

Úloha č. 8

Eulerovo kyvadlo

Turnaj mladých fyziků – Úvodní soustředění
8.10.2022, FZÚ AV ČR, Slovanka

Pavel Kůs

pavel.kus@fzu.cz nebo kuspa@fzu.cz

Zadání

Anglický originál: Euler pendulum

Take a thick plate of non-magnetic material and fix a neodymium magnet on top of it. Suspend a magnetic rod (which can be assembled from cylindrical neodymium magnets) underneath it. Deflect the rod so that it touches the plate only with highest edge and release it. Study the motion of such a pendulum under various conditions.

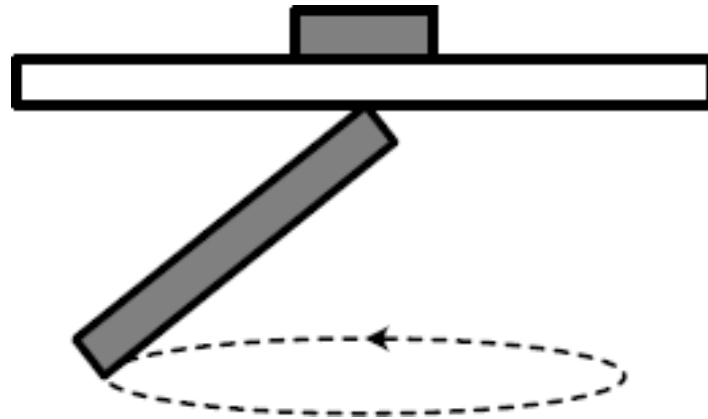
(Zdroj: IYPT - <https://www.iypt.org/problems/problems-for-the-36th-iypt-2023/>)

Český překlad: Eulerovo kyvadlo

Vezměte tlustou desku z nemagnetického materiálu a na její horní stranu připevněte neodymový magnet. Zavěste pod ni magnetickou tyčku (která může být sestavena z válcových neodymových magnetů). Vychylte tyčku tak, aby se dotýkala desky pouze svou vrchní hranou, a pusťte ji. Prostudujte pohyb tohoto kyvadla za různých podmínek.

(Zdroj: TMF - <https://tmf.fzu.cz/tasks.php?y>)

