

13. Rotujúci ľad

RNDr. Zdenko Machala, PhD.

KAFZM, FMFI UK

machala@fmph.uniba.sk

- Nalejte horúcu vodu do šálky a zamiešajte ju tak, aby pomaly rotovala. Vložte malú kocku ľadu do stredu šálky. Kocka bude rotovať rýchlejšie než voda okolo nej. Vyšetrite parametre ovplyvňujúce rotáciu ľadu.

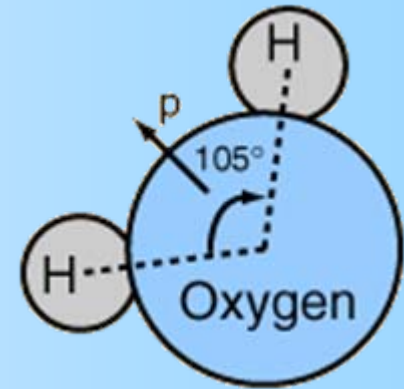
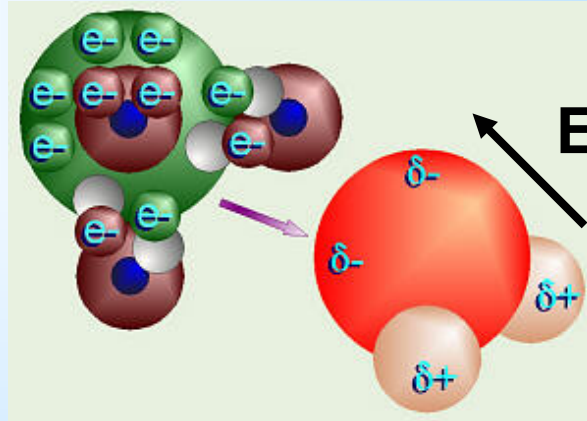
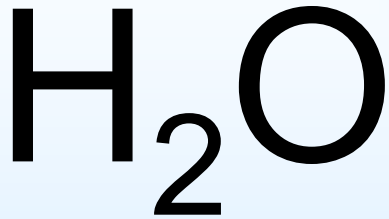
Prvé kroky

- Dajte si zamrznúť vodu do mrazničky na kocky ľadu (najlepšie prifarbenú atramentom alebo hypermangánom)
- Zohrejte vodu, nalejte do šálky, mierne ju roztočte
- Vhod'te kocku ľadu a pozorujte jav
- Kocka ľadu sa topí a točí – najprv rovnako, no potom stále rýchlejšie ako okolitá voda (ktorá postupne spomaľuje)

