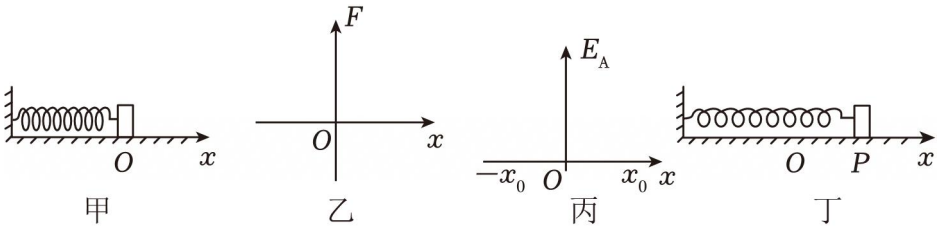
函数在物理中的应用

1. 如图甲所示，一轻质弹簧左端固定在墙壁上，右端与置于水平面上的质量为 m 的小滑块相连。在以下的讨论中小滑块可视为质点，弹簧始终在弹性限度内，取弹簧原长时弹性势能为 0，且空气阻力可忽略不计。

（1）若水平面光滑，以弹簧原长时小滑块的位置 O 为坐标原点，建立水平向右的坐标轴 Ox，如图甲所示。已知弹簧的劲度系数为 k。

a.请在图乙中画出弹簧弹力 F 与小滑块所在位置坐标上 x 的关系图像。并根据 F - x 图像推导出小滑块在 x 位置的弹性势能 E_p 的表达式。

b.小滑块在该弹簧的作用下，沿光滑水平面在 O 点附近做往复运动，已知弹簧最大形变量为 x_0，请在图丙中画出小滑块动能 E_k 与它所在位置坐标 x 的关系图像。



（2）若水平面不光滑，且已知小滑块与水平面之间的动摩擦因数为μ。仍以弹簧原长时小滑块的位置 O 为坐标原点，建立水平向右的坐标轴 Ox，将小滑块沿水平面向右拉到距离 O 点为 l_0 的 P 点按住（$l_0 > \frac{\mu mg}{k}$），如图丁所示。计算中可以认为滑动摩擦力与最大静摩擦力大小相等，已知重力加速度为 g，弹簧的劲度系数为 k。

a.若放手后小滑块第一次经过 O 点时恰好停止，则 l_0 与μ、m 和 k 等物理量之间应满足什么条件；

b.若放手后小滑块第二次经过 O 点时恰好停止，则 l_0 与μ、m 和 k 等物理量之间应满足什么条件。

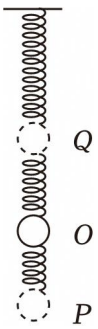
2. 如图所示，轻弹簧上端固定，下端悬吊一个钢球，钢球静止于 O 点。把钢球从 O 点向下拉下一段距离至 P 点，然后将钢球由静止释放，钢球向上运动可到达最高点 Q 点。已知钢球的质量为 m，弹簧的劲度系数为 k，P 点与 O 点之间的距离为 A，且在钢球运动过程中弹簧始终处于拉伸状态。已知重力加速度为 g。

（1）求钢球静止于 O 点时弹簧的形变量 x_0。

（2）弹簧的弹性势能 E_p 跟形变量 x 的大小有关，其关系式为 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$，其中 k 为弹簧的劲度系数。

a.类比重力做功与重力势能变化的关系，求钢球由 P 点运动到 O 点的过程中弹簧弹力做的功 W。

b.证明：忽略空气阻力，钢球能到达的最高点 Q 点与 P 点关于 O 点对称。



3. 体育课上，直立起跳是一项常见的热身运动，运动员先蹲下，然后瞬间向上直立跳起，如图 1 所示。

（1）一位同学站在力传感器上做直立起跳，力传感器采集到的 F - t 图线如图 2 所示。根据图像求这位同学的质量，并用十字线“+”在图像上标出该同学超重的开始点和结束点。取重力加速度 $g = 10m/s^2$。



