

FYZIKÁLNÍ SEKCE

Přírodovědecká fakulta Masarykovy university v Brně

SOUTĚŽNÍ KORESPONDENČNÍ SEMINÁŘ Z FYZIKY 1995/1996

Prvá série úloh

(25 bodů)

Jednou ze zcela klíčových a v současné době teoreticky nejlépe propracovaných fyzikálních disciplín je bezesporu klasická mechanika. Za své, v jistém smyslu privilegované, postavení v systému fyzikálních teorií vděčí nepochybně skutečnosti, že valná část jevů, které běžně pozorujeme v přírodě nebo k nim dochází při lidské činnosti, souvisí s pohybem těles. Jde tedy o tzv. jevy mechanické, jejichž popisem a příčinami se lidstvo zabývá již od starověku. Za vrcholný výsledek zkoumání zákonitostí pohybu těles lze pokládat Newtonovu mechaniku, formulovanou v 17. století. Objevy století dvacátého sice ukázaly, že zákony Newtonovy mechaniky neplatí jednak pro rychlosti blízké rychlosti světelné, jednak pro objekty mikroskopických poměrů (elementární částice, atomy, molekuly, apod.), pro pohyb těles běžných a velkých rozměrů běžnými rychlostmi jsou však velmi dobře použitelné.

Výraznou předností mechaniky je její názornost. Proto s oblibou, a nutno říci, že mnohdy s úspěchem, používáme mechanické modely i pro popis jevů nemechanické povahy, spadajících vlastně do kompetence jiných fyzikálních disciplín. Problematice mechaniky a ukázkám jejího využití v ostatních fyzikálních oborech je věnována první série úloh.

ÚLOHA č.1 (4 body)

Mechanika: popis pohybu těles

Důležitou součástí mechaniky je disciplína zabývající se popisem pohybu těles bez ohledu na studium příčin těchto pohybů a jejich změn, tzv. *kinematika*. K jejímu pochopení a procvičení slouží mj. *úlohy o pohybu*. Jednu takovou vám předkládáme:

Dva turisté vyšli současně z míst *A* a *B* vzdálených 3 km ve směru jejich spojnice. Jan, který vyšel z místa *A*, jde stálou rychlostí o velikosti 6 km/h, Josef, jehož cesta začíná

v místě B , má stálou rychlost o velikosti 4 km/h . V okamžiku, kdy se turisté vydali na cestu, vylétla z místa A moucha — sportovkyně rychlostí o velikosti 20 km/h . V okamžiku setkání s Josefem se moucha otočí a směřuje zpět k Janovi. Jakmile se s ním setká, učiní obrátku a vrací se k Josefovi. Její pohyb takto pokračuje až do okamžiku setkání turistů. Jakou dráhu urazila moucha za předpokladu, že

- (a) turisté se pohybují v protisměru,
- (b) rychlejší turista dohání pomalejšího.

Jak se změní odpovědi (a) a (b), startuje-li moucha z místa B ?

Úlohu můžete řešit výpočtem nebo graficky, a to dvěma naprosto odlišnými postupy. (S trochou nadsázky se tvrdí, že podle zvoleného postupu lze poznat, zda řešitel úlohy je svým založením spíše fyzik nebo čistý matematik.)

ÚLOHA č.2 (6 bodů)

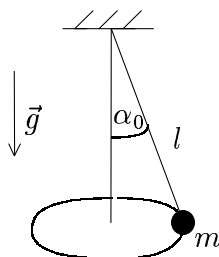
Mechanika: příčiny pohybu těles a jeho změn

Příčiny změn pohybového stavu těles zkoumá *dynamika*. Jejími základními zákony jsou zákony Newtonovy. Vyplývá z nich, že částice, která interaguje s objekty ve svém okolí, nebude vzhledem ke zvolené inerciální vztažné soustavě v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, nýbrž se bude pohybovat se zrychlením. Toto zrychlení je při konstantní hmotnosti částice dáno vztahem $\vec{a} = \vec{F}_{vsl}/m$, kde výsledná síla $\vec{F}_{vsl}$ je vektorovým součtem všech sil, které kvantitativně charakterizují působení okolních objektů na částici. (Může se jednat např. o sílu tíhovou, třecí, elektrostatickou, pružnou, apod.). Pochopení základních zákonů dynamiky si můžeme ověřit na velmi jednoduchých mechanických systémech — kyvadlech.

