Nástraha osmá
Vody stojaté i tekoucí aneb Mechanika kapalin

Přiznejme si rovnou, že v mechanice kapalin by vlastně *žádné nástrahy číhat nemusely*: tentokrát totiž *opravdu* nejde o nic jiného než o aplikaci nám již dobře známých Newtonových zákonů a jejich důsledků — impulzových vět a zákonů zachování. A přesto číhají! V čem je tedy problém nyní? Ponechme již stranou učebnice a věnujme se raději konkrétním ukázkám, z nichž vybíráme jen ty nejtypičtější. Ke konfrontaci s nástrahami nám opět poslouží řešené úlohy, v nichž budeme kapaliny vesměs považovat za *ideální* (tj. nestlačitelné a bez vnitřního tření).

Úloha 1.:

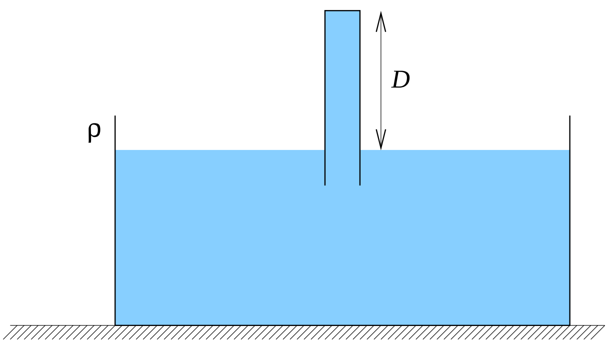
Ve válcové nádobě s kapalinou o hustotě ρ naplníme zkumavku, obrátíme ji dnem vzhůru a povytáhneme ji tak, že osa zkumavky je svislá a její dno je ve vzdálenosti D nad volnou hladinou kapaliny v nádobě (viz Obrázek 1).

(a) Popište tlakové pole v kapalině, tj. odvoďte vztah pro tlak v závislosti na poloze bodu v kapalině.

(b) Jakou podmínku musí splňovat veličina D, aby celá zkumavka zůstala naplněná vodou, tj. aby z ní část vody nevytekla?

(c) Jaká je výslednice sil, jimiž na libovolně vybranou makroskopickou část kapaliny působí okolní kapalina?

(d) Jak se změní výsledky předchozích části, působíme-li na volný povrch kapaliny v nádobě prostřednictvím pístu tlakovou silou o velikosti F_{tl}?



Obrázek 1: Pokus se zkumavkou

Řešení:

(a) Zabývejme se nejprve kapalinou v nádobě. Z této kapaliny myšlenkově vydělíme část ve tvaru válce se svislou osou, jehož výška je h a podstava o velmi malé ploše S splývá volnou hladinou (viz Obrázek 2). Na válec působí v těžišti svisle dolů tíhová síla Země $\vec{F}_G = m\vec{g} = V\rho\vec{g} = Sh\rho\vec{g}$ (hmotnost válce jsme zde vyjádřili pomocí jeho objemu a hustoty), na horní podstavu působí tlaková síla $\vec{F}_1$ orientovaná svisle dolů o velikosti $F_1 = Sp_{\text{atm}}$, kde p_{atm} je atmosférický tlak u hladiny, a na dolní podstavu působí tlaková síla $\vec{F}_2$ orientovaná svisle vzhůru o velikosti $F_2 = Sp_h$, kde p_h je (zatím neznámý) tlak v místě dolní podstavy. Protože (mlčky) předpokládáme, že kapalina je v klidu [1], musí být výslednice všech těchto sil nulová, tj.

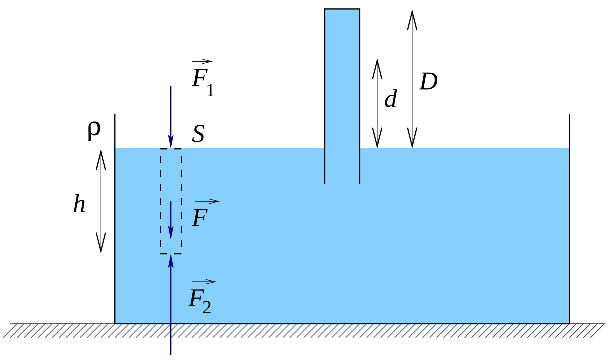
$$\vec{0} = \vec{F}_G + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \,.$$

[1] Přesněji, v klidu je nejen kapalina jako celek, ale také její *libovolná makroskopická část* (k vnitřní struktuře kapaliny tentokrát samozřejmě nepřihlížíme).

