

非线性对流斑图

黄康靖

2012 级 学号:masked student id^{*}

(日期: May 20th, 2015)

此部分为摘要. 200—300 字, 说明用什么方法做了什么事, 由此得到什么结果和结论, 有何意义. 摘要中不用缩略词, 不用第一人称.

关键词: 关键词 1, 关键词 2, 关键词 3, 关键词 4

* email@example.com; (86)1XXXXXXXXXX

I. 引言

当流体的内部密度压力分布不均匀产生梯度力时, 流体便会发生流动. 而当热力作用使得流体状态(比如密度、压力等)发生的差异, 也可以导致流体运动. 这种由热力作用驱动的流体运动称为热对流. 它是自然界中常见的现象. 热对流现象是由于热力分布的不均匀, 造成了流体中的温差, 从而引起了流体的密度差, 进而在重力场中相应地出现了阿基米德浮力驱动的.

1900 年, 贝纳对具有自由面 - 固壁底层的液体薄层进行了热对流实验, 观测到了各种对流图形. 现在把底层加热的液体薄层的对流奔蹄称为贝纳问题, 耗散结构理论的提出使得人们对于此类问题有了更系统而深入的认识.

耗散结构理论是在 20 世纪 60 年代末由以普利高津为首的比利时布鲁塞尔学派提出的科学理论, 它给出了对于不可逆过程的科学研究方法. 耗散结构理论指出, 系统从无序状态过渡到耗散结构有两个必要条件, 一是系统必须开放, 即系统必须与外界进行物质或能量的交换; 二是系统必须远离平衡态, 即系统中流与力的关系是非线性的.

贝纳问题中的非线性对流结构是典型的耗散结构, 对于其的研究有助于对于耗散结构理论的进一步理解. 本实验通过对于贝纳问题中过的非线性对流结构的表征形态非线性对流斑图的形成过程的研究, 对于耗散结构理论进行了探索.

II. 原理

研究在上下相隔 d 的两个平面之间所夹住的一薄层液体中的热对流现象. 上下两边界为水平, 温度分别维持为 T 和 $T + \Delta T (\Delta T > 0)$. 这一热对流系统满足 Boussinesq 条件, 相应的热对流基本方程组和边界条件如下

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = g\alpha T \hat{z} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \gamma \nabla^2 \vec{V} \\ \nabla \cdot \vec{V} = 0 \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \theta = \kappa \nabla^2 T \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} T(z = -d/2) = T + \Delta T \\ T(z = d/2) = T \\ \vec{V} = 0, z = \pm d/2 \end{cases} \quad (2)$$

对于这一定解问题可以做线性稳定性分析,通过对定态解施加围绕,讨论微扰的线性发展.

理论推导给出的结果指出,参数 R 瑞利系数

$$R = \frac{g\alpha d^3 \Delta T}{\kappa\gamma} \quad (3)$$

是决定系统非线性特性的重要参量. 数值计算结果则给出, R 存在临界值

$$R_c = 1707.76, \alpha_c = 3.117 \quad (4)$$

即是说,当系统的条件可以满足 $R < R_c$ 时,系统出现的随机扰动噪声会随时间演化消失,从而不会出现非线性对流现象;而系统的条件满足 $R > R_c$ 时,系统出现的随机扰动的非线性效应将不会能够忽略,从而将会出现非线性对流现象与非线性斑图.

III. 实验

在实验中,待测的液体水被夹在降温水层和纯紫铜盘的镀金表面之间. 使用不同厚度的垫圈垫在两个表面之间,来实现调整研究的液体水层的厚度.

降温水层与研究的液体水层的接触面是蓝宝石片,其他部分是有机玻璃,降温水层内的水由水泵驱动,由制冷机保证其温度一直处于某个较低的值.

下表面的纯紫铜盘上镀了一层金,用于反射光线,方便阴影法观测. 紫铜盘内有电热丝和控温器,用于保证其温度一直处于某个较高的值.

纯紫铜盘和降温水层中都有 Pt100 温度探测头,用于测量两侧的平面的温度.

