

现代物理与人工智能-智慧清单

24 级 AI 学组整理

注：考点清单按照掌握级别分类。“定量计算”是可以出计算大题的，“定性了解”可能考概念简答题。“必会内容”是最后一节课所强调的，显然是很可能考的内容，我提供了一些与作业相似、难度相仿的定量计算习题；“自学内容”是平时上课说过要自学的部分，虽然我认为考察概率不大，但是仍然列出来（甚至附上比较难的习题）供复习时间充足且热爱难题的同学探索。

一、牛顿力学【定量计算】：

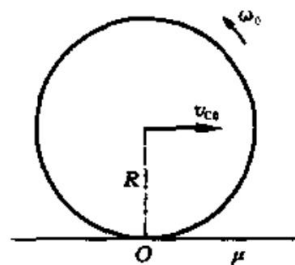
1. 【必会】掌握刚体力学的分析方法，刚体的运动分解为刚体质心的平动（牛顿第二定律）和绕着质心的转动（转动定律）
2. 【必会，去年考察】掌握刚体转动惯量的计算方法
3. 【必会】掌握刚体运动的角动量和动能的计算方法
4. 【必会，去年考察】简谐振动、简谐波的干涉与拍现象（自学：相速度、群速度）
4. 【自学】重绳模型、火箭发射模型
5. 【自学】陀螺进动与章动

习题部分

3.3 一质量为 m 、半径为 a 的均质圆球，被握着静止在另一半径等于 b 的固定圆球的顶点。其后把手放开，使其自由滚下。试证当两球连心线和竖直向上的直线间所成的角度等于 $\arccos \frac{10}{17}$ 时，此两球将互相分离。

【题 11】 如图，半径为 R 的乒乓球，绕质心轴的转动惯量 $I = \frac{2}{3} mR^2$ ， m 为乒乓球的质量，以一定的初始条件在粗糙的水平面上运动。开始时球的质心速度为 v_{C0} ，初角速度为 ω_0 ，两者的方向如图所示。已知乒乓球与地面之间的摩擦系数为 μ 。试求乒乓球开始作纯滚运动所需的时间及纯滚时的质心速度。

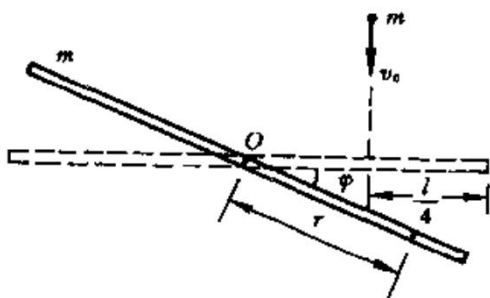
【分析】 如图，开始时乒乓球质心向右运动同时逆时针转动，表明作又滚又滑运动，所受地面摩擦力为滑动摩擦力，其大小为 μmg ，是定值。滑动摩擦力既阻滞质心的运动，也阻滞绕质心的转动，使质心速度 v_C 和转动角速度 ω 越来越小。



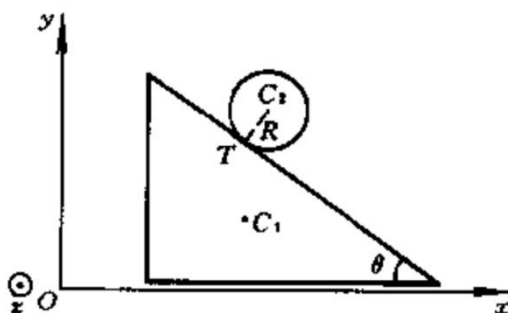
力图 6-11-1

【题5】 如图,均匀细麦杆长 l ,可绕通过中心 O 的固定水平轴在铅垂面内自由转动.开始时麦杆静止于水平位置.一质量与麦杆相同的甲虫以速度 v_0 垂直落到麦杆的 $\frac{1}{4}$ 长度处,落下后立即向端点爬行.

试问:1. 为使麦杆以均匀的角速度转动,甲虫沿麦杆爬行的速度应是多少? 2. 甲虫轨迹的参变方程是什么? 3. 为了使甲虫在麦杆转到铅直位置前能爬到端点,甲虫下落速度 v_0 的最高值是多少?



【题17】 如图,斜面体放置在光滑水平面上,斜面倾角为 θ ,一半径为 R 的圆柱体在斜面上无滑动地滚动.设斜面体和圆柱体具有相同的质量 m ,试求斜面体的加速度.