(Ze stejného důvodu je nulová i výslednice všech (vodorovných) tlakových sil působících na plášť válce.) Zohledněním směrů a velikostí jednotlivých sil dostáváme

$$0 = Sh\rho g + Sp_{\mathrm{atm}} - Sp_h \qquad \Longrightarrow \qquad p_h = p_{\mathrm{atm}} + h\rho g\,.$$

Dospěli jsme k očekávanému závěru, známému už ze základní školy: hladiny konstantního tlaku jsou tvořeny vodorovnými rovinami (tj. rovinami kolmými na vektor tíhového zrychlení), velikost tlaku v hloubce h pod volnou hladinou je pak určena právě odvozeným vztahem.



Obrázek 2: K výpočtu tlaku v kapalině

Nyní již snadno určíme rozložení tlaku ve zkumavce. Víme, že v místě volné hladiny kapaliny v nádobě je tlak roven atmosférickému tlaku p_{atm}. Ve výšce d nad volnou hladinou (viz Obrázek 2) proto musí být tlak p_d takový, aby platilo

$$p_d + d\rho g = p_{\mathrm{atm}} \qquad \Longrightarrow \qquad p_d = p_{\mathrm{atm}} - d\rho g\,.$$

Poznámka 1:
Napadlo vás ptát se, proč jsme při řešení úlohy uvažovali o válci s *velmi malou plochou podstavy*? Uplatnili jsme vůbec tento předpoklad při výpočtu a pokud ano, kde? Jistě, uplatnili, a to v místě, kde jsme počítali velikost tlakové síly na horní a na dolní podstavu. V naší úloze sice popisujeme situace známou a přehlednou, ale v obecném případě je nutné mít na paměti, že tlak se *místo od místa mění* a vztah pro velikost tlakové síly Sp proto platí tím lépe, čím je uvažovaná plocha menší (srv. s ***Úlohou 2.***).

Poznámka 2 — pro pokročilé:
Dodejme, že v komplikovanějším případě, než jsme zde řešili, bychom museli uvažovat o výsledném silovém působení na velmi malou (avšak stále ještě makroskopickou) částici kapaliny [2]. Získali bychom diferenciální rovnici pro výpočet tlaku v kapalině

$$\operatorname{grad} p = \vec{f}\,,$$

kde $\vec{f}$ je tzv. *hustota objemových sil*, tedy sil, které působí v celém "objemu" kapaliny (tj. v části prostoru, který je vyplněn kapalinou). Odvození tohoto vztahu lze najít ve vybraných učebnicích či skriptech určených pro úvodní vysokoškolský kurz mechaniky (např. [7.], [10.]).

(b) Pro maximální hodnotu $D^{\max}$ veličiny D takové, že žádná voda ze zkumavky nevytéká, platí, že odpovídající tlak $p_{D^{\max}}$ u horního okraje zkumavky je roven nule, tj.

$$0 = p_{D^{\max}} = p_{\mathrm{atm}} - D^{\max}\rho g \qquad \Longrightarrow \qquad D^{\max} = \frac{p_{\mathrm{atm}}}{\rho g}\,.$$

Diskuze výsledku:
Vztah veličin $D^{\max}$ a D může být trojí:

[2] Nemá-li tato věta vyznít vnitřně rozporuplně, vyžaduje určité zpřesnění: částice kapaliny má být dostatečně malá na to, aby bylo možné považovat tlak na plochách, které ji ohraničují, stejně jako objemovou sílu, která na ni působí, za konstantní, ale natolik velká, aby nebylo nutno přihlížet k její mikroskopické struktuře. Takový kompromis lze v rámci požadované přesnosti vždy najít.

