Fyzika kapalin

Kapaliny zachovávají stálý objem, nemají stálý tvar, jsou velmi málo stlačitelné.

Plyny nemají stálý tvar ani stálý objem, jsou velmi snadno stlačitelné.

Tekutina je společný název pro kapaliny a plyny (patrně i pro plazma a kvark gluonové plazma), jejichž významnou společnou vlastností je tekutost, neboli neschopnost udržet svůj stálý tvar díky snadnému vzájemnému pohybu částic.

Při studiu pohybu těles je charakteristikou setrvačných vlastností tělesa jeho hmotnost. Pohyb tělesa je pak určen silami, které na něho působí. Při studiu pohybu kapalin nejsou tyto veličiny dobře použitelné. Pro kapaliny je výhodné nahradit je jinými charakteristikami. Setrvačné charakteristiky kapaliny jsou reprezentovány **hustotou** ρ

$$\rho = \frac{m}{V}. \qquad (6.1)$$

Pro informaci uvedeme hustoty některých látek

látka	ρ [kg.m^{-3}]
vzduch	1,3
voda	1000
kámen	2000-3000
železo	7800
zlato	19300

Místo síly působící na kapalinu, zavádíme tlak p

Tlak je skalární fyzikální veličina vyjadřující poměr velikosti síly F, působící kolmo na rovinnou plochu a rovnoměrně spojitě rozloženou po této ploše, a obsahu této plochy S,

$$p = \frac{F}{S}. \qquad (6.2)$$

Je třeba zdůraznit, že i když je síla vektorová veličina, ve vztahu (6.2) se vyskytuje velikost síly (směr síly je obsažen v požadavku, že síla působí kolmo na plochu). Proto je i tlak skalární veličinou. Jednotkou tlaku je pascal – značka Pa. 1 Pa = 1 kg.m^{-1}.s^{-2}.
Atmosférický tlak je asi 10^5 Pa.
Fyziku kapalin rozdělujeme na hydrostatiku, která se zabývá kapalinami v klidu, a hydrodynamiku, studující proudění kapalin.

Hydrostatický tlak

Hydrostatický tlak je tlak způsobený vlastní tíhou kapaliny. Sloupec kapaliny svou tíhou tlačí na dno nádoby (obr. 6.1). Vymezme v kapalině sloupec kapaliny o podstavě S a výšce h. Objem tohoto sloupce je Sh, jeho hmotnost $\rho\ Sh$ a jeho tíha $G = \rho Shg$. Touto silou tlačí sloupec kapaliny na dno. Této síle odpovídá tlak $p = G/S$. Tlak v kapalině v hloubce h pak je

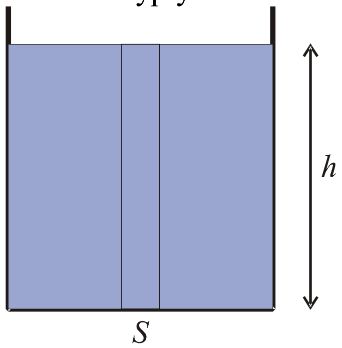
$$p = \rho gh + p_0. \qquad (6.3)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

p_0 je tlak na hladinu kapaliny, jak za chvíli vyplyne z Pascalova zákona.



Obr. 6.1: Tlak kapaliny na dno nádoby

Pascalův zákon

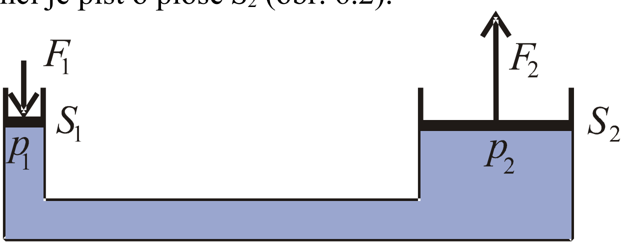
Tlakem v kapalinách se jako jeden z prvních zabýval Blaise Pascal (1623 –1662).

Tlak přenášený kapalinou je ve všech místech kapaliny stejný.

Jestliže na kapalinu působí vnější tlaková síla, pak tlak v každém místě kapaliny vzroste o stejnou hodnotu. Proto když na hladinu kapaliny bude působit tlak p_0, tlak v hloubce h o p_0 vzroste, jak plyne ze vztahu (6.3).

Hydraulický lis

Pascalův zákon využívá mnoho hydraulických zařízení – lisy, brzdy, zvedáky.
Všechna tato zařízení jsou tvořeny trubicí o proměnlivém průřezu. Na jednom konci je píst o ploše S_1, na druhém konci je píst o ploše S_2 (obr. 6.2).



