

Obsah přednášky:

Pohyb poprvé – lokomoce (chůze, let, plavání)

Pohyb podruhé – hybnost a moment hybnosti

Pohyb potřetí – malé a velké v přírodě

Voda

Zvuk

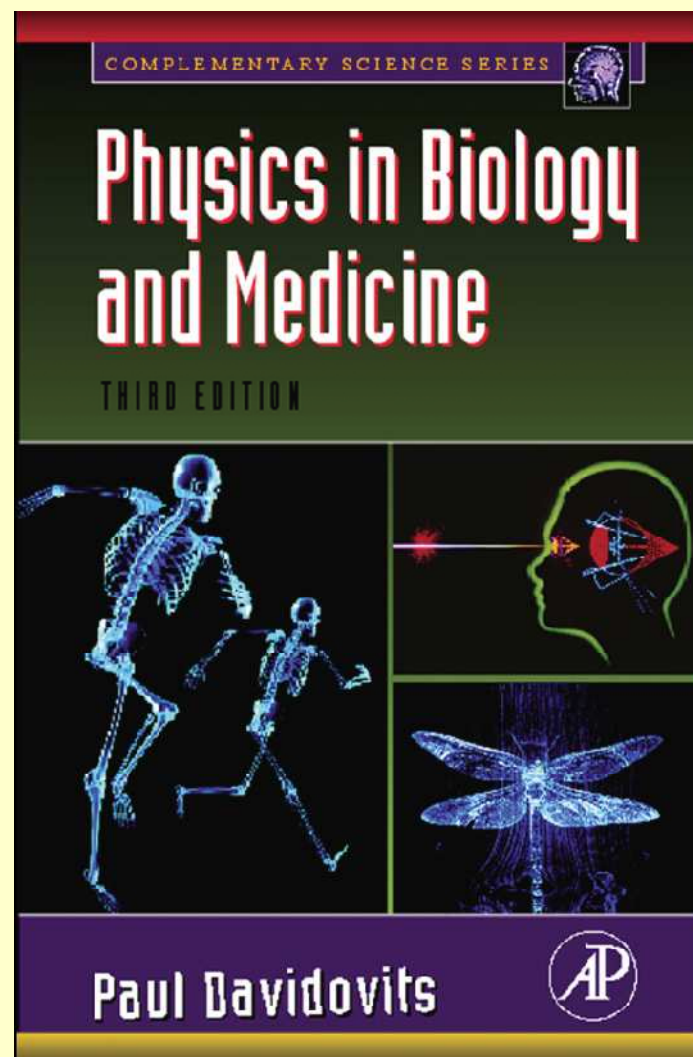
Světlo - viditelné

Světlo - neviditelné

Člověk a záření

Energie

Literatura:



ke stažení na

<http://www.ebookee.com/>

Pohyb poprvé lokomoce

Co budeme potřebovat:

2. Newtonův zákon $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

3. Newtonův zákon $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

vztahy pro mechanickou energii $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2; \quad E_p = mgh$

vztahy pro mechanickou práci $W = F \cdot s, \quad W = F \cdot s \cdot \cos \varphi,$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}, \quad W = \int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

Pohyb po souši

příchod života na souš

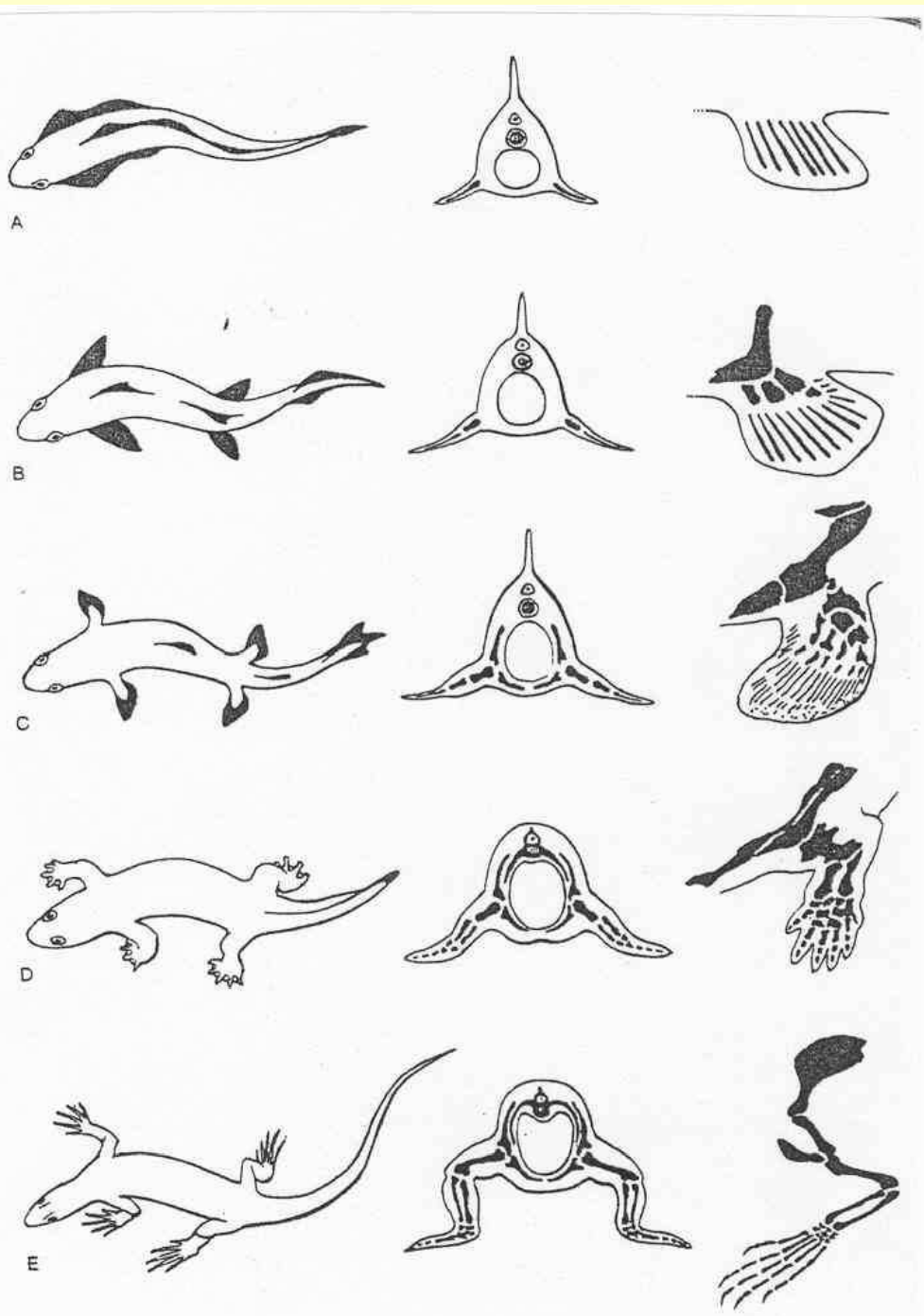
rostliny – devon 345-395 mil. let

hmyz – karbon 280-345 mil. let

obojživelníci – 350 mil. let

plazi – perm 250 – 280 mil. let

Pohyb ve vodě × pohyb po souši



primitivní ryba



Lycoptera davidi

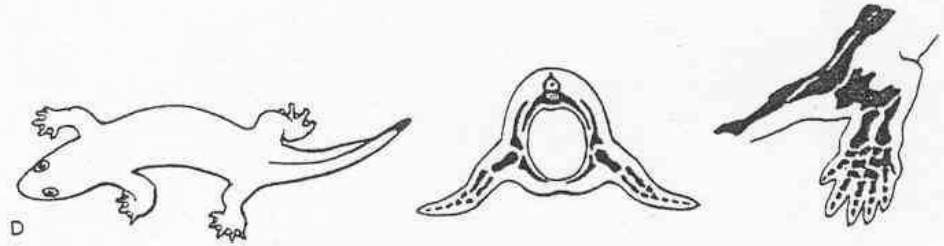


ryba pstruh duhový



Panderichthys rhombolepis (devon)

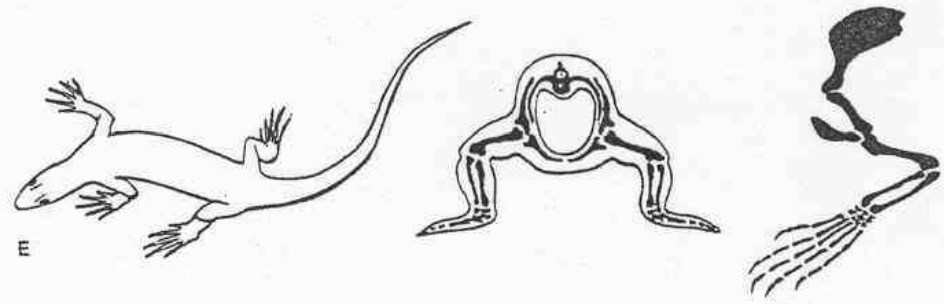
lalokoploutvá ryba



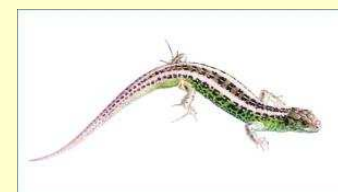
obojživelník



mlok skvrnitý

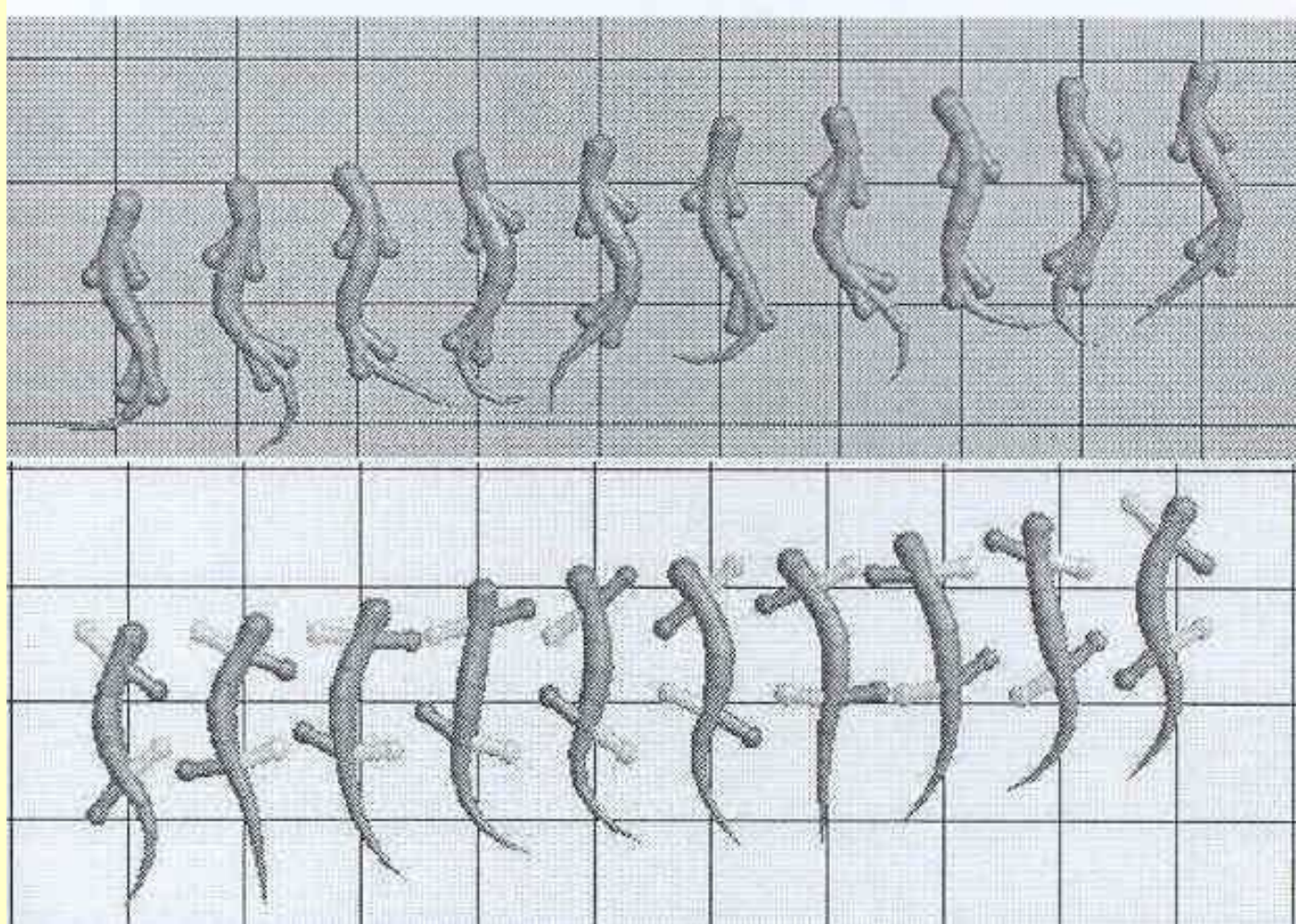


plaz



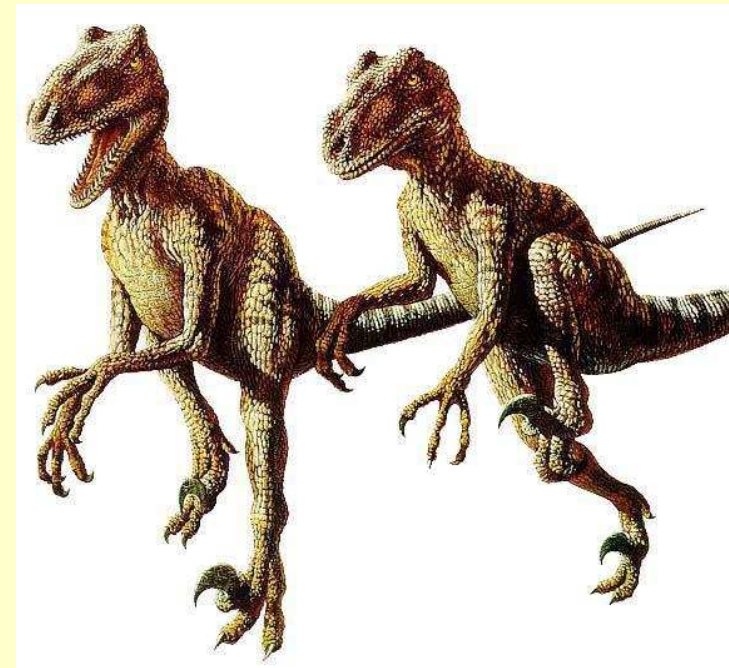
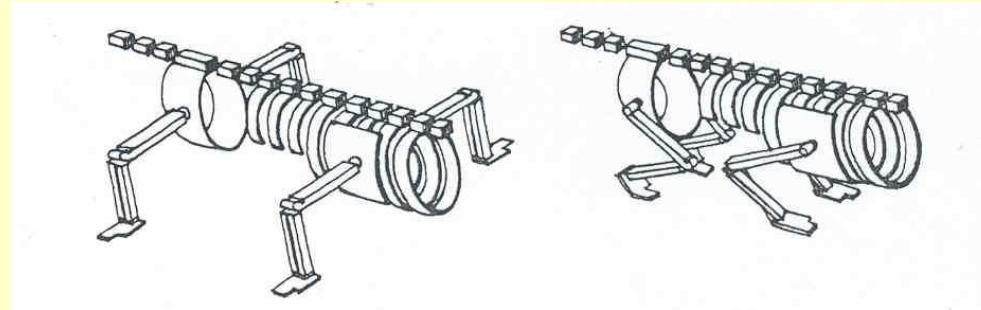
ještěrka obecná

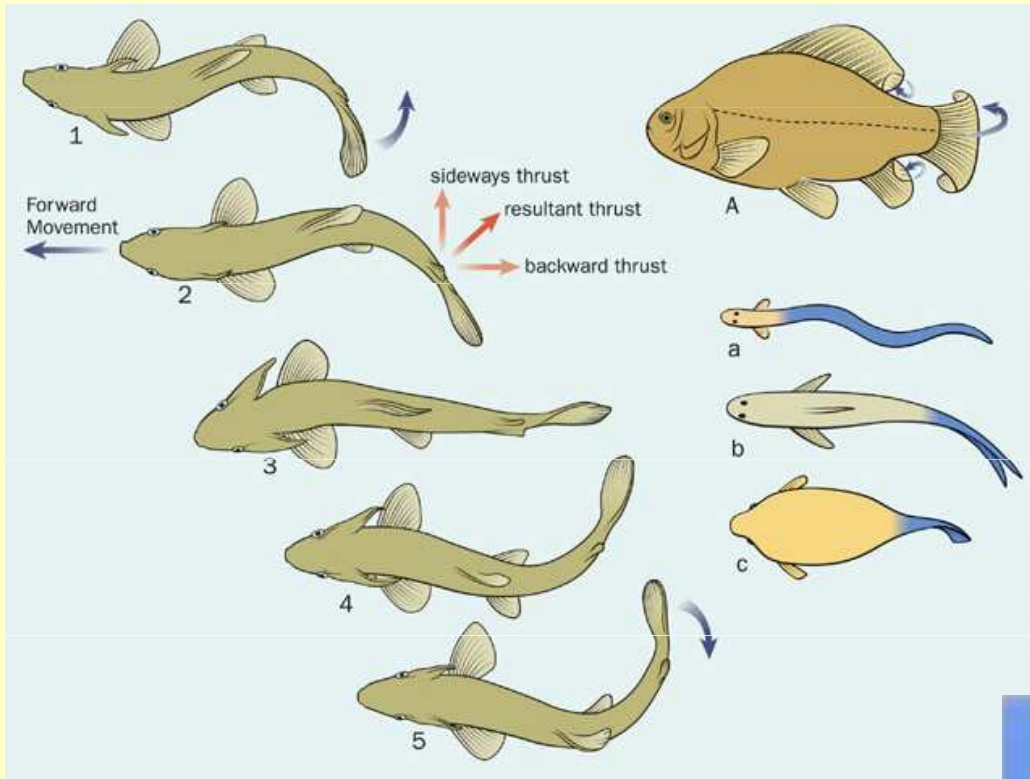
plavání a chůze mloka – počítačová simulace

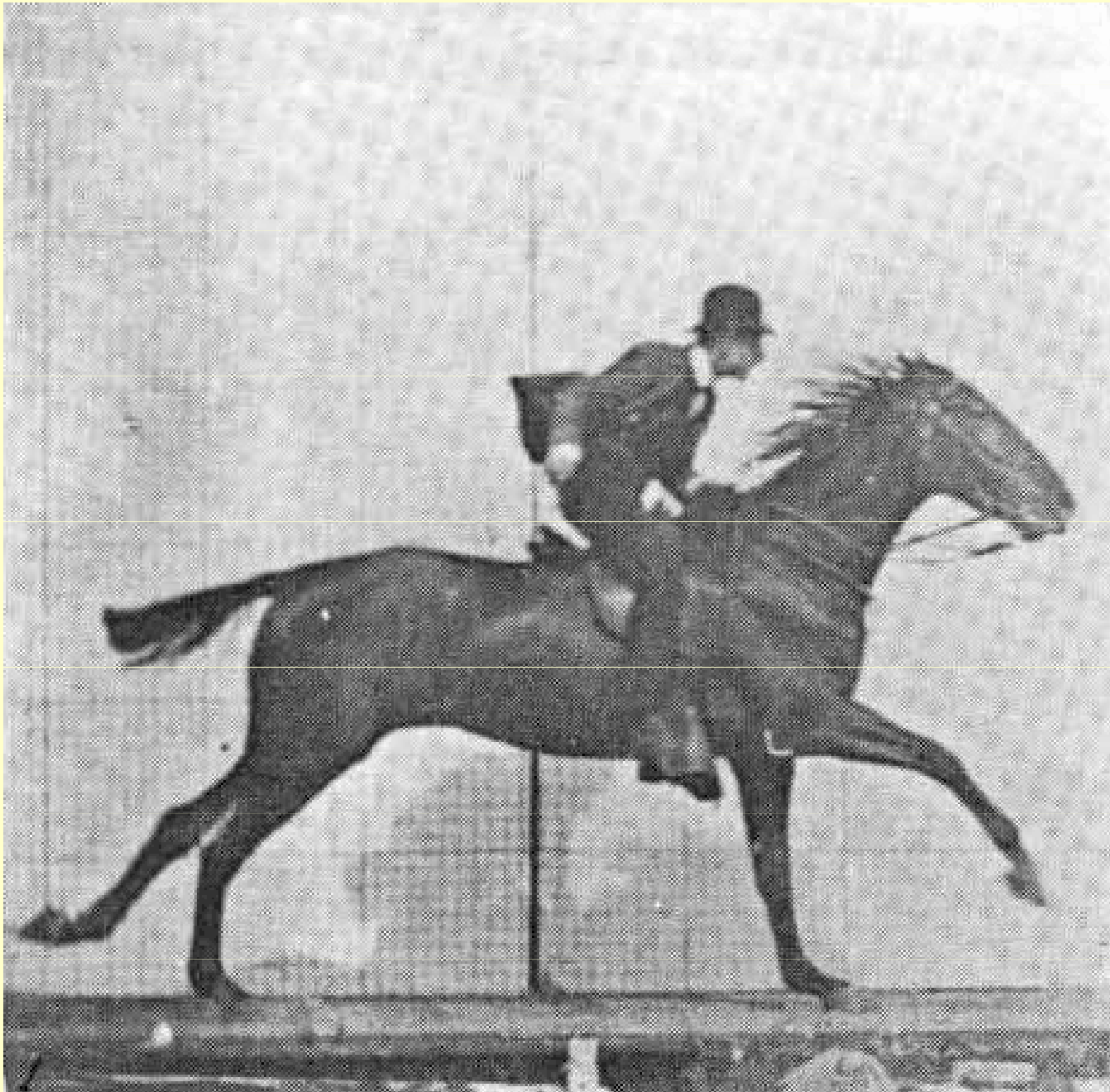


kráčející

běžci







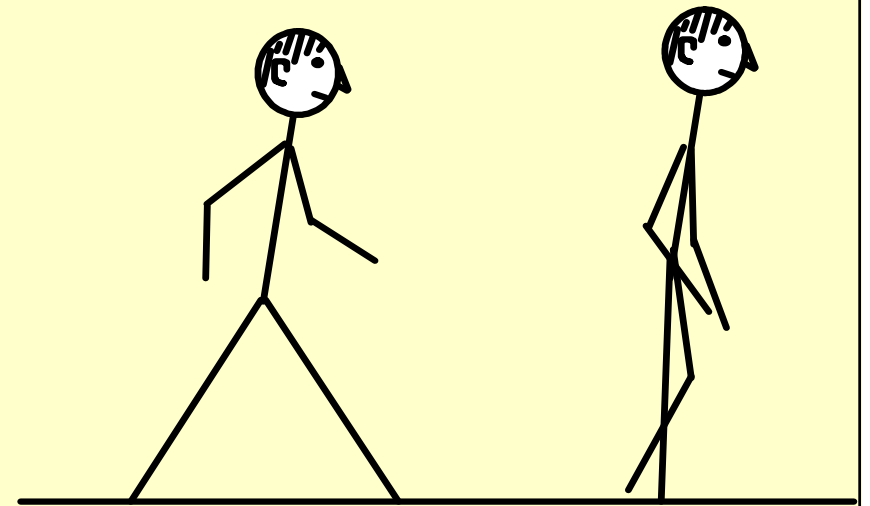
Eadweard James Muybridge
(1830 – 1904)

vysokorychlostní kamera

expoziční doba 0,002s

<http://video.google.com/videoplay?docid=-2945493776074884195&q=cheetah>

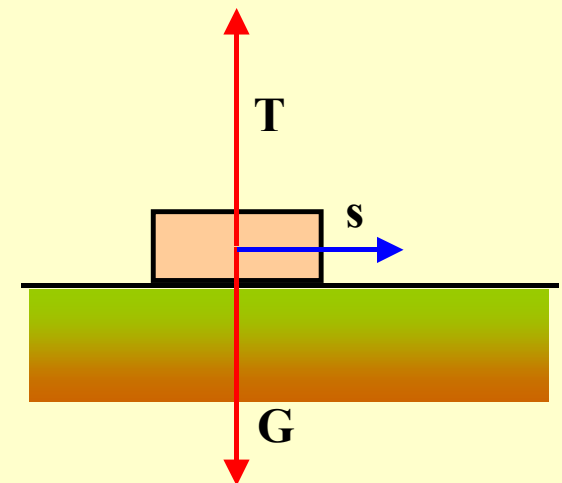
Lidská chůze



Konáme práci při vodorovné chůzi?

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos \varphi$$

může únavu vysvětlit síla odporu prostředí?



Síla odporu prostředí: $F_{odp} = \frac{1}{2} S \rho c_x v^2$

S – čelní plocha, $S = 1 \text{ m}^2$

ρ – hustota vzduchu, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

c_x – koeficient odporu, $c_x = 1$

koule $c_x = 0,5$

deska $c_x = 1,12$

v – rychlost pohybu, $v = 5 \text{ km/h} = 1,4 \text{ m/s}$

$$F_{odp} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,4^2 = 1,2 \text{ N}$$

Výkon:

$$P = F_{odp} \cdot v = 1,2 \cdot 1,4 = 1,6 \text{ W}$$

Zvednutí dvou tyčinek DELI super za 1s do výše 1,5m

Chůze proti větru 50km/h

stupeň	označení	rychlost m.s ⁻¹
0	bezvětrí	<= 0,2
1	vánek	0,3-1,5
2	slabý vítr	1,6-3,3
3	mírný vítr	3,4-5,4
4	dostí čerstvý vítr	5,5-7,9
5	čerstvý vítr	8,0-10,7
6	silný vítr	10,8-13,8
7	prudký vítr	13,9-17,1
8	bouřlivý vítr	17,2-20,7
9	vichřice	20,8-24,4
10	silná vichřice	24,5-28,4
11	mohutná vichřice	28,5-32,6
12	orkán	>= 32,7

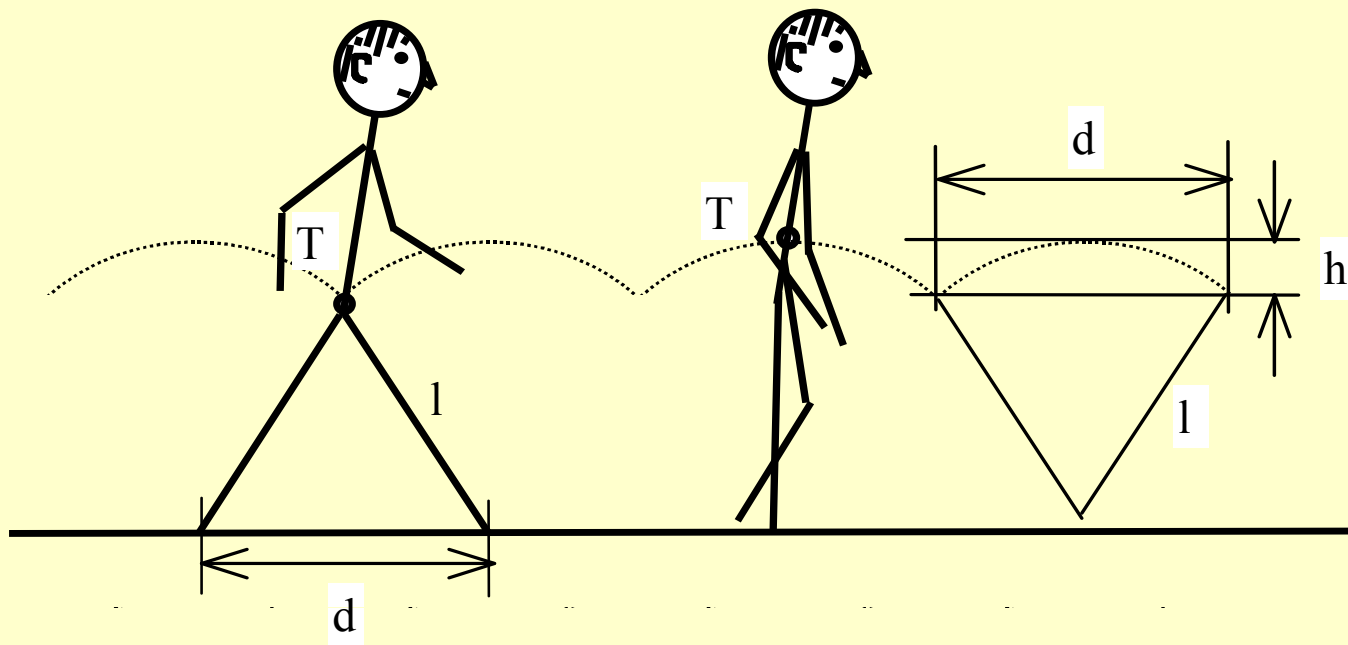
$$P = F \cdot v_v = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 14^2 \cdot 1,4 = 160 \text{ W}$$

Jízda na kole rychlostí 50km/h

$$P = F_{odp} \cdot v = \frac{1}{2} S \rho c_x v^2 \cdot v = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 14^3 = 800 \text{ W}$$

$$\left[\text{výkon větrné elektrárny} \approx v^3 \right]$$

Při chůzi síla odporu prostředí únavu nevysvětlí!