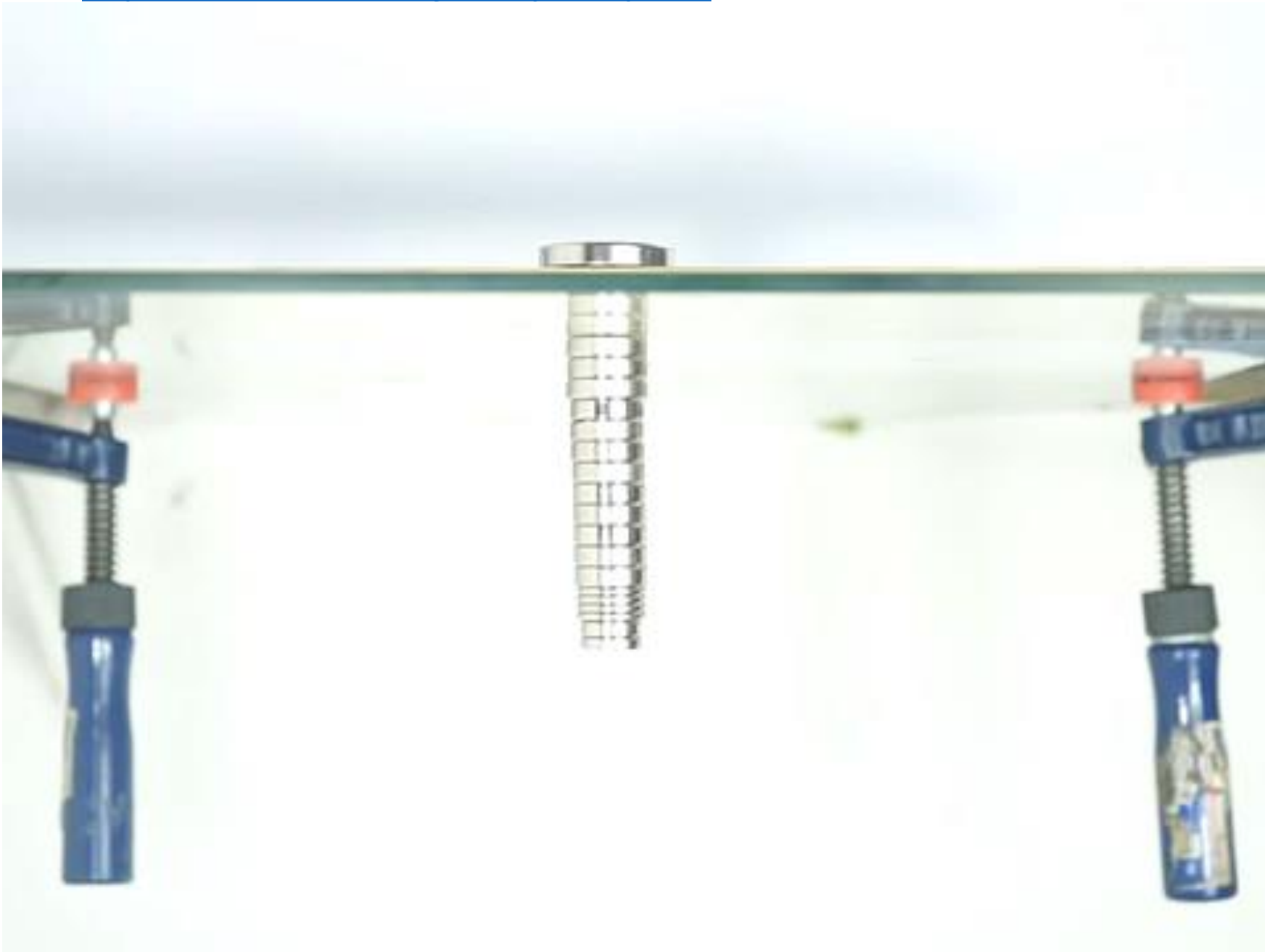
1. Vezměte tlustou desku z nemagnetického materiálu a na její horní stranu připevněte neodymový magnet.
2. Zavěste pod ni magnetickou tyčku (která může být sestavena z válcových neodymových magnetů).
3. Vychylte tyčku tak, aby se dotýkala desky pouze svou vrchní hranou, a pusťte ji.
4. Prostudujte pohyb tohoto kyvadla za různých podmínek.



Obrázek přiložený k zadání

Youtube video: https://www.youtube.com/watch?v=zrjZfR0s1KY&ab_channel=FenixScienceClub

Kredit: klub Fénix: <https://fenix.club/turniej-mlodych-fizykow/>



Záměr této prezentace

1. NEvyřešit vám úlohu.
2. Dát náměty na přemýšlení, nabídnou užitečné pojmy a odkazy.
3. Poradit první kroky, kde začít.

Varování

Nejspíš NE všechno bude pro vás užitečné. Je dobré mít přehled, ale zároveň se nenechat zbytečně rozptylovat od vašeho skutečného cíle!

Co mě napadne, když si přečtu zadání?

1. Vezměte **tlustou desku** z **nemagnetického materiálu** a na její horní stranu připevněte **neodymový magnet**.

Jak tlustou?

Jaký nemagnetický materiál? Co by platilo pro magnetický jinak?

Jak silný, rozměrný, orientovaný?

Pojmy k prostudování: magnet, nemagnetický materiál

https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_dipole

<https://web.pa.msu.edu/courses/2000fall/PHY232/lectures/magmaterials/materials.html>

