

Mechanika tekutin





STAROVĚCÍ VYNÁLEZCI

GÉNIOVÉ, KTEŘÍ POROZUMĚLI VODĚ, VZDUCHU A SÍLE PŘÍRODY

ARCHIMEDES ZE SYRAKÚZ

(287–212 př. n. l.)

Matematik, fyzik a inženýr. Jeho objevy položily základy mechaniky tekutin a inspirovaly generace vědců.

- Archimédův zákon (vztlkavá síla)
- zákon páky
- metody výpočtu objemů
- Archimédův šroub – čerpání vody
- obranné stroje Syrakúz

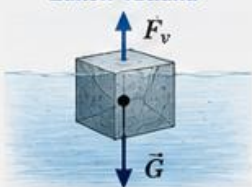
„HEURÉKA!“
(NAŠEL JSEM!)

Zjistil, že těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou rovnou tíze kapaliny, kterou těleso vytlačí.

Archimédův šroub

Zařízení k čerpání vody do vyšší úrovně.

Zákon vztlatu



$$F_v = \rho_k g V$$

ρ_k ... hustota kapaliny
 g ... tíhové zrychlení
 V ... objem ponořené části tělesa

„Dejte mi pevný bod ve vesmíru a pohnu Zemí.“

CTESIBIUS Z ALEXANDRIE

(3. století př. n. l.)

Inženýr a vynálezce, přezdívaný „otec pneumatky a hydrauliky“. Jeho nápady byly před svou dobou o tisíce let.

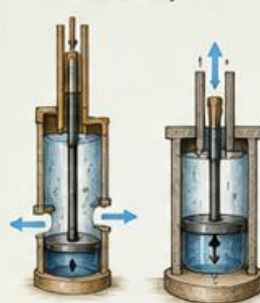
- vodní hodiny (klepsydra)
- pístová čerpadla a lis
- hydraulické stroje
- studium tlaku vzduchu
- potrubní systémy a ventily

Vodní hodiny



Přesné měření času odtokem vody.

Pístové čerpadlo



Voda je nasávána pohybem pístu a vytlačována ventilem.

Pneumatické zařízení



Ctesibius zkoumal, jak lze stlačený vzduch využít k pohybu mechanismů.

HERO ALEXANDRIJSKÝ

(1. století n. l.)

Matematik, fyzik a konstruktér. Sestrojil úžasné automaty, které ohromovaly návštěvníky chrámů a paláců.

Automat na svícenou vodu

Po vhození mince se uvolnil ventil a odměřené množství vody vytékalo do nádoby.



- 1 mince
- 2 páka uvolní ventil
- 3 voda poteče po určitou dobu
- 4 ventil se uzavře

Automatické dveře chrámu

Po zapálení ohně na oltáři se zahřál vzduch v uzavřené nádobě. Tlak vzduchu vytlačil vodu, která pomocí kladek nadzvedla závaží a otevřela dveře. Po vyhasnutí ohně se systém vrátil do původního stavu a dveře se zavřely.



Aeolipila – první parní turbína

Vodní pára unikala z ohnutých trubic a otáčela kouli. První známý tepelný motor v historii lidstva.



CO TYTO VYNÁLEZY UKAZUJÍ?

Voda a vzduch mohou přenášet síly.

Tlak, vztlak a proudění lze využít k práci.

Starověcí inženýři byli mistři praktických řešení.



ODKAZ PRO BUDOUCNOST

Jejich nápady jsou základem dnešní techniky – od vodních čerpadel, ventilů a parních strojů až po automatizaci a robotiku.



Archimedes

(287–212 př. n. l.)

Pochopil zákony přírody a využil je k praktickým účelům.

Ctesibius

(3. století př. n. l.)

Zkonstruoval první hydraulické a pneumatické stroje.

Hero Alexandrijský

(1. století n. l.)

Spojil fyziku, matematiku a mechaniku do úžasných automatů.

OD LEONARDA PO BERNOULLIHO

Vývoj poznání o kapalinách a plynech od renesance po osvícenství

1. LEONARDO DA VINCI 1452–1519



Renaissance – spojení umění, pozorování a vědy.

Studoval proudění vody

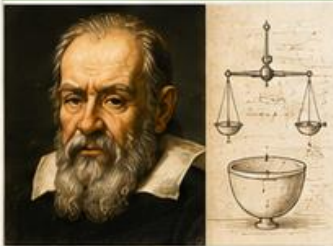
- víry, turbulence, vlny
- pohyb řek a proudění kolem překážek
- návrhy vodních strojů, čerpadel, kanálů a přehrad

Jeho kresby ukazují překvapivě moderní pochopení proudění.



1500

2. GALILEO GALILEI 1564–1642



Zakladatel moderní mechaniky. Zabýval se i vlastnostmi kapalin.

Přínosy pro mechaniku tekutin

- studoval hustotu a vztlak
- zkoumal rovnováhu těles v kapalinách
- uvažoval o tlaku a jeho přenosu
- pokusy s vytékáním vody a rychlostí proudění



1600

3. EVANGELISTA TORRICELLI 1608–1647



Žák Galileje, jeho experimenty změnily naše chápání atmosféry.

Vynálezy a objevy

- rtuťový barometr (1643)
- důkaz existence atmosférického tlaku
- ukázal, že „příroda se děsí vakua“
- formuloval zákon o výtoku kapalin

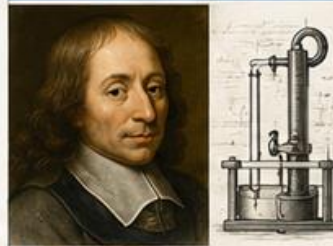
Rtuťový barometr

Atmosférický tlak udrží sloupec rtuti vysoký asi 76 cm.



1650

4. BLAISE PASCAL 1623–1662



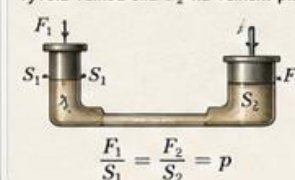
Matematik, fyzik a vynálezce. Objevy ovlivnily techniku i vědu.

Zákon a vynálezy

- Pascalův zákon (1647): tlak působící na kapalinu se přenáší všemi směry stejně
- hydraulický lis
- studoval tlak v kapalinách a působení atmosféry

Hydraulický lis

Malá síla F_1 na malém pístu vyvolá velkou sílu F_2 na velkém pístu.



1650–1660

5. OTTO VON GUERICKE 1602–1686



Starosta Magdeburku, vynálezce a průkopník experimentální fyziky.

Slavný pokus – Magdeburské polokoule

Po vyčerpání vzduchu uvnitř polokoulí je atmosférický tlak držel pevně u sebe.



Význam pokusu

Přesvědčivě dokázal existenci a sílu atmosférického tlaku. Otevřel cestu k dalšímu výzkumu vlastností plynů.

1650–1680

6. DANIEL BERNOULLI 1700–1782



Matematik a fyzik, jeden z největších průkopníků hydrodynamiky.

Bernoulliho rovnice (1738)

Základní zákon pro proudění ideální (nestlačitelné, neviskózní) kapaliny podél proudnice.

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{konst.}$$

kde

p ... tlak [Pa]

ρ ... hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

v ... rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

h ... výška nad referenční rovinou [m]

g ... tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

1700+

SPOJENÁ CESTA POZNÁNÍ

Od pozorování přírody a důmyslných strojů Leonarda da Vincí, přes fyzikální experimenty Galileje a revoluční objevy Torricelliho, po zákony tlaku Pascala, přesvědčivé pokusy Guericke až k matematickému popisu proudění u Daniela Bernoulliho.

Tato cesta položila základy moderní mechaniky tekutin a technických vynálezů.

Pozorování přírody



První experimenty



Atmosférický tlak



Zákony tlaku



Experiment a důkaz



Matematika proudění

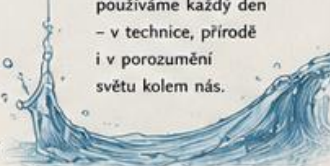


DĚDICTVÍ PRO SOUČASNOST



- lodě a ponorky
- letadla a turbíny
- hydraulické stroje
- přehrady a vodní elektrárny
- meteorologie a klimatologie
- lékařství a biologické proudění

Principy, které tito velcí myslitelé objevili, používáme každý den – v technice, přírodě i v porozumění světu kolem nás.



1. Vlastnosti kapalin a plynů.

VLASTNOSTI KAPALIN A PLYNŮ

Tekutiny kolem nás

HYDROSTATIKA

Tekutiny v klidu

HYDRODYNAMIKA

Proudící kapaliny

AERODYNAMIKA

Proudění plynů

KAPALINY

STÁLÝ OBJEM

Kapaliny mají stálý objem.
Stejně množství vody
nezávisí na tvaru nádoby.



VOLNÁ HLADINA

Hladina kapaliny je vždy vodorovná,
nezávisle na náklonu nádoby.



VISKOZITA

Viskozita je mírou vnitřního tření kapaliny.

VODA

OLEJ

MED



nízká viskozita
(řidká)

vysoká viskozita
(hustá)

POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

Povrch kapaliny se chová
jako pružná blána.



KAPILÁRNÍ JEVY

Kapilární elevace
(voda)

Kapilární deprese
(rtuť)



IDEÁLNÍ KAPALINA – model

- ✓ nestlačitelná (objem je stálý)
- ✓ bez viskozity (žádné vnitřní tření)
- ✓ bez disipace energie
- ✓ neexistuje povrchové napětí
- ✓ model používaný ve fyzice pro zjednodušení úloh

PLYNY

NEMAJÍ STÁLÝ TVAR

Plyn zaujme tvar nádoby.



NEMAJÍ STÁLÝ OBJEM

Objem lze měnit
stlačením nebo
roztážením.



JSOU STLAČITELNÉ

Plyny lze výrazně
stlačit.



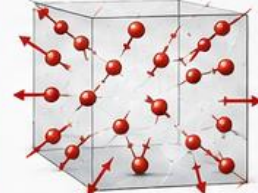
DIFUZE

Molekuly plynů se
samovolně mísí.



TLAK PŮSOBÍ VŠEMI SMĚRY

Molekuly narážejí do stěn
nádoby ve všech směrech.



IDEÁLNÍ PLYN – model



- ✓ zanedbatelný objem molekul
- ✓ žádné vzájemné síly mezi molekulami
- ✓ dokonalé pružné srážky
- ✓ model používaný ve fyzice

KDY SE REÁLNĚMU PLYNU BLÍŽÍ IDEÁLNÍ PLYN?



NÍZKÝ TLAK

Molekuly jsou
od sebe daleko.



VYSOKÁ TEPLOTA

Molekuly se pohybují
rychle a interakce jsou
zanedbatelné.



VELKÝ OBJEM

Objem je velký
ve srovnání s objemem
molekul.

PŘÍKLADY: vzduch v učebně, atmosféra Země, vzácné plyny

ZAJÍMAVOSTI Z KAPALIN A PLYNŮ

PITCH DROP EXPERIMENT

Nejviskoznější známý experiment.



Asfaltová směs v trychtýři.

Od roku 1927 odpadla
pouze několik kapek –
jedna kapka přibližně
za 10 let!

VODOMĚRKA

Chodí po vodě díky
povrchovému napětí.



KAPILARITA V PŘÍRODĚ

Voda stoupá v tenkých cévách rostlin
proti gravitaci až do výšky desítek metrů.



ATMOSFÉRA ZEMĚ

Největší „nádobu s plynem“, kterou známe.



Kapaliny i plyny se řídí stejnými fyzikálními zákony.
Rozdíl je v jejich vlastnostech – a v tom, jak se pohybují.

2. Tlak v tekutinách.

BLAISE PASCAL 1623–1662

Průkopník mechaniky tekutin a vědy o tlaku

„Tlak v uzavřené kapalině se přenáší všemi směry stejně.“
(Pascalův zákon)

PASCALŮV ZÁKON

Změníme-li tlak v jakémkoli místě uzavřené kapaliny, přeneše se beze změny do všech míst kapaliny a na stěny nádoby.



Důsledky:

- tlak je ve všech místech kapaliny stejný
- kapalina působí na stěny nádoby kolmo
- vysvětluje činnost hydraulických zařízení

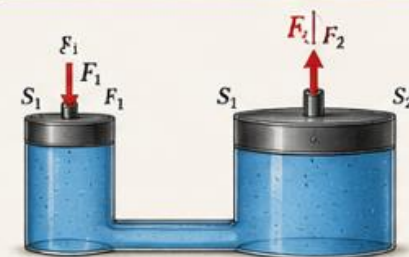


Pascalův pokus s „barometrem“

Pascal ukázal, že atmosférický tlak působí na hladinu kapaliny všemi směry a je příčinou výšky sloupce kapaliny v trubici.

„Příroda je skrytá, ale nikoli zlá; kdo ji hledá, ten ji nachází.“

HYDRAULICKÝ LIS



$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

$F_1, F_2 \dots$ síly (N)

$S_1, S_2 \dots$ obsahy pístů (m²)

Tlak je v obou místech stejný.

Malou silou F_1 na malém pístu můžeme vyvolat mnohonásobně větší sílu F_2 na pístu velkém.

VĚDA V 17. STOLETÍ

Pascal žil v době, kdy se věda teprve osamostatňovala od filozofie. Spolupracoval s významnými vědci, např. s Christianem Huygensem.



Pascalova kalkulačka (1642)
Jedno z prvních mechanických počítacích zařízení.



Pascalův trojúhelník
Dodnes se používá v matematice (v kombinatorice, binomické větě...).

ATMOSFÉRICKÝ TLAK



Pascal studoval účinky atmosférického tlaku v horách. Ukázal, že s rostoucí nadmořskou výškou tlak vzduchu klesá – tehdy převratný objev.

Jeho práce vedly k vývoji barometru a k lepšímu pochopení atmosféry.



VYUŽITÍ PASCALOVA ZÁKONA

HYDRAULICKÝ ZVEDÁK



Zvednutí těžkého břemene malou silou.

BRZDOVÝ SYSTÉM



Sešlápnutím pedálu se tlak přeneše brzdovou kapalinou ke všem kolům.

HYDRAULICKÉ STROJE



Stavební stroje, lisy, nůžky, balíkovací lis – všude pracuje tlak kapaliny.

INJEKČNÍ STŘÍKAČKA



Tlak na píst se přeneše na kapalinu v injekci.

PASCALOVY EXPERIMENTY

Pascal prováděl důmyslné pokusy, jimiž dokazoval vlastnosti tlaku. Jeho práce položily základy hydrostatiky.

Sud s vodou a dlouhá trubice

Do sudu s vodou zasunul dlouhou trubici. Voda vystříkala otvory do stran ve všech úrovních stejně daleko.



Pokus se „sférickou nádobou“

Pascal naplnil kulovou nádobu vodou a připojil k ní mnoho trubic. Po stlačení pístu voda vystříkla ze všech trubic stejně silně.



ODKAZ

Pascalův zákon patří k nejdůležitějším objevům v mechanice tekutin. Jeho myšlenky dnes nacházíme v mnoha technologiích každodenního života – od automobilů až po vesmírné sondy.



„Člověk není nic než rákos,
nejslabší z přírody;
ale je to myslící rákos.“

(Blaise Pascal)



2. Tlak v tekutinách.

TLAK V TEKUTINÁCH

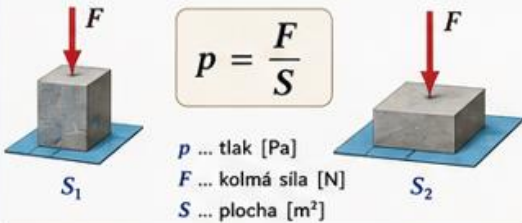
Síla působící na jednotku plochy

1. DEFINICE TLAKU

Tlak je fyzikální veličina, která vyjadřuje velikost síly působící kolmo na jednotku plochy.

Stejná síla na malé ploše
→ velký tlak

Stejná síla na velké ploše
→ malý tlak



JEDNOTKA – PASCAL (Pa)

1 Pascal je tlak, který vznikne působením síly 1 newtonu na plochu 1 m².

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



2. STARÉ JEDNOTKY TLAKU

Atmosféra (atm)

1 atm = 101 325 Pa
(standardní atmosférický tlak)



Bar (bar)

1 bar = 100 000 Pa
= 10⁵ Pa



Torr (mm Hg)

1 Torr = 133,3 Pa
(dříve používaná jednotka tlaku vaku a nízkých tlaků)



Milimetr rtuťového sloupce (mmHg)

1 mmHg = 133,3 Pa
(stále používaná v medicíně)



Pound per square inch (psi)

1 psi = 6 894,76 Pa
(používaná v USA)



3. JAK MĚŘÍME TLAK?

Rtuťový barometr
(Atmosférický tlak)



První praktické měření tlaku vzduchu
– Evangelista Torricelli (1643).

Aneroid
(meteorostanice)



Kovová krabice se stlačitelnou pružinou, bez kapaliny.

Barograf



Přístroj, který zaznamenává změny atmosférického tlaku v čase.

U-trubicový manometr



Porovnává měřený tlak s referenčním tlakem.

Bourdonův manometr



Nejběžnější měření tlaku v technice a průmyslu. Pružná trubice se deformuje tlakem.

Atmosférický tlak na různých místech

Hladina moře
(0 m n. m.)



≈ 101 325 Pa

1000 m n. m.



≈ 89 900 Pa

3000 m n. m.



≈ 70 000 Pa

8000 m n. m.



≈ 35 500 Pa

S rostoucí nadmořskou výškou atmosférický tlak klesá.

4. TLAK V LÉKAŘSTVÍ – KREVŇÍ TLAK

Rtuťový tonometr
(klasické měření)



Rtuťový sloupec ukazuje tlak v mmHg.

Digitální tonometr
(moderní měření)



Rychlé a jednoduché měření na paži.

Doporučené hodnoty pro dospělé

Stav	Krevní tlak (mmHg)
Optimální	120 / 80
Normální	do 130 / 85
Zvýšený	130–139 / 85–89
Hypertenze (vysoký)	140 / 90 a více
Nízký tlak (hypotenze)	pod 90 / 60

Hodnoty se mohou lišit podle věku, pohlaví a zdravotního stavu. Pravidelně kontrolujte svůj krevní tlak.

5. TLAK V PRAXI – VŠUDE KOLEM NÁS: $P = \frac{F}{S}$ → čím větší plocha, tím menší tlak (při stejné síle)

Fakírovo lože



Hmotnost těla se rozloží na mnoho hrotů → malý tlak.

Vysoký podpatek



Malá plocha podpatku → velký tlak → zaboření do země.

Tank



Široké pásy zvětšují plochu styku → malý tlak na půdu.

Bagr



Pásový podvozek rozkládá tíhu na velkou plochu.

Sněžnice



Velká plocha → malý tlak do sněhu → nepropadáme se.

Lyže



Lyže zvětšují plochu styku → snadný pohyb po sněhu.

Podložka s hřebíky



Síla je rozložena na mnoho hrotů → malý tlak.

Brzdění prstem



Malá plocha hrotu → velký tlak → proniknutí.

