大学物理

University Physics

华中科技大学物理学院

王宁

ningwang@hust.edu.cn

回顾 第8节 多普勒效应

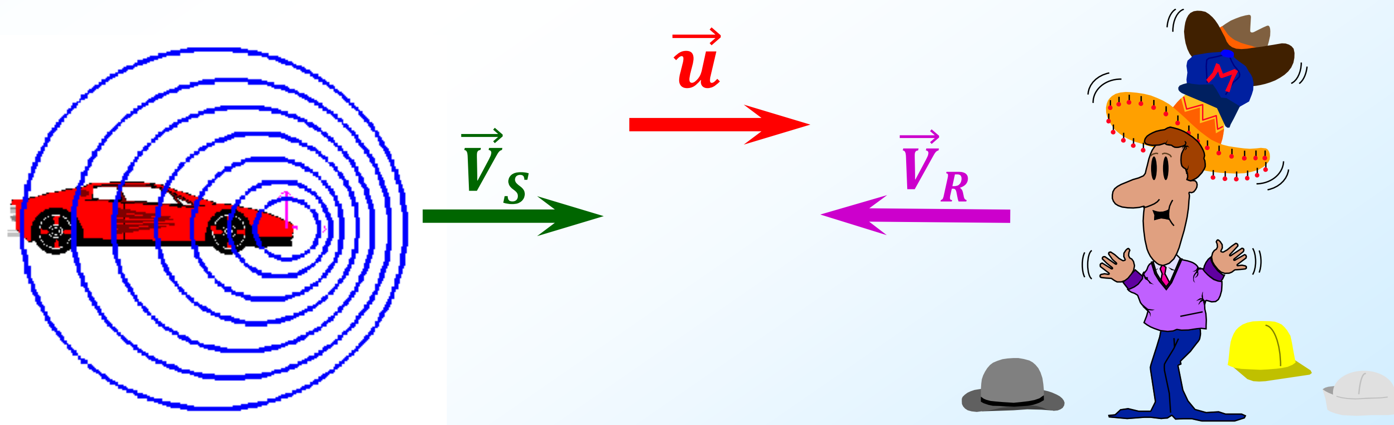
波源或者观察者相对于媒质运动，引起接收的频率与波源的频率不同的现象，称为多普勒效应。

一 声波的多普勒效应

波源相对于媒质的运动速度： $\vec{V}_S$

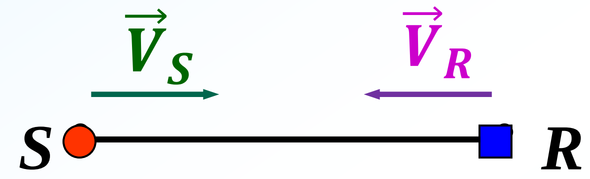
观察者相对于媒质的运动速度： $\vec{V}_R$

波在媒质中的传播速度： $\vec{u}$



参考系：介质

设波源的振动频率为 ν_s

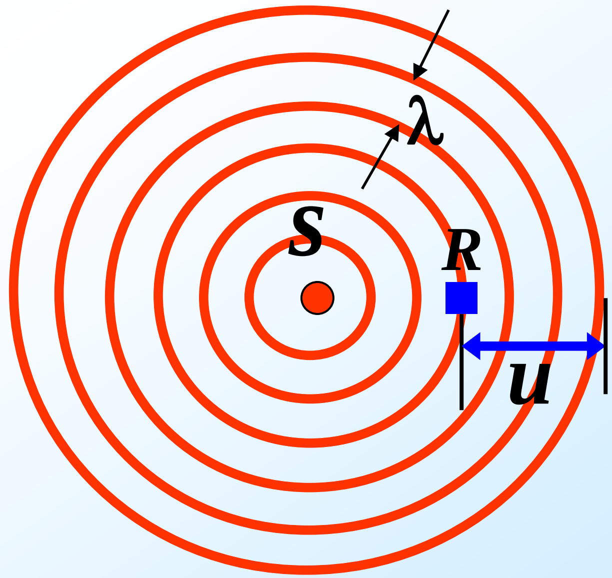


1. 波源和接收器都静止

波速 u 与波源和接收器无关。

单位时间通过 R 的波的个数，

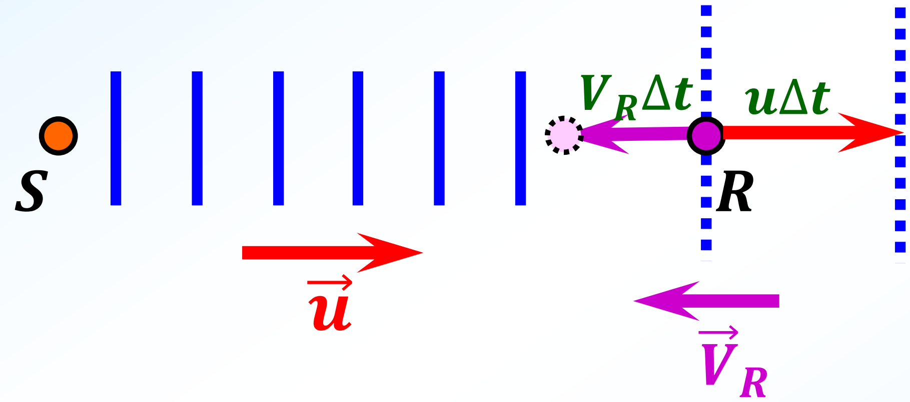
即为 R 接收到的频率：



$$\nu_R = \frac{u}{\lambda} = \nu_s$$

2. 波源静止，接收器运动

1). 观察者接近波源



Δt时间间隔内波通过观察者的实际距离为：

$$u\Delta t + V_R\Delta t$$

观察者感受到的有效波速为： $u' = u + V_R$

$$\nu_R = \frac{u'}{\lambda'} = \frac{u + V_R}{\lambda} = \frac{u + V_R}{uT} = \left(1 + \frac{V_R}{u}\right)\nu_S$$

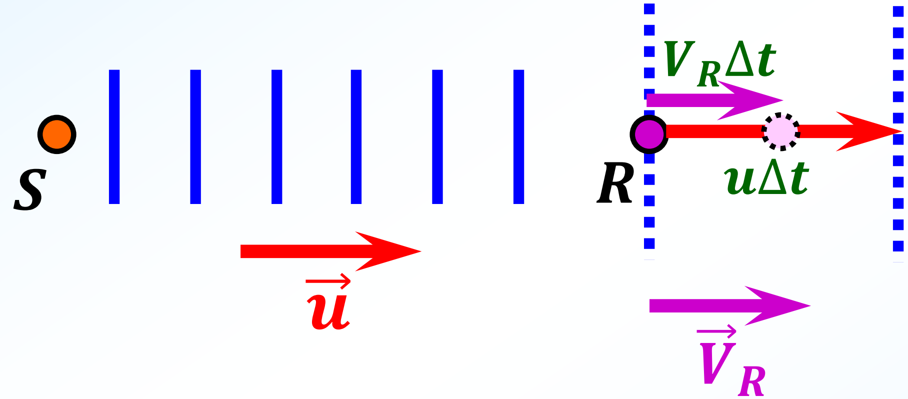
隐含了绝对时空观假定，

$V_R \to c$时结论不成立！

$$\therefore \ \nu_R = \left(1 + \frac{V_R}{u}\right)\nu_S > \nu_S$$

变大

2). 观察者远离波源



Δt时间间隔内波通过观察者的实际距离为：

$$u\Delta t - V_R\Delta t$$

观察者感受到的有效波速为： $u' = u - V_R$

$$\nu_R = \frac{u'}{\lambda'} = \frac{u - V_R}{\lambda} = \frac{u - V_R}{uT} = \left(1 - \frac{V_R}{u}\right)\nu_S$$

$$\therefore \ \nu_R = \left(1 - \frac{V_R}{u}\right)\nu_S < \nu_S$$ 变小

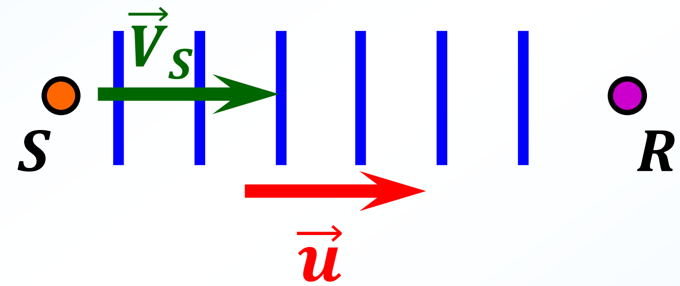
注意两种特殊情况：$\begin{cases} u = V_R & \nu_R = 0 \\ u < V_R & \nu_R < 0 \end{cases}$