Video 02, 03



Molekula vody



Kovalentná väzba

Elektronegativita - schopnosť atómu priťahovať elektróny

H: 2,1 O: 3,5

Rozdiel elektronegativít $3,5 - 2,1 = 1,4$

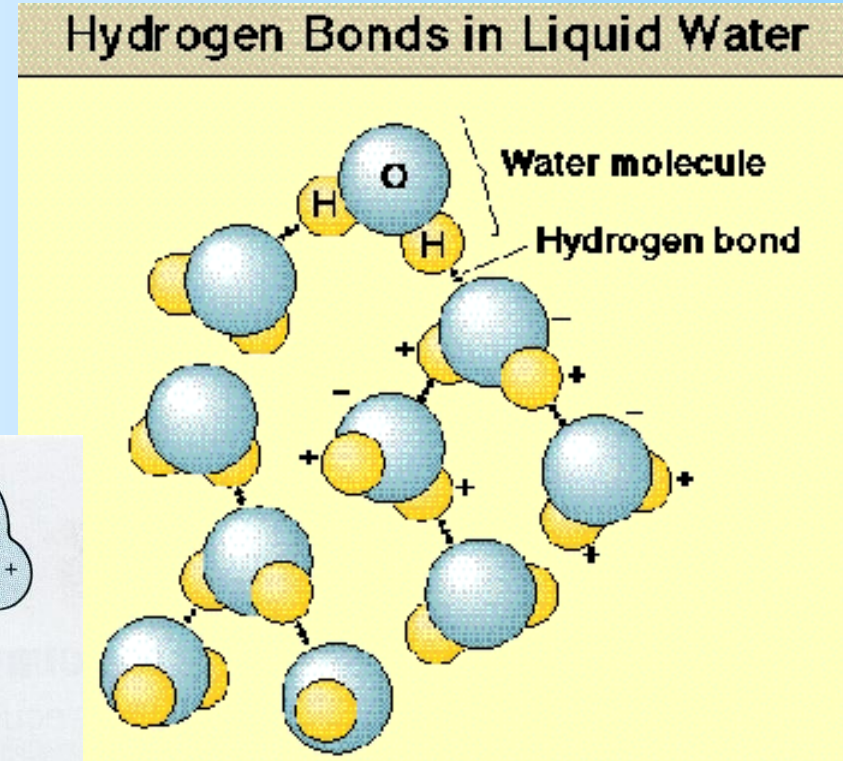
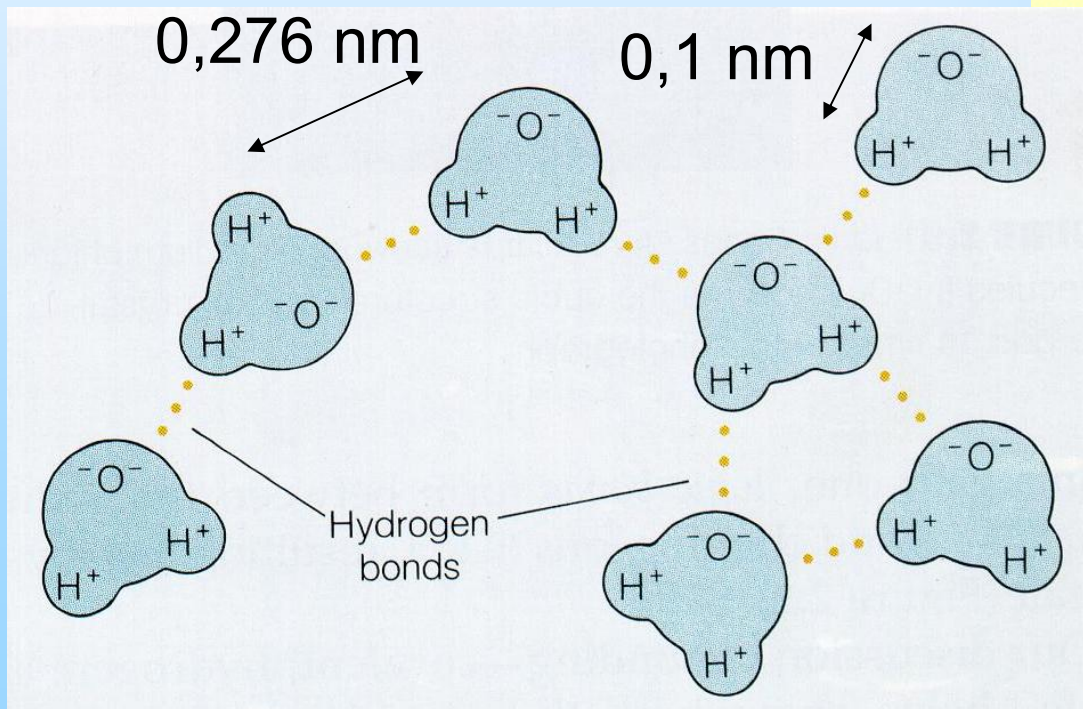
Polárna väzba

Molekula vody je **elektrický dipól**

- Orientuje sa vo vonkajšom elektrickom poli
- Ovplyvňuje vonkajšie elektrické pole