6. EXTRÉMY TLAKU

Nejvyšší tlaky v přírodě



Ve středu Země
≈ 360 GPa
(360 000 000 000 Pa)

Nejnižší tlaky v přírodě



Mezihvězdný prostor
≈ 10⁻¹⁵ Pa
(téměř nulový tlak)

Martánská atmosféra



Tlak na povrchu Marsu je jen asi 0,6 % tlaku na Zemi.

ZAJÍMAVOST

Na každý metr čtvereční zemského povrchu působí atmosféra silou přibližně 100 000 N. Přesto nás nerozdrtlí, protože stejný tlak působí i uvnitř našeho těla.



Atmosféra nás obklopuje ze všech stran a je v rovnováze s tlakem uvnitř těla.

VYUŽITÍ TLAKU



hydraulické lis



hydraulické brzdy



zvedáky



stříkačky



potápění



pneumatiky

3. Pascalův zákon.

KDO BYL BLAISE PASCAL?

Blaise Pascal
(1623–1662)

francouzský matematik,
fyzik, filozof
a myslitel.

„Tlak vyvolaný v uzavřené
kapalině se přenáší beze změny
do všech míst kapaliny.“

PASCALŮV ZÁKON

Tlak v uzavřené kapalině se přenáší všemi směry stejně

ILUSTRACE PASCALOVA ZÁKONA



DEFINICE

Změna tlaku v uzavřené
kapalině se přenáší
beze změny do všech
míst kapaliny i na
stěny nádoby.

- ✓ Kapalina je prakticky
nestlačitelná, proto se
tlak přenáší okamžitě
a všemi směry stejně.

MATEMATICKÝ ZÁPIS

V uzavřené kapalině:

$$p_1 = p_2$$

Pro písty o různých plochách:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

p ... tlak [Pa]

F ... síla [N]

S ... plocha pístu [m²]

SPOJENÉ NÁDOBY

V klidné kapalině v hydraulickém systému
je tlak v celém objemu stejný.



$$p_1 = p_2$$

Malou silou F_1 působíme na malý píst o ploše S_1 ,
velká síla F_2 pak působí na velký píst o ploše S_2 .

VYUŽITÍ PASCALOVA ZÁKONA V PRAXI – HYDRAULICKÁ ZAŘÍZENÍ

Hydraulický lis



Stlačování a tvárění kovů.

Autoservisní zvedák



Zvednutí automobilu.

Bagr



Hydraulické válce ovládají
rameno a lžici.

Jeřáb – hydraulická ruka



Zvedání těžkých břemen
s přesností a bezpečně.

Hydraulické nůžky



Stříhání ocelových
a kovových materiálů.

Zvedací plošina



Práce ve výškách
(dílny, stavby, sklady).

HYDRAULIKA vs. PNEUMATIKA

HYDRAULIKA (kapalina)

- ✓ přenáší velké síly
- ✓ vysoká přesnost
- ✓ plynulý a stálý pohyb
- ✓ využití tam, kde je
potřeba velká síla

Příklady:

- hydraulické lisy
- zvedáky
- bagry, jeřáby
- hydraulické brzdy



PNEUMATIKA (vzduch)

- ✓ rychlý a lehký pohyb
- ✓ jednoduchá konstrukce
- ✓ čisté prostředí
- ✓ vhodné pro menší síly
a rychlé operace

Příklady:

- dveře autobusů
- pneumatické nářadí
- ovládání ventilů
- výrobní linky



JAK FUNGUJÍ HYDRAULICKÉ BRZDY?

1 Řídicí sešlápné
brzdový pedál.



2 Malý píst v hlavním
brzdovém válci vytvoří
tlak v brzdové kapalině.



3 Tlak se přenese brzdovou
kapalinou potrubím do
všech kol.



4 Písty v brzdových třmenech
v kolech přitlačí brzdové
destičky na kotouče.



5 Tlmení zpomalí otáčení kol
a vozidlo zpomalí nebo
se zastaví.



✓ Stejný tlak působí současně na všechna kola – brzdění je bezpečné a rovnoměrné.

ZAJÍMAVOST: BIOLOGICKÁ HYDRAULIKA

Skákající pavouci dokážou skoky mnohonásobně
delší než jejich tělo. Jak je to možné?

V některých nohách mají pavouci málo
protilehlých svalů. Končetiny natahují
tlakem tělní tekutiny (hemolymfy),
která se vpuští do končetiny
a její tlak ji rychle „vystřelí“.



Princip pavoučí hydrauliky



Končetina
se rychle
natáhne.

NÁVAZNOST: SOFT ROBOTICS

Vědci napodobují přírodní hydrauliku
u měkkých robotů.

- ✓ využívají kapaliny
nebo stlačený vzduch
- ✓ měkké, pružné materiály
- ✓ bezpečné pro spolupráci
s člověkem
- ✓ přizpůsobivé a tiché
pohyby

Inspirace z přírody:

- pavoučí nohy
- chápadla chobotnic
- svalové vaky některých živočichů



Pneumatické chápadlo
inspirované chápadly
chobotnic.



Měkký robot
inspirovaný
pavoučí
mechanikou.



ZAJÍMAVOST: SÍLA NĚKOLIKA DESÍTEK NEWTONŮ MŮŽE ZVEDNOUT TUNY?

Díky Pascalovu zákonu může člověk silou například 80 N působící na malý píst o ploše 1 cm² zvednout automobil o hmotnosti 2 000 kg na zvedáku s pístem o ploše 500 cm².

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{20\,000\text{ N}}{40\text{ N}} = 500$$

(= tíha automobilu) (síla člověka) (poměr ploch)



40 N



20 000 N

Malá síla na malém pístu
→ velká síla na velkém pístu!
To je princip hydrauliky v praxi.

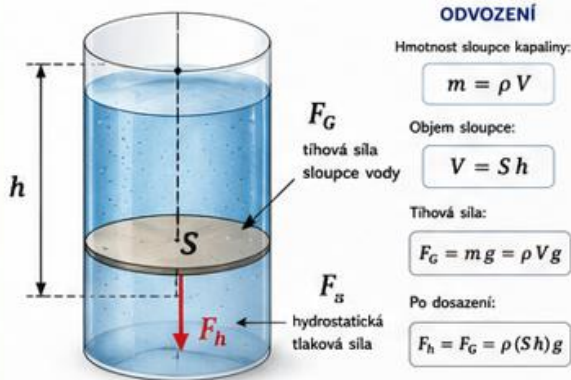


4. Hydrostatický tlak.

TLAK V KAPALINÁCH VYVOLANÝ TÍHOVOU SILOU

Proč se potápěči cítí pod vodou stále větší tlak?

1. HYDROSTATICKÁ TLAKOVÁ SÍLA



ρ ... hustota kapaliny [kg/m³]
 g ... tíhové zrychlení [m/s²]
 h ... hloubka pod hladinou [m]
 S ... plocha, na kterou tlak působí [m²]

HYDROSTATICKÁ TLAKOVÁ SÍLA

$$F_h = \rho g h S$$

2. HYDROSTATICKÝ TLAK

Definice tlaku:

$$p_h = \frac{F_h}{S}$$

Po dosazení:

$$p_h = \frac{\rho g h S}{S}$$

HYDROSTATICKÝ TLAK

$$p_h = \rho g h$$

Z tlak závisí pouze na:

- ✓ hustotě kapaliny ρ
- ✓ tíhovém zrychlení g
- ✓ hloubce h

Nezávisí na tvaru nádoby ani na množství kapaliny!

CO ZNAMENÁ VZTAH $p_h = \rho g h$?

↓ Čím větší hloubka h , tím větší tlak.

💧 Čím větší hustota ρ ("těžší kapalina"), tím větší tlak.

g Na jiných planetách se tlak bude lišit podle tíhového zrychlení g .

Tlak působí ve všech směrech stejně (na dno i na stěny nádoby).



5. HYDROSTATICKÝ PARADOX

Ve třech různě tvarovaných nádobách je stejná kapalina. Všechny nádoby mají stejnou výšku h a stejnou plochu dna S .

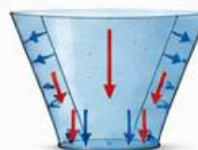


Tlak na dno:
 $p_h = \rho g h$

Tlaková síla na dno:
 $F_h = \rho g h S$

VYSVĚTLENÍ PARADOXU

U nádob 2 a 3 působí na stěny nádoby svislá složka tlakových sil, která část tíhy kapaliny přenáší na stěny. Na dno se proto přenáší menší část hmotnosti.



- ↓ tíhová síla vody
- ↙ svislá složka tlakové síly působící na stěny

6. ZAJÍMAVOST

NEJVĚŠÍ HYDROSTATICKÉ TLAKY NA ZEMI



Mariánský příkop
(západní Tichý oceán)

Hloubka:

10 984 m

Hydrostatický tlak:

$p_h = \rho g h \approx 110 \text{ MPa}$
(110 000 kPa)

➔ To je více než 1000x větší tlak než atmosférický tlak (0,1 MPa)!

4. KDE SE S HYDROSTATICKÝM TLAKEM SETKÁME?



Přehrady
Větší tlak na dně – pevné hráze musí odolávat obrovským silám.



Potápění
S každým metrem hloubky tlak roste – je třeba speciální výbava.



Ponorky
Trup ponorky musí odolat vysokým tlakům v hlubokých mořích.



Vodárenské věže
Tlak vody zajišťuje proudění vody v potrubí.



Hlubinné vrtly
Vrtací zařízení musí odolat vysokým tlakům kapalin.



Oceány
Obrovské tlaky působí v nejhlubších částech oceánů.

HLAVNÍ MYŠLENKA

Hydrostatický tlak závisí pouze na hloubce a hustotě kapaliny:

$$p_h = \rho g h$$

Nezáleží na tvaru nádoby ani na množství kapaliny.



PŘEHRADA TŘI SOUTĚSKY (ČINA)
Výška hráze 185 m – obrovské tlaky na dno i stěny přehrady.



HLUBOKOMOŘSKÁ PONORKA
Speciální konstrukce odolává tlakům stovek barů.



POTÁPĚČ
Každých 10 m hloubky znamená nárůst tlaku o ≈ 1 atmosféru.

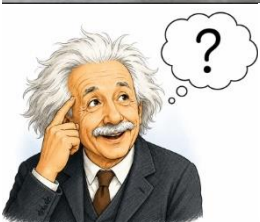


PAMATUJ SI!

- ✓ Tlak v kapalině roste s hloubkou.
- ✓ Tlak závisí na hustotě kapaliny.
- ✓ Stejný tlak $p_h = \rho g h$ je ve všech směrech.
- ✓ Hydrostatický paradox ukazuje, že množství kapaliny nevstupuje do výpočtu tlaku na dno.



4. Hydrostatický tlak.



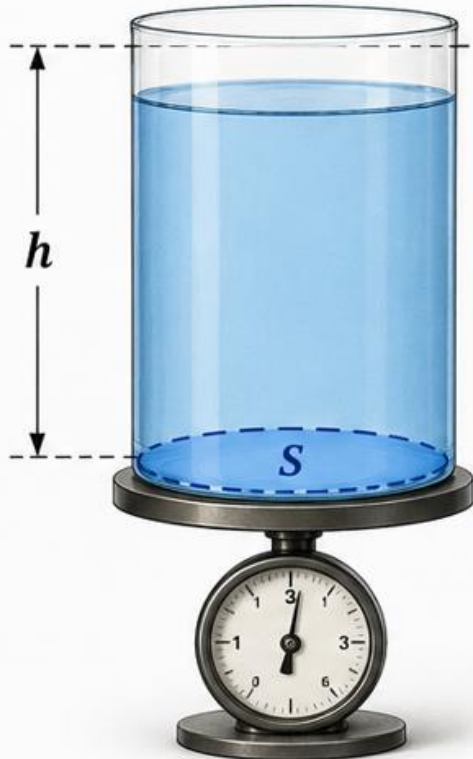
V jaké nádobě působí kapalina na dno největší hydrostatickou silou?
Všechny nádoby mají stejný obsah dna a hladina je ve všech nádobách ve stejné výšce. Množství vody je ale celkově různé.

4. Hydrostatický paradox.

HYDROSTATICKÝ PARADOX

Ve třech různě tvarovaných nádobách je stejná kapalina. Všechny nádoby mají stejnou výšku hladiny h a stejnou plochu dna S . Přestože množství kapaliny (a tedy i hmotnost) je různé, tlak na dno a tlaková síla na dno jsou ve všech třech případech stejné!

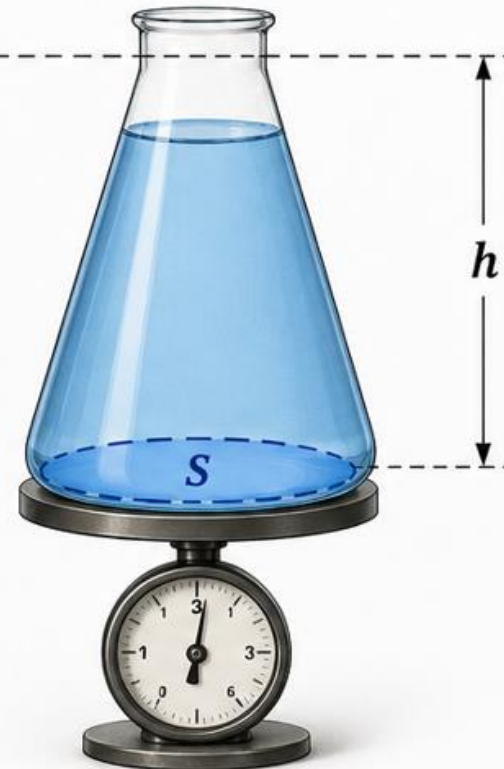
1



2



3



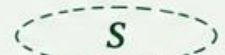
STEJNÁ VÝŠKA HLADINY

Výška sloupce kapaliny h je u všech nádob stejná. Tlak v kapalině závisí pouze na hloubce h .

$$p_h = \rho g h$$

STEJNÁ PLOCHA DNA

Plocha dna S je u všech nádob stejná.



STEJNÝ TLAK I SÍLA NA DNO

Tlak na dno je ve všech případech stejný:

$$p_h = \rho g h$$

Tlaková síla na dno je také stejná:

$$F_h = p_h S = \rho g h S$$

TLAK NA DNO:

$$p_h = \rho g h$$

Závisí pouze na hustotě kapaliny ρ , tíhovém zrychlení g a hloubce h . Nezávisí na tvaru nádoby ani na množství kapaliny.

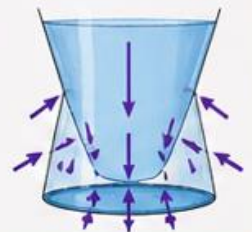
TLAKOVÁ SÍLA NA DNO:

$$F_h = \rho g h S$$

Přestože hmotnost (a objem) kapaliny je v nádobách různá, síla působící na dno je ve všech třech případech stejná.

PROČ?

U nádob 2 a 3 působí část tíhové síly kapaliny na stěny nádoby. Na dno se proto přenáší jen síla odpovídající sloupci kapaliny o výšce h a ploše dna S .



ZÁVĚR: V klidné kapalině závisí tlak v dané hloubce pouze na hloubce a hustotě kapaliny, nikoli na tvaru nádoby ani na množství kapaliny.

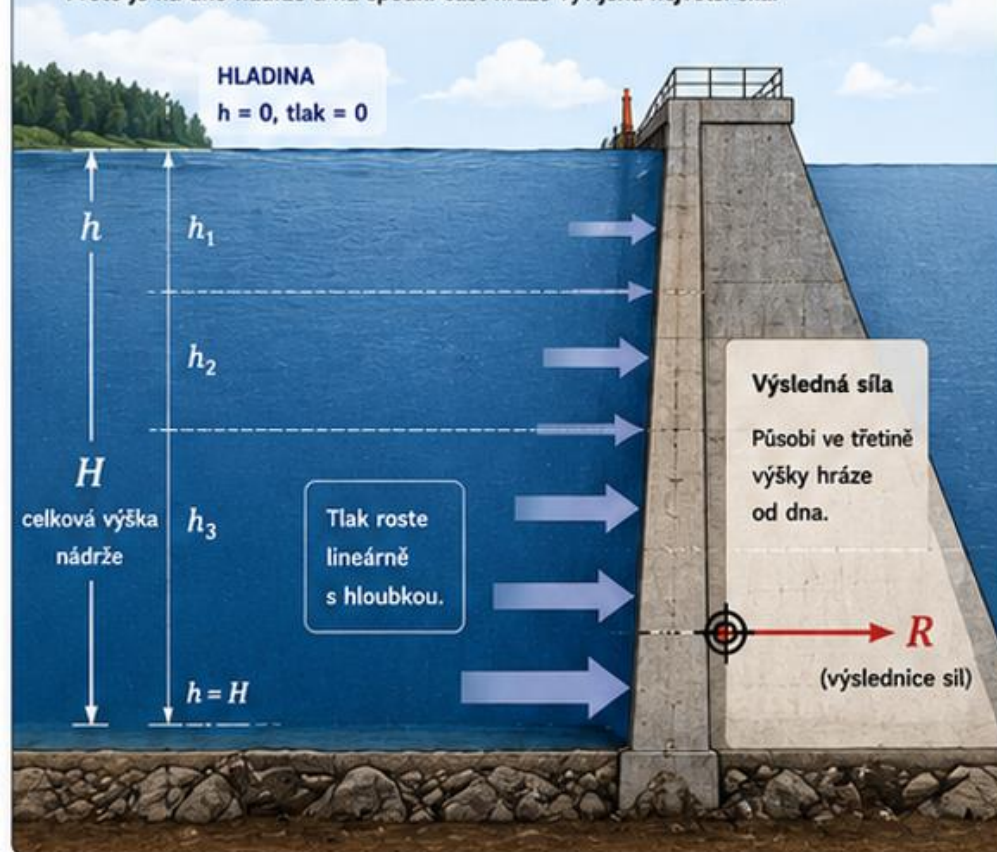
4. Tvar přehradní hráze.

NIČIVÁ SÍLA KLIDNÉ VODY

Voda za přehradou vypadá klidně. Ve skutečnosti však působí ohromnou silou.

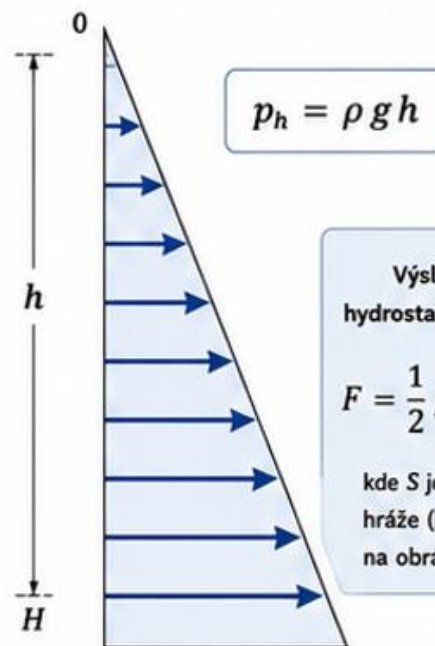
PROČ JE TLAK VODY NA HRÁZ VĚTŠÍ VE SPODNÍ ČÁSTI?