超音速

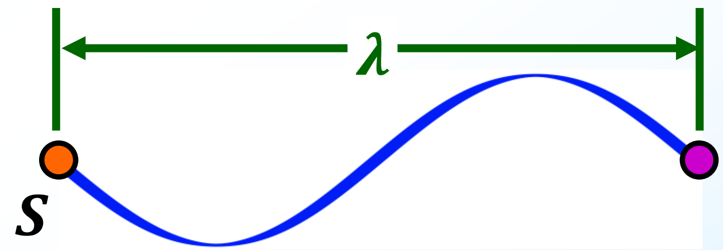
观察者无法探测到波的传播。

3. 接收器静止，波源运动

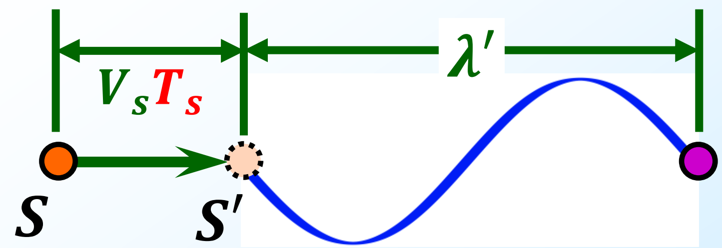
1)．波源以速率V_S向观察者运动



波源在运动，两个相同振动状态是在不同地点发出的。



设0时刻波源开始振动，经过T_S时间传播了一个完整的波形，



此时波源向前前进的距离：V_sT_s

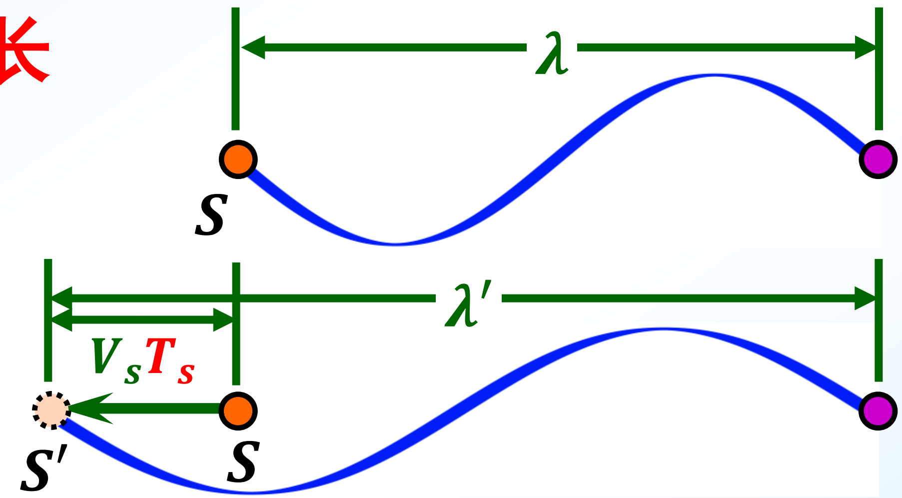
并且再发射一个相同的振动状态。

有效波长缩短为： $\lambda' = \lambda - V_S T_S$ **波速与波源无关，保持不变。**

$$\nu_R = \frac{u'}{\lambda'} = \frac{u}{\lambda - V_S T_S} = \frac{u}{u - V_S} \cdot \frac{1}{T_S} = \frac{u}{u - V_S} \nu_S \qquad \therefore \ \nu_R > \nu_S$$

2). 波源以速率V_S远离观察者运动

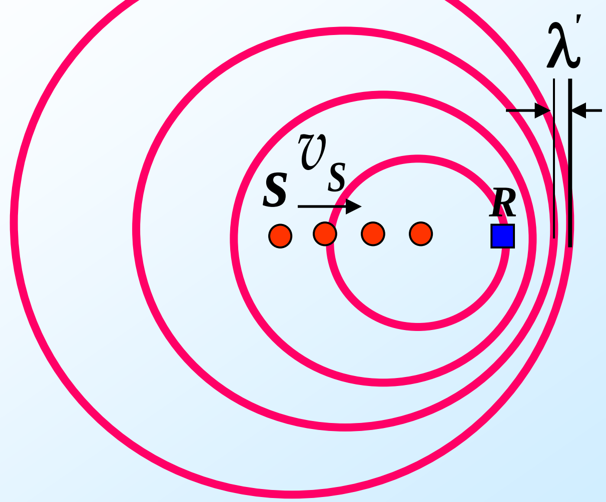
利用同样的分析可知，**有效波长增加**为：



$$\lambda' = \lambda + V_S T_S$$

观察者接收的频率：

$$\nu_R = \frac{u}{u + V_S} \nu_S$$



$$\therefore \quad \nu_R < \nu_S$$

比较以上两种情况 $\begin{cases} \vec{V}_S = 0, & \vec{V}_R \neq 0 \\ \vec{V}_S \neq 0, & \vec{V}_R = 0 \end{cases}$

观察者运动与波源运动，所引起的结果完全不同。

观察者运动：$\nu_R = \left(1 \pm \frac{V_R}{u}\right)\nu_S$

波源运动：$\nu_R = \frac{u}{u \pm V_S}\nu_S$

问题：为什么这样的相对性是不对称的？

4. $\vec{V}_S \neq 0$, $\vec{V}_R \neq 0$

$\vec{V}_S \neq 0$ 接收的波长变化

$\vec{V}_R \neq 0$ 接收的波速变化

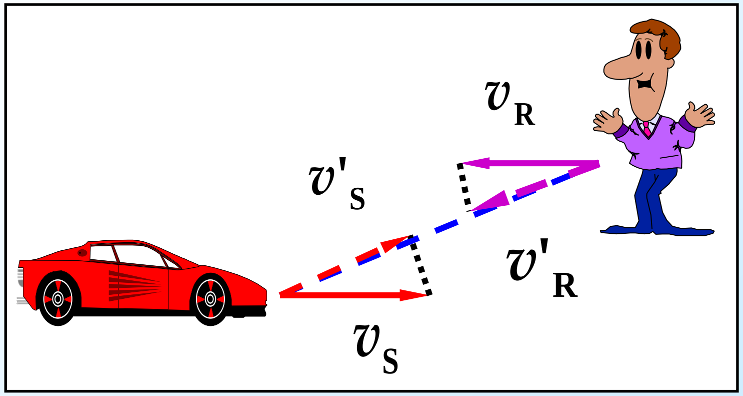
$$\nu_R = \frac{u \pm V_R}{u \mp V_S}\nu_S$$

当波源和观察者相向运动时，都取上面符号。反向运动时，都取下面符号。

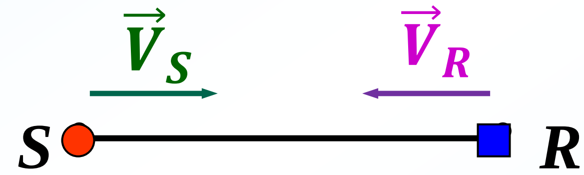
当波源和观察者同向运动时，若波源追观察者，上下都取减号。反之，上下都取加号。

若波源与接收器不沿二者连线运动

$$\nu'_R = \frac{u \pm v'_R}{u \mp v'_S}\nu_s$$



声波的多普勒效应小结



1. **波源和接收器都静止** $\nu_R = \nu_S$

2. **波源静止, 接收器运动**

$$\nu_R = \left(1 \pm \frac{v_R}{u}\right)\nu_s \qquad \begin{cases} +: & \text{接收器靠近} \\ -: & \text{接收器远离} \end{cases}$$

3. **接收器静止, 波源运动**

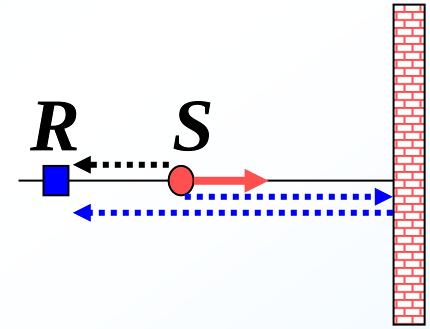
$$\nu_R = \frac{u}{u \mp v_S}\nu_s \qquad \begin{cases} -: & \text{波源靠近} \\ +: & \text{波源远离} \end{cases}$$

4. **波源和接收器都运动**

$$\nu_R = \frac{u \pm v_R}{u \mp v_S}\nu_s$$

例1. 报警器S发出频率为1000 Hz的声波，离静止观察者R向一静止反射壁运动，其速度为10 m/s(声速 330 m/s)

求：(1) R直接从S接收到的频率？



解： 已知 $\nu = 10^3$ Hz $\quad v_S = 10$ m/s $\quad u = 330$ m/s

$$\nu_1 = \frac{u}{u+v_S}\nu = \frac{330}{330+10}10^3 = 970\text{ Hz}$$

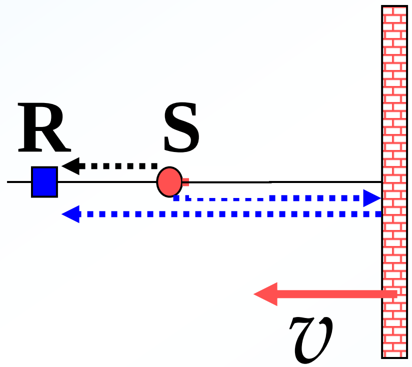
$$\boxed{\nu_R = \frac{u \pm v_R}{u \mp v_S}\nu_S}$$

(2) R从**反射波**接收到的频率？

$$\nu_2 = \frac{u}{u-v_S}\nu = \frac{330}{330-10}10^3 = 1030\text{ Hz}$$

（3）R 收到的拍频?

$$\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1 = 1030 - 970 = 60\ \text{Hz}$$



（4）若S不动，反射壁以20m/s向S运动，则拍频多少?

