

物理

关注典型模型 提升建模能力

北京市中关村中学 刘超杰

北京高考物理试题非常重视对学生模型建构能力的考查,相应题目数量多、分值大,这些试题结合实际,情境新颖,突出模型建构的核心,考查学生的科学思维水平。本文通过列举北京卷的相关试题,对典型的模型进行分析,希望对同学们的物理模型建构能力有一些启发和帮助。

柱状模型的建构和应用

【例1】(2013年北京卷24题节选)正方体密闭容器中有大量运动粒子,每个粒子质量为 m ,单位体积内粒子数量 n 为恒量。为简化问题,我们假定:粒子大小可以忽略;其速率均为 v ,且与器壁各面碰撞的机会均等;与器壁碰撞前后瞬间,粒子速度方向都与器壁垂直,且速率不变。利用所学力学知识,导出器壁单位面积所受粒子压力 F_0 与 m 、 n 和 v 的关系。

【分析】该题考查的是大量粒子撞击器壁问题,考生需理解大量粒子的运动模型。

首先,考生在模型建构的过程中要把粒子的运动简化为匀速运

动,建立柱体模型,与侧壁发生弹性碰撞,分子质量为 m ,平均速率为 v ,单位体积的分子数为 n ;设柱体底面积为 S ,长为 L ,则 $l=vt$,柱体体积 $V=Sl$,柱体内分子总数 $N_{\text{总}}=nV$ 。因分子向各个方向运动的概率相等,所以在 t 时间内与柱体底面碰撞的分子总数为 $N'_{\text{总}}=\frac{1}{6}N_{\text{总}}$,粒子与器壁碰撞前后瞬间,速度方向都与器壁垂直,且速率不变。则分子碰撞器壁前后,总动量的变化量为 $\Delta p=2mvN'_{\text{总}}$,依据动量定理有 $Ft=\Delta p$,由以上各式得单位面积上的压力 $F_0=\frac{F}{S}=\frac{1}{3}nmv^2$ 。

球状模型的建构和应用

2022年、2023年北京卷均涉及球状模型的问题,要求考生能熟练使用球体面积公式和球体体积公式,利用球状模型对问题进行分析,并解决问题。

【例2】(2022年北京卷19题节选)宇宙中某恒星质量是太阳质量的2倍,单位时间内向外辐射的能量是太阳的16倍。设想地球“流浪”后绕此恒星公转,且在新公转轨道上的温度与“流浪”前一样。地球绕太阳公转的周期为 T_1 ,绕此恒星公转的周期为 T_2 ,求 $\frac{T_2}{T_1}$ 。

【分析】该题以比较热门的电影《流浪地球》为基础,考查了学生对能量辐射的球面模型建构以及应用水平。

恒星的能量辐射各向均匀,以恒星为球心, r 为半径,建构球面模型,地球绕恒星做半径为 r 的圆周运动,恒星单位时间内向外辐射的能量为 P_0 。根据球体面积公式 $S=4\pi r^2$,则单位面积上接受到的辐射能量为 $P=\frac{P_0}{4\pi r^2}$ 。

设地球绕太阳公转半径为 r_1 ,在新轨道上公转半径为 r_2 。地球在

新公转轨道上的温度与“流浪”前一样,则必须满足 P 不变,由于恒星单位时间内向外辐射的能量是太阳的16倍,即 $\frac{P_0}{4\pi r_1^2}=\frac{16P_0}{4\pi r_2^2}$,解得

$$r_2=4r_1。$$

设恒星质量为 M ,地球在轨道上运行周期为 T 。根据万有引力提供向心力 $\frac{GMm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$,得 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$,由于恒星质量是太阳质量的2倍,解得 $\frac{T_2}{T_1}=4\sqrt{2}$ 。

【例3】(2023年北京卷20题节选)螺旋星系中有大量的恒星和星际物质,主要分布在半径为 R 的球体内,球体外仅有极少的恒星。球体内物质的总质量为 M ,可认为均匀分布。球体内外所有恒星都绕星系中心做匀速圆周运动。恒星到星系中心的距离为 r 。引力常量为 G 。

