

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Oddelek za fiziko

Seminar – 1. letnik, II. stopnja

# Hidrodinamske Nestabilnosti

Avtor: Miha Čančula

Mentor: prof. dr. Alojz Kodre

Ljubljana, marec 2012

**Povzetek**

## 1 Uvod

## 2 Stabilnost

O nestabilnosti govorimo, ko infinitezimalno majhna sprememba trenutnega stanja lahko povzroči večjo, merljivo razliko po nekem končnem času [4].

Takšna definicija je precej splošna, zato jo za potrebe seminarja raje definiramo ožje in bolj eksaktno: Imejmo sistem, katerega časovno spreminjanje lahko z eno ali več diferencialnimi enačbami, ki imajo določeno simetrijo. Z nastavkom, ki upošteva to simetrijo, lahko dobimo rešitev enačb. Stabilnost se pokaže, ko temu nastavku dodamo majhno motnjo, ki ne upošteva simetrije. Stabilni sistem se bo vrnil v simetrično stanje, medtem ko pri nestabilnem pride do zloma simetrije.

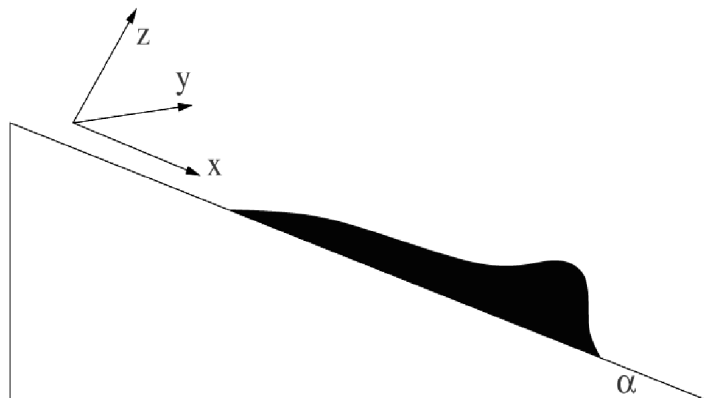
Primer nestabilnega pojava je svinčnik, postavljen na konico. Enačba, ki opisuje njegovo gibanje, je simetrična glede na rotacijo okrog osi svinčnika. Zato lahko najdemo rešitev z enako simetrijo, to je pokončna lega. Če pa svinčnik le malo izmaknemo iz simetrične lege, bo padel in končal v stanju brez rotacijske simetrije.

## 3 Hidrodinamika

Na nestabilnosti pogosto naletimo pri študiju curkov tekočin [3].

## 4 Tanki filmi

Hidrodinamsko nestabilnost lahko opazujemo pri polzenju tekočine po klančini [2].



Slika 1: Skica tekočine v dveh dimenzijah. Viden je greben tik za fronto tekočine in pa zožitev daleč za fronto, ki je pri računih ne bomo upoštevali

### 4.1 Enačbe

Če privzamemo nestisljivost tekočine  $\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$ , se Navier-Stokesova enačba poenostavi v

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\nabla \cdot \mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{u} + g(\sin \alpha \mathbf{i} - \cos \alpha \mathbf{k}) \quad (1)$$

kjer je  $\mathbf{u}$  hitrost tekočine,  $\rho$  njena gostota in  $\mu$  viskoznost. Člena z  $g$  sta dinamična in statična komponenta sile teže. Pomembni so tudi robni pogoji, običajno se izbere sledeče:

- Na meji med tekočino in klancem tekočina ne drsi, torej je tam  $\mathbf{u} = 0$ .
- Na meji med tekočino in zrakom ima tlak nezveznost, ki jo sorazmerja površinski napetosti in ukrivljenosti meje  $\kappa$ .

Ker obravnavamo tanke filme, lahko privzamemo, da je debelina  $h$  manjša od katerekoli dolžinske skale v ravnini. S tem privzetkom lahko enačbo (1) poenostavimo v enačbo za  $h$ .

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{3\mu} \nabla \cdot [\gamma h^3 \nabla \nabla^2 h - \rho g h^3 \nabla h \cos \alpha + \rho g h^2 \sin \alpha \mathbf{i}] \quad (2)$$

#### 4.1.1 Brezdimenzijska oblika

### 4.2 Nestabilnost

## 5 Milni mehurčki

Milni mehurčki so stabilni na majhne motnje zaradi površinske napetosti tekočine. Če pa mehurček predremo v eni točki, ustvarimo rob, kjer površinska napetost ni uravnotežena, zato se rob začne umikati. Ker je opna običajno zelo tanka, je ukrivljenost na robu velika, zato fronta napreduje zelo hitro [1]. To napredovanje je pri mehurčkih tako hitro, da s prostim očesom fronte sploh ne opazimo, ampak se nam zdi, da celoten mehurček razpade naenkrat.

### 5.1 Enačbe

Podobno kot pri tankem filmu lahko tudi za opno predpostavimo, da je tanka, njeno debelino pa označimo s  $h = h(x, t)$ . Opna ima translacijsko simetrijo v smeri  $y$ , zato na začetku predpostavimo, da imajo takšno simetrijo tudi  $h$  ter gostota in tlak tekočine.

### 5.2 Nestabilnost

## 6 Razpad toka v kapljice

## 7 Zaključek

## Literatura

- [1] S. Čopar, Numerična analiza nestabilnosti na robu tekočinske opne, Diplomsko delo (2009)



Slika 2: Razpad milnega mehirčka [5]. Kapljice na desni strani niso posejane enakomerno, ampak so vidni pasovi večje in manjše gostote.

- [2] L. Kondic, SIAM Review **45**, 95 (2003)
- [3] J. Eggers in E. Villermaux, Rep. Prog. Phys. **71**, 036601 (2008)
- [4] P. G. Drazin, *Introduction to hydrodynamic stability*, Cambridge University Press (2002)
- [5] <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1199149/Super-slow-motion-pictures-soap-bubble-bursting-stunning-detail.html> (23. 1. 2012)