R直接从 S 收到　$\nu_1 = \nu = 10^3\ \text{Hz}$

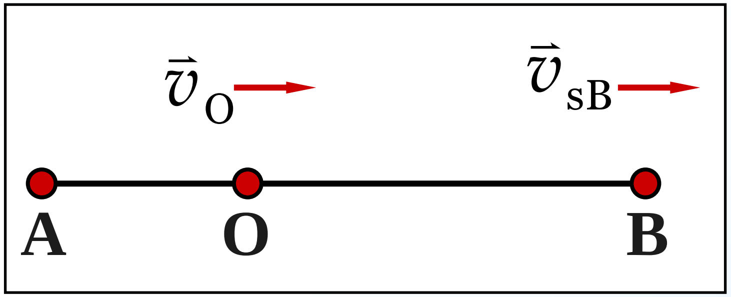
反射壁收到　$\nu' = \dfrac{u+v}{u}\nu$　反射壁发出 ν'频率

R收到　$\nu_2 = \dfrac{u}{u-v}\nu' = \dfrac{u+v}{u-v}\nu = 1129\ \text{Hz}$

拍频　$\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1 = 129\ \text{Hz}$

例2. A、B为两个汽笛，其频率为500 Hz，A静止，B以60 m/s的速率向右运动。在两个汽笛之间有一个观察者O，以30 m/s的速度也向右边运动。已知空气中的声速为 330 m/s,求：

(1) 观察者听到来自A 的频率



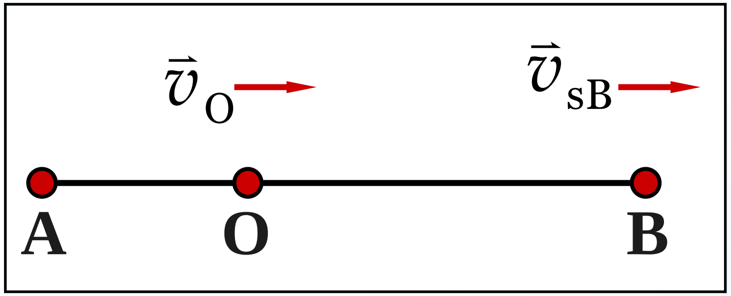
解: (1) u=330 m/s, v_{sA}=0, v_{sB}=60 m/s, v_0=30 m/s

$$\nu' = \frac{u - v_O}{u}\nu \qquad \nu' = \frac{330-30}{330}\times 500 = 454.5\ \text{Hz}$$

例2. A、B为两个汽笛，其频率为500 Hz，A静止，B以60 m/s的速率向右运动。在两个汽笛之间有一个观察者O，以30 m/s的速度也向右边运动。已知空气中的声速为 330 m/s，求：

(2) 观察者听到来自B 的频率

(3) 观察者听到的拍频



解: (2)

$$\nu'' = \frac{330+30}{330+60} \times 500 = 461.5 \text{ Hz}$$

(3) 观察者听到的拍频 $\Delta\nu = \left|\nu' - \nu''\right| = 7 \text{ Hz}$

$$\boxed{x = 2A_0 \cos\frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \phi\right)}$$

三 电磁波的多普勒效应

电磁波的传播速度是**光速c**，且传播**不依赖介质**；需要考虑**相对论效应**。

两者相互接近时：$\nu_R = \sqrt{\dfrac{c+v}{c-v}}\nu_S = \sqrt{\dfrac{1+v/c}{1-v/c}}\nu_s$

多普勒频移
$\Delta\nu = \nu_s - \nu_R$

频率变高，波长变短，**蓝移**

两者相互远离时：$\nu_R = \sqrt{\dfrac{c-v}{c+v}}\nu_S = \sqrt{\dfrac{1+v/c}{1-v/c}}\nu_s$

频率变低，波长变长，**红移**

$$\boxed{\nu_R = \sqrt{\dfrac{1\pm v/c}{1\mp v/c}}\nu_s}$$

注意
- 靠近运动，取上面符号
- 远离运动，取下面符号

例3. 一遥远的星系以很高的速率离地球而去，其光学谱线发生红移，与本征频率相对应的波长为434 nm的谱线，被地球上的记录仪记录到的波长为600 nm。此星系相对地球运动的速率为多少？

解: 设星系发出某一本征谱线的频率和波长为ν, λ。

地球上的记录仪记录到此谱线的频率和波长为 ν', λ'。

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \nu' = \frac{c}{\lambda'}$$

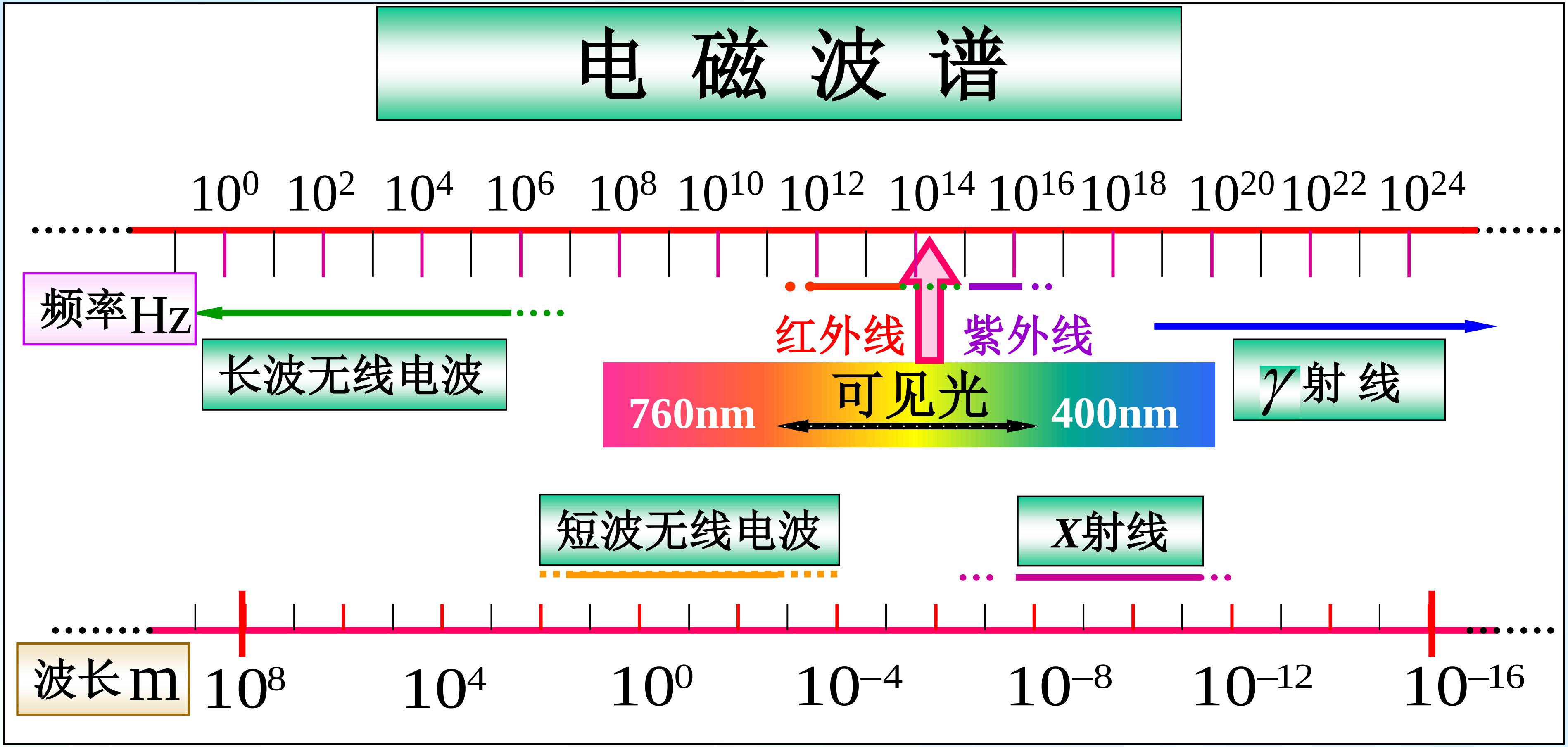
由$\nu' = \sqrt{\frac{1-v/C}{1+v/C}}\,\nu$ 可得 $\lambda' = \lambda\sqrt{\frac{1+v/C}{1-v/C}}$

$$\lambda = 434\ nm，\ \lambda' = 600\ nm$$

代入数据得

$$v = 0.31\,C \approx 9.3 \times 10^{7}\ m/s$$

第9节　电磁震荡与电磁波



无线电波	3×10^4 m ~ 0.1 cm	紫外光	400 nm ~ 5 nm
红外线	6×10^5 nm ~ 760 nm	X射线	5 nm ~ 0.04 nm
可见光	760 nm ~ 400 nm	γ射线	$<$ 0.04nm