图1

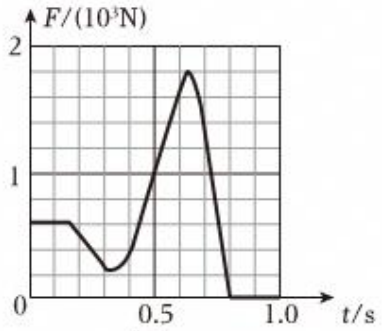


图2

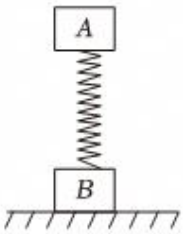


图3

（2）为了进一步研究直立起跳过程，这位同学构建了如图 3 所示的简化模型。考虑到起跳过程中，身体各部分肌肉（包括上肢、腹部、腿部等肌肉）的作用，他把人体的上、下半身看作质量均为 m 的两部分 A 和 B，这两部分用一个劲度系数为 k 的轻弹簧相连。起跳过程相当于压缩的弹簧被释放后使系统弹起的过程。已知弹簧的弹性势能 E_p 与其形变量 Δx 的关系为 $E_p = \frac{1}{2}k\Delta x^2$。要想人的双脚能够离地，即 B 能离地，起跳前弹簧的压缩量至少是多少？已知重力加速度为 g。

（3）“爆发力”是体育运动中对运动员身体水平评估的一项重要指标，人们通常用肌肉收缩产生的力与速度的乘积来衡量肌肉收缩的爆发能力，其最大值称之为“爆发力”。某同学想在家通过直立起跳评估自己的“爆发力”，为了简化问题研究，他把人离地前重心的运动看作匀加速直线运动，认为起跳时人对地面的平均蹬踏力大小等于肌肉的收缩力。他计划用体重计和米尺测量“爆发力”，具体做法是用体重计测量人的质量 m；用米尺测量人蹲下时头顶到地面的高度 h_1，人直立站起时头顶到地面的高度 h_2；人由下蹲用尽全力直立起跳，其头顶距离地面的最大高度 h_3。请利用这些物理量直接写出计算“爆发力”的公式（不要求计算过程）。

4. 冰壶运动场地如图 1 所示，运动员在投掷线将冰壶以一定的速度推出，按运动规则，他的队友可以用毛刷在冰壶滑行的前方摩擦冰面（简称刷冰），以减小冰面的动摩擦因数。若运动员以 $v_0 = 3\text{m/s}$ 的速度推出冰壶，使其沿图中的虚线向圆垒的中心 O 点运动，O 点距投掷线的距离为 30m。已知刷冰前，冰壶和冰面的动摩擦因数$\mu = 0.02$，g 取 10m/s^2。

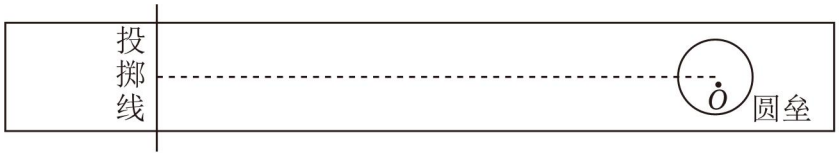


图 1



图 2

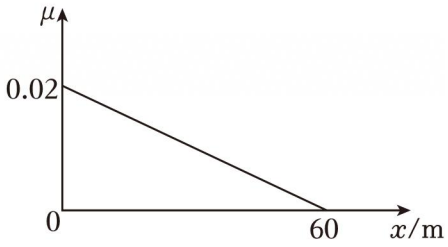


图 3

（1）若队友未刷冰，求冰壶在冰面上滑行的距离 L。

（2）若队友通过刷冰，使冰壶和冰面的动摩擦因数减小为某一恒定值。队友可采用两种方式刷冰：第一种是在冰壶滑出一段距离后，开始持续刷冰，直至冰壶停在 O 点，设刷冰的时间为 t_1；第二种是在冰壶刚推出时立即开始刷冰，经过一段时间后停止刷冰，冰壶继续滑行最终停在 O 点，设刷冰时间为 t_2。因刷冰时毛刷始终贴近冰壶，可认为刷冰时间等于冰壶在刷过的冰面上运动的时间。请在图 2 中，定性作出两种方式下，冰壶运动的 v - t 图像，在 t 轴上用“ $\underbrace{\quad t_1 \quad}$ ”“ $\underbrace{\quad t_2 \quad}$ ”标出刷冰时间，判断哪种方式刷冰时间更短。

（3）若队友通过刷冰，使冰壶和冰面的动摩擦因数μ随距离 x 的变化关系如图 3 的直线所示，x 表示冰壶离投掷线的距离。请分析说明该情况下冰壶能否停在 O 点。

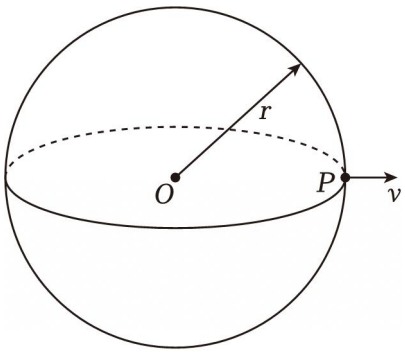
5. 将地球视为半径为 R 的球体，质量分布均匀，密度为ρ，引力常量为 G，已知某物体受到的地球的万有引力相当于球内质量集中于 O 点对物体的引力，质量均匀分布的球壳对壳内质点万有引力的合力为零。

