



# FYZIKA P3

- JEDNOTKY
- ZÁKLADNÍ ZÁKONY
- PLYNY
- TLAK - SÍLA
- PARCIÁLNÍ TLAKY
- OPTIKA



**Pro potápěče je důležité znát přírodní zákony, které určují princip potápění. Bez této znalosti je těžké porozumět pravidlům, které je třeba dodržovat pro zachování bezpečnosti tohoto sportu.**

- Rozdíl v akustických podmínkách ztěžuje komunikaci pod vodou.**
- Rozdíl v optických podmínkách je změna objektů, zejména jejich barvy, velikosti a vzdálenosti.**
- Rozdíl v teplotní kapacitě vody, jejíž výsledkem je stála výměna tepla mezi potápěčem a okolní vodou, což způsobuje velkou zátěž termoregulačního systému lidského těla.**
- Méně zřetelné a tudíž možná zákeřnější rozdíly jsou důsledky tlaku vzduchu dýchaného v hloubce a jejich výsledný fyziologický dopad na potápěče.**
- Fyzika popisuje svět pomocí fyzikálních zákonů – popisuje i svět pod vodní hladinou.**



VELIČINY		ZÁKLADNÍ JEDNOTKY SI	
Délka	l	Metr	m
Hmotnost	m	Kilogram	kg
Čas	t	Sekunda	s
Termodynamická teplota	T	Kelvin	K

Zakázané jednotky		Převodní vztah k SI
Kilopond	kp	= 9,806 65 N
Bar (dočasně povolená jednotka)	bar	= 100 000 Pa
Technická atmosféra	at	= 98 066,5 Pa
Fyzikální atmosféra	atm	= 101 325 Pa
torr	Torr	= 133, 322 Pa

## PŘEVODY

Předpona		Význam
mega	M	1 000 000
kilo	k	1 000
hekto	h	100
deka	da	10

deci	d	0,1
centi	c	0,01
mili	m	0,001
mikro	u	0,000 001
nano	n	0,000 000 001

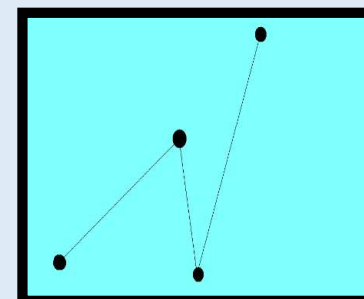


## SKUPENSTVÍ LÁTEK

### PLYNY

Plyn působením vnějších sil mění tvar i objem.

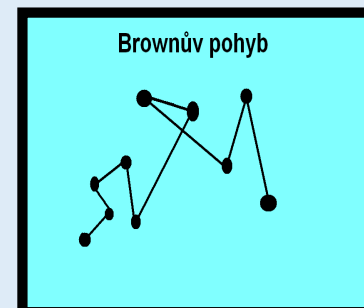
**Je stlačitelný!**



### KAPALINY

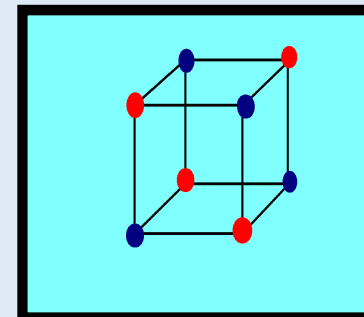
Kapalina působením vnějších sil mění tvar, avšak nemění objem.

**Je nestlačitelná!**



### PEVNÉ LÁTKY

Působením vnějších sil nemění tvar ani objem.





## HUSTOTA

Hustotu vyjadřujeme pomocí hmotnosti tělesa dělené jeho objemem.

**VODA**  
**(MOŘSKÁ VODA)**

**1 000 kg /m<sup>3</sup>**  
**(1 020 až 1 030 kg /m<sup>3</sup>)**

**VZDUCH**

**1,25 kg /m<sup>3</sup>**

**ŽELEZO**

**7 800 kg /m<sup>3</sup>**

**ŽULA**

**2 600 – 2 900 kg /m<sup>3</sup>**

**OLOVO**

**11 340 kg /m<sup>3</sup>**



## TLAK

Tlak vyjadřujeme pomocí síly, která pod jeho vlivem působí na jednotku plochy. Jednotkou síly je **NEWTON**, jednotkou plochy **ČTVERČNÍ METR**. Jednotkou tlaku je tudíž pascal.

$$\text{Pa} = 1\text{N} / \text{m}^2$$

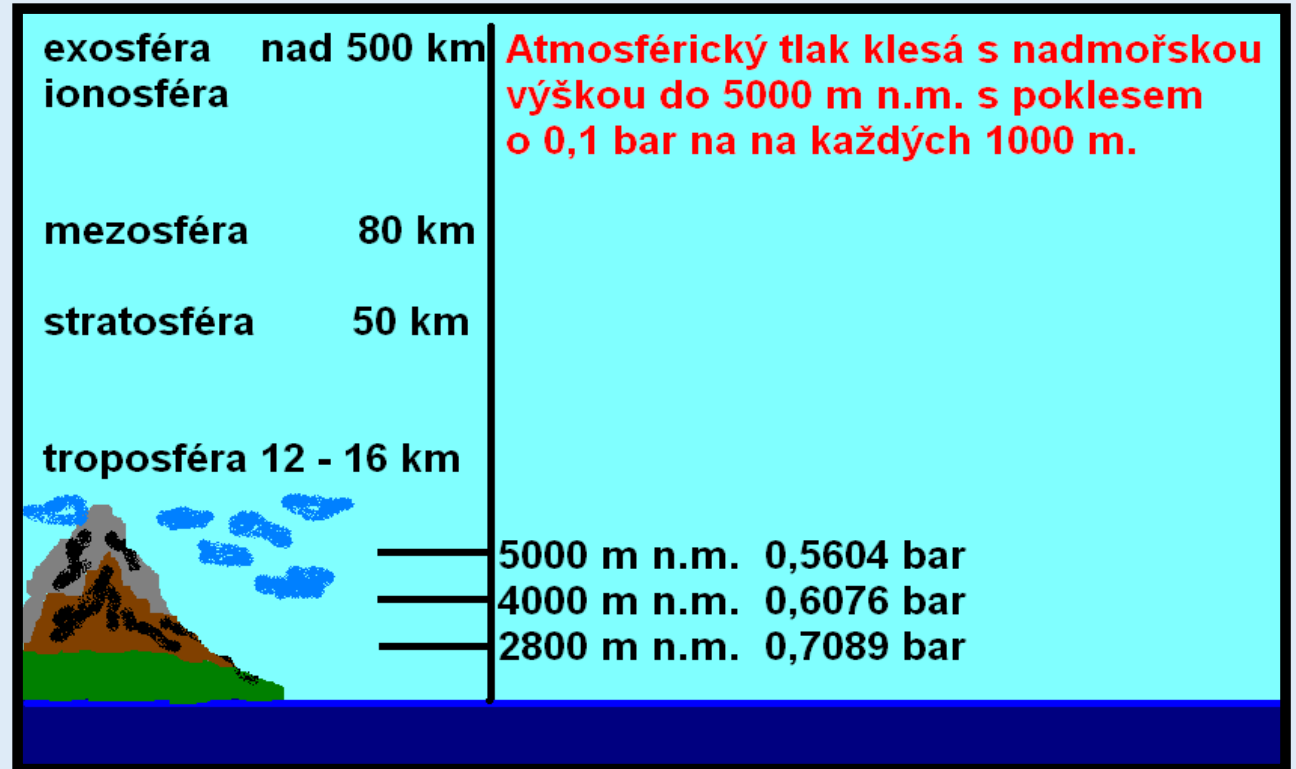
$$1 \text{ MPa} = 1\,000 \text{ kPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$$



# BAROMETRICKÝ TLAK

Barometrický tlak je vyvolán tím, že horní vrstvy vzdušného obalu Země (atmosféry) tlačí na vrstvy nižší. U hladiny moře se obvykle nacházíme v tzv. **normálním barometrickém tlaku** ( $p_a$ ), jehož velikost je asi 100 kPa. Při výstupu do větších nadmořských výšek nebo při letu letadlem (i v jeho přetlakové kabině bývá tlak snižován) se okolní tlak zmenšuje, poněvadž se zmenšuje výška vzduchových vrstev.

$$p_a = 0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 100 \text{ kPa}$$





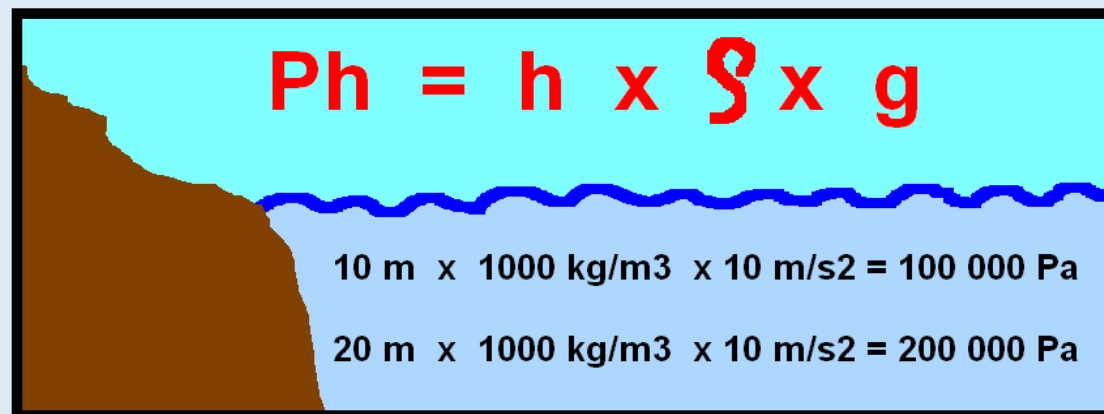
## HYDROSTATICKÝ TLAK

Sestoupíme-li pod vodní hladinu, je nárůst tlaku s hloubkou mnohem větší než jeho změna s výškou ve vzduchu. Je to dáno tím, že vodní vrstvy nad námi jsou podstatně těžší. Voda má přibližně 800krát větší hustotu než vzduch. Při sestupu do hloubky 10 m vzroste okolní tlak o stejnou hodnotu, jako měl na hladině – tedy o další 0,1 MPa.