第9节 电磁震荡与电磁波

一 电磁振荡

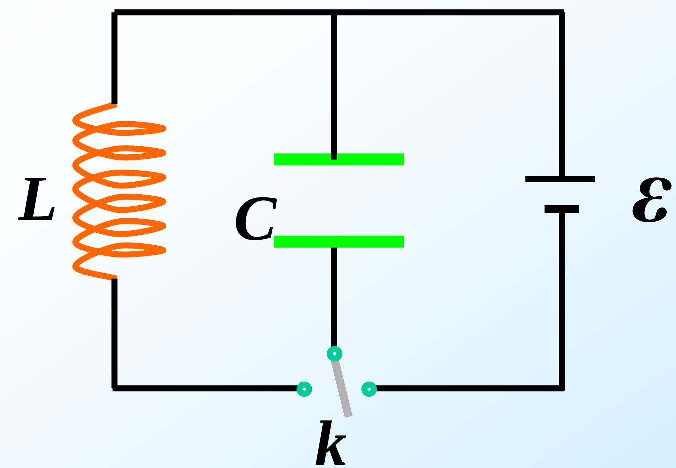
1. LC电路---无阻尼振荡

电磁振荡：**电路中电量和电流的周期性变化**

振荡电路：**产生电磁振荡的电路**

无阻尼振荡电路：**电路无电阻、无辐射**

产生的电磁振荡是无阻尼自由振荡

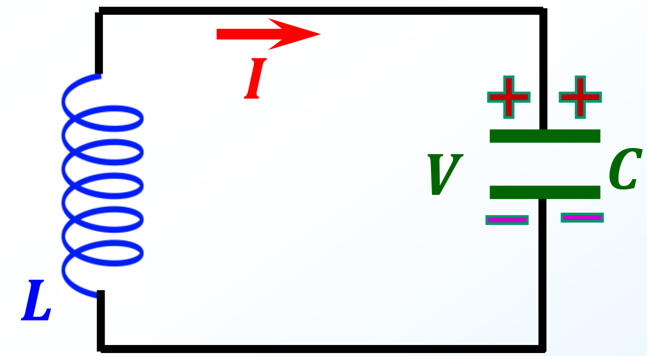


振荡电路

1. *LC*电路——无阻尼振荡

设*t*时刻电容两端电荷为*q*，电流为*I*，

电容两端电压： $V=q/C$



$$I=\frac{dq}{dt}\qquad V=-L\frac{dI}{dt}\qquad \therefore\quad \frac{q}{C}=-L\frac{d^2q}{dt^2}$$

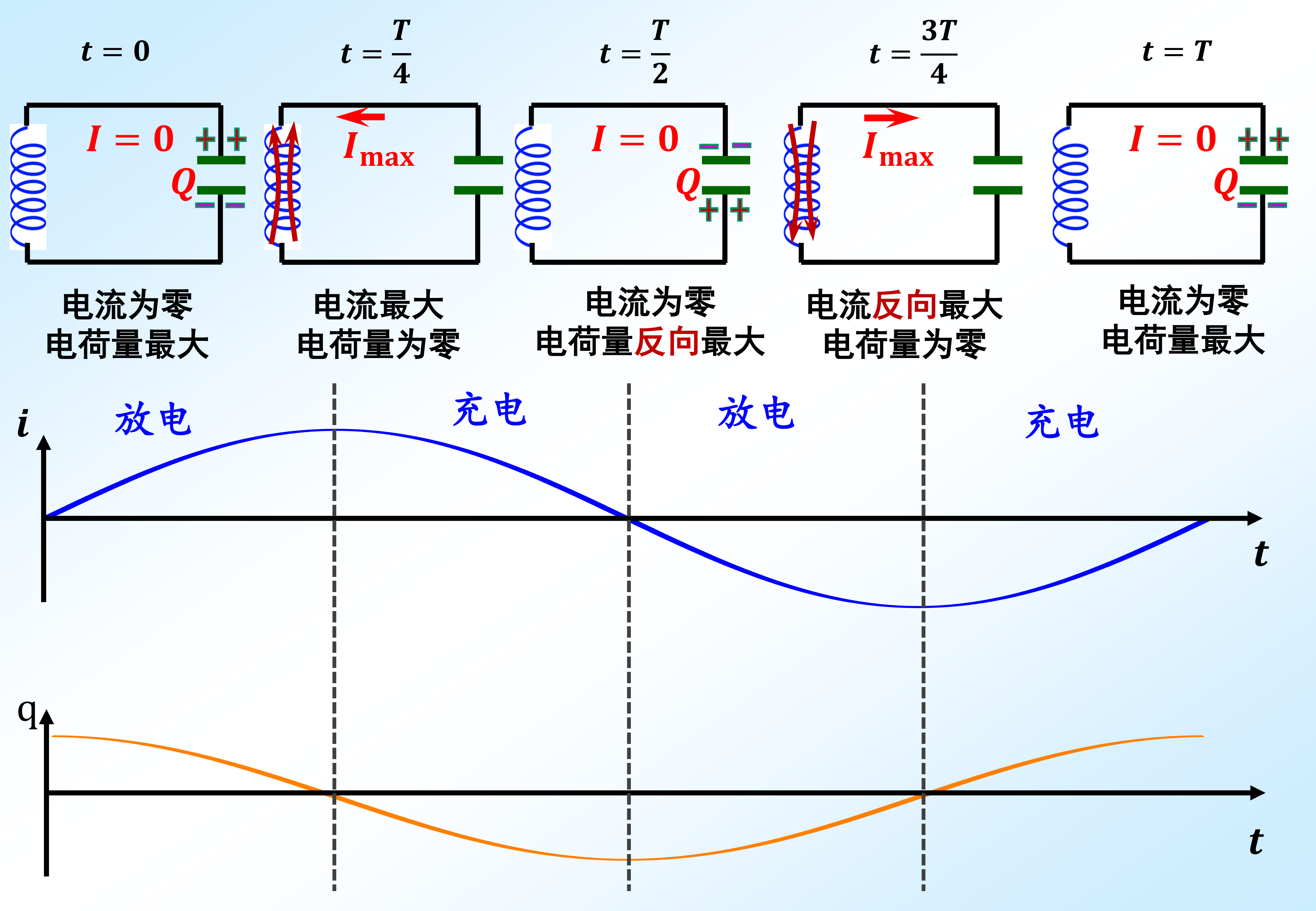
电磁振荡 $$\boxed{\frac{d^2q}{dt^2}+\omega_0^2q=0}$$

振荡频率 $$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

电流的变化超前电量 $\pi/2$

电量随时间的变化 $$q=Q\cos(\omega_0t+\varphi)$$

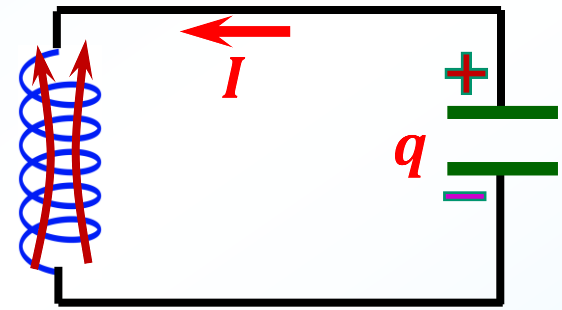
电流随时间的变化 $$i=-\omega Q\sin(\omega_0t+\varphi)=I_0\cos(\omega t+\phi+\frac{\pi}{2})$$



$t=0$
$t=\frac{T}{4}$
$t=\frac{T}{2}$
$t=\frac{3T}{4}$
$t=T$
$I=0$
Q
I_{max}
$I=0$
Q
I_{max}
$I=0$
Q
电流为零
电荷量最大
电流最大
电荷量为零
电流为零
电荷量反向最大
电流反向最大
电荷量为零
电流为零
电荷量最大
i
放电
充电
放电
充电
t
q
t

LC电路的能量

$$\boxed{q = Q\cos(\omega_0 t + \varphi)}$$



电容：储存电能

$$W_e = \frac{q^2}{2C} = \frac{Q^2}{2C}\cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$