（1）求距离地球球心距离为 r（r > R）的质量为 m 的物体所受到地球的引力大小 F_1；

b.求距离地球球心距离为 r（r < R）的质量为 m 的物体所受到地球的引力大小 F_2；

（2）科学家根据天文观测提出宇宙膨胀模型：在宇宙大尺度上，所有的宇宙物质在做彼此远离运动，且质量始终均匀分布，在宇宙中所有位置观测的结果都一样。如图 11 所示，以某一点 O 为观测点，以质量为 m_0 的星系 P 为观测对象，以 P 到 O 点的距离 r 为半径建立球面。设星系 P 到 O 点的距离为 r_0 时，宇宙的密度为ρ_0。请推导宇宙膨胀过程中星系 P 受到的引力大小 $F_{引}$随距离 r 变化的关系式。

（3）科学家在利用超新星检测宇宙的膨胀速度时，观察数据说明其膨胀的速度越来越大，根据（2）中的简化模型，请你从力与运动的角度判断理论和实际是否相符；如果相符，进行论证说明其合理性；如果不相符，请对模型（2）提出修正方案，并论证说明修正方案的合理性。



6. 如图 1 所示为某货运站的货物传送装置示意图，传送装置由圆弧轨道 AB、传送带 BC 组成，在 C 端下方停放一辆运输车，用来装载货物。一个质量 $m = 5.0kg$ 的货物（可视为质点），沿圆弧轨道下滑至最低点 B 时，速度大小为 $v_B = 10m/s$，此后无能量损失地滑上水平传送带 BC。通过调整皮带轮（不打滑）的转动角速度ω可使货物经 C 点被水平抛出后落在车厢上的不同位置（车厢足够长），货物在空中的运动可视为平抛运动。已知圆弧轨道半径 $R = 1.0m$，水平传送带 BC 的长度为 $L = 8.0m$，其皮带轮的半径 $r = 0.2m$，传送带上部距车厢载物面的高度为 $h = 0.45m$，货物与皮带间的动摩擦因数$\mu = 0.60$，g 取 $10m/s^2$，不计空气阻力。

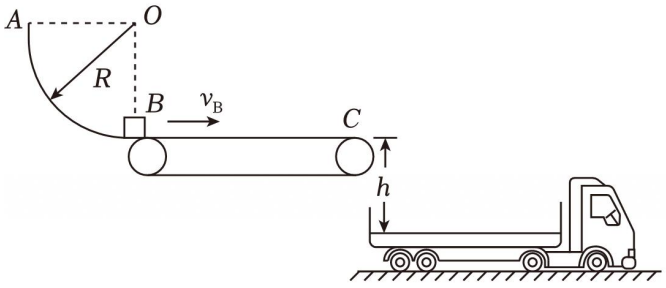


图 1

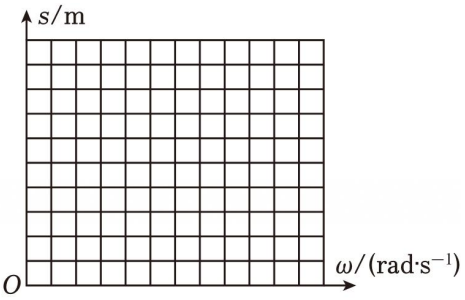


图 2

（1）货物下滑至圆弧轨道最低点 B 时，求轨道对货物的支持力 F 的大小；

（2）若传送带静止，求货物在车厢内的落地点距 C 端的水平距离 s_1；

（3）当皮带轮以角速度$\omega = 40rad/s$ 顺时针匀速转动，求货物在车厢内的落地点到 C 端的水平距离 s_2；

（4）若皮带轮以不同的角速度顺时针匀速转动，在图 2 中画出货物在车厢内的落地点到 C 端的水平距离 s 随角速度ω变化的图像。（要求作图准确，标出相应的坐标数值）