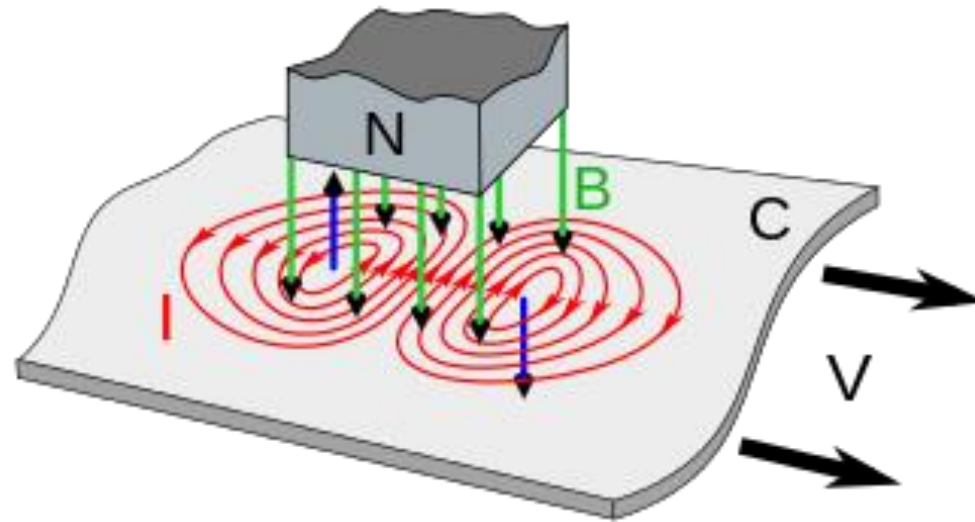
Příklady nemagnetických materiálů:

Sklo (nevodič)

žádné Foucaultovy proudy

hliník, měď (vodič)

přítomné Foucaultovy proudy



Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy_current

Příklad toho, kde se s F. proudy dá sejít:

https://www.youtube.com/watch?v=H31K9qcmeMU&ab_channel=EducationalInnovations

Co mě napadne, když si přečtu zadání?

2. Zavěste pod ni **magnetickou tyčku** (která může být sestavena z válcových neodymových magnetů).

S jakou magnetizací?

Magnetické pole: dipól, solenoid, ...?

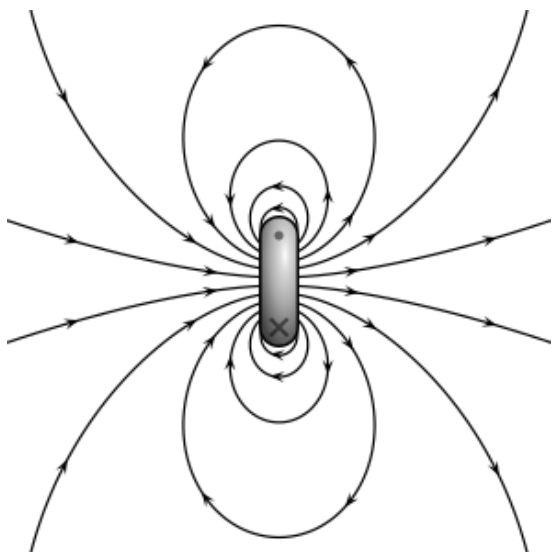
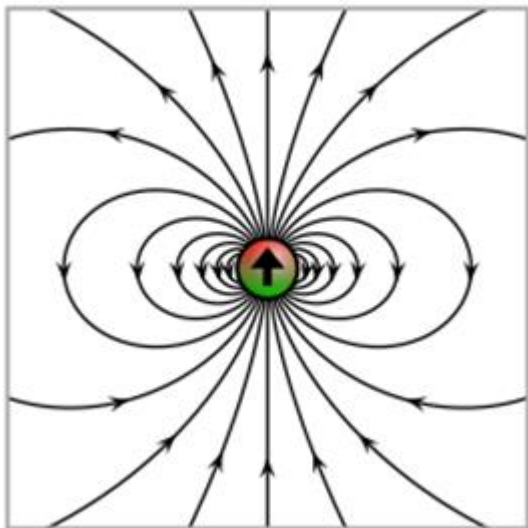
Pojmy k prostudování: magnetizace, dipól, solenoid?