Hydrostatický tlak v klidné kapalině roste s hloubkou podle vztahu $p_h = \rho g h$. Proto je na dno nádrže a na spodní část hráze vyvíjena největší síla.



ROZLOŽENÍ TLAKU A VÝSLEDNÁ SÍLA

Rozložení hydrostatického tlaku na svislou stěnu hráze



Výsledná hydrostatická síla:

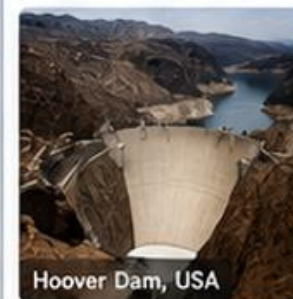
$$F = \frac{1}{2} \rho g H^2 S$$

kde S je šířka hráze (kolmá na obrázek).

$p_{\max} = \rho g H$
(největší tlak u dna)

PROČ MAJÍ HRÁZE KLÍNOVITÝ TVAR?

Aby odolaly rostoucímu tlaku směrem dolů, musejí být hráze u základu mnohem masivnější než u hladiny.



Ve spodní části musí hráz odolávat mnohonásobně větším tlakům než u hladiny.

4. Největší katastrofy.

4 NEJVĚTŠÍ KATASTROFY PŘEHRAD SVĚTA (chronologicky)

1 DESNÁ (ČECHY) 1916

Přehrada na Bílé Desné v Jizerských horách se prorhla po prudkých deštích. Vlna vody a kamení smetla několik obcí v údolí Desné a Jizery.



Oběti: odhadem 60–80

Zničeno nebo poškozeno mnoho domů, mostů a továren.

Povodeň se valila údolím rychlostí až 15 m/s.

Jedna z největších technických katastrof v českých zemích.

2 ST. FRANCIS (USA) 1928

Betonová přehrada se náhle zřítla kvůli konstrukčním a stavebním chybám. Vlna vysoká až 18 m smetla vše v cestě.



Oběti: více než 400

Povodeň zničila údolí San Francisquito v Kalifornii.

Jedna z největších stavebních katastrof v historii USA.

3 VAJONT (ITÁLIE) 1963

Hráz se nepřetrhla. Do nádrže spadl obrovský sesuv hmoty, který vyvolal vlnu vysokou až 250 m. Vlna přeskočila hráz a zaplavila údolí.



Oběti: přibližně 1 900–2 000

Zničeno 12 obcí v údolí Vajont.

Považováno za jednu z největších přírodních katastrof způsobených indirektně přehradním dílem.

4 BANQIAO (ČÍNA) 1975

Během tajfunu Nina prasklo několik hrází. Voda z přehrad a nádrží zaplavila rozsáhlou oblast provincie Henan.



Oběti: odhady 50 000–240 000 (nejvíce v historii přehrad)

Zaplavena oblast o rozloze až 60 000 km².

Extrémní srážky v kombinaci se špatnou údržbou hrází.

NEJVĚTŠÍ PŘEHRADY SVĚTA (podle výšky)



1 Tři soutěsky, Čína
Výška: 185 m
Délka: 2 335 m
Objem nádrže: 39,3 km³
Výkon: 22 500 MW



2 Nurek, Tádžikistán
Výška: 300 m
Délka: 702 m
Objem nádrže: 10,5 km³
Výkon: 3 000 MW



3 Hoover Dam, USA
Výška: 221 m
Délka: 379 m
Objem nádrže: 35,2 km³
Výkon: 2 080 MW

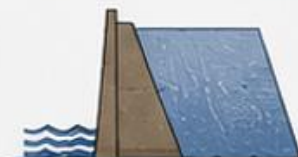


Přehrady přinášejí užitek, ale vyžadují správný návrh, kvalitní stavbu a neustálou kontrolu. Podcenění může mít tragické následky.



Jeden metr krychlový vody má hmotnost přibližně jednu tunu. Za hrází velkých přehrad se nacházejí miliardy tun vody, které vytvářejí obrovský hydrostatický tlak.

Proto musí být hráze navrženy tak, aby odolaly nejen tíze vody, ale i síle, která roste s hloubkou.



**KLIDNÁ VODA
SKRÝVÁ OBROVSKOU SÍLU.**

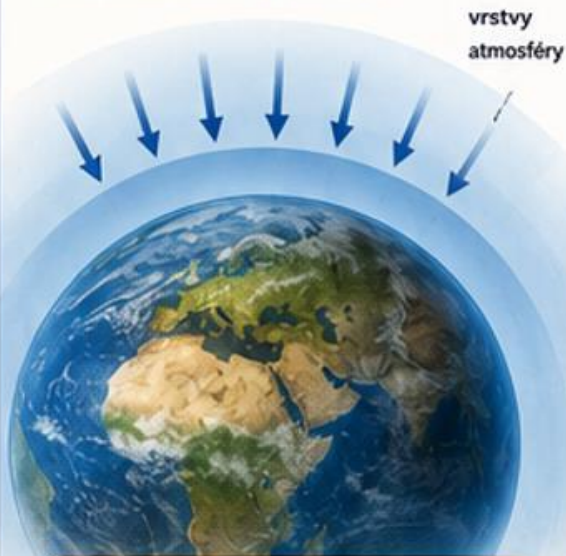
5. Tlak vzduchu vyvolaný tíhovou silou.

ATMOSFÉRICKÝ TLAK

OCEÁN VZDUCHU NAD NAŠIMI HLAVAMI

1. CO JE ATMOSFÉRICKÝ TLAK?

Atmosférický tlak vzniká tíhou vzduchu v zemské atmosféře.



U povrchu Země:

$$p_0 = 101\,325\text{ Pa}$$

$$1\text{ atm} = 101.3\text{ kPa}$$

- 1 atm = tlak při hladině moře při teplotě 15 °C
- Tento tlak působí na nás ze všech směrů.

2. POKLES ATMOSFÉRICKÉHO TLAKU S VÝŠKOU

Atmosférický tlak s nadmořskou výškou h klesá přibližně podle vztahu:

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$$

kde:

$p(h)$... tlak ve výšce h

p_0 ... tlak u hladiny moře (101 325 Pa)

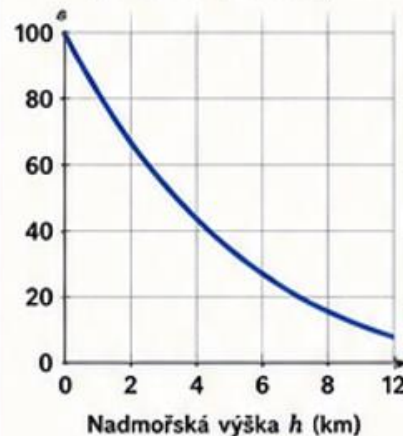
M ... molární hmotnost vzduchu (0,029 kg/mol)

g ... tíhové zrychlení (9,81 m/s²)

R ... univerzální plynová konstanta (8,314 J/mol·K)

T ... průměrná teplota vzduchu (K)

Přibližná závislost tlaku na výšce
(standardní atmosféra)



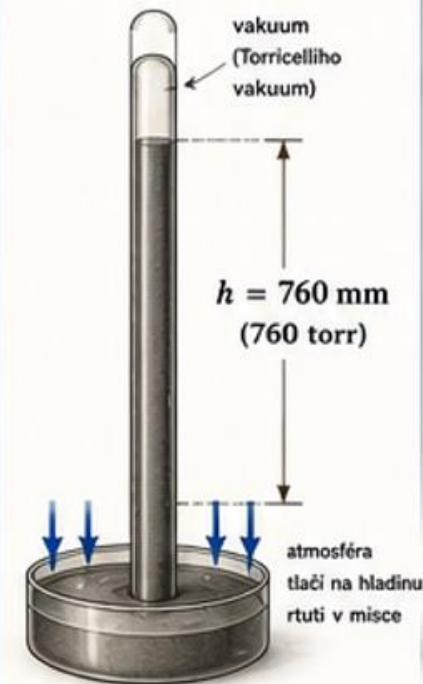
PŘÍKLADY:

	0 km Hladina moře 101 kPa
	1,6 km Sněžka 84 kPa
	4,8 km Mont Blanc 54 kPa
	8,8 km Everest 33 kPa

3. TORRICELLIHO EXPERIMENT

S RTUŤÍ

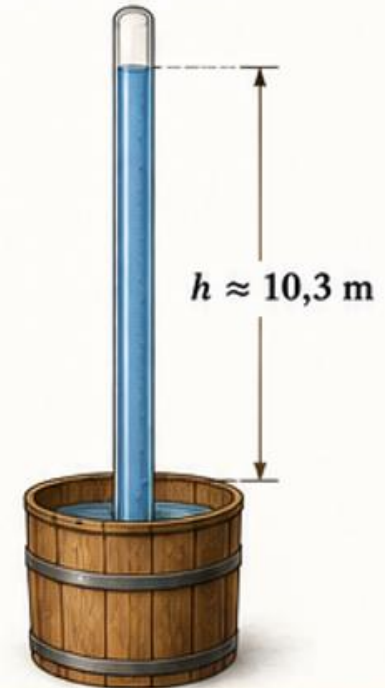
Evangelista Torricelli (1608–1647) v roce 1643 prokázal existenci atmosférického tlaku.



Atmosférický tlak udrží sloupec rtuti v trubici vysoký asi 760 mm.

S VODOU

Kdybychom místo rtuti použili vodu, byl by potřebný sloupec mnohem vyšší – přes 10 metrů!

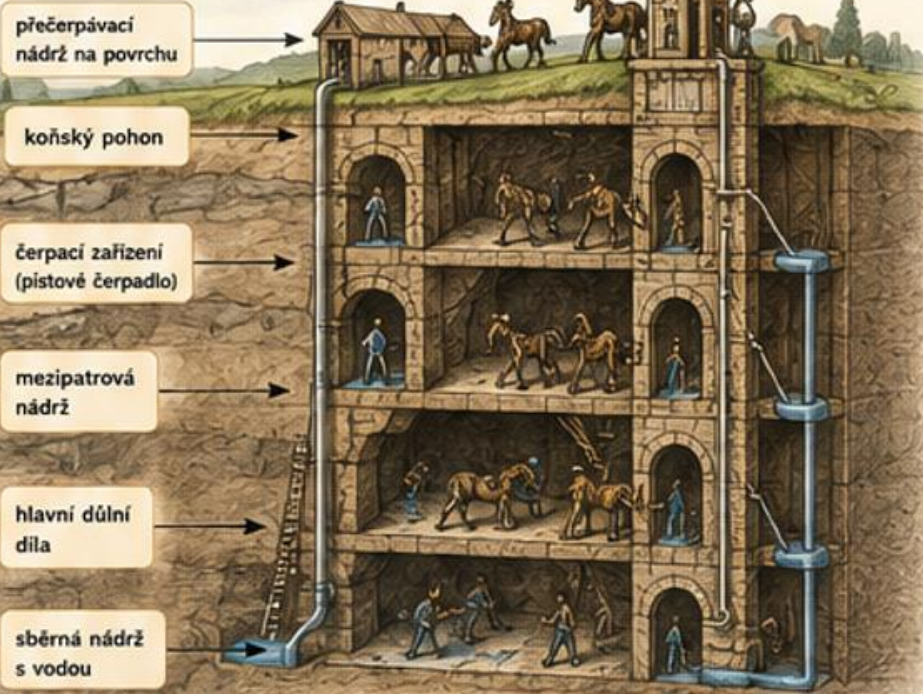


Atmosférický tlak umožňuje nasát vodu maximálně z hloubky asi 10,3 m (ideálně 10–10,5 m).

5. Tlak vzduchu vyvolaný tíhovou silou.

4. PROČ HISTORICKÉ DOLY POTŘEBOVALY PŘEČERPÁVACÍ NÁDRŽE?

V hlubokých dolech se hromadila voda, kterou bylo nutné odvádět. Proto se stavěly přečerpávací systémy s několika stupni čerpání – každý stupeň zvedl vodu jen o 8–10 m, protože atmosférický tlak nepřekoná větší výšku.



STŘÍBRNÉ DOLY 16.–18. STOLETÍ

Např. v Jáchymově, Freibergu či Kutné Hoře vedla voda k omezení hloubky dolů. Teprve vynález parního stroje (18. století) umožnil odčerpávat vodu z velkých hloubek a otevřel cestu k průmyslové revoluci.



parní čerpací stroj (18. století)

5. PODTLAK – KDYŽ TLAK UVNITŘ KLESNE

Podtlak není „sání“. Vzniká tak, že tlak uvnitř je menší než atmosférický. Okolní atmosférický tlak pak způsobí pohyb kapaliny nebo přitlačí předměty.

PŘÍSAVKA



Atmosférický tlak přitlačí přísavku ke stěně.

VYSAVAČ



Podtlak uvnitř vysavače umožní, aby vnější tlak tlačil nečistoty dovnitř.

PITÍ BRČKEM



Podtlak v ústech sníží tlak v brčku a vnější tlak vody ji vytlačí nahoru.

7. MAGDEBURSKÉ POLOKOULE (1654)

Otto von Guericke (1602–1686) předvedl slavný pokus.



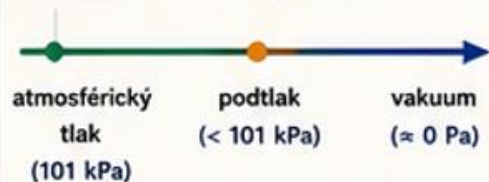
- 1 Vzduch byl z prostoru mezi polokoulema odsát.
- 2 Atmosférický tlak přitiskl polokoule k sobě.
- 3 Ani 16 koní je nedokázalo oddělit!

 Pokus ukázal obrovskou sílu atmosférického tlaku. 1 m² je zatěžován silou přibližně 100 000 N!

6. VAKUUM – PROSTOR TĚMĚŘ BEZ ČÁSTIC

STUPNICE TLAKU

(od většího po menší)



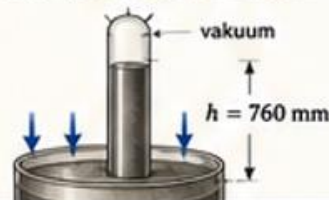
VAKUUM

Vakuum je prostor s velmi nízkým tlakem a velmi malým množstvím částic.

Ideální vakuum:
 $p = 0 \text{ Pa}$ (absolutní nula tlaku)

TORRICELLIHO VAKUUM

Prostor nad rtutí v trubici barometru neobsahuje vzduch – je to první uměle vytvořené vakuum v historii.



5. Dálkový transport vody.

8. ATMOSFÉRICKÝ TLAK KOLEM NÁS

METEOROLOGIE



Barometry měří atmosférický tlak. Je důležitý pro předpověď počasí.

LETECTVÍ



S výškou tlak klesá – letadla musí být kabinově utěsněna a tlak regulován.

HORSKÁ TURISTIKA



Ridší vzduch ve výškách znamená nižší tlak a méně kyslíku – nutná aklimatizace.

POTÁPĚNÍ



Pod vodou se k atmosférickému tlaku přidává tlak vody – roste s hloubkou.

VAKUOVÉ BALENÍ



Snižením tlaku se prodlouží trvanlivost potravin.

LÉKAŘSTVÍ



Krevní tlak je vždy měřen vůči atmosférickému tlaku.

DÁLKOVÉ ČERPÁNÍ VODY HASIČSKÝMI VOZY DO KOPCE

Jak voda putuje z hladiny až k požáru ve výšce

1. PRINCIP

Hasičské čerpadlo musí dodat vodě tlak, který překoná výškový rozdíl mezi hladinou a požárem a zároveň tření v hadicovém vedení.

$$p = \rho g h + \Delta p_{\text{tréní}}$$

kde:

p ... tlak čerpadla (Pa)

ρ ... hustota vody ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$)

g ... tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h ... výškový rozdíl (m)

$\Delta p_{\text{tréní}}$... tlakové ztráty třením v hadicích

Ekvivalentní výška (m vodního sloupce):

$$H = h + h_{\text{tréní}}$$

kde H je celková dopravní výška.

2. SCHEMA ZAPOJENÍ



3. CO OVLIVŇUJE DOPRAVNÍ VÝŠKU?



Výškový rozdíl h
čím vyšší kopec,
tím větší tlak
čerpadla je potřeba.



Délka hadic
delší vedení =
větší tření = větší
tlakové ztráty.



Průměr hadic
menší průměr =
větší odpor = větší
tlakové ztráty.



Průtok
větší průtok =
větší tlakové
ztráty.



Počet spojek,
kolen, rozdělovačů
každý prvek snižuje
tlak na konci vedení.

4. ORIENTAČNÍ MOŽNOSTI HASIČSKÝCH ČERPADEL

Typ čerpadla	Max. dopravní výška H (m)	Použití
Přenosná stříkačka (PS 12)	60 – 70 m	Menší zásahy, kratší vzdálenosti
Automobilová stříkačka (CAS 20)	80 – 100 m	Běžné zásahy, střední vzdálenosti
Výkonné čerpadlo (CAS 30 a více)	100 – 150 m a více	Dálkové vedení, velké převýšení



Uvedené hodnoty jsou orientační a závisí na konkrétním čerpadle, průtoku, průměru hadic a celkových ztrátách.

5. PRAKTICKÉ PŘÍKLADY

Příklad 1

Výškový rozdíl $h = 40 \text{ m}$

Tlakové ztráty $\Delta h_{\text{tréní}} = 20 \text{ m}$

Celková dopravní výška $H = 60 \text{ m}$

Čerpadlo musí vytvořit tlak alespoň odpovídající 60 m vodního sloupce.

