

6. úloha: Led

I. Zadaní

A wire with weights attached to each end is placed across a block of ice. The wire may pass through the ice without cutting it. Investigate the phenomenon.

II. Úvod

Budeme zkoumat pohyb zatíženého drátu, který projde ledem, aniž by ho rozdělil. Drát zatížený na obou koncích položíme přes led. Pozorujeme, že drát prochází přes celý průměr ledu a dopadá na zem. Led zůstává nepoškozený.

III. Teorie

Z pokusů pozorujeme, že led pod drátem taje a nahoře opět zamrzá. Souvisí to s vlastnostmi látek, které při tání zmenšují svůj objem (neboli hustota pevného skupenství je menší než hustota kapalného), mezi něž patří také voda. Teplota tání těchto látek klesá se vzrůstajícím tlakem. Tato změna teploty je popsána Clapeyronovou rovnicí:

$$\Delta t = - \frac{p t_{fus} \Delta_{fus} V}{\Delta_{fus} H} = \frac{p t_{fus} \left(\frac{1}{\rho_s} - \frac{1}{\rho_l} \right)}{\Delta_{fus} H_{sp}}$$

kde t_{fus} je teplota tání, Δ_{fus} je změna způsobená táním, ρ_s hustota ledu, ρ_l hustota vody $\Delta_{fus} H_{sp}$ je měrná entalpie tání (skupenské teplo vztažené na jednotku hmotnosti ledu). V je objem vztažený na jednotku hmotnosti (převrácená hodnota hustoty).

Tok tepla způsobený teplotním rozdílem Δt je:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda \pi^2 a d \Delta t}{4a} = \frac{\lambda \pi^2 d \Delta t}{4}$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti, a je průměr drátu a d je průměr kusu ledu. Led tedy pod tlakem taje, drát klesne dolů a voda nad drátem opět zamrzá. Množství vody, které roztaje za jednotku času je vyjádřeno:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta_{fus} H_{sp}}$$

Z toho vyjádříme objem za čas: $\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_s}$

a poté dobu prořezávání:

$$\tau = \frac{d}{v} = \frac{d}{\frac{4\dot{V}}{\pi d a}} = \frac{\pi d^2 a}{4\dot{V}} = \frac{\pi d^2 a \rho_s}{4\dot{m}} = \frac{\pi d^2 a \rho_s \Delta t_{fus} H_{sp}}{4\dot{Q}} = \frac{d a \rho_s \Delta t_{fus} H_{sp}}{\pi \lambda d \Delta t} = \frac{\rho_s (a d \Delta t_{fus} H_{sp})^2}{\lambda m g t_{fus} \left(\frac{1}{\rho_s} - \frac{1}{\rho_l} \right)}$$

IV. Experimenty

Prováděli jsme pokus pro různé druhy drátů (respektive pro odlišné tepelné vodivosti) s odlišnými průměry za rozdílných okolních teplot. Ověřovali jsme úlohu tepla z okolí a tíhové síly závaží. Obojí jsme si ověřili několika experimenty za velmi nízkých okolních teplot. Pokud led bere energii z okolí (přes drát), pak led nebude rozříznut. Obdobně pokud má drát malou tepelnou vodivost, ledem projde za dlouhou dobu nebo jím vůbec neprojde. Hraje-li zde roli pouze tíhová síla, drát projde ledem i za těchto nízkých teplot bez ohledu na materiál ledu či okolní teplotu.

		$t_{\text{okolí}}$ (°C)	t_{ledu} (°C)	a (mm)	d (cm)	m (kg)	λ WK ⁻¹ m ⁻²	prořezání (mm)	$\Delta\tau$ min
měděný	tlustý	-3	0	1	10	3	26	0	120
	tenký	-5	0	0,3	10	3	26	0	120
	velmi tenký	-3	0	0,2	10	0,5	26	-	-
nylonový	tlustý	-3	0	1	10	3	0,25	0	120
	tenký	-3	0	-	10	-	0,25	-	-
měděný	tlustý	18	0	1	10	3	26	2	120
	tenký	18	0	0,3	10	3	26	100	150
	velmi tenký	18	0	0,2	10	0,5	26	5	120

nylonový	tlustý	18	0	1	10	3	0,25	3	120
	tenký	18	0	-	10	-	0,25	-	-

Měděný tlustý (-3°C)



Měděný tenký (-5°C)



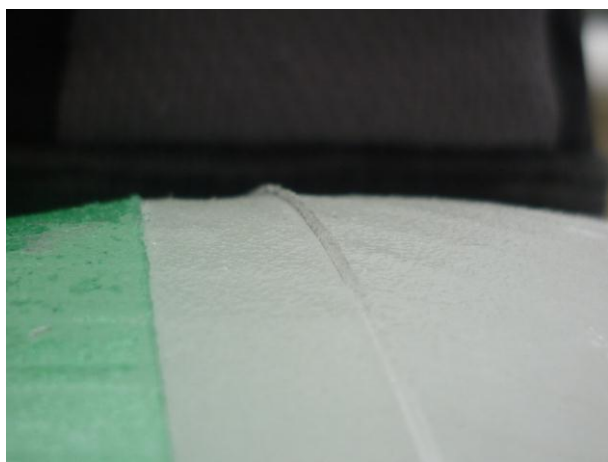
Měděný velmi tenký (-3°C)



Měděný tlustý (18°C)

Měděný tenký (18°C)

Měděný velmi tenký (18°C)



Nylonový tlustý (-3°C)

Nylonový tenký (-3°C)

-



7.11.2012

V. Závěr

Jev jsme pozorovali zjistili jsme, že závisí na okolní teplotě, tedy i na tepelné vodivosti drátu, dále na tlaku působící na led (průměr drátu a hmotnost závaží). Pokusy se s výpočty neshodovali, rozdíl byl velmi velký. Odchyłka mohla být způsobena tím, že teplota uvnitř ledu nebyla přesně 0°C . V pokusech jsme vždy nechali led na půl hodiny v lednici, aby se teplota co nejvíce přiblížila nule. Teplo ale zjevně neproniklo hlouběji do ledu.

Kdybychom ho tam ale nechali déle, riskovali bychom roztátí příliš velkého množství ledu. Dalším faktorem, který měl na svědomí odchylku, je, že tlak není na ledu rozložen rovnoměrně (nahore je tlak vyšší než po stranách).