

电磁场与电磁波 纲 要

潘 锦

首席教授

UESTC

June. 7, 2020

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

二、知识的构成与要点

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

- 1.1 课程学习的总任务
- 1.2 学习中的难点挑战与对策
- 1.3 解除学习所困的方法论

二、知识的构成与要点

课程学习的任务与挑战

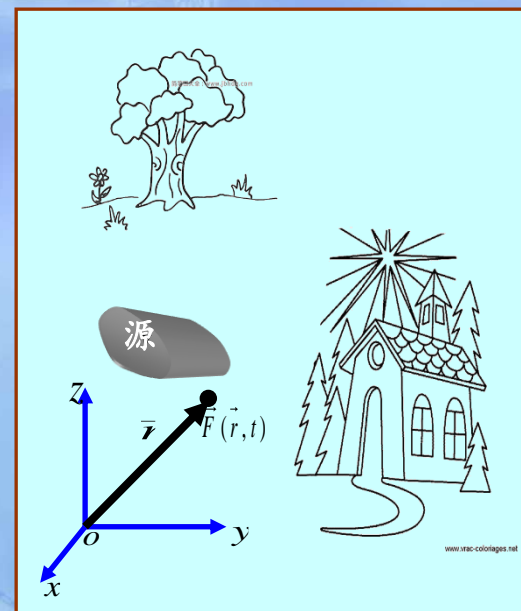
1.1 课程学习的总任务

$$\vec{E}(\vec{r}, t), \vec{H}(\vec{r}, t); \rho(\vec{r}, t), \vec{J}(\vec{r}, t)$$

1) 围绕变化: **学习分析方法**

2) 针对因果: **认识电磁规律**

3) 结合实际: **求解电磁问题**



爱因斯坦：教育就是当一个人把在学校所学全部忘光之后剩下的东西

教育
目标

构筑科学思维能力！

课程学习的任务与挑战

1. 2难点挑战与对策(思想观:立足根本, 化繁为简)

数学分析

基础能力：一维标量函数的代数运算

难点问题	求解思路	实施方法
矢量问题	标量化	引入坐标系；变矢量化为常矢量；引入辅助位
高维变化	一维化	对称性分析；引入复函数；分离变量
算符关系	代数化	算符逆运算；高斯面上场量不变；安培环路上场量不变；有限差分等

物理模型

最简模型：无限大真空中的点源

难点问题	求解思路	实施方法
源分布多样	叠加原理	线性叠加
场环境多样	唯一性定理 等效性原理	繁简等效

摆脱：为实施所困所惑所累

课程学习的任务与挑战

1. 3解除学习所困所惑所累的方法论

思路 特征甄别，方法相宜

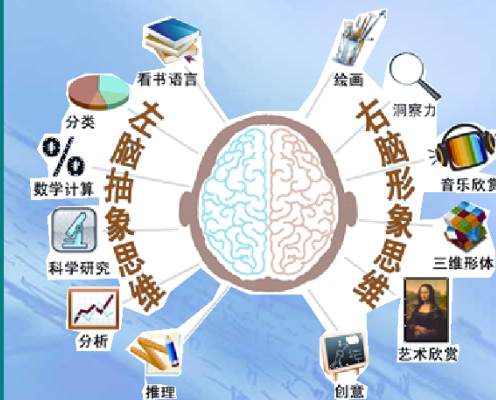
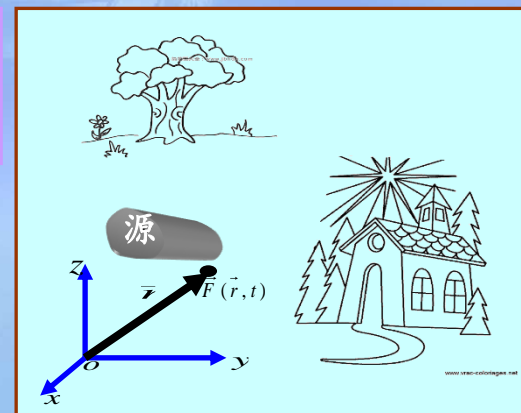
如：一维性、对称性；常矢量、变矢量；无散、无旋；静止、恒定、时谐；有源区、无源区；……

过程学习方法

三“相”贯通：知识真相 → 图形图像 → 符号表象

三“意”融合：物理含意 + 图像示意 + 数学演绎

探索电磁规律，增长科学思维



电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

二、知识的构成与要点

2.1 知识的构成

2.2 知识的要点

2.1 知识的构成

围绕课程学习总任务

一、变化分析的方法

(因：源；果：场；标量与矢量； ∇ ，第一章)

二、电磁规律的认识

(源与场的因果律；电磁能量规律；第二、四章)

三、电磁问题的求解

(从一般到具体；静态：第三章；时变：四、五、六、七、八章)