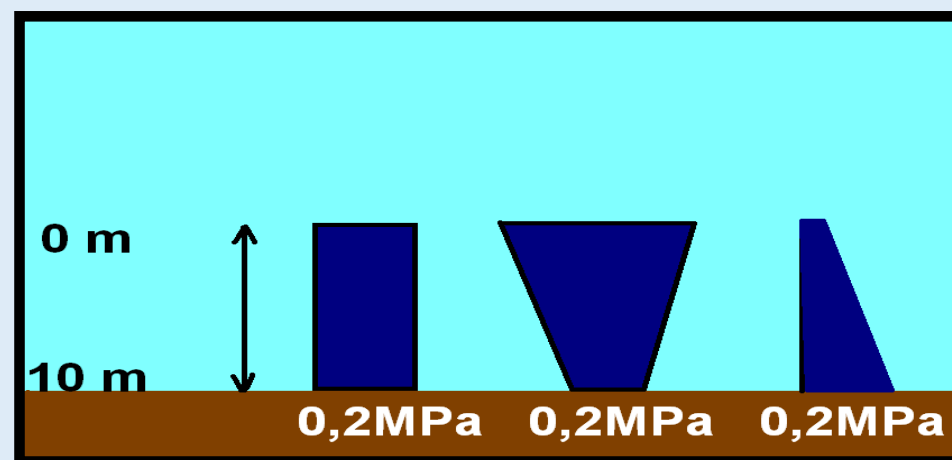
**Přírůstek tlaku ve vodě je přímo úměrný hloubce.**

**Tlak narůstá o 0,01 MPa na každý metr hloubky.**

**Hydrostatický tlak označujeme  $p_h$**



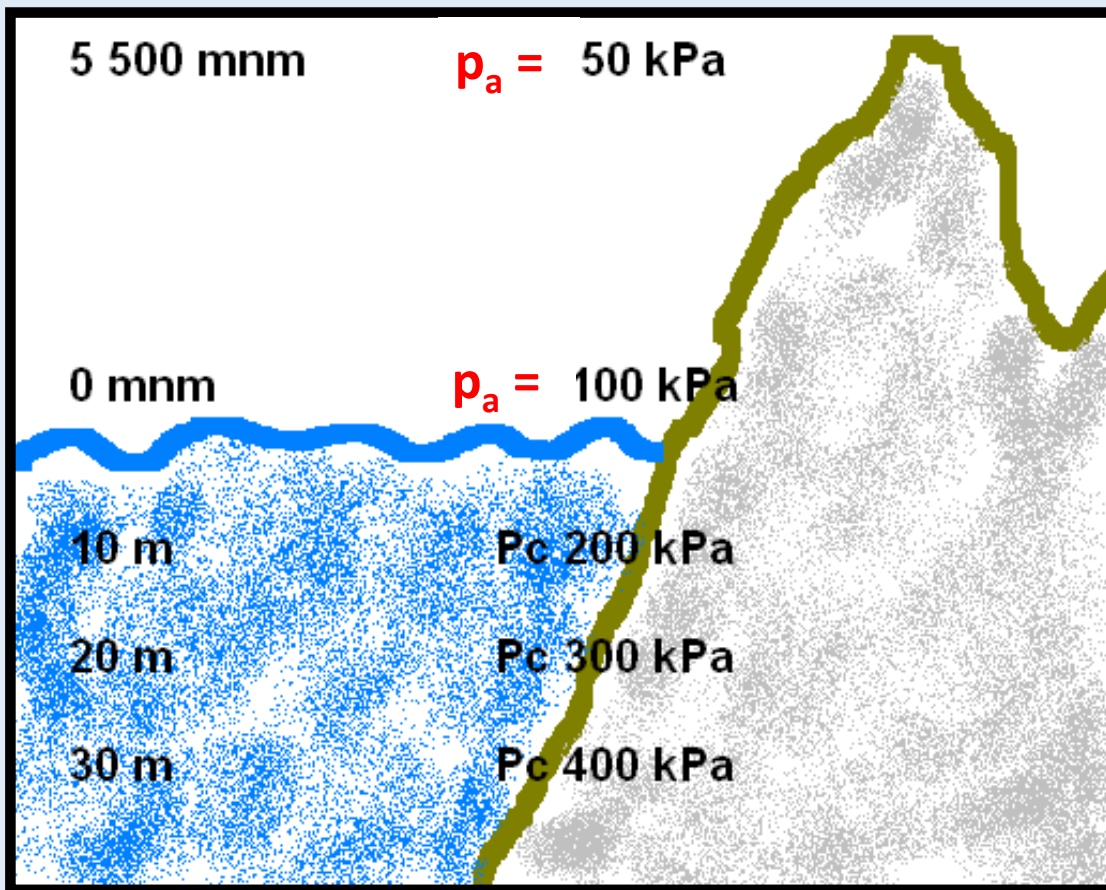
HYDROSTATICKÝ PARADOX







## CELKOVÝ TLAK



$$p_c = p_h + p_a$$

Pokud chceme znát celkový tlak, který v určité hloubce působí na potápěče a jeho výstroj, musíme vzít v úvahu také skutečnost, že k tlaku vyvolanému tíhou vody se přičítá tlak panující na hladině.

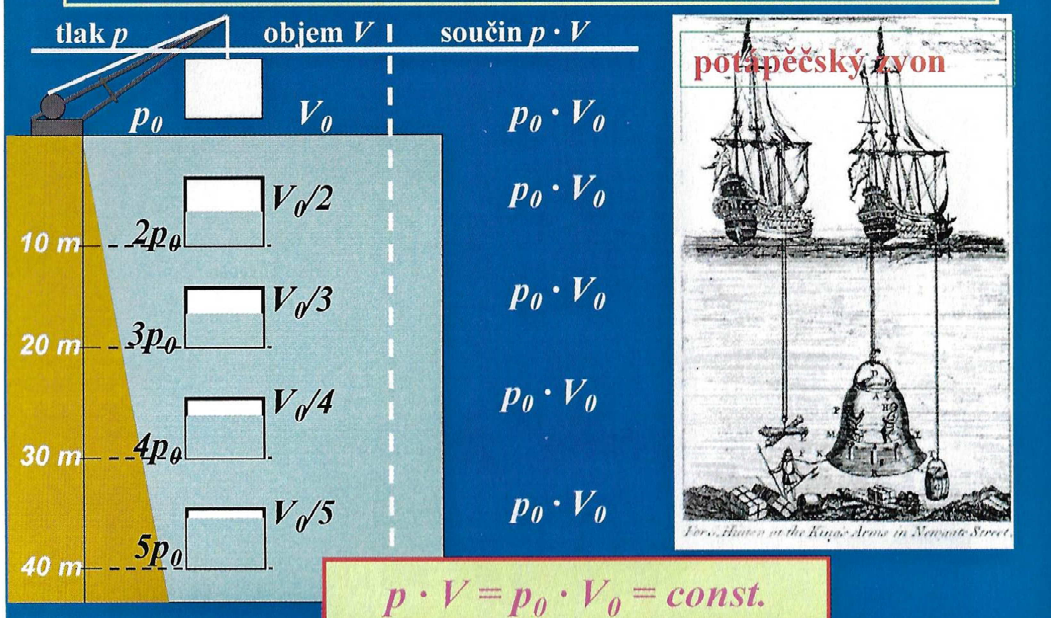
**NA KAŽDÝ METR HLOUBKY VZORSTE TLAK O  $0,01 \text{ MPa} = 10 \text{ kPa} = 0,1 \text{ bar}$**



# Izotermická změna BOYLŮV A MARIOTTŮV ZÁKON

$$P1 \cdot V1 = P2 \cdot V2$$

## Stlačování plynů: Boyleho – Mariottův zákon



Kolikrát se zvětší tlak, tolikrát se zmenší objem

## Teoretická dosažitelná hloubka na nádech

plíce

celkový objem (CO) =  
vitální kapacita VK  
+ zbytkový objem ZO

na hladině

při ponoru

s hloubkou se stlačují

maximální dosažitelná  
hloubka na nádech:

hloubka, ve které  $CO = ZO$  !

hlouběji: barotrauma plic z podtlaku !

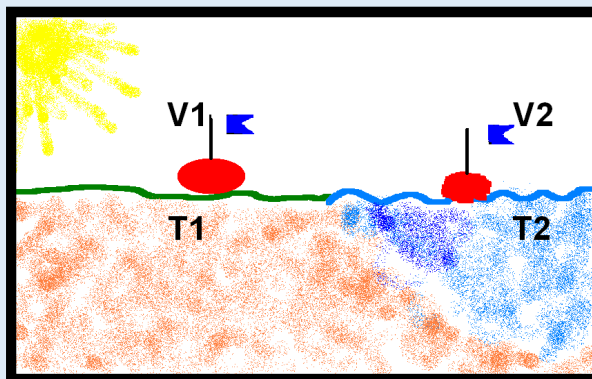
příklad: VK = 4,5 l, ZO = 1,5 l (CO = 6l).

