

## 第五章 经典力学的局限性与相对论初步

### 第 1~3 节 经典力学的成就与局限性/ 相对论时空观简介/宇宙的起源和演化



#### 对点上分

**1. BD** 【解析】物理学的发展,使人们认识到经典力学有它的适用范围,以牛顿运动定律为基础的经典力学适用于处理宏观、低速物体的运动,具有相当高的正确性,在生产、生活以及科技中有着广泛的应用,有其存在的价值,故 A 错误, B、D 正确;虽然相对论和量子力学更加深入、科学地认识自然规律,它们是科学的进步,但并不是对经典力学的否定,故 C 错误.

**2. A** 【解析】飞船上的人是以飞船为参考系,故地球是高速运动的,根据爱因斯坦狭义相对论的延缓效应,飞船上的人观测到地球上的钟较慢,飞船上的钟较快,故 A 正确, B、C 错误;地球上的人以地球为参考系,认为飞船高速运动,根据爱因斯坦狭义相对论的延缓效应,地球上的人观测到飞船上的钟较慢,地球上的钟较快,故 D 错误.

**知识拓展** 时间延缓效应是在两个不同惯性系中进行时间比较的一种效应,不是时钟的结构、精度或因运动而发生了改变,而是在不同参考系中对时间的观测效应.

**3. C** 【解析】根据时间延缓效应公式  $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$  可知,相对于

观察者的速度  $v$  越大,其上的时间进程越慢,  $a$  放在地面上,在地面上的人看来,  $a$  钟没有变化;  $b$ 、 $c$  两钟放在两个火箭上,根据爱因斯坦相对论可知,  $b$ 、 $c$  变慢,由于  $v_b < v_c$ ,  $c$  钟比  $b$  钟更慢,所以  $a$  钟最快,  $c$  钟最慢,故 C 正确.

**4. C** 【解析】由相对论长度收缩效应可知运动方向上的边长变短,垂直运动方向的边长不变,故 C 正确.

**5. A** 【解析】根据长度收缩效应公式  $l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ ,可知火车运动的速度  $v$  越大,所测长木棒的长度越小,故 A 正确.

#### 方法总结 长度收缩效应的规律及判定

(1) 物体静止长度  $l_0$  和运动长度  $l$  之间的关系为  $l =$

$$l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}.$$

(2) 相对于地面以速度  $v$  运动的物体,从地面上看:

- ① 沿着运动方向上的长度变短了,速度越大,变短得越多.
- ② 在垂直于运动方向上的长度不变.

**6. CD** 【解析】根据公式  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ ,当物体的运动速度  $v > 0$

时,物体的质量  $m > m_0$ ,但是当物体以较小速度运动时,质量变化十分微弱,经典力学理论仍然适用,只有当物体以接近光速

运动时,质量变化才明显,故经典力学适用于低速运动,而不适用于高速运动,故 A、B 错误, C 正确;根据公式  $m =$

$$\frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

通常由于物体的运动速度太小,质量的变化不能

引起我们的感觉,在分析地球上物体的运动时,不必考虑质量的变化,故 D 正确.