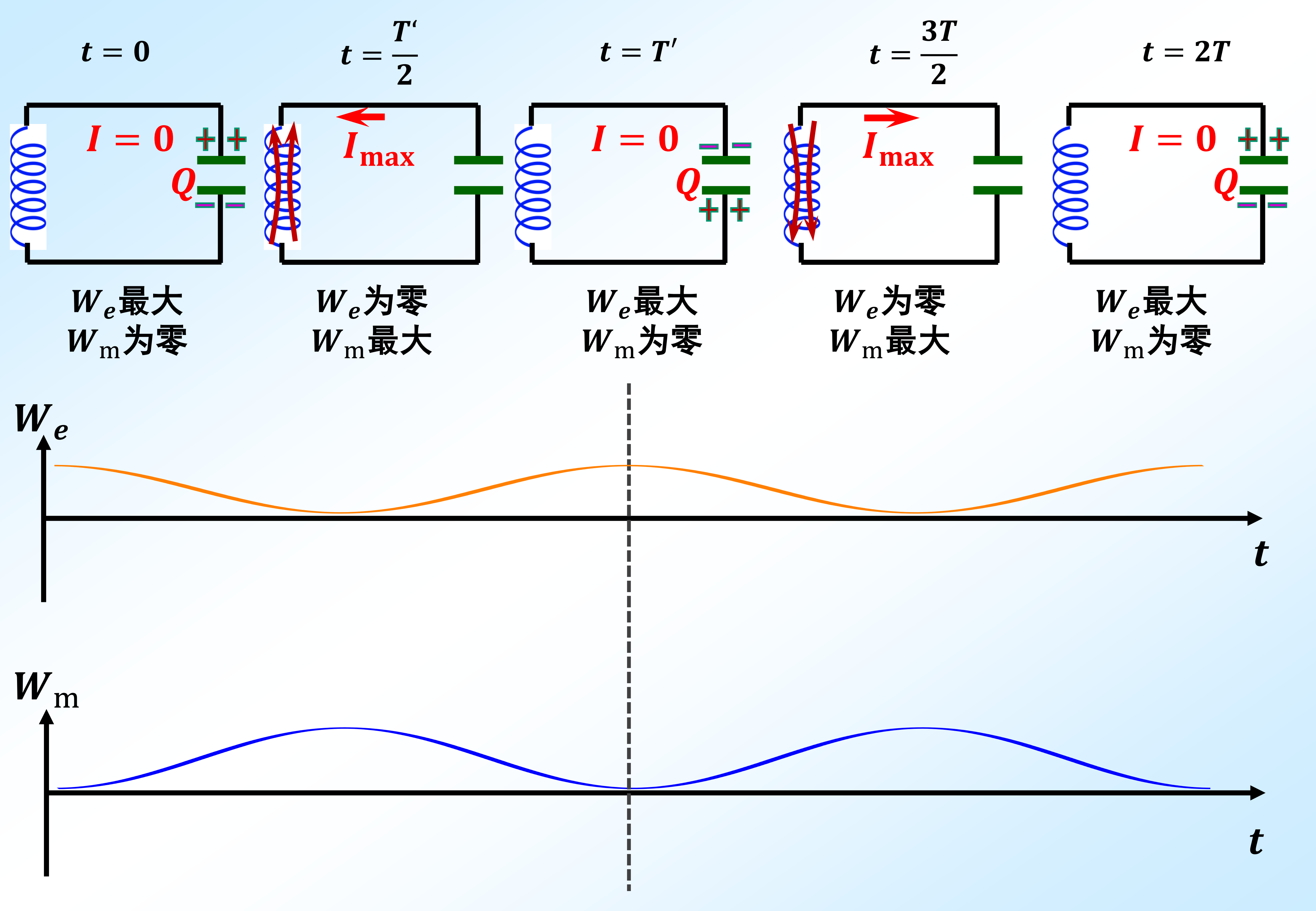
电感：储存磁能

$$W_m = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}L\left(\frac{dq}{dt}\right)^2 = \frac{L}{2}Q^2\omega_0^2\sin^2(\omega_0 t + \varphi) \qquad \boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

$$= \frac{Q^2}{2C}\sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$

$$W = W_e + W_m = \frac{Q^2}{2C}$$ **总能量守恒** $$\langle W_e\rangle = \langle W_m\rangle = \frac{Q^2}{4C}$$

能量的转换完全类似于机械振动，转换周期是振荡周期的一半



t = 0
t = T‘/2
t = T′
t = 3T/2
t = 2T
I = 0
+ +
Q
− −
I max
I = 0
− −
Q
+ +
I max
I = 0
+ +
Q
− −
W e最大
W m为零
W e为零
W m最大
W e最大
W m为零
W e为零
W m最大
W e最大
W m为零
W e
t
W m
t

q、I、W_e、W_m 都在周期性变化，产生电磁振荡。

与简谐振动的比较

弹簧振子	LC 电路	对应关系
$\frac{1}{2}kx^2$	$\frac{1}{2}\frac{1}{C}q^2$	$x \to q$
		$k \to \frac{1}{C}$
$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}Li^2$	$v \to i$
$v = \frac{dx}{dt}$	$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$	$m \to L$

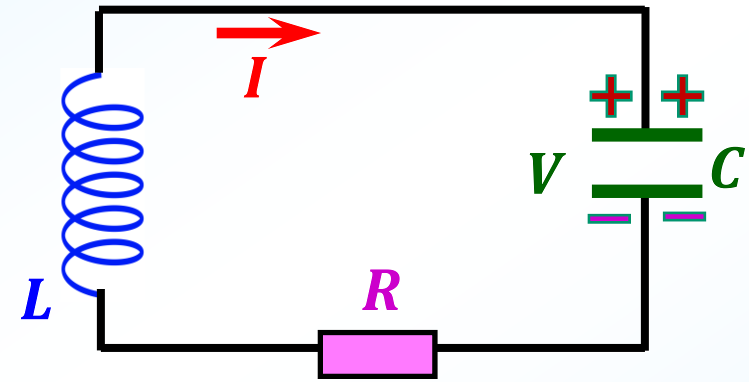
电量随时间的变化：

$$q = Q\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

LC 电路振荡频率：

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{LC}}}$$

2. *LC*电路---有阻尼振荡



实际电路中总是有电阻存在，

设t时刻电容两端电荷为q，电流为I，

电容两端电压：

$$V = q/C$$

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad V + IR = -L\frac{dI}{dt}$$

$$\boxed{\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \qquad 2\beta = \frac{R}{L}}$$

$$\therefore\ \frac{q}{C} + R\frac{dq}{dt} = -L\frac{d^2q}{dt^2} \Longrightarrow \frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta\frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$$

当电阻较小时：$\beta < \omega_0 \quad R < 2\sqrt{L/C}$

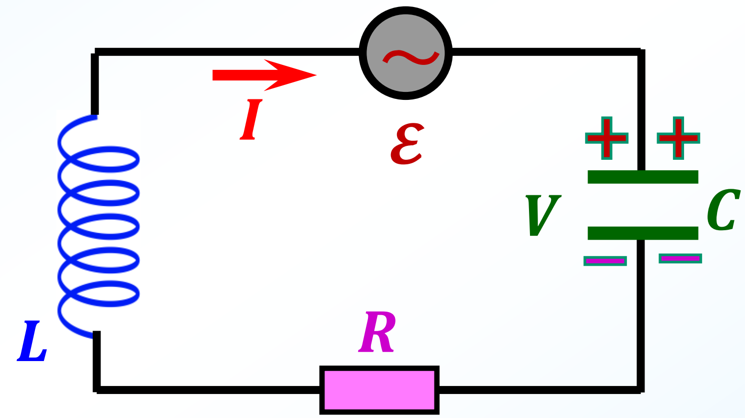
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

$$q = q_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi)$$ **能量会逐渐被损耗**

受迫振荡

在电路中加入周期性的电动势

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \Omega t$$



受迫振动的方程为：

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = \frac{\mathcal{E}_0}{L} \cos \Omega t$$

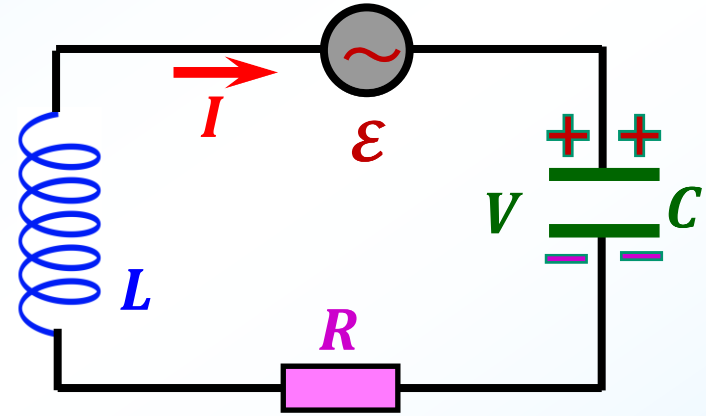
振荡达到稳定时的振动方程为：

$$\begin{cases} q = q_0 \cos(\Omega t + \varphi) \\ I = I_0 \sin(\Omega t + \varphi) \end{cases}$$

当交流电动势角频率满足：$\Omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

振荡电流有最大振幅，产生电共振（谐振）。

二 电磁波的发射和传播



机械波：机械振动 + 连续弹性媒质

电磁波： *LC*振荡电路起振

媒质：电磁波的传播不需要媒质

变化的电场和变化的磁场互相激发向前传播

根据麦克斯韦方程组：$\nabla \times \vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\nabla \times \vec{B} = \mu\varepsilon \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

$$\nabla \times \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = -\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu\varepsilon}\nabla \times \left(\nabla \times \vec{B}\right) = -\frac{1}{\mu\varepsilon}\nabla^2 \vec{B}$$

$$\boxed{\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu\varepsilon}\nabla^2 \vec{B}}$$

