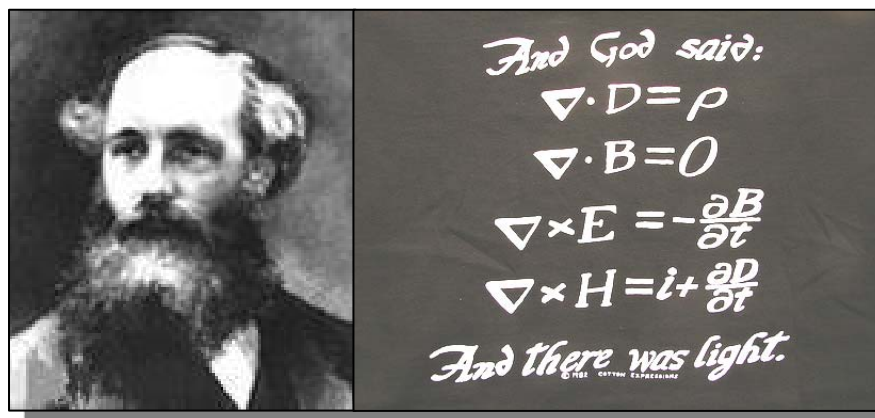


第一章：光的电磁理论

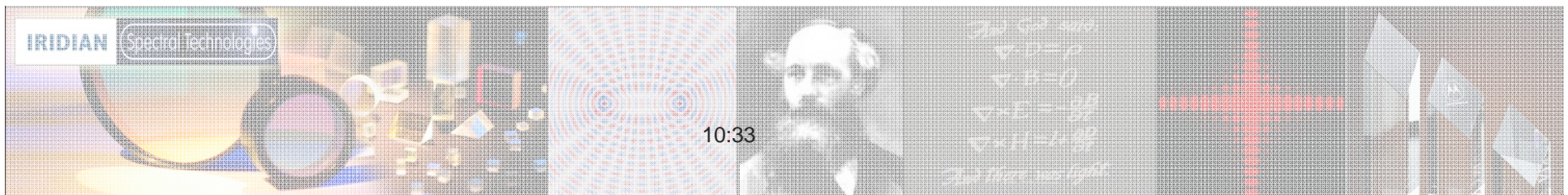
杨振宇





主要内容

- 电磁感应与**麦克斯韦方程组**;
- 电磁场的边值关系;
- 电磁场的能量。





第一章 光的电磁理论

1-2 电磁感应与

麦克斯韦方程组 **Maxwell's Equations** (1.1)

基本物理量 E, D, H, B, Q, I

一、积分形式

由**静态**电磁场→**交变**电磁场

二、微分形式

积分形式→**微分形式**

(通过数学变换)

1-2

静态电磁场规律 ($dF/dt=0$, $F=D,E,B$,或 H)

$$\oiint \mathbf{D} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = Q \quad (1-1)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0 \quad (1-2)$$

$$\oiint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = 0 \quad (1-3)$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I \quad (1-4)$$



1-2

交变电磁场的引入

♠ 交变磁场 → 感应电动势 ε → 电场 E (法拉第定律)

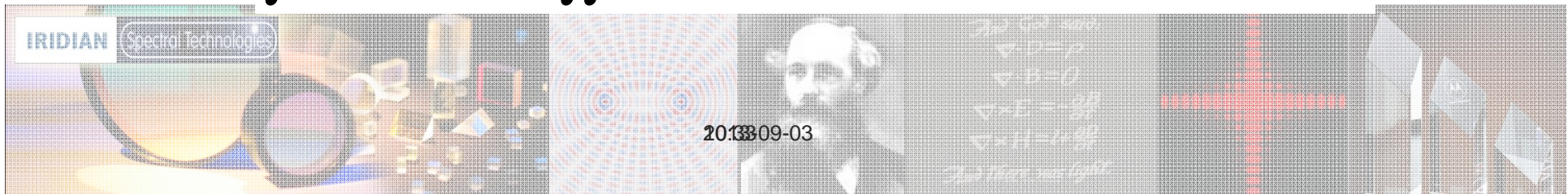
$$\varepsilon = -d\Phi_m / dt = -\iint d\sigma \cdot \partial B / \partial t, \quad \varepsilon = \oint E \cdot dl$$

$$\oint E \cdot dl = -\iint d\sigma \cdot \partial B / \partial t \quad (1-6) \text{ 取代 } (1-2)$$