# 全书综合检测

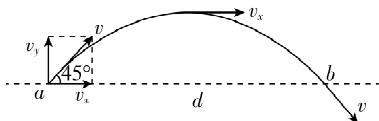
1. **C** 【解析】从上至下将第一块砖平铺在地面上重力做功为  $mg \cdot 2d$ , 将第二块砖平铺在地面上重力做功为  $mgd$ , 将第三块砖平铺在地面上重力不做功, 则该过程中三块砖所受的重力做的功为  $3mgd$ , 故 **C** 正确.  
 提醒: 重力做功  $W = mgh$ ,  $h$  为重心下降高度, 需明确每块砖的重心变化.
2. **B** 【解析】根据曲线运动的特点可知, 合外力方向指向曲线凹侧, 又因为汽车做减速运动, 所以合外力方向与运动方向夹角为钝角, 故 **B** 正确.
3. **B** 【解析】平抛运动并不是只能按水平和竖直方向进行分解, 也可以在其他方向分解, 故 **A** 错误; 一个水平方向的匀速直线运动与一个竖直方向的匀变速直线运动可以合成一个匀变速曲线运动, 比如平抛运动, 若一个匀速直线运动和一个匀变速直线运动共线, 可以合成一个直线运动, 故 **B** 正确; 匀加速直线运动的初速度为零时, 速度与时间才成正比, 故 **C** 错误; 匀减速直线运动是加速度与速度方向相反的运动, 加速度是否为负值取决于规定的正方向, 故 **D** 错误.
4. **B** 【解析】三个篮球击中篮筐时的速度方向均沿水平方向, 则其逆过程是平抛运动, 设任一篮球击中篮筐的速度大小为  $v$ , 上升的高度为  $h$ , 水平位移为  $x$ , 则有  $x = vt$ ,  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $v = x\sqrt{\frac{g}{2h}}$ , 因为  $h$  相同, 则  $v_1 > v_2 > v_3$ , 故 **A** 错误, **B** 正确; 根据速度的分解有  $\tan \theta = \frac{v_y}{v} = \frac{gt}{v}$ , 因为  $t$  相同, 且  $v_1 > v_2 > v_3$ , 则  $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ , 故 **C**、**D** 错误.
5. **A** 【解析】根据运动的合成规律可知  $\tan 37^\circ = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{水}}} = \frac{3}{4}$ , 所以  $v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$ , 故 **A** 正确; 因为船速小于水速, 所以船不能垂直过河, 故 **B** 错误; 改变船速方向, 将会改变垂直于河岸的分速度大小, 会影响渡河时间, 故 **C** 错误; 过河时间只与垂直河岸的分速度有关, 而水速不影响该分速度, 所以水速不影响渡河时间, 只影响到达对岸时的位置, 故 **D** 错误.
6. **B** 【解析】以  $A$  为研究对象, 将  $A$  垂直打在斜面上的速度分解, 可得  $\tan \theta = \frac{v_1}{gt_1}$ , 可知  $A$  的运动时间为  $t_1 = \frac{v_1}{g \tan \theta}$ , 则  $A$  的水平位移为  $x_1 = v_1 t_1 = \frac{v_1^2}{g \tan \theta}$ ; 以  $B$  为研究对象, 将  $B$  的位移分解, 可得  $\tan \theta = \frac{v_2 t_2}{\frac{1}{2}gt_2^2} = \frac{2v_2}{gt_2}$ , 可知  $B$  的运动时间为  $t_2 = \frac{2v_2}{g \tan \theta}$ , 则  $B$  运动的水平位移为  $x_2 = v_2 t_2 = \frac{2v_2^2}{g \tan \theta}$ , 则  $A$ 、 $B$  在斜面上的落点间的距离为  $d = \frac{x_1 - x_2}{\cos \theta} = \frac{1}{g \sin \theta} (v_1^2 - 2v_2^2)$ , 故 **B** 正确.

**7. D** 【解析】从开始到弹簧被压缩至最短的过程中摩擦力做功为  $W_f = -\mu mg(s+x)$ , 物块克服摩擦力做功为  $W = -W_f = \mu mg(s+x)$ , 故 **A 错误**; 由能量守恒定律可知, 从开始到弹簧被压缩至最短的过程中, 物块机械能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量和克服摩擦力所做的功的和, 则物块机械能减少量大于  $\mu mg(s+x)$ , 故 **B 错误**; 物块机械能的减少量为  $\frac{1}{2}mv_0^2$ , 物块和弹簧系统机械能减少量等于物块克服摩擦力做的功  $\mu mg(s+x)$ , 故 **C 错误**; 由动能定理有  $W_{\text{弹}} - \mu mg(s+x) = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ , 物块克服弹簧弹力所做的功为  $W' = -W_{\text{弹}} = \frac{1}{2}mv_0^2 - \mu mg(s+x)$ , 故 **D 正确**.

**8. BD** 【解析】卫星 *A* 加速后做离心运动, 轨道变高, 不可能追上卫星 *C*, 故 **A 错误**; 根据题意可知, *A*、*B* 再次相距最近时, *A*、*B* 两卫星转过的角度相差  $2\pi$ , 设经过的时间为  $t$ , 则有  $\left(\frac{2\pi}{T_2} - \frac{2\pi}{T_1}\right)t = 2\pi$ , 解得  $t = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$ , 故 **B 正确**; 万有引力提供向心力, 则卫星的向心力大小为  $F = \frac{GMm}{r^2}$ , 由于不知道卫星 *A*、*B*、*C* 的质量关系, 则无法确定三颗卫星向心力的大小关系, 故 **C 错误**; 绕地球运动的卫星与地心连线在时间  $t$  内扫过的面积为  $S = \frac{1}{2}vtr$ , 由万有引力提供向心力有  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ , 联立可得  $S = \frac{1}{2}t \sqrt{GM}r$ , 由于 *A* 的轨道半径大于 *B* 的轨道半径, 则在相同时间内, *A* 与地心连线扫过的面积大于 *B* 与地心连线扫过的面积, 故 **D 正确**.