(a) Kónické kyvadlo

Malé tělísko o hmotnosti m je zavěšeno na vlákně o zanedbatelné hmotnosti a neproměnné délce l v homogenním tíhovém poli Země, charakterizovaném tíhovým zrychlením $\vec{g}$. Tělísko vychýlíme tak, aby vlákno svíralo se svislým směrem úhel α_0 a uvedeme je do pohybu tím, že mu udělíme rychlost $\vec{v}$. Za předpokladu, že odpor prostředí proti pohybu tělíska lze zanedbat, vyřešte následující problémy:

- Počáteční rychlost $\vec{v}$ (velikost a směr) lze zvolit tak, aby se tělísko pohybovalo rovnoměrně po kružnici (viz obr. 1). Určete ji.
- Které okolní objekty a jakými silami působí na tělísko? Jaká je výslednice těchto sil?

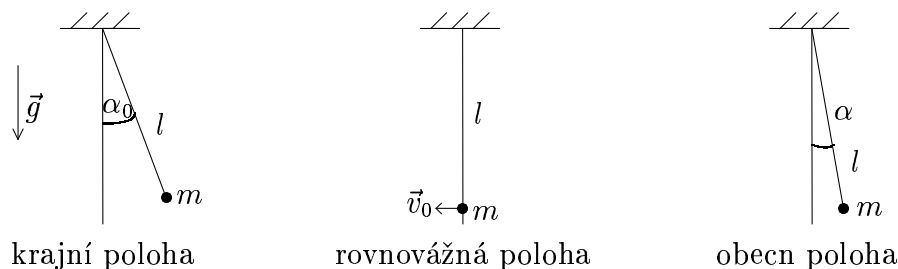


Obr. 1

(b) Rovinné (matematické) kyvadlo

Malé tělísko o hmotnosti m je zavěšeno na vlákně o zanedbatelné hmotnosti a neproměnné délce l v homogenním tíhovém poli Země, charakterizovaném tíhovým zrychlením $\vec{g}$. Tělísko vychýlíme tak, aby vlákno svíralo se svislým směrem úhel α_0 a volně pustíme, takže bude kývat ve svislé rovině (viz obr. 2). Odporovou sílu, jíž působí na tělísko okolní prostředí, zanedbejte a vyřešte následující problémy:

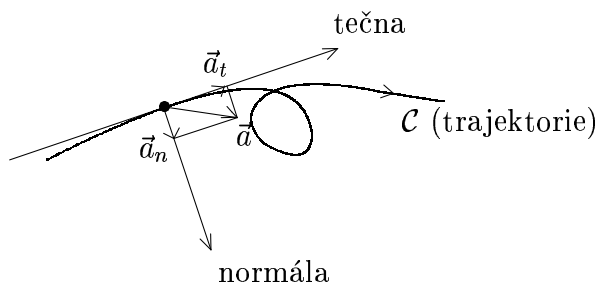
- Určete velikost rychlosti tělíska v_0 při průchodu rovnovážnou polohou využitím zákona zachování mechanické energie.
- Které okolní objekty a jakými silami působí na tělísko?
- Určete tahovou sílu, jíž působí vlákno na tělísko a výslednici všech sil působících na tělísko (směr i velikost) při jeho průchodu rovnovážnou polohou.
- Určete tahovou sílu, jíž působí vlákno na tělísko a výslednici všech sil působících na tělísko (směr i velikost) při jeho průchodu krajní polohou.
- Zakreslete schematicky směr výslednice sil působících na tělísko v obecné poloze.
- Je pohyb tělíska rovnoměrný či nerovnoměrný? Zdůvodněte.



Obr. 2

Poznámka:

Při křivočarém pohybu hmotného bodu je vhodné představit si jeho zrychlení jako součet dvou průmětů: průmětu do směru tečny (*tečné zrychlení* $\vec{a}_t$) a průmětu do směru normály (*normálové zrychlení* $\vec{a}_n$) k trajektorii C (viz obr. 3). Platí $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$.



