



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

OSCILÁTOR

Nora Boščíková, Noemi Kuželová

Orlické nábřeží 356/1
500 03 Hradec Králové 3
Česká republika

Prohlášení

Prohlašujeme, že jsme práci Oscilátor vypracovaly samostatně a použily jsme podklady uvedené v seznamu použité literatury.

Souhlasíme se zpřístupněním této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Hradci Králové, 30. 3. 2015

Nora Boštíková, Noemi Kuželová

Poděkování

Děkujeme našemu vyučujícímu, panu Mgr. Martinu Jackovi za pomoc a podnětné připomínky, které nám během psaní práce poskytoval. Díky němu nás fyzika baví.

Dále chceme poděkovat panu Kubcovi - truhláři, který nám pomohl z překližky vyříznout vhodný tvar kruhu.

Anotace

Jedním z vyučovaných témat v hodinách fyziky je problematika mechanického kmitání. Pro vysvětlení tohoto fyzikálního jevu je nutné, aby se studenti seznámili se zařízením zvaným oscilátor. Oscilátor je těleso, které volně kmitá. Můžeme se s ním setkat i v běžném životě. Na principu oscilátoru funguje například lidské srdce (stahy) nebo chvění ušního bubínku. Stejně jako závaží kmitající po zavěšení na pružinu.

Naší snahou bylo vytvořit vhodnou fyzikální pomůcku návodně znázorňující principy a funkce oscilátoru tak, aby demonstrace přispěla k lepšímu pochopení dané problematiky a obohatila školní výuku.

Klíčová slova: mechanické kmitání, oscilátor

Annotation

The mechanical vibrations are one of the topics to be taught during the hours of physics. To explain this physical phenomenon, it is necessary to familiarize students with the device called an oscillator. The oscillator is a body that vibrates freely. We could meet that in everyday life, e.g. human heart operates on principle of oscillator (contractions) or human eardrum vibrates as well similarly as weight oscillating on a spring.

Our aim was to create a suitable physical guidance tool illustrating the principles and functions of the oscillator, so that the demonstrations have contributed to a better understanding of the issue and enriched schooling.

Keywords: mechanical vibration, oscillator

OBSAH	strana
1 Úvod – proč jsme se rozhodly vytvořit školní pomůcku, model oscilátoru	6
2 Teoretická část	7
2.1 Kmitání	7
2.2 Pohyb bodu po kružnici	7
2.3 Rovnice harmonického oscilátoru	9
2.4 Rychlost a zrychlení	11
2.4.1 Vztah rychlosti a zrychlení	13
3 Popis vytvoření prototypu oscilátoru	15
4 Závěr	16
5 Citovaná literatura	17
6 Seznam příloh	18
6.1 Bezpečnostní informace	22
6.2 Popis modelu	23
6.3 Sestavení	24
6.4 Návod k použití	25

1 Úvod

(Proč jsme se rozhodly vytvořit školní pomůcku – model oscilátoru)

V hodinách fyziky běžně používáme pomůcky, které nám usnadňují představit si probírané jevy a napomáhají nám lépe pochopit danou teorii.

V rámci tématu mechanické kmitání a vlnění, jsme si uvědomily, že nemáme pro probíranou látku, vhodný model. Přitom se podle našeho názoru jedná o relativně abstraktní látku, a výklad by vhodná pomůcka nejen obohatila, ale měly jsme pocit, že by nám všem lépe pomohla danou problematiku pochopit. První byl tento pocit či názor, který postupně krystalizoval do konkrétní představy, jak by daná pomůcka měla vypadat. Od myšlenky jsme přešly k úvahám jaký materiál použít, jak vyřešit problém přichycení magnetu na model jinak vytvářený ze dřeva (nátěr magnetickou barvou), co se světelným zdrojem (znaly jsme z hodin vyučování biologie zařízení Meotar). A tak se postupně zrodil konkrétní model oscilátoru, který jsme nejprve „testovaly“ na sobě, pak doma na rodičích a nakonec mezi spolužáky. Ten fakt, že fyzikální jev byl všemi na základě naší demonstrace pochopen a myšlenka i realizace se líbily našemu vyučujícímu fyziky, panu profesoru Jackovi, je důvodem, proč jsme se posléze rozhodly sepsat tuto teoretickou seminární práci a nápad jsme přihlásily do SOČ soutěže.

Tato seminární práce je tedy výsledkem úvah jak dané výukové téma doplnit a obohatit vhodnou pomůckou. Navrhly a vytvořily jsme prototyp názorného a funkčního modelu oscilátoru pro výuku v hodinách fyziky na středních školách, a to z cenově dostupných materiálů. Rády bychom zdůraznily, že jde stoprocentně o naši myšlenku, která vychází pouze z našeho nápadu, nikde, ať už v literatuře či na internetu jsme nehledaly, ani jsme se nikde neinspirovaly.

2 Teoretická část

2.1 Kmitání a vlnění

Kmitání je změna, typicky v čase, kdy určité veličiny vykazují opakování nebo tendenci k němu.

Kmitající systém nebo zařízení se nazývá oscilátor (z latinského výrazu *oscilla*, kmitat). Hodnoty určitých parametrů, jako jsou poloha, rychlost, napětí, a podobně se u něj periodicky opakují. Oscilátory mohou být mechanické, elektrické, dále se dělí na harmonické (kyvadlo, závaží na pružině) či relaxační. První typ oscilátoru se vyznačuje průběhem kmitu vyjádřitelného sinusoidou, druhý typ lze charakterizovat nesourodým kmitáním.

Dochází-li k přenosu kmitání prostorem, hovoříme o vlnění (Wikipedia).

2.2 Pohyb bodu po kružnici

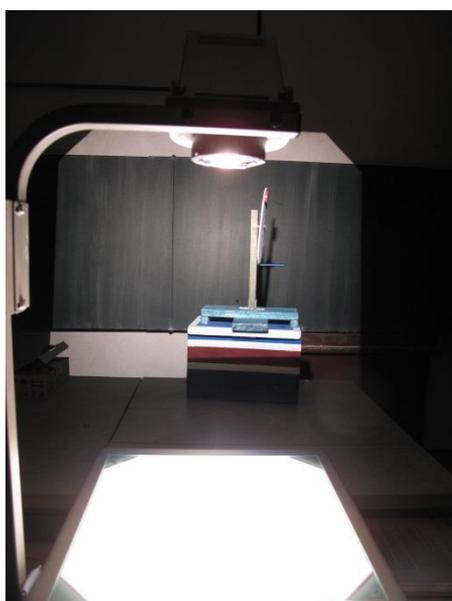
Jedním z nejjednodušších příkladů rovinného periodického pohybu je pohyb po kružnici.