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

二、知识的构成与要点

2.1 知识的构成

2.2 知识的要点

(一) 变化分析方法

(二) 电磁规律认识

(三) 电磁问题求解

1) 静态场求解

2) 时变场求解

2.2 知识要点

(一) 变化分析的方法（第一章）

课程学习总任务

分析能力

认识规律

求解问题

代数基础

标量与标量场
矢量与矢量场
单位矢量
常矢量
位置矢量
矢量代数
有向线段
矢量线
矢量线方程
等值线/面

分析基础

梯度 \Rightarrow 针对标量场
通量
散度
散度定理 $\left\{ \begin{array}{l} \text{矢量场发散} \\ \text{矢量场涡旋} \end{array} \right.$
环流
旋度
斯托克斯定理

认识基础

矢量场分类与分解
无旋场
无散场
拉普拉斯运算 \Rightarrow 针对标量场
格林定理 \Rightarrow 针对两标量场关系
亥姆霍兹定理 \Rightarrow 针对矢量场

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

二、知识的构成与要点

2.1 知识的构成

2.2 知识的要点

(一) 变化分析方法

(二) 电磁规律认识

(三) 电磁问题求解

1) 静态场求解

2) 时变场求解

2.2 知识要点

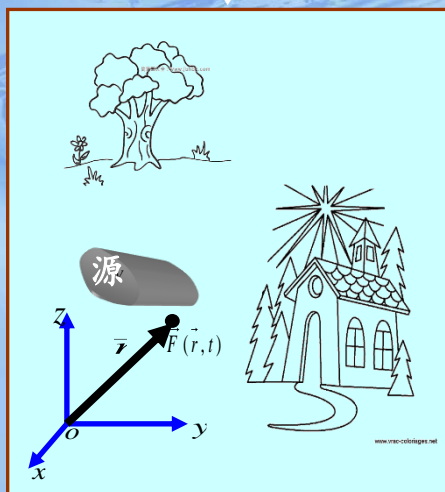
(二) 电磁规律认识 (第二、四章)

- 1) 物理量因果规律 (第二章)
- 2) 物理量能量规律 (第四章)
- 3) 相应知识点汇集

2.2 知识要点——电磁规律的认识

1) 电磁物理量的因果规律（第二章）

电磁问题



因果规律

Maxwell方程组

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

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

空间中

物质效应

本构关系

$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon \vec{E} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \\ \vec{J} = \sigma \vec{E} \end{cases}$$

介质内

突变约束

边界条件

$$\begin{cases} \vec{e}_n \times (\vec{H}_1 - \vec{H}_2) = \vec{J}_s \\ \vec{e}_n \times (\vec{E}_1 - \vec{E}_2) = 0 \\ \vec{e}_n \cdot (\vec{B}_1 - \vec{B}_2) = 0 \\ \vec{e}_n \cdot (\vec{D}_1 - \vec{D}_2) = \rho_s \end{cases}$$

$$\vec{e}_n \cdot (\vec{J}_1 - \vec{J}_2) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho_s$$

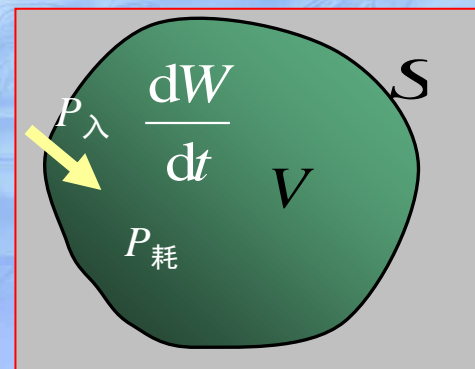
边界上

2.2 知识要点——电磁规律的认识

2) 电磁物理量的能量规律（第四章）

坡印廷定理微分形式（瞬时功率密度关系）：

$$-\nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{H}) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} \right) + \vec{E} \cdot \vec{J}$$



坡印廷定理积分形式（瞬时功率关系）：

电磁能
量守恒：

$$-\oint_S (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} = \frac{d}{dt} \int_V \left(\frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} \right) dV + \int_V \vec{E} \cdot \vec{J} dV$$

麦克斯韦
方程化为
能量方程

进入体积
V 的电磁
功率

体积 V 内
所增加的
电磁功率

体积 V 内
的功率
损耗

能量守恒关系：

$$P_{\lambda} = \frac{d}{dt} W + P_{\text{耗}}$$

2.2 知识要点——电磁规律的认识

3) 相应知识点汇集

(1) 源的认识

电荷

分布形式	电荷密度	元电荷形式	线电荷元
	点电荷		面电荷元
	线电荷		体电荷元
	面电荷		
	体电荷		

电流

分布形式	电流密度矢量	元电流形式	线电流元
	线电流		面电流元
	面电流		体电流元
	体电流		

电荷电流关系

电荷守恒定律
电流连续性方程

(2) 场的认识

电场

电力线（电场线）
电场强度矢量
电位移矢量
电场力
库伦定律
高斯定理

磁场

磁力线（磁场线）
磁感应强度矢量
磁场强度矢量
磁场力
安培定律
安培环路定理

电磁场时变关系

感应电场
感应电动势
感应电流
电磁感应定律
位移电流
全电流定律

2.2 知识要点——电磁规律的认识

3) 相应知识点汇集 (续)