♠ 交变电场 → 位移电流 I_D → 磁场

$$I_D = d\Phi_e / dt = \iint d\sigma \cdot \partial \mathbf{D} / \partial t$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \mathbf{I} + \iint d\sigma \cdot \partial \mathbf{D} / \partial t \quad (1-9) \text{ 代替 } (1-4)$$



1-2

麦克斯韦方程组的积分形式

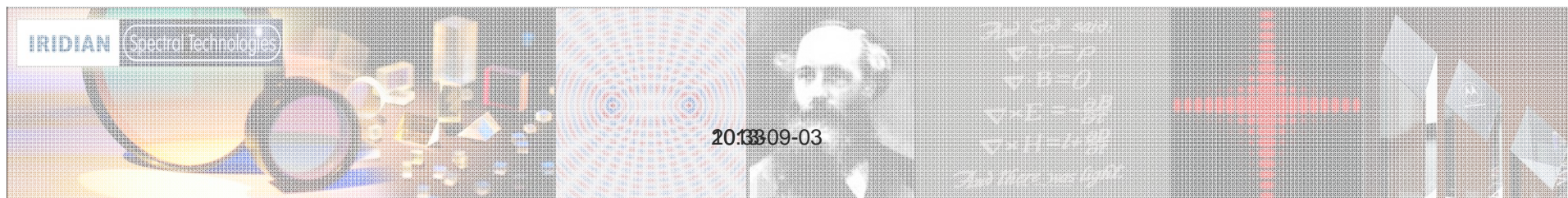
$$\oiint \mathbf{D} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = Q$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\iint d\boldsymbol{\sigma} \cdot \partial \mathbf{B} / \partial t$$

$$\oiint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = 0$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \mathbf{I} + \iint d\boldsymbol{\sigma} \cdot \partial \mathbf{D} / \partial t$$

(1-10)



1-2

积分形式



微分形式

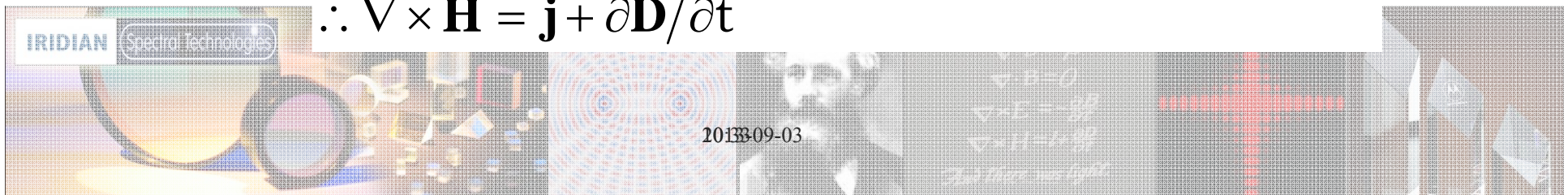
(利用数学变换)

▶ 有关闭合曲面的积分(高斯定理)

$$\oiint \mathbf{D} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = \iiint \rho dv = Q = \iiint \nabla \cdot \mathbf{D} dv$$
$$\therefore \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

▶ 有关环路积分 (斯托克斯定理)

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint \mathbf{j} \cdot d\boldsymbol{\sigma} + \iint d\boldsymbol{\sigma} \cdot \partial \mathbf{D} / \partial t = \iint (\nabla \times \mathbf{H}) \cdot d\boldsymbol{\sigma}$$
$$\therefore \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial \mathbf{D} / \partial t$$