Příklad 2

Výškový rozdíl $h = 80 \text{ m}$

Tlakové ztráty $\Delta h_{\text{tréní}} = 30 \text{ m}$

Celková dopravní výška $H = 110 \text{ m}$

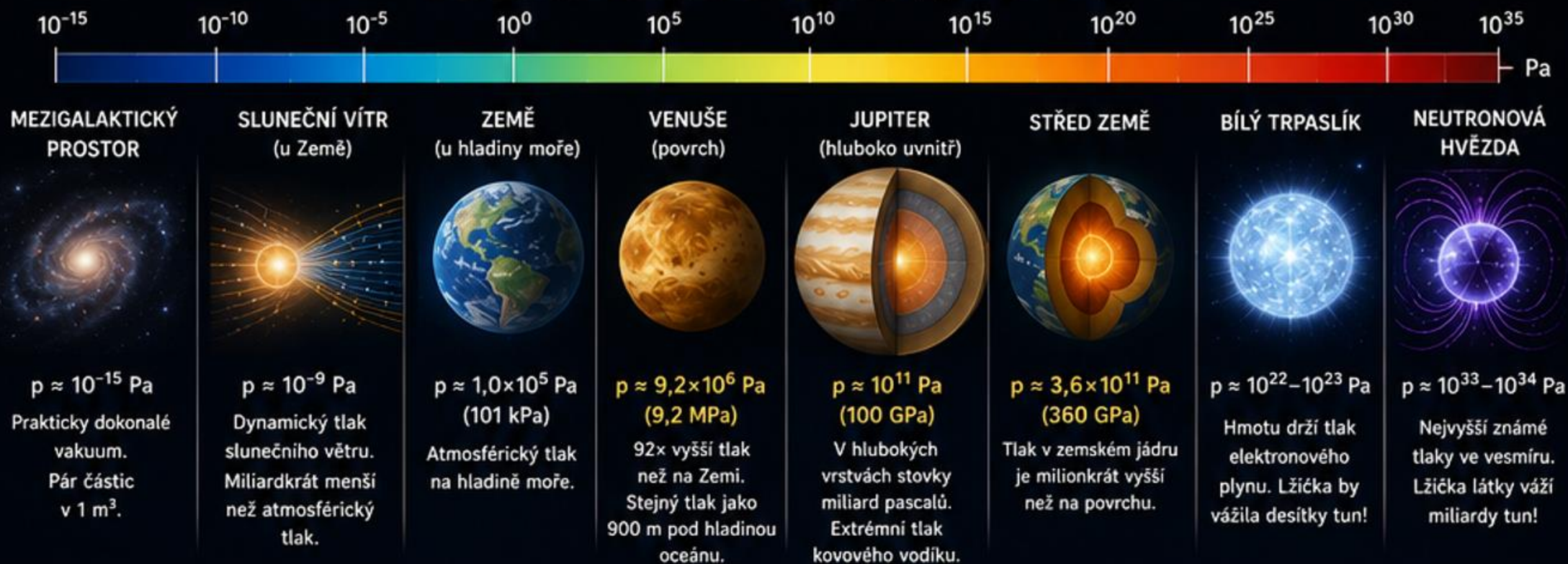
Je potřeba výkonné čerpadlo a větší průměry hadic.

5. Extrémní tlaky.

EXTRÉMNÍ TLAKY VE VESMÍRU

Od téměř dokonalého vakua až po nitro neutronových hvězd

1. SPEKTRUM TLAKŮ VE VESMÍRU (logaritmická škála)



Rozsah tlaků ve vesmíru pokrývá téměř 50 řádů – od téměř dokonalého vakua mezi galaxiemi až po nitro neutronových hvězd.

5. Extrémní tlaky.

2. PLANETY A PLYNNÍ OBŘI

VENUŠE – PEKLO POD TLAKEM



- Tlak: 9,2 MPa (92 atm)
- Teplota: 465 °C
- Hustota atmosféry: ~65x vyšší než na Zemi
- Složení atmosféry: 96,5 % CO₂

MARS – ŘÍDKÁ ATMOSFÉRA



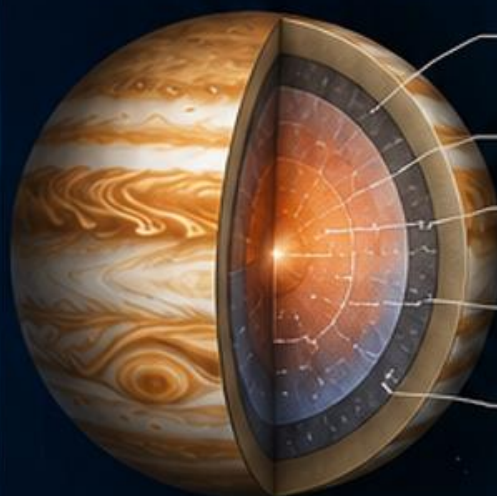
Tlak: ≈ 600 Pa (0,006 atm)

Pouhých 0,6 % zemského tlaku.

Bez skafandru zde člověk ztraří vědomí během 15 sekund.



PLYNNÍ OBŘI – SVĚTY EXTRÉMNÍHO TLAKU



- Horní atmosféra $p \approx 10^5 - 10^7$ Pa
- Molekulární vodík
- Kapalný vodík $p \approx 10^8 - 10^{10}$ Pa
- Kovový vodík $p \approx 10^{11}$ Pa a více
- Možné skalnaté/ledové jádro ($p > 10^{11}$ Pa)

SATURN



Podobné vrstvy a tlaky jako Jupiter.

URAN



V nitru tlaky až stovky gigapascalů.

NEPTUN



V nitru tlaky až stovky gigapascalů.

V hlubokých vrstvách jsou látky v podmínkách, které na Zemi nedokážeme vytvořit.

3. SLUNEČNÍ VÍTR A ČERNÉ DÍRY

SLUNEČNÍ VÍTR



Proud nabitých částic (elektronů a protonů) neustále uniká ze Slunce všemi směry.



Dynamický tlak slunečního větru u Země:
 $p \approx 10^{-9}$ Pa
(Miliardkrát menší než atmosférický tlak!)

SOLÁRNÍ PLACHTA – POHON BEZ PALIVA

Fotony světla i částice slunečního větru narážejí na plachtu a předávají jí velmi malý impuls. Přesto to stačí k postupnému zrychlování sond bez spotřeby paliva.

Směr zrychlení

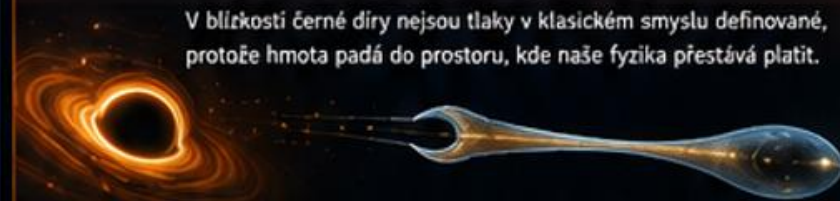


IKAROS (Japonsko)

První úspěšná solární plachta ve vesmíru (2010).

ČERNÉ DÍRY – SLAPOVÉ SÍLY

V blízkosti černé díry nejsou tlaky v klasickém smyslu definované, protože hmota padá do prostoru, kde naše fyzika přestává platit.



Extrémní jsou však slapové síly – rozdíly gravitačního působení, které mohou těleso roztrhat (spaghettification).

5. Extrémní tlaky.

4. NEJEXTRÉMŇJŠÍ OBJEKTY A VAKUUM VE VESMÍRU

BÍLÝ TRPASLÍK



Stlačené jádro zaniklé hvězdy velikosti Země.

Tlak: $10^{22} - 10^{23}$ Pa

Elektrony jsou natolik stlačeny, že odolávají gravitaci.

Lžička látky by vážila desítky tun!

NEUTRONOVÁ HVĚZDA



Vzniká při výbuchu supernovy.

Tlak: $10^{33} - 10^{34}$ Pa

Protony a elektrony se sloučí v neutrony. Hmota je stlačena na velikost města!

Lžička látky by vážila miliardy tun!

MAGNETAR



Zvláštní typ neutronové hvězdy s extrémně silným magnetickým polem ($10^{10} - 10^{11}$ T).

Nejsilnější známá magnetická pole ve vesmíru!

MEZIGALAKTICKÝ PROSTOR



Mezigalaktický prostor obsahuje jen několik atomů v kochlovém metru.

Tlak: $\approx 10^{-15}$ Pa

Je to nejnižší tlak, jaký známe.

5. PŘEHLED TLAKŮ – KDE BYCHOM NEPŘEŽILI ANI SEKUNDU?

Prostředí	Tlak (Pa)	Porovnání se zemským tlakem	Poznámka
Mezigalaktický prostor	10^{-15}	$10^{-20} \times$	Téměř dokonalé vakuum
Sluneční vítr (u Země)	10^{-9}	$10^{-14} \times$	Proud částic ze Slunce
Mars (povrch)	6×10^2	$0,006 \times$	Velmi řídká atmosféra
Země (hladina moře)	$1,0 \times 10^5$	$1 \times$	Náš atmosférický tlak
Venuše (povrch)	$9,2 \times 10^6$	$92 \times$	Extrémní horko a tlak
Mariánský příkop (11 km)	$1,1 \times 10^8$	$1\,100 \times$	Nejhlubší místo oceánu
Jupiter (hluboko uvnitř)	$1,0 \times 10^{11}$	$1\,000\,000 \times$	Kovový vodík pod tlakem
Střed Země	$3,6 \times 10^{11}$	$3\,600\,000 \times$	Tlak v zemském jádru
Bílý trpaslík	$10^{22} - 10^{23}$	$10^{17} - 10^{18} \times$	Stlačená hvězdná hmota
Neutronová hvězda	$10^{33} - 10^{34}$	$10^{28} - 10^{29} \times$	Nejvyšší známé tlaky

6. ZÁVĚR

Tlak provází vesmír v neuvěřitelném rozsahu – od prázdnoty téměř bez částic až po stavy, kde se hmota chová zcela odlišně než u nás na Zemi. Extrémní tlaky formují planety, hvězdy i samotný osud hmoty ve vesmíru.

Extrémní podmínky:



formují planety a hvězdy



určují chování hmoty



umožňují vznik diamantů



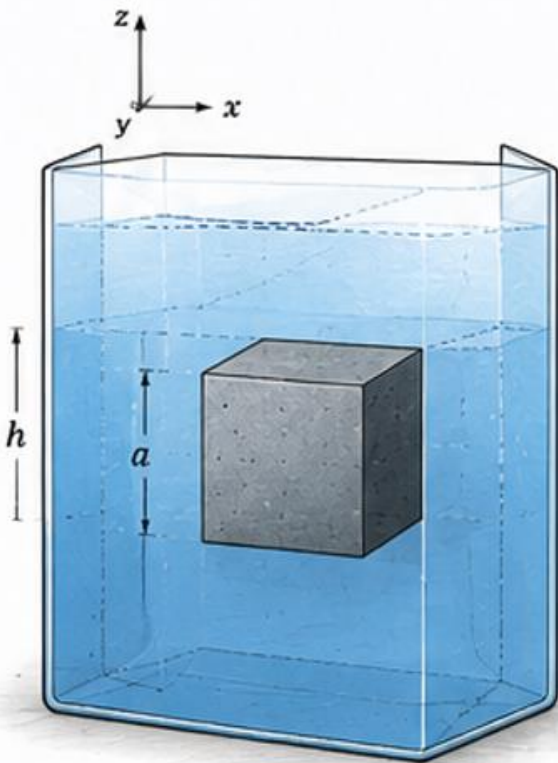
posouvají hranice naší fyziky

5. Vztaková síla v tekutinách.

ARCHIMÉDŮV ZÁKON

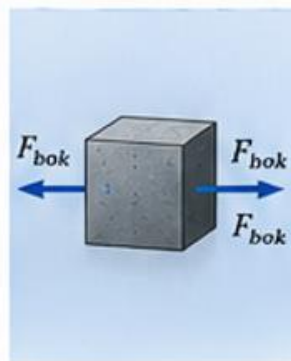
Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která je rovna tíze kapaliny stejného objemu, jaký těleso v kapalině ponořilo.

1. TĚLESO PONOŘENÉ DO KAPALINY



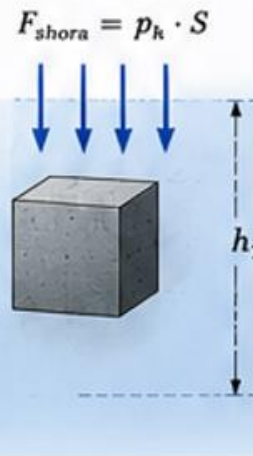
2. HYDROSTATICKÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ NA TĚLESO

Z BOKU
(stejně a opačně)



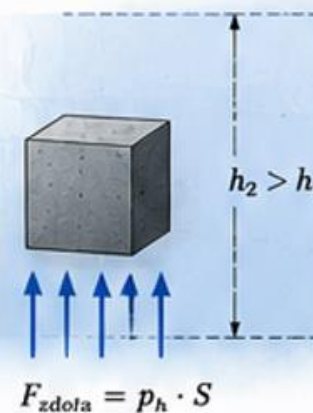
Tlak v dané hloubce je stejný všemi směry, proto se boční síly navzájem vyruší.

SHORA
(menší)



Tlak v horní části je menší, proto je i síla působící shora menší.

ZDOLA
(větší)



Tlak v dolní části je větší, proto je i síla působící zdola větší.

3. ODVOZENÍ VZTAHU PRO VZTLAKOVOU SÍLU F_{vz}

Rozdíl sil působících zdola a shora dává výslednou vztakovou sílu.

$$\begin{aligned} F_{vz} &= F_{zdola} - F_{shora} \\ &= p_2 \cdot S - p_1 \cdot S \\ &= (p_2 - p_1) S \end{aligned}$$

Hydrostatický tlak: $p = \rho_k g h$

$$\begin{aligned} p_2 &= \rho_k g h_2 & (\text{dole}) \\ p_1 &= \rho_k g h_1 & (\text{hore}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{vz} &= (\rho_k g h_2 - \rho_k g h_1) S \\ &= \rho_k g (h_2 - h_1) S \\ &= \rho_k g V_{ponoř} \end{aligned}$$

kde ρ_k ... hustota kapaliny
 $V_{ponoř}$... objem ponořené části tělesa



ARCHIMÉDŮV ZÁKON: Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou (vztakovou silou) F_{vz} , která je rovna tíze kapaliny stejného objemu, jaký těleso v kapalině ponořilo.

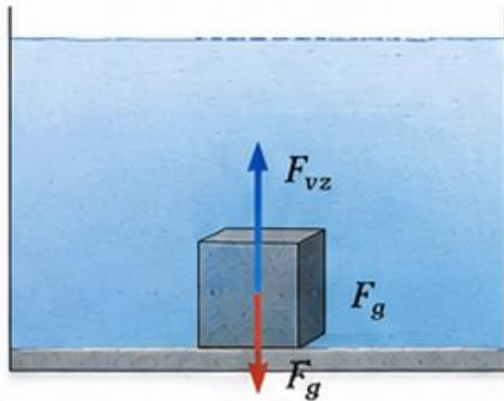
$$F_{vz} = \rho_k g V_{ponoř}$$

5. Vztlková síla v tekutinách.

4. PLOVÁNÍ TĚLES – VLIV HUSTOTY TĚLESA A KAPALINY

a) TĚLESO KLESA KE DNU

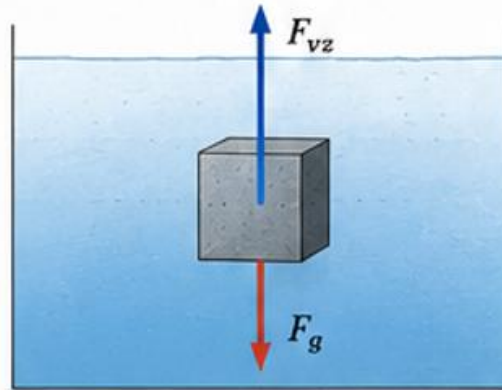
$$\rho_t > \rho_k$$



Vztlková síla je menší než tíhová síla.
Těleso klesá ke dnu.

b) TĚLESO SE VZNÁŠÍ V KAPALINĚ

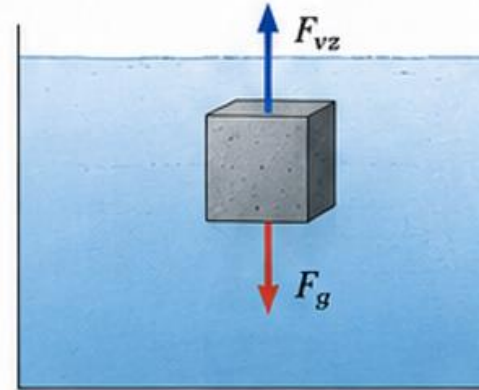
$$\rho_t = \rho_k$$



Vztlková síla je rovna tíhové síle.
Těleso se v kapalině vznáší (neutrální rovnováha).

c) TĚLESO STOUPÁ VZHŮRU

$$\rho_t < \rho_k$$



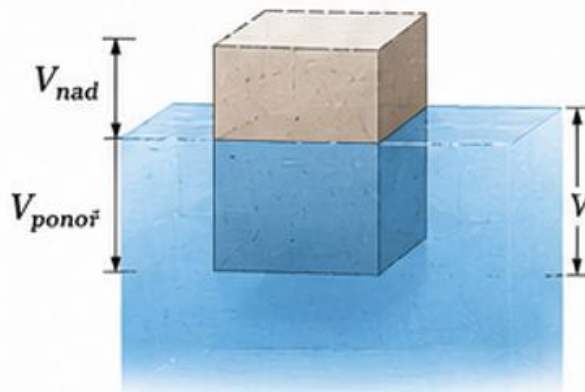
Vztlková síla je větší než tíhová síla.
Těleso stoupá vzhůru, až klesne do rovnováhy.

ρ_t ... hustota tělesa
 ρ_k ... hustota kapaliny
 F_g ... tíhová síla tělesa
 F_{vz} ... vztlková síla

 Těleso plave na hladině v rovnováze (nepotápí se a nestoupá), když vztlková síla je rovna tíhové síle.

5. POMĚR OBJEMŮ PONOŘENÉ ČÁSTI TĚLESA A CELÉHO TĚLESA

Těleso plave na hladině



Těleso je v rovnováze, proto platí:

$$F_{vz} = F_g$$

$$\rho_k g V_{ponoř} = \rho_t g V$$

$$\Rightarrow \frac{V_{ponoř}}{V} = \frac{\rho_t}{\rho_k}$$

V ... celý objem tělesa
 $V_{ponoř}$... objem ponořené části tělesa
 ρ_t ... hustota tělesa
 ρ_k ... hustota kapaliny

 Poměr objemu ponořené části tělesa k celému objemu tělesa je roven poměru hustoty tělesa k hustotě kapaliny.

DŮSLEDKY

- Čím menší je hustota tělesa vzhledem k hustotě kapaliny, tím menší část tělesa musí být ponořena, aby plovalo.
- Pokud $\rho_t = \rho_k$, je těleso zcela ponořeno a vznáší se uvnitř kapaliny.
- Pokud $\rho_t < \rho_k$, plave na hladině.
- Pokud $\rho_t > \rho_k$, klesá ke dnu.

5. Vztlková síla v praxi.

1. LODĚ A LEDOVCE

Ledovce plují, protože je vztlková síla rovna jejich tíži.

Přibližně 90 % objemu ledovce je pod hladinou.



Obrovské množství ledu tedy může plavat, aniž by se potopilo.

2. PONORKY – OVLÁDÁNÍ VZTLAKU

Ponorka mění svůj průměrný objem (a tím vztlak) pomocí balastních nádrží.

balastní nádrže
(naplněné vodou
nebo vzduchem)



PLUJE NA HLADINĚ

Nádrže naplněny vzduchem.
Větší vztlak – ponorka plave.



VZNÁŠÍ SE

Množství vody a vzduchu
v nádržích je vyváženo.
Vztlak = tíha ponorky.



KLESÁ KE DNU

Nádrže naplněny vodou.
Menší vztlak – ponorka klesá.



3. HORKOVZDUŠNÝ BALÓN

Ohřátý vzduch má menší hustotu než okolní chladnější vzduch.

Platí i pro plyny!

Teplý vzduch

$\rho_{\text{teplý}}$
menší



Studený vzduch

$\rho_{\text{studený}}$
větší



Balón stoupá, pokud je vztlak (váha vytlačeného vzduchu) větší než tíha celého balonu.