Obr. 3

Je-li tečné zrychlení nenulové, je pohyb nerovnoměrný, je-li nenulové zrychlení normálové, je pohyb křivočarý. Při pohybu bodu po kružnici o poloměru R platí $a_n = v^2/R$, kde v je velikost okamžité rychlosti. Vztah platí pro rovnoměrný i nerovnoměrný pohyb.

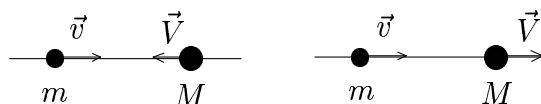
Pro číselný výpočet zvolte tyto výchozí hodnoty: $m = 0,2 \text{ kg}$, $l = 2,0 \text{ m}$, $\alpha = 30^\circ$, $g = 10 \text{ m s}^{-2}$.

ÚLOHA č.3 (5 bodů)

Mechanický model v molekulové fyzice — srážky molekul plynu

Jednoduchý mechanický model plynu v nádobě vychází z představy molekul jako malých pružných kuliček, které narážejí na stěny nádoby i na sebe navzájem. Uvažujme o srážce dvou takových koulí o hmotnostech m a M , pohybujících se vůči nádobě známými rychlostmi $\vec{v}$ a $\vec{V}$ ve směru spojnice středů koulí (*přímá středová srážka*). Rychlosti koulí po srážce označme $\vec{u}$ a $\vec{U}$ a předpokládejme, že jde o tzv. *pružnou srážku*. Platí pro ni tato pravidla:

- (1) Součet hybností koulí před srážkou je roven součtu jejich hybností po srážce (*zákon zachování hybnosti*).
 - (2) Součet kinetických energií koulí před srážkou je roven součtu jejich kinetických energií po srážce (*zákon zachování mechanické energie*).
- (a) Zapište matematicky pravidla (1) a (2).
- (b) Určete velikosti výsledných rychlostí u a U ve dvou následujících situacích (viz obr. 4):



Obr. 4

- (c) Diskutujte speciální případy

- $m = M$, $v > V$,
- $m \neq M$, $v = V$,
- $m = M$, $V = 0$,
- $m \ll M$, $V = 0$.

ÚLOHA č.4 (4 body)

Mechanický model ve fyzice mikrosvěta — atom

Některé vlastnosti atomů se původně vysvětlovaly pomocí mechanických představ založených na tzv. *planetárním modelu*. Například atom vodíku při tom byl modelován kladně nabitým jádrem (protonem) a jedním elektronem obíhajícím kolem něj po kruhové dráze o poloměru $R = 5,29 \cdot 10^{-11}$ m (tzv. *Bohrův poloměr*). Jádro a elektron na sebe navzájem působí přitažlivou elektrostatickou silou o velikosti

$$F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

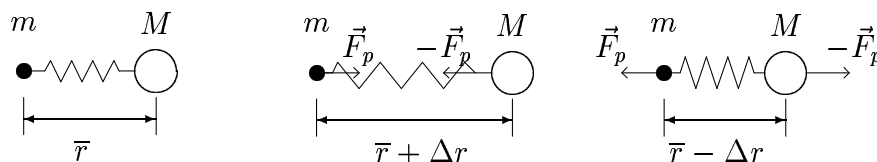
kde $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C je elementární náboj, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ N⁻¹ m⁻² C² je tzv. permitivita vakua.

Určete periodu oběhu elektronu kolem jádra. Hmotnost elektronu je $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, hmotnost jádra $M = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.

ÚLOHA č.5 (6 bodů)

Mechanický model ve fyzice mikrosvěta — molekula

Dva atomy, které jsou od sebe značně vzdáleny, se navzájem přitahují silou (i když velmi malou) elektrostatického původu. Jsou-li tytéž atomy velmi blízko sebe, silně se odpuzují. Z tohoto experimentálně zjištěného faktu plyne závěr, že zřejmě existuje jistá vzdálenost $\bar{r}$ (tzv. *rovnovážná vzdálenost*), v níž se obě síly — dalekodosahová přitažlivá a krátkodosahová odpudivá — navzájem kompenzují. Kdybychom v takové situaci zvětšili meziatomovou vzdálenost $\bar{r}$ o hodnotu Δr , převládla by síla přitažlivá, která má tendenci atomy k sobě přiblížit; při jejich přiblížení o Δr naopak převládne síla odpudivá, která je od sebe oddálí. Atomy, jejichž vzdálenost je právě $\bar{r}$, tedy tvoří zcela stabilní molekulu. Pokud jsou odchylky Δr od rovnovážné polohy $\bar{r}$ malé, lze takovou soustavu dobře modelovat dvojicí tělísek spřažených pružinou (viz obr. 5).