Mechanická práce při chůzi

zvedání těžiště

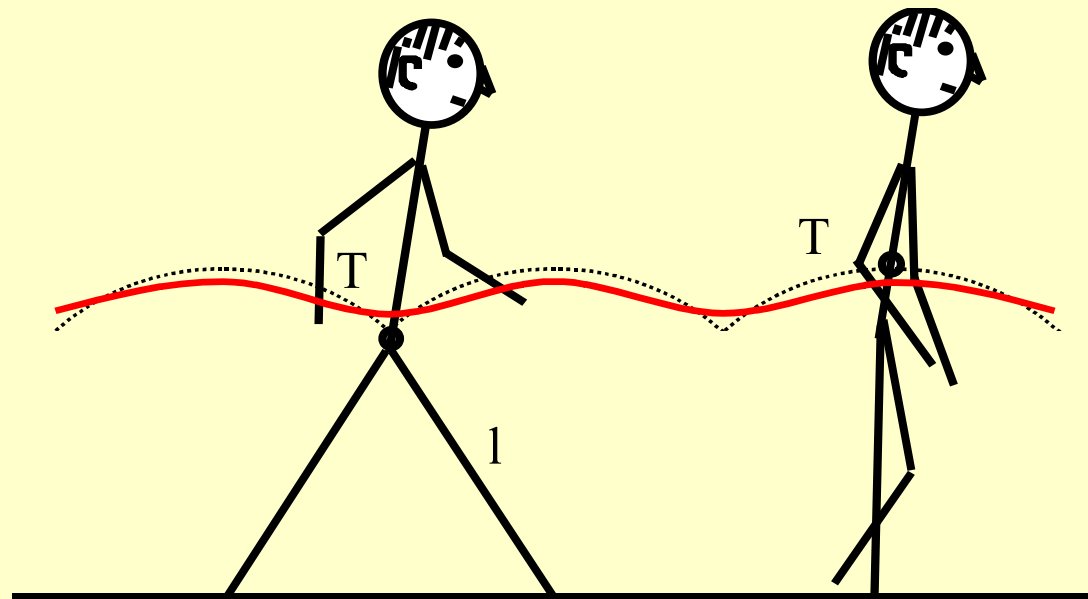
$$h = l - \sqrt{l^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$l = 1 \text{ m}, \quad d = 0,8 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad h \approx 0,085 \text{ m} = \frac{1}{10} d$$

biomechanická zásada: $h = \frac{1}{15} d$

Neuvažujeme:

- 1) Ohýbání chodidla v kotníku – prodlužuje krok
- 2) Natačení pánve – snižuje max. těžiště
- 3) Pohyb končetin – zvyšuje min. těžiště

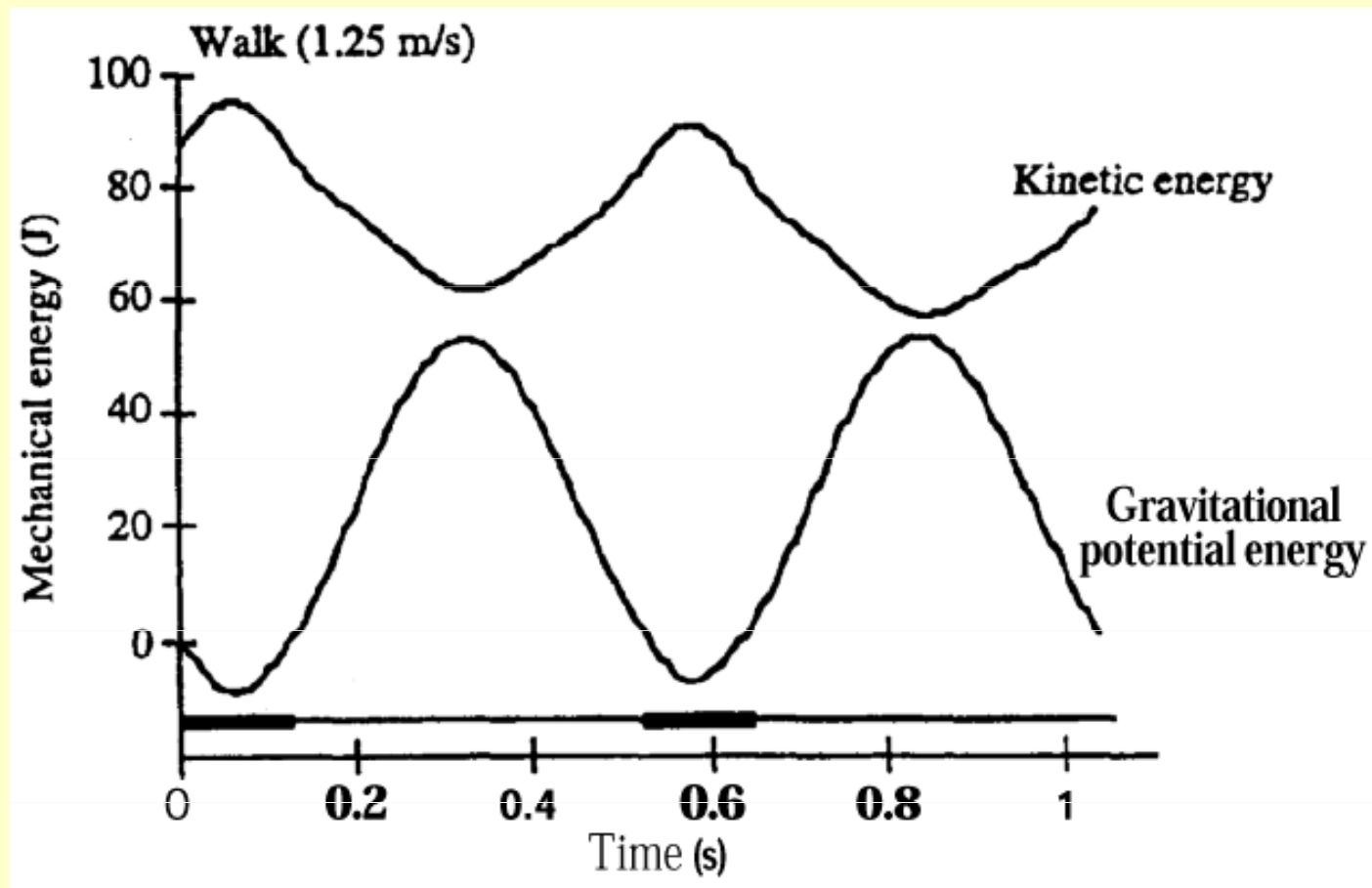


Mechanický výkon při chůzi

$$P = \frac{1}{15} F_g \cdot v = \frac{1}{15} m g \cdot v = \frac{1}{15} \cdot 80 \cdot 10 \cdot 1,1 \div 60 \text{ W}$$

účinnost svalové práce cca 20%

Energetický příkon při chůzi cca 300 W



Kinetická energie:
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 80 \cdot 1,4^2 = 80 \text{ J}$$

Změna potenciální energie:
$$\Delta E_p = mgh = 80 \cdot 10 \cdot \frac{0,8}{15} = 40 \text{ J}$$

délka kroku

biomechanická zásada

Mechanický výkon při běhu – jiná situace

chůze – pomalý pohyb, práce svalů vložena do změny **potenciální** energie

běh – rychlý pohyb, práce svalů vložena do změny **kinetické** energie

vzpěrač X koulař

Kinetická energie

translačního pohybu

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

moment setrvačnosti

rotačního pohybu

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$$

úhlová rychlost

noha:

$$J = \frac{1}{12}ml^2 + m\left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{3}ml^2$$

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{6}ml^2 \cdot \frac{v^2}{l^2} = \frac{1}{6}m \cdot v^2$$

$$E_k = \frac{1}{6} m \cdot v^2$$

maximální kinetická energie jedné nohy



Práce svalů při jednom kroku:

urychlení jedné nohy dopředu a druhé dozadu

Celková práce svalů při jednom kroku: $W = 2 \cdot E_k = \frac{2}{6} m \cdot v^2$

Celkový výkon: práce za jednotku času:

sprinter: 4 kroky za 1 s

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{3} m \cdot v^2 = \frac{4}{3} \cdot 15 \cdot 10^2 = 2000 \text{ W}$$

udávaná hodnota: 1200 W

činnost člověka	mech. výkon	příkon	doba činnosti s 1 tyčinkou DELI
chůze	60W	300W	1 hodina
běh maraton	300W	1500W	11 minut
běh 1500m	500W	2500W	400 sekund
běh 100m	1200W	6000W	170 sekund
tepelný výkon v klidu	80W		3,5 hodiny

1 tyčinka DELI (55g) je asi 1000 kJ

Rychlost chůze

noha - fyzické kyvadlo

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mga}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{12}ml^2 + m\left(\frac{l}{2}\right)^2}{mg \cdot 0,4 \cdot l}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{l^2}{3g \cdot 0,4 \cdot l}} = 2\pi \sqrt{\frac{l^2}{3 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot l}} \doteq 1,8s$$

pro $d = 0,8$ m

je $v = 3,2$ km/h



Jak souvisí rychlost chůze s velikostí chodce?

perioda kmitů nohy: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l^2}{3g \cdot 0,4 \cdot l}} \approx \sqrt{l}$

délka kroku: $d \approx l$

rychlost chůze: $v = 2 \cdot \frac{1}{T} \cdot d \approx \frac{1}{\sqrt{l}} \cdot l = \sqrt{l}$

čtyřikrát delší nohy → dvakrát větší rychlost chůze.

obecně platné pro všechna suchozemská zvířata

V případě běhu je to ovšem jinak

chůze: nohu – kyvadlo – urychluje tíhová síla

běh: nohu urychluje síla svalů – úměrná ploše průřezu svalu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{12}ml^2 + m\left(\frac{l}{2}\right)^2}{mg \cdot 0,4 \cdot l}}$$

místo mg : člen úměrný l^2

přitom hmotnost nohy m je úměrná l^3

Tedy celkem

$$T \approx \sqrt{\frac{l^5}{l^3}} = l$$

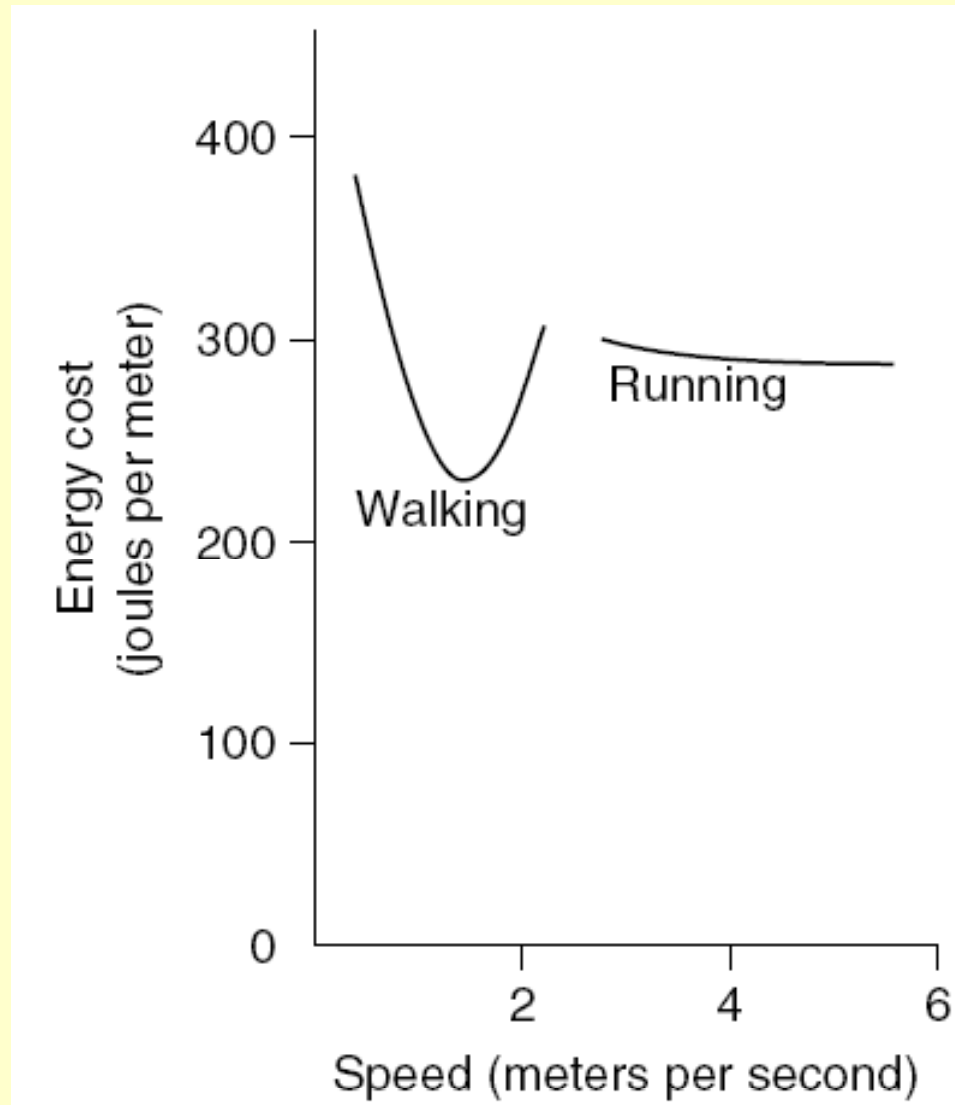
a rychlost běhu:

$$v \approx \frac{1}{T} \cdot d \approx \frac{1}{l} \cdot l = 1 = \text{konstanta}$$

Maximální rychlost běhu na velikosti nezávisí.

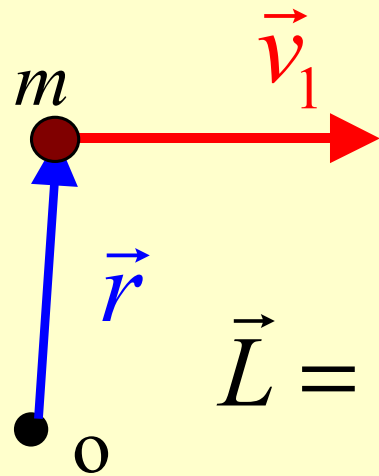
liška je stejně rychlá jako kůň

Energetická efektivita chůze a běhu



Proč při chůzi máváme rukama?

zákon zachování momentu hybnosti

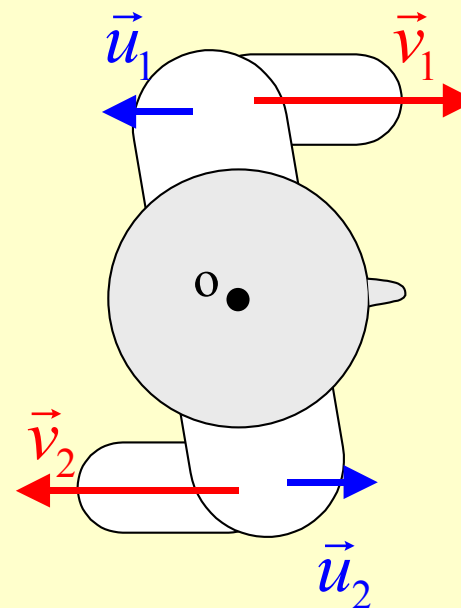
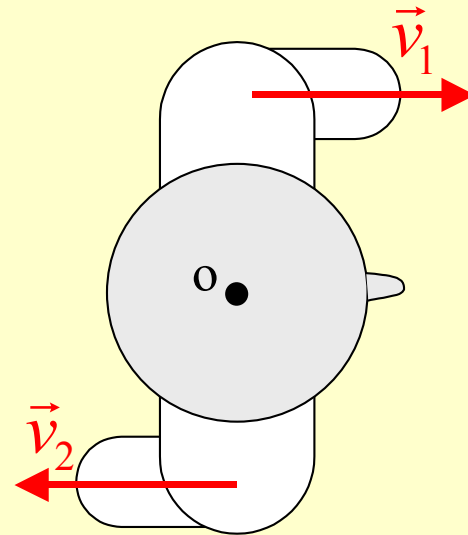


$$\vec{L} = \text{konst}$$

$$\vec{L} = \vec{r} \times m \vec{v} = \vec{r} \times \vec{p}$$

Pro tuhé těleso

$$L = J \cdot \omega$$



Mechanická práce a únava

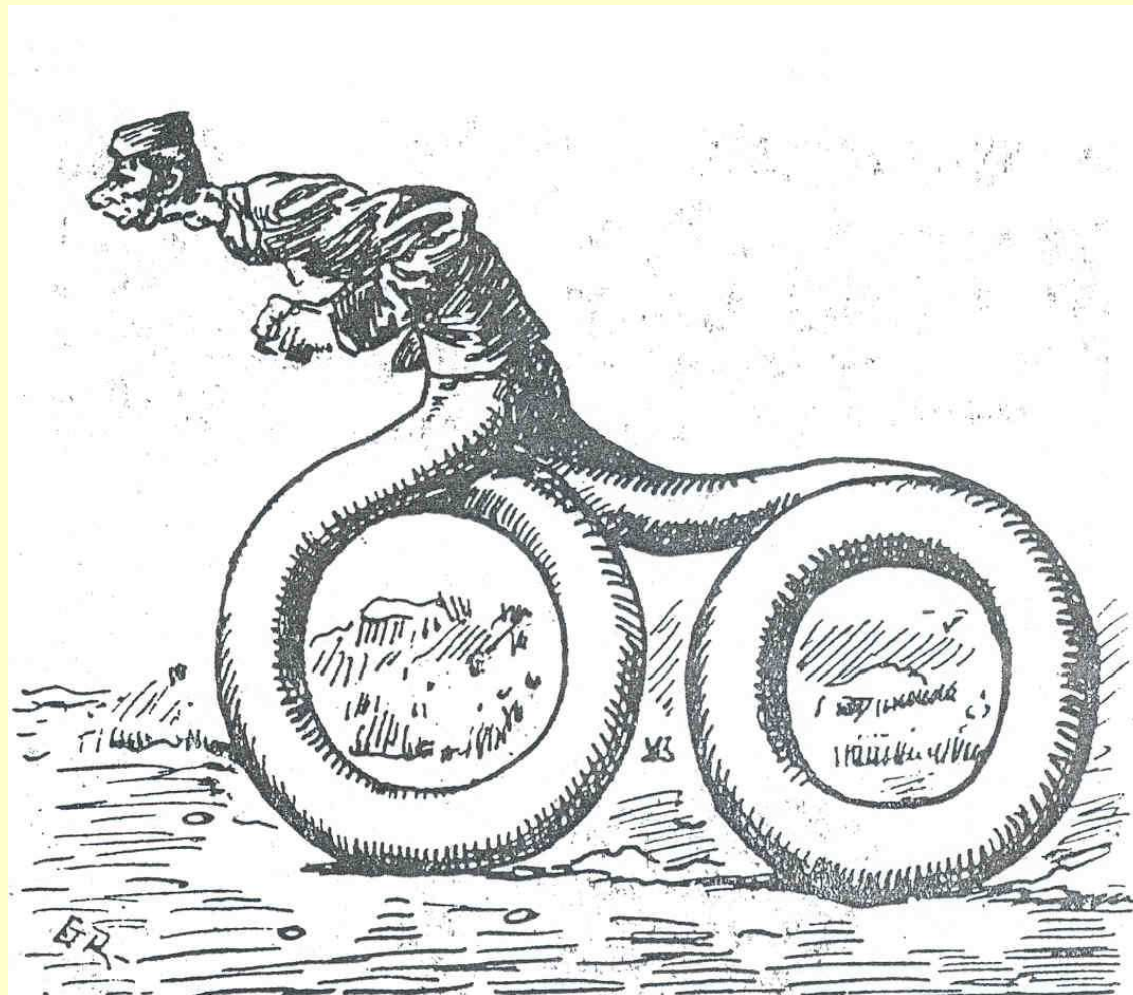
a) Napjatá pružina nekoná práci ale napjatý sval se unaví.

izometrická svalová kontrakce

b) Sval pracuje hospodárněji, podává-li menší výkon .

nedostatek kyslíku – hypoxie, kyselina mléčná

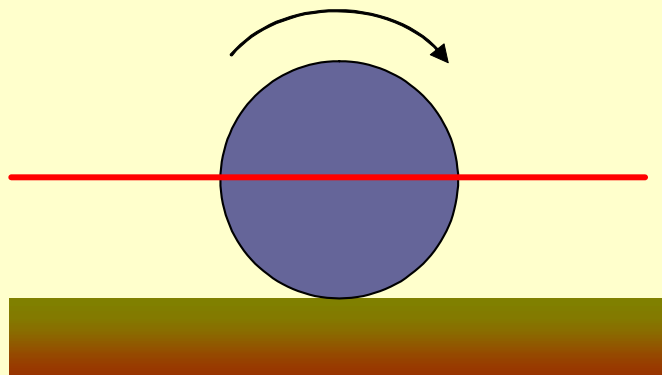
Proč člověk nemá kola?



Opravdu člověk nemá kola?

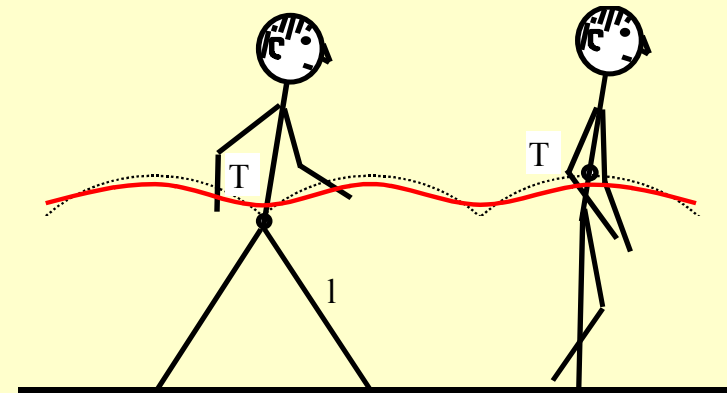
valení kola

- těžiště zůstává v konstantní výšce
- styčná plocha je vůči podložce v klidu



chůze

- pohyb těžiště je jen mírně zvlněn
- styčná plocha je vůči podložce v klidu



chůze je ekvivalentní smýkání dvou ploch s koeficientem tření $f = 0,07$

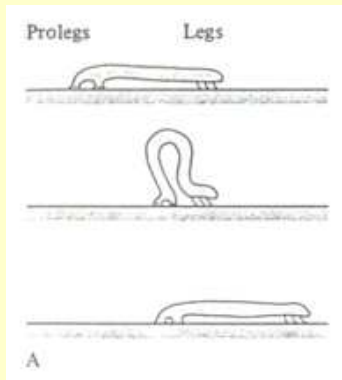
Závodní chůze



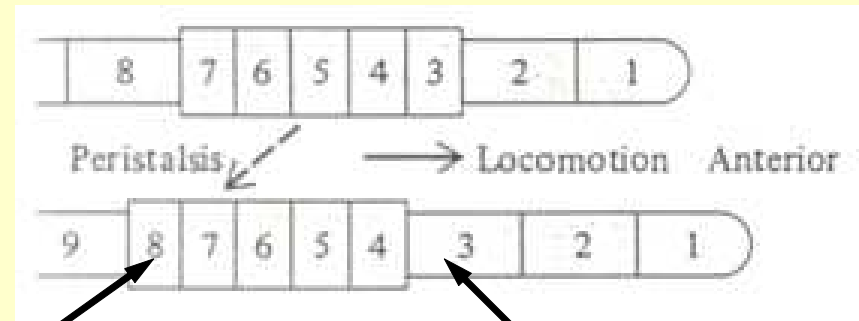
[video](#)

Jiné způsoby suchozemského pohybu

Plazení housenky



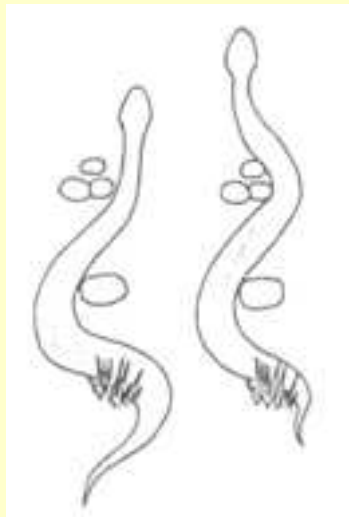
Peristaltika žížaly



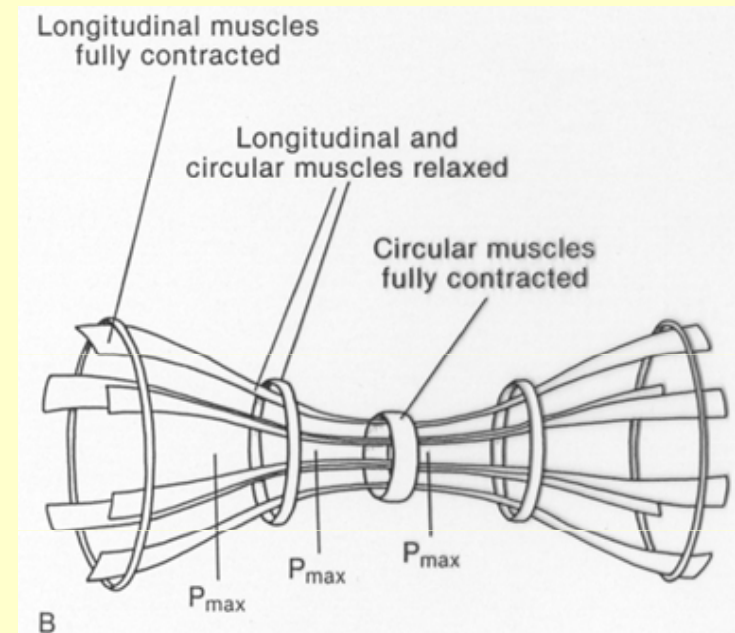
zkrácení segmentu těla
kontrakcí podélných svalů

zúžení segmentu těla
kontrakcí kruhových svalů

Plazení hada



postupná vlna na těle



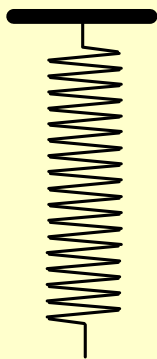
Skákání klokana

na první pohled velmi neefektivní způsob pohybu – značný zdvih těžiště

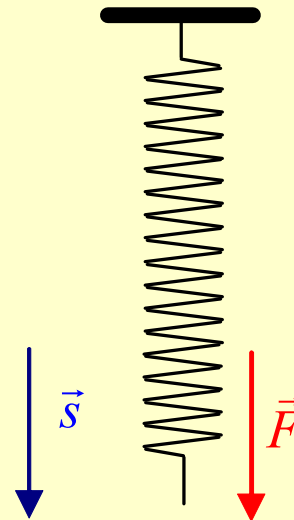
Není to tak!!



Elastická akumulace energie

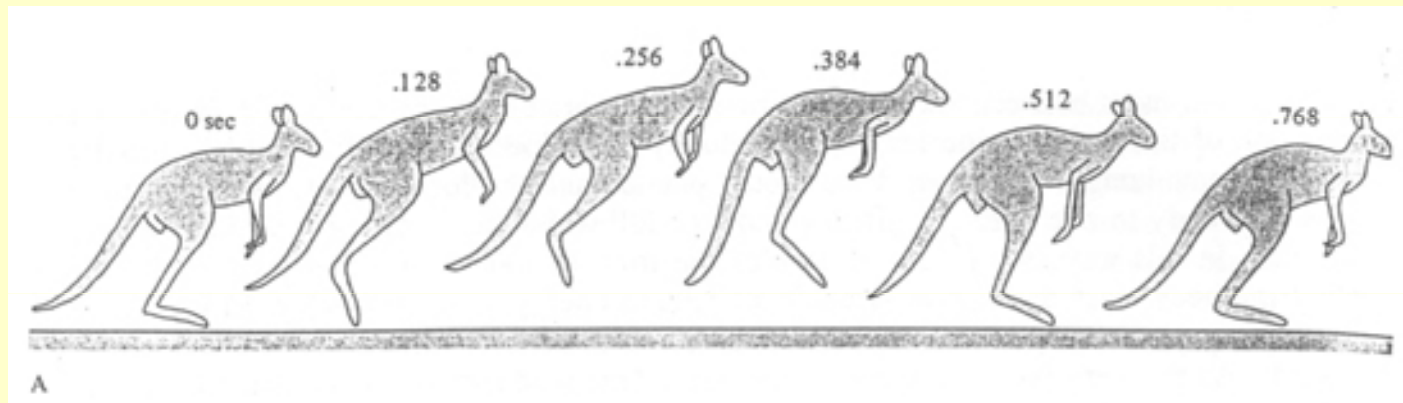
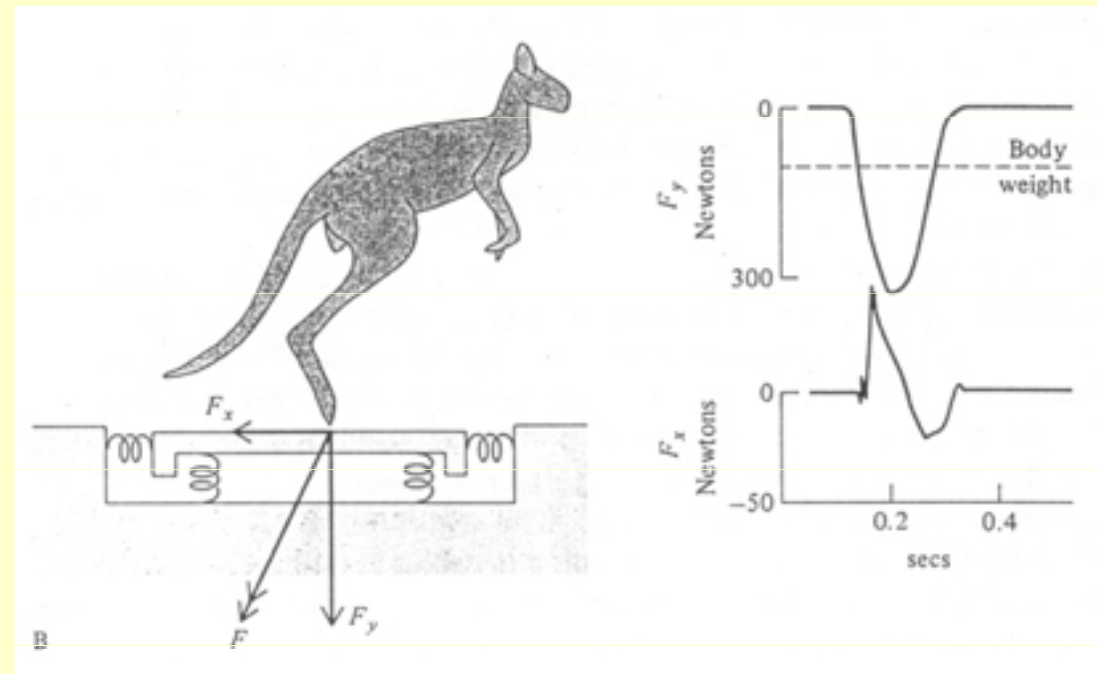
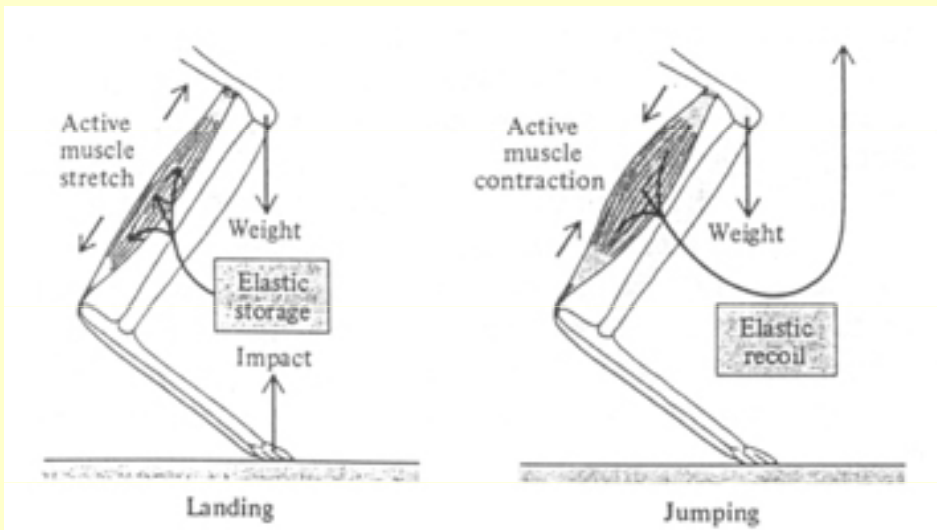


Natažením konáme práci – zvýšíme potenciální energii



„Uschovanou“ energii můžeme později využít:

- pero hodin
- napjatý luk
- **skákání míčku**



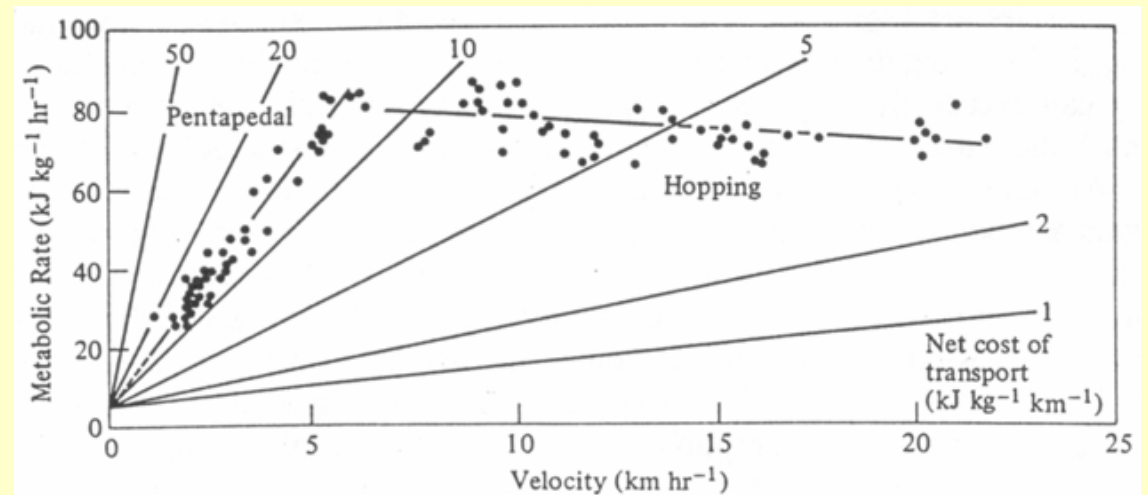
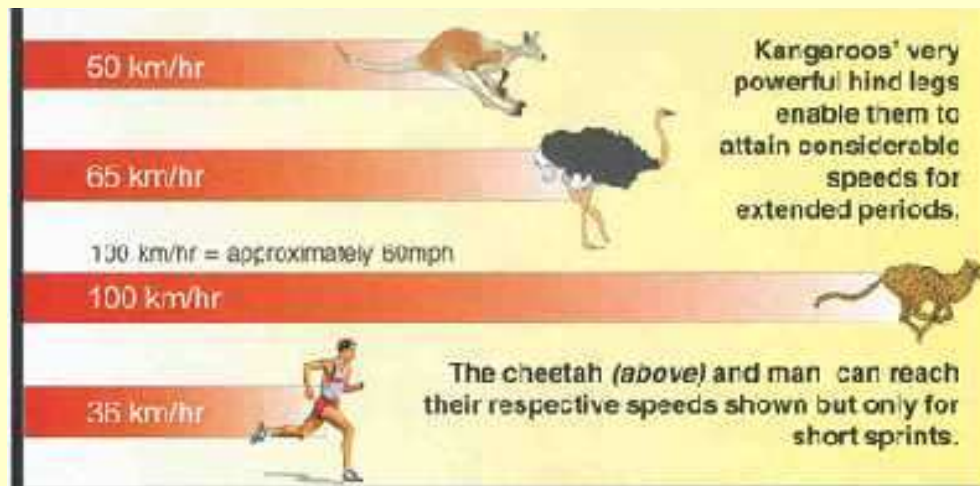
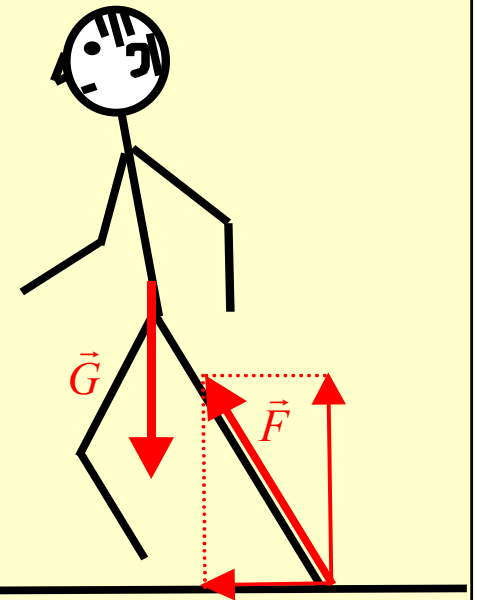


FIGURE 5 Relationship between metabolic rate and velocity for a kangaroo when using pentapedal (forelimbs, hindlimbs, and tail) locomotion at low speed and bipedal hopping at high speed. (Modified from Dawson and Taylor 1973.)

