“势”、“阻”、“流”

介绍各种势、阻，对应流量之间的对比与演算

报告人：物理学院三班杨灿
指导老师：蒋一

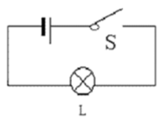
一种物理思想——类比方法

- 每当理论缺乏可靠的思路时, 类比这个方法往往能指引我们前进 。 ——康德
- 电磁场理论的建立从**普利斯特列**的类比开始。他大胆地猜想地球和电荷都有与距离平方成反比的引力。
- 法国**库仑**进行验证，提出了完整的库仑定律。
- **麦克斯韦**在1855年“论法拉第力线”中论述了力线与不可压缩流体之间的类比，提出“源”与“旋”，把流体中通量和环量的概念引入电磁学。
- **麦克斯韦**又进行了电磁作用与齿轮系（力学类比）等一系列的类比，最终导出麦克斯韦方程组。
- **佩兰**类比原子结构与太阳系提出原子核行星结构的模型，进一步的发展演变出完整体系的量子力学，又反过来说明麦克斯韦的看法。。。。。。

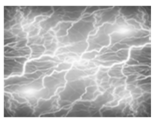
没有类比思想的应用就没有电磁学今天的辉煌！

用类比法分析电学、磁学、光学、热学、流体力学中的势阻流。

从电学中的“势”、“阻”、“流”出发



再熟悉不过的闭合回路



无从下手去描述这个十分复杂的电流，于是大学里引入了 $\Delta I = \vec{j} \cdot \Delta \vec{s}$ $\vec{j}$这种可以描述任意一点电流的物理量

- 有了这个细节化的 $\vec{j}$就可以得到一系列微分化的电场方程。

$$\oiint_S \vec{j} \cdot \vec{s} = -\iiint_V \frac{\partial \rho_e}{\partial t} dV \qquad \nabla \cdot \vec{j} + \frac{\partial \rho_e}{\partial t} = 0$$

$$\oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = 0 \qquad \nabla \cdot \vec{j} = 0$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \qquad p = \frac{j^2}{\sigma}$$

- 在一个物理领域中可以使用势阻流这个概念的条件是什么？

- 电场中“势”、“阻”、“流”的基本条件：

$$\left.\begin{array}{l} \textbf{稳恒电流的条件：} \oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = 0 \\ \textbf{欧姆定律：} \vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{K}) \\ \textbf{电动势的由来：} \oint \vec{k} \cdot d\vec{l} = \varepsilon \end{array}\right\} \varepsilon = IR$$

磁学

- **磁场中的高斯定理** $\oiint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
- **磁感应强度与磁场强度的关系** $\vec{B} = \mu \vec{H}$
- **安培环路定理** $\oint \vec{H} \cdot dl = \varepsilon = \sum I$

与电流强度 $I = \oint_s \vec{j} \cdot d\vec{s}$ 相对应的磁通量 $\Phi_B = \oint_s \vec{B} \cdot d\vec{s}$

与电阻 $R = \frac{l}{\sigma s}$ 相对应的磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu s}$

与势阻流 $U = IR$ 对应的 $\varepsilon_m = \Phi_B R_m$

---对于复杂磁路便会有比较简单的解法

光学

- 光学是建立在几何光学与波动光学的基础上，二者相辅相成，波动光学为几何光学做出解释，这是光的波粒二象性所特有的。视作波，则有光是一种电磁波，视作粒子，则光子的概念应运而生，电、磁都已经在分析范围内，那么光学给人的直接感觉是较好分析。

