

(10) Název: Zaprášená kaňka

Ročník: 17.; 2003 – 2004

Č. úlohy: 4

Text: Popište a objasněte dynamiku vzorů, které pozorujete, když na vodní hladinu nasypete nějaký suchý prášek (např. mletou kávu nebo mouku). Studujte závislost pozorovaného jevu na podstatných parametrech.

### 1. Rozbor — model

Úkolem bylo popsat a vysvětlit pohyb obrazců, které lze pozorovat pokud na vodní hladinu rozprášíme suchý prach (například mletou kávu, nebo mouku). Dále pak sledovat závislosti pozorovaného jevu na souvisejících parametrech. Pro pochopení tvorby obrazců, je dobré nejprve vysvětlit samotné rozpínání částic prachu po vodní hladině.

Díky tomu, že mletá káva, čokoláda i mouka jsou trochu „tučné“, nejsou příliš snadno smáčlivé. Předpokládáme, že tedy mohou zůstat na vodní hladině dostatečně dlouho, aby vytvořili kupičku podobnou té, když sypký materiál sypeme na desku stolu (pevný materiál). Snadno nahlédneme, že tíha vrchních vrstev vede zrníčka ve spodních vrstvách k tomu, aby se od sebe vzdalovala. Ve skutečnosti kupička nevzniká, protože se prach rozprostírá příliš rychle, ale síly, o kterých mluvíme, hrají při rozestírání významnou roli.

Dále mletá káva a čokoláda obsahují aromatické látky, které těkají, pohicují se vodou a mění tím její povrchové napětí. Tím mění ovšem i sílu působící na zrno, které je zdrojem těchto par. Takto například probíhá rejdní zrnka kafra po vodní hladině. Uvedený jev je také odpovědný za roztahování zrnka, které na vodní hladině probíhá.

### 2. Pracovní hypotéza

Na hladině se vytvářejí obrazce tvořené jednočásticovou nebo mnohočásticovou vrstvou.

### 3. Experiment

Veškeré experimenty probíhaly za stejných podmínek. K dispozici byly nádoby o průměru přibližně 15 cm a 50 cm. Jemný prach byl rozprašován i na jiné tekutiny kromě vody, konkrétně na mléko (na jeho povrchu se prach lépe pozoruje) a na rostlinný olej (větší viskozita). Jako prach byla při pokusech použita mouka, mletá káva a především kakaový nápoj MalCao.

#### Pozorované efekty

Při pokusech jsme pozorovali vznik dvou hlavních druhů obrazců, které byly určeny vstupními parametry pokusu. Byly to obrazce tvořené *jednočásticovou vrstvou* (prachový film) nebo *mnohočásticovou vrstvou* prachu.

#### a) *Jednočásticová vrstva prachu*

Prach se úplně rozestře po vodní hladině v poměrně krátkém čase. Poté, v závislosti na přitažlivých silách mezi prachovými částicemi, vytváří:

- 1) malé shluky, mezi kterými je volná hladina bez prachu;
- 2) tvoří jakousi síť prachu, kdy se v celistvém vrstvě opět objevují mezery s volnou hladinou.

Jde tedy o podobné efekty, ale oproti prvnímu případu je u druhého rozdíl v přitažlivé síle mezi jednotlivými částicemi a v rychlosti rozestírání. Pokud síla je právě tak velká, aby udržela částice u sebe během rozestírání, pak ve chvíli, kdy už jsou částice pouze v jedné vrstvě dojde k roztrhání jejich celistvosti a vzniká dvourozměrná síť. Obdobou této sítě je třech rozměrech pečivo (volným prostorem jsou zde bublinky mezi těstem).

