电磁学期中复习

主要是静电场和恒定电流。打一打公式练练手。（无法打二重曲面积分的符号）

库仑定律和基本概念

静电场：$\vec{E}=\vec{E}(\boldsymbol{x})$，即场强不随时间变化。

	含q	除q
力	静电力 $\vec{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{r}$	场强 $\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r}$
能量(环路定理)	电势能 $W_p=q\int_p^{\infty}\vec{E}\cdot d\vec{l}$	电势 $\varphi_p=\int_p^{\infty}\vec{E}\cdot d\vec{l}$

高斯定理和安培环路定理（真空）

	积分形式	微分形式
Gauss定理	$\iint_S\vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{S内}q$	$\nabla\cdot\vec{E}=\frac{\rho_t}{\varepsilon_0}$
环路定理	$\oint_L\vec{E}\cdot d\vec{l}=0$	$\nabla\times\vec{E}=0$

电介质

引入：$\vec{p}=q\vec{l}$，$\vec{p}=\frac{\sum\vec{p}_{分子}}{\Delta V}=n\vec{p}_{分子}$

	电荷	体密度	面密度	电场	
自由电荷	Q_0	ρ_0	σ_0	$\vec{E}_0$	$\vec{D}$
极化电荷	Q'	ρ'	σ'	$\vec{E}'$(退极化场)	$-\vec{P}$
总电荷	Q_t	ρ_t	σ_t	$\vec{E}$	$\varepsilon_0\vec{E}$

	Gauss定理	微分形式	面密度公式
自由电荷	$\iint\limits_S \vec{D}\cdot d\vec{S}=Q_0$	$\nabla\cdot\vec{D}=\rho_0$	$\sigma_{012}=\vec{n}_{12}\cdot(\vec{D}_2-\vec{D}_1)$
极化电荷	$\iint\limits_S -\vec{P}\cdot d\vec{S}=Q'$	$\nabla\cdot(-\vec{P})=\rho'$	$\sigma'_{12}=\vec{n}_{12}\cdot\left(-(\vec{P}_2-\vec{P}_1)\right)$
总电荷	$\iint\limits_S \varepsilon_0\vec{E}\cdot d\vec{S}=Q_t$	$\nabla\cdot\varepsilon_0\vec{E}=\rho_t$	$\sigma_{\tau 12}=\vec{n}_{12}\cdot\varepsilon_0(\vec{E}_2-\vec{E}_1)$

当然，一般情况下自由电荷是最容易算的。

在各向同性电介质下（解题时），有以下关系：

$$\vec{\boldsymbol{P}}=\chi_e\varepsilon_0\vec{\boldsymbol{E}}$$

其中χ_e为极化率。

$\varepsilon_r\overset{def}{=\!=}1+\chi_e$为相对介电常量。

$\varepsilon\overset{def}{=\!=}\varepsilon_r\varepsilon_0$为介电常量。

$$\vec{\boldsymbol{D}}=\varepsilon_0\vec{\boldsymbol{E}}+\vec{\boldsymbol{P}}=(1+\chi_e)\varepsilon_0\vec{\boldsymbol{E}}=\varepsilon_r\varepsilon_0\vec{\boldsymbol{E}}=\varepsilon\vec{\boldsymbol{E}}$$

注意：虽然$\vec{P}$与$\vec{E}'$都满足Guass定理

$$\iint\limits_S -\vec{P}\cdot d\vec{S}=Q' \quad \iint\limits_S \vec{E}'\cdot d\vec{S}=\frac{Q'}{\varepsilon_0}$$

但是$\vec{P}$不满足安培环路定理，因此$\vec{P}$与$\vec{E}'$之间只有半毛钱关系！

恒稳电流

	整体	单位化
电流	电流强度 $I=\frac{dq}{dt}$	电流密度 $\vec{j}=\frac{\Delta I}{\Delta S_0}\vec{n}_0$
电动势	闭合回路 $\varepsilon=\oint_L \vec{\boldsymbol{K}}\cdot d\vec{l}$	$\vec{\boldsymbol{K}}=\frac{d\vec{\boldsymbol{F}}_{\text{非静电}}}{dq}$
电阻	电阻 $R=\frac{U}{I}=\rho\frac{l}{S}$	电阻率 ρ
电导	电导 $G=\frac{1}{R}$	电导率 $\sigma=\frac{1}{\rho}$
功率	电功率 $P=UI$	电功率密度 $p=\frac{dP}{dV}$