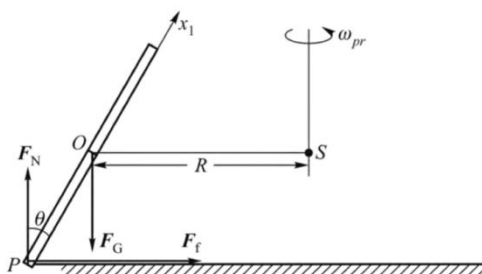


【下两题是自学内容对应的练习题, 分别是火箭发射模型、刚体进动, 有点难】

静止于太空惯性系 S 的飞船, 主体质量为 M_0 , 携带的燃料质量为 M_R , 某时刻发动机点火使飞船开始沿直线方向朝前加速运动. 已知单位时间燃烧的燃料质量为 m_0 , 燃料全部生成物的喷射速度(生成物相对飞船的朝后速度)为常量 u , 在一直到燃料烧尽的全过程中, 试求:

- (1) 飞船加速度的最小值 $a_{\min}$ 和最大值 $a_{\max}$;
- (2) 飞船末速度 v_e ;
- (3) 初始时刻飞船发动机提供的功率(单位时间燃料在燃烧过程中释放的内能, 即单位时间内系统动能的增量) P_i 和全过程时间内的平均功率 $\bar{P}$;
- (4) 发射效率(飞船最终获得的动能占发动机释放的全部燃料内能之比) η ;
- (5) $\alpha = M_R/M_0$ 为何值(给出 1 位有效数字)时, η 取极大值.

进动是指一个自转的刚体受外力作用导致其自转轴绕某一中心的旋转现象。如图所示，在一定条件下，匀质硬币将以倾斜状态做绕线圈运动，其平面与水平面的夹角 θ 不变，且绕着一竖直轴匀速进动。设硬币绕一过 S 点 (S 与 O 点等高) 的竖直轴做匀速进动，且重力加速度为 g ，硬币质量为 m ，半径为 r 。硬币绕圈运动的半径 R ，回答下列问题。



(1) 求出硬币进动角速度 ω_{pr} 的表达式。

(2) 若已知桌面的最大静摩擦系数为 μ ，求出绕圈运动半径的范围约束。

二、热力学与简单的统计物理【定量计算】：

1. 【必会】掌握理想气体状态方程
2. 【必会】掌握麦克斯韦-玻尔兹曼速率分布，知道最概然速率、平均速率、方均根速率等
3. 【必会，去年考察】掌握能均分定理，能够区分平动动能和转动动能
4. 【必会】掌握热力学第零定律、第一定律
5. 【必会】掌握热力学第二定律（数学描述/语言描述，克劳修斯表述/开尔文表述）
6. 【必会】掌握计算热机/制冷机循环效率的方法
7. 【必会】掌握卡诺定理
8. 【自学】玻尔兹曼熵的统计诠释

习题部分：

2.4 试根据麦克斯韦分布律证明：分子平动动能在 ε 到 $\varepsilon + d\varepsilon$ 区间的概率为

$$f(\varepsilon)d\varepsilon = \frac{2}{\sqrt{\pi}}(k_B T)^{-3/2} e^{-\varepsilon/k_B T} \sqrt{\varepsilon} d\varepsilon$$

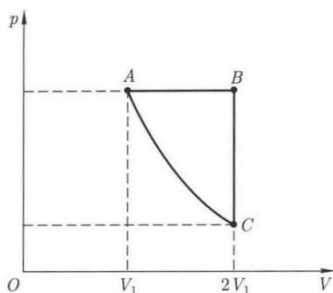
其中 $\varepsilon = \frac{1}{2}mv^2$ 。并根据上式确定分子平动动能的最概然值。

2.11 试根据麦克斯韦速度分布律，确定气体分子速度分量 v_x 的平方的平均值，并由此给出气体分子每一平动自由度所具有的平动能。

2.32 容器中盛有汞蒸气 (Hg)、氖 (Ne)、氦 (He) 的混合气体，试比较温度相同情况下这三类分子的平均动能和方均根速率。

4.24 1 mol 空气 (可视为理想气体) 进行如图所示的循环, 其中 $C \rightarrow A$ 为绝热过程, 试确定:

- (1) 循环功;
- (2) 循环效率;
- (3) 以循环中最高温度及最低温度为热源的可逆卡诺循环的效率.