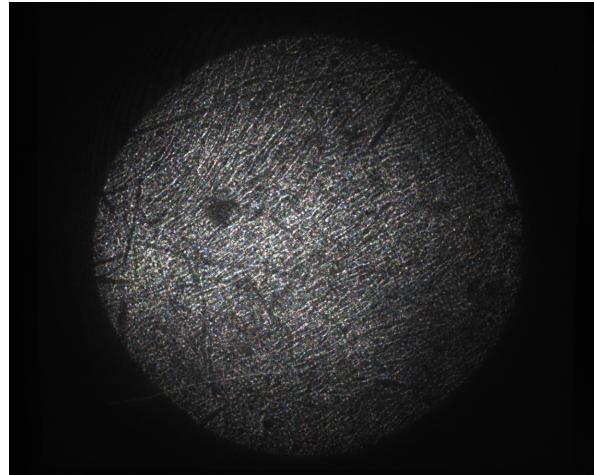
实验采用阴影法来观测对流水层内的流动结构,即斑图. 使用激光器作光源,经扩束镜扩束后,再经凸透镜形成准平行光束,照射到水层上,收集反射的光线,使用 CCD

成像,用计算机拍照,即可观测到斑图.

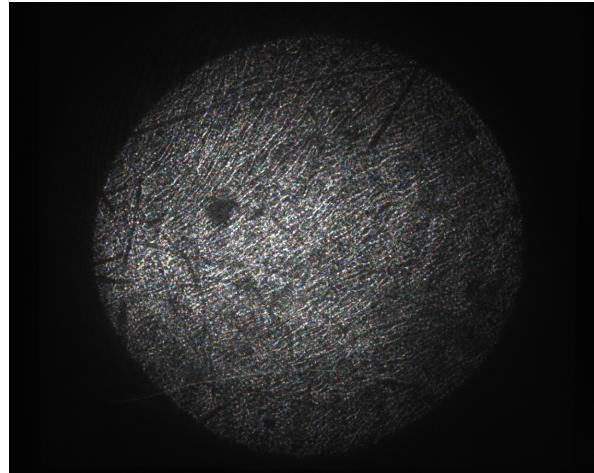
实验先后测量了 $d = 2 \text{ mm}$, $d = 4 \text{ mm}$ 下, 增加上下表面的温度差时, 稳定斑图的演化过程.

IV. 实验结果及分析讨论

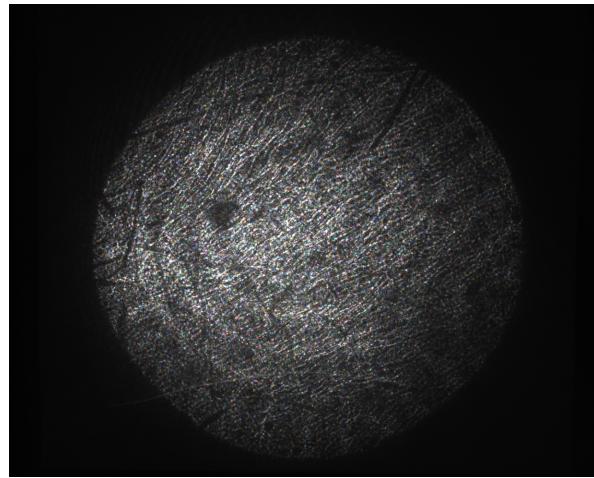
斑图在两个不同的水层厚度下, 演化的过程如以下诸图所示.



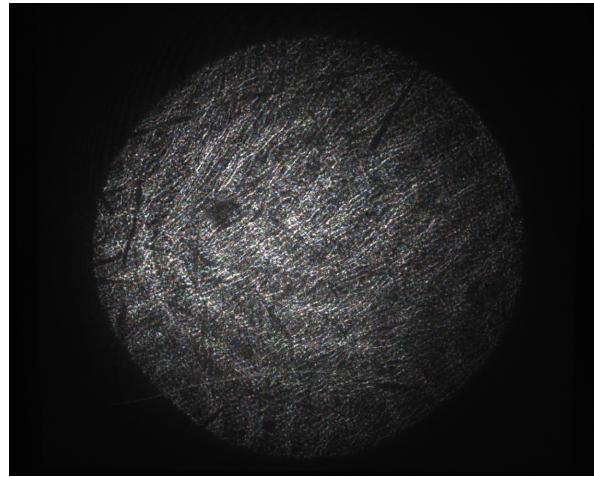
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.5 \text{ A}$, 下界面温度为 27.7 摄氏度, 上界面温度为 22.4 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时非线性对流尚未形成.