Obr. 6.2: Hydraulický lis

Když na píst S_1, působí síla F_1, píst na kapalinu tlačí tlakem p_1. Podle Pascalova zákona je tlak přenášený kapalinou ve všech místech kapaliny stejný

$$p_1 = p_2.$$

Tímto tlakem tlačí kapalina i na píst S_2, tomu odpovídá síla F_2

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

Lis zvětší sílu tolikrát, kolikrát je plocha druhého pístu větší než plocha prvního.

Archimédův zákon

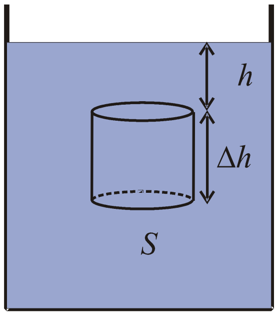
Archimédův zákon zformuloval už ve starověku Archimédés (287 – 212 př. n. l.).

Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, rovnající se tíze kapaliny tělesem vytlačené.

Síla, kterou je těleso nadlehčováno, se nazývá **vztlaková síla**.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Mějme těleso válcového tvaru o podstavě S a výšce Δh ponořené do kapaliny o hustotě ρ (obr. 6.3). V kapalině na těleso působí hydrostatický tlak (6.3), na každý kousek povrchu tělesa tedy působí kolmá síla. Síly, které působí na protilehlá místa na plášti válce jsou stejně velké a opačně orientované – navzájem se ruší. Každá podstava je v jiné hloubce, síly mají opačný směr, ale každá z nich je jinak velká.



Obr. 6.3: Archimédův zákon

Označme F_h – sílu, která působí na horní podstavu, F_d – sílu, která působí na dolní podstavu a $F_v = F_d - F_h$, výslednou vztlakovou sílu.

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

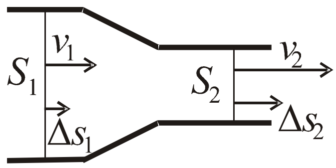
$$F_d = \rho g (h+\Delta h) S,$$

$$F_v = F_d - F_h = \rho g (h+\Delta h) S - \rho g h S = \rho g h S + \rho g \Delta h S - \rho g h S = \rho g \Delta h S. \qquad (6.4)$$

$\Delta h S$ je objem tělesa, $\rho \Delta h S$ je hmotnost kapaliny o stejném objemu jako má těleso (připomeňme, že ρ je hustota kapaliny, ne tělesa!), $\rho g \Delta h S$ je tíha kapaliny o stejném objemu jako má těleso (tedy tíha kapaliny vytlačené tělesem).

Rovnice kontinuity

Mějme potrubí proměnného průřezu. Na jednom konci má plochu průřezu S_1 a kapalina do něj vtéká rychlostí v_1. Na druhém konci potrubí je průřez S_2 a kapalina vytéká rychlostí v_2 (obr. 6.4).



Obr. 6.4: Rovnice kontinuity

Je zřejmé, že pokud v potrubí není díra, musí se objem kapaliny, který na jedné straně do potrubí za jednotku času vteče, na druhém konci zase za stejný čas vytéct. Tedy

$$\Delta V_1 = \Delta V_2. \qquad (6.5)$$

Objem kapaliny, který protekl nějakým průřezem potrubí, je součinem plochy průřezu S a posunutí Δs

$$S_1.\Delta s_1 = S_2.\Delta s_2. \qquad (6.6)$$

Proudí-li kapalina rychlostí v, posune se plocha S za dobu Δt o $\Delta s = v.\,\Delta t$. Dosadíme za Δs do (6.6)

$$S_1.v_1.\Delta t = S_2.v_2.\Delta t$$

a po vydělení rovnice časem obdržíme **rovnici kontinuity**:

$$S_1.v_1 = S_2.v_2. \qquad (6.7)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rovnice kontinuity je formulací zákona zachování hmoty.

Bernoulliova rovnice

Za zakladatele hydrodynamiky je knihou Hydrodynamica (1738) považován Daniel Bernoulli (1700 - 1782).