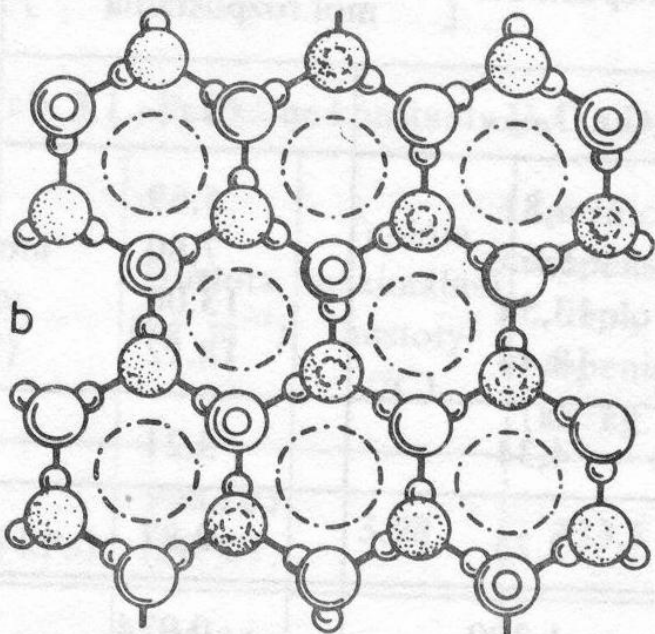
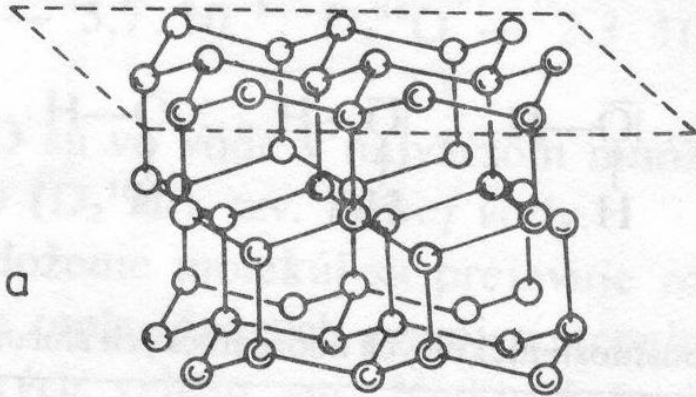
Vodíkové mostíky v kvapalnej vode

