

Úloha je pro svou teoretickou i experimentální jednoduchost vhodná pro laboratorní praktikum z fyziky ve výuce jak na středních školách, tak i na přírodovědných, učitelských nebo technických oborech na vysokých školách. Názorně ukazuje princip měření malých odporů čtyřvodičovou metodou.

**Poděkování.** Autor děkuje M. Lustikovi za vyrobení přípravku pro měření rezistivity.

## Literatura

- [1] Brož, J. – Roskovec, V. – Valouch, M.: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha, 1980.

# Změna vnitřní energie konáním práce

*KATEŘINA VONDŘEJCOVÁ*

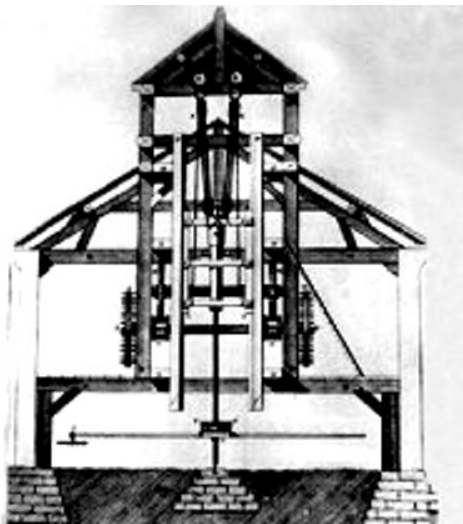
Univerzita Hradec Králové, Gymnázium Dobruška

V historii fyziky vědci začali nalézat v běžných činnostech souvislost mezi konáním mechanické práce a změnami vnitřní energie, a tedy i změnami teploty. V tomto tématu lze s žáky středních škol nahlédnout do historie fyziky, propojit poznatky z mechaniky a termiky a zapojit moderní technologie – ověřit závěry měření termokamerou.

## Vrtání dělových hlavní

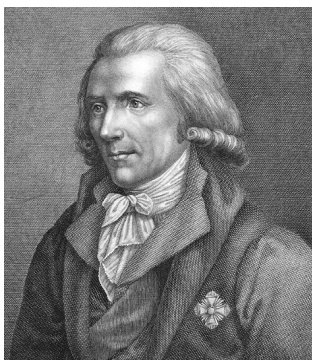
Podívejme se stručně na výrobu dělových hlavní na počátku 19. století. Dělové hlavě se odlévaly do forem a po ztuhnutí bylo třeba otvor v hlavni dovtat. Vrtací stroje měly rozměry srovnatelné s rozměry domu. Na kladkostrojích byla z podkroví svisle zavěšena dělová hlaveň, v přízemí

se nacházel žentour, který měl na hřídeli nasazený vrták. Celý stroj byl poháněn koňmi.



Obr. 1 Stroj na vrtání dělových hlavni [5]

Vrtání dělových hlavni pozoroval *Sir Benjamin Thompson* (1753–1814), který v té době působil jako ministr války na dvoře bavorského velkovévody v Mnichově. Zaujalo ho, že se dělové hlavně v průběhu vrtání zahřívají na vysokou teplotu. Uvědomil si souvislost mezi mechanickou prací a teplem.



Obr. 2 Benjamin Thompson [6]

Následně prováděl experimenty s vrtáním dělových hlavních i pro veřejnost. Do dřevěné nádoby naplněné vodou vložil bronzový válec. Při vrtání se prý bronzový válec rozžhavlil do červena a po určité době se voda začala vařit. Lidé byli udiveni, že se voda vaří, aniž by byl pod ní zapálen oheň. Příčinou ohřevu dělové hlavně bylo tření mezi vrtákem a vrtaným materiálem.