Mějme potrubí, jehož jeden konec má průřez S_1 a výšku h_1 a druhý průřez S_2 a výšku h_2 (obr. 6.5). Do jednoho konce pouštíme kapalinu rychlostí v_1 pod tlakem p_1, z druhého konce kapalina vytéká rychlostí v_2 pod tlakem p_2. Představme si, že kapalina je do jednoho konce tlačena pístem S_1. Aby tlak byl p_1, musí na píst působit vnější síla $F_1 = p_1.S_1$. Píst se pohybuje rychlostí v_1, to znamená, že síla působící po dráze koná práci. Na druhém konci kapalina působí na píst, který se pohybuje rychlostí v_2, silou $F_2 = p_2.S_2$. Na druhém konci tedy kapalina koná práci. Rozdíl práce vložené silou F_1 a vykonané silou F_2 se spotřebuje na změnu potenciální a kinetické energie

$$W_{k2} + W_{p2} - W_{k1} - W_{p1} = W_1 - W_2. \qquad (6.8)$$

Je-li součet kinetické a potenciální energie na konci potrubí větší než na začátku, musí práce vložená na začátku být větší než práce odevzdaná na konci potrubí. Do vztahu (6.8) dosadíme za kinetickou energii (4.6), za potenciální (4.8) a za práci (4.3)

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - mgh_1 = F_1s_1 - F_2s_2. \qquad (6.9)$$

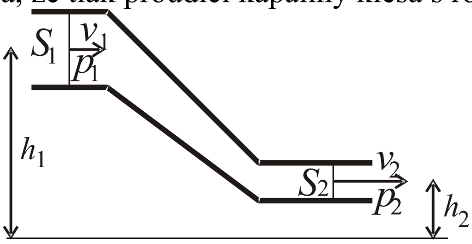
Připomeňme, že hmotnost, která na jednom konci do potrubí vtekla, musí na opačném konci vytéct. Dosaďme z (6.1) $m=\rho V$ a z (6.2) $F = pS$:

$$\frac{1}{2}\rho Vv_2^2 + \rho Vgh_2 - \frac{1}{2}\rho Vv_1^2 - \rho Vgh_1 = p_1S_1s_1 - p_2S_2s_2. \qquad (6.10)$$

Ovšem $V = Ss$. Ve všech členech rovnice (6.10) vystupuje stejný objem. Rovnici (6.10) vydělíme objemem a převedeme všechny členy, které se vztahují k začátku potrubí na levou, a ostatní členy na pravou stranu rovnice:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + p_2. \qquad (6.11)$$

Bernoulliova rovnice vyjadřuje zákon zachování mechanické energie v kapalinách. Z Bernoulliovy rovnice vyplývá, že tlak proudící kapaliny klesá s rostoucí rychlostí.



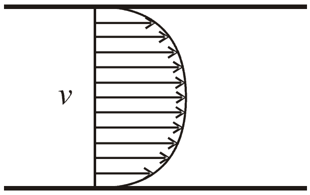
Obr. 6.5: Bernoulliova rovnice

Viskozita

Viskozita (vazkost) tekutiny popisuje vnitřní tření v tekutině, udává, jak se tekutina brání tečení. Například med teče, za jinak stejných podmínek, hůř než voda – med má ve srovnání s vodou větší viskozitu. Extrémním případem látky s velmi velkou viskozitou je asfalt nebo sklo. Viskozita tekutin je analogická smykovému tření mezi pevnými tělesy; při viskózním proudění se kinetická energie přeměňuje na teplo podobně jako při vzájemném pohybu těles za působení tření.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 6.6: Rozložení rychlosti viskózní kapaliny v potrubí

Teče-li potrubím ideální tekutina, předpokládáme, že její rychlost je ve všech bodech průřezu potrubí stejná. Při toku reálné tekutiny se vrstvička přiléhající ke stěnám prakticky nepohybuje a uprostřed potrubí je její rychlost naopak největší. Rozložení rychlosti po průřezu znázorňuje obr (6.6). Dochází k vzájemnému klouzání vrstev tekutiny, které se vzájemně pohybují různými rychlostmi. Označíme-li τ tečné napětí (síla, potřebná k vzájemnému klouzáni vrstev na jednotce plochy styku vrstev) a $\mathrm{d}v/\mathrm{d}y$ označuje změnu rychlosti ve směru kolmém na rychlost, vystupuje viskozita jako konstanta úměrnosti ve vztahu

$$\tau = \eta \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}y}\,. \qquad (6.12)$$

Podle vztahu (6.12) se chovají zejména nízkomolekulární látky. Takovým tekutinám říkáme newtonovské.

Nenewtonovské tekutiny

Složitější chování (závislost viskozity na smykové rychlosti) lze pozorovat například u polymerních tavenin nebo těsta – takové tekutiny nazýváme nenewtonovské.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