7. 对宇宙的探索是人类不懈的追求。

（1）2019 年国家天文台发现一质量为 m 的蓝色星体围绕质量为 M 的黑洞做匀速圆周运动，此发现为恒星演化和黑洞形成提供了新证据。已知蓝色星体的运行周期为 T，引力常量为 G，蓝色星体与黑洞均可视为质量均匀分布的球体，不考虑其他天体影响及相对论效应。取质量分别为 m_1、m_2 的两质点相距无限远时的引力势能为零，相距 R 时的引力势能为 $E_p = -G\frac{m_1 m_2}{R}$。

a.求蓝色星体与黑洞的间距 L；

b.因某种扰动，若蓝色星体运动到与黑洞距离为 r 时被撕裂成许多碎片，部分碎片将逃离黑洞。求碎片能够逃离黑洞的最小速度 v。

（2）2023 年“中国天眼”发现著名的 GRS 黑洞存在微弱的射电“脉搏”，由此推断该黑洞与某质量较大的恒星均围绕二者连线上的一点做圆周运动，且恒星上的外层物质会不断被吸入到黑洞中，逐渐被吞噬。若在开始的短时间内二者间距可视为不变，请推理说明该段时间内黑洞的角速度大小ω将怎样变化。

（3）小明设想在完全失重的空间站核心舱内玩纸飞机游戏。将质量为 m_0 的纸飞机相对核心舱以速度 v 抛出，纸飞机飞行一小段时间后会打在舱壁上。已知太空舱内的空气对纸飞机有 F_1 和 F_2 两个作用力，$F_1 = k_1u^2$，与 u 方向垂直；$F_2 = k_2u^2$，与 u 方向相反。u 为纸飞机相对空气的速度大小。在较短时间内 k_1、k_2 可视为定值。请推理说明这段时间内纸飞机相对核心舱的运动情况。

8. 天体沿椭圆轨道的运动在宇宙中普遍存在。对天体沿椭圆轨道运动的研究，为预测彗星回归、设计卫星轨道等实际应用提供了理论支撑。已知引力常量为 G。

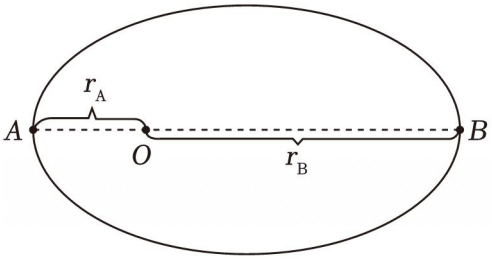


图 1

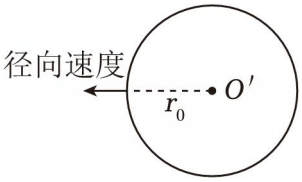


图 2

（1）某彗星的运行轨道为椭圆，对彗星沿椭圆轨道的运动进行如下研究：

如图 1 所示，A、B 两点分别是彗星的近日点和远日点。两点到太阳中心 O 点的距离分别为 r_A 和 r_B。已知太阳和彗星的质量分别为 M 和 m，不考虑其他天体的影响。

a.求彗星运动至近日点 A 时的加速度大小 a_A；

b.在分析质点沿椭圆轨道运动时，可以把其轨迹分割为许多很短的小段，质点在每小段的运动都可看作圆周运动的一部分（圆的半径称作曲率半径，可以描述轨迹上某位置的弯曲程度），这样就可以采用圆周运动的分析方法来处理质点经过椭圆轨道上某点的运动。已知椭圆轨道上 A 点处的曲率半径 $\rho=\frac{2r_A r_B}{r_A+r_B}$，质量分别为 m_1 和 m_2、距离为 R 的两个质点间的引力势能 $E_p=-G\frac{m_1 m_2}{R}$。求彗星在椭圆轨道上 A 点处的机械能 E。

（2）航天工程师可以通过改变卫星的速度来调整其运动轨道，完成复杂的太空任务。当卫星绕地球运动到图 2 所示半径为 r_0 的圆轨道的某点时，短时间启动卫星发动机，使卫星再获得一个背离地心 O′ 、大小为其切向速度一半的径向速度，卫星将沿以 O′ 为焦点的椭圆轨道绕地球运动。不考虑卫星质量的变化。在（1）b 研究的基础上，论证椭圆轨道的半长轴 a 与 r_0 的关系。

9. 物理模型对于研究有重要意义，研究中要根据解决问题的需要对模型进行改进和优化，以提高其可靠性和实用性。已知地球质量为 M，可视为质量均匀分布的半径为 R 的球体，引力常量为 G，不考虑地球自转。