	积分形式	微分形式
电流连续方程/稳恒条件（Gauss）	$\iint_S \vec{j}\cdot d\vec{S}=-\frac{dq}{dt}=0$	$\nabla\cdot\vec{j}=\frac{\partial\rho_e}{\partial t}=0$
欧姆定律	$I=\frac{U}{R}=GU$	$\vec{\boldsymbol{j}}=\sigma\vec{\boldsymbol{E}}$
焦耳定律	$P=I^2R=\frac{I^2}{G}$	$p=\frac{j^2}{\sigma}$
全电路欧姆定律	$U=I(R+r)=IR+\varepsilon$	$\vec{\boldsymbol{j}}=\sigma(\vec{\boldsymbol{E}}+\vec{\boldsymbol{K}})$
Gauss定理	$\sum I=0$	$\nabla\cdot\vec{E}=\frac{\rho_t}{\varepsilon_0}$
环路定理	$\sum U=\sum IR-\sum\varepsilon=0$	$\nabla\times\vec{E}=0$

注意：关于电流强度$I=\frac{dq}{dt}$，上方的dq是自由电荷，千万不要看到欧姆定律$\vec{\boldsymbol{j}}=\sigma\vec{\boldsymbol{E}}$就以为

dq是总电荷！载流子是自由的！

电容

并联时：$C=C_1+C_2$

串联时：$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$

能量

电势与电场的关系：$\vec{E}=-\nabla\varphi$

电势能：$W_{势} = qU_{外}$

静电能：$W_e = W_{自} + W_{互}$

自能：$W_{自} = \dfrac{1}{2}\iiint\limits_{Vi} \rho_e(\boldsymbol{r})U(\boldsymbol{r})dV$

互能：$W_{互} = \dfrac{1}{2}\sum\limits_{i=1}^{N} q_i U_i$

宏观静电能：$W_{e0} = \dfrac{1}{2}\iiint \rho_{e0}(\boldsymbol{r})U(\boldsymbol{r})dV + \dfrac{1}{2}\iiint \rho'_e(\boldsymbol{r})U(\boldsymbol{r})dV$

极化能：$W_{极} = W_e - W_{e0}$

能量密度：$w_e = \frac{1}{2}\vec{D}\cdot\vec{E}$

ATTENTION!

熟练掌握导体、导电介质、绝缘体、真空的性质差异。（对于绝缘体&真空，$\sigma = 0$）

面电荷受力。。。

暂态电路（居然还考了两题！）

真空中：$\sigma = 0$ 、 $\vec{P} = 0$，其中

$\sigma = 0$说明真空中无电流，而$\vec{P} = 0$说明真空中无极化电荷。

静磁场与磁介质部分

主要是类比。

基本概念

静磁场：$\vec{B}=\vec{B}(\boldsymbol{x})$.

电	磁
静电力 $\quad \vec{F}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{r^2}\hat{r}$	安培力 $\quad d\vec{F}=\dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{I_2 d\vec{l}_2\times(I_1 d\vec{l}_1\times\hat{r})}{r^2}$
场强 $\quad \vec{E}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}\hat{r}$	磁场 $\quad d\vec{B}=\dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{Id\vec{l}\times\hat{r}}{r^2}$
$\vec{F}=q\vec{E}$	$d\vec{F}=Id\vec{l}\times\vec{E}$
	$\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$

轨道磁矩：$\vec{m}_l=-\dfrac{e}{2m_e}\vec{L}_l$ 自旋磁矩：$\vec{m}_s=-\dfrac{e}{m_e}\vec{L}_s$

磁偶极子在外场中受力（矩）：（近似）

$$\begin{cases}\vec{F}=(\vec{m}\cdot\nabla)\vec{B}\\ \vec{L}=\vec{m}\times\vec{B}\end{cases}$$

高斯定理和安培环路定理（真空）

	电	磁
Gauss定理	$\displaystyle\iint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{S内}q$	$\displaystyle\iint_S \vec{B}\cdot d\vec{S}=0$
环路定理	$\displaystyle\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l}=0$	$\displaystyle\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0 I_{内}$
Gauss定理(微分)	$\nabla\cdot\vec{E}=\dfrac{\rho_t}{\varepsilon_0}$	$\nabla\cdot\vec{B}=0$
环路定理(微分)	$\nabla\times\vec{E}=0$	$\nabla\times\vec{B}=\mu_0 j_0$