https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_dipole

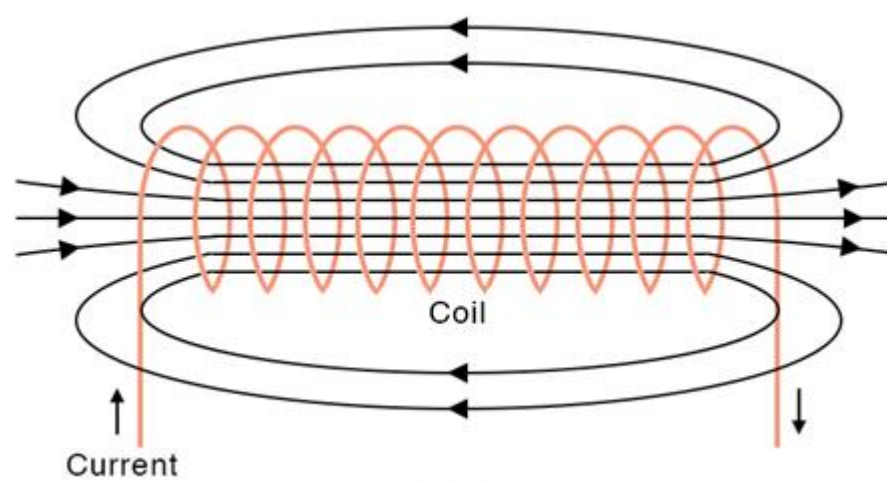
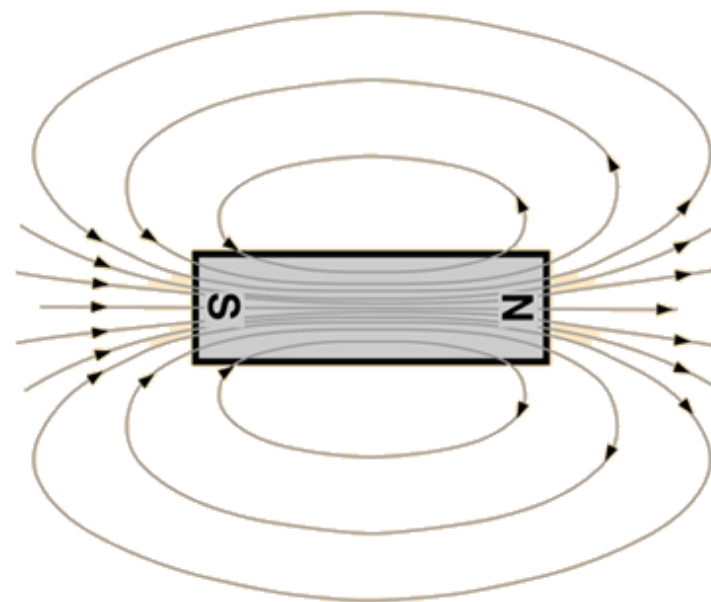
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/elemag.html>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetization>

Dipólové pole



Solenoidální pole



- Zdroj úryvku:
<https://adsabs.harvard.edu/full/1994A%26A...283.1018B>
 (není jinak relevantní pro tuto úlohu)
- Porovnat s:
https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_dipole#Forces_between_two_magnetic_dipoles
- Pozor na rozdíl mezi \mathbf{m} a \mathbf{M} , síla vs hustota síly.

With this purpose in mind we consider an infinitely thin permanent magnet, of length $2l_0$, at rest with permanent inherent magnetization density \mathbf{M}_0 directed along the rod (the subscript zero indicates rest quantities). If the rod is located along the z -axis with the origin of the cartesian coordinate system at the center of the rod we get, using the usual δ -function and step-function $\theta(x)$ [$\theta = 1$ when $x > 0$ and $\theta = 0$ when $x < 0$]:

$$\begin{cases} M_{0x} = 0 \\ M_{0y} = 0 \\ M_{0z} = \frac{\mu_0}{2l_0} \delta(x) \delta(y) [\theta(z + l_0) - \theta(z - l_0)], \end{cases} \quad (1)$$

where $\mu_0 (> 0)$ is the absolute value of the total magnetic moment of the rod:

$$\int \mathbf{M}_0 d^3x = \mu_0 \mathbf{k} \quad (2)$$

(the triad of unit vectors \mathbf{i} , \mathbf{j} , \mathbf{k} are directed along the axes x , y , z as usual).

Co mě napadne, když si přečtu zadání?

3. Vychylte tyčku tak, aby se dotýkala desky pouze svou vrchní hranou, a pust'te ji.

Jaký je moment setrvačnosti tyčky vůči ose otáčení?

Pustit vs cvrknout do ní (jiné počáteční podmínky).