- Pokud platí $D > D^{\max}$, část kapaliny ze zkumavky vyteče. Kapalina pak bude dosahovat právě výšky $D^{\max}$ nad volnou hladinou kapaliny v nádobě a mezi hladinou kapaliny ve zkumavce a horním okrajem zkumavky bude vakuum (k výsledku, který jsme právě odvodili, dospěl při svých pokusech již v 17. století italský matematik a fyzik Evangelista Torricelli). Tlak u horního okraje zkumavky je pak samozřejmě nulový.
- Pokud platí $D = D^{\max}$, žádná kapalina ze zkumavky již nevyteče. Tlak u jejího horního okraje ale je stejně jako v předchozím případě nulový (srv. se vztahem pro p_d odvozeným v části **(a)**).
- Pokud platí $D < D^{\max}$, žádná kapalina ze zkumavky nevyteče. Tlak u jejího horního konce je

$$p_D = p_{\text{atm}} - D\rho g > 0\,.$$

  Horní konec zkumavky tedy na kapalinu působí nenulovou tlakovou silou (stejně velkou silou opačně orientovanou pak samozřejmě působí kapalina na zkumavku).

(c) Vyčleňme v kapalině makroskopickou část *libovolného tvaru*. Na tuto část působí v jejím těžišti tíhová síla $\vec{F}_G = m\vec{g} = V\rho\vec{g}$ (hmotnost části kapaliny jsme opět vyjádřili prostřednictvím objemu a hustoty). Dále na ni působí tlakovými silami okolní kapalina, a to *podél plochy*, která vymezenou část ohraničuje. K vyjádření tlakových sil bychom museli znát jednak tvar této plochy, jednak rozložení tlaku v okolní kapalině. Víme totiž, že pro velikost tlakové síly působící na plošku o velikosti ΔS_i přibližně platí $\Delta F_i \doteq \Delta S_i p_i$, a to tím lépe, čím je velikost plošky menší (dodejme, že tlakové síly jsou vždy kolmé k vybrané plošce). Výsledná tlaková síla je pak dána vektorovým součtem jednotlivých tlakových sil

$$\vec{F} = \sum_i \Delta\vec{F}_i\,,$$

který v limitě $\Delta S_i \to 0$ pro všechna i přechází v integraci. Takovému výpočtu, který vyžaduje znalost konkrétního tvaru povrchu kapalinové části, se ale naštěstí můžeme vyhnout. Výslednici těchto sil $\vec{F}$ lze totiž získat na jediném řádku — stačí vzpomenout si na předpoklad, že kapalina je v klidu, což znamená, že výslednice všech působících sil je nulová:

$$\vec{F}_G + \vec{F} = \vec{0} \qquad \Longrightarrow \qquad \vec{F} = -\vec{F}_G = -V\rho\vec{g}\,.$$

Nahradíme-li uvažovanou kapalinovou část libovolným *jiným tělesem téhož tvaru*, bude výsledná tlaková síla $\vec{F}$, jíž kapalina působí na plochu, která těleso ohraničuje, zcela jistě *stejná*. Odvodili jsme tak známý *Archimédův zákon:*

> *Na těleso ponořené do kapaliny působí kapalina výslednou tlakovou silou, jejíž velikost je rovna velikosti tíhové síly, která působí na kapalinové těleso o stejném objemu, jako má ponořená část tělesa.*

Na tomto místě středoškolské učebnice ([1.]) končí, my však ještě pokračujeme. Zatím jsme totiž využili pouze podmínky silové rovnováhy pro těleso. Mohli bychom něco zajímavého získat také z podmínky momentové rovnováhy, požadující, aby byl výsledný moment sil vzhledem k libovolnému bodu nulový (srv. s ***Nástrahou šestou***)? Určitě ano: tato podmínka přináší informaci o *působišti* výsledné tlakové síly, které leží v těžišti kapalinového tělesa totožného s ponořenou částí zkoumaného tělesa, přesněji, říká, že vektorová přímka výsledné tlakové síly prochází těžištěm tohoto kapalinového tělesa (důkladně si rozmyslete, proč).