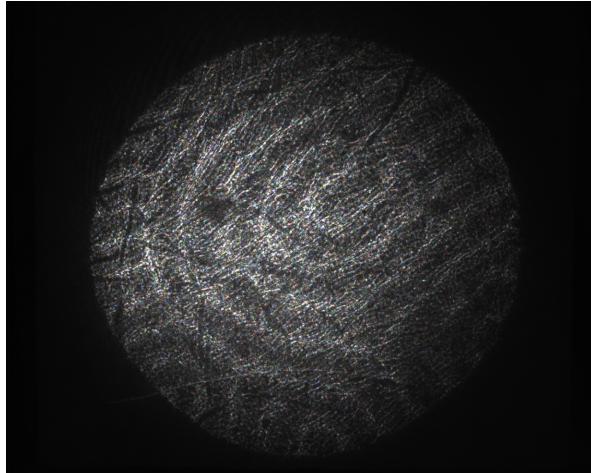
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.55 \text{ A}$, 下界面温度为 28.5 摄氏度, 上界面温度为 22.9 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时非线性对流已开始形成, 可以看到隐约的黑白相间条纹.



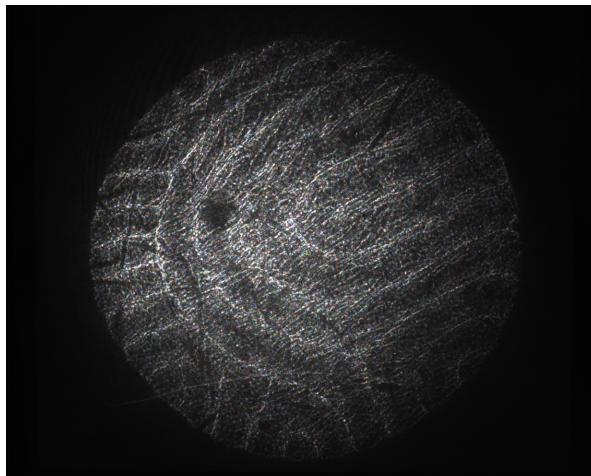
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.6 \text{ A}$, 下界面温度为 29.8 摄氏度, 上界面温度为 24.0 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显.



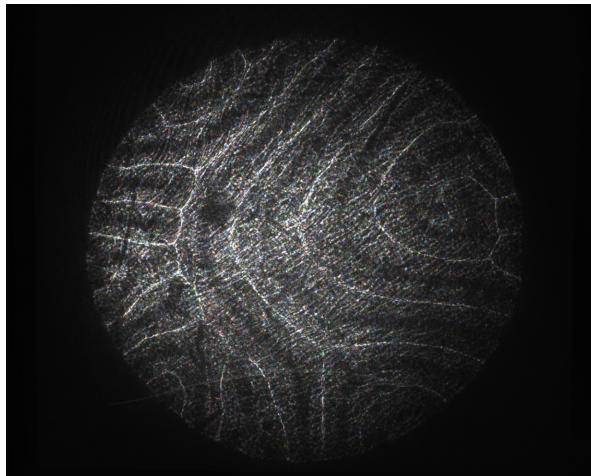
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.65 \text{ A}$, 下界面温度为 30.7 摄氏度, 上界面温度为 24.3 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显.



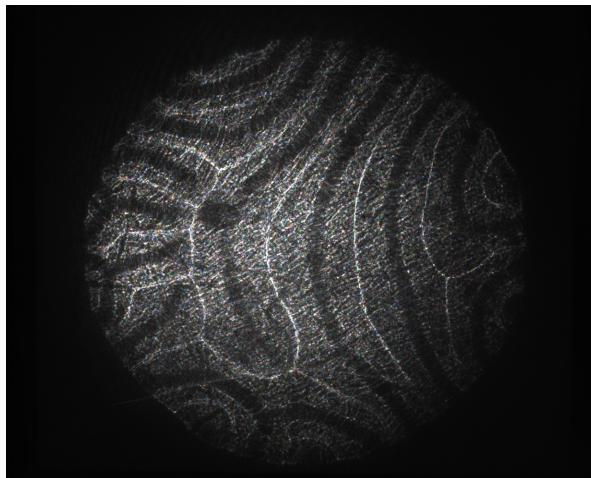
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.7 \text{ A}$, 下界面温度为 31.8 摄氏度, 上界面温度为 24.8 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显.