Pojmy k prostudování:

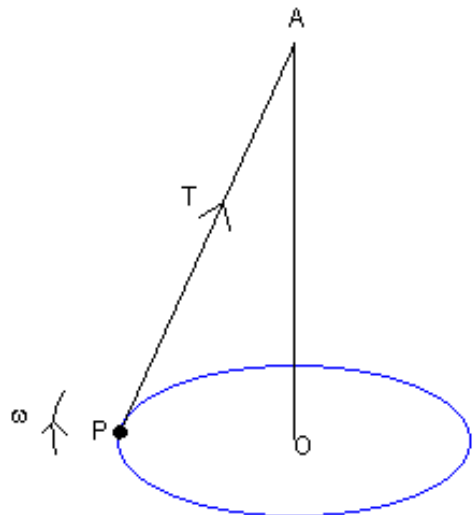
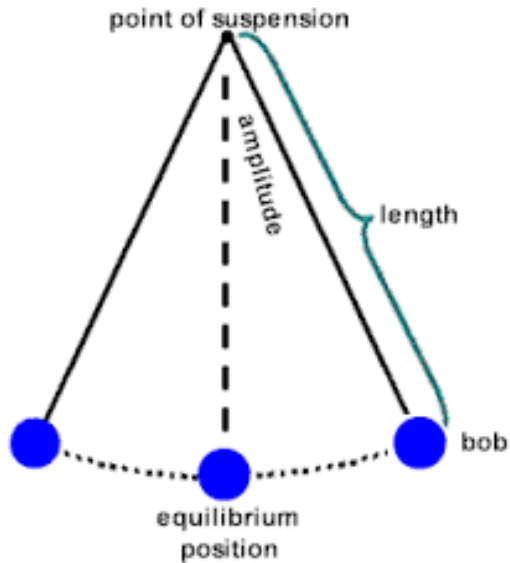
moment setrvačnosti (včetně Steinerovy věty), počáteční podmínky

https://cs.wikipedia.org/wiki/Moment_setrva%C4%8Dnosti

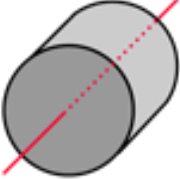

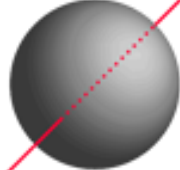
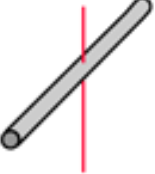
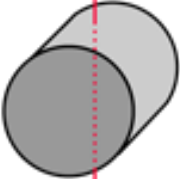
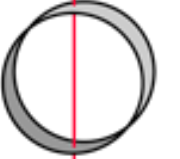
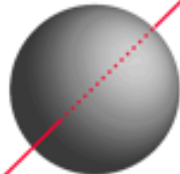
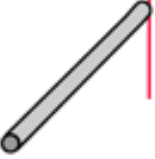
http://fyzikalniolympiada.cz/texty/r_pohyb.pdf

https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%A1te%C4%8Dn%C3%AD_%C3%BAloha

Počáteční podmínky



Moment setrvačnosti

<p>Solid cylinder or disc, symmetry axis</p>  $I = \frac{1}{2} MR^2$	<p>Hoop about symmetry axis</p>  $I = MR^2$	<p>Solid sphere</p>  $I = \frac{2}{5} MR^2$	<p>Rod about center</p>  $I = \frac{1}{12} ML^2$
$I = \frac{1}{4} MR^2 + \frac{1}{12} ML^2$  <p>Solid cylinder, central diameter</p>	$I = \frac{1}{2} MR^2$  <p>Hoop about diameter</p>	$I = \frac{2}{3} MR^2$  <p>Thin spherical shell</p>	$I = \frac{1}{3} ML^2$  <p>Rod about end</p>

Zdroj: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mi.html>

Co mě napadne, když si přečtu zadání?

4. Prostudujte pohyb tohoto **kyvadla** za **různých podmínek**.

Jaké jsou podmínky proto, aby byla tyčka skutečně kyvadlo (měla pevný závěs; kyvadlo se nerozpadlo)?

Co všechno lze měnit: síly magnetů, moment setrvačnosti tyčky, nemagnetickou desku a její tloušťku, počáteční podmínky, ...?