Klokan ve šlachách uchová a znovu využije 70% energie, běžící člověk jen 20%.

Pohyb bez opory pevné země: plavání a let

pohyb po souši:



- dva nové problémy:
- zajištění stálé výšky (kompenzace tíhové síly silou vztlakovou)
 - síla pro dopředný pohyb

obojí pouze interakcí s okolní tekutinou –
vodou, vzduchem.

Zdroj vztlakové síly

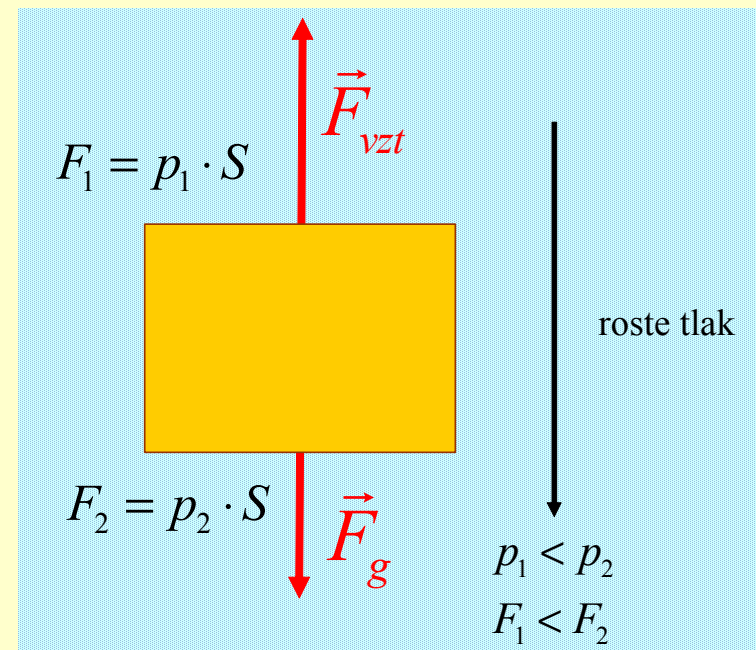
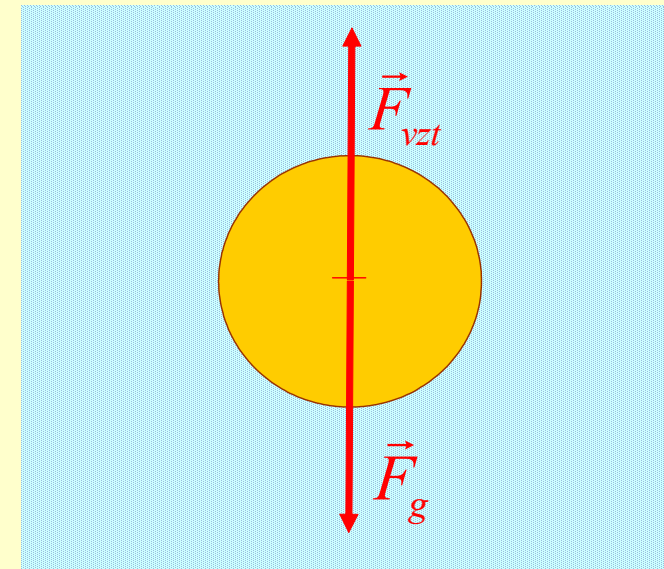
1) statický vztlak – Archimédův zákon

$$F = V \cdot \rho \cdot g$$

$$\rho_{\text{voda}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \rho_{\text{vzduch}} = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

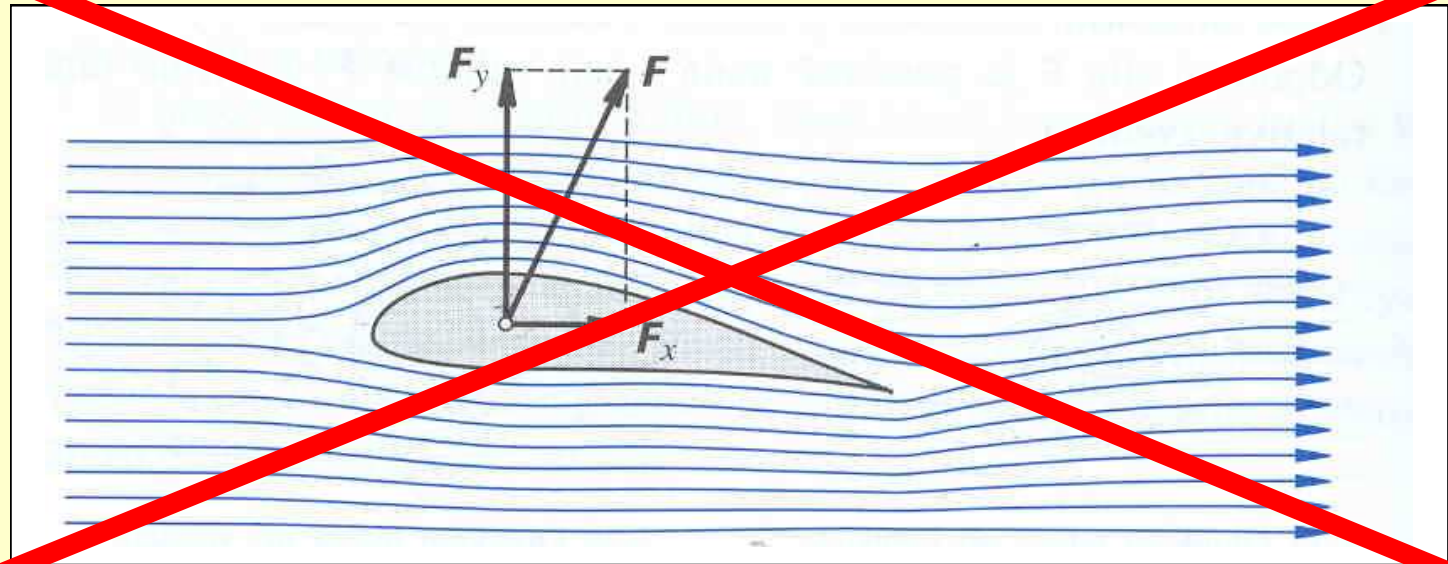
použitelné pouze pro pohyb ve vodě

$$\rho_{\text{voda}} \square \rho_{\text{živé tělo}}$$



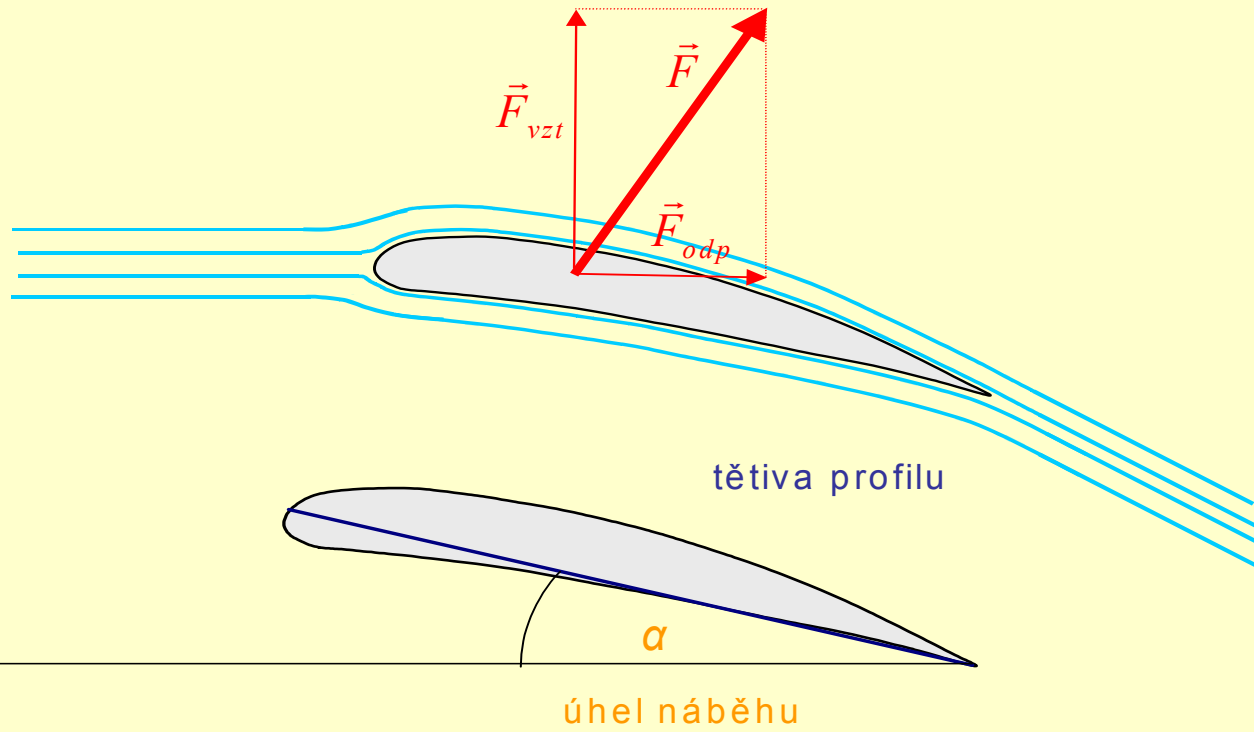
2) dynamický vztlak – vztlak křídlového profilu

Mechanika pro gymnázia



Bernoulliova rovnice

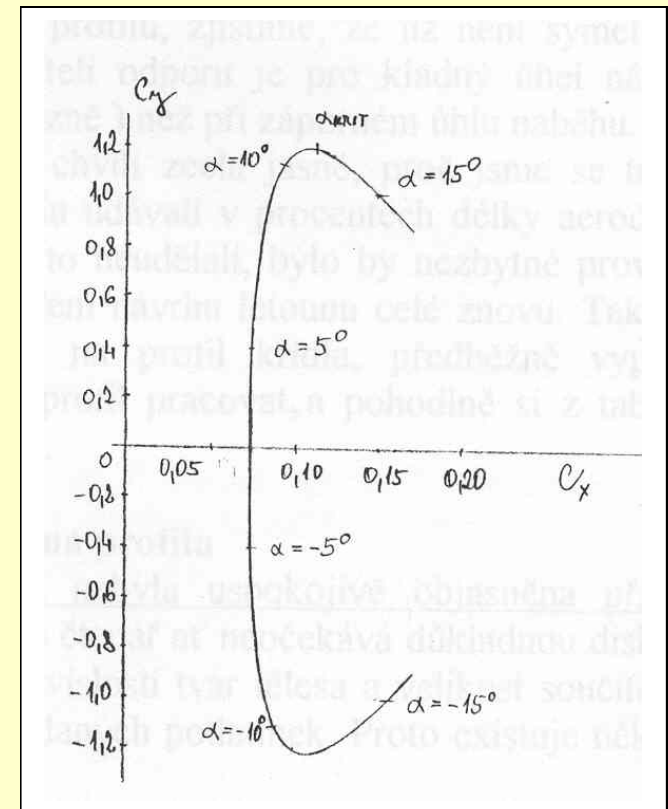
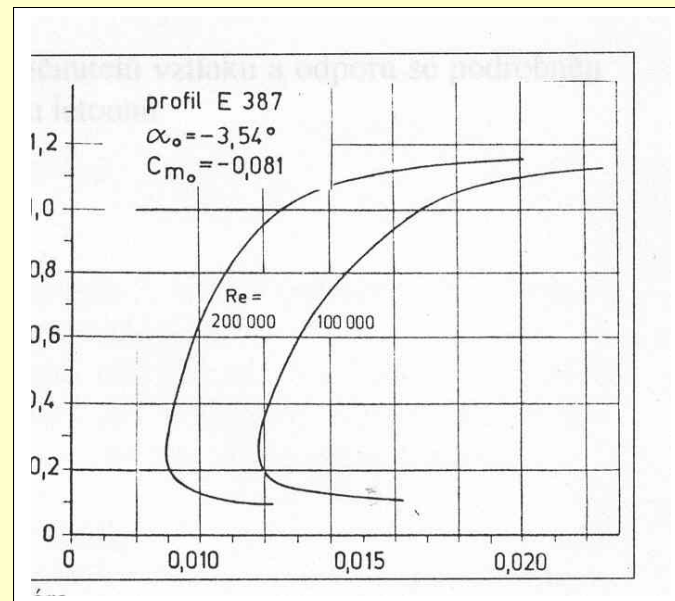
$$\frac{1}{2} \rho v^2 + h \rho g + p = \text{konst}$$



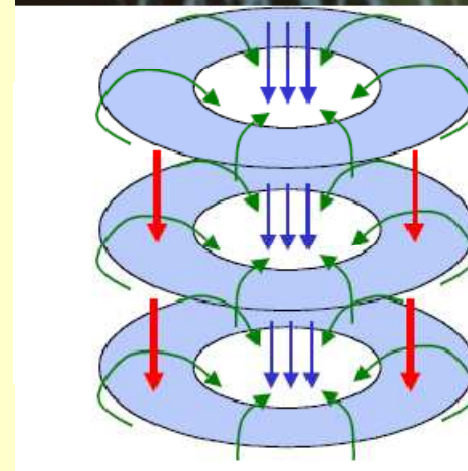
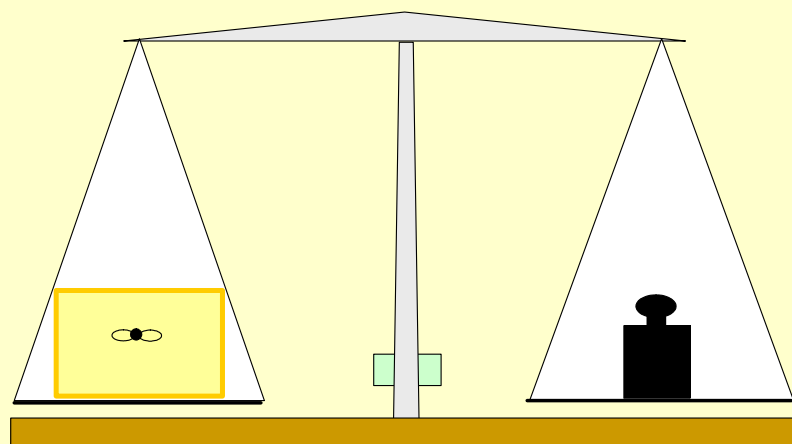
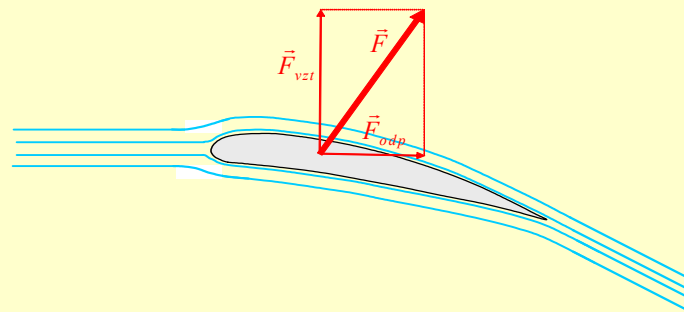
$$F_{odp} = \frac{1}{2} c_x \rho S v^2$$

$$F_{vzt} = \frac{1}{2} c_z \rho S v^2$$

polára profilu



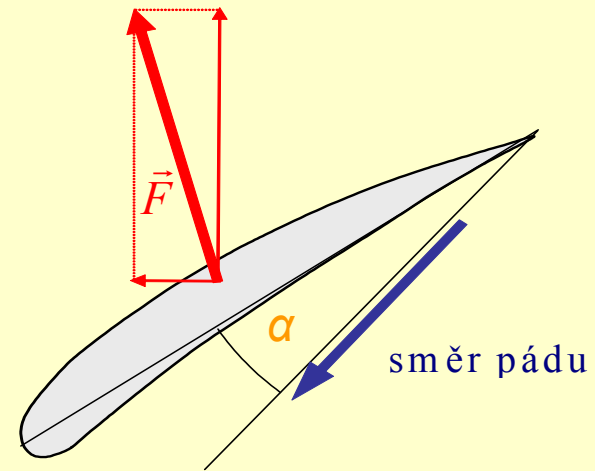
Dynamický vztlak je vždy doprovázen proudem vzduchu dolů



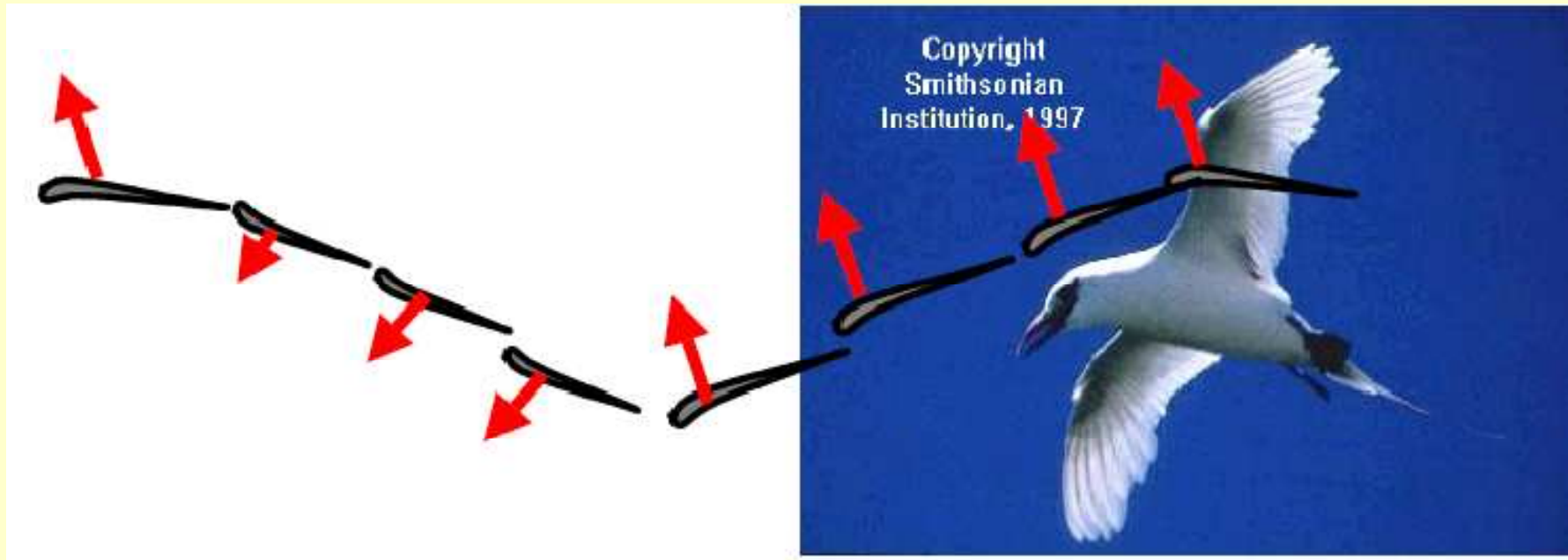
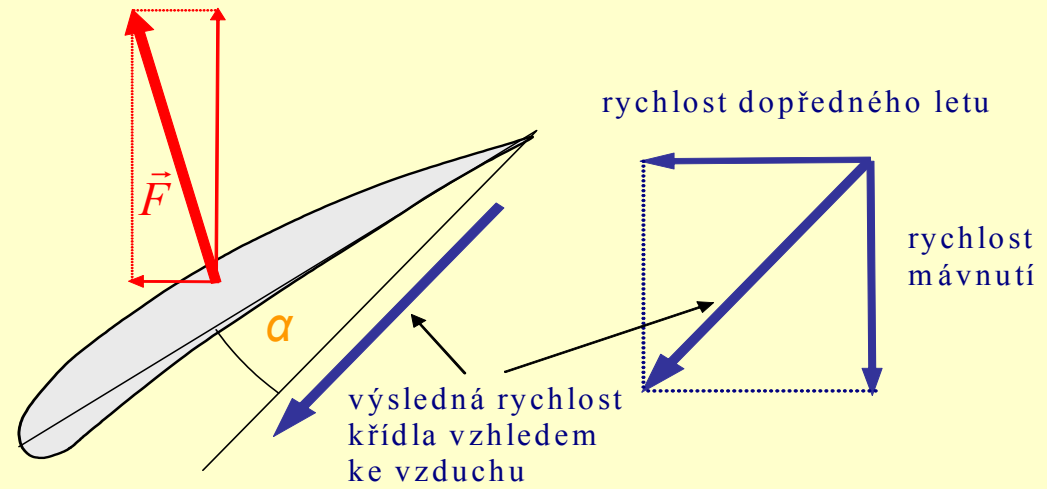
moucha v krabici

Zdroj dopředné síly

1) pád se skloněným křídlem



2) mávání křídel



Vývoj letu:

před 350 mil. let: hmyz



fosílie vážky – jeden z prvních letců
největší nalezený exemplář 76cm rozpětí

před 225 mil. let: dinosauři
pterosaurus

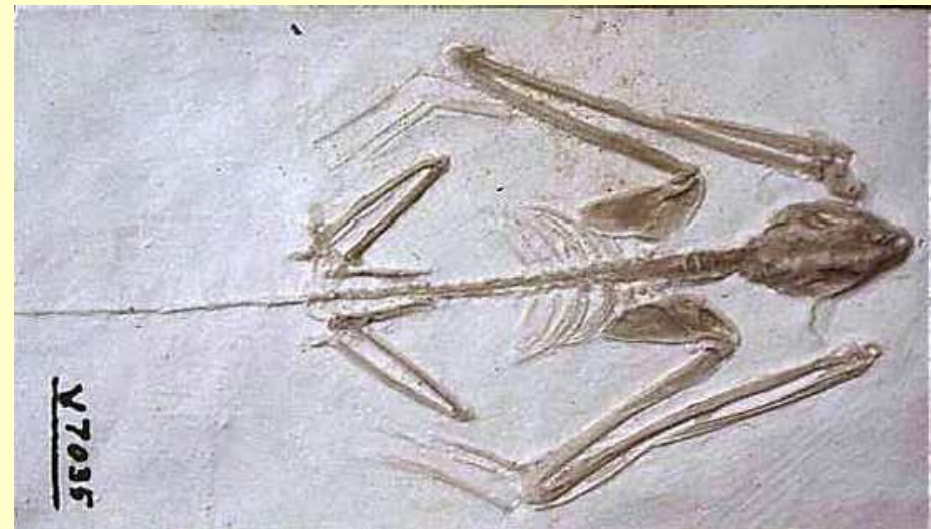


pterosaurus, největší nalezený exemplář Quetzalcoatlus, rozpětí 15m

před 150 mil. let: ptáci
Archaeopteryx



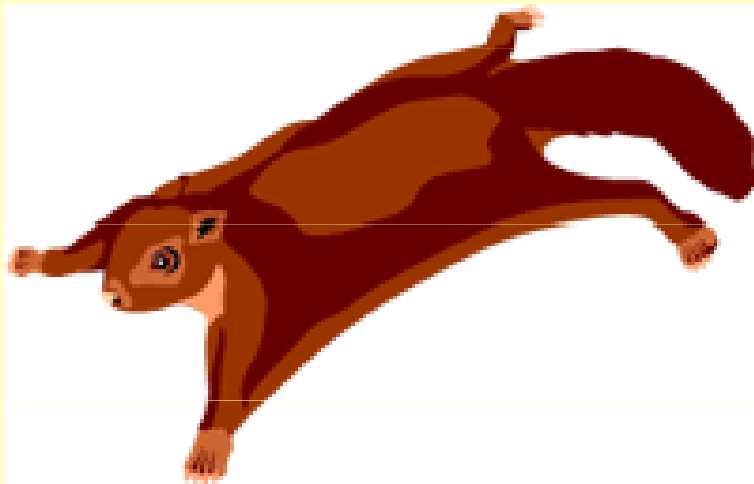
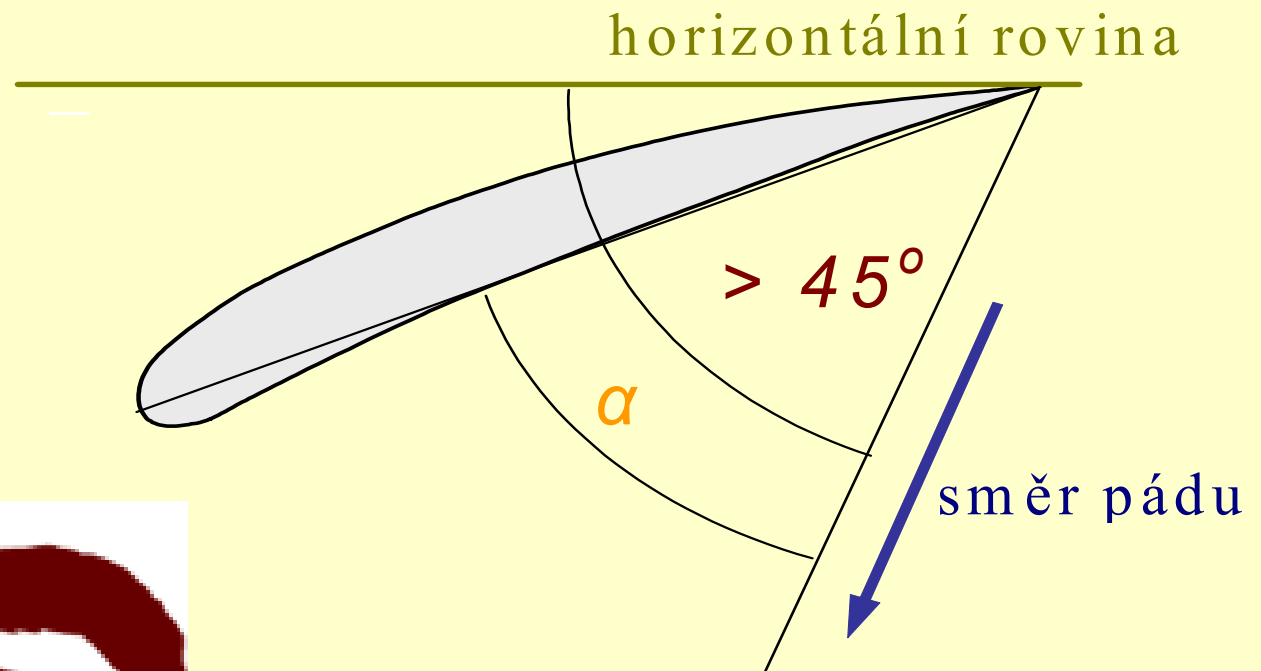
před 55 mil. let: savci
netopýři



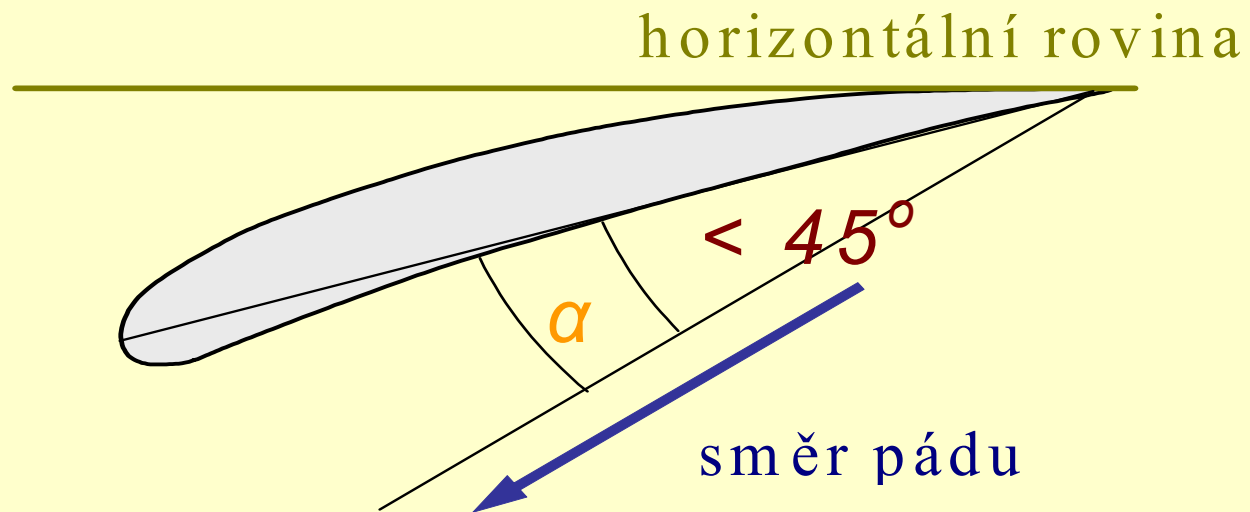
nejstarší známá fosílie netopýra

Způsoby letu: (od nejjednoduššího po nejdokonalejší)