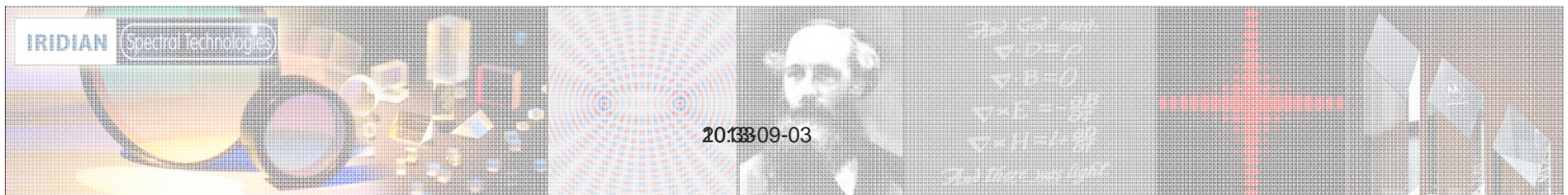


1-2

麦克斯韦方程的微分形式

$$\left. \begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\partial \mathbf{B} / \partial t \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{j} + \partial \mathbf{D} / \partial t \end{aligned} \right\} (1-11)$$

方程组可解吗?



1-2

场量并不独立，**物质方程**建立它们之间的联系

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E} \quad (1 - 12)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (1 - 13)$$

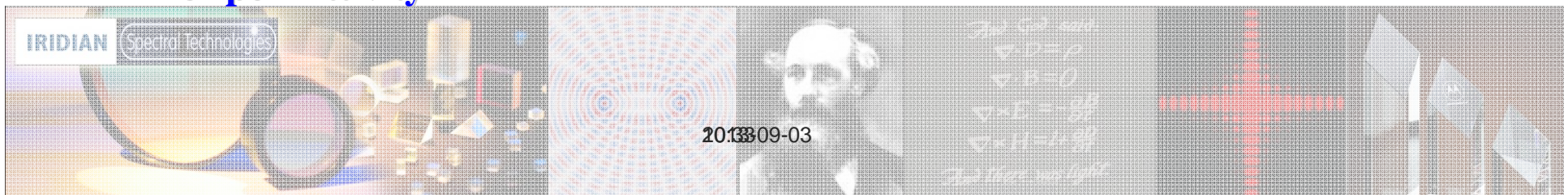
$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \quad (1 - 14)$$

ε —介电常数， μ —磁导率， σ —电导率

dielectric constant
or permittivity

permeability

specific conductivity



1-2 电磁场的波动性

麦克斯韦方程组 $\xrightarrow{E, B}$ 波动方程
(wave equation)

设无限大各向同性均匀介质中， ϵ 、 μ 为常数，远离辐射源， $\rho=0$ ， $j=0$

$$\left. \begin{aligned} \nabla \cdot E &= 0 \\ \nabla \cdot B &= 0 \\ \nabla \times E &= -\partial B / \partial t \\ \nabla \times B &= \epsilon\mu \partial E / \partial t \end{aligned} \right\}$$

1-2

波动方程

$$\nabla^2 E - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \dots \dots \dots (1-8)$$

$$\nabla^2 B - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = 0 \dots \dots \dots (1-9)$$

$$\text{其中 } v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$$

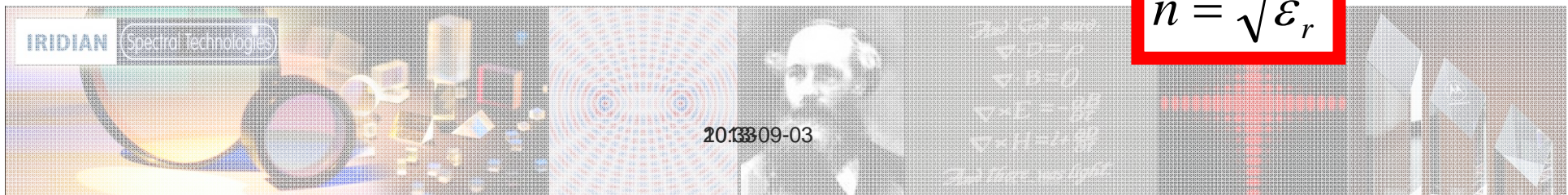
光速 (light velocity)