V případě námi navrženého modelu oscilátoru se jedná o **kmitavý pohyb**, což velmi dobře demonstruje stín kmitajícího tělesa, které supluje hmotný bod (**Obrázek 1 – 3**).

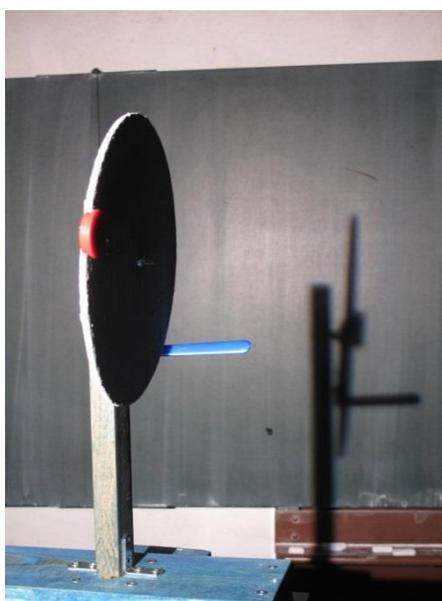
Přemýšlely jsme, jak se vypořádat s problémem zdroje světla. Z hodin biologie jsme znaly světelné promítací zařízení **Meotar**, a proto jsme ho také využily.

Meotar nebo-li zpětný projektor (Meotar 2A či Meotar 3) je didaktickou pomůckou, používanou od sedmdesátých let minulého století jak na základních, tak středních i vysokých školách. Nicméně se zdá, že toto zařízení už není na většině škol běžně používané či dostupné. Nemyslíme si ale, že by toto bylo zásadní překážkou pro využití naší pomůcky. V současnosti je Meotar nahrazován tzv. **visualisérem**. To je modernější zařízení, nejen zobrazující neprůhledné předměty, ale i 3D objekty, navíc mnohdy vybavené zvětšením a schopné propojení s PC.

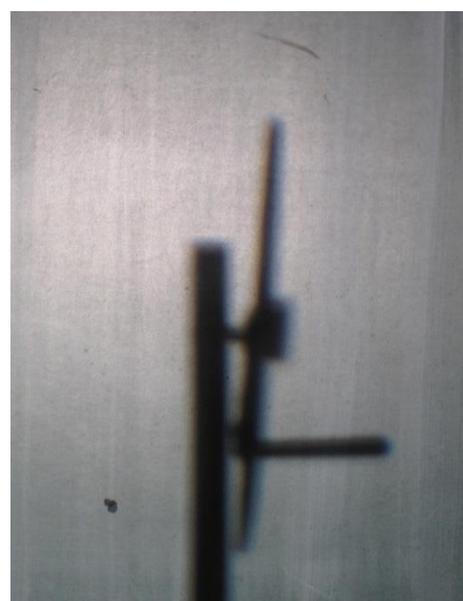
Neměly jsme, bohužel, možnost vyzkoušet toto zařízení spolu s naší pomůckou, ale dle



Obrázek 1 – Využití meotaru pro promítnutí oscilátoru a vizualizaci daného jevu (foto N. Boštíková)



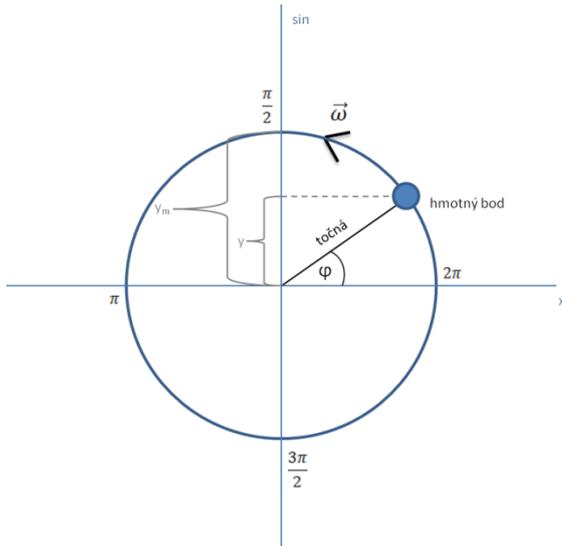
Obrázek 2 – Stín modelu oscilátoru a vlastní oscilátor v popředí (foto N. Boštíková)



Obrázek 3 – Stín modelu oscilátoru – detail (foto N. Boštíková)

popisu se domníváme, že jím lze plně starší Meotar nahradit. Na druhou stranu odzkoušely jsme v domácích podmínkách i běžnou stolní lampičku, která je také plně funkční.

Navrhovaná fyzikální pomůcka vychází z následujícího teoretického základu, kdy je třeba si nejprve objasnit a popsat jednotlivé fyzikální veličiny a jejich vztahy charakterizující pohyb hmotného bodu po kružnici (**Obrázek 4**):



Obrázek 4 – Veličiny pohybu po kružnici (N. Kuželová)

- **Perioda (neboli doba kmitu) T** = doba, za níž hmotný bod urazí celou dráhu a vrátí se na původní místo, $[T] = s$

- **Frekvence (neboli kmitočet) f** = počet oběhů kolem kružnice za časovou jednotku,

$[f] = \text{Hz}$; platí vztah $f = \frac{1}{T}$

- **Úhlová rychlost $\vec{\omega}$** = délka obloukové dráhy za časovou jednotku, $[\vec{\omega}] = \text{rad} \cdot s^{-1}$

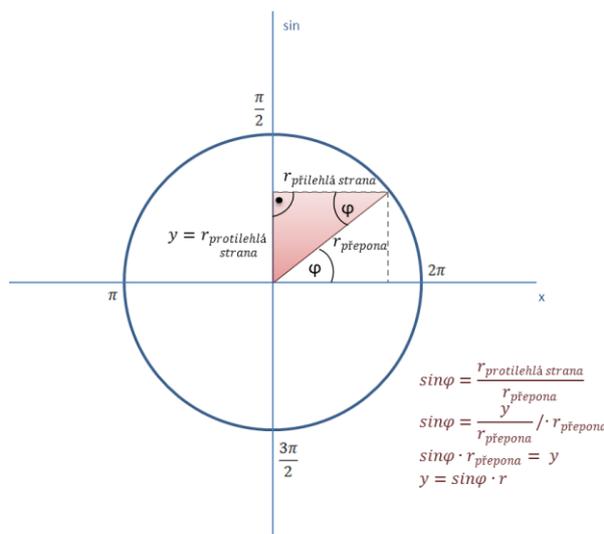
Vzorec pro její výpočet lze snadno odvodit z definice:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