(d) Pokud na volný povrch kapaliny působíme tlakovou silou $\vec{F}_{\rm tl}$, musíme k atmosférickému tlaku přičíst dodatečný tlak $\Delta p = \frac{F_{\rm tl}}{S_{\rm tl}}$, kde $S_{\rm tl}$ je plocha, na niž tlaková síla $\vec{F}_{\rm tl}$ působí. Ve všech dosavadních vzorcích tedy provádíme náhradu

$$p_{\rm atm} \quad \longrightarrow \quad p_{\rm atm} + \frac{F_{\rm tl}}{S_{\rm tl}} = p_{\rm atm} + \Delta p\,.$$

Tato změna se, v souladu s očekáváním, projeví pouze v částech **(a)** a **(b)**, na výsledcích části **(c)** se nezmění vůbec nic. Dospěli jsme tak k matematickému zápisu *Pascalova zákona*:

> *Změníme-li v některém místě kapaliny tlak o hodnotu Δp, změní se o tutéž hodnotu tlak ve všech dalších místech kapaliny.* ◇

Prolistuje-li nyní čtenář znovu středoškolské učebnice ([1.]), jistě odhalí především následující nesrovnalosti:

Důležité:

- Tlak je v učebnicích definován jako podíl velikosti (kolmé) tlakové síly působící na plochu, a velikosti této plochy, tj. $p = \frac{F}{S}$. Tento vztah ale jistě nemůže platit obecně — vždyť například podél svislé stěny nádoby se tlak s hloubkou mění! Definici je proto nutné doplnit podmínkou, že velikost plochy S musí být velmi malá.
- Proč autoři učebnic rozlišují "tlak vyvolaný vnější silou" (který je podle jimi uváděné formulace Pascalova zákona ve všech místech kapaliny stejný) a "tlak vyvolaný tíhovou silou"? Tíhová síla působící na kapalinu je přece také *vnější silou* (nemá původ ve vzájemném působení částí kapaliny) a navíc v je pozemských podmínkách, na rozdíl od případné tlakové síly působící na volný povrch kapaliny, *vždy přítomná*! Proč tedy nemluvit prostě o *tlaku* v kapalině a Pascalův zákon pak neformulovat tou nejpřirozenější cestou, totiž tak, že *při změně tlaku o Δp v jednom bodě se tlak změní o tutéž hodnotu ve všech ostatních bodech kapaliny*?
- Proč není při odvození vztahu pro tlak v kapalině použito podmínky silové rovnováhy pro vybranou část kapaliny? (Opět již standardní problém neuvážení *všech* působících sil (viz též ***Nástraha druhá***).)
- Proč je Archimédův zákon tradičně "odvozován" pro kvádr, když jej můžeme snadno odvodit pro *jakékoli těleso*? A proč není diskutována podmínka momentové rovnováhy, která určuje působiště výsledné tlakové síly? (Tato informace může být mimořádně důležitá například při určování stability rovnovážné polohy plovoucích těles (viz ***Úloha 6.***).)

Nyní splníme, co jsme dříve slíbili: ukážeme, jak lze ve velmi jednoduchém případě vypočíst velikost výsledné tlakové síly, která působí na plochu, podél níž se tlak v kapalině mění.

Úloha 2.:

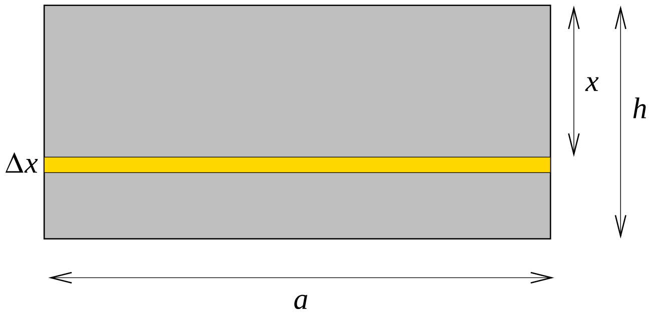
Vypočtěte velikost výsledné tlakové síly, jež působí voda na svislé stavidlo rybníka. Stavidlo má šířku a a sahá do hloubky h pod hladinou.

Řešení:

Víme, že s hloubkou x pod hladinou se mění tlak podle vztahu

$$p_x = p_{\rm atm} + x\rho g\,,$$

na každý element stavidla tedy obecně působí tlaková síla o jiné velikosti. Pro výpočet výsledné tlakové síly je proto nutné rozdělit stavidlo na velmi malé obdélníčkové elementy o délce a a šířce Δx (viz Obrázek 3).