7

光学

- 但是一番思考和查阅资料后，并没有找到有相似于严谨推导要求那样的式子，但是对于光来说传播过程中的吸收好像有类似于电阻的效应。

- 电阻使我想到了光学中的对光的吸收进行一些讨论，

光吸收变化线性规律 $-dI = \alpha I dx$

两端积分 $I = I_0 \cdot e^{-\alpha l}$

上式等价于 $\ln\frac{I}{I_0} = -\alpha l$

进一步 $\ln\frac{I_n}{I_0} = \sum_1^n \frac{I_i}{I_{i-1}}$

若有 $R_l = -\alpha l$

得 $\ln\frac{I_n}{I_0} = \sum R_{li}$

经过一系列的变换，算是得到了与式$\frac{U}{I} = \sum R_i$形式上相似的式子。

8

流体

- 电磁中的势阻流，归根结底是物质的流动，由此启发，从流体中找到类似的方程并加以归纳。

- 理想流体中无阻力的条件
- 流体中质量的守恒方程
- 理想流体不可压缩，密度ρ为一常数

体积V中流出的质量等于体积内质量的变化率

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint_V \rho dV = -\oiint_S \rho\vec{u}\cdot d\vec{s} = -\iiint_V \nabla\cdot(\rho\vec{u})dV$$

$\oiint_S \vec{u}\cdot d\vec{s} = 0$进一步推得$\nabla\cdot\vec{u} = 0$

9

流体

- 进一步看到了可以进行下去的希望，因为有式子$\nabla\cdot\vec{j} = 0$，这似乎是所有流体的都可以推导出的式子，有很大程度的可统一性。

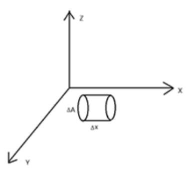
- 但是注意上述分析中的得到的流稳恒方程为$\nabla\cdot\vec{u} = 0$，事实上在后面的讨论中这个直观的感受并不是完全满足分析的式子。

10

流体

假设有流速分布$\vec{u}$（x，y，z），压强分布p（x，y，z），这里进行对X轴的力学分析，这小体积内物体受力为

$$\Delta F = [p(x+\Delta x, y, z) - p(x, y, z)]\Delta A$$



面积很小所以忽略y轴z轴的坐标变化， $\Delta m = \Delta A\cdot\Delta x\cdot\rho$

$$a_x = -\frac{\Delta F}{\Delta m} = -\frac{\partial p}{\partial x\cdot\rho} \qquad \vec{a} = -\frac{1}{\rho}\nabla p$$

再设流体单位体积内受力为$\vec{f}(x, y, z)$，于是可以得到极其类似的式子 $\vec{a} = \frac{1}{\rho}(\vec{f} + (-\nabla p))$

11

流体

- 但是这里还有个小问题这里是速度的散度为零，前面并没有推导出加速度的散度为零，但是只要对式子$\oiint \vec{u}\cdot d\vec{s} = 0$两端对时间求偏导即可得到$\oiint \vec{a}\cdot d\vec{s} = 0$，至此流体中的推导完毕。

加速度场 $\oiint \vec{a}\cdot d\vec{s} = 0$

加速度与力场分布的关系 $\vec{a} = \frac{1}{\rho}(\vec{f} + (-\nabla p))$

流动势的概念 $\oint \vec{f}\cdot d\vec{l} = \varepsilon$

- 回想起光学中例子，现实的流体中有没有能相似于$\frac{U}{I} = \sum R_i$的式子呢？

12

流体

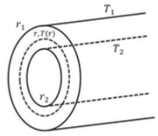
- 达西-维斯巴赫 公式 $h_f=\lambda\frac{1}{d}\cdot\frac{v^2}{2g}$
- 单位长度电阻对电流的作用 $p=\rho\cdot\frac{1}{\pi d^2}\cdot I^2$

- 有**i**根串联的水管，对水的阻力设为 S_i ，总阻力为$\sum_1^n S_i$，电流串联 $R=\sum R_i$；由于上述二式中$h_f=\lambda\frac{1}{d}\cdot\frac{v^2}{2g}$与$p=\rho\cdot\frac{1}{\pi d^2}\cdot I^2$面积因素并不完全相同，并联时有总阻力关系式 $\frac{1}{\sqrt{S}}=\sum\frac{1}{\sqrt{S_i}}$ ，类比电阻的串并联式子 $\frac{1}{R}=\sum\frac{1}{R_i}$，十分相似。

