

5. Závěr

Tento jednoduchý analytický model úspěšně zachycuje okolnosti růstu rampouchu a shoduje se ve velké míře se skutečností. Předvídá časově nezávisle bezrozměrné veličiny, jako jsou tvar rampouchu, velikost, odkapávací poměr či bezrozměrná hmotnost. Z těchto bezrozměrných veličin můžeme dosazením určitých konstant získat veličiny klasické. Tento přístup poskytuje obecnější pohled než různé numerické modely či experimentálně získaná data. Zajímavý je například fakt, že v momentě, kdy se odkapávání zastaví, vytvořilo 33% až 50% přitéklé vody ledovou hmotu rampouchu. Předpovězené tvary a rozměry dobře souhlasí s realitou, i když samozřejmě pouze pokud rampouch rostl za podmínek, které se alespoň přibližují ideálním předpokládaným. Pokud například se mění přítok s časem nebo voda stéká převážně po jedné straně rampouchu a podobně, mohou vznikat rozličné tvary, které se mohou od ideálu dosti lišit, ale které však teoreticky popsat je nemožné.

(25) Název: Mýdlová vrstva

Ročník: 12.; 1998 – 1999

Č. úlohy: 4

Text: Vysvětlíte vzhled a vývoj barev na mýdlové vrstvě různých tvarů.

1. Úvod

S bublinami, obzvláště s těmi mýdlovými, se každý z nás setkává už od dětství. Každé malé dítě zná bublifuk a jsou lidé, kteří se dokonce vytvářením bublin živí na různých estrádách. Každý také už zřejmě pozoroval interferenční jevy na tenké vrstvě vzniklé například na kaluži pokryté vyteklým olejem, které vytváří už na první pohled zajímavé obrazce. Křehké bubliny a tenké, barvami hrající, filmy jsou něčím, co lidi evidentně přitahuje, a co se jim líbí. Na druhou stranu se na obyčejné bublině dá demonstrovat spousta základních fyzikálních jevů, povrchovým napětím počínaje a interferencí konče (nehledě na to, že při vhodně sestaveném pokusu lze na rezonujících bublinách demonstrovat i jinak složité představitelné kvantové stavy molekul a chemické vazby).

Naším úkolem bylo vysvětlit vzhled a vývoj barev na mýdlových vrstvách různých tvarů. První část této práce se zabývá popisem základních charakteristik „mýdlového“ roztoku a tenké blány, která se z něj utvoří. Jsou zde také popsány roztoky a jejich složení, které jsme při naší práci užívali. Dále se věnujeme formování mýdlové vrstvy na různých drátěných útvarech a mýdlových bublinách, vzhledem k principu zaujetí stavu o minimální energii. Třetí kapitola konečně vysvětluje vznik interferencí a popisuje výsledky několika zajímavých experimentů sloužících ke zkoumání stavu filmu a jeho vývoje v čase.

2. Experiment — mýdlový film

a) Struktura vrstvy

Hned na počátku je třeba uvést, že pod pojmem „soap“ si v tomto případě lze představit nejen klasické mýdlo, ale i různé saponátové výrobky, které vykazují mnohem lepší vlastnosti. Co je však pro všechny tyto látky společné, je jejich molekulární struktura. Molekuly takové povrchově aktivní látky jsou vždy velmi dlouhé a mají jeden konec hydrofilní a druhý hydrofobní. Mýdlový film je potom tvořen jejich dvojvrstvou s vrstvou vody nebo jiné látky uvnitř.

Důležitým faktorem je známá snaha o minimalizaci povrchové energie systému ($E = \sigma S$), obdobně jako u všech ostatních látek s povrchovou vrstvou. Vrstva se tedy v daném uspořádání snaží zaujmout takový stav, ve kterém má nejmenší povrch. Tento jev je vhodné zkoumat pomocí různých drátěných konstrukcí a pozorovat, v jaké prostorové konfiguraci se film ustálí. Z teorie plyne, že existují pouze dva způsoby styku dvou „mýdlových“ povrchů při zachování minimální energie: a) tři povrchy stýkající se podél hladké křivky, mezi nimiž je úhel 120° , b) šest povrchů se stýká podél čtyř křivek v jednom vrcholu pod vazebným úhlem 109° . To je možno skvěle demonstrovat na vzhledu filmu, který se utvoří v drátěném trojbokém hranolu.

b) Složení vzorků

Kromě klasického mýdla jsme, jak již bylo řečeno, užívali i obdobné detergenty (JAR, ...). Experimenty totiž ukázaly, že mýdlo jako základ „soap filmu“ není příliš vhodné a takové filmy nemají dostatečnou stabilitu. Kromě povrchově aktivní látky je však vhodné přidat do roztoku i další látky pro dosažení vhodných vlastností — např. glycerol pro zvýšení viskozity a stability vzorku. Námí používané roztoky byly:

1. JAR + voda (1:5, 1:10)
2. JAR + voda + glycerol (1:5:1)
3. mýdlo + voda + lepidlo na tapety + cukr (zpevnění vrstvy)

Zejména u roztoku 2 lze v závislosti na koncentraci jednotlivých složek pozorovat všechny tři základní typy filmů podle jejich vlastností:

- *pevný film* — relativně silná vrstva typická pomalým stékáním a resistantní proti jakémukoliv pohybu.
- *pohyblivý film* — stéká mnohem rychleji a lze na něm snadno pozorovat interferenční barevné jevy, pokud je již značně tenký, projevují se v něm turbulentní proudění. Při tloušťce menší než 20 nm a v odraženém světle jsou veškeré interference destruktivní, objeví se tzv. **černá skvrna**.

- *nepřavidelně se pohybující film* — vzniká při vyšší koncentraci surfaktantů a jeho stěkání je obdobné jako u pohyblivého filmu, ale rozdíl se projeví poté, co se utvoří „černá skvrna“, přičemž její hranice je nestabilní a postupně obklopí drobné barevné ostrůvky tlustších vrstev.

3. Pracovní hypotéza

Interferenci světla na tenké mýdlové vrstvě vznikají různé obrazce.

4. Teoretické řešení — interference na mýdlové vrstvě

a) *Teorie interference na vrstvě*

Světlo je elektromagnetické vlnění, jednotlivé vlny spolu mohou interagovat a vytvořit spolu interference. Pojďme nyní vyšetřit interference na tenké vrstvě.

Dopadá-li na takovýto film o tloušťce d s indexem lomu n (okolní prostředí má index lomu $n_0 = 1$) rovinná plocha pod úhlem α , je částečně odražena a částečně zalomena na prvním povrchu. Propuštěná část je opět částečně odražena a částečně propuštěna na druhém povrchu, a toto se opakuje dále. Odražené (prošlé) paprsky $OR, O_1R_1, O_2R_2, \dots (CT, C_1T_1, \dots)$ spolu interferují. Ve většině úvah o interferencích však lze počítat jen s prvními dvěma odrazy a lomy v prošlé i odraženém světle, protože při každém odrazu se intenzita značně utlumuje. O tom, zda nastane interferenční minimum či maximum, lze snadno rozhodnout z rozdílu optických drah interferujících paprsků (optická dráha je dána součinem dráhy skutečné a indexu lomu). Pro paprsky OR a O_1R_1 odraženého světla platí:

$$\Delta l = (OC + CO_1)n - OF = \frac{2tn}{\cos \beta} - 2t \tan \beta \sin \alpha \quad (25.1)$$

Protože index lomu je dán vztahem $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, je rovnici (25.1) možné upravit na:

$$\Delta l = \frac{2t}{\cos \beta} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} - 2t \tan \beta \sin \alpha = 2t \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (25.2)$$

Je důležité si však uvědomit, že při odrazu na opticky hustším prostředí dochází ke změně fáze na opačnou. Pro „účinný“ rozdíl optických drah v odraženém světle tedy platí $\Delta l_s - \frac{\lambda_0}{2}$ a pro interferenční maxima tedy musí platit:

$$\Delta l_s = \Delta l - \frac{\lambda_0}{2} = 2k \frac{\lambda_0}{2} \quad (25.3)$$

a pro tloušťku vrstvy, na níž maximum pro danou vlnovou délku nastává:

$$t_{\max} = (2k + 1) \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \cdot \frac{\lambda_0}{4} \quad (25.4)$$

Obdobně pro případ minim dostaneme:

$$I_{\min} = 2k\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \cdot \frac{\lambda_0}{4} \quad (25.5)$$

Kromě podmínek pro maxima a minima lze rovněž vyšetřit i intenzitu světla v obecném libovolném bodě (vzhledem k maximální intenzitě I_{\max}):

$$I = I_{\max} \left(1 - \frac{4R}{1-R^2} \sin^2 \alpha \frac{2nt}{\lambda} \cos \alpha \right), \quad (25.6)$$

kde R je reflektivita mýdlového povrchu určená vztahem:

$$R = \left(\frac{n - n_0}{n + n_0} \right)^2 \quad (25.7)$$

V dalších úvahách se však stačí zabývat pouze interferenčními extrémami pro různé vlnové délky. I pro bílé světlo tak můžeme přibližně stanovit konečný vzhled filmu.

b) *Interference na různých tvarech*

Nejjednodušším případem je vzhled barev na klasické rovinné vrstvě. Ta, pokud je umístěna ve svislé poloze v tíhovém poli, vytvoří postupně jakýsi klín s nejužším místem u horního okraje a postupně se rozšiřující směrem k spodnímu okraji. Podmínky pro maxima a minima tedy postupně nastávají pro různé vlnové délky a na filmu se jak v odraženém, tak i v proslém (ty jsou však slabší) světle objeví přibližně horizontální barevné proužky, resp. světlé a tmavé proužky v případě světla monochromatického. Jejich vývoj s časem je závislý na typu použitého roztoku a na vnějších podmínkách.