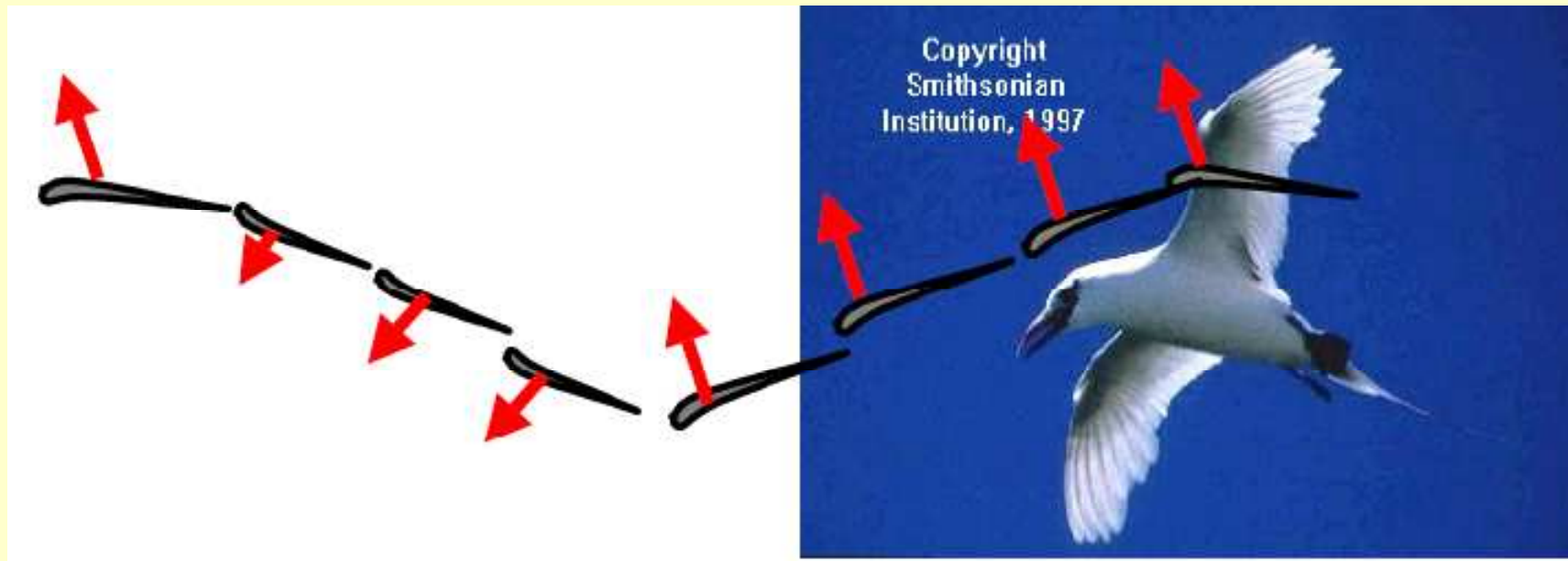
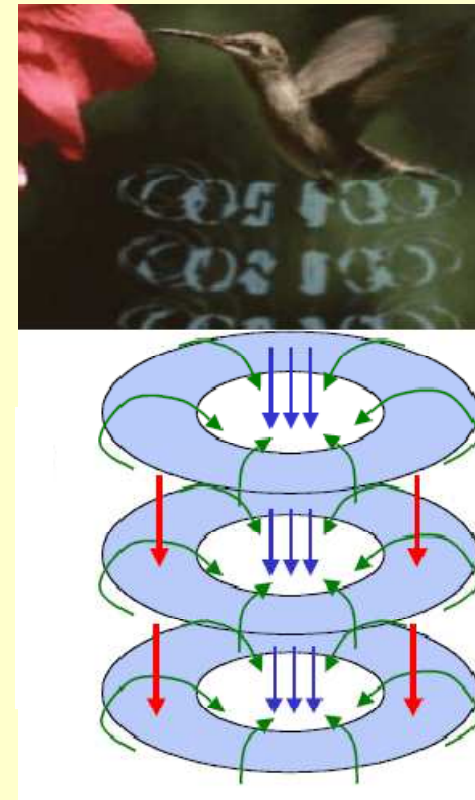
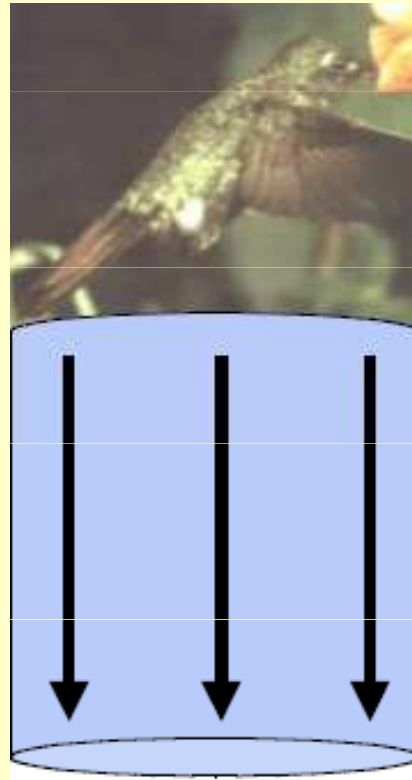
1) plachtění (parachuting)



2) klouzavý let



3) let s máváním křídel

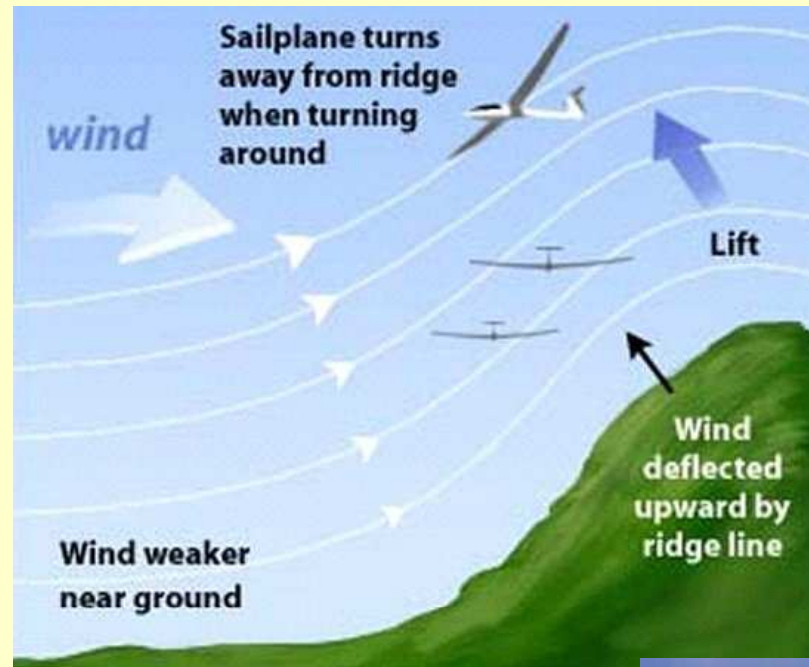


4) plachtění

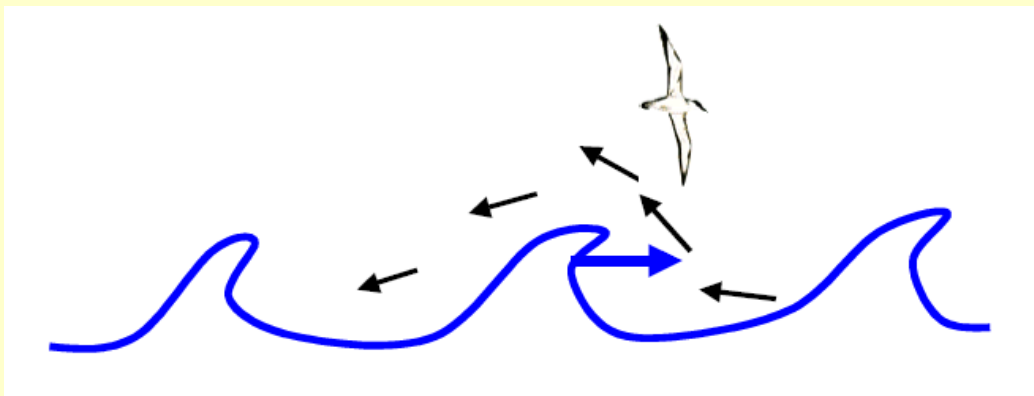
vzestupné vzdušné proudy



přírodní svahy:



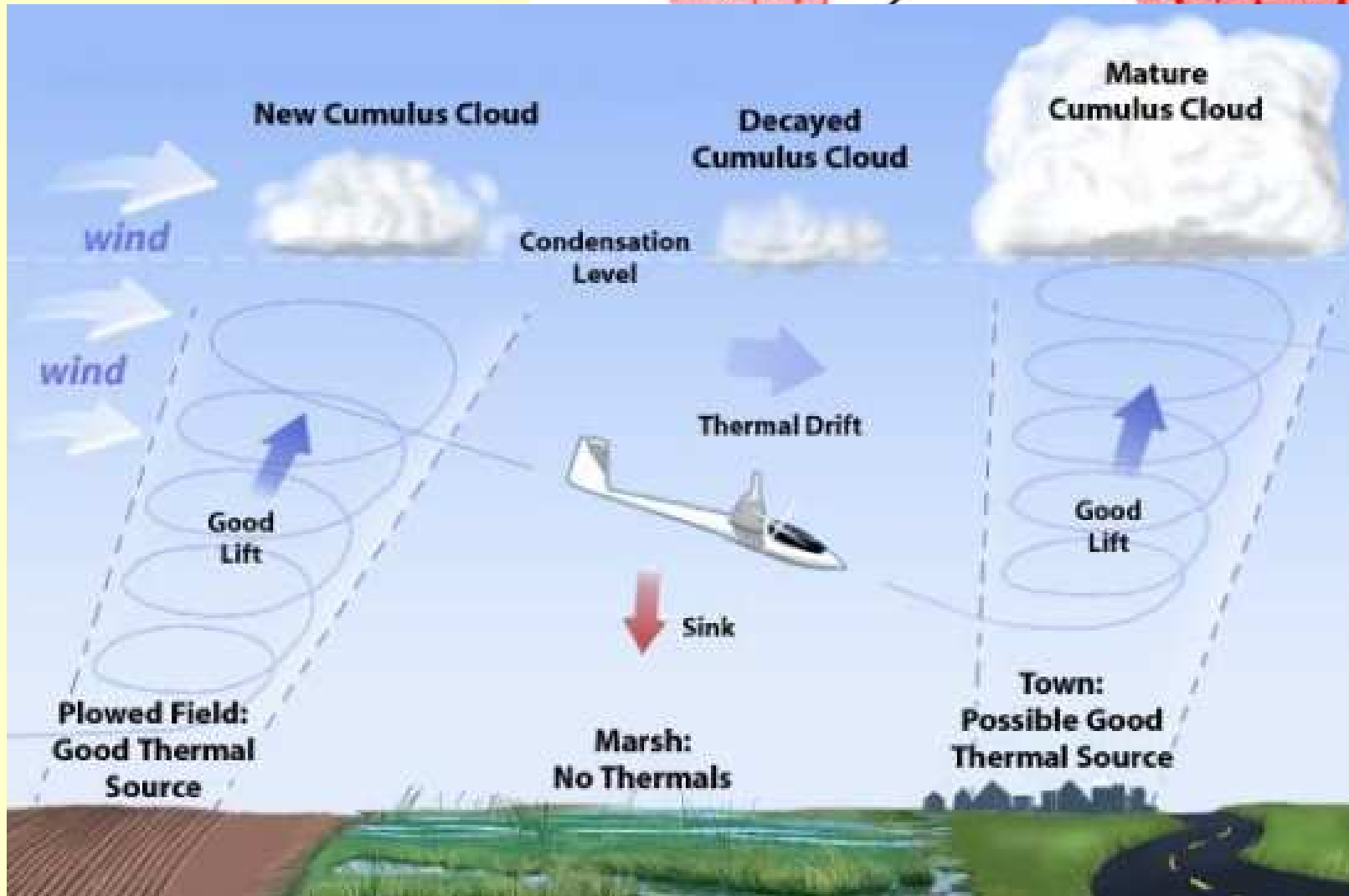
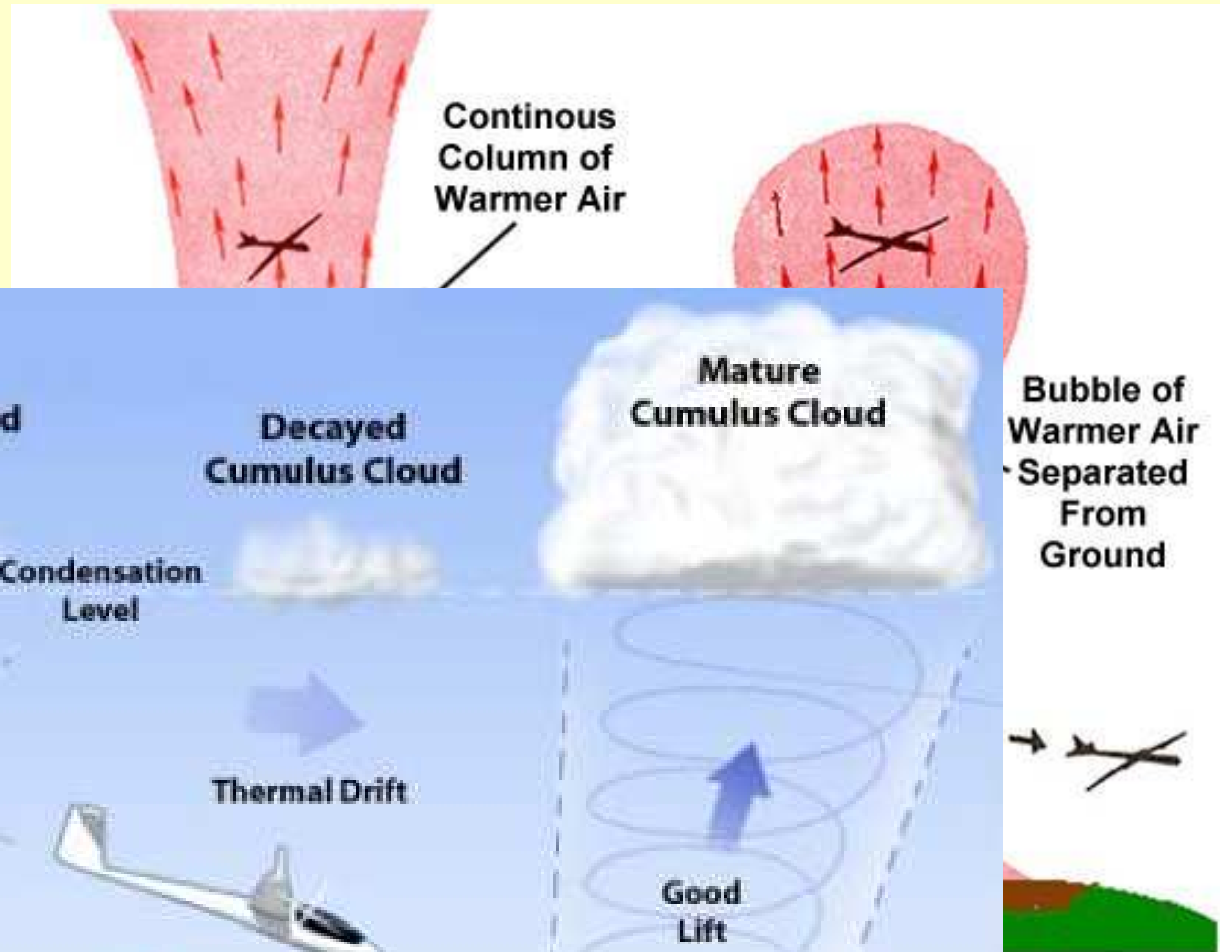
mořské vlny:



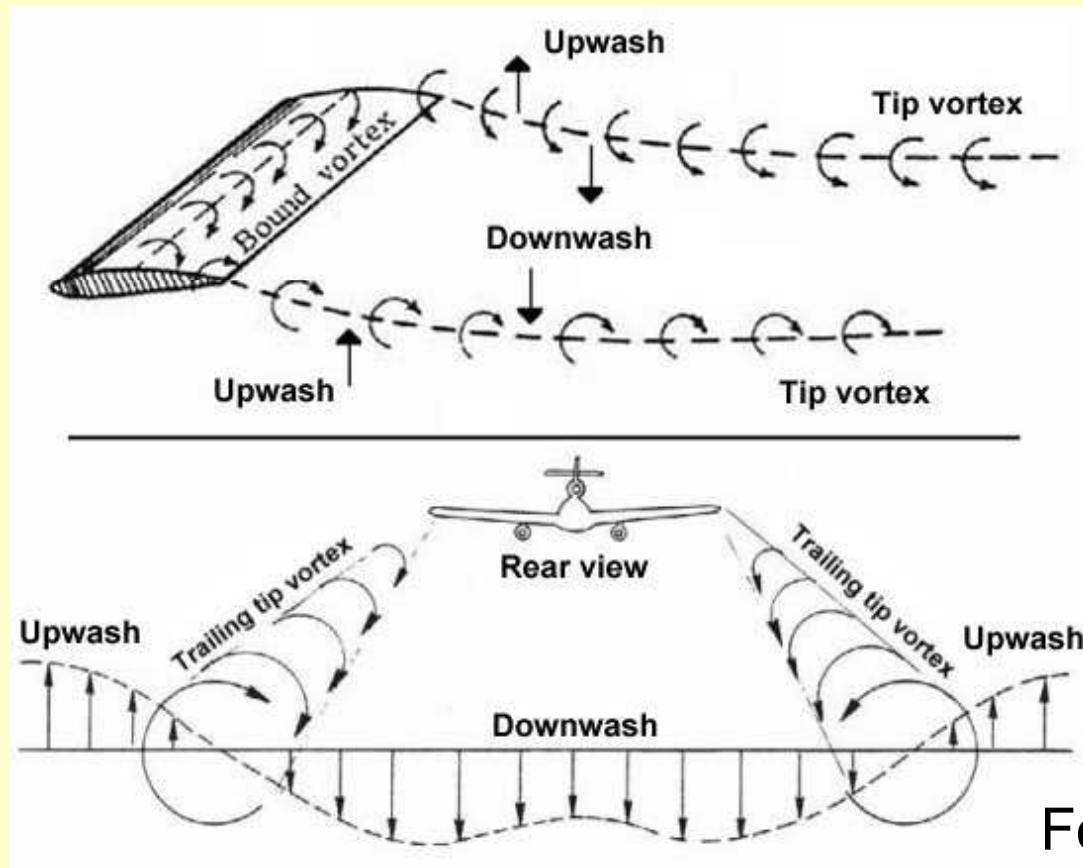
Albatross. Photo by Gerald and Buff Corsi; © 2003

California Academy of Sciences.

termické proudy



Indukovaný vír a V formace letu



Dva efekty:

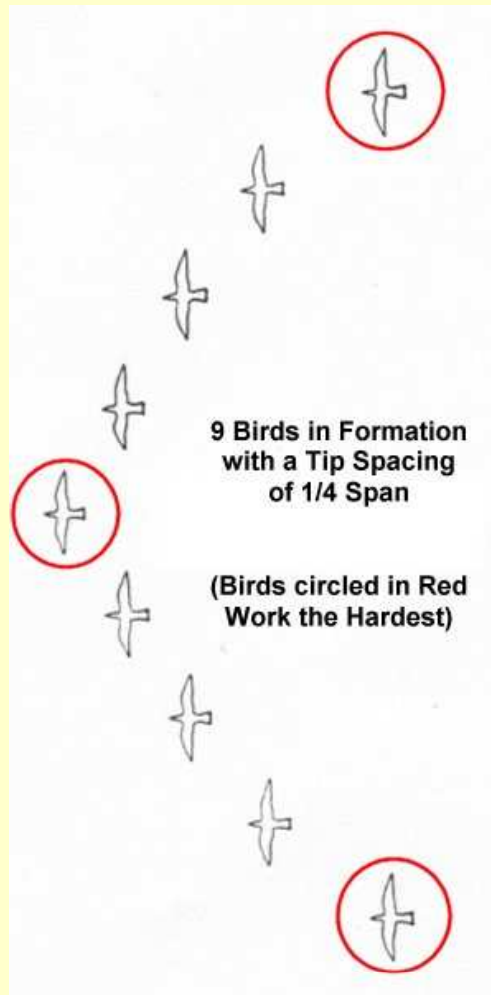
1. zadní pták je nadzvedáván vírem ptáka předního
2. zadní pták potlačuje vír předního ptáka

Formace pomáhá i prvnímu ptákovi

Poslední pták je na tom hůř než ptáci uprostřed

Letem ve formaci se dolet prodlouží o 70%

[Tmavomodrý svět](#)

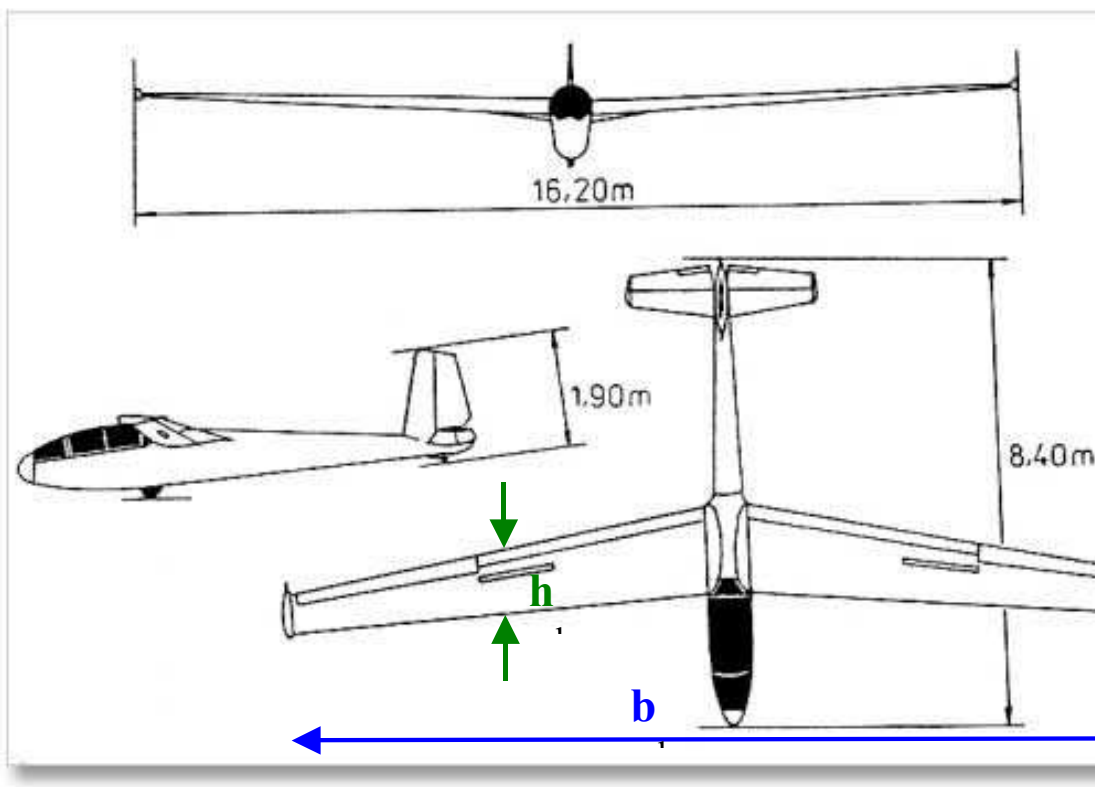


optimální formace



u letadel má formace pouze estetický význam

V formace letu – zvýšení štíhlosti křídla



U-2 spy plane will fly over Iraq

Baghdad has agreed to the U.N. request to allow the U-2 reconnaissance aircraft to fly over Iraq.



Lockheed Martin U-2

The manned aircraft provides high-resolution imagery and electronic intelligence at high altitudes

Length: 63 feet

Ceiling: 90,000 feet

Wingspan: 103 feet

Range: 7,000 miles

Height: 16 feet

Max endurance:

Maximum cruising

12 hours

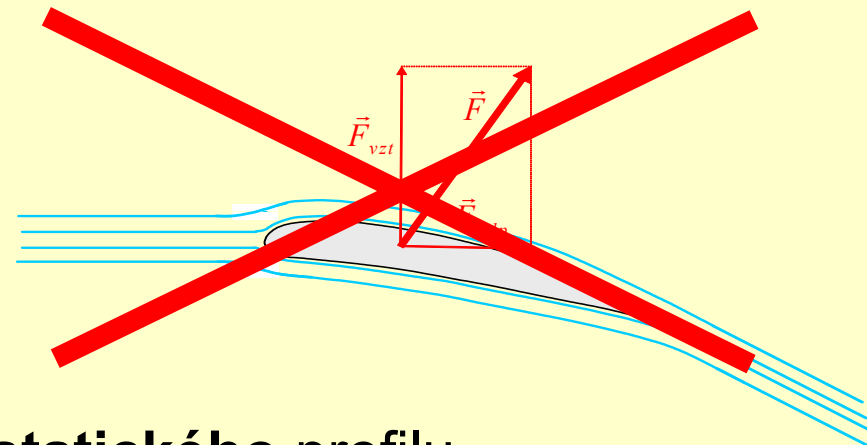
speed: 430 mph

štíhlost křídla $\lambda = \frac{b}{h}; \lambda = \frac{b^2}{S}$

Let hmyzu: vše je jinak

Podle známých fyzikálních zákonů čmelák nemůže letět, naštěstí on o tom neví.

Klasická teorie dynamického vztlaku nefunguje



Experimentálně byla při obtékání **statického** profilu naměřena vztlaková síla asi $\frac{1}{3}$ potřebné hodnoty.

Křídla jsou příliš malá!

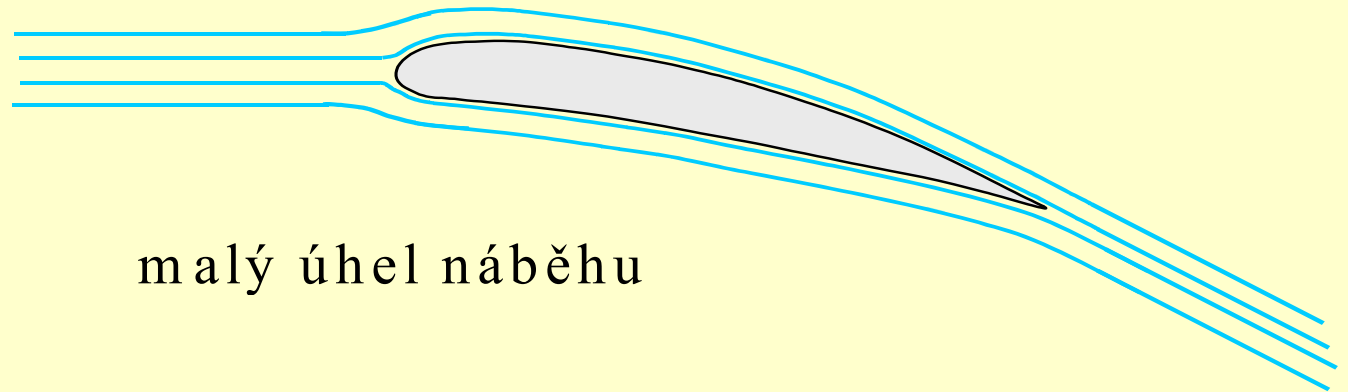
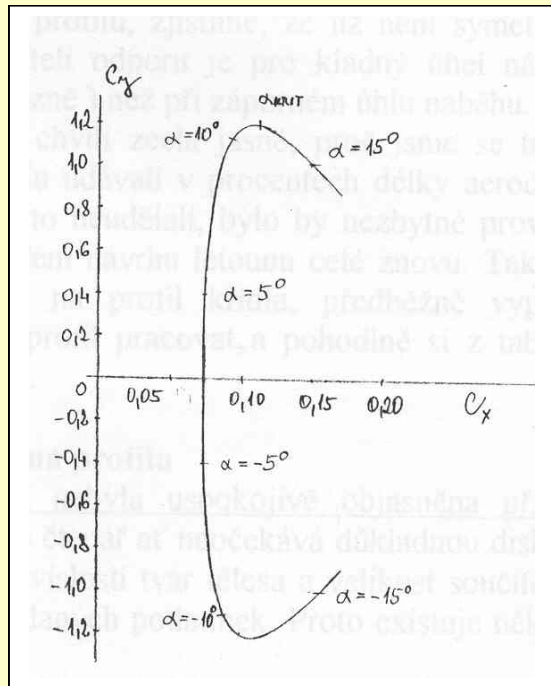
Proudění plynu závisí na velikosti překážky (viz dále).

Při mávání se u **malých křídel** objevují zcela nové efekty.