根据电荷均匀分布的球壳内试探电荷所受库仑力的合力为零,利用库仑力与万有引力的表达式的相似性和相关力学知识,求 $r\leq R$ 区域的恒星做匀速圆周运动的速

度大小 v 与 r 的关系。
【分析】该题以电荷均匀分布的球壳内试探电荷所受库仑力的合力为零的条件为基础,通过类比得出万有引力满足相似的结论,在此基础上,考查了考生对球体模型的运用。

根据类比思想,在 $r\leq R$ 内部,恒星做匀速圆周运动的向心力由半径为 r 的星体提供。考生要先建构球体模型,应用球体的体积公式 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$,得出这部分星体的质量

为 $M_0=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}\cdot\frac{4}{3}\pi r^3=\frac{Mr^3}{R^3}$ 。

由万有引力定律和向心力公式有 $G\frac{M_0m}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$,可得 $v=r\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$ 。

在解决该问题中,考生应选取正确的研究对象,根据已知条件,建构合理的球状模型,再灵活运用球体面积和体积公式进行具体分析。除上述例题中的模型外,在解决有关原子模型问题,以及光、电磁波辐射、均匀带电球体的电场、质量均匀分布的球体的引力场等问题时,常采用球状模型才可以有效解决物理问题。

开放式模型

【例4】(2014年北京卷24题节选)如图所示,固定于水平面的 U 形导线框处于竖直向下的匀强磁场中,金属直导线 MN 在与其垂直的水平恒力 F 作用下,在导线框上以速度 v 做匀速运动,速度 v 与恒力 F 方向相同;导线 MN 始终与导线框形成闭合电路。经典物理学认为,金属的电阻源于定向运动的自由电子与金属离子(即金属原子失去电子后的剩余部分)的碰撞。展开你想象的翅膀,给出一个合理的自由电子的运动模型;在此基础上,求出导线 MN 中金属离子对一个自由电子沿导线长度方向的平均作用力 $\bar{f}$ 的表达式。

【分析】该题考查学生建立自由电子的运动模型时,不仅可建立匀加速运动模型,还可建立匀速运动模型,既可从动量的角度解决问题,又可以从能量的角度解决问题。考生需要建立自由电子在导体棒中运动的模型。

从动量的角度,可以建构碰撞模型。电子在每一次碰撞结束至下一次碰撞结束之间的运动都相同,经历的时间为 Δt ,电子的动量变化为零。

因为导线 MN 的运动,电子受到沿导线方向的洛伦兹力 $f_{\text{洛}}=evB$ 的作用。沿导线方向,电子只受到金属离子的作用力和 $f_{\text{洛}}$ 作用,所以 $f_{\text{洛}}\Delta t-I_f=0$ 。

其中 I_f 为金属离子对电子的作用力的冲量,其平均作用力为 $\bar{f}$,则 $I_f=\bar{f}\Delta t$,得 $\bar{f}=f_{\text{洛}}=evB$ 。

从能量的角度,可以建构能量转化模型。电子从导线的一端到达另一端经历的时间为 t ,在这段时间内,通过导线一端的电子总 $N=\frac{It}{e}$ 。

电阻上产生的焦耳热是由于克服金属离子对电子的平均作用力 $\bar{f}$ 做功产生的。

在时间 t 内总的焦耳热 $Q=N\bar{f}L$

根据能量守恒: $Q=W_{\text{电}}=EIt=BLvIt$,得 $\bar{f}=evB$

在建模过程中,考生可以多元思考,通过构建模型创造性地解决问题。该试题灵活的问题设置,带来了开放的解题思路以及不唯一的评分标准,这也有利于鼓励考生创新,为不同能力层次的考生提供展示的平台。

考生在备考中,可以总结梳理近几年北京高考试题中的模型问题,掌握和理解建构模型的方法,遇见物理问题时,应该看到试题背后的内涵,分析试题的立意和导向,抓住问题本质,建构合理的模型。同时要熟悉典型的物理对象模型和运动模型,认清实际问题的特征,从力与运动、动量、能量观念选用相应的物理规律解决物理问题,回归物理本质,赢得高考。