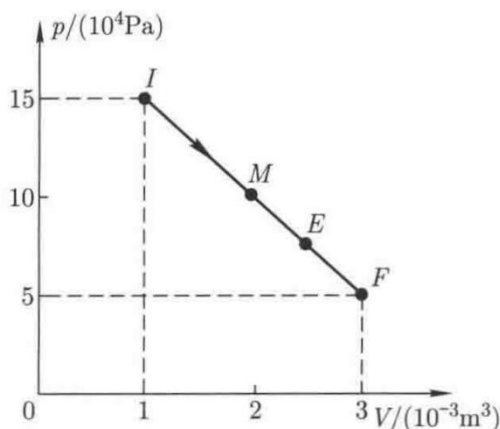


5.26 一物体的温度和热源的温度相同, 都为 T_1 . 现有一制冷机在此物体和热源之间工作, 将物体的温度从 T_1 降到 T_2 , 整个过程中制冷机从物体吸收热量 Q , 熵的减少量为 $S_1 - S_2$, 试证明: 该过程中外界所提供的功至少为 $W_{\min} = T_1(S_1 - S_2) - Q$.

5.27 两个相同的物体的定压热容量 C_p 为常量, 温度都为 T_i , 现使一制冷机在这两个物体之间工作 (保持压强不变), 把一个物体的温度降为 T_f . 试证明: 该过程所需的最小功为 $W_{\min} = C_p \left[\frac{T_i^2}{T_f} + T_f - 2T_i \right]$.

【注: 下面这道题稍微有点难】

例题 2 1 mol 单原子分子理想气体经历如图 4.15 所示 IF (一直线段) 的过程, 试讨论由 I 到 F 的过程中系统的吸放热情况.



三、电磁学【定量计算】：

1. 【必会，去年考察】掌握高斯定理计算电场、电势的方法
2. 【必会】掌握库仑定律计算电场、电势的方法
3. 【必会】电容的计算（如平行板电容器等常见电容的计算）
4. 【必会】掌握毕奥-萨伐尔定律计算磁场的方法
5. 【必会】掌握安培环路定理计算磁场的方法
6. 【必会】掌握麦克斯韦方程组的形式与含义（背过，定性）
7. 【自学】了解电介质中极化电场、极化电荷的计算
8. 【自学】了解磁介质中磁化磁感应强度、总磁场、磁化电流的计算
9. 【自学】了解磁矢势，了解用磁矢势计算磁感应强度的方法
10. 【自学】了解电偶极子的电场分布、磁矩的磁感应强度分布

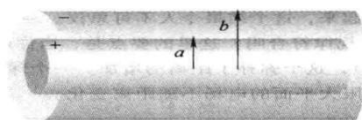
习题部分：

习题 2.15 一个中空带电球，其电荷密度在 $a \leq r \leq b$ 区域（见图 2.25）为

$$\rho = k/r^2$$

求出下列三个区域内的电场：(i) $r < a$ ，(ii) $a \leq r \leq b$ ，(iii) $r > b$ 。画出 $|E|$ 随 r 的变化图。

习题 2.16 一个长同轴电缆（见图 2.26）其内芯（半径为 a ）载有均匀的电荷，密度为 ρ ，外壳层（半径为 b ）载有均匀的面电荷。面电荷为负，大小正好使得整个电缆为电中性。求出下列三个区域内的电场：(i) 内芯里面（ $s < a$ ），(ii) 内芯与外壳层之间（ $a < s < b$ ），(iii) 电缆外部（ $s > b$ ）。画出 $|E|$ 随 s 的变化图。

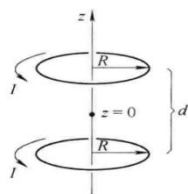


！ **习题 5.44** 半径为 R 的无限长螺线管，单位长度绕有 n 匝线圈，通有电流 I 。用毕奥-萨伐尔定律（更方便的是用适用于面电流的式(5.39)）求出螺线管内外的磁场。

习题 5.46 圆形电流中心轴线上的磁场是非常不均匀的（随着距中心点距离的增加而迅速减小）。你可以用两个相距为 d 的同样的圆电流来产生一个非常接近均匀的磁场（见图 5.60）。

(a) 作为 z 的函数求出磁场 B ，证明在两圆电流之间的中点（ $z=0$ 处） $\partial B / \partial z$ 为零。现在，如果你把 d 选取得正好使 B 的二阶导数在中点也为零，这种安排就是亥姆霍兹线圈，是一种在实验室中产生相对均匀的磁场非常有效的方法。

(b) 在中点处用 $\partial^2 B / \partial z^2 = 0$ 来决定 d ，找出中心处的磁场 [答案： $8\mu_0 I / 5\sqrt{5}R$]。