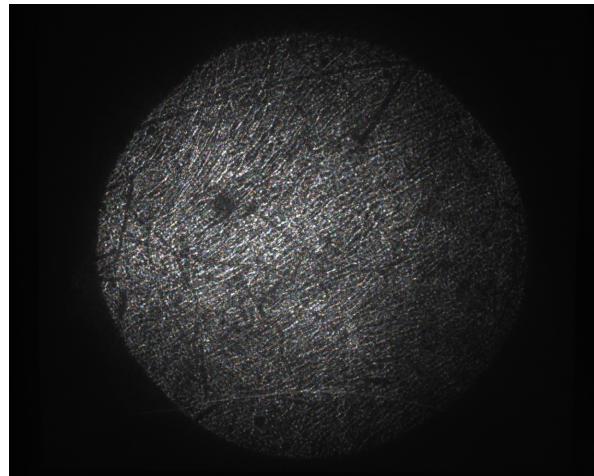
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.8 \text{ A}$, 下界面温度为 34.0 摄氏度, 上界面温度为 25.7 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显, 并且出现了明确的白线边界.



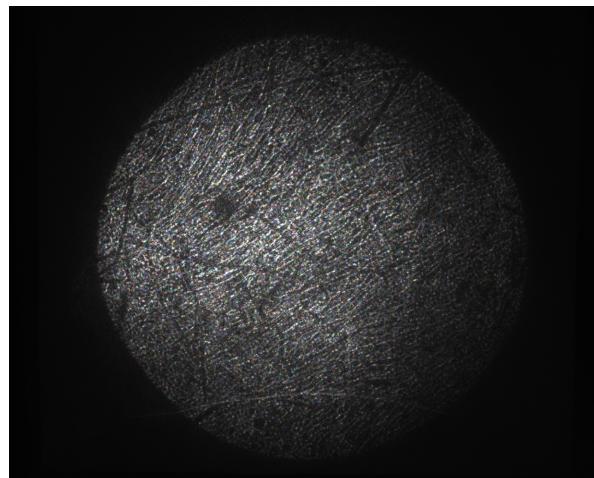
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.0 \text{ A}$, 下界面温度为 40.8 摄氏度, 上界面温度为 29.2 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显, 并且出现了明确的黑线边界, 图样有所变形.



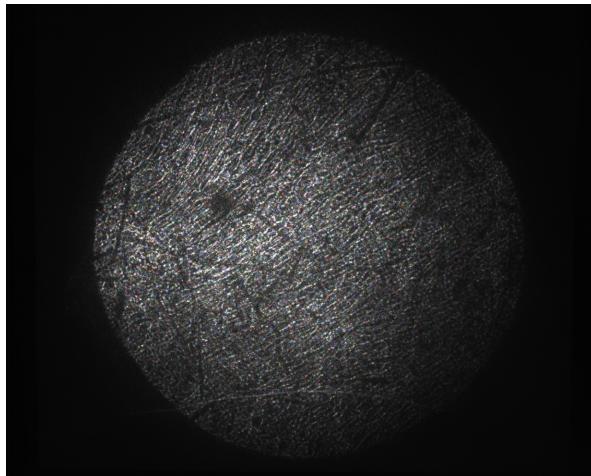
此图为厚度 $d = 2 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.2 \text{ A}$, 下界面温度为 47.4 摄氏度, 上界面温度为 32.8 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显, 斑图的变形也进一步增强了.



