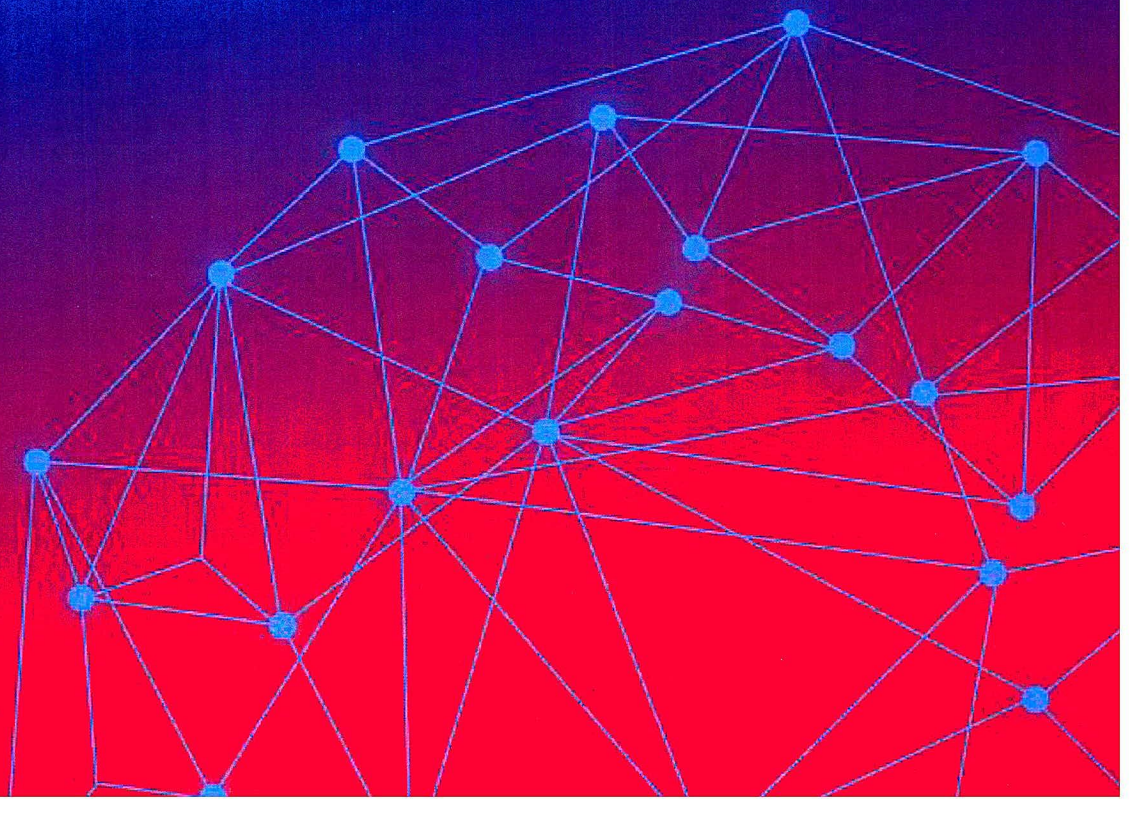
物理星空

高中物理
题型全练一本通
必修第二册

拔高首选 强效提分

答案详解册



目录

第一讲：曲线运动 7
考点一：曲线运动的条件及基本特征 7
题型一：概念辨析 7
题型二：曲线运动的速度 7
题型三：曲线运动的条件 7
考点二：运动的分解与合成 8
题型一：分运动与合运动的关系 8
题型二：两个互成角度的直线运动的合运动 9
题型三：生活中的运动合成与分解 10
考点三：小船过河 11
题型一：最短时间 11
题型二：最短位移与最小速度 12
题型三：水速变化中的过河规律 13
考点四：关联体速度分解 14
题型一：绳关联 14
题型二：杆关联 15
题型三：接触面关联 16
题型四：滑轮关联 17
第二讲：抛体运动 18
考点一：平抛运动的条件及基本特征 18
题型一：概念辨析 18
题型二：平抛运动的基本规律 18
题型三：平抛运动轨迹问题 22
题型四：平抛运动与自由落体 25
题型五：平抛运动中的相遇问题 26
考点二：有约束条件下的平抛运动 27
题型一：斜面上的平抛运动 27
题型二：弧面上的平抛运动 31
题型三：平抛运动中的竖直碰撞 33
题型四：平抛运动中的水平碰撞 35
考点三：平抛运动中的临界问题与极限问题 37
题型一：临界问题 37
题型二：极限问题 39
题型三：生活中的平抛运动 40
考点四：类平抛运动 42
题型一：基础模型 42
题型二：延伸模型 44
考点五：斜抛运动 46
题型一：概念辨析 46
题型二：基本规律 47
题型三：轨迹问题 48
题型四：逆向处理斜抛运动 50
题型五：斜抛中的极值问题 51
第三讲：探究抛体运动的特点 54
考点一：原型试验 54
题型一： 54

考点二：创新实验.....55
题型一：.....55
综合练习（一）.....58
第四讲：圆周运动.....64
考点一：认识圆周运动.....64
题型一：概念辨析.....64
题型二：圆周运动基础计算.....64
题型三：线速度与角速度.....66
考点二：传动问题.....67
题型一：定性判断.....67
题型二：定量计算.....68
题型三：钟表问题.....70
考点三：多解问题.....71
题型一：匀速直线运动与圆周结合的多解问题.....71
题型二：匀变速运动与圆周结合的多解问题.....72
题型三：闪光灯问题.....74
考点四：向心力.....76
题型一：概念辨析.....76
题型二：向心力的来源.....76
题型三：圆周运动中的动力学问题.....78
题型四：变速圆周运动和一般曲线运动.....80
考点四：向心加速度.....80
题型一：概念辨析.....80
题型二：向心加速度简单计算.....81
题型三：传动关系中得向心加速度计算.....84
题型四：圆周运动中动力学综合.....85
题型五：圆周运动与平抛运动综合问题.....87
第五讲：探究向心力的影响因素.....90
题型一：实验原型.....90
题型二：实验创新.....92
综合练习（二）.....94
第六讲：生活中的圆周运动.....98
考点一：汽车过桥模型.....98
题型一：凸形桥.....98
题型二：凹形桥.....99
考点二：车转弯模型.....100
题型一：汽车水平路面转弯.....100
题型二：汽车倾斜路面转弯.....102
题型三：火车转弯.....103
考点三：离心问题.....104
题型一：航天器中的失重现象.....104
题型二：离心运动与近心运动.....105
第七讲：竖直平面和水平面的圆周运动.....108
考点一：绳模型与单环模型.....108
题型一：绳模型.....108
题型二：绳长突变模型.....110
题型三：单环内运动.....110
题型四：单环外运动.....112

考点二：杆模型与管道模型(双环模型) 113
题型一：杆模型 113
题型二：管道模型 115
考点三：水平圆盘上的圆周运动(临界问题) 117
题型一：基础模型 117
题型二：重叠模型 118
题型三：绳连接 120
题型四：弹簧连接 123
考点四：筒模型 125
题型一：圆筒模型 125
题型二：锥筒模型 125
考点五：圆锥摆模型 128
题型一：单体圆锥摆（基础型） 128
题型二：单体圆锥摆（升级模型） 131
题型三：多体连接圆锥摆（基础模型） 132
题型四：多体连接圆锥摆（升级模型） 133
考点六：斜面上圆周运动模型 135
题型一：倾斜圆盘模型(摩擦力控制) 135
题型二：斜面上轻绳控制模型 138
题型三：斜面上轻杆控制模型 139
综合练习（三） 140
第八讲：万有引力定律 143
考点一：开普勒三定律 143
题型一：认识开普勒三定律 143
题型二：开普勒三定律简单应用 143
题型三：天体中的相遇问题 144
考点二：万有引力定律 146
题型一：认识万有引力定律 146
题型二：万有引力定律简单应用 147
题型三：割补法在万有引力中的应用 148
题型四：天体物理史 150
考点三：重力与万有引力的关系 151
题型一：月地检验 151
题型二：不同纬度的重力加速度 g 152
题型三：星球解体问题 153
题型四：黄金代换公式（$GM=gR^2$） 154
题型五：星球表面的抛体运动 156
题型六：不同高度的重力加速度 g 157
考点四：万有引力定律的成就 158
题型一：发现未知天体 158
题型二：预测彗星回归 159
考点五：计算中心天体的质量 160
题型一：重力加速度法 160
题型二：环绕型 161
考点六：计算中心天体的密度 163
题型一：重力加速度法 163
题型二：环绕型 166
题型三：特殊型（已知星球半径与轨道半径的倍数关系） 168

考点七：双星问题及多星问题 169
题型一：双星问题 169
题型二：三星问题 172
题型三：其他 176
第九讲：宇宙航行 179
考点一：宇宙速度 179
题型一：了解三大宇宙速度 179
题型二：三大宇宙速度的相关计算 179
题型三：$v_2=\sqrt{2}v_1$ 182
考点二：同步卫星以及近地卫星 183
题型一：基础辨析 183
题型二：认识同步卫星 184
题型三：同步卫星综合应用 185
考点三：一般人造卫星 187
题型一：卫星轨道问题——定性分析 187
题型二：卫星轨道问题——定量计算 189
考点四：卫星发射与变轨 192
题型一：卫星变轨 192
题型二：飞船对接 194
考点五：特殊模型 195
题型一：太空电梯问题 195
题型二：拉格朗日点问题 197
题型三：黑洞问题 199
题型四：潮汐问题 201
题型五：晨昏线问题 202
题型六：卫星通信盲区 204
题型七：日出、日落问题及日全食问题 208
第十讲：功及功率 211
考点一：功 211
题型一：概念辨析 211
题型二：做功与否以及做正功或做负功 211
题型三：简单计算 212
考点二：功率 215
题型一：概念辨析 215
题型二：平均功率瞬时功率定性比较 216
题型三：平均功率瞬时功率定量计算 218
题型四：功率中的图像问题 220
考点三：摩擦力做功 221
题型一：概念辨析 221
题型二：摩擦力做功的简单计算 222
题型三：斜面中的摩擦力做功 223
考点四：变力做功 224
题型一：微元法和等效法 224
题型二：平均值法 225
题型三：图像法 226
考点五：机车起动 227
题型一：恒定功率启动 227
题型二：恒定加速度启动 228

题型三：机车启动中的图像问题—常规图像 230
题型四：机车启动中的图像问题—拓展图像 232
题型五：机车起动中的突变问题 234
考点六：重力势能 235
题型一：概念辨析 235
题型二：重力做功与重力势能的关系 236
题型三：非质点及流体的重力势能 237
考点七：弹性势能 238
题型一：概念辨析 238
题型二：弹力做功与弹力势能的关系 239
第十一讲：动能定理 241
考点一：动能 241
题型一：概念辨析 241
题型二：动能基础计算 241
题型三：动能变化量 243
考点二：动能定理 245
题型一：概念辨析 245
题型二：简单应用 245
题型三：应用动能定理解决匀变速直线运动 246
题型四：应用动能定理解决曲线运动问题 247
题型五：应用动能定理解决变力做功问题 248
题型六：应用动能定理解决机车启动问题 249
考点三：动能定理综合应用 251
题型一：应用动能定理解决多过程直线运动 251
题型二：应用动能定理解决多过程曲线运动 252
题型三：应用动能定理解决图像问题 255
题型四：应用动能定理解决传送带问题 257
题型五：应用动能定理解决往返问题 261
第十二讲：机械能守恒 262
考点一：机械能守恒 262
题型一：机械能守恒的条件 262
题型二：机械能守恒判断 262
考点二：单体机械能守恒 264
题型一：直线运动中的机械能守恒 264
题型二：抛体运动中的机械能守恒 265
题型三：圆周运动中的机械能守恒 266
题型四：图像中的机械能守恒 268
考点三：系统机械能守恒 270
题型一：概念辨析 270
题型二：绳连接中的机械能守恒——速度大小相等 270
题型三：绳连接中的机械能守恒——速度大小不等 271
题型四：杆连接中的机械能守恒———角速度相等 274
题型五：杆连接中的机械能守恒———角速度不等 275
题型六：弹簧中的机械能守恒 278
题型七：非质点及流体中的机械能守恒 281
第十三讲：实验：验证机械能守恒定律 284
题型一：实验原型 284
题型二：实验创新 285

第十四讲：功能关系 288
考点一：功能关系 288
题型一：概念辨析 288
题型二：简单计算 288
考点二：摩擦力做功与能量转化 289
题型一：概念辨析 289
考点三：传送带模型 290
题型一：水平传送带 290
题型二：倾斜传送带 292
考点四：板块模型 295
题型一：光滑地面中的板块问题 295
题型二：粗糙地面中的板块问题 296
题型三：子弹打木块问题 299
考点五：弹簧中的功能关系 301
题型一：基础模型 301
题型二：弹簧连接体中受恒定摩擦力模型 303
考点六：图像问题 305
题型一： 305
综合练习（四） 308

第一讲：曲线运动

考点一：曲线运动的条件及基本特征

题型一：概念辨析

【精选例题】：A

1．A

【详解】AB．物体做曲线运动的条件是合外力与速度不共线，力可以是恒力也可以是变力，故A正确，B错误；

C．做曲线运动的物体，速度方向时刻发生变化，所以其运动状态一定改变，故C错误；

D．物体做曲线运动的条件是加速度与速度不共线，故D错误。

故选 A。

【跟踪训练】：A

1．A

【详解】A．物体做曲线运动时，加速度可能不变，例如平抛运动，故A正确；

B．物体做曲线运动，其速度方向为轨迹上某点的切线方向，故方向必定改变，即速度一定改变，故B错误；

C．物体并不是只有受到变力作用才做曲线运动，例如平抛运动，故C错误；

D．物体做曲线运动时，速度在改变，故不可能处于平衡状态，故D错误。

故选A。

题型二：曲线运动的速度

【精选例题】：C

1．C

【详解】A．微粒随砂轮一起运动时，做圆周运动，加速度不为0，故A错误；

B．微粒随砂轮一起运动时，速度方向时刻发生变化，故B错误；

C．微粒离开砂轮瞬间的速度方向沿砂轮的切线方向，故C正确；

D．根据物体做曲线运动的条件可知，微粒离开砂轮后做曲线运动的加速度不可能为0，故D错误。

故选C。

【跟踪训练】：AD

1．AD

【详解】AB．质点运动到D点时速度方向与加速度方向恰好互相垂直，则有A、B、C三点速度与加速度方向夹角大于90°，故选项A正确，B错误；

C．质点做匀变速曲线运动，则加速度不变，所以质点经过D点时的加速度与B点相同，故选项C错误；

D．质点从B到E的过程中加速度方向与速度方向的夹角一直减小，故选项D正确。

故选AD。

题型三：曲线运动的条件

【精选例题】：D

1．D

【详解】汽车做的是曲线运动，汽车受到的合力应该指向运动轨迹弯曲的内侧，由于汽车是从M向N运动的，并且速度在减小，所以合力与汽车的速度方向的夹角要大于90°。

故选D。

【跟踪训练】：D　　D

1．D

【详解】物体沿曲线从A点运动到B点的过程中，其所受恒力F的方向必定指向曲线的内侧；当运动到B点时，因恒力反向，由曲线运动的特点“物体运动的轨迹必定向合外力方向弯曲”可知物体以后只可能沿Bc运动。

故选D。

2．D

【详解】小车做曲线运动，要求合外力指向轨迹的凹侧，而从左向右运动速度一直增大，需要满足沿着切线方向的速度与合外力成锐角，故符合条件的图只有D。

故选D。

考点二：运动的分解与合成

题型一：分运动与合运动的关系

【精选例题】：C　　B

1．C

【详解】A．两个分运动是直线运动，合运动不一定是直线运动，例如平抛运动，故A错误；

B．若两个匀变速直线运动的合速度与合加速度在同一直线上，则两个匀变速直线运动的合运动是匀变速直线运动，故B错误；

C．分运动与合运动具有等时性，故C正确；

D．根据平行四边形定则，合速度可能比分速度大，可能比分速度小，可能与分速度相等，故D错误。

故选C。

2．B

【详解】AC．物体在0～3 s内，由题意可知，

x方向做匀速直线运动，速度为v_x=4m/s

y方向做初速度为零的匀加速直线运动，其加速度a_y=1m/s^2

合初速度$v_0=v_x$=4m/s；合加速度$a=a_y$=1m/s^2

物体的合初速度与合加速度不在同一直线上，所以物体的合运动为匀变速曲线运动，

0～3 s内，x方向位移为$x_1=12\text{m}$；0～3 s内，y方向位移为$y_1=\frac{1}{2}a_y t^2=\frac{1}{2}\times1\times3^2\text{m}=4.5\text{m}$

0～3 s内，物体位移为$s_1=\sqrt{x_1^2+y_1^2}=\sqrt{12^2+(4.5)^2}\text{m}=12.8\text{m}$；AC错误；

B．物体在3～4 s内，x方向做初速度v_x=4m/s；加速度a_x=4m/s^2；在x方向做匀加速直线运动，

y方向做初速度v_y=3m/s；加速度a_y=3m/s^2；在y方向也做匀加速直线运动，

合初速度大小v=5m/s；合速度的方向合加速度大小a=5m/s^2

合加速度的方向 v、a 在同一直线上，方向相同，故物体的合运动为匀加速直线运动，B 正确；

D. 0～4s 内，x 方向位移为 $x_2=12\text{m}+4\times1\text{m}+\frac{1}{2}\times4\times1^2\text{m}=18\text{m}$；

y 方向位移为 $y_2=4.5\text{m}+3.0\times1\text{m}+\frac{1}{2}\times3.0\times1^2\text{m}=9\text{m}$

0～3 s 内，物体位移为 $s_2=\sqrt{x_2^2+y_2^2}=\sqrt{18^2+9^2}\text{m}=20.1\text{m}$；D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：D　　B

1．D

【详解】AB．根据平行四边形定则可知，合运动的速度可能大于两个分运动的速度，也可能小于某个分运动的速度，故 AB 错误；

C．由于两分速度间的夹角不知，则仅知道两个分速度的大小不能确定合速度的大小，故 C 错误；

D．根据运动的合成与分解可知，合运动的方向就是物体实际运动的方向，故 D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】橡皮在水平方向以速度 v 匀速运动，在竖直方向也以速度 v 匀速运动，则橡皮的速度大小为

$v_{合}=\sqrt{v^2+v^2}=\sqrt{2}v$

故选 B。

题型二：两个互成角度的直线运动的合运动

【精选例题】：D　　A

1．D

【详解】A．两个匀速直线运动的合运动一定是直线运动，A 错误；

B．两个变速直线运动的合运动，如果合加速度的方向与合初速度的方向在同一条直线上，物体做直线运动，B 错误；

CD．一个匀速直线运动和一个变速直线运动的合运动不一定是曲线运动，也可能做直线运动，例如，竖直上抛运动就是一个匀速直线运动和一个变速直线运动的合运动，C 错误，D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】根据题意可知笔尖相对白纸参与水平向右的匀加速运动和水平向外的匀速运动，所以轨迹向右弯曲。

故选 A。

【跟踪训练】：B　　B　　3．(1) $\frac{mv_0^2}{2F}$；(2) $\frac{2m^2gv_0^2}{F^2}$；(3) $\frac{v_0}{F}\sqrt{F^2+4m^2g^2}$

1．B

【详解】设竖直速度为 v_y，下降过程中小崇竖直速度恒定，则竖直方向有 $h=v_yt$

受到F＝150N的水平恒定风力作用，则有$F=ma_x$

水平速度为$v_x=a_xt$；穿过横风区后的速度为$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

穿过横风区前后速度大小之比为3:5，即有$\frac{v_y}{v}=\frac{3}{5}$；联立各数据解得$v_y=6\text{m/s}$

故选B。

2．B

【详解】A．M点运动到最高点A时的速度不为零，方向水平向右，故A错误；

B．由运动轨迹的对称性可知，OA段与AB段的位移大小和运动时间均相同，则M点在OA与AB的平均速度大小相同，故B正确；

C．M点的运动可看成匀速圆周运动与匀速直线运动的合成，则最高点A的纵坐标为$y_A=2R=0.6\text{m}$

匀速圆周运动的周期为$T=\frac{2\pi R}{v}=0.3\pi\text{s}$O点运动至A点的时间为$t_{OA}=\frac{1}{2}T=0.15\pi\text{s}$

最高点A的横坐标为$x_A=vt=0.3\pi\text{m}$；最高点A的坐标为$(0.3\pi\text{ m},0.6\text{m})$，故C错误；

D．根据对称性，M点从O运动到B的时间为$t_{OB}=2t_{OA}=0.3\pi\text{s}$；故D错误。

故选B。

3．(1)$\frac{mv_0^2}{2F}$ (2)$\frac{2m^2gv_0^2}{F^2}$ (3)$\frac{v_0}{F}\sqrt{F^2+4m^2g^2}$

【详解】（1）将小球的运动沿水平方向和竖直方向分解，水平方向有$F=ma_x$，$-2a_xx_{\max}=0-v_0^2$

联立解得小球离A、B所在直线的最远距离为$x_{\max}=\frac{mv_0^2}{2F}$

（2）水平方向速度减小为零所需时间$t_1=\frac{v_0}{a_x}=\frac{mv_0}{F}$

由对称性知小球从A运动到B的总时间为$t=2t_1$

竖直方向上有$y=\frac{1}{2}gt^2$；联立解得A、B两点间的距离$y=\frac{2m^2gv_0^2}{F^2}$

（3）小球运动到B点时，水平分速度大小为$v_x=v_0$；竖直分速度大小为$v_y=gt=\frac{2mgv_0}{F}$

则小球到达B点时的速度大小为$v_B=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\frac{v_0}{F}\sqrt{F^2+4m^2g^2}$

题型三：生活中的运动合成与分解

【精选例题】：C　　B

1．C

【详解】若要篮球能够被投入球筐内，投篮的初速度与做匀速圆周运动的线速度的合速度方向应指向球筐，而线速度方向沿轨迹切线方向，对应四幅图中的方向向上，根据平行四边形定则可知投篮方向应斜向左下。

故选C。

2．B

【详解】已知雨滴落在伞上时，相对于伞的速度垂直时人淋雨最少，设伞柄与竖直方向的夹角为θ，则根据速度合成关系可得$\tan\theta=\frac{v_{人}}{v_{雨}}=\frac{1.5}{2.0}=\frac{3}{4}$；解得$\theta=37°$

故选 B。

【跟踪训练】：D　　BCD

1．D

【详解】以帆板为参考系，即把帆板看作静止，则帆船相对于帆板有向东的速度$\sqrt{3}$v 及向北的速度 v；由矢量合成可知，二者的合速度$v_{合}=\sqrt{(\sqrt{3}v)^2+v^2}=2v$；方向北偏东 60°。

A．帆船朝正东方向航行，速度大小为 v，与结论不相符，选项 A 错误；

B．帆船朝正西方向航行，速度大小为 v，与结论不相符，选项 B 错误；

C．帆船朝南偏东 60°方向航行，速度大小为$\sqrt{3}$v，与结论不相符，选项 C 错误；

D．帆船朝北偏东 60°方向航行，速度大小为 2v，与结论相符，选项 D 正确；

故选 D。

2．BCD

【详解】A．为保证箭能命中靶心，则箭的合速度方向应该指向靶心，而选手应瞄准靶心 P 左侧位置放箭，选项 A 错误；

B．为保证箭能命中靶心，选手在 D 点放箭也可以命中靶心，此时箭头应该指向 P 点左侧，合速度方向指向 P 点，选项 B 正确；

C．为保证箭能命中靶心，且运动时间最短，则箭应该垂直O_1O_2方向射出，此时箭射中靶心的最短时间为$t_{min}=\frac{d}{v_2}$；选项 C 正确；

D．为保证箭能命中靶心，且运动位移最短，即合速度方向指向 P 点且垂直于O_1O_2方向，此时箭射中靶心的时间为$t=\frac{d}{v_{合}}=\frac{d}{\sqrt{v_2^2-v_1^2}}$；选项 D 正确。

故选 BCD。

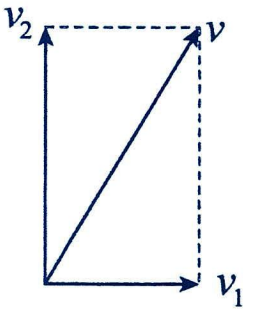
考点三：小船过河

题型一：最短时间

【精选例题】：B

1．B

【详解】AC．根据题意，小船的速度如图所示；则有$v=\sqrt{v_1^2+v_2^2}=\sqrt{34}\,\mathrm{m/s}$



则小船沿v的方向做匀速直线运动，故 AC 错误；

B．根据题意可知，小船渡河所用时间为$t=\frac{d}{v_2}=60\mathrm{s}$；故 B 正确；

D．小船渡河的位移大小为 $x=vt=60\sqrt{34}\text{m}$；故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：ACD

1．ACD

【详解】A．渡河时间 $t=\dfrac{d}{v_{船}}=20\text{s}$；故 A 正确；

B．由于航线与岸的夹角为 60°，则有 $\tan 60°=\dfrac{v_{船}}{v_{水}}$；解得 $v_{水}=\dfrac{5}{3}\sqrt{3}\text{m/s}$；故 B 错误；

C．实际渡河位移为 $s=\dfrac{d}{\sin 60°}=\dfrac{200}{3}\sqrt{3}\text{m}$；故 C 正确：

D．由于 $v_{船}>v_{水}$，当船头与上游河岸的夹角 θ 满足 $\cos\theta=\dfrac{v_{水}}{v_{船}}$ 时，船可到达正对岸，故 D 正确。

故选 ACD。

题型二：最短位移与最小速度

【精选例题】：AB　　A　　B

1．AB

【详解】A．垂直过河时，有 $v_{合}=v_{船}\sin\theta=10\times\sin 37°=10\times 0.6\text{m/s}=6\text{m/s}$；故 A 正确；

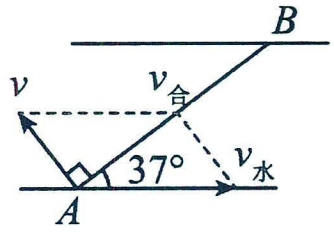
CD．因为 $v_{船}>v_{水}$，则船头指向斜上游方向，可以使河岸方向的速度为零，合速度垂直河岸从而垂直过河，设船头的指向与上游河岸的夹角为 θ，有 $v_{船}\cos\theta=v_{水}$；可得 $\cos\theta=\dfrac{v_{水}}{v_{船}}=\dfrac{4}{5}$；即 $\theta=37°$；故 CD 错误；

B．合运动和分运动之间具有等时性，所以当船速垂直河岸时用时最少，有；$t_{\min}=\dfrac{d}{v_{船}}=\dfrac{240}{10}\text{s}=24\text{s}$；故 B 正确。

故选 AB。

2．A

【详解】船从 A 处开出后沿直线 AB 到达对岸，可知合速度方向沿 AB 方向，根据平行四边形定则可知，当 $v_{船}$ 垂直于直线 AB 时，船有最小速度，如图所示



则有 $v_{船}=v_{水}\sin 37°=1.2\text{m/s}$

故选 A。

3．B

【详解】由题意可知，水流的速度和河岸的宽度为 $v_2=v_1\cos\theta$，$d=v_1\sin\theta\cdot t$

现要使小船在更短的时间内过河并且也正好到达正对岸 B 处，在水流速度不变的情况下，应满足（v_1'、θ' 是变

化后的速度和夹角），则有$v_1'\sin\theta'>v_1\sin\theta$，$v_1'\cos\theta'=v_1\cos\theta$

当$v_1'>v_1$时，则有$\theta'>\theta$，即在增大 v_1 的同时，也必须适当增大 θ 角。

故选 B。

【跟踪训练】：AD　　B　　A

1．AD

【详解】AB．由于船相对静水的速度小于水流速度，故船不能垂直过河，贵 A 正确，B 错误；

CD．要使小船过河的位移最短，当合速度的方向与船在静水中的速度相垂直时，渡河的最短位移，根据$\frac{d}{s}=\frac{v_{船}}{v_{水}}$；

解得最短位移为$s=\frac{v_{水}d}{v_{船}}=\frac{5}{4}\times 200\text{m}=250\text{m}$

故位移是 240m 是不可能的，位移是 260m 是可能的，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

2．B

【详解】设河宽为 d，渡河时间最短时，船的航向垂直河岸，航程为$l_1=v_{合}t=\frac{d}{v_1}\sqrt{v_1^2+v_2^2}$

由于水流速度大于船在静水中的速度，所以最短的航程为$l_2=\frac{dv_2}{v_1}$；由题意可知$l_1=kl_2$

联立解得$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{k^2-1}$

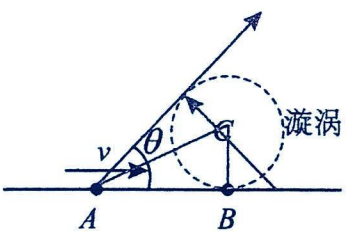
故选 B。

3．A

【详解】当冲锋舟在静水中的速度与其在河流中的速度$v_{合}$垂直时，冲锋舟在静水中的速度$v_{舟}$最小，则即$\sin\theta=\frac{v_{舟}}{v}$

利用几何关系可知$\tan\frac{\theta}{2}=\frac{5L_0}{12L_0}$；联立代入数据可得$v_{舟}=\frac{120}{169}v$

故选 A。



题型三：水速变化中的过河规律

【精选例题】：C　　C

1．C

【详解】AC．已知小船垂直河岸方向的速度不变，沿河岸方向的水流速度在变化，故小船所受合外力方向一定平行于河岸，根据曲线运动的合外力指向凹侧，小船所受合外力先指向下游，后指向上游，故小船做的不是匀变速运动，运动的加速度是变化的，故 A 错误，C 正确；

B．小船渡河过程中的速度方向沿轨迹切线方向，由船相对水的速度垂直河岸方向且大小不变，可知越靠近河中央，水流速度越大，故 B 错误；

D．小船渡河时间等于河宽除以小船垂直河岸方向的速度，即小船渡河时间与水流速度无关，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】A．当船渡河时间最短时船头指向正对岸，

则船渡河的最短时间是$t_{\min}=\frac{d}{v_2}=\frac{100}{5}\text{s}=20\text{s}$；故A错误；

B．因为沿水流方向船先做加速运动后做减速运动，垂直河岸方向做匀速运动，可知合运动不是直线运动，即船运动的轨迹不可能是直线，故B错误；

C．船渡河时间与水流速度无关，则船运动到河宽一半用时$t_1=\frac{d}{2v_2}=\frac{100}{2\times5}\text{s}=10\text{s}$；故C正确；

D．当船运动到河中心时速度最大，

则船在河水中的最大速度是$v=\sqrt{v_{1\text{m}}^2+v_2^2}=\sqrt{3^2+5^2}\text{m/s}>5\text{m/s}$；故D错误。

故选C。

【跟踪训练】：BC

1．BC

【详解】AC．小船的速度为沿船头指向和顺水流方向的两个分运动的分速度的矢量和，而两个分速度垂直，故当顺水流方向的分速度最大时，合速度最大，合速度的方向随顺水流方向的分速度的变化而变化，故小船到达河中心时速度最大，且运动轨迹为曲线，故A错误，C正确；

B．小船到达距离河岸$\frac{d}{3}$处时，水的速度为$v_{水}=\frac{3v_0}{d}\cdot\frac{d}{3}=v_0$

则船的速度为$v=\sqrt{v_0^2+v_{水}^2}=\sqrt{2}v_0$；故B项正确；

D．小船到达距离河岸$\frac{2d}{3}$处时，其距离较近的河岸的距离为$\frac{d}{3}$，水的速度为$v_{水1}=\frac{3v_0}{d}\cdot\frac{d}{3}=v_0$

则船的速度为$v_1=\sqrt{v_0^2+v_{水1}^2}=\sqrt{2}v_0$；故D项错误。

故选BC。

考点四：关联体速度分解

题型一：绳关联

【精选例题】：B　　B

1．B

【详解】将小车的速度分解为沿绳子和垂直绳子两个分速度，其中物体A的速度等于沿绳子方向的分速度，则有$v_A=v\cos\theta$；由于小车匀速向右运动过程，θ逐渐减小，则v_A逐渐增大，即物体A做加速运动。

故选B。

2．B

【详解】A．由题意可知，P、Q用同一根绳连接，则Q沿绳子方向的速度与P的速度相等，则满足$v_Q\cos\theta=v_P$；

当$\theta=30°$时，有$v_Q\cos30°=v_P$；可知，P、Q的速度大小之比为$\frac{v_P}{v_Q}=\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}$，A错误；

B．当$\theta=45°$时，有$v_Q\cos45°=v_P$；可知，P、Q的速度大小之比为$\frac{v_P}{v_Q}=\cos45°=\frac{\sqrt{2}}{2}$；B正确；

CD．当P的机械能最小时，即为Q到达O点的正下方时，此时Q的速度最大，即当$\theta=90°$时，Q的速度最大，P的速度最小为零，但P的加速度不为零，CD错误。

故选B。

【跟踪训练】：CD　　C

1．CD

【详解】AD．环在运动过程中，环的速度沿着细杆竖直向上，而环的速度可以分解为沿着绳子的速度和垂直于绳子的速度，因此，沿着绳子的速度为$v_{//}=v\cos\theta$，

又物体B与绳子相连，所以物体B的速度大小等于绳子的速度，而当A运动到位置N时，沿着绳子的速度变为零，因此此时B的速度也为零，A错误，D正确；

BC．环A在上升过程中，连接A与B的绳子与竖直方向的夹角在增大，因此可知$v_{//}=v\cos\theta$

在减小，也就是说物体B在运动过程中始终在做减速运动，速度方向与加速度方向相反，根据牛顿第二定律有$T-m_Bg=m_Ba$；得到绳子对B的拉力为$T=m_Bg+m_Ba>m_Bg$

则B下降过程处于超重状态，B错误、C正确。

故选CD。

2．C

【详解】滑块A和小球B沿绳子方向的分速度相等，则有$v_B\cos\beta=v_A\cos\alpha$；可得$v_B=v_A\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}$

由于v_A不变，α减小，β增大，则有$\cos\alpha$增大，$\cos\beta$减小，v_B增大，则小球B做加速运动。

故选C。

题型二：杆关联

【精选例题】：C　　D

1．C

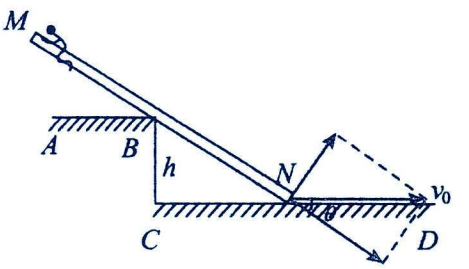
【详解】将N端的速度v_0进行分解，设此时v_0与水平方向的夹角为θ，如图所示

则人的速度等于v_0沿杆的分量，即$v_人=v_0\cos\theta$；

根据几何关系可得$\cos\theta=\frac{2h}{\sqrt{(2h)^2+h^2}}=\frac{2}{5}\sqrt{5}$

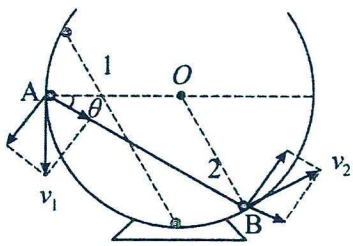
解得$v_人=\frac{2}{5}\sqrt{5}v_0$

故选C。



2．D

【详解】如图所示，将A球速度分解成沿着杆与垂直于杆两方向，同时B球速度也是分解成沿着杆与垂直于杆两方向



由于A、B两球在同一杆上，沿杆的分速度相等，则有$v_1\sin\theta=v_2\sin\theta$；所以$v_1=v_2$

故选D。

【跟踪训练】：BD

1．BD

【详解】AB．设轻杆与竖直方向的夹角为θ，

则v_1在沿杆方向的分量为$v_{1杆}=v_1\cos\theta$；v_2在沿杆方向的分量为$v_{2杆}=v_2\sin\theta$

而$v_{1杆}=v_{2杆}$，图示位置时，有$\cos\theta=\frac{\sqrt{7}}{4}$，$\sin\theta=\frac{3}{4}$

联立可得此时甲、乙两球的速度大小之比为$\frac{v_1}{v_2}=\frac{3\sqrt{7}}{7}$；故A错误，B正确；

CD．当甲球即将落地时，有$\theta=90°$，此时甲球的速度达到最大，而乙球的速度为零，故C错误，D正确。

故选BD。

题型三：接触面关联

【精选例题】：A

1．A

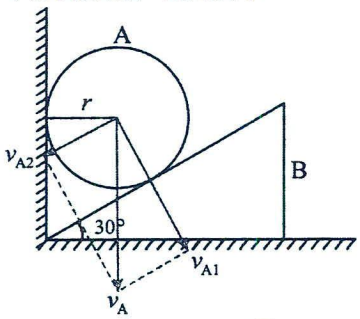
【详解】两木块运动过程中，垂直接触面的速度大小相等，有$v_0\sin37°=v_B\cos37°$；解得$v_B=\frac{3v_0}{4}$

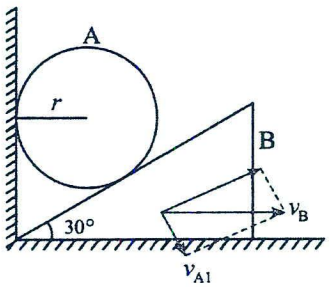
故选A。

【跟踪训练】：A

1．A

【详解】据题意，A球沿直线下落，斜劈B水平向右运动，将二者的实际速度分别沿平行于斜面和垂直于斜面两个方向分解，如图所示





可得$v_{A1}=v_A\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}v_A$，$v_B=\frac{v_{A1}}{\sin30°}$；联立，解得$v_B=\sqrt{3}v_A$

故选A。

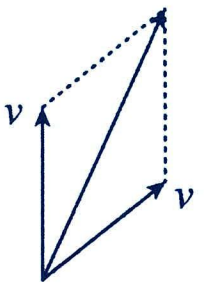
题型四：滑轮关联

【精选例题】：AC

1．AC

【详解】橡皮参与了平行于斜面方向的匀速直线运动和竖直方向上的匀速直线运动，两个分速度大小相等，都为 v，根据平行四边形定则知 $v_{合}=2v\cos 30°=\sqrt{3}v$，合速度的方向与水平方向的夹角为 $60°$，合运动是匀速直线运动，故 A、C 正确，B、D 错误；

故选 AC.



【跟踪训练】：AB　　D

1．AB

【详解】A. 悬挂橡皮的细线一直保持竖直，说明橡皮水平方向具有和铅笔一样的速度，故 A 正确；

B. 在竖直方向上，橡皮的速度等于细线收缩的速度，把铅笔与细线接触的地方的速度沿细线方向和垂直细线方向分解，沿细线方向的分速度 $v_1=v\sin\theta$，θ 增大，沿细线方向的分速度增大，故 B 正确；

C. 橡皮的加速度向上，与初速度不共线，所以做曲线运动，故 C 错误；

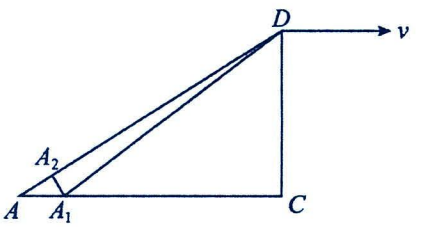
D. 橡皮在题图虚线位置时的速度：$v_t=\sqrt{v^2+v_1^2}=v\sqrt{1+\sin^2\theta}$，故 D 错误。故选：AB。

2．D

【详解】解法一：微元法。如图所示

设物体向右运动的速度为 v_A，经过很短时间 Δt，可认为物体 A 做匀速运动，由 A 运动到 A_1，在 AD 上取一点 A_2，使 $A_1A_2\perp AD$，当 $\Delta t\to 0$ 时，可认为 $A_1D=A_2D$；

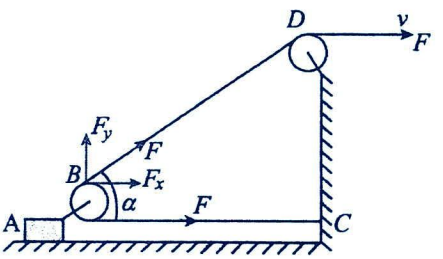
则 D 端轻绳向右伸出的长度为 $v\cdot\Delta t=AA_1+AA_2$



又因为 $AA_1=v_A\cdot\Delta t$，$AA_2=AA_1\cos\alpha$；联立可得 $v\cdot\Delta t=v_A\cdot\Delta t+v_A\cdot\Delta t\cdot\cos\alpha$；解得 $v_A=\dfrac{v}{1+\cos\alpha}$

解法二：功率守恒。如图所示

设 D 端轻绳所受的拉力为 F，则滑轮 B 受到 BD 和 BC 轻绳的拉力大小也都为 F，因为轻绳不消耗能量，所以 D 端拉力 F 对轻绳做功的功率等于 BD、BC 两段轻绳的拉力对 A 做功的功率，即有 $Fv=Fv_A+F_xv_A=Fv_A+F\cos\alpha\cdot v_A=Fv_A(1+\cos\alpha)$



可得 $v_A=\dfrac{v}{1+\cos\alpha}$

故选 D。

第二讲：抛体运动

考点一：平抛运动的条件及基本特征

题型一：概念辨析

【精选例题】：AC

1．AC

【详解】AB．做平抛运动的物体初速度沿水平方向，只受重力作用，加速度为 g，保持不变，是匀变速曲线运动，故 A 正确，B 错误；

C．根据 $\Delta v = gt$，知任意两段相等时间内的速度变化量相同，方向竖直向下，故 C 正确；

D．在竖直方向，根据 $v^2 = 2gh$，可得 $v = \sqrt{2gh}$，可知竖直方向的速度与初速度无关，故 D 错误。

故选 AC。

【跟踪训练】：B　　D

1．B

【详解】ABD．平抛运动的加速度为重力加速度，恒定不变，所以是匀变速曲线运动，根据 $\Delta v = gt$，可知在任意相等时间内的速度变化量都相等，故 AD 错误，B 正确；

C．根据 $s = \sqrt{x^2 + y^2}$，由于水平方向做匀速直线运动，竖直方向做自由落体运动，可知在任意相等时间内的水平分位移大小相等，竖直分位移大小不相等，则合位移大小不相等，故 C 错误。

故选 B。

2．D

【详解】A．烟花做曲线运动，其速度方向沿运动轨迹的切线方向，烟花在 c 点的水平速度为零，故烟花受到空气阻力的作用，水平方向并非是匀速运动，故 A 错误；

B．由于存在空气阻力的作用，不是只受重力，所以烟花由 b 点到 c 点不是做平抛运动，故 B 错误；

C．烟花在 b 点受到空气阻力和重力的作用，其加速度并非是竖直向下，故 C 错误；

D．由于在 b 点时烟花存在向下的加速度，故烟花处于失重状态，故 D 正确。

故选 D。

题型二：平抛运动的基本规律

【精选例题】：A　　B　　C　　BC　　C

1．A

【详解】小球在竖直方向上做自由落体运动 $h = \frac{1}{2}gt^2$；解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

小球在空中运动的时间由高度 h 和当地重力加速度 g 决定，与初速度、水平射程、小球的质量均无关。

故选 A。

2．B

【详解】A．依题意，表演者保持如图所示的倒茶姿势不变，随着茶水的不断流出，壶中液面高度下降，则茶水从 O 点流出时的速度变小。故 A 错误；

BC．随着碗中水面的逐渐升高，壶嘴 O 到水面的高度 h 减小，根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

可知茶水从 O 点至水面的时间变短。由 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+2gh}$

可知茶水落到水面时的速度变小。故 B 正确；C 错误；

D．根据 $x=v_0t$，可知茶水从 O 点至水面落点的水平距离变小。故 D 错误。故选 B。

3．C

【详解】A．小球落地时的竖直速度 $v_y=gt=10\text{m/s}$，落地速度大小是 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=5\sqrt{5}\text{m/s}$，选项 A 错误；

C．小球抛出时离地面的高度是，$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times1^2\text{m}=5\text{m}$，选项 C 正确；

B．小球从抛出点到落地点的水平位移，$x=v_0t=5\text{m}$，位移大小是，$s=\sqrt{x^2+h^2}=5\sqrt{2}\text{m}$，选项 B 错误；

D．小球落地时速度方向与水平地面的夹角为 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{10}{5}=2$，则 θ ≠30°，选项 D 错误。

故选 C。

4．BC

【详解】CD．炸弹离开轰炸机后做平抛运动，

当炸弹投向目标 A 时，有 $h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$，$x_1=vt_1$；可得 $t_1=20\text{s}$，$x_1=4000\text{m}$

当炸弹投向目标 B 时，有 $h_1-h_2=\frac{1}{2}gt_2^2$，$x_2=vt_2$；可得 $t_2=16\text{s}$，$x_2=3200\text{m}$

那么两次投弹的时间间隔 $\Delta t_{投}=\frac{x_1+s-x_2}{v}=8\text{s}$，其中 s 为 A、B 间的水平距离，故 C 正确，D 错误；

AB．击中目标 A 和 B 的时间间隔 $\Delta t_{击}=t_2+\Delta t_{投}-t_1=4\text{s}$，故 A 错误，B 正确。

故选 BC。

5．C

【详解】A．小球做平抛运动，可得 $x_A=v_0t$，$x_B=2v_0t$，$y_A=\frac{1}{2}gt^2$，$y_B=\frac{1}{2}g(2t)^2$

可知 $x_B=2x_A$，$y_B=4y_A$，根据小球的位移 $s=\sqrt{x^2+y^2}$

可知小球从 O 到 B 的位移不是从 O 到 A 位移的 4 倍。故 A 错误；

B．依题意，小球竖直方向做自由落体运动，有 $v_{yA}=gt$，$v_{yB}=2gt$，由小球运动的速度 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$，可知小球在 B 点速度的大小不是 A 点速度大小的 2 倍。故 B 错误；

C．小球速度的变化量 $\Delta v=g\Delta t$，可知 $\Delta v_B=2\Delta v_A$，故 C 正确；

D．速度偏转角的正切值 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$，可知 $\tan\theta_B=2\tan\theta_A$，故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：C　　BD　　A　　C　　C

1．C

【详解】五个小球在同一高度水平抛出，做平抛运动，由于平抛运动在竖直方向上做自由落体运动，经过相等时间竖直位移相等，可知五个小球的连线为一条水平直线。

故选 C。

2．BD

【详解】A．由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 可得水在空中的运动时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times0.8}{10}}\text{s}=0.4\text{s}$，故 A 错误；

B．水平射程 $x=v_0t=15\times0.4\text{m}=6\text{m}$，故 B 正确；

D．落地时竖直方向速度大小为 $v_y=gt=10\times0.4\text{m/s}=4\text{m/s}$，故 D 正确；

C．落地时的速度大小为 $v=\sqrt{{v_0}^2+{v_y}^2}=\sqrt{15^2+4^2}\text{m/s}=\sqrt{241}\text{m/s}$，故 C 错误。

故选 BD。

3．A

【详解】设 $MO=x$，第一次从 M 点水平抛出的飞镖，击中 O 点正下方的 P 点，根据平抛运动规律有 $L=\frac{1}{2}gt_1^2$，$x=vt_1$

第二次从 N 点水平抛出的飞镖，击中 O 点正下方的 Q 点，根据平抛运动规律有 $4L=\frac{1}{2}gt_2^2$，$\frac{1}{2}x=v't_2$

联立可得飞镖在 N 点的初速度为 $v'=\frac{1}{4}v$，故选 A。

4．C

【详解】A．物资下落的过程中，竖直方向是自由落体，竖直速度 $v_y=\sqrt{2gh}=24\text{m/s}$

下落时间 $t=\frac{v_y}{g}=2.4\text{s}$，故 A 错误；

B．t_1 时刻直升机的速度即为第一个物资平抛运动时的初速度，初速度，$v_1=\frac{v_y}{\tan53°}=18\text{m/s}$，故 B 错误；

C．同理，t_2 时刻飞机的速度 $v_2=\frac{v_y}{\tan37°}=32\text{m/s}$，

飞机做匀加速直线运动，经历时间 $t=t_2-t_1=\frac{v_2-v_1}{a}=7\text{s}$，故 C 正确；

D．t_2 时刻投放物资接触水平面时的速度大小 $v=\frac{v_y}{\sin37°}=40\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 C。

5．C

【详解】A．小球抛出 0.15s 后小球的速度与水平方向成 37° 角，则有 $v_{y1}=gt_1=1.5\text{m/s}$，$\tan37°=\frac{v_{y1}}{v_0}$

解得小球初速度的大小为，$v_0=2\text{m/s}$，故 A 错误；

BCD．小球落地时速度方向与水平方向成 45° 角，则小球落地时速度大小为 $v=\frac{v_0}{\cos45°}=2\sqrt{2}\text{m/s}$

小球落地时竖直分速度大小为$v_{y2}=v_0\tan 45°=2\text{m/s}$；则小球在空中的时间为$t=\frac{v_{y2}}{g}=0.2\text{s}$

小球抛出时距离地面的高度为$h=\frac{1}{2}gt^2=0.2\text{m}$，小球落地的水平位移为$x=v_0t=0.4\text{m}$，故BD错误，C正确。

故选C。

解答题

1.（1）0.3s；（2）1.2m；（3）5m/s，方向与水平面夹角为37°斜向下

【详解】（1）设物块由$0\to A$点所用时间为t，由平抛知识得$h=\frac{1}{2}gt^2$，代数解得$t=0.3\text{s}$

（2）设物块做平抛运动的水平距离为x，由平抛知识得$x=v_0t=1.2\text{m}$

（3）物块落到A点时速度大小v，由几何知识得$v=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}=5\text{m/s}$

速度与水平夹角满足$\cos\theta=\frac{v_0}{v}=\frac{4}{5}$，则$\theta=37°$，速度方向与水平面夹角为37°斜向下

2.（1）2s；（2）$\frac{20\sqrt{3}}{3}\text{m/s}$，$\frac{40\sqrt{3}}{3}\text{m}$

【详解】（1）母猴做平抛运动，在竖直方向做自由落体运动，则有$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=2\text{s}$