**9. BD** 【解析】该汽车从 *A* 点到 *B* 点的过程中重力做功为  $W_G = mg \times 2r(1 - \cos 30^\circ) \approx 6 \times 10^5 \text{ J}$ , 故 **A 错误**; 在最高点, 根据牛顿第二定律有  $mg - F_A = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $F_A = 6000 \text{ N}$ , 根据牛顿第三定律可知, 该汽车通过最高点 *A* 时对路面的压力大小为  $6000 \text{ N}$ , 故 **B 正确**; 在最低点, 根据牛顿第二定律有  $F_B - mg = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $F_B = 2.4 \times 10^4 \text{ N} < 3.0 \times 10^4 \text{ N}$ , 该汽车不会爆胎, 故 **C 错误**; 脱离路面的最小速度满足  $mg = m \frac{v'^2}{r}$ , 解得  $v' \approx 38.7 \text{ m/s}$ , 该汽车若以  $38 \text{ m/s}$  的速度匀速通过该路段时, 不会脱离路面, 故 **D 正确**.

**10. ABC** 【解析】由题意可知, 小球在 *a* 点和在 *b* 点的速度大小相等, 与 *a*、*b* 所在直线的夹角相等, 由此特点可知, 小球的运动可看作斜向上抛运动, 如图所示,



由题意和图可知, 小球所受合力方向垂直于 *ab* 连线, 则有  $v_x = v \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ , 小球从 *a* 点运动到 *b* 点过程中, 沿 *ab* 方向做匀

速直线运动,所用时间为  $t = \frac{d}{\frac{\sqrt{2}}{2}v} = \frac{\sqrt{2}d}{v}$ ,故 A 正确;小球从  $a$  点

到距离  $ab$  连线最远的点的过程中做减速运动,之后继续运动到  $b$  点过程中做加速运动,因此当小球运动到距离  $ab$  连线最远的点时,速度最小,最小速度为  $v_x = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ ,则小球的最小动能为

$E_k = \frac{1}{2}mv_x^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2 = \frac{1}{4}mv^2$ ,故 B 正确;由题意可知,风力

大小恒定、方向水平,小球在  $a$  点的速度方向水平向右,在  $b$  点的速度方向竖直向下,由此可认为,小球在水平方向向右做匀减速直线运动,到达  $b$  点时水平速度减为零,竖直方向做自由落体运动,设  $b$  点所在的水平面为零势能面,则小球在  $a$  点的机械能为  $E_a = mgd\sin 45^\circ + \frac{1}{2}mv^2$ ,运动到  $b$  点时的机械能  $E_b =$

$\frac{1}{2}mv^2$ ,因为小球在竖直方向做自由落体运动,则  $2gd\sin 45^\circ =$

$v^2$ ,可得  $\Delta E = E_a - E_b = mgd\sin 45^\circ = \frac{1}{2}mv^2$ ,因此小球从  $a$  点运动

到  $b$  点的过程中损失的机械能为  $\frac{1}{2}mv^2$ ,故 C 正确;由以上解析

可知,小球在运动中,受到的风力大小为  $mg$ ,若风力不变,改用质量为  $2m$  的小球,则重力变为原来的 2 倍,重力与风力合力的大小和方向都发生变化,所以质量为  $2m$  的小球从  $a$  点以相同速度抛出,其不能经过  $b$  点,故 D 错误。