磁介质

$$\vec{S}=\oint_L \vec{R}\times d\vec{R}$$

引入磁矩：$\vec{m}=I\cdot\vec{S}$

磁化强度：$\vec{M}=\dfrac{\sum \vec{m}_{分子}}{\Delta V}$

Tips:粒子的回旋磁矩为浸渐不变量。

	Guass定理		环路定理(PDE)	面电流公式(边界条件)
自由电荷	$\iint_S \vec{D}\cdot d\vec{S}=Q_0$	传导电流	$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l}=I_0$	$\vec{i}_0=\vec{n}\times(\vec{H}_2-\vec{H}_1)$
极化电荷	$\iint_S -\vec{P}\cdot d\vec{S}=Q'$	磁化电流	$\oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l}=I'$	$\vec{i}'=\vec{n}\times(\vec{M}_2-\vec{M}_1)$
总电荷	$\iint_S \varepsilon_0\vec{E}\cdot d\vec{S}=Q_t$	总电流	$\oint_L \dfrac{1}{\mu_0}\vec{B}\cdot d\vec{l}=I$	$\vec{i}=\vec{n}\times\dfrac{1}{\mu_0}(\vec{B}_2-\vec{B}_1)$

解题时，有以下关系：

$$\vec{\boldsymbol{M}}=\chi_m\vec{\boldsymbol{H}}$$

其中χ_m为磁化率。

类似的，$\mu_r\overset{def}{=\!=}1+\chi_m$为相对磁导率。

$\mu\overset{def}{=\!=}\mu_r\mu_0$为磁导率。

$$\vec{\boldsymbol{B}}=\mu_0(\vec{\boldsymbol{H}}+\vec{\boldsymbol{M}})=\mu_0(1+\chi_m)\vec{\boldsymbol{H}}=\mu_0\mu_r\vec{\boldsymbol{H}}=\mu\vec{\boldsymbol{H}}$$

注意：$\vec{M}$不满足安培环路定理。

ATTENTION!

示零实验

熟练掌握铁磁体、顺磁、逆磁、真空的性质差异。（对于真空，$\sigma=0$）

面电流受力。。。

真空中：$\mu = +\infty$ 、 $\vec{M} = 0$

静磁场部分复习

1. 类比

$$\vec{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}$$

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r}$$

$$\vec{F}=q\vec{E}$$

$$d\vec{F}=\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{I_2 d\vec{l}_2\times(I_1 d\vec{l}_1\times\vec{r})}{r^3}$$

$$\cancel{dF_{12}=\frac{\mu_0}{4\pi} I_2 dl_2\times(I_1 dl_1\times r}$$

$$d\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I d\vec{l}\times\hat{r}}{r^2}$$