$P_{bmax} = (6 \text{ l} / 1,5 \text{ l} = 4) \cdot p_{atm} = 4 \text{ bary (0,4 MPa)}$ .  $h_{max} = 30 \text{ m}$



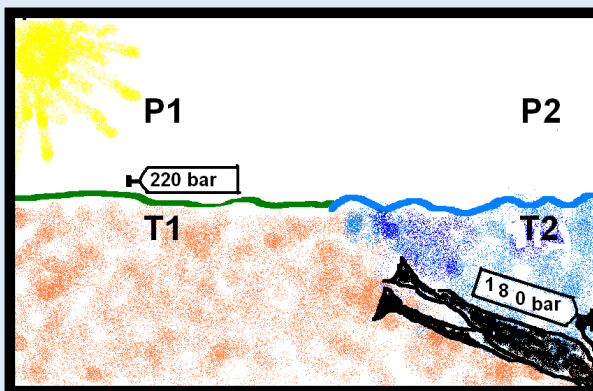
## Izobarická změna Gay – Lucasův zákon

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



## Izochorická změna Charlesův zákon

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



## STAVOVÁ ROVNICE PLYNŮ

(PLATÍ PRO IDEÁLNÍ PLYN)

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

Termodynamická teplota  $T$  ( $^{\circ}\text{K}$ )  
(kelvina)

$$0^{\circ}\text{C} = 273^{\circ}\text{K}$$



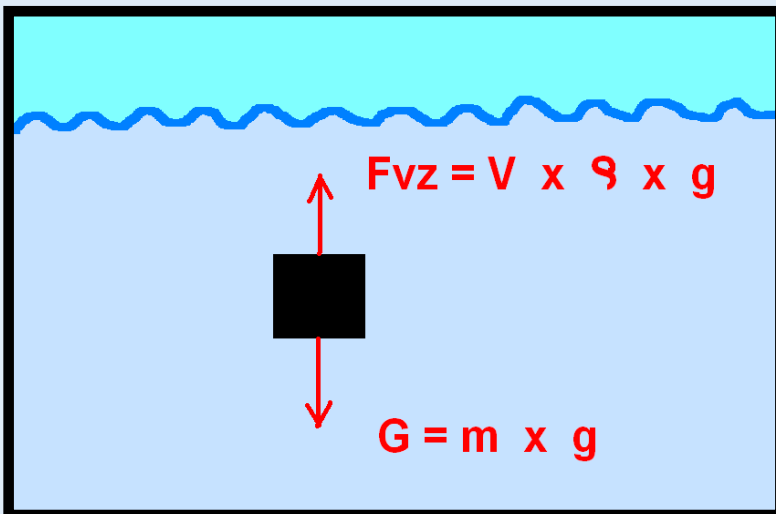
## Archimédův zákon

### (nadlehčování těles v tekutinách)

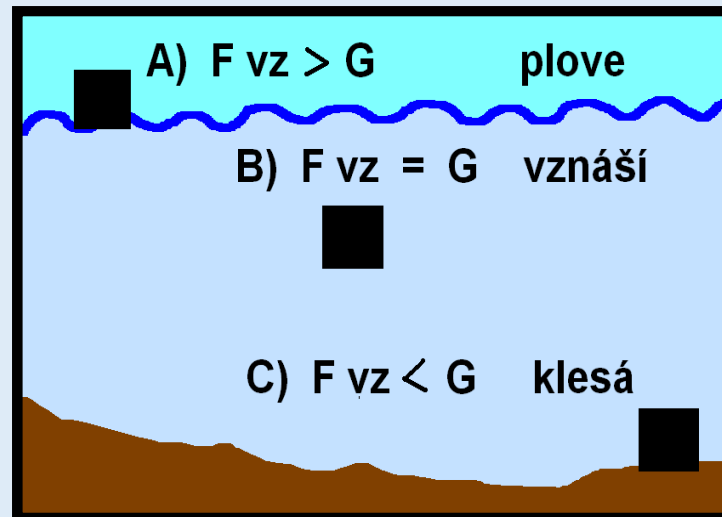
Každé těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jako má ponořené těleso

$$F_{vz} = V \times \rho \times g$$

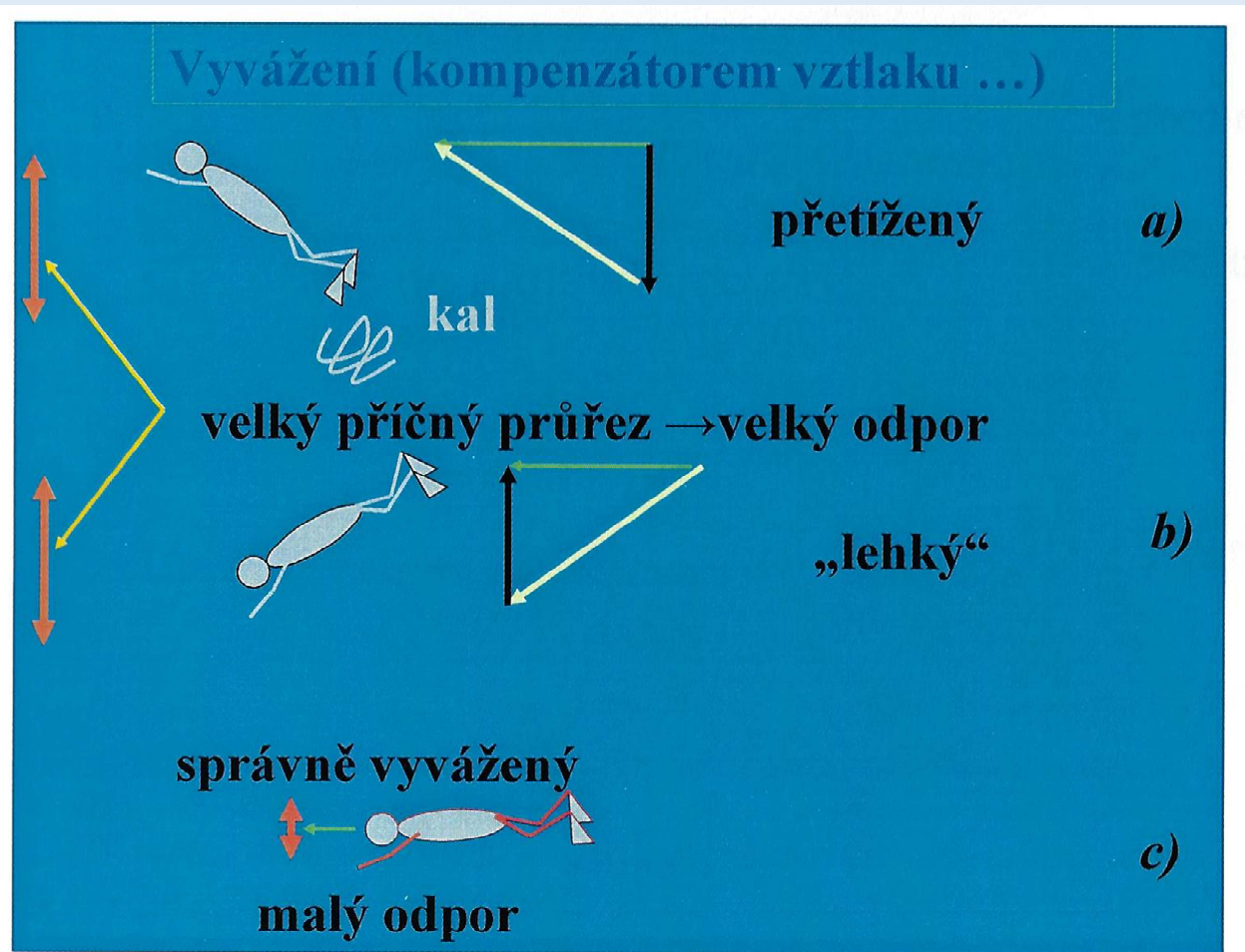
V	objem	m <sup>3</sup>
$\rho$	hustota	kg/m <sup>3</sup>
g	tíhové zrychlení	m/s <sup>2</sup>



Jindřich Holopírek

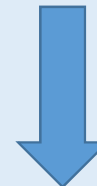


- VYVÁŽENÍ
- 1L vody (1dm<sup>3</sup>) = 1kg
- VYZDVIŽENÍ TĚLES
- ROZDÍL HUSTOTY MOŘSKÉ VODY



