普物复习

191220090 沈天杰

2020 年 8 月 13 日

目录

1　力学

1.1　牛顿定律

1. 第三定律中的力只是宏观的经典概念，超出这个范围并不好用。
2. 考虑到相互作用传递低于光速后的图像。

1.1.1　考题

主要是受力分析。惯性力。
相对运动，恒力作用下的直线运动曲线运动，滑轮模型，摩擦力，变力作用下的直线运动。

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx}v$$

1.2　动能，机械能

若定义无限远处为引力势能零点

$$E_p = -\frac{GmM}{r}$$

一对非保守内力(耗散力)做负功，使系统动能减少。
机械能守恒(质点在只受保守力场的作用时)

$$E_K + V_A = const$$

其中E_K为质点动能，V为质点在保守力场中的势能。

1.3　动量，角动量，守恒律

1.3.1　动量

1. 动量定理只适用于惯性系，对非惯性系。。。
2. 在牛顿力学的理论体系中，动量守恒定律是牛顿定律的推论。但动量守恒定律是更普遍、更基本的定律，它在宏观和微观领域、低速和高速范围均适用

经典例题

例：以铁锤将一铁钉击入木板，第一次将铁钉打入的深度为s，如木板对铁钉的阻力正比于铁钉进入的深度，问第二次将铁钉打入多深？（提示：假定每次铁锤以相同的速率打击铁钉，且铁锤和铁钉的碰撞为完全非弹性碰撞。）

动量定理：$Mv_0 = (M+m)v$

动能定理：$\frac{1}{2}(M+m)v^2 = \int_0^s (cx)dx = \frac{1}{2}cs^2$

第二次，类似有 $\frac{1}{2}(M+m)v^2 = \int_s^{s_2} (cx)dx = \frac{1}{2}cs_2^2 - \frac{1}{2}cs^2$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}cs_2^2 - \frac{1}{2}cs^2 = \frac{1}{2}cs^2 \Rightarrow s_2 = \sqrt{2}s$$

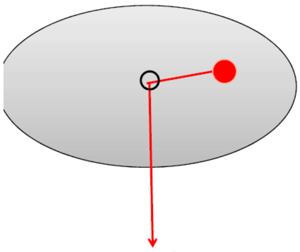
$\Delta s = s_2 - s = (\sqrt{2}-1)s$　　可以证明：$s_n = \sqrt{n}s$

子弹质量忽略不计

1.4 角动量

有心力：角动量守恒$L = J\omega = Mt$

例：一质量为m的小球用一绳子系着，以角速度ω在无摩擦的水平面上作半径为r的圆周运动。如果在绳子的另一端用一竖直向下的拉力，使小球圆周运动的半径变为r/2，求小球的新角速度和拉力做的功。



由角动量守恒可得，

$$rm\omega r = \frac{r}{2}m\omega'\frac{r}{2}$$

$$\Rightarrow \omega' = 4\omega$$

作功： $A = \frac{1}{2}m(4\omega\frac{r}{2})^2 - \frac{1}{2}m(\omega r)^2 = 3\bullet\frac{1}{2}m(\omega r)^2$

1.5 刚体

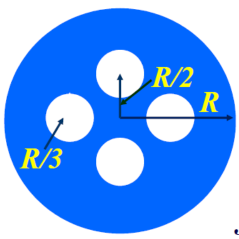
转动惯量

$$J = \begin{cases} mR^2 & \text{圆环} \\ \frac{1}{2}mR^2 & \text{圆环直径；圆盘} \\ \frac{2}{5}mR^2 & \text{球体} \\ \frac{2}{3}mR^2 & \text{球壳} \\ \frac{1}{3}mR^2 & \text{细棒(端点)} \\ \frac{1}{12}mR^2 & \text{细棒(中心轴)} \end{cases}$$

例：求图中圆柱体绕中心轴的转动惯量，设圆柱体的质量为***m***，半径为***R***，四个圆柱形空洞的半径均为***R*/3**，它们的中心到圆柱体中心距离为***R*/2**。

解：设填满后每个小圆柱的质量为**m'**，则

$$\frac{m+4m'}{m'} = \frac{\pi R^2 l}{\pi(\frac{1}{3}R)^2 l} \Rightarrow m' = m/5$$



设填满后整个圆柱体对中心的转动惯量为J_1，四个填满的小圆柱对中心轴的转动惯量为J_2, 则中空圆柱的为

$$J = J_1 - J_2 = \frac{1}{2}(m+4m')R^2 - J_2$$

利用平行轴定理：$J_2 = 4\left\{\frac{1}{2}m'(\frac{1}{3}R)^2 + m'(\frac{1}{2}R)^2\right\} = \frac{11}{45}mR^2$