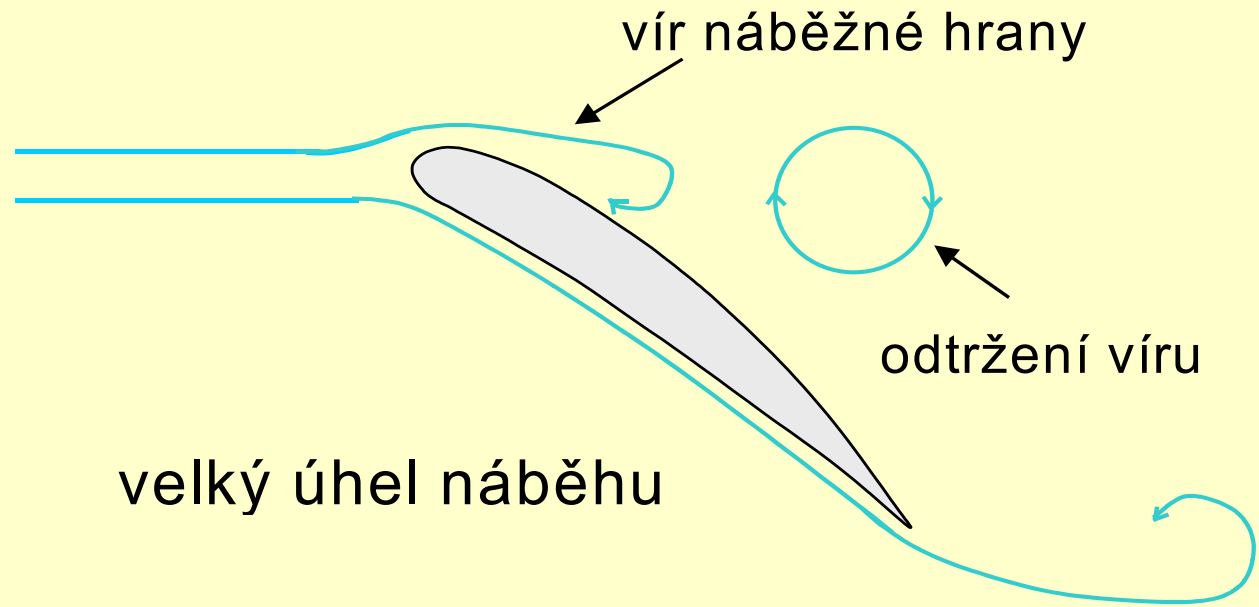
objeveno až v 90. letech 20. stol. (robotfly)

(Ellington et al., 1996)

Polára profilu



malý úhel náběhu

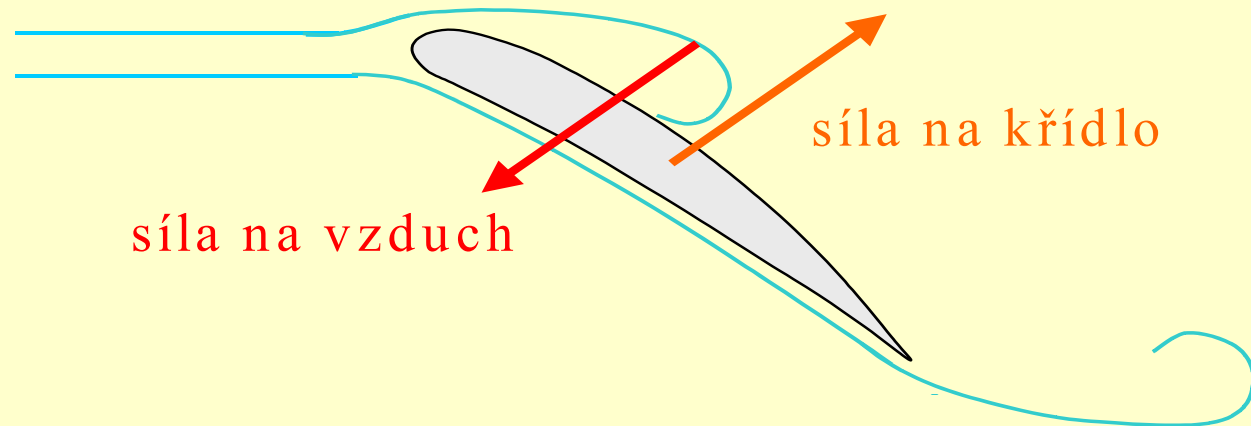


velký úhel náběhu

velký úhel náběhu – ztráta vztlakové síly

Tři mechanismy zvyšující vztlak

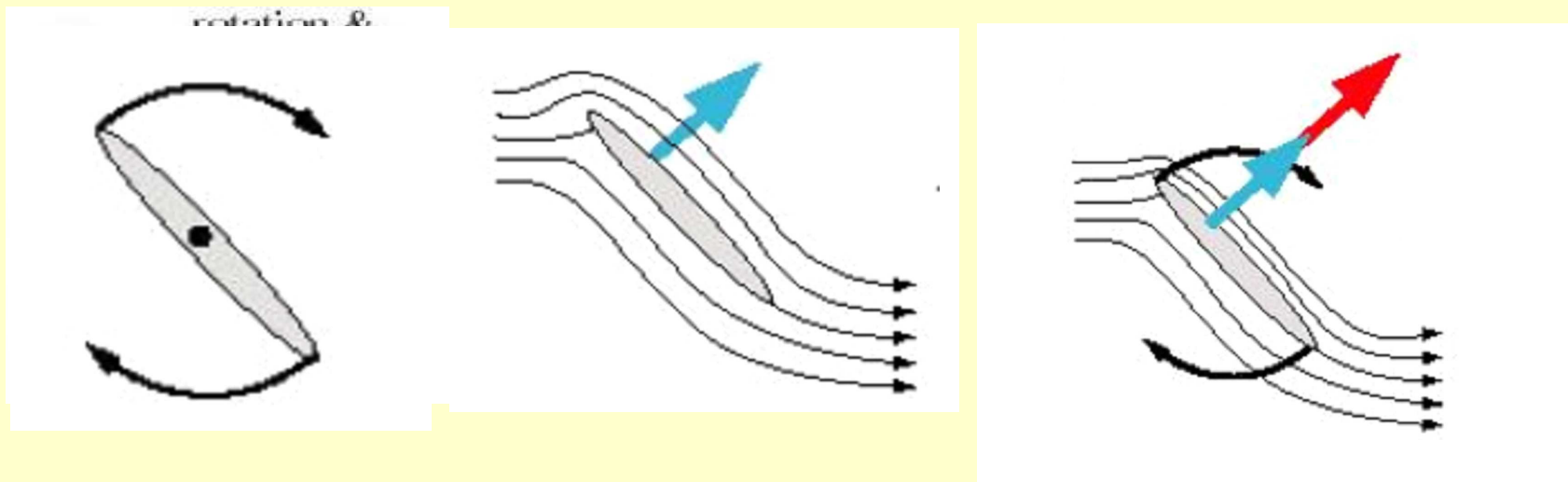
1. Neodtržení víru náběžné hrany



příčiny:

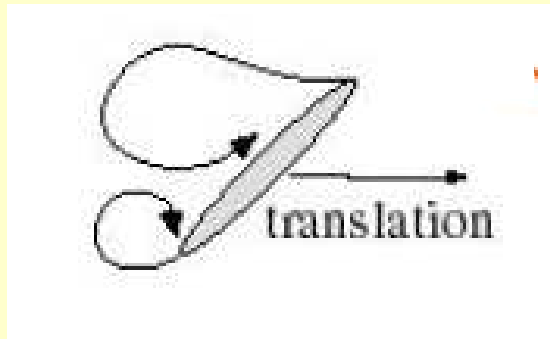
1. jiné proudění plynu na malé škále
2. vysoká rychlost mávání – není dost času na úplné vyvinutí a odtržení víru od křídla

2. Vztlak jako důsledek rotace – Magnusův jev?.

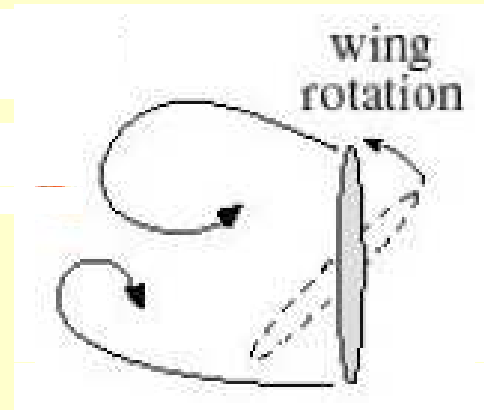


malá změna časování – mávání křídla \times rotace – velká změna vztlaku
(dobrá možnost manévrovat)

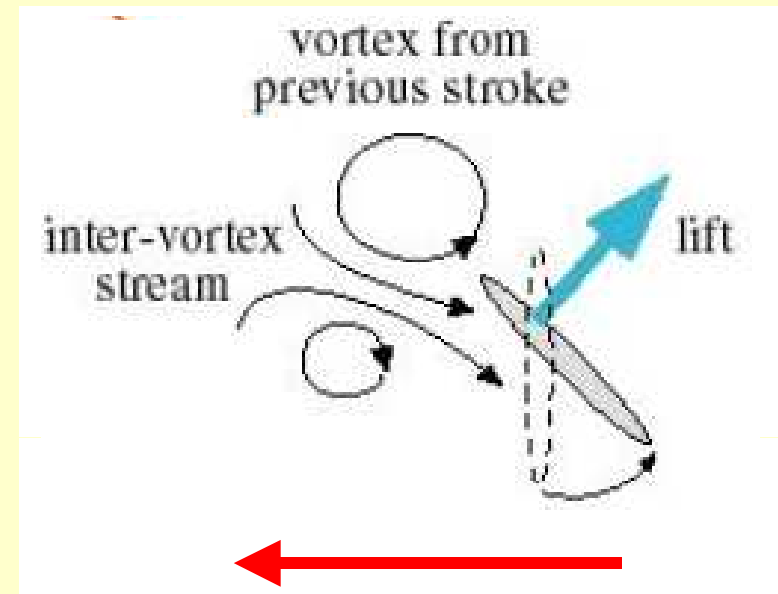
3. Opětovné využití energie dříve vzniklého víru



mávnutí vpravo



otočení křídla
v amplitudě



mávnutí vlevo

různé druhy používají různé mechanismy odlišnou měrou:



pestřenka 1. jen málo, 2. a 3. hodně

motýl málo všechny tři – vztlak jako u ptáka

tyto mechanismy pravděpodobně využívají i kolibříci

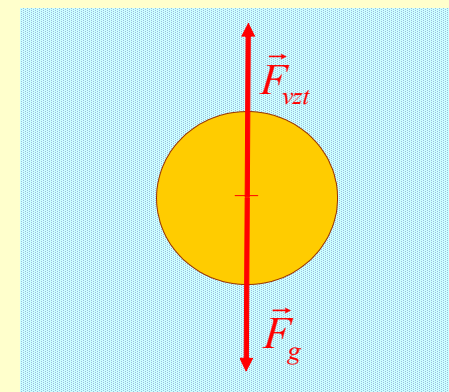
Plavání

statický vztlak – Archimédův zákon

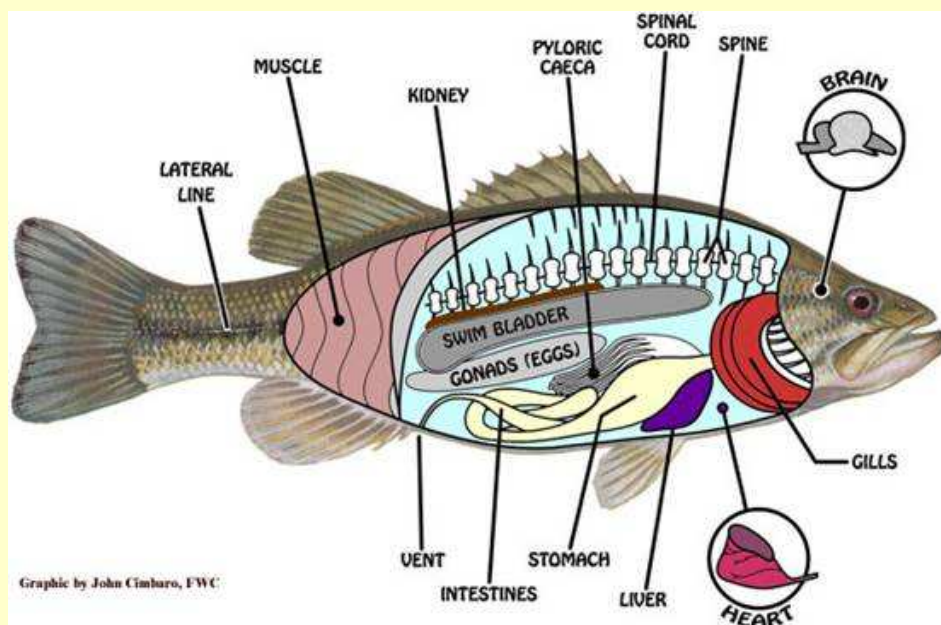
$|\rho_{\text{ryba}}| > \rho_{\text{voda}} \Rightarrow$ klesá ke dnu

$|\rho_{\text{ryba}}| < \rho_{\text{voda}} \Rightarrow$ stoupá vzhůru

$|\rho_{\text{ryba}}| = \rho_{\text{voda}} \Rightarrow$ statická rovnováha



technické řešení u ryby stejné jako u ponorky



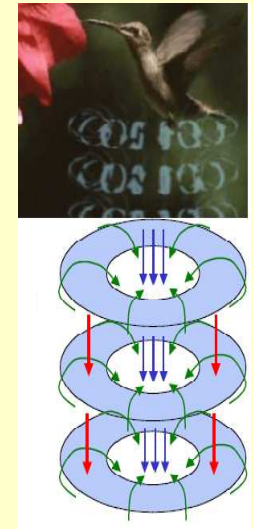
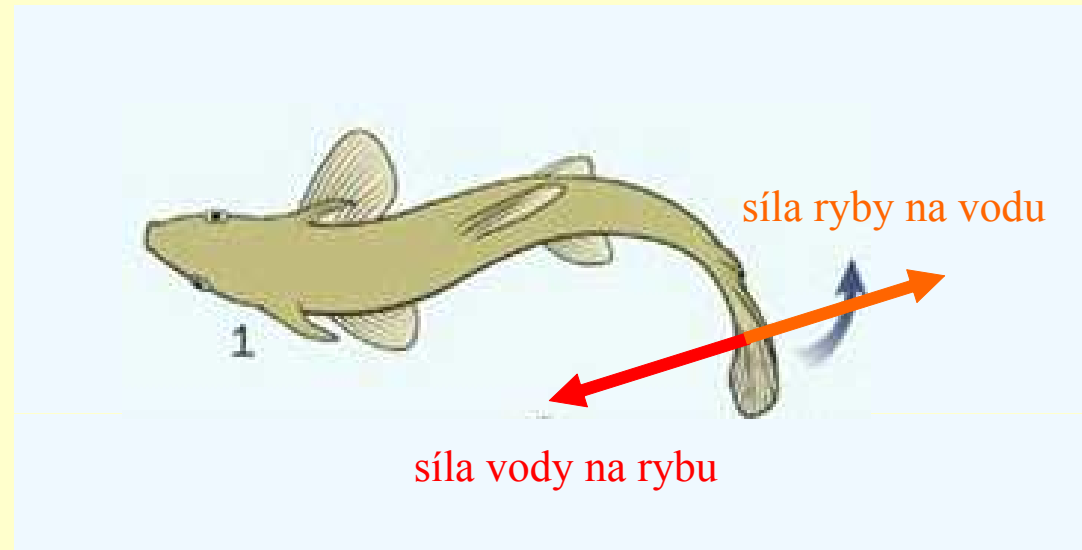
ryby – vzduchový měchýř

(karteziánek)

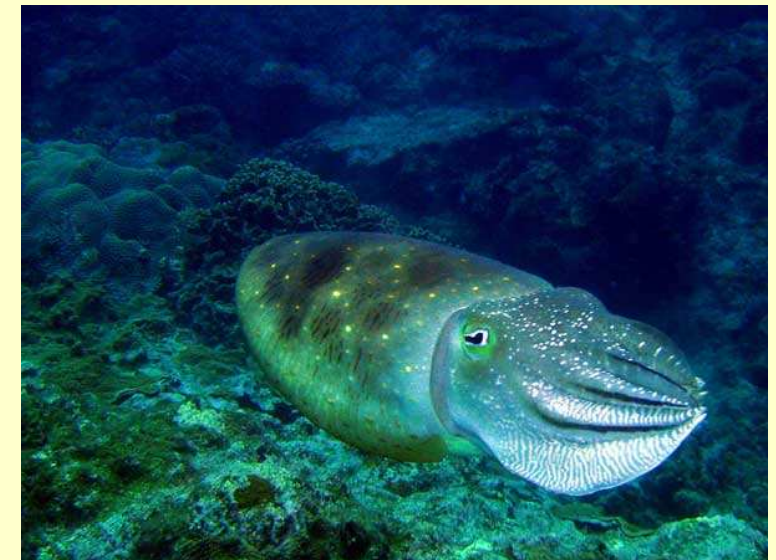
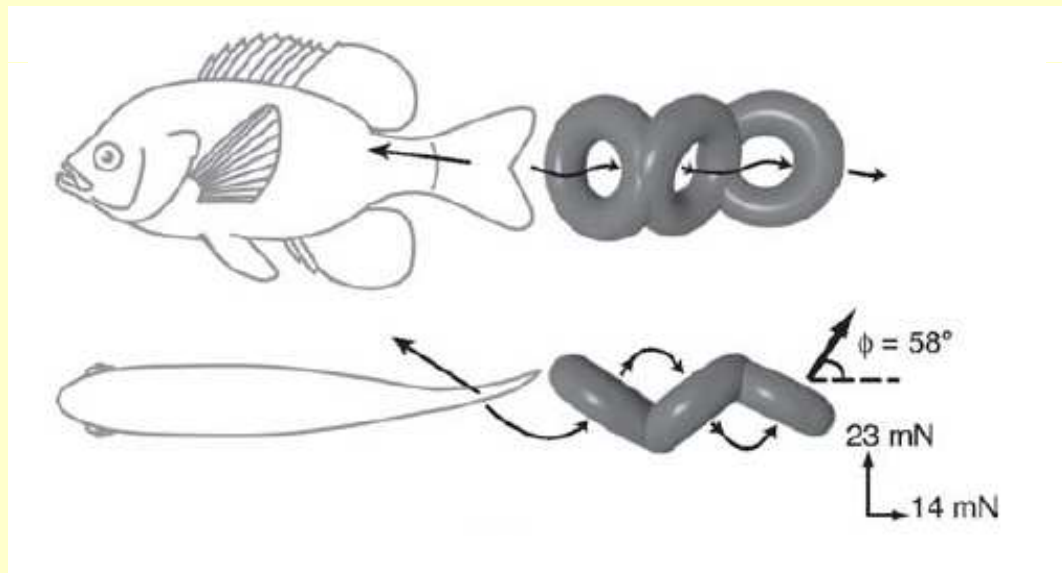
ponorky – přečerpávací komory

<http://www.onr.navy.mil/Focus/blowballast/sub/work3.htm>

Dopředná síla:



dopředná síla – proudění vody vzad



sepie

Přežití ve vysokém tlaku

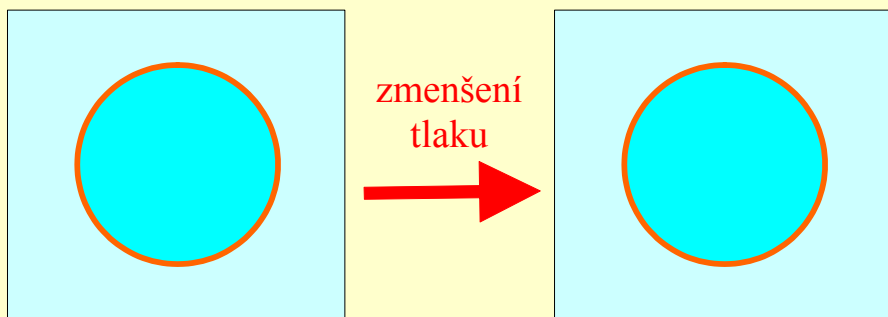
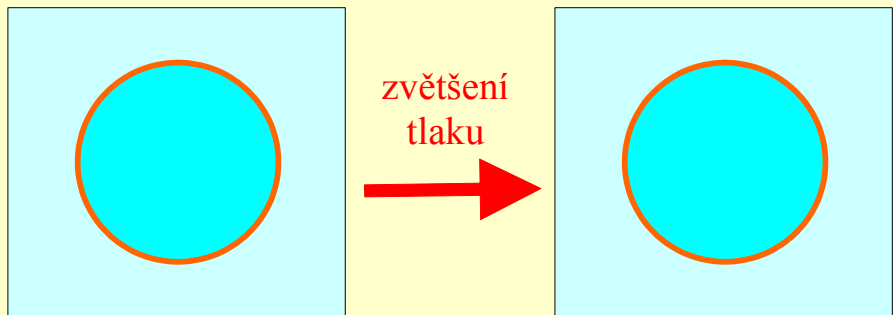
hydrostatický tlak $p = h\rho g$

atmosferický tlak $b = 10^5 \text{ Pa}$

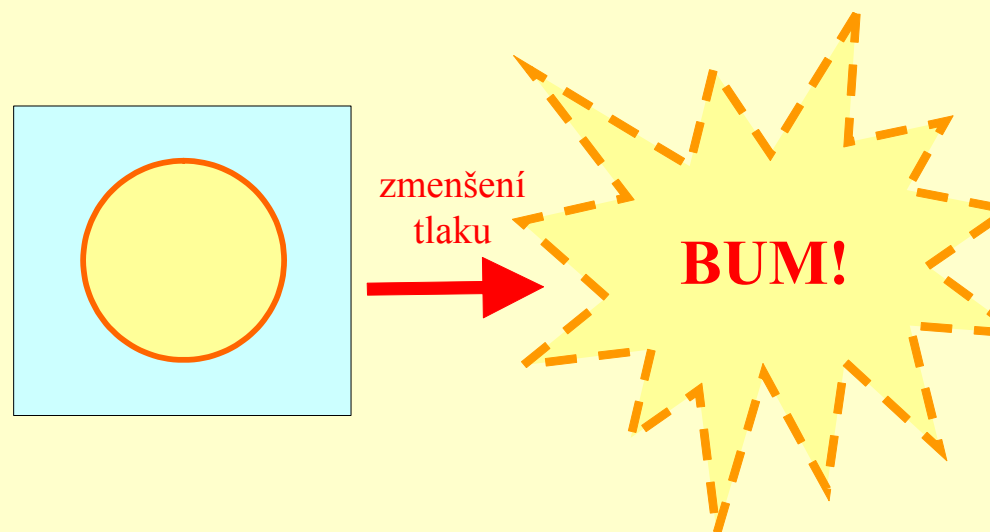
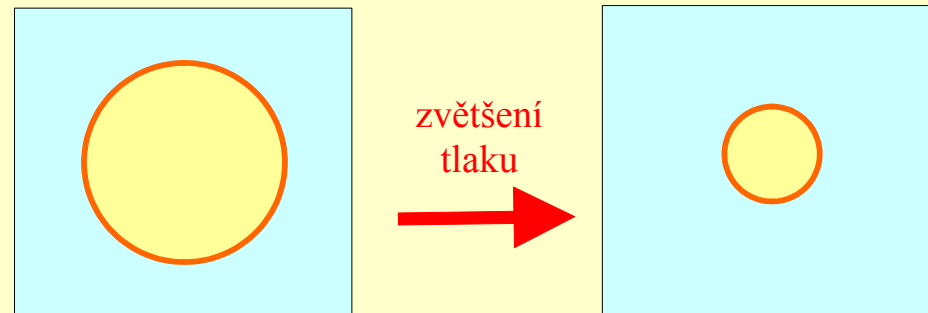
$p = 10^5 \text{ Pa}$ pro $h = 10\text{m}$



kapalina – malá
stlačitelnost

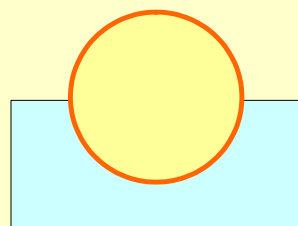


plyn – velká
stlačitelnost

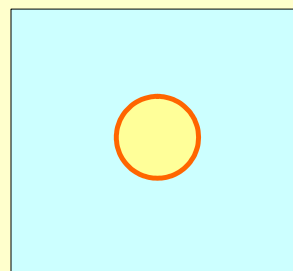


Kde je v živém těle plyn?

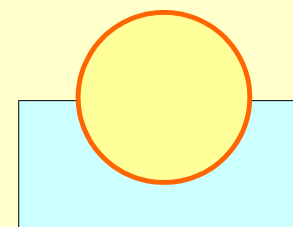
1) plíce suchozemských živočichů



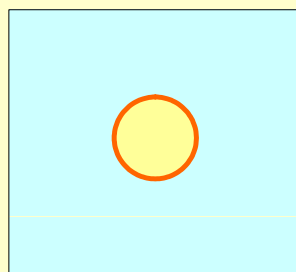
nádech



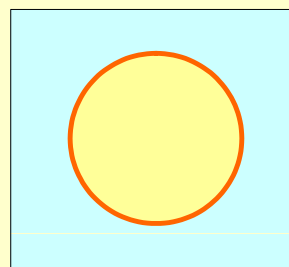
ponoření



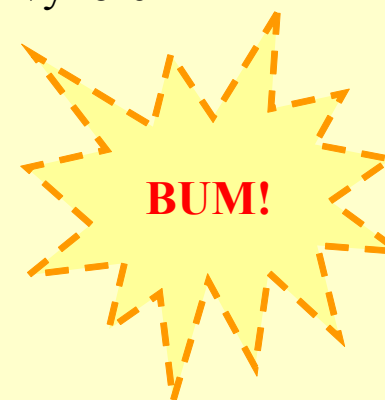
vynoření



ponoření



nádech



vynoření

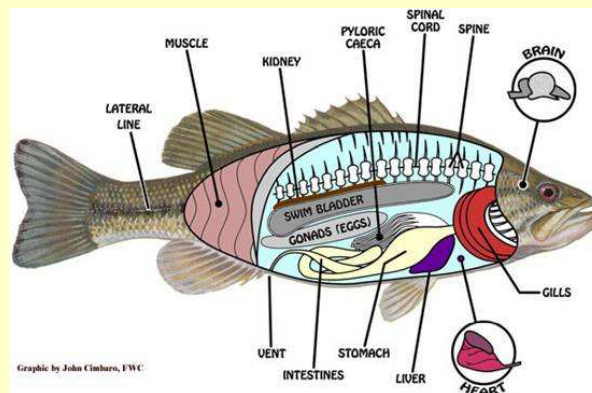
Plicní barotrauma - prasklá plíce,

http://www.katastrofy.com/scripts/index.php?id_nad=9432

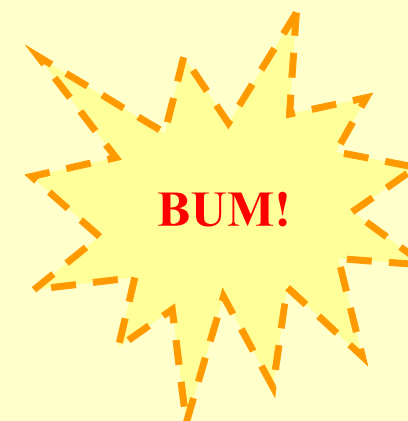
Tlak dýchaného vzduchu musí být přizpůsoben okamžitému tlaku okolí!

Nádech z atmosférického tlaku v hloubce h :

2) vzduchový měchýř ryb



vynoření hlubinné ryby



vynoření

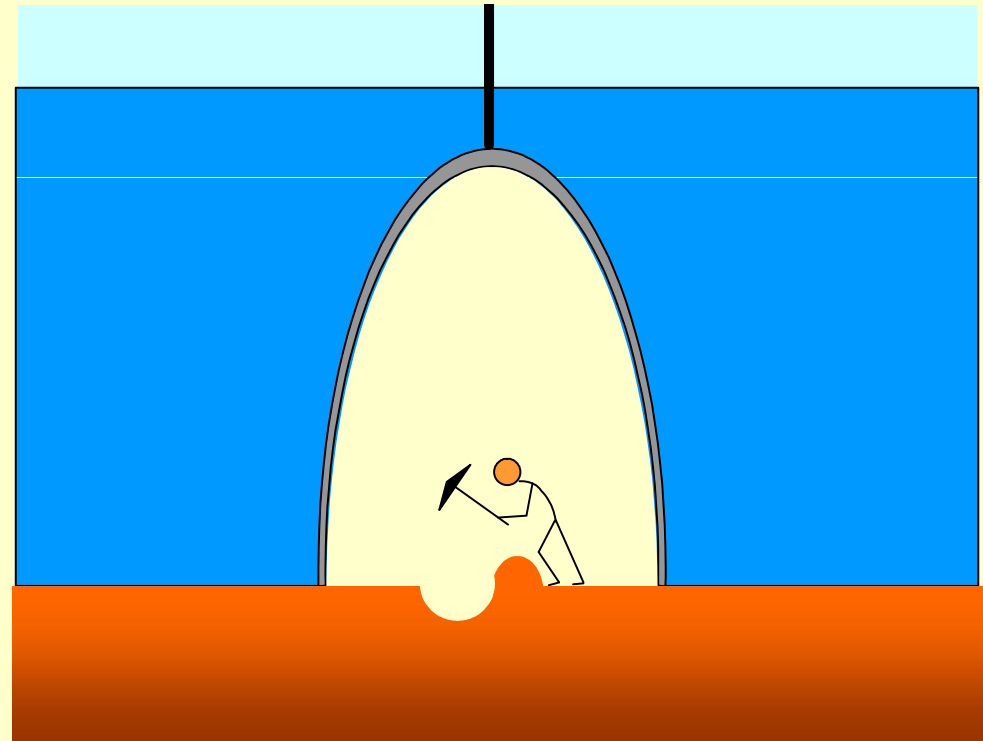
3) Závislost meze rozpustnosti plynu na tlaku - „sodovka“

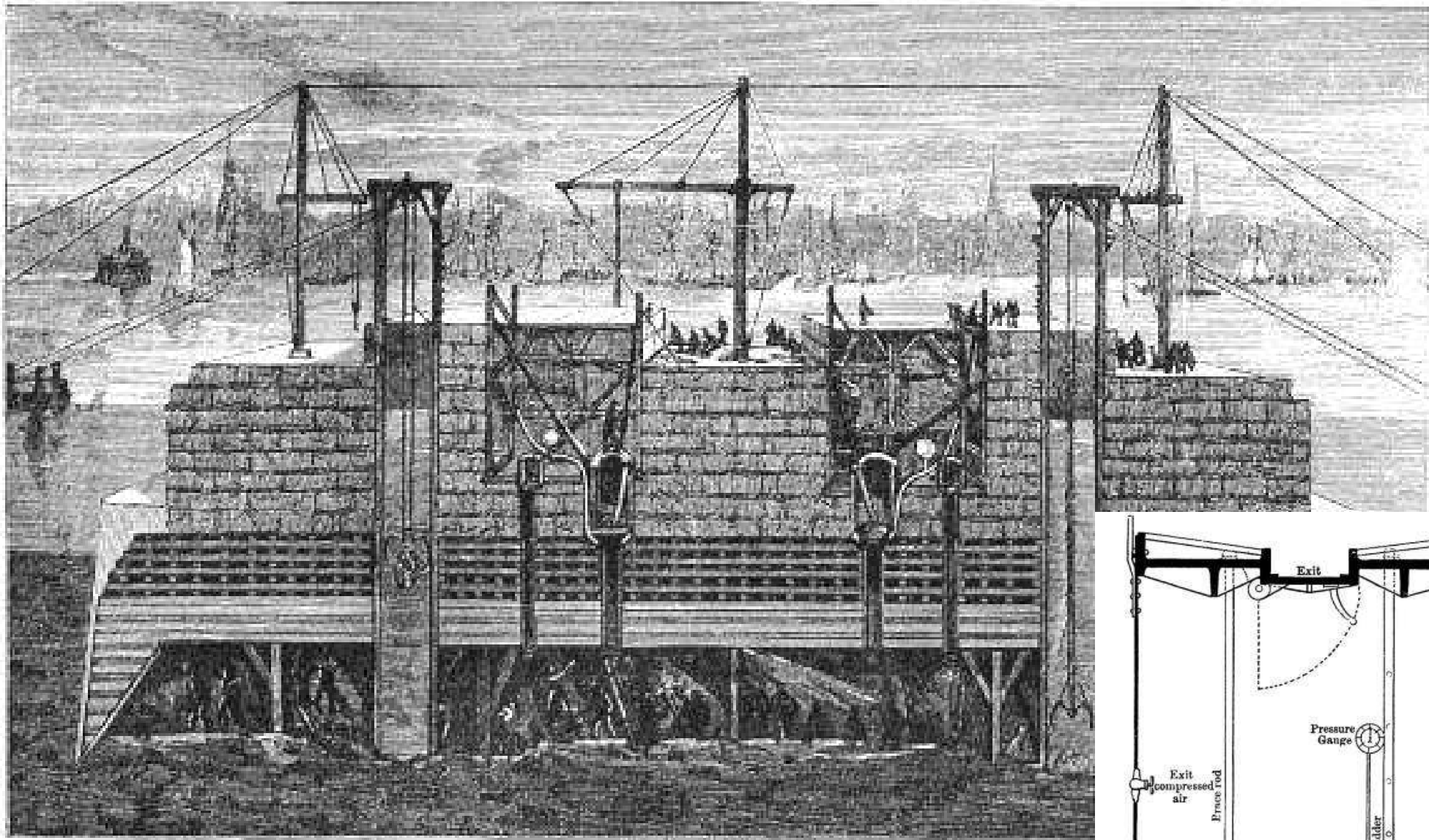
kyslík – není velký problém, spotřebovává se

dusík – je problém

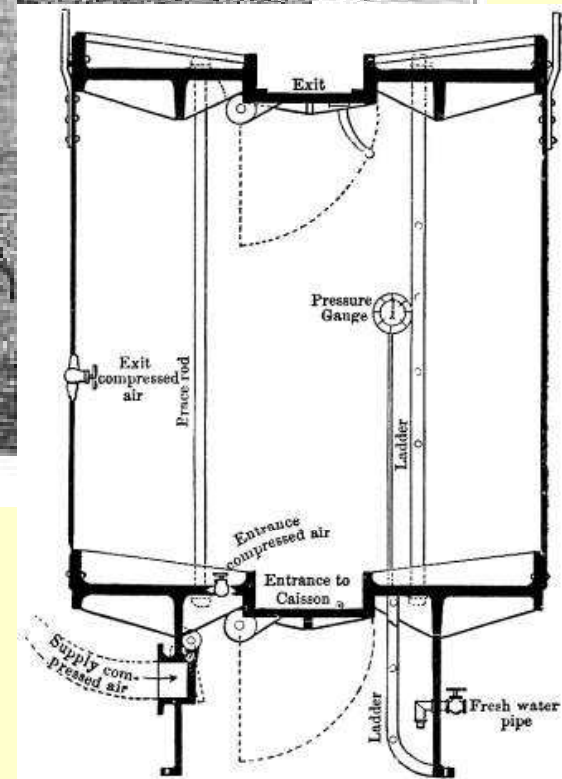
kesonová (dekompresní nemoc)

kesony (Aristoteles ve 4. století př. n. l.).





THE CAISSON.

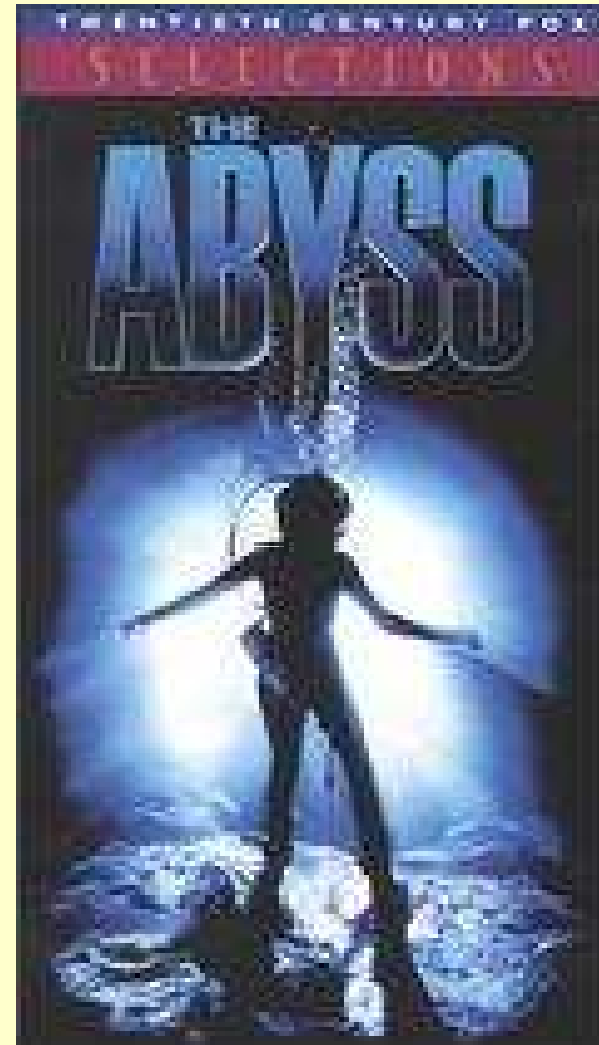


AIR LOCK.