(3) 物质的场效应

电场效应

电 介 质	极化率	导 体	电导率
	介电常数		传导电流
	电介质的极化		自由电荷
	极化强度矢量		自由电流
	极化电荷		理想导体
	极化电流		理想介质
	本构关系		本构关系

磁场效应

磁 介 质	磁化率
	磁导率
	磁介质的磁化
	磁化强度矢量
	磁化电流
	本构关系

(4) 场源关系

空间中

麦克斯韦方程 (积分形式)
麦克斯韦方程 (微分形式)
叠加原理

边界上

边界条件
切向分量
法向分量

2.2 知识要点——电磁规律的认识

3) 相应知识点汇集（续）

(5) 电磁能量

电磁场能量			
电 场	电场储能密度	磁 场	磁场储能密度
	电场功率消耗		
	焦耳定律		

电磁能量守恒

能流密度矢量
(坡印廷矢量)
坡印廷定律

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

二、知识的构成与要点

2.1 知识的构成

2.2 知识的要点

(一) 变化分析方法

(二) 电磁规律认识

(三) 电磁问题求解

1) 静态场求解

2) 时变场求解

2.2 知识要点

(三) 电磁问题求解 (第三—十八章)

按时间变化分类

静态电磁场

时变电磁场

第三章

第四、五、六、七、八章

静态电场

静态磁场

静电场

恒定电场

2.2 知识要点——电磁问题求解

1) 静态场求解（第三章）

(1) 问题与方法概述

1. 无限大单一媒质空间的问题（一维、二维、三维问题）

✓ 场-源直接积分法

2. 单一/非单一媒质空间的一维问题

✓ Gauss定律、安培环路定律（积分方程简化为代数方程）

✓ Poisson方程（偏微分方程简化为常微分方程）

3. 非单一媒质空间的高维问题

✓ 镜像法

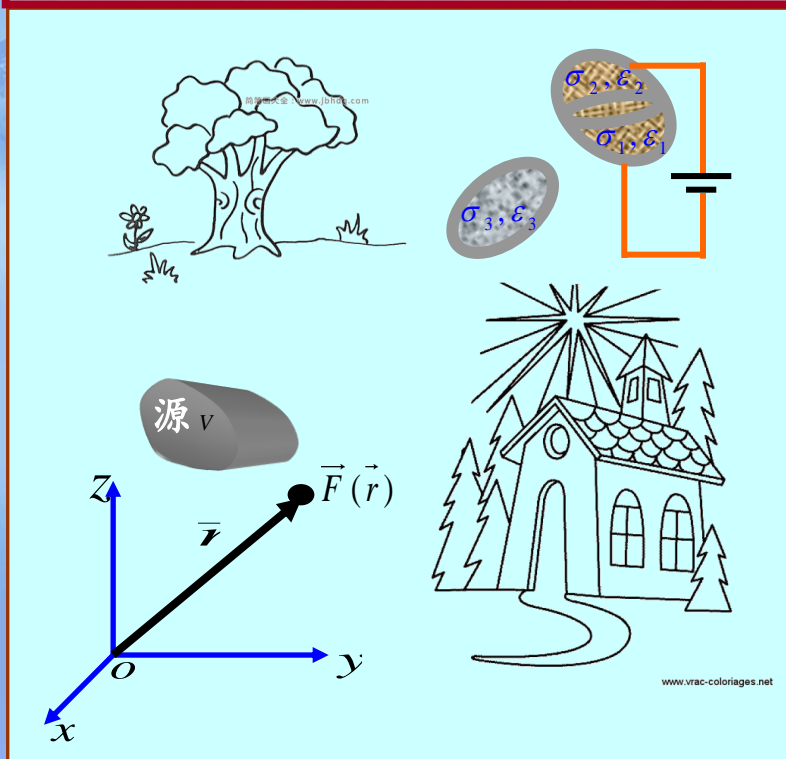
✓ Poisson方程（边值问题求解）

2.2 知识要点——电磁问题求解

1) 静态场求解（第三章）

(2) 问题与方法图示例表

静态电磁的问题



可运用的方法

无界单一媒质空间

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{\Omega} \frac{\rho(\vec{r}')}{R} d\Omega'$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\nabla \varphi(\vec{r})$$

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_{\Omega} \frac{\vec{J}(\vec{r}')}{R} d\Omega'$$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \nabla \times \vec{A}(\vec{r})$$