最后得到：$J = \frac{59}{90}mR^2$

s

$$\begin{cases} r \sim \theta \\ v \sim \omega \\ a \sim \alpha \\ F \sim M \\ m \sim J \end{cases}$$

对滑轮

$$M = FR = J\alpha$$

平行轴定理

$$J = J_c + md^2$$

2 气体运动论

理想气体物态方程

$$pV = vRT$$

$$p = \frac{m}{VM}RT = \frac{NM_0}{VN_A m_0}RT = n\frac{R}{N_A}T = nk_BT$$

玻耳兹曼常数$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.39 \times 10^{-23}(J/K)$

麦克斯韦速率分布律:

$$f(v) = 4\pi(\frac{m}{2\pi kT})^{3/2}e^{-mv^2/2kT} \cdot v^2$$

其中m为单个粒子质量，k为玻尔兹曼常数

方均根速率

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n} v_i^2 N_i}{N}}$$

最概然速率v_p:出现次数最多的速率

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

$$\overline{v} \approx 1.1v_p$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \approx 1.2v_p$$

平均平动动能

$$\overline{\varepsilon_k} = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}k_BT$$

自由度i

单原子分子	3
双原子分子	5
多原子分子	6

内能$U = v\frac{i}{2}RT$

3　热力学

- 热力学第零定律定义了温度这一物理量，指出了相互接触的两个系统，热流的方向。
- 热力学第一定律指出内能这一物理量的存在，并且与系统整体运动的动能和系统与环境相互作用的势能是不同的，区分出热与功的转换。
- 热力学第二定律涉及的物理量是温度和熵。熵是研究不可逆过程引入的物理量，表征系统透过热力学过程向外界最多可以做多少热力学功。
- 热力学第三定律认为，不可能透过有限过程使系统冷却到绝对零度。

1. 热力学第零定律：在不受外界影响的情况下，只要A和B同时与C处于热平衡，即使A和B没有热接触，他们仍然处于热平衡状态。这个定律说明，互相处于热平衡的物体之间必然具有相等的温度。
2. 热力学第一定律：能量守恒定律对非孤立系统的扩展。此时能量可以以功W或热量Q的形式传入或传出系统。热力学第一定律表达式为：$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int,f}} - E_{\text{int,i}} = Q - W$
3. 热力学第二定律：孤立系统熵（失序）不会减少——简言之，热不能自发的从冷处转到热处，而不引起其他变化。任何高温的物体在不受热的情况下，都会逐渐冷却。这条定律说明第二类永动机不可能制造成功。热力学第二定律也可表示为熵增原理：$\Delta S \geq 0 \Delta S \geq 0$。
4. 热力学第三定律：完整晶体于绝对温度零度时（即摄氏-273.15度），熵增为零。

3.1　热一

等容变化,等压变化，绝热变化

$$C_{V,m} = \frac{i}{2}R$$
$$C_{p,m} = \frac{i+2}{2}R$$

绝热过程物态方程

$$pV^{\gamma} = V^{\gamma-1}T = p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = C$$

3.2　热二

热机效率

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

熵（可逆过程公式）

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

可逆的绝热过程是等熵过程。等熵过程的对立面是等温过程，在等温过程中，最大限度的热量被转移到了外界，使得系统温度恒定如常。由于在热力学中，温度与熵是一组共轭变量，等温过程和等熵过程也可以视为“共轭”的一对过程。

4 静止电荷的电场

基本物理量: 电荷　电场强度　电势[1]
基本定律:电荷守恒定律,库仑定律,场强叠加原理,高斯定律,安培环路定理

4.1 电场、电荷　库仑定律

$$\vec{F_{12}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}(\frac{\vec{r_{12}}}{r_{12}})$$

其中$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8.988 \times 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$
考题：库仑定律和力的叠加原理

4.2 电场　电场强度

电场强度是随位置而变的矢量场

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r} \quad \text{点电荷的场强}$$

场强叠加原理离散与连续。

考题1：两电荷连线的中垂面上任意一点P的电场强度
电偶极子(或称电偶极矩):$\vec{p} = q\vec{l}$
电偶极子在其延长线上远场点电场强度$E = \frac{p_e}{2\pi\epsilon_0 r^3}$
注意 1) l很小(相对于r) 2) 方向从负电荷指向正电荷。
点P的电场强度方向与电偶极子相反。电偶极子的电场强度是立方衰减的。
考题2：无限长均匀带电细棒中垂面上的场强分布

$$E_y = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2\lambda}{a}$$

其中a为待测点到细棒距离。
考题3：带电圆环轴线上的电场强度。P点离环心的距离为x。

$$\vec{E} = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0(R^2+x^2)^{3/2}}\hat{i}$$