Abychom mohli tyto proužky dobře pozorovat, musíme volit vhodný pozorovací úhel a zároveň dosáhnout toho, aby byl film skutečně planární — tedy omezit zvlnění dané např. nerovnými okraji rámečku. Obojího lze snadno dosáhnout např. při vytvoření několika vrstev na rámečku ve tvaru trojbokého hranolu.

Dalším esenciálním tvarem je koule, resp. polokoule či obdobné zakřivení. I zde pro podmínky interferenčních extrémů platí stejné vztahy, je ovšem nutno počítat se správným úhlem dopadu. U bubliny, pro mýdlové vrstvy útvaru v pravdě typickém, je navíc nutno brát v úvahu vícenásobné odrazy a lomy na několika površích. Toto je již numericky poměrně složité, ovšem z kvalitativního hlediska je zřejmý vzhled v podobě soustředných barevných kroužků.

c) *Vývoj s časem*

Pro to, jak se budou měnit barvy s časem, je nezbytné posoudit strukturu vrstvy vzhledem ke třem výše uvedeným typům. Ke zkoumání vzhledu a vývoje proudění v různých mýdlových vrstvách jsme použili následující experimentální metodu. Na mýdlovou bublinu s relativně malým poloměrem se nechá dopadat laserový svazek. Ten je na obou stranách zakřiveného

povrchu částečně odražen v rozbíhavém svazku a na stínítku několik metrů vzdáleném se objeví mnohonásobně zvětšený obraz osvětleného místa. Ze změny tohoto obrazu s časem můžeme usuzovat na vývoj mýdlové vrstvy.

5. Experimenty — dosažené výsledky

Provedli jsme řadu pozorování mýdlových filmů na rovinných i prostorových drátěných konstrukcích či na bublinách. Jejich vývoj s časem samozřejmě závisí na použitém roztoku. Ve většině případů však můžeme pozorovat následující fáze (planární film):

1. Zpočátku lze pozorovat tenké barevné proužky, které jsou relativně stabilní.
2. Postupně, jak se film časem ztenčuje, tyto proužky se logicky rozšiřují a v horní části se zpravidla objeví „černý film“, jehož hranice se postupně pohybuje směrem dolů. Obraz je v této fázi velice náchylný k vibracím.
3. Zejména u vzorků s glycerolem se do původně pravidelných proužků začínají uvolňovat barevné kapénky, které proudí až k protějším okrajům. Na vrstvě se tak utváří řečiště a původní proužkovitý obraz se zcela zamžije. Tento jev úzce souvisí s vlastnostmi roztoku a je velmi těžké jej teoreticky vysvětlit.
4. Jakmile se již „černý film“ značně rozšíří, film obvykle kolabuje a praská.

6. Závěr

Byly odvozeny vztahy pro interferenci světla na tenké vrstvě a prozkoumány pozorované obrazce v závislosti na tvaru mýdlové vrstvy. Podrobně byl diskutován vliv použitých roztoků a některé jejich speciality.

Je však nutno znovu podotknout, že pozorované interference na mýdlových vrstvách jsou zajímavé nejen z fyzikálního hlediska, ale mají i svůj aspekt estetický.

(26) Název: Elektronový paprsek

Ročník: 10.; 1996 – 1997

Č. úlohy: 4

Text: Paprsek elektronů dopadá na planoparalelní desku ze známého homogenního materiálu. Některé elektrony proletí, některé ne. Zkuste simulovat tento proces (např. metodou Monte Carlo) a porovnejte své výsledky s těmi uvedenými v literatuře.

1. Rozbor — model

Řešení pomocí metody Monte Carlo je řešení s využitím teorie pravděpodobnosti a statistiky. Tato metoda se používá pro řešení úloh, u nichž nelze nalézt přímý (deterministický) algoritmus pro jejich řešení, nebo u kterých by tento algoritmus byl příliš složitý nebo zdouhavý. Jednotlivé procesy, které probíhají při průchodu elektronu látkou, jsou známé a