- ♠ 介质中 $v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$
- ♠ 真空 (空气) 中 $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$

折射率 (refractive index)

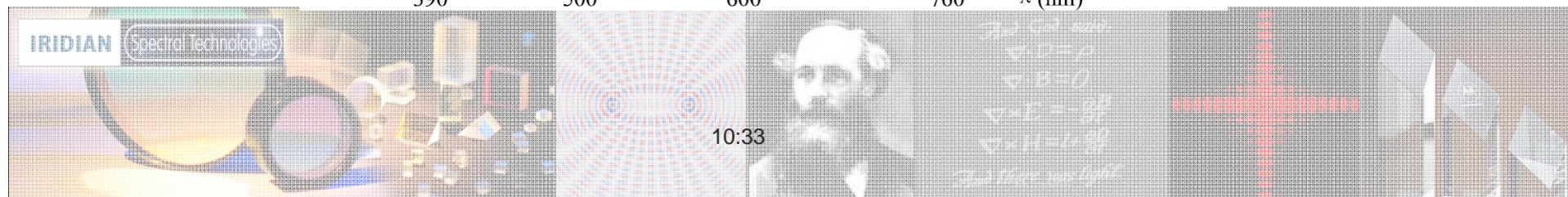
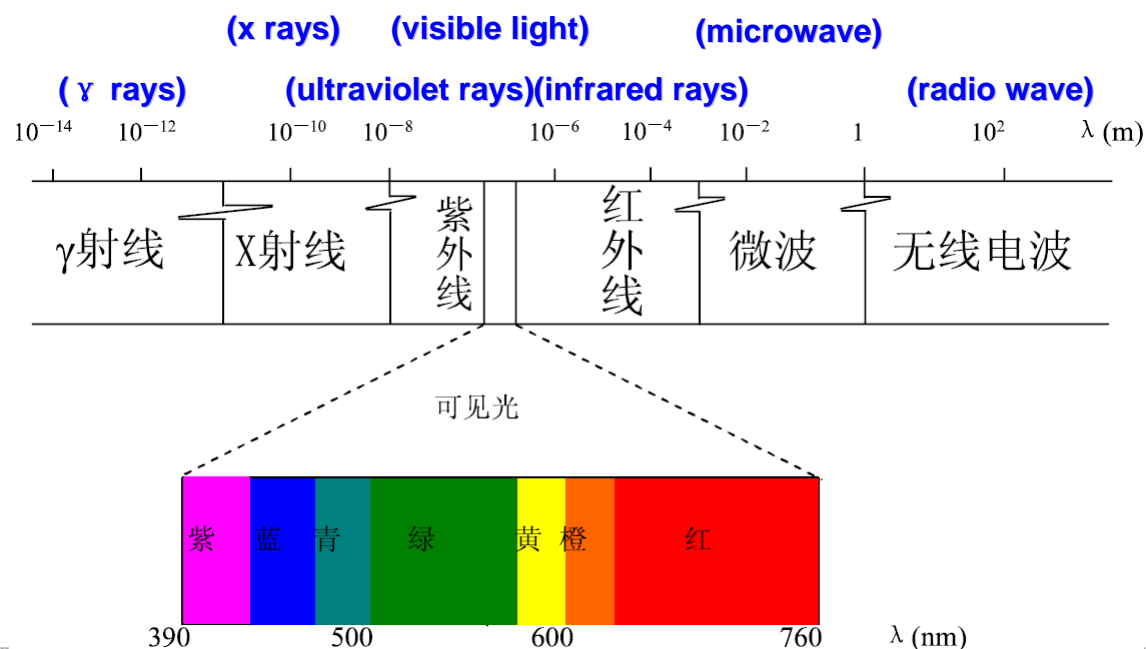
$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\epsilon_0\mu_0}} = \sqrt{\epsilon_r\mu_r}$$