4. HELIUM A VZDUCHOLODĚ

Helium je lehčí než vzduch, proto je vztlak vzducholoďi větší než jejich tíha.



Látka	Hustota (kg/m ³)
Helium (He)	0,178
Vzduch	1,225

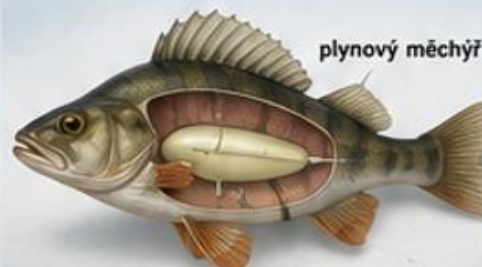


Roku 1937 vzducholoď LZ 129 Hindenburg vzplanula při přistání – vodík uvnitř byl vysoce hořlavý. Dnes se používá helium.



5. RYBY A PLYNOVÝ MĚCHÝŘ

Ryby mění množství plynu v plynovém měchýři a tím svůj průměrný objem a hustotu bez velké námahy.



plynový měchýř

Více plynu → menší hustota → ryba stoupá

Méně plynu → větší hustota → ryba klesá

Správné množství → ryba se vznáší

6. POTÁPĚČI A KOMPENZÁTOR VZTLAKU

Potápěči používají kompenzátor vztaku (BCD – Buoyancy Control Device).



Na fouknuto (vzduch)



Větší vztlak – potápěč stoupá.

Vy fouknuto (vzduch ven)



Menší vztlak – potápěč klesá.



Umožňuje snadné vznášení v jakékoli hloubce.

5. Vztlková síla v praxi.

DALŠÍ PŘÍKLADY VYUŽITÍ ARCHIMÉDOVA ZÁKONA

7. HYDROMETR

Hustoměr plave hlouběji v kapalinu větší hustoty a méně v menší hustotě.



Použití:

- vinařství (cukernatost moštu)
- pivovarnictví (koncentrace)
- automobilové baterie
- laboratorní měření

8. KORÁLOVÉ ÚTESY

Larvy korálů a mnoha mořských organismů se šíří oceány díky vztlkové síle – vznášejí se ve vodě po dlouhou dobu.



Bez vztlaku by život v oceánech vypadal úplně jinak.

9. ROPNÉ PLOŠINY

Obrovské plovoucí plošiny váží statisíce tun, přesto plavou díky vytlačenému objemu vody.



Využívají se při těžbě ropy a plynu na moři.

10. PLOVOUCÍ MOSTY

Některé mosty jsou podepřeny plovoucími pontony (např. most Evergreen Point v Seattlu, USA).



Pohybují se s vodní hladinou, jsou pružné a odolné.

11. MRTVÉ MOŘE

Vysoký obsah soli zvyšuje hustotu vody, a tím i vztlkovou sílu. Člověk se zde snadno udrží na hladině.



Hustota vody je asi $1,24\text{--}1,30\text{ g/cm}^3$.

12. VESMÍR A NEUTRÁLNÍ VZTLAK

Astronauti trénují ve velkých bazénech, kde je voda upravena tak, aby byl jejich vztlak téměř vyrovnán tíze – simulace beztlíže.



Vmožňuje nácvik práce ve vesmíru.

13. NEJVĚTŠÍ PLOVOUCÍ OBJEKT NA ZEMI

Prelude FLNG (2017)

- délka: 488 m
- šířka: 74 m
- výtlak: přes 600 000 tun

Plovoucí zařízení pro těžbu a zpracování zemního plynu.



Tak obrovský objekt může plavat, protože vytlačí obrovské množství vody.

14. JAK SE VÁŽÍ VELRYBY?

Váha velryb se určuje nepřímo pomocí Archimédova zákona. Velryba je krátce podepřena ve vodě, změří se síla potřebná k jejímu udržení (tíha minus vztlak) a z toho se vypočítá její hmotnost.



Vztlak nám pomáhá měřit i ty největší tvory na Zemi.

5. Špička ledovce.

VIDÍME JEN ŠPIČKU LEDOVCE

Většina ledovce je skrytá pod hladinou!

Archimédův zákon:
 $F_{vz} = \rho_k g V_{ponor}$

Přibližně
90 % objemu
je pod hladinou!

NAD HLADINOU
 V_{nad}

POD HLADINOU
 V_{ponor}

8,3 %
nad
hladinou

91,7 %
pod
hladinou



ZÁVĚR: Vidíme jen asi **8 %** ledovce.
Zbytek – přibližně **92 %** – je skrytý pod hladinou!



Proč?

Led ($\rho_l \approx 917 \text{ kg/m}^3$) je jen o něco
méně hustý než voda ($\rho_k \approx 1000 \text{ kg/m}^3$).

→ Led musí vytlačit
mnohem více vody,

→ aby vztlaková síla byla
dostatečně velká.

VÝPOČET: Jakou část ledovce vidíme?

- 1 Led plave, proto platí
rovnováha vztlakové a tíhové síly:

$$\rho_k g V_{ponor} = \rho_l g V_{celkem} \quad \begin{array}{l} \rho_k \dots \text{ hustota vody} \\ \rho_l \dots \text{ hustota ledu} \end{array}$$

- 2 Po zkrácení g a úpravě:

$$\frac{V_{ponor}}{V_{celkem}} = \frac{\rho_l}{\rho_k}$$

$$\rho_k \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_l \approx 917 \text{ kg/m}^3$$

- 3 Dosadíme hodnoty:

$$\frac{V_{ponor}}{V_{celkem}} = \frac{917}{1000} = 0,917$$

- 4 Procenta:

$$V_{ponor} \approx 91,7\% \quad (\text{pod hladinou})$$

$$V_{nad} = V_{celkem} - V_{ponor}$$

$$V_{nad} \approx 8,3\% \quad (\text{nad hladinou})$$

❄ ZAJÍMAVOSTI

- Největší ledovce mají i 90 % pod vodou.
- Ledovce mohou být až několik set metrů hluboké.
- Kolébání moře: objem skryté části se mění při tání.



6. Proudění tekutin.

PROUDĚNÍ TEKUTIN

Jak se pohybují kapaliny a plyny

1. CO JE PROUDĚNÍ?

Proudění je **uspořádaný pohyb** částic kapaliny nebo plynu.



Vyskytuje se v kapalných i plynných látkách.

KAPALINY



Voda v řece

PLYNY



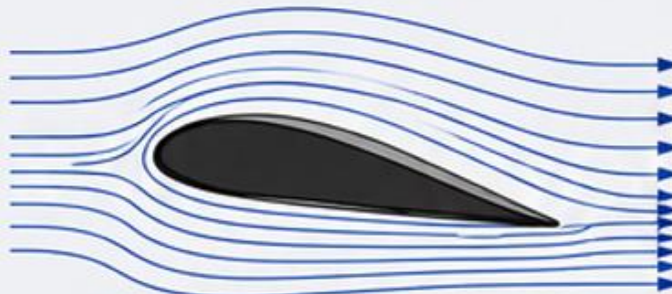
Kouř unášený větrem



Proudění je všude kolem nás – v přírodě, v technice i v našem každodenním životě.

2. PROUDNICE

Proudnice jsou čáry, jejichž tečny udávají **okamžitý směr** proudění v každém místě.



DŮLEŽITÁ VLASTNOST:

Proudnic se neprotínají.



Proudnic nikdy nevznikají ani nezanikají, pouze se ohýbají podle tvaru prostředí.

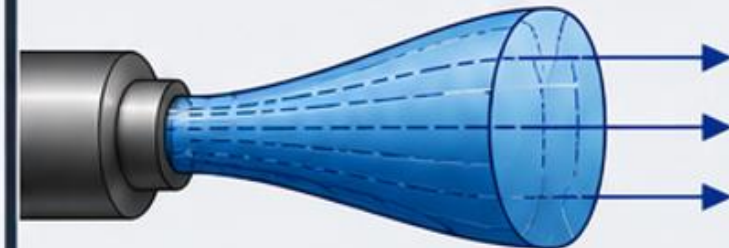
3. PRODOVÉ VLÁKNO (KAPALINA V TRUBICI)

Proudové vlákno je kapalina uzavřená v trubici. Všechny částice uvnitř trubice se pohybují **stejným směrem** (mohou mít různou rychlost).



4. PRODOVÁ TRUBICE

Proudová trubice je svazek proudových vláken. Je ohraničena pláštěm tvořeným proudnicemi.



6. Proudění tekutin.

5. STACIONÁRNÍ PROUDĚNÍ

V každém místě proudění zůstává rychlost a směr s časem neměnný.

Příklad: klidně tekoucí řeka

čas t_1



čas $t_2 > t_1$



Proudnice v čase t_1 ...



Proudnice v čase t_2 ...



Proudnice mají v čase stejný tvar a polohu.

6. NESTACIONÁRNÍ PROUDĚNÍ

Rychlost nebo směr proudění se v čase mění.

Příklady:

- povodeň
- horská bystřina
- turbulentní proud



Proudnice mění v čase svůj tvar a polohu.

7. LAMINÁRNÍ A TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ

LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ – proudnice jsou rovné, proudění je klidné a uspořádané.

Příklad: barvená voda v průhledné trubici



TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ – proudění je chaotické, vznikají víry a víření.

Příklady:

- peřeje na řece
- vir za překážkou
- kouř za letadlem



8. ZAJÍMAVOSTI O PROUDĚNÍ VODY NA ZEMI

NEJVĚTŠÍ ŘEKY SVĚTA (podle průměrného průtoku)

	AMAZONKA (Jižní Amerika)	Největší průtok na světě: ≈ 209 000 m ³ /s
	KONGO (Afrika)	Nejhlubší řeka světa: přes 220 m
	NIL (Afrika)	Nejdélší řeka světa: přibližně 6 650 km

NEJVĚTŠÍ VODOPÁDY SVĚTA (podle výšky / šířky)

	ANGELŮV VODOPÁD (Venezuela)	Nejvyšší vodopád světa: 979 m
	VIKTORIINY VODOPÁDY (Zambie – Zimbabwe)	Největší souvislá stěna padající vody na světě.
	IGUAZÚ (Argentina – Brazílie)	Soustava 275 vodopádů na řece Iguazú.

9. PROUDĚNÍ V ATMOSFÉŘE – JET STREAM



Jet stream je úzký proud velmi rychlého vzduchu ve výškách 8–15 km nad Zemí.

Rychlosti jet streamu:

- běžně 150–300 km/h
- extrém přes 500 km/h



Jet stream ovlivňuje:

- počasí a extrémy
- leteckou dopravu
- šíření znečištění a prachu



Letadla využívají jet streamu, aby zkrátily dobu letu.
Let z Evropy do Ameriky může být o 1–2 hodiny kratší.

6. Proudění tekutin.

10. NEJRYCHLEJŠÍ PŘÍRODNÍ PROUDĚNÍ NA ZEMI

TORNÁDO

Rychlosti větru
až 500 km/h.



JET STREAM

Nejrychlejší proudění
v atmosféře.
Až 500–600 km/h.



PYROKLASTICKÝ PROUD

Žhavý proud plynů, popela
a úlomků při výbuchu sopky.
Rychlosti až 700 km/h.



VÍTE, ŽE?

Proudění tekutin má zásadní
vliv na náš svět – od pohybu
řek a oceánů přes počasí
až po životy všech organismů.

**Bez proudění by nebyl
možný život na Zemi!**

NEJVĚTŠÍ TORNÁDA V HISTORII

Když se příroda rozzlobí

Tornádo je prudký vír
vzduchu sahající od základny
bouřkového mraku až k zemi.
Rychlosti větru mohou
přesáhnout 500 km/h.

ZAJÍMAVOSTI



Většina tornád trvá jen několik
minut, ale některá vydrží
i více než hodinu.



Rychlost větru v tornádech
kategorie EF5 může přesáhnout
500 km/h.



Tornáda mohou vzniknout
kdekoli na světě, ale nejvíce
v „Tornado Alley“ v USA.

FUJITOVA STUPNICE (EF)

Stupnice odhaduje intenzitu tornáda
podle škod, které napáchalo.

EF0	105–137 km/h	Lehké škody
EF1	138–178 km/h	Mírné škody
EF2	179–218 km/h	Značné škody
EF3	219–266 km/h	Vážné škody
EF4	267–322 km/h	Zničující škody
EF5	323+ km/h	Katastrofální škody

1 Tri-State Tornado

18. března 1925
USA (Missouri, Illinois, Indiana)



Dosud nejdelší zaznamenané tornádo.
Zůstalo na zemi více než 3,5 hodiny
a zasáhlo 3 státy.

2 Joplin Tornado

22. května 2011
USA (Missouri)



Extremně silné tornádo kategorie EF5,
které zničilo velkou část města Joplin.

3 El Reno Tornado

31. května 2013
USA (Oklahoma)



Jedno z nejširších tornád v historii.
Vitr ničil vše v širokém pásu
o šířce přes 4 kilometry.

4 Tornado v Moore

20. května 2013
USA (Oklahoma)



Silné EF5 tornádo, které zasáhlo
město Moore a způsobilo obrovské
škody na majetku.

5 Tuscaloosa-Birmingham Tornado

27. dubna 2011
USA (Alabama)



Dlouho trvající tornádo, které zasáhlo
univerzitu v Alabamě a velkou část
Birminghamu.

JAK SE CHRÁNIT?



Ukryjte se v pevném sklepě
nebo ve vnitřní místnosti
bez oken v přízemí.



Sledujte předpověď počasí
a varování meteorologické
služby.



Mějte připravený nouzový plán
a zásoby vody, jídla
a lékárníčku.



Nikdy se nesnažte předjet
tornádo – utečte kolmo
na jeho směr!

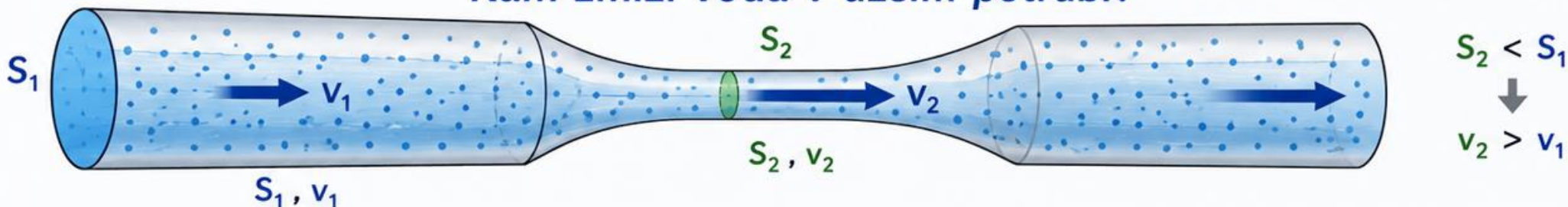


Tornáda připomínají, jak obrovskou sílu
má proudění vzduchu – a jak důležité je
respektovat přírodu.

7. Rovnice kontinuity.

ROVNICE SPOJITOSTI

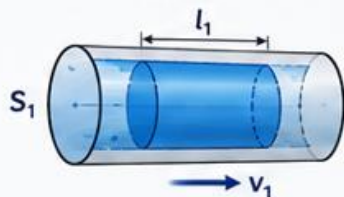
Kam zmizí voda v užším potrubí?



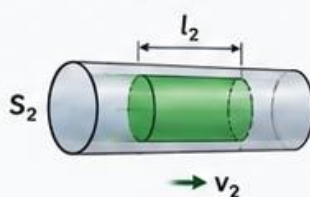
1. MYŠLENKOVÝ EXPERIMENT

Sledujme stejné množství kapaliny, které proteče potrubím za stejný čas – například za 1 sekundu.

Široká část



Úzká část



Objem musí být stejný, protože kapalina se ani nevytváří, ani nezaniká.

$$V_1 = V_2$$

2. ODVOZENÍ ROVNICE

Za čas t proteče:

$$V_1 = S_1 v_1 t$$

$$V_2 = S_2 v_2 t$$

Proto:

$$S_1 v_1 t = S_2 v_2 t$$

Po zkrácení časem t :

ROVNICE SPOJITOSTI

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

3. CO ŘÍKÁ ROVNICE?

- Menší průřez (S) → větší rychlost (v).



- Větší průřez (S) → menší rychlost (v).



Znáte to ze života:

Když přikryjete prstem konec zahradní hadice, proud vody vystřikne dál a rychleji.



4. PŘÍKLADY Z PRAXE – ROVNICE SPOJITOSTI VŠUDE KOLEM NÁS

Zahradní hadice



Zúžení otvoru → vyšší rychlost vody a delší dostřik.

Řeka v soutěsce



V úzké části kaňonu se voda zrychluje a proud je silnější.

Krevní oběh



V zúžené cévě se krev pohybuje rychleji (např. při zúžení tepny).

Hasičská proudnice



Zúžená tryska zvyšuje rychlost vody a umožňuje větší dostřik.

Tryska raketového motoru



Spaliny se v trysce urychlují na velmi vysoké rychlosti.

Vodní paprsek řezačky



Velmi úzká tryska vytváří extrémně rychlý paprsek.

5. ZAJÍMAVOSTI

Nejrychlejší řeky

V horských kaňonech mohou peřeje dosahovat rychlosti až 20–25 m/s (≈ 90 km/h).



Krev v aortě

Rychlost krve v aortě je přibližně $v \approx 1$ m/s (klidový stav).



Vodní paprsek

Vodní paprsek z průmyslové řezačky dosahuje rychlosti až 1000 m/s!



Proudění v tryskovém motoru

Rychlost spalin v trysce může být stovky až tisíce metrů za sekundu.



Jestliže kapalina nemůže vznikat ani zanikat, musí stejný objem protéci všemi částmi potrubí za stejný čas.

Proto se v užších místech proudění zrychluje.

7. Rovnice kontinuity.

ROVNICE SPOJITOSTI V PRAXI

Kde všude se skrývá zákon zachování toku?

1. PROČ SE PROUD VODY ZUŽUJE?



Po opuštění baterie na vodu působí gravitace. Rychlost vody roste s časem:

$$v = v_0 + g t$$

Protože průtok musí zůstat zachován:

$$Q = S v = \text{konst.}$$

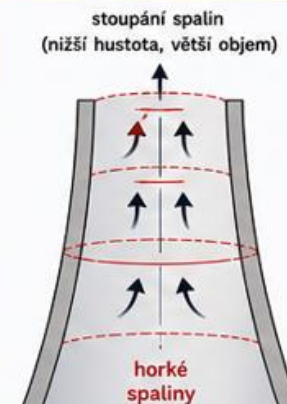
musí se průřez proudy zmenšovat.

VĚTŠÍ RYCHLOST → MENŠÍ PRŮŘEZ

Toto krásně ukazuje rovnici spojitosti.



2. PROČ MAJÍ KOMÍNY TVAR KOMOLÉHO KUŽELE?



Horké spaliny stoupají vzhůru. Jejich hustota klesá a objem roste. Aby byl zachován průtok hmoty (rovnice spojitosti pro stlačitelné proudění), zvětšuje se průřez komína.