Obrázek 3: K výpočtu tlakové síly působící na stavidlo rybníka

Na takový obdélníček umístěný v hloubce x_i pod hladinou ($x_i = i\Delta x$, $0 \leq i \leq$ $\leq n$, $x_0 = 0$, $x_n = h$) působí tlaková síla o velikosti

$$\Delta F_i \doteq \Delta S p_{x_i} = a\Delta x \left(p_{\mathrm{atm}} + x_i \rho g\right) \,.$$

Uvedený vztah platí samozřejmě tím přesněji, čím je Δx menší. Velikost výsledné síly získáme součtem jednotlivých působících sil:

$$F = \sum_{i=0}^{n-1} F_i \doteq \sum_{i=0}^{n-1} \left(a p_{\mathrm{atm}} + a\rho g x_i\right) \Delta x \,.$$

Limitním přechodem $\Delta x \to 0$ přechází sumace v integraci, tj.

$$F = \int_0^h \left(a p_{\mathrm{atm}} + a\rho g x\right) \mathrm{d}x = a p_{\mathrm{atm}} h + a\rho g \,\frac{h^2}{2} \,.$$

Dodejme, že k témuž výsledku může dospět i student, který zatím integrovat neumí. Stačí vrátit se k předposlednímu vztahu a provést příslušnou sumaci

$$F \doteq \sum_{i=0}^{n-1} \left(a p_{\mathrm{atm}} + a\rho g x_i\right) \Delta x \,.$$

Užitím vztahu pro součet prvních n členů aritmetické posloupnosti a uvážením skutečnosti, že $\Delta x n = h$, dostáváme

$$F \doteq a p_{\mathrm{atm}} \Delta x n + a\rho g \,\frac{(n-1)\, n}{2}\, (\Delta x)^2 = a p_{\mathrm{atm}} h + \frac{1}{2}\, a\rho g \,\frac{(n-1)}{n}\, (\Delta x n)^2 \,.$$

Protože $\lim_{n\to\infty} \left[\frac{1}{2}\, a\rho g \,\frac{(n-1)}{n}\, (\Delta x n)^2\right] = \frac{1}{2}\, a\rho g h^2$, dostáváme

$$F = a p_{\mathrm{atm}} h + a\rho g \,\frac{h^2}{2} \,. \qquad \diamond$$

Dosud jsme se věnovali popisu kapalin v klidu, tj. *hydrostatice*. Druhé dvě řešené úlohy se zabývají problematikou kapalin v pohybu — *hydrodynamikou*. Výsledky, k nimž dospějeme, opět porovnáme se závěry prezentovanými v učebnicích.

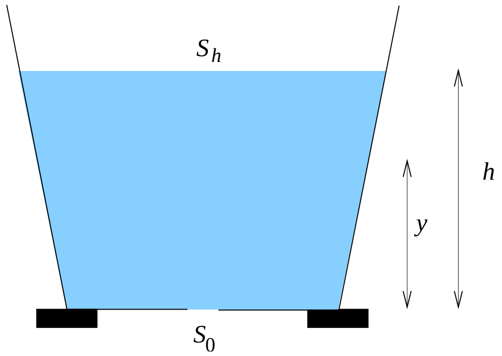
Úloha 3.:

Otevřená nádoba o proměnném průřezu je do výšky h naplněna kapalinou o hustotě ρ. Ve dně nádoby je malý otvor o ploše S_0 (viz Obrázek 4).

(a) V závislosti na výšce h volné hladiny nade dnem nádoby určete velikost rychlosti, jíž kapalina z otvoru vytéká.

(b) Určete závislost tlaku v kapalině na výšce y nade dnem nádoby.

Proudění kapaliny považujte za ustálené a laminární.



Obrázek 4: Kapalina vytékající z nádoby

Řešení:
(a) Pro laminární stacionární proudění kapaliny platí *rovnice kontinuity*

$$S_h v_h = S_0 v_0\,,$$

kde v_h je velikost rychlosti hladiny kapaliny, v_0 je velikost výtokové rychlosti a S_h je průřez nádoby v místě, kde je hladina. Dále platí *Bernoulliova rovnice* [3]

$$\frac{1}{2}\,\rho v_h^2 + \rho g h + p_{\mathrm{atm}} = \frac{1}{2}\,\rho v_0^2 + 0 + p_{\mathrm{atm}}\,,$$

jejíž levá strana se vztahuje k hladině a pravá strana k výtokovému otvoru (v obou místech je tlak roven tlaku atmosférickému); hladinou nulové potenciální energie tíhové je přitom zvolena vodorovná rovina procházející výtokovým otvorem. Máme tedy soustavu dvou rovnic pro dvě neznámé v_h a v_0. Jejím řešením dostáváme