Obr. 5

Vazba mezi atomy je modelována pružinou o tuhosti k , jejíž délka v nenapjatém stavu je $\bar{r}$. Při zvětšení nebo zmenšení vzdálenosti o Δr působí pružina na každý atom přitažlivou nebo odpudivou silou o velikosti $F_p = k \Delta r$ a celá soustava má potenciální energii $\frac{1}{2}k(\Delta r)^2$.

- Popište kvalitativně pohyb soustavy při počátečním oddálení atomů z rovnovážné vzdálenosti $\bar{r}$ o hodnotu $(\Delta r)_0$.
- Nakreslete graf závislosti velikosti pružné síly F_p na výchylce Δr v intervalu přípustných hodnot výchylky určeném počáteční výchylkou $(\Delta r)_0$.
- Za předpokladu, že oba atomy jsou stejně hmotné, určete jejich rychlosti při průchodu rovnovážnou polohou i jejich vzájemnou rychlost.
- Nakreslete graf závislosti potenciální energie soustavy na Δr a charakterizujte rovnovážnou polohu z energetického hlediska.
- Frekvence kmitů molekuly je pro $m = M$ dána vztahem $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2k}{m}}$. Typické hodnoty f jsou řádově 10^{14} Hz. Určete tuhost modelové pružiny např. pro molekulu vodíku ($f = 1,32 \cdot 10^{14}$ Hz). Je tato "tuhost" malá nebo velká ve srovnání s tuhostí skutečných kovových pružin, které máte ve školní laboratoři? Tuhost skutečné pružiny můžete zjistit jednoduše měřením jejího prodloužení při zavěšování závaží různých hmotností.

ÚLOHA č.6 — prémiová

Mechanika omylná - perpetuum mobile

Problém perpetua mobile, věčného stroje, který se bez ustání sám pohybuje a dokonce ještě navíc koná nějakou užitečnou práci (zvedá závaží, otáčí kolem, apod.), je snad starší než fyzika sama a ještě v dnešní době se občas setkáme s jeho "vynálezi". Protože je mechanika jednou z historicky nejstarších fyzikálních disciplín a úvahy o mechanických jevech jsou blízké tzv. zdravému rozumu, je většina "vynalezených" perpetuí mobile mechanické povahy, i když při myšlenkových konstrukcích některých z nich se uplatňují i jevy nemechanické. Všechna jsou podle přesvědčení svých tvůrců založena na fyzikálních zákonech a logických úvahách. Pro fyzika je však zřejmé, že zákon zachování energie, jeden ze základních zákonů fyziky, je vůči perpetuím mobile zcela neúprosný a ve všech úvahách podporujících jejich existenci tedy musí být nějaká chyba. Při svém rozboru snížíme nároky na perpetuum mobile natolik, že nebudeme požadovat, aby konalo užitečnou práci a spokojíme se pouze s požadavkem udržení jeho věčného chodu. Stroj tedy musí pracovat tak, aby přinejmenším překonal ztráty energie způsobené třením.

Najděte chybu v následujících zdůvodněních funkčnosti věčného stroje. V případě opravdu funkčních zařízení zdůvodněte, proč se nejedná o perpetuum mobile, tj. o stroj pracující bez dodávky energie. (Kvalitativní úvahu můžete, je-li to schůdné, podložit výpočtem.)