## Archimédův zákon

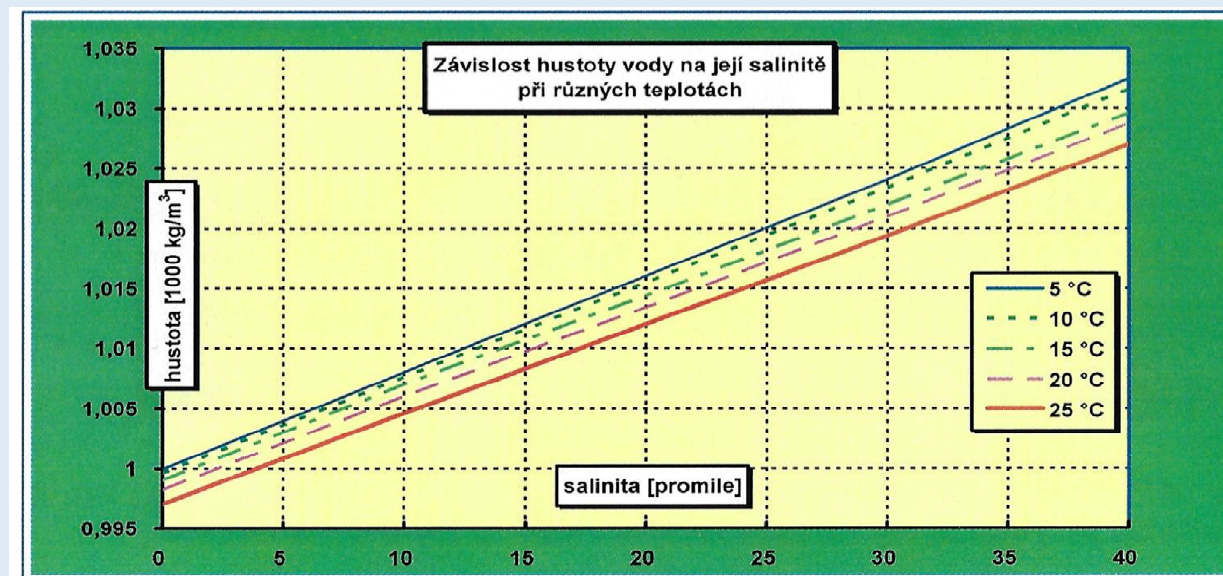
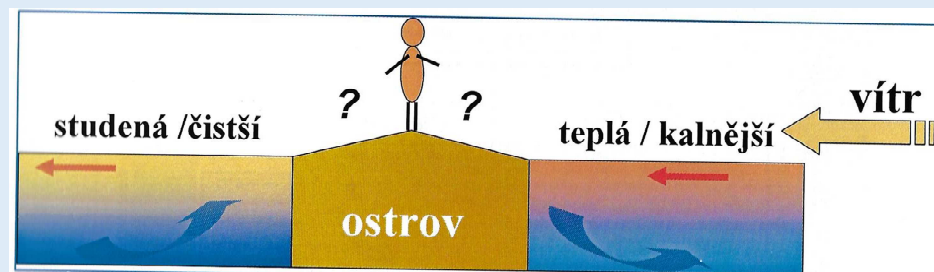
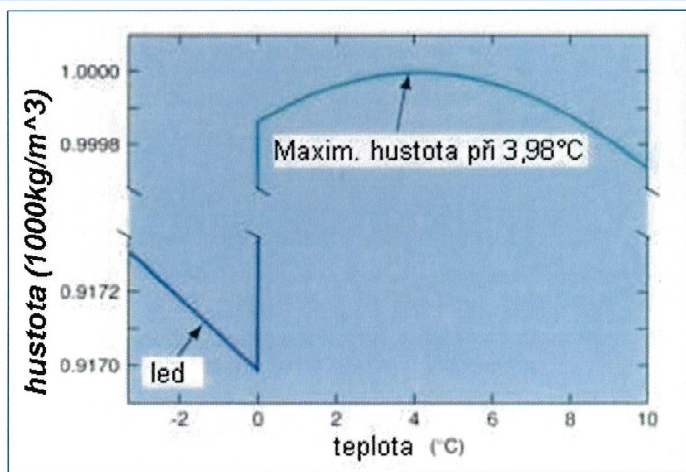
## Vyvážení potápěče



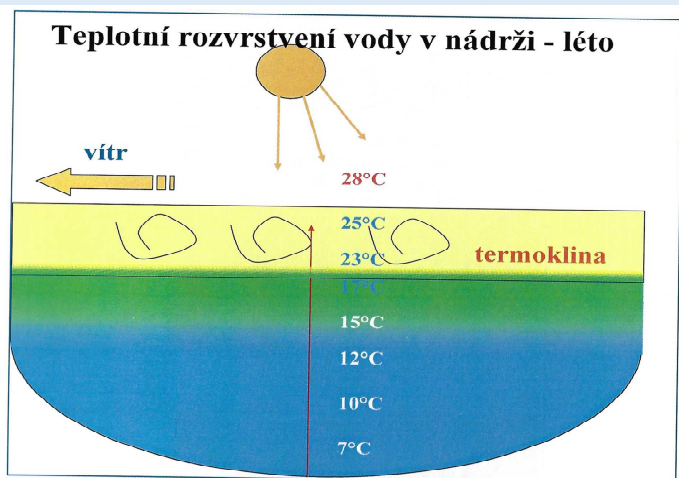
Odpor, zvýšená  
spotřeba



# HUSTOTA – TEPLOTA VODY

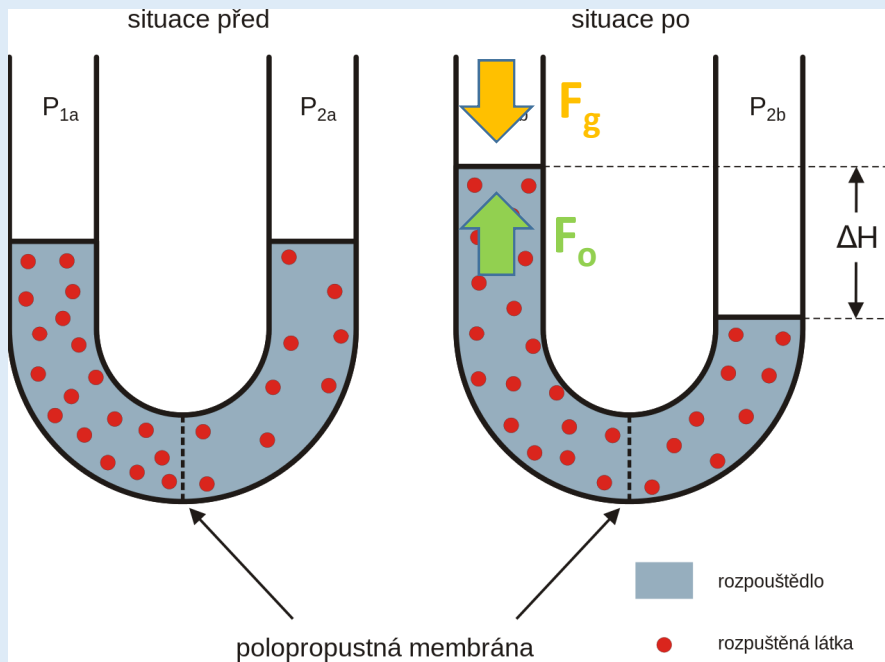


Závislost hustoty mořské vody na její salinitě a teplotě.





# OSMÓZA – OSMOTICKÝ TLAK



Jindřich Holopírek

PŘES POLOPROPUSTNOU MEMRÁNU (TKÁŇ, CELOFÁN) MOHOU PROJÍT JEN MOLEKULY ROZPOUŠTĚDLA - (DIFUZE)

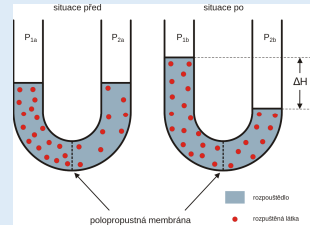
- Z ŘIDČÍHO ROZTOKU  $\Rightarrow$  DO HUSTŠÍHO
- PRO VYROVNÁNÍ KONCENTRACE  $\Rightarrow$  **OSMOTICKÝ TLAK** (funkce chemických vlastností systému)
- PROCES (průchod) SE ZASTAVÍ, KDYŽ ROZDÍL KONCENTRACÍ POKLESNE NATOLIK, ŽE SE **OSMOTICKÁ SÍLA  $F_o$**  VYROVNÁ **SÍLE GRAVITAČNÍ  $F_g$**  (působící v opačném směru)
- ROZOKY MAJÍ SNAHU BÝT ZŘEĐOVÁNY



## PŘÍKLADY UPLATNĚNÍ OSMÓZY:

### POLOPROPUSTNÁ MEMBRÁNA - LIDSKÉ TKÁNĚ

(ROHOVKA OKA, POVRCH PLICNÍCH SKLÍPKŮ, STĚNA STŘEV, ...)