Pojmy k prostudování:

kyvadlo, síla, moment síly, tuhé těleso, první a druhá impulzová věta

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pendulum>

http://fyzikalniolympiada.cz/texty/r_pohyb.pdf

Prvních 5 kroků, jak začít řešit

1. Krok: **Rešerše podle klíčových slov**

„Eulerovo kyvadlo, magnet, nemagnetický materiál, kyvadlo“

2. Krok: **Rešerše podle doporučené literatury**

<https://stemfellowship.org/iypt-references/problem8/>

3. Krok: **První vlastní demonstrace jevu**

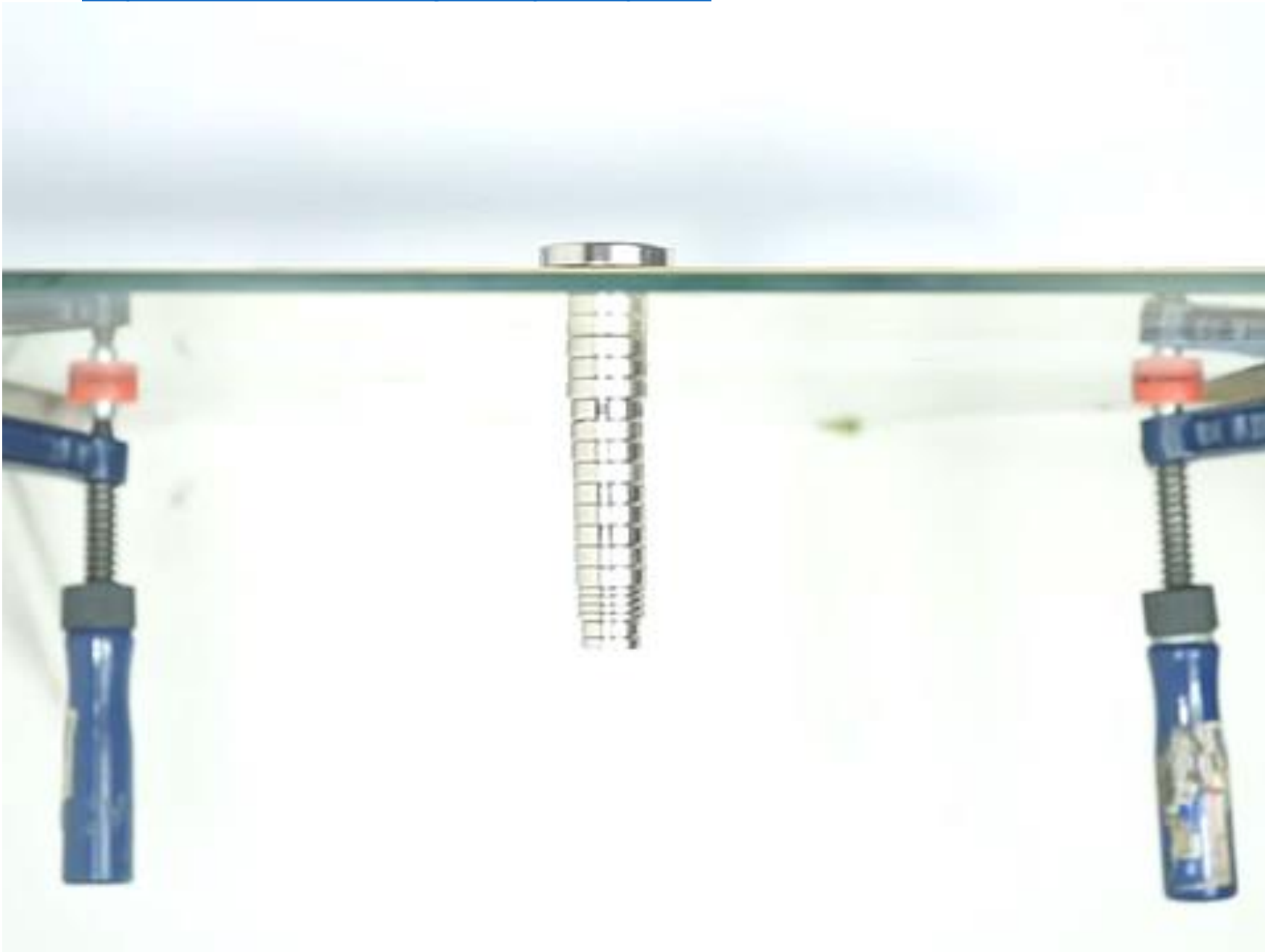
https://www.youtube.com/watch?v=zrjZfR0s1KY&ab_channel=FenixScienceClub