任意媒质空间

一维问题

$$\oint_S \vec{D}(\vec{r}) \cdot d\vec{S} = q_f(\vec{r}) \Big|_{S \text{ 内}}$$

$$\oint_C \vec{H}(\vec{r}) \cdot d\vec{l} = I \Big|_{C \text{ 内}}$$

高维问题

$$(1) \quad \nabla^2 \varphi(\vec{r}) = -\rho_f(\vec{r})/\epsilon$$

$$(2) \quad \text{镜像法}$$

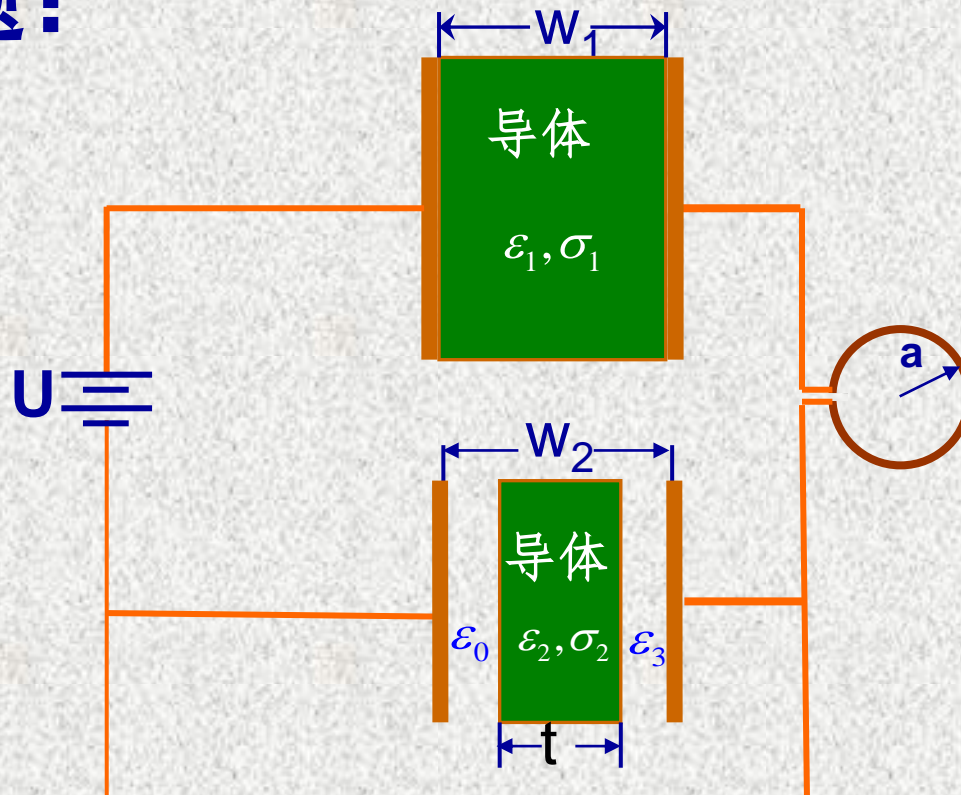
$$(3) \quad \text{分离变量法}$$

$$\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 \\ \epsilon_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial n} - \epsilon_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} = -\rho_s \\ \sigma_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial n} = \sigma_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} \quad (\text{导体中有电流时}) \end{cases}$$



进一步理解静态电磁场问题

思考题：



求：1) $\vec{E}, \varphi = ?$; 2) G, C, L ; 3) 系统储能和功耗？



静态电场的典型现象和结论

一、静止电荷产生的场（静电场）

- 导体（ $\sigma \neq 0$ ）内部的电场为零
- 导体表面的切向电场为零 \Longrightarrow 等势体
- 导体内部的电荷为零
- 电荷只能位于导体表面，密集于表面类锐部分
- 应用：静电感应，静电屏蔽，避雷针，... ..



典型静电场现象

二、运动电荷产生的直流电场（恒定电场）

- 导体 ($\sigma \neq 0, \infty$) 内部可存在电场 $\vec{E} = \frac{\vec{J}}{\sigma}$
- 导体表面的切向电场一般非零 \implies 非等势体
- 导体内部有运动电荷
- 净电荷存在于不同导电介质衔接面上
- 理想导体 ($\sigma = \infty$) 内部电场为零，电流为零
- 理想导体边界上的电场垂直于表面 \implies 等势体

2.2 知识要点——电磁问题求解

1) 静态场求解（第三章）

(3) 知识点汇集

静态电场

静电场

静电场
静电感应
静电平衡
电位
电位参考点
等势体
电容
电容的储能

恒定电场

恒定电场
恒定电流
欧姆定律
电流密度矢量的边界条件
电阻
电导
电阻功耗
(焦耳定律)

泊松方程, 拉普拉斯方程, 电位边界条件, 唯一性定理.

静态磁场

恒定磁场
磁矢位
磁链
电感
自感
内自感
外自感
互感
电感的储能
泊松方程
拉普拉斯方程

高维问题求解

镜像法
像电荷
像电荷数量
像电荷量大小
像电荷位置
边值问题与求解
分离变量法
.....

