



## 物理

## 探索核心规律 理解“流体和类流体”内容

北京宏志中学 岳鹏

常见的稳定流体大致可分为三类:第一类为宏观流,如水流、气流等,常见的问题情境有水流冲击力、风力发电等;第二类为微观粒子流,如电子流、离子流、光子流、分子流等,涉及的典型问题有解决电流、电子的反冲力,离子推进力,光压,气体压强等;第三类为宏观微粒子流,如太空尘埃流、雨滴流、米粒流等,涉及的问题情境有研究飞船受到的尘埃阻力,雨滴下落时的冲击力,“称米”问题等。这些看似眼花缭乱的问题情境背后有没有共性的规律呢?当然有。本文就以分子流模型求气体压强为例,帮助考生看懂流体问题的本质规律。

以气体压强为例  
解读流体问题核心规律

从分子动理论的观点来看,大量分子在不停地做无规则的热运动,单个分子碰撞器壁的冲力是短暂的、不均匀的,但是大量分子频繁地碰撞器壁,就会对器壁产生持续的、均匀的压力,所以气体的压强就是大量气体分子作用在器壁单位面积上的平均作用力,这个问题的实质就是微观粒子与宏观物体的碰撞问题。在碰撞的过程中,粒子的动量发生了改变。动量的变化率与碰撞力的大小有关,这就是动量定理。假设气体分子撞上器壁的平均速率为 $\bar{v}$ ,一个气体分子的质量为 $m$ ,气体分子与器壁之间是弹性碰撞,与器壁碰撞的极短时间为 $\Delta t$ ,一个气体分子对器壁的冲力为 $f$ ,由动量定理得: $f \cdot \Delta t = 2m\bar{v}$ 。

若在时间 $t$ 内有 $N$ 个气体分子与容器发生碰撞,对容器壁产生的持续平均作用力 $\bar{F}$ 为: $\bar{F} \cdot t = 2Nm\bar{v}$ 。

解决这个问题关键就是建立模型,考生要找到时间 $t$ 内打在容器壁上的气体分子的总数 $N$ 。假设容器的面积为 $S$ ,单位体积内的分子数为 $n$ 。由于大量气体分子在各方向运动的几率相等,若取上、下、左、右、前、后6个方向,则各方向的分子各占 $\frac{1}{6}$ ;时间 $t$ 内打在 $S$ 上的气体分子数应该是体积为 $\bar{v} \cdot t \cdot S$ 一个柱体内的全部分子数的 $\frac{1}{6}$ 。所以总数 $N$ 为: $N = \frac{1}{6} \bar{v} \cdot t \cdot S \cdot n$ 。

代入上式即得气体压强 $P$ 的表达式: $P = \frac{\bar{F}}{S} = \frac{1}{3} nm\bar{v}^2$ 。

由此可见,这种流体问题的本质就是粒子和物体的碰撞问题,理解碰撞时产生的作用力,其核心规律就是动量定理。考生只要建立好微观体积模型,找到时间 $\Delta t$ 内与物体碰撞的粒子数 $N$ 或总质量 $\Delta m$ ,这个问题就会迎刃而解。

如果流体流动形成柱体微元(截面积设为 $S$ ),那么 $\Delta t$ 内流体形成的柱体微元的体积为 $\Delta v = S \cdot v \Delta t$ ,柱体内流体质量为 $\Delta m = \rho \Delta v = \rho S \cdot v \Delta t$ ( $\rho$ 为流体的密度)。若柱体内单位体积内的粒子数为 $n$ ,每个粒子的质量为 $m$ ,那么柱体内粒子总数为 $N = nS \cdot v \Delta t$ ,柱体内流体质量为 $\Delta m = (nS \cdot v \Delta t)m$ 。若柱体内单位时间内流过某一横截面的粒子数为 $n_{\text{时}}$ ,每个粒子的质量为 $m$ ,那么柱体内粒子总数目为 $N = n_{\text{时}} \Delta t$ ,柱体内流体质量 $\Delta m = (n_{\text{时}} \Delta t)m$ 。

【例1】(2020年北京)如图甲所示,真空中有一长直细金属导线,与导线同轴放置一半径为 $R$ 的金属圆柱面。假设导线沿径向均匀射出速率相同的电子,已知电子质量为 $m$ ,电荷量为 $e$ 。不考虑出射电子间的相互作用。

(2)撤去柱面,沿柱面原位置放置一个弧长为 $a$ 、长度为 $b$ 的金属片,如图乙所示。在该金属片上检测到出射电子形成的电流为 $I$ ,电子流对该金属片的压强为 $p$ 。求单位长度导线单位时间内出射电子的总动能。