（2）母猴落到斜面上时，竖直方向的速度大小$v_y=gt=20\text{m/s}$

落到斜面上时，速度方向与水平方向的夹角为$\theta+\alpha=60°$

则母猴水平方向的速度大小$v_0=\frac{v_y}{\tan 60°}=\frac{20\sqrt{3}}{3}\text{m/s}$，$O$、$M$之间的水平距离$x=v_0t$

解得$x=\frac{40\sqrt{3}}{3}\text{m}$

3.（1）0.6s；（2）4.8m；（3）10m/s，$\frac{3}{4}$

【详解】（1）排球击出后做平抛运动，竖直方向有$h_1-h_2=\frac{1}{2}gt^2$

解得排球被垫起前在空中飞行的时间为$t=0.6\text{s}$

（2）排球被垫起前在水平方向飞行的距离为$x=v_0t=4.8\text{m}$

（3）排球被垫起前瞬间在竖直方向速度的大小为$v_y=gt=6\text{m/s}$

根据速度的合成可得$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=10\text{m/s}$，根据几何关系有$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{3}{4}$

4. (1)t = 0.2 s; (2)H = 1 m; (3)$v_0=\frac{5\sqrt{7}}{7}\text{m/s}$

【详解】（1）由题意可知，照相机照相的时间间隔$T=\frac{1}{f}=0.05\text{s}$

每相邻两位置之间被删去3个影像，则相邻两位置的时间间隔；$t=4T$；解得$t=0.2\text{s}$

（2）小球做平抛运动，竖直方向的运动为自由落体运动，由题意有 $H=\frac{1}{2}g(3t)^2-\frac{1}{2}g(2t)^2$

解得 $H=1\text{m}$

（3）设每相邻两位置的水平距离为 x，

根据平抛运动的位移公式有 $x=v_0t$；$s_1=\sqrt{x^2+\left(\frac{1}{2}gt^2\right)^2}$；$s_2=\sqrt{x^2+H^2}$

又由题意知 $s_1:s_2=2:5$；解得 $v_0=\frac{5\sqrt{7}}{7}\text{m/s}$

题型三：平抛运动轨迹问题

【精选例题】：C　　A　　D　　BC　　B

1．C

【详解】A．姐弟俩先后在同一地点将相同的箭水平掷出，已知姐姐的出手点在弟弟出手点的正上方，则由几何关系可知，在水平位移 x 相同，姐姐的竖直位移 y 较大，则位移为 $l=\sqrt{x^2+y^2}$，即姐姐的箭位移 l 较大，故 A 错误；

B．根据竖直分运动为自由落体运动可知，其飞行时间为 $t=\sqrt{\frac{2y}{g}}$，则姐姐的箭飞行时间 t 较长，故 B 错误；

CD．由水平分运动为匀速直线运动，有 $x=v_0t$

水平位移 x 相同，姐姐的箭飞行时间 t 较长，则初速度 v_0 较小，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】A．竖直方向上的运动决定了球的飞行时间，竖直位移越大，飞行时间越长，所以 a 的飞行时间比 b 的短，故 A 正确；

B．同时抛出的三个小球运动到交点处的时间不相同，所以 a 球不能在空中与 b 球和 c 球相遇，故 B 错误；

C．a 比 b 下落的高度低，则下落时间短，但 a 比 b 的水平位移大，根据 $x=v_0t$ 可知 a 的水平速度比 b 的大，故 C 错误；

D．b 和 c 相比较下落高度一样，则下落时间相等，但 b 比 c 水平位移大，则表明 b 的初速度比 c 的大，故 D 错误。；故选 A。

3．D

【详解】C．三个小球的竖直位移大小关系为 $h_c>h_b>h_a$，根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$

可知 $t_c>t_b>t_a$，即落在 a 点的小球飞行时间最短，故 C 错误；

D．三个小球的水平位移相同，a、b、c 三点速度方向的反向延长线一定过水平位移的中点，即 a、b、c 三点速度方向的反向延长线交于一点，故 D 正确；

AB．令 θ 表示小球撞到竖直墙壁上的速度方向与竖直墙壁的夹角，x 和 h 分别表示水平位移和竖直位移，则

$$\tan\theta=\frac{v_0}{v_y}=\frac{v_0}{gt}=\frac{\frac{1}{2}v_0t}{\frac{1}{2}gt^2}=\frac{x}{2h}$$

小球撞在墙面的竖直分速度大小为$v_y=\sqrt{2gh}$，合速度大小为$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$

联立可得$v=\sqrt{gx\tan\theta+\frac{gx}{\tan\theta}}$，三个小球水平位移相同，代入数据后解得$v_a=v_c>v_b$，故AB错误。

故选D。

4．BC

【详解】A．甲、乙两小球在空中做平抛运动，加速度均为重力加速度，则甲每秒钟速度的变化与乙的一样大，故A错误；

BD．根据平抛运动规律有$4h=\frac{1}{2}gt_{甲}^2$，$h=\frac{1}{2}gt_{乙}^2$；可得$t_{甲}=2t_{乙}$；又$x=v_{0甲}t_{甲}=v_{0乙}t_{乙}$

可知乙的初速度是甲的2倍，由于不知道小球抛出时的初速度大小，所以由题目所给条件不能求得O点距抛出点的水平距离，故B正确，D错误；

C．甲球落地前瞬间的速度大小为$v_{甲}=\sqrt{v_{0甲}^2+v_{y甲}^2}=\sqrt{\frac{gx^2}{8h}+8gh}$

乙球落地前瞬间的速度大小为$v_{乙}=\sqrt{v_{0乙}^2+v_{y乙}^2}=\sqrt{v_{0乙}^2+2gh}=\sqrt{\frac{gx^2}{2h}+2gh}$

由于不清楚x与h的关系，所以甲、乙落地前瞬间的速度大小可能不相等，故C正确。

故选BC。

5．B

【详解】C.A、B两球做平抛运动，在竖直方向上有$2l=\frac{1}{2}gt_1^2$，$l=\frac{1}{2}gt_2^2$，根据题意在水平方向上有$x_0=v_1t_1$，$x_0=v_2t_2$，

解得小球A、B抛出时的初速度之比为$v_1:v_2=1:\sqrt{2}$，故C错误；

AB．A、B两球做平抛运动，落地时竖直方向速度分别为v_{yA}，v_{yB}，可得${v_{yA}}^2=2g\cdot2l$，${v_{yB}}^2=2g\cdot l$

解得$v_{yA}=2\sqrt{gl}$，$v_{yB}=\sqrt{2gl}$

设$v_1=v_0$，$v_2=\sqrt{2}v_0$，落地时AB速度方向与水平方向的夹角分别为α和β，

可得$\tan\alpha=\frac{v_{yA}}{v_0}=\frac{2\sqrt{gl}}{v_0}$，$\tan\beta=\frac{v_{yB}}{\sqrt{2}v_0}=\frac{\sqrt{gl}}{v_0}$

故$\alpha\neq\beta$，即小球A、B落地时的速度方向不可能相同；小球A、B落地时的速度大小分别为

$v_A=\sqrt{{v_0}^2+\left(2\sqrt{gl}\right)^2}=\sqrt{{v_0}^2+4gl}$，$v_B=\sqrt{\left(\sqrt{2}v_0\right)^2+\left(\sqrt{2gl}\right)^2}=\sqrt{2{v_0}^2+2gl}$

故当$v_A=v_B$时，得$v_0=\sqrt{2gl}$，即小球A、B落地时的速度大小可能相等，故A错误，B正确；

D．若两球同时落地，则两球抛出的时间差为$\Delta t = t_1 - t_2$，结合上述解得$\Delta t = \left(2-\sqrt{2}\right)\sqrt{\frac{l}{g}}$，故D错误。

故选B。

【跟踪训练】：B　　B　　AC　　CD　　D

1．B

【详解】A．以地面为参考系，飞镖在空中做匀变速曲线运动，因为平抛运动的加速度等于重力加速度，A错误；

B．飞镖掷出时速度的大小为$v_0 = \frac{x}{t} = 12\text{m/s}$；B正确；

C．为使飞镖命中靶心，不能适当减小飞镖的质量，因为飞镖的运动与质量无关，C错误；

D．为使飞镖命中靶心，不能适当增大掷出时的速度，因为飞镖在竖直方向做自由落体运动，一定命中靶心的下方。为使飞镖命中靶心，可以适当提高抛出点的高度，D错误。

故选B。

2．B

【详解】青蛙做平抛运动，水平方向做匀速直线运动，竖直方向做自由落体运动，

则有$x = vt$，$h = \frac{1}{2}gt^2$，得$v = x\sqrt{\frac{g}{2h}}$

则水平位移越大，竖直高度越小，初速度越大，因此跳到荷叶b上面。

故选B。

3．AC

【详解】AB．小球在空中做平抛运动，竖直方向做自由落体运动，则有$h = \frac{1}{2}gt^2$

由于两小球下落高度相同，则两小球的下落时间之比为1:1，故A正确，B错误；

CD．小球水平方向做匀速直线运动，则有$x = v_0 t$，可知两小球的初速度大小之比为$v_1 : v_2 = OP : OQ = 1:4$，故C正确，D错误。

故选AC。

4．CD

【详解】A．若A、B、C处三球同时抛出，但是A、C两球的竖直高度与B不同，竖直分运动均是自由落体运动，故A处、C处球不可能与B处球相遇，A错误；

B．若A、B处两球能在地面相遇，根据$h = \frac{1}{2}gt^2$可知，两个球运动时间之比为$\sqrt{2}$：1，B错误；

C．若A、C处两球在（x_0，0）点相遇，由于水平分运动是匀速直线运动，水平分位移相等，时间也相等，故水平分速度相等，即初速度相等，一定满足$v_A = v_C$，C正确；

D．由于平抛运动的竖直分运动是自由落体运动，故只要B、C处两球同时开始做平抛运动，二者不可能在空中相遇，D正确。

故选CD。

5．D

【详解】ABC．设PO、QO两点间的竖直高度差分别为h_1、h_2，根据$h = \frac{1}{2}gt^2$，可得$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

因为$h_1>h_2$，所以$t_1>t_2$，根据$v_y=gt$，可知落入管口中时的竖直速度$v_{y1}>v_{y2}$

水平速度$v_x=v_0=\frac{v_y}{\tan\theta}$（$\theta$为速度方向与水平方向的夹角），可知两小球抛出的速度$v_1>v_2$

两小球到落入筒口时的速度$v=\frac{v_y}{\sin\theta}$，可知两小球到落入筒口时的速度不相等，选项ABC错误；

D．因两球速度的偏向角相等，根据$\tan\theta=2\tan\alpha$，可知位移的偏向角相等，则抛出点P、Q与O共线，选项D正确。

故选D。

题型四：平抛运动与自由落体

【精选例题】：AB　　AD　　3．（1）$h=0.8\text{m}$；（2）$v_0=3\text{m/s}$；（3）$v_A=5\text{m/s}$

1．AB

【详解】AB．子弹在竖直方向上是自由落体运动，若松鼠做自由落体运动，那么松鼠和子弹在竖直方向上的运动是一样的，它们始终在一个高度上，所以松鼠一定会被击中，背着枪口，沿AC方向水平跳离树枝这种运动在竖直方向上也是自由落体运动，松鼠同样会被击中，不能逃脱厄运，故AB符合题意要求；

CD．竖直下跳和竖直上跳时，在竖直方向上和子弹的运动过程不一样，松鼠能逃过厄运不被击中，故CD不符合题意。

故选AB。

2．AD

【详解】A、B在竖直方向做自由落体运动，两球从同一高度下落，由自由落体公式$h=\frac{1}{2}gt^2$可知，两球落地的时间$t_0=\sqrt{\frac{2h}{g}}$；在同一时刻下落到同一高度，若A的水平速度$v_x>\frac{l}{t_0}$

则两球在落地之前相碰。所以A、B在第一次落地前能否相碰，取决于A的初速度。

若$v_x<\frac{l}{t_0}$，两球落地之后反弹两球竖直方向速度大小不变，A水平方向速度不变，在水平方向始终匀速直线运动，两球在竖直方向做完全相同的竖直上抛运动，如此往复，两球在竖直方向同一时刻在同一高度；当时间满足$t=\frac{l}{x_0}$，此时两球相碰。

故选AD。

3．（1）$h=0.8\text{m}$；（2）$v_0=3\text{m/s}$；（3）$v_A=5\text{m/s}$

【详解】（1）根据$h=\frac{1}{2}gt^2$，可得B球抛出点距地面的高度$h=0.8\text{m}$

（2）A球水平方向做匀速运动，根据$x=v_0t$，可得A球抛出时的速度大小$v_0=3\text{m/s}$

（3）A球落地时的竖直速度$v_{Ay}=gt=4\text{m/s}$，A球落地的速度大小$v_A=\sqrt{v_0^2+v_{Ay}^2}=5\text{m/s}$

【跟踪训练】：B　　D

1．B

【详解】由题意知枪口与P点等高，子弹和小积木在竖直方向上做自由落体运动，当子弹击中积木时子弹和积木运动时间相同，根据$h=\frac{1}{2}gt^2$

可知下落高度相同，所以将击中P点；又由于初始状态子弹到P点的水平距离为L，子弹在水平方向上做匀速直线运动，故有$t=\frac{L}{v}$

故选B。

2．D

【详解】水平炮弹做平抛运动，则有$s=v_1t$，$h=\frac{1}{2}gt^2$，

竖直炮弹做竖直上抛运动，则有$H-h=v_2t-\frac{1}{2}gt^2$，解得$v_1=\frac{S}{H}v_2$

故选D。

题型五：平抛运动中的相遇问题

【精选例题】：A　　B　　D

1．A

【详解】要是AB相遇，一定是同时到达交点的位置，根据$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$知，A的高度大，A运动的时间要长，所以一定是A先抛出，所以A正确，BC错误．因两球水平位移相同，由$v=\frac{x}{t}$可知抛出A球的初速度小于B球的初速度，选项D错误.

2．B

【详解】

两球同时抛出，竖直方向均做自由落体运动，相等时间内下降的高度相同，两球始终在同一水平面上，

相遇时水平方向满足x＝v_At+v_Bt

再次相遇时x不变，两球的抛出速度都变为原来的2倍，

则两球从抛出到相遇经过的时间变为$\frac{t}{2}$，根据$h=\frac{1}{2}gt^2$，可知两球下落的高度是$h'=\frac{1}{2}g(\frac{t}{2})^2=\frac{h}{4}$

故选B。

3．D

【详解】A．当A的抛出时的初速度小于B抛出时的初速度时，A、B不能相撞，故A错误；

BD．若A、B能相碰，则从开始到相碰所经历的时间$t=\frac{d}{v_A-v_B}$，A、B落地的时间为$t'=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

当t=t′时，A、B在落地时相碰，故B错误，D正确；

C．由以上分析可知，A、B在第一次落地前能否相碰，取决于A和B的初速度大小、两球的高度h，两球之间的距离d，故C错误。

故选D。

【跟踪训练】：AD　　B　　D

1．AD

【详解】AB．相遇时，A、B 两球下落的高度相同，根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$，下落的时间相同，因此两球应同时抛出，故 A 正确，B 错误；

CD．根据 $v=\frac{x}{t}$ 可知，由于 A 的水平位移较大，可知 A 的初速度较大，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

2．B

【详解】A．两球在空中做平抛运动，由于平抛运动在竖直方向上做自由落体运动，

根据自由落体运动规律可知 $h=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

由此可知，落地时间由竖直高度决定，两球的高度不同，不可能同时落地，A 错误；

B．由于甲乙同时抛出，则相等时间内下落高度相等，由于甲球距离地面的高度大一些，则甲球始终在乙球的上方，则两球落地前不会在空中相遇，B 正确；

C．设两人之间的水平距离为 x，要使两球落地水平面的同一点，则有 $x_{甲}+x_{乙}=x$

结合水平方向的运动规律可知 $v_{甲}t_{甲}+v_{乙}t_{乙}=x$，即 $v_{甲}\sqrt{\frac{2h_{甲}}{g}}+v_{乙}\sqrt{\frac{2h_{乙}}{g}}=x$

二者高度不同，抛出的速度不同，只要满足上述式子，就可能落在地面的同一点，C 错误；

D．根据平抛运动竖直方向的运动规律可知，小球在空中的运动时间只与竖直高度有关，D 错误。

故选 B。

3．D

【详解】a 小球从 A 点抛出后，经过时间 t，a、b 两小球恰好在空中相遇，可知小球 B 运动的时间为(t-1)s，则相遇时设 B 的速度方向与竖直方向夹角为 θ，则 $\tan\theta=\frac{v_0}{v_{By}}=\frac{v_{Ay}}{v_0}$

即 $\frac{v_0}{g(t-1)}=\frac{gt}{v_0}$；解得 t=5s；则抛出点 A、B 间的水平距离是 $x=v_0t+v_0(t-1)=180\sqrt{5}\text{m}$

故选 D。

考点二：有约束条件下的平抛运动

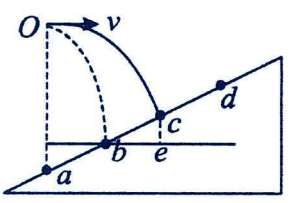
题型一：斜面上的平抛运动

【精选例题】：A　　A　　C　　B　　B　　D

1．A

【详解】过 c 点做一水平面，以速度 v 水平抛出时，落在 b 点，以速度 2v 抛出时，若是下降高度相同，则水平位移是原来的 2 倍，会落在 c 点正下方的 e 点，故它落在斜面上时会落在 b 与 c 之间某一点，A 正确。

故选 A。



2．A

【详解】小球在A点平抛恰好以最小位移到达斜面，即位移垂直于斜面，设平抛运动的水平位移为x，竖直位移为y，则由几何关系得$\tan\theta=\frac{x}{y}=\frac{v_0t}{\frac{1}{2}gt^2}$；解得$t=\frac{2v_0}{g\tan\theta}$

故选A。

3．C

【详解】当小球落在斜面上时，有$\tan\theta=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}$；解得$t=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$，水平位移为$x=v_0t=\frac{2v_0^2\tan\theta}{g}$

由数学知识可知，$x-v_0$图象是开口向上的抛物线.

当小球落在水平地面上，根据$h=\frac{1}{2}gt^2$，得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，则知运动时间不变．由$x=v_0t$，知$x-v_0$图象过原点的直线。

故C正确。

4．B

【详解】A．根据题意小球做平抛运动，

当小球速度为v_0时，恰好落在斜坡中点，根据平抛运动规律$L=v_0t$，$\frac{L}{2}=\frac{1}{2}gt^2$，可知$v_0=\sqrt{gL}$

若小球落到P点处的初速度为v，则$L=\frac{1}{2}gt'^2$，$2L=vt'$，整理得$v=\sqrt{2gL}$，因此A错误；

B．初速度为v_0时，落地时小球与水平面夹角为θ，则有$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{\sqrt{2g\frac{L}{2}}}{\sqrt{gL}}=1$

即与水平面夹角45°，B正确；

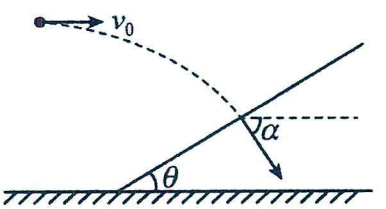
C．根据平抛运动的推论，即物体速度与水平面夹角θ_1正切值等于物体位移与水平面夹角θ_2正切值得两倍，即$\tan\theta_1=2\tan\theta_2$，只要落在斜面上，说明小球的位移方向都一样，也说明小球的速度方向都一样，C错误；

D．只要小球初速度$v>\sqrt{2}v_0$，小球一定会落在水平面上，此时$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{\sqrt{2gL}}{v}<1$

说明小球初速度无论多大，小球落地的速度都要小于45°，D错误。

故选B。

5．B



【详解】AB．根据题意可知，小球垂直撞在斜面上，小球的速度方向如图所示

由几何关系可知，速度与水平方向的夹角为$\alpha=90°-37°=53°$

根据平抛运动规律，水平方向上$v_x=v_0$；竖直方向上$v_y=gt$

小球垂直撞在斜面上$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_x}$，解得$v_y=4\text{m/s}$，$t=0.4\text{s}$，故A错误，B正确；

C．物体下降的距离是$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times0.4^2\text{m}=0.8\text{m}$，故C错误；

D．物体撞击斜面时的速度大小为$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{3^2+4^2}\text{m/s}=5\text{m/s}$，故D错误。故选B。

6．D

【详解】A．球恰好能够以垂直于斜面的速度在斜面 P 点处击中滑块，则 $\tan 37^0=\frac{v_0}{gt}$

解得小球在空中飞行的时间 t=0.4s，选项 A 错误；

B．由 $x=v_0t$ 得小球抛出点到斜面 P 点的水平距离 x=1.2m，选项 B 错误；

C．根据几何关系可得斜面顶端 A 点到 P 点的距离 $x_{AP}=l-\frac{x}{\cos 37°}=0.4\text{m}$

又 $x_{AP}=\frac{1}{2}at^2$，得 $a=5\text{m/s}^2$，选项 C 错误；

D．小球抛出点到斜面底端的竖直高度 $H=\frac{1}{2}gt^2+x\tan 37^0=1.7\text{m}$，选项 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：D　　D　　BD　　B　　C　　BD

1．D

【详解】根据平抛运动的规律可知 $l\cos\theta=v_0t$，$l\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$；解得 $l=\frac{2v_0^2\tan\theta}{g\cos\theta}$

则当初速度变为原来 2 倍时，l 变为原来的 4 倍，则乙球落在斜面上的 d 点。

故选 D。

2．D

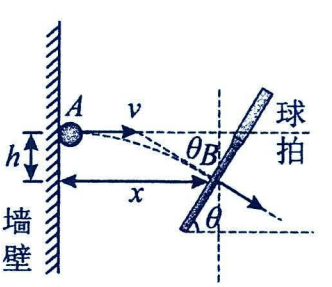
【详解】A 球垂直撞在斜面上，则速度关系为 $\tan\theta=\frac{v_0}{v_y}=\frac{v_0}{gt_{\text{A}}}$，解得 $t_{\text{A}}=\frac{v_0}{g\tan\theta}$

当 B 球抛出点与落点的连线垂直于斜面时，位移最短，则 $\tan\theta=\frac{x}{y}=\frac{v_0t_{\text{B}}}{\frac{1}{2}gt_{\text{B}}^2}=\frac{2v_0}{gt_{\text{B}}}$

解得 $t_{\text{B}}=\frac{2v_0}{g\tan\theta}$，则有 $t_{\text{B}}=2t_{\text{A}}$，故选 D。

3．BD

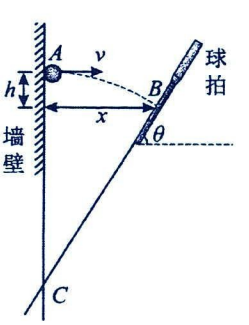
【详解】A．依题意，乒乓球恰好垂直于球拍拍面落在 B 点，根据平抛运动速度与水平方向夹角 α 和位移方向与水平方向夹角 β 关系 $\tan\alpha=2\tan\beta$，可知 A、B 两点的连线（位移方向）与球拍不垂直，故 A 错误；



B．乒乓球做平抛运动，根据 $g=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，可知乒乓球在空中飞行的过程中，单位时间内速度的变化量相同，故 B 正确；

C．根据平抛运动推论，乒乓球速度的反向延长线交水平分位移中点，如图

可得 A、B 两点的竖直高度差 h 和水平距离 x 满足 $\tan\theta=\frac{\frac{x}{2}}{h}=\frac{x}{2h}$，故 C 错误；



D．做球拍的延长线交墙壁与一点 C，如图；由几何关系可知 $\tan\theta=\frac{h_{AC}-h}{x}=\frac{h_{AC}-\frac{1}{2}gt^2}{x}$

若乒乓球弹离速度略变小后仍能落在球拍上，则乒乓球的水平分位移减小，在空中飞行的

时间变长，故 D 正确。

故选 BD。

4．B

【详解】当小球做平抛运动时有 $\tan 37°=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$

当小球沿斜面向下做匀加速直线运动时，有 $\frac{x}{\cos 37°}=v_0t+\frac{1}{2}at^2$；$mg\sin 37°-\mu mg\cos 37°=ma$，联立解得 $\mu=\frac{1}{3}$

故选 B。

5．C

【详解】A．设初速度为 v_0，对乙球分析，由于落到斜面上速度与斜面垂直，故 $v_y=\frac{v_0}{\tan\theta}$

故下落时间为 $t=\frac{v_y}{g}=\frac{v_0}{g\tan\theta}$；对甲球分析 $x=v_0t'$，$y=\frac{1}{2}gt'^2$，$\tan\theta=\frac{y}{x}$；联立解得 $t'=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$

则 $\frac{t'}{t}=\frac{2\tan^2\theta}{1}$；故 A 错误；

B．根据竖直方向上做自由落体运动得规律，得甲乙下落的高度之比为 $\frac{h'}{h}=\frac{\frac{1}{2}gt'^2}{\frac{1}{2}gt^2}=\frac{4\tan^4\theta}{1}$，故 B 错误；

C．根据水平方向上做匀速直线运动，得甲乙水平位移之比为 $\frac{x'}{x}=\frac{v_0t'}{v_0t}=\frac{2\tan^2\theta}{1}$，故 C 正确；

D．甲球竖直方向的速度为 $v'_y=gt'=2v_0\tan\theta$，则有甲、乙两球落在斜面上瞬间的速度与水平面夹角的正切值之比等于竖直方向的速度之比即 $\frac{v'_y}{v_y}=\frac{gt'}{gt}=\frac{2\tan^2\theta}{1}$，故 D 错误。

故选 C。

6．BD

【详解】A．平抛运动落在斜面上时，合速度方向与水平方向夹角 φ 与斜面倾角 θ 的关系满足 $\tan\varphi=\frac{gt}{v_0}$，$\tan\theta=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$，即 $\tan\varphi=2\tan\theta$，选项 A 错误；

B．因为 $\tan\varphi=2\tan\theta$，所以运动员落在斜面上时 $v_y=v_0\tan\varphi=2v_0\tan\theta=gt$，所以，$t=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$

选项 B 正确；

C．当运动员轨迹上某点的切线与斜面平行时，该点距斜面的距离最大，将运动沿斜面方向、垂直斜面方向分解 $v_1=v_0\sin\theta$，方向垂直斜面向上；加速度 $a_1=g\cos\theta$ 方向垂直斜面向下，

垂直斜面方向的最大位移 $l=\frac{v_1^2}{2a_1}=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g\cos\theta}$，选项 C 错误；

D．根据 $\tan\varphi=2\tan\theta$，斜面上的平抛运动，落在斜面上时，速度方向恒定，根据比例关系，初速度提高到原来

的 1.5 倍，落在斜面上的速度也相应提高到原落地速度的 1.5 倍，选项 D 正确。

故选 BD。

7. (1) $v_b=\frac{v_0}{2}$；(2) $h=\frac{7v_0^2}{24g}$

【详解】(1) 由题意可知，小球 a、b 在空中运动的时间 t 相等，有 $\tan 30°=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_bt}$，$\tan 60°=\frac{v_0}{gt}$

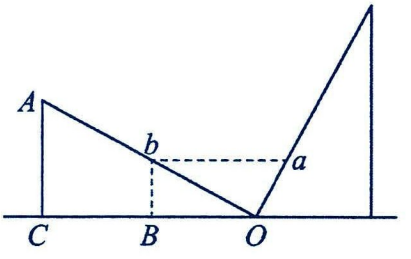
解得 $v_b=\frac{v_0}{2}$

(2) 设小球 b 做平抛运动的水平位移为 x，

结合几何 $x=\frac{v_0t}{2}$，$2x=v_0t$ $x_{ab}=2x-x$

则有 $Ob=\frac{\sqrt{3}}{2}ab, OB=\frac{\sqrt{3}}{2}Ob, OC=BC+OB=\sqrt{3}AC$

解得 $AC=h=\frac{7v_0^2}{24g}$



题型二：弧面上的平抛运动

【精选例题】：D　　B　　BC

1. D

【详解】A. 根据 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，B 小球竖直位移最大，时间最长，A、C 两个小球竖直位移相等，时间相同，故 A 错误；

B. 三个小球下落相同高度的情况下，时间相同，根据 $v_0=\frac{x}{t}$ C 小球抛得最远，A 小球抛得最近，故平抛初速度满足 $v_1<v_2<v_3$，故 B 错误；

C. 做平抛运动的物体，其某点的瞬时速度反向延长线交于此时水平位移的中点，落在 C 点的小球，在 C 点的瞬时速度若与碗垂直，则速度反向延长线交于碗心 O 点，并不是水平位移中点，故 C 错误；

D. 落在 B 点的小球，此时位移与水平方向的夹角为 45°，设速度与水平方向夹角为 α，则 $\tan\alpha=2\tan 45°=2>\tan 60°$，速度与水平方向夹角大于 60°，故 D 正确。

故选 D。

2. B

【详解】A. 由于两球抛出时的高度相同，且落到同一点，根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 知，两球的运动时间相等，水平方向上有 $x_1=v_1t$，$x_2=v_2t$；由几何关系可知 $x_2=3x_1$

所以可得两球抛出的速率之比为 1∶3，故 A 正确；

B. 根据平抛的基本规律 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 可知，小球从抛出到着地过程的时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，显然只要两小球落在圆上等高的位置，虽然初速度不同，但是时间是相等的，故 B 错误；

C. 只要两小球落在坑中的同一点，两球下降的竖直高度就是一样的，则运动的时间始终就是相等的，故 C 正确；

D. 由平抛运动速度的反向延长线过水平位移的中点可知，若仅从 M、N 点水平抛出小球，无论怎样改变小球抛

出的初速度，小球都不可能垂直坑壁落入坑中，故 D 正确。

由于本题选择错误的，故选 B。

3．BC

【详解】A．面片沿锅边缘的切线方向掉入锅中，则有 $\tan 45°=\frac{v_y}{v_0}$，又 $v_y=gt$，解得 $t=0.2\text{s}$

面片在空中运动的水平位移为 $x=v_0t=2\times0.2\text{m}=0.4\text{m}$，故 A 错误；

B．面片运动到锅边缘时的速度大小为 $v=\frac{v_0}{\cos 45°}=2\sqrt{2}\text{m/s}$，故 B 正确；

C．若面片落入锅中后可沿锅内表面匀速下滑，有指向圆心的向心加速度，向心加速度有向上的分量，则面片处于超重状态，故 C 正确；

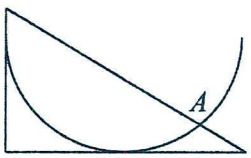
D．若面片落入锅中后可沿锅内表面匀速下滑，设面片、圆心的连线与竖直方向的夹角为 θ，则面片所受摩擦力大小为 $f=mg\sin\theta$ θ 逐渐减小，所受摩擦力大小逐渐减小，故 D 错误。

故选 BC。

【跟踪训练】： D　　A　　C　　4．(1) $t=\frac{v_0\tan\theta}{g}$；(2) $H=\frac{v_0^2\tan^2\theta}{2g}-\frac{v_0^2}{g\cos\theta}+\frac{v_0^2}{g}$

1．D

【详解】将圆轨道和斜面轨道重合在一起，如图所示，交点为 A．初速度合适，可知小球做平抛运动落在 A 点，则运动的时间相等，即同时落在半圆轨道和斜面上；由图可知，如果 v_0 较小，小球先落在斜面上；如果 v_0 较大，小球先落在圆轨道上．



A．a、b 不可能同时分别落在半圆轨道和斜面上；与分析不符，故 A 项错误．

B．如果 v_0 较小，a 球先落在半圆轨道上；与分析不符，故 B 项错误．

C．如果 v_0 较大，b 球一定先落在斜面上；与分析不符，故 C 项错误．

D．a 球可能先落在半圆轨道上；与分析相符，故 D 项正确．

2．A

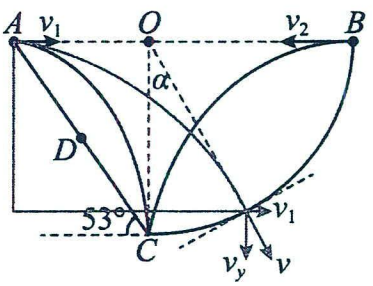
【详解】A．甲乙两球从等高处做平抛运动恰好在 C 点相碰，则时间相等，水平方向有

$x_{甲}=v_1t=\frac{R}{\tan 53°}=\frac{3}{4}R$，$x_{乙}=v_2t=R$；所以 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{3}{4}$，选项 A 正确；

B．两球相碰，则满足 $v_1t+v_2t=\frac{7}{4}R$，若仅增大 v_2，显然存在 t 满足方程，所以两球会相碰，选项 B 错误；

C．若 v_1 大小变为原来的一半，在时间不变的情况下水平位移会变为原来的一半，但由于甲球会碰到斜面，下落高度减小时间减小，所以甲球的水平位移小于原来的一半，不会落在斜面的中点，选项 C 错误；

D．若甲球垂直击中圆环 BC，则落点时速度的反向延长线过圆心 O，



由几何关系有 $(v_1t-\frac{3}{4}R)^2+(\frac{1}{2}gt^2)^2=R^2$，$\tan\alpha=\frac{v_1t-\frac{3}{4}R}{\frac{1}{2}gt^2}=\frac{v_1}{gt}$

以上方程为两个未知数两个方程可以求解 v_1 和 t，因此只抛出甲球并适当改变 v_1 大小，则甲球可能垂直击中圆环 BC，选项 D 错误。故选 A。

3．C

【详解】A．小球做平抛运动，根据$h=\frac{1}{2}gt^2$可知，运动时间相同，A 错误；

B．根据$\Delta v=gt$由于运动时间相同，所以速度变化量也相同，B 错误；

C．设两小球的水平位移分别为x_1和x_2，由几何关系可知$x_1=R-\sqrt{R^2-h^2}$，$x_2=R+\sqrt{R^2-h^2}$

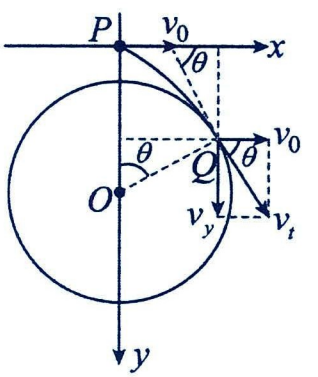
根据平抛运动规律，可知$x_1=v_1t$，$x_2=v_2t$，$h=\frac{1}{2}gt^2$；联立可得$v_1+v_2=2R\sqrt{\frac{g}{2h}}$，C 正确；

D．若撞击C点时的速度方向与球面垂直，则C点速度方向的反向延长线过圆心 O，根据平抛运动的推论，速度的反向延长线一定过水平位移的中点，而 O 点不是水平位移的中点，与假设相矛盾，所以撞击C点时的速度方向与球面不垂直，D 错误。

故选 C。

4．(1) $t=\frac{v_0\tan\theta}{g}$；(2) $H=\frac{v_0^2\tan^2\theta}{2g}-\frac{v_0^2}{g\cos\theta}+\frac{v_0^2}{g}$

【详解】（1）设小球在 Q 点时的速度为v_Q，在 Q 点竖直方向的速度为v_y，如图



根据几何关系可得到 Q 点速度同水平方向夹角为θ，则$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$，

可得$v_y=v_0\tan\theta$；小球做平抛运动，竖直方向为自由落体运动$v_y=gt$

解得小球从 P 运动到 Q 的时间$t=\frac{v_0\tan\theta}{g}$

（2）小球做平抛运动，在水平方向匀速运动$x=v_0t=\frac{v_0^2\tan\theta}{g}$

由几何关系可得$R=\frac{x}{\sin\theta}=\frac{v_0^2}{g\cos\theta}$；竖直方向位移$y=\frac{1}{2}gt^2=\frac{v_0^2\tan^2\theta}{2g}$

小球距圆柱体的高度$H=y-R(1-\cos\theta)$；联立可得$H=\frac{v_0^2\tan^2\theta}{2g}-\frac{v_0^2}{g\cos\theta}+\frac{v_0^2}{g}$

题型三：平抛运动中的竖直碰撞

【精选例题】：B　　BC　　C

1．B

【详解】根据对称以及平抛运动的规律，物体运动的轨迹等效物体做平抛运动，物体落地的时间

$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times3.2}{10}}\text{s}=0.8\text{s}$；水平位移$3s=v_0t=6\text{m}$，则$s=2\text{m}$，B 正确，ACD 错误。

故选 B。

2．BC

【详解】

B．篮球抛出后恰好垂直打在篮筐上方，从脱手到与篮板碰撞前，篮球水平方向做匀速直线运动，则篮球垂直打在篮板前一瞬间速度大小为$v=v_x=v_1\sin\theta$，故 B 正确；

C．篮球从脱手到篮板碰撞前过程，竖直方向根据逆向思维有 $H=\frac{1}{2}gt_1^2$；解得 $t_1=\sqrt{\frac{2H}{g}}$

与篮板碰撞后到进入篮筐过程，竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt_2^2$，解得 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

则篮球从脱手到进入篮筐过程所经历的时间为 $t=t_1+t_2=\sqrt{\frac{2H}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}$，故 C 正确；

AD．由篮球的运动轨迹可知，篮球与篮板碰撞后的水平速度小于碰撞前的水平速度，则篮球反向弹回到进入篮筐过程中满足 $L=v_x't_2<v_xt_2=v_1\sin\theta\sqrt{\frac{2h}{g}}$，故 AD 错误。

故选 BC。

3．C

【详解】AD．若落点在抛出点正下方，由于反弹前后水平速度大小相等，可知反弹前后所用时间相等，小球在竖直方向做自由落体运动，则有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$h+H=\frac{1}{2}g(2t)^2$

可得 $H=3h$；仅减小 d 再次抛出，H 仍等于 $3h$，故 AD 错误；

B．若落点在抛出点正下方左边，则反弹后的水平位移较大，反弹后的运动时间较大，

则有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$h+H>\frac{1}{2}g(2t)^2$；可得 $H>3h$；故 B 错误；

C．落点在抛出点正下方右边，则反弹后的水平位移较小，反弹后的运动时间较小，

则有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$h+H<\frac{1}{2}g(2t)^2$，可得 $H<3h$，则 H 可能等于 $2h$，故 C 正确。

故选 C。

【跟踪训练】：C　　AC　　D

1．C

【详解】碰撞前，小球做平抛运动，碰撞后小球竖直速度不变，水平速度大小不变，仍做平抛运动，落地点到墙的距离等于没有墙壁时做平抛运动的水平位移减 s，所以碰后的水平位移等于整个过程中水平位移的 $\frac{1}{4}$，所用时间也为整个过程所用时间的 $\frac{1}{4}$，所以 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$\Delta h=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}g(\frac{3}{4}t)^2$，联立可得 $\Delta h=\frac{7}{16}h$

故选 C。

2．AC

【详解】AB．假设没有墙壁，则小球将落到 C 点与墙壁对称的位置 C'，轨迹为整条的抛物线，根据平抛运动的规律，两球从同一点 A 下落，则落地时间相同，因为水平速度不同，则水平位移不等，则两次不可能落到同一点，A 正确，B 错误；

C．两球从同一点做平抛运动，则落地时的竖直速度相等，落地时速度方向与水平方向夹角的正切值分别为 $\tan\theta_1=\frac{v_y}{v_0}$，$\tan\theta_2=\frac{v_y}{3v_0}$，则 $\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}=\frac{3}{1}$，C 正确；

D．两次落地时小球的速度分别为$v_1=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$，$v_2=\sqrt{(3v_0)^2+v_y^2}$，则速度之比不等于1:3，D错误。

故选AC。

3．D

【详解】A．小球在运动过程中，水平方向匀速，OB、BC、CA的水平位移1∶2∶1，故所需时间之比为1∶2∶1，由gt=Δv，知速度变化量的比值为1∶2∶1，故A错误；

B．初速度为0的匀加速直线运动在连续相等时间内的位移之比为1:3:5:7:9…，小球在OB段、BC段和CA段所需时间之比为1∶2∶1，则竖直方向的位移之比为1∶8∶7，故B错误；

C．由于OA间高度不变，小球落到地面时间不变，运动轨迹水平方向经过的距离不变，仅将间距加倍而仍在中央O点平抛，小球将与前面碰撞一次后落在A点，故C错误；

D．仅将初速度v_0增大为原来的2倍，高度不变则下落的时间不变，则小球水平方向的路程为$s=2\times L=4L$。则小球与井壁碰撞4次后落在A点，故D正确。

故选D。

题型四：平抛运动中的水平碰撞

【精选例题】：A　　A　　C

1．A

【详解】小球做平抛运动，当小球恰好落在第3级台阶右边缘时有$2h=\frac{1}{2}gt_1^2$，$2a=v_1t_1$，解得$v_1=\frac{3\sqrt{2}}{2}\text{m/s}$

当小球恰好落在第4级台阶右边缘时有$3h=\frac{1}{2}gt_2^2$，$3a=v_2t_2$，解得$v_1=\frac{3\sqrt{3}}{2}\text{m/s}$

可知，要使小球能落到第4级台阶上，弹射速度v的范围$\frac{3\sqrt{2}}{2}\text{m/s}\le v\le\frac{3\sqrt{3}}{2}\text{m/s}$

可知，只有第一个选择项在上述范围内。

故选A。

2．A

【详解】B．设OA间的竖直高度为h，由O点到A点，甲球运动时间为$t_{甲}=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

根据对称性可知，乙球运动时间为$t_{乙}=3\sqrt{\frac{2h}{g}}$，可知乙球运动时间是甲球的3倍，故B错误；

D．乙球先做平抛运动，再做斜上抛运动，根据对称性可知，从B到A的水平位移等于从O到B的水平位移的2倍，所以甲球由O点到A点的水平位移是乙球由O点到B点水平位移的3倍，故D错误。

AC．设乙球由O点到B点水平位移为x，时间为t。对甲球有$3x=v_1t$，对乙球有$x=v_2t$

则得$v_1:v_2=3:1$，故A正确，C错误。

故选B。

3．C

【详解】A．假设小球在如图所示的斜面上做平抛运动，小球以水平速度v_0向右抛出后，

根据平抛运动有$\sqrt{3}h=v_0t_1$，$h=\frac{1}{2}gt_1^2$

当小球以水平速度$2v_0$向右抛出后，根据平抛运动有$x=2v_0t_2$，$y=\frac{1}{2}gt_2^2$，并且$\frac{x}{y}=\frac{\sqrt{3}}{1}$，

联立解得$x=4\sqrt{3}h$，$y=4h$，故小球恰好落在第四级台级边缘 d 点处，故 A 正确；

B．物块平抛时间$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，两次平抛时间之比$\frac{t_1}{t_2}=\sqrt{\frac{h}{4h}}=\frac{1}{2}$，故 B 正确；

C．小球落到台阶上时的速度和台阶水平面的夹角$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_x}=\frac{gt}{v_0}=\frac{2y}{x}=\frac{2}{\sqrt{3}}$，因此$\alpha\neq60°$，故 C 错误；

D．设小球恰从 a 点经过（未碰撞），并落在第二级台阶，该平抛过程水平位移为 x（此时小球初速度为v_0）可得

$x=v_0t'$，$2h=\frac{1}{2}gt'^2$，解得$x=\sqrt{6}h$

距离第二级台阶左端$(\sqrt{6}-\sqrt{3})h$，小于第二级台阶宽度一半$\frac{\sqrt{3}}{2}h$。再适当增大初速度，一定可以打到第二级台阶中点，故 D 正确。

本题选错误的，故选 C。

【跟踪训练】：B　　A　　B

1．B

【详解】AB．小球做平抛运动，竖直方向做自由落体运动，竖直墙面上垂直投影的运动是匀加速运动，故 A 错误，B 正确；

CD．小球做平抛运动，水平方向做匀速直线运动，水平地面上垂直投影的运动速度等于 v，故 CD 错误。

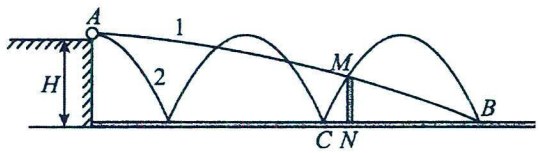
故选 B。

2．A

【详解】根据题意，两小球从平抛到第一次地，竖直方向$H=\frac{1}{2}gt^2$

可知，两小球平抛后，同时落地，在水平方向有$x_1=v_1t$，$x_2=v_2t$，由图可知$x_1=5x_2$，可得$v_1=5v_2$

如图所示，将球 2 运动倒过来看成从M运动到C点与球 1 从M运动到B点时间相同，则有$x_{NB}=5x_{CN}$



由几何关系可得，AM 间水平距离与 AB 间水平距离之比为$x_{AM}:x_{AB}=2:3$

则小球 1 由 A 运动到M与由M运动到B的时间之比为$t_{AM}:t_{AB}=2:3$

则有$H=\frac{1}{2}gt_{AB}^2$，$H-h=\frac{1}{2}gt_{AM}^2$，解得$h=\frac{5}{9}H$

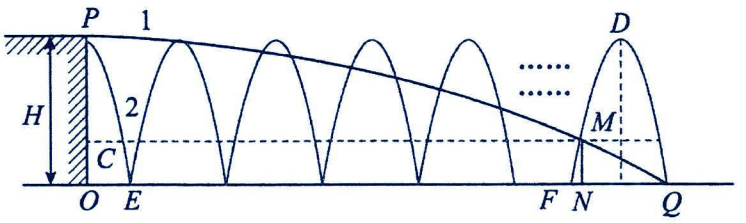
故选 A。

3．B

【详解】如下图所示

两小球都能落在 Q 点，对球 1$H=\frac{1}{2}gt^2$，$x_{OQ}=v_1t$；对球 2$H=\frac{1}{2}gt^2$，$x_{OQ}=(2N+1)v_2t$

联立可得$\frac{v_1}{v_2}=\frac{2N+1}{1}$，球 1 与球 2 初速度之比可能为 3:1、5:1、7:1、9:1、…。



故选 B。

考点三：平抛运动中的临界问题与极限问题

题型一：临界问题

【精选例题】： D　　ABD　　3．(1) $\frac{20}{9}m/s^2$；(2)0.55 m；　0.45 m；(3)492 m<L≤570 m

1．D

【详解】小物体做平抛运动，恰好擦着窗子上沿右侧穿过时 v 最大。此时有 $L=v_{max}t_1$，$h=\frac{1}{2}gt_1^2$

代入解得 $v_{max}=7\text{m/s}$，$t_1=0.2\text{s}$

恰好擦着窗口下沿左侧时速度 v 最小，则有 $L+d=v_{min}t_2$，$H+h=\frac{1}{2}gt_2^2$，解得 $v_{min}=2.5\text{m/s}$，$t_2=0.7\text{s}$

故 v 的取值范围是 $2.5\text{m/s}<v<7\text{m/s}$

故选 D。

2．ABD

【详解】AB．小石块恰好到达点 O 时，有 $v_0=\frac{AO\cos 30°}{t}$，$AO\sin 30°=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $v_0=10\sqrt{3}\text{m/s}$

所以当 $v_0>10\sqrt{3}\text{ m/s}$，则石块一定落入水中，$v_0<5\sqrt{3}\text{ m/s}$，则石块不可以落入水中，故 AB 正确；

C．若石块能落入水中，则有 $\tan\alpha=\frac{gt}{v_0}$，时间 t 一定，$v_0$ 越大，落水时速度方向与水平面的夹角越小，故 C 错误；

D．设速度方向与水平方向的夹角为 θ，则 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$，$\tan 30°=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{v_0}=\frac{1}{2}\tan\theta$

则 $\tan\theta$ 为定值，速度方向与斜面的夹角也是定值，与 v_0 无关，故 D 正确；

故选 ABD。

3．(1) $\frac{20}{9}m/s^2$　(2)0.55 m，0.45 m　(3)492 m<L≤570 m

【详解】试题分析：（1）装甲车的加速度 $a=\frac{v_0^2}{2s}=\frac{20}{9}m/s^2$

（2）第一发子弹飞行的时间 $t_1=\frac{L}{v+v_0}=0.5s$，弹孔离地高度 $h_1=h-\frac{1}{2}gt_1^2=0.55m$

第二发子弹离地的高度 $h_2=h-\frac{1}{2}g\left(\frac{L-s}{v}\right)^2=1.0m$，两弹孔之间的距离 $\Delta h=h_2-h_1=0.55m$

（3）第一发子弹打到靶的下沿时，装甲车离靶的距离为 L_1 $L_1=(v_0+v)\sqrt{\frac{2h}{g}}=492m$

第二发子弹打到靶的下沿时，装甲车离靶的距离为 L_2 $L_2=v\sqrt{\frac{2h}{g}}+s=570m$

L 的范围 $492m<L\le 570m$

【跟踪训练】：BC　　B　　3．（1）Δs=0.6m；（2）t＝6.0 s；（3）4.1 m/s

1．BC

【详解】根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$，得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times0.8}{10}}$s=0.4s

因为水平位移的范围为 L≤x≤L+2R，则水平速度范围为 $\frac{L}{t}\le v\le\frac{L+2R}{t}$，得 1.25m/s≤v≤3.75m/s

故选 BC。

2．B

【详解】选障碍物为参考系，小球做平抛运动，小球从矩形孔的左上角通过时，

水平方向有 $x_1=v_0t$；竖直方向有 $H-h-d=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $x_1=0.8$m

小球从矩形孔的右下角通过时，水平方向有 $x_2+L=v_0t$；竖直方向有 $H-h=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $x_2=1$m