同理可得：

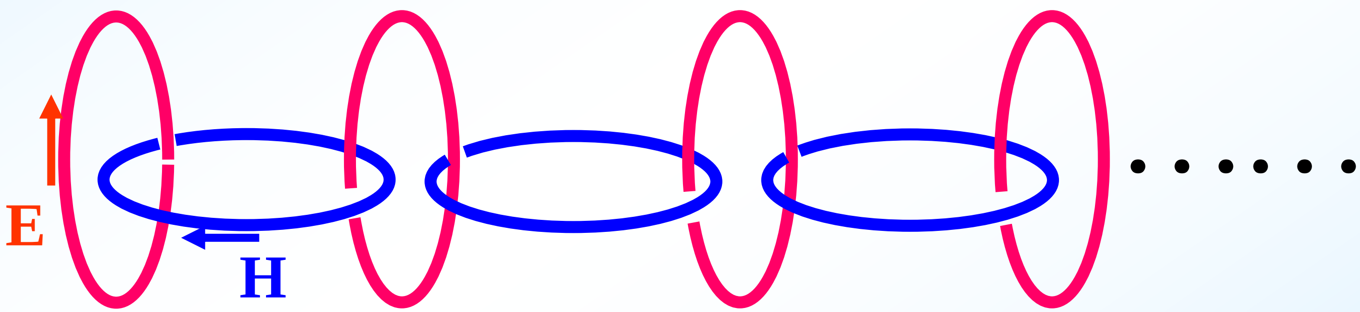
$$\boxed{\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu\varepsilon}\nabla^2 \vec{E}}$$

1) 电磁波产生的条件

波源----电磁振荡源

根据麦克斯韦电磁理论：

变化的磁场与变化的电场互相激发从而形成电磁波。



问题：*LC*振荡电路能否作为电磁波源？　　不能

电场和磁场分别集中在电容器和电感线圈里；

*LC*振荡电路里振荡频率ω较低，辐射功率很小。

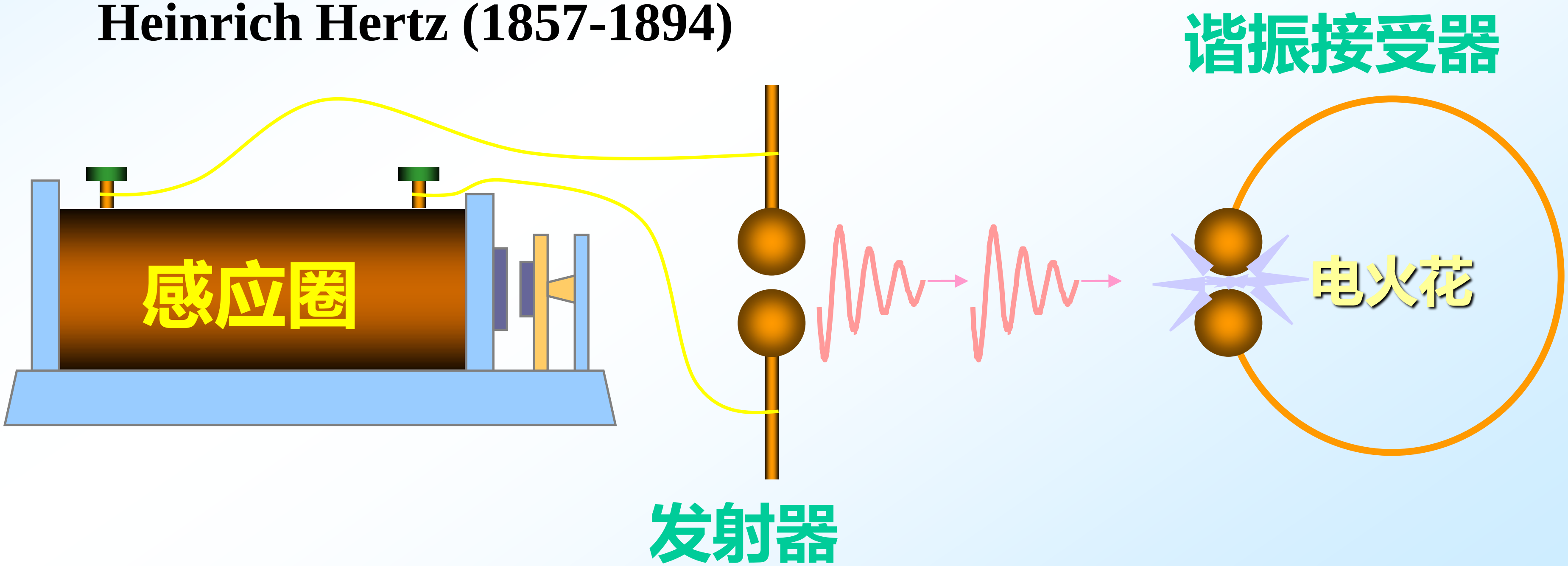
赫兹实验

Heinrich Hertz (1857-1894)

首次实现了电磁波的发送和接收。

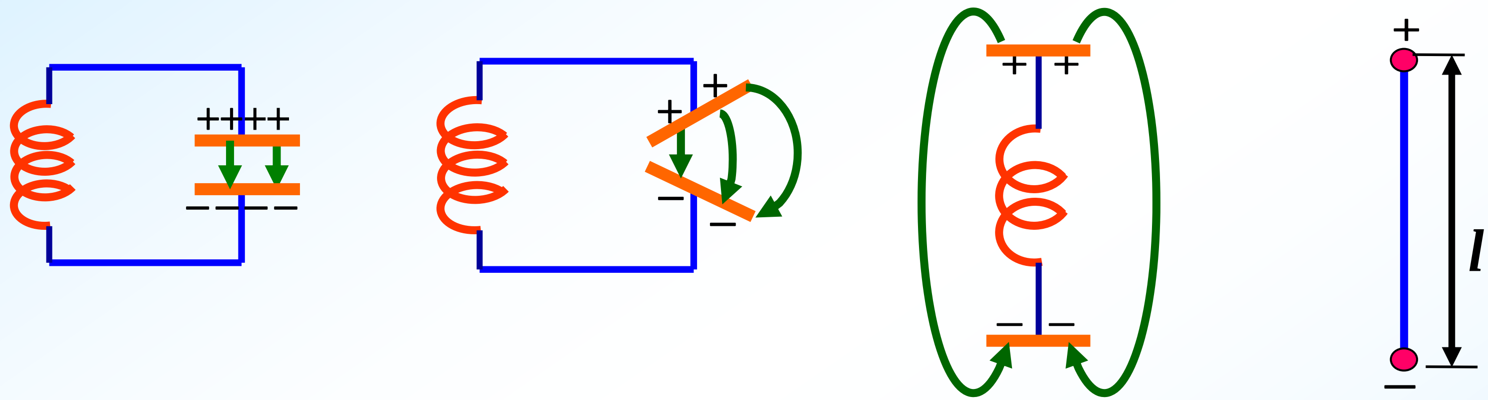
演示实验：

电磁波的发射和接收



赫兹实验

1. 开放电路把电磁振荡放出来；
2. 提高振荡频率ω：$\omega = 1/\sqrt{LC}$　$C = \frac{\varepsilon S\downarrow}{d\uparrow}$　$L = N^2\downarrow$



利用电偶极子产生电磁振荡，
发射天线发射电磁波。

发射天线上电流在往复振荡，两端出现正负交替等量异号电荷

$$q = q_0 \cos \omega t$$

$$p = ql = q_0 l \cos \omega t$$

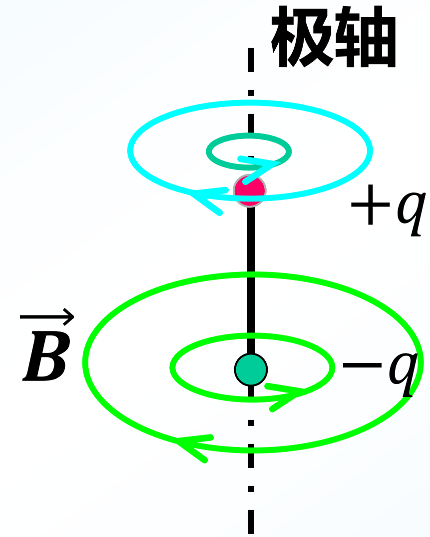
电路中存在振荡偶极子

可以视为定量电荷在天线两端往复运动起振！

2) 振荡电偶极子周围的电磁场

$\vec{B}$线 ——绕极轴圆周线

$\vec{E}$线 ——腰形闭合线



振荡电偶极子辐射球面电磁波

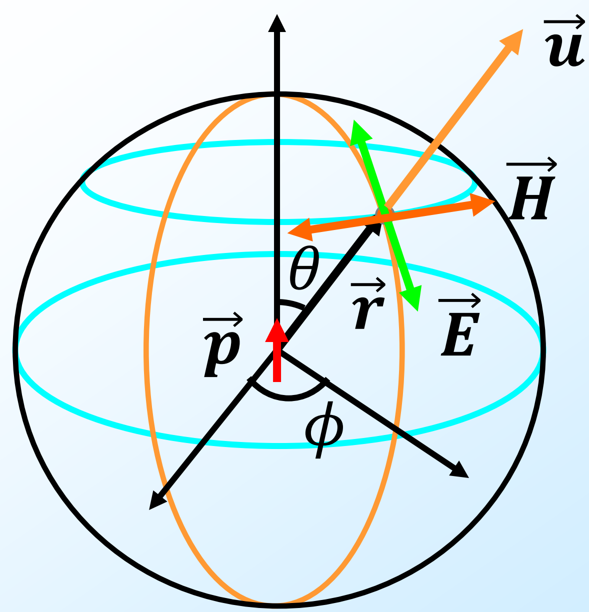
$\vec{u}$ 沿 $\vec{r}$ 方向; $\vec{E}$ 沿经线振荡, $\vec{H}$ 沿纬线振荡。