Propast (1989)

James Cameron

- podmořský „suchozemský“ přístav
- dýchání kapaliny



Dýchání kapaliny

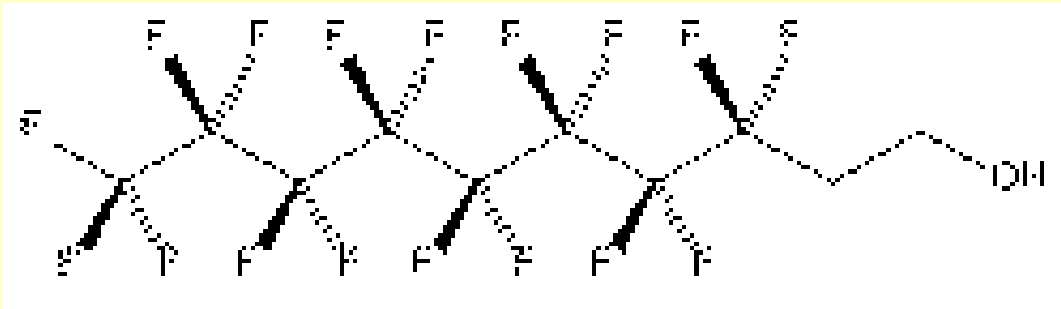
experimenty od 60. let 20. stol. (Kylstra, Clark)

dýchání fyziologického roztoku za zvýšeného tlaku

místo solného roztoku – perfluorokarbon

výhody:

- vysoká rozpustnost plynů
- nerozpouští organické látky
- netoxický
- malá viskozita



problémy:

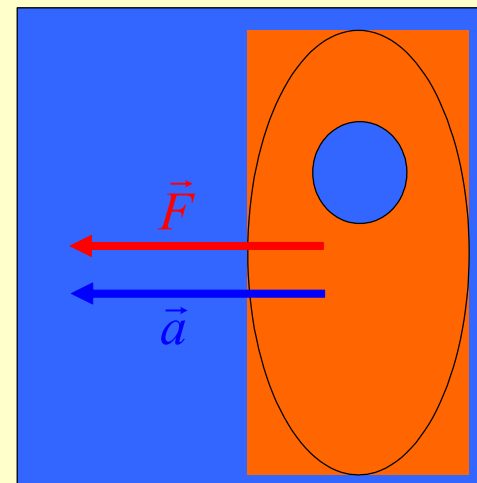
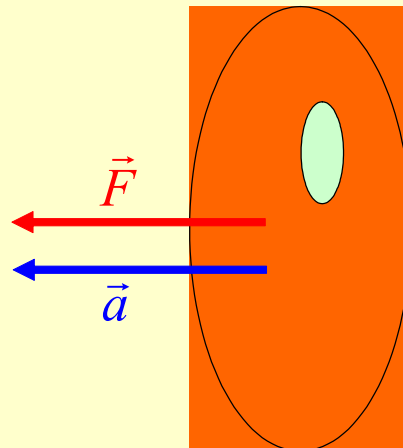
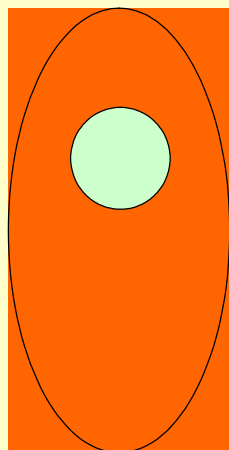
- poškození plic
- viskozita
- hromadění v tukové tkáni – možné riziko pro nervovou soustavu malých dětí

použití:

současné : podpora dýchání při těžkých poškozeních plic (ARDS – acute respiratory distress syndrom, novorozenci před 24 týdnem – nevyvinutý surfaktant)

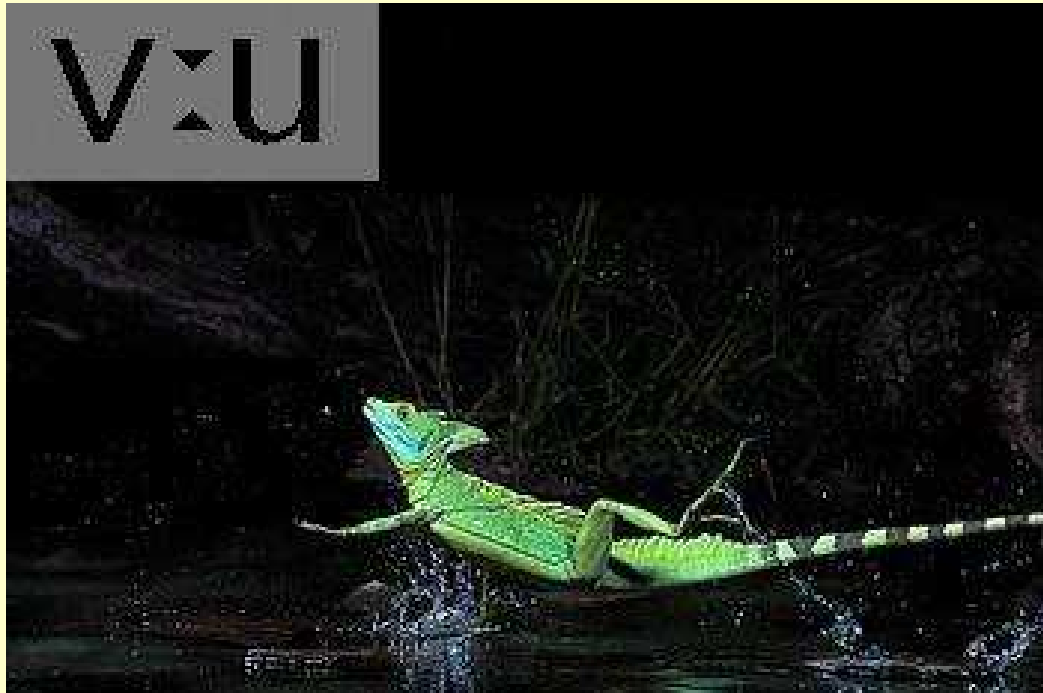
sci-fi :

- hlubokomořské potápění – eliminace hlubinné a dekompresní nemoci
- kosmické lety – odolání vysoké akceleraci (proč?)



vzhledem k viskozitě je možnost autonomního dýchání nepravděpodobná

Běh po vodní hladině



Bazilišek zelený (*Basiliscus plumifrons*)



Spotřeba energie při pohonu

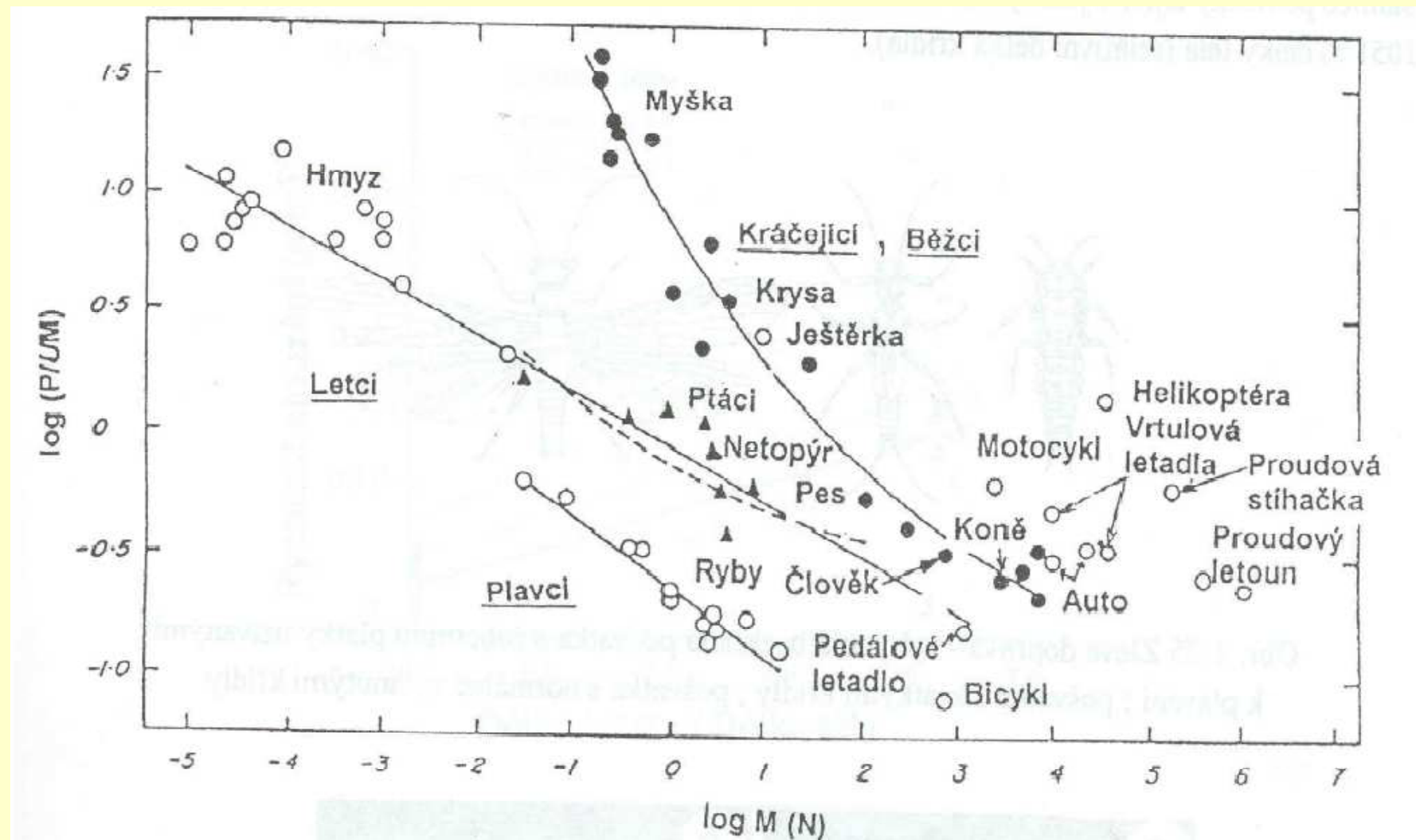


Table 5.2 RATES OF AEROBIC CATABOLISM DURING REST AND DURING EXERCISE OF PEAK INTENSITY IN TWO PAIRS OF VERTEBRATES: A FISH AND MAMMAL OF SIMILAR BODY WEIGHT, AND A LIZARD AND MAMMAL OF SIMILAR WEIGHT

Species	Body weight (g)	Test temperature* (°C)	Oxygen consumption		Aerobic scope (mL/g·h)
			Basal or standard (mL/g·h)	Active (mL/g·h)	
Rat (<i>Rattus</i>) krysa	230	30	0.9	4.6	3.7
Salmon (<i>Oncorhynchus</i>) losos	230	15	0.05	0.49	0.44
Guinea pig (<i>Cavia</i>) morče	880	30	0.6	3.7	3.1
Monitor lizard (<i>Varanus</i>) varan skvrnitý	670	40	0.11	1.0	0.89

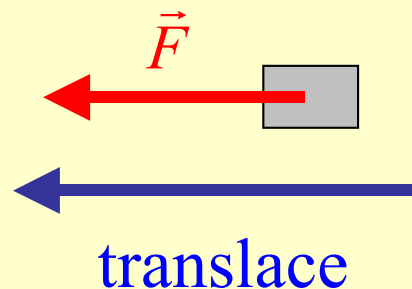
* Test temperatures for the fish and lizard were those at which aerobic scope was maximal.

Sources: Mammals—P. Pasquis, A. Lacaille, and P. Dejourns, *Respir. Physiol.* 9:298–309 (1970), basal rates calculated according to Kleiber equation therein; salmon—J.R. Brett, *J. Fish. Res. Board Can.* 22:1491–1501 (1965); varanid—A.F. Bennett, *J. Comp. Physiol.* 79:259–280 (1972).

Pohyb podruhé
těžiště, hybnost a moment hybnosti

Co budeme potřebovat:

Síla



$$\vec{F} = m \vec{a}$$

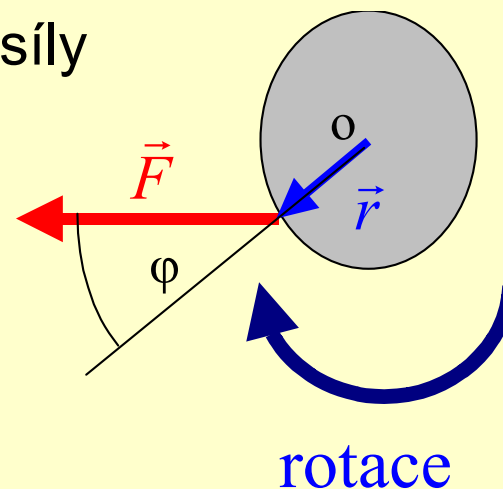
hybnost $\vec{p} = m \vec{v}$

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

$$\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{konst}$$

zákon zachování hybnosti

Moment síly



$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}, \quad |\vec{M}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin \varphi$$

$$\vec{M} = J \vec{\epsilon}$$

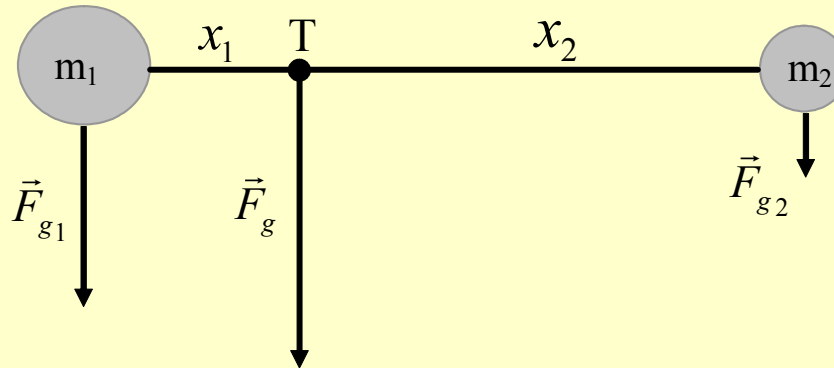
moment hybnosti $\vec{L} = J \vec{\omega}$ **moment setrvačnosti**

$$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$$

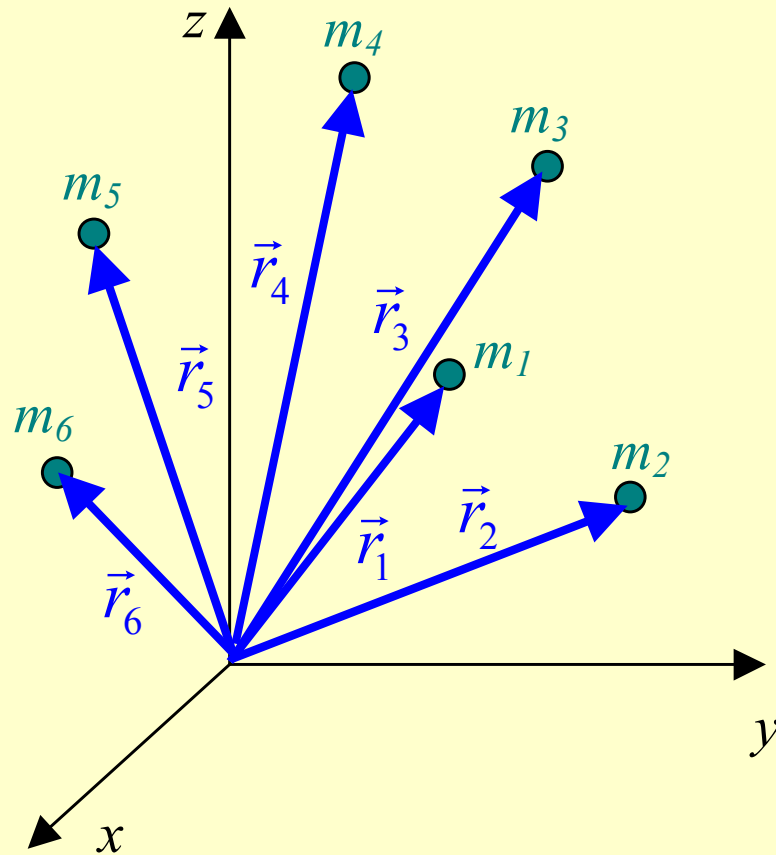
$$\vec{M} = 0 \Rightarrow \vec{L} = \text{konst}$$

zákon zachování momentu hybnosti

Těžiště – působíště výslednice tíhové síly



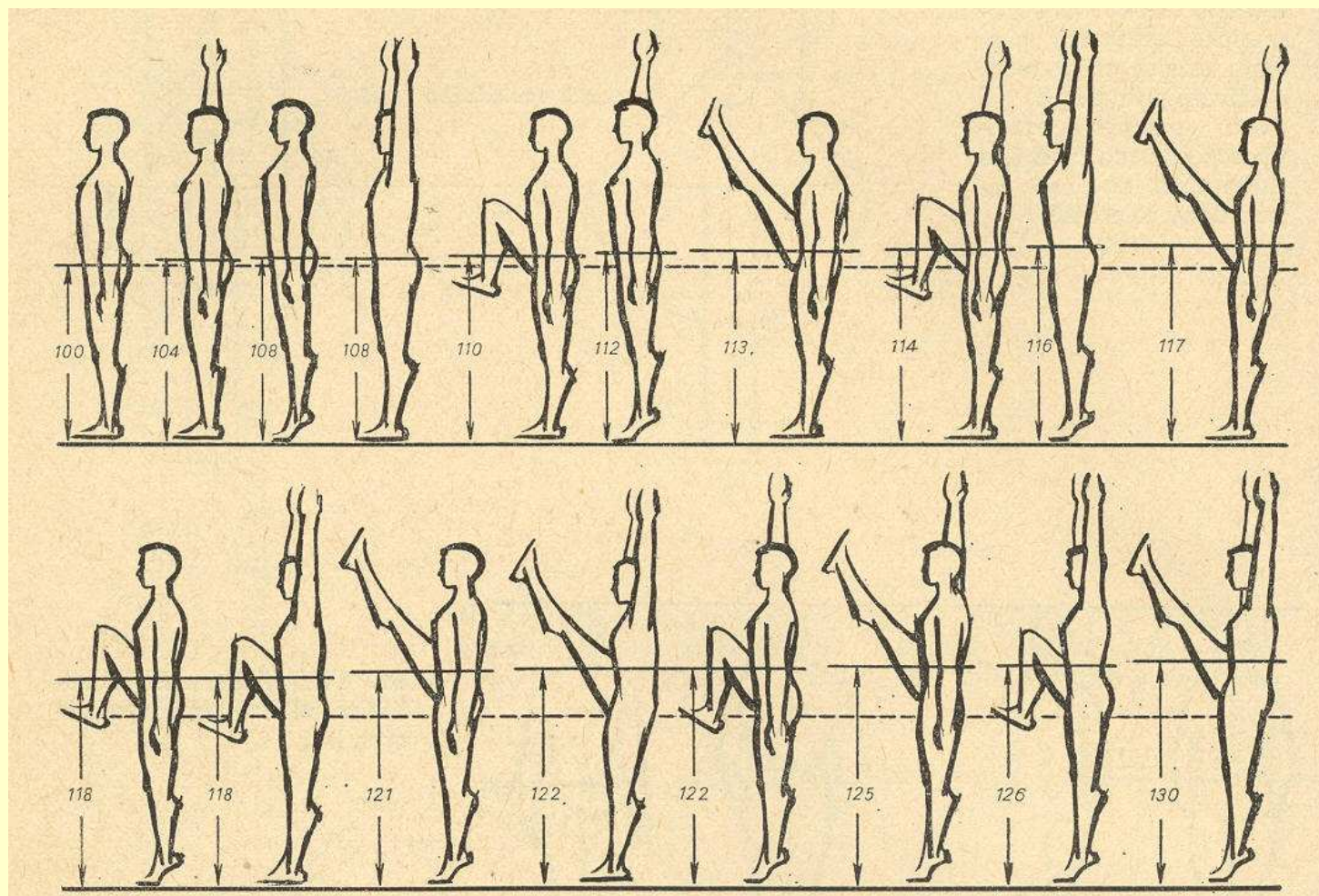
$$F_{g1} x_1 = F_{g2} x_2$$



$$\vec{R}_T = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Těžiště lidského těla - nemá konstantní polohu

100 104 108 108 110 112 113 114 116 117

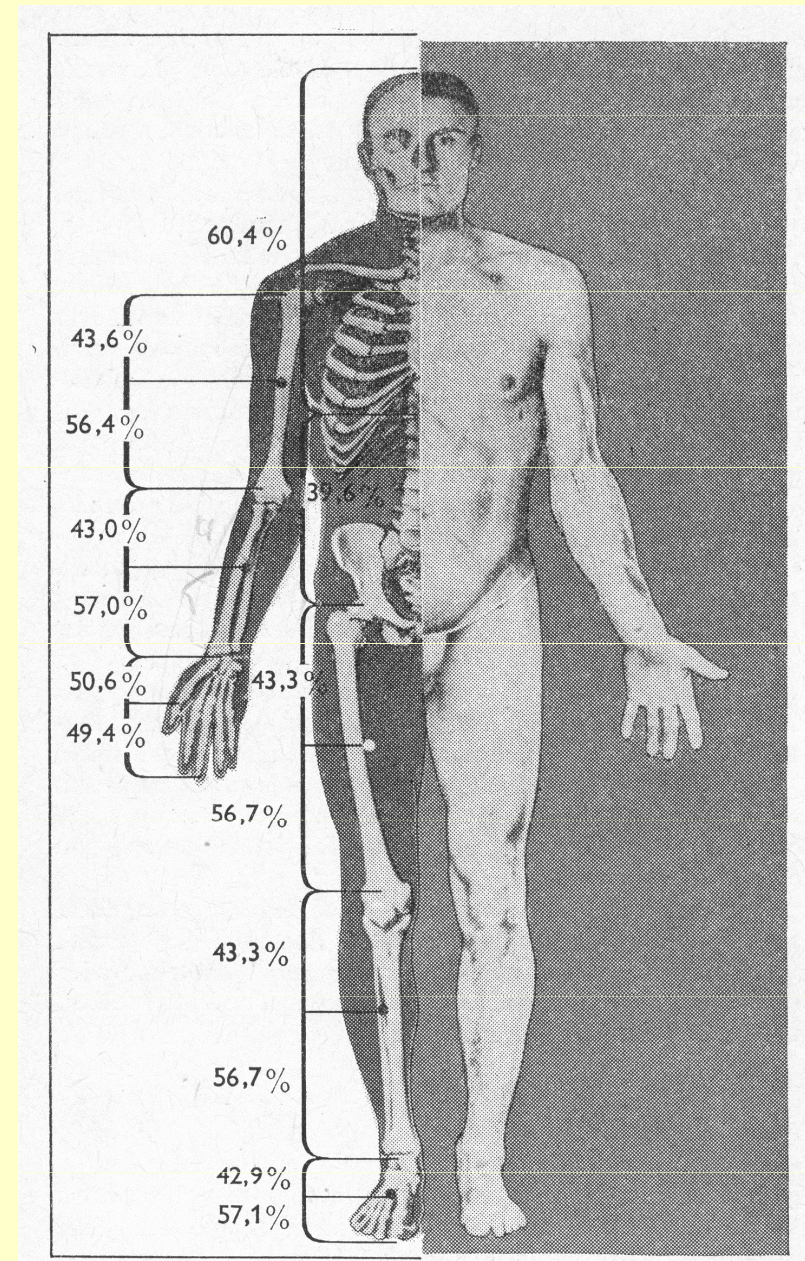


118 118 121 122 122 125 126 130

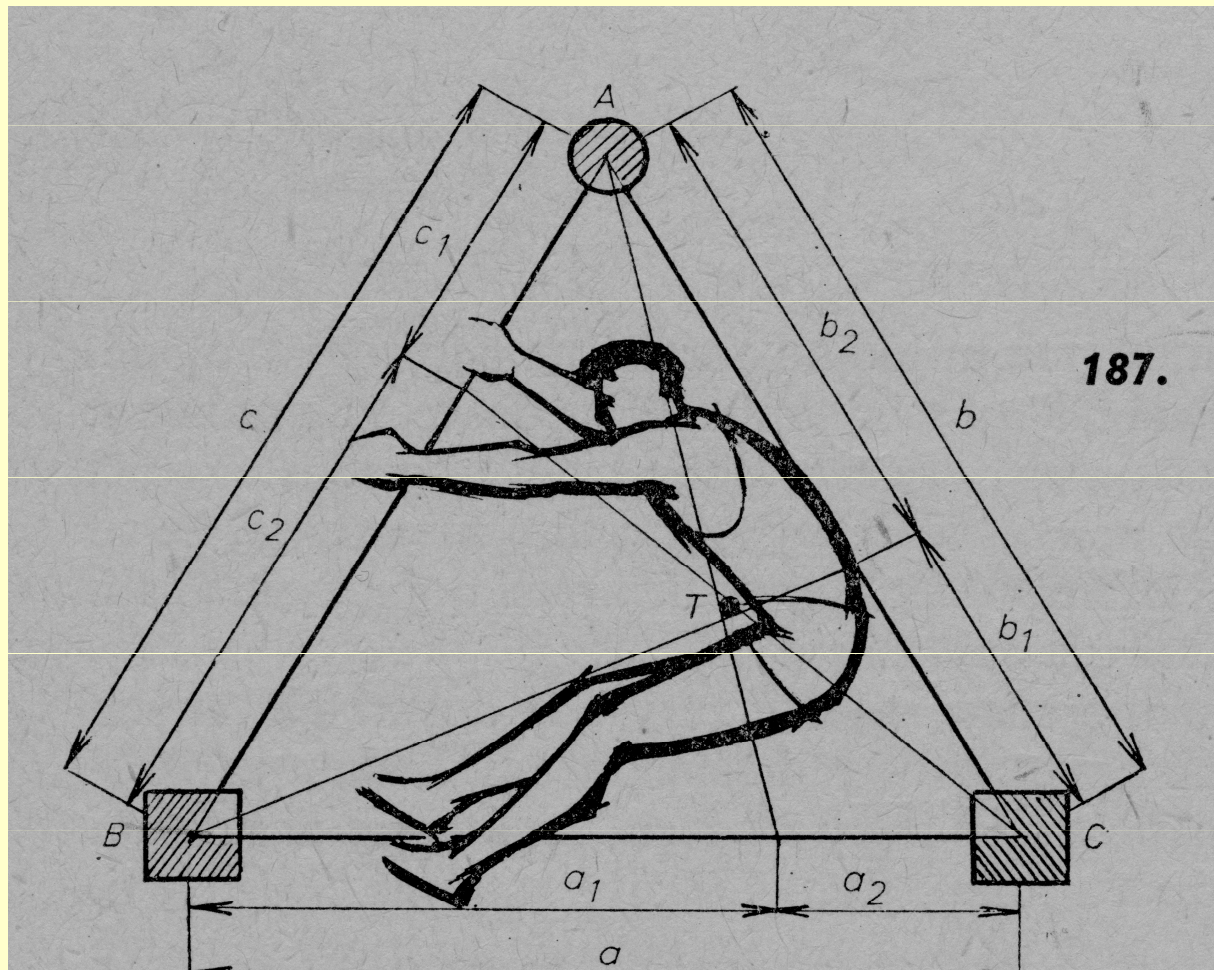
Poloha těžiště jednotlivých částí těla

Relativní hmotnosti částí lidského těla

hlava	0,071
trup	0,427
stehno	0,116
holeň	0,053
noha	0,018
nadloktí	0,034
předloktí	0,023
ruka	0,008



Experimentální určení těžiště – metoda trojúhelníkové desky



deska D_1, D_2, D_3

deska s měřenou osobou P_1, P_2, P_3

samotná osoba

$$G_i = P_i - D_i, \quad i = 1, 2, 3$$

vážením D_1, D_2, P_1, P_2

pak platí

$$b_1 = \frac{b \cdot G_3}{G_2 + G_3}, \quad c_1 = \frac{c \cdot G_1}{G_1 + G_3}$$

výpočtem $D_3 = D - D_1 - D_2$

$$P_3 = P - P_1 - P_2$$

Pohyb těžiště je určen výslednicí sil

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$



Celkovou hybnost těla ve výskoku již nelze vlastním pohybem těla nijak ovlivnit (ted' pilotuje Isaac Newton)

(s výjimkou aerodynamických sil)

Lze však ovlivnit pohyb jednotlivých částí těla vůči sobě navzájem.

Grand jeté



překážkový běh 1 překážkový běh 2

skok do dálky

trojskok 1

trojskok 2

trojskok 3

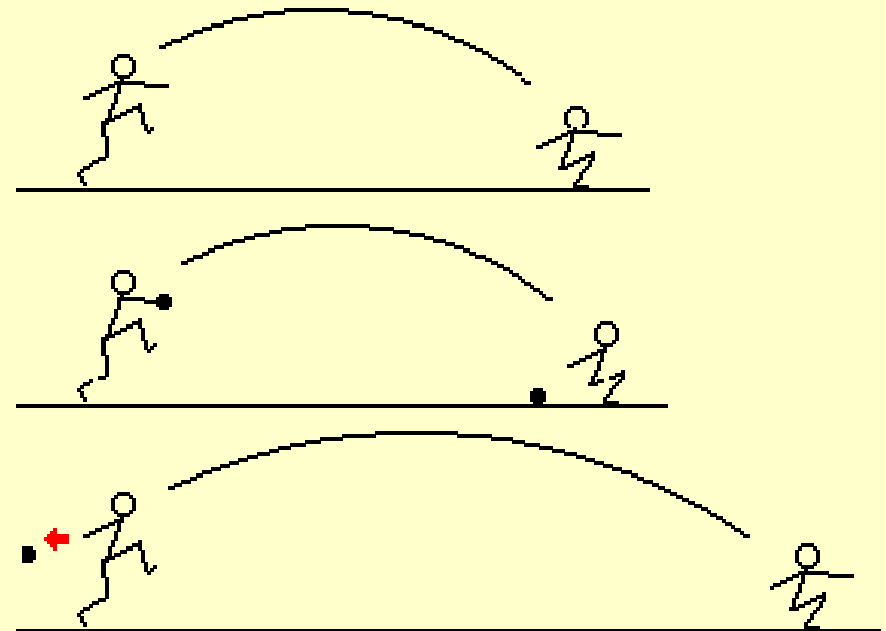
skok do dálky se závažím –
starořecká atletická disciplína

starověké prameny – 15m délka

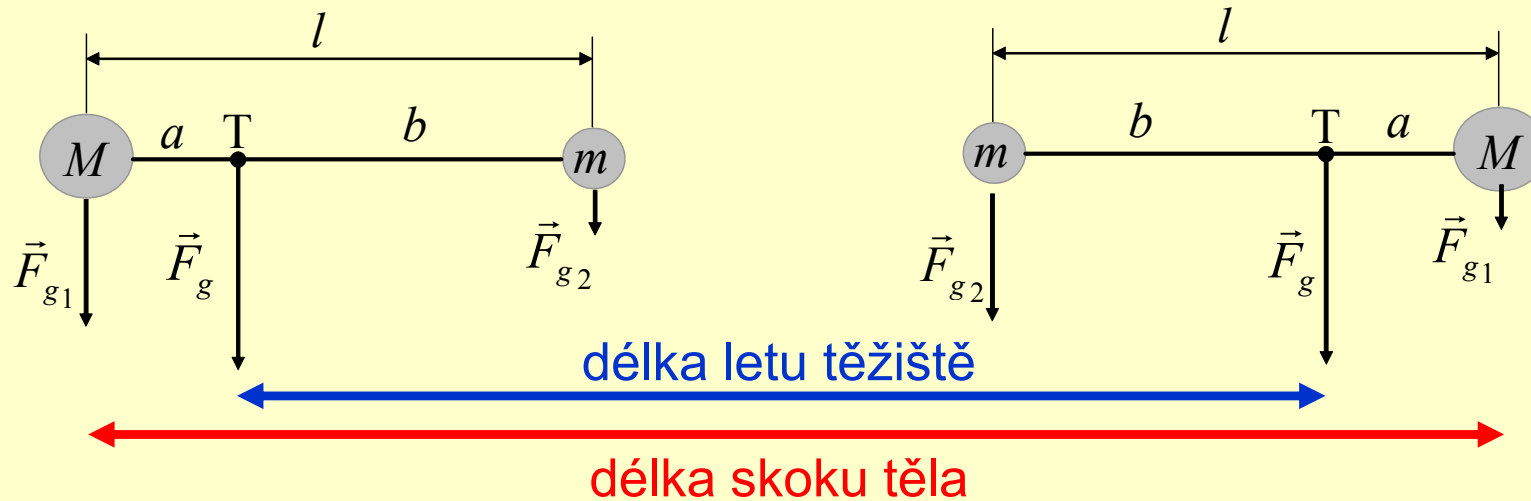
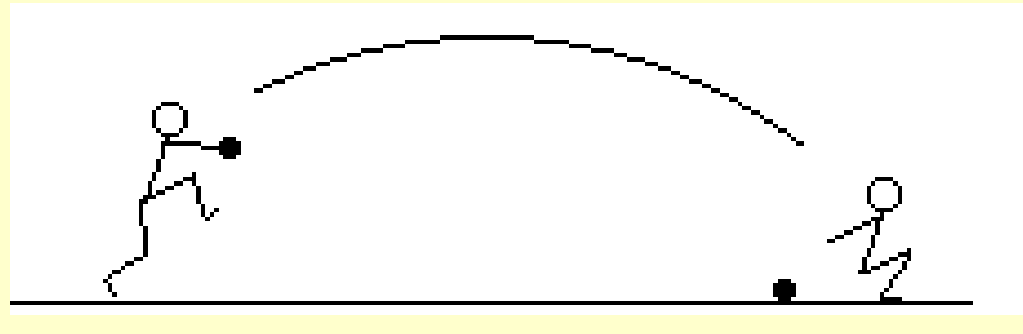
trojskok?

pětiskok?

báje?