Tvar komolého kužele snižuje odpor a zajišťuje lepší tah.

CHLADICÍ VĚŽE ELEKTRÁREN

Mají hyperbolický tvar, který podporuje přirozený tah vzduchu a odvod teplého vlhkého vzduchu.



3. DALŠÍ PŘEKVAPIVÉ PŘÍKLADY

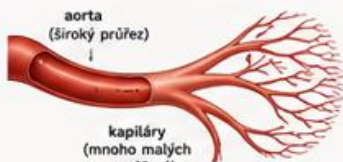
PŘESÝPACÍ HODINY



Písek protéká z horní nádoby do dolní. Stejný průtok musí projít každým místem krčku hodin.

Zúžené hrdlo → vyšší rychlost.

KREVNI OBĚH



Celkový průřez kapilár je mnohonásobně větší než průřez aorty, proto krev v nich proudí velmi pomalu.

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

ŘEKA V KAŇONU



V úzkém místě koryta řeky rychleji.

HASIČSKÁ PROUDNICE



Voda vstupuje do proudnice velkým průřezem a vystupuje úzkou tryskou. Malý výstupní průřez → velmi vysoká rychlost → daleký dostřik.

TRYSKA RAKETOVÉHO MOTORU



Spaliny vstupují do trysky širokým průřezem a úzkou tryskou vystupují velkou rychlostí. To vytváří tah, který pohání raketu.

VODNÍ PAPERSEK ŘEZAČKY



Voda je stlačena a protlačena velmi malým otvorem. Výstupní rychlost může dosahovat až 1000 m/s!

4. MATEMATICKÁ UNIVERZÁLNOST ROVNICE SPOJITOSTI

A) ZACHOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO NÁBOJE

Elektrický proud je tok náboje.



Náboj nemůže vznikat ani zanikat, proto musí platit:

$$I_1 = I_2$$

Stejná matematika jako proudění kapaliny!

Obecná forma zákona zachování náboje (Maxwellovy rovnice):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = 0$$

kde ρ ... hustota náboje
 $\vec{J}$... proudová hustota

B) TEORIE RELATIVITY – ZACHOVÁNÍ ENERGIE A HYBNOSTI



V obecné relativitě řeší Einsteinova teorie zachování energie a hybnosti látky a záření.

Zobecněná rovnice spojitosti:

$$\nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0$$

kde $T^{\mu\nu}$... tenzor energie a hybnosti
 μ, ν ... časoprostorové indexy

Vyjadřuje, že energie a hybnost nemohou vznikat ani zanikat – pouze se přenášet.

5. ROVNICE SPOJITOSTI VE VESMÍRU



Proudění plazmatu na Slunci, sluneční vítr, magnetické smyčky... Stejně zákony zachování toku používají fyzikové při modelování hvězd, galaxií i rozpínání vesmíru.



Zajímavost:

Stejná matematická myšlenka – co někam vtéká a nevzniká ani nezaniká, musí také odtékat – platí pro:



vodu v potrubí



elektrický náboj



energie



hybnost



částice v astrofyzice



proudění plazmatu ve hvězdách

a mnoho dalšího!

8. Bernoulliho rovnice.

DANIEL BERNOULLI

Muž, který vysvětlil proudění kapalin i chování plynů



1700
narozen
29. ledna
v Groningen,
Nizozemsko



1725
odchází do
Sankt Petěrburgu
na pozvání cara
Petra Velikého



1738
vydává své
nejvýznamnější dílo
Hydrodynamica



1741–1766
profesor matematiky
na Akademii věd
v Petrohradu



1782
umírá
17. března
v Basileji,
Švýcarsko



Zakladatel hydrodynamiky a autor Bernoulliho rovnice.



1. SLAVNÁ RODINA BERNOULLIŮ

Matematický talent se v rodině dědil z generace na generaci.



STRÝC

Jacob Bernoulli (1654–1705)
Jeden z největších matematiků své doby.
• teorie pravděpodobnosti
• Bernoulliho čísla
• jeden z prvních matematiků, kteří se podíleli na rozvoji diferenciálního počtu (nezávisle na Leibnizovi)



OTEC

Johann Bernoulli (1667–1748)
Vynikající matematik, spolupracovník Leibnize. Autor mnoha prací z analýzy, geometrie a variačního počtu. Byl učitelem Leonharda Eulera.



DANIEL

Daniel Bernoulli (1700–1782)
Fyzik a matematik, zakladatel hydrodynamiky. Autor slavné Bernoulliho rovnice.



BRATR

Nicolaus Bernoulli (1687–1759)
Významný matematik, autor prací z diferenciálního počtu a mechaniky.



Rodina Bernoulliů dala světu více než deset významných matematiků během tří generací.

4. KNIHA, KTERÁ ZMĚNILA FYZIKU

Hydrodynamica (1738)

První ucelené dílo o mechanice tekutin.

Poprvé systematicky vysvětlila:

- ✓ proudění kapalin a plynů
- ✓ vztah mezi tlakem, rychlostí a výškou
- ✓ energii tekutin
- ✓ vztlak a chování těles v kapalinách



Právě v této knize byla publikována slavná rovnice, která nese jeho jméno – Bernoulliho rovnice.

2. UČITEL SLAVNÉHO EULERA



Leonhard Euler
(1707–1783)

Johann Bernoulli
(Eulerův učitel)

Leonhard Euler
(žák)

Moderní matematika
a fyzika

★ Euler byl žákem Danielova otce Johanna Bernoulliho.

★ Později se Daniel a Euler stali kolegy na Akademii věd v Petrohradu.

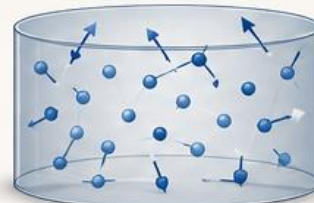
★ Společně položili základy moderní mechaniky tekutin.



Jejich přátelství přineslo některé z nejdůležitějších objevů v oblasti fyziky 18. století.

5. DANIEL BERNOULLI PŘEDBĚHL DOBU

Daniel Bernoulli studoval plyny jako soubor mnoha malých částic v neustálém pohybu. To bylo téměř 100 let před vznikem kinetické teorie plynů!



Tlak plynu vzniká nárazy částic na stěny nádoby.



Ve 30. letech 18. století to byla revoluční myšlenka.

6. BERNOULLI KOLEM NÁS



Letadlo – vztlak křídla



Rozprašovač



Karburetor motoru



Venturiho trubice (měření průtoku)



Komínový efekt – tah



Plachetnice – vítr a plachty



ZAJÍMAVOST:
NEJVlivnější MATEMATICKÁ
RODINA HISTORIE?

Během přibližně sta let vyprodukovala rodina Bernoulliů mimořádné množství špičkových matematiků a fyziků. Jejich jméno dnes nesou desítky pojmů:

- Bernoulliho rovnice
- Bernoulliho rozdělení
- Bernoulliho proces
- Bernoulliho čísla
- Bernoulliho princip
- více než 30 dalších pojmů v matematice a fyzice
- Bernoulliho polynomy
- Bernoulliho test

Od kapek vody v baterii až po proudění hvězdného větru – stejné zákony popsané Danielem Bernoullim používáme dodnes v technice i při zkoumání vesmíru. Jeho odkaz proudí dál s každou kapalinou i každým plynem.

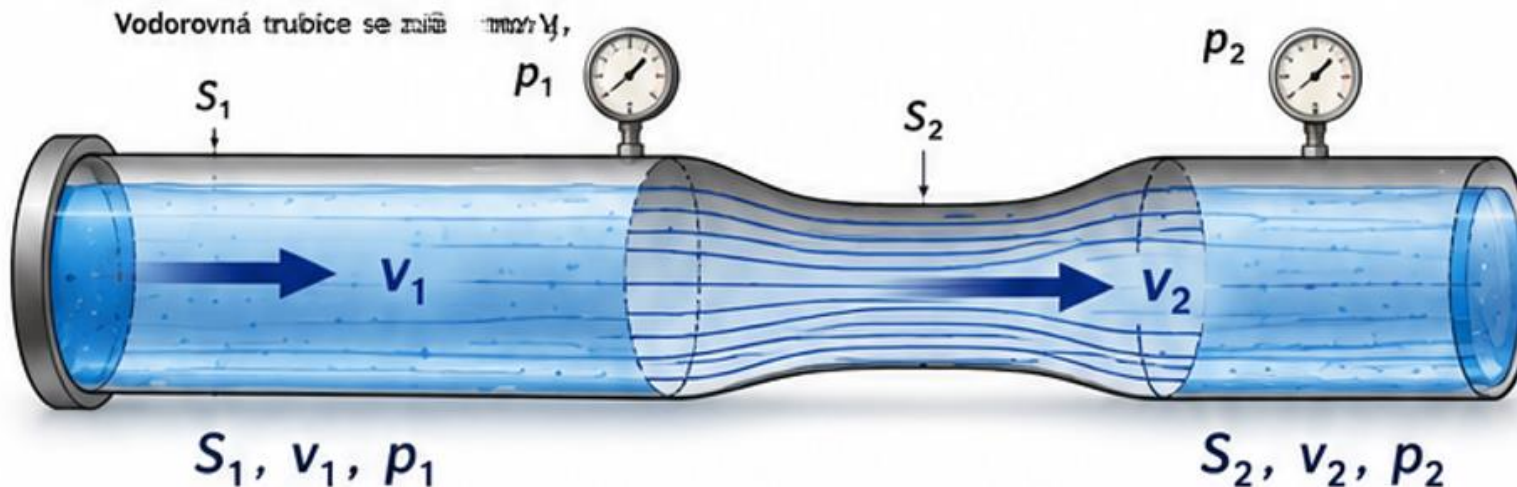


8. Bernoulliho rovnice.

BERNOULLIHO ROVNICE

Jak spolu souvisejí tlak, rychlost a výška proudící kapaliny?

1. MYŠLENKOVÝ EXPERIMENT



Co už víme z rovnice spojitosti?

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

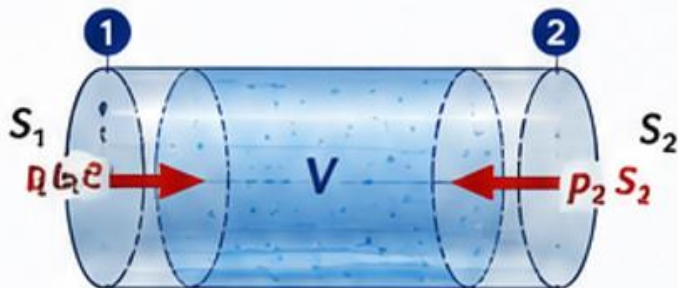
Proto:

$$S_2 < S_1 \Rightarrow v_2 > v_1$$

- V užší části trubice je rychlost větší.
- Jak se změní tlak?

2. ODVOZENÍ BERNOULLIHO ROVNICE (VODOROVNÁ TRUBICE)

Uvažujme válec kapaliny o objemu V , který se za čas Δt posune z řezu 1 do řezu 2.



Práce tlakových sil, která působí na válec:

$$W = p_1 S_1 \Delta x_1 - p_2 S_2 \Delta x_2 = p_1 V - p_2 V$$

(protože $V = S_1 \Delta x_1 = S_2 \Delta x_2$)

Změna kinetické energie válce:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \rho V v_2^2 - \frac{1}{2} \rho V v_1^2$$

Podle věty o změně kinetické energie (se zanedbáním tření):

$$W = \Delta E_k$$

Po dosazení a úpravě:

$$p_1 V - p_2 V = \frac{1}{2} \rho V v_2^2 - \frac{1}{2} \rho V v_1^2$$

Po zkrácení objemu V :

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

**BERNOULLIHO ROVNICE
PRO VODOROVNOU TRUBICI**

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

8. Bernoulliho rovnice.

3. VÝZNAM BERNOULLIHO ROVNICE

VELKÝ TLAK



MALÁ RYCHLOST

Kapalina se pohybuje pomaleji.
(energie je uložena v tlaku)

MALÝ TLAK



VELKÁ RYCHLOST

Kapalina se pohybuje rychleji.
(energie je uložena v pohybu)

SOUČET ZŮSTÁVÁ ZACHOVÁN

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

Energie se pouze převádí
mezi tlakem a pohybem.

p ... statický tlak [Pa]

ρ ... hustota kapaliny [kg/m³]

v ... rychlost proudění [m/s]

Platí pro ustálené (stacionární),
nestlačitelné proudění bez tření
po jedné proudnici.

4. VYUŽITÍ BERNOULLIHO ROVNICE V PRAXI

A. ROZPRAŠOVAČ (ATOMIZÉR)

Rychlý proud vzduchu v úzké trysce má nižší tlak
(podle Bernoulliho rovnice).



Atmosférický tlak vytlačí kapalinu vzhůru do oblasti
nižšího tlaku, kde se rozpraší na jemné kapičky.

PŘÍKLADY:



parfém



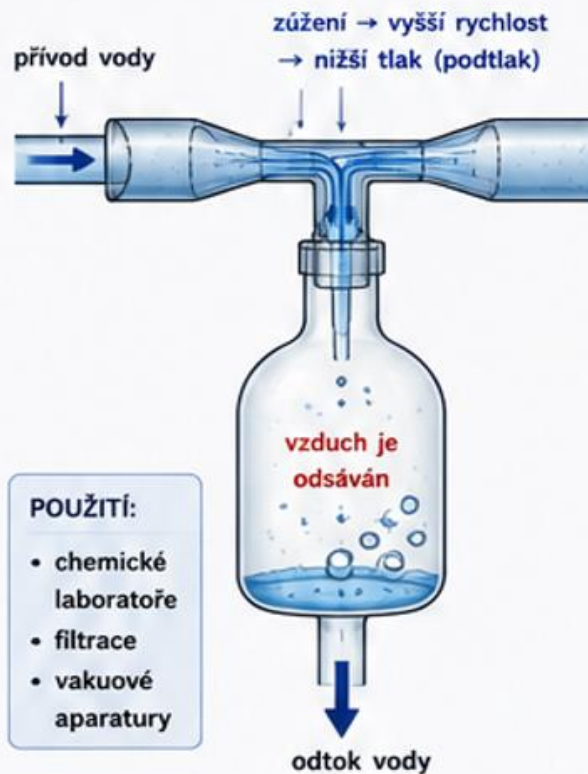
fixírka



stříkací
pistole

B. VODNÍ VÝVĚVA

Rychlý proud vody ve zúžené části snižuje tlak.
Vznikající podtlak odsává vzduch z nádoby.

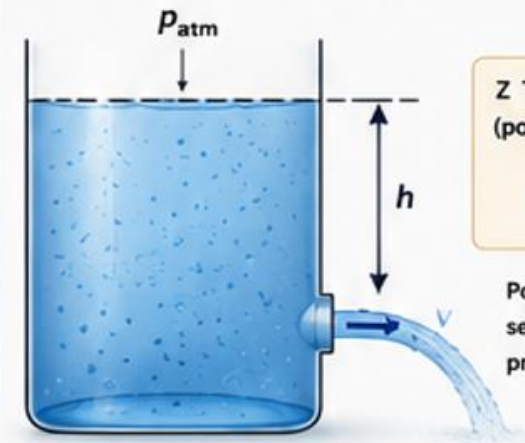


POUŽITÍ:

- chemické laboratoře
- filtrace
- vakuové aparatury

C. VÝTOK KAPALINY Z NÁDOBY

Kapalina vytéká otvorem ve stěně nádoby.



Z Torricelliho vztahu
(podle Bernoulliho rovnice):

$$v = \sqrt{2gh}$$

Potenciální energie polohy
se mění na kinetickou energii
proudu kapaliny.

PŘÍKLADY:



zahradní hadice



nádrž na vodu



přehradní výpust

9. Proudění reálné tekutiny.

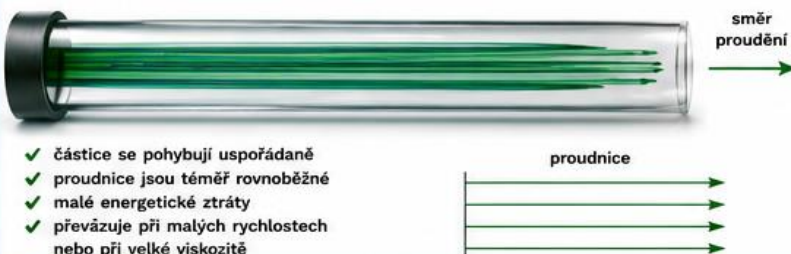
PROUDĚNÍ REÁLNÉ TEKUTINY

— Proč skutečné kapaliny neprotékají ideálně? —

1. LAMINÁRNÍ A TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ

LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ

Uspořádané, klidné proudění v pravidelných vrstvách.



- ✓ částice se pohybují uspořádaně
- ✓ proudnice jsou téměř rovnoběžné
- ✓ malé energetické ztráty
- ✓ převládá při malých rychlostech nebo při velké viskozitě

TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ

Neuspořádané, vířivé proudění.



- ✗ vznik vírů a chaotické pohyby
- ✗ proudnice se kříží a mění směr
- ✗ velké energetické ztráty
- ✗ převládá při velkých rychlostech nebo při malé viskozitě



Rozdíl je způsoben viskozitou kapaliny.

Viskozita způsobuje tření mezi sousedními vrstvami, které brzdí pohyb a potlačuje vznik vírů.

→ **LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ** – proudění je klidné, vrstvy kapaliny se pohybují vedle sebe.

→ **TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ** – proudění je nepravidelné, s víry různých velikostí.

2. REYNOLDSOVO ČÍSLO



Osborne Reynolds
(1842–1912)
britský fyzik

Reynolds zkoumal proudění vody v trubici. Do vody vstříkával barvivo.

malá rychlost → laminární proudění



velká rychlost → turbulentní proudění



Reynoldsovo číslo určuje charakter proudění:

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad \text{nebo} \quad Re = \frac{v d}{\nu}$$

- ν ... charakteristická rychlost proudění [m/s]
- d ... charakteristický rozměr (např. průměr trubice) [m]
- ρ ... hustota kapaliny [kg/m³]
- η ... dynamická viskozita [Pa·s]
- ν ... kinematická viskozita, $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ [m²/s]

Reynoldsovo číslo:

LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ
 $Re < 2300$

PŘECHODOVÁ OBLAST
 $2300 \leq Re \leq 4000$

TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ
 $Re > 4000$

3. VISKOZITA

MED
(vysoká viskozita)



teče velmi pomalu

OLEJ
(střední viskozita)



teče pomaleji

VODA
(nízká viskozita)



teče rychle

Co je viskozita?

Viskozita je mírou vnitřního tření mezi vrstvami kapaliny. Čím je viskozita větší, tím hůře kapalina teče.

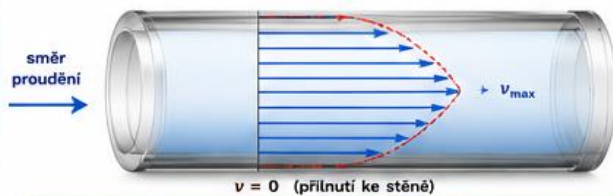
Zajímavost:

U kapalin viskozita s rostoucí teplotou klesá.
U plynů naopak roste.