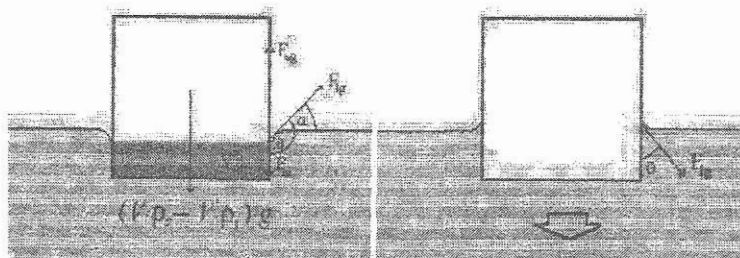
#### b) *Mnohočásticová vrstva prachu*

Na vodní hladině je tolik prachu, že není možné, aby se úplně rozestřel. To může nastat ze dvou důvodů:

- 1) vodní hladina je příliš malá;
- 2) hladina je dostatečně velká, ale prachu je tolik, že než se stačí rozestřít, smočí se a slepí jeho spodní vrstvy a vytvoří nosnou plochu pro suchý prach nad ní (u ideálního suchého prachu by toto smočení nenastalo).

V obou případech vznikají na hladině kry, které se mohou také potopit.

#### 4. Částice pevných látek v kapalině — výpočet



Obrázek 10-1: Síly působící na částici

Na tuhou částici v kapalině působí její tíže, vztlak a mezifázové napětí, obr. 10-1. Velikost těchto sil rozhoduje o tom, bude-li malá tuhá částice, jejíž hustota je větší než hustota kapaliny, plovat na povrchu, nebo zda se potopí (částice s menší hustotou plave vždy a rozhraní určuje pouze, zda bude či nebude smáčena). Pro rovnováhu platí

$$(V \cdot \rho_s - V' \cdot \rho_l) \cdot g = \sigma_{lg} \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (10.1)$$

kde  $V$  je objem částice  $V'$  objem ponořené části,  $\rho_s$  a  $\rho_l$  hustota tuhé částice a kapaliny,  $g$  tíhové zrychlení,  $\sigma_{lg}$  povrchové napětí kapaliny (v obrázku  $F_{lg}$ ),  $L$  obvod částice v místě styku s kapalinou a  $\alpha$  je úhel svíraný kapalným povrchem a vodorovnou rovinou v místě styku tří fází. Účinkem povrchových sil mohou tedy plovat i malá tělesa o větší hustotě než je hustota kapaliny. K plování nedojde, je-li hmotnost částice tak velká, že nemůže být vyvážena povrchovými silami, a tehdy, když kapalina smáčí tuhou látku.

## 5. Rychlost částice

Odvození vztahu pro rychlost částice od doby, kdy na ní přestane působit adhezní síla.

$$F_i = v_i \cdot f \quad (10.2)$$

Vzhledem k opačnému směru třecí síly než je směr pohybu částice můžeme napsat:

$$m \cdot \bar{a} = -\bar{v} \cdot f \quad (10.3)$$

Dostáváme diferenciální rovnici, kterou řešíme metodou separace proměnných...

$$m \cdot \frac{d\bar{v}}{\bar{v}} = -f \cdot dt \quad (10.4)$$

...pokud dosadíme za čas nulu ( $t = 0$ ), zůstává nám na pravé straně rovnice pouze konstanta, a lze tedy říci, že je to právě velikost počáteční rychlosti.

$$v = v_0 \cdot e^{-\frac{f}{m}t} \quad (10.5)$$

Jestliže integruje vztah pro rychlost podle času, obdržíme vztah pro dráhu v závislosti na čase.

$$s = v_0 \cdot \frac{m}{f} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{f}{m}t} \right) \quad (10.6)$$

Pro  $t \rightarrow \infty$  dostáváme dráhu konečné velikosti:

$$s = v_0 \cdot \frac{m}{f} \quad (10.7)$$

## 6. Diskuse

Při popisu pohybů částic a vzniku obrazců na vodní hladině se uplatňuje hydrodynamika. Obzvláště pokud zvažujeme reálnou tekutinu, kde vznikají konvekční a jiné proudy, z důvodů přenosu tepla mezi tekutinou a okolním vzduchem. V našem případě jsme tato proudění neuvažovali.

## 7. Závěr

Zjednodušený výsledek experimentu vede k tomuto závěru: při pohybu částic na vodní hladině se uplatňují kohezní síly a povrchové napětí.