电磁波的特点:

（1）横波

（2） E, H 振幅$\propto \dfrac{\sin\theta}{r}$

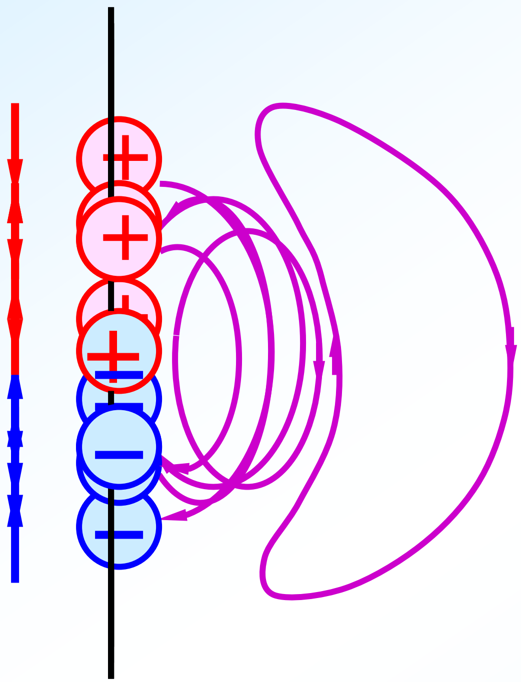
$$\begin{cases} \theta = 0, \pi;\ E_m = H_m = 0 \\ \theta = \dfrac{\pi}{2};\ E_m, H_m \text{有最大值} \end{cases}$$

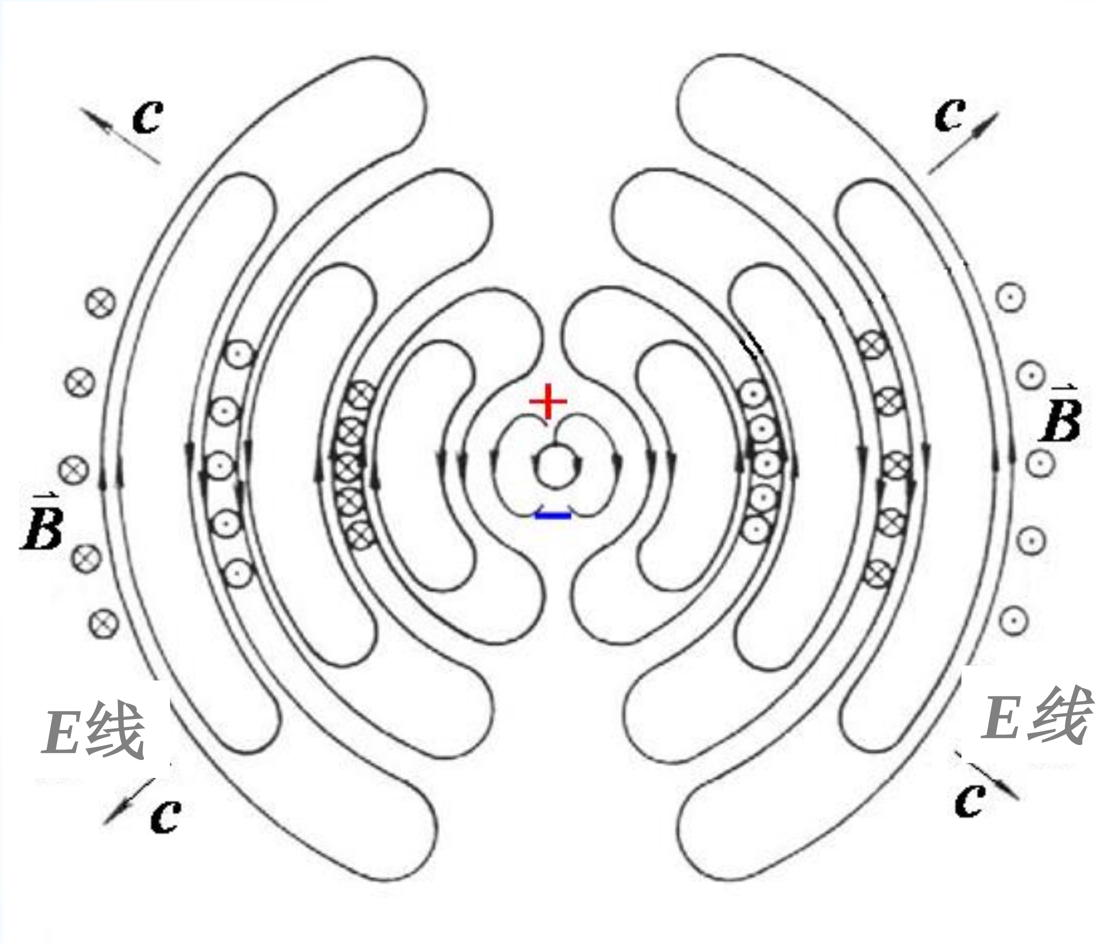


不同时刻振荡电偶极子附近的电场线

振荡电偶极子附近的电磁场线

$$p = p_0 \cos \omega t$$



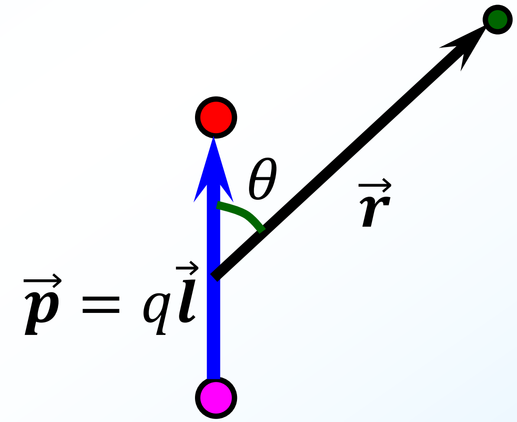


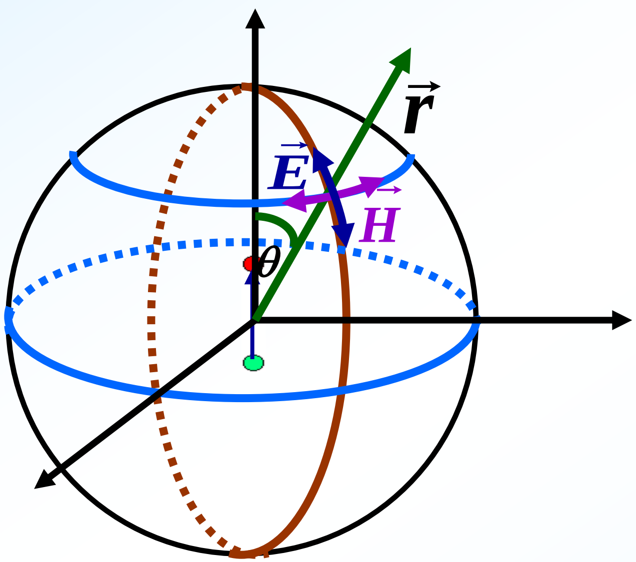
2. 电磁波的波函数

振荡电偶极子向空间(各向同性介质)发射的电磁波是球面波。

1). 球面波

$$\begin{cases} E = E_m \cos\omega\left(t - \dfrac{r}{u}\right) & E_m = \dfrac{\omega^2 p_0 \sin\theta}{4\pi\varepsilon u^2 r} \\ H = H_m \cos\omega\left(t - \dfrac{r}{u}\right) & H_m = \dfrac{\omega^2 p_0 \sin\theta}{4\pi u r} \end{cases}$$





$\vec{u}$沿$\vec{r}$方向;

$\vec{E}$沿经线振荡,偶极子交叠;

$\vec{H}$沿纬线振荡,偶极子垂直;

特点:

a). 横波,$\vec{E},\vec{H},\vec{r}$右手螺旋;

b). $E_m, H_m \propto \dfrac{\sin\theta}{r}\begin{cases} \theta = 0, \pi \;\; E_m = H_m = 0 \\ \theta = \pi/2 \;\; E_m, H_m \text{ 最大} \end{cases}$