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战

二、知识的构成与要点

2.1 知识的构成

2.2 知识的要点

(一) 变化分析方法

(二) 电磁规律认识

(三) 电磁问题求解

1) 静态场求解

2) 时变场求解

2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(1) 求解方法与知识点 (第四章)

(2) 求解方法应用 (第五—八章)

(2.1) 时谐电磁波开域空间传播问题求解与分析 (第五、六章)

(2.2) 时谐电磁波开域空间辐射问题求解与分析 (第八章)

(2.3) 时谐电磁波闭域空间导行传播问题求解与分析 (第七章)

2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(1) 求解方法与知识点 (第四章)

问题	无耗均匀媒质空间 时变电磁波求解	无耗/有耗均匀媒质空间 时谐电磁波
无源区	$\nabla^2 \vec{E} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$	$\nabla^2 \vec{E} + k_c^2 \vec{E} = 0 \quad (5、6、7章)$
有源区	$\nabla^2 \vec{A} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu \vec{J}_i$	$\nabla^2 \vec{A} + k_c^2 \vec{A} = -\mu \vec{J}_i \quad \begin{matrix} \vec{B} = \nabla \times \vec{A} \\ \vec{E} = -j\omega \vec{A} - j \frac{\nabla \nabla \cdot \vec{A}}{\omega\mu\varepsilon} \end{matrix} \quad (8章)$
备注	实数瞬时量方程	复数量方程；瞬时量与复数量的关系： $F(\vec{r}, t) = \text{Re}[F(\vec{r})e^{j\omega t}]$ 引入 ε_c 统一表达无耗/有耗电介质
知识点	电磁波；波动方程；辅助位（标量电位、矢量磁位）；库仑规范；洛伦兹规范；唯一性定理。	时谐量的复数表达；亥姆霍兹方程；复矢量麦克斯韦方程；复介电常数；损耗角正切；良导体；弱导电媒质；能量时间平均的复数计算方法。

2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(1) 求解方法与知识点（第四章）

(2) 求解方法应用与知识点（第五—八章）

(2.1) 时谐电磁波开域空间传播问题求解与分析（第五、六章）

(2.2) 时谐电磁波开域空间辐射问题求解与分析（第八章）

(2.3) 时谐电磁波闭域空间导行传播问题求解与分析（第七章）

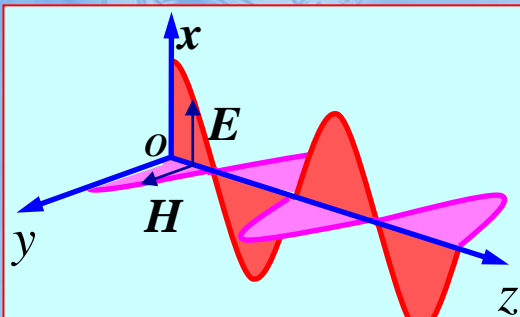
2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(2) 求解方法应用与知识点 (第五—八章)

(2.1) 时谐电磁波开域空间传播问题求解与分析 (第五、六章)

时谐电磁波的分析

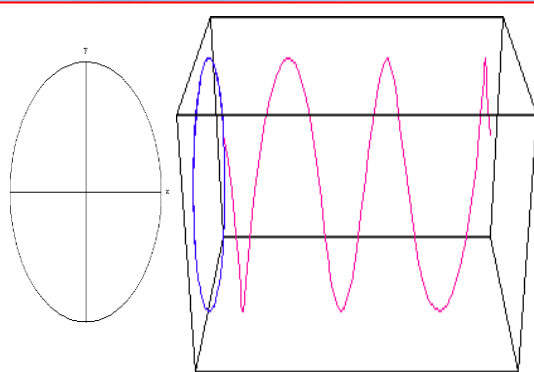


均匀平面波的传播

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_m e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} \quad \vec{H}(\vec{r}) = \frac{\vec{E}_m}{\eta} e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}}$$

$$\nabla \rightarrow -j\vec{k}$$

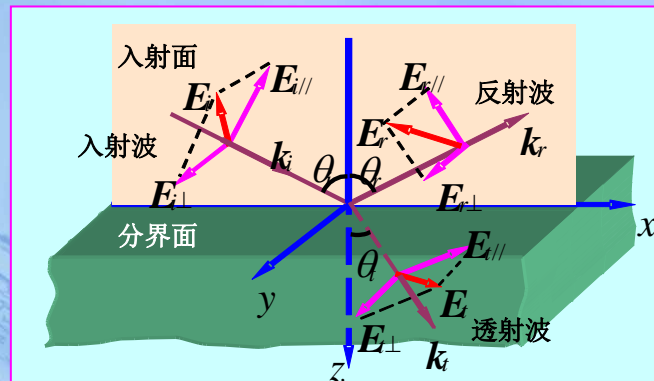
传播特性: 固定时刻场的空间分布



极化轨迹: 椭圆; 圆; 线。

极化旋向: 朝初相小的电场分量
方向旋转(初相差 $<\pi$)