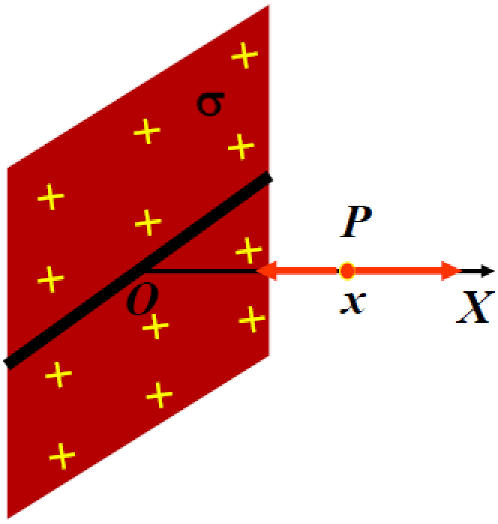
当$x \to \infty$电场强度时等同于点电荷
考题4：带电圆盘轴线上的电场强度。圆盘半径为R,面密度为σ：

$$E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}(1 - \frac{1}{\sqrt{1+R^2/x^2}})$$

1)R≪x　点电荷
2)R≫x　$E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$　相当于无限大板。匀强电场，和距离无关。
考题5无限大面和无限长线上电荷的综合运用（重点）

[1]电势梯度与场强

例：如图所示，一无限大的带电平板，电荷面密度为σ，但中间有一宽为*a*的细长线。求X轴上一点P处的电场强度。（细长线不带电）



板均匀带电　　线上带负电

$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma a}{2\pi\varepsilon_0 x}$$

$$=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(1-\frac{a}{\pi x})$$

总结:计算场强分布的三种办法：

1。库仑定律+场强叠加原理2。电荷对称性分布：高斯定理3。电势梯度

4.3 电场线

电场线：电场线上每一点的切线方向都与该点的场强E方向一致；在与电场强度垂直的单位面积中，所穿过的电场线根数与该处的场强大小成正比。

$$dN \sim EdS \quad E \sim dN/dS$$

即：场强正比于与其垂直的单位面积内穿过的电力线根数。

性质：

1. 起自正电荷（或无限远），终止于负电荷（或伸向无穷远），但不会在没有电荷的地方中断。(高斯定理)
2. 静电场的电场线不能形成闭合曲线，无旋场。(环路定理)
3. 电力线越密的地方，场强越大；电力线越疏的地方，场强越小。
4. 任何两条电场线不会相交。
5. 电场线的方向反映正电荷在各点的受力方向，但电场线不是正电荷的运动轨迹。

借助电场线，引入电场强度通量$\psi_E = ES$

对整个曲面积分可求得面积为S的任意曲面E通量

$$\psi_E = \iint_S Ecos\theta dS = \iint_S E \cdot dS$$

S为闭合曲面时,曲面内部穿出E通量为正，外部穿入E通量为负。

$$\psi_E = \oiint_S Ecos\theta dS = \oiint_S E \cdot dS$$

4.4 高斯定理

以点电荷q为球心的球面的E通量都等于q/ϵ_0
通过电场中任一闭合曲面的总电通量，等于该曲面内包围的所有电荷电量的代数和除以ϵ_0，而与闭合面外的电荷无关。

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0}\sum_{\text{S内}} q_i$$

虽然高斯面上的电通量只和内部电荷量有关，但不能说：高斯面上电场只是由内部电荷决定的。高斯面上的电场是由全空间电荷共同决定的。
高斯定理的应用
适用情况：通常是具有某种对称性的电场–轴对称、球对称、均匀场等。
应用方法：先作对称性分析。
静电场是有源场.