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gh}{1-\frac{S_0^2}{S_h^2}}} = S_h\sqrt{\frac{2gh}{S_h^2 - S_0^2}}\,, \qquad v_h = \frac{S_0}{S_h}\sqrt{\frac{2gh}{1-\frac{S_0^2}{S_h^2}}} = S_0\sqrt{\frac{2gh}{S_h^2 - S_0^2}}\,.$$

Diskuze výsledků:
Pokud je průřez výtokového otvoru mnohem menší než průřez nádoby, tj. $S_0 \ll S_h$ nebo, což je totéž, $\frac{S_0}{S_h} \to 0$, dostáváme z prvních částí uvedených vztahů výsledky známé ze střední školy

$$v_0 = \sqrt{2gh}\,, \qquad v_h = 0\,.$$

Způsob, jímž je první ze vztahů odvozen v učebnicích, podrobíme kritice ihned po vyřešení této úlohy.

(b) K určení tlaku p_y ve výšce y nade dnem nádoby použijeme opět rovnici kontinuity

$$S_y v_y = S_0 v_0\,,$$

v níž v_y je rychlost částice kapaliny ve výšce y nade dnem a S_y je průřez proudového vlákna v téže výšce (tato veličina ovšem není zadána). Dále použijeme Bernoulliovu rovnici

$$\frac{1}{2}\,\rho v_y^2 + \rho g y + p_y = \frac{1}{2}\,\rho v_0^2 + 0 + p_{\mathrm{atm}}\,,$$

jejíž levá strana se vztahuje k situaci ve výšce y nade dnem nádoby a pravá strana k místu výtokového otvoru. Máme opět soustavu dvou rovnic pro neznámé v_y a p_y, za v_0 totiž dosazujeme vztah odvozený v části **(a)**. Jejím řešením dostáváme

$$v_y = \frac{S_0 S_h}{S_y}\sqrt{\frac{2gh}{S_h^2 - S_0^2}}\,, \qquad p_y = p_{\mathrm{atm}} - \rho g y + \rho g h\left(\frac{S_y^2 - S_0^2}{S_y^2}\right)\cdot\left(\frac{S_h^2}{S_h^2 - S_0^2}\right)\,.$$

[3] Odvození lze najít ve vybraných učebnicích či skriptech určených pro úvodní vysokoškolský kurz mechaniky, např. v [4.].

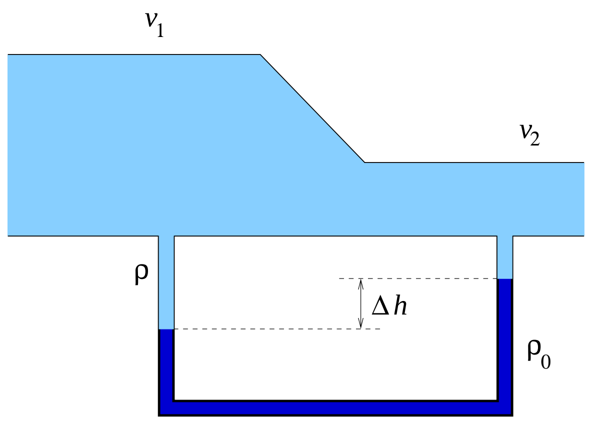
Diskuze výsledků:
Ze druhého vztahu je zřejmé, že tlak ve výšce y nade dnem je pro proudící kapalinu *větší* než tlak pro tutéž kapalinu, která je v klidu. Znovu připomeňme, že pro zjištění konkrétní hodnoty p_y bychom potřebovali znát odpovídající průřez proudového vlákna S_y, což nemusí být vždy úplně jednoduché zjistit. ♢

Postup, který jsme použili při řešení předchozí úlohy, je dobré porovnat s tím, na čem staví středoškolské učebnice ([1.]).