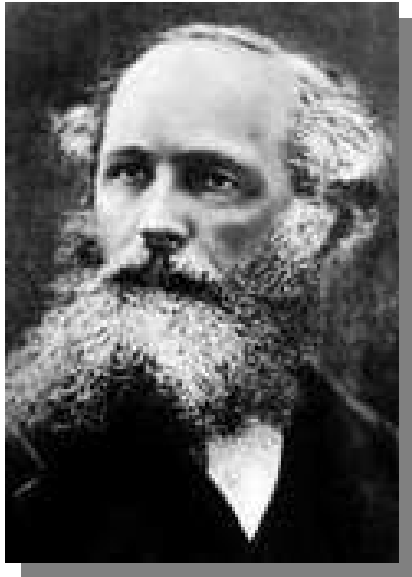
$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$



1-2

光是特定波段的电磁波 (electromagnetic wave)–真空中的
波长范围约为390~760 nm，相应的频率范围约为
 $8 \times 10^{14} \sim 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 。





人物传记—麦克斯韦



13 / 20

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦

(James Clerk Maxwell 1831~1879)

英国物理学家

14岁在中学时期就发表了第一篇科学论文《论卵形曲线的机械画法》

24岁发表了第一篇关于电磁学的论文《法拉第的力线》

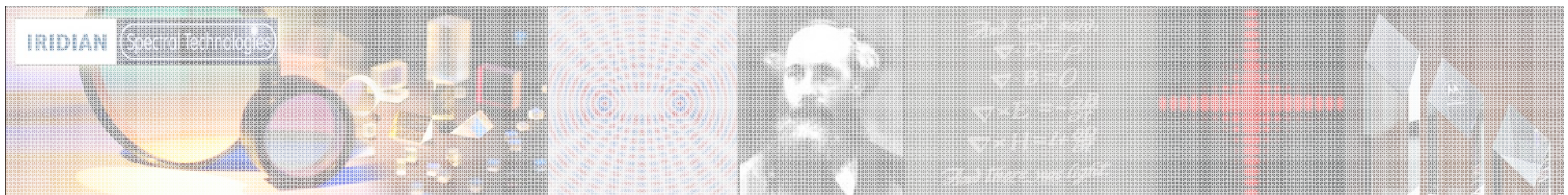
31岁发表了第二篇电磁论文《论物理的力线》

33岁发表了第三篇论文《电磁场的动力学理论》

42岁完成巨作《电学和磁学论》一书

爱因斯坦把他的电磁场贡献评价为“**自牛顿时代以来物理学所经历的最深刻最有成效的变化。**”

普朗克评价他的一生：“麦克斯韦的光辉名字将永远载入科学史册，永放光芒。他的灿烂一生属于爱丁堡，属于剑桥大学，更属于全世界”。





1-4 电磁场的边值关系(1.5)

▶ **边值关系:** 在两种介质分界面上电磁场量不连续, 但仍存在一定的关系。

▶ 两个封闭曲面积分导出B和D ($\rho=0$ 时)

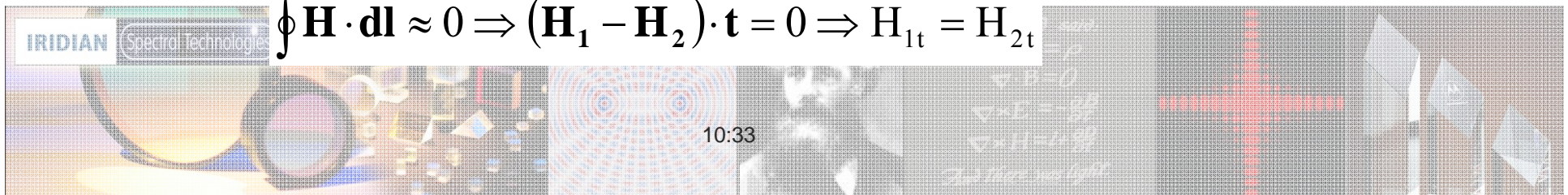
$$\oiint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = 0 \Rightarrow \mathbf{n} \cdot (\mathbf{B}_1 - \mathbf{B}_2) = 0 \Rightarrow \mathbf{B}_{1n} = \mathbf{B}_{2n}$$

$$\oiint \mathbf{D} \cdot d\boldsymbol{\sigma} = 0 \Rightarrow \mathbf{n} \cdot (\mathbf{D}_1 - \mathbf{D}_2) = 0 \Rightarrow \mathbf{D}_{1n} = \mathbf{D}_{2n}$$