- (a) Přes trojboký hranol na obr. a) je položen řetěz tvořený čtrnácti stejnými koulemi. Dolní (visící) část řetězu je v rovnováze. Čtyři koule na levé straně však převáží nad dvěma koulemi na straně pravé a řetěz se bude pohybovat doleva.
Poznámka: Na základě výsledku skutečného experimentu vyslovil Simon Stevin, holandský vědec žijící na přelomu 16. a 17. století, pro svou dobu důležitý zákon mechaniky: Dvě závaží spojená šňůrou se udržují na dvojité nakloněné rovině v rovnováze, jsou-li jejich hmotnosti ve stejném poměru jako délky nakloněných rovin. Zdůvodněte.
- (b) Těžký řetěz je veden přes kola tak, že jeho pravá část je vždy delší než levá (viz obr. b)). Proto musí převažovat a celý řetěz se bude pohybovat tak, že pravá část neustále klesá.
- (c) Na obrázku c) je schematicky znázorněn jeden z nejstarších návrhů perpetua mobile. K obvodu kola jsou připevněny výkyvné tyčinky se závažím na koncích. Závaží na pravé straně budou při jakékoliv poloze kola vzdálena od jeho středu více než závaží na straně levé. Proto musí pravá polovina vždy převážet nad levou a kolo se bude otáčet proti směru hodinových ručiček.
- (d) Obrázek d) ukazuje kolo, v jehož "komorách" se převalují těžké kuličky. Kuličky vzdálenější od středu kola při každé jeho poloze roztáčí kolo v jednom směru.
- (e) Je známo, že díky povrchovému napětí vzlíná kapalina po tkanině vzhůru a "překonává" tak tíhovou sílu (knot petrolejové lampy). V zařízení na obr. e) vzlíná kapalina ze spodní nádoby po knotech do výše položené nádoby, z níž žlábkem vytéká na lopatky kola, které roztáčí.
- (f) Součástí mechanismu "věčných hodin" na obr. f) je velký barometr: Ve skleněné nádrže N zavěšené v rámu a ve velké baňce B obrácené hrdlem dolů směrem k nádrže

je obrovské množství rtuti (150 kg). Obě nádoby jsou upevněny tak, že je možný jejich vzájemný pohyb. Soustavou pák lze docílit toho, že při zvýšení atmosférického tlaku baňka klesá a nádržka stoupá, v případě poklesu tlaku je tomu naopak. Pohyby se přenášejí na ozubené kolečko K tak, aby se otáčelo stále stejným směrem. Nemění-li se atmosférický tlak, je sice kolečko v klidu, hodinový stroj se však nadále pohybuje díky "nastřádané" potenciální energii závaží hodin. Popsané zařízení bylo zkonstruováno v 18. století a skutečně bylo funkční. Přístroj viděl anglický mechanik a astronom Fergusson a popsal jej v r. 1774. Jeho nákresy, na základě nichž by bylo možné hodiny znovu sestavit, se uchovaly dodnes, stroj samotný prý odcizil nějaký "sběratel".

- (g) Další "věčné hodiny" jsou založeny na teplotní roztažnosti látek. Jsou znázorněny na obr. g). Tyčky $Z1$ a $Z2$ jsou vyrobeny z materiálu s velkou teplotní roztažností. Tyčka $Z1$ je opřena o zuby vnitřního kola X a při zvětšení své délky jím pootočí. Podobně tyčka $Z2$ otáčí vnějším ozubeným kolem Y , je-li zkrácena. Směr otáčení kol X a Y je stejný. Ozubená kola jsou na společné ose $W1$ s velkým kolem s lopatkovitými nádobkami. Nádobky nabírají z koryta $R1$ rtuť a vlévají ji do horního žlábků $R2$. Rtuť stéká na lopatky kola $K1$ spojeného řetězem s kolečkem $K2$, které natahuje hodinové pero. Zařízení je funkční a k jeho pohonu stačí, aby kolísala teplota.
- (h) Obrázek h) znázorňuje vodní perpetuum mobile. Věž vysoká 20 m je naplněna vodou. Nahoře a dole jsou kola, přes něž je vedeno lano. Na laně je připevněno 14 dutých krychlí o straně 1 m vyrobených z železného plechu tak, aby do nich nevnikla voda. Krychle se snaží vyplavat nahoru. Ve vodě je stále šest krychlí, vztlaková síla, kterou na ně voda působí je tedy 60 000 N. Tíhová síla působící na tyto krychle a směřující dolů se neuplatní, neboť i na šest krychlí visících v levé polovině působí směrem dolů stejná tíhová síla. Vztlaková síla 60 000 N tedy celé zařízení nepřetržitě urychluje.
- (i) Podobný stroj je i na obr. i). Část dřevěného bubnu upevněného na ose je stále ponořena ve vodě. Svislá vztlaková síla tedy musí buben roztáčet a překoná-li tření v jeho ose, buben se bude otáčet stále.
- (j) Nakonec perpetuum mobile využívající také magnetické síly (viz obr. j)). Na sloupku A je umístěn silný magnet. K sloupku jsou připevněny dvě "skluzavky" M a N . Kulička B položená do dolní části skluzavky M je přitažena k magnetu. Než však k němu přiskočí, propadne otvorem C na dolní skluzavku N . Skutálí se po ní a vyběhne smyčkou D opět na skluzavku M . Celý cyklus se nepřetržitě opakuje.