$$d\vec{F}=I d\vec{l}\times\vec{B}$$

回忆：$\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$　洛仑兹力与安培力的关系

2. 三维想象　叉乘方向　以下的磁场线大致什么样？

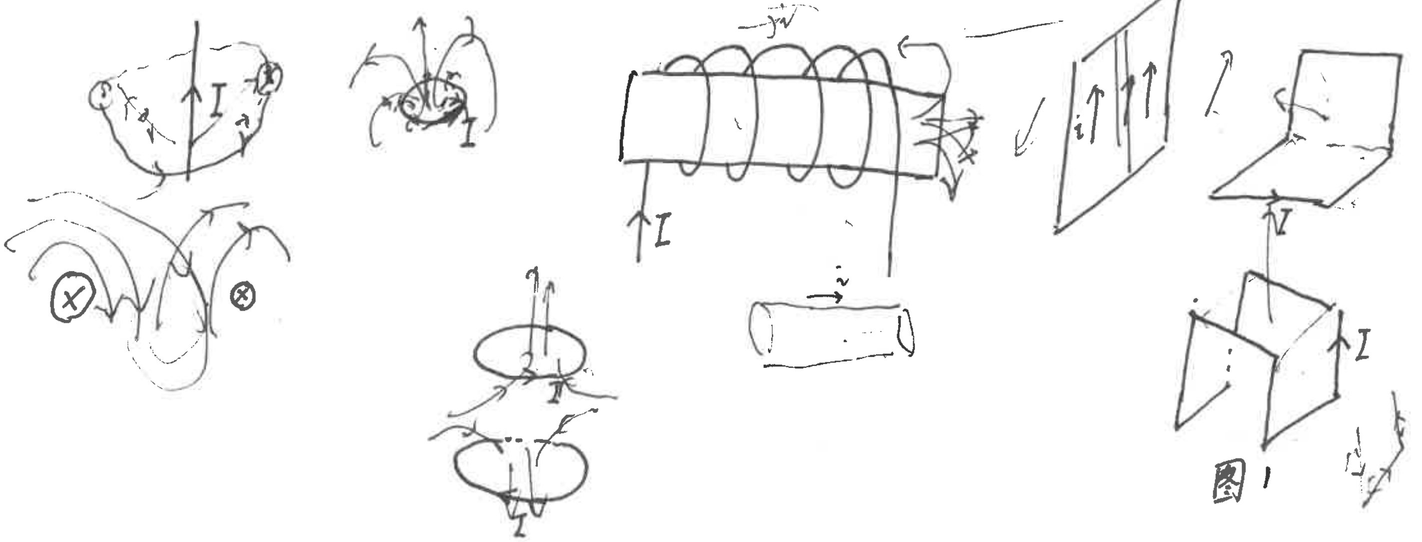


图1

3. 积分算 $\vec{B}$ ⟶ 受力 $\vec{F}$：载流圆线圈

磁偶极子在外场中受力(矩)：$\begin{cases}\vec{F}=(\vec{m}\cdot\nabla)\vec{B}\\ \vec{L}=\vec{m}\times\vec{B}\end{cases}$　(近似)

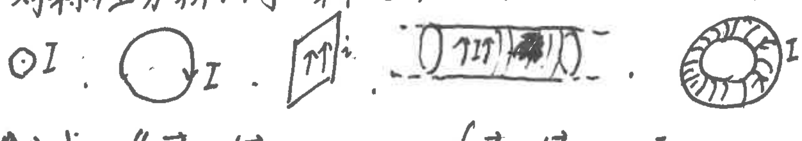
磁矩：$\vec{m}=I\cdot\vec{S}$　　$\vec{S}=\oint\vec{R}\times d\vec{R}$　投影法(图1)

Tips：粒子的回旋磁矩为浸渐不变量

4. 高斯定理与安培环路定理

1) 证明思路：同电场类比

2) 对称性分析：同一种电流分布在某点的B只有一种可能

说明  的对称性

3) 公式：$\oiint_S\vec{B}\cdot d\vec{S}=0$　　$\oint_L\vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0 I_{内}$　　$\nabla\cdot\vec{B}=0$　　$\nabla\times\vec{B}\neq 0$

无源　　有旋

4) 静磁场范围内与B-S定律等价

5. 剩下：螺线管的建模

示零实验

霍尔效应为例—近代物理实验装置（高考？）

带电粒子在匀强电磁场中的运动

量纲分析

磁矩 —— 微观解释（分子电流假说．轨道磁矩．自旋磁矩）

$$\vec{m}_l = -\frac{e}{2m_e}\vec{L}_l \qquad \vec{m}_s = -\frac{e}{m_e}\vec{L}_s$$

一．类比

1. ~~排~~逻辑过程与做题过程

微观：~~电子~~分子电流 $\longrightarrow$ 磁化强度 $\vec{M} = \dfrac{\sum \vec{m}_a}{\Delta V}$ $\xrightarrow{\text{边界产生}}$ 磁化电流 I' $\longrightarrow$ 产付加磁场 B' $\longrightarrow$ 总磁场 B

$\vec{j} = \nabla\times\vec{M}$

$\vec{i} = \vec{n}\times(\vec{M}_2-\vec{M}_1)$

$\vec{M}$的环路定理

$\vec{B}_{\text{总}}$的环路定理

$\Rightarrow \vec{H} \overset{\wedge}{=} \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$ 的环路定理

$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$

E.x 类比写出电介质相应的逻辑过程

本构方程（~~积~~ PDE）

自由	$\oiint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = Q_0$	$\nabla\cdot\vec{D} = \rho_0$
极化	$\oiint_S -\vec{P}\cdot d\vec{S} = Q'$	$\nabla\cdot(-\vec{P}) = \rho'$
总	$\oiint_S \varepsilon_0\vec{E}\cdot d\vec{S} = Q_t$	$\nabla\cdot\varepsilon_0\vec{E} = \rho_t$