#### 11. (1) B (2) C (3) 大于

**【解析】**(1) 打点计时器应连接交流电源,为了减小纸带与打点计时器间的摩擦,并且充分利用纸带,应手提着纸带上端使纸带处于竖直方向且重物靠近打点计时器,故 A、C、D 错误, B 正确。

**关键:** 打点计时器需接交流电源,且纸带应竖直(减小摩擦)、重物靠近打点计时器(充分利用纸带)

(2) 根据匀变速直线运动中间时刻的速度等于这段时间内的平均速度,结合动能与重力势能表达式,即可验证机械能守恒定律,

**点拨:** 按“求两点速度→算动能变化,量两点高度→算势能变化”的逻辑,筛选选项

当已知  $OA$ 、 $AD$  和  $EG$  的长度时,可求得  $F$  点与  $AD$  的中间时刻速度,从而确定两点间的动能变化,但无法求解对应的重力势能的变化,故 A 错误;当已知  $OC$ 、 $BC$  和  $DE$  的长度时,可求得  $BC$  的中间时刻速度和  $DE$  的中间时刻速度,从而确定两点间的动能变化,但无法求解对应的重力势能的变化,故 B 错误;当已知  $BD$ 、 $CF$  和  $EG$  的长度时,依据  $BD$  和  $EG$  的长度,可分别求得  $C$  点与  $F$  点的瞬时速度,从而求得  $C$ 、 $F$  两点间动能的变化,再由  $CF$  的长度确定重力势能的变化,进而得以验证机械能守恒定律,故 C 正确;当已知  $AC$ 、 $BD$  和  $EG$  的长度时,依据  $AC$  和  $EG$  的长度,可求得  $B$  点与  $F$  点的瞬时速度,从而求得  $B$ 、 $F$  两点间动能的变化,而  $BF$  长度不知道,则无法验证机械能守恒定律,故 D 错误。

(3) 设重物受到的阻力大小为  $f$ ,根据动能定理  $mgh - fh = \frac{1}{2}mv^2$ ,

整理可得  $v^2 = 2\left(g - \frac{f}{m}\right)h$ , 图像斜率为  $2\left(g - \frac{f}{m}\right)$ , 由图乙可知  $P$  的斜率大于  $Q$  的斜率, 而阻力相等, 所以  $P$  的质量大于  $Q$  的质量.

**提醒:** 斜率与质量呈正相关, 斜率越大, 质量越大, 需推导公式明确关系

12. (1) D (2) 2.40 0.412 (3)  $\frac{2(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$

**【解析】**(1) 实验时应先启动打点计时器再释放重物, 故 A 错误; 要使重物能拉动纸带向上运动,  $m_2$  应大于  $m_1$ , 故 B 错误; 实验应测量纸带上各点到起始点间的距离, 用中间时刻的瞬时速度等于这段位移的平均速度来求各点的速度, 不能用公式  $v^2 = 2gh$  计算某点的速度, 故 C 错误; 为了减小空气阻力带来的实验误差, 该实验应选用密度大、体积小的重物, 故 D 正确.

(2) 打下点 4 时重物的瞬时速度大小为  $v_4 = \frac{h_{35}}{2T} = \frac{96.10 - 48.10}{2 \times 0.1} \times 10^{-2} \text{ m/s} = 2.40 \text{ m/s}$ ; 打下起始点 0 到打下点 4 的过程中系统重力势能减少量为  $\Delta E_p = (m_2 - m_1)gh_{04} = (0.1 - 0.04) \times 9.8 \times 70.05 \times 10^{-2} \text{ J} \approx 0.412 \text{ J}$ .

(3) 若重物运动过程中机械能守恒, 则有  $(m_2 - m_1)gh = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ , 化简得  $v^2 = \frac{2(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}h$ , 所以  $v^2 - h$  图像的斜率为  $\frac{2(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$  即可验证机械能守恒.

13. (1)  $1 \times 10^4 \text{ N}$  (2)  $4 \times 10^4 \text{ N}$  (3)  $2.96 \times 10^7 \text{ J}$

**【解析】**(1) 当牵引力等于阻力时, 速度达到最大值, 则有  $P_m = f v_m$ ,

可得该车在运动过程中所受阻力大小为  $f = \frac{P_m}{v_m} = \frac{960 \times 10^3}{96} \text{ N} = 1 \times 10^4 \text{ N}$ .

(2) 根据  $v-t$  图像可知, 匀加速阶段加速度大小为  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1}{t_1}$ ,

根据牛顿第二定律有  $F_{\text{牵}} - f = ma$ ,

$t_1$  时刻功率达到最大功率  $P_m = F_{\text{牵}} v_1$ ,

则该车在匀加速运动过程中加速度大小  $a = 15 \text{ m/s}^2$ ,

所受牵引力的大小  $F_{\text{牵}} = 4 \times 10^4 \text{ N}$ .

(3)  $0 \sim 1.6 \text{ s}$  内汽车匀加速运动的加速度大小为  $a = 15 \text{ m/s}^2$ ,

$0 \sim 1.6 \text{ s}$  内汽车匀加速运动的位移为  $x_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = 19.2 \text{ m}$ ,

牵引力做的功为  $W_1 = F_{\text{牵}} x_1 = 7.68 \times 10^5 \text{ J}$ ,

变加速过程中, 即  $1.6 \sim 31.6 \text{ s}$  内, 汽车牵引力的功率恒为

$960 \text{ kW}$ , 所以该过程中牵引力做的功为  $W_2 = Pt_2 = 2.88 \times 10^7 \text{ J}$ ,

则从静止开始到  $31.6 \text{ s}$  末该车所受牵引力所做的功  $W = W_1 + W_2 \approx 2.96 \times 10^7 \text{ J}$ .