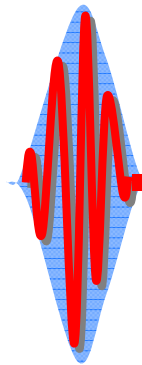
▶ 两个环路积分导出E和H ($\mathbf{j}=0$ 时)

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \approx 0 \Rightarrow (\mathbf{E}_1 - \mathbf{E}_2) \cdot \mathbf{t} = 0 \Rightarrow E_{1t} = E_{2t}$$

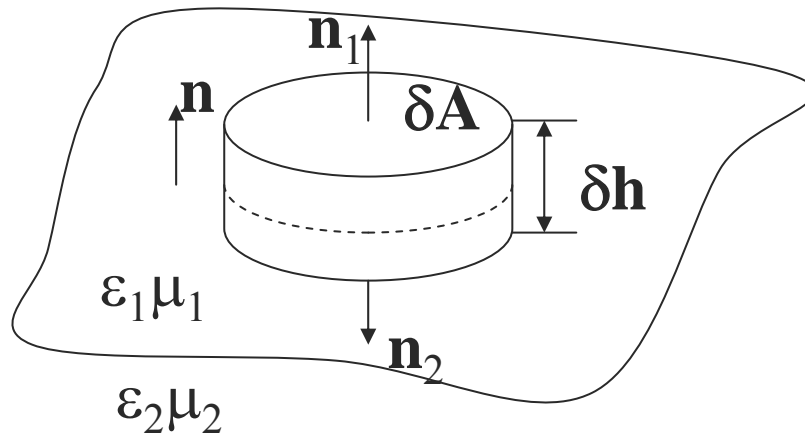
$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} \approx 0 \Rightarrow (\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2) \cdot \mathbf{t} = 0 \Rightarrow H_{1t} = H_{2t}$$