Řešení každé úlohy vypracujte na *samostatném volném listu* formátu A4. Pokud se vám řešení některé úlohy nevejde na jeden list, *spojte* (např. kancelářskou svorkou) všechny listy týkající se jedné úlohy. Na každém listu uveďte v pravém horním rohu HŮLKOVÝM PÍSMEM své *jméno a příjmení* a v levém horním rohu *číslo úlohy*. Prosíme vás také o dodatečné sdělení vašeho rodného čísla.

Úloha č. 6 - prémiová

Mechanika omylná - perpetuum mobile

Problém perpetua mobile, věčného stroje, který se bez ustání sám pohybuje a dokonce ještě navíc koná nějakou užitečnou práci (zvedá závaží, otáčí kolem, apod.), je snad starší než fyzika sama a ještě v dnešní době se občas setkáme s jeho "vynálezi". Protože je mechanika jednou z historicky nejstarších fyzikálních disciplín a úvahy o mechanických jevech jsou blízké tzv. zdravému rozumu, je většina "vynalezených" perpetuí mobile mechanické povahy, i když při myšlenkových konstrukcích některých z nich se uplatňují i jevy nemechanické. Všechna jsou podle přesvědčení svých tvůrců založena na fyzikálních zákonech a logických úvahách. Pro fyzika je však zřejmé, že zákon zachování energie, jeden ze základních zákonů fyziky, je vůči perpetuím mobile naprosto neúprosný a ve všech úvahách podporujících jejich existenci tedy musí být nějaká chyba. Snižme dokonce nároky na perpetuum mobile natolik, že nebudeme požadovat, aby konalo užitečnou práci a smířme se pouze s požadavkem udržení jeho věčného chodu. Stroj tedy musí pracovat tak, aby přinejmenším překonal ztráty energie způsobené třením. Najděte chybu v následujících zdůvodněních funkčnosti věčného stroje. V případě opravdu funkčních zařízení zdůvodněte, proč se nejedná o perpetuum mobile, tj. o stroj pracující bez dodávky energie. (Kvalitativní úvahu můžete, je-li to schůdné, podložit výpočtem.)

(a) Přes trojboký hranol na obr. a) je položen řetěz tvořený čtrnácti stejnými koulemi. Dolní (visící) část řetězu je v rovnováze. Čtyři koule na levé straně však převáží nad dvěma koulemi na straně pravé a řetěz se bude pohybovat doleva. Pozn.: Na základě výsledku skutečného experimentu vyslovil Stevin, holandský vědec žijící na přelomu 16. a 17. století, pro svou dobu důležitý zákon mechaniky: Dvě závaží spojená šňůrou se udržují na dvojité nakloněné rovině v rovnováze, jsou-li jejich hmotnosti ve stejném poměru jako délky nakloněných rovin. Zdůvodněte.

(b) Těžký řetěz je veden přes kola tak, že jeho pravá část je vždy delší než levá (viz obr. b)). Proto musí převažovat a celý řetěz se bude pohybovat tak, že pravá část neustále klesá.

(c) Na obrázku c) je schematicky znázorněn jeden z nejstarších návrhů perpetua mobile. K obvodu kola jsou připevněny výkyvné tyčinky se závažími na koncích. Závaží na pravé straně budou při jakékoliv poloze kola vzdálena od jeho středu více než závaží na straně levé. Proto musí pravá polovina vždy převážet nad levou a kolo se bude otáčet proti směru hodinových ručiček.