4. MEZNÍ VRSTVA A RYCHLOSTNÍ PROFIL V TRUBICI

Rychlostní profil laminárního proudění v trubici



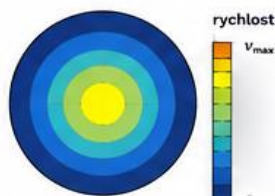
$v = 0$ (přilnutí ke stěně)

Proč vzniká tento profil?

- Viskozita způsobuje tření mezi vrstvami kapaliny.
- Vrstva kapaliny přímo u stěny je prakticky nehybná ($v = 0$).
- Směrem ke středu je vnitřní tření menší, proto rychlost roste.
- Největší rychlost má kapalina uprostřed trubice.

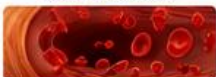
💡 Kdyby kapalina neměla viskozitu, proudily by všechny vrstvy stejně rychle (profil by byl „plochý“).

Rozložení rychlostí v průřezu



6. PROUDĚNÍ KOLEM NÁS – PŘÍKLADY

KREV V CÉVÁCH



V tepnách je proudění většinou laminární ($Re \sim 10^2$ až 10^3).

KOŮŘ Z KOMÍNA



Při malém průtoku je kouř laminární, při větším se stává turbulentním.

LETADLO



Mezní vrstva ovlivňuje vztlak i odpor. Při velkém úhlu náběhu může dojít k odtržení proudění.

FORMULE 1



Proudění je velmi složité, vzniká mnoho vírů. Tvar vozu řídí proudění vzduchu.

ŘEKA



Klidná hladina – laminární proudění, peřeje a proudy – turbulentní proudění.

CYKLISTA



Aerodynamický odpor závisí na tvaru těla, poloze a povrchu (mezní vrstvě).

NA CO SI PAMATOVAT?

- Skutečné kapaliny mají viskozitu.
- Charakter proudění určuje Reynoldsovo číslo.
- U povrchu tělesa vzniká mezní vrstva, kde je rychlost od nuly až po rychlost volného proudu.
- Vhodný (aerodynamický) tvar snižuje odpor tím, že oddaluje vznik vírů a zmenšuje jejich oblast.



ZAJÍMAVOST – JAK POZNÁME TURBULENCE V LETADLE?

Turbulence vznikají rozpadem uspořádaného proudění na víry různých velikostí. Letadla se snaží létat mimo nejsilnější turbulentní oblasti (např. v okolí bouřek), ale zcela se jim vyhnout nelze.

Signály turbulence:



chvění letadla



změny výšky



rychlostní výkyvy

nerovnoměrná rychlost a směru.



Piloti sledují meteorologické rádar, odhadují intenzitu. Moderní letadla jsou konstruována tak, aby zvládla silné turbulence bez poškození.



10. Odporové síly prostředí.

ODPOROVÉ SÍLY PROSTŘEDÍ A VZTLAK

Proč některá tělesa padají pomalu a jiná létají?

1. ODPOROVÉ SÍLY PROSTŘEDÍ – jak se projevují

Parašutista



Cyklista



Automobil



Kapka deště

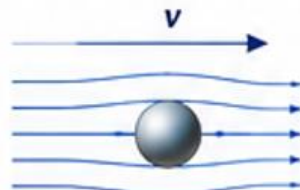


Stokesův zákon

platí pro malé částice
v kapalině při malých rychlostech
(laminární proudění)



George G. Stokes
(1819–1903)



$$F_d = 6\pi\eta r v$$

η ... dynamická viskozita [Pa·s]
 r ... poloměr částice [m]
 v ... rychlost částice vzhledem ke kapalině [m/s]

Platí pro:

- malé rychlosti ($Re \ll 1$)
- laminární proudění
- kulovité částice (nebo velmi malé objekty)

Příklady:



pylová
zrna



sedimentace
částic



mlha



krevní
buňky

Newtonův vztah

platí pro větší tělesa
při vyšších rychlostech
(turbulentní proudění)



$$F_d = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2$$

C_x ... součinitel odporu (bezrozměrný)

ρ ... hustota prostředí [kg/m³]

S ... čelní plocha [m²]

v ... rychlost tělesa vzhledem k
prostředí [m/s]

Součinitel odporu C_x pro různé tvary těles

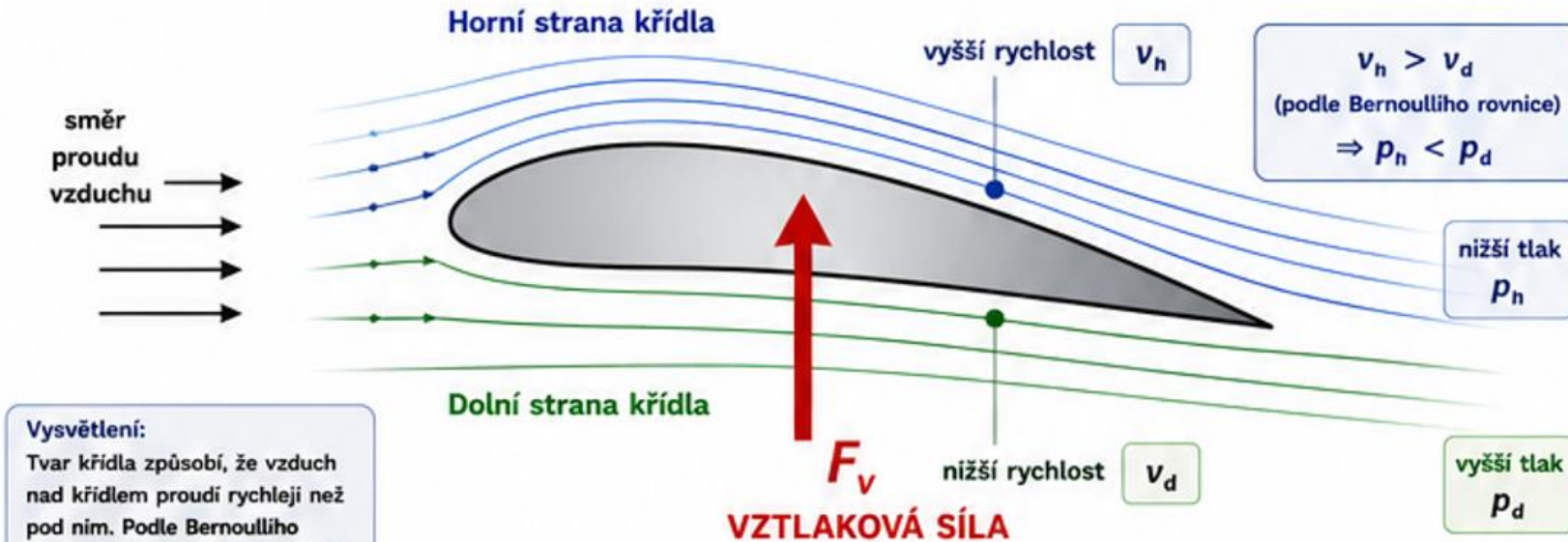
Těleso	Tvar (náčrt)	C_x
Aerodynamická kapka		0,04
Tučňák		0,05
Delfin		0,04 – 0,06
Osobní auto		0,20 – 0,35
Koule		0,47
Cyklista		0,8 – 1,0
Kostka		1,0
Padák		1,3 – 1,8

Čím menší je C_x , tím menší je odporová síla
při stejné rychlosti.

10. Odporové síly prostředí.

2. JAK VZNIKÁ VZTLAKOVÁ SÍLA?

Vztlaková síla umožňuje létání letadel, klouzání ptáků i rotorový let helikoptér.



Vysvětlení:

Tvar křídla způsobí, že vzduch nad křídlem proudí rychleji než pod ním. Podle Bernoulliho rovnice má rychlejší proud nižší tlak. Rozdíl tlaků mezi spodní a horní stranou křídla vytváří vztlakovou sílu směřující vzhůru.



Důležité: Moderní vysvětlení vztlaku zahrnuje nejen Bernoulliho rovnici, ale také změnu hybnosti (momentu) proudu vzduchu obtékajícího křídlo.



Dopravní letadlo



Akrobatické letadlo



Větroň

10. Odporové síly prostředí.

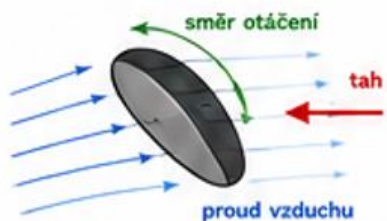
3. ZAJÍMAVOSTI A PRAKTICKÉ APLIKACE

VRTULE LETADLA

Vrtule je vlastně rotující křídlo.

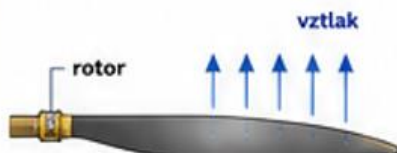
Úhel náběhu se po délce listu mění: u kořene je menší, na konci větší.

Každý řez listem má tvar křídla, který vytváří vztlak a posouvá letadlo vpřed.



HELIKOPTÉRA

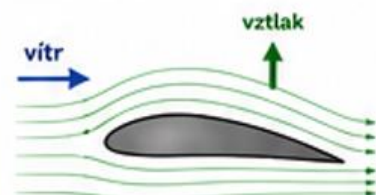
Každý list rotoru funguje jako dlouhé rotující křídlo.



Rotační vztlak listů má směr vzhůru, takže helikoptéra stoupá, klesá nebo se vznáší.

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA

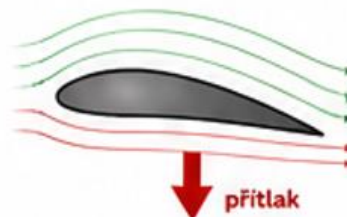
Lopatka větrné elektrárny je v podstatě obrácená vrtule.



Vítr proudí kolem lopatky, vzniká vztlak a ten otáčí rotorem, který vyrábí elektřinu.

FORMULE 1 – PŘÍTLAK

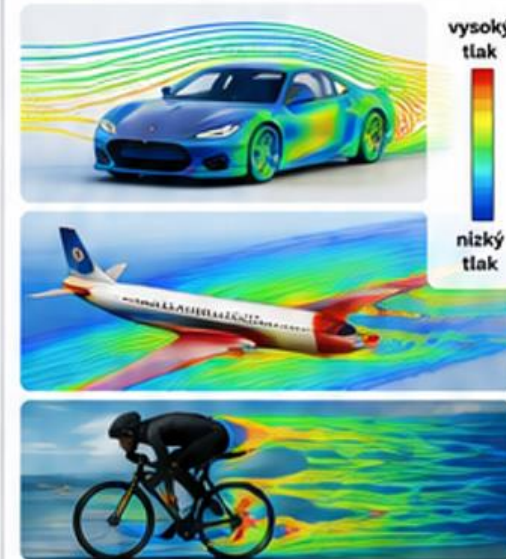
Křídla u formule 1 jsou často otočena vzhůru nohama.



Rychlejší proud nad křídlem snižuje tlak, takže vzniká síla směřující dolů – přítlak. Ten udržuje vůz na trati.

MODERNÍ SIMULACE (CFD)

Dnes se aerodynamika navrhuje pomocí výkonných počítačů.



Počítačové simulace (CFD) umožňují vizualizovat proudění, tlaky a síly na tělesa a optimalizovat jejich tvar.

PROČ MAJÍ PTÁCI, RYBY A LETADLA PODOBNÉ TVARY?

Evoluce i technika nezávisle dospěly k tvarům s minimálním odporem prostředí a maximální účinností.



Menší odpor = menší spotřeba energie, vyšší rychlost, větší dolet, lepší výkon.



11. Kovová voda.

MŮŽE BÝT VODA KOVEM?



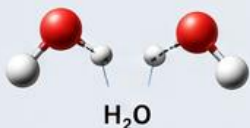
obyčejná voda



kovová voda

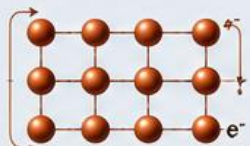
CO JE KOVOVÁ VODA?

BĚŽNÁ VODA



Elektrony jsou pevně vázány v molekulách vody. Voda je elektrický **izolant** a proud nevede.

KOV (např. měď)



Kov obsahuje volné elektrony, které se mohou volně pohybovat celým materiálem. Proto **vede elektrický proud**.

KOVOVÁ VODA



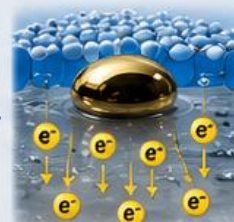
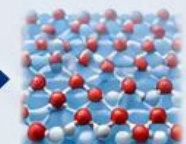
Vzniká tehdy, když se do vody uvolní dostatek elektronů. Voda se začne chovat podobně jako kov – **vede elektrický proud** a má kovové vlastnosti.

KOVOVÁ VODA

Kapalina, která vede elektrický proud jako kov

JAK VZNIKLA?

- 1 Kapka slitiny sodíku a draslíku (NaK)
- 2 Vakuová komora – vyloučení vzduchu a vlhkosti
- 3 Tenká vrstva čisté vody
- 4 Kontakt: alkalický kov uvolní elektrony



Elektrony proniknou do vody → voda získá kovové vlastnosti a zlatý lesk.



CO VĚDCI POZOROVALI?

- ✓ kovový (zlatý) lesk
- ✓ elektrickou vodivost
- ✓ změnu optických vlastností
- ✓ vznik a zánik během několika sekund
- ✓ existenci jen v extrémních podmínkách (bez vzduchu)

ČEŠTÍ VĚDCI U OBJEVU

Na objevu kovové vody se významně podílel mezinárodní tým, jehož klíčovou součástí byli vědci z České republiky.



Ústav organické chemie
a biochemie AV ČR
(IOCB Prague)



Akademie věd
České republiky



Prof. RNDr. **Pavel Jungwirth, DSc.**
patří mezi světově **nejcitovanější** české chemiky. Dlouhodobě se zabývá strukturou a chováním vody a roztoků na molekulární úrovni.



Rok objevu: **2021**



Výsledky publikovány v prestižním časopise **Nature**.

nature
The international journal of science



PROČ JE TO DŮLEŽITÉ?

LEPŠÍ POCHOPENÍ PŘÍRODY



Pomáhá nám lépe porozumět chování **elektronů**, vlastnostem kovů a jedinečné povaze vody.

VÝZKUM EXTRÉMNÍCH STAVŮ HMOTY

Podobné podmínky mohou existovat:

- hluboko uvnitř planet
- v nitru Jupiteru a jiných plyných obrů
- v některých hvězdách a exoplanetách



ZAJÍMAVOST

Ještě před několika lety si většina fyziků nebyla jistá, zda lze kovovou vodu vůbec vytvořit.

Dnes už víme, že ano – ale jen **na zlomky sekund!**

VODA UMÍ BÝT...

PEVNÁ



led

KAPALNÁ



voda

PLYNNÁ



pára

KOVOVÁ



kovová voda

Voda patří k **nejpodivuhodnějším** látkám ve vesmíru. V extrémních podmínkách se může chovat způsobem, který by ještě nedávno připadal **nemožný**.

„Objev kovové vody je krásným příkladem toho, jak moderní věda posouvá hranice možného. I zdánlivě obyčejná voda nás stále dokáže překvapit.“ – Pavel Jungwirth

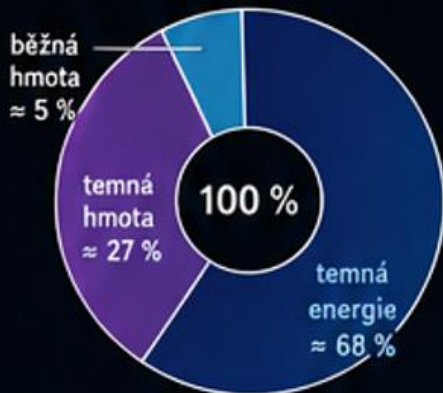
12. Svatý grál fyziky - TOE.

VESMÍR POD MIKROSKOPEM

Od galaxií až po kvantovou pěnu časoprostoru

1. NEBESKÁ MECHANIKA 21. STOLETÍ

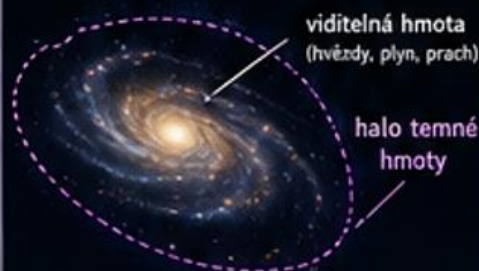
Z čeho se skládá vesmír?



Víme s jistotou pouze velmi málo. Většinu vesmíru tvoří složky, které nevidíme přímo.

TEMNÁ HMOTA

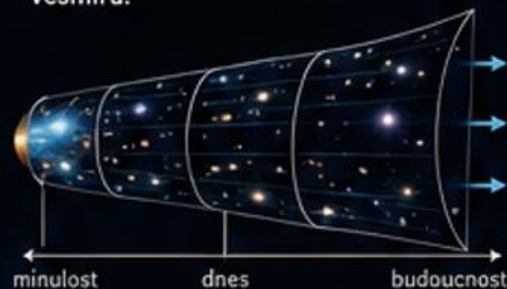
Neviditelná hmota, která se projevuje svojí gravitací.



Galaxie se otáčejí příliš rychle na to, aby je pohromadě držela pouze viditelná hmota.

TEMNÁ ENERGIE

Záhadná energie prostupující prostorem. Je zodpovědná za zrychlování rozpínání vesmíru.



Rozpínání vesmíru se nezpomaluje, ale zrychluje.

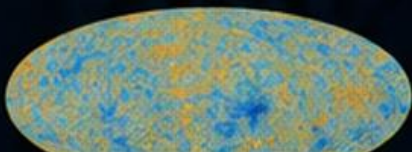
ROZPÍNÁNÍ VESMÍRU

Vzdálenost galaxií od nás v závislosti na čase



HUBBLEOVO NAPĚTÍ – JEDNA Z NEJVĚTŠÍCH ZÁHAD DNES

Měření z reliktního záření (Planck)



$$H_0 = 67,4 \pm 0,5 \text{ km/s/Mpc}$$

Měření z velmi vzdálených galaxií (supernovy typu Ia, HST)



$$H_0 = 73,0 \pm 1,0 \text{ km/s/Mpc}$$

Dvě přesné metody dávají různé výsledky.

Proč? Možná nám ve fyzice stále něco chybí.



CO UŽ VÍME?

- ✓ Vesmír je starý přibližně 13,8 miliardy let.
- ✓ Počátek vesmíru: Velký třesk.
- ✓ Vesmír se rozpíná a jeho rozpínání se zrychluje.
- ✓ Vznik a vývoj galaxií vysvětlujeme kombinací běžné hmoty, temné hmoty a temné energie.
- ✓ Stále však neznáme povahu temné hmoty ani temné energie.

12. Svatý grál fyziky - TOE.

2. KVANTOVÁ MECHANIKA KOLEM NÁS

Pravidla světa na nejmenších měřítkách řídí jevy, které používáme každý den.