- **Čas t , $[t] = s$**

- **Fáze kmitavého pohybu ϕ** = úhel mezi osou x a tečnou (úsečkou ze středu kružnice k hmotnému bodu), $[\phi] = \text{rad}$. Platí $\phi = \vec{\omega}t$

- **Okamžitá výchylka y** = vzdálenost hmotného bodu od rovnovážné polohy S ve svislém smyslu (tj. ve smyslu osy \sin); z **Obrázek** je vidět, že $y = r \cdot \sin\phi$

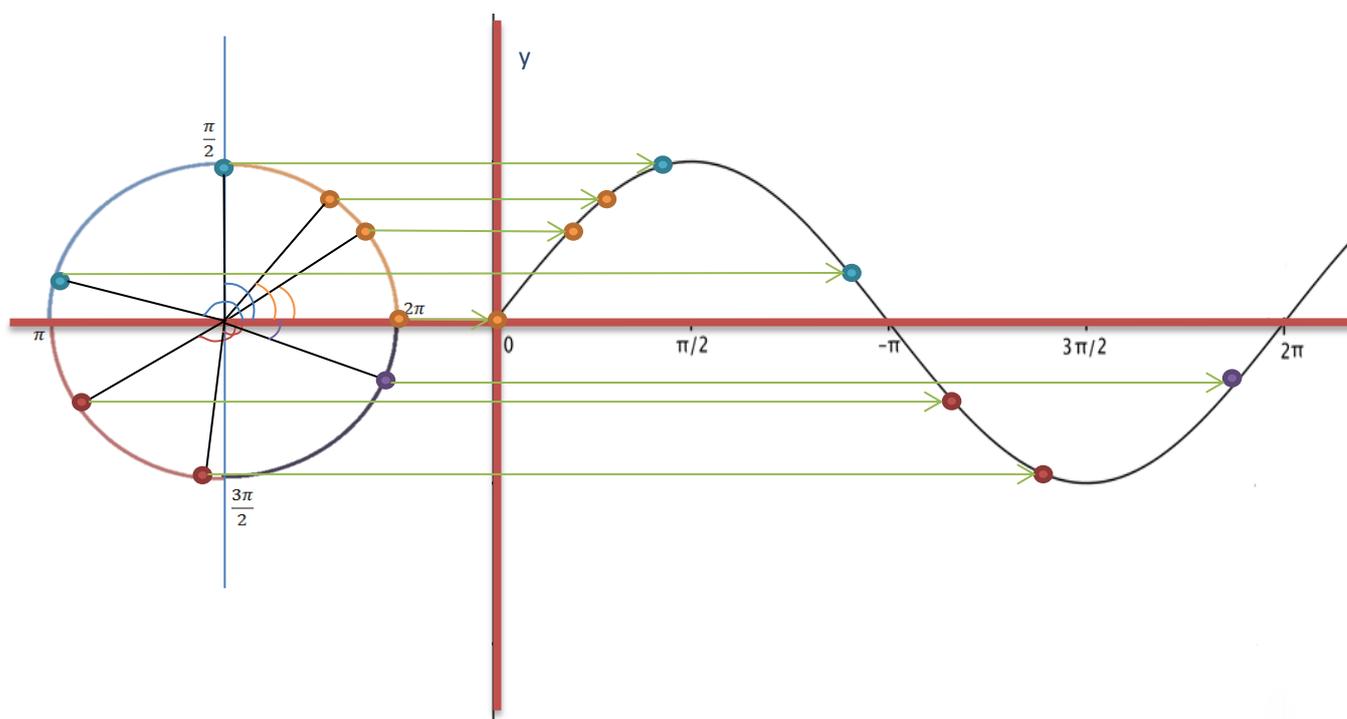


- **Amplтуда výchylky y_m** = nejvyšší možná výchylka; z **obrázku 5** je patrné, že $y_m = r$, tedy $y = y_m \sin\phi$

$$\begin{aligned} \sin\phi &= \frac{r_{\text{protilehlá strana}}}{r_{\text{přilehlá strana}}} \\ \sin\phi &= \frac{y}{r_{\text{přilehlá strana}}} / r_{\text{přilehlá strana}} \\ \sin\phi \cdot r_{\text{přilehlá strana}} &= y \\ y &= \sin\phi \cdot r \end{aligned}$$

Obrázek 5 $y = r \cdot \sin\phi$ (N. Kuželová)

Pohyb hmotného bodu lze zapsat do **časového diagramu (Obrázek 6)**. Vezmeme-li konstantní úhlovou rychlost a počáteční nulovou fází, lze pohyb po kružnici popsat jako funkci, kde nezávisle proměnnou bude čas t a závisle proměnnou výchylka y . Kružnici takto „rozložíme“ do **sinusoidy**.



Obrázek 6 – Vznik sinusoidy, časový diagram (N. Kuželová)

2.3 Rovnice harmonického oscilátoru

Pokud se lze pohyb kmitajícího bodu zapsat jako sinusoidu, jedná se o tzv. **harmonický oscilátor** (Poláček, 2000).

Pro výpočet jednotlivých veličin máme tzv. **rovnici harmonického oscilátoru**:

$$y = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Budeme-li na tuto rovnici nahlížet jako na funkci f , pak $y = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$, a můžeme určit, kde se jednotlivé body na svých pozicích v rovnici nacházejí.

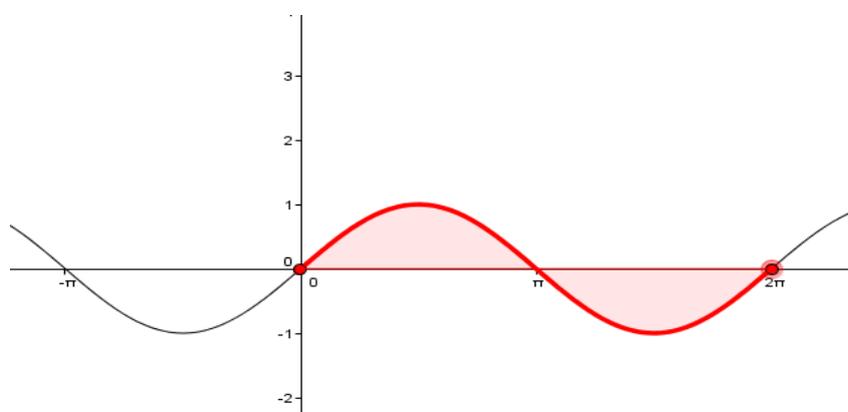
Rozeberme si, jak bychom tuto funkci sestrojili pomocí pomocných funkcí f_1, f_2, f_3, \dots , kde osový kříž bude tvořit vertikální osa y (výchylka) a horizontální osu čas t .