Skok se zákmitem



$$F_{g1} a = F_{g2} b$$

$$l = 0,5\text{m}, \quad M = 80\text{kg}, \quad m = 10\text{kg}$$

$$M a = m b$$

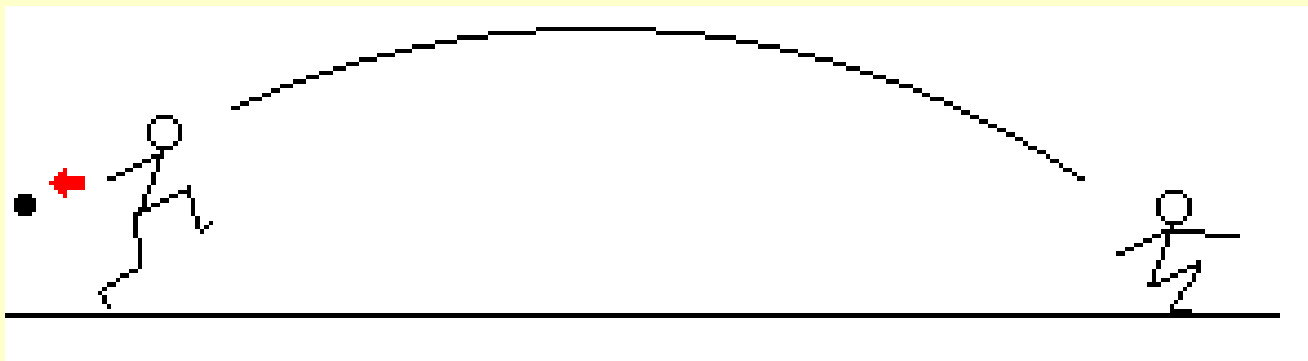
$$2a = \frac{2ml}{M + m}$$

$$M a = m(l - a)$$

$$a = \frac{ml}{M + m}$$

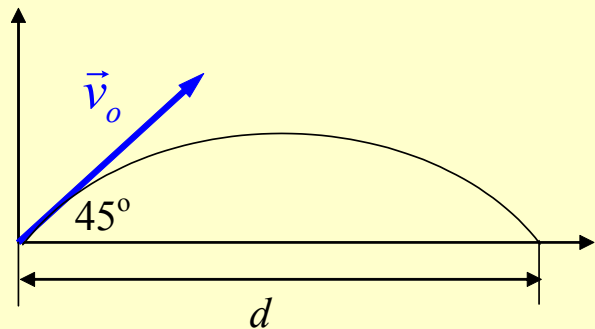
$$2a = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,5}{80 + 10} \approx 0,1\text{m}$$

Skok s odhozením



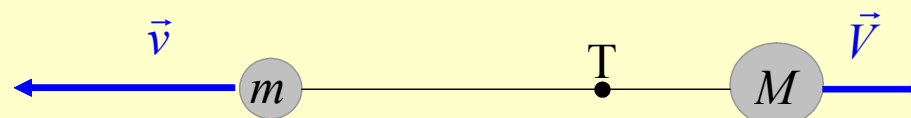
Jakou rychlostí lze odhodit?

vrh koulí – šikmý vrh



$$d = \frac{v_o^2}{g} \Rightarrow v_o = \sqrt{d g}$$

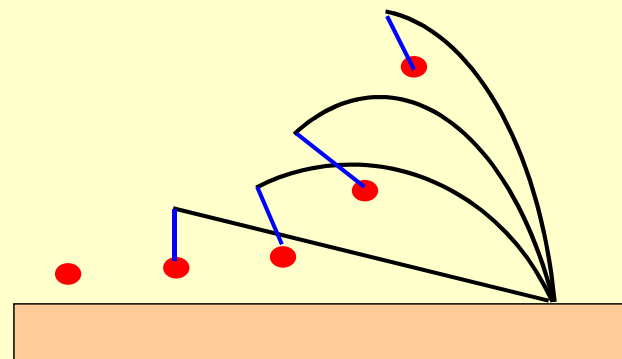
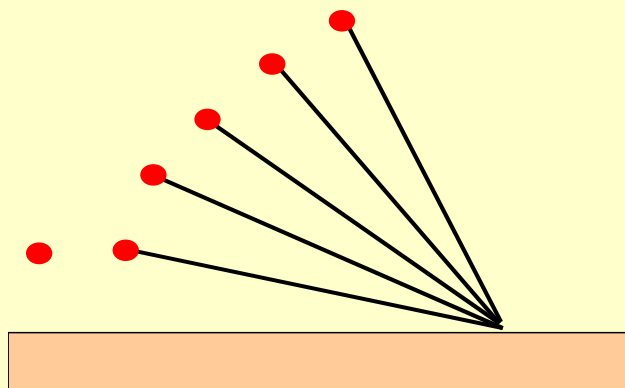
$$v_o = \sqrt{20 \cdot 10} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$M V = m v$$

$$V = \frac{m}{M} v = \frac{7}{80} \cdot 14 = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Skok o tyči



Přibližný odhad:

$$E_{K(\text{při rozběhu})} = E_{P(\text{maximální při výstupu})}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g}$$

pro $v = 10 \text{ m/s}$

$h = 5 (+ 1) \text{ m}$

skok o tyči 1

skok o tyči 2

skok o tyči 3

Skok do výšky bez tyče

Odrazová noha - tyč

Skok do dálky

Moment hybnosti

hybnost $\vec{p} = m \vec{v}$

je-li určeno $\vec{p}(t)$

nelze měnit $m \Rightarrow$

\Rightarrow nelze měnit $\vec{v}(t)$

skok 1

skok 2

pirueta

moment hybnosti $\vec{L} = J \vec{\omega}$

je-li určeno $\vec{L}(t)$

lze měnit $J \Rightarrow$

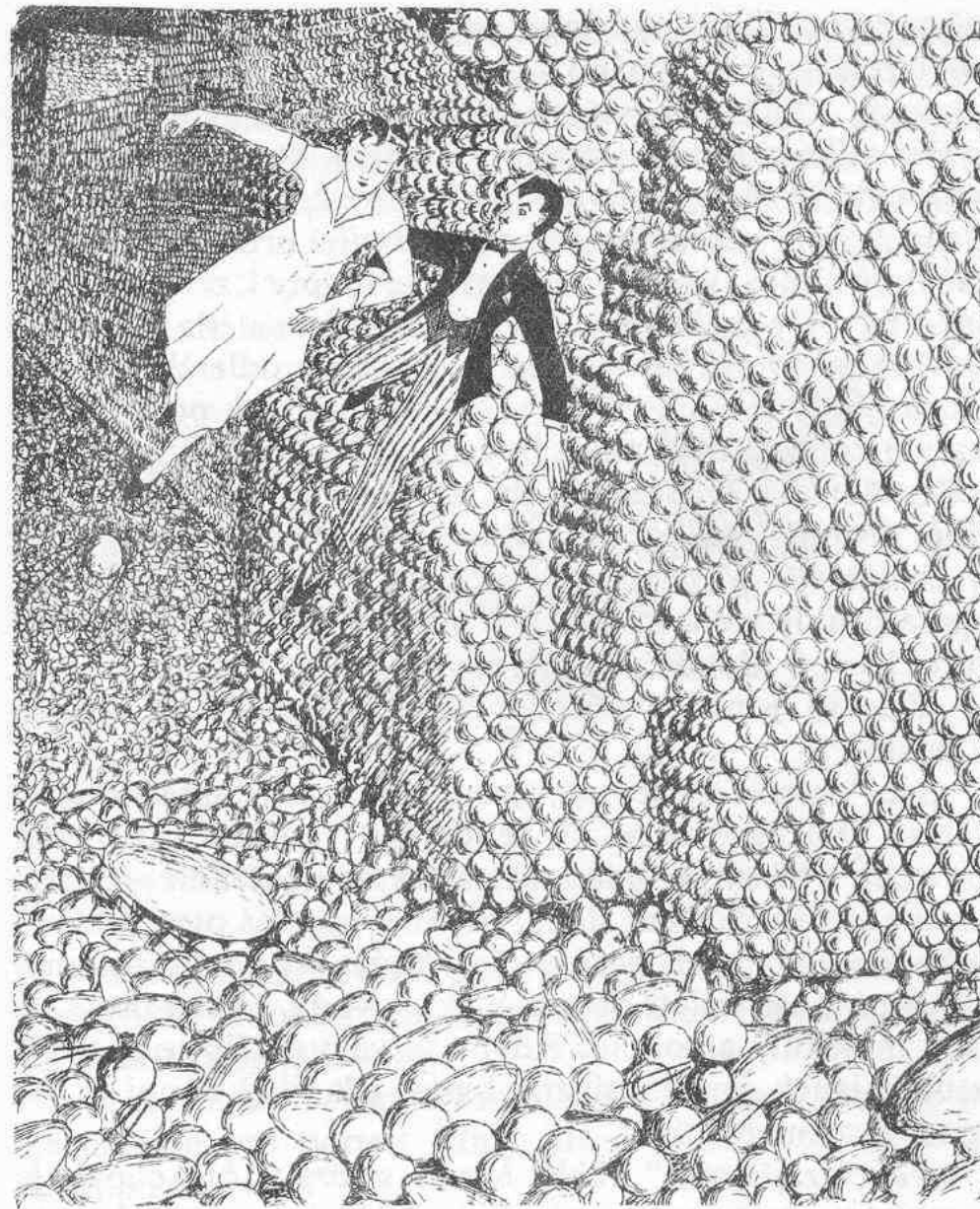
\Rightarrow lze měnit $\vec{\omega}(t)$

Valenta 1

Valenta 2

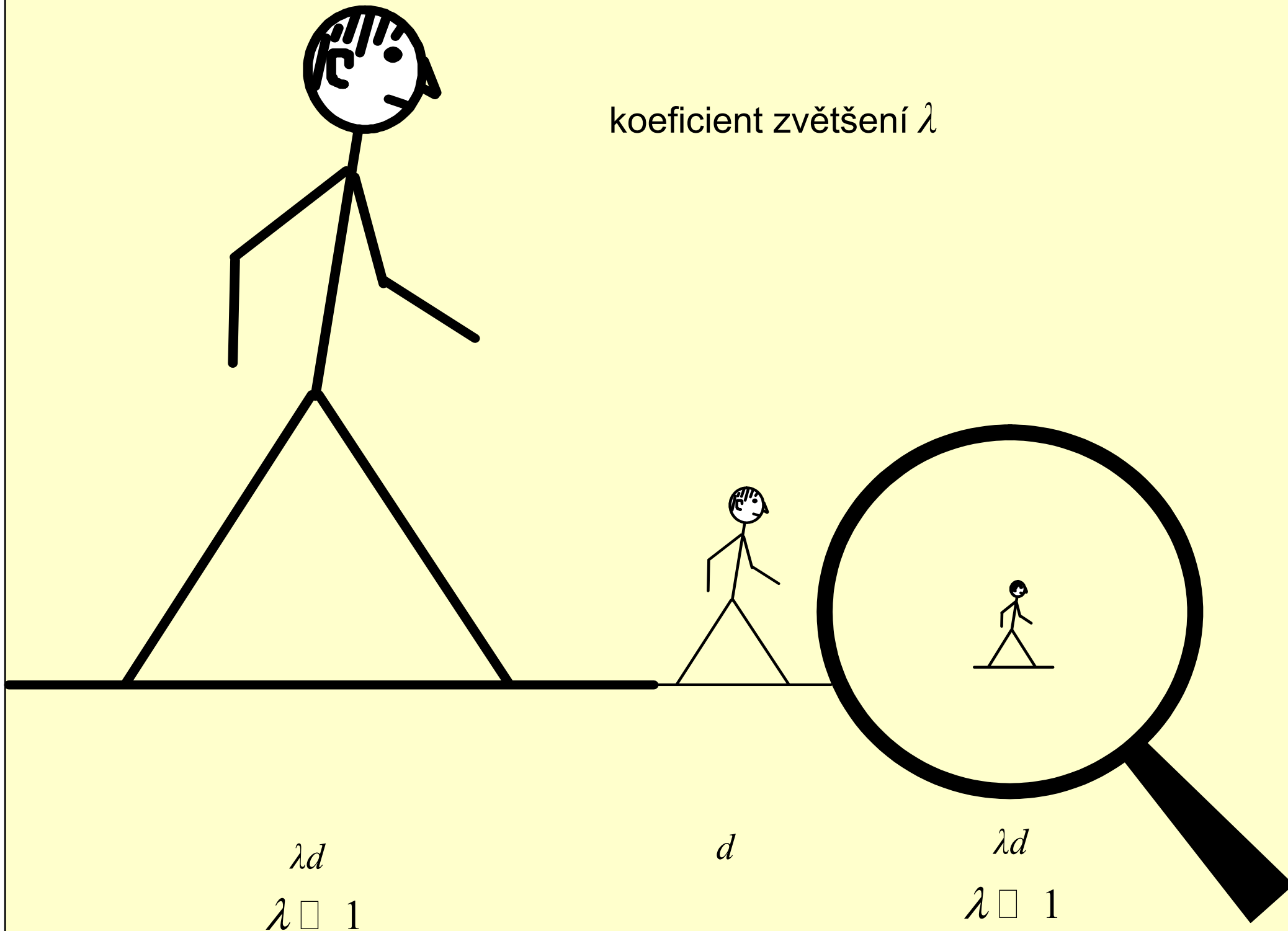
Pohyb potřetí
malé a velké v přírodě

G. Gamow, Pan Tompkins v říši divů



„Takhle to vypadá v pekle?“

koeficient zvětšení λ



$$\lambda d$$
$$\lambda \geq 1$$

d

$$\lambda d$$
$$\lambda \geq 1$$

Pokud se zvětší lineární rozměr s λ , zvětší se

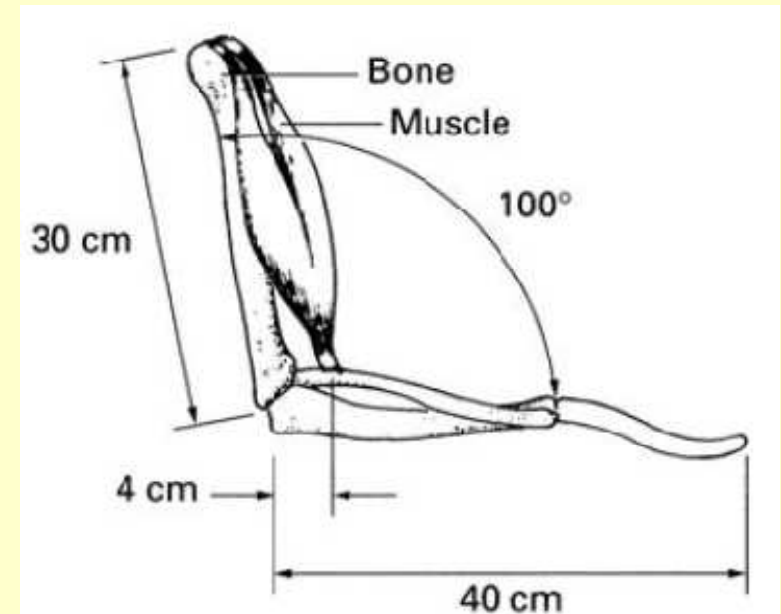
plocha s λ^2

- síla svalů (300 kN/m²)
- pevnost kostry
- povrch těla
- síla odporu prostředí

objem s λ^3

- hmotnost
- setrvačná síla
- zásoba vody
- akumulované teplo

Př. Síla ruky



páka 3. stupně – páka rychlosti

Clever

nejsilnější zvíře –

– unese 850 x svoji hmotnost

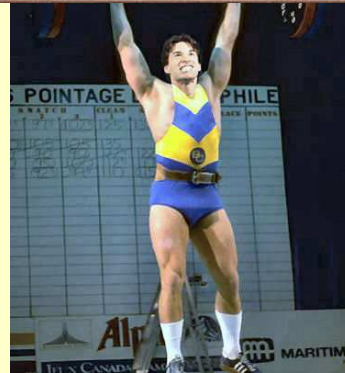
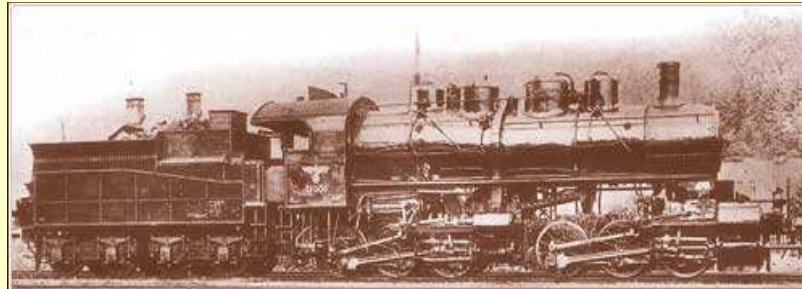
čeleď Scarabaeidae (vrubounovití)

podčeleď Dynastinae (nosorožci)



příklad: Augosoma centaurus

člověk 1 x



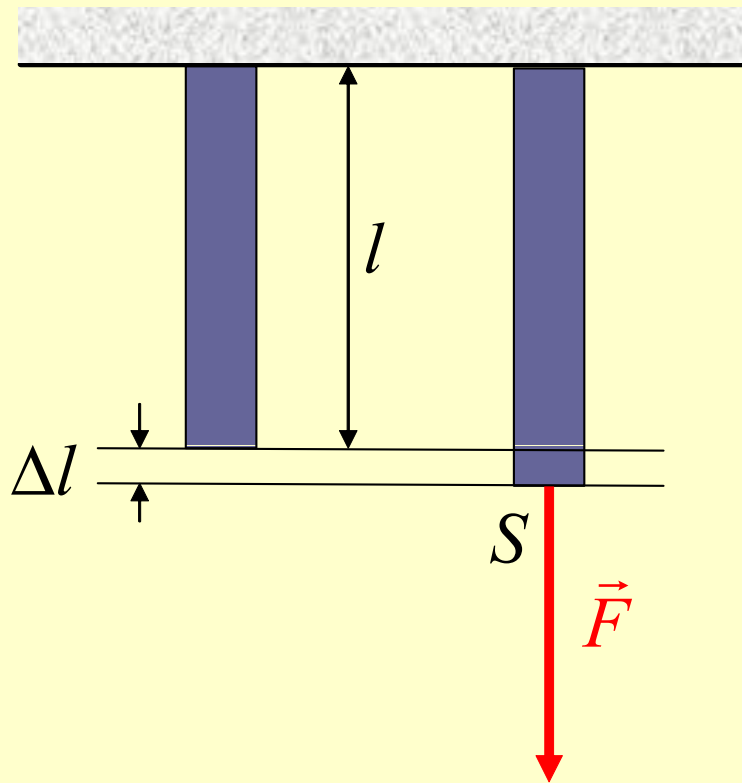
slon 1/4 x

délka skoku

- blecha – 100 x délka **svaly – 3% hmotnosti**
- kobylka – 30 x délka
- poloopice komba ušatá (*Galago senegalensis*) – 2,25 m do výšky – rekord skoku z místa **svaly – 35% hmotnosti**
- klokan – 5 x délka
- člověk – 2 x délka
- slon – neskáče



Pnutí, deformace



Hookův zákon:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \frac{l_o}{S} F$$

$$\frac{\Delta l}{l_o} = \frac{1}{E} \frac{F}{S}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma$$

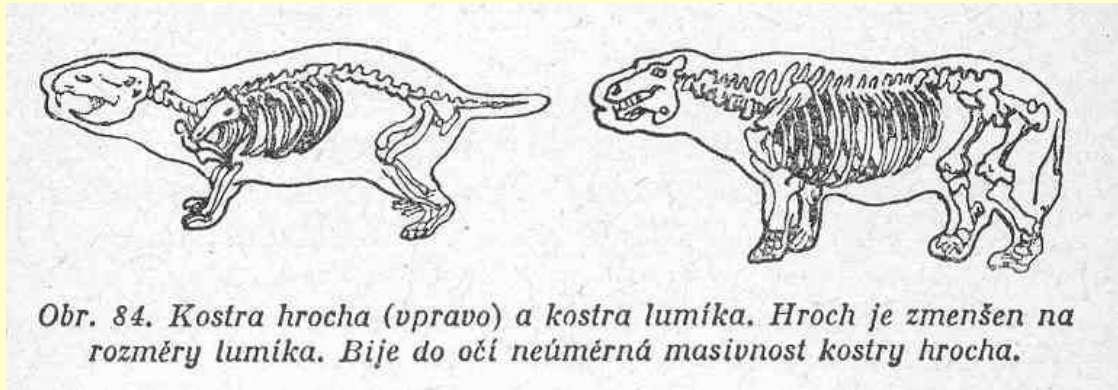
tíhová síla

$$F = mg$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} \approx \frac{\lambda^3}{\lambda^2} = \lambda$$

Tělesná konstituce

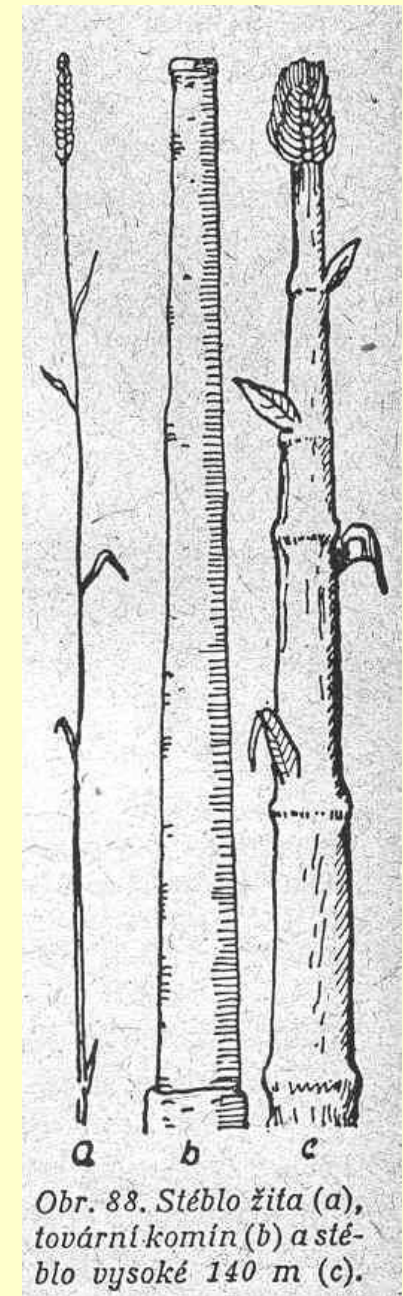
Lumík – hroch



pavouk – slon



stéblo – kmen



Galileo Galilei, Rozpravy o dvou nových odvětvích vědy

„*Salviati*: Všude jasně vidíme, že nejenom řemeslo, nýbrž ani samotná příroda nemůže neomezeně zvětšovat rozměry svých výtvorů. Tak je na příklad nemožné postavit lodi, paláce a chrámy obrovských rozměrů, jejichž vesla, stěžně a trámy, železné spojky, prostě všechny části by byly dostatečně pevné. Na druhé straně ani příroda nemůže vytvořit stromy obrovských rozměrů, jelikož jejich větve by se konec konců vlastní vahou zlámaly. Stejně si nelze představit kostru člověka, koně nebo kteréhokoli jiného živočicha příliš velkých rozměrů, která by vydržela potřebnou tíhu a odpovídala svému poslání. Obrovských rozměrů by mohla dosáhnout zvířata pouze v případě, kdyby látka, která tvoří jejich kosti, byla daleko pevnější než dosud, nebo kdyby se příslušně zvýšila jejich tloušťka, avšak tím by tloušťka proti výšce neúměrně vzrostla. Správně to vystihl

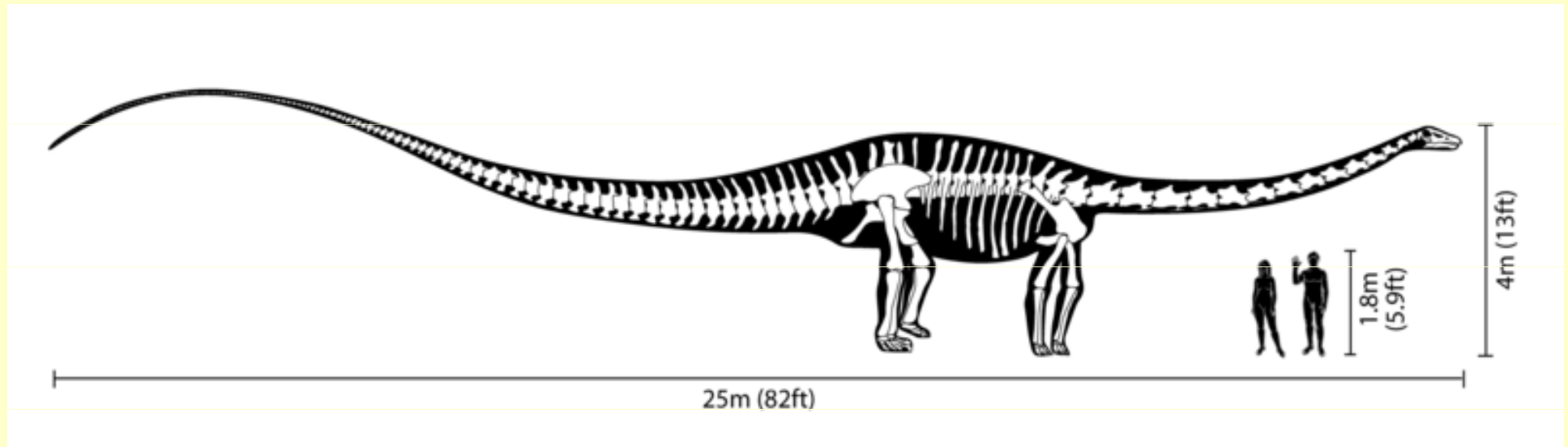
báseň (Ariosto v „Zuřivém Rolandu“), který ve svém popisu obra říká:

„Obrovským vzrůstem údy jeho tak ztloustly,
že působí dojmem obludy.“

hmotnost kostry

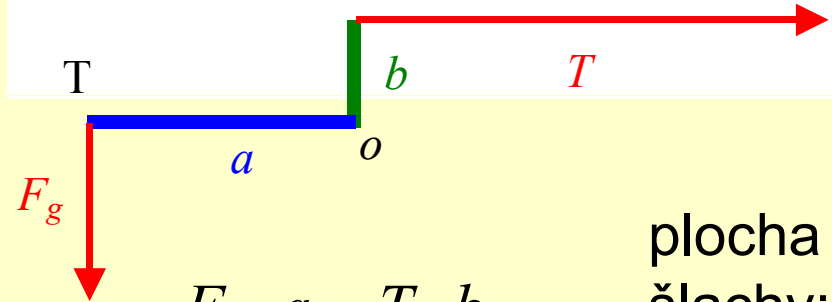
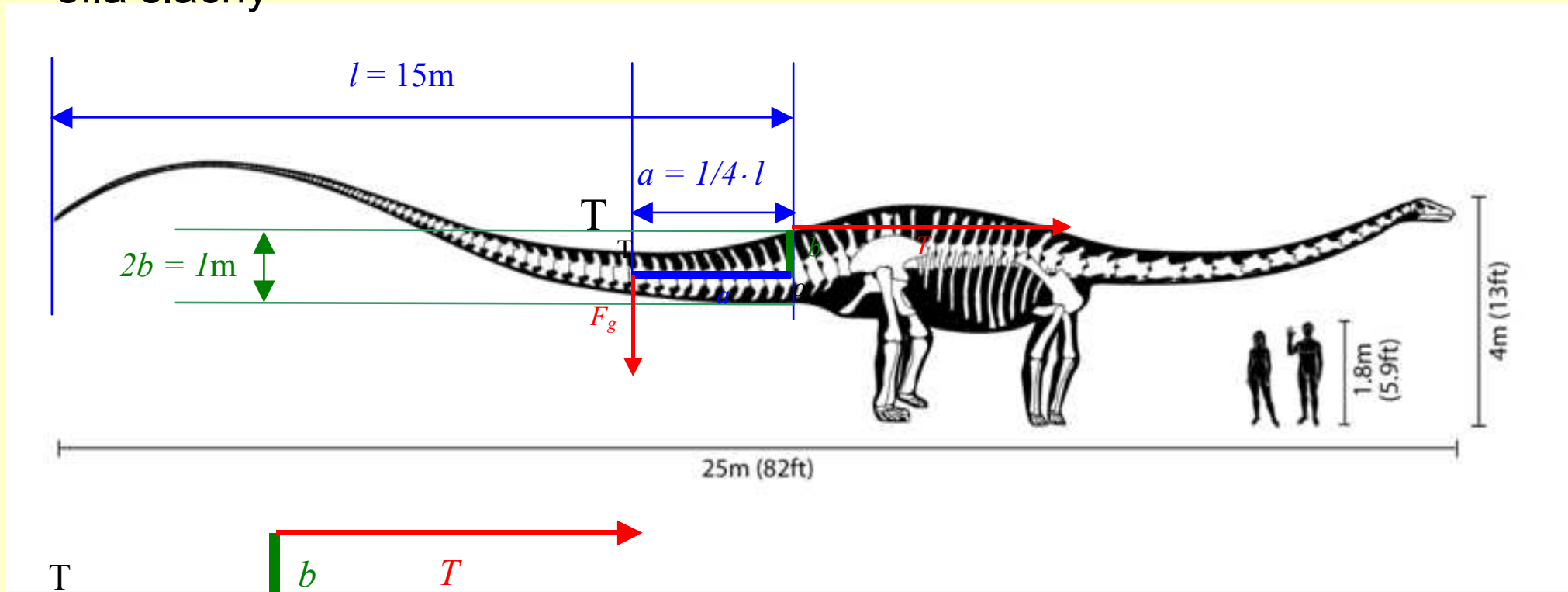
Ssavci	Váha kostry v %	Ptáci	Váha kostry v %
Rejsek	8,0	Slepice liliputka	7,0
Myš	8,5	Slepice domácí	12,0
Králík	9,0	Husa	13,5
Kočka	11,5		
Pes (střední velikosti)	14,0		
Člověk	18,0		

diplodocus



[video - diplodocus](#)

síla šlachy



$$F_g \cdot a = T \cdot b$$

$$mg \cdot a = \sigma S \cdot b$$

plocha průřezu

šlachy: $S = \frac{mg \cdot a}{\sigma \cdot b}$, $a = \frac{1}{4}l$, $m = \frac{1}{3}\pi r^2 l \rho$ (kužel),

$$S = \frac{\frac{1}{3}\pi r^2 l \rho g \cdot \frac{1}{4}l}{\sigma \cdot b} = \frac{\frac{1}{3}\pi \cdot 0,5^2 \cdot 15 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot \frac{1}{4} \cdot 15}{50 \cdot 10^6 \cdot 0,5}$$