CO JE KVANTOVÁ MECHANIKA?

Teorie popisující chování hmoty a energie na úrovni atomů, elektronů a elementárních částic.

SUPERPOZICE

Částice může být na více místech současně.

TUNELOVÝ JEV

Částice může projít bariérou, i když nemá dost energie.

KVANTOVÉ PROVÁZÁNÍ

Dvě částice mohou být provázané tak, že změna stavu jedné okamžitě ovlivní druhou – i na velké vzdálenosti.

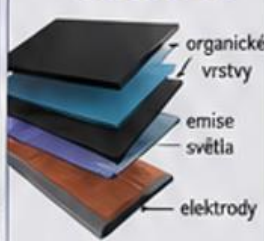
KVANTOVÁ MECHANIKA V KAPSE I V KAŽDODENNÍM ŽIVOTĚ

MOBILNÍ TELEFON



Tranzistory v čipech jsou založeny na kvantových jevech v polovodičích. Bez kvantové mechaniky by neexistovala moderní elektronika.

OLED DISPLEJE



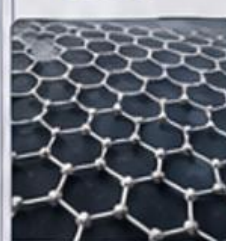
Organické molekuly vyzařují světlo díky kvantovým přechodům elektronů. Výsledkem jsou tenké, jasné a úsporné displeje.

KVANTOVÉ TEČKY (QLED)



Velikost kvantových teček určuje barvu světla, které vyzařují. Používají se v nejmodernějších televizích a monitorech.

GRAFEN



Jedna vrstva atomů uhlíku s výjimečnými vlastnostmi: výborně vede elektrický proud, je pevný a zároveň pružný a lehký.

OHEBNÉ DISPLEJE



Díky organickým polovodičům a grafenu mohou být displeje tenké, ohebné a odolné.

MRI – MEDICÍNA



Magnetická rezonance využívá jader atomů v silném magnetickém poli k získání obrazů zevnitř těla.



Od laserů, GPS, LED žárovek až po počítače a lékařskou techniku – kvantová mechanika je základem moderní společnosti.

STRUČNÝ PŘEHLED PRŮKOPNÍKŮ KVANTOVÉ FYZIKY

Od zrodu kvant až po materiály budoucnosti.

1913

NIELS BOHR



Kvantovaný model atomu vodíku. Elektrony se mohou pohybovat jen po určitých drahách.



1924

LOUIS DE BROGLIE



Vlnově-částicový dualismus. Každá částice hmoty má vlnové vlastnosti.



1925

WERNER HEISENBERG



Princip neurčitosti. Nelze současně přesně znát polohu a hybnost částice.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

1926

ERWIN SCHRÖDINGER



Vlnová rovnice. Vývoj kvantového stavu částice popisuje Schrödingerova rovnice.

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$$

1927

PAUL A. M. DIRAC



Relativistická kvantová mechanika. Spojil kvantovou mechaniku s teorií relativity.

$$(i\hbar \gamma^\mu \partial_\mu - mc)\psi = 0$$

1928

PAUL DIRAC



Vlnová rovnice číslo. Schrödinger. Vpově kvantového stavu částice popisuje Diracova rovnice.

$$(i\hbar \gamma^\mu \partial_\mu - mc)\psi = 0$$

1928

KLAUS VON KLITZING



Kvantový měřicí jev. proslavil (m). Kvantová rezistence grafenu porovnávaná s teoretickou hodnotou.

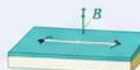


1932

KVADREJ GEIM



Kvantový Hallův jev. Objevil kvantování vodivosti v 2D systémech.



2004

ANDREJ GEIM



Izolace grafenu. Poprvé izolovali grafen – jednovrstvu uhlíku silnou jen jeden atom.



2004

KONSTANTIN NOVOSELOV

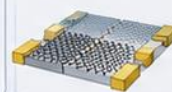


2010

CONSTANTINOS DASKALOPOULOS



Elektronika z grafenu. Průlom v používání grafenu v tranzistorech a rychlých elektronických součástkách.

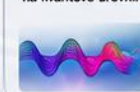


2014

FEDERICO CAPASSO



Meta-materiály a kvantové optické technologie. Vývoj nanostruktur ovládajících světlo na kvantové úrovni.



2020+

MODERNÍ FYZIKY A TÝMY



Kvantové počítače, kvantové sítě, nové materiály. Výzkum kvantové gravitace, topologických materiálů a kvantových technologií budoucnosti.



12. Svatý grál fyziky - TOE.

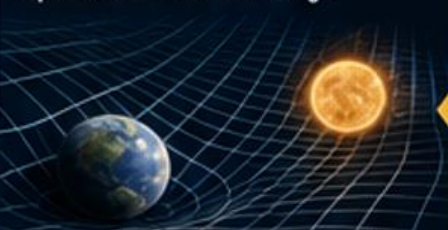
3. KVANTOVÁ TEORIE GRAVITACE – SVATÝ GRÁL FYZIKY

Jak spojit gravitaci popisující vesmír s kvantovými zákony mikrosvěta?

1. OBECNÁ TEORIE RELATIVITY

(A. Einstein, 1915)

Gravitace je zakřivení časoprostoru způsobené hmotou a energií.



- popisuje planety, hvězdy, galaxie
- vysvětluje gravitační vlny
- funguje skvěle ve velkých měřítkách

2. KVANTOVÁ MECHANIKA

(Planck, Heisenberg, Schrödinger...)

Popisuje svět částic na nejmenších měřítkách.



- popisuje atomy, elektrony, částice
- vysvětluje chemii a vlastnosti látek
- funguje skvěle v mikrosvětě

KANDIDÁTI NA ŘEŠENÍ

TEORIE STRUN

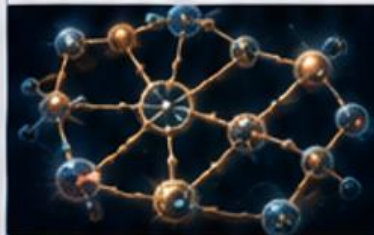
Základní stavební kameny vesmíru jsou miniaturní vibrující struny.



Různé vibrace = různé částice

SMYČKOVÁ KVANTOVÁ GRAVITACE

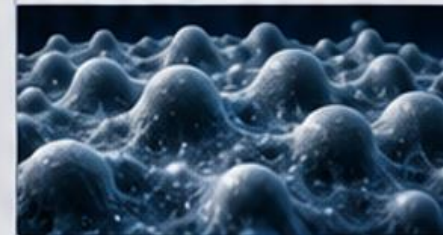
Prostor je složen z diskretních smyček, tvořících kvantovou síť.



Prostor není spojitý, je tvořen z „kousků“.

KVANTOVÁ PĚNA

Na nejmenších škálách (Planckova délka $\sim 10^{-35}$ m) není časoprostor hladký, ale vře kvantovými fluktuacemi.



Časoprostor neustále vzniká a zaniká v miniaturních bublinách.



PROBLÉM: Obě teorie jsou úspěšné, ale vzájemně neslučitelné. Potřebujeme novou teorii, která spojí kvantový svět s gravitací.

Co je temná hmota a z čeho je tvořena?



Co je temná energie a proč způsobuje zrychlování rozpínání?



Existují gravitační kvanta (gravitony)?



Jak vznikl vesmír a co bylo před Velkým třeskem?



Existují další rozměry děr?



CO DNES VÍME O VESMÍRU?

Přestože dokážeme vyslat sondy k planetám, detekovat gravitační vlny a pozorovat galaxie vzdálené miliardy světelných let, stále nevíme, z čeho se skládá 95 % vesmíru ani jak spojit gravitaci s kvantovou mechanikou. Největší objevy fyziky možná teprve čekají na své objevení.

„Fyzika není jen souhrn toho, co už víme, ale především cesta k pochopení toho, co ještě nevíme.“

– Richard Feynman

PROČ NA TOM ZÁLEŽÍ?



Kvantová mechanika vysvětluje fungování přírody na nejzákladnější úrovni.



Je základem technologií, bez kterých si dnešní svět už neumíme představit.



Stále přináší nové objevy a otevírá dveře k budoucnosti, kterou si dnes teprve začínáme představovat.

CO NÁS ČEKÁ?

- Kvantový internet – absolutně bezpečná komunikace mezi vzdálenými místy.
- Kvantové senzory – měření s nevídanou přesností (v medicíně, geologii, kosmu).
- Nové materiály – lehčí, pevnější, vodivé, sebeopravné.
- Spojení kvantové mechaniky a gravitace – pochopení největších záhad vesmíru.

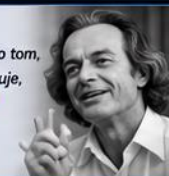


“

„Věda postupuje tak, že zkoumá to, co je; ale sní o tom, co by mohlo být. Kvantová mechanika nám ukazuje, že i nemožné může být jen otázkou času.“

”

– Richard Feynman



VĚDA JE DOBRODRUŽSTVÍ MYSLI.

A kvantová fyzika je jeho nejzajímavější výprava.

Co bude objeveno zítra? Možná právě ty na to jednou přijdeš.



13. Fyzika budoucnosti.

KVANTOVÉ POČÍTAČE BUDOUCNOSTI

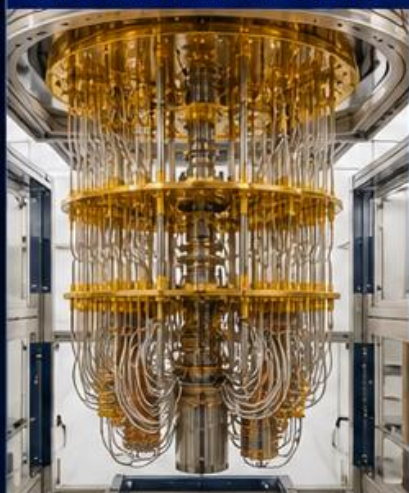
Od prvních qubitů k převratným objevům a technologiím, které změní náš svět

CO JE KVANTOVÝ POČÍTAČ?

Využívá qubity, které mohou být 0 i 1 zároveň díky jevům superpozice a provázanosti. Umi řešit úlohy, které jsou pro klasické počítače prakticky neřešitelné – extrémně rychle.



DNEŠNÍ KVANTOVÉ POČÍTAČE – REALITA ROKU 2024



Fotografie: IBM Quantum System Two 127 qubitů (Eagle processor) v provozu v datovém centru IBM Quantum v USA (2023)

- ✓ Qubity: 100–1000+ (dnešní špička)
- ✓ Fungují při teplotách blízkých absolutní nule ($-273,15^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Citlivé na chyby a šum – vyžadují korekci chyb
- ✓ Hybridní systémy s klasickými počítači

Jsmo na začátku cesty. Potřebujeme lepší qubity, nižší chybovost a škálování na miliony qubitů.

CO NÁS ČEKÁ? – PŘEDPOVĚĎ NA 20 LET

BLÍZKÁ BUDOUCNOST 1–5 LET

- Stabilnější qubity a nižší chybovost
- Kvantová převaha v reálných úlohách (chemie, optimalizace, logistika)
- Kvantový cloud běžně dostupný firmám i výzkumníkům
- První kvantové aplikace v medicíně a materiálech

STŘEDNĚDOBÁ BUDOUCNOST 5–10 LET

- Škálování na tisíce až desítky tisíc fyzických qubitů
- Průlom v lécích – návrh nových molekul a vakcín
- Kvantové simulace složitých jevů (klima, supervodiče, fotosyntéza)
- Optimalizace celých měst, dopravy a energetiky v reálném čase

STŘEDNĚ DALEKÁ BUDOUCNOST 10–20 LET

- Milióny logických qubitů – prakticky bez chyb
- Kvantový internet a propojené kvantové sítě
- Objevy nových materiálů se zcela novými vlastnostmi
- AI + kvantové počítače = řešení problémů, které dnes neumíme ani popsat

CHYTRÁ ZRCADLA – DOMOV BUDOUCNOSTI

Kvantové počítače umožní zpracovávat obrovské množství dat v reálném čase. Vaše zrcadlo bude vaším osobním asistentem.



Osobní informace • Zdraví • Doprava • Zprávy • Nákupy • Zábava • Bezpečnost

CO VŠECHNO KVANTOVÉ POČÍTAČE UMOŽNÍ?

MEDICÍNA A BIOTECHNOLOGIE



Návrh nových léků, vakcín a léčby na míru. Simulace proteinů a biologických procesů.

MATERIÁLY A CHEMIE



Objev materiálů s nevidanými vlastnostmi – lehké, pevné, samoléčivé, supravodiče.

KLIMA A ENERGIE



Přesné modely klimatu, vývoj baterií nové generace, fúze, optimalizace obnovitelných zdrojů.

UMĚLÁ INTELIGENCE



Třénink AI na úrovni, kterou si dnes nedovedeme představit. Řešení složitých problémů lidstva.

DOPRAVA A LOGISTIKA



Optimalizace tras, flotil, leteckého provozu i dodavatelských řetězců v reálném čase.

FINANCE A BEZPEČNOST



Lepší řízení rizik a portfolií, odhalování podvodů, kvantově odolné šifrování.

JAK SE ZMĚNÍ NÁŠ KAŽDODENNÍ ŽIVOT?

PERSONALIZOVANÉ ZDRAVÍ



Léčba na míru podle vašeho genomu a mikrobiomu.

VZDĚLÁVÁNÍ A POZNÁNÍ



Simulace a vizualizace složitých jevů – učení se stane zážitkem.

BEZPEČNOST A SOUKROMÍ



Kvantově bezpečná komunikace ochrání vaše data.

NOVÉ TECHNOLOGIE KOLEM NÁS



Chytrá města, autonomní doprava, domácnosti, které myslí dopředu.

KREATIVITA A ZÁBAVA



Nové formy umění, her a zážitků díky neomezenému výpočtu.

ZA HRANICÍ DNES: KVANTOVÁ GRAVITACE

VELKÁ OTÁZKA FYZIKY

Jak propojit kvantovou mechaniku, která popisuje svět mikročástic, s obecnou teorií relativity, která popisuje gravitaci a vesmír jako celek?



SMYČKOVÁ KVANTOVÁ GRAVITACE

Prostor a čas jsou tvořeny smyčkami na nejmenší úrovni. Mohla by vysvětlit vznik vesmíru a povahu černých děr.



TEORIE STRUN

Základní částice jsou vibrace miniaturních strun. Naznačuje existenci dalších rozměrů.



BUDOUCNOST POZNÁNÍ

Kvantové počítače budou klíčem k testování těchto teorií a k odpovědi na nejlubší otázky vesmíru.



„Kvantové počítače nám nejen změní technologie. Změní naše chápání reality.“



JSME TEPRVE NA ZAČÁTKU. To, co dnes vypadá jako věda zítřka, bude běžnou součástí našich životů.

Kvantové počítače – nástroj, který nám otevře dveře k novým světům.



Budoucnost není něco, co přijde. Je něco, co tvoříme už dnes.

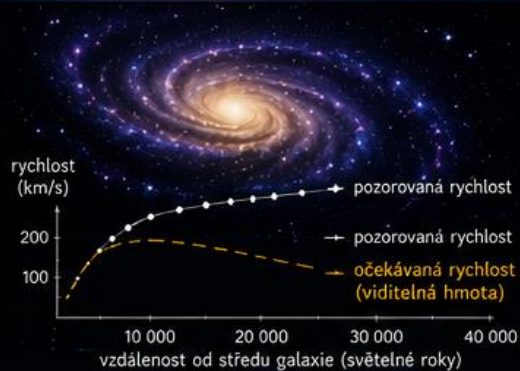


14. Dveře, které jsme ještě neotevřeli.

NEJVĚTŠÍ NEVYŘEŠENÉ OTÁZKY FYZIKY

Otázky, na které zatím neznáme odpovědi. Možná je najde budoucí generace – možná právě ty.

1. CO JE TEMNÁ HMOTA?



Galaxie se chovají, jako by obsahovaly mnohem více hmoty, než kolik vidíme. Temná hmota nevyzařuje světlo, ale její **gravitace je všude kolem nás**.

2. CO JE TEMNÁ ENERGIE?



Vesmír se rozpíná stále rychleji. Něco neznámého – temná energie – působí proti gravitaci a urychluje toto rozpínání. Tvoří asi **68 %** vesmíru.

3. JAK SPOJIT KVANTOVOU MECHANIKU A GRAVITACI?



Kvantová mechanika popisuje mikrosvět. Obecná relativita popisuje gravitaci a vesmír. Ale dohromady si odporují. Potřebujeme **novou teorii**, která je spojí.

4. JSME VE VESMÍRU SAMI?



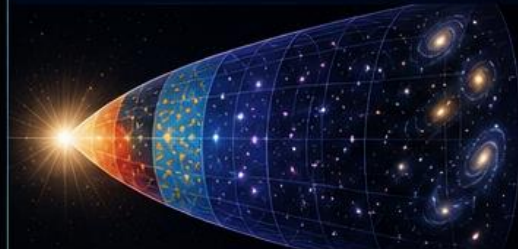
Vesmír je obrovský a starý. Proč jsme nenašli žádné známky inteligentního života? Existují **jiné civilizace**? A jak poznáme **jejich signály**?

5. EXISTUJÍ DALŠÍ ROZMĚRY?



Některé teorie předpovídají více než tři prostorové a jeden časový rozměr. Mohou být **skryté, stočené** nebo dostupné jen při extrémních energiích.

6. JAK VZNIKL VELKÝ TŘESK?



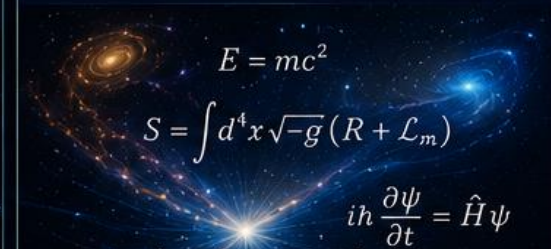
Víme, že vesmír začal před 13,8 miliardami let z extrémně horkého a hustého stavu. Ale **co bylo předtím**? A co způsobilo samotný počátek času a prostoru?

7. LZE POSTAVIT PRAKTICKÝ KVANTOVÝ POČÍTAČ?



Kvantové počítače slibují revoluci ve výpočtech. Už nyní existují prototypy, ale jsou chybové a nestabilní. Lze je jednou vybudovat **v praxi a spolehlivě**?

8. EXISTUJE TEORIE VŠEHO?



Hledáme jediný matematický rámec, který by popsal všechny síly a částice v přírodě. Teorii všeho, která by konečně vysvětlila **všechno**.

“ The joy of finding things out, the pleasure of **imagination**, the excitement of guessing, the wonder of knowing – that’s the fuel that can push us farther and farther. And the straw that broke the camel’s back was **curiosity** – I just couldn’t stand **not knowing**. ”

– Richard Feynman

Otázky nás posouvají.
Imaginace nás vede.
Zvědavost nás žene vpřed.
Možná právě **ty** najdeš odpovědi.