Na pravou stranu zapisujeme tzv. **závislou proměnnou**. Ta se mění podle hodnot, které doprava dosazujeme. V grafu udává souřadnici bodu znázorňující vzdálenost tohoto daného bodu od osy nezávislé proměnné x (v našem případě t), tedy jeho hodnotu na ose y . Vzpomeneme-li, co nám udává výchylka y , je zřejmé, že nebyla na své místo v rovnici dosazena omylem. Definovali jsme ji jako vzdálenost bodu od rovnovážné polohy. Rovnovážná poloha leží v nulovém bodě osy y , nebo-li náleží ose t .

První pomocnou funkci, již zavedeme, je funkce f_1 , pro niž platí $f_1: y = \sin \omega t$ (**Obrázek 7**).

Již jsme zmínily vztah $\omega t = \varphi$. Dosazeno do daného funkčního předpisu, platí

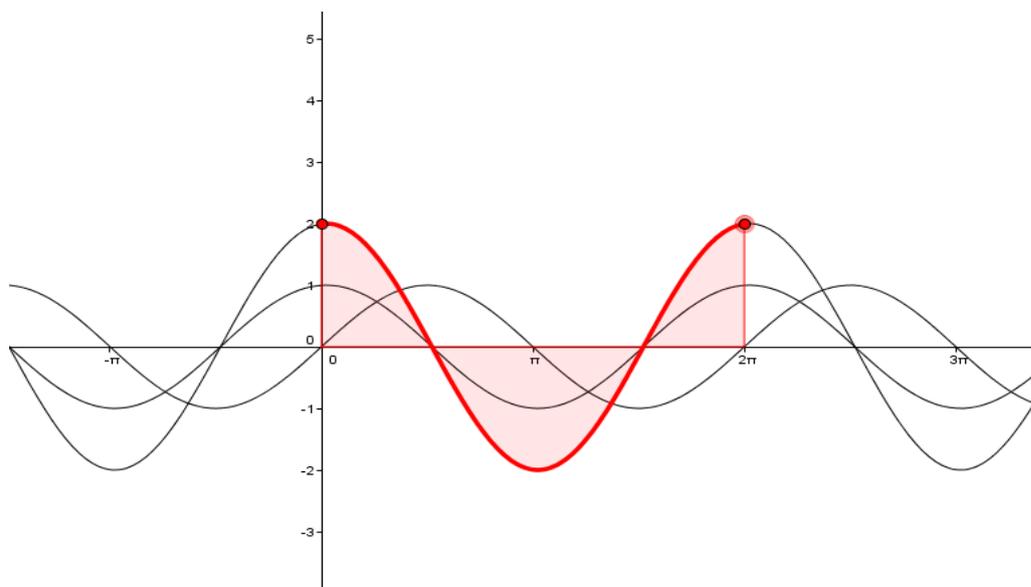
$f_1: y = \sin \varphi$. Přesně takto jsme si zavedly graf kmitavého pohybu po kružnici – jako v čase se



Obrázek 7 – $f_1: y = \sin \omega t$ (N. Kuželová)

měňící vzdálenost oscilátoru od rovnovážné polohy (tj. od osy t).

Druhou funkcí je f_2 , $f_2: y = \sin(\varphi + \varphi_0)$, kdy φ_0 značí posunutí na ose x . Přičítáme jej, proto budeme celou funkci posouvat proti směru této osy (tzn. vlevo). **Fázový posun** nám říká, od kterého okamžiku jsme začaly úhel přenášet. Vznikne nám tedy opět část sinusoidy. Když si domyslíme její zbytek, zdá se nám být posunutá.

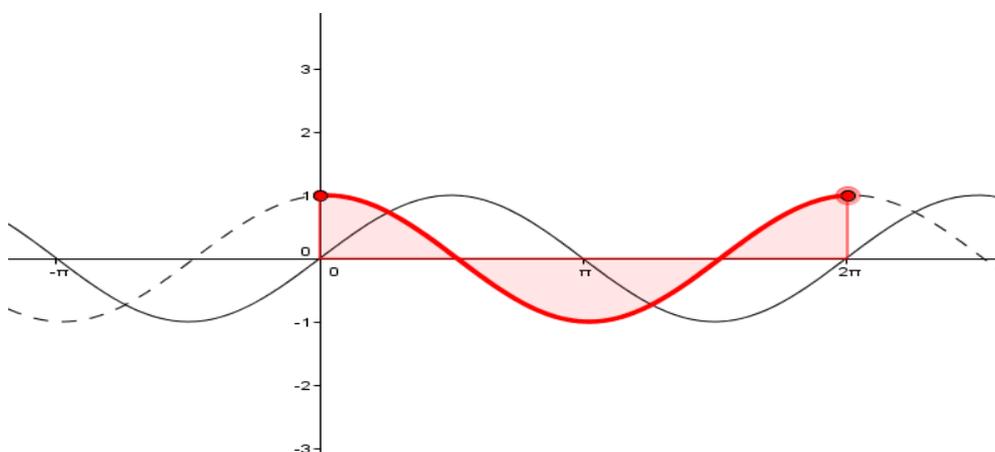


Obrázek 9 – $f_3: y = y_m \cdot \sin(\varphi + \varphi_0)$ (N. Kuželová)

Do třetice zavedeme pomocnou funkci $f_3: y = y_m \cdot \sin(\varphi + \varphi_0)$, a to připsáním amplitudy výchylky (Obrázek 8). To je číselná konstanta, kterou když vynásobíme **sinus** x (v našem případě **sinus** $(\varphi + \varphi_0)$) „roztáhne se“ sinusoida ve směru osy y . Pro $y_m = 1$ platí

$f_2 = f_3$. Amplituda výchylky určuje obor hodnot funkce f , v kmitavém pohybu vymezuje rozsah, ve kterém se výchylka y pohybuje (Obrázek 9).