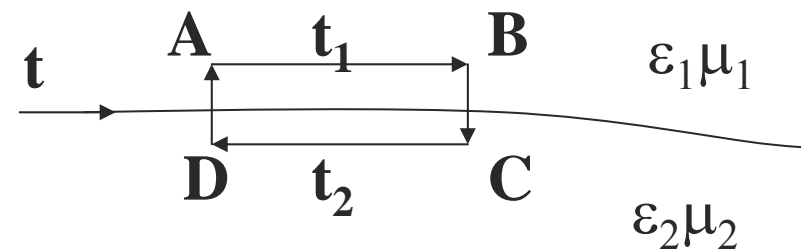
1-4



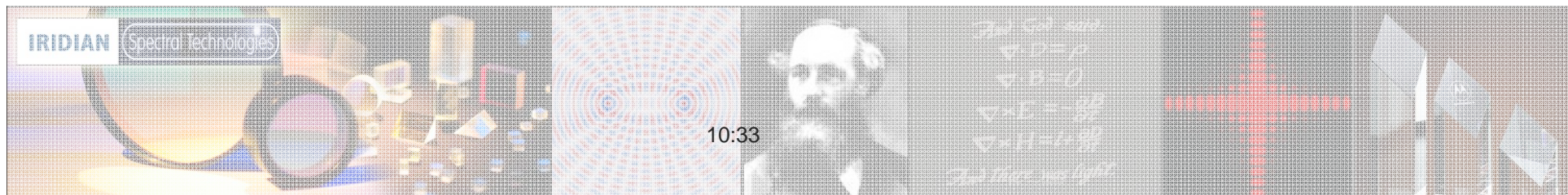
➤ 闭合曲面积分



➤ 环路积分



$$\overline{AB} = \delta l, \overline{BC} = \delta h$$

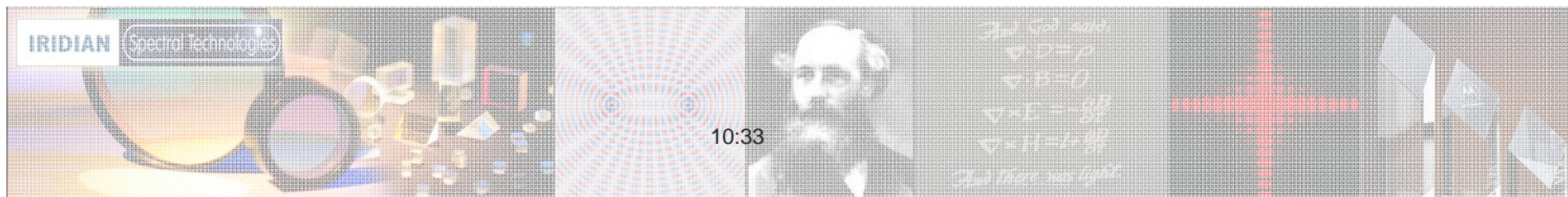


1-4

➤ 边值关系

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{n} \cdot (\mathbf{B}_1 - \mathbf{B}_2) &= 0 \\ \mathbf{n} \cdot (\mathbf{D}_1 - \mathbf{D}_2) &= 0 \\ \mathbf{n} \times (\mathbf{E}_1 - \mathbf{E}_2) &= 0 \\ \mathbf{n} \times (\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2) &= 0 \end{aligned} \right\} (1-63)$$

***H* 和 *E* 的切向分量以及 *B* 和 *D* 的法向分量连续**





1-5 (2-7) 电磁场的能量(1.4)

1. 常见光源



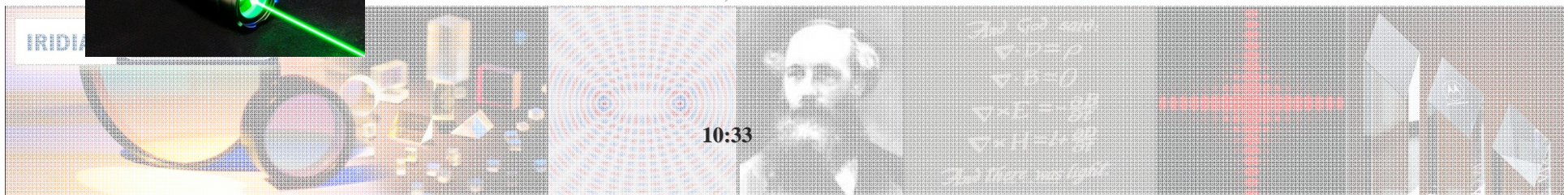
热光源：热光源是主要由热能转化为辐射的光源，例如白炽灯是物体加热到白炽程度而发光。



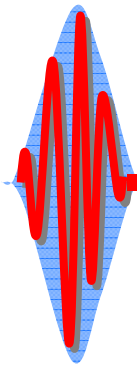
非热光源：例如气体放电光源，是电极之间的高压电场使得电路中的电子逸出电极并加速，与放电管中的气体原子相碰撞，使其跃迁到高能级，并随后自发辐射跃迁产生光波。



激光器 (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, LASER)