例题 5.8

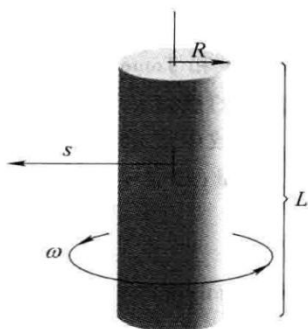
无限大的薄平板处于 xy 平面上，其面电流密度为 $\mathbf{K} = K \hat{\mathbf{x}}$ (见图 5.33)，求出它的磁场。

【下面是自学部分对应的习题，前两道题目较为正常，第三道题目非常复杂】

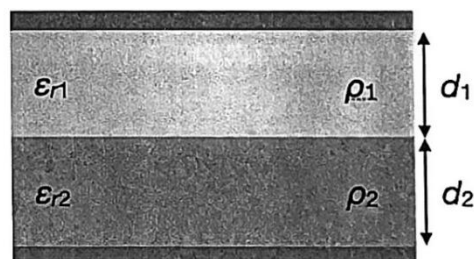
习题 5.58 一个半径为 R 的均匀带电球，总电荷量为 Q ，球绕着 z 轴以角速度 ω 旋转。图 5.65

- 球的磁偶极矩为多少？
- 求出球内部的平均磁场 (见习题 5.57)。
- 对 $r \gg R$ ，求出点 (r, θ) 处的近似磁矢势。
- 求出球外部一点 (r, θ) 处的精确磁矢势，验证它与 (c) 的结果一致。[提示：参考例题 5.11。]
- 求出球内部一点 (r, θ) 处的磁场，验证它与 (b) 的结果一致。

习题 5.61 一个半径为 R ，长为 L 的细玻璃棒，表面有均匀电荷 σ 。它关于其中心轴线以角速度 ω 旋转，找出距离棒中心轴线为 s 处的磁场， $s \gg R$ ，(见图 5.66)。[提示：将它看成许多磁偶极子来处理。]
[答案： $\mu_0 \omega \sigma L R^3 / 4 [s^2 + (L/2)^2]^{3/2}$]



如图所示的平行板电容器，面积为 A ，两板间的空间充有介质，同时介质存在漏电，可以形成传导电流。两介质层的厚度分别为 d_1 和 d_2 ，相对介电常数分别为 ϵ_{r1} 和 ϵ_{r2} ，电阻率分别为 ρ_1 和 ρ_2 。



- $t = 0$ 时刻，由外部作用给两极板瞬间带上均匀分布的自由电荷，电荷面密度分别为 σ 和 $-\sigma$ ，除此之外系统中其它位置无自由电荷。已知电场形成所需的时间远远短于电荷因电流开始转移所需的时间，在界面无自由电荷时，上下介质的电位移矢量 $\mathbf{D}$ 的法向分量是连续的。对于均匀介质，电位移矢量满足

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$$

电位移矢量与自由电荷的关系由高斯定理给出

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_c$$

其中 Q_c 为高斯面所包裹的自由电荷，不包括极化电荷。试求解 $t=0$ 时刻带电后瞬间，系统各处的电场强度、电流密度分布；

- 试求解 $t=0$ 时刻带电后瞬间，两介质界面上的自由电荷面密度和极化电荷面密度；
- 随着时间的推移，系统当中由于介质漏电产生传导电流，传导电流输送自由电荷，自由电荷可能在界面上发生堆积，试写出界面上自由电荷面密度 σ_c 随时间的变化率与两介质中电场强度之间的关系；
- 试求解界面上自由电荷面密度 σ_c 随时间的变化规律；
- 试求解系统各处的电场强度、电流密度分布随时间的变化规律；
- 足够长时间后，系统达到何种稳定状态？

四、狭义相对论【定量计算】

1. 【必会】掌握狭义相对论的两个基本假设
2. 【必会, 去年考察】掌握狭义相对论运动学 (洛伦兹变换, 尺缩、钟慢效应)
3. 【必会】掌握相对论动力学 (质能方程、三角关系)

习题:

8-6 一粒子在 S' 系的 $x'y'$ 平面内以 $\frac{c}{2}$ 的恒定速度作直线运动, 运动方向与 x' 轴的夹角 $\theta' = 60^\circ$. 已知 S' 系相对 S 系以速度 $v = 0.6c$ 沿 x 轴运动, 试据洛伦兹变换式求出粒子在 S 系 xy 平面上的运动轨迹, 若为直线, 再求出此直线的斜率.

8-9 静长为 l 的飞船以恒定速度 v 相对惯性系 S 运动, 某时刻从飞船头部发出无线电信号, 试问飞船观察者认为信号经过多长时间到达飞船尾部? 再问 S 系中的观察者认为信号经过多长时间到达飞船尾部?