传导	$\oint \vec{H}\cdot d\vec{l} = I_0$
~~总磁~~磁化	$\oint \vec{M}\cdot d\vec{l} = I'$
总（磁场，rather than 电流）	$\oint \frac{1}{\mu_0}\vec{B}\cdot d\vec{l} = I$

边界条件（第二类边界条件？）

$\vec{n}\times(\vec{H}_2-\vec{H}_1) = \vec{i}_0$

$\vec{n}\times(\vec{M}_2-\vec{M}_1) = \vec{i}'$

$\vec{n}\times\dfrac{1}{\mu_0}(\vec{B}_2-\vec{B}_1) = \vec{i}$

各向同性电介质

$\vec{P} = \chi_e\varepsilon_0\vec{E}$

$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P} = (1+\chi_e)\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon_r\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon\vec{E}$

$\vec{M} = \chi_m\vec{H}$（χ_m：磁化率）

$\vec{H} = \dfrac{1}{\mu}\vec{B}$

$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$

$= \underbrace{\mu_0(1+\chi_m)}_{\mu_r}\vec{H} = \mu\vec{H}$（$\mu$：磁导率；$\mu_r$：相对磁导率）

做题：对于磁场，我们没有介绍磁矢势，所以没有势与能量．电容的对应

$I_0 \longrightarrow \vec{H} \longrightarrow \vec{B} \longrightarrow \vec{F}$（电流）

$\vec{B} \longrightarrow \vec{F}$与$\vec{L}$（磁偶极子）

$\vec{H} \longrightarrow \vec{M}$

$\vec{M}$ - - → $\vec{i}_0$．$\vec{i}'$．$\mu_0\vec{i}$ 等

	真空	铁磁	顺磁	逆磁
$\vec{H}$	✓			
$\vec{M}$	×	$\vec{M}$		
$\vec{B}$	✓	○		
μ	μ_0	$\mu \gg \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$\mu < \mu_0$

$$\oiint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = \sum q_0$$

$$\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\iint_{S_c} \frac{\partial B}{\partial t}\cdot d\vec{S}$$

$$\oiint \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_C \vec{H}\cdot d\vec{l} = \iint_{S_c}\left(j_0 + \frac{\partial D}{\partial t}\right)\cdot dS$$

$$\nabla\cdot\vec{D} = \rho_0$$

$$\nabla\times\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla\cdot\vec{B} = 0$$

$$\nabla\times\vec{H} = \vec{j}_0 + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$ (遗：位移电流)

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

电磁感应定律

Q: ① 电的定义？
② 负号与方向？

动生电动势　安培力　$d\mathcal{E} = \vec{v}\times\vec{B}\cdot d\vec{l}$

感生电动势　涡旋电场　New!　$\mathcal{E}$ 重新定义

此时，只需获得该点处的磁场与"电场"，(+v) 电荷的受力就被唯一确定。

Review: $\vec{F} = q(\vec{v}\times\vec{B} + \vec{E})$

磁 $\begin{cases} \vec{F} = (\vec{m}\cdot\nabla)\vec{B} \\ \vec{L} = \vec{m}\times\vec{B} \end{cases}$

互感　$M = \frac{\Phi}{I}$ (对称性)

自感　$L = \frac{\Phi}{I}$　$\mathcal{E} = -L\frac{dI}{dt}$ (电路理论基础!)

剩下的　电路部分
- M.L
- 暂态过程
- 交流电路
  - 方法
    - 矢量图
    - 复数
    - 复数的基尔霍夫定律
  - 谐振电路、交流电功率
- 磁能 ⟶ 磁能密度 (场)

电磁场与电磁波
- 电磁波
- 作为物质的基本性质

电路专题

Observation 1 当电路不是稳恒时，方程不好解（甚至连方程都列不出来）

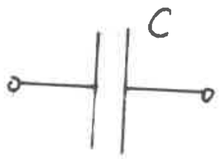
so · 采用似稳条件，（每个时间点都为稳恒（不严谨）

· 不考虑互感（除变压器），忽略边缘效应

· 忽略分布电感与分布电容

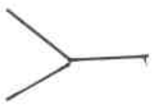
Observation 2、简化后的电路问题就是一个纯微分方程问题！

· 三种元件导出方程



	电阻	电容	电感
	$U=RI$	$Q=CU$ $I=C\frac{dU}{dt}$	$\Phi=LI$ $\varepsilon=-L\frac{dI}{dt}$
初值条件	无	Q_0	I_0