【分析】此题虽然情境较为复杂,但其实质就是电子流持续喷射到金属片上能产生的持续的作用力的问题。因此考生可以快速确定解决问题的核

## 利用核心规律突破高考难点

心规律就是动量定理。由动量定理可得: $-F \cdot \Delta t = -N \cdot mv_0$

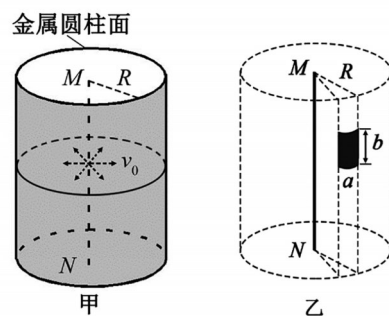
与气体分子和器壁的弹性碰撞不同,电子打到金属板上形成了电流,所以不会反弹,而是速度变为0,是完全非弹性碰撞。

下面考生就需要建立电流的微观模型来求解时间 $\Delta t$ 内打到金属片上的电子数 $N$ 。

根据电流的定义式 $I = \frac{Q}{\Delta t}$ 可得,时

间 $\Delta t$ 内打到金属片的粒子数 $N = \frac{I \cdot \Delta t}{e}$ 。

由于电子流对金属片的压强为 $p$ ,



则电子流对金属片单位时间内的压力为 $F = p \cdot ab$ 。

解得: $v_0 = \frac{peab}{ml}$ 。

进而求得射到金属片上电子的总动能。

【例2】(2024年北京)我国天宫空间站采用霍尔推进器控制姿态和修正轨道。如右图为某种霍尔推进器的放电室(两个半径接近的同轴圆筒间的区域)的示意图。放电室的左、右两端分别为阳极和阴极,间距为 $d$ 。阴极发射电子,一部分电子进入放电室,另一部分未进入。稳定运行时,可视为放电室内有方向沿轴向向右的匀强电场和匀强磁场,电场强度和磁感应强度大小分别为 $E$ 和 $B_1$ ;还有方向沿半径向外的径向磁场,大小处处相等。放电室内的大量电子可视为处于阳极附近,在垂直于轴线的平面绕轴线做半径为 $R$ 的匀速圆周运动(如截面图所示),可与左端注入的氦原子碰撞并使其电离。每个氦离子的质量为 $M$ 、电荷量为 $+e$ ,初速度近似为零。氦离子经过电场加速,最终从放电室右端喷出,与阴极发射的未进入放电室的电子刚好完全中和。已知电子的质量为 $m$ 、电荷量为 $-e$ ;对于氦离子,仅考虑电场的作用。

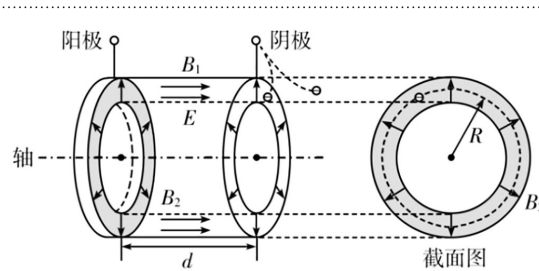
(3)设被电离的氦原子数和进入放电室的电子数之比为常数 $k$ ,单位时间内阴极发射的电子总数为 $n$ ,求此霍尔

推进器获得的推力大小 $F$ 。

【分析】通过分析情境,考生可知此推进器获得推力的原理就是氦离子被电场加速,从而对推进器产生了反作用力。因此考生能快

速确定解决问题的核心规律就是动量定理,设单位时间内产生的氦离子数为 $n_{\text{时}}$ ,对 $\Delta t$ 时间内喷出的氦离子,根据动量定理有 $-F \cdot \Delta t = -n_{\text{时}} \Delta t \cdot Mu$ 。

设单位时间内进入放电室的电子数为 $n_1$ ,则单位时间内产生的氦离子数为 $n_{\text{时}}$ 为 $kn_1$ 。氦离子与未进入放电室的电子刚好完全中和,有 $kn_1 = n - n_1$ ,得 $n_1 = \frac{n}{1+k}$ ,设氦离子喷出时的速度大小为 $u$ 。根据动能定理得 $eEd = \frac{1}{2} Mu^2$ ,得 $u = \sqrt{\frac{2eEd}{M}}$ ,得 $F = kn_1 Mu$ ,即 $F = \frac{kn}{1+k} \sqrt{2MeEd}$ 。



近年来,高考命题以“立德树人”为根本任务,坚持以物理学科核心素养为导向,不但重视基本模型的考查,还加强理论联系实际的要求,并不断改头换面,穿上实际应用的背景外衣。

解决这类流体问题,考生要关注两点,一是要熟悉典型的物理模型,二是要认清实际问题的特征,从力、动量、能量观念中选出相应的物理规律来解决实际的物理问题。因此,在高考复习过程中,考生要注重对核心概念、核心规律的深刻理解,尤其是在处理实际物理情境时,要学会深入思考、归纳总结,提升在构建物理模型、分析信息和解决问题等方面的能力。