故 x 的取值范围是 0.8m≤x≤1m，故 ACD 错误 B 正确。

故选 B。

3．（1）Δs=0.6m；（2）t＝6.0 s；（3）4.1 m/s

【详解】

（1）选手离开平台后做平抛运动，在竖直方向上有：$H=\frac{1}{2}gt_1^2$，得 $t_1=\sqrt{\frac{2H}{g}}=0.6s$

在水平方向上有：$s_1=v_0t_1=1.8$m

选手在传送带上做匀加速运动的位移 $s_2=L_0-(s_1-s_0)=\frac{1}{2}at_2^2$，得 $t_2=4.4$s

则选手运动的总时间 $t=t_1+t_2+\triangle t=6.0$s

（2）设水平跃出的速度为 v_1，落到传送带上 1.0 s 反应时间内向左发生的位移大小为：$s_3=v\triangle t=1$m，然后向左减速至速度为零又向左发生位移 $s_4=\frac{v^2}{2a}=0.25$m

不从传送带上掉下，平抛水平位移 $s\ge s_0+s_3+s_4=2.45$m，则 $v_1\ge\frac{s}{t_1}=4.08$m/s

所以选手从高台上跃出的水平速度最小为 4.08m/s．

题型二：极限问题

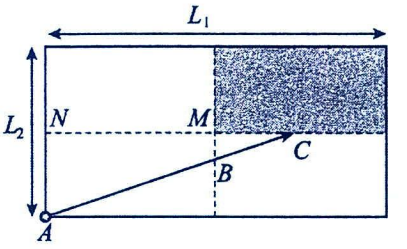
【精选例题】：A

1．A

【详解】当发球机有效发球且发出网球的速率最小时，球应恰好到达有效区域的边缘，如图

网球从A点发出后落在C点。网球从A点发出后，在竖直方向做自由落体运动，有 $H=\frac{1}{2}gt_{AC}^2$

解得 $t_{AC}=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{2\times1.8}{10}}\text{s}=0.6\text{s}$



若网球恰不触网，则有 $H-h=\frac{1}{2}gt_{AB}^2$

解得 $t_{AB}=\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}=\sqrt{\frac{2\times(1.8-1)}{10}}\text{s}=0.4\text{s}$

网球在水平方向上做匀速直线运动，即 $x_{AB}:x_{AC}=t_{AB}:t_{AC}=2:3$

因 ΔCMB 与 ΔCNA 为相似三角形，则有 $x_{AB}:x_{AC}=x_{NM}:x_{NC}=2:3$

因 $L_1=12\text{m}$ 、 $L_2=9\text{m}$，可得 $x_{NC}=\frac{1}{2}L_1\times\frac{3}{2}=9\text{m}$， $x_{AC}=\sqrt{x_{NC}^2+\left(\frac{1}{2}L_2\right)^2}=\frac{9}{2}\sqrt{5}\text{m}$

则发球机有效发球时发出网球的最小速率为 $v_{\min}=\frac{x_{AC}}{t_{AC}}=\frac{15}{2}\sqrt{5}\text{m/s}$

故选A。

【跟踪训练】：B

1．B

【详解】发射机无论向哪个方向水平发射，乒乓球都是平抛运动，

竖直高度决定了运动的时间 $t=\sqrt{\frac{2\times3h}{g}}=\sqrt{\frac{6h}{g}}$

水平方向匀速直线运动，水平位移最小即沿中线方向水平发射恰好过球网，此时从发球点到球网，

下降高度为 $3h-h=2h$

水平位移大小为 $\frac{L_1}{2}$，可得运动时间 $t=\sqrt{\frac{2\times2h}{g}}=\sqrt{\frac{4h}{g}}$，对应的最小初速度 $v=\frac{L_1}{2}\sqrt{\frac{g}{4h}}$

水平位移最大即斜向对方台面的两个角发射，根据几何关系此时的位移大小为 $\frac{1}{2}\sqrt{4L_1^2+L_2^2}$，所以平抛的初速度

$\frac{L_1}{2}\sqrt{\frac{g}{4h}}\le v\le\frac{1}{2}\sqrt{4L_1^2+L_2^2}\times\sqrt{\frac{g}{6h}}$

故选B。

题型三：生活中的平抛运动

【精选例题】：A　　D　　D

1．A

【详解】A.设易拉罐做平抛运动的初速度为 v_0，抛出点离垃圾桶的高度为 h，水平位移为 x，则平抛运动的时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，水平位移 $x=v_0t=v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$

只增大易拉罐抛出时的初速度，抛出点位置不变，可增大水平位移，从而能把易拉罐扔进垃圾桶中，故 A 正确；

B．只减小易拉罐抛出时的高度，下落时间变短，则水平位移减小，故易拉罐无法落到垃圾桶中，故 B 错误；

C．只增大水平扔出易拉罐时人与垃圾桶的水平距离，由于易拉罐水平射程不变，故易拉罐无法落到桶中，故 C 错误；

D．同时减小易拉罐水平扔出时的高度和水平初速度，下落时间变短，则水平位移减小，故易拉罐无法落到垃圾桶中，故 D 错误。

故选 A。

2．D

【详解】A．根据平抛运动公式，有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，若 g 取 10m/s^2，代入数据解得 t=0.6s

球在空中运动的时间约为 0.6s，故 A 错误；

B．在水平方向上，有 $v_0=\frac{x}{t}$，代入数据解得球的水平初速度大小 $v_0=12\text{m/s}$，故 B 错误；

C．根据 $v_y=gt$ 可得球落地前瞬间竖直方向的分速度大小为 $v_y=6\text{m/s}$

球落地瞬间速度方向与初速度方向的夹角 θ 的正切值 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{6}{12}=\frac{1}{2}$，又 $\tan30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{3}$

因为 $\tan\theta<\tan30^\circ$，得 $\theta<30^\circ$，故 C 错误；

D．球落地瞬间的速度大小 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{12^2+6^2}\text{m/s}=6\sqrt{5}\text{m/s}$，故 D 正确。

故选 D。

3．D

【详解】AB．乒乓球在水平方向上做匀速直线运动，由于两球在网的左右两侧运动的水平位移之比为 1：2，则乒乓球在网左右两侧运动时间之比为 1：2，在左侧和整个过程中运动的时间之比为 1：3，下降的高度之比为 1：9，有 $\frac{H-h}{H}=\frac{1}{9}$

则击球点高度和网高度之比 $H:h=9:8$，故 A、B 错误；

C．根据平抛运动规律则有 $H=\frac{1}{2}gt^2$，$\frac{3}{2}L=v_0t$，解得，$v_0=\frac{3L}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}$

乒乓球过网时速度为 $v_1=\sqrt{v_0^2+2g\cdot\frac{1}{9}H}=\sqrt{\frac{9gL^2}{8H}+\frac{2gH}{9}}$

乒乓球落到右侧桌边缘时速度 $v_2=\sqrt{v_0^2+2gH}=\sqrt{\frac{9gL^2}{8H}+2gH}$

所以有$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{\frac{9gL^2}{8H}+\frac{2gH}{9}}{\frac{9gL^2}{8H}+2gH}}>\sqrt{\frac{\frac{2gH}{9}}{2gH}}=\frac{1}{3}$，故C错误；

D．乒乓球在网左右两侧运动的时间之比为1：2，平抛运动的加速度不变，根据$\Delta v=gt$知速度变化量之比为1：2，故D正确。

故选D。

【跟踪训练】：C　　BCD　　AB

1．C

【详解】A．根据平抛运动的规律有$H=\frac{1}{2}gt^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$

可知乒乓球在空中运动的时间由下落的高度决定，H不变，则乒乓球在空中下落的时间不变，A错误；

B．乒乓球落在桌面瞬间的竖直速度为$v_y=\sqrt{2gH}$

乒乓球落在桌面瞬间速度与水平方向的夹角的正切值$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{\sqrt{2gH}}{v_0}$

显然v_0越大，乒乓球落在桌面瞬间速度与水平方向的夹角越小，B错误；

C．根据平抛运动的推论乒乓球落在桌面时位移与水平方向的夹角的正切值$\tan\beta=\frac{\tan\theta}{2}=\frac{\sqrt{2gH}}{2v_0}$

保持v_0不变，H越大，则乒乓球落在桌面时位移与水平方向的夹角越大，C正确；

D．物体落在桌面瞬间的速度为$v=\sqrt{v_y^2+v_0^2}=\sqrt{2gH+v_0^2}$

显然保持v_0不变，H越大，乒乓球落在桌面瞬间的速度越大，D错误。

故选C。

2．BCD

【详解】AB．排球做平抛运动的轨迹在地面上的投影为$O'E$，如图所示

由几何关系可得$\frac{O'F}{EF}=\frac{CQ}{EQ}=\frac{2}{1}$

所以排球在左、右场地运动的时间之比为1:2，设排球做平抛运动的时间为$3t$，O点距地面的高度为H，则有

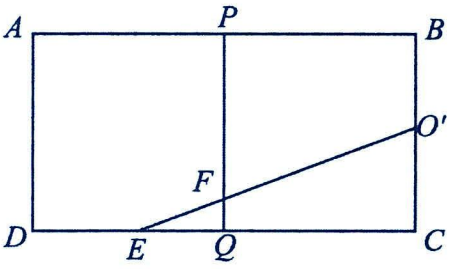
$H=\frac{1}{2}g(3t)^2$，$\frac{d}{4}=\frac{1}{2}g(3t)^2-\frac{1}{2}g(2t)^2$，解得$H=\frac{9d}{20}$，$3t=\sqrt{\frac{9d}{10g}}$，故A错误，B正确；

C．根据几何关系可得$O'E=\sqrt{(\frac{d}{2})+(\frac{3d}{2})^2}=\frac{\sqrt{10}}{2}d$

则排球击出时的速度大小为$v_0=\frac{O'E}{3t}=\frac{5\sqrt{gd}}{3}$，故C正确；

D．排球着地时的速度大小为$v=\sqrt{v_0^2+2gH}=\sqrt{\frac{331gd}{90}}$，故D正确。

故BCD。



3．AB

【详解】AB．设乒乓球被击出时的初速度大小为 v_0，乒乓球被击出后做平抛运动，恰好经过网上边沿的 c 点，设所用时间为 t，则有 $\frac{2}{3}h=\frac{1}{2}gt^2$，$L=v_0t$，解得 $v_0=\frac{L}{2}\sqrt{\frac{3g}{h}}$

设球落在球台上的时间为 t_1，落点与击出点之间的水平距离为 l，则有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$，$l=v_0t_1$

解得 $l=\frac{\sqrt{6}}{2}L$，故 AB 正确；

C．球在竖直方向做自由落体运动，在落点 d 处竖直方向的速度为 vy，落点 d 处速度方向与水平方向的夹角为 θ，则有 $v_y=gt_1$，$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$，解得 $\tan\theta=\frac{2\sqrt{6}h}{3L}$，故 C 错误；

D．若保持击球高度不变，且垂直 MN 击打乒乓球，当球恰好不出界时，则平抛运动的速度为 $v=\frac{2L}{t_1}=2L\sqrt{\frac{g}{2h}}$，但若只限定在 b 点水平击出，则水平位移的最大值应该是 a 点与 P 或 Q 的连线，大于 2L，因此最大速度应该大于 v，而平抛运动的最小速度为 $v_{min}=v_0=\frac{L}{2}\sqrt{\frac{3g}{h}}$，故 D 错误。

故选 AB。

考点四：类平抛运动

题型一：基础模型

【精选例题】：C　　2．（1）$10\sqrt{2}$m/s，速度方向与水平方向夹角为45°；（2）15m

1．C

【详解】AB．根据题意可知，高尔夫球飞行中，水平方向做匀减速直线运动，竖直方向做自由落体运动，则高尔夫球飞行中做的不是平抛运动，竖直方向上有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，解得高尔夫球飞行的时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$；故 AB 错误；

D．根据题意，设初速度为 v_0，水平方向上有 $\frac{v_0}{2}t=L$，解得 $v_0=2L\sqrt{\frac{g}{2h}}$

故 D 错误；

C．根据题意，水平方向末速度为零，由运动学公式

$$v=v_0+at$$

可得高尔夫球水平方向上的加速度大小为

$$a=\frac{v_0}{t}=\frac{Lg}{h}$$

由牛顿第二定律可得，高尔夫球飞行中受到的水平风力大小为

$$F=ma=\frac{mgL}{h}$$

故 C 正确。

故选 C。

2．（1）$10\sqrt{2}$m/s，速度方向与水平方向夹角为45°；（2）15m

【详解】（1）当$F=0$时，小球做平抛运动，水平方向有，$L=v_0t_1$；解得$t_1=1\text{s}$

竖直分速度为$v_{y1}=gt_1$；小球撞击右壁的速度大小$v_1=\sqrt{v_0^2+v_{y1}^2}$

令速度与水平方向夹角为θ，则有$v=10\sqrt{2}\text{m/s}$，$\theta=45^\circ$

（2）结合上述，当$F=0$时，小球做平抛运动，竖直方向的分位移$y_1=\frac{1}{2}gt_1^2$，解得$y_1=5\text{m}$

当$F=3mg$时，根据牛顿第二定律有$3mg-mg=ma$

小球做类平抛运动，则有，$L=v_0t_1$，$y_1=\frac{1}{2}at_1^2$，解得$y_1=10\text{m}$

则小球撞击右壁的区域长度$L_0=y_1+y_2=15\text{m}$

【跟踪训练】：D　　2．（1）$t=\frac{2mv_0\tan\theta}{F}$；（2）$v=v_0\sqrt{1+4\tan^2\theta}$；（3）$L=\frac{2mv_0^2\tan\theta}{F\cos\theta}$

3．(1)4m；(2)175m/s^{2} (3)3.8s

1．D

【详解】A．根据牛顿第二定律$G-F=ma$；解得$a=\frac{g}{3}$

该物体做类平抛运动，则$h=\frac{1}{2}at^2$；解得从M运动到N的时间为$t=\sqrt{\frac{6h}{g}}$；故A错误；

B．M与N之间的水平距离$x=v_0t=v_0\sqrt{\frac{6h}{g}}$；故B错误；

CD．物体撞击右壁时，物体运动的时间为$t'=\frac{L}{v_0}$；物体竖直方向的速度为$v_y=at'=\frac{gL}{3v_0}$

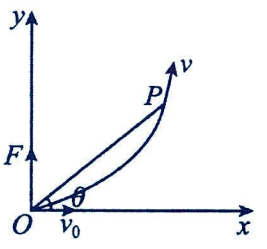
物体撞击壁速度$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+\frac{g^2L^2}{9v_0^2}}$；根据几何关系可知，当$v_0^2=\frac{g^2L^2}{9v_0^2}$

即当初速度$v_0=\sqrt{\frac{gL}{3}}$时，物体撞击壁时速度最小，故若增大初速度v_0，物体将撞击右壁，且初速度越大，物体撞击壁速度不一定越大，故C错误，D正确。

故选D。

2．（1）$t=\frac{2mv_0\tan\theta}{F}$；（2）$v=v_0\sqrt{1+4\tan^2\theta}$；（3）$L=\frac{2mv_0^2\tan\theta}{F\cos\theta}$

【详解】（1）设小球运动到P点时的速度大小为v,OP之间的距离L。以O点为坐标原点、初速度v_0方向为x轴正方向、风力F方向为y轴正方向，建立平面直角坐标系，如图所示



沿v_0方向有$L\cos\theta=v_0t$；沿风力F方向$L\sin\theta=\frac{1}{2}at^2$

又有$F=ma$；联立解得$t=\frac{2mv_0\tan\theta}{F}$

（2）小球运动到P点时$v_x=v_0,v_y=at$

小球运动到P点时的速度大小$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$；解得$v=v_0\sqrt{1+4\tan^2\theta}$

（3）OP之间的距离$L=\frac{v_0 t}{\cos\theta}$；解得$L=\frac{2mv_0{}^2\tan\theta}{F\cos\theta}$

3．(1)4m；(2)175m/s²；(3)3.8s

【详解】（1）设从抛出到第一次与水面接触前时间为t_0，根据，$h_0=\frac{1}{2}gt_0^2$；解得，$t_0=0.4\text{s}$

则第一次与水面接触前水平方向的位移$x=v_0t_0$，解得$x=4\text{m}$

（2）第一次与水面接触前竖直方向的速度$v_{y0}=gt_0=4\text{m/s}$

小石片在水面上滑行时，设水平方向加速度大小为a_x，则有$a_x=\frac{f}{m}=25\text{m/s}^2$

第一次与水面接触后跳起时水平滑行速度$v_{x1}=v_0-a_x\cdot\Delta t=9\text{m/s}$

规定竖直方向下为正方向，第一次与水面接触后跳起时竖直方向分速度$v_{y1}=-kv_{x1}=-3\text{m/s}$

竖直方向加速度为$a_y=\frac{v_{y1}-v_{y0}}{\Delta t}=-175\text{m/s}^2$

即第一次与水面接触过程中在竖直方向上的分加速度175m/s²的大小。

（3）小石片在水面上滑行时，水平加速度大小$a_x=\frac{f}{m}=-25\text{m/s}^2$

每次滑行速度的变化量$\Delta v_x=a_x\cdot\Delta t=-1\text{m/s}$

由于$n=\left|\frac{v_0}{\Delta v_x}\right|=10$；可知，小石片共在水面上滑行了10次，空中弹起后飞行了9次，

则有$v_{xn}=v_0+\Delta v_x=(10-n)$（n=0，1，2，3…）

由于$v_{yn}=kv_{xn}$，$t_n=2\cdot\frac{v_{yn}}{g}$；可得小石片在空中飞行的总时间为$t_{总}=t_0+t_1+t_2+\cdots t_9+10\Delta t$

则有$t_{总}=\frac{v_{y0}}{g}+2\times\frac{1}{3}\cdot\frac{(v_{x1}+v_{x2}+\cdots v_{x9})}{g}+10\Delta t$；解得，总时间为，$t_{总}=3.8\text{s}$

题型二：延伸模型

【精选例题】：C　　BD　　BD

1．C

【详解】A．依据曲线条件，初速度与合力方向垂直，且合力大小恒定，则物体做匀变速曲线运动，再根据牛顿第二定律得，物体的加速度为$a'=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta=5\text{m/s}^2$；故A错误；

B．根据$a=\frac{1}{2}a't^2$；解得$t=\sqrt{\frac{2a}{a'}}=\sqrt{\frac{2\times5}{5}}\text{s}=\sqrt{2}\text{s}$，故B错误；

C．根据，b=v₀t，有$v_0=\frac{b}{t}=\frac{4}{\sqrt{2}}\text{m/s}=2\sqrt{2}\text{m/s}$；故C正确；

D．若小球从B点以4m/s的速度水平向左射入，因水平位移不变，则下落的时间会减小，

则不能从底端 A 点离开斜面，故 D 错误；

故选 C。

2．BD

【详解】AB．A 做平抛运动，运动的时间 $t_A=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

B 做类平抛运动，运动的时间 $t_B=\sqrt{\dfrac{2h}{g\sin^2\theta}}$，可知 B 运动的时间长，选项 A 错误，B 正确；

CD．A 水平位移 $x_A=v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$；B 水平位移 $x_B=v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g\sin^2\theta}}$；可知 P_2 在 x 轴上较远，选项 C 错误,D 正确。

故选 BD。

3．BD

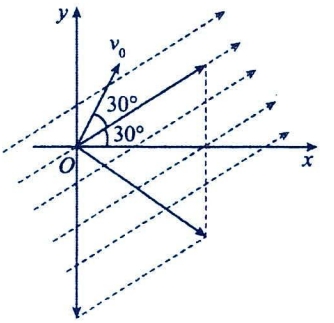
【详解】由题意可知，风力与重力的夹角为 120°，由于 $F_{风}=5\text{N}=mg$

即风力与重力大小相等，根据矢量合成规律，可知合力与重力等大，如图

则小球的加速度大小为，$a=\dfrac{F_{合}}{m}=10\text{m/s}^2$

方向与初速度垂直，所以小球做类平抛运动，速度一直增加。

故选 BD。



【跟踪训练】：D　　BD　　C　　B

1．D

【详解】A．筒壁对小球的弹力与小球速度垂直，故不做功，故 A 错误；

B．小球离开圆筒后，已经下降了 5cm，故竖直方向上已经具有一定的速度，故做斜抛运动，故 B 错误；

C．小球在桶内运动可以分解为水平方向上的圆周运动和竖直方向上的自由落体运动，而小球在桶内运动的时间取决于竖直方向上的运动，则 $t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=0.1\text{s}$；故 C 错误；

D．小球从平面到离开开始分析，有 $\dfrac{1}{2}gt_{总}^2=H_1+H_2$；解得 $t_{总}=0.2\text{s}$

则小球离开筒的点到最后的落点的时间为 $t'=t_{总}-t=0.1\text{s}$

小球离开筒的点到最后的落点的水平方向上距离为 $x=v_0t'=0.05\text{m}$

小球离开筒的点到最后的落点的距离为 $L=\sqrt{x^2+H_2^2}=5\sqrt{10}\text{cm}$；故 D 正确；

故选 D。

2．BD

【详解】D．抛出后两小球在斜面上做类平抛运动，沿斜面方向两者运动情形相同，故不论 v 的大小如何，a、b 总能相遇，故 D 项正确；

AB．水平方向上，当两者相遇时，有$2vt=L$；解得$t=1\text{s}$

沿斜面方向上，由牛顿第二定律有$mg\sin30°=ma$；

抛出0.6s后，b的速度$v_{y1}=at_1$，$v_1=\sqrt{v^2+v_{y1}^2}$；解得$v_1=3\sqrt{2}\text{m/s}$

同理得抛出0.8s后，b的速度$v_2=5\text{m/s}$；故A错误，B正确；

C．两球相遇时，有$y=\frac{1}{2}at^2$，$x=vt$，位移$s=\sqrt{x^2+y^2}$，解得$s=\frac{\sqrt{61}}{2}\text{m}$，故C项错误。

故选BD。

3．B

【详解】AB．物块在斜面上做类平抛运动，沿斜面的方向做匀加速运动$y=\frac{1}{2}at^2$，沿水平方向做匀速运动$x=v_0t$

根据牛顿第二定律有$mg\sin\theta=ma$，联立解得$y=\frac{x^2g\sin\theta}{2v_0^2}$

根据题意可知$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{y_1}{y_2}=\frac{2}{1}$，物块离开斜面时，前后两次下落的高度之比为，$\frac{h_1}{h_2}=\frac{y_1\sin\theta_1}{y_2\sin\theta_2}=\frac{4}{1}$

故A错误，B正确；

C．物块前后两次运动的加速度的大小之比为 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{g\sin\theta_1}{g\sin\theta_2}=\frac{2}{1}$，故C错误；

D．速度变化量的大小为$\Delta v=g\sin\theta\cdot t$

物块从入射到飞离斜面，前后两次速度变化量的大小之比为$\frac{\Delta v_1}{\Delta v_2}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{2}{1}$，故D错误。

故选B。

考点五：斜抛运动

题型一：概念辨析

【精选例题】：D

1．D

【详解】A．做斜抛运动的物体受重力作用，故A错误；

B．做斜抛运动的物体因为初速度方向与重力方向不共线，同时又因为物体只受重力作用，产生的重力加速度是恒定不变的，所以斜抛运动是匀变速曲线运动，故B错误；

CD．根据加速度的定义式可得$\Delta v=g\Delta t$，所以在相等的时间内速度的变化相等，故C错误，D正确。

故选D。

【跟踪训练】：C　　A

1．C

【详解】A．运动员腾空做斜抛运动，所以在腾空的最高点，竖直方向速度为零，但水平速度不为零，故A错误；

B．在腾空上升阶段，运动员只受重力作用，具有向下的加速度，运动员处于失重状态，故B错误；

C．在起跳时，运动员具有向上的加速度，地面对运动员的支持力大于重力，根据牛顿第三定律可知运动员对地

面的压力大于重力，故 C 正确；

D．在助跑过程中，地面给人脚静摩擦力作用，使运动员加速向前运动，故 D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】A．忽略空气阻力，标枪出手后只受重力，由牛顿第二定律得加速度为重力加速度，加速度不变，故 A 正确；

B．速度大小变化，但方向不变时，物体做直线运动；速度方向发生变化时，物体做曲线运动，故 B 错误；

C．标枪升到最高点时竖直方向速度为零，但水平方向速度不为零，故最高点时速度不为零，故 C 错误；

D．加速度不变的曲线运动是匀变速运动，例如平抛运动，故 D 错误。

故选 A。

题型二：基本规律

【精选例题】：AC　　2．(1)$h_1=\frac{1}{3}h_0$；(2)$v_y=\frac{2}{3}\sqrt{2gh_0}$　　3．(1)0.6s；(2)$\frac{6(1+\sqrt{3})}{5}$m；(3)1.85m

1．AC

【详解】AB．以抛出点为坐标原点，取竖直向上为正方向，小石头从抛出到落地在竖直方向下落的高度相同，由$-h=v_0\sin\theta t-\frac{1}{2}gt^2$ v_0越大，t越大，A 正确，B 错误；

CD．小石头在竖直方向发生的位移相同，在水平方向有$x=\sqrt{(v_0\cos\theta)^2+v_{水}^2}\cdot t$

知v_0越大，t越大，x越大，小石头发生的位移越大，C 正确，D 错误。

故选 AC。

2．(1)$h_1=\frac{1}{3}h_0$；(2)$v_y=\frac{2}{3}\sqrt{2gh_0}$

【详解】（1）设 AB=d，则 BC=CD=2d、AC=3d；第一次球做平抛运动，设平抛运动的初速度为v_1，运动的时间为 t，则 P 点到 F 运动的时间$t_1=\frac{2d}{v_0}=\frac{1}{2}t$，竖直方向有$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$，$h_1+h_0=\frac{1}{2}gt^2$，解得$h_1=\frac{1}{3}h_0$

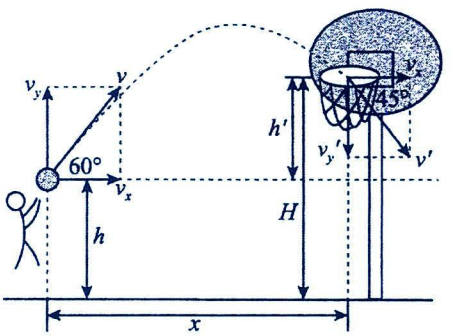
（2）设球在最高点时的速度为v_F，则$3d=v_F\cdot\sqrt{\frac{2h_0}{g}}$，球从 Q 点到 F 的运动时间$t_2=\frac{2d}{v_F}$

竖直方向有$v_y=gt_2$，联立解得$v_y=\frac{2}{3}\sqrt{2gh_0}$

3．(1)0.6s；(2)$\frac{6(1+\sqrt{3})}{5}$m；(3)1.85m

【详解】（1）如图所示，篮球抛出后竖直方向上做竖直上抛运动

根据$v\sin60°=gt_1$；解得$t_1=0.6$s



（2）以竖直向下为正方向，竖直方向上有$v_y'=-v_y+gt$，$v_x'=v_x$

水平方向上做匀速直线运动，有$x=v\cos60°\cdot t$；解得$x=\frac{6(1+\sqrt{3})}{5}$m

（3）以竖直向上为正方向，竖直方向上有$(v_y')^2-(v_y)^2=-2gh'$

解得$h=H-h'=1.85\text{m}$

【跟踪训练】C　　2．(1)2s，14m；(2)$\sqrt{233}\text{m/s}$，$\frac{8}{13}$

1．C

【详解】篮球出手时水平方向的分速度$v_{x1}=v_0\cos53°$；竖直方向的分速度$v_{y1}=v_0\sin53°$

忽略空气阻力，篮球在水平方向匀速直线运动，篮球入筐瞬间水平方向的分速度$v_{x2}=v_{x1}=v_0\cos53°$

竖直方向的分速度$v_{y2}=v_{x2}\tan37°=v_0\cos53°\tan37°$

运动员出手点到篮筐中心的竖直距离为，$h=1.4\text{m}$，$v_{y2}^2-v_{y1}^2=-2gh$

代入数据联立得，$v_0=8\text{m/s}$；C 正确。

故选 C。

2．(1)2s，14m；(2)$\sqrt{233}\text{m/s}$，$\frac{8}{13}$

【详解】（1）由牛顿第二定律得$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma$；解得$a=7\text{m/s}^2$

滑块运动到最高点的时间$t=\frac{v_0}{a}=2\text{s}$；位移为$x=\frac{v_0+0}{2}t=14\text{m}$

（2）以斜面方向和垂直斜面方向建立直角坐标系，

则加速度满足$a_x=g\sin\theta=6\text{m/s}^2$，$a_y=g\cos\theta=8\text{m/s}^2$；速度分解$v_x=v\cos\alpha$，$v_y=v\sin\alpha$

由于恰好在最高点击中，则沿垂直斜面方向，$0=v_yt-\frac{1}{2}a_yt^2$，$x=v_xt-\frac{1}{2}a_xt^2$，解得，$v_y=8\text{m/s}$，$v_x=13\text{m/s}$

小球初速度v的大小$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{233}\text{m/s}$；初速度与导轨间夹角$\alpha$的正切值$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_x}=\frac{8}{13}$

题型三：轨迹问题

【精选例题】A　　BD　　D

1．A

【详解】试题分析：两球初速度大小和方向均相同，同时因抛出后两物体均只受重力，故加速度相同，因此二者具有相同的运动状态，故 B 的运动轨迹也是①；选项 A 正确，BCD 错误．故选 A．

考点：抛体运动

【名师点睛】本题考查对抛体运动的掌握，要注意明确质量不同的物体在空中加速度是相同的，而影响物体运动的关键因素在于加速度，与质量无关．

2．BD

【详解】ABC．O与P的竖直距离一定，从O到P的过程中，秧苗乙的竖直分运动是自由落体运动，秧苗甲的竖直分运动是竖直上抛运动，秧苗乙用时短，所以秧苗乙先经过P点，甲的初速度变大而抛出的角度不变则运

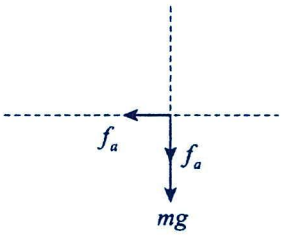
动到 P 点同一高度时间变大，水平速度分量变大则水平位移变大不会落在 P 点，故 AC 错误，B 正确；

D．O与P的水平距离一定，秧苗乙用时短，所以秧苗乙的初速度一定大于秧苗甲的初速度的水平分量，故 D 正确。

故选 BD。

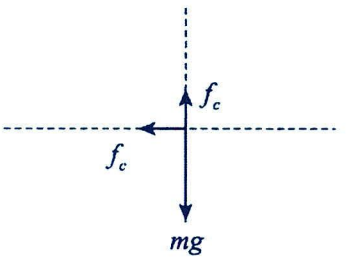
3．D

【详解】A．炮弹的运动分解为水平与竖直两个方向的分运动，到达 b 点时，竖直方向速度为零，水平方向速度不为零，所以炮弹到达 b 点时，速度不为零。故 A 错误；



C．炮弹从 a 点到 c 点的过程，重力做功为零，阻力做负功，由动能定理可知，炮弹经过 a 点时的速度大于经过 c 点时的速度。故 C 错误；

B．炮弹经过 a 点与 c 点时受力分析如图



由 C 选项分析可知，炮弹经过 a 点时的速度大于经过 c 点时的速度，即炮弹在 a 点时水平方向与竖直方向阻力均大于在 c 点的阻力。根据牛顿第二定律可知

$$a_a=\sqrt{\left(\frac{f_{a水平}}{m}\right)^2+\left(\frac{f_{a竖直}+mg}{m}\right)^2}，\quad a_c=\sqrt{\left(\frac{f_{c水平}}{m}\right)^2+\left(\frac{mg-f_{c竖直}}{m}\right)^2}$$

可得$a_a>a_c$；故 B 错误；

D．从 a 到 b 的过程中，在竖直方向上，受到重力和阻力在竖直向下的分力，

由牛顿第二定律可得$mg+f_1=ma_1$；解得$a_1=\frac{mg+f_1}{m}$

在从 b 到 c 的过程中，在竖直方向上，受到向下的重力和阻力在竖直向上的分力，

由牛顿第二定律可得$mg-f_2=ma_2$；解得$a_2=\frac{mg-f_2}{m}$

对比可得$a_1>a_2$

即上升阶段的加速度总体比下降阶段的加速度大，由$h=\frac{1}{2}at^2$

可定性确定，竖直位移相同，加速度越大，时间就越短，所以炮弹由 a 点运动到 b 点的时间小于由 b 点运动到 c 点的时间。故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】D　　C　　A

1．D

【详解】D．斜抛运动的竖直分运动为竖直上抛运动，两次石子达到的最大高度相同，抛出点和落点高度也相同，说明两次的竖直分运动相同，即两次扔出石子的竖直分速度相同，两次石子落水的竖直分速度也相同。由$t=\frac{\Delta v_y}{g}=\frac{v_{y入水}-v_{y扔出}}{g}$；可知两次石子在空中运动的时间相等。故 D 正确。

ABC．石子水平分运动为匀速直线运动，由$x=v_xt$

可知第一次石子水平分位移较小，说明第一次石子水平分速度较小，到达最高点时的速度小，由$v_{扔出}=\sqrt{v_x^2+v_{y扔出}^2}$

可知第一次扔出石子的速度小，由$v_{入水}=\sqrt{v_x^2+v_{y入水}^2}$；第一次扔出石子入水时的速度小。故ABC错误。

故选D。

2．C

【详解】A．由图可知运动轨迹不对称，即羽毛球不是只受重力的抛体运动，羽毛球在运动过程中受到重力和阻力的共同作用，阻力做负功，机械能减小，所以A点的速度大于B点的速度，故A错误；

B．在P点时，重力和阻力的合力与速度方向成钝角关系，速度减小，故P点不是速度最小位置，故B错误；

C．在竖直方向上，*AP*段的平均加速度大于*PB*段的平均加速度，位移大小相等，所以*AP*段的飞行时间小于*PB*段的飞行时间，故C正确；

D．在*AP*上升阶段，羽毛球加速度的竖直分量由重力和阻力的竖直分力之和提供，所以加速度大于重力加速度值，故D错误。

故选C。

3．A

【详解】A．A、B球竖直方向同时自由落体，任意时刻，A高度比B高，因此不可能在空中相撞；B、C同理；A、C任意时刻高度相同，且水平方向有可能相遇，因此A、C可能相撞，故A正确；

B．A与B球水平方向一起匀速直线，A永远与B在一条竖直线上，而A自由落体高度会越来越低，因此A、B一定碰撞；B、C由于水平方向可能碰撞，因此总体可能碰撞；A、C因自由落体存在高度差，因此不可能碰撞，故B错误；

C．A、B球水平方向的初速度不同，导致A永远在B球左侧，因此不可能碰撞；BC球水平方向和竖直方向都可能碰撞，因此总体可能碰撞；A球在竖直方向是有初速度的匀加速直线运动，C在竖直方向是自由落体，因此，A的高度会比C低，故不可能碰撞，故C错误；

D．A、B球水平运动都是匀速直线，A将保持在B的正上方，而竖直方向存在碰撞可能，因此A、B可能碰撞；BC球水平方向和竖直方向都可能碰撞，因此总体可能碰撞；A球在竖直方向是有初速度的匀加速直线运动，C在竖直方向是自由落体，因此，A的高度会比C低，故不可能碰撞，故D错误。

故选A。

题型四：逆向处理斜抛运动

【精选例题】D　　AB

1．D

【详解】A．在竖直方向上，水做竖直上抛运动，则$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得h＝20m，A错误；

B．喷出时竖直方向速度$v_y=gt=20\text{m/s}$，所以水平方向的初速度$v_x=\sqrt{v^2-v_y^2}=20\sqrt{3}\text{m/s}$

所以“水门”的宽度为$x=v_x\cdot 2t=80\sqrt{3}\text{m}$，B错误；

C．在最高点相遇时，水柱竖直方向速度为零，水柱的速度即为水平速度$20\sqrt{3}\text{m/s}$，C错误；

D．水喷出的瞬间，速度与水平方向夹角$\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，θ＝30°；D正确。

故选 D。

2．AB

【详解】A．小球恰好以水平速度经过斜面顶端，小球在水平方向做匀速直线运动，则小球经斜面顶端飞过的速度为$v=v_x=v_0\sin\theta=\frac{v_0}{2}$；故 A 正确；

BC．小球恰好以水平速度经过斜面顶端，可知斜面顶端是小球斜抛的最高点，

则小球由斜面底端运动至顶端的时间为$t=\frac{v_0\cos30°}{g}=\frac{\sqrt{3}v_0}{2g}$

斜面的高度为$h=\frac{(v_0\cos30°)^2}{2g}=\frac{3v_0^2}{8g}$；故 B 正确，C 错误；

D．斜面的倾角满足$\tan\alpha=\frac{h}{x}=\frac{h}{v_xt}=\frac{\frac{3v_0^2}{8g}}{\frac{v_0}{2}\times\frac{\sqrt{3}v_0}{2g}}=\frac{\sqrt{3}}{2}>\frac{\sqrt{3}}{3}$；可得斜面的倾角$\alpha$大于30°，故 D 错误。

故选 AB。

【跟踪训练】D

1．D

【详解】AB．由平抛运动规律有$h=\frac{1}{2}gt_1^2$，解得$t=2t_1=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$

水平初速度$v_0=\frac{l}{t}=\frac{l}{4h}\sqrt{2gh}$，AB 错误；

C．“i“形小人落到另一平台上时竖直方向上的速度$v_y^2=2gh$，即$v_y=\sqrt{2gh}$

“i“形小人落到另一平台上时的速度$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}>\sqrt{2gh}$，C 错误；

D．设“i”形小人落到另一平台上时速度方向与水平方向的夹角为θ，

由平抛运动的规律有$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{4h}{l}$，D 正确。

故选 D。

题型五：斜抛中的极值问题

【精选例题】：D　　2．（1）1.2s；（2）6.2m；（3）0.45m；（4）3.6m

1．D

【详解】A．在竖直方向，铅球做竖直上抛运动，上升过程有$v_0\sin\theta=gt_1$

所以，铅球在空中运动的时间$t=2t_1=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$；A 错误；

B．在水平方向，铅球做匀速直线运动，所以铅球在运动过程中最高点时的速度为$v_x=v_0\cos\theta$；B 错误；

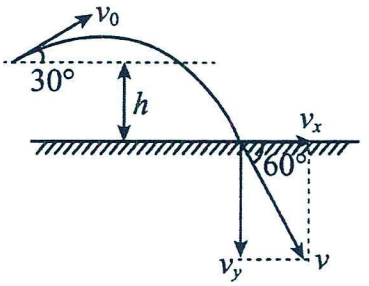
CD．由题意可得，水平射程$x=v_0\cos\theta\cdot t=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g}$

所以v_0一定时，当$\sin 2\theta=1$时，水平射程最远，故当$\theta=45°$时，水平射程最远，C 错误，D 正确。

故选 D。

2．（1）1.2s；（2）6.2m；（3）0.45m；（4）3.6m

【详解】(1) 石子落地时的速度方向和水平方向的夹角为60°，则$\frac{v_y}{v_x}=\tan 60°$，



而$v_x=v_0\cos 30°$，得$v_y=9\text{m/s}$0

取竖直向上为正方向，落地时竖直方向的速度向下，

则$-v_y=v_0\sin 30°-gt$，得$t=1.2\text{s}$

（2）石子在水平方向上做匀速直线运动$x=v_xt=v_0\cos 30°t$，$x=\frac{18\sqrt{3}}{5}\approx 6.2\text{m}$

（3）当石子速度的竖直分量减为 0 时，到达最大高度处$v_{0y}=v_0\sin 30°=3\text{m/s}$，由$v_{0y}^2=2gH_\text{m}$，$H_\text{m}=0.45\text{m}$

（4）抛出点离地面的高度$h=\left|v_0\sin 30°t-\frac{1}{2}gt^2\right|$，解得$h=3.6\text{m}$

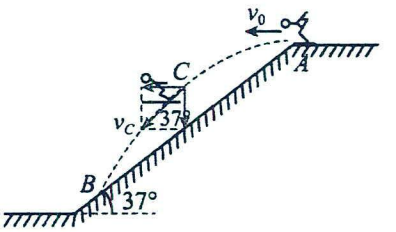
【跟踪训练】：ACD　　2．（1）$t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$；（2）$\tan\theta=\frac{2H}{L}$；（3）$\sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}}\le v\le\sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$

1．ACD

【详解】A．运动员从 A 点到 B 点做平抛运动，水平方向$x=v_0t_1$；竖直方向$y=\frac{1}{2}gt_1^2$；又有$\tan 37°=\frac{y}{x}$

代入数据解得$t_1=3\text{s}$，$x=60\text{m}$，$y=45\text{m}$

运动员从飞出至落在斜面上的位移大小$s=\sqrt{x^2+y^2}=75\text{m}$；故 A 正确；



B．运动员落在斜面上时速度的竖直分量$v_y=gt_1=30\text{m/s}$；

运动员落到斜面上时的速度大小$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=10\sqrt{13}\text{m/s}$，故 B 错误；

C．如图，设运动员在 C 点距离斜面最远，此时合速度方向与斜面平行，

则$\tan 37°=\frac{v_y'}{v_x}=\frac{gt_2}{v_0}$；解得$t_2=1.5\text{s}$；故 C 正确；

D．将物体的速度和加速度沿斜面和垂直斜面分解，在垂直于斜面的方向上，速度减为 0 时距离斜面最远，最远距离$h=\frac{(v_0\sin 37°)^2}{2g\cos 37°}=9\text{m}$；故 D 正确。

故选 ACD。

2．（1）$t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$；（2）$\tan\theta=\frac{2H}{L}$；（3）$\sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}}\le v\le\sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$

【详解】(1) 棋子从最高点落到平台 B 上表面中心可视为平抛运动，则运动的时间$t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$

（2）棋子从最高点落到平台 B 上表面中心时的竖直速度 $v_y=\sqrt{2gH}$；水平速度 $v_x=\frac{x}{t}=\frac{L}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}=L\sqrt{\frac{g}{2H}}$

速度与水平方向夹角的正切值 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{2H}{L}$

（3）若棋子落到平台 B 的左边缘，则 $v_1\cos\theta\cdot t_1=1.5L$；$t_1=\frac{2v_1\sin\theta}{g}$；解得 $v_1=\sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}}$

若棋子落到平台 B 的右边缘，则 $v_2\cos\theta\cdot t_2=2.5L$；$t_2=\frac{2v_2\sin\theta}{g}$；解得 $v_2=\sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$

则初速度的范围 $\sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}}\le v\le\sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$

第三讲：探究抛体运动的特点

考点一：原型试验

题型一：

【精选例题】：

【例 1】(1) BC；(2) 是 1.0；(3)（-10cm，-1.25cm）

【详解】

（1）AB．“研究平抛运动”的实验时，要保证小球在斜槽末端抛出时速度水平，故其末端必须水平，且实验中要保证初速度相同，故要让小球从同一高度、无初速释放，在相同的情形下，即使球与槽之间存在摩擦力，仍能保证球做平抛运动的初速度相同，因此，斜槽轨道不必要光滑，故 A 错误，故 B 正确。

CD．斜槽末端必须水平，以保证平抛运动的初速度水平，实验需要用坐标纸测量数据，平板必须竖直，以斜槽槽口小球的重心处为原点建立直角坐标系，分析平抛运动水平和竖直方向的运动，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

（2）[1]由图可知，竖直方向上连续相等时间内的位移之比为 1∶3∶5，符合初速度为零的匀变速直线运动的特点，因此可知，a 点的竖直分速度为 0，即 a 点为小球的抛出点。

[2]由照相机闪光的频率 f = 10 Hz 可知，a、b、c、d 四点相邻两点间的时间间隔为 $T=\frac{1}{f}=0.1\text{s}$

小球做平抛运动，其水平方向上有 $x=v_0T$

故小球做平抛运动的水平初速度大小为 $v_0=\frac{x}{T}=\frac{0.1\text{m}}{0.1\text{s}}=1.0\text{m/s}$

（3）小球抛出点到 b 点运动的时间为 $t=\frac{v_{by}}{g}=0.25\text{s}$

小球抛出点的横坐标为 $x=-(v_0t-x_b)=-(50-40)\text{cm}=-10\text{cm}$

小球抛出点的纵坐标为 $y=-(\frac{1}{2}gt^2-y_b)=-1.25\text{cm}$

所以小球抛出点的坐标为（-10cm，-1.25cm）。

【跟踪训练】：

1．(1)1.5;; (2)BD

【详解】（1）取轨迹上的第 3 个点，有 $x=6\times5\text{cm}=30\text{cm}$；$y=4\times5\text{cm}=20\text{cm}$

根据平抛运动的规律有 $x=v_0t$；$y=\frac{1}{2}gt^2$；代入数据解得小球平抛的初速度 $v_0=1.5\text{m/s}$

（2）A．通过小球穿过水平挡板来确定小球在轨迹上的位置，挡板是否均匀下移对实验不会产生误差，故 A 错误；

B．小球每次必须从相同的高度位置滚下，以保证小球水平抛出时的速度相同，故在斜槽上释放小球时的位置不同会产生误差，故 B 正确；

C．只要小球每次从相同的高度位置滚下，以相同的水平速度抛出即可，故滑动过程中是否有摩擦对实验没有影响，故 C 错误；

D．该实验中要求斜槽末端的切线保持水平以保证小球做平抛运动，故斜槽轨道槽口末端切线不够水平会对实验

有影响，故 D 正确；

E．通过小球穿过水平挡板来确定小球在轨迹上的位置，挡板是否倾斜不会影响所确定点的位置，故 E 错误。

故选 BD。

考点二：创新实验

题型一：

【精选例题】：

【例 1】(1) 同时 自由落体 (2)3.0 (3)0.5

【详解】（1）[1][2]小球 A 做平抛运动，平抛运动可以分解为竖直方向的自由落体运动和水平方向的匀速直线运动，小球 B 做自由落体运动，两小球下落高度相同，所以小球 A、B 会同时落地；上述现象说明 A、B 两球在竖直方向有相同的运动情况，而 B 球做自由落体运动，则说明平抛运动的竖直分运动是自由落体运动。

（2）a、b、c 三点的水平距离相等，则运动时间相等为T，在竖直方向上$\Delta y = gT^2$

解得$T = \sqrt{\frac{\Delta y}{g}} = \sqrt{\frac{30-10-10}{10}\times 10^{-2}}\text{s} = 0.1\text{s}$;则平抛运动的初速度为$v_0 = \frac{x}{T} = \frac{0.3}{0.1}\text{m/s} = 3.0\text{m/s}$

（3）根据$y = \frac{1}{2}gt^2$;$x = v_0 t$;联立解得平抛运动的轨迹方程为$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$

则图像的斜率为$\frac{g}{2v_0^2} = \frac{0.8}{0.04}\text{m}^{-1}$;解得$v_0 = 0.5\text{m/s}$

【例 2】(1)BC; (2) $\frac{1}{28}$ 0.7 (3)匀加速 9.8 (4) 匀速直线 2.0

【详解】（1）AB．让两球同时开始运动，甲图中 A 球平抛运动，B 球做自由落体运动，两球同时落地，可知 A 球在竖着方向上的运动规律与 B 球相同，即平抛运动在竖直方向上的分运动是自由落体运动，故 A 错误，B 正确；

CD．乙图中，上面球做平抛运动，下面球在水平面上做匀速直线运动，若两球相碰，说明平抛运动在水平方向上做匀速直线运动，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

（2）[1]平抛运动在竖直方向为自由落体运动，

在连续相等的时间内位移之差为$L = \Delta h = gT^2$;解得频闪时间为$T = \sqrt{\frac{L}{g}} = \frac{1}{28}\text{s}$

[2]平抛运动在水平方向为匀速直线运动，有$2L = v_0 T$;解得平抛的初速度为$v_0 = \frac{2L}{T} = 0.7\text{m/s}$

（3）[1]根据题中数据有$x' = x_2 - x_1 = 19.8\text{cm} - 5.0\text{cm} = 14.8\text{cm}$

$x'' = x_3 - x_2 = 44.3\text{cm} - 19.8\text{cm} = 24.5\text{cm}$ $x''' = x_4 - x_3 = 78.6\text{cm} - 44.3\text{cm} = 34.3\text{cm}$

则有$x'' - x' = 24.5\text{cm} - 14.8\text{cm} = 9.7\text{cm}$ $x''' - x'' = 34.3\text{cm} - 24.5\text{cm} = 9.8\text{cm}$

相邻相等时间内的位移差近似相等，可知小球在竖直方向上的运动为匀加速运动；

[2]加速度为 $a=\frac{(x'''+x'')-(x'-x_1)}{4\times(\frac{1}{f})^2}=\frac{(34.3+24.5)-(14.8+5.0)}{4\times(\frac{1}{10})^2}\times10^{-2}\text{m/s}^2=9.8\text{m/s}^2$

（4）[1]根据题中条件可知 $O'A'=19.6\text{cm}$

$A'B'=O'B'-O'A'=39.8\text{cm}-19.6\text{cm}=20.2\text{cm}$　　$B'C'=O'C'-O'B'=60.2\text{cm}-39.8\text{cm}=20.4\text{cm}$

$C'D'=O'D'-O'C'=79.6\text{cm}-60.2\text{cm}=19.4\text{cm}$

相邻相等时间内的位移近似相等，可知小球在水平方向上的运动为匀速直线运动；

[2]速度为 $v=\frac{O'D'}{4\times\frac{1}{f}}=\frac{79.6}{4\times\frac{1}{10}}\times10^{-2}\text{m/s}=2.0\text{m/s}$

【例 3】(1)C　(2)　2　0.45　(3)A

【详解】（1）此实验中只需描绘出小球做平抛运动的轨迹，根据轨迹进行计算，本实验还需要刻度尺。

故选 C。

（2）[1]根据 $y_A=\frac{1}{2}gt^2$　解得到达 A 点的时间 $t=\sqrt{\frac{2y_A}{g}}=0.2\text{s}$　小球平抛的初速度为 $v_0=\frac{x_A}{t}=2\text{m/s}$