4. Krok: **První pokus o teoretický popis (jednoduchý model)**

5. Krok: **Porovnat model s experimenty**

Youtube video: https://www.youtube.com/watch?v=zrjZfR0s1KY&ab_channel=FenixScienceClub

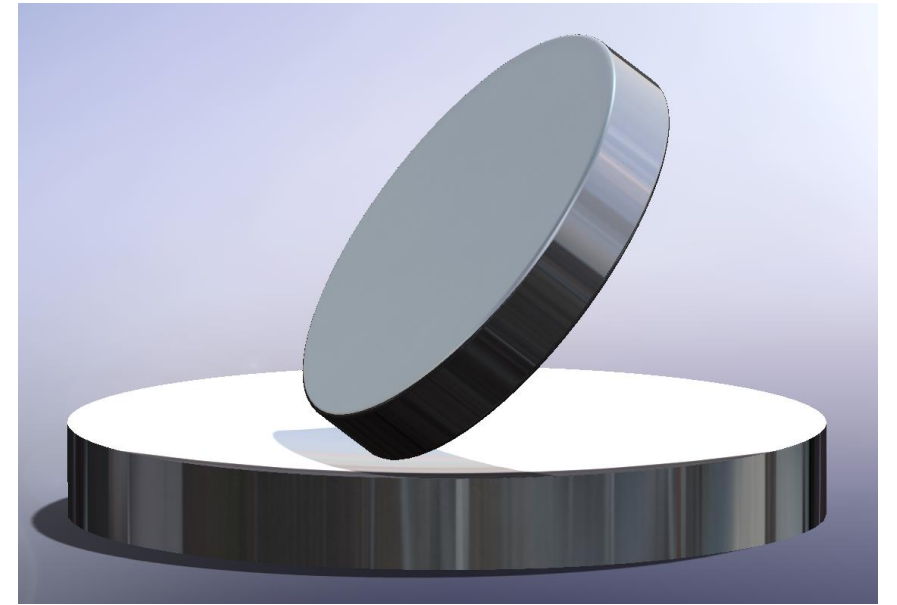
Kredit: klub Fénix: <https://fenix.club/turniej-mlodych-fizykow/>



Co vidíme?

- Pohyb kyvadla není stacionární
 - Příčina? Ztráty energie nárazy tyčky o skleněnou desku, tření?
 - Mění se perioda (P, \dot{P}, \dots), inklinace, ...?
 - Umístit kameru shora/zdola a ze strany pro tracking?
- Pohyb se zdá se být kvazistacionární
 - = po krátkou dobu stacionární
 - Stačí uvažovat jen P, \dot{P} pro celý čas měření?
- Úkol pro „teoretiky“:
 1. Popsat (kvazi)stacionární jev
 2. Co disipativní síly?
- Poznámky:
 1. Hint: Eulerův disk (viz další stránka)
 2. Jednoduchý případ, kde se setkat s disipativní silou: tlumený harmonický oscilátor
https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_oscillator

Eulerův disk



- Demontrace:
 - https://www.youtube.com/watch?v=0ivpvYMZ2ss&ab_channel=Guesite
- Základní popis:
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Euler%27s_Disk?fbclid=IwAR3IcwwAw2auI5YvkaFjaTy9x3w-y0Xy4wSfkKCgT4Y1vMBjofwFFtJwPfM#History_of_research7
- Dále pro čtení:
 - <http://eulersdisk.com/>
 - <https://www.real-world-physics-problems.com/eulers-disk.html>
 - https://www.researchgate.net/publication/8464232_Rolling_and_slipping_motion_of_Euler's_disk

Youtube video: https://www.youtube.com/watch?v=0ivpvYMZ2ss&ab_channel=Guesite



Shrnutí

Co po dnešku dělat?

1) Rešerše dostupné literatury

➤ Získáte základní vhled do problematiky a zjistit, co už se o efektu ví (viz Eulerův disk).

2) Provést první vlastní demonstraci jevu

➤ Zreprodukovat experiment na videu.

3) Načrtnout rozumně jednoduchý model a porovnat ho s demonstrací.

➤ Nastudovat si teorii pohybu Eulerova disku, najít analogii pro Eulerovo kyvadlo.

Zkusili jste všechno a potřebujete poradit?

Zkuste napsat na pavel.kus@fzu.cz nebo kuspa@fzu.cz.