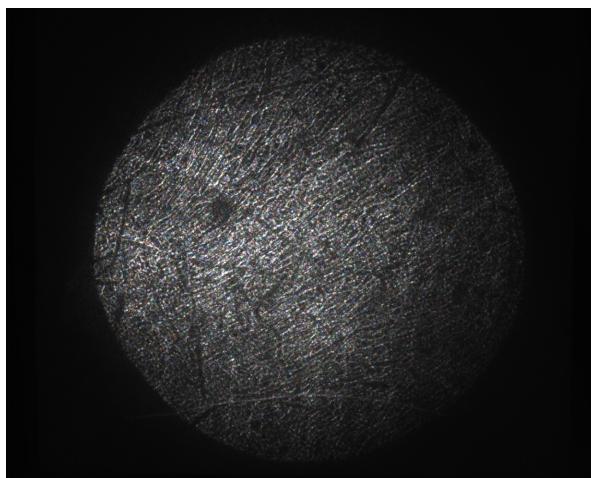
此图为厚度 $d = 4\text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.201\text{ A}$, 下界面温度为 25.7 摄氏度, 上界面温度为 21.4 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时非线性对流现象尚未出现.



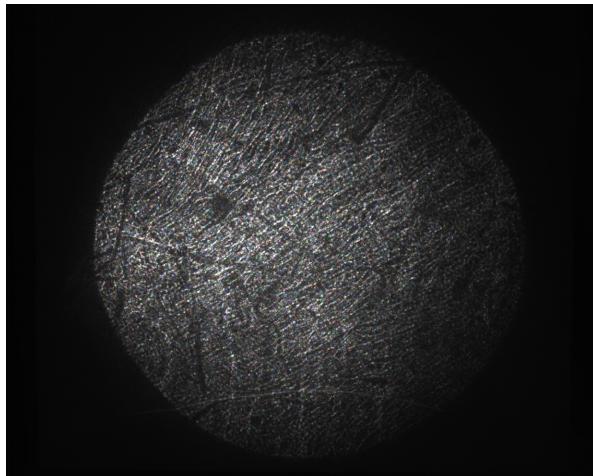
此图为厚度 $d = 4\text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.30\text{ A}$, 下界面温度为 24.5 摄氏度, 上界面温度为 21.0 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时非线性对流现象尚未出现.



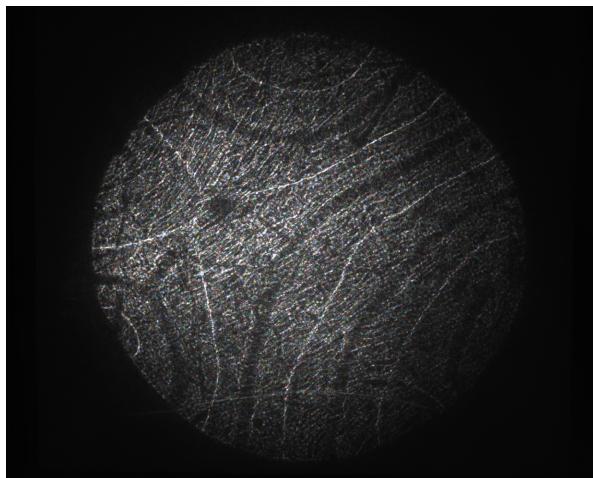
此图为厚度 $d = 4 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.401 \text{ A}$, 下界面温度为 25.5 摄氏度, 上界面温度为 20.7 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时黑白相间的非线性对流斑图已经隐约可见.



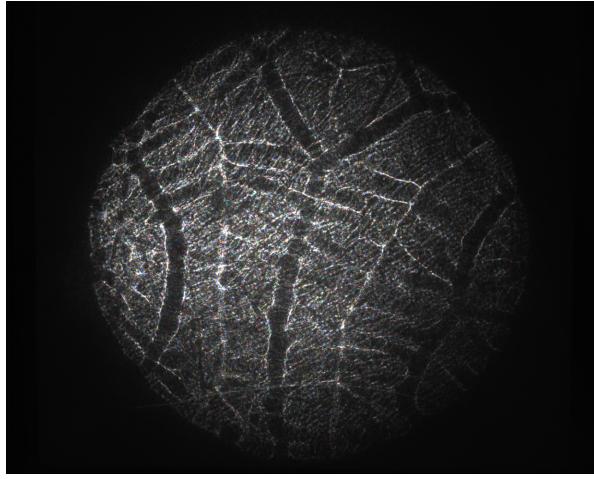
此图为厚度 $d = 4 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.500 \text{ A}$, 下界面温度为 27.2 摄氏度, 上界面温度为 21.2 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显