[2]到达 B 点的时间为 $t'=\frac{x_B}{v_0}=0.3\text{s}$　B 点纵坐标为 $y_B=\frac{1}{2}gt'^2=0.45\text{m}$

（3）在竖直方向上 $y=\frac{1}{2}gt_2^2-\frac{1}{2}gt_1^2$　水平方向上 $x_1=v_0t_1;x_2=v_0t_2$

联立解得小球抛出时的初速度 $v_0=\sqrt{\frac{(x_2^2-x_1^2)g}{2y}}$

故选 A。

【跟踪训练】:

1．(1)AB　(2)B　(3)　0.840　　是

【详解】（1）AB．甲图现象表现为两球同时落地，说明了两小球在空中运动的时间相等，且平抛的小球在竖直方向上做自由落体运动。故 AB 正确；

C．两小球落地速度方向明显不同，且 B 球做自由落体运动，落地速度大小为 $v_y=gt$

A 球做平抛运动，落地速度大小为 $v=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}$；故 C 错误。

故选 AB。

（2）A.斜槽不一定必须光滑，只要小球到达底端时的速度相同即可，故 A 错误；

B．为保证小球做平抛运动，安装有斜槽的木板时，一定要注意检查斜槽末端切线是否水平，可以将小球放于斜槽下方末端任意位置，看其是否滚动从而检验叙槽末端是否水平，故 B 正确；

C．每次实验都要把小球从同一位置由静止释放，从而保证小球到达底端时的速度相同，故 C 错误；

D．如果小球在运动过程中与木板上的白纸相接触就会改变它的运动轨迹，使其不是平抛运动，故 D 错误。

故选 B。

（3）[1]每两个竖直方向根据$\Delta y = 2L = gT^2$　解得$T = \sqrt{\frac{2L}{g}} = \sqrt{\frac{2\times1.6\times10^{-2}}{9.8}}\text{s} = \frac{4}{7}\times 0.1\text{s}$

水平方向根据 $3L = v_0 T$　解得该小球做平抛运动的初速度大小为　$v_0 = \frac{3L}{T} = \frac{3\times1.6\times10^{-2}}{\frac{4}{7}\times0.1}\text{m/s} = 0.840\text{m/s}$

[2]水平方向每相邻两个点之间的距离都相等，为$3L$，竖直方向根据匀变速直线运动中间时刻速度等于该段过程的平均速度，则小球在 B 点的竖直速度大小为$v_{By} = \frac{y_{AC}}{2T} = 1.12\text{m/s}$

假设小球经过图中的 O 点，且 O 点的竖直分速度大小为v_{Oy}，则从 O 点到 B 点过程，竖直方向有$v_{By} = v_{Oy} + 2gT$

解得$v_{Oy} = 0$　故 O 点是小球做平抛运动的抛出点。

2．(一) 钢　　先b后a　　竖直高度　　相邻两位置水平距离相等　　$x\sqrt{\frac{gD}{(y_2 - y_1)d}}$

(二) (1)5　(2)相邻两点间，小球 A 发生的水平位移均为 2L，所以平抛运动的水平分运动为匀速直线运动

(3)1　(4)$\sqrt{5}$

【详解】(一)（1）[1]为了减小空气阻力影响，小球应选用质量大、体积小的，即选用密度大的小球，可知，为了减小中空气阻力的影响，实验所用的小球应选小钢球。

（2）[2]为了避免频闪照片记录区域上方出现大量的空白，实验时，应先打开频闪仪，再用小锤击打弹性金属片，即先 b 后 a。

（3）[3]B 球做自由落体运动，利用图 2，根据任意时刻 A、B 两球竖直高度相同，可判断 A 球竖直方向做自由落体运动；

[4]A 球做平抛运动，水平方向做匀速直线运动，根据相邻两位置水平距离相等，可判断 A 球水平方向做匀速直线运动。

（4）[5]若实验所用小球直径为 D，用刻度尺测得图 2 中小球直径为 d，

则实际长度与频闪照片上长度的比例为$k = \frac{D}{d}$

则 B 球三个相邻时刻的竖直高度差y_1、y_2，A 球两个相邻时刻水平距离 x，实际值分别为$\frac{Dy_1}{d}$，$\frac{Dy_2}{d}$，$\frac{Dx}{d}$，

令相邻小球之间的时间间隔为 T，则有$\frac{Dy_2}{d} - \frac{Dy_1}{d} = gT^2$，$\frac{Dx}{d} = v_0 T$；　解得$v_0 = x\sqrt{\frac{gD}{(y_2 - y_1)d}}$

(二)（1）由题意知，拍照间隔 T=0.1s

由图知，小球 B 释放后第一个 T 内下降的距离为 L，则$L = \frac{1}{2}gT^2 = 0.05\text{m} = 5\text{cm}$

（2）由图可知，相邻两点间，小球 A 发生的水平位移均为 2L，所以平抛运动的水平分运动为匀速直线运动；

（3）小球 A 做平抛运动的初速度大小为$v_0 = \frac{2L}{T} = 1\text{m/s}$

（4）因为两球在竖直方向上都做自由落体运动，所以竖直高度差恒定，当小球 a 运动到与 b 在同一竖直线上时，距离最短，根据图可知，此时小球 A 运动了 t=0.2s,所以有 v_y=gt=2m/s;所以此时的速度大小为$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{5}\text{m/s}$

综合练习（一）

1．B

【详解】当乒乓球经过纸筒口时，对着乒乓球横向吹气，乒乓球所受合力的方向与速度方向不在同一条直线上，乒乓球做曲线运动，故乒乓球会偏离原有的运动路径；而乒乓球会获得一个横向的速度，此速度与乒乓球原有的速度合成一个斜向左下方的合速度，因此乒乓球将向左下方运动但不进入纸筒；故 ACD 错误，B 正确。

故选 B。

2．A

【详解】四个小球加速度均相同，假设在该位置还静止释放一个小球，则抛出的四个小球均相对静止释放的小球做匀速直线运动，经过相同时间，四个小球相对中间小球的距离应该相同。

故选 A。

3．B

【详解】设桶高 h，则水平细水管到水平地面的高度为 2h，根据 $2h=\frac{1}{2}gt_1^2$

可得水平细水管到水平地面的时间为 $t_1=\sqrt{\frac{4h}{g}}$

水平细水管到桶口的高度为 h，则根据 $h=\frac{1}{2}gt_2^2$；解得 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

则水从细水管出水口到桶口中心的时间与从桶口中心落到 A 点的时间之比为 $\frac{t_2}{t_1-t_2}=\frac{\sqrt{2}}{2-\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}+1}{1}$

故选 B。

4．B

【详解】A．将平抛运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动，相遇时竖直下落的高度相同，因此两球同时抛出，A 错误；

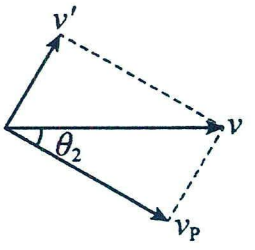
BD．抛出后两球的加速度都是重力加速度相同，根据加速度的定义可知，在任意相同时间内两球速度的变化量相同，B 正确，D 错误；

C．由于同时抛出，水平方向上，甲球追上乙球，可知抛出时甲球的初速度更大，相遇时竖直方向速度相同，因此两球相遇时甲球速度更大，D 错误。

故选 B。

5．C

【详解】AB．由题意可知，对小车速度 v 分解为沿细绳方向和垂直细绳方向的分速度，如图所示，可知沿细绳方向的速率等于物体 P 的速率，则有 $v_P=v\cos\theta_2$；AB 错误；



CD．由 $v_P=v\cos\theta_2$

可知 θ_2 随小车向右运动逐渐减小，则物体 P 的速度逐渐增大，可知物体 P 做加速运动，

即 $a>0$，设绳的拉力为 F，由牛顿第二定律可得 $F-mg\sin\theta_1=ma$；可知 $F>mg\sin\theta_1$；C 正确，D 错误。

故选 C。

6．C

【详解】A．设平抛初速度大小为 v_0，OQ、QP 间运动时间均为 t，则在 Q、P 点的速度大小分别为 $v_Q=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}$

$v_P=\sqrt{v_0^2+(2gt)^2}\neq 2v_Q$；故 A 错误；

B.平抛运动竖直方向做自由落体运动，故从抛出点开始连续相等的两段时间内竖直方向的位移大小之比等于 1:3，故 B 错误；

C．谷粒在水平方向做匀速直线运动，OQ 间与 QP 间运动的时间相等，则谷粒在 OQ 间水平方向的位移大小与 QP 间水平方向的位移大小相等，故 C 正确；

D．谷粒在 P 点时速度与水平方向间的夹角的正切值为；$\tan\alpha=\dfrac{gt}{v_0}$

在 Q 点时速度与水平方向间夹角的正切值为 $\tan\beta=\dfrac{2gt}{v_0}=2\tan\alpha$

即谷粒在 P 点时速度与水平方向间的夹角的正切值是在 Q 点时速度与水平方向间夹角的正切值的 2 倍，故 D 错误。

故选 C。

7．D

【详解】将初速度和重力加速度都沿着斜面方向和垂直斜面方向分解，设垂直斜面方向的初速度为 v_1，垂直斜面方向的加速度大小为 a_1，沿着斜面方向的初速度为 v_2，沿着斜面方向的加速度大小为 a_2，

根据几何关系可得 $v_1=v_0\sin 30°$，$v_2=v_0\cos 30°$，$a_1=g\cos 30°$，$a_2=g\sin 30°$

设小球运动时间为 t，垂直斜面方向 $t=\dfrac{2v_1}{a_1}$；沿着斜面方向 $v_2t-\dfrac{1}{2}a_2t^2=\dfrac{h}{\sin 30°}$；联立解得 $v_0=10\sqrt{3}\text{m/s}$

故选 D。

8．C

【详解】A．根据平抛运动规律 $\tan\theta=\dfrac{y}{x}=\dfrac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\dfrac{gt}{2v_0}$；$\tan(\alpha+\theta)=\dfrac{v_y}{v_x}=\dfrac{gt}{v_0}$

所以得 $\tan(\alpha+\theta)=2\tan\theta$；倾角 θ 为定值，所以落在斜面上时速度与斜面的夹角 α 为定值，与速度大小无关，故 A 错误；

B．P、Q 间距 $s=\dfrac{v_0t}{\cos\theta}=\dfrac{2v_0^2\tan\theta}{g\cos\theta}$；小球初速度变为 $2v_0$ 时，P、Q 间距变为原来的 4 倍，故 B 错误；

C．由上述分析可得 $t=\dfrac{2v_0\tan\theta}{g}$；小球初速度变为 $2v_0$ 时，在斜面上平抛运动的时间变为原来平抛运动时间的 2 倍，故 C 正确；

D．小球落在斜面上时的速度 $v=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}=\sqrt{v_0^2+(2v_0\tan\theta)^2}=v_0\sqrt{1+4\tan^2\theta}$

初速度变为 $2v_0$ 时，落在斜面上时的速度等于原来落在斜面上速度的 2 倍，故 D 错误。

故选 C。

9．AB

【详解】AB．物体在做平抛运动的过程中，加速度为重力加速度，恒定不变，根据$\Delta v = gt$

可知在相等的时间内，加速度相等，速度的增加量相等，故AB正确；

C．小球的速率不断增大，所以在在相等的时间内，小球的路程不相等，故C错误；

D．根据$\bar{v} = \frac{x_{合}}{t}$由于小球竖直方向做自由落体运动，水平方向做匀速直线运动，所以在相等的时间内，小球通过的合位移不相等，则平均速度不相等，故D错误。

故选AB。

10．AD

【详解】A．做曲线运动的物体，其速度方向一定改变，所以曲线运动一定是变速运动，加速度不可能为零，故A正确；

B．物体在恒力作用下可能做曲线运动，比如平抛运动，故B错误；

C．曲线运动在相同时间内速度变化量可能相等，比如平抛运动，故C错误；

D．物体做曲线运动的条件是所受合外力方向与速度方向不在同一条直线上，故D正确。

故选AD。

11．BCD

【详解】A．船在静水中的速度大于河水的流速，由平行四边形法则求合速度有可能垂直河岸，故小船有可能垂直河岸到达对岸，A错误；

BC．船的静水中的速度垂直河岸时渡河时间最短$t_{\min} = \frac{d}{v_{船}} = \frac{160}{4}\text{s} = 40\text{s}$ BC正确；

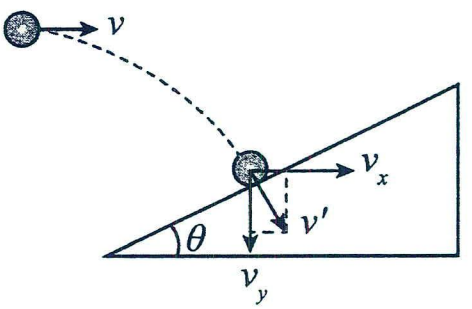
D．船以最短时间40s渡河时沿河岸的位移$x = v_{水}t_{\min} = 3 \times 40\text{m} = 120\text{m}$，即到对岸时被冲下120m，D正确；

故选BCD。

12．AB

【详解】AC．根据运动的合成与分解，把末速度v'按如图所示进行分解

由几何关系可知$\tan\theta = \frac{v_x}{v_y}$



根据平抛运动规律可知$v_x = v = 10\text{m/s}$；$v_y = gt$

联立解得$t = \sqrt{3}\text{s}$；A正确，C错误；

B．根据几何关系可得，物体撞击斜面时的速度大小$\sin\theta = \frac{v_x}{v'}$

解得$v' = 20\text{m/s}$；B正确；

D．物体下降的距离$h = \frac{1}{2}gt^2 = 15\text{m}$；D错误。

故选AB。

13．BCD

【详解】A．将篮球A的运动分解为竖直向上的匀减速直线运动与水平向右的匀速直线运动，相遇时A到达最高点，则其竖直方向的速度为0，水平方向速度不变，合速度不为0，故A错误；

B．设 A 在竖直方向的分速度为v_y，则相遇时满足$v_y t-\frac{1}{2}gt^2=v_2 t-\frac{1}{2}gt^2$；解得$v_2=v_y$

即 B 此时到达最高点，速度也为 0，故 B 正确；

C．A 与 B 到达最高点的时间相等，为$t=\frac{v_2}{g}$；故 C 正确；

D．两者运动的时间相同，加速度均为重力加速度，根据$\Delta v=gt$

可知从抛出到相遇，A、B 速度的变化量相同，故 D 正确。

故选 BCD。

14．AD

【详解】AB．由图乙可知，当拉力F达到5N时，物块在水平桌面上才开始运动，则$F=\mu mg=5\text{N}$

解得$\mu=0.5$；故 A 正确，B 错误；

CD．在 AB 段，根据动能定理可得$(F-\mu mg)x=\frac{1}{2}mv_B^2$

根据平抛运动规律，有水平射程和竖直位移分别为$s=v_B t$，$h=\frac{1}{2}gt^2$

根据几何关系可得$\tan\theta=\frac{h}{s}=1$；联立可得$s=\frac{4x}{mg}F-4\mu x$

由图乙可知$\frac{4x}{mg}=\frac{0.5}{5}$；解得$x=0.25\text{m}$；故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

15．　自由落体运动　　匀速直线运动　　5　　1.5

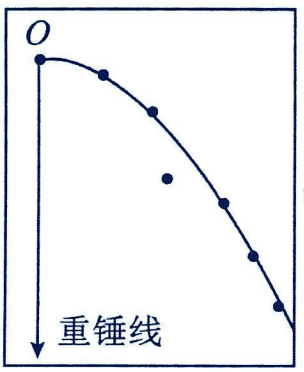
【详解】（1）[1]实验中，观察到两球同时落地，说明两球在竖直方向具有相同的运动，而 A 球做自由落体运动，所以说明平抛运动在竖直方向做自由落体运动；

[2]观察到球 1 落到水平板上并击中球 2，说明两球在水平方向具有相同的运动，而球 2 在水平轨道做匀速直线运动，所以说明平抛运动在水平方向做匀速直线运动。

（2）[3]设照相机每隔T时间曝光一次，竖直方向有$\Delta y=gT^2=2L$

可得照片中小方格的边长为$L=\frac{gT^2}{2}=\frac{10\times0.1^2}{2}=0.05\text{m}=5\text{cm}$

[4]水平方向有$3L=v_0 T$，可得小球平抛初速度为$v_0=\frac{3L}{T}=\frac{3\times5\times10^{-2}}{0.1}\text{m/s}=1.5\text{m/s}$

16．(1)B；(2)D；(3)

；(4)$b\sqrt{\frac{g}{2a}+2ag}$；(5)能或可以，见解析

【详解】（1）AB．由于两枚棋子从同一高度同时释放，一枚棋子做自由落体运动，另一枚棋子做平抛运动，只要两枚棋子同时落地，即可验证平抛运动在竖直方向上是自由落体运动，A 错误，B 正确；

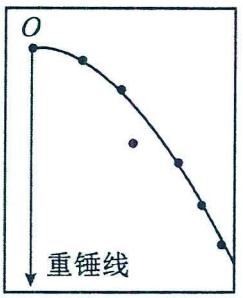
C．只要两枚棋子在同一高度，同时释放，它们就必然同时落地，C 错误。

故选 B。

（2）偏差较大的点在水平方向的位移偏小，说明小球抛出时的初速度偏小，故应是小球释放点偏低的缘故，所以 ABC 错误，D 正确。

故选 D。

（3）把点迹用平滑的曲线连接起来，并舍去偏差较大的点，其运动轨迹如图所示



（4）根据平抛运动的规律可知 $a=\frac{1}{2}gt^2$；$v_x=\frac{b}{t}$

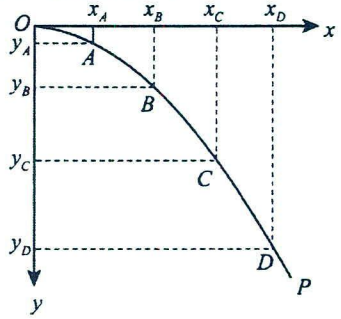
解得到达该点的水平速度 $v_x=b\sqrt{\frac{g}{2a}}$

根据机械能守恒定律可得竖直方向上的速度 $\frac{1}{2}mv_y^2=mga$；$v_y=\sqrt{2ga}$

所以小球在该点的速度大小为 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{2ga+\frac{b^2g}{2a}}$

（5）方案一：在轨迹上任取几点，保证相邻两点间的竖直距离等间距增加，则相邻两点间时间相等，再测量相邻两点间的水平距离，若在误差允许的范围内相等，则可证明平抛运动的水平分运动是匀速直线运动。

方案二：如图所示，在平滑曲线上取 A、B、C、D 四个点，这四个点对应的坐标分别 $(x_A,\ y_A)$，$(x_B,\ y_B)$、$(x_C,\ y_C)$、$(x_D,\ y_D)$，使得 $y_A:y_B:y_C:y_D=1:4:9:16$



则有 $y_A:(y_B-y_A):(y_C-y_B):(y_D-y_C)=1:3:5:7$

根据 $\Delta y=gT^2$ 可知相邻点迹之间的时间间隔相等，若有 $x_A:x_B:x_C:x_D=1:2:3:4$

则说明钢球在 x 方向的分运动为匀速直线运动。

方案三：在平滑曲线上取 A、B、C 三个点，使 $(y_3-y_2)-(y_2-y_1)=(y_2-y_1)-y_1$；$\Delta y=gT^2$

即 $y_3=3(y_2-y_1)$

说明小球抛出后经过 O、A、B、C 点的时间间隔相等，若还满足 $x_3-x_2=x_2-x_1$

亦即 $x_3+x_1=2x_2$；则证明小球的水平分运动是匀速直线运动。

17．(1)5m/s；(2)1.4s

【详解】(1) 小球恰好沿斜面方向进入斜面，则 $\tan 53°=\frac{v_y}{v_0}$，$v_y^2=2gh$

解得 $v_0=3\text{m/s}$；小球达到斜面顶端速度大小 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=5\text{m/s}$

（2）小球平抛运动时 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$；解得 $t_1=0.4\text{s}$

小球在斜面上受力分析得 $a=g\sin 53°$；则 $\frac{H}{\sin 53°}=vt_2+\frac{1}{2}at_2^2$

联立解得 $t_2=1\text{s}$；则 $t=t_1+t_2=1.4\text{s}$

18. (1)20m；(2)2s

【详解】(1) 由牛顿第二定律可得：$F-mg=ma_1$；$h=\frac{1}{2}a_1t_1^2$；解得$h=20\text{m}$

(2) 设摄像机从脱落到被接住的时间为 t_2，则$x=v_0t_2$；$y=\frac{1}{2}gt_2^{\ 2}$；$\tan\theta=\frac{y-h}{x}$；解得；$t_2=2\text{s}$

19. (1)1m/s；(2)0.12kg

【详解】(1) 根据逆向思维法，水流元从最高点到最低过程做平抛运动，则$\frac{d}{2}=v_xt$；$h=\frac{1}{2}gt^2$

解得$t=\frac{\sqrt{3}}{10}\text{s}$，$v_x=1\text{m/s}$

(2) 由于对称性，喷出时速率等于水流落回等高处的速率，所以$v=\sqrt{v_x^2+(gt)^2}$；$m=\rho vS\cdot 2t$

代入数据解得$m=0.12\text{kg}$

20. (1)水平方向：OM 段初速度为零的匀加速直线运动，MN 段匀速直线运动，NP 段匀加速直线运动；竖直方向：全程竖直上抛运动；(2) $x_{OM}:x_{NP}=1:3$；(3) $F_{风}=\sqrt{3}mg$

【详解】(1) 水平方向：OM 段初速度为零的匀加速直线运动，MN 段匀速直线运动，NP 段匀加速直线运动。

竖直方向：全程竖直上抛运动。

(2) 竖直方向上，小球做竖直上抛，由对称性可得$t_{OM}=t_{NP}=T$

水平方向上，在虚线区域，做初速度为零的匀加速直线运动，设加速度为 a，则有$x_{OM}=\frac{1}{2}aT^2$

$x_{NP}=aT\cdot T+\frac{1}{2}aT^2=\frac{3}{2}aT^2$；可得$x_{OM}:x_{NP}=1:3$

(3) 设初速度大小为 v_0，根据题意可知$v_P=2v_0$；且 P 点竖直分速度为$v_{Py}=v_0$

可得 P 点水平分速度为：$v_{Px}=\sqrt{v_P^2-v_{Py}^2}=\sqrt{3}v_0$

小球由 N 到 P 做直线运动，则有$\frac{F_{风}}{mg}=\frac{v_{Px}}{v_{Py}}=\frac{\sqrt{3}v_0}{v_0}$；解得$F_{风}=\sqrt{3}mg$

第四讲：圆周运动

考点一：认识圆周运动

题型一：概念辨析

【精选例题】：AD　　B

1．AD

【详解】物体受到几个恒力的作用而处于平衡状态，假设物体原来做匀速直线运动，若再对物体施加一个恒力，当恒力与速度在同一直线上时，物体做匀变速直线运动；当恒力与速度不在同一直线上时，物体做匀变速曲线运动；所以物体不可能做匀速直线运动或圆周运动。

故选 AD。

2．B

【详解】AB．做匀速圆周运动的速率不变，可知在任何相等时间内质点的路程都相等，即通过的弧长都相等，位移大小相等，可方向不一定相同，A 错误，B 正确；

C．在任何相等的时间里，质点的位移大小相等，可方向不一定相同，因此质点运动的平均速度大小相等，可方向不一定相同，C 错误；

D．做匀速圆周运动的角速度不变，可知在任何相等的时间里，连接质点和圆心的半径转过的角度都相等，D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：D

1．D

【详解】A．做匀速圆周运动的物体的速度大小始终不变，但是方向不断变化，物体做的不是匀速运动，选项 A 错误；

B．做匀速圆周运动的物体的速度大小不变，但方向时刻改变，加速度不断变化，物体做非匀变速曲线运动，选项 B 错误；

C．做匀速圆周运动的物体的速度大小不变，，但是方向不断变化，则加速度不为零，不是处于平衡状态，选项 C 错误；

D．做匀速圆周运动的物体做的是变速运动，具有加速度，所受合外力不可能为零，选项 D 正确。

故选 D。

题型二：圆周运动基础计算

【精选例题】：D　　D　　D

1．D

【详解】物体做圆周运动时，某点的线速度方向沿着该点的圆周切线方向，由于圆盘以 O 为圆心顺时针转动，故图中 v_4 为边缘上 A 点的速度方向，故 D 正确，ABC 错误。

故选 D。

2．D

【详解】A．小孩做匀速圆周运动的周期为；$T=\frac{t}{N}=12\text{s}$；故 A 错误；

B．小孩做匀速圆周运动的角速度为 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{\pi}{6}\text{rad/s}$；故 B 错误；

C．小孩做匀速圆周运动的线速度为 $v=\omega r=\frac{\pi}{2}\text{m/s}$；故 C 错误；

D．小孩做匀速圆周运动的向心加速度为；$a=\omega^2 r=\frac{\pi^2}{12}\text{m/s}^2$；故 D 正确。

故选 D。

3．D

【详解】AB．由图乙中做离心运动的轨迹可知，杯子的旋转方向为逆时针方向，P 位置飞出的小水珠初速度沿 2 方向，故 AB 错误。

C．杯子旋转的角速度为 $\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}=\frac{\frac{7}{6}\pi}{0.5}\text{rad/s}=\frac{7\pi}{3}\text{rad/s}$；故 C 错误。

D．杯子旋转的轨迹半径约为 0.6 m，则线速度大小约为 $v=\omega R=\frac{7\pi}{3}\times 0.6\text{ m/s}=\frac{7\pi}{5}\text{ m/s}$；故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：C　　C　　B　　AB　　C

1．C

【详解】AB．纽扣边缘各质点绕其中心线速度在同一时刻大小相等，方向不同，线速度是矢量，AB 错误；

CD．同轴转动，角速度相同，所以纽扣边缘各质点绕其中心角速度在同一时刻相同，用力反复拉线两端，纽扣逆顺转动交替，所以角速度可能在变小，D 错误 C 正确。

故选 C。

2．C

【详解】A．乘客匀速圆周运动，线速度大小不变，方向时刻发生变化，故 A 错误；

B．乘客匀速圆周运动，加速度大小不变，方向总是指向圆心，所以乘客不是做匀变速曲线运动，故 B 错误；

C．乘客的线速度大小为 $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi\times\frac{180}{2}}{30\times 60}\text{m/s}^2\approx 0.31\text{m/s}$；故 C 正确；

D．到达最低处时，乘客具有向上的加速度，处于超重状态，故 D 错误。

故选 C。

3．B

【详解】A．质点做匀速圆周运动，角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}=0.5\pi\text{rad/s}$；故 A 错误；

C．运动轨迹的半径 $r=\frac{v}{\omega}=\frac{8}{\pi}\text{m}$；故 C 错误；

B．转速 $n=\frac{1}{T}=0.25\text{r/s}$；故 B 正确；

D．频率 $f=\frac{1}{T}=0.25\text{Hz}$；故 D 错误。

故选 B。

4．AB

【详解】A．一周 20 个间隔，每个间隔 2s，所以圆盘转动的周期为 40s，故 A 正确；

B．圆盘转动的角速度由 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{\pi}{20}\text{rad/s}$；故 B 正确；

CD．蛋糕边缘的线速度大小约为 $v=\omega r=\frac{\pi}{200}\text{m/s}$；蛋糕边缘的不同点线速度大小相同，方向不同，故 CD 错误。

故选 AB。

5．C

【详解】当汽车恰好通过道闸时直杆转过的角度为，根据几何知识有 $\tan\theta=\frac{1.6-1}{0.6}=1$；可得 $\theta=45°=\frac{\pi}{4}$

杆转动的时间为 $t=3.0\text{s}-1.5\text{s}=1.5\text{s}$；直杆转动的平均角速度至少为 $\bar{\omega}=\frac{\theta}{t}=\frac{\pi}{6}\text{rad/s}$

故选 C。

题型三：线速度与角速度

【精选例题】：C　　D

1．C

【详解】甲、乙两人都围着同一转轴（地轴）转动，则角速度相等，即角速度之比是 1:1。

故选 C。

2．D

【详解】A．根据题意，由 $v=\frac{s}{t}$ 可知，A、B 运动的线速度大小之比为 4∶3，故 A 错误；

B．根据题意，由 $\omega=\frac{\theta}{t}$ 可知，A、B 运动的角速度大小之比为 3∶2，故 B 错误；

C．由公式 $T=\frac{2\pi}{\omega}$ 可知，A、B 运动的周期之比为 2∶3，故 C 错误；

D．由公式 $v=\omega r$ 可得 $r=\frac{v}{\omega}$ 可知，A、B 做圆周运动的半径之比为 $\frac{r_A}{r_B}=\frac{4}{3}\cdot\frac{2}{3}=\frac{8}{9}$；故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：BCD　　C

1．BCD

【详解】A．两个小滑块 A、B 属于同轴转动，转动的角速度相等，即 A、B 转动的角速度之比为1:1，故 A 错误；

B．由公式 $v=\omega r$ 可得，由于 A 与圆心 O 点相距 R，B 与圆心 O 点相距 2R，则 A、B 转动的线速度之比为 1∶2，故 B 正确；

CD．两个小滑块 A、B 用细绳相连，套在光滑轻杆上，A、B 所受合外力均为绳子的拉力，则所受合外力之比为1:1，提供其做圆周运动的向心力，则有 $m_A\omega^2R=m_B\omega^2\cdot 2R$ 可得，A、B 质量之比为 2∶1，故 CD 正确。

故选 BCD。

2．C

【详解】A．两质点分别做匀速圆周运动，在相等时间内它们通过的弧长之比Δs_A：Δs_B=4：3，根据公式$v=\frac{\Delta s}{\Delta t}$，线速度大小之比为$v_A$：$v_B$=4：3，A 错误；

B．在相同时间内它们转过的圆心角之比$\Delta\theta_A$：$\Delta\theta_B$=3：2，根据公式$\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$，可得角速度之比为 3：2，B 错误；

CD．根据$\omega=\frac{2\pi}{T}$，它们的周期之比 T_A：T_B=2：3，C 正确，D 错误。

故选 C。

考点二：传动问题

题型一：定性判断

【精选例题】：D　　A　　C

1．D

【详解】AB．A、B 两点同轴转动，A、B 两点的角速度相等，即$\omega_A=\omega_B$；故 AB 错误；

CD．根据$v=\omega r$且$r_A<r_B$，可得$v_A<v_B$；故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】A．主动轮 a 轮转动的角速度不变，胶片由 b 轮倒到 a 轮上，则其半径逐渐增大，根据$v=r\omega$可知线速度增大，则相同时间内倒到 a 轮上的胶片长度越来越长，故 A 正确；

B．根据同传送带传送可知，主动轮 a、b 轮转动的线速度速度相等，b 轮转动的半径减小，根据$\omega=\frac{v}{r}$可知从动轮 b 轮转动的角速度增大，故 B 错误；

C．图示时刻 P、Q 两点的线速度相等，根据$\omega=\frac{v}{r}$，可知$\omega_P>\omega_Q$，故 C 错误；

D．根据向心加速度公式$a=\frac{v^2}{r}$可知，$a_P>a_Q$，故 D 错误；

故选 A。

3．C

【详解】AB．两处菜盘的角速度相等，所以周期也相等，故 AB 错误；

CD．根据公式$v=r\omega$可得，A 处菜盘的线速度比 B 处菜盘大，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：AC　　D　　B

1．AC

【详解】A、B 两点也在皮带上，则线速度相同，即$v_A=v_B$，而 B、C 两点同轴转动，其角速度相同，即$\omega_B=\omega_C$由于$r_B=2r_C=2r_A=2r$，则根据$v=\omega r$可得$v_B=2v_C$；$\omega_A=2\omega_B$；则有$\omega_A>\omega_B=\omega_C$；$v_A=v_B>v_C$

故选 AC。

2．D

【详解】由题意可知，A、B、C三点的线速度大小相等，根据$v=\omega r$

结合A、B、C三点的半径大小关系$R_C>R_A>R_B$；可知A、B、C三点的角速度大小关系为$\omega_C<\omega_A<\omega_B$

根据转速与角速度关系$\omega=2\pi n$；可知A、B、C三点的转速大小关系为$n_C<n_A<n_B$

根据周期与角速度关系$T=\dfrac{2\pi}{\omega}$；可知A、B、C三点的周期大小关系为$T_C>T_A>T_B$；选项ABC错误，D正确。

故选D。

3．B

【详解】AB．磁带传动的速度大小v_0保持不变，则A、B外缘的线速度大小为v_0保持不变，开始播放听力时，B轮的角速度为$\omega=\dfrac{v_0}{3r}$，则B轮边缘上c点的线速度大小为$v=\omega r=\dfrac{v_0}{3}$，故A错误，B正确；

CD．听力播放的过程中，磁带传动的速度大小v_0保持不变，则A、B外缘的线速度大小为v_0保持不变，由公式$v=2\pi nR$可得$n=\dfrac{v_0}{2\pi R}$，听力播放的过程中，A轮的外缘半径增大，则A轮的转速不断减小，B轮的外缘半径减小，则B轮的转速不断增大，故CD错误。

故选B。

题型二：定量计算

【精选例题】：A　　D　　BCD

1．A

【详解】由题意可知，两个齿轮之间属于齿轮传动，其两齿轮边缘的线速度大小相等。

故选A。

2．D

【详解】A．根据传动装置的特点，可知$v_a=v_b$，飞轮和后轮同轴转动，则$\omega_b=\omega_c$；根据$v=r\omega$，可得$\dfrac{v_b}{v_c}=\dfrac{r_b}{r_c}=\dfrac{1}{6}$

则a、b、c三点的线速度大小之比为$v_a:v_b:v_c=1:1:6$，故A错误；

B．根据$\omega=\dfrac{v}{r}$，可得$\dfrac{\omega_a}{\omega_b}=\dfrac{r_b}{r_a}=\dfrac{1}{2}$，则$a$、$b$、$c$三点的角速度之比为$\omega_a:\omega_b:\omega_c=1:2:2$，故B错误；

C．根据转速$n=\dfrac{\omega}{2\pi}$，可得a、b、c三点的转速之比为$n_a:n_b:n_c=\omega_a:\omega_b:\omega_c=1:2:2$，故C错误；

D．根据$T=\dfrac{1}{n}$，可得a、b、c三点的周期之比为$T_a:T_b:T_c=2:1:1$，故D正确。

故选D。

3．BCD

【详解】A．由题中数据，根据$C=2\pi r$，立轮和下平轮的半径之比为$\dfrac{r_{立}}{r_{下}}=\dfrac{1}{3}$立轮和下平轮通过齿轮啮合，则线速度相等，根据$v=\omega r$所以$\dfrac{\omega_{立}}{\omega_{下}}=\dfrac{r_{下}}{r_{立}}=\dfrac{3}{1}$立轮和足轮固定同一车轴上，所以角速度相等，则$\dfrac{\omega_{足}}{\omega_{下}}=\dfrac{\omega_{立}}{\omega_{下}}=\dfrac{3}{1}$足轮每

转动 1 圈，下平轮就转动$\frac{1}{3}$圈，故 A 错误；

B．下平轮和旋风轮固定在同一立轴上，所以角速度相等，则$\frac{\omega_{足}}{\omega_{旋}}=\frac{\omega_{足}}{\omega_{下}}=\frac{3}{1}$足轮每转动 3 圈，旋风轮就转动 1 圈，故 B 正确；

C．由题中数据可知，中平轮和旋风轮的半径之比为$\frac{r_{中}}{r_{旋}}=\frac{100}{3}$旋风轮和中平轮通过齿轮啮合，线速度相等，则$\frac{\omega_{旋}}{\omega_{中}}=\frac{r_{中}}{r_{旋}}=\frac{100}{3}$旋风轮每转动 100 圈，中平轮就转动 3 圈，故 C 正确；

D．中平轮带动固定在同一轴上的上凸轮转动，所以角速度相等，则$\frac{\omega_{足}}{\omega_{上}}=\frac{\omega_{足}}{\omega_{中}}=\frac{\omega_{足}}{\omega_{旋}}\times\frac{\omega_{旋}}{\omega_{中}}=\frac{3}{1}\times\frac{100}{3}=\frac{100}{1}$足轮每转动 100 圈，上凸轮就转动 1 圈，故 D 正确。

故选 BCD。

【跟踪训练】：C　　A　　A

1．C

【详解】A．两齿轮通过链条传动，则 B 点与 C 点的线速度大小相等，即$v_B=v_C$，根据$v=\omega r$，$2R_B=5R_C$可得$5\omega_B=2\omega_C$，故 A 错误；

B．单车轮胎与后齿轮同轴转动，则 A 点与 C 点的角速度相等，即$\omega_A=\omega_C$，根据$v=\omega r$，$R_A=5R_C$可得$v_A=5v_C$，故 B 错误；

C．由前面分析可得$2\omega_A=5\omega_B$，故 C 正确；

D．由前面分析可得$v_A=5v_B$，故 D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】大齿轮的线速度大小为$v_1=\frac{2\pi R_1}{t}$，由题意可知，大齿轮和中齿轮的线速度大小相等，即$v_2=v_1=\frac{2\pi R_1}{t}$，中齿轮和小齿轮是同轴传动，具有的角速度，根据$\omega=\frac{v}{r}$可知，$\frac{v_2}{R_2}=\frac{v_3}{R_3}$，解得$v_3=\frac{2\pi R_1R_3}{R_2t}$

故选 A。

3．A

【详解】AB．该自行车可变换四种不同档挡，分别是 A、C 组合；A、D 组合；B、C 组合；B、D 组合，故 A 错误，B 正确；

C．由于同一链条各处线速度相同，由$\omega_1r_1=\omega_2r_2$结合“省力费距离”的原理，因为脚踏板转速一定，可知前齿盘

越小，后齿盘越大，才能达到“费距离而省力”的目的，使得骑行感到轻松，所以前齿轮 B、后齿轮 C 组合是最省力轻松的方式，故 C 正确；

D．因为脚踏板转速一定，可知前齿盘的角速度ω_0不变，设前齿盘的半径为r_1，后齿盘的半径为r_2，后轮的半径为R，则后齿盘的角速度为$\omega=\frac{\omega_0 r_1}{r_2}$，自行车的速度为$v_{自}=\omega R=\frac{\omega_0 r_1}{r_2}\cdot R$

可知当 A 轮与 D 轮组合时，自行车速度最大，则有$v_{自max}=\frac{\omega_0 r_A}{r_D}\cdot R$

可知当 B 轮与 C 轮组合时，自行车速度最小，则有$v_{自min}=\frac{\omega_0 r_B}{r_C}\cdot R$

根据半径与齿数成正比，可得$\frac{v_{自min}}{v_{自max}}=\frac{r_B}{r_C}\cdot\frac{r_D}{r_A}=\frac{42}{18}\times\frac{12}{48}=\frac{7}{12}$

解得$v_{自min}=\frac{7}{12}v_{自max}=\frac{7}{12}\times 4\text{m/s}\approx 2.33\text{m/s}$，故 D 正确。

本题选择错误的，故选 A。

题型三：钟表问题

【精选例题】：B

1．B

【详解】A．时针运动的周期为 T_1=12h，分针的周期为 T_2=1h；秒针运动的周期为 T_3=60s；故 A 错误；

B．根据公式ω=$\frac{2\pi}{T}$=2πn，转速 n∝$\frac{1}{T}$，故时针尖端的转速最小，分针次之，秒针尖端的转速最大，故 B 正确；

C．根据公式ω=$\frac{2\pi}{T}$，分针与秒针从第 1 次重合到第 2 次重合，存在这样的关系$\omega_1 t+2\pi=\omega_2 t$

即$\frac{2\pi}{T_2}$t+2π=$\frac{2\pi}{T_3}$t，根据该关系求出所经历的时间，t=$\frac{60}{59}$min，故秒针每隔$\frac{60}{59}$分钟与分针相遇一次，故 C 错误；

D．根据公式ω=$\frac{2\pi}{T}$，角速度ω∝$\frac{1}{T}$，故分针角速度是时针角速度的 12 倍，秒针角速度是分针角速度的 60 倍，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：C　　B

1．C

【详解】分针的周期为$T_1=3600\text{s}$，秒针的周期为$T_2=60\text{s}$

设从第一次重合到再次重合所用时间为t $\frac{t}{T_2}-\frac{t}{T_1}=1$，解得$t\approx 61\text{s}$

故选 C。

2．B

【详解】A．假定秒针、分针、时针的角速度分别为ω_1、ω_2、ω_3，则有

$\omega_1=\frac{2\pi}{60}\text{rad/s}$，$\omega_2=\frac{2\pi}{3600}\text{rad/s}$，$\omega_3=\frac{2\pi}{24\times 3600}\text{rad/s}$

则其角速度之比为$\omega_1:\omega_2:\omega_3=1440:24:1$故A错误；

B．秒针、分针、时针的周期分别为T_1、T_2、T_3，依题意有$T_1=60\text{s}$，$T_2=3600\text{s}$，$T_3=24\times3600\text{s}$

则其周期之比为$T_1:T_2:T_3=1:60:1440$，故B正确；

C．假定秒针、分针、时针的针尖的线速度分别为v_1、v_2、v_3，

则有，$v_1=\dfrac{2\pi r_1}{T_1}$，$v_2=\dfrac{2\pi r_2}{T_2}$，$v_3=\dfrac{2\pi r_3}{T_3}$，$r_1:r_2:r_3=4:3:2$

则其针尖的线速度之比为$v_1:v_2:v_3=2880:36:1$，故C错误；

D．假定秒针、分针、时针的针尖的向心加速度分别为a_1、a_2、a_3，则有

$a_1:a_2:a_3=(\omega_1^2r_1):(\omega_2^2r_2):(\omega_3^2r_3)=4147200:864:1$，故D错误。

故选B。

考点三：多解问题

题型一：匀速直线运动与圆周结合的多解问题

【精选例题】：B

1．B

【详解】子弹穿过两个弹孔所需的时间为$t=\dfrac{2R}{v}$，若子弹从B点飞出，则圆桶需要转过的最小角度为（$\pi-\theta$），

当圆桶转过的角度最小时，圆桶转动的时间最短，对应的子弹速度最大。

此时圆桶转动的时间为$t=\dfrac{\pi-\theta}{\omega}$；解得$v=\dfrac{2R\omega}{\pi-\theta}$；故选B。

【跟踪训练】：C　　B

1．C

【详解】根据题意，由公式$\omega=2\pi n$可得，角速度为$\omega=120\pi\,\text{rad/s}$

设子弹的传播时间为t，则有$\omega t=2n\pi+\dfrac{\pi}{6}(n=0,1,2,3\cdots)$，解得$t=\dfrac{12n\pi+\pi}{6\omega}(n=0,1,2,3\cdots)$

该子弹的速度为$v=\dfrac{x}{t}=\dfrac{12\omega}{12n\pi+\pi}(n=0,1,2,3\cdots)=\dfrac{1440}{12n+1}(n=0,1,2,3\cdots)$

当$n=0$时$v=1440\,\text{m/s}$；当$n=1$时$v\approx110.8\,\text{m/s}$；当$n=2$时$v=57.6\,\text{m/s}$

故选C。

2．B

【详解】A．根据$v=r\omega$可知，薄板上各点线速度大小相等，方向不同，故A错误；

B．子弹在转筒中运动的时间为$t=\dfrac{d}{\frac{1}{2}v_1}=\dfrac{1}{10}\text{s}=0.1\text{s}$此时转筒转过的角度为$\theta=\omega t=0.8\pi=144°$

由题意可知，子弹入射时与圆心连线处的位置转了144°，且圆筒与圆心连线每隔36°有一块薄板，由几何关系可知，薄板上一定会留下一个弹孔，故B正确；

CD．由选项 B 可知，无论是增大角速度还是减小角速度，子弹在薄板上可能不留下弹孔，故 CD 错误。

故选 B。

题型二：匀变速运动与圆周结合的多解问题

【精选例题】：BD　　BD　　AB　　C

1．BD

【详解】小球平抛运动的时间为$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=0.4\text{s}$，根据题意$t=nT=n\frac{2\pi}{\omega}$　（n=1.2.3…）

解得$\omega=\frac{2\pi n}{0.4}=5\pi n$　（n=1.2.3…）

故选 BD。

2．BD

【详解】A．子弹在圆筒中的运动时间满足$2R=v_0t$，解得$t=\frac{2R}{v_0}$，故 A 错误；

BD．若仅改变圆筒的转速，由于子弹在竖直方向做自由落体运动，所以子弹不可能在圆筒上只打出一个弹孔，

两弹孔的高度差为$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{2gR^2}{v_0^2}$，故 BD 正确；

C．设圆筒转动的周期为 T，则有$t=\left(n+\frac{1}{2}\right)T\left(n=0,1,2,3\cdots\right)$，可知$T=\frac{4}{2n+1}\cdot\frac{R}{v_0}\left(n=0,1,2,3\cdots\right)$

可知圆筒转动的周期不可能为$\frac{R}{v_0}$。故 C 错误。

故选 BD。

3．AB

【详解】A．飞镖抛出后做平抛运动，飞镖抛出到恰好击中 A 点，故 A 点一定转动到最低点位置，故 A 正确；

D．飞镖抛出后在水平方向做匀速直线运动，故从飞镖抛出到恰好击中 A 点的时间为$t=\frac{L}{v_0}$，故 D 错误；

B．飞镖抛出到恰好击中 A 点，圆盘运动的角度应满足$\theta=\omega t=\pi+2k\pi\ \ \left(k=0,1,2\cdots\right)$

故圆盘转动的角速度一定满足$\omega=\frac{(2k+1)}{L}\pi v_0\ \ \left(k=0,1,2\cdots\right)$，故 B 正确；

C．飞镖抛出后在竖直方向做自由落体运动，有$h=\frac{1}{2}gt^2=2R$，解得圆盘的半径为$R=\frac{gL^2}{4v_0^2}$，故 C 错误。

故选 AB。

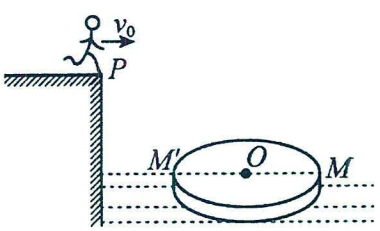
4．C

【详解】AB．参赛者正好落在 M 点，则 M 点可能出现在图示的两个位置。

参赛者在空中所做运动为平抛运动，竖直高度不变，参赛者在空中运动时间不变；

仅增大v_0，参赛者的水平位移增大，可能落水，可能在台面上；仅减小v_0，参赛者的水平位移减小，可能落水，可能在台面上，故 AB 错误；

CD．仅增大转盘的角速度，或仅减小转盘的角速度，参赛者的水平位移不变，只要满足 M 仍在原位置，参赛者就仍可能落在 M 点，故 C 正确，D 错误。



故选 C。

【跟踪训练】: BD　　BCD　　ABD　　BC

5．（1）$R\sqrt{\frac{g}{2h}} \le v \le 3R\sqrt{\frac{g}{2h}}$；（2）$\omega = (n\pi + \frac{\pi}{2})\sqrt{\frac{g}{2h}}(n = 0,1,2,3\cdots)$

1．BD

【详解】以竖直向下为正方向，根据位移时间关系可得$h = -v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$，解得$t = 1\text{s}$

圆盘做圆周运动的周期为$T = \frac{2\pi}{\omega}$；$nT = t$；联立解得$\omega = 2n\pi\text{rad/s}$（n=1，2，3，…）

故选 BD。

2．BCD

【详解】小球在竖直方向做自由落体运动，所以小球在桶内的运动时间为$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

在水平方向，以圆周运动的规律来研究，则得$t = n \cdot \frac{2\pi R}{v_0}$（n=1，2，3…）

所以$v_0 = \frac{2\pi nR}{t} = 2\pi nR\sqrt{\frac{g}{2h}}$（n=1，2，3…）

当 n=1 时，取最小值，所以最小速率 v0=πR$\sqrt{\frac{2g}{h}}$

当 n=2 时，v_0=2πR$\sqrt{\frac{2g}{h}}$，当 n=3 时，v_0=3πR$\sqrt{\frac{2g}{h}}$，A 错误，BCD 正确。

故选 BCD。

3．ABD

【详解】小球在盘边缘共有 3 个均匀分布的落点，说明每转动$(2n\pi + \frac{2}{3}\pi)$后就有一个小球落在圆盘的边缘，故

$\Delta\theta = (2n\pi + \frac{2}{3}\pi)(n = 0,1,2...)$ 或$\Delta\theta = (2n\pi + \frac{4}{3}\pi)(n = 0,1,2...)$，$\Delta t = \frac{1}{N}$

故角速度为$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = (2n\pi + \frac{2}{3}\pi)N\text{rad/s}(n = 0,1,2...)$或$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = (2n\pi + \frac{4}{3}\pi)N\text{rad/s}(n = 0,1,2...)$

当$n = 0$时，则$\omega = \frac{2}{3}\pi N\text{rad/s}$或$\omega = \frac{4}{3}\pi N\text{rad/s}$；当$n = 1$时，则$\omega = \frac{8}{3}\pi N\text{rad/s}$或$\omega = \frac{10}{3}\pi N\text{rad/s}$

故选 ABD。

4．BC

【详解】AB．子弹做平抛运动，在竖直方向上$h = \frac{1}{2}gt^2$

可得子弹在圆筒中运动的时间$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

因子弹从右侧射穿圆筒后发现两弹孔在同一竖直线上，则圆筒转过的角度为$\theta = (2n-1)\pi$（n 取 1、2、3……）

则角速度为$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{(2n-1)\pi}{t} = (2n-1)\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$

故角速度可能为$7\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$，不可能为$2\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$，故 B 正确，A 错误；

CD．周期为$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2}{(2n-1)\sqrt{\frac{g}{2h}}}=\frac{2}{2n-1}\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 同一横排两相邻弹孔间距为$\frac{2\pi R}{3}$，