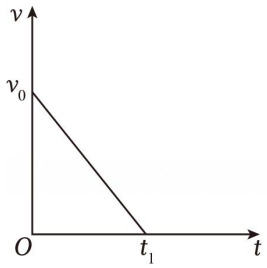


图 1

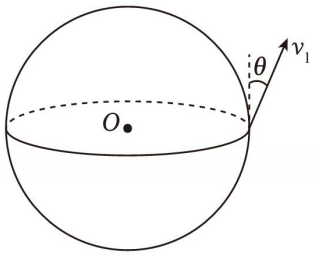


图 2

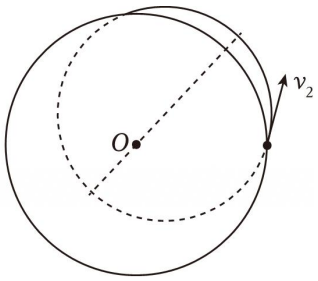


图 3

（1）在地球表面将物体以初速度 v_0 竖直上抛

a.若忽略万有引力的变化，物体上升过程的 v - t 图像如图 1 所示。求重力加速度的大小 g 及物体上升到最高点所用的时间 t_1。

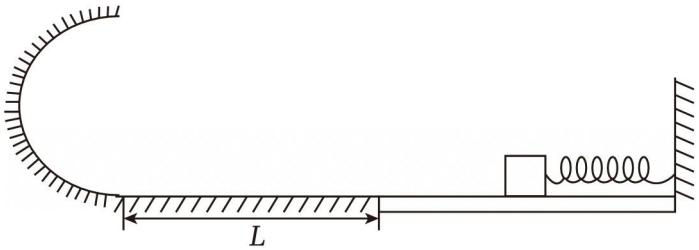
b.若考虑万有引力的变化，在图 1 中定性画出物体上升阶段的 v - t 图像，标出物体上升到最高点的时间 t_2。

（2）在地球赤道表面向北极发射洲际导弹

a.若忽略万有引力大小的变化，某同学提出将导弹的运动分解为绕地心的匀速圆周运动与垂直地球表面的匀变速直线运动。若导弹发射速度的大小为 v_1，方向与地面的夹角为θ，如图 2 所示。推导导弹距地面的高度 h 随运动时间 t 变化的关系式。

b.若考虑万有引力的变化，导弹仅在地球引力作用下的运动轨迹是椭圆，地心 O 为椭圆的一个焦点，如图 3 所示。已知取无穷远处的引力势能为 0，质量为 m 的物体在距地心为 r（r≥R）处的引力势能 $E_p = -G\frac{Mm}{r}$，该物体在地球引力作用下做椭圆运动时，其机械能 E（动能与引力势能之和）与椭圆半长轴 a 的关系为 $E = -G\frac{Mm}{2a}$，椭圆上任意一点到两个焦点的距离之和为 2a。求发射导弹到北极的最小速度 v_2。

10. 如图所示，光滑的半圆形竖直轨道最低点与水平直轨道相切。水平轨道分为左右两部分：右侧为光滑区域，左侧为粗糙区域。在水平轨道的右侧区域放置一弹簧，弹簧右端固定在水平轨道右侧的墙面上。通过外力使滑块（可视为质点）压缩弹簧至某一位置后，无初速度释放，滑块在光滑区域被弹簧弹开，向左滑动，经过光滑区域和粗糙区域后冲上半圆形轨道。已知半圆形轨道半径为 R，滑块质量为 m，水平轨道粗糙区域长度为 L，滑块与水平轨道粗糙区域间的动摩擦因数为μ，重力加速度为 g，弹簧为轻质弹簧，且压缩时未超出水平轨道的光滑区域范围。



（1）若使滑块能通过水平轨道的粗糙区域部分，求被压缩的弹簧具有弹性势能的最小值 E_{pmin}；

（2）若滑块恰好能通过半圆形轨道的最高点，求这种情况下滑块经过半圆形轨道最低点时对轨道的压力大小 F_0；

（3）滑块沿半圆形轨道上滑的最大高度 h，滑块通过半圆形轨道最低点对轨道的压力大小 F，请通过推导写出 $0<h<R$ 和 $R<h<2R$ 时，F 与 h 的关系式。