2). 平面电磁波

球面波在很远处可以被近似看成平面波

波动方程：

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{u^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \Rightarrow E_y = E_{ym}\cos\omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

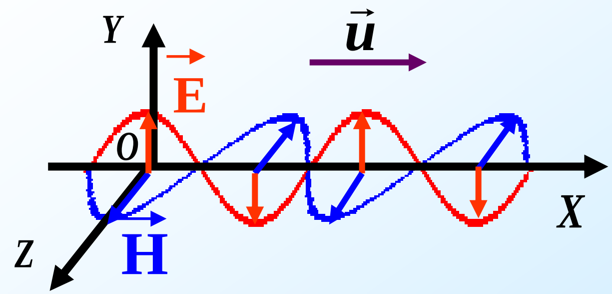
$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = \frac{1}{u^2}\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \Rightarrow H_z = H_{zm}\cos\omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

$$u^2 = \frac{1}{\mu\varepsilon}$$

性质：

a). $\vec{E} \perp \vec{H}$，$\vec{E}, \vec{H}, \vec{r}$ 右手螺旋；

b). $\vec{E}$和$\vec{H}$ 同相位；



c). $\boxed{\sqrt{\varepsilon}E = \sqrt{\mu}H}$ $\quad E = \mu u H$

d). 速度 $u = \dfrac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \dfrac{c}{\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}} = \dfrac{c}{n}$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} = 3\times10^8 m/s$$

电磁波的频率等于偶极子的振荡频率。

思考有得：

根据麦克斯韦方程组及电磁波波动方程，证明

$$\boxed{\sqrt{\varepsilon}E = \sqrt{\mu}H}$$

3) 电磁波的能量

电场能量密度： $w_e = \frac{1}{2}\vec{\boldsymbol{D}}\cdot\vec{\boldsymbol{E}} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$

磁场能量密度： $w_m = \frac{1}{2}\vec{\boldsymbol{H}}\cdot\vec{\boldsymbol{B}} = \frac{1}{2}\mu H^2$

总能量密度： $w = w_e + w_m = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 + \frac{1}{2}\mu H^2$

$$= \varepsilon E^2 = \mu H^2 = \sqrt{\mu\varepsilon}EH = EH/u$$

能流密度： $S = wu = EH$ $\quad \vec{\boldsymbol{S}} = \vec{\boldsymbol{E}} \times \vec{\boldsymbol{H}}$ 坡印亭矢量

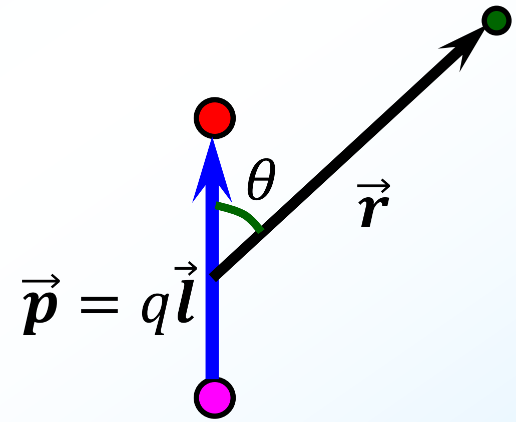
$$E = E_m \cos\omega\left(t - \frac{r}{u}\right) \quad H = H_m \cos\omega\left(t - \frac{r}{u}\right)$$

平均能流密度： $\langle S\rangle = \frac{1}{2}E_m H_m$

对于球面波：

$$E_m = \frac{\omega^2 \mu p_0 \sin\theta}{4\pi r} \qquad H_m = \frac{\omega^2 p_0 \sin\theta}{4\pi u r}$$

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2} E_m H_m = \frac{1}{2} \frac{\omega^4 \mu p_0^2 \sin^2\theta}{u(4\pi r)^2}$$



(a). $\langle S \rangle \propto \omega^4$

增加振荡频率可以大幅提高辐射强度

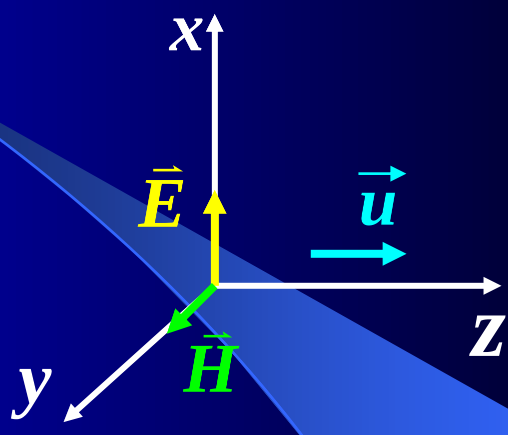
(b). $\langle S \rangle \propto \sin^2\theta$

沿偶极子方向辐射为零，
垂直偶极子方向辐射最强。

例1. 已知真空中电磁波的电场表达式

$$E_x = 0.5\cos[2\pi\times10^8(t-\frac{z}{3\times10^8})]\ \text{V/m}$$

$$E_y = 0 \qquad E_z = 0$$



求（1）$\vec{E}$ 的振幅、频率、波长、波速、传播方向？

（2）$\vec{H}$ 的表达式?

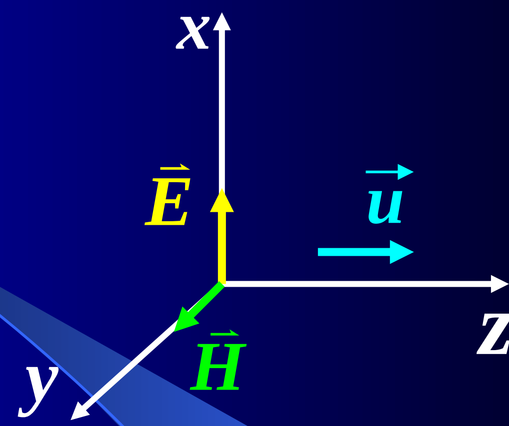
解： （1） $E_0 = 0.5\ \text{V/m}$ $\quad \nu = 10^8\ \text{Hz}$

$$c = 3\times10^8\ \text{m/s} \qquad \lambda = \frac{c}{\nu} = 3\ \text{m}$$

沿z正向传播

（2）$\because \vec{H} \perp \vec{E}$ 且 $\vec{E} \times \vec{H}$沿$\vec{u}$ $\vec{H}$沿y轴振动

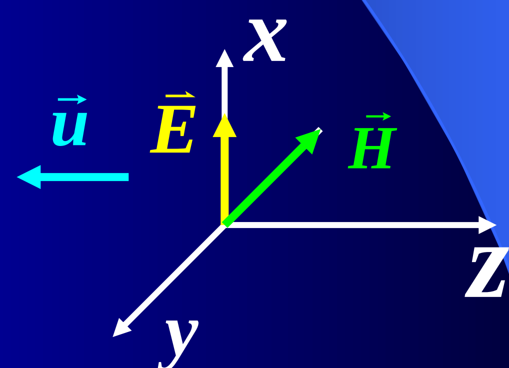
$$\therefore H_x = H_z = 0$$



$$H_y = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E_0 \cos[2\pi \times 10^8 (t - \frac{z}{3\times 10^8})]$$

$$= 1.32\times 10^{-3} \cos[2\pi \times 10^8 (t - \frac{z}{3\times 10^8})] \text{ A/m}$$

讨论：若波沿 z 轴反向传播，方程如何？



$$E = E_x = E_0 \cos\omega(t + \frac{Z}{u})$$

$$H = H_y = -H_0 \cos\omega(t + \frac{Z}{u})$$ 其中 $$H_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E_0$$

例2. 真空中的平面电磁波，某时某点的 $E = 50\text{V/m}$，求该时刻该点的 B、H、w 和 S 的大小。

解：由 $B=\mu_0 H$、$\sqrt{\varepsilon_0}E_0=\sqrt{\mu_0}H_0$ 和 $c=\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ 得：

$$B=\frac{E}{c}=\cdots\text{T} \qquad H=\frac{B}{\mu_0}=\cdots\text{A/m}$$

$$w=\varepsilon_0 E^2=\cdots\text{J/m}^3 \qquad S=EH=\cdots\text{J/(m}^2\cdot\text{s)}$$

例3：在地面上测得太阳光的平均能流密度约为1.4kW/m²。

（1）求E和B的最大值；

（2）从地球到太阳的距离约为1.5×10^{11}m，试求太阳的总辐射功率。

解: (1) $$S=\frac{1}{2}E_m H_m=\frac{1}{2}E_m\cdot\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_m$$

$$E_m^2=2\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\bar{S}=2c\mu_0\bar{S}$$

$$E_m=\sqrt{2c\mu_0\bar{S}}=1.03\times10^3\,\mathrm{V/m}$$

$$B_m=\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}E_m=\frac{E_m}{c}=3.43\times10^{-6}\,\mathrm{T}$$

(2) $$P=\bar{S}\cdot4\pi r^2=3.96\times10^{26}\,\mathrm{W}$$