当转动小于一个周期，则$\frac{2\pi R}{3}=\theta R$；解得$\theta=\frac{2\pi}{3}$

则子弹射出的时间间隔可能为$t=\frac{1}{3}T=\frac{2}{3(2n-1)}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

当转动大于一个周期，则$\frac{2\pi R}{3}=\theta R$；解得$\theta=2m\pi+\frac{2\pi}{3}$（m 取 1、2、3……）

则子弹射出的时间间隔可能为$t=mT+\frac{1}{3}T=(m+\frac{1}{3})\frac{2}{(2n-1)}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

则子弹射出的时间间隔可能为$\Delta t=\frac{8}{9}\sqrt{\frac{2h}{g}}$，不可能为$\Delta t=\frac{8}{15}\sqrt{\frac{h}{g}}$，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

5．（1）$R\sqrt{\frac{g}{2h}}\le v\le 3R\sqrt{\frac{g}{2h}}$；（2）$\omega=(n\pi+\frac{\pi}{2})\sqrt{\frac{g}{2h}}(n=0,1,2,3\cdots)$

【详解】（1）小球做平抛运动，根据$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得小球做平抛运动的时间$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

当小球落在 B 点时，初速度最小，则最小速度为$v_1=\frac{R}{t}=R\sqrt{\frac{g}{2h}}$

当小球落在 A 点时，初速度最大，则最大速度为$v_2=\frac{3R}{t}=3R\sqrt{\frac{g}{2h}}$

所以圆盘固定时，要使小球落在圆盘上，速度大小范围为$R\sqrt{\frac{g}{2h}}\le v\le 3R\sqrt{\frac{g}{2h}}$

（2）根据$\omega=\frac{\theta}{t}$根据圆周运动的周期性，可知相遇时 D 点转过的角度为$\theta=n\pi+\frac{\pi}{2}(n=0,1,2,3\cdots)$

角速度$\omega=(n\pi+\frac{\pi}{2})\sqrt{\frac{g}{2h}}(n=0,1,2,3\cdots)$

题型三：闪光灯问题

【精选例题】：B　　BCD

1．B

【详解】因为电扇叶片有三个，相互夹角为 120°，现在观察者感觉扇叶不动，说明在闪光时间里，扇叶转过三分之一、或三分之二，或一周…，那么转过的角度为$\theta=\frac{2n\pi}{3}$，n=1，2，3…

由于光源每秒闪光 30 次，所以电扇每秒转过的角度为ω=20πn，转速为 10n r/s=600n r/min

所以当 n=1 时，转速为 600 r/min；n=2 时，转速为 1 200 r/min

n=5 时，转速为 3 000 r/min；故 ACD 项可能，B 项不可能。

故选 B。

2．BCD

【详解】A．如果频闪光源每秒闪光 10 次，则每两次闪光的时间间隔为 0.1s，正好转了一圈，白点回到初始位置，视觉效果白点静止，A 错误；

B．如果频闪光源每秒闪光 12 次，每两次闪光间隔内转了$\frac{5}{6}$圈，视觉效果白点顺时针转动，B 正确；

C．如果频闪光源每秒闪光 15 次，每两次闪光间隔内转了$\frac{2}{3}$圈，视觉效果白点顺时针转了$\frac{1}{3}$圈，故转速为 5r/s，C 正确；

D．如果频闪光源每秒闪光 20 次，每两次闪光间隔内转了$\frac{1}{2}$圈，只能在圆盘上的上下两个位置观察到白点，D 正确。

故选 BCD。

【跟踪训练】：A　　C

3．（1）$10N\text{r/s}$ （$N=1$，2，3…）；（2）$5(2N-1)\text{r/s}$ （$N=1$，2，3…）

1．A

【详解】频闪仪的闪光频率是 24Hz，转速最小时，转动周期最大为$T=\frac{1}{24}\times 6\text{s}=\frac{1}{4}\text{s}$，则转速为$n=\frac{1}{T}=4\text{r/s}$，故选 A。

2．C

【详解】由题意黑色圆盘，可绕过其中心，垂直于盘面的轴匀速转动，每秒沿顺时针方向旋转 20 圈，即频率为$f_0=20\text{Hz}$，在暗室中用每秒闪光 25 次的频闪光源照射圆盘，即$f'=25\text{Hz}$；则$f_0<f'<2f_0$

所以观察到白点逆时针旋转，则$f'-f_0=f''=5\text{Hz}$，所以观察到白点每秒逆时针旋转 5 圈，即转动周期为$T=\frac{1}{5}\text{s}$

故选 C。

3．（1）$10N\text{r/s}$ （$N=1$，2，3…）；（2）$5(2N-1)\text{r/s}$ （$N=1$，2，3…）

【详解】（1）在闪光一次$\frac{1}{30}\text{s}$时间内扇叶转过三分之一周（即$\frac{2}{3}\pi$）整数倍时，人们均觉得扇叶静止，这时风扇的角速度为$\omega_1=\frac{N\cdot\frac{2}{3}\pi}{\frac{1}{30}}\text{rad/s}=20\pi N\text{rad/s}$（$N=1$，2，3…）

则转速为$n_1=\frac{\omega_1}{2\pi}=10N\text{r/s}$（$N=1$，2，3…）

（2）在闪光灯发光时间$\frac{1}{30}\text{s}$内，扇叶转过六分之一周的奇数倍时，人们均觉得扇叶有六个叶片，这时风扇转过的弧度为$\alpha=(2N-1)\frac{\pi}{3}$（$N=1$，2，3…）

这时风扇的角速度为$\omega_2=\frac{(2N-1)\cdot\frac{\pi}{3}}{\frac{1}{30}}\text{rad/s}=(2N-1)10\pi\,\text{rad/s}$

则转速为$n_2=\frac{\omega_2}{2\pi}=5(2N-1)\mathrm{r/s}$（$N=1$，2，3…）

考点四：向心力

题型一：概念辨析

【精选例题】：B　　AB

1．B

【详解】A．做曲线运动的物体，其加速度不一定是变化的，比如平抛运动的加速度为重力加速度，恒定不变，故A错误；

B．物体做圆周运动，如果是变速圆周运动，则所受的合力不指向圆心，故B正确；

C．物体所受合力方向与运动方向不相同，如果方向相反，则物体做减速直线运动，故C错误；

D．物体运动的速率在增加，则所受合力方向与运动方向的夹角小于90°，方向不一定相同，故D错误。

故选B。

2．AB

【详解】A．做匀速圆周运动的物体，其向心力指向圆心，选项A正确；

B．向心力的表达式为$F_n=\frac{mv^2}{r}$，选项B正确；

C．向心力的表达式为$F_n=m\omega^2r$，选项C错误；

D．向心力是根据力的效果命名的，选项D错误。

故选AB。

【跟踪训练】：B　　D

1．B

【详解】A．空间站绕地球做匀速圆周运动时，速度大小不变，方向时刻改变，故A错误；

B．在忽略空气阻力的情况下，斜向上抛出的秧苗只受重力，合力不变，根据牛顿第二定律，则加速度不变，所以做匀变速曲线运动，故B正确；

C．从跳板上起跳后的运动员旋转下降时，头部在旋转上升时，若头部相对运动员的速度大于运动员对地速度，则速度方向为竖直向上，故C错误；

D．树叶上的蜗牛做圆周运动时，合力提供向心力，不为零，故D错误。

故选B。

2．D

【详解】A．向心力总是沿半径指向圆心，其大小随着线速度大小的变化而变化，方向时刻变化，向心力一定是一个变力，故A错误；

BCD．向心力可以是某一个力，也可以是某几个力的合力，还可以是某一个力的分力，它是效果力，向心力的方向始终与速度方向垂直，只改变速度的方向，不改变速度的大小，BC错误，D正确。

故选D。

题型二：向心力的来源

【精选例题】：C　　D　　A　　B

1．C

【详解】对做匀速圆周运动的黄豆受力分析可知，重力和支持力平衡，黄豆受到的静摩擦力沿半径方向提供向心力。

故选 C。

2．D

【详解】A．旱冰爱好者在地面上滑行以不变的速率沿圆弧弯道滑行，速度大小不变，方向不断改变，做匀速率圆周运动，故 A 错误；

BCD．旱冰爱好者受重力，地面的支持力和地面的摩擦力，所受重力和地面的支持力为一对平衡力，合力为所受的地面的摩擦力，摩擦力提供向心力，始终指向圆心，故 D 正确，BC 错误。

故选 D。

3．A

【详解】小球受重力和侧壁的支持力作用，两个力的合力充当向心力，由于侧壁光滑，则不受摩擦力作用。

故选 A。

4．B

【详解】A．物块在最高点 c 和最低点 d 均受重力和支持力两个力作用，两个力的合力提供向心力，故 A 错误；

B．物块做匀速圆周运动，合外力提供向心力，可知合外力始终指向圆心，故 B 正确；

C．在最高点和最低点，摩擦力是零，重力和支持力的合力提供向心力，

在位置 c，根据牛顿第二定律得 $mg-N_c=m\frac{v^2}{R}$，所以 $N_c<mg$

在位置 d，根据牛顿第二定律得 $N_d-mg=m\frac{v^2}{R}$；所以 $N_d>mg$，C 错误；

D．在 a、b 两个位置，重力和支持力平衡，即 $N=mg$，物块所受静摩擦力提供向心力，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：C　　BCD　　D

1．C

【详解】湿衣服随圆桶一起转动而未滑动，受力分析可知，受重力，支持力，静摩擦力，有 $mg=f$

$F_N=m\omega^2 r$，即重力和静摩擦力平衡，支持力充当向心力，而衣服不会受向心力，故选 C。

2．BCD

【详解】AB．对于匀速圆周运动，向心力是物体实际受到的所有力的指向圆心的合力，受力分析时不能再说物体受到向心力，即小球只受到重力和线的拉力两个力，故 A 错误，B 正确；

CD．细线拉力的竖直分力与重力平衡，细线对小球拉力的水平分量等于向心力，根据力的合成求出合力大小为 Mgtanθ，故 CD 正确。

故选 BCD。

3．D

【详解】A．由向心力公式 $F=mr\omega^2$ 可知，相同的物块 A、B 叠放在一起做圆周运动，故向心力相同，故 A 错误；

B．图中 A 做圆周运动向心力是 B 对其向左的摩擦力提供的，所以 A 对 B 摩擦力是向右的，故 B 错误；

C．两物块所受的合力提供向心力，而 A、B 向心力相同，故 C 错误；

D．物块 A 所受摩擦力为 $f_{BA}=mr\omega^2$；物块 B 所受转台提供摩擦力和 A 对 B 的摩擦力合力提供向心力 $f'-f_{AB}=mr\omega^2$ f_{AB} 与 f_{BA} 等大，所以 $f'=2mr\omega^2=2f_{AB}$；故 D 正确。

故选 D。

题型三：圆周运动中的动力学问题

【精选例题】：D　　AC　　C　　B

1．D

【详解】根据向心力的计算公式 $F=m\frac{v^2}{r}$

若做匀速圆周运动的线速度大小变为原来的两倍，则 $F'=m\frac{(2v)^2}{r}=4m\frac{v^2}{r}=4F$

故选 D。

2．AC

【详解】AB．将此实验放在绕地球做匀速圆周运动的太空实验室中进行，由于沙袋在太空实验室中处于完全失重状态，则沙袋受到的绳子拉力完全提供向心力，且绳子拉力总是与速度方向垂直，所以沙袋圆周运动的轨迹可以处于任意平面内，手提供的拉力大小保持不变，故 A 正确，B 错误；

C．根据 $T=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，若保持半径不变，减小旋转周期，则手提供的拉力增大，故 C 正确；

D．根据 $T=m\frac{v^2}{r}$，若保持半径不变，减小沙袋速度，手提供的拉力减小，故 D 错误。

故选 AC。

3．C

【详解】小物体受到的向心力大小为 $F_n=mr\omega^2$，其中 $\omega=2\pi n$，解得 $F_n\approx40\text{N}$

由牛顿第三定律，轮轴受到的力约为 $F=F_n=40\text{N}$

故选 C。

4．B

【详解】A．玩具随滚筒在竖直平面内做匀速圆周运动，则玩具在 b、d 两处的向心力大小相等，方向不同，故 A 错误；

B．玩具在 b、d 两处，竖直方向根据受力平衡可知，两处的摩擦力大小均等于玩具的重力，方向均竖直向上，故 B 正确；

C．增大洗衣机转速，水需要的向心力越大，水越容易做离心运动，脱水效果会更好，故 C 错误；

D．玩具在 a 处，根据牛顿第二定律可得 $N-mg=m\omega^2r$，可知玩具在 a 处受到竖直向上的支持力最大，则在 a 处玩具对洗衣机桶壁的竖直向下的压力最大，所以玩具在 c 处时洗衣机对地面的压力小于玩具在 a 处时洗衣机对地面的压力，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】: D　　AD　　BD　　C　　BD

1．D

【详解】小球运动到水平位置a时，根据牛顿第二定律可得$F_n = ml\omega^2$

根据力的合成可知$F = \sqrt{F_n^2 + (mg)^2} = \sqrt{(mg)^2 + \left(m\omega^2 l\right)^2}$

故选 D。

2．AD

【详解】A．悬线与钉子碰撞前后，线的拉力始终与小球运动方向垂直，小球的线速度不变，故 A 正确；

B．当半径减小时，由公式$v = \omega r$可知，圆周运动的半径为原来的一半，则角速度是原来的 2 倍，故 B 错误；

CD．根据牛顿第二定律可得$F - mg = m\frac{v^2}{r}$，由于碰到钉子后半径变为原来的一半，则向心力增大，绳拉力增大，

故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

3．BD

【详解】AC．大、小轮之间靠摩擦传动，接触面上不打滑，则 A、B 两小球的线速度大小相等，根据$v = \omega r$

可知 A、B 两小球的角速度大小之比为$\omega_A : \omega_B = r_B : r_A = 2:1$，根据$T = \frac{2\pi}{\omega}$，可得 A、B 两小球的周期之比为

$T_A : T_B = \omega_B : \omega_A = 1:2$，故 AC 错误；

BD．B、C 两小球同轴转动，角速度相等，则有$\omega_A : \omega_C = \omega_A : \omega_B = 2:1$，根据$F = m\omega^2 r$，可得 A、C 两小球的向

心力大小之比为$F_A : F_C = m\omega_A^2 r_A : m\omega_C^2 r_C = 4:1$，故 BD 正确。

故选 BD。

4．C

【详解】对篮球进行受力分析，竖直方向$f = mg$，由$f = \mu N$

水平方向手对球的作用力提供向心力$N = m\frac{v^2}{r}$；联立解得$v = \sqrt{\frac{gr}{\mu}} = 3\text{m/s}$

故选 C。

5．BD

【详解】AB．太极球运动至最高点时，根据题意，有$mg + mg = m\omega^2 R$

解得角速度大小$\omega = \sqrt{\frac{2g}{R}}$，故 A 错误，B 正确；

CD．球做匀速圆周运动，在 B 处时有$F - mg = m\omega^2 R = 2mg$，解得$F = 3mg$，故 C 错误，D 正确；

故选 BD。

题型四：变速圆周运动和一般曲线运动

【精选例题】：C

1．C

【详解】ABC．在 A 点有 $mg-N_A=m\frac{v^2}{r_A}$，解得 $N_A=mg-m\frac{v^2}{r_A}<mg$，所以在 A 点物块处于失重状态。

在 B 点有 $N_B-mg=m\frac{v^2}{r_B}$，解得 $N_B=mg+m\frac{v^2}{r_B}>mg$，所以在 B 点物块所受支持力大于重力。

故 AB 错误，C 正确；

D．由 $r_A<r_B$，向心加速度公式 $a=\frac{v^2}{r}$ 知 $a_A>a_B$，故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：C　　B

1．C

【详解】物体在其轨迹最高点 P 处只有水平速度，其水平速度大小为 $v_0cos\alpha$，在最高点，把物体的运动看成圆周运动的一部分，物体的重力作为向心力，由向心力的公式得：$mg=m\frac{(v_0cos\alpha)^2}{\rho}$，所以在其轨迹最高点 P 处的曲率半径是：$\rho=\frac{v_0^2cos^2\alpha}{g}$，故 C 正确．

2．B

【详解】AB．抛出时，可以把质点的运动看成是半径为 ρ_0 的圆周运动 $mg\cos\theta=m\frac{v^2}{\rho_0}$，

可得 $v=\sqrt{\rho_0 g\cos\theta}$，A 错误 B 正确

CD．在斜抛运动最高点，质点的速度为 $v_t=v\cos\theta$，可以把质点的运动是半径为 ρ 的圆周运动，因为质点只受重力，所以根据牛顿第二定律可得 $mg=\frac{mv_t^2}{\rho}$，联立可得 $\rho=\frac{g\rho_0\cos^3\theta}{g}=\rho_0\cos^3\theta$，CD 错误。

故选 B。

考点四：向心加速度

题型一：概念辨析

【精选例题】：A　　C

1．A

【详解】A．若物体做圆周运动的向心加速度大小和半径不变，

根据 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知该物体的线速度大小不变，故 A 正确；

B．根据 $a=\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 物体做圆周运动的周期越长，由于不清楚半径的变化，

所以向心加速度不一定越大，故 B 错误；

C．根据 $F=ma$ 可知不同物体做圆周运动的向心力大，其向心加速度不一定大，

还要看物体的质量关系，故 C 错误；

D．根据 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知物体做圆周运动的线速度大，向心加速度不一定越大，

还要看物体做圆周运动的半径关系，故 D 错误。

故选 A。

2．C

【详解】A．物体做匀速圆周运动，加速度不为零，速率不随时间变化。故 A 错误；

B．物体做匀加速直线运动时，加速度不为零，物体运动的方向不随时间变化。故 B 错误；

C．物体加速度不为零，根据 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，可知速度一定随时间变化。故 C 正确；

D．根据 $F=ma$ 可知，加速度不为零，则物体受的合外力不为零，其大小不一定随时间变化。故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：D　　ABD

1．D

【详解】AB．由题意知汽车做曲线运动，所受合外力指向轨迹凹侧，合外力的方向不断发生变化，加速度不断变化，不是匀变速运动，也不是平衡状态，故 AB 错误；

CD．汽车速度大小不变，D 点的弯曲程度最大，对应的半径最小，根据 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知，

向心加速度最大，合外力最大，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．ABD

【详解】A．向心加速度的方向沿半径指向圆心，速度方向沿圆周的切线方向，所以向心加速度的方向始终与速度方向垂直，故 A 正确；

B．向心加速度只改变线速度的方向，不改变线速度的大小，故 B 正确；

C．地球自转时，各点的向心加速度都指向地轴，不一定都指向地心，故 C 错误；

D．物体做匀速圆周运动时，加速度即为向心加速度，始终指向圆心，故 D 正确。

故选 ABD。

题型二：向心加速度简单计算

【精选例题】：D　　C　　CD　　D　　CD　　B　　BC

1．D

【详解】ABC．向心加速度的表达式为 $a_n=\frac{v^2}{r}$，又有 $v=\omega r=\frac{2\pi r}{T}$，整理可得 $a_n=\omega^2 r=\frac{4\pi^2 r}{T^2}$；故 ABC 正确；

D．由牛顿第二定律可知 $F_n=ma_n$，解得 $a_n=\frac{F_n}{m}$；故 D 错误。

本题选错误的，故选 D。

2．C

【详解】A．由题意可知，线速度大小不变，方向时刻改变，故 A 错误；

B．运动员的速率保持不变，运动半径在减小，由 v = ωr 可知，角速度变大，故 B 错误；

C．运动员的速率保持不变，运动半径 r 减小，由 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知，向心加速度 a 变大，故 C 正确；

D．运动员的速率保持不变，一圈的长度逐渐变小，故运动一圈所用的时间变短，故 D 错误。

故选 C。

3．CD

【详解】A．由向心加速度公式 $a=\frac{v^2}{R}$，两车线速度大小相等，A 车半径小，加速度大，故 A 错误；

B．由角速度公式 $\omega=\frac{v}{R}$，两车线速度大小相等，A 车半径小，角速度大，故 B 错误；

C．由向心力公式 $F=m\frac{v^2}{R}$，两车质量大小关系未知，所以两车所受合力关系无法判定，故 C 正确；

D．摩擦力提供向心力 $f=F_{向}$，$\mu mg=\frac{mv^2}{R}$；向心力大于滑动摩擦力时，作离心运动，当增加相同速度，因 A 车圆周运动的半径小，所以更容易发生侧滑，故 D 正确。

故选 CD。

4．D

【详解】A．圆盘每转一圈的时间 T=15×4s=60s，故转速为 1 r/min，故 A 错误；

B．由角速度与周期的关系可得圆盘转动的角速度大小为 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{\pi}{30}\text{rad/s}$，故 B 错误；

C．蛋糕边缘的奶油线速度大小约为 $v=\omega r=\frac{\pi}{300}\text{m/s}$，故 C 错误；

D．蛋糕边缘的向心加速度约为 $a_n=\omega^2 r=\frac{\pi^2}{9000}\text{m/s}^2$，故 D 正确。

故选 D。

5．CD

【详解】A．A、B 两点同轴转动，角速度相同，根据 $\theta=\omega t$，可知相同时间内转过的角度相同，故 A 错误；

BC．根据 $s=vt=\omega rt$，$a=\omega^2 r$ 可知弧长之比、向心加速度之比均等于半径之比，即相同时间内 A 点和 B 点走过的弧长之比为 2∶3，A、B 两点的向心加速度之比为 2∶3，故 B 错误，C 正确；

D．相同时间内扫过的面积为 $S=\frac{1}{2}\theta r^2=\frac{1}{2}\omega r^2$ 相同时间内 A 点和 B 点转过的角度相同，但半径不等，所以相同时间内 OA 和 OB 扫过的面积不相等，故 D 正确。

故选 CD。

6．B

【详解】AB．辽宁舰在运动的过程中受到重力与水的合力，总的合力的方向沿水平方向，提供向心力，有 $F=m\frac{v^2}{r}$，代入数据解得 $F=2.4\times10^7\text{N}$

由于总合力的方向指向圆心，所以水的合力的方向为斜向上方，水的合力的大小 $F_{水}=\sqrt{F^2+G^2}$

代入数据可得$F_{水}\approx6.0\times10^{8}\mathrm{N}$，故 A 错误，B 正确；

C．根据向心加速度公式$a=\frac{v^2}{r}$，代入数据可得$a=0.4\mathrm{m/s^2}$，故 C 错误；

D．辽宁舰做圆周运动的周期为$T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi\times1000}{20}\mathrm{s}=100\pi\mathrm{s}$，完全掉头需要的时间为$t=\frac{T}{2}=50\pi\mathrm{s}$，故 D 错误。

故选 B。

7．BC

【详解】AB．由图可知 B、C 之间距离比 A、B 之间的距离小，经过的时间相同，故指尖在 B、C 之间运动的速度比 A、B 之间的小；指尖在 A、B 之间运动的速度大小约为$v_{AB}=\frac{l_{AB}}{\Delta t}$，$\Delta t=\frac{1}{25}\mathrm{s}=0.04\mathrm{s}$，解得$v_{AB}=8\mathrm{m/s}$

故 A 错误，B 正确；

C．图中 B、C 之间距离接近 CN 的距离，故可知指尖在 B、C 之间运动的速度大小约为$v_{BC}=\frac{l_{BC}}{\Delta t}=\frac{0.16}{0.04}\mathrm{m/s}=4\mathrm{m/s}$

可得指尖在 B、C 之间运动的加速度和在 A、B 之间运动的加速度分别为$a_{BC}=\frac{v_{BC}^2}{l_{CN}}=100\mathrm{m/s^2}$，$a_{AB}=\frac{v_{AB}^2}{l_{AM}}=160\mathrm{m/s^2}$

故指尖在 AC 之间运动时向心加速度的最大值约为 400m/s²，故 C 正确；

D．指尖在 B、C 间运动的加速度等于向心加速度和切向加速度的矢量和，故方向时刻变化，故 D 错误。

故选 BC。

【跟踪训练】：B　　D　　A　　C　　D

1．B

【详解】根据向心加速度公式得$a=\omega^2r=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r=(2\pi n)^2r=36\mathrm{m/s^2}$

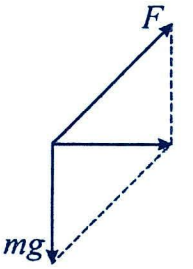
故选 B。

2．D

【详解】A．向心加速度为$a=R\omega^2$；故 A 错误；

B．相邻竹筒打水的时间间隔为$t=\frac{T}{16}=\frac{\pi}{8\omega}$；故 B 错误；

C．竹筒中的水做匀速圆周运动，合力指向圆心，如图所示，可知$F>mg$；故 C 错误；



D．从 C 点到 B 点的过程中，有$P=mgv_y$，竹筒的速度在竖直方向上的分量v_y逐渐减小，重力的功率减小，故 D 正确。

故选 D。

3．A

【详解】AB．根据角速度定义式$\omega=\frac{\theta}{t}$可知 A、B 两艘快艇的角速度大小之比为$\omega_{\mathrm{A}}:\omega_{\mathrm{B}}=\theta_{\mathrm{A}}:\theta_{\mathrm{B}}=3:2$

根据$T=\frac{2\pi}{\omega}$可得 A、B 两艘快艇的周期之比为$T_{\mathrm{A}}:T_{\mathrm{B}}=\omega_{\mathrm{B}}:\omega_{\mathrm{A}}=2:3$，故 A 正确，B 错误；

CD．根据线速度定义式$v=\frac{s}{t}$可知 A、B 两艘快艇的线速度大小之比为$v_{\mathrm{A}}:v_{\mathrm{B}}=s_{\mathrm{A}}:s_{\mathrm{B}}=4:3$

则 A、B 两艘快艇做圆周运动的半径之比为 $r_{\mathrm{A}}:r_{\mathrm{B}}=\frac{v_{\mathrm{A}}}{\omega_{\mathrm{A}}}:\frac{v_{\mathrm{B}}}{\omega_{\mathrm{B}}}=8:9$

根据 $a=\omega^2 r=v\omega$，可知 A、B 两艘快艇的向心加速度大小之比为，$a_{\mathrm{A}}:a_{\mathrm{B}}=v_{\mathrm{A}}\omega_{\mathrm{A}}:v_{\mathrm{B}}\omega_{\mathrm{B}}=2:1$，故 CD 错误。

故选 A。

4．C

【详解】A．同缘传动时，边缘点的线速度大小相等，方向相反，有 $v_b=v_a=1.2\,\mathrm{cm/s}$，故 A 错误；

B．同轴传动时，角速度相等，故 $\omega_c=\omega_a=\frac{v_a}{r_a}=0.6\,\mathrm{rad/s}$，故 B 错误；

C．根据向心加速度公式可知 $a_b=\frac{v_b^{\,2}}{r_b}=1.44\,\mathrm{cm/s^2}$，故 C 正确；

D．大、小齿轮沿相反方向，根据转动且转速之比为 $n=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{v}{2\pi r}$ 可知大、小齿轮转速之比为 1：2，故 D 错误。

故选 C。

5．D

【详解】AB．水平转盘半径为 3m，离地高为 3m，绳长为 5m，根据几何关系可知，雪圈（含人）做匀速圆周运动的半径为 $r=\sqrt{3^2+\left(5^2-3^2\right)}\,\mathrm{m}=5\,\mathrm{m}$，则线速度大小为 $v=\omega r=2\times5\,\mathrm{m/s}=10\,\mathrm{m/s}$，故 AB 错误；

CD．雪圈（含人）做匀速圆周运动的加速度大小为 $a=\omega^2 r=2^2\times5\,\mathrm{m/s^2}=20\,\mathrm{m/s^2}$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

题型三：传动关系中得向心加速度计算

【精选例题】：D　　B

1．D

【详解】B．五位同学都是绕障碍物做圆周运动，角速度相等，故 B 错误；

A．根据 $v=\omega r$ 可得最外侧同学的线速度最大，故 A 错误；

C．根据 $a=\omega^2 r$ 可得最外侧同学的向心加速度最大，故 C 错误；

D．做匀速圆周运动的物体由合外力提供向心力，即合外力指向圆心，故 D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】BD．由于链轮和飞轮之间通过链条传动，所以 A、B 两点的线速度大小相等，又因为后轮和飞轮同轴转动，所以 B、C 两点的角速度大小相等。根据 $v=\omega r$ 可知 A、B 两点的角速度大小之比为 $\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{r_2}{r_1}=\frac{1}{2}$

B、C 两点的线速度大小之比为 $\frac{v_B}{v_C}=\frac{r_2}{r_3}=\frac{1}{6}$，综上所述可知链轮、飞轮和后轮的角速度大小之比为 1∶2∶2，A、B、C 三点的线速度大小之比为 1∶1∶6，故 B 正确，D 错误；

A．根据向心加速度公式 $a=\omega^2 r=\omega v$ 可知 A、B、C 三点的向心加速度大小之比为 1∶2∶12，故 A 错误；

C．由题意可知 A 点的线速度大小为 $v_A=\omega_A r_1=\frac{2\pi}{T_A}r_1=\frac{2\times3.14}{1}\times10\times10^{-2}\,\mathrm{m/s}=0.628\,\mathrm{m/s}$

根据前面分析可知 C 点的线速度大小为即自行车前进的速度大小约为 $v_C=6v_A=6\times0.628\,\mathrm{m/s}\approx3.8\,\mathrm{m/s}$，故 C 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：B　　A　　D

1．B

【详解】三轮相互不打滑，则三轮边缘上各点线速度大小相同，设为 v，由甲轮可知 $v=\omega r_1$，则丙轮边缘上各点的向心加速度大小 $a=\frac{v^2}{r_3}=\frac{r_1^2\omega^2}{r_3}$

故选 B。

2．A

【详解】AB．依题意，杆 PQ 始终保持水平，P、Q 两点相对静止，二者具有相同的加速度，杆 OP 绕 O 点匀速转动，它们的加速度均沿 OP 方向。故 A 正确；B 错误；

C．Q 点在竖直方向的运动与 P 点相同，相对于 O 点在竖直方向的位置 y 关于时间 t 的关系为 $y=l_{OP}\sin\left(\frac{\pi}{6}+\omega t\right)$

则可看出 Q 点在竖直方向不是匀速运动。故 C 错误；

D．Q 点相对于 O 点在水平方向的位置 x 关于时间 t 的关系为 $x=l_{OP}\cos\left(\frac{\pi}{6}+\omega t\right)+l_{PQ}$

则可看出 Q 点在水平方向是变速运动。故 D 错误。

故选 A。

3．D

【详解】A．由题意知 $v_a=v_3$，$v_2=v_b$，又轮 2 与轮 3 同轴转动，角速度相同 $v_2=2v_3$，

所以 va：vb＝1：2，故 A 错误；

BC．角速度之比为 $\frac{\omega_a}{\omega_b}=\frac{\frac{v_a}{r_a}}{\frac{v_b}{r_b}}=\frac{1}{4}$，故 BC 错误；

D．设轮 4 的半径为 r，则 $a_a=\frac{v_a^2}{r_a}=\frac{(0.5v_b)^2}{2r}=\frac{v_b^2}{8r}=\frac{1}{8}a_b$，即 $a_a：a_b=1：8$，故 D 正确。

故选 D。

题型四：圆周运动中动力学综合

【精选例题】：AD　　D

1．AD

【详解】A．篮球上的各点绕转轴做圆周运动，故角速度大小相等，故 A 正确；

B．篮球上的各点做圆周运动的圆心在篮球的轴线上，类似于地球的自转轴，故 B 错误；

C．篮球上各点做圆周运动的线速度大小不相等，根据 $v=\omega r$，离转轴越远的点，线速度越大，故 C 错误；

D．根据 $a=\omega^2 r$，篮球上离转轴越远的点，做圆周运动的向心加速度越大，故 D 正确。

故选 AD。

2．D

【详解】A．A、B 两处菜盘绕同轴转动，则周期相等，即周期之比为 1∶1，选项 A 错误；

B．根据 $v=\omega r$ 可得，A、B 两处菜盘的线速度大小之比为 2∶1，选项 B 错误；

C．根据 $a=\omega^2 r$ 可得，A、B 两处菜盘的向心加速度大小之比 2∶1，选项 C 错误；

D．根据 $f=ma$ 可知，因 $m_A:m_B=4:3$；$a_A:a_B=2:1$；

则 A、B 两处菜盘受到的静摩擦力大小之比为 8∶3，选项 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：B　　B　　B

1．B

【详解】A．上升过程中水桶重力方向竖直向下，水桶位移方向向上，因此重力对水桶做负功，A 错误；

B．向上提水过程中 A 点和 B 点是同轴转动，两点的角速度相同，A 点的转动半径小于 B 点的转动半径，由向心加速度公式 $a_n=\omega^2 r$ 可知，A 点的向心加速度比 B 点的小，B 正确；

C．上升过程中绳会缠绕在圆柱体上，在缠绕过程中长绳缠绕的半径变大，由 $v=\omega r$ 可知，手柄绕轴转动的角速度恒定，半径变大，线速度变大，因此水桶竖直向上做加速直线运动，C 错误；

D．向上提水过程中 A 点和 B 点是同轴转动，两点的角速度相同，A 点的转动半径小于 B 点的转动半径，由 $v=\omega r$ 可知，A 点的线速度比 B 点的小，D 错误。

故选 B。

2．B

【详解】AB．b 和 c 都是后轮上的点，同一轮上转动时各点角速度相等，故有 $\omega_b:\omega_c=1:1$ a 和 b 分别是前后轮边缘上的点，由于拖拉机匀速行驶时，前后轮边缘上的线速度大小相等，故有 $v_a:v_b=1:1$

根据线速度和角速度的关系 $v=\omega R$ 知 $\omega_a:\omega_b=3:2$

故 $\omega_a:\omega_b:\omega_c=3:2:2$，$v_a:v_b:v_c=3:3:2$，故 A 错误，B 正确；

C．根据 $\omega=2\pi n$ 转速之比为 $n_a:n_b:n_c=3:2:2$，故 C 错误；

D．根据 $a=\omega^2 R$，向心加速度大小之比为 $a_a:a_b:a_c=9:6:4$，故 D 错误。

故选 B。

3．B

【详解】A．由于齿轮带动，根据图 2 可知，使用时，出带轮与传动轮转动方向相反，传动轮与收带轮传动方向相反，则出带轮与收带轮转动方向相同，故 A 错误；

B．由于是齿轮带动，相邻齿之间的间距相等，则有 $\frac{2\pi R_{出}}{45}=\frac{2\pi R_{传}}{n_{传}}$，解得 $n_{传}=9$，故 B 正确；

C．由于是齿轮带动，相邻齿之间的间距相等，则有 $\frac{2\pi R_{出}}{45}=\frac{2\pi R_{出}}{15}$，

解得 $R_{出}=4\text{mm}$ 可知，根据题中信息，能算出收带轮轴心到齿轮边缘的半径，故 C 错误；

D．根据向心加速度的表达式有 $a=\frac{v^2}{r}$ 在纸面长时间匀速拉动修正带时，出带轮边缘某点的圆周半径减小，则该点的向心加速度大小变大，故 D 错误。

故选 B。

题型五：圆周运动与平抛运动综合问题

【精选例题】：

1．（1）$3R$；（2）$\sqrt{\frac{32}{17}}$

【详解】（1）两个小球在最高点时，受重力和管壁的作用力，这两个力的合力作为向心力，离开轨道后两球均做平抛运动，a、b 两球落地点间的距离等于它们平抛运动的水平位移之差

对 a 球 $3mg+mg=m\frac{v_a^2}{R}$；解得 $v_a=\sqrt{4gR}$；对 b 球 $mg-0.75mg=m\frac{v_b^2}{R}$；解得 $v_b=\sqrt{\frac{1}{4}gR}$

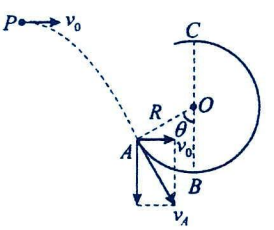
由平抛运动规律可得落地时它们的水平位移为 $x_a=v_at=v_a\sqrt{\frac{4R}{g}}=4R$，$x_b=v_bt=v_b\sqrt{\frac{4R}{g}}=R$

解得 $x_a-x_b=3R$；即 a、b 两球落地点间的距离为 $3R$

（2）小球落地时的速度分别设为 v_a'、v_b'，则有 $\frac{1}{2}mv_a'^2-\frac{1}{2}mv_a^2=mg\cdot 2R$，$\frac{1}{2}mv_b'^2-\frac{1}{2}mv_b^2=mg\cdot 2R$

解得 $\frac{v_a'}{v_b'}=\sqrt{\frac{32}{17}}$

2．（1）1m/s；（2）$\sqrt{5}$m/s ；（3）能；$\Delta x=\frac{3\sqrt{3}-4}{20}$m



【详解】（1）小球到 A 点的速度如图所示

分解速度 $\tan 60°=\frac{gt}{v_0}$；平抛水平方向 $x=v_0t=\frac{\sqrt{3}}{10}$m；联立解得 $v_0=1$m/s

（2）小球恰好过 C 点， 则在 C 点小球对轨道的压力为 0，根据牛顿第三定律，小球受到的支持力等于小球对轨道的压力大小，根据题意有 F_B-F_C=$6mg$；在 B 点有 $F_B-mg=m\frac{v_B^2}{R}$，代入数据解得 $v_B=\sqrt{5}$m/s

（3）小球恰好过 C 点，则 $mg=m\frac{v_C^2}{R}$

若能到达与 A 点等高的平面，则 $x_1=v_C\sqrt{\frac{2(R+R\cos 60°)}{g}}=\sqrt{3}R>R\sin 60°$

则小球能到达与 B 点等高的水平面，此时小球的水平射程 $x_2=v_C\sqrt{\frac{2\times 2R}{g}}=2R=0.2$m

落地点与 P 点的水平距离 $\Delta x=\frac{\sqrt{3}}{10}m+0.1\times\frac{\sqrt{3}}{2}m-0.2m=\frac{3\sqrt{3}-4}{20}$m

3．(1)$2h$，$v_0=\sqrt{4gh}$；(2) $v_c=\sqrt{8gh}$；(3) $F=\frac{11}{3}mg$

【详解】(1)小球至 B 点时速度方向与水平方向夹角为 45°，设小球抛出的初速度为 v_0，A 点至 B 点时间为 t

$h=\frac{1}{2}gt^2$，$\tan 45^\circ=\frac{v_0}{gt}$，$x=v_0t$；解得 $x=2h$，$v_0=\sqrt{4gh}$

(2)设小球至 B 点时速度为 v_B，在斜面上运动的加速度为 a，则有 $v_B=\sqrt{2}v_0$，$a=g\sin 45^\circ$，$v_C^2-v_B^2=2a\cdot\frac{2h}{\sin 45^\circ}$

解得 $v_c=\sqrt{8gh}$

(3)小球进入轻筐后做圆周运动，则有 $F-mg=m\frac{v_C^2}{3h}$，解得 $F=\frac{11}{3}mg$

【跟踪训练】:

1.（1）3m/s，1.2m；（2）4N

【详解】（1）由题意可知，小球落到斜面上并沿斜面下滑，说明此时小球速度方向与斜面平行，否则小球会弹起，所以有 $v_y=v_1\tan 53^\circ$，又 $v_y^2=2gh$，代入数据得 $v_y=4\text{m/s}$，$v_1=3\text{m/s}$

故绳断时球的小球做平抛运动的水平速度为 3m/s。

由于小球在竖直方向做自由落体运动，有 $v_y=gt_1$，得 $t_1=\frac{v_y}{g}=0.4\text{s}$

则水平位移为 $s=v_1t_1=3\times 0.4\text{m}=1.2\text{m}$

（2）由牛顿第二定律 $F-mg=\frac{mv_1^2}{r}$，解得 $F=4\text{N}$

2.（1）$\sqrt{2gd}$，（2）$\frac{11}{3}mg$，（3）$\frac{d}{2}$，$\frac{2\sqrt{3}}{3}d$

【详解】（1）设绳断后球飞行时间为 t，由平抛运动规律，竖直方向有 $\frac{1}{4}d=\frac{1}{2}gt^2$

水平方向有 $d=v_1t$，联立解得 $v_1=\sqrt{2gd}$

（2）设绳能承受的最大拉力大小为 F，这也是球受到绳的最大拉力大小。球做圆周运动的半径为 $R=\frac{3}{4}d$

根据牛顿第二定律有 $F-mg=m\frac{v_1^2}{R}$，解得 $F=\frac{11}{3}mg$

（3）设绳长为 l，绳断时球的速度大小为 v_3，绳承受的最大拉力不变，根据牛顿第二定律有 $F-mg=m\frac{v_3^2}{l}$

得 $v_3=\sqrt{\frac{8gl}{3}}$

绳断后球做平抛运动，竖直位移为 $y=d-l$

水平位移为 x，时间为 t_1，根据平抛运动规律，竖直方向有 $d-l=\frac{1}{2}gt_1^2$

水平方向有 $x=v_3t_1$ 联立解得 $x=4\sqrt{\frac{l(d-l)}{3}}$

根据一元二次方程的特点，当 $l=\frac{d}{2}$ 时，x 有极大值，为 $x_{max}=\frac{2\sqrt{3}}{3}d$

3.（1）$L\sqrt{\frac{g}{2H}}$，$mg\left(1+\frac{L^2}{2HR}\right)$，方向竖直向下；（2）$\frac{15}{16}H$

【详解】（1）小球运动到 Q 点后做平抛运动，根据平抛运动的规律有 $L=vt$，$H=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $v=L\sqrt{\frac{g}{2H}}$

小球在 Q 点，根据牛顿第二定律有 $F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$

根据牛顿第三定律，则小球在 Q 点对轨道的压力 $F_N'=F_N$，解得 $F_N'=mg\left(1+\frac{L^2}{2HR}\right)$，方向竖直向下。

（2）根据平抛运动规律有 $\frac{L}{4}=vt_1$，$H_1=\frac{1}{2}gt_1^2$；解得 $H_1=\frac{H}{16}$

所以距 Q 水平距离为 $\frac{L}{4}$ 的圆环中心离底板的高度 $\Delta H=H-H_1=\frac{15}{16}H$

第五讲：探究向心力的影响因素

题型一：实验原型

【精选例题】

1．(1)C；(2)D；(3)B

【详解】（1）在研究向心力 F 的大小与质量 m、角速度 ω 和半径 r 之间的关系时，需要保持质量 m、角速度 ω 和半径 r 中的两个量不变，研究向心力 F 与其它一个量的关系，因此采用的是控制变量法。故选 C。

（2）图中所示，若两个钢球质量和运动半径相等，根据控制变量法可知，研究的是向心力 F 的大小与角速度 ω 的关系。故选 D。

（3）根据 $F=m\omega^2 r$ 可知，若两个钢球质量 m 和运动半径 r 相等，所受向心力的比值为 4∶1，则两轮的角速度之比为 2∶1，根据 $v=\omega R$ 可知，因为变速塔轮 1 和变速塔轮 2 是皮带传动，边缘线速度相等，则与皮带连接的变速塔轮 1 和变速塔轮 2 的半径之比为 1∶2。故选 B。

2．(1)C；（2）B；(3)　　一　　B 和 C　　2:1；(4)B

【详解】（1）在该实验中，通过控制质量、半径、角速度中两个物理量相同，探究向心力与另外一个物理量之间的关系，采用的科学方法是控制变量法。

A．探究平抛运动的特点，例如两球同时落地，两球在竖直方向上的运动效果相同，应用了等效思想，故 A 错误；

B．探究两个互成角度的力的合成规律应用了等效替代法，故 B 错误；

D．探究加速度与物体受力、物体质量的关系，应用了控制变量法，故 C 正确。

故选 C。

（2）在某步实验操作中，小军同学选用了乙图中的第三层，两球转动的角速度不同，则应控制两球的质量和半径相同，所以保持两小球质量和做圆周运动半径分别相同的情况下，探究向心力的大小与角速度大小的关系。故选 B。

（3）[1][2]变速塔轮边缘处的线速度相等，根据 $v=\omega r$ 在探究向心力大小与半径的关系时，需控制小球质量、角速度相同，运动半径不同，故需要将传动皮带调至第一层塔轮，将两个质量相等的钢球分别放在 B 和 C 位置。

[3]根据题意可知左右两球所受向心大小之比为2:1。

（4）该方法可行，用手机拍照后再通过照片读出两边标尺露出的格数，这样可以准确读出某一时刻两边标尺露出的格数，并通过格数得出向心力与角速度的关系，手柄转速变化时，两边标尺露出的格数同时变化，仍可通过格数得出向心力与角速度的关系，故不需要匀速转动手柄。

故选 B。

【跟踪训练】

1．(1)C；(2)1:2；(3)D；(4)A；(5)C

【详解】（1）在研究向心力的大小 F 与质量 m、角速度 ω 和半径 r 之间的关系时主要用到了物理学中的控制变量法，即研究向心力的大小 F 与质量 m 的关系时，需要保证角速度 ω 和半径 r 不变。故选 C。

（2）若两个钢球的质量和运动半径相等，图中标尺上黑白相间的等分格显示出 A、C 位置两钢球所受向心力的

比值为 1:4，即 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}=\frac{1}{4}$，则塔轮 1 和塔轮 2 转动的角速度之比为 $\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{1}{2}$

（3）根据 $F=m\omega^2 r$ 可知，为了能简单明了地观察出向心力与角速度的关系，最适合做的图像是 F-ω^2。故选 D。

（4）若将球 1、2 分别放在挡板 B、C 位置，将皮带与轮①和轮④相连，两个小球的质量相等，角速度相等，是在研究向心力的大小 F 与转动半径 r 的关系。故选 A。

（5）若将球 1、3 分别放在挡板 B、C 位置，可知转动半径之比为 2:1，质量之比为 2:1，标尺 1 和标尺 2 的比值即向心力大小为 1:4，根据 $F=m\omega^2 r$，可知转动的角速度之比为 1:4，根据可知与皮带连接的变速塔轮③和⑥。故选 C。

2．(1)12.000；(2)6.5；(3)0.59/0.60

【详解】（1）圆盘的直径为 $d=120\text{mm}+0\times0.05\text{mm}=120.00\text{mm}=12.000\text{cm}$

（2）相邻两计数点的时间间隔为 $T=5\times\frac{1}{f}=5\times\frac{1}{50}\text{s}=0.1\text{s}$

根据匀变速直线运动中间时刻的瞬时速度等于该过程平均速度，

打下计数点 D 时的速度为 $v_D=\frac{x_{CE}}{2T}=\frac{13.19-5.41}{2\times0.1}\times10^{-2}\text{m/s}=0.389\text{m/s}$

圆盘转动的角速度大小为 $\omega=\frac{v_D}{r}=\frac{0.389}{\frac{1}{2}\times12.000\times10^{-2}}\text{rad/s}\approx 6.5\text{rad/s}$

（3）根据逐差法求出纸带运动的加速度大小为 $a=\frac{x_{DF}-x_{AC}}{2\times3T^2}=\frac{18.00-9.00-5.41}{6\times0.1^2}\times10^{-2}\text{m/s}^2\approx0.60\text{m/s}^2$

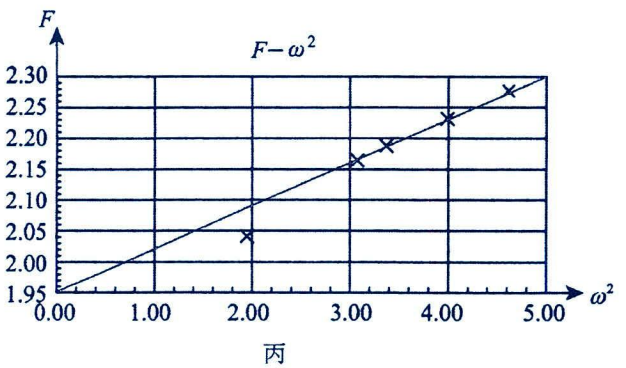
3．(1)A；(2)　　见解析　　0.20　　3.5

【详解】（1）AB．手机经过最低点时，速度达到峰值，根据图乙可知，在 0 到 t_0 时间段内，手机 20 次通过最低点，故 A 正确，B 错误；

C．根据图乙可知，角速度的峰值随时间减小，表明手机在最低点的速度逐渐减小，即手机经过最低点的动能减小，可知，手机在整个摆动过程中，机械能减小，故 C 错误。

故选 A。

（2）[1]将图中的数据点用平滑直线连接起来，如图所示



丙

[2][3]手机在最低点，对手机进行分析，

根据牛顿第二定律有 $F-mg=m\omega^2R$

则有 $F=m\omega^2R+mg$

几何图形有 $mg=1.95\text{N}$，$mR=\frac{2.30-1.95}{5.00}\text{kg}\cdot\text{m}$

解得 m=0.20kg，$R=3.5\text{m}$

题型二：实验创新

【精选例题】

1．(1)　$\frac{d}{\Delta t}$　$\frac{t}{n-1}$　$\frac{r}{H}Mg$；(2)$2\pi\sqrt{\frac{H}{g}}$

【详解】(1) [1]小球直径为 d，通过光电门的时间为 Δt，则小球在水平面内做匀速圆周运动的线速度大小 $v=\frac{d}{\Delta t}$

[2]从小球某次通过光电门开始计时，若测得连续 n 次（n 从 1 开始计数）通过光电门的时间间隔为 t，则小球做圆周运动的周期 $T=\frac{t}{n-1}$

[3]若测得细圆管下管口与圆弧轨迹圆心间的高度差为 H，圆弧轨迹的半径为 r，根据几何关系有 $\frac{F_n}{Mg}=\frac{r}{H}$

解得小球受到的向心力 $F_n=\frac{r}{H}Mg$

(2) 小球受到的向心力 $F_n=Mr\frac{4\pi^2}{T^2}=\frac{r}{H}Mg$；解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{H}{g}}$

2．(1)　无　$\cos\alpha-2\cos\beta$；(2) $g\tan\alpha=\omega^2 r_1$；(3)=

【详解】(1) [1] 对甲分析有 $F_{n甲}=mg\tan\alpha=m\omega^2 r_1$；即 $g\tan\alpha=\omega^2 r_1$①