1-5



2. 光辐射的经典模型

原子发光—电中心振荡
电偶极子辐射模型

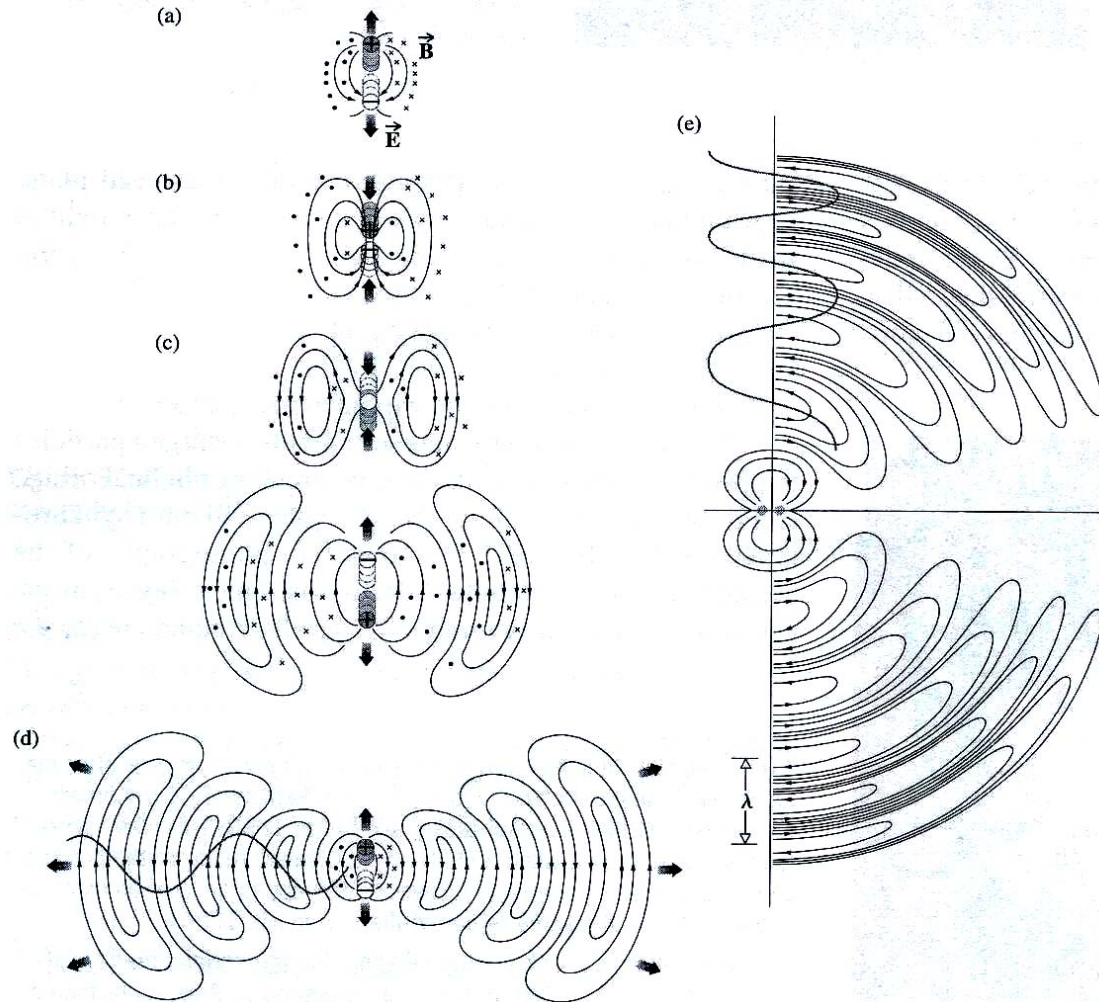
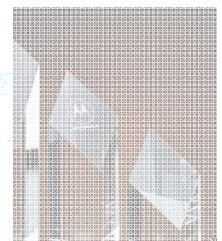


Figure 3.32 The \vec{E} -field of an oscillating electric dipole.



1-5

3. 辐射能

➤ **坡印亭矢量 (Poynting Vector) \mathbf{S}** —单位时间内通过垂直于传播方向的单位面积的电磁能量

能量密度:
$$w = \frac{1}{2}(E \cdot D + H \cdot B) = \frac{1}{2}\left(\epsilon E^2 + \frac{1}{\mu} B^2\right)$$

$$S = wv = \frac{v}{2}\left(\epsilon E^2 + B^2/\mu\right)$$

$$S = v\epsilon E^2 = \frac{1}{\mu} EB$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{B} / \mu$$

➤ \mathbf{S} 的平均值 $\langle \mathbf{S} \rangle$ = 光强 \mathbf{I} , 对平面波,

$$\mathbf{I} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} A^2$$

intensity of light

1-5

4. 实际光波的认识

1. 间歇的 (10^{-9} s) ;
2. 波列间在位相、振动方向上无关联;
3. 没有偏振性。