σ – mez pevnosti šlachy

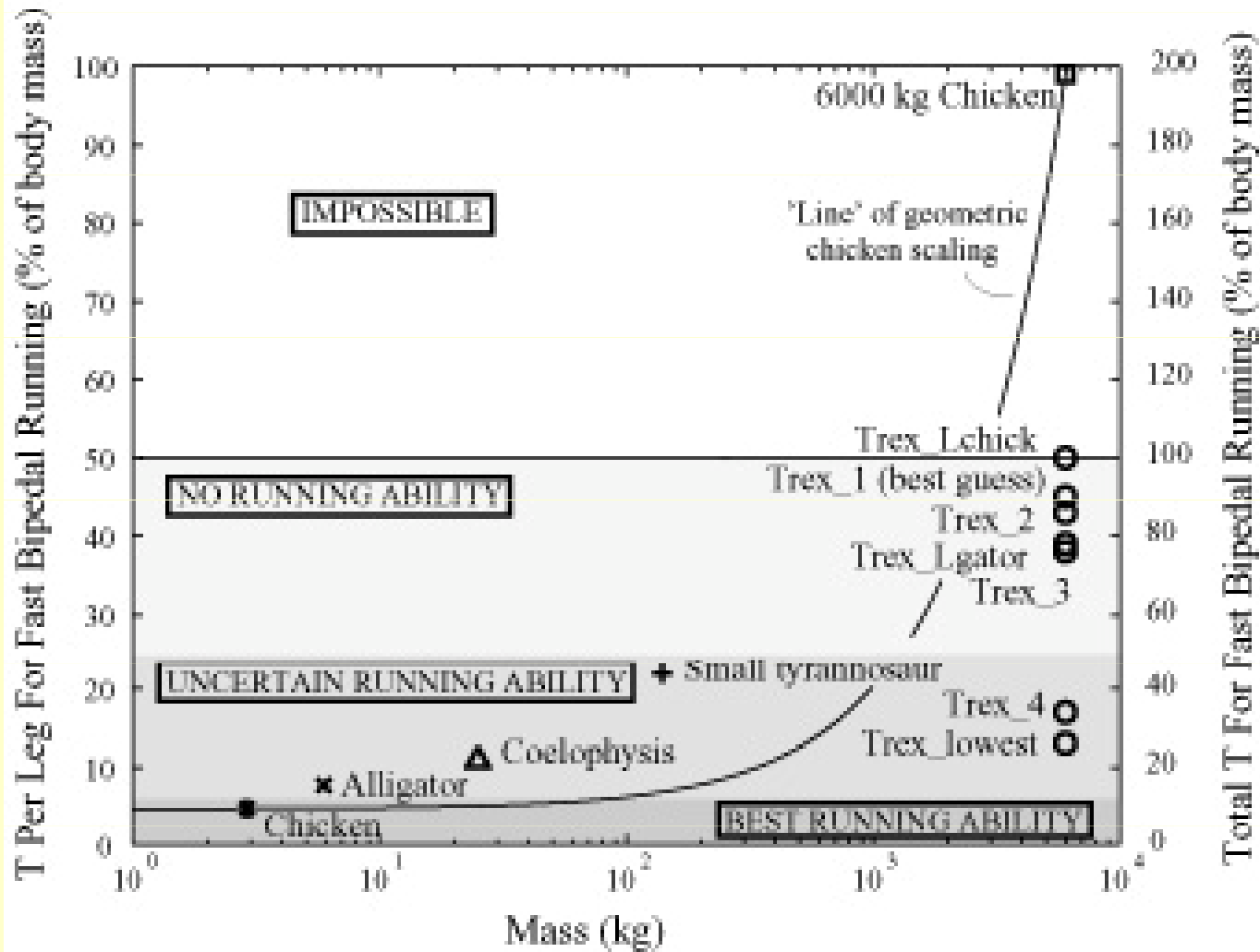
$\sigma = 50 - 100$ MPa

$$S = 0,0056 \text{ m}^2 \Rightarrow d = 8,5 \text{ cm}$$

Nature 415, 1018-1021 (28 February 2002)

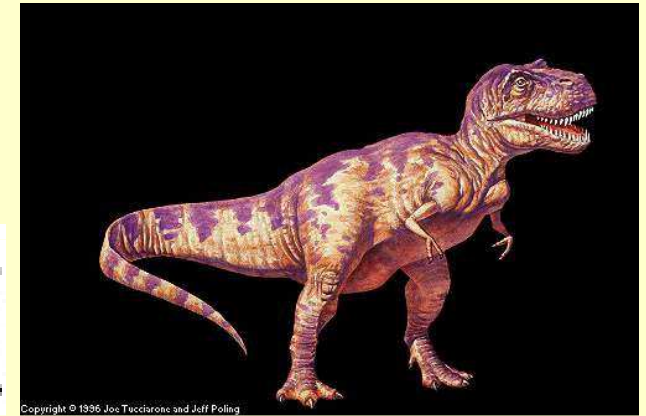
Tyrannosaurus was not a fast runner

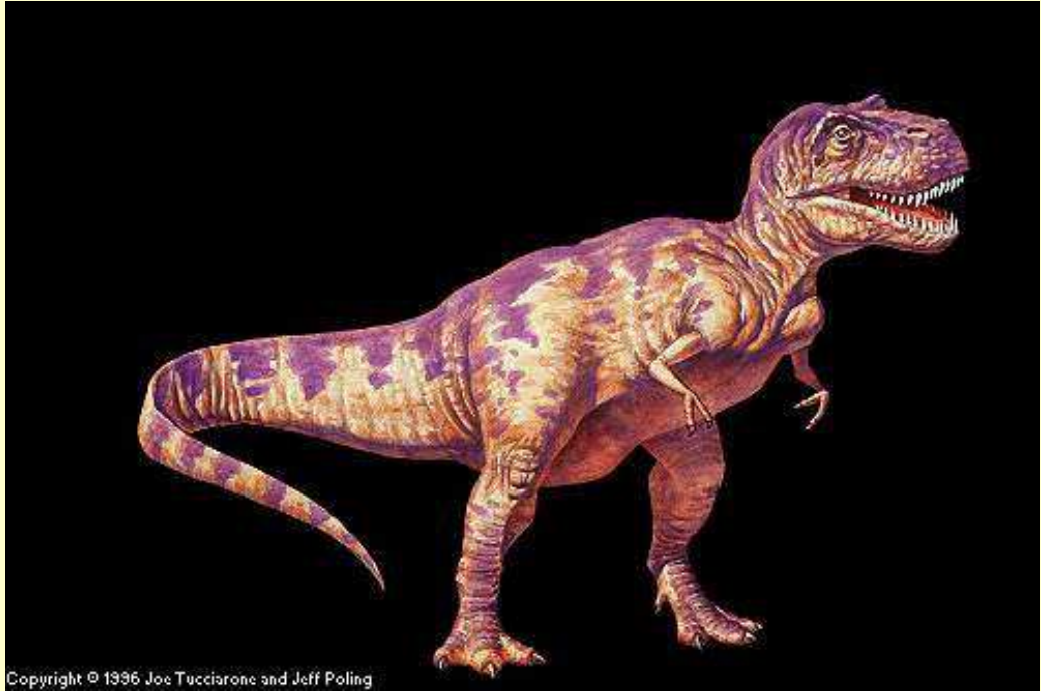
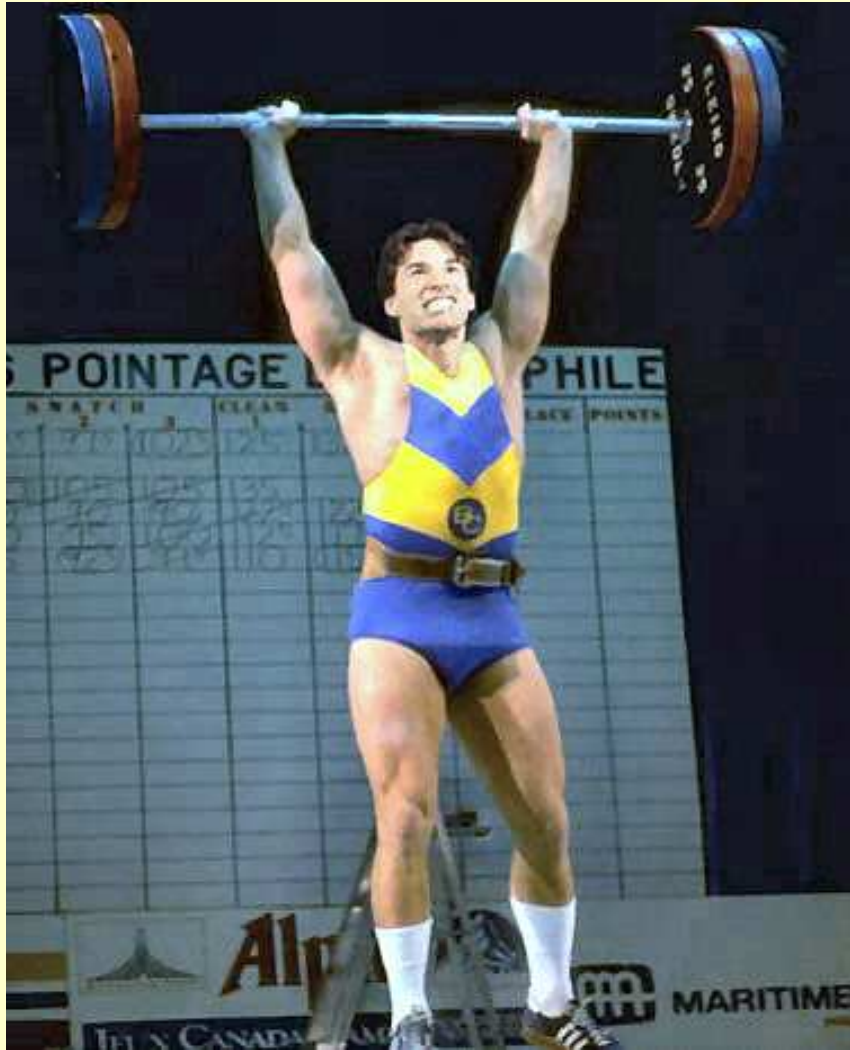
John R. Hutchinson^{1,2} and Mariano Garcia^{1,2}



Hutchinson_Fig3

Copyright © John Hutchinson 2002



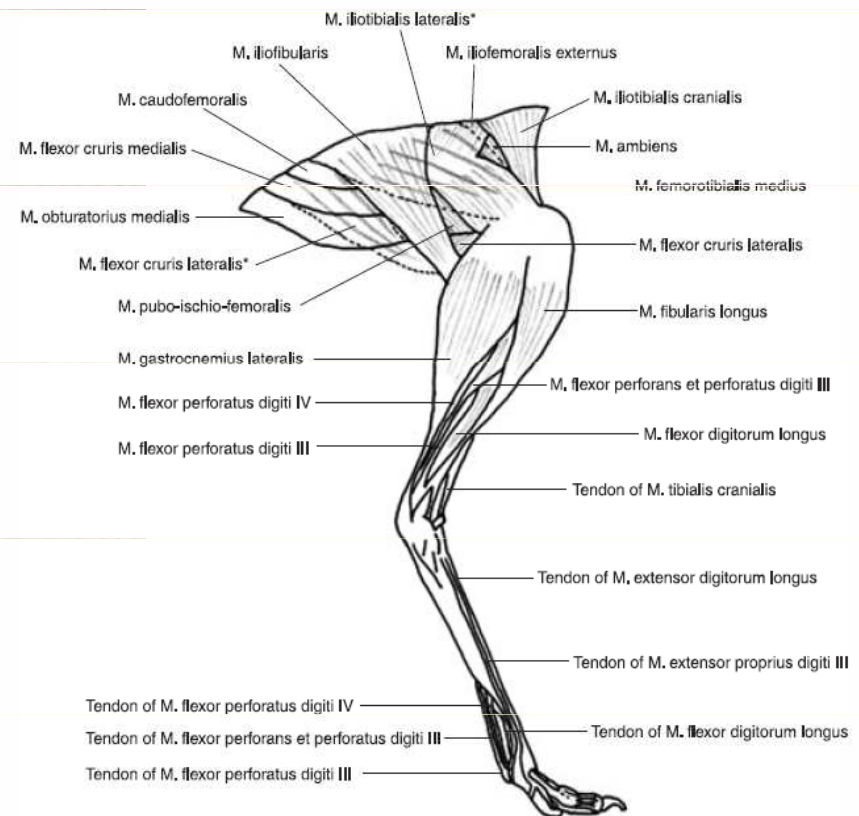


Pštros

svaly na nohách – 33%
celkové hmotnosti těla
(105 kg)



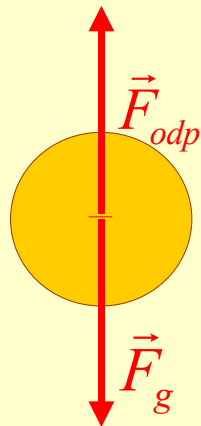
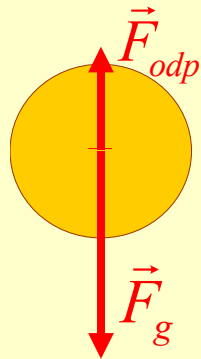
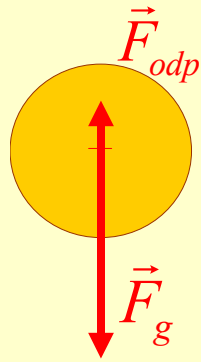
770 Functional pelvic anatomy of the ostrich, N. C. Smith et al.



Hvězdná pěchota (Starship Troopers, 1997)



volný pád



$$F_g = mg \approx \lambda^3 \quad F_{odp} = \frac{1}{2} \rho c_x S v^2 \approx \lambda^2$$

podmínka rovnováhy

$$F_g = F_{odp}$$

$$mg = \frac{1}{2} \rho c_x S v_{mez}^2$$

$$v_{mez} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho c_x S}} \approx \sqrt{\lambda}$$

pro nejmenší živočichy (viz dále)

$$F_{odp} \approx \lambda$$

$$v_{mez} \approx \lambda$$

Povrch × objem

objem = zásoba

- energie
- vody
- tepla

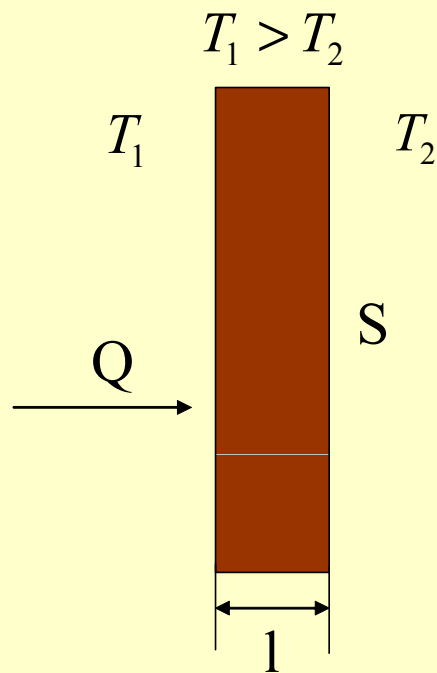
povrch – výměna s okolím

- vody
- tepla

$$\frac{\text{ztráta vody}}{\text{zásoba vody}} \approx \frac{1}{\lambda}$$

$$\frac{\text{ztráta tepla}}{\text{zásoba tepla}} \approx \frac{1}{\lambda}$$

Tepelné ztráty - člověk



$$Q = \frac{S(T_1 - T_2)\lambda}{l} = S\Delta T \frac{\lambda}{l} = S\Delta T \beta$$

Odhad:

člověk vydrží dlouhodobě bez oděvu při okolní teplotě 26°C

tepelný výkon v klidu = 80W

$$\beta = \frac{Q}{S\Delta T} = \frac{80}{1,5 \cdot 10} = 5,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Efektivní tloušťka tepelné izolace:

$$\beta = \frac{\lambda}{l} \Rightarrow l = \frac{\lambda}{\beta} = \frac{0,03}{5,5} = 0,005\text{m} = 5\text{mm}$$

Měrný tepelný výkon (v klidu):

$$\frac{Q}{m} = \frac{80 \text{ W}}{80 \text{ kg}} = 1 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$$

Živočich o hmotnosti 1g

$$m = 1\text{g} \Rightarrow V = 1\text{cm}^3 \Rightarrow S = 6\text{cm}^2$$

Předpokládejme stejnou efektivní izolaci jako u člověka

optimistický odhad

• 5mm izolace?

• efekt 3D tvaru

$$Q = S\Delta T\beta = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 5,5 = 0,035 \text{ W}$$

při venkovní teplotě o 10°C nižší než teplota těla

Měrný výkon (v klidu):

$$\frac{Q}{m} = \frac{0,035 \text{ W}}{0,001 \text{ kg}} = 35 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$$

nutná

studenokrevnost!

Ztráty vody

kutikula – nepropustná vrstva (svlékání)

Proudění tekutiny

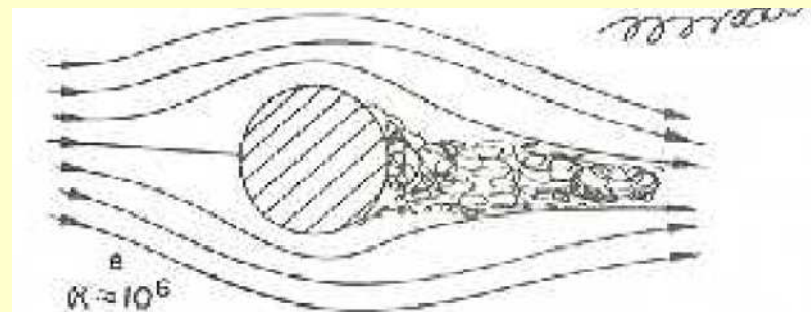
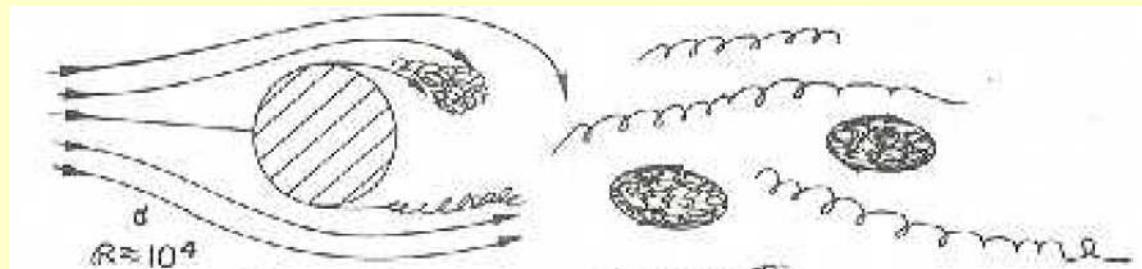
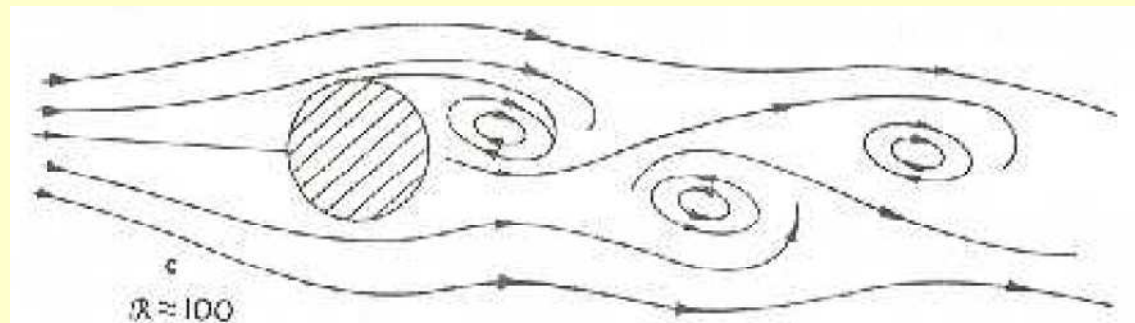
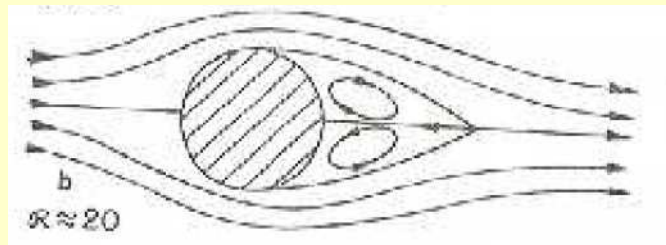
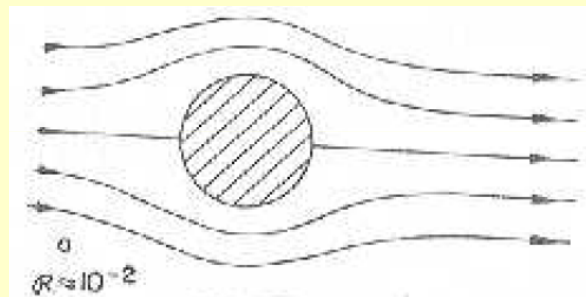
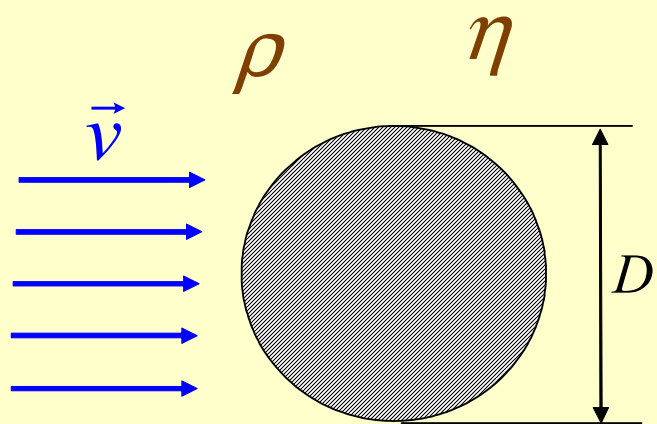
při změně měřítka se nezachovává podobnost

splávek na strouze × vodopád na řece



vylití hrníčku × vylití sudu

Obtékání válce



Reynoldsovo číslo

$$R = \frac{Dv\rho}{\eta}$$

Jak vylít sud, aby to vypadalo stejně, jako se vylévá hrneček?

zvýšit viskozitu kapaliny v sudu

$$R = \frac{Dv\rho}{\eta}$$

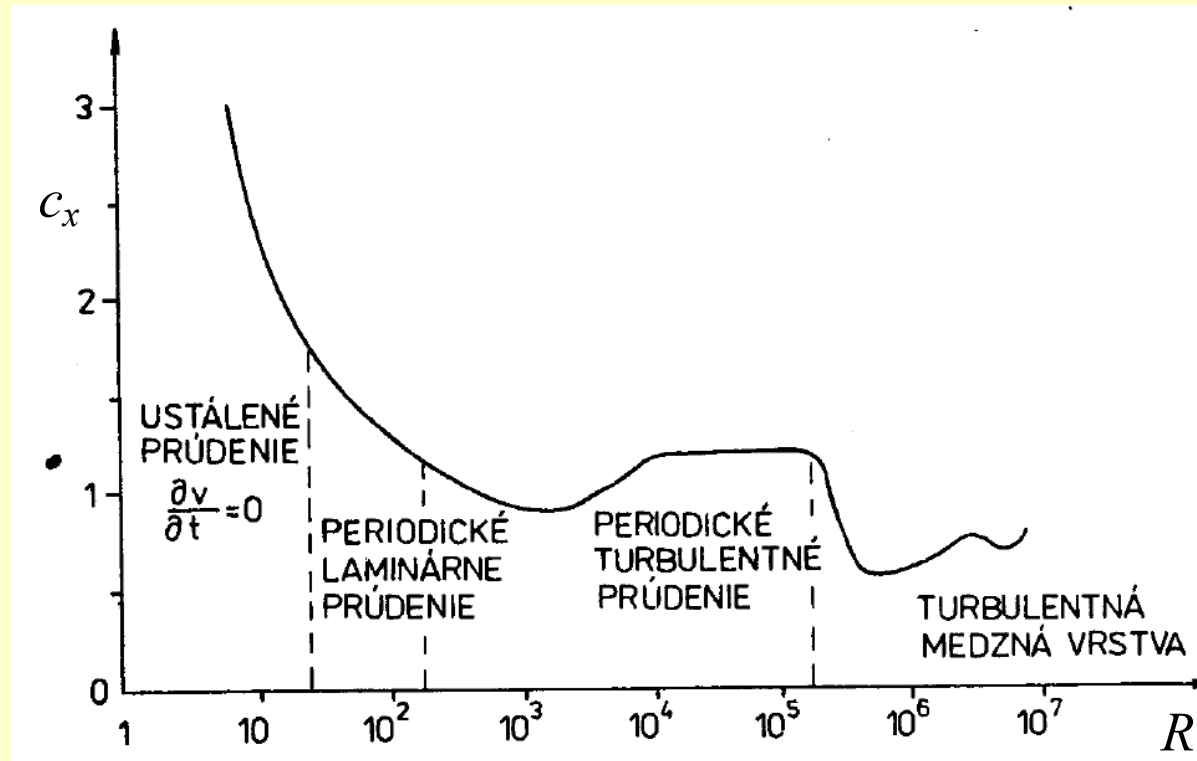
proudění lávy



Jak napodobit mávání křídel hmyzu větším modelem?

zvýšit viskozitu okolní tekutiny – olej

Koeficient odporu



pro střední a velká R

$$F_{odp} \approx v^2, \quad F_{odp} = \frac{1}{2} S \rho c_x v^2 \quad [\text{Newtonův vztah}]$$

pro malá R

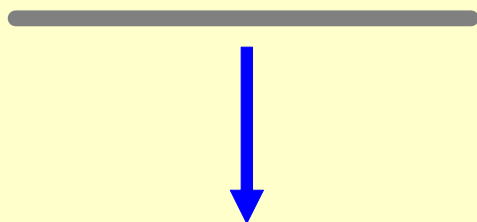
$$F_{odp} \approx v, \quad F_{odp} = 6\pi\eta r v \quad [\text{Stokesův vztah}]$$

$$c_x \approx \frac{1}{R},$$

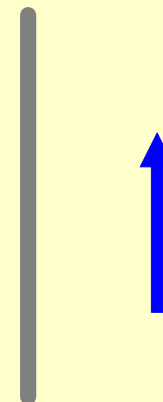
pro malá R

Nejmenší letci nevyužívají dynamického vztlaku, ale odporu

mávnutí dolů

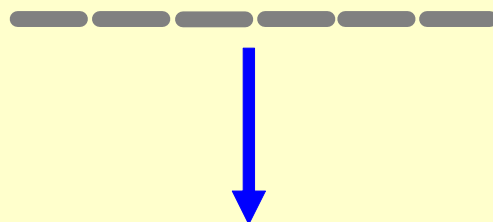


mávnutí nahoru

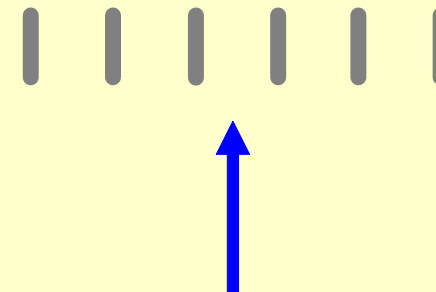


nebo lépe:

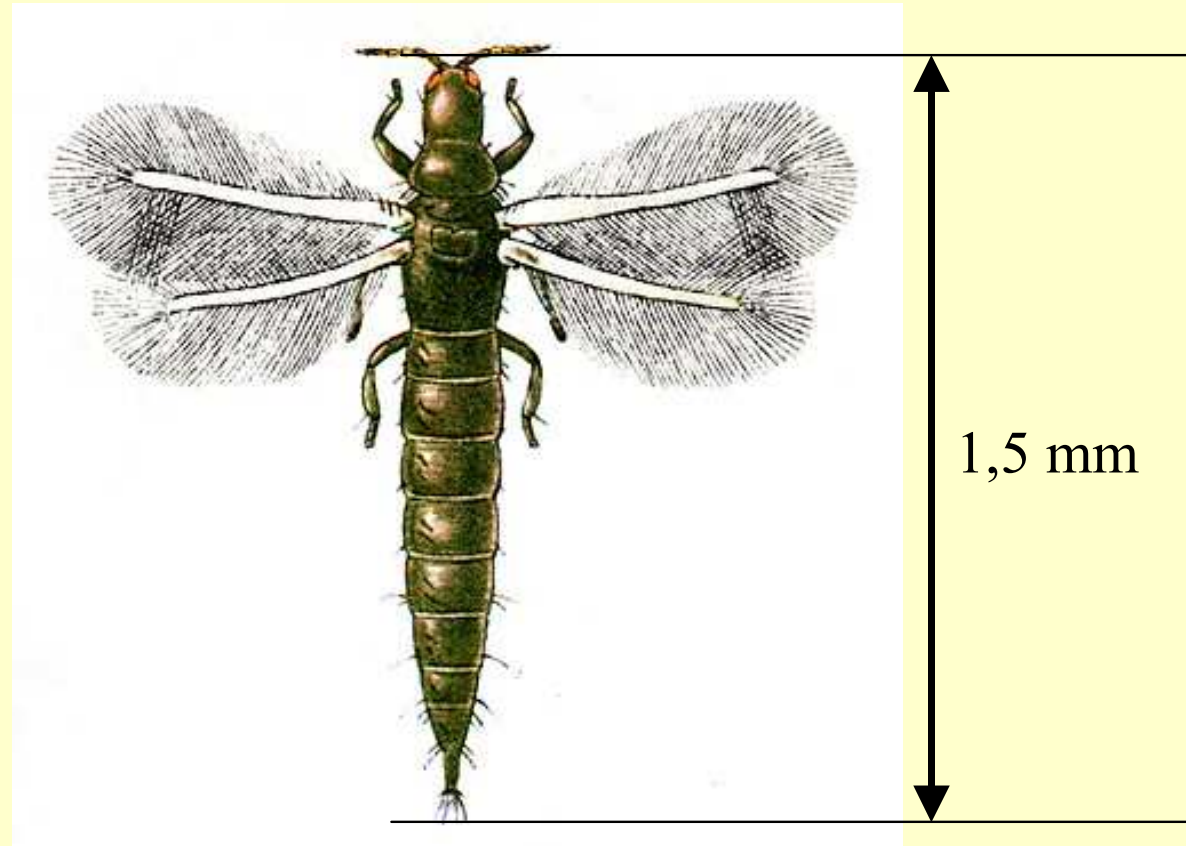
mávnutí dolů



mávnutí nahoru



Nejmenší letci - třásnokřídlí



truběnka pšeničná (*Haplorthrios tritici*)