13

热学

- 电导率 σ
- 热导率**κ**
- **傅里叶定律** $\vec{j_Q}=-K\cdot\nabla T$
- **欧姆定律** $\vec{j_q}=-\sigma\cdot\nabla U$



如图系统在引入$\vec{j_Q}$后将变得容易分析，与电阻极其类似

14

热学

- 事实上经过一定的思考，可以立即得到所需要的三个式子，
- **稳恒热流条件** $\oiint_s\vec{j_Q}\cdot d\vec{s}=0$
- **傅里叶定律** $\vec{j_Q}=K\left(-\nabla T+\vec{k_Q}\right)$
- **热动势的由来** $\oint\vec{k_Q}\cdot d\vec{l}=\varepsilon_Q$
- 等势点就是温度相同的地方 $U_Q=T_2-T_1$

15

热学

电学 $I=\frac{U}{R}$ $R=\rho\frac{l}{s}$

热学 $\Phi_s=\frac{\Delta T}{R_Q}$ $R_Q=\frac{1}{K}\frac{l}{s}$

- 同时无一例外的经过合理外推，串并联热阻，复杂的热学网络也会迎刃而解。

16

小结

电学
稳恒电流的条件 $\oiint_s\vec{j}\cdot d\vec{s}=0$
欧姆定律 $\vec{j}=\sigma(\vec{E}+\vec{K})$
电动势的由来 $\oint\vec{k}\cdot d\vec{l}=\varepsilon$

磁学
磁场中的高斯定理 $\oiint\vec{B}\cdot d\vec{s}=0$
磁感应强度与磁场的关系 $\vec{B}=\mu_0(\vec{H}+\vec{M})$
安培环路定理 $\oint\vec{H}\cdot dl=\varepsilon=\sum I$

热学
稳恒热流条件 $\oiint_s\vec{j_Q}\cdot d\vec{s}=0$
傅里叶定律 $\vec{j_Q}=K\left(-\nabla T+\vec{k_Q}\right)$
热动势的由来 $\oint\vec{k_Q}\cdot d\vec{l}=\varepsilon_Q$

流体
加速度场 $\oiint\vec{a}\cdot d\vec{s}=0$
加速度与力场分布的关系 $\vec{a}=\frac{1}{\rho}(\vec{f}+(-\nabla p))$
流动势的概念 $\oint\vec{f}\cdot d\vec{l}=\varepsilon$

17

由以上的推导产生的猜想

1、上述推导中有完整的三个方程的事实上只有电、磁、热、流体，电、磁为场物质，而流体也是物质，那么为什么热质说是错的？热质说和上面的问题的本质区别在哪里？

2、上述方程均为稳恒流动的方程，当不稳恒时，电磁互相激发，那么流体不稳恒时，有没有对应的波产生，热流不稳恒时有没对应的波产生，我们可以做一些大胆的猜想……

18

- 最后的猜想仅是个人的一些简单的想法，希望能立足于现在的知识，提出问题，为以后的学习提供一些方向和指引，提高对物理学的理解与兴趣。
- 个人能力有限，报告之中有不当之处欢迎批评指正，谢谢大家！

19

- 参考文献

- 贾起民，郑永令，陈暨耀。**2010**。《电磁学第三版》北京：高等教育出版社
- 胡友秋，程福臻，叶邦角，刘之景。**2014.**《电磁学与电动力学【上册】第二版》北京：科学出版社
- 赵凯华，钟锡华。**1984**。《光学》北京：北京大学出版社
- 舒幼生。**2005**。《力学》北京：北京大学出版社
- 对流体力学的认识及其与电学的相似性，选自网络

20