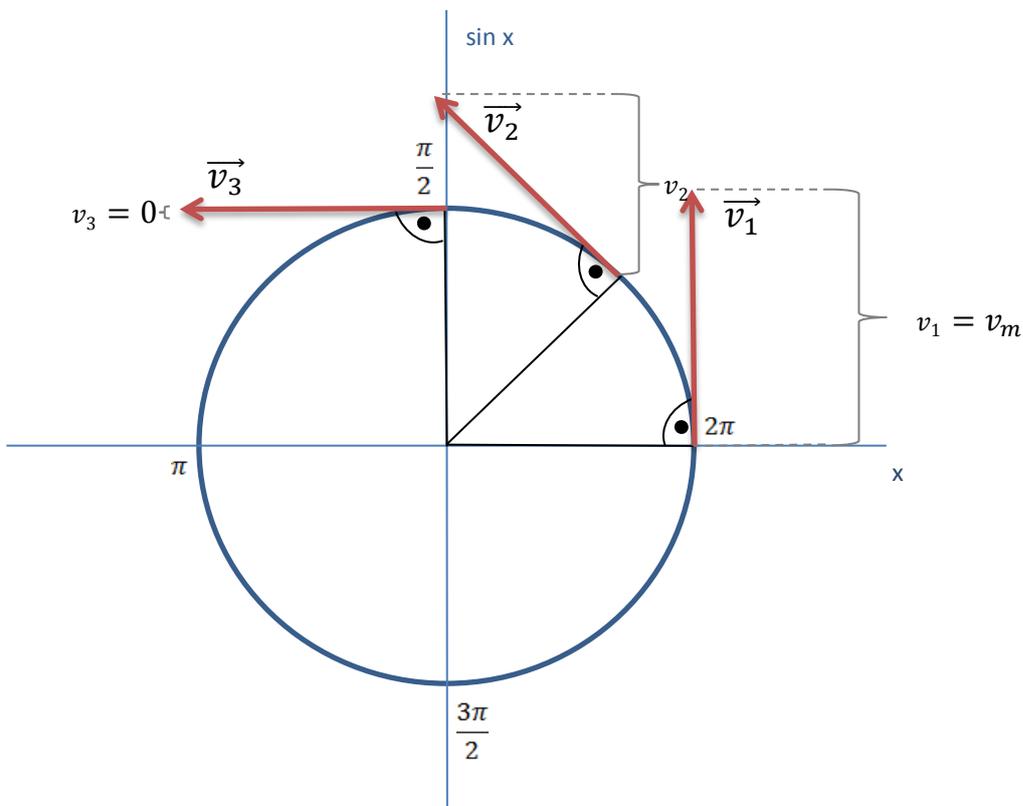
2.4 Rychlost a zrychlení



Obrázek 8– $f_2: y = \sin(\varphi + \varphi_0)$ (N. Kuželová)

Posledními dvěma veličinami, jimiž se budeme zabývat, jsou **rychlost** a **zrychlení**. Jelikož se jedná o vektorové veličiny (tj. mající směr) značíme je nadepsáním šipky nad značku dané veličiny, popř. tučným písmenem. Jejich velikost můžeme zapsat netučným písmenem dané značky, nebo svislými čarami ohraničit tuto značku i s šipkou. U obou také používáme jejich amplitudu neboli maximální velikost. Ta má stejné jednotky jako veličina, jíž náleží.

Rychlost znázorňujeme jako tečnu kružnice, nemůžeme si ji však představit staticky, musíme ji vždy vztahovat k danému místu a zároveň v daný čas. Není konstantní během celé periody, naopak. Velikost rychlosti určujeme podle rozdílu **y**-ových souřadnic jejího vektoru. Z toho vyplývá, že nejvyšší rychlost nastává, leží-li její



Obrázek 10– Rychlost (N. Kuželová)

počátek na ose **x**. Pokud leží na ose **y**, pak je nulová.

Rychlost značíme \vec{v} ; $[\vec{v}] = \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1}$ (Obrázek 10).

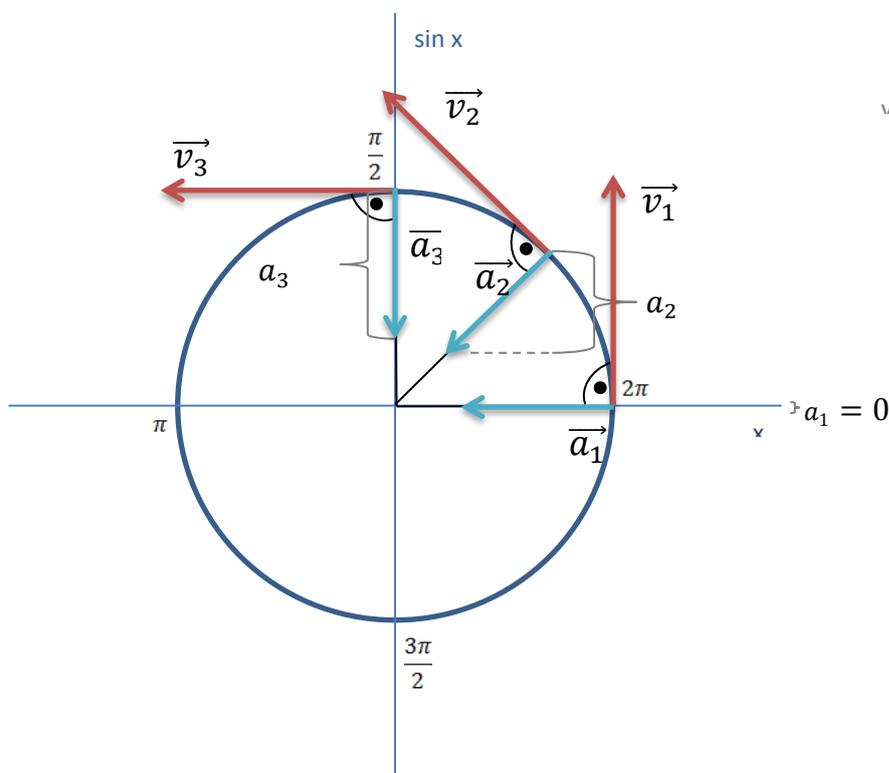
Amplituda rychlosti v_m udává maximální hodnotu rychlosti; $[v_m] = \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1}$. Lze ji vypočítat ze vzorce $v_m = \omega y_m$ (Šedivý, Volf, & Horáková).

Výpočet rychlosti se udává vzorcem $v = v_m \cdot \cos(\omega t + \phi_0)$. Jejím grafem je **kosinusoida**.

