, roli bude hrát i odstředivá síla. U čítače znamená zvýšení přesnosti měření delší časovou základnu, ovšem na úkor aktuálnosti daného výsledku.

### Výsledky experimentů

Experiment se svítící diodou umožňuje přesnější určení setrvačnosti lidského oka. Měřením dosáhneme frekvence okolo 50 Hz, tzn. čas 20 ms. Tato hodnota je v rozporu s tvrzením, že pro promítání v kině stačí 24 snímků a pro televizní techniku 25 snímků za sekundu. Vjem plynulého jasu vzniká dozníváním na sítnici oka. Je tím dokonalejší, čím vyšší je kmitočet změn světlotma. Normálně se promítá 24-25 obrazových polí za sekundu. Kmitočet promítání je zdvojnásobován dalším přerušením světelného toku v době, kdy se film v okeničce promítačky nepohybuje. Tím se dosahuje dvojnásobného počtu obrazových změn, tedy 48 až 50 za sekundu. Každý obrázek na filmu je tak fakticky promítnut dvakrát po sobě. Podobně u televize se vysílají tzv. pulsníčky. Televizní formát PAL má 50 pulsníček, tedy 25 celých snímků za sekundu (50 Hz).

### **Co napsat závěrem?**

Studenty je vhodné při hodině fyziky zaujmout, doplnit výklad názornými a poutavými experimenty, zejména pokud je lze navázat na další obory. Můj příspěvek se o to pokusil, kdy lze spojit dohromady oko jako optický systém, odstředivou sílu, magnetické pole, měření otáček nebo generátor pulsů. Tzn. lze zabrousit do oblastí biologie, elektroniky nebo i výpočetní techniky.

### **Literatura**

- [1] REICHL, J. *Nedokonalost lidského oka*. Metodický portál: Články [online]. 18. 12. 2007, [cit. 2011-08-30]. Dostupný z <http://clanky.rvp.cz/clanek/c/g/1768/NEDOKONALOST-LIDSKEHO-OKA.html>.
- [2] Katalogové listy obvodu NE555.