4.5 静电场的环路定理、电势（电位）

4.5.1 环路定理

场强环路定理——静电场中，沿任一闭合路径场强的环流等于零.

$$\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$$

物理含义：静电场是保守力场(可定义电势能和电势)；微分形式即无旋场。

4.5.2 电势（电位）

电场中a点的电势是描写电势能[2]的物理量。

$$V_a = w_a/q_0 = -\int_{\text{参}}^{a} \vec{E}\cdot d\vec{l}$$

特殊的 单个点电荷电势为$\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$
电势叠加原理：点电荷电场中一点的电势，等于每一点电荷单独在这一点所产生的电势的代数和。
考题：带电q半径R球壳

1. 球壳场强

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 & (0 \le r < R) \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r} & (R \le r < \infty) \end{cases}$$

2. 球壳电势

$$V(r) = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} & (0 \le r < R) \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & (R \le r < \infty) \end{cases}$$

计算电势的方法： 1。先计算场强，然后积分计算 2。叠加原理。

[2]电荷q_0在电场中某点a具有的电势能等于电场力将此电荷从参考点移至a点电场力所作的功的负值。

4.6 等势面 电场强度与电势梯度的关系

等势面性质:

- 等势面与电力线处处正交。
- 等势面密集的地方场强大，稀疏的地方场强小。

由梯度的定义，有$dV = \nabla V \cdot d\vec{l}$
场强方向即梯度逆方向，即电势下降最快的方向。

$$\vec{E} = -\nabla V$$

其中$\vec{\nabla} \equiv \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}$ 接触后等势

4.7 静电场中的导体

4.7.1 静电平衡

静电感应最终使导体内部场强为0。达到静电平衡的状态。(有电流的电线不是静电平衡)

- 导体是等势体，表面是等势面。
- 导体表面的电场强度垂直于导体表面。

4.7.2 静电平衡导体的电荷分布与电场

静电平衡时导体中的电场特性：

- 导体内部的电场强度处处为零。且导体表面的电场强度垂直于导体的表面。
- 导体内部和导体表面处处电势相等，整个导体是个等势体。

1. 对实心导体情况
2. 对导体空腔情况
   (a) 空腔内无电荷
   (b) 空腔内有电荷

静电屏蔽：在静电平衡下，空腔导体外面的带电体不会影响空腔内部的电场分布；一个接地的空腔导体，空腔内的带电体对腔外物体不会产生影响。

4.8 电容器与电容

电容的物理含义：升高单位电势所需电量。 $C = \frac{q}{U}$ 单位：法拉F

1. 孤立导体电容定义为$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 R$
2. 平板电容器电容定义为$C = \frac{Q_A}{U_{AB}} = \frac{Q_A}{V_A - V_B} = \frac{\sigma S}{Ed} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$
   因为平板间场强为$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

4.9 静电场的能量

能量存储在场中。

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\epsilon E^2 Sd = \frac{1}{2}D \cdot E \cdot Sd$$

5 恒定电流及其磁场

5.1 恒定电流和导电定律

5.1.1 电流密度

电流密度为位置的矢量，该点正电荷移动方向。$I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$

5.1.2 电流密度与电场强度关系

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad \sigma\text{为电导率}$$

它实际上是欧姆定律的微分形式$I = \frac{U}{R}$

5.2 磁场和磁感应强度

磁感应强度B的大小可以用运动的试探电荷在磁场中的受力来表征。
洛伦兹力$\vec{F} = q_0\ \vec{v} \times \vec{B}$

5.3 毕萨定律

仿照电场，磁场的研究通过电流元Idl进行。

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

其中μ为真空磁导率,$\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} T \cdot m/A$
运动电荷激发的磁场

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \quad \rightarrow \text{平方衰减}$$

结论

$$\begin{cases} \text{无限长电流磁场：} & B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \\ \text{圆电流圆心处磁场：} & B = \frac{\mu_0 I}{2R} \end{cases}$$

5.4 磁场的高斯定理和安培环路定理

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_{\text{L内}} I_i$$

无限长直圆柱形载流导线内外空间磁场的分布

$$B = \begin{cases} \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} & (0 \leq r < R) \\ \frac{\mu_0 I}{2\pi r} & (R \leq r < \infty) \end{cases}$$

5.5 带电粒子在磁场中的运动

6 电磁感应、麦克斯韦方程组

6.1 法拉第电磁感应定律

穿过闭合回路所围曲面的磁通量发生变化时，导体回路中产生的感应电动势正比于磁通量变化率的负值

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

其中$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

6.2 感生电动势和动生电动势

6.2.1 感生电动势

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\begin{cases} \text{回路面积（S）改变：} & \text{磁场不动，导体动－－动生电动势} \\ \text{磁场（B）改变：} & \text{导体不动，磁场变－－感生电动势} \end{cases}$$

6.2.2 动生电动势

$$\Phi = Blv$$