14. (1) 大小为  $28 \text{ N}$ , 方向竖直向下 (2)  $12 \text{ J}$  (3)  $0 \leq v_A \leq 2\sqrt{6} \text{ m/s}$

**【解析】**(1) 包裹从  $A$  点到  $B$  点过程, 根据动能定理可得  $mgR \cdot$

$(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$ , 解得  $v_B = 2 \text{ m/s}$ , 在  $B$  点, 根据牛顿第二定

律可得  $F'_N - mg = m \frac{v_B^2}{R}$ , 解得  $F'_N = 28 \text{ N}$ , 根据牛顿第三定律可知,

包裹到达  $B$  点时对轨道的压力大小为  $28 \text{ N}$ , 方向竖直向下.

(2) 由于  $v_B = 2 \text{ m/s} < v_0 = 4 \text{ m/s}$ , 可知包裹滑上传送带后做匀加速直线运动, 加速度大小为  $a = \frac{\mu mg}{m} = 3 \text{ m/s}^2$ , 包裹滑上传送带

到与传送带共速所用时间为  $t_1 = \frac{v_0 - v_B}{a} = \frac{2}{3} \text{ s}$ , 包裹加速阶段通

过的位移大小为  $x_1 = \frac{v_B + v_0}{2} t_1 = 2 \text{ m} = L$ , 可知包裹运动到传送带

右端时刚好与传送带共速, 则传送带对包裹所做的功为  $W =$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = 12 \text{ J}.$$

(3) 若包裹能刚好落在  $E$  点, 则从  $C$  点到  $E$  点过程, 有  $h =$

$\frac{1}{2}gt^2$ ,  $s = v_C t$ , 解得包裹从  $C$  点抛出的速度大小为  $v_C = 4 \text{ m/s}$ , 若

包裹在传送带上一直做匀减速直线运动, 即包裹在传送带上摩擦力一直对包裹做负功, 则包裹从  $A$  点到  $C$  点过程, 根据动能

定理可得  $mgR(1 - \cos \theta) - \mu mgL = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$ , 解得  $v_A =$

$2\sqrt{6} \text{ m/s}$ , 则为使包裹能刚好落在  $E$  点,  $v_A$  的大小需满足  $0 \leq$

$v_A \leq 2\sqrt{6} \text{ m/s}$ .

15. (1)  $2 \text{ m/s}$  30 N (2) 4 J (3)  $0.125 \leq \mu < 0.75$  或  $\mu = 1$

【解析】(1) 滑块从  $A$  点到  $B$  点的过程, 由动能定理得  $mgR =$

$\frac{1}{2}mv_B^2 - 0$ , 代入数据解得  $v_B = 2 \text{ m/s}$ , 滑块在  $B$  点受到重力和支

持力, 根据牛顿第二定律有  $F'_N - mg = m \frac{v_B^2}{R}$ , 代入数据解得  $F'_N =$

$30 \text{ N}$ , 由牛顿第三定律可知, 滑块经过圆弧  $B$  点时对圆弧的压力大小为  $F'_N = F_N = 30 \text{ N}$ .

(2) 从  $C$  点到弹簧压缩到最短的过程, 根据系统能量守恒可知

$mgL \sin \theta + \frac{1}{2}mv_C^2 = \mu mg \cos \theta \cdot L + E_p$ , 已知  $v_C = v_B = 2 \text{ m/s}$ , 代入

数据得  $E_p = 4 \text{ J}$ .

(3) 最终滑块停在  $D$  点有两种可能性: ①滑块运动到  $D$  点速度

恰好为零, 则由动能定理可知  $mgL \sin \theta - \mu_1 mgL \cos \theta = 0 - \frac{1}{2}mv_C^2$ ,

代入数据解得  $\mu_1 = 1$ ;

②滑块在斜面  $CD$  与地面间多次往复运动, 最终静止于  $D$  点. 在斜面上时需要满足  $mg \sin \theta > \mu_2 mg \cos \theta$ , 解得  $\mu_2 < 0.75$ , 当滑块从

$C$  点出发又恰好能返回  $C$  点时, 根据动能定理有  $-\mu_3 mg \cos \theta \cdot$

$2L = 0 - \frac{1}{2}mv_C^2$ , 解得  $\mu_3 = 0.125$ ,

综上所述,  $\mu$  的取值范围为  $0.125 \leq \mu < 0.75$  或  $\mu = 1$ .