极化特性: 固定位置电场的时变特性



波的方向关系: **Snell定理**

场的方向关系: **//极化与⊥极化不耦合**

场的大小关系: **Fresnel公式**

传播特性: 反射波、透射波、合成波场分布

均匀平面波传播特性与知识点总结

- 电磁场复矢量解由波因子和复振幅矢量决定：

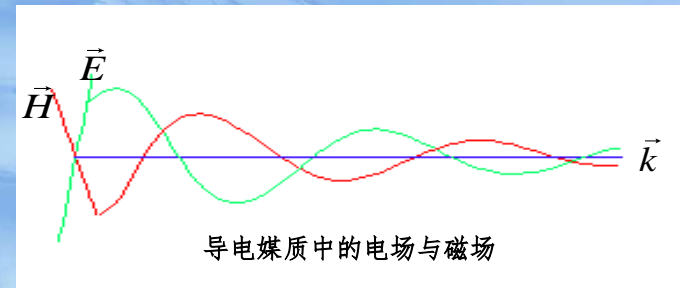
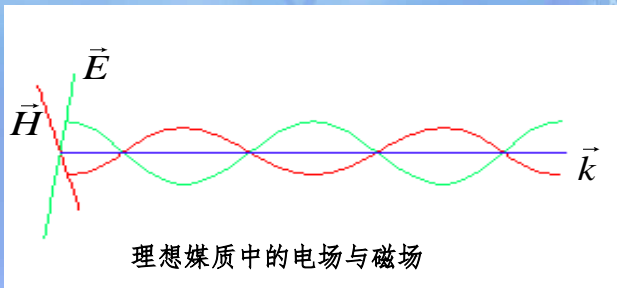
$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_m e^{-j\vec{k}_c \cdot \vec{r}} \quad \vec{H}(\vec{r}) = \frac{\vec{E}_m}{\eta_c} e^{-j\vec{k}_c \cdot \vec{r}} \quad \eta_c = |\eta_c| e^{-j\phi_0}$$

- 电磁场瞬时解由复矢量和时间因子决定：

$$\vec{F}(\vec{r}, t) = \text{Re}[\vec{F}(\vec{r}) e^{j\omega t}]$$

- 为TEM波
- 传播特性相关概念和物理量：

波矢量、波阻抗、相位常数、衰减常数、传播常数、波长、频率、周期、相速、能速、色散、趋肤现象、趋肤深度、表面阻抗，以及弱导电媒质和良导体等。



均匀平面波极化特性与知识点总结

- 极化概念：电磁波历经某处的电场时变特性。
- 极化特性：极化曲线与极化旋向，取决于电场复矢量，即电场分量的幅度与初相值。
- 极化分类：椭圆极化、圆极化、线极化，以及左旋极化、右旋极化。
- 圆极化：极化平面（极化曲线所在平面）上，电场分量幅度相等且初相差 90° 。
- 线极化：电场分量初相差 0° 或 180° 。
- 极化旋向：朝着初相小(滞后)的分量方向旋转。（初相差小于 180° ）
- 极化组合/分解：同类或异类极化电磁波的彼此组合或分解。

均匀平面波对理想导体的垂直入射

主要特性与知识点总结



反射波极化翻转： $\Gamma = -1$



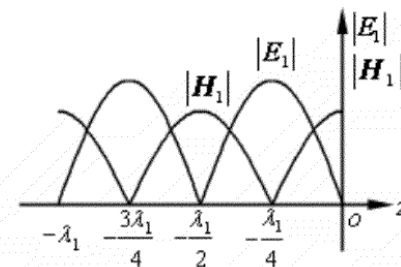
合成波短路开路翻转：翻转间隔 $\lambda / 4$



合成波感性容性区翻转：翻转间隔 $\lambda / 4$



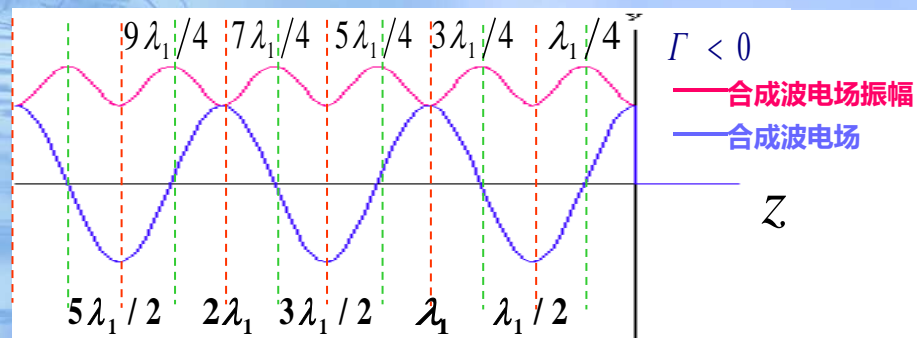
合成波为纯驻波（驻波比 ∞ ），无功率流。



驻波
动画

行驻波动画

- ## 行驻波动画



均匀平面波对二层平面分层理想介质的斜入射

主要特性与知识点总结

- 分界面上的相位匹配条件:

$$k_1 \sin \theta_i = k_1 \sin \theta_r = k_2 \sin \theta_t$$

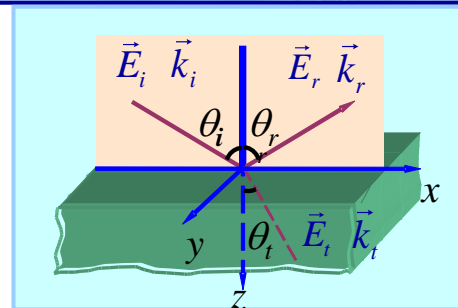
- 反射定律: $\theta_i = \theta_r$

- 折射定律: $k_1 \sin \theta_i = k_2 \sin \theta_t$ 或 $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$

- 反射系数、折射系数与两种媒质性质、入射角大小以及入射波的极化方式有关, 由菲涅尔公式确定。

- 平行极化波以布儒斯特角 $\theta_b = \arctan \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$ 入射时, 无反射波, 此时, 称其为全透射现象。

- 电磁波从光密媒质向光疏媒质以不小于临界角 ($\theta_c = \arcsin \sqrt{\epsilon_2/\epsilon_1}$) 入射时, 发生全反射现象。此时, 无透射波传播。



斜入射
动画

2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

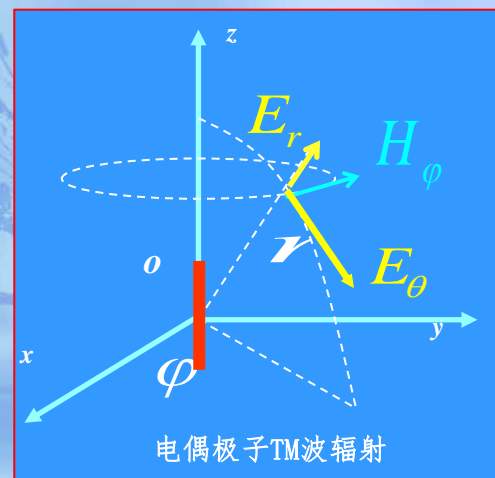
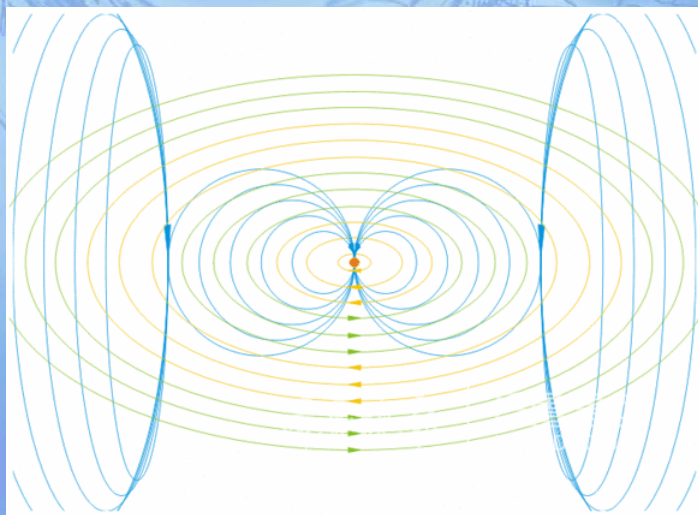
(1) 求解方法与知识点 (第四章)

(2) 求解方法应用与知识点 (第五—八章)

(2.1) 时谐电磁波开域空间传播问题求解与分析 (第五、六章)

(2.2) 时谐电磁波开域空间辐射问题求解与分析 (第八章)

(2.3) 时谐电磁波闭域空间导行传播问题求解与分析 (第七章)



2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(2) 求解方法应用与知识点 (第五—八章)

(2.2) 时谐电磁波开域空间辐射问题求解与分析 (第八章)

(1) 动态位和辐射场滞后其激励源；时谐情况的时间延滞体现为相位的滞后；

(2) 自由空间时谐电流的辐射场为：

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_v \frac{\vec{J}(\vec{r}') e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} dV'; \quad \vec{H}(\vec{r}) = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A}(\vec{r}), \quad \vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times \vec{H}(\vec{r})$$

(3) 电偶极子辐射分区：近区、远区、过渡区；

(4) 电偶极子的辐射场：

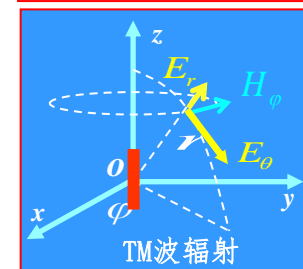
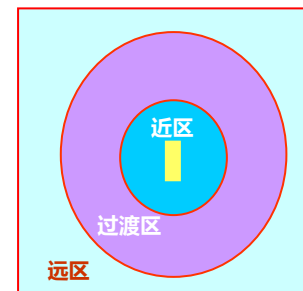
$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{e}_r \frac{2k^3 I l \cos \theta}{4\pi} \left[\frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right] e^{-jkr} + \vec{e}_\theta \frac{k^3 I l \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon} \left[\frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right] e^{-jkr}$$

$$\vec{H}(\vec{r}) = \vec{e}_\phi \frac{k^2 I l \sin \theta}{4\pi} \left[\frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr}$$