- TĚLESNÉ TEKUTINY (0,9% NaCl)  $\Rightarrow$  H<sub>2</sub>O PROCHÁZÍ TKÁNĚMI – hydratace
- MOŘSKÁ VODA (cca 3%)  $\Rightarrow$  ODEBÍRÁ TEKUTINY Z TĚLA (0,9%) - dehydratace
- OBA PŘÍPADY  $\Rightarrow$  OSMOTICKÝ TLAK PŮSOBÍ NA POVRCH TKÁNÍ  $\Rightarrow$  DRÁŽDĚNÍ AŽ DESTRUKCE
- OKO (rohovka) – MOŘSKÁ VODA – (vysušováno)  $\Rightarrow$  PÁLÍ  
- (V BAZÉNU naopak  $\Rightarrow$  PÁLÍ)
- PITÍ MOŘSKÉ VODY (dehydratace),
- TONUTÍ (mořská / sladká voda)  $\Rightarrow$  PLÍCE  $\Rightarrow$  červ. Krvinky
- RAGBYOVÝ MÍČ NAPUŠTĚN SLANOU VODOU – VE SLADKÉ VODĚ SE NAFOUKNE

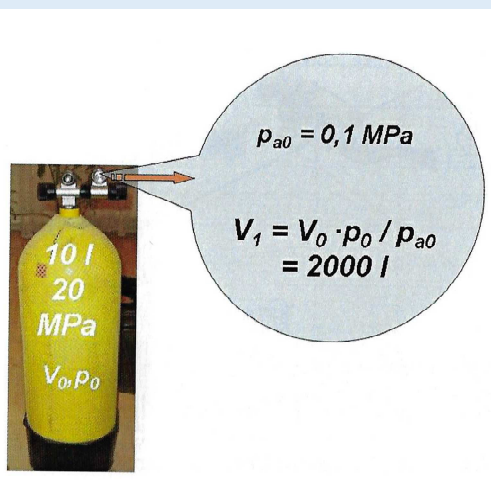




# ZÁSoba VZDUCHU

## OBJEM VZDUCHU V LÁHVI

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$



## SPOTŘEBA

$$S = V/t \text{ (l/min)}$$

Doba ponoru v hloubce

$$t = V/S_h \text{ (min)}$$

## HLADINOVÝ EKVIVALENT

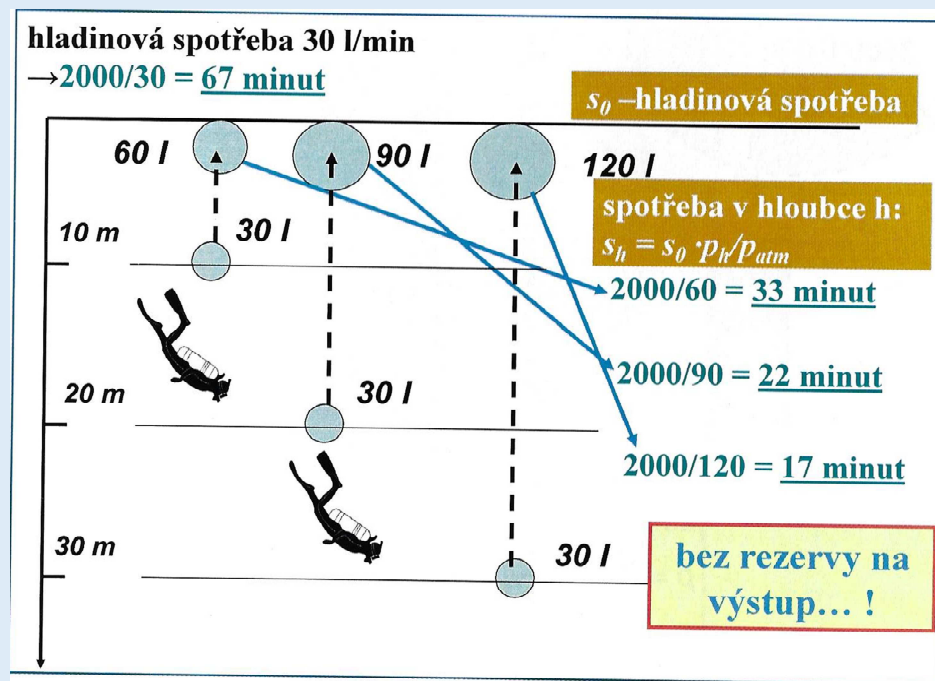
Pro zjednodušení výpočtu

používáme jednotky

Objem  $V$  (litr)