### Úloha: Vrtání dělové hlavně

Jakou práci museli vykonat koně pohánějící žentour na překonání tření, jestliže se bronzová hlaveň o hmotnosti 200 kg vlivem tření rozžhavlila do červena? Uvažujme, že počáteční teplota hlavně mohla být 20 °C a během vrtání se zahřála na teplotu 700 °C. Měrná tepelná kapacita bronzu je  $419 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

*Řešení:*  $m = 200 \text{ kg}$ ;  $t_1 = 20 \text{ °C}$ ;  $t_2 = 700 \text{ °C}$ ;  $c = 419 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $W = ?$   
Práce vynaložená na překonání tření je rovna teplu, které přijala hlaveň:

$$W = Q = mc(t_2 - t_1) = 200 \cdot 419 \cdot (700 - 20) \text{ J} = 57 \text{ MJ}$$

Koně museli vykonat práci přibližně 57 MJ.

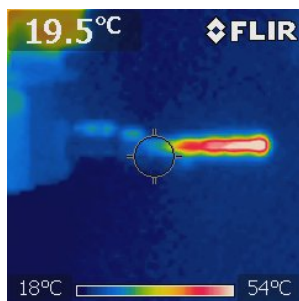
*Poznámka.* V realitě by koně museli vykonat větší práci, nejen na překonání třecí síly. V úloze byly pro jednoduchost zanedbány tepelné ztráty.

Změnu vnitřní energie tělesa třením můžeme pozorovat nejenom u vrtání dělových hlavních, ale také u běžných činností z našeho okolí, jako je řezání pilkou, broušení smirkovým papírem, pilování pilníkem, vrtání vrtačkou atd. Změny teploty si však svými smysly často ani nevšimneme. Můžeme ale využít termokameru, která odhalí i malou změnu teploty.

### Měření termokamerou: Vrtání vrtačkou

*Pomůcky:* termokamera, vrtačka

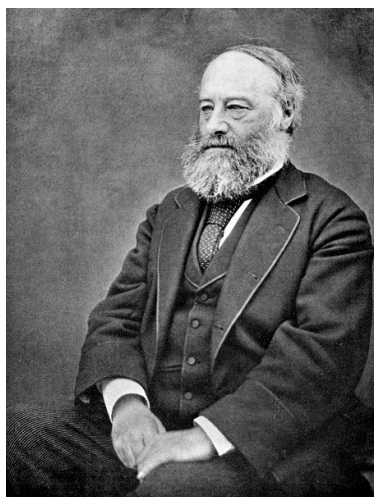
Podívejme se pomocí termokamery na vrták těsně po vyvrtání otvoru do zdi nebo jiného tvrdého materiálu. Vrták se během vrtání zahřál na vyšší teplotu, než je teplota okolí. V tomto případě bylo možné změnu teploty rozpoznat i dotekem. Při dlouhém vrtání do tvrdého materiálu se vrták může rozžhavlít až tak, že se o něj může člověk spálit. Termosnímek vrtáku těsně po vrtání je na obr. 3.



Obr. 3

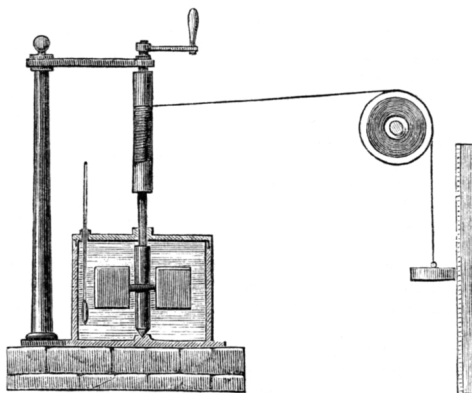
## Jouleův pokus

Velmi známý experiment, který prokázal změnu vnitřní energie konáním práce, provedl *James Prescott Joule* (1818–1889).