(5) 电偶极子近区场特性：

(6) 电偶极子远区场特性：

- 为似稳场或准静态场
- TEM非均匀球面波
- 距离衰减1/r
- 电磁场相差 $\pi/2$ 无功率流
- 电磁场同相，幅度比 η
- 方向性因子 $\sin \theta$



2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(1) 求解方法与知识点 (第四章)

(2) 求解方法应用与知识点 (第五—八章)

(2.1) 时谐电磁波开域空间传播问题求解与分析 (第五、六章)

(2.2) 时谐电磁波开域空间辐射问题求解与分析 (第八章)

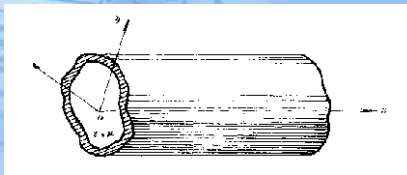
(2.3) 时谐电磁波闭域空间导行传播问题求解与分析 (第七章)

★ 结构：无限长，其横截面沿轴向不变，电磁波沿轴向传播；

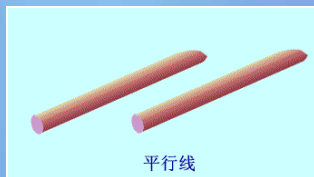
★ 制成材质：理想导体；

★ 传播空间：理想介质；

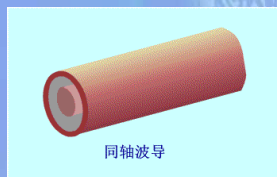
★ 基本问题：电磁波在导波结构中无源区的传播, 即 $\rho = 0, J = 0$



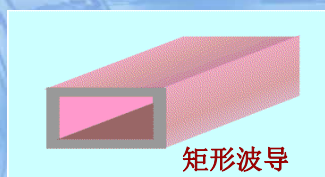
动画



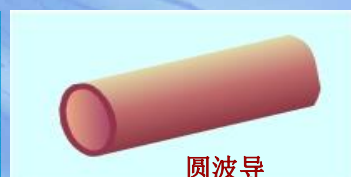
平行线



同轴波导



矩形波导



圆波导

2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(2) 求解方法应用与知识点 (第五—八章)

(2.3) 时谐电磁波闭域空间导行传播问题求解与分析 (第七章)

■ 矩形波导内可传播TE波和TM波

$$E_z^{TM}(x, y, z) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} E_{zmn}^{TM}(x, y) e^{-\gamma z}$$

$$H_z^{TE}(x, y, z) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} H_{zmn}^{TE}(x, y) e^{-\gamma z}, \quad m+n \neq 0$$

$$E_{zmn}^{TM}(x, y) = E_{mn} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)$$

$$H_{zmn}^{TE}(x, y) = H_{mn} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right)$$

■ 主模为TE₁₀

■ 主要知识点:

工作频率、截止频率；波数、截止波数；工作波长、截止波长、波导波长；波阻抗；模式简并；单模传输

2.2 知识要点——电磁问题求解

2) 时变场求解

(1) 求解方法与知识点（第四章）

(2) 求解方法应用（第五—八章）

(2.1) 时谐电磁波开域空间传播问题求解与分析（第五、六章）

(2.2) 时谐电磁波开域空间辐射问题求解与分析（第八章）

(2.3) 时谐电磁波闭域空间导行传播问题求解与分析（第七章）

电磁场与电磁波纲要

一、课程学习的任务与挑战 二、知识的构成与要点

2.1 知识的构成

2.2 知识的要点

(一) 变化分析方法 (第一章)

(二) 电磁规律认识 (第二、四章)

(三) 电磁问题求解 (第三—十八章)

1) 静态场求解 (第三章)

2) 时变场求解 (第四—十八章)

课程设计

- 题目： **学习电磁规律，增长思维能力**
- 要求：（不少于2000字）
 1. 从电磁现象到电磁规律探索和电磁理论发展历程，谈自己所受到的启发和对自己的影响性感受；
 2. 结合课程内容举例谈对“立足根本，化繁为简”科学研究方法的认识和体会；
 3. 谈谈第四版教材与讲义的差异性感受（如知识学习、能力提升、难点问题学习、数学物理问题分析与认识、应用与求解、与相关课程知识的关联性学习、对自己的兴趣影响，等等）
 4. 课程教学的建议与评价（如教学方法、教学内容、内容安排、考核方式，等等）
 5. 其它(列出所有尚没学懂、存在疑问、需要探究的问题等等)...

感谢倾听!