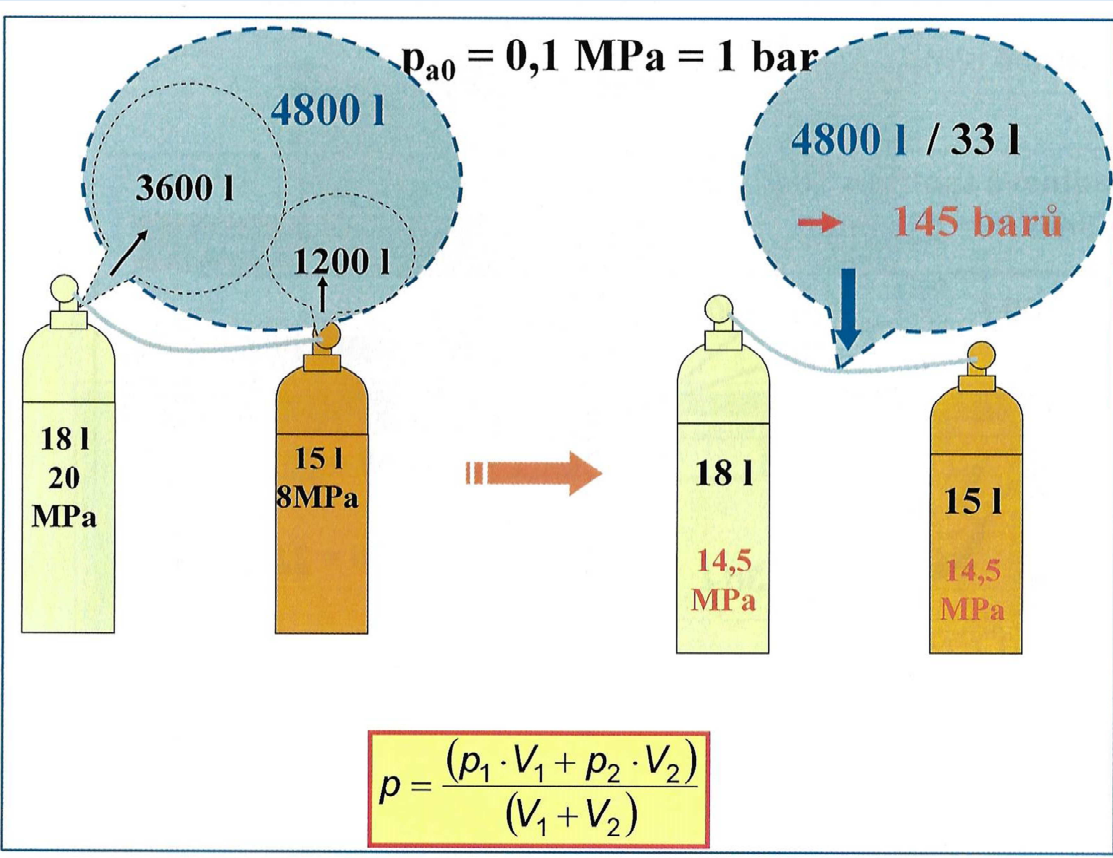
Tlak  $p$  (bar) = 100 kPa

$$\text{SPOTŘEBA V HLOUBCE } S_h = S_0 \cdot (p_c / p_{atm})$$



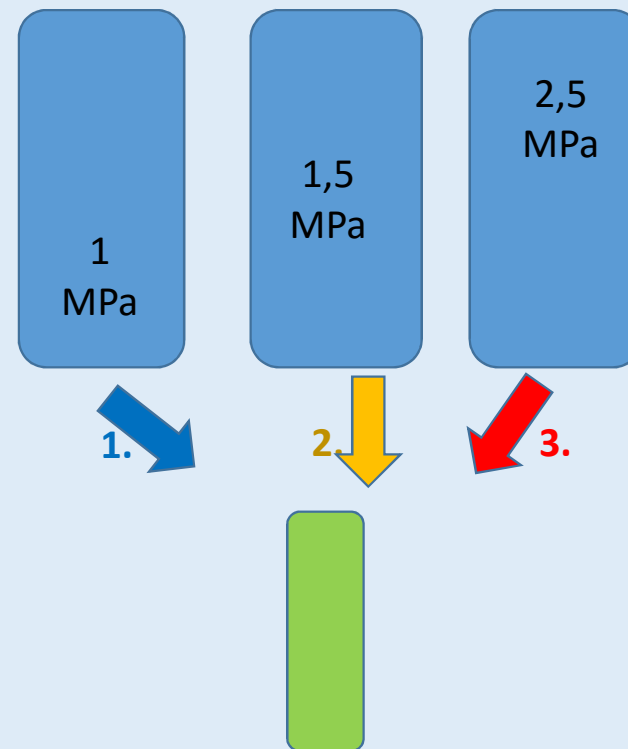


# PŘEPOUŠTĚNÍ PLYNŮ



Jindřich Holopírek

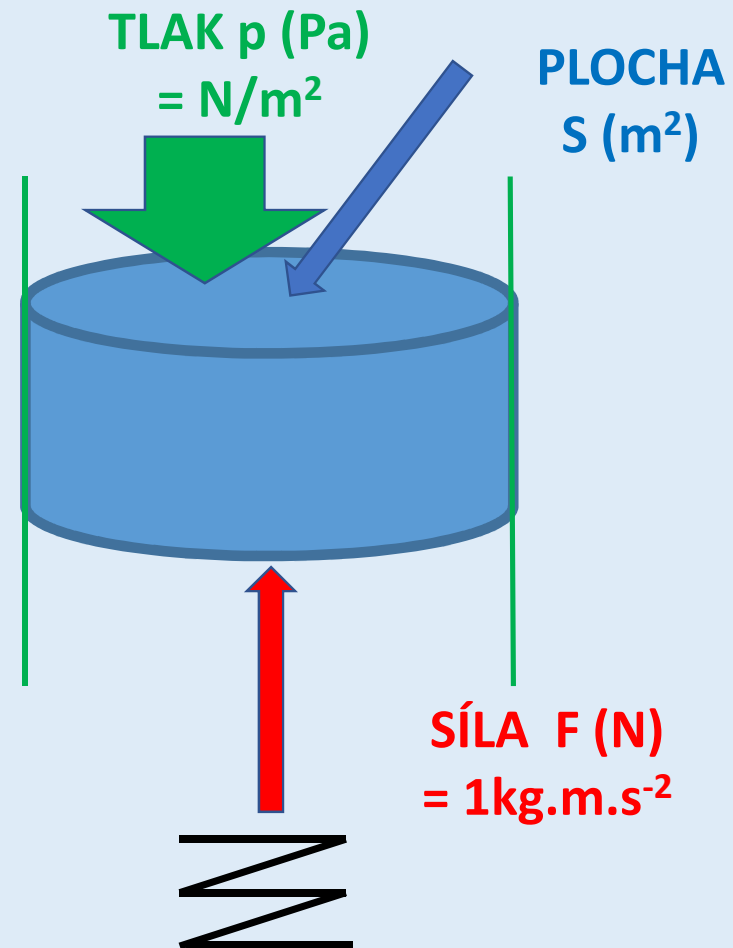
## PŘEPOUŠTĚNÍ Z VÍCE LAHVÍ





$$p = F/S \quad F = p \cdot S$$

- ❑ TLAK PLYNU (KAPALINY) PŮSOBÍ VE VŠECH SMĚRECH STEJNĚ
- ❑ TLAK JE ROVEN SÍLE, KTERÁ PŮSOBÍ NA PLOCHU
- ❑ SÍLA JE ROVNA TLAKU, KTERÝ PŮSOBÍ NA PLOCHU
- ❑ PŮSOBÍ-LI ROZDÍLNÝ TLAK NA STEJNOU PLOCHU V OPAČNÝCH SMĚRECH JE SÍLA DÁNA ROZDÍLEM TLAKŮ NA TUTO PLOCHU





## PŘÍKLADY

Potápěčská kabina v hloubce 60 m, uvnitř tlak atmosférický. Jaká síla působí na víko o ploše  $1 \text{ m}^2$  ?

**ŘEŠENÍ:**

TLAK ATMOSFÉRICKÝ

$$p_{\text{atm}} = 100 \text{ kPa}$$

TLAK V HLOUBCE 60m

$$p_c = 700 \text{ kPa}$$

TLAKOVÝ ROZDÍL  $\Delta p = p_c - p_{\text{atm}} = 600 \text{ kPa} = 600\,000 \text{ Pa}$

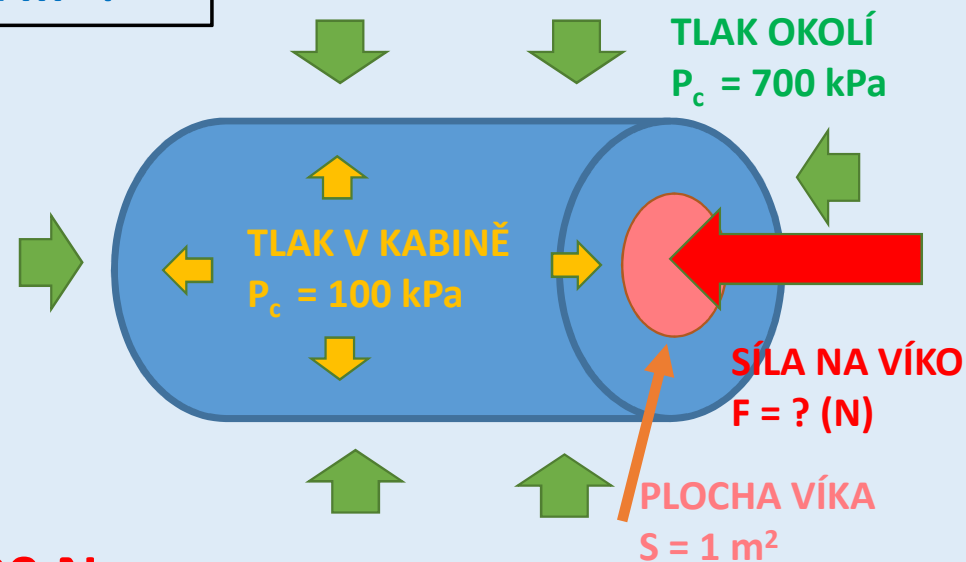
PLOCHA

$$S = 1 \text{ m}^2$$

**SÍLA NA VÍKO F**

$$= S \cdot \Delta p$$

$$= 1 \cdot 600\,000 = 600\,000 \text{ N}$$





## PŘÍKLADY

**JAK VELKÁ MUSÍ BÝT PŘIBLIŽNĚ SÍLA ŘÍDÍCÍ PRUŽINY VYVÁŽENÉHO 1. STUPNĚ PLICNÍ AUTOMATIKY ABY POD MEMBRÁNOU O PRŮMĚRU 40 mm VZNIKL STŘEDOTLAK O PŘETLAKU 1 MPa ?**

**ŘEŠENÍ:**

**TLAK NA MEMBRÁNU**  $p_c = 1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$

**PRŮMĚR MEMBRÁNY**  $D = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$

**PLOCHA MEMBRÁNY**  $S = \pi \cdot (D/2)^2 = \pi \cdot 0,02^2$   
 $S = 0,001257 \text{ m}^2$

**SÍLA PRUŽINY**  $F = S \cdot p_c = 1\,000\,000 \cdot 0,001\,256$   
 $= 1\,257 \text{ N}$

**ŘEŠENÍ bez kalkulačky:**

**Tlak 1MPa na plochu  $S=1\text{mm}^2$  vyvolá sílu 1N**

**TLAK NA MEMBRÁNU**  $p_c = 1 \text{ MPa}$

**PRŮMĚR MEMBRÁNY**  $D = 40 \text{ mm}$

**PLOCHA MEMBRÁNY**  $S = \pi \cdot (D/2)^2$

$$= 3,14 \cdot 20^2$$

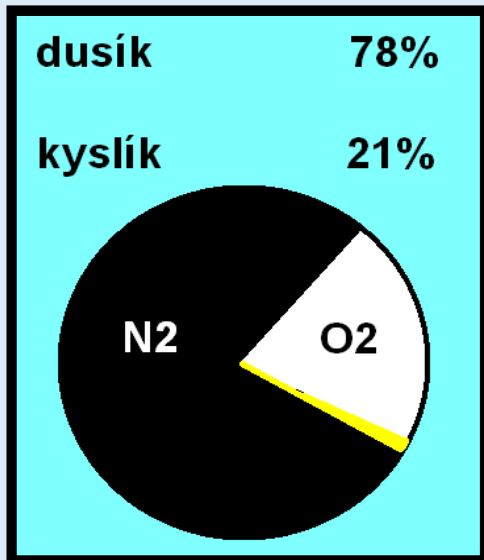
$$= 3,14 \cdot 400$$

$$S = 1256 \text{ mm}^2$$

**SÍLA PRUŽINY**  $F = S \cdot p_c$   
 $= 1 \cdot 1256 = 1\,256 \text{ N}$



## SLOŽENÍ VZDUCHU (%)



Kyslík O<sub>2</sub> 21%

Dusík N<sub>2</sub> 78%

Zbývající 1%

Vodní páry

Vzácné plyny (Ar, Ne)

Oxid uhličitý CO<sub>2</sub> 0,03%

Jindřich Holopírek

## Daltonův zákon

$$P_i = P \times \frac{X_{vi}\%}{100}$$

$P_i$  je parciální tlak  $i$ -té složky  
 $P$  je celkový tlak směsi  
 $X_{vi}\%$  je objemová koncentrace  
 $i$ -té složky

Ve směsi plynů, které spolu chemicky nereagují, se každá z plyných složek chová tak, jakoby daný objem zaujímal sama a řídí se svou stavovou rovnicí.

Přitom se celkový tlak směsi rovná součtu parciálních (dílčích) tlaků všech složek směsi.



$$P_i = P \times \frac{X_{vi}\%}{100}$$

## Daltonův zákon - příklad

Stanovte parciální tlaky  $O_2$  (21%) a  $N_2$  (78%) na hladině a v hloubce 20m