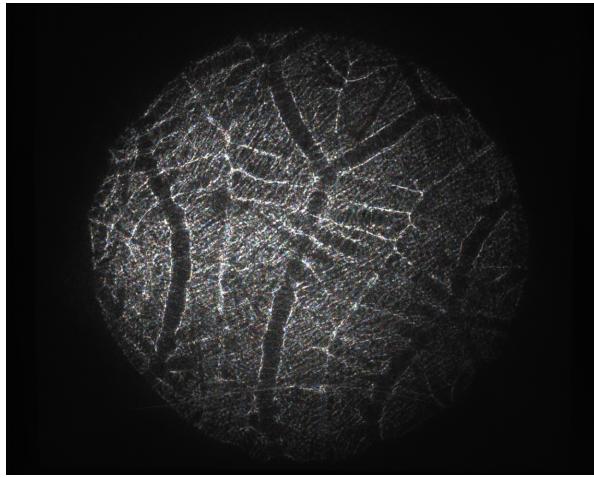
此图为厚度 $d = 4\text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.600\text{ A}$, 下界面温度为 29.3 摄氏度, 上界面温度为 22.9 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显.



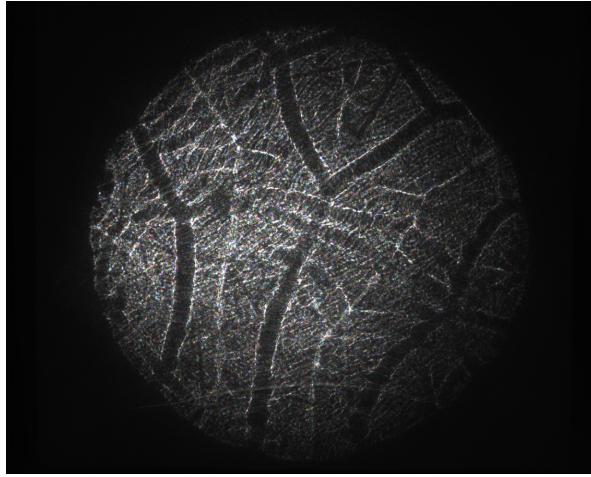
此图为厚度 $d = 4\text{ mm}$, 加热电流 $I = 0.800\text{ A}$, 下界面温度为 33.3 摄氏度, 上界面温度为 23.6 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时斑图变得更加明显.



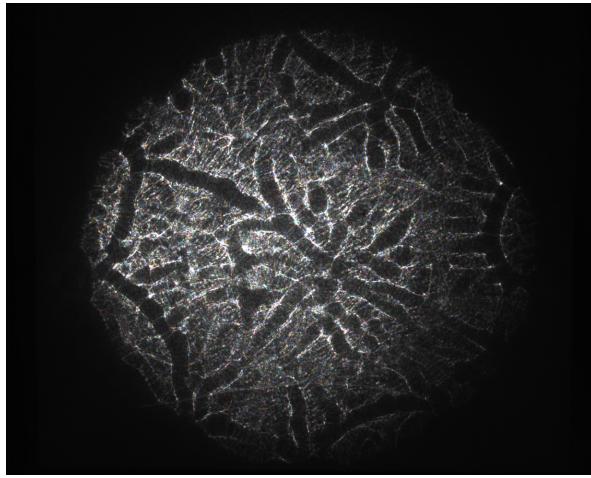
此图为厚度 $d = 4 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.000 \text{ A}$, 下界面温度为 41.5 摄氏度, 上界面温度为 26.8 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时系统的对流已经失稳, 对流斑图开始剧烈地随时间演化.