Poslední námi vytyčenou veličinou je **zrychlení**. Zrychlení udává změnu rychlosti \vec{v} za jednotku času při konstantní úhlové rychlosti $\vec{\omega}$. Vždy je kolmé k rychlosti, a směřuje tudíž do středu kružnice. Značí se \vec{a} ; $[\vec{a}] = \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-2}$. Velikost zrychlení, stejně jako rychlosti, zjistíme z rozdílu **y**-ových souřadnic jeho vektoru.

Pro zjištění amplitudy zrychlení a_m se používá vzorec $a_m = \omega^2 y_m$.

Zrychlení je udáno rovnicí $\mathbf{a} = -\mathbf{a}_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$. Zrychlení se chová podobně jako rychlost, ovšem v prvním kvadrantu (na rozdíl od rychlosti) stoupá, jak je patrné z **obrázku 11**, tudíž opět pracujeme s funkcí **sinus** (Tomášek, 1977; Lepil, 1994; Jacko, 2014).

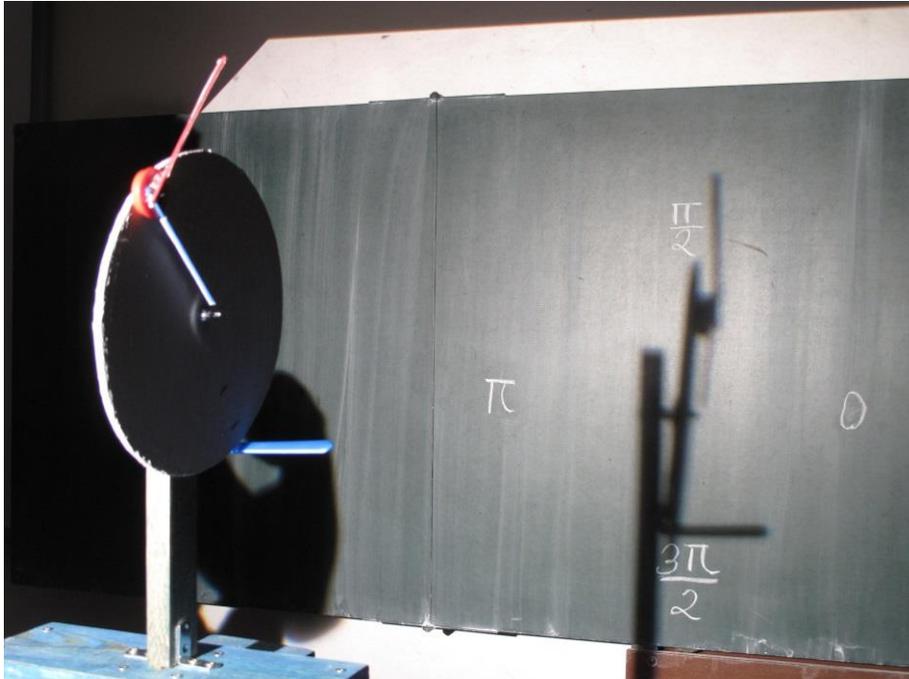


Obrázek 11– Zrychlení (N. Kuželová)

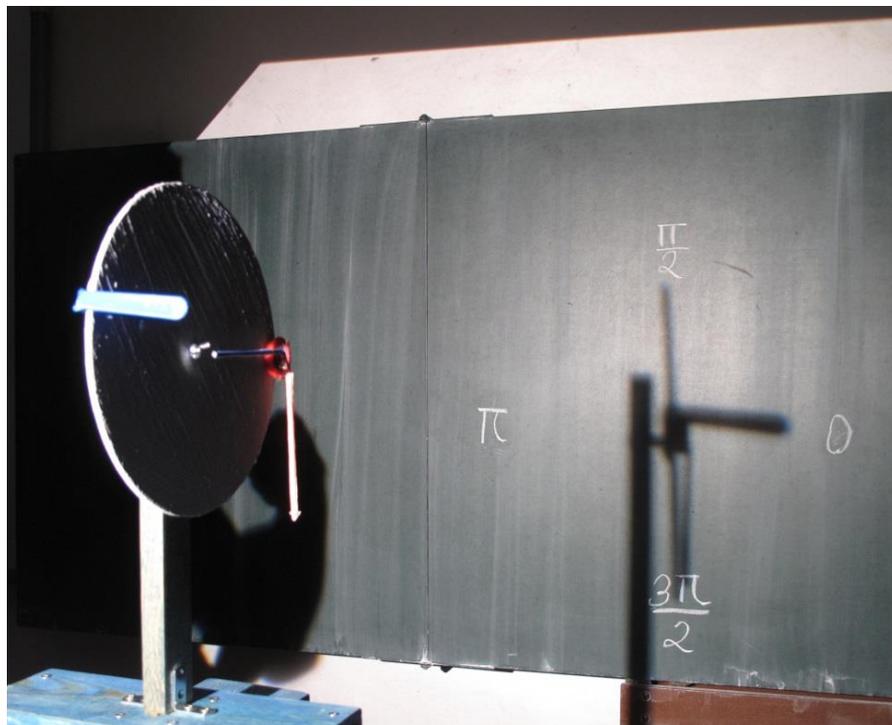
2.4.1 Vztah rychlosti a zrychlení

Rychlost spolu se zrychlením charakterizují pohyb popisovaného oscilátoru. V předchozí kapitole jsme hovořily o rozdílech jejich souřadnic udaných velikostí příslušných veličin. Prakticky se však neměří samotné souřadnice vektoru, ale výška jeho stínového odrazu. Jedná se o funkční metodu, kdy využíváme promítání na rovnou svislou plochu (ideálně školní tabuli), a kde je samotné měření velmi komfortní (**Obrázek 12**). Červená šipka znázorňuje vektor rychlosti, modrá šipka zrychlení. Na tabuli jsou dopsány čtyři stěžejní velikosti úhlu φ , které nám, pokud přimyslíme osy x a rozčleňují rovinu do čtyř kvadrantů.

Platí, že pokud stíny vektorů zrychlení a rychlosti míří stejným směrem, pak se hmotný bod zrychluje, pokud míří opačným, zpomaluje. Na **obrázku 12** stíny šipek míří od sebe, a tudíž hmotný bod v tomto kvadrantu zpomaluje. Naopak na **obrázku 13** jsou stíny v zákrytu, tj. míří stejným směrem, čili v tomto kvadrantu dochází ke zrychlení.