- Nepravidelné usporiadanie

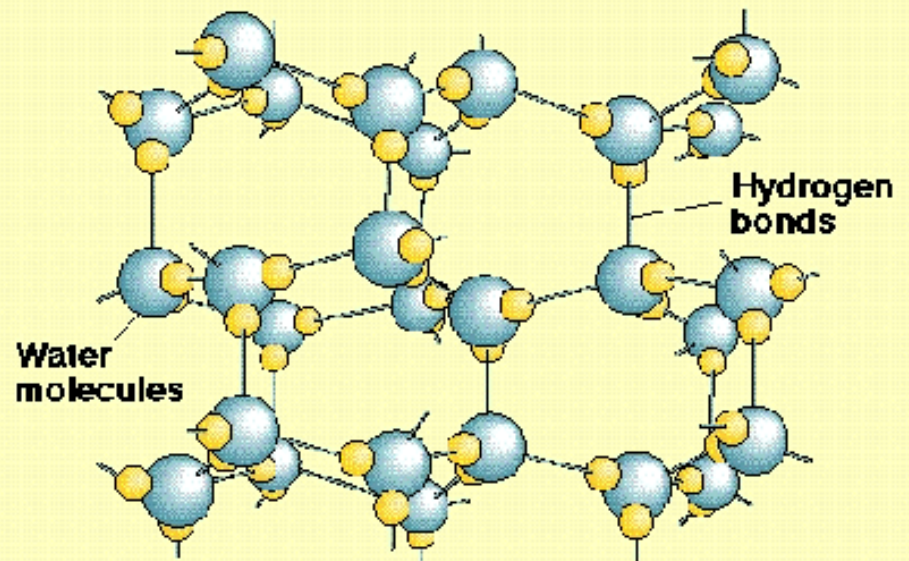


Vodíkové mostíky v ľade

- Kryštalická hexagonálna štruktúra

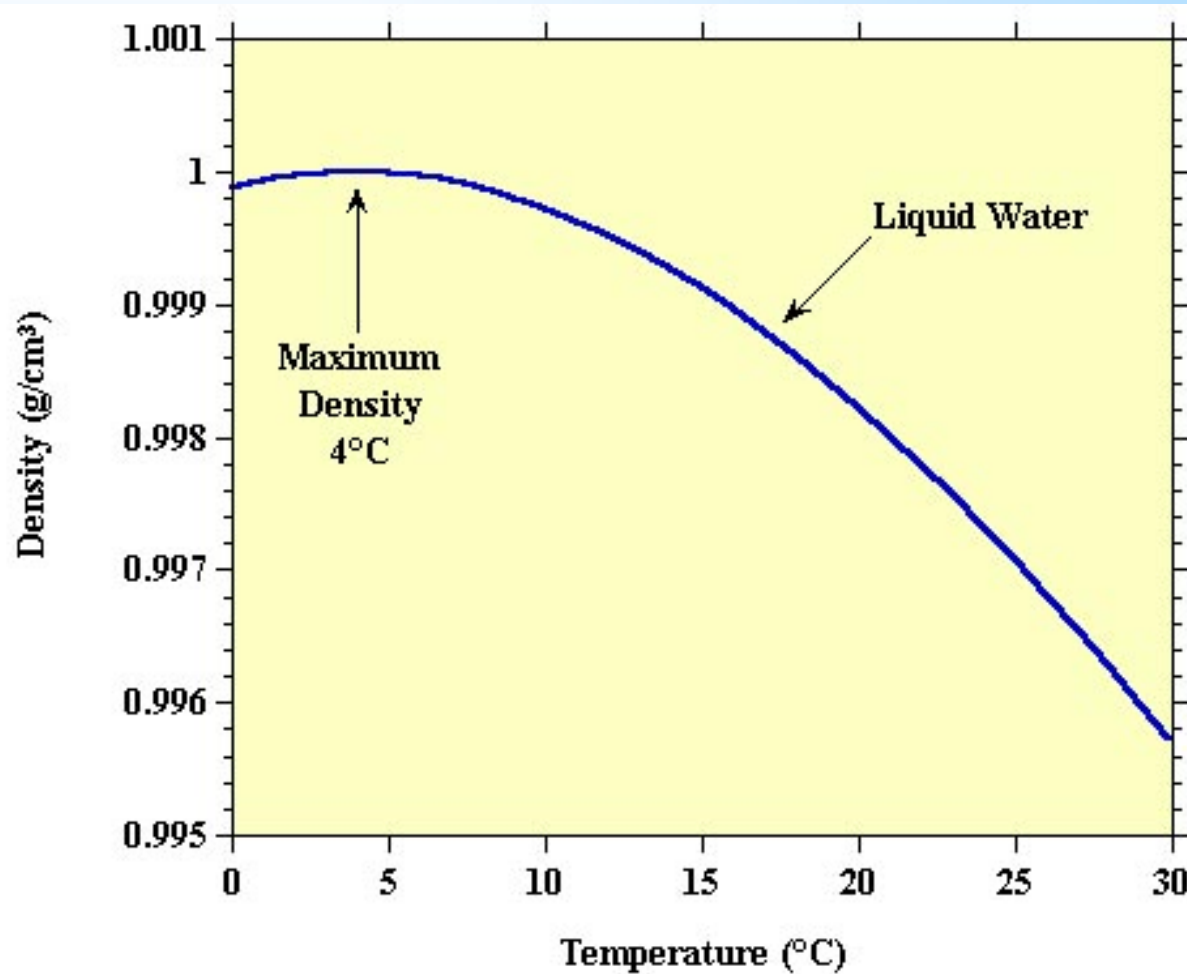


The Crystal Lattice Structure of Ice



Hustota vody

$$\rho = \rho(T, p)$$



- Vodná anomália

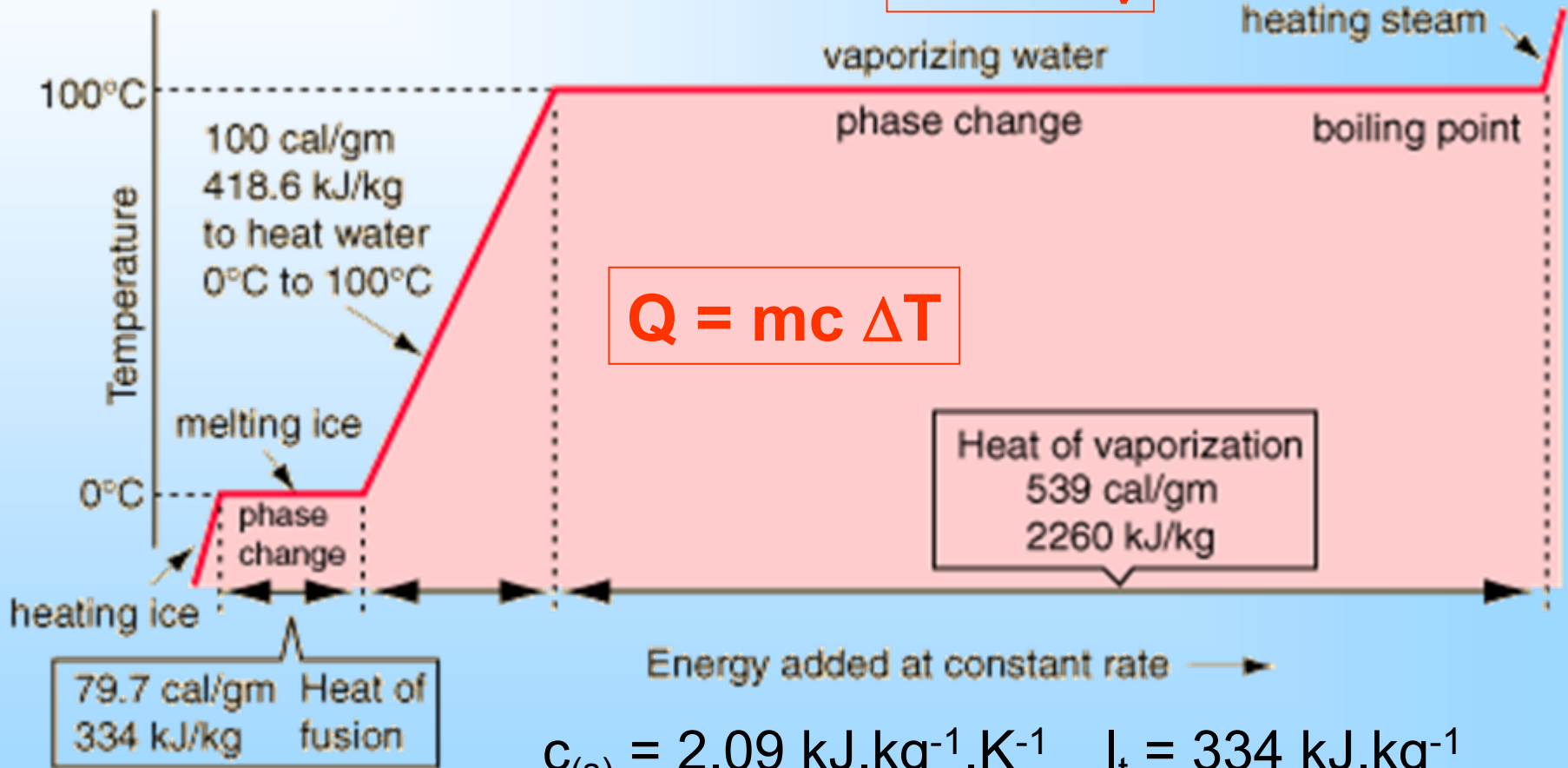
Hustota ľadu

$$\rho = 916,8 \text{ kg/m}^3$$



Zmeny skupenstva vody

$$L = m l_v$$



$$Q = mc \Delta T$$

$$L = m l_t$$