Obr. 4 J. P. Joule [3]

Kapalina (např. olej nebo voda) byla míchána lopatkovým kolem poháněným klesajícím závažím, které bylo zavěšeno na provázku vedeném přes kladku, viz obr. 5. Pohyb lopatkových kol v kapalině zapříčinil větší rozkmitání molekul, a tedy zvýšení vnitřní energie. Joule naměřil zvýšení teploty a potvrdil tak zákon zachování energie.



Obr. 5 Jouleův pokus [7]

### Úloha: Jouleův pokus

Určete změnu teploty vody o objemu 250 ml během Jouleova pokusu, jestliže na počátku bylo závaží o hmotnosti 0,5 kg pohánějící lopatkové kolo ve výšce 50 cm nad podložkou a na konci děje bylo závaží na podložce.

*Řešení:*  $V = 250 \text{ ml} \Rightarrow m_1 = 0,25 \text{ kg}$ ;  $m_2 = 0,5 \text{ kg}$ ;  $h = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ ;  
 $\Delta t = ?$

Změna vnitřní energie vody je rovna změně potenciální energie závaží:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta E_p \\ m_1 c \Delta t &= m_2 g \Delta h \\ \Delta t &= \frac{m_2 g \Delta h}{m_1 c} \\ \Delta t &= \frac{0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{0,25 \cdot 4180} \text{ } ^\circ\text{C} = 0,002 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

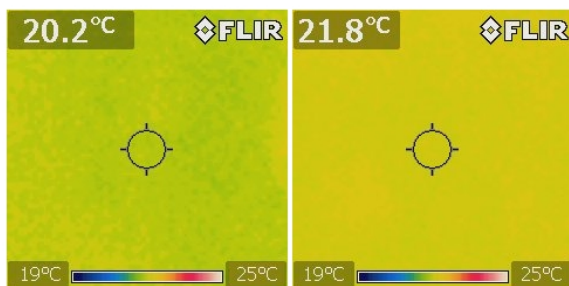
Při Jouleově pokusu by se teplota vody zvýšila o 0,002 °C.

Při mechanickém míchání se teplota kapaliny zvyšuje nejen v případě Jouleova pokusu, ale i při běžných činnostech, jako je např. šlehání ručním šlehačem při přípravě pokrmů. Zaznamenat změnu teploty kapaliny po šlehání je pomocí lidských smyslů ještě obtížnější, než u vrtáku z předchozí úlohy. Změna teploty je často lidskými smysly až nezaznamenatelná. Naměřit tyto malé změny teploty nám opět pomůže termokamera, kterou využijeme jako bezkontaktní teploměr.

## Měření termokamerou: Jouleův pokus

*Pomůcky:* termokamera, ruční šlehač, stolní olej

Stolní olej, který má teplotu ustálenou s teplotou v místnosti, nalijeme do nádoby vhodné ke šlehání. Změříme pomocí termokamery teplotu oleje, nebo necháme změřit teplotu žákem a zaznamenáme ji. Ručním šlehačem šleháme po dobu jedné až dvou minut a opět změříme teplotu stolního oleje. Zaznamenáme hodnotu. Zjistíme, že se teplota zvýšila. V provedeném experimentu byla zaznamenána změna teploty  $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , viz obr. 6.



Obr. 6 Změna teploty oleje po šlehání

## Údery kladivem

*Michail Vasiljevič Lomonosov* (1711–1765) byl velice všestrannou osobností žijící v Rusku. Zabýval se chemií, fyzikou, geografii, hornictvím, ruskou gramatikou, psal básně, vytvářel skleněné mozaiky. Ve fyzice se zabýval astronomií, optikou, elektrickými a magnetickými jevy a také se zamýšlel nad příčinami tepla a chladu. Patřil mezi zastánce částicové struktury látek. Údajně se zamýšlel nad příčinami zvýšení teploty kovového materiálu, bylo-li do něho opakovaně udeřeno kladivem.