—— 导线 ~~上~~上电流大小相等



节点电流

(例 P206－209,
R-L. R-C. R-L-C电路)

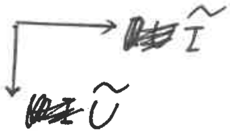
~~初始条件（初值问题）~~

Observation 3. $(\cos(\omega t+\varphi))' = -\omega\sin(\omega t+\varphi) = \omega\cos(\omega t+\varphi+\frac{\pi}{2})$

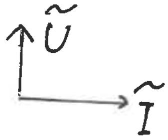
简谐波的求导可以化为相位的改变！

∴ 对于交流电路，我们有更加简捷的描述

$\tilde{U}=R\tilde{I}$



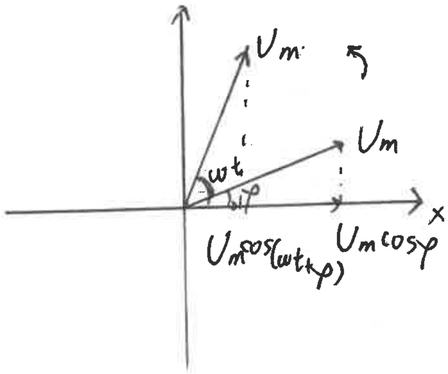
$\tilde{U}=\frac{1}{\omega C}\tilde{I}$



$\tilde{U}=\omega L\tilde{I}$

· 考虑物理量在实轴上的投影（为真实值）

（虚拟物理量的范数不变）



Observation 4 向量、旋转、投影 ⟼ 复数、乘法、实部

· 对三种元件，我们有一致的描述方法

$$\tilde{\varepsilon} = R\tilde{I} \qquad \tilde{\varepsilon} = \frac{1}{j\omega C}\tilde{I} \qquad \tilde{\varepsilon} = j\omega L\tilde{I}$$

复阻抗 R $\qquad \frac{1}{j\omega C} \qquad j\omega L$

· 一切都像解直流电路一样容易！

Observation 5 物理学家不但解微分方程，还利用解来描述现实现象

· 交流电的功率
- 瞬时功率 $p(t)=u(t)i(t)$
- 平均功率 $P=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{1}{2}V_mI_m\cos\varphi = VI\cos\varphi$
  （实在功率/有功功率） $P=S\cos\varphi$
- 视在功率 $S=VI$ $\qquad \cos\varphi$：功率因素

· 谐振电路
- 串联
- 并联
- ~~变压器~~

品质因数 Q 的三种物理含义

· 变压器电路

· 磁能 $W_m=\frac{1}{2}LI^2=\frac{1}{2}I\Phi_m$ （引入）

补遗 考虑互感 两线圈的串并联

$$\begin{cases} \oint\!\!\!\oint \vec{D}\cdot d\vec{S} = \iiint \rho_0 \, dV \\ \oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\iint_{S_C} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot dS \quad \text{变磁生电} \\ \oint\!\!\!\oint \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0 \\ \oint \vec{H}\cdot d\vec{l} = \iint_{S_C} (\vec{j}_0 + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})\cdot dS \quad \text{变电生磁} \end{cases}$$

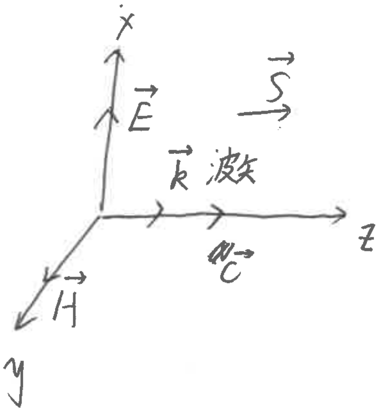
$$\begin{cases} \nabla\cdot\vec{D} = \rho_0 \\ \nabla\times\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla\cdot\vec{B} = 0 \\ \nabla\times\vec{H} = \vec{j}_0 + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{cases}$$