8-33 飞船以 $v = \frac{3}{5}c$ 匀速度背离地球远行. 某时刻飞船朝着地球发出无线电信号, 经地球反射后又被飞船所接收, 飞船中观察者测得前后所经时间为 60 s .

(1) 飞船发信号时, 飞船系认为地球与飞船相距多远 (记为 l'_1), 地球系认为飞船与地球相距多远 (l_1)?

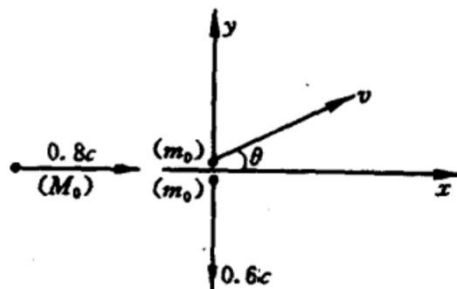
(2) 地球反射此信号时, 飞船系认为地球与飞船相距多远 (记为 l'_2), 地球系认为飞船与地球相距多远 (l_2)?

(3) 飞船接收到反射信号时, 飞船系认为地球与飞船相距多远 (记为 l'_3), 地球系认为飞船与地球相距多远 (l_3)?

8-25 如图 8-14 所示, 一个以 $0.8c$ 的速度沿 x 方向运动的粒子衰变成两个静质量同为 m_0 的粒子, 其中一个粒子以 $0.6c$ 的速度沿 $-y$ 方向运动. 若将衰变前粒子的静质量记为 M_0 , 试求:

(1) 另一个粒子运动速度的大小 v 和方向角 θ ;

(2) 比值 m_0/M_0 .



五、广义相对论【定性了解】（这部分会出一份专题讲解+习题）

1. 【必会】掌握广义相对论两个基本假设
2. 【必会，去年考察】掌握度规张量的概念以及闵可夫斯基度规、史瓦西度规（以及由史瓦西度规推出的视界半径的物理意义）两个特殊解
3. 【自学】爱因斯坦场方程的物理意义
4. 【自学】验证广义相对论的实验

六、光学【比较神秘的是最后一节课上划重点竟然没有涉及光学的内容，但是去年还是考了一点，请大家自行考虑是否要复习这里了，我列一些讲过的知识点，并且估计了一下重要性，当然，这个估计可能是错误的】

1. 【必会】光的干涉条件
2. 【自学】光的干涉的条纹间距计算（双缝干涉、等倾干涉（FP 干涉）、等厚干涉（牛顿环，测量头发丝厚度），这部分是大雾必学必考内容）
3. 【自学】光的衍射（菲涅尔衍射、夫琅禾费衍射等，夫琅禾费衍射应该不考）
4. 【自学】光的偏振态，给一个起偏片，再给一个 $1/4$ 玻片，如何验证一束光是自然偏振光/线偏振光/圆偏振光/部分偏振光/椭圆偏振光？（作业题）
5. 【应该不考】透射/反射光栅、光谱
6. 【应该不考】干涉场的时间相干性和空间相干性

七、原子物理学与量子力学初步（这部分会出一份专题讲解+习题）

1. 【必会】爱因斯坦光电效应的实验现象与解释
2. 【必会】黑体辐射：维恩位移定律、斯特藩-玻尔兹曼定律、普朗克能量量子化
3. 【必会】激光的原理
4. 【必会】塞曼效应
5. 【必会】玻尔定态原子理论
6. 【必会】电子自旋与元素周期表的排列
7. 【必会，去年考察】波函数的物理意义、波函数的归一化
8. 【必会】在简单势场中求解薛定谔方程
9. 【必会，去年考察】厄米算符的定义、物理意义

10. 【必会】量子力学的表象的概念、波函数/算符的表象变换
11. 【必会】纯态和混态的定义和物理意义

八、凝聚态物理（这部分根据杨森老师上课所画重点整理，会出一份专题讲解+习题）

1. 【必会，定性，去年考察】晶体的分类（五类晶体、四种结合类型）
2. 【必会，定性，去年考察】一级相变与二级相变的定义、特点
3. 【必会，定量，去年考察】晶体衍射的米勒指数表示与布拉格衍射公式
4. 【必会，定量】一维单/双原子链模型，背过导出的色散关系
5. 【必会，定性】自由电子理论的内容、核心贡献和局限性
6. 【必会，定性】热容模型的结论与使用条件（爱因斯坦热容模型、德拜热容模型）
7. 【必会，定性】能带理论，能态密度曲线（是一个抛物线！）