Tlak na hladině

$$p = 100 \text{ kPa} = 100\%$$

Objemová koncentrace

$$O_2 = 21\%, N_2 = 78\%$$

Parciální tlaky na hladině:

$$p_{O_2} = 100 \times 21/100 = 21 \text{ kPa}$$

$$p_{N_2} = 100 \times 78/100 = 78 \text{ kPa}$$

**Tlak v hloubce 20m**

$$p = 300 \text{ kPa} = 100\%$$

**Objemová koncentrace**

$$O_2 = 21\%, N_2 = 78\%$$

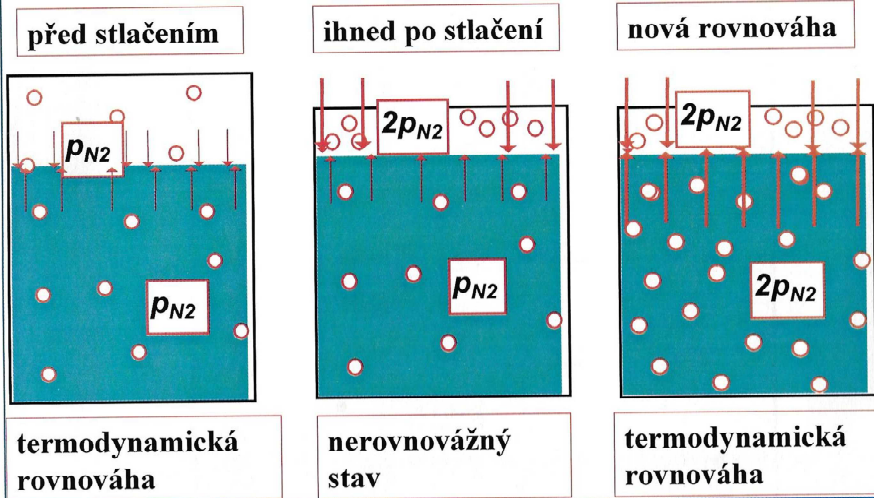
**Parciální tlaky ve 20m:**

$$p_{O_2} = 300 \times 21/100 = 63 \text{ kPa}$$

$$p_{N_2} = 300 \times 78/100 = 234 \text{ kPa}$$



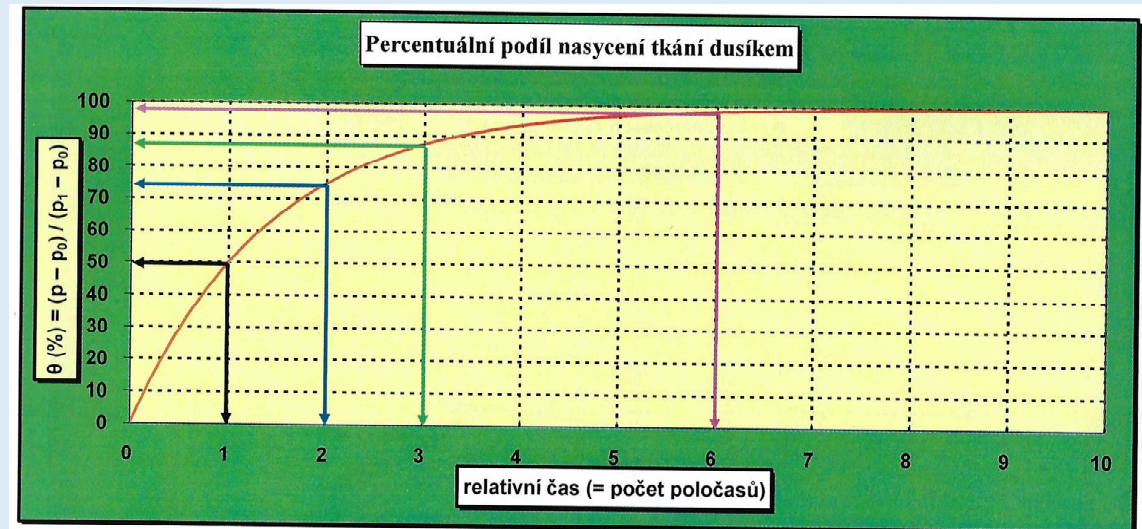
## Rozpouštění plynů v kapalinách



**KOLIKRÁT SE ZVĚTŠÍ PARCIÁLNÍ TLAK PLYNU NAD KAPALINOU OPRRTI PŮVODNÍMU, TOLIKRÁT VÍCE PLYNU SE MŮŽE V KAPALINĚ ROZPUSTIT (OPROTI PŮVODNÍMU MNOŽSTVÍ)**

## ROZPOUŠTĚNÍ PLYNŮ V KAPALINÁCH

- ZÁVISÍ:**
- parciálním tlaku
  - druhu kapaliny a plynu
  - teplotě
  - času (poločas syčení)







## ROZPOUŠTĚNÍ PLYNŮ V KAPALINÁCH - PŘÍKLAD

Stanovte parciální tlaky  $N_2$  v hloubce 40m pro 1 a 2 poločase sycení

$N_2$  hladina  $> p_0 = 78$  kPa,  $N_2$  40m  $> p_{40} = (5.78) = 390$  kPa,

1. **Poločas sycení:** (parciální tlak vzroste o 50% původního rozdílu)

$$\text{rozdíl } (p_{40} - p_0) = 390 - 78 = 312$$

$$\text{nárůst} = 0,5 \cdot (p_{40} - p_0) = 0,5 \cdot 312 = 156$$

$$\text{celkem po prvním poločase sycení: } p_1 = p_0 + \text{nárůst} = 78 + 156 = 234 \text{ kPa}$$

2. **Poločas sycení:** (parciální tlak vzroste o 50% rozdílu po 1. poločase sycení)

$$\text{rozdíl } (p_{40} - p_1) = 390 - 234 = 156$$

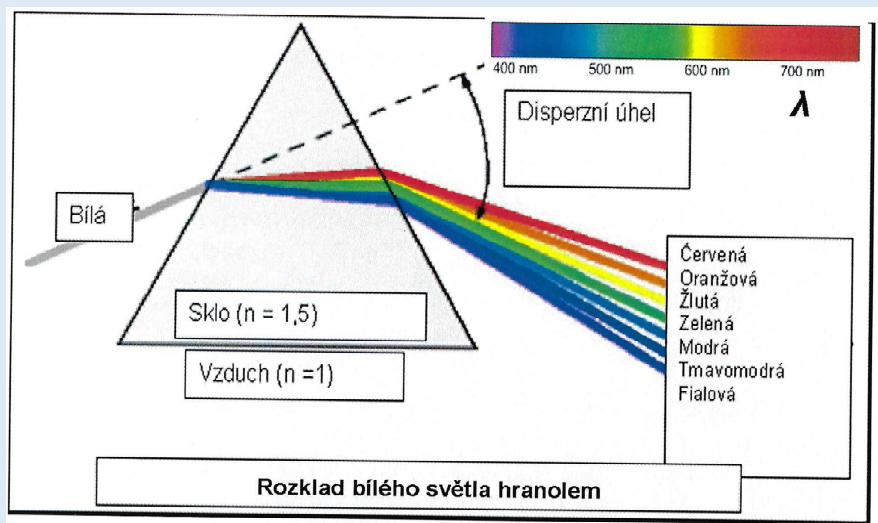
$$\text{nárůst} = 0,5 \cdot (p_{40} - p_1) = 0,5 \cdot 156 = 78$$

$$\text{celkem po druhém poločase sycení: } p_2 = p_1 + \text{nárůst} = 234 + 78 = 312 \text{ kPa}$$



## OPTIKA

## SVĚTLO

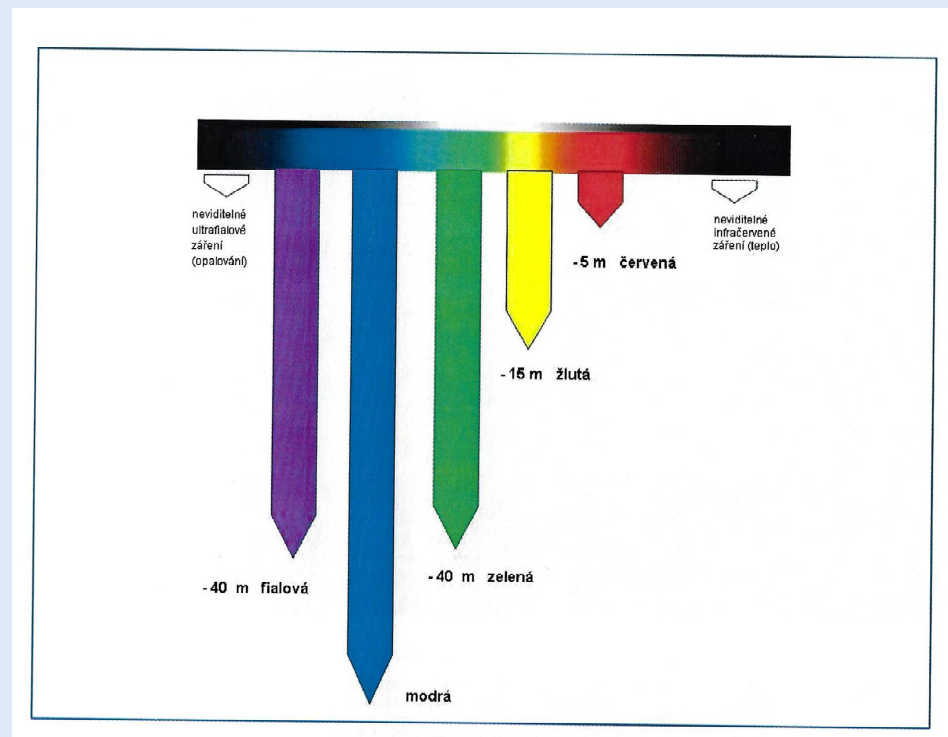
ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ – DÉLKA  $\lambda$ 

$\lambda = 380 - 800 \text{ nm}$  – VIDITELNÉ SPEKTRUM

$\lambda = < 380 \text{ nm}$  – UV ZÁŘENÍ (opalování)

$\lambda = > 800 \text{ nm}$  – IR ZÁŘENÍ (sálavé teplo)