$$c_{(s)} = 2.09 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$c_{(l)} = 4.18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

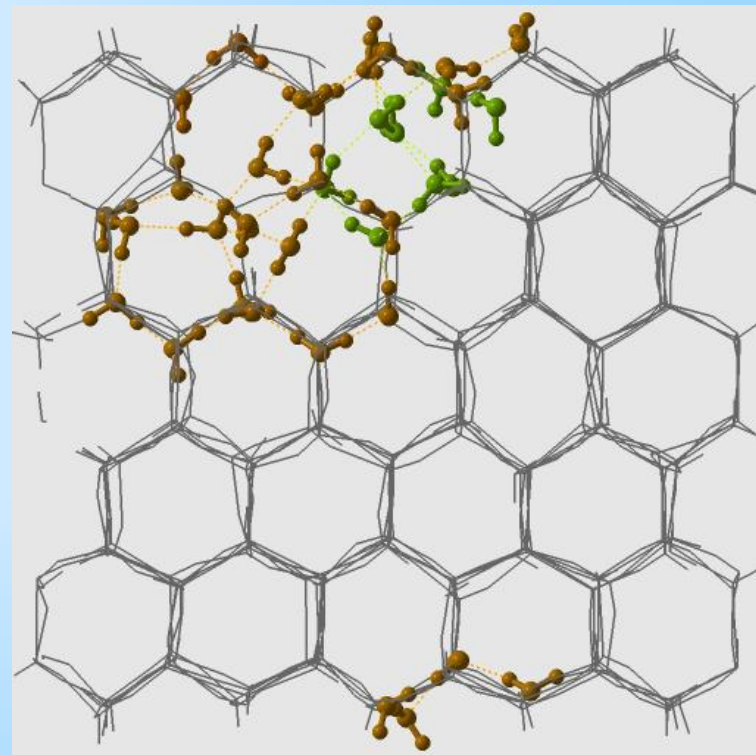
$$c_{(g)} = 1.95 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$l_t = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$l_v = 2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Topenie ľadu

- Trhanie vodíkových väzieb kryštalickej štruktúry ľadu



Prečo sa ľad roztočí?