对乙有 $F_{n乙}=2mg\tan\beta=2m\omega^2 r_2$；即 $g\tan\beta=\omega^2 r_2$②；联立①②可知 $\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=\frac{r_1}{r_2}$③

因为 $r_1<r_2$，可得 $\tan\alpha<\tan\beta$；即 $\alpha<\beta$；由①②可知α、β角与两球的质量是否相等无关；

[2]由几何关系 $r_1=d+L\sin\alpha$；$\sin\alpha=\frac{r_1-d}{L}$

对质量为 m 的小球 $mg\tan\alpha=m\omega^2(d+L\sin\alpha)$；$\frac{g}{\omega^2}=\frac{d}{\tan\alpha}+2L\cos\alpha$

同理对质量为 $2m$ 的小球也可以得到 $\frac{g}{\omega^2}=\frac{d}{\tan\beta}+2L\cos\beta$

综合可得 $\frac{d}{L\tan\beta}-\frac{d}{L\tan\alpha}==\cos\alpha-2\cos\beta$

(2) 若向心力公式成立 $mg\tan\alpha=m\omega^2 r_1$，得 $g\tan\alpha=\omega^2 r_1$

(3) 由牛顿第二定律 $mg\tan\alpha=m\omega^2 r_1$；得 $\frac{g}{\omega^2}=\frac{r_1}{\tan\alpha}=h$

两球ω相同，则 h 相同，即 $O_1A=O_2B$；所以 $O_1O_2=AB=\frac{g}{\omega^2}-O_2A$

3．　$\frac{2t}{n}$　上移　$h-T^2$　$4\pi^2 k$

【详解】(3) [1]由于钢球运动一周的过程中，光电传感器接收到 2 次信号，则钢球运动的周期 $T=\frac{2t}{n}$

(4) [2]若适当调大电机的转速，则钢球向上运动，则激光笔应上移；

(5) [3][4]设当某时刻钢球所在位置与凹槽圆心位置的连线与竖直方向夹角为θ，凹槽半径为 R，则对钢球分析可知 $mg\tan\theta=m\frac{4\pi^2}{T^2}R\sin\theta$；由几何关系 $\cos\theta=\frac{h-h_0}{R}$；可知 $h=\frac{g}{4\pi^2}T^2+h_0$

则将得到的多组T和h的数据记录到表格中，并绘制$h-T^2$图像，根据图像的斜率k可得$k=\frac{g}{4\pi^2}$

可以进一步求出当地重力加速度$g=4\pi^2k$

【跟踪训练】

1．(1)　$\frac{2r}{t_0}$　$\frac{4r^2}{Rt_0^2}$；(2)$\frac{1}{t^2}$；(3)　mg　$\frac{4mr^2}{R}$　速度平方

【详解】（1）[1]小球经过最低点时的线速度大小为$v=\frac{2r}{t_0}$；[2]加速度为$a=\frac{v^2}{R}=\frac{4r^2}{Rt_0^2}$

（2）根据图像猜测图乙是抛物线，因此应尝试作$F-\frac{1}{t^2}$图像。

（3）[1][2][3]由$F-mg=m\frac{(\frac{2r}{t})^2}{R}$；得到$F=mg+m\frac{4r^2}{R}\cdot\frac{1}{t^2}$

因此如果图像与纵轴的截距等于mg，图像的斜率为$m\frac{4r^2}{R}$，则表明在质量、半径一定时，向心力与速度的平方成正比。

2．(1)$\frac{d}{r\Delta t}$；(2)　$m=\frac{kr}{d^2}$　滑块受到摩擦力阻力

【详解】（1）遮光片经过光电门时的遮光时间极短，则圆周运动的线速度为$v=\frac{d}{\Delta t}$；角速度为$\omega=\frac{v}{r}=\frac{d}{r\Delta t}$

（2）[1]滑块的向心力为$F=m\omega^2r$；解得$F=m\frac{d^2}{r}(\frac{1}{\Delta t})^2$

结合直线方程$F=k\frac{1}{\Delta t^2}-b$，可知$m\frac{d^2}{r}=k$；解得滑块的质量为$m=\frac{kr}{d^2}$

[2]由直线方程可知当$F=0$时，$\frac{1}{\Delta t^2}\neq0$，即图像不过坐标原点的原因是：滑块和水平杆之间有摩擦力，开始一段时间，摩擦力提供向心力，当摩擦力达到最大值后，才存在绳子拉力；故b产生的原因为滑块受到摩擦力阻力。

3．(1)控制变量法；(2)圆柱体做匀速圆周运动的半径r；(3)　$\frac{m}{r}$　mr　不变

【详解】（1）物理学中，该方法为控制变量法。

（2）由向心力公式$F=\frac{mv^2}{r}$，可知在现有条件下，只需要测量出圆柱体做匀速圆周运动的半径即可。

（3）[1][2] 由$F=\frac{mv^2}{r}$与$F=m\omega^2r$，不难发现$F-v^2$图像与$F-\omega^2$图像斜率分别为$\frac{m}{r}$与mr；

[3] 由于圆盘与滑杆均不光滑，即有摩擦力的影响，故图甲与图乙向心力表达式为$F=\frac{mv^2}{r}-\mu mg$

$F=m\omega^2r-\mu mg$；因此斜率并没有改变。

综合练习（二）

1．D

【详解】A．若加速度和速度方向始终相同时，物体做加速直线运动，加速度变小只是速度增加变慢，故 A 错误；

B．物体只有做匀速圆周运动时，所受的合力提供向心力，合力一定指向圆心，故 B 错误；

C．曲线运动的加速度可能恒定，如平抛运动，故 C 错误；

D．如果做非匀变速直线运动的平均速度可以不等于初末速度和的一半，但所有直线运动的平均速度一定等于位移与时间的比值，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】A．做匀速圆周运动的物体受到的合力一定指向圆心，做变速圆周运动的物体所受合力不指向圆心，故 A 错误；

B．做匀速圆周运动的物体的线速度的大小不变，线速度的方向时刻在改变，故 B 错误；

C．做匀速圆周运动的物体向心加速度始终指向圆心，故 C 正确；

D．做匀速圆周运动的物体的合力始终指向圆心，大小不变，方向时刻在变化，故 D 错误。

故选 C。

3．A

【详解】A．由 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$ 可知，角速度越大的圆周运动，周期越小，故 A 正确；

B．由 $v=\omega r$ 可知，角速度一定的情况下，半径越大的圆周运动，线速度也越大，故 B 错误；

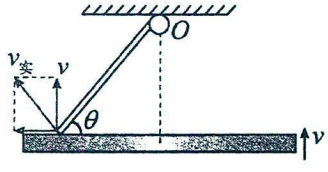
C．由 $a=\dfrac{v^2}{r}$ 可知，半径一定的情况下，线速度越大的圆周运动，向心加速度也越大，故 C 错误；

D．由 $a=\omega^2 r$ 可知，半径一定的情况下，角速度越大的圆周运动，向心加速度也越大，故 D 错误。

故选 A。

4．A

【详解】棒与平台接触点的实际运动即合运动，方向垂直于棒指向左上方，如图所示



合速度为 $v_{实}=\omega L$，竖直向上的速度分量等于平台上升的速度，即 $\omega L\cos\theta=v$，当升降平台匀速上升时，θ 减小，可判断知 $\cos\theta$ 增大，ω 减小。

故选 A。

5．B

【详解】C．硬币从 a 到 b 的过程中，只有重力对硬币做正功，其他外力对硬币不做功，根据动能定理可知线速度大小 $v_a<v_b$，故 C 错误；

B．由于 $r_b<r_a$ 且 $v_a<v_b$，则根据 $v=r\omega$ 可知，$\omega_a<\omega_b$，故 B 正确；

AD．设募捐箱内壁曲面的切线与水平方向的夹角为 θ，

则根据牛顿第二定律和力的合成与分解可得 $F=ma=mg\tan\theta$

因为 $\theta_a<\theta_b$，所以 $a_a<a_b$，$F_a<F_b$，故 AD 错误。

故选 B。

6．B

【详解】根据 $v^2=2al$，$v=\omega R$，联立解得 $a=\dfrac{\omega^2R^2}{2l}$，故选 B。

7．C

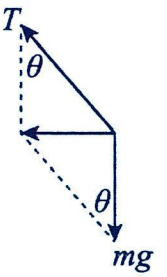
【详解】根据匀速圆周运动的规律可得 $T=\dfrac{1}{n}=0.02\text{s}$，$\omega=2\pi n=100\pi\text{rad/s}\approx 314\text{rad/s}$，$v=2\pi nr=\pi\text{m/s}\approx 3\text{m/s}$

$a_n=\omega^2r=(2\pi n)^2r=100\pi^2\text{m/s}^2$

故选 C。

8．C

【详解】A．座椅受力如图所示，由平衡条件可得，在竖直方向上 $mg=T\cos\theta$



绳子拉力为 $T=\dfrac{mg}{\cos 37^\circ}=\dfrac{60\times 10}{0.8}\text{N}=750\text{N}$，故 A 错误；

B．由牛顿第二定律得 $mg\tan\theta=\dfrac{mv^2}{d+l\sin\theta}$

线速度为 $v=\sqrt{g(d+l\sin 37^\circ)\tan 37^\circ}=\sqrt{10\times(24+10\times 0.6)\times 0.75}\text{m/s}=15\text{m/s}$，故 B 错误；

C．转盘的角速度与座椅的角速度相等，角速度 $\omega=\dfrac{v}{r}=\dfrac{v}{d+l\sin\theta}=\dfrac{15}{24+10\times 0.6}\text{rad/s}=0.5\text{rad/s}$，故 C 正确；

D．座椅转一圈的时间，即周期 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\times 3.14}{0.5}\text{s}=12.56\text{s}$，故 D 错误。

故选 C。

9．A

【详解】a、b 两点同轴转动，角速度大小相等；a、b 到 O 的距离之比为 2:1，根据 $v=\omega r$，$a=\omega^2r$

可得 a、b 的线速度大小之比为 2:1，a、b 的向心加速度大小之比为 2:1。，故选 A。

10．B

【详解】角速度 $\omega=2\pi n$，则主动轮的线速度 $v_1=\dfrac{D_1\omega_1}{2}=\pi D_1n_1$，从动轮的线速度 $v_2=\dfrac{D_2}{2}\omega_2=\pi D_2n_2$

因为主动轮和从动轮的线速度相等，则 $\pi D_1n_1=\pi D_2n_2$，所以 $n_2=\dfrac{D_1n_1}{D_2}$

故选 B。

11．C

【详解】A．游客做匀速圆周运动，加速度始终指向圆心，所以游客处于摩天轮圆心等高处上方时，加速度向下或者有向下的分量，游客处于失重状态，当游客处于圆心等高处下方时，加速度向上或者有向上的分量，游客处于超重状态，故 A 错误；

B．改造前吊舱的线速度约为 $v=\dfrac{2\pi r}{T}=\dfrac{\pi\times 31}{4\times 60}\text{m/s}=0.4\text{m/s}$，故 B 错误；

C．改造后吊舱的线速度约为 $v'=\dfrac{2\pi r'}{T'}=\dfrac{\pi\times 46.5}{8\times 60}\text{m/s}=0.3\text{m/s}$，故 C 正确；

D．根据 $a=\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$ 改造前、后吊舱加速度的比值约为 $\dfrac{a}{a'}=\dfrac{rT'^2}{r'T^2}=\dfrac{8}{3}$，故 D 错误。

故选 C。

12．B

【详解】A．在 B 点由牛顿第二定律有 $mg-F_{NB}=m\frac{v^2}{r_2}$，解得 $F_{NB}=mg-m\frac{v^2}{r_2}<mg$ 知在 B 点摩托车对赛道的压力小于摩托车的重力，故 A 错误；

BC．根据题意，摩托车匀速率运动过程中，由 $a=\frac{v^2}{r}$，明显 $r_1<r_2$，得 $a_A>a_B$

由向心力 $F=ma$，得 $F_A>F_B$，故 B 正确，C 错误；

D．在 A 点有 $F_{NA}-mg=\frac{mv^2}{r_1}$，解得 $F_{NA}=mg+\frac{mv^2}{r_1}>mg$，则在 A 点摩托车处于超重状态，故 D 错误。

故选 B。

13．C

【详解】A．两轮边缘的线速度相等，而 $r_{甲}:r_{乙}=3:1$

根据 $v=r\omega$ 可知，滑块 A 和在与轮盘相对静止时，角速度之比为 1:3，故 A 错误；

B．因为 $R_A=2R_B$，根据 $a=r\omega^2$ 可得滑块 A 和在与轮盘相对静止时，向心加速度之比为 2:9，故 B 错误；

CD．转速增加后，假设滑块 B 先发生滑动，则对 B，$\mu m_B g=m_B a_B$

此时对 A $m_A a_A=\frac{2}{9}m_A a_B=\frac{2}{9}\mu m_A g<\mu m_A g$

则此时滑块 A 还没有产生滑动，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

14．B

【详解】AB．子弹在圆筒中运动的时间与自由下落高度 h 的时间相同，由 $h=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

则 $v_0=\frac{d}{t}=d\sqrt{\frac{g}{2h}}$，故 A 正确，不符合题意；B 错误，符合题意；

CD．在此段时间内圆筒转过的圈数为半圈的奇数倍，即 $\omega t=(2n+1)\pi(n=0,1,2,\cdots)$

所以 $\omega=\frac{(2n+1)\pi}{t}=(2n+1)\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}(n=0,1,2,\cdots)$

当 $n=0$ 时 $\omega=\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$；当 $n=1$ 时 $\omega=3\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$，故 CD 正确，不符合题意。

故选 B。

15．D

【详解】A 轮、B 轮靠摩擦传动，则两轮边缘点的线速度大小相等，故 $v_a:v_b=1:1$

根据 $v=R\omega$ 可得 $\omega_a:\omega_b=R_B:R_A=3:2$；根据 $\omega=2\pi n$ 可得 $n_a:n_b=3:2$

根据 $a_n=\frac{v^2}{R}$ 可得 $a_a:a_b=R_B:R_A=3:2$

B 轮、C 轮共轴转动，角速度相等，故 $\omega_b:\omega_c=1:1$

根据 $v=R\omega$ 可得 $v_b:v_c=R_B:R_C=3:2$；根据 $\omega=2\pi n$ 可得 $n_b:n_c=1:1$

根据 $a_n=\omega^2R$ 可得 $a_b:a_c=R_B:R_C=3:2$

综上可得 $v_a:v_b:v_c=3:3:2$；$\omega_a:\omega_b:\omega_c=3:2:2$，$n_a:n_b:n_c=3:2:2$；$a_a:a_b:a_c=9:6:4$

故选 D。

16. (1)$\frac{\pi n}{2}\sqrt{\frac{5g}{r}}(n=1、2、3\cdots\cdots)$；(2)$2.4r$

【详解】（1）由题意可知两个平抛运动相同，平抛运动的竖直位移均为 $h=r+r\cos53^\circ=1.6r$

由 $h=\frac{1}{2}gt^2$，可得平抛运动的时间 $t=4\sqrt{\frac{r}{5g}}$，设甲图圆盘的角速度为 $\omega_{甲}$，则其周期 $T_{甲}=\frac{2\pi}{\omega_{甲}}$

在时间 t 内，甲图圆盘转 n 转，则有 $nT_{甲}=t$，综合可得 $\omega_{甲}=\frac{\pi n}{2}\sqrt{\frac{5g}{r}}(n=1、2、3\cdots\cdots)$

（2）设乙图圆盘的角速度为 $\omega_{乙}$，平抛运动在 E 点的速度 v_E，圆盘在 E 点的线速度等于 v_E，则有 $v_E=\omega_{乙}r$

把 v_E 分别沿水平和竖直方向分解 $v_x=v_E\cos53^\circ$，$v_y=v_E\sin53^\circ$

平抛运动在竖直方向做自由落体运动 $2gh=v_y^2$

结合 $h=1.6r$，解得 $v_y=4\sqrt{\frac{gr}{5}}$，$v_E=\sqrt{5gr}$，$v_x=3\sqrt{\frac{gr}{5}}$，$\omega_{乙}=\sqrt{\frac{5g}{r}}$

平抛运动的水平位移 $x=v_xt$；结合 $t=4\sqrt{\frac{r}{5g}}$，解得 $x=2.4r$

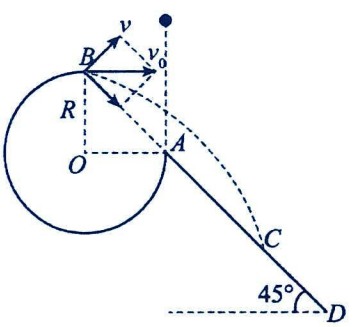
17. (1)$2\sqrt{gR}$，(2)$4\sqrt{\frac{R}{g}}$

【详解】（1）在 B 点，重力和轨道的支持力提供向心力，有 $mg+F_N=m\frac{v_0^2}{R}$，解得 $v_0=2\sqrt{gR}$

（2）小球离开 B 点后做平抛运动，小球落到 C 点时，如图所示

根据平抛运动规律得 $\tan45^\circ=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$

解得 $t=4\sqrt{\frac{R}{g}}$



第六讲：生活中的圆周运动

考点一：汽车过桥模型

题型一：凸形桥

【精选例题】：B　　A

1．B

【详解】AB．汽车过桥最高点时，加速度方向向下，汽车处于失重状态，汽车对桥的压力小于汽车的重力，故A错误，B正确；

CD．汽车做圆周运动所需要的向心力不为零，汽车过桥最高点时所需要的向心力方向指向圆心，即方向竖直向下，故CD错误。

故选B。

2．A

【详解】ABC．根据牛顿第二定律汽车在拱桥最高点 $mg-N=m\frac{v^2}{R}$

拱桥对汽车的支持力为 $N=mg-m\frac{v^2}{R}$

根据牛顿第三定律知，汽车对拱桥面的压力为 $N'=mg-m\frac{v^2}{R}<mg$,处于失重状态，故A正确，BC错误；

D．汽车在离开桥顶的临界状态时 $N=0$;根据 $mg=m\frac{v^2}{R}$

解得汽车做离心运动离开桥顶时的临界速度为 $\sqrt{gR}$，故当行驶速度大于 $\sqrt{gR}$ 时，汽车会腾空，故D错误。

故选A。

【跟踪训练】：AB　　2．(1)1.0×10^4 N;(2)8.0×10^3 N;(3)$10\sqrt{5}$m/s

1．AB

【详解】根据牛顿第三定律得 $F_N=\frac{3}{4}mg$

根据第二定律得 $mg-F_N=m\frac{v^2}{r}$ ； $mg=m\frac{v'^2}{r}$ ；解得 $v'=2v$

汽车的速度小于2v 时，能安全通过该拱形桥（不脱离地面）。

故选AB。

2．(1)1.0×10^4 N；(2)8.0×10^3 N；(3)$10\sqrt{5}$m/s

【详解】（1）汽车静止在弧形拱桥顶部，由平衡条件得 $F_N=mg=1.0\times10^4$N

由牛顿第三定律得，汽车对圆弧形拱桥的压力是 1.0×10^4 N。

（2）汽车以10 m/s的速度经过拱桥的顶部，由牛顿第二定律得 $mg-F_N=m\frac{v^2}{R}$；解得 $F_N=8.0\times10^3$ N

故圆弧形拱桥对汽车的支持力是 8.0×10^3 N。

（3）设汽车以速度 v_1 通过拱桥的顶部时，对圆弧形拱桥的压力恰好为零，由牛顿第二定律得 $mg=m\frac{v_1^2}{R}$

解得$v_1=10\sqrt{5}\text{m/s}$

题型二：凹形桥

【精选例题】：AC　　AB

1．AC

【详解】根据$F_N-mg=ma=m\omega^2r=m\frac{v^2}{r}$；结合牛顿第三定律可知，汽车的角速度越大，对桥底的压力越大；汽车的速度越大，对桥底的压力越大；汽车的向心加速度越大，对桥底的压力越大。

故选 AC。

2．AB

【详解】A．图中 B 点所在位置，将其近似看为半径为 R 的圆周上的一小段圆弧，车通过该位置时，由沿半径方向的合力提供向心力，沿半径方向向上的合力不为 0，车有向上的加速度，此时，车辆处于超重状态，故 A 正确；

B．结合上述，根据牛顿第二定律有$mg-N_A=m\frac{v^2}{R_A}$，$N_B-mg=m\frac{v^2}{R_B}$；解得$N_A=mg-m\frac{v^2}{R_A}$，$N_B=mg+m\frac{v^2}{R_B}$

可知$N_A<N_B$可知，车辆若以相同的速率通过 A、B 两点，在行驶通过 B 点时更容易爆胎，故 B 正确；

C．结合上述可知，爆胎的原因是因为轮胎所受地面的弹力过大，与不同路面的动摩擦因数无关，故 C 错误；

D．结合上述，通过凹地时容易爆胎，为了减小通过凹地时轮胎所受的弹力，应减速通过，故 D 错误。

故选 AB。

【跟踪训练】：B　　2．（1）$v_m=50\text{m/s}$；（2）$v_B=20\text{m/s}$

1．B

【详解】A．汽车在 A 处$mg-F_{NA}=m\frac{v^2}{\rho_1}$；得$F_{NA}=mg-m\frac{v^2}{\rho_1}$

汽车在 A 处受到的摩擦力大小$F_f=\mu F_{NA}=\mu(mg-m\frac{v^2}{\rho_1})$；故 A 错误；

B．汽车经过 A 处时，加速度向下，处于失重状态，经过 C 处时，加速度向上，处于超重状态，故 B 正确；

C．要使车安全行驶，则不得离开地面，故经过 A 处时恰不离开地面有$mg=\frac{mv^2}{\rho_1}$，

即安全行驶的速度不得超过$\sqrt{g\rho_1}$，汽车在 A 点的行驶速度大于$\sqrt{g\rho_1}$时，汽车将做平抛运动，故 C 错误；

D．该车以恒定的速率v，汽车所受向心力$F_n=m\frac{v^2}{\rho}$B 处的曲率半径最大，汽车经过 B 处时所受的向心力最小，故 D 错误。

故选 B。

2．（1）$v_{\mathrm{m}}=50\mathrm{m/s}$；（2）$v_B=20\mathrm{m/s}$

【详解】（1）汽车在凹形路面最底端受到重力和支持力作用，

根据牛顿第二定律有$F-mg=\frac{mv_A^2}{r}$，代入数据，解得$r=40\mathrm{m}$

同理，由$F_{\mathrm{m}}-mg=\frac{mv_{\mathrm{m}}^2}{r}$；解得$v_{\mathrm{m}}=50\mathrm{m/s}$

（2）若汽车在最高点B对路面没有压力时，只受到重力作用提供向心力，

则有$mg=\frac{mv_B^2}{r}$；代入数据，解得$v_B=20\mathrm{m/s}$

考点二：车转弯模型

题型一：汽车水平路面转弯

【精选例题】：D　　AC　　C　　BC

1．D

【详解】A．摩托车车身与运动员均向右倾斜时，相对地面有向外运动的趋势，摩托车在指向弯路内侧的静摩擦力f(充当向心力)的作用下做圆周运动，故摩托车正在向运动员的右侧转弯，故A错误；

B．摩托车受到重力、支持力、摩擦力作用，摩擦力提供向心力，故B错误；

C．摩托车在水平赛道转弯，重力与支持力平衡，保持不变，故与摩托车的速度大小无关，故C错误；

D．下雨天，动摩擦因数减小，最大静摩擦力减小，根据$f_{\mathrm{m}}=m\frac{v_{\mathrm{m}}^2}{r}$，可知摩托车转弯的最大限制速度应减小，故D正确。

故选D。

2．AC

【详解】A．司机和副驾驶座上的乘客始终与汽车保持相对静止，司机和乘客具有相同的角速度。故A正确；

B．因汽车做减速圆周运动，汽车所受的合力分解为指向圆心的向心力和与运动方向相反使速率减小的切向力，故合力的方向一定不指向圆心。故B错误；

C．乘汽车对乘客的作用力有竖直方向的支持力和水平方向使乘客做减速圆周运动合力，竖直方向的支持力与乘客所受的重力平衡，则汽车对乘客两个方向的力的合力一定大于乘客所受的重力。故C正确；

D．乘客和司机角速度相同，由牛顿第二定律有$F=m\omega^2r$，右转弯时乘客的半径小，但因不确定乘客和司机的质量大小关系，故汽车对乘客的作用力和对司机的作用力大小关系无法确定。故D错误。

故选AC。

3．C

【详解】A．汽车在转弯过程中受到的摩擦力方向在时刻变化，所以不是匀变速曲线运动，故A错误；

B．汽车转弯过程中靠静摩擦力提供向心力，又因为最大静摩擦力等于滑动摩擦力，有$\mu mg=m\frac{v_{\mathrm{m}}^2}{r}$

代入数据解得$v_{\mathrm{m}}=\sqrt{18}\mathrm{m/s}\approx15\mathrm{km/h}$，故B错误；

C．汽车泊车过程的位移大小为$x=\sqrt{(6+5)^2+6^2}\mathrm{m}\approx12.5\mathrm{m}$

则汽车泊车的平均速度约为$\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{12.5}{4}\text{m/s}\approx1.13\text{km/h}$，故 C 正确；

D．汽车在泊车过程中摩擦力不仅要改变汽车的速度大小，还要改变汽车的速度方向，所以摩擦力的方向不是与总与运动方向相反，会有一段过程与速度成钝角（大于 90°，小于 180°），故 D 错误。

故选 C。

4．BC

【详解】AB．汽车通过此圆弧形弯道时做匀速圆周运动，轨道半径 R=l20m，运动速率 v=72km/h=20m/s

向心加速度为$a=\frac{v^2}{R}=3.3\text{m/s}^2$；角速度$\omega=\frac{v}{R}=0.17\text{rad/s}$；故 A 错误；B 正确；

C．以汽车为研究对象，当路面对轮胎的摩擦力指向内侧且达到径向最大静摩擦力时，此时汽车的速率为安全通过圆弧形弯道的最大速率 v_m。设汽车的质量为 m，

在水平方向上根据牛顿第二定律得$f_m=m\frac{v_m^2}{R}$；在竖直方向有 F_N=mg

最大静摩擦力为正压力的 0.8 倍，即$f_m=kF_N$；联立，解得$v_m=\sqrt{kgR}=111.6\text{km/h}$

所以晴天时，汽车以 100km/h 的速率可以安全通过此圆弧形弯道。故 C 正确；

D．下雨时，路面对轮胎的最大静摩擦力变为正压力的 0.4 倍，有$v'_m=\sqrt{k'gR}=78.8\text{km/h}>60\text{km/h}$

所以汽车安全通过此圆弧形弯道而不做离心运动。故 D 错误。

故选 BC。

【跟踪训练】：C　　A　　D　　A

1．C

【详解】AB．拐弯过程中汽车各部位周期相等，因此角速度相等，根据$v=\omega r$可知，汽车外侧的车灯线速度大，且线速度方向不断变化，该汽车速度发生了变化。故 AB 错误；

C．依题意，汽车所受沿半径方向的静摩擦力提供向心力，由向心力公式$F_{向}=\frac{mv^2}{r}$可知，若速率不变，则跟公路内道相比，汽车在外道行驶时所需的向心力较小，即摩擦力较小。故 C 正确；

D．　若速率不变，汽车在同车道上行驶时所受的向心力大小不变，即摩擦力不变。故 D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】汽车在水平路面上以速率v通过半径为r的弯道，

地面的摩擦力已达到最大，由牛顿第二定律则有$F_f=m\frac{v^2}{r}$；

当该汽车通过半径为$2r$的弯道时，汽车转弯的最大速率为$m\frac{v_m^2}{2r}=m\frac{v^2}{r}$；$v_m=\sqrt{2v^2}=\sqrt{2}v$

故选 A。

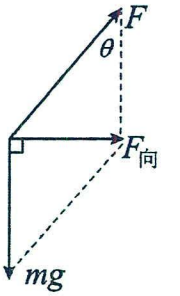
3．D

【详解】ABC．对小球受力分析，有$F\cos37°=mg$；$F\sin37°=ma_n=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r$

解得$a_n=7.5\text{m/s}^2$，$v=15\text{m/s}$，$\omega=0.5\text{rad/s}$；故 ABC 错误；

D．对汽车受力分析，根据牛顿第二定律有 $f_{\max}=\frac{4}{5}m'g=m'\frac{v_{\max}^2}{r}$；解得 $v_{\max}=4\sqrt{15}\,\mathrm{m/s}$，故 D 正确。

故选 D。



4．A

【详解】自行车（含该同学）受力如图所示

由牛顿第二定律得 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$；解得 $\tan q=\frac{5}{6}$

故选 A。

题型二：汽车倾斜路面转弯

【精选例题】：C　　B　　C

1．C

【详解】A．路面应建成外侧高、内侧低的形式，以规定速度行驶时，汽车的重力和路面对汽车的支持力的合力提供汽车做圆周运动的向心力，故 A 错误；

B．车速低于 v_0，所需的向心力减小，此时摩擦力指向外侧，减小车速汽车不一定会向内侧滑动，故 B 错误；

C．车速高于 v_0 时，径向摩擦力指向内侧，只要速度不超过某一限度，汽车就不会向外侧滑动，故 C 正确；

D．由牛顿第二定律可得 $mg\tan\theta=\frac{mv_0^2}{R}$；求出在弯道处的规定速度为 $v_0=\sqrt{gR\tan\theta}$

可知与路面是否结冰无关，故当路面结冰与未结冰时相比，v_0 的值不变，故 D 错误。

故选 C。

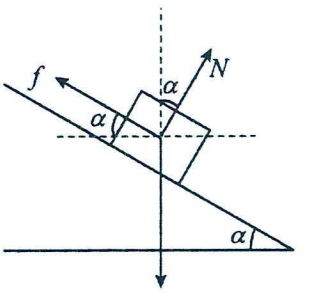
2．B

【详解】向心力 $F_n=F_{合}=mg\tan37°$；又 $F_n=m\frac{v^2}{r}$；联立代入数据得 $r=30\mathrm{m}$

故选 B。

3．C

【详解】AB．对行李箱受力分析，如图



可得 $f\cos\alpha-N\sin\alpha=m\omega^2R$，$f\sin\alpha+N\cos\alpha=mg$

其中，向心力由摩擦力与弹力的水平方向的合力提供。故 AB 错误；

CD．根据以上两式，可得 $N=mg\cos\alpha-m\omega^2R\sin\alpha$

当转速减小时，角速度减小，则 N 增大，最大静摩擦也增大，行李箱不可能下滑了。故 C 正确；D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：BD　　B　　3．（1）56.25m；（2）$5\sqrt{5}\mathrm{m/s}$

1．BD

【详解】A．在汽车沿着螺旋车道向下匀速驶出停车场的过程中，汽车做的是圆周运动，因此车内悬挂饰品也随车一起做圆周运动，饰品需要向心力，因此饰品受力不平衡，吊绳应处于偏离竖直方向一定的角度，A 错误；

B．螺旋弯道圆心处较低，可由汽车重力与斜面的支持力的合力提供向心力，若汽车速度较大时，汽车重力与斜

面的支持力的合力不满足提供向心力，则又有摩擦力提供，汽车又向下匀速驶出停车场，因此汽车受到地面总的摩擦力方向可能沿倾斜地面向上且偏向弯道内，B 正确；

C．若地面水平，只有摩擦力提供向心力时，由牛顿第二定律可得 $F_{向}=F_{f}=m\frac{v^2}{r}$，则有汽车受到地面总的摩擦力大小与汽车行驶速率平方成正比，由于地面倾斜，汽车重力与倾斜地面的支持力的合力也提供向心力，C 错误；

D．由向心加速度公式 $a_{n}=\frac{v^2}{r}$ 可知，以相同的速率行驶，内侧车道的圆周半径小，因此加速度更大，D 正确。

故选 BD。

2．B

【详解】竖直方向根据平衡条件得 $F_{N}\cos\theta=mg$；解得 $F_{N}=\frac{mg}{b}$

故选 B。

3．（1）56.25m；（2）$5\sqrt{5}\mathrm{m/s}$

【详解】（1）汽车在水平路面上拐弯，可认为汽车做匀速圆周运动，由静摩擦力提供向心力可得 $f=m\frac{v^2}{R}$

又 $f\le f_{max}=\mu mg$；联立可得 $R\ge\frac{v^2}{\mu g}=\frac{15^2}{0.4\times10}\mathrm{m}=56.25\mathrm{m}$；可知其弯道的最小半径为 56.25m。

（2）要使汽车通过此弯道时不产生侧向摩擦力，汽车受到的重力和支持力的合力提供向心力，

则有 $mg\tan\theta=\frac{mv_{1}^{2}}{r}$，可得 $v_{1}=\sqrt{gr\tan\theta}=\sqrt{10\times250\times0.05}\mathrm{m/s}=5\sqrt{5}\mathrm{m/s}$

题型三：火车转弯

【精选例题】：AC　　C

1．AC

【详解】A．火车受重力和轨道的支持力，两个力的合力提供向心力，根据 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}$

可知该弯道的半径 $r=\frac{v^2}{g\tan\theta}$；选项 A 正确；

B．由以上分析可知，当火车质量改变时，规定的行驶速度大小不变，选项 B 错误；

C．当火车速率小于 v 时，重力和轨道的支持力的合力大于火车所需的向心力，则火车有做向心运动的趋势，则内轨将受到轮缘的挤压，选项 C 正确；

D．当火车速率大于 v 时，重力和轨道的支持力的合力小于火车所需的向心力，则火车有做离心运动的趋势，外轨将受到轮缘的挤压，选项 D 错误。

故选 AC。

2．C

【详解】竖直方向，火车对乘客的作用力为 $F_{1}=mg=600\mathrm{N}$

水平方向，火车对乘客的作用力 $F_{2}=m\frac{v^2}{r}=60\times\frac{(\frac{360}{3.6})^2}{750}\mathrm{N}=800\mathrm{N}$

故在拐弯过程中所受到的火车给他的作用力为 $F=\sqrt{F_{1}^{2}+F_{2}^{2}}=1000\mathrm{N}$

故选 C。

【跟踪训练】：B　　ACD

1．B

【详解】A．列车受到重力和轨道的支持力作用，向心力只是效果力，不是实际受到的力，故 A 错误；

B．若列车以大于 v 的速度通过该圆弧轨道，则重力和支持力的合力不足以提供所需的向心力，车轮将侧向挤压外轨，故 B 正确；

C．根据牛顿第二定律可得 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$，可得 $v=\sqrt{gR\tan\theta}$

可知列车空载时仍以 v 的速度通过该圆弧轨道，车轮对铁轨没有侧向挤压，故 C 错误；

D．当列车以 v 的速度通过该圆弧轨道时，竖直方向根据受力平衡可得 $N\cos\theta=mg$，解得 $N=\frac{mg}{\cos\theta}$，故 D 错误。

故选 B。

2．ACD

【详解】AB．根据火车转弯时的向心力由重力和支持力的合力提供，有 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$，解得 $v=\sqrt{gR\tan\theta}$

故 A 正确，B 错误；

CD．火车的向心加速度大小为 $a=\frac{mg\tan\theta}{m}=g\tan\theta$

水杯的向心加速度大小与其相等，由此可知水杯重力与桌面对其的支持力的合力提供向心力，故水杯对桌面的静摩擦力大小为 0，水杯对车厢侧壁的压力大小为 0，故 CD 正确。

故选 ACD。

考点三：离心问题

题型一：航天器中的失重现象

【精选例题】：AC　　B

1．AC

【详解】ACD．失重是指物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）小于物体所受重力的现象，在太空中，物体的重力并没有消失，太空中的航天员仍受重力的作用，且所受重力等于其做匀速圆周运动所需的向心力，故 A、C 正确，D 错误；

B．航天员随飞船做匀速圆周运动，处于非平衡状态，故 B 错误。

故选 AC。

2．B

【详解】A．瓶子所受万有引力全部用来提供围绕地球做圆周运动的向心力，瓶子在空间站中处于完全失重状态，瓶子在空间站内做圆周运动的向心力由绳子拉力提供，无论瓶子速度多大都能做完整的圆周运动，故 A 正确，不符合题意；

B．根据 $F_n=m\omega^2r$，可知瓶子的角速度一定，绳子越长，所需向心力越大，油和水越容易分离，故 B 错误，符合题意；

C．水的密度大于油的密度，在混合液体中取半径相同处体积相等的水和油的液体小球，水球的质量大，根据

$F_n = m\omega^2 r$ 可知，水球需要的向心力更大，故当向心力不足时，水球更容易做离心运动水会向瓶底移动，圆周运动让试管里的水和油产生了离心现象，密度较大的水将集中于外部，故 C 正确，不符合题意；

D．根据 $F_n = m\omega^2 r$，可知瓶子的角速度一定时，油水分离后，绳子张力大小不变，故 D 正确，不符合题意。

故选 B。

【跟踪训练】：ABC　　BC

1．ABC

【详解】A．重物处于完全失重状态，对台秤的压力为零，无法用台秤称量重物的质量，A 符合题意；

B．水杯中的水处于完全失重状态，不会因重力而流入嘴中，B 符合题意；

C．沙子和水处于完全失重状态，不能用沉淀法将水与沙子分离，C 符合题意；

D．小球处于完全失重状态，给小球一个很小的初速度，小球就能在细绳拉力下在竖直面内做圆周运动，D 不符合题意。

故选 ABC。

2．BC

【详解】AB．水的密度大于油的密度，则根据离心原理，水和油在相同的角速度和半径下需求的向心力更大因此产生离心现象。水相对试管向外侧运动，油相对试管向内侧运动，故 B 正确，C 错误；

CD．内外层液体的角速度相同，根据 $a=\omega^2 r$ 可知，转动时“模拟重力”产生的“模拟重力加速度”沿半径方向向外逐渐变大，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

题型二：离心运动与近心运动

【精选例题】：BD　　C　　D　　BC　　D

6．（1）$r\sqrt{1+\dfrac{2h\omega^2}{g}}$；（2）$\sqrt{\omega^2 r^2+2gh}$

1．BD

【详解】AB．若拉力突然变为零，小球将沿速度 v 方向，即沿轨迹 Pa 做匀速直线运动，故 A 错误，B 正确；

CD．若拉力突然变大，小球所受到拉力大于所需的向心力，则将沿轨迹 Pc 做向心运动，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

2．C

【详解】雨水离开伞边缘后沿切线方向飞出在空中做平抛运动，在水平方向做匀速直线运动，轨迹在俯视图中为直线，由于是逆时针方向转动，雨水离开伞边缘时有与伞同向的速度，故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

3．D

【详解】让矿泉水瓶绕自身中心轴转动起来时，由于离心作用，水将跑到瓶子的边缘部分，使得边缘部分水的高度大于中心部分水的高度，则水面形状接近图 D；故选 D.

4．BC

【详解】A．衣服受到重力、弹力、摩擦力三个力的作用，其中弹力充当做圆周运动的向心力，选项 A 错误；

B．根据 $F_N = m\omega^2 r$ 可知，洗衣机脱水桶转动得越快，衣服与桶壁间的弹力就越大，选项 B 正确；

CD．衣服上的水滴与衣服间的附着力不足以提供所需的向心力时，水滴做离心运动，选项 C 正确，D 错误。故选 BC。

5．D

【详解】A．洗衣机能脱水是因为水滴受到离心作用，而不是离心力，无离心力，只有离心作用，故 A 错误；

B．衣物紧贴着滚筒壁在竖直平面内做匀速圆周运动，故小衣物在 a、b、c、d 位置的线速度大小相等，但方向不同，故 B 错误；

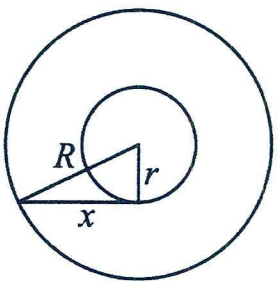
C．在 b、d 两位置受到的摩擦力方向都竖直向上，与重力平衡，方向相同，故 C 错误；

D．在 a 点时，根据牛顿第二定律，在 c 点时 $F_c-mg=m\frac{v^2}{R}$，并根据牛顿第三定律可知，该小衣物在 c 位置对滚筒壁的压力大于它在 a 位置对滚筒壁的压力，故 D 正确；

故选 D。

6．（1）$r\sqrt{1+\frac{2h\omega^2}{g}}$；（2）$\sqrt{\omega^2r^2+2gh}$

【详解】（1）雨点甩出轨迹如图所示



雨点甩出后做平抛运动，竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt^2$

雨滴做平抛运动的时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

因雨滴离开雨伞的速度为 $v_0=\omega r$

雨点甩出后水平方向做匀速直线运动 $x=v_0t=\omega r\sqrt{\frac{2h}{g}}$

所以雨滴落在地上形成的大圆的半径为 $R=\sqrt{r^2+x^2}=r\sqrt{1+\frac{2h\omega^2}{g}}$

（2）设雨滴落地时的速率为 v，根据动能定理，有 $mgh=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

联立解得 $v=\sqrt{\omega^2r^2+2gh}$

【跟踪训练】：AC　　C　　AC

1．AC

【详解】AB．因为满足ρa<ρ0<ρb，则根据离心原理，细胞 a 相对试管向内侧运动，细胞 b 相对试管向外侧运动，选项 A 正确，B 错误；

CD．根据 $a=\omega^2r$ 可知，这种离心分离器“模拟重力”对应的“重力加速度”沿转动半径方向向外侧逐渐变大，选项 C 正确，D 错误．

2．C

【详解】A．水滴自雨伞边缘被甩出后做平抛运动，根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 可知，落地时间与转动速度无关，故 A 错误；

B．水滴离开伞边缘后将沿切线方向水平抛出，做曲线运动，故 B 错误；

C．设速度方向与水平方向的夹角为 θ，飞出雨伞时的速度为 v_0，竖直方向任意时刻的速度为 v_y，可知雨滴在水

平方向做匀速直线运动，竖直方向做自由落体运动，因此有 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$；可知空中运动过程中，其速度方向与水平方向的夹角越来越大，故 C 正确；

D．旋转雨伞，水滴与雨伞一起做圆周运动，当旋转速度增大时，雨滴在雨伞上的附着力不足以提供雨滴做圆周运动的向心力，雨滴做了离心运动，并不是因为水滴受到离心力的作用力，故 D 错误。

故选 C。

3．AC

【详解】A．由 $F=m\omega^2r$，可知半径越大，所需要的向心力越大，所以紧贴脱水桶内壁的布条处表面附着的水先被脱出，故 A 正确；

BC．由 $a=\omega^2r$

可知脱水桶内壁与托盘外缘的向心加速度之比即为半径之比，即 9:8，故 B 错误，C 正确；

D．由题意知 3 秒内旋转杆下降 40cm，脱水桶转过 4 圈，脱水桶内壁转过的弧长为 $l=4\times2\pi r_{桶}=\frac{18\pi}{25}\text{m}$

固定杆匀加速向下运动，脱水桶内壁线速度大小均匀增加，转过的弧长与速度、时间的关系可类比匀变速直线运动的规律，所以 $l=\frac{vt}{2}$，故脱水桶内壁处线速度大小为 $v=\frac{2l}{t}=\frac{12\pi}{25}\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 AC。

第七讲：竖直平面和水平面的圆周运动

考点一：绳模型与单环模型

题型一：绳模型

【精选例题】：BD　　C　　B　　C

1．BD

【详解】AB．小球在最高点$T+mg=m\frac{v^2}{R}$，当绳中的拉力为零时，速率最小，即$v_{\min}=\sqrt{gR}=2\text{m/s}$，故 A 错误，B 正确；

C．当小球在最高点速度大小为 4m/s 时，对小球在最高点受力分析，由牛顿第二定律得$T_1+mg=m\frac{v_1^2}{R}$

解得$T_1=15\text{N}$，故 C 错误；

D．当小球在最低点速度大小为$4\sqrt{2}\text{ m/s}$时，由牛顿第二定律得$T_2-mg=m\frac{v_2^2}{R}$；解得$T_2=45\text{N}$，故 D 正确。

故选 BD。

2．C

【详解】A.小球恰好能通过最高点，则小球在最高点重力充当向心力，即$mg=m\frac{v^2}{R}$可知，最高点速度不为零，故 A 错误；

B.小球运动到最高点时，绳对人和小球没有拉力，所以此时，人对台秤的压力等于人的重力，为 Mg，故 B 错误；

C.小球在 a、c 两点时，绳对人的拉力水平，所以人对台秤的压力等于人的重力，故 C 正确；

D.小球从最高点运到最低点的过程中，人始终静止，处于平衡状态，故 D 错误。

3．B

【详解】A．对水在最高点受力方程：$mg+N=m\frac{v^2}{L}$，当在最高点的速度$v=\sqrt{gL}$时$N=0$，故 A 错误；

B．最高点速度至少为$v=\sqrt{gL}$，所以最高点的速度一定不为 0，故 B 正确；

C．如果水流星到不了圆心等高的水平面上，就不会有水洒出来，在最低点对应的速度为$\sqrt{2gL}$，故 C 错误；

D．比圆心位置高时，加速度向下，处于失重，比圆心位置低时，加速度向上，处于超重，故向下或向上运动都可能处于超重，也可能处于失重，故 D 错误。

故选 B。

4．C

【详解】AB．小球运动到最高点时，对小球进行分析有$T+mg=m\frac{v^2}{L}$，则有$T=\frac{m}{L}v^2-mg$

结合图像有$-mg=-a$，$\frac{m}{L}=\frac{a}{b}$；解得$g=\frac{a}{m}$，$L=\frac{mb}{a}$；AB 错误；

C．当$v^2=2b$时，根据上述有$T=\frac{m}{L}\cdot 2b-mg=\frac{a}{b}\cdot 2b-a=a=mg$，C 正确；

D．当$v^2=c$时，根据上述有$T=\frac{m}{L}c-mg=\frac{ac}{b}-a$，D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：C　　A　　D　　AC

1．C

【详解】A．小球在最高点时的向心力不一定等于重力，可能是重力与拉力的合力提供向心力，故 A 错误；

BCD．小球恰好通过最高点时，绳子的拉力为零，重力提供向心力，此时的速度满足 $F_n = mg = m\frac{v^2}{L}$

解得 $v = \sqrt{gL}$，显然绳子越长，速度越大，与小球质量无关，故 C 正确，BD 错误。

故选 C。

2．A

【详解】AC．细绳碰到钉子后的瞬间，小球的线速度不变，小球做圆周运动的半径减小一半，

由 $v = \omega r$ 可知角速度增大为碰钉子前瞬间的 2 倍，故 A 正确，C 错误；

BD．由 $a_n = \frac{v^2}{r}$ 可知 a_n 增大到碰钉子前瞬间的 2 倍，又 $T - mg = ma_n$；则细绳对小球的拉力增大，但小于碰钉子前瞬间的 2 倍，故 BD 错误。

故选 A。

3．D

【详解】A．小球做圆周运动时，加速度方向时刻变化，比如小球在 A 点时加速度竖直向上，小球在 C 点时加速度竖直向下，所以小球不是做的是匀变速曲线运动，故 A 错误；

B．若要使得小球做完整的圆周运动，设小球运动到 C 点的速度至少为 vC，此时只由重力提供向心力，由牛顿第二定律得 $mg = m\frac{v_C^2}{L}$；解得 $v_C = \sqrt{gL}$，故 B 错误；

CD．若小球无法做完整的圆周运动，则小球可能在 B 点和 C 点之间某一点时重力沿半径方向的分力大于小球做圆周运动所需要的向心力 $m\frac{v^2}{r}$，此时小球将脱离轨道，所以小球可能在 B 点和 C 点之间的某一点脱离圆轨迹，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

4．AC

【详解】A．t_1 时刻水平方向速度向右，比 t_3 时刻速度小，说明 t_1 时刻在最高点，t_3 时刻水平速度向左且最大，则在最低点，故 A 正确；

B．t_3 时刻小球在最低点，则轻绳中的弹力最大，t_4 时刻水平速度为零，轻绳在水平位置，此时轻绳中的弹力不为零，选项 B 错误；

C．由题意可知，图中两块阴影面积分别表示从最低点经过四分之一圆周到水平位置，然后再经过四分之一圆周到最高点的水平位移大小，可知图乙中的阴影部分面积 S_1 等于阴影部分面积 S_2，选项 C 正确；

D．在小球做一次完整圆周运动的过程中，轻绳中弹力不可能两次为零，只有在最高点时轻绳的弹力可能为零，若不在最高点时轻绳的弹力为零，则从该位置向上运动时速度会减小，则轻绳将不再伸直，小球将脱离圆轨道，则选项 D 错误。

故选 AC。

题型二：绳长突变模型

【精选例题】：CD

1．CD

【详解】A．悬线与钉子碰撞前后瞬间，线的拉力始终与小球的运动方向垂直，不对小球做功，故小球的线速度不变，A 正确；

B．当半径减小时，由$\omega=\frac{v}{r}$知，线速度不变，可得角速度变大，B 错误；

C．由$F_{向}=m\frac{v^2}{r}$知，线速度不变，半径突然变小，向心加速度突然增大，C 正确；

D．在最低点，受力分析得$F_{向}=F_T-mg$，由向心力变大可知，悬线的拉力变大，D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：C　　C

1．C

【详解】A．由于向心力不做功，所以在小球运动过程中绳变短时，线速度大小不变，故小球的动能不变，故 A 错误；

B．由$v=\omega r$可知，半径变小，角速度变大，故 B 错误；

C．细线断裂，小球水平方向不受力，小球一定沿速度方向做匀速直线运动，故 C 正确；

D．小球线速度不变，所以线变短，小球运动半径变为原来的一半时，由$F=\frac{mv^2}{r}$可知，线的拉力变为原来的 2 倍，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】当绳子拉力为 3.2N 时，由$F=m\frac{v^2}{r}$，可得$r=m\frac{v^2}{F}=0.5\text{m}$，小球每转半个圆周，其半径就减小 0.2m。