## SVĚTLO VE VODĚ

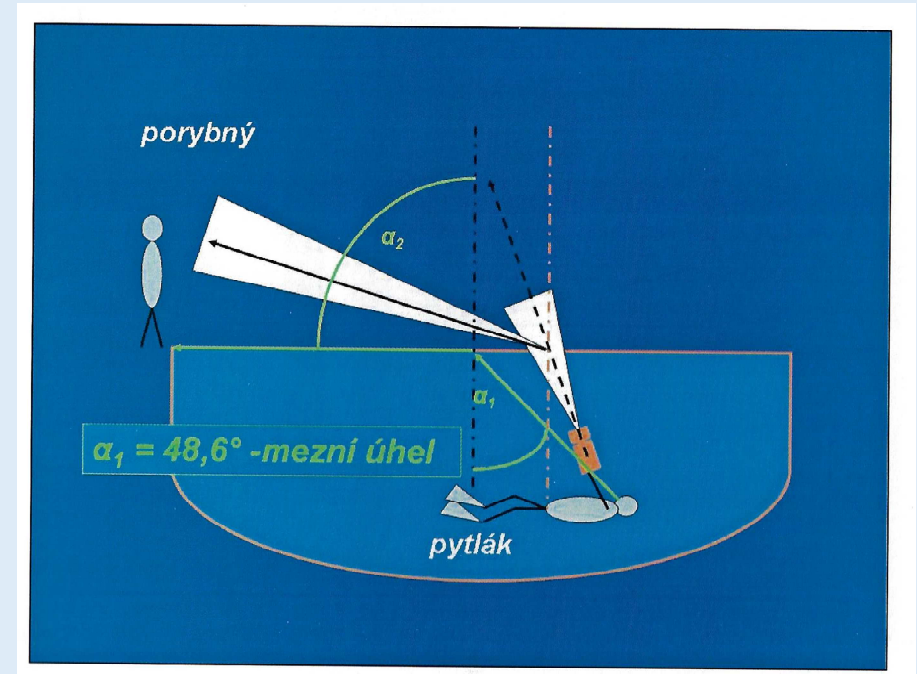
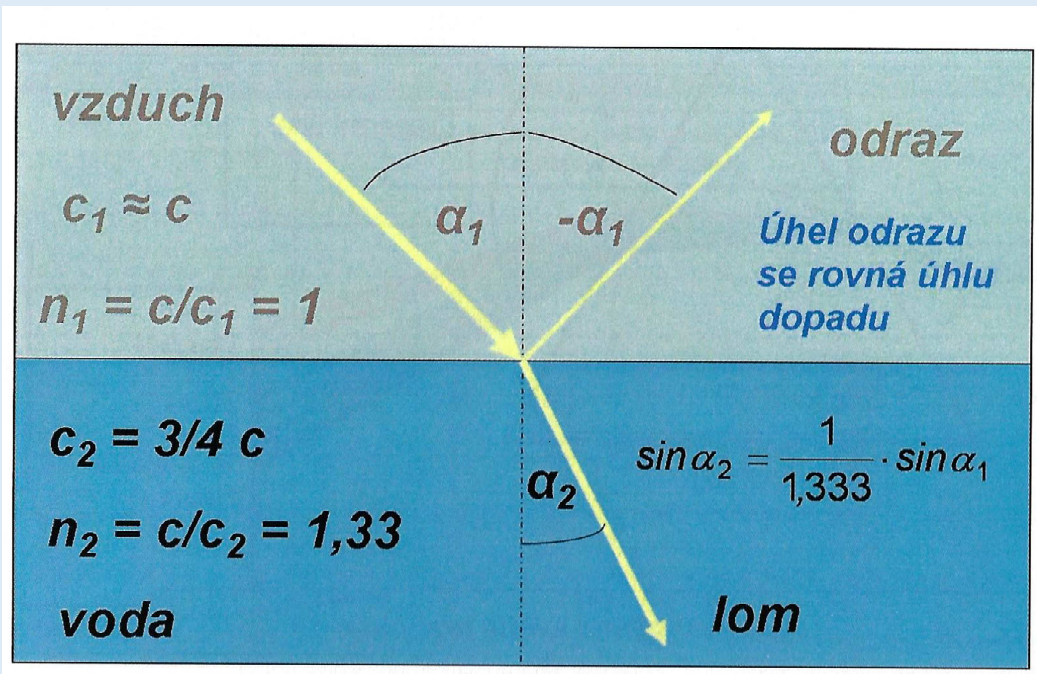


Rychlost světla:  $c_0$  = vakuum - 300 000 km/s

$c_{\text{H}_2\text{O}}$  = voda - 225 000 km/s ( $3/4 c_0$ )



# LOM SVĚTLA

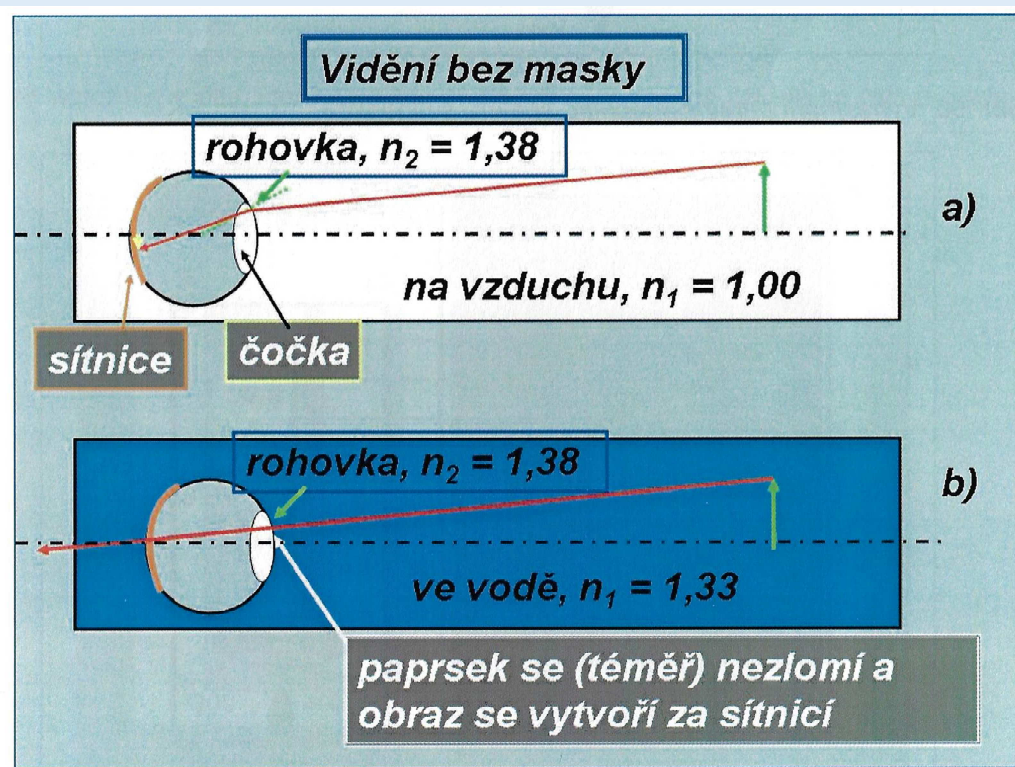


Řidčí → Hustší => lom ke kolmici

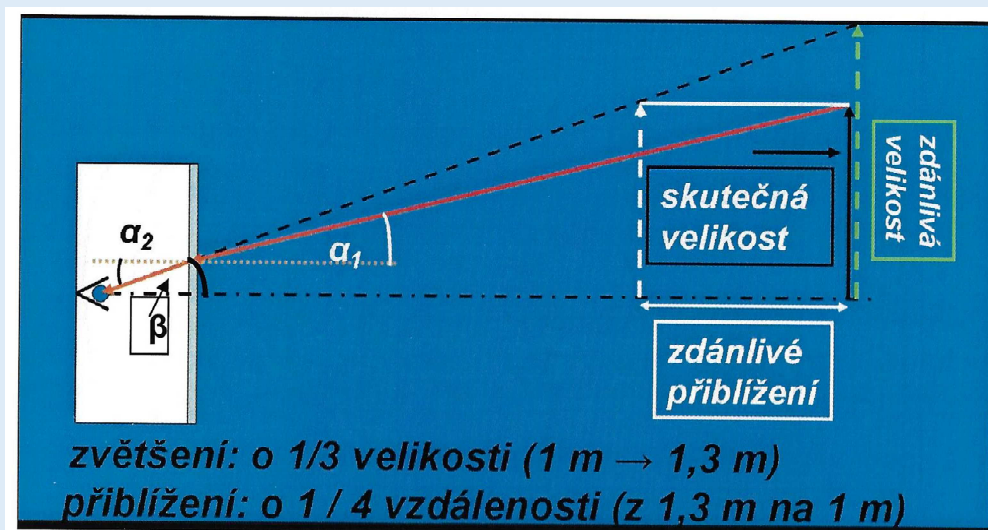
Hustší → Řidčí => lom od kolmice



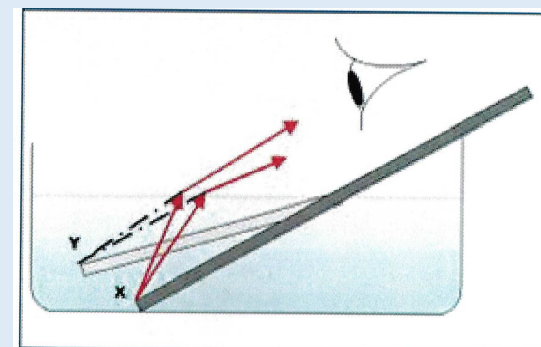
# LOM SVĚTLA



## VIDĚNÍ S MASKOU VE VODĚ



## ZDÁNLIVÁ POLOHA





**CMAS**  
**FYZIKA P3 – OPTIKA**





**CMAS**  
**FYZIKA P3 – OPTIKA**