(d) Obrázek d) ukazuje kolo, v jehož "komorách" se převalují těžké kuličky. Kuličky vzdálenější od středu kola při každé jeho poloze roztáčí kolo v jednom směru.

(e) Je známo, že díky povrchovému napětí vzlíná kapalina po tkanině vzhůru a "překonává" tak tíhovou sílu (knot petrolejové lampy). V zařízení na obr. e) vzlíná kapalina ze spodní nádoby po knotech do výše položené nádoby, z níž žlábkem vytéká na lopatky kola, které roztáčí.

(f) Součástí mechanismu "věčných hodin" na obr. f) je velký barometr: Ve skleněné

nádržce N zavěšené v rámu a ve velké baňce B obrácené hrdlem dolů směrem k nádržce je obrovské množství rtuti (150 kg). Obě nádoby jsou upevněny tak, že je možný jejich vzájemný pohyb. Soustavou pák lze docílit toho, že při zvýšení atmosférického tlaku baňka klesá a nádržka stoupá, v případě poklesu tlaku je tomu naopak. Pohyby se přenášejí na ozubené kolečko K tak, aby se otáčelo stále stejným směrem. Nemění-li se atmosférický tlak, je sice kolečko v klidu, hodinový stroj se však nadále pohybuje díky "nastřádané" potenciální energii závaží hodin. Popsané zařízení bylo zkonstruováno v 18. století a skutečně bylo funkční. Přístroj viděl anglický mechanik a astronom Fergusson a popsal jej v r. 1774. Jeho nákresy, na základě nichž by bylo možné hodiny znovu sestavit, se uchovaly dodnes, stroj samotný prý odcizil nějaký "sběratel".

(g) Další "věčné hodiny" jsou založeny na teplotní roztažnosti látek. Jsou znázorněny na obr. g). Tyčky Z1 a Z2 jsou vyrobeny z materiálu s velkou teplotní roztažností. Tyčka Z1 je opřena o zuby vnitřního kola X a při zvětšení své délky jím pootočí. Podobně tyčka Z2 otáčí vnějším ozubeným kolem Y, je-li zkrácena. Směr otáčení kol X a Y je stejný. Ozubená kola jsou na společné ose W1 s velkým kolem s lopatkovitými nádobkami. Nádobky nabírají z koryta R1 rtuť a vzlévají ji do horního žlábků R2. Rtuť stéká na lopatky kola K1 spojeného řetězem s kolečkem K2, které natahuje hodinové pero. Zařízení je funkční a k jeho pohonu stačí, aby kolísala teplota.

(h) Obrázek h) znázorňuje vodní perpetuum mobile. Věž vysoká 20 m je naplněna vodou. Nahoře a dole jsou kola, přes něž je vedeno lano. Na laně je připevněno 14 dutých krychlí o straně 1 m vyrobených z železného plechu tak, aby do nich nevnikla voda. Krychle se snaží vyplavat nahoru. Ve vodě je stále šest krychlí, vztlaková síla, kterou na ně voda působí je tedy 60 000 N. Tíhová síla působící na tyto krychle a směřující dolů se neuplatní, neboť i na šest krychlí visících v levé polovině působí směrem dolů stejná tíhová síla. Vztlaková síla 60 000 N tedy celé zařízení nepřetržitě urychluje.

(i) Podobný stroj je i na obr. i). Část dřevěného bubnu upevněného na ose je stále ponořena ve vodě. Svislá vztlaková síla tedy musí buben roztáčet a překoná-li tření v jeho ose, buben se bude otáčet stále.

(j) Nakonec perpetuum mobile využívající také magnetické síly (viz obr. j)). Na sloupku A je umístěn silný magnet. K sloupku jsou připevněny dvě "skluzavky" M a N. Kulička B položená do dolní části skluzavky M je přitažena k magnetu. Než však k němu přiskočí, propadne otvorem C na dolní skluzavku N. Skutálí se po ní a vyběhne smyčkou D opět na skluzavku M. Celý cyklus se nepřetržitě opakuje.