由分析知，小球分别以半径为 1m、0.8m 和 0.6m 各转过半个圆周后绳子就被拉断了，

所以时间为$t=\frac{\pi r_1}{v}+\frac{\pi r_2}{v}+\frac{\pi r_3}{v}=1.2\pi\text{s}$

故选 C。

题型三：单环内运动

【精选例题】：D　　BC

1．D

【详解】A．若小球运动到 A 点，小球在该位置受到的弹力指向圆心，但重力竖直向下，所以小球在该位置所受的合力不指向圆心，故 A 错误；

B．若小球运动到 A 点，小球在该位置的速度如果刚好等于 0，则小球将在下半圆轨道内来回运动，始终不会离开轨道，故 B 错误；

CD．若小球运动到 B 点，重力刚好提供向心力，则此时小球受到的弹力刚好为 0，则有$mg=m\frac{v_B^2}{R}$

可得$v_B=\sqrt{gR}$，可知小球运动到B点，小球在该位置的速度一定大于等于$\sqrt{gR}$，故C错误，D正确。

故选D。

2．BC

【详解】A．小滑块在A点时，滑块对M的作用力在竖直方向上，系统在水平方向不受力的作用，所以没有摩擦力的作用，故A错误；

B．小滑块在B点时，需要的向心力向右，所以M对滑块有向右的支持力的作用，对M受力分析可知，地面要对M有向右的摩擦力的作用，在竖直方向上，由于没有加速度，物体受力平衡，

所以物体M对地面的压力$F_N=Mg$，故B正确；

C．小滑块在C点时，滑块对M的作用力竖直向下，M在水平方向不受其他力的作用，所以不受摩擦力。滑块对物体M的压力要大于滑块的重力，那么M对地面的压力$F_N>Mg$，故C正确；

D．小滑块在D点时，需要的向心力向左，所以M对滑块有向左的支持力的作用，对M受力分析可知，地面要对M有向左的摩擦力的作用，在竖直方向上，由于没有加速度，物体受力平衡，

所以物体M对地面的压力$F_N=Mg$，故D错误。

故选BC。

【跟踪训练】：A　　AC　　C

1．A

【详解】A．当游客经过圆轨道最低点时，有$F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$；其中$F_N=F=2mg$，解得$v=\sqrt{gR}$

由于过山车匀速转动，因此游客经过圆轨道最高点时速度大小为$\sqrt{gR}$，选项A正确；

BC．游客经过圆轨道最高点时有竖直向下的加速度，处于失重状态，选项BC错误；

D．结合前面分析可知游客所需向心力大小为$m\frac{v^2}{R}=mg$，选项D错误。

故选A。

2．AC

【详解】AB．栗子恰好通过滚筒最高点时，有$mg=m\omega^2\frac{D}{2}$，解得$\omega=\sqrt{\frac{2g}{D}}$

栗子到达滚筒最高处前与筒壁脱离，则滚筒的角速度应满足$\omega<\sqrt{\frac{2g}{D}}$，故A正确，B错误；

C．栗子脱离滚筒的位置取决于栗子的速度大小，与其质量无关，故C正确；

D．若栗子到达最高点时脱离滚筒，此时栗子有水平速度，脱离后栗子做平抛运动，故D错误。

故选AC。

3．C

【详解】AB．车在最高点时，当人与保险带间恰好没有作用力，由重力提供向心力可得$mg=m\frac{v_0^2}{R}$，解得$v_0=\sqrt{gR}$

当速度$v\geq\sqrt{gR}$时，没有保险带，人也不会掉下来；根据牛顿第二定律可得$mg+F_N=m\frac{v^2}{R}$

当$F_N=mg$时，解得$v=\sqrt{2gR}$，可知当$v>\sqrt{gR}$时，人在最高点时对座位的压力大于mg，故AB错误；

C．人在最低点时，加速度方向竖直向上，根据牛顿第二定律分析可知，人处于超重状态，人对座位的压力大于mg，故C正确；

D．人在最高点和最低点时的速度大小不同，根据向心加速度表达式$a=\frac{v^2}{r}$，

可知向心加速度大小不相等，故D错误。

故选C。

题型四：单环外运动

【精选例题】：BC　　B

1．BC

【详解】A．小球在B点，根据牛顿第二定律$mg-N=m\frac{v^2}{R}$，解得$N=mg-m\frac{gR}{R}=0$

小球从B点飞出后做平抛运动，不可能沿圆柱体表面运动，故A错误，B正确；

CD．小球做平抛运动，竖直方向做自由落体运动$R=\frac{1}{2}gt^2$，解得，$t=\sqrt{\frac{2R}{g}}$

则OC之间的距离为$x=vt=\sqrt{gR}\cdot\sqrt{\frac{2R}{g}}=\sqrt{2}R$；故C正确，D错误。

故选BC。

2．B

【详解】A．在甲图中，当速度比较小时，根据牛顿第二定律得$mg-N=m\frac{v^2}{R}$

即座椅给人施加向上的力，当速度比较大时，根据牛顿第二定律得$mg+F=m\frac{v^2}{R}$

即座椅给人施加向下的力，故A错误；

B．在乙图中，因为合力指向圆心，重力竖直向下，所以安全带一定给人向上的力，故B正确；

C．在丙图中，当轨道车以一定的速度通过轨道最低点时，合力方向向上，重力竖直向下，则座椅给人的作用力竖直向上，故C错误；

D．在丁图中，由于轨道车有安全锁，可知轨道车在最高点的最小速度为零，故D错误。

故选B。

【跟踪训练】：A　　C

1．A

【详解】AD．若$v_0=\sqrt{gR}$，物体所受合力为$F_{合}=m\frac{v_0^2}{R}=mg$，此时物块只受重力，则物块做平抛运动，加速度恒定为g，则物块在之后运动过程中相等时间内速度变化量不变；

竖直方向$2R=\frac{1}{2}gt^2$；水平方向$x=v_0t$，联立解得$x=2R$；

平抛初速度越大，水平位移越大，若$v_0\geq\sqrt{gR}$，则物块落地点离A点至少为2R，故A正确，D错误；

B．当$v_0<\sqrt{gR}$时，在最高点时，根据牛顿第二定律得$mg-N=m\frac{v_0^2}{R}$，N>0

若物块受到的摩擦力足够大，物块可能滑行一端距离后停止，故 B 错误；

C．当 $v_0<\sqrt{gR}$ 时，若小球在到达与圆心 O 点等高处之前脱离球面做斜抛运动，在到达与 O 点等高时的水平位移大于 R，落地时离 A 点的距离一定大于 R，故 C 错误；

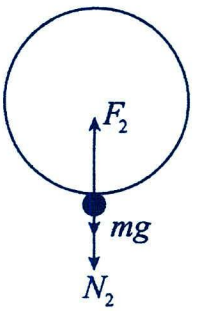
故选 A。

2．C

【详解】A．陀螺磁芯对轨道的吸引力始终沿轨道的半径方向（指向圆心或背离圆心），则可知，该力与重力的合力不是始终指向圆心，不可能做匀速圆周运动，故 A 错误；

B．陀螺在轨道外侧运动，由 A 到与圆心等高点处，速度增大，所需向心力变大，重力沿径向分力变小，则轨道对其的支持力逐渐变小，故 B 错误；

C．设陀螺在轨道外侧运动到最低点时，轨道对小球的吸引力为 F_2，轨道对陀螺的弹力为 N_2，小球所受的重力为 mg，最低点的速度为 v_2，受力分析如图所示，则有 $F_2-N_2-mg=m\frac{v_2^2}{R}$，$F_2=6mg$



由题意可知，当 $N_2=0$ 时，陀螺通过最低点时的速度为最大值，有 $v_2=\sqrt{5gR}$，故 C 正确；

D．陀螺在轨道内侧运动到最高点时的速度为 $\sqrt{10gR}$，根据 $N_1+mg-F_2=m\frac{v_2^2}{R}$，解得 $N_1=15mg$

根据牛顿第三定律可知，其对轨道的压力大小为 15mg，故 D 错误。

故选 C。

考点二：杆模型与管道模型(双环模型)

题型一：杆模型

【精选例题】：D　　C

1．D

【详解】A．在最高点时，由于轻杆对小球可以有竖直向上的支持力，则在最高点的最小速度为 0，故 A 错误；

B．在最低点时，根据牛顿第二定律可得 $F-mg=m\frac{v^2}{L}$，可知在最低点受到杆的作用力一定大于 mg，故 B 错误；

C．小球运动过程中，只有重力做功，小球的机械能守恒，则最低点的速度大于最高点的速度，小球在最低点所需的向心力大于在最高点所需的向心力，而最低点的重力背向圆心，最高点的重力指向圆心，所以小球在最低点受到杆的作用力一定比最高点的大，故 C 错误；

D．小球运动过程满足机械能守恒，在 A、B 两位置时，速度大小相等，杆的作用力提供向心力，则有 $F=m\frac{v^2}{L}$

可知在 A、B 两位置时，受到杆的作用力大小相等，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】AB．设杆的长度为 L，水平轴受到的杆的作用力 F 与杆对小球的作用力大小相等、方向相反，因此对小球受力分析有 $-F+mg=m\frac{v^2}{L}$，整理可得 $F=-\frac{m}{L}v^2+mg$

对比题图乙可得 $m=1\text{kg}$，$L=3.6\text{m}$，故 AB 错误；

C．当 $v=3.6\text{m/s}$ 时，解得 $F=6.4\text{N}$，则杆对小球的作用力大小为 6.4N，故 C 正确；

D．若小球通过最高点时的速度大小为6m/s，则小球受到的合力$F_{合}=m\frac{v'^2}{L}=10\text{N}$，故D错误。

故选C。

【跟踪训练】：B　　D　　ACD

1．B

【详解】A．物块在最高点c和最低点d均受重力和支持力两个力作用，两个力的合力提供向心力，故A错误；

B．物块做匀速圆周运动，合外力提供向心力，可知合外力始终指向圆心，故B正确；

C．在最高点和最低点，摩擦力是零，重力和支持力的合力提供向心力，

在位置c，根据牛顿第二定律得$mg-N_c=m\frac{v^2}{R}$，所以$N_c<mg$

在位置d，根据牛顿第二定律得$N_d-mg=m\frac{v^2}{R}$，所以$N_d>mg$；C错误；

D．在a、b两个位置，重力和支持力平衡，即$N=mg$，物块所受静摩擦力提供向心力，故D错误。

故选B。

2．D

【详解】AB．由图乙可知，当$F=0$时，对小球在最高点由牛顿第二定律得$mg=m\frac{v^2}{R}=m\frac{b}{R}$

可得当地的重力加速度大小为$g=\frac{b}{R}$，当$v=0$时，在最高点有$mg=F=a$

可得小球的质量为$m=\frac{a}{g}=\frac{a}{b}R$，故AB错误；

C．当$v^2=c>b$时，在最高点对小球由牛顿第二定律得$mg+F=m\frac{v^2}{R}$

可得$F=m\frac{c}{R}-mg=\frac{m}{R}(c-b)>0$，可知杆对小球弹力方向向下，则小球对杆弹力方向向上，故C错误；

D．当$v=2b$时，在最高点对小球由牛顿第二定律得$mg+F=m\frac{v^2}{R}=m\frac{2b}{R}=2mg$，解得$F=mg$，故D正确。

故选D。

3．ACD

【详解】A．A球与细绳相连，则恰好能到最高点时有$mg=m\frac{v_1^2}{L}$，解得$v_1=\sqrt{gL}=\sqrt{10}\text{m/s}$，故A正确；

B．B球与杆相连，则恰好能到最高点的速度大小为$v_2=0$，故B错误；

C D．对A球在最高点时由牛顿第二定律有$F_{\text{A}}+mg=m\frac{v_2^2}{L}$，代入数据解得$v_2=2\sqrt{3}\text{m/s}$

对B球有两种情况：a.杆对小球B为支持力时，则有$mg-F_{\text{B1}}=m\frac{v_3^2}{L}$，代入数据解得$v_3=\sqrt{5}\text{m/s}$

b.杆对小球B为拉力时，则有$mg+F_{\text{B2}}=m\frac{v_4^2}{L}$，代入数据解得$v_4=\sqrt{15}\text{m/s}$

则小球A、B在最高点的速度大小之比为$v_2:v_3=2\sqrt{3}:\sqrt{5}$（或$v_2:v_3=2\sqrt{15}:5$）和$v_2:v_4=2:\sqrt{5}$（或$2\sqrt{5}:5$）

故CD正确。

故选ACD。

题型二：管道模型

【精选例题】：B　　ABD　　A

1．B

【详解】AB．小球在竖直放置的光滑圆形管道内的圆周运动属于轻杆模型，小球通过最高点时的最小速度为 0，故 A 错误，B 正确；

C．小球在水平线 ab 以下管道运动，由于沿半径方向的合力提供做圆周运动的向心力，所以外侧管壁对小球一定有作用力，而内侧管壁对小球一定无作用力，故 C 错误；

D．小球在水平线 ab 以上管道运动，由于沿半径方向的合力提供做圆周运动的向心力，当速度非常大时，内侧管壁没有作用力，此时外侧管壁有作用力，当速度比较小时，内侧管壁有作用力，故 D 错误。

故选 B。

2．ABD

【详解】A．小球运动到 A 点时，对小球受力分析由牛顿第二定律 $mg+N=m\frac{v^2}{R}$

若 $v=\sqrt{Rg}$，则轨道对小球的作用力为零，有 $N=0$

若 $v>\sqrt{Rg}$，则轨道对小球有向下的弹力，所以小球对轨道有向上的弹力，有 $N<Mg$

若 $v<\sqrt{gR}$ 则轨道对小球有向上的弹力，所以小球对轨道有向下的弹力，有 $N>Mg$；故 A 错误。

B．小球运动到 B 点时，根据 $F_N=m\frac{v_B^2}{R}$ 可知，轨道对小球有向右的弹力，则小球对轨道有向左的弹力，底座受到地面对其向右的摩擦力，底座对地面的压力 $N=Mg$，故 B 错误。

C．小球运动到 C 点时，由牛顿第二定律 $F_N'-mg=m\frac{v_C^2}{R}$ 轨道对小球有向上的支持力，则小球对轨道有向下的压力，压力大于 mg，则底座对地面的压力 $N>mg+Mg$，底座在水平方向上没有运动趋势，不受摩擦力，故 C 正确。

D．小球运动到 D 点时，根据 $F_N''=m\frac{v_D^2}{R}$ 可知轨道对小球有向左的弹力，则小球对轨道有向右的弹力，轨道底座所受地面的摩擦力方向向左，底座对地面的压力 $N=Mg$，故 D 错误。

本题选错误的，故选 ABD。

3．A

【详解】AB．圆形管道内壁能支撑小球，小球能够通过最高点时的最小速度为 0，A 正确，B 错误；

C．根据牛顿第二定律得 $N_1-mg=m\frac{v^2}{R}$，解得 $N_1=26mg$

如果小球在最低点时的速度大小为 $5\sqrt{gR}$，则小球通过最低点时对管道的外壁的作用力为 26mg，C 错误；

D．根据牛顿第二定律得 $N_2+mg=m\frac{v_2^2}{R}$，解得 $N_2=3mg$

如果小球在最高点时的速度大小为 $2\sqrt{gR}$，则此时小球对管道的外壁的作用力为 3mg，D 错误。

故选 A。

【跟踪训练】：AC　　AC　　3．（1）1.2m；（2）6.4N，方向竖直向上；（3）$\frac{2\sqrt{5}}{5}$m

1．AC

【详解】AB．小球在最高点时，由于管道内侧能提供支持力，其通过的速度可以为零，故 A 正确，B 错误；

C．小球在水平线 ab 以下的管道中运动时，由外侧管壁对小球的作用力 F_{N} 与小球的重力 G 在背离圆心方向的分力的合力提供向心力，即 $F_{\mathrm{N}}-G=\dfrac{mv^2}{R+r}\approx\dfrac{mv^2}{R}$

因此，外侧管壁对球一定有作用力，此时内侧管壁对球一定无作用力，故 C 正确；

D．小球在水平线 ab 以上管道运动，由于沿半径方向的合力提供做圆周运动的向心力，当速度非常大时，内侧管壁没有作用力，此时外侧管壁有作用力，当速度比较小时，内侧管壁有作用力，故 D 错误。

故选 AC。

2．AC

【详解】AB．小球从 B 点脱离后做平抛运动，经过 0.3s 后又恰好垂直与倾角为 45° 的斜面相碰，则在 C 点的竖直分速度为 $v_{Cy}=gt=3\mathrm{m/s}$，因小球恰好垂直撞在斜面上，则平抛运动水平初速度为 $v_B=v_{Cy}\tan 45^\circ=3\mathrm{m/s}$

小球在斜面上的相碰点 C 与 B 点的水平距离为 $x=v_Bt=0.9\mathrm{m}$，故 A 正确，B 错误；

CD．设小球经过 B 点时，受到上管道竖直向下的作用力为 F_{NB}，根据牛顿第二定律可得 $mg+F_{NB}=m\dfrac{v_B^2}{R}$

解得 $F_{NB}=-1\mathrm{N}$，故小球在 B 点受到下管道的作用力的大小是 1N，负号说明方向竖直向上，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

3．（1）1.2m；（2）6.4N，方向竖直向上；（3）$\dfrac{2\sqrt{5}}{5}\mathrm{m}$

【详解】（1）因为小球恰能沿圆弧管道上 P 点的切线方向进入管道内侧，则 $\tan 53^\circ=\dfrac{v_y}{v_0}$，解得 $v_y=4\mathrm{m/s}$

小球平抛的时间为 $t=\dfrac{v_y}{g}=0.4\mathrm{s}$，小球从平台上的 A 点射出到 P 点的水平距离为 $x=v_0t=1.2\mathrm{m}$

（2）小球到达 Q 时，速度为 $v_Q=3\mathrm{m/s}$

设小球受到的弹力向下，根据牛顿第二定律可得 $F_{\mathrm{N}}+mg=m\dfrac{v_Q^2}{R}$，解得 $F_{\mathrm{N}}=6.4\mathrm{N}$

由牛顿第三定律可知，小球通过管道的最高点 Q 时对管道的压力大小为 6.4N，方向竖直向上。

（3）小球从 Q 点到地面做平抛运动，设小球在 Q 点速度为 v_1 时，刚好经过 P 点落到地面上，

则竖直方向有 $R(1+\cos 53^\circ)=\dfrac{1}{2}gt_1^2$，解得 $t_1=0.4\mathrm{s}$

水平方向有 $v_1=\dfrac{R\sin 53^\circ}{t_1}=1\mathrm{m/s}$

小球从 Q 点到地面过程，竖直方向有 $2R=\dfrac{1}{2}gt_2^2$，解得 $t_2=\dfrac{\sqrt{5}}{5}\mathrm{s}$

水平方向有 $x=v_Qt_2$

则小球落在地面上最近点 M 与最远点 N 为的距离为 $\Delta x=(v_{\max}-v_1)\,t_2=\dfrac{2\sqrt{5}}{5}\mathrm{m}$

考点三：水平圆盘上的圆周运动(临界问题)

题型一：基础模型

【精选例题】：B　　A　　C　　BD

1．B

【详解】AB．小物块水平方向受到的摩擦力提供匀速圆周运动的向心力，由于质量相等的小物块 P 和 Q 在同一圆盘上做匀速圆周运动，故 P 和 Q 的角速度相等，做圆周运动的半径小物块 P 大于小物块 Q，

由公式可知 $f=F_{向}=m\omega^2 r$ 可知，小物块 P 受到的摩擦力大于小物块 Q，故 A 错误，B 正确；

C．重力与支持力是平衡力，小物块 P 和 Q 质量相等，故两物块重力相等，所受圆盘的支持力相等，根据牛顿第三定律，两物块对圆盘的压力相等，C 错误；

D．小物块 P 受到重力、支持力、摩擦力的作用，向心力为效果力，由摩擦力提供，D 错误；

故选 B。

2．A

【详解】当硬币的速度达到最大时，提供向心力的静摩擦力达到最大，则有 $\mu mg=m\frac{v^2}{r}$，解得最大速度为 $v=\sqrt{\mu gr}$

故选 A。

3．C

【详解】A．物体 A、B、C 的角速度相等，由 $a=\omega^2 r$，得物体 C 的向心加速度最大，故 A 错误；

B．A、B、C 都没有滑动，静摩擦力提供向心力，根据 $F_f=m_{物}\omega^2 r$，可知，物体 B 受到的静摩擦力最小，故 B 错误；

C．静摩擦力达到最大值时对应开始滑动的临界角速度，对物体 C，有 $\mu mg=m\omega_C^2\cdot 2R$；解得 $\omega_C=\sqrt{\frac{\mu g}{2R}}$，故 C 正确；

D．同理可得物体 A、B 开始滑动的临界角速度分别为 $\omega_A=\sqrt{\frac{\mu g}{R}}$；$\omega_B=\sqrt{\frac{\mu g}{R}}$

当圆台转速增大时，物体 A、B 同时滑动，故 D 错误。

故选 C。

4．BD

【详解】A．滑动前甲、乙所受摩擦力与转盘角速度平方 ω^2 成正比，故 A 错误；

B．同一时刻甲、乙所受静摩擦力分别为 $f_1=m\omega^2\cdot\frac{R}{3}$；$f_2=m\omega^2\cdot\frac{2R}{3}$；故 B 正确；

C．乙开始滑动时，有 $\mu mg=m\omega_2^2\cdot\frac{2R}{3}$；解得 $\omega_2=\sqrt{\frac{3\mu g}{2R}}$

此时还没有达到甲开始滑动的临界角速度，故 C 错误；

D．甲开始滑动时，有 $\mu mg=m\omega_1^2\cdot\frac{R}{3}$；解得 $\omega_1=\sqrt{\frac{3\mu g}{R}}$；由于 $\sqrt{\frac{7\mu g}{2R}}$ 大于甲要滑动的临界角速度，此时甲、乙都开始滑动，所受的摩擦力都等于滑动摩擦力μmg，故 D 正确。

故选 BD。

【跟踪训练】：D　　B　　C　　C

1．D

【详解】AB．根据圆周运动规律可知，物体不被甩出的最大转速 $\mu mg = m\omega^2 r$，解得 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$

由此可知，人不被甩出的临界角速度与转动半径和摩擦因数有关，跟质量无关，与坐着或者躺着无关，AB 错误；

CD．根据上述分析，对于同一位学生，最大静摩擦力不变，越靠近边缘所需要的向心力就越大，当静摩擦力小于其圆周运动所需要的向心力时，学生就会被甩出去，故越靠近中心越好， C 错误，D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】AB．圆盘停止转动前，小物体所受静摩擦力提供做圆周运动的向心力，则静摩擦力的方向指向圆心，静摩擦力大小为 $f = m\omega^2 r$，选项 A 错误，B 正确；

CD．物体线速度方向与半径垂直，可知圆盘停止转动后，小物体沿垂直于圆盘半径方向向外运动，小物体整个滑动过程所受摩擦力为滑动摩擦力，大小不一定为 $m\omega^2 r$，选项 CD 错误。

故选 B。

3．C

【详解】A．a、b 两杯子均未相对桌面滑动，a、b 两杯子同轴转动，角速度相等，故 A 错误；

B．a、b 两杯子均未相对桌面滑动，静摩擦力提供向心力，根据 $f = m\omega^2 r$，$r_2 = 2r_1$，可知 $f_a = f_b$，故 B 错误；

CD．a 开始滑动 $\mu \times 2mg = 2m\omega_a^2 r_1$，解得 $\omega_a = \sqrt{\frac{\mu g}{r_1}}$；b 开始滑动时 $\mu mg = m\omega_b^2 r_2$，解得 $\omega_b = \sqrt{\frac{\mu g}{r_2}} = \sqrt{\frac{\mu g}{2r_1}}$

若转速逐渐增大，b 先开始滑动，圆盘允许转动的最大角速度为 $\sqrt{\frac{\mu g}{r_2}}$，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

4．C

【详解】A．两轮边缘的线速度相等，而 $r_{甲} : r_{乙} = 3:1$

根据 $v = r\omega$ 可知，滑块 A 和在与轮盘相对静止时，角速度之比为 1:3，故 A 错误；

B．因为 $R_A = 2R_B$，根据 $a = r\omega^2$ 可得滑块 A 和在与轮盘相对静止时，向心加速度之比为 2:9，故 B 错误；

CD．转速增加后，假设滑块 B 先发生滑动，则对 B，$\mu m_B g = m_B a_B$，此时对 A，$m_A a_A = \frac{2}{9} m_A a_B = \frac{2}{9} \mu m_A g < \mu m_A g$

则此时滑块 A 还没有产生滑动，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

题型二：重叠模型

【精选例题】：D　　A　　D

1．D

【详解】A．由向心力公式 $F = mr\omega^2$ 可知，相同的物块 A、B 叠放在一起做圆周运动，故向心力相同，故 A 错误；

B．图中 A 做圆周运动向心力是 B 对其向左的摩擦力提供的，所以 A 对 B 摩擦力是向右的，故 B 错误；

C．两物块所受的合力提供向心力，而 A、B 向心力相同，故 C 错误；

D．物块 A 所受摩擦力为 $f_{BA}=mr\omega^2$；物块 B 所受转台提供摩擦力和 A 对 B 的摩擦力合力提供向心力

$f'-f_{AB}=mr\omega^2$；f_{AB} 与 f_{BA} 等大，所以 $f'=2mr\omega^2=2f_{AB}$；故 D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】由于 A、AB 整体受到的静摩擦力均提供向心力，故对 A，有 $\mu_1 m_A g \geq m_A\omega^2 r$

对 AB 整体，有 $(m_A+m_B)\omega^2 r \leq \mu_2(m_A+m_B)g$；带入数据解得 $\omega \leq \sqrt{\dfrac{g}{4r}}$，故 A 正确，BCD 错误。

故选 A。

3．D

【详解】A．两物体随圆盘转动，角速度相同为 ω，运动半径为 r，则两物体转动所需的向心力均为 $m\omega^2 r$，即 B 运动所需的向心力等于 A 运动所需的向心力，故 A 错误；

B．对 A 由向心力公式有 $f_{BA}=mr\omega^2$；对 A、B 整体分析有 $f_{盘B}=2mr\omega^2$，对比可知 $f_{盘B}=2f_{BA}$，故 B 错误；

C．当 A、B 整体刚好和转盘发生相对滑动时，有 $\mu_2\cdot 2mg=2m\omega^2 r$，解得 $\omega=\sqrt{\dfrac{\mu_2 g}{r}}$

此时 A 需要的向心力为 $f_A=m\omega^2 r=\mu_2 mg$

如果 $\mu_2 mg<\mu_1 mg$，即 $\mu_1>\mu_2$，则 B 先相对转盘发生滑动；

如果 $\mu_2 mg>\mu_1 mg$ 即 $\mu_1<\mu_2$，则 A 先相对 B 发生滑动，C 错误；

D．由 C 选项分析可知 $\mu_1<\mu_2$ 时，A 先相对 B 发生滑动，则为保证 A、B 均不发生滑动，转盘的最大角速度满足 $\mu_1 mg=mr\omega_{max}^{\ 2}$，解得 $\omega_{max}=\sqrt{\dfrac{\mu_1 g}{r}}$，D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：AC　　CD　　C

1．AC

【详解】A.根据题意可知，B 对 A 的静摩擦力提供 A 做圆周运动的向心力，则有 $f=m_A\omega^2 r=0.1\times 4^2\times 0.1\text{N}=0.16\text{N}$

故 A 正确；

B．对 A、B 整体，圆盘对 B 的静摩擦力提供整体做圆周运动的向心力，则有

$f_1=(m_A+m_B)\omega^2 r=(0.1+0.1)\times 4^2\times 0.1\text{N}=0.32\text{N}$，故 B 错误；

CD．B 对 A 的静摩擦力方向指向圆心，A 相对于 B 有背离中轴水平向外滑动的趋势，同理可知，A、B 整体相对于圆盘有背离中轴水平向外滑动的趋势，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

2．CD

【详解】C．a、b、c 的角速度相等，木块滑动前，各木块受到的静摩擦力提供向心力，因此 b、c 滑动前受到的静摩擦力是一样的，C 正确；

ABD．随着圆盘转速增大，木块 b 和 c 所受摩擦力达到最大静摩擦力，

对 b、c 整体，由牛顿第二定律有 $k\cdot 2mg=2m\cdot\omega^2\cdot 2l$，得 $\omega=\sqrt{\dfrac{kg}{2l}}$

单独对 c 分析有，$kmg=m\cdot\omega^2\cdot 2l$，得 $\omega=\sqrt{\dfrac{kg}{2l}}$

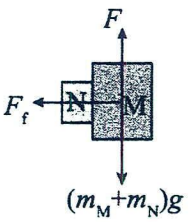
说明 b、c 受到的摩擦力一起达到最大静摩擦力，此时 a 受到的静摩擦力 $f_a=m\cdot\omega^2\cdot l=\dfrac{kmg}{2}$

没有达到最大静摩擦力，因此此时 a 与圆盘相对静止，AB 错误，D 正确。

故选 CD。

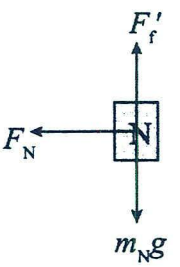
3．C

【详解】以 MN 整体为研究对象，受力分析如图所示



由静摩擦力提供向心力可得 $\mu_2(m_M+m_N)g=(m_M+m_N)\omega^2 r$

以 N 为研究对象，受力分析如图所示



由 M 对 N 的弹力提供向心力，则有 $F_N=m_N\omega^2 r$

由平衡条件可得 $\mu_1 F_N=m_N g$；联立解得 $\mu_1\mu_2=1$

故选 C。

题型三：绳连接

【精选例题】：C　　CD　　CD　　AD

1．C

【详解】由图可知，线的张力大小等于 m 的重力，同时等于 M 圆周运动的向心力，有 $mg=M\omega^2 r$

代入数据解得木块到 O 点的距离 $r=0.20\text{m}$，故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

2．CD

【详解】M 在水平面内转动时，平台对 M 的支持力与 Mg 相平衡，拉力与平台对 M 的静摩擦力的合力提供向心力.设 M 到转台中心的距离为 R，M 以角速度ω转动所需向心力为 $M\omega^2R$，

若 $M\omega^2R=T=mg$，此时平台对 M 的摩擦力为零.

若 $R_1>R$，$M\omega^2R_1>mg$，平台对 M 的摩擦力方向沿着绳子的拉力方向，

由牛顿第二定律：$Fm+mg=M\omega^2R_1$，当 f 为最大值 Fm 时，R_1 最大.

所以，M 到转台的最大距离为：$R_1=\dfrac{mg+F_m}{M\omega^2}=0.375\text{m}$.

若 $R_2<R$，$M\omega^2R_2<mg$，平台对 M 的摩擦力水平向右，

由牛顿第二定律：$mg-F_m=M\omega^2R_2$，当 f 为最大值 f_m 时，R_2 最小，最小值为: $R_2=\dfrac{mg-F_m}{M\omega^2}=\dfrac{1}{24}\text{m}\approx 0.042\text{m}$.

故木块至O的距离R的范围为：0.042m≤R≤0.375m，所以A，B不可能，C，D可能.

故选CD.

3．CD

【详解】AB．当绳上刚好没有拉力时，对木块B由牛顿第二定律有 $\mu mg = m\omega^2 l$，解得 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{l}}$

当木块A刚好相对于圆盘滑动时，设此时绳子中的拉力为 F，对木块A有 $F = \mu mg$

对木块B由牛顿第二定律有 $F + \mu mg = m\omega^2 l$，解得 $\omega = \sqrt{\frac{2\mu g}{l}}$

可知，当 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{3l}} < \sqrt{\frac{\mu g}{l}}$ 时，轻绳上的拉力为零，当 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{3l}} < \sqrt{\frac{2\mu g}{l}}$ 时，木块A不会相对于圆盘滑动，故AB错误；

C．当 $\omega = \sqrt{\frac{5\mu g}{3l}}$ 时，此时绳子中有拉力，且木块A不会相对于圆盘滑动，

对物体B由牛顿第二定律有 $F_1 + \mu mg = m\omega^2 l = \frac{5}{3}\mu mg$，解得 $F_1 = \frac{2}{3}\mu mg$

对物体A根据平衡条件得，木块A受到的摩擦力大小为 $f = F_1 = \frac{2}{3}\mu mg$；故C正确；

D．当 $\omega = \sqrt{\frac{5\mu g}{3l}}$ 时，此时绳子中有拉力，且木块A不会相对于圆盘滑动，

对物体B由牛顿第二定律有 $F_2 + \mu mg = m\omega^2 l = \frac{5}{3}\mu mg$；解得，$F_2 = \frac{2}{3}\mu mg$，故D正确。

故选CD。

4．AD

【详解】A．随着圆盘的转动加快，开始两滑块均由静摩擦力提供向心力，而B离O点较远，先达到最大静摩擦力，此时刚好出现张力，设临界角速度为 ω_1，有 $\mu \cdot 2mg = 2m\omega_1^2 \cdot 3r$；解得 $\omega_1 = \sqrt{\frac{\mu g}{3r}}$，故A正确；

B．若角速度继续增大，B的向心力由最大静摩擦力和增大的拉力提供，而A的向心力因拉力增大使得其静摩擦力逐渐减小，当摩擦力为零时，临界角速度为 ω_2，有 $\mu \cdot 2mg + T_1 = 2m\omega_2^2 \cdot 3r$，$T_1 = m\omega_2^2 \cdot 2r$

解得 $\omega_2 = \sqrt{\frac{\mu g}{2r}}$，故B错误；

D．若角速度增大为 ω_3 时，A所受的摩擦力已反向沿半径向外达最大，此时两者的摩擦力均达到最大，有

$\mu \cdot 2mg + T_2 = 2m\omega_3^2 \cdot 3r$，$T_2 - \mu mg = m\omega_3^2 \cdot 2r$，解得 $\omega_3 = \sqrt{\frac{3\mu g}{4r}}$，故D正确；

C．综上分析可知，A所受的摩擦力先向内逐渐增大，后逐渐减小到零，再反向逐渐增大到最大静摩擦力，故C错误。

故选AD。

【跟踪训练】：ABC　　A　　BC　　ABD

1．ABC

【详解】当角速度最小时，M 有向 O 点滑动趋势，此时最大静摩擦力背离圆心，

则有 $mg-\mu Mg=M\omega_{\min}^2 r$，可得 $\omega_{\min}=1\text{rad/s}$

当角速度最大时，M 有背离 O 点滑动趋势，此时最大静摩擦力指向圆心，

则有 $mg+\mu Mg=M\omega_{\max}^2 r$，可得 $\omega_{\max}=3\text{ rad/ s}$；则 $1\text{rad/s}\le\omega\le 3\text{rad/s}$

故 ABC 正确，D 错误。

2．A

【详解】当 A、B 与圆盘一起绕中轴线匀速转动达到最大角速度ω_1时有 $T-\mu mg=m\omega_1^2\cdot 2r$，$T+\mu\cdot 3mg=3m\omega_1^2 r$

解得 $\omega_1=2\sqrt{\dfrac{\mu g}{r}}$

若只将 B 的质量增加为 2m，A、B 与圆盘一起绕中轴线匀速转动的最大角速度为ω_2时

有 $T+\mu\cdot 2mg=2m\omega_2^2\cdot 2r$；$T-\mu\cdot 3mg=3m\omega_2^2 r$；解得 $\omega_2=\sqrt{\dfrac{5\mu g}{r}}$；所以 $\dfrac{\omega_1}{\omega_2}=\dfrac{2}{\sqrt{5}}$

故选 A。

3．BC

【详解】B．开始角速度较小，两木块都靠静摩擦力提供向心力，B 先到达最大静摩擦力，角速度继续增大，则绳子出现拉力，角速度继续增大，A 的静摩擦力增大，当增大到最大静摩擦力时，开始发生相对滑动。当 B 达到最大静摩擦力时，绳子开始出现弹力，有 $kmg=m\omega^2\cdot 2L$，解得 $\omega=\sqrt{\dfrac{kg}{2L}}$

故当 $\omega>\sqrt{\dfrac{kg}{2L}}$ 时，绳子一定有弹力，故 B 正确；

C．当 A 所受的摩擦力达到最大静摩擦力时，A、B 相对于转盘会滑动，对 A 有 $kmg-T=m\omega^2 L$

对 B 有 $kmg+T=m\omega^2\cdot 2L$，解得 $\omega=\sqrt{\dfrac{2kg}{3L}}$；故当 $\omega>\sqrt{\dfrac{2kg}{3L}}$ 时，A、B 相对于转盘会滑动，故 C 正确；

A．当ω在 $\sqrt{\dfrac{kg}{2L}}<\omega<\sqrt{\dfrac{2kg}{3L}}$ 范围内增大时，B 所受摩擦力不变，A 所受摩擦力增大，故 A 错误；

D．当ω在 $\omega>\sqrt{\dfrac{2kg}{3L}}$ 范围内增大时，A、B 相对于转盘会滑动，A 受到滑动摩擦力，大小不变，故 D 错误。

故选 BC。

4．ABD

【详解】ABC．两物块 A 和 B 随着圆盘转动，角速度相同，有 $F_{向}=m\omega^2 r$ 可知 B 的半径比 A 的半径大，所以 B 所需向心力大，绳子拉力相等，所以当圆盘转速加快到两物体刚好还未发生滑动时，B 的最大静摩擦力方向指向圆心，A 的最大静摩擦力方向指向圆外，根据牛顿第二定律，对 A 有 $F-\mu mg=m\omega^2 r_A$；对 B 有 $F+\mu mg=m\omega^2 r_B$

解得 $F=12\text{N}$，$\omega=2\sqrt{2}\text{rad/s}$，故 AB 正确，C 错误；

D．若此时剪断绳子，B 的摩擦力不足以提供所需的向心力，B 将会做离心运动，此时 A 所需要的向心力将角速度代入可求得 $F_{向}=m\omega^2 r_A=8\text{N}>\mu mg=4\text{N}$，由此可知 A 的摩擦力也不足以提供所需的向心力，A 也将会做离心运动，故 D 项正确。故选 ABD。

题型四：弹簧连接

【精选例题】：A　　D　　D

1．A

【详解】弹簧弹力提供小球的向心力，可得$k\frac{l}{2}=m\omega_{\mathrm{m}}^2(\frac{l}{2}+\frac{l}{2})$；解得$\omega_{\mathrm{m}}=\sqrt{\frac{k}{2m}}$

小球、光滑轻杆同轴转动，角速度相同，则轻杆右端P点线速度的最大值为$v=\omega_{\mathrm{m}}\cdot\frac{3}{2}l=\frac{3l}{2}\sqrt{\frac{k}{2m}}$

故选 A。

2．D

【详解】A．当 B 受到的摩擦力为 0 时，由弹簧弹力提供向心力，此时弹簧的弹力为$F_{弹}=kr$

则有$k(1.5r+r-1.5r)=2m\omega^2r$，解得$\omega=\sqrt{\frac{k}{2m}}$

此时 A 受到的向心力$F_{向}=m\omega^2\cdot1.5r=\frac{3}{4}kr<kr$，故 A 受到的摩擦力向左，故 A 错误；

BCD．当 B 刚好要滑动时，摩擦力达到最大静摩擦力，弹簧弹力与静摩擦力的合力提供向心力，则有$k(1.5r+r-1.5r)+\mu\cdot2mg=2m\omega_1^2r$，解得$\omega_1=\sqrt{\frac{k}{2m}+\frac{\mu g}{r}}$

当 A 刚好要滑动时，摩擦力达到最大静摩擦力，弹簧弹力与静摩擦力的合力提供向心力，则有$k(1.5r+r-1.5r)+\mu mg=m\omega_2^2\cdot1.5r$，解得$\omega_2=\sqrt{\frac{2k}{3m}+\frac{2\mu g}{3r}}$

因开始时两物体静止，则$2\mu mg\geq kr$，则可推导出$\sqrt{\frac{k}{2m}+\frac{\mu g}{r}}\geq\sqrt{\frac{2k}{3m}+\frac{2\mu g}{3r}}$，即$\omega_1\geq\omega_2$，

可知 A 先滑动，当 A、B 均相对转台静止时，允许的最大角速度为$\sqrt{\frac{2k}{3m}+\frac{2\mu g}{3r}}$，故 D 正确，BC 错误。

故选 D。

3．D

【详解】A．PQ 间的距离为$2l_0$，而弹簧的原长为l_0，故弹簧的弹力为$F=kl_0$

根据合力与分力构成的矢量三角形可知，静摩擦力具有最小值时沿轨迹切线，与弹力沿切线方向的分力平衡，为$f_{\min}=F\cos30°=\frac{\sqrt{3}kl_0}{2}$；此时物块随圆盘转动需要的向心力为弹力沿半径方向的分力

$F_{\mathrm{N}}=m\omega^2\times2l_0=F\sin30°=\frac{kl_0}{2}$，解得$\omega=\sqrt{\frac{k}{4m}}$，故 A 错误；

B．　当$\omega=\sqrt{\frac{k}{3m}}$时，可得物块随圆盘转动需要的向心力为$F_{\mathrm{N}}=m\omega^2\times2l_0=\frac{2kl_0}{3}$

由力的三角形可知静摩擦力不等于弹簧的弹力，故 B 错误；

C．当$\omega=\sqrt{\frac{k}{2m}}$时，可得物块随圆盘转动需要的向心力为$F_{\mathrm{N}}=m\omega^2\times2l_0=kl_0$，由力的三角形可知静摩擦力等于$kl_0<\sqrt{3}kl_0$，此时物体和圆盘还未相对滑动，物体所受的合力亦为也为kl_0，故 C 错误；

D．静摩擦力达到最大时，恰好最大静摩擦力与弹力垂直，此时$F_{\mathrm{N}}=m\omega^2\times2l_0=\frac{kl_0}{\cos60°}=2kl_0$，解得$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$

故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：AD　　BD　　B

1．AD

【详解】A．物块随圆盘做匀速圆周运动，静摩擦力和弹簧的弹力的合力提供做圆周运动的向心力，则无论圆盘的角速度（不为零）多大，物块受到的摩擦力方向均指向中心轴，选项 A 正确；

B．若物块将要产生滑动时圆盘的角速度为ω_0，则 $\mu mg = m\omega_0^2 r$；解得 $\omega_0 = \sqrt{2}\text{rad/s}$

此时物块受到圆盘的摩擦力为 1N，则当圆盘的角速度大小为 1rad/s 时，物块受到的摩擦力大小小于 1N，选项 B 错误；

CD. 当圆盘的角速度大小为 2rad/s 时，物块相对圆盘已经产生了相对滑动，则此时物块受到的摩擦力大小为 f=1N，根据 $f + kx = m\omega^2(r+x)$，解得 $x = 0.02\text{m}$，此时弹簧上的弹力大小为 $F_{弹}$=kx=1.08N，选项 C 错误，D 正确。

故选 AD。

2．BD

【详解】A．由题意可知，橡皮筋的长度为 $L = 16\text{cm} > 11\text{cm}$，所以，橡皮筋被伸长，对 A 有弹力的作用，根据胡克定律可得，橡皮筋的弹力为 $F = kx = 200\times(16-11)\times10^{-2}\text{N} = 10\text{N} = \mu mg$，根据平衡条件，A 还要受到与弹力等大反向的圆盘对 A 的静摩擦力，故 A 错误；

B．当弹力指向圆心的分力恰好提供向心力时，摩擦力最小，根据牛顿第二定律 $f_1 = m\omega_0^2 r$

其中 $r = \dfrac{\frac{L}{2}}{\sin 53°} = 0.1\text{m}$，$f_1 = F\sin 53°$，解得 $\omega_0 = 2\sqrt{10}\text{rad/s}$，故 B 正确；

C．当角速度为 $\omega_1 = 8\text{rad/s} > \omega_0$，则，在与圆心连线方向 $f_2 + F\sin 53° = m\omega_1^2 r$，解得 $f_2 = 4.8\text{N}$

摩擦力与圆心连线垂直方向的分力为 $f_3 = F\cos 53° = 6\text{N}$，物块 B 受到摩擦力大小为 $f_B = \sqrt{f_3^2 + f_2^2} = 1.2\sqrt{41}\text{N}$

故 C 错误；

D．当角速度为 $\omega_2 = 4\sqrt{5}\text{rad/s} > \omega_0$，则，在与圆心连线方向 $f_4 + F\sin 53° = m\omega_2^2 r$，解得 $f_4 = 8\text{N}$

物块 B 受到摩擦力大小为 $f_B' = \sqrt{f_3^2 + f_4^2} = 10\text{N} = \mu mg$，故 D 正确。

故选 BD。

3．B

【详解】A．当 AB 刚好要滑动时，弹簧弹力与最大最大静摩擦力的合力提供向心力，

则对 AB 整体有 $kr + \mu\cdot 2mg = 2m\omega_1^2 r$，解得 $\omega_1 = \sqrt{\dfrac{7\mu g}{4r}}$

假设 B 不动，当 C 刚好要滑动时，则有 $kr + \mu mg = m\omega_2^2\cdot 1.5r$，解得 $\omega_2 = \sqrt{\dfrac{5\mu g}{3r}}$

因为 $\omega_1 > \omega_2$，可知 C 先滑动，而 A 受到的摩擦力为 $f = m\omega_2^2 r = \dfrac{5\mu mg}{3} < 2\mu mg$

故 A 相对 B 静止，故 A 错误；

D．A、B 及 C 均相对转台静止时允许的最大角速度为 $\omega_2=\sqrt{\frac{5\mu g}{3r}}$，故 D 错误；

B．当 B 与转台间摩擦力为 0 时，对 AB 整体由弹簧弹力提供向心力，则有 $kr=2m\omega^2 r$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{3\mu g}{4r}}$

此时 C 受到的向心力 $F_n=m\cdot 1.5r\cdot\omega^2=\frac{9}{8}\mu mg<kr=1.5\mu mg$ 故 C 受到的摩擦力方向背离中心，故 B 正确；

C．A 受到的摩擦力为 $f=m\omega^2 r=\frac{3}{4}\mu mg$，故 C 错误。

故选 B。

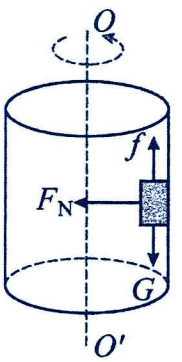
考点四：筒模型

题型一：圆筒模型

【精选例题】：B

1．B

【详解】A．向心力是效果力，可以由单个力充当，也可以由其他力的合力提供，或者由某个力的分力提供，不是性质力，因此，衣服受重力、弹力和摩擦力的作用，故 A 错误；



BCD．衣服做匀速圆周运动，合力指向圆心，对衣服（可看成质点）受力分析如图所示

可知衣服的重力与摩擦力平衡，即 $f=G$

根据弹力提供向心力有 $F_N=m\omega^2 r$

可知当角速度增大后，衣服受到的弹力增大，摩擦力仍与衣服的重力平衡大小不变，故 B 正确，CD 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：AB

1．AB

【详解】A．对衣服受力分析可知，竖直方向受力平衡，衣服所受的摩擦力大小 f＝mg，故 A 正确；

B．桶壁对衣服的支持力提供向心力，有 N＝mω²r，由牛顿第三定律可知桶壁受到的压力等于桶壁对衣服的支持力，故 B 正确；

C．由选项 B 可知，当ω增大时，压力也增大，故 C 错误；

D．由选项 A 可知，减小角速度ω时竖直方向有可能依旧受力平衡，此时衣服所受的摩擦力大小 f＝mg，故 D 错误。

故选 AB。

题型二：锥筒模型

【精选例题】：C　　B　　AB　　C

1．C

【详解】A．A、B 两球受到重力和支持力的作用，向心力是指向圆心的合力，不能说受到向心力， A 错误；

B．A、B 两球受到的支持力方向垂直于内壁斜向上，不是指向圆周的圆心，B 错误；

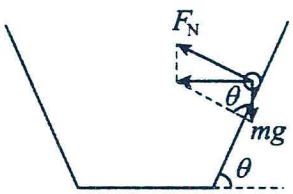
C．对两球进行受力分析，根据牛顿第二定律，有 $\frac{mg}{\tan\alpha}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r\tan\alpha}{g}}$

可知，轨道半径 r 越大，周期越大，所以 A 球的转动周期大于 B 球的转动周期，C 正确；

D．根据受力分析可知 A、B 球对漏斗壁的压力均为 $F_N=\frac{mg}{\sin\alpha}$，D 错误。

故选 C。

2．B



【详解】A．对摩托车受力分析如图所示

侧壁对摩托车的支持力 $F_N=\frac{mg}{\cos\theta}$，所以摩托车受到侧壁的支持力与高度无关，

保持不变，根据牛顿第三定律，摩托车对侧壁的压力与 h 无关，故 A 错误；

B．根据牛顿第二定律可知 $F_n=mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}$，得 $v=\sqrt{gr\tan\theta}$

高度 h 越大，r 越大，摩托车运动的线速度越大，故 B 正确；

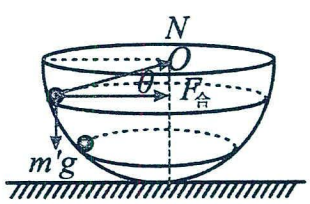
C．根据牛顿第二定律可知 $F_n=mg\tan\theta=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r}{g\tan\theta}}$

高度 h 越大，r 越大，摩托车运动的周期越大，故 C 错误；

D．摩托车做圆周运动的向心力 $F_n=mg\tan\theta$，与 h 无关，故 D 错误。

故选 B。

3．AB



【详解】A．两球做圆周运动的向心力由重力与支持力的合力来提供，设小球与球心 O 的连线与竖直方向间的夹角为 θ

根据牛顿第二定律 $m'g\tan\theta=m'\frac{v^2}{R\sin\theta}$，可得 $v=\sqrt{gR\tan\theta\sin\theta}$