- Ľad sa v horúcej vode prudko topí – roztopená voda sa uvoľňuje na všetky strany, keby sa voda netočila, neroztočil by sa ani ľad
- V točiacej sa vode sa ľad najprv točí s vodou – vzhľadom na ňu sa nehýbe, ale po chvíli sa dostane do stredu (ak nebol) dostredivou silou a začne sa točiť rýchlejšie
- *Video 05, B02*
- Studená voda z topiaceho sa ľadu rýchlo klesá nadol – efekt podobný vytekaniu vody z umývadla – vzniká akoby vír
- Vírový efekt zrejme roztočí ľad vzhľadom na rotujúcu vodu



Prečo sa ľad točí stále rýchlejšie?

(hoci rotácia vody postupne spomaľuje)

- Moment zotrvačnosti $I \sim mr^2$,
- Pri topení m aj r tiež klesá, teda I silne klesá (prinsíp piruety krasokorčuliarky)
- Uhlová rýchlosť ω
- Kinetická energia rotujúceho telesa

$$E = I\omega^2 = \text{const}$$

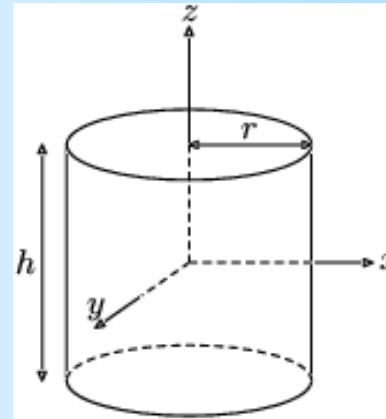
sa zachováva, čiže musí rásť ω - točí sa rýchlejšie

- Problém – zachováva sa kinetická energia miznúceho telesa? Zrejme treba uvážiť celkovú energiu

Momenty zotrvačnosti telies

- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_moments_of_inertia

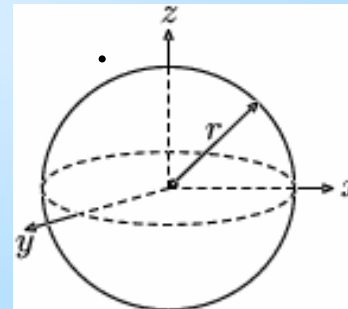
- Valec



$$I_x = I_y = \frac{1}{12}m(3r^2 + h^2)$$

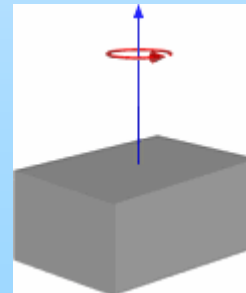
$$I_z = \frac{mr^2}{2}$$

- Guľa



$$I = \frac{2mr^2}{5}$$

- Kváder (kocka o strane s)



$$I_w = \frac{1}{12}m(h^2 + d^2)$$

$$I_d = \frac{1}{12}m(h^2 + w^2)$$

$$I_h = \frac{1}{12}m(w^2 + d^2)$$

$$I_{CM} = \frac{ms^2}{6}$$

Parametre ovplyvňujúce rotáciu ľadu

Vyšetrite:

- Tvar a veľkosť kocky ľadu – vplyv momentu zotrvačnosti
- Teplotný rozdiel medzi ľadom a vodou – skúmajte jav pre rôzne teploty vody – vplyv víru
 - Ľad priamo vytiahnutý z mrazničky má cca -18°C
 - Bude to fungovať, keď teploty ľadu a vody budú takmer rovnaké (0°C)?
 - Pozor na mechanický vplyv teplomera na rotáciu vody a ľadu v šálke
- Zvážiť iné možné javy – pôvodná rýchlosť rotácie vody v šálke, tvar, šírka a hĺbka šálky, zloženie vody (destilovaná, slaná, sladká, ...)