↓位移电流 $\vec{j}_D$

电磁性能方程

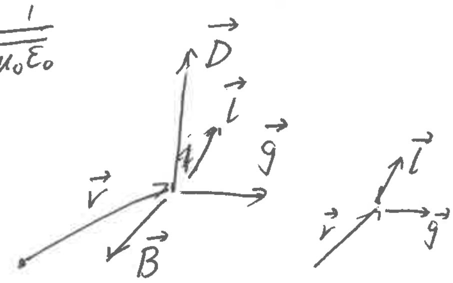
$$\begin{cases} \vec{D} = \varepsilon \vec{E} & \text{电介质} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \rightarrow \vec{H} = \frac{1}{\mu}\vec{B} & \text{磁介质} \\ \vec{j}_0 = \sigma(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}) \end{cases}$$

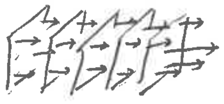
$$\begin{cases} \vec{n}\cdot(\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = \sigma_0 \\ \vec{n}\times(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0 \\ \vec{n}\cdot(\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0 \\ \vec{n}\times(\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = i_0 \end{cases}$$



$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} \qquad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu\varepsilon} \Delta E \\ \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu\varepsilon} \Delta E \end{cases}$$





平面电磁波 $|\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$\begin{cases} \vec{E} = \vec{E}_0 \left(e^{-i(\omega t - \vec{k}\cdot\vec{r})}\right)_{Re} \\ \vec{H} = \vec{H}_0 \left(e^{-i(\omega t - \vec{k}\cdot\vec{r})}\right)_{Re} \end{cases}$$

$$\begin{cases} k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{Def} \\ v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{\omega\lambda}{2\pi} = \\ v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda}{2\pi f} = \frac{\omega}{k} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \vec{k}\cdot\vec{E} = 0 \\ \vec{k}\cdot\vec{H} = 0 \\ \vec{k}\times\vec{E} = \mu\omega\vec{H} \\ \vec{k}\times\vec{H} = -\varepsilon\omega\vec{E} \end{cases} \qquad \begin{cases} \frac{\vec{k}}{\mu\varepsilon}\times\varepsilon\vec{E} = \omega\vec{H} \\ \vec{k}\times\vec{H} = -\omega\cdot\varepsilon\vec{E} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\varepsilon} E_0 = \sqrt{\mu} H_0$$

Prop: (a) 横波：电磁场强度与波的传播方向垂直

(b)

(c) $\varepsilon E^2 = \mu H^2$ 能量密度相等

(d) $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0\mu_0}{\varepsilon\mu}}\, c$

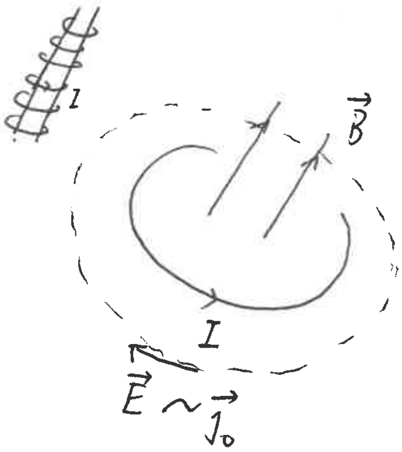
(e) $\begin{cases} w = \varepsilon E^2 = \mu H^2 \\ \vec{S} = w\vec{v} \\ \vec{g} = \frac{1}{v^2}\vec{S} \end{cases}$

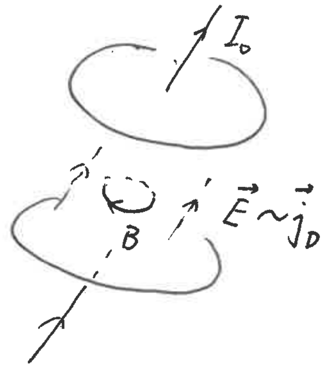
$$\begin{cases} w = \frac{1}{2}\vec{D}\cdot\vec{E} + \frac{1}{2}\vec{B}\cdot\vec{H} & \text{能量} \\ \vec{S} = \vec{E}\times\vec{H} & \text{能流} \\ \vec{g} = \vec{D}\times\vec{B} & \text{动量 (例10.3)} \\ \vec{l} = \vec{r}\times\vec{g} & \text{角动量} \end{cases}$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\mathcal{E} = \oint (\vec{v} \times \vec{B})\, d\vec{l}$$

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$





$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{1}{j\omega C} \quad j\omega L \quad R & \\ RL & \tau_L = \frac{L}{R} \\ RC & \tau_C = RC \\ RLC & \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{array} \right.$$