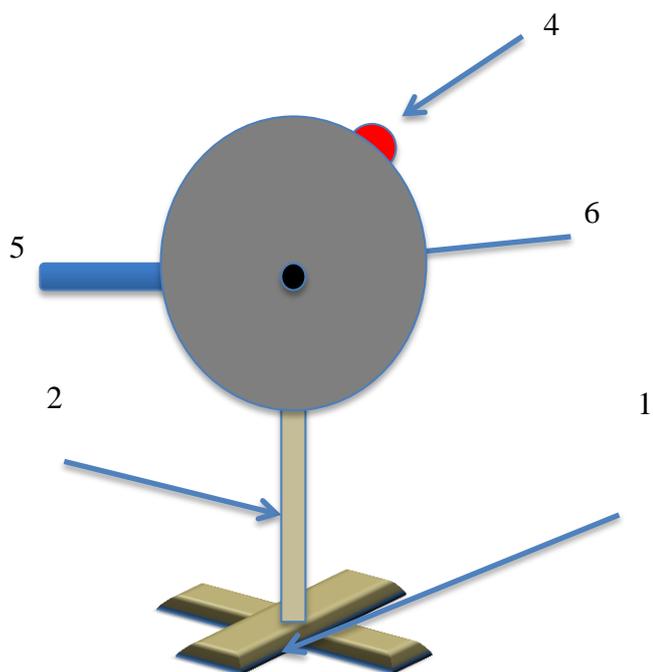


Obrázek 12 – Stín šipek zrychlení a rychlosti (foto N. Boštíková)

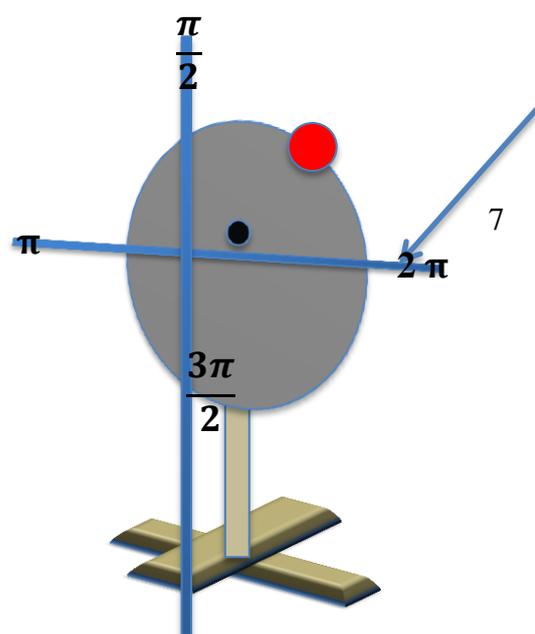


Obrázek 13 – Zrychlující hmotný bod (foto N. Boštíková)

3 Popis vytvoření prototypu oscilátoru



Obrázek 14 - Návrh prototypu oscilátoru (N. Boštíková)



Obrázek 15 - Návrh prototypu oscilátoru (N. Boštíková)

V obchodě s domácími potřebami Baumax jsme zakoupily potřebné součástky pro výrobu prototypu oscilátoru (**Obrázek 14 a 15**). Stojánek (1) a nosič (2) jsme vyrobily ze dřeva. Dřevěný kotouč (3) jsme nechaly vyříznout z překližky. Kotouč jsme natřely celkem pěti vrstvami magnetické barvy (DUPLI-COLOR). Ta je nejdražší položkou, stojí kolem 600 Kč, ale lze se bez ní obejít a samotný oscilátor na kotouč připevnit trvale.

Jako vlastní oscilátor slouží magnet (4), umístěný na dřevěném kotouči natřeném magnetickou barvou. Tím pádem lze oscilátor (= magnet) umístit kamkoli na kotouč dle přání předvádějícího.

Pro usnadnění obsluhy zařízení jsme na kotouč z jedné strany připevnily držadlo (5), zhotovené z plastové lžičky s dlouhou rukojetí. Kotouč s oscilátorem jsme přichytily k nosiči kovovým šroubem s maticí (6). Osový kříž (7) jsme vytvořily ze dvou dřevěných špejlí, které jsme slepily tavnou pistolí. Na každé rameno takto vytvořeného kříže jsme nalepily znaménko pro význačné úhly kružnice. Výsledná cena prototypu je přibližně 800 Kč.

Návod, jak oscilátor sestavit a konkrétně použít je v příloze **Návod k modelu učební pomůcky pro střední školy – oscilátor**.

4 Závěr

Naším úkolem bylo vytvořit funkční fyzikální prototyp oscilátoru pro výuku středoškolských studentů v hodinách předmětu fyziky. Po zhotovení a odzkoušení modelu, včetně jeho předvedení spolužákům, se domníváme, že se nám vytýčený cíl podařilo naplnit.

Prototyp oscilátoru je zcela funkční a bude se využívat při hodinách fyziky na naší mateřské škole, tj. Biskupském gymnáziu Bohuslava Balbína v Hradci Králové.

5 Citovaná literatura

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kmit%C3%A1n%C3%AD>

Poláček, M. (2000). Kmitavý pohyb. <http://radek.jandora.sweb.cz/f10.htm>

Šedivý, P., Volf, V., & Horáková, R. (2014). Studijní text pro řešitele FO a ostatní zájemce o fyziku. <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/kmity.pdf>

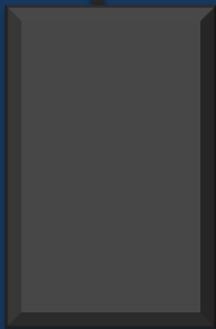
Jacko, M. (2014). Středoškolská výuka fyziky na Biskupském gymnáziu BB. Hradec Králové

Lepil, O. (1994). Fyzika pro gymnázia, Mechanické kmitání a vlnění. Prometheus, Praha