11. 追寻守恒量是物理学的重要研究内容。探索守恒量时，除了实验手段，也常借助已有理论来进行分析。已知重力加速度为 g。

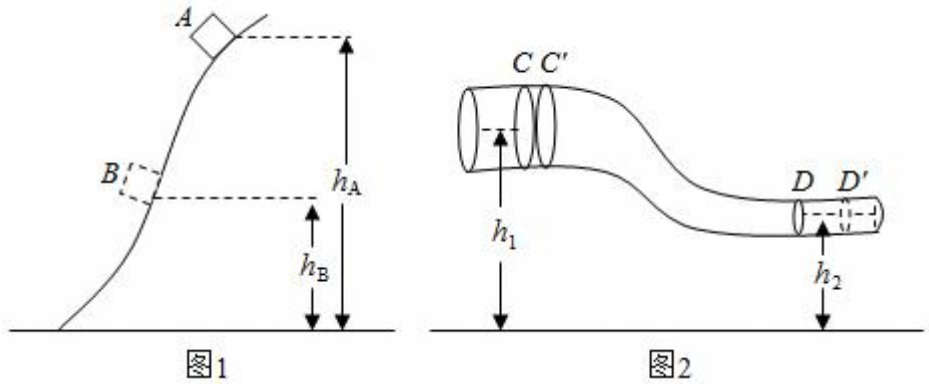


图1　　图2

（1）如图 1 所示，A 和 B 两位置分别距离地面高度为 h_A 和 h_B，质量为 m 的物体（可视为质点）在 A 和 B 两位置的速度大小分别为 v_A 和 v_B。以地面为参考平面，若斜坡光滑，请利用功和能的关系，证明物体从 A 到 B 的过程机械能守恒。

（2）供暖系统、自来水系统都是通过管道运送液体的。管内液体稳定流动时具有这样的特点：

a.管内各处液体体积无法压缩且密度均相同；

b.管内各处液体流速不随时间改变。

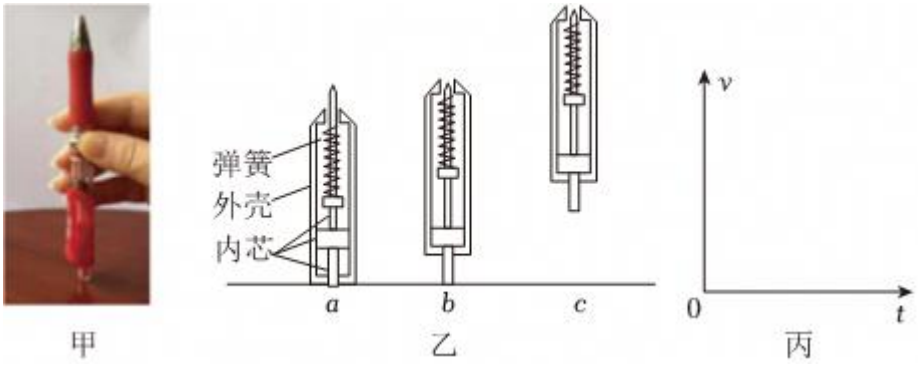
如图 2 所示，选取横截面 C 和横截面 D 之间的液体为研究对象，当 C 处液体流动很小一段距离，到达 C′ 时，D 处液体正好流动到 D′ 处。已知液体密度为ρ，C 处的压强为 p_1、流速为 u_1、高度为 h_1，D 处的压强为 p_2、流速为 u_2、高度为 h_2，C 处管道半径为 R，C 与 C′ 间距离为 d，且 R、d 均远远小于 h_2。不计管道对液体的阻力，不考虑液体的黏滞性。在 C、D 间的液体流动至 C′ 、D′ 的过程中：

①求横截面 C 左侧液体对研究对象所做的功 W_1；

②求重力对研究对象所做的功 W_G；

③研究表明，可运用动能定理对 C、D 间的液体进行分析。请依据动能定理探索压强 p、流速 u、高度 h 是否也存在着某种守恒的关系。若存在，请写出关系式；若不存在，请说明理由。

12. 如图甲所示，按压式圆珠笔可以简化为外壳、内芯和轻质弹簧三部分，轻质弹簧穿过内芯，上端与外壳接触，下端与内芯接触。某按压式圆珠笔内芯的质量为 m，外壳的质量为 3m，外壳与内芯之间的弹簧的劲度系数为 k。如图乙所示，先把笔竖直倒立于水平硬桌面上，用力下压外壳使其下端接触桌面（如位置 a），此时弹簧的压缩量 $x=\frac{9mg}{k}$，然后将圆珠笔由静止释放，弹簧推动圆珠笔外壳竖直上升，当外壳的速度达到最大，此时外壳恰好与内芯发生碰撞（碰撞时间极短），碰后内芯与外壳以共同的速度一起上升到最大高度处（如位置 c）。已知弹簧弹性势能的计算公式为 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$，x 为弹簧的形变量，不计空气阻力与一切摩擦。



（1）当弹簧的压缩量为多少时，外壳的速度达到最大?

（2）外壳向上的最大高度为多大?