Důležité:
Středoškolské učebnice formulují Bernoulliovu rovnici *výhradně* pro proudové vlákno s vodorovnou osou. Tím se mj. zbavují možnosti odvodit korektní cestou vztah pro velikost výtokové rychlosti kapaliny malým otvorem. Při vlastním odvození totiž autorům nezbývá než porovnávat na levé a pravé straně Bernoulliovy rovnice mechanickou energii objemové jednotky vytékající kapaliny $\frac{1}{2}\,\rho v_0^2 + p_{\text{atm}}$ s mechanickou energií objemové jednotky ležící v témže proudovém vlákně a v *téže vodorovné rovině*, ale ve větší vzdálenosti od otvoru: o takové částici pak předpokládají, že má velmi malou (nulovou) rychlost, tedy že její celková mechanická energie je energií tlakovou $\rho g h$. Takový předpoklad však nemusí být vždy zcela oprávněný. Učebnicová formulace Bernoulliovy rovnice pak samozřejmě zcela vylučuje možnost určit velikost rychlosti, s níž klesá hladina kapaliny v nádobě.

Kromě toho, i při proudění tekutiny "vodorovným" potrubím nestejného průřezu je dobré rozmyslet si, jak je to s potenciální energií částice proudící kapaliny. Právě tomu se věnujeme v závěrečné úloze.

Úloha 4.:
Trubicí nestejného průřezu (viz Obrázek 5) proudí kapalina o hustotě ρ. Jakou velkou rychlostí proudí kapalina oblastí s menším průřezem, jestliže v místech s větším průřezem proudí rychlostí o velikosti v_1? Rozdíl hladin kapaliny o hustotě ρ_0 v manometrické trubici činí Δh. Proudění kapaliny považujte za ustálené a laminární.



Obrázek 5: Proudění kapaliny trubicí nestejného průřezu

Řešení:
K výpočtu hledané rychlosti použijeme Bernoulliovy rovnice

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

formulované pro částici kapaliny pohybující se podél dolního okraje trubice. Rozdíl odpovídajících tlaků určíme z údajů čtených na manometrické trubici:

$$p_1 + \Delta h \rho g = p_2 + \Delta h \rho_0 g\,.$$

Z posledních dvou rovnic dostáváme hledanou rychlost v užší části potrubí

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2\Delta h\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right) g}\ .$$

Poznámka:
Výpočet jsme provedli pro částici kapaliny pohybující se podél dolního okraje trubice. Změnilo by se něco, kdybychom uvažovali o částici pohybující se v jiném místě, například ve výšce y nad dolním okrajem širší části trubice? Určitě ne. Na pravou stranu Bernoulliovy rovnice bychom sice dosazovali místo hodnoty p_1 hodnotu $p_1 - \rho g y$ (srv. s ***Úlohou 1.***), ale současně bychom museli přičíst také potenciální energii tíhovou částice $\rho g h$, celkově by se tedy nezměnilo nic. Na pravé straně Bernoulliovy rovnice by tomu bylo podobně, odvozený vztah pro rychlost v_2 tedy podle očekávání platí pro *všechny* kapalinové částice v užší části potrubí. ♢

Otázky, cvičení a náměty k přemýšlení:

1. Změní se výsledky ***Úlohy 1.*** v případě, že:
   (a) Osa zkumavky není svislá?
   (b) Stěny nádoby nejsou svislé? Prodiskutujte možné případy a získané závěry podrobně vysvětlete.
2. Potápěč trénuje v bazénu o hloubce h.
   (a) Jak se s hloubkou mění tlak a jak jej potápěč vnímá?
   (b) Jak se s hloubkou mění výsledná tlaková síla, kterou na potápěče působí kapalina?
3. Lze souhlasit s často slýchaným tvrzením, že v "daném bodě kapaliny působí tlak p"? Vysvětlete a případně opravte.
4. Archimédes se údajně proslavil vyřešením tehdy celkem obtížného úkolu, který mu zadal král Hierón II. Měl zjistit, zda do koruny, kterou si král nechal vyrobit z ryzího zlata, nepřidal vykutálený výrobce levnější stříbro. Jak si tenkrát mohl Archimédes s úkolem poradit?
5. Vysvětlete, proč lidé po operacích pohybového aparátu nebo po úrazech často rehabilitují v bazénech.
6. V nádobě s kapalinou plove homogenní dřevěný kvádr o rozměrech $a > b > c$. Porovnejte stabilitu jeho různých rovnovážných poloh.
   Návod: Uvažujte o výsledném momentu tíhové síly, která působí v těžišti kvádru, a výsledné tlakové síly, která působí v těžišti ponořené části kvádru při nepatrném vychýlení kvádru z rovnovážné polohy. Která z rovnovážných poloh kvádru je rovnovážnou polohou stálou a která vratkou?
7. Ve sklenici s nápojem plove kostka ledu. Rozhodněte a zdůvodněte, zda po jejím rozpuštění hladina nápoje stoupne, klesne, nebo se nezmění v případě, že
   (a) kostka ledu plove ve sklenici s vodou?
   (b) kostka ledu plove ve sklenici s džusem, jehož hustota je větší než hustota vody?
8. Popište tlakové pole v nádobě s vodou umístěné ve výtahu, který se rozjíždí s konstantním zrychlením $\vec{A}$. Úlohu řešte z pohledu pozorovatele stojícího na schodišti (inerciální vztažná soustava) i z pohledu pasažéra jedoucího ve výtahu (neinerciální vztažná soustava).