Tomášek, Z. (1977). FYZIKA Mechanické kmity, vlnění a akustika. SNTL, Praha

6 Seznam příloh

Návod k modelu učební pomůcky pro střední školy - oscilátor



Návod k modelu
učební pomůcky
pro střední školy
OSCILÁTOR

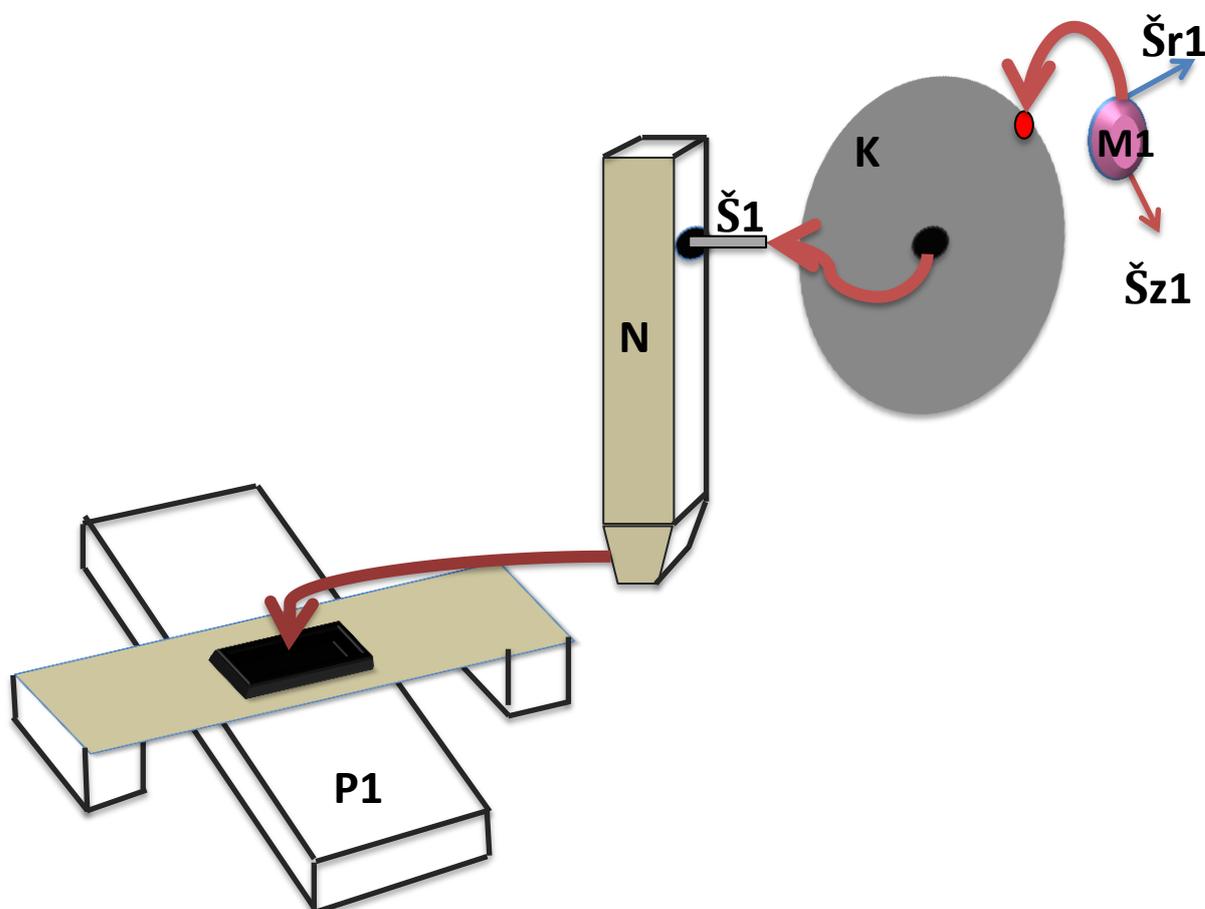
6.1 Bezpečnostní informace

Tato školní pomůcka je určena k předvádění fyzikálních pokusů v rámci středoškolské školní výuky. Model oscilátoru obsahuje ostré součástky a v případě neopatrného zacházení může dojít k poranění.

6.2 Popis modelu

6.3 Sestavení (Obrázek 2)

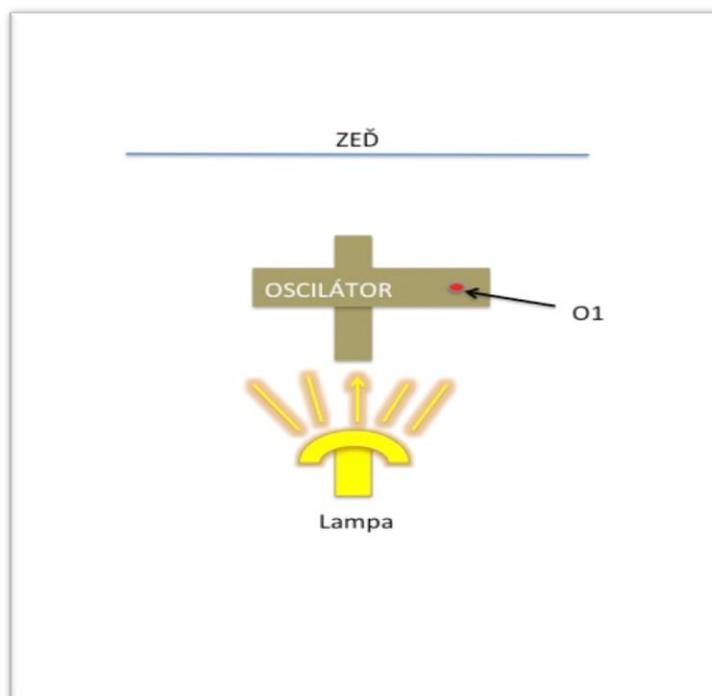
- 1) Položte P1 na pracovní plochu tak, aby nahoře byla ta strana, kde je štěrbina (štěrbina je označena červenou tečkou).
- 2) N1 zasadíte do podélné štěrbiny, která je v P1.
- 3) Š1 nasadíte na N1 do otvoru vyznačeného na N1 červenou barvou. Š1 nasadíte tak, aby ostrý konec směřoval na tu stranu kde je v P1 červeně označená štěrbina.
- 4) K1 nasadíte na Š1.
- 5) Do červeně označené štěrbiny v P1 zasadíte O1, a to tak aby $\frac{\pi}{2}$ směřovalo nahoru do stropu.
- 6) Na K1 dejte M1, M1 položte na K1 tak, aby část M1 přesahovala přes okraj K1
- 7) M1 a M2 by měly být přišroubované na Šr1 a Šz1 tak, aby se neuvolňovaly.



Obrázek 2 – Pomocné schéma pro sestavení oscilátoru (N. Boščíková)

6.4 Návod k použití

Po úspěšném sestavení modelu oscilátoru stačí pouze lampička, či Meotar s nastavitelnou svítící plochou, k předvedení jevu. Oscilátor postavte stranou ke zdi, či proti školní tabuli. Na oscilátor sviťte lampičkou/Meotarem (**Obrázek 3**). Nyní již stačí jen otáčet K1 a pozorovat, jak se pohybuje stín magnetu M1.



Obrázek 3 - Promítání oscilátoru (N. Boštková)