（3）请在丙图中定性画出圆珠笔外壳从静止释放到最高点过程中的速度随时间图像。（以竖直向上为速度正方向）

大芯物理

13. 一般的曲线运动，尽管曲线各个位置的弯曲程度不一样，但在研究时，可以把这条曲线分割为许多很短的小段，质点在每小段的运动都可以看作圆周运动的一部分，该一小段圆周的半径为该点的曲率半径。这样，在分析质点经过曲线上某位置的运动时，就可以采用圆周运动的分析方法来处理了。

小珂发现游乐场的过山车轨道不是圆形轨道而是“水滴形”轨道（如图 1），小珂设计了如图 2 所示的过山车模型，质量为 m 的小球在 A 点由静止释放沿倾斜轨道 AB 下滑，经水平轨道 BC 进入半径 $R_1 = 0.8m$ 的圆形轨道，恰能做完整的圆周运动；再经水平轨道 CE 进入“水滴形”曲线轨道 EFG，E 点的曲率半径 $R_2 = 2m$，“水滴形”轨道最高点 F 与圆形轨道最高点 D 等高。忽略所有轨道摩擦力，各轨道都平滑连接，“水滴形”轨道左右对称，g 取 $10m/s^2$。



图1

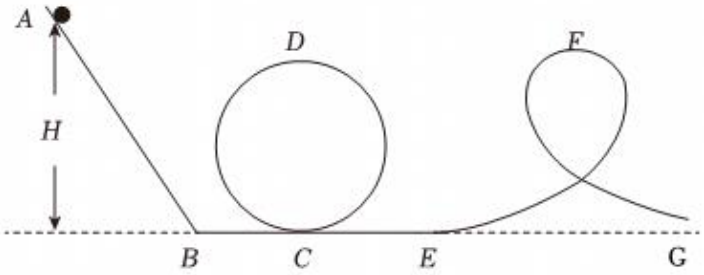


图2

（1）求小球释放点 A 距离水平面的高度 H。

（2）在圆形轨道上运动时，小球在最低点 C 与最高点 D 的向心加速度大小的差值。

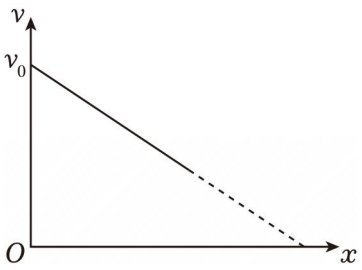
（3）在“水滴形”轨道 EFG 上运动时，小球的向心加速度大小为一个定值，求“水滴形”轨道 EFG 上任意一点的曲率半径 r 随距地面高度 h 变化的函数表达式（即：用 h 和 R_1 表示 r）。

14. 传统车辆刹车时使用机械制动方式，利用刹车装置使车辆受到制动力（即阻力）而减速，将减小的动能全部转化成内能。有些新能源电动车刹车时会使用一种“再生制动”方式，该方式在制动时能将汽车减少的动能转化为电能加以储存利用，这些减少的动能也被称为可回收的动能。一辆质量为 m 的电动汽车在平直路面上行驶，某一时刻同时开启机械制动和再生制动，汽车的速度从 v_1 减为 v_2 的过程，位移大小为 x_1；此后，只开启机械制动，直至汽车停止，汽车又向前行驶的位移大小为 x_2。假设机械制动使汽车受到的制动力恒定，空气阻力不计。

（1）求只开启机械制动的过程，汽车受到的制动力大小 f。

（2）求同时开启机械制动和再生制动的过程，汽车可回收的动能 $E_{回}$。

（3）从物体的运动情况确定其受力特征是力学研究的一个重要思路。为检测再生制动的性能，在汽车速度为 v_0 时，研究人员只开启再生制动方式，测绘了汽车速度随位移变化的关系图线如图所示，图线是一条直线，其斜率的绝对值为 k。根据加速度的定义，结合图像，推导汽车加速度 a 随 v 变化的规律及受到的制动力 F 随 v 变化的规律。

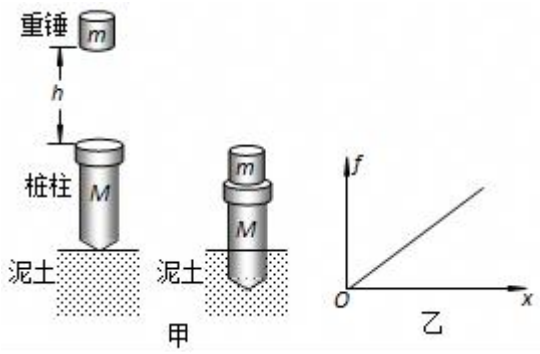


15. 建筑工程中的“打桩”是利用重锤的冲击克服泥土对桩柱的阻力，使桩柱插入泥土到达预定深度的过程。如图甲所示，设打桩机重锤的质量为 m，桩柱的质量为 M。打桩过程可简化如下：桩柱下端开始时在地表面没有进入泥土，提升重锤到距离桩柱上端 h 高度后使其自由落下，重锤撞击桩柱上端，经极短时间的撞击使两者以共同的速度一起向下移动一段距离后停止。然后再次提升重锤，重复打桩过程，逐渐把桩柱打到预定深度。设桩柱向下移动的过程中泥土对桩柱的阻力 f 的大小与桩柱打入泥土中的深度 x 成正比，其函数表达式 f = kx（k 为大于 0 的常量，具体值未知），f - x 图象如图乙所示。已知重力加速度大小为 g。