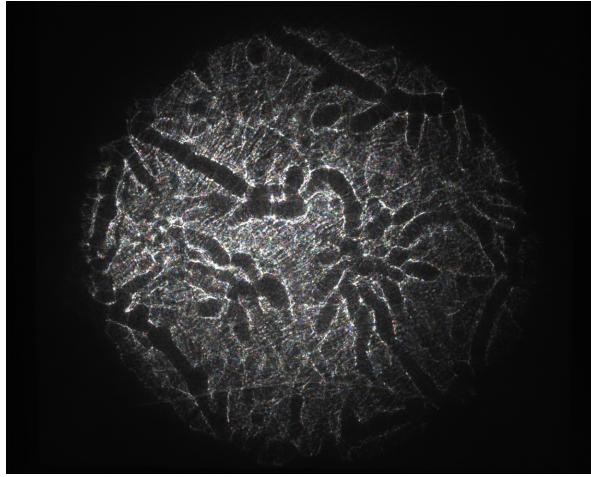
此图为厚度 $d = 4 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.000 \text{ A}$, 下界面温度为 41.5 摄氏度, 上界面温度为 26.8 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时系统的对流已经失稳, 对流斑图开始剧烈地随时间演化.



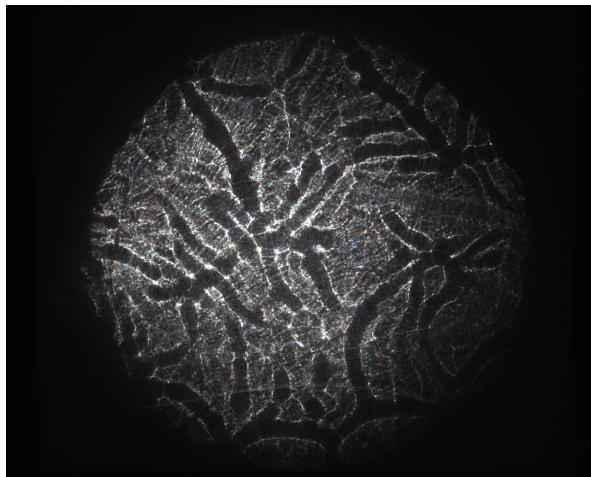
此图为厚度 $d = 4\text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.000\text{ A}$, 下界面温度为 41.8 摄氏度, 上界面温度为 27.4 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时系统的对流已经失稳, 对流斑图开始剧烈地随时间演化.



此图为厚度 $d = 4\text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.200\text{ A}$, 下界面温度为 50.4 摄氏度, 上界面温度为 31.8 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时系统的对流已经失稳, 对流斑图开始剧烈地随时间演化.



此图为厚度 $d = 4 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.200 \text{ A}$, 下界面温度为 50.5 摄氏度, 上界面温度为 31.5 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时系统的对流已经失稳, 对流斑图开始剧烈地随时间演化.



此图为厚度 $d = 4 \text{ mm}$, 加热电流 $I = 1.200 \text{ A}$, 下界面温度为 50.5 摄氏度, 上界面温度为 31.1 摄氏度时的斑图图样, 可以看到, 此时系统的对流已经失稳, 对流斑图开始剧烈地随时间演化.

V. 结论

首先要给出实验结果, 然后再给出由实验结果分析得到的结果和结论. 此部分给出的内容要比摘要中的全面, 用词要更准确.

VI. 致谢

硕、博士论文致谢词产生器 <http://acknowledgement.sinaapp.com/>

此部分应感谢指导教师、实验室技术人员、同组人和对实验和报告有帮助的其他人。

下面是参考文献的例子

- [1] 吴思成, 王祖铨 2010 近代物理实验 (第三版) (北京: 高等教育出版社) 第 xxx 页.
- [2] Chu S, Hollberg L, Bjorkholm J E, Cable A, Ashkin A 1985 *Phys. Rev. Lett.* **55** 48.
- [3] 耿涛, 闫树斌, 王彦华, 杨海菁, 张天才, 王军民 2005 物理学报 **54** 5104.
- [4] 王彦华 2007 博士学位论文 (太原: 山西大学) .
- [5] 冯端, 金国钧 2003 凝聚态物理学 (上卷)(北京: 高等教育出版社) 第 341 页.
- [6] Tabbal A M, Mérel P, Chaker M 1999 Proceedings of the 14th International Symposium on Plasma Chemistry Prague, Czech Republic, August 2-6, 1999 p1099.
- [7] Plank C J U.S. Patent 4 081 490 [1978-02-15].
- [8] 史寒朵 北京大学 2012 年近代物理实验报告: He-Ne 激光器放电性质研究.

A. 思考题