### Úloha: Údery kladivem

Vypočítejte změnu teploty železného předmětu o hmotnosti  $0,5\text{ kg}$ , udeříme-li do něho desetkrát kladivem o hmotnosti  $2\text{ kg}$ . Každý úder kladivem začínal  $1,2\text{ m}$  nad předmětem s počáteční rychlostí  $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Měrná tepelná kapacita železa je  $450\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Uvažujme, že na zvýšení vnitřní energie železného předmětu připadne  $40\%$  mechanické energie kladiva v počátečním stavu.

Řešení:  $m_1 = 0,5 \text{ kg}$ ;  $m_2 = 2 \text{ kg}$ ;  $h = 1,2 \text{ m}$ ;  $c = 450 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  
 $v = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\Delta t = ?$



Obr. 7 Michail Vasiljevič Lomonosov [4]

Změna vnitřní energie tělesa a kladiva po deseti úderech je rovna desetinasobku mechanické energie kladiva v počátečním stavu. Na železný předmět připadne 40 % celkové energie:

$$\Delta U = 0,4 \cdot 10E$$

$$\Delta U = 4(E_k + E_p)$$

$$m_1 c \Delta t = 4 \left( \frac{1}{2} m_2 v^2 + m_2 g h \right)$$

$$\Delta t = \frac{4 \left( \frac{1}{2} m_2 v^2 + m_2 g h \right)}{m_1 c}$$

$$\Delta t = \frac{4 \left( \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2^2 + 2 \cdot 9,81 \cdot 1,2 \right)}{0,5 \cdot 450} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

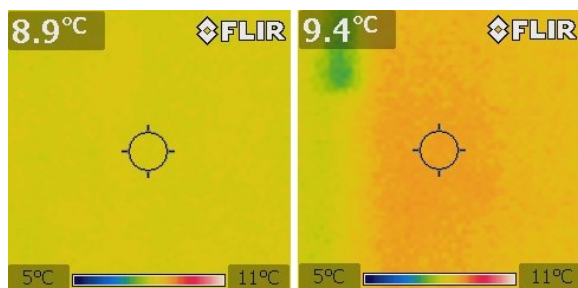
Po deseti úderech kladivem se teplota předmětu zvýšila o  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Také zvýšení teploty kovaného materiálu po úderech kladivem je možné ověřit pomocí termokamery, která poslouží jako bezkontaktní teploměr.

## Měření termokamerou: Údery kladivem

*Pomůcky:* termokamera, kladivo, kovový předmět

Vhodný kovový předmět položíme na pevnou podložku, nebo upevníme do svěráku. Změříme teplotu předmětu pomocí termokamery. Kladivem (při experimentu bylo využito kladivo o hmotnosti 2 kg) 10krát udeříme do jednoho místa předmětu. Toto místo ihned po úderech nasnímáme termokamerou a změříme teplotu. Při provedeném experimentu bylo naměřeno zvýšení teploty o 0,5 °C, viz obr. 8.



Obr. 8 Změna teploty železného předmětu

## Literatura

- [1] *Kraus, I.:* Fyzika v kulturních dějinách Evropy. Od Leonarda ke Goethovi. Nakl. ČVUT, Praha, 2007.
- [2] *Štoll, I.:* Dějiny fyziky. Prometheus, Praha, 2009.
- [3] <http://www.converter.cz/fyzici/joule.htm>.
- [4] [http://www.math.nsc.ru/LBRT/g2/english/ssk/mvl-300\\_e.html](http://www.math.nsc.ru/LBRT/g2/english/ssk/mvl-300_e.html).

## Zdroje vyobrazení

- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Jean\\_Maritz#mediaviewer/File:Vertical\\_cannon\\_drilling.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Maritz#mediaviewer/File:Vertical_cannon_drilling.jpg).
- [6] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Benjamin\\_Thompson.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Benjamin_Thompson.jpg).
- [7] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Joule%27s\\_Apparatus\\_%28Harper%27s\\_Scan%29.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Joule%27s_Apparatus_%28Harper%27s_Scan%29.png).