（1）求重锤与桩柱第一次碰撞后瞬间的共同速度大小；

（2）图象法和比较法是研究物理问题的重要方法，例如从教科书中我们明白了由 v - t 图象求直线运动位移的思想和方法，请你借鉴此方法，根据图示的 f - x 图象结合函数式 f = kx，分析推导在第一次打桩将桩柱打入泥土的过程中阻力所做的功与桩柱打入泥土深度的关系式；并将泥土对桩柱的阻力与你熟悉的弹簧弹力进行比较，从做功与能量转化的角度简要说明泥土对桩柱的阻力做功和弹簧弹力做功的不同；

（3）若重锤与桩柱第一次的撞击能把桩柱打入泥土中的深度为 d，试求常量 k 的大小。



16. 二十一世纪，能源问题是全球关注的焦点问题。从环境保护的角度出发，电动汽车在近几年发展迅速。如表给出的是某款电动汽车的相关参数：

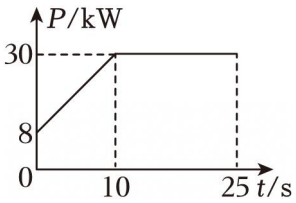
参数指标	整车质量	0 ~ 100km/h 加速时间	最大速度	电池容量	制动距离（100km/h ~ 0）
数值	2000kg	4.4s	250km/h	90kW•h	40m

请从上面的表格中选择相关数据，取重力加速度 $g = 10m/s^2$，完成下列问题：

（1）将汽车制动过程近似看作匀减速直线运动，求汽车在（100km/h ~ 0）的制动过程中的加速度大小。（认为 100km/h = 30m/s）；

（2）若已知电动汽车电能转化为机械能的效率为$\eta = 80\%$，整车在行驶过程中的阻力约为车重的 0.05 倍，试估算此电动汽车以 20m/s 的速度匀速行驶时的续航里程（能够行驶的最大里程）。已知 $1kW•h = 3.6 \times 10^6J$。根据你的计算，提出提高电动汽车的续航里程的合理化建议（至少两条）；

（3）某次加速过程中，此电动汽车在 0 - 25s 时间内，速度从 5m/s 提升到 20m/s，此过程中电动汽车获得的动力功率随时间变化的关系简化如图所示。整车在行驶过程中的阻力仍约为车重的 0.05 倍，求此加速过程中汽车行驶的路程。



17. 蹦极是极限运动的一种。为保证安全，要研究下落最大距离与人的质量、弹性绳弹性系数、阻力等诸多因素的关系。实际情况比较复杂，可简化为如下模型：弹性绳视为轻弹簧，质量可忽略不计，弹力的大小 F = kx，弹性势能$E_p = \frac{1}{2}kx^2$，其中 x 是弹性绳的形变量，k 是劲度系数；人视为质点，始终在一竖直线上运动。

已知，蹦极用弹性绳原长为 L_0，劲度系数为 k，重力加速度为 g。

（1）质量为 m 的人从平台由静止下落，到达 A 点时弹性绳恰好伸直，继续向下到达最低点 B，A、B 两点间距离为 d；之后又会反弹到某个高度，再下落……最后停在空中。人受到的阻力与速度大小有关，速度为 0 时，阻力为 0。

a.求人在 B 点时的加速度加速度 a 的大小及方向；

b.将人、弹性绳和地球视为一个系统，求从人离开平台到停在空中的整个过程，系统损失的机械能 $\Delta E_{损}$。

（2）实际上，人在运动过程中受到的空气阻力较小，可忽略不计。甲、乙两人质量分别为 m_1、m_2，且 $m_1 > m_2$，分别用同一弹性绳蹦极，以平台为原点，竖直向下为正方向，两人下落最大位移分别为 h_1、h_2。如图所示为甲下落过程中加速度 a 与下落位移 h 之间的关系图。

a.请通过分析在图中大致画出乙下落过程中加速度与下落位移的关系图；

b.类比直线运动中由 v - t 图像求位移的方法，尝试利用 a - h 图比较 h_1 与 h_2 的大小并证明之。