9. Popište tlakové pole v nádobě s vodou umístěné ve vlaku, který se rozjíždí po přímé vodorovné trati s konstantním zrychlením $\vec{A}$. Úlohu řešte z pohledu pozorovatele stojícího na nástupišti (inerciální vztažná soustava) i z pohledu pasažéra ve jedoucího ve vlaku (neinerciální vztažná soustava).

10. Popište tlakové pole v nádobě s vodou umístěné ve voze, který sjíždí s vypnutým motorem po nakloněné rovině s úhlem sklonu α. Odpor prostředí považujte za zanedbatelný. Úlohu řešte z pohledu pozorovatele spojeného se Zemí (inerciální vztažná soustava) i z pohledu pasažéra ve jedoucího ve voze (neinerciální vztažná soustava). (Inspirováno [7.].)

11. Ti, kteří někdy sjížděli řeku, vědí, že "pomalé vody" většinou znamenají větší hloubku a že se pořádně svezou až na "vodách mělkých". Vysvětlete.

12. Která z hustot ρ, ρ_0 v manometrické trubici z ***Úlohy 4.*** je větší a proč?

13. Mariottovou lahví rozumíme velkou láhev uzavřenou zátkou, jíž prochází dutá kapilára, která ústí ve výšce h nade dnem nádoby. Nádoba je naplněna kapalinou o hustotě ρ.
    (a) Určete velikost rychlosti, jíž kapalina z Mariottovy láhve vytéká malým otvorem u dna.
    (b) Předpokládejte, že v určitém okamžiku dosahuje hladina kapaliny v Mariottově láhvi výšky H nade dnem. Jaký je v tomto případě tlak vzduchu nad hladinou?

14. Ohnutá trubice je vložena do proudící vody. Rychlost proudu vody vzhledem k trubici je $2,5$ m.s^{-1}. V uzavřeném horním konci trubice je malý otvor nacházející se ve výšce 12 cm nad hladinou proudící vody. Do jaké výšky bude voda z tohoto otvoru stříkat? (Převzato z [11.].)

15. Jaký je objemový tok zužujícího se proudu vody z vodovodního kohoutku, jestliže průřezy $S_1 = 1,2$ cm^2 a $S_2 = 0,35$ cm^2 jsou vzdáleny o $h = 45$ mm? (Převzato z ([4.].)

****

Příbuzné texty:

- ***Hlavní text***
- ***Nástraha první***
  Není pohyb jako pohyb aneb Kinematika jako zahřívací předkolo
- ***Nástraha druhá***
  Vektory, průměty, složky, velikosti, ... aneb Jak se vypořádat s řešením úloh?
- ***Nástraha třetí***
  Rozumíme silám tření? aneb K čemu slouží vazební podmínky?
- ***Nástraha čtvrtá***
  Dynamika křivočarého pohybu aneb Jak se vyhnout tradičním omylům?
- ***Nástraha pátá***
  Výtahy, vlaky, kolotoče, ... aneb Co náš čeká v neinerciálních soustavách?
- ***Nástraha šestá***
  Když se sejde více částic aneb Mechanika tuhého tělesa