则 a、b 的线速度之比为 $\frac{v_a}{v_b}=\sqrt{\frac{\tan53°\sin53°}{\tan37°\sin37°}}=\frac{8\sqrt{3}}{9}$，故 A 正确；

B．由 $m'g\tan\theta=m'\omega^2R\sin\theta$，可得 $\omega=\sqrt{\frac{g}{R\cos\theta}}$

则 a、b 的角速度之比为 $\frac{\omega_a}{\omega_b}=\sqrt{\frac{\cos37°}{\cos53°}}=\frac{2}{\sqrt{3}}$，故 B 正确；

C．由受力分析可知 $N_a=\frac{mg}{\cos53°}$，$N_b=\frac{2mg}{\cos37°}$

则 a、b 两球所受支持力的大小之比为 $\frac{N_a}{N_b}=\frac{2}{3}$，故 C 错误；

D．a 、b 两球运动过程中，两球对碗的压力的水平分量分别为 $N_{ax}=mg\tan53°=\frac{4}{3}mg$，$N_{bx}=2mg\tan37°=\frac{3}{2}mg$

两球对碗的压力的水平分量不相等，因此地面对碗始终有摩擦力的作用，即碗对地面始终有摩擦力作用，故 D 错误。

故选 AB。

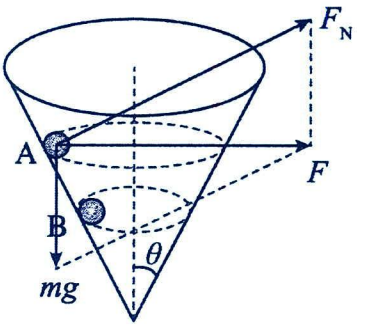
4．C

【详解】根据几何关系可得，此时弹簧的长度为 R，弹簧处于压缩状态，则

$N\cos 30°-kx\cos 30°=m\omega^2 R\cos 30°$；$N\sin 30°+kx\sin 30°=mg$；$x=0.5R$；联立解得：$\omega=\sqrt{\dfrac{3g}{2R}}$

故选 C。

【跟踪训练】：AD　　B　　BD　　BD



1．AD

【详解】ABC．以小球为研究对象，对小球受力分析，小球受力如图所示

由牛顿第二定律得 $mg\cot\theta=m\dfrac{v^2}{r}$；解得 $v=\sqrt{gr\cot\theta}$

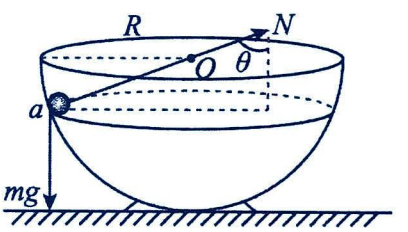
则角速度、周期为 $\omega=\dfrac{v}{r}=\sqrt{\dfrac{g\cot\theta}{r}}$；$T=\dfrac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\dfrac{r}{g\cot\theta}}$

由图示可知，对于 A、B 两个球来说，重力加速度 g 与角 θ 相同，A 的转动半径大，B 的半径小，则 A 的角速度小于 B 的角速度，A 的线速度大于 B 的线速度，A 的周期大于 B 的周期，故 A 正确，故 BC 错误；

D．由受力分析图可知，球受到的支持力 $F_N=\dfrac{mg}{\sin\theta}$；由于两球的质量 m 与角度 θ 相同，则桶壁对 A、B 两球的支持力相等，由牛顿第三定律可知，两球对桶壁的压力相等，故 D 正确。

故选 AD。

2．B

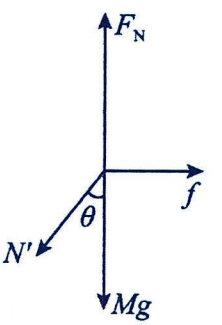


【详解】A．对小球受力分析，如图

由牛顿第二定律，可得 $mg\tan\theta=m\omega^2 r$，$N=\dfrac{mg}{\cos\theta}$

根据几何关系，有 $r=R\sin\theta$

联立，解得 $\omega=\sqrt{\dfrac{g}{R\cos\theta}}$，故 A 正确，不满足题意要求；



B．根据线速度与角速度关系，可得，$v=\omega r=\sqrt{gR\sin\theta\tan\theta}$，故 B 错误，满足题意要求；

CD．对容器受力分析，如图

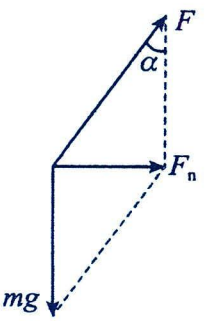
水平方向由平衡条件可得 $f=N'\sin\theta$，又 $N'=N$，联立解得 $f=mg\tan\theta$

竖直方向由平衡条件可得 $F_N=Mg+N'\cos\theta=(M+m)g$

根据牛顿第三定律，可得底座对地面的压力为 $F_N'=(M+m)g$，故 CD 正确，不满足题意要求。

故选 B。

3．BD



【详解】A.摩托车做匀速圆周运动，合外力不为零，故 A 错误；

B.作出受力图，则有合力提供向心力，根据牛顿第二定律得$mg\tan\alpha=m\frac{v^2}{R}$

得$v=\sqrt{gR\tan\alpha}$ H 越高，R 越大，则 v 越大，故正确；

C.根据题意，由平衡条件可得$F=\frac{mg}{\cos\alpha}$，由牛顿第三定律可知，摩托车对侧壁的压力$F'=F=\frac{mg}{\cos\alpha}$，可知，摩托车对侧壁的压力$F'$与 H 无关，故 C 错误；

D.由牛顿第二定律$mg\tan\alpha=m\omega^2R$，得$\omega=\sqrt{\frac{g\tan\alpha}{R}}$，故 D 正确。

故选 BD。

4．BD

【详解】A. 小球只受重力与支持力，两个力的合力提供向心力，由几何关系可知$F_{向}=G\tan45°=G$，$m_{球}a=m_{球}g$

所以球 A 和球 B 的向心加速度大小均为g，故 A 错误；

B. 由受力分析，结合几何关系可知$N\sin45°=G$，$N\cos45°=F_{向}$

所以两球所受漏斗支持力大小之比等于两球的重力之比，两球所受漏斗支持力大小之比又等于其所受向心力大小之比，故 B 正确；

C. 因为两球的向心力等于重力，所以$m_{球}\frac{v^2}{r}=m_{球}g$，$v^2=gr$，由图中的几何关系可知$r_A=4h$，$r_B=h$

所以球 A 和球 B 的线速度大小之比为 2：1，故 C 错误；

D. 由匀速圆周运动的角速度公式$m_{球}\omega^2r=m_{球}g$，结合两者的半径关系$r_A=4h$，$r_B=h$

可知两者的角速度关系为$\omega_B=2\omega_A$，小球 B 每转两圈，小球 A 转一圈，所以从图示时刻开始，球 B 每旋转两周会与球 A 在同一根母线上相遇一次，故 D 正确。

故选 BD。

考点五：圆锥摆模型

题型一：单体圆锥摆（基础型）

【精选例题】：CD　　C　　D　　AC

1．CD

【详解】A．小球的加速度大小保持不变，但是方向不断变化，故 A 错误；

B．轻绳拉力大小为$T=\frac{mg}{\cos\theta}$，故 B 错误；

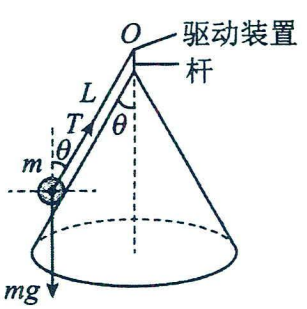
CD．小球做匀速圆周运动合外力提供向心力，则$F_{合}=mg\tan\theta=m\omega^2l\sin\theta$，解得$\omega=\sqrt{\frac{g}{l\cos\theta}}$，故 CD 正确。

故选 CD。

2．C

【详解】对小球受力分析，如图所示

竖直方向根据受力平衡可得$T_0\cos\theta=mg$



水平方向根据牛顿第二定律可得$T_0\sin\theta = m\omega_0^2 r$

由几何关系得$r = L\sin\theta$

联立解得$\omega_0 = 5\text{rad/s}$，$T_0 = 12.5\text{N}$

故选 C。

3．D

【详解】A．当转台转速较小时，绳子拉力为 0，竖直方向受力平衡可知，转台对物块的支持力等于物块的重力；当转台达到一定转速后，物块受到的摩擦力达到最大，绳子拉力不为 0，由于绳子有竖直向上的分力，竖直方向受力平衡可知，转台对物块的支持力小于物块的重力，故 A 错误；

B．当绳中刚出现拉力时，物块受到的摩擦力达到最大，则有$\mu mg = m\omega^2 L\sin\theta$，解得$\omega = \sqrt{\dfrac{\mu g}{L\sin\theta}}$，故 B 错误；

C．在细线产生张力前，滑块所需向心力由摩擦力提供，随着转台角速度的增大，摩擦力增大；当细绳张力产生后，在竖直方向产生分力，滑块和转台间弹力减小，摩擦力减小，当物块即将离开转台时，摩擦力减为零，故 C 错误；

D．当物块和转台之间摩擦力为零时，物块开始离开转台，根据牛顿第二定律可得$mg\tan\theta = m\omega^2 L\sin\theta$

解得$\omega = \sqrt{\dfrac{g}{L\cos\theta}}$，所以物块能在转台上随转台一起转动的最大角速度为$\sqrt{\dfrac{g}{L\cos\theta}}$，故 D 正确。

故选 D。

4．AC

【详解】A．小球受到重力、细线的拉力作用，故 A 正确；

B．细线与竖直方向的夹角为θ时，则$mg\tan\theta = m\omega^2 L\sin\theta$，解得$\omega = \sqrt{\dfrac{g}{L\cos\theta}}$，故 B 错误；

C．细线与竖直方向的夹角为θ时，小球的向心加速度大小为$mg\tan\theta = ma$，所以$a = g\tan\theta$，故 C 正确；

D．根据牛顿第二定律可得$mg\tan\theta = m\omega^2 L\sin\theta$，解得$\omega = \sqrt{\dfrac{g}{L\cos\theta}}$

当细线与杆的夹角θ为零时，细线就会缠绕在竖直杆，此时$\omega = \sqrt{\dfrac{g}{L}}$

即只要小球的角速度小于$\sqrt{\dfrac{g}{L}}$，细线就会缠绕在竖直杆上，故 D 错误。

故选 AC。

【跟踪训练】：CD　　C　　AD

4．(1)$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\alpha}{g}}$；(2)$v_1 = \sqrt{\dfrac{3gl}{2}}$，$v_2 = \dfrac{5\sqrt{2gl}}{2}$；(3)$x = 3\sqrt{3}l$

1．CD

【详解】A．雪圈（含人）做匀速圆周运动合外力一直指向圆心，方向在时刻发生变化，因而合外力在不断变化。故 A 错误；

B．根据图示可知绳子的拉力沿绳并指向绳收缩的方向，并不是指向圆周运动的圆心的。故 B 错误；

C．根据几何关系可知，雪圈（含人）做匀速圆周运动的半径为 $r=\sqrt{2^2+\left(4^2-2^2\right)}\mathrm{m}=4\mathrm{m}$

则线速度大小为 $v=\omega r=8\mathrm{m/s}$，故 C 正确；

D．雪圈（含人）所受的合外力提供所需的向心力，则有 $F_{\mathrm{n}}=m\omega^2 r=1280\mathrm{N}$，故 D 正确。

故选 CD。

2．C

【详解】设线长为 L，锥体母线与竖直方向的夹角为 θ，当时 $\omega=0$，小球静止，受重力 mg、支持力 N 和线的拉力 T_1 而平衡，此时有 $T_1=mg\cos\theta$ ω 增大时，T 增大，N 减小，

当 $N=0$ 时，角速度为 $\omega'^2=25$，有 $T_2\cos\theta=mg$，$T_2\sin\theta=mL\sin\theta\omega'^2$，解得 $m=2\,\mathrm{kg}$，$L=0.5\,\mathrm{m}$

故选 C。

3．AC

【详解】AB．设细线与竖直方向的夹角为θ，根据牛顿第二定律可得 $T\sin\theta=m\omega^2 l\sin\theta$，$mg\tan\theta=m\omega^2 l\sin\theta$

解得绳对小球的拉力大小为 $T=m\omega^2 l$，$\omega=\sqrt{\dfrac{g}{l\cos\theta}}$；由此可知，保持 l 不变，增大角速度ω，细线与竖直方向的夹角θ变大，故 A 正确，B 错误；

C．设细线与竖直方向的夹角为θ，根据牛顿第二定律可得 $mg\tan\theta=m\omega^2 h\tan\theta$，解得 $\omega=\sqrt{\dfrac{g}{h}}$

可知，保持 h 不变，增大绳长 l，ω 不变，故 C 正确；

D．根据 $T=m\omega^2 l$ 可知，增大绳长 l，绳对小球拉力的大小增大，故 D 错误。

故选 AC。

4．(1) $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\alpha}{g}}$；2) $v_1=\sqrt{\dfrac{3gl}{2}}$，$v_2=\dfrac{5\sqrt{2gl}}{2}$；(3) $x=3\sqrt{3}l$

【详解】（1）设小球做半径为 r 的圆周运动的周期为 T，绳与竖直方向的夹角为 α，

根据受力情况和向心力公式有 $mg\tan\alpha=mr\dfrac{4\pi^2}{T^2}$，$r=l\sin\alpha$，解得 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\alpha}{g}}$

（2）绳断时绳子的拉力 $F=2mg$，有 $\cos\theta=\dfrac{mg}{F}=\dfrac{1}{2}$，解得 $\theta=60°$

做圆周运动的半径 $R=l\sin\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{2}l$，由合力提供向心力有 $mg\tan\theta=m\dfrac{v_1^2}{R}$，解得 $v_1=\sqrt{\dfrac{3gl}{2}}$

绳断后到落地的过程中，根据动能定理有 $mg(6l-l\cos\theta)=\dfrac{1}{2}mv_2{}^2-\dfrac{1}{2}mv_1{}^2$，解得 $v_2=\dfrac{5\sqrt{2gl}}{2}$

（3）设绳长为 l'，绳断时球的速度为 v_3，有 $2mg-mg=m\dfrac{v_3^2}{l'}$，解得 $v_3=\sqrt{gl'}$

绳断后球做平抛运动，竖直位移为 $6l-l'$，水平位移为 x，时间为 t'，竖直方向有 $6l-l'=\dfrac{1}{2}gt'^2$

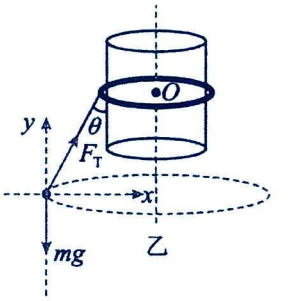
水平方向有 $x=v_3t'$，得 $x=\sqrt{l'(12l-l')}$

根据数学方法可知，当$l'=3l$时水平距离最大，最大为，$x=3\sqrt{3}l$

题型二：单体圆锥摆（升级模型）

【精选例题】：ABC　　B

1．ABC



【详解】根据题意，对配重受力分析，如图所示

竖直方向上有$F_T\cos\theta=mg$，水平方向上由牛顿第二定律有$mg\tan\theta=m\omega^2(L\sin\theta+r)$

综合上述分析可知，当m一定时，ω越大，则θ越大，$\cos\theta$越小，F_T越大；当ω一定时，θ的大小与质量无关，则m越大，θ不变，$\cos\theta$不变，F_T越大。

故选ABC。

2．B

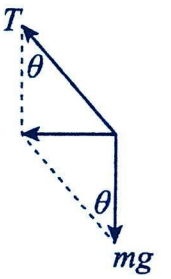
【详解】小球在竖直方向上合力为零，即$T_{AC}\sin60°=mg$，解得$T_{AC}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}mg$

当$T_{BC}=\sqrt{3}mg$时，小球线速度具有最大值v_m，根据牛顿第二定律有$T_{AC}\cos60°+T_{BC}=m\dfrac{v_m^2}{r}$，解得$v_m=2\sqrt{10}\text{m/s}$

故选B。

【跟踪训练】：C　　CD　　3．（1）$\dfrac{5}{8}mg$；（2）$\dfrac{15mg}{2L}$；（3）$\sqrt{\dfrac{10g}{L}}$

1．C



【详解】A．座椅受力如图所示

由平衡条件可得，在竖直方向上$mg=T\cos\theta$，绳子拉力为$T=\dfrac{mg}{\cos37°}=\dfrac{60\times10}{0.8}\text{N}=750\text{N}$，故A错误；

B．由牛顿第二定律得，$mg\tan\theta=\dfrac{mv^2}{d+l\sin\theta}$

线速度为$v=\sqrt{g(d+l\sin37°)\tan37°}=\sqrt{10\times(24+10\times0.6)\times0.75}\text{m/s}=15\text{m/s}$，故B错误；

C．转盘的角速度与座椅的角速度相等，角速度$\omega=\dfrac{v}{r}=\dfrac{v}{d+l\sin\theta}=\dfrac{15}{24+10\times0.6}\text{rad/s}=0.5\text{rad/s}$，

故C正确；

D．座椅转一圈的时间，即周期$T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\times3.14}{0.5}\text{s}=12.56\text{s}$，故D错误。

故选C。

2．CD

【详解】当a绳恰好拉直，但$T_b=0$时，细杆的转动角速度为v_1，

有$T_a\cos45°=mg$，$T_a\sin45°=m\dfrac{v_1^2}{L_b\sin60°}$，解得$v_1\approx4.16\text{m/s}$

当b绳恰好拉直，但$T_a=0$时，细杆的转动角速度为v_2，

有 $T_b\cos 60°=mg$，$T_b\sin 60°=m\dfrac{v_2^2}{L_b\sin 60°}$，解得 $v_2\approx 5.48\text{m/s}$

要使两绳都拉紧，$4.16\text{m/s}\le v\le 5.48\text{m/s}$

故选 CD。

3．（1）$\dfrac{5}{8}mg$；（2）$\dfrac{15mg}{2L}$；（3）$\sqrt{\dfrac{10g}{L}}$

【详解】（1）装置静止时，设 a、b 杆中的弹力分别为 F_1、T_1，Q 受力平衡，

则有 $F_1\cos 37°+T_1\cos 37°=mg$，$F_1\sin 37°=T_1\sin 37°$，联立，解得，$F_1=\dfrac{5}{8}mg$

（2）装置静止时，P 受到弹簧的弹力为 $F_{弹1}=k\left(2L\cos 37°-\dfrac{7}{5}L\right)=0.2kL$

方向竖直向上。P 受力平衡，则有 $F_{弹1}=mg+T_1\cos 37°$，解得 $k=\dfrac{15mg}{2L}$

（3）轻杆与竖直方向夹角为 53°时，设 a、b 杆中的弹力分别为 F_2、T_2，

P 受到的弹力为 $F_{弹2}=k\cdot\left(\dfrac{7}{5}L-2L\cos 53°\right)=0.2kL=1.5mg$，方向竖直向下。

P 受力平衡，有 $T_2\cos 53°=mg+F_{弹2}$，解得 $T_2=\dfrac{25mg}{6}$

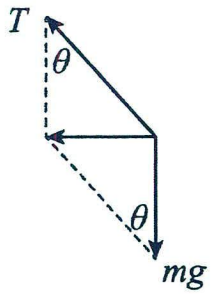
对 Q 有 $F_2\cos 53°=T_2\cos 53°+mg$，$F_2\sin 53°+T_2\sin 53°=m\omega^2L\sin 53°$，解得 $\omega=\sqrt{\dfrac{10g}{L}}$

题型三：多体连接圆锥摆（基础模型）

【精选例题】：CD

1．CD

【详解】AB．对小球受力分析，如图



由图可知，小球受重力和拉力作用，两个力的合力提供向心力，可得 $F_n=mg\tan\theta$

两球质量相等，根据题中图可知，A 球细绳与竖直方向夹角较小，则 A 球做圆周运动所需的向心力较小。故 AB 错误；

C．由 $mg\tan\theta=m\dfrac{v^2}{r}$，解得 $v=\sqrt{gr\tan\theta}$

A 球圆周运动的半径 r 较小，A 球细绳与竖直方向夹角也较小，所以 A 球做圆周运动的线速度比 B 球的小。故 C 正确；

D．由 $mg\tan\theta=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $T=\sqrt{\dfrac{4\pi^2r}{g\tan\theta}}$

两球在同一水平面内做匀速圆周运动，设与悬点 O 的高度为 h，则有 $r=h\tan\theta$，联立，解得 $T=\sqrt{\dfrac{4\pi^2h}{g}}$

即 A 球和 B 球做圆周运动的周期一样大。故 D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：AD　　B

1．AD

【详解】A．对任一小球研究。设细线与竖直方向的夹角为θ，竖直方向受力平衡，有 Tcosθ=mg，解得 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$

所以细线 L_1 和细线 L_2 所受的拉力大小之比 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{\cos 30°}{\cos 60°}=\sqrt{3}:1$，选项 A 正确；

B．小球所受合力的大小为 mgtanθ，根据牛顿第二定律得 mgtanθ=mLsinθω^{2,} 得 $\omega=\sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}$

所以 $\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}=\frac{\cos 30°}{\cos 60°}=\sqrt{3}:1$，选项 B 错误；

C．小球所受合力提供向心力，则向心力为 F=mgtanθ

小球 m_1 和 m_2 的向心力大小之比为 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{\tan 60°}{\tan 30°}=3:1$，选项 C 错误；

D．小球所受合力的大小为 mgtanθ，根据牛顿第二定律得 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{L\sin\theta}$，解得 $v=\sqrt{gL\tan\theta\sin\theta}$

所以 $\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{\tan 60°\sin 60°}{\tan 30°\sin 30°}}=\sqrt{3\sqrt{3}}:1$，选项 D 正确。

故选 AD。

2．B

【详解】AB．对题图甲中 A、B 分析，设绳与竖直方向的夹角为 θ，绳长为 l，小球的质量为 m，小球 A、B 到悬点 O 的竖直距离为 h，则 $mg\tan\theta=m\omega^2 l\sin\theta$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{g}{l\cos\theta}}=\sqrt{\frac{g}{h}}$

所以小球 A、B 的角速度相等，线速度大小不相等，故 A 正确，不符合题意；B 错误，符合题意；

CD．对题图乙中 C、D 分析，设绳与竖直方向的夹角为 α，小球的质量为 m，绳上拉力为 F_T，

则有 $mg\tan\alpha=ma_n$，$F_T\cos\alpha=mg$，得 $a_n=g\tan\alpha$，$F_T=\frac{mg}{\cos\alpha}$

所以小球 C、D 所需的向心加速度大小相等，小球 C、D 受到绳的拉力大小也相等，故 CD 正确，不符合题意。

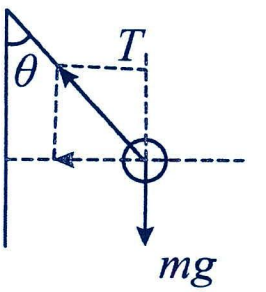
故选 B。

题型四：多体连接圆锥摆（升级模型）

【精选例题】：D　　AC　　AD　　4．（1）300N，$\frac{1600}{3}$N；（2）$\sqrt{3}$rad/s；（3）$\frac{40\sqrt{3}}{9}$m/s

1．D

【详解】对座椅进行受力分析，如图



根据牛顿第二定律，有 $mg\tan\theta=m\omega^2 r$

可知，轨道半径越大，细线与竖直转轴的角度 θ 越大，如图可知 B 座椅轨道半径大，所以 B 座椅的细线与竖直方向的角度大。

故选 D。

2．AC

【详解】AB．人在水平面内做匀速圆周运动，所以$a=\omega^2 r$

由于 M 的半径大于 N 的半径，而二者角速度相同，所以$a_M>a_N$，A 正确，B 错误；

CD．设绳子与竖直方向的夹角为θ，对人受力分析，根据牛顿第二定律可得$mg\tan\theta=ma$，$a=g\tan\theta$

结合上述结论可得$\theta_M>\theta_N$，在竖直方向上，则有$F_M\cos\theta_M=mg$，$F_N\cos\theta_N=mg$，解得$F_M=\frac{mg}{\cos\theta_M}$，$F_N=\frac{mg}{\cos\theta_N}$

由于$\theta_M>\theta_N$，所以$\cos\theta_M<\cos\theta_N$，故$F_M>F_N$，C 正确，D 错误。

故选 AC。

3．AD

【详解】D．设转盘半径为r_0，钢绳长为 l，稳定后，偏角θ，则旋转半径$R=l\sin\theta+r_0$

向心加速度公式为$(r_0+l\sin\theta)\omega^2=g\tan\theta$，变形得$l=\frac{g}{\omega^2}\frac{1}{\cos\theta}-\frac{r_0}{\sin\theta}$

由公式得 l 越长，与竖直方向偏角θ越大。甲的钢绳长，则甲与竖直方向偏角θ大，即$\theta_{甲}>\theta_{乙}$，故 D 正确；

A．又由$a=g\tan\theta$，得$a_{甲}>a_{乙}$，故 A 正确；

B．由$R=l\sin\theta+r_0$，得$R_{甲}>R_{乙}$，故 B 错误；

C．由$h=l\cos\theta$与向心加速度公式联立，得$h=\frac{g}{\omega^2}-\frac{r_0}{\tan\theta}$ θ越大，h 越大，因为$\theta_{甲}>\theta_{乙}$，所以$h_{甲}>h_{乙}$,故 C 错误。

故选 AD。

4．（1）300N，$\frac{1600}{3}$N；（2）$\sqrt{3}$rad/s；（3）$\frac{40\sqrt{3}}{9}$m/s

【详解】（1）a 所需向心力的大小$F_{na}=mg\tan\alpha=300$N b 所需向心力的大小$F_{nb}=mg\tan\beta=\frac{1600}{3}$N

（2）对 a 分析可知$F_{na}=m\omega^2(l_a\sin\alpha+x_{OA})$,解得$\omega=\sqrt{3}$rad/s

（3）对 b 分析可知$F_{nb}=m\omega v$，解得$v=\frac{40\sqrt{3}}{9}$m/s

【跟踪训练】：AD　　C　　D　　AC

1．AD

【详解】AC．对球 a$m_a g\tan37^\circ=m_a\omega^2(OA+l\sin37^\circ)$；对 b$m_b g\tan53^\circ=m_b\omega^2(OB+l\sin53^\circ)$

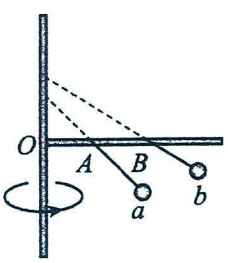
联立解得 OB=12cm，即悬挂点 A、B 的距离也为 6cm，两球质量关系不能确定，选项 A 正确，C 错误；

BD．a、b 两球在水平面内做匀速圆周运动，将两球的圆周运动等效成圆锥摆，设摆长为 L，

等效摆线与竖直方向夹角为θ，根据牛顿第二定律得 mgtanθ=mω²Lsinθ，解得$\omega=\sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}=\sqrt{\frac{g}{h}}$h

为等效悬点到小球的高度差，由于两球的角速度相同，因此 h 相同，因做圆周运动时两球不在同一高度上，则若将两绳沿 aA 和 bB 方向延长，不能交竖直杆于同一点，故 B 错误，D 正确。

故选 AD。



2．C

【详解】设与球 A 相连的轻绳与竖直方向的夹角为θ，对整体分析，根据牛顿第二定律得$Mg\tan\theta = Mr\omega^2$

解得上面细绳与竖直方向的夹角与角速度的关系为$g\tan\theta = r\omega^2$

设与球 B 相连的轻绳与竖直方向的夹角为α，隔离对 B 球分析，可得$mg\tan\alpha = mr'\omega^2$

解得下面细绳与竖直方向夹角与角速度的关系为$g\tan\alpha = r'\omega^2$

A、B 两球的角速度相等，又$r' > r$，则$\alpha > \theta$，故选 C。

3．D

【详解】设两球稳定时，两球做匀速圆周运动的角速度均为ω，最上方绳子与竖直方向的夹角为θ_1，最下方绳子与竖直方向的夹角为θ_2，绳子的总长度为 2L，

对两球整体，由牛顿第二定律$F_1\sin\theta_1 = m\omega^2 L\sin\theta_1 + m\omega^2(L\sin\theta_1 + L\sin\theta_2)$，$F_1\cos\theta_1 = 2mg$

得$\tan\theta_1 = \dfrac{m\omega^2 L(2\sin\theta_1 + \sin\theta_2)}{2mg}$

对下方小球，由牛顿第二定律$F_2\sin\theta_2 = m\omega^2 L(\sin\theta_2 + \sin\theta_1)$，$F_2\cos\theta_2 = mg$

得$\tan\theta_2 = \dfrac{m\omega^2 L(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)}{mg}$

联立知$\tan\theta_1 < \tan\theta_2$，解得$\theta_1 < \theta_2$，故 D 正确，ABC 错误。

故选 D。

3．AC

【详解】AB．对两小球整体，在竖直方向有$T_1\cos\theta_1 = 6mg$，同理，对小球 m，竖直方向有$T_2\cos\theta_2 = mg$

其中$\sin\theta_1 = \dfrac{1}{\sqrt{5}}$，$\sin\theta_2 = \dfrac{2}{\sqrt{5}}$；由上述两式即可得到$\dfrac{T_1}{T_2} = \dfrac{3}{1}$，故 A 正确，B 错误；

CD．对下面小球受力分析水平方向有$T_2\sin\theta_2 = m\omega^2 r_2$，对上面的小球，在水平方向有$T_1\sin\theta_1 - T_2\sin\theta_2 = 5m\omega^2 r_1$

联立解得$\dfrac{r_1}{r_2} = \dfrac{1}{10}$，其中$r_1 = l_1\sin\theta_1$，$r_2 = l_1\sin\theta_1 + l_2\sin\theta_2$，联立解得$\dfrac{l_1}{l_2} = \dfrac{2}{9}$，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

考点六：斜面上圆周运动模型

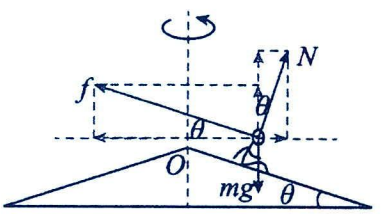
题型一：倾斜圆盘模型(摩擦力控制)

【精选例题】：C　　B　　A　　C

1．C

【详解】A．游客受到重力、支持力、摩擦力三个力的作用，其中支持力和摩擦力的合力的方向不是水平方向，故 A 错误；

BC．对游客受力分析，如图所示



根据牛顿第二定律可得 $f\cos\theta - N\sin\theta = m\omega^2 r$ ， $f\sin\theta + N\cos\theta = mg$

可得 $N = mg\cos\theta - m\omega^2 r\sin\theta$ ， $f = mg\sin\theta + m\omega^2 r\cos\theta$

由于游客的重力保持不变，魔盘的倾斜角度不变，魔盘角速度缓慢增大，游客所需向心力增大，因此摩擦力 f 增大，N 减小，故 B 错误，C 正确；

D．由上分析可知在魔盘运动的规律与人的质量无关，故 D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】B. 小物块在最低点即将滑动时，此时圆盘角速度最大，由牛顿第二定律有 $\mu mg\cos 30° - mg\sin 30° = m\omega_1^2 l$

解得圆盘角速度的最大值 $\omega_l = \sqrt{\frac{g}{4l}} = 5\sqrt{2}\text{rad/s}$，故 B 正确；

A．小物块在最高点恰好不受摩擦力时，根据牛顿第二定律有 $mg\sin 30° = m\omega_2^2 l$

解得小物块在最高点不受摩擦力时的角速度 $\omega_2 = \sqrt{\frac{g}{2l}}$，代入数据解得 $\omega_2 = 10\text{rad/s}$

由于物体与圆盘相对静止，故角速度不会超过 $5\sqrt{2}\text{rad/s}$，故到最高点摩擦力不能为零，故 A 错误；

CD．由于做匀速圆周运动，合力方向指向圆盘中心，除掉最高点和最低点外其他位置，重力的下滑分力方向均不通过圆心，则摩擦力方向均不通过圆盘中心，故 CD 错误。

故选 B。

3．A

【详解】A．由题图可知，当转台以恒定的角速度转动时，重力和静摩擦力的合力提供向心力，且物体乙的向心力大于物体甲的向心力，且在最低点时的静摩擦力大于最高点的静摩擦力，因此只需保证物体乙在最低点不发生滑动即可，此时有 $\mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha = m\omega_0^2 \cdot x_乙$，解得 $\omega_0 = 5\text{rad/s}$，A 正确；

BCD．最低点时对物体甲有 $F_{f甲1} - mg\sin\alpha = m\omega_0^2 x_甲$，解得 $F_{f甲1} = 6.25\text{N}$

物体乙所受的摩擦力为 $F_{f乙1} = \mu mg\cos\alpha = 7.5\text{N}$

物体甲乙在最低点时所受的摩擦力之比为 $F_{f甲1} : F_{f乙1} = 5:6$

在最高点时，对物体甲有 $mg\sin\alpha - F_{f甲2} = m\omega_0^2 x_甲$，解得 $F_{f甲2} = 3.75\text{N}$

对物体乙有 $mg\sin\alpha - F_{f乙2} = m\omega_0^2 \cdot x_乙$，解得 $F_{f乙2} = 2.5\text{N}$

则在最高点时物体甲乙所受的摩擦力之比为 $F_{f甲2} : F_{f乙2} = 3:2$

物体甲在最低点和最高点所受的摩擦力之比为 $F_{f甲1} : F_{f甲2} = 5:3$，选项 BCD 错误。

故选 A。

4．C

【详解】当物体转到圆盘的最低点，所受的静摩擦力沿斜面向上达到最大时，角速度最大，

由牛顿第二定律得 $\mu mg\cos 30° - mg\sin 30° = m\omega^2 r$，解得 $\omega = 2\text{ rad/s}$

当物体转到与圆心等高的位置，摩擦力应等于向心力与重力分力的合力；需要的向心力为$F=m\omega^2r=10\text{N}$

则摩擦力为$f=\sqrt{F^2+(mg\sin 30°)^2}=5\sqrt{5}\text{N}\approx 11.2\text{N}$

转动过程中小物体在最高点受到的摩擦力方向指内圆心，故在最高点应满足$m\omega^2r>mg\sin 30°$,解得$\omega>\sqrt{2}\ \text{rad/s}$

当物体转到与圆心等高的位置需要的向心力为$F=m\omega^2r>5\text{N}$

则摩擦力为$f=\sqrt{F^2+(mg\sin 30°)^2}>5\sqrt{2}\text{N}\approx 7.1\text{N}$

故该物块转至圆心等高处A点时所受摩擦力大小应满足$7.1\text{N}<f<11.2\text{N}$

故选C。

【跟踪训练】：D　　D　　AD

1．D

【详解】ABC．设斜劈倾角为θ，物块做圆周运动的半径为r，物块的质量为m；以物块为对象，竖直方向根据受力平衡可得$f\sin\theta+N\cos\theta=mg$，水平方向根据牛顿第二定律可得$f\cos\theta-N\sin\theta=m\omega^2r$

联立可得$f=mg\sin\theta+m\omega^2r\cos\theta$，$N=mg\cos\theta-m\omega^2r\sin\theta$

可知随着斜劈转动的角速度ω缓慢增大，斜劈对物块的支持力逐渐减小，斜劈对物块的摩擦力逐渐增大，故ABC错误；

D．将斜劈对物块的摩擦力与支持力的合力分解为水平方向和竖直方向两个分力，则有$F_x=m\omega^2r$，$F_y=mg$

可知水平分力逐渐增大，竖直分力不变，根据$F_{合}=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$

可知斜劈对物块的摩擦力与支持力的合力逐渐增大，故D正确。

故选D。

2．D

【详解】设物体的质量为m，当物体转到圆盘的最低点，所受的静摩擦力沿斜面向上达到最大时，由牛顿第二定律有$\mu mg\cos 37°-mg\sin 37°=m\omega^2r$，即$\omega=\sqrt{\dfrac{g(\mu\cos 37°-\sin 37°)}{r}}$，解得$\omega=2\text{rad/s}$

故选D。

3．AD

【详解】物块随圆盘一起转动过程中，所需向心力为$F=m\omega^2r=\dfrac{1}{6}mg$

A．物块经过Q点时根据牛顿第二定律$f_Q-mg\sin 30°=F$，解得$f_Q=\dfrac{2}{3}mg$，故A正确；

B．物块经过P点时根据牛顿第二定律$mg\sin 30°-f_P=F$，解得$f_P=\dfrac{1}{3}mg$，故B错误；

C．静摩擦力小于等于最大静摩擦力，即$f_Q=\dfrac{2}{3}mg\le\mu mg\cos 30°$，$f_P=\dfrac{1}{3}mg\le\mu mg\cos 30°$，解得$\mu\ge\dfrac{4\sqrt{3}}{9}$

故 C 错误；

D．若圆盘的角速度继续缓慢增大，物块经过 Q 点时，沿斜面向上的静摩擦力和沿斜面向下的重力的分力的合力提供向心力，即静摩擦力等于重力与向心力之和；物块经过 P 点时，当静摩擦力为零时 $mg\sin 30°=m\omega_0^2 r$

解得 $\omega_0=\sqrt{\frac{g}{2r}}$，则，当角速度增大到 $\omega>\sqrt{\frac{g}{2r}}$ 后，沿斜面向下的静摩擦力和沿斜面向下的重力的分力的合力提供向心力，即静摩擦力等于重力与向心力之差，即在 Q 点时的静摩擦力大，所以，若圆盘的角速度继续缓慢增大，则物块最容易与圆盘发生相对滑动的位置为 Q 点，故 D 正确。

故选 AD。

题型二：斜面上轻绳控制模型

【精选例题】：B　　AC

1．B

【详解】由题意可知，小球恰好过 A 点时的速度最小，即小球过 A 点时绳子上的拉力恰好为零时，此时小球做圆周运动的向心力完全由小球重力沿斜面向下的分力来提供，

由牛顿第二定律有 $mg\sin 30°=m\frac{v_{\min}^2}{L}$，解得 $v_{\min}=2\text{m/s}$

故选 B。

2．AC

【详解】A．当物块 A 转到最高点时，两根绳子拉力均为零，且 A、B 所受摩擦力均刚好等于最大静摩擦力；A 在最高点，由牛顿第二定律得 $\mu mg\cos\theta+mg\sin\theta=m\omega^2\cdot 3d$

B 在最低点，由牛顿第二定律得 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=m\omega^2 d$

联立解得 $\mu=2\tan\theta$，$\omega=\sqrt{\frac{g\sin\theta}{d}}$，故 A 正确，B 错误；

C．运动过程中，当 A 到最低点时，所需的拉力最大，设为 T_{Amax}，

由牛顿第二定律得 $T_{\text{Amax}}+\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=m\omega^2\cdot 3d$，解得 $T_{\text{Amax}}=2mg\sin\theta$，故 C 正确；

D．运动过程中，当 B 到最高点时，由于 $F_{向}=m\omega^2 d=mg\sin\theta$

可知 B 的重力分力刚好提供所需的向心力，所以 B 所受摩擦力最小值为 0。故 D 错误。

故选 AC。

【跟踪训练】：ABD　　CD

1．ABD【详解】A．小球通过 B 点，当小球的重力和斜面对小球的支持力的合力恰好提供向心力时，轻绳的弹力为零，故 A 正确；

B．小球通过 B 点时，当绳上拉力恰好为零时，对应的速度最小，由牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta=m\frac{v_B^2}{L}$

解得 $v_B=\sqrt{gL\sin\theta}$，故 B 正确；

C．小球通过 A 点时，若轻绳的弹力为零，小球的重力和斜面对小球的支持力的合力不可能沿斜面向上指向圆

心，故 C 错误；

D．斜面对小球的支持力始终等于重力沿垂直于斜面方向的分量，与小球的速度无关，即 $N=mg\cos\theta$

故 D 正确。故选 ABD。

2．CD【详解】A．小球位于初始位置时的向心加速度为 $a_1=\frac{v_0^2}{l}$，沿斜面向下的加速度为 $a_2=g\sin\theta$

则小球位于初始位置时的加速度大于 $\frac{v_0^2}{l}$，故 A 错误；

B．由图乙可知，小球通过最高点时细线的拉力为零，则有 $mg\sin\theta=m\frac{v_1^2}{l}$

解得小球通过最高点时速度为 $v_1=\sqrt{gl\sin\theta}$，故 B 错误；

C．小球在初始位置时，有 $F_0=m\frac{v_0^2}{l}$，则小球通过最高点时速度为 $v_1=\sqrt{gl\sin\theta}=\sqrt{\frac{mg\sin\theta}{F_0}}v_0$，故 C 正确；

D．小球通过最低点时，有 $2F_0-mg\sin\theta=m\frac{v_2^2}{l}$，解得小球通过最低点的速度为 $v_2=\sqrt{\frac{2F_0-mg\sin\theta}{F_0}}v_0$，故 D 正确。

题型三：斜面上轻杆控制模型

【精选例题】：C

1．C【详解】设小球恰好通过点 A 时的速度大小为 v_A，$v_A=0$；故选 C。

【跟踪训练】：BD

1．BD【详解】A．杆可以为小球提供支持力，所以小球经过最高点 B 时的速度只需要大于零即可，故 A 错误；

B．小球在 A 点速度重力、斜面的支持力以及杆的拉力，沿斜面得方向 $F-mg\sin\theta=\frac{mv^2}{L}$

可得 $F=mg\sin\theta+\frac{mv^2}{L}$；故 B 正确；

C．斜面对小球的支持力始终等于重力沿垂直于斜面方向的分量，与小球的速度无关，故 C 错误；

D．若小球以 $\sqrt{gL\sin\theta}$ 的速率通过 B 点时突然脱落而离开轻杆，则小球在斜面上作类平抛运动，在平行于底边

方向做匀速运动，在垂直于底边方向做初速为零的匀加速度运动，故 $s_{水平}=v_bt=\sqrt{gL\sin\theta}\cdot t$

沿斜面方向 $2L=\frac{1}{2}at^2$；其中 $a=g\sin\theta$；联立解得 $s_{水平}=2L$

即到达与 A 点等高处时与 A 点间的距离为 2L，故 D 正确；故选 BD。

综合练习（三）

1．D

【详解】A．在倾斜的弯道上匀速骑行，不是匀速直线运动，是线速度大小不变的曲线运动，因此，不属于平衡状态，故 A 错误；

B．支持力垂直于轨道向上，故 B 错误；

C．质点沿半径方向可能不受摩擦力，但切线方向会受到摩擦阻力，故 C 错误；

D．圆周运动的轨道在水平面上，合外力提供向心力，所以合外力沿水平方向，故 D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】AB．对玩具小熊 $m_1 g\tan\theta = m_1 a_n$，得 $a_n = g\tan\theta$

对列车整体 $m_2 a_n = m_2 g\tan\theta$，说明列车的轮缘与轨道无侧向挤压作用，且加速度为水平方向，A 正确，B 错误；

C．水杯所受支持力方向与竖直方向夹角为 θ，同理，水杯与桌面间不存在静摩擦力，C 错误；

D．水杯受到桌面的支持力与水杯的重力方向不共线，不可能是一对平衡力，D 错误。

故选 A。

3．C

【详解】根据升力与重力的合力提供向心力和向心力方程可知 $mg\tan\theta = m\dfrac{v^2}{R}$

甲、乙做圆周运动的轨迹半径相同，且甲的速率大于乙的速率，则 $\tan\theta_1 > \tan\theta_2$，即 $\theta_1 > \theta_2$

故选 C。

4．C

【详解】A．人借助滑轮下滑过程中，速度大小是变化的，所以人在整个绳索上运动不能看成匀速圆周运动，故 A 错误；

B．设绳索的圆弧半径为 r，则由几何知识，有 $r^2 = (r-h)^2 + \left(\dfrac{L}{2}\right)^2$，代入数据解得 r=104m

根据向心加速度公式可得 $a = \dfrac{v^2}{r} = \dfrac{10^2}{104}\text{m/s}^2 = 0.96\text{m/s}^2$，故 B 错误；

C．以人和滑轮为研究对象，根据牛顿第二定律，有 $N - mg = m\dfrac{v^2}{r}$

代入数据解得人和滑轮在滑到最低点时绳索对人和滑轮的支持力为 N=570N

根据牛顿第三定律得知，人滑到最低点时滑轮对绳索的压力为 $N' = N = 570\text{N}$

故 C 正确；

D．小学生滑到最低点时，具有向上的加速度，所以处于超重状态，故 D 错误。

故选 C。

5．B

【详解】对 A 分析，根据牛顿第二定律有 $F_A - m_A g = m_A\dfrac{v_A^2}{r}$，可得，圆管对小球 A 的弹力为 $F_A = 28\text{N}$，方向向上

则小球 A 对圆管的弹力为 $F_1 = F_A = 28\text{N}$，方向向下

对圆管分析，则有 $F_2 = F_1 + mg$，解得，则小球 B 对圆管的弹力为，$F_2 = 44\text{N}$，方向向上

则圆管对小球 B 的弹力为 $F_B = F_2 = 44\text{N}$，方向向下

对小球 B 分析，有 $F_B + m_B g = m_B \frac{v_B^2}{r}$，解得，小球 B 的速度为 $v_B = 4\text{m/s}$

故选 B。

6．C

【详解】ACD．令绳子与木块和圆心的连线夹角为 θ，对小木块分析有，$T\sin\theta = \mu mg$，$T\cos\theta = m\omega^2 R$

根据几何关系有 $\sin\theta = \frac{r}{R}$，解得 R=2m，$\theta = 30°$，$T = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$，故 AD 错误，C 正确；

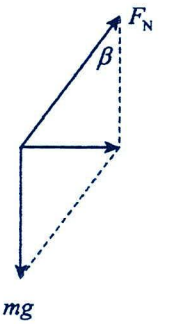
B．木块的线速度 $v_1 = \omega R$，圆盘边缘的线速度 $v_2 = \omega r$，结合上述解得 $v_1 : v_2 = 2:1$，故 B 错误；

故选 C。

7．C

【详解】ACD．对于任意一球，设其轨道处半球形碗的半径与竖直方向的夹角为 β，半球形碗的半径为 R。

根据重力和支持力的合力提供圆周运动的向心力，得 $F_{合} = mg\tan\beta = ma = m\frac{v^2}{r} = mr\omega^2$，又 $r = R\sin\beta$



联立得 $v = \sqrt{gR\tan\beta\sin\beta}$，$a = g\tan\beta$，$\omega = \sqrt{\frac{g}{R\cos\beta}}$ R 一定，可知 β 越大，线速度 v 越大、角速度 ω 越大、向心加速度 a 越大，所以球 A 的线速度大于球 B 的线速度，球 A 的角速度大于球 B 的角速度，球 A 的向心加速度大于球 B 的向心加速度，故 C 正确，AD 错误；

B．由图得：球所受的支持力

$F_N = \frac{mg}{\cos\beta}$ β 越大，F_N 越大，则碗对 A 球的支持力较大，由牛顿第三定律知球 A 对碗壁的压力大于球 B 对碗壁的压力，故 B 错误。

故选 C。

8．B

【详解】磁铁受到的向心力由磁力和重力的合力提供，则有 $F_n = m\omega^2 r$

磁铁不滑动时，则有 $f = \sqrt{F_n^2 + (mg)^2}$，$f = \mu F_0$，联立解得 $\omega = \sqrt[4]{\frac{\mu^2 F_0^2 - m^2 g^2}{m^2 r^2}}$

故选 B。

9．AB

【详解】A．当汽车通过最低点时，需要向上的向心力，则有 $F_N > mg$，则处于超重状态，故 A 正确；

B．设绳与竖直方向上的夹角为 θ，小球竖直高度为 h，由牛顿第二定律有 $mg\tan\theta = m\omega^2 \cdot h\tan\theta$

得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$，两物体高度一致，则它们角速度大小相等，故 B 正确；

C．物体所受合外力不足以提供向心力才会做离心运动，故 C 错误；

D．超速时重力与支持力的合力不足以提供向心力，会挤压外轨产生向内的力，故 D 错误。

故选 AB。

10．BD

【详解】AB．在最高点由牛顿第二定律有 $F+mg=\frac{mv^2}{l}$，解得 $F=\frac{mv^2}{l}-mg$

可知图线斜率 $k=\frac{m}{l}$，横轴上截距 $b=gl$，纵轴上截距的绝对值 $a=mg$，可得 $\frac{b}{a}=\frac{l}{m}, g=\frac{a}{m}$，故 A 错误，B 正确；

C．由图像可知 $F=\frac{a}{b}v^2-a$，故当 $v^2=c$ 时 $F=\frac{ac}{b}-a$，故 C 错误；

D．从最高点到最低点由机械能守恒有 $2mgl=\frac{1}{2}mv'^2-\frac{1}{2}mv^2$，在最低点有 $F'-mg=\frac{mv'^2}{l}$

解得 $F'-F=6mg=6a$，故 D 正确。

故选 BD。

11．AD

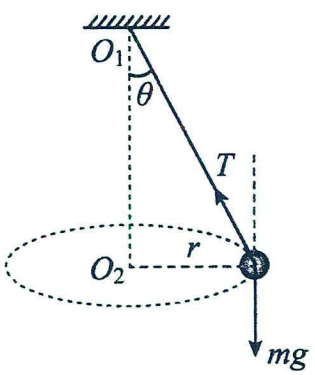
【详解】设圆盘做匀速圆周运动的角速度为 ω，小物体随圆盘一起转动的线速度 $v=\frac{\sqrt{3}}{2}\omega r$

圆盘突然停止转动，小物体在圆盘上沿切线方向做匀减速运动，经过时间 t，恰好在圆盘边缘停下，

其位移大小 $x=\sqrt{r^2-\left(\frac{\sqrt{3}r}{2}\right)^2}=\frac{1}{2}r$，由 $x=\frac{v}{2}t$，得 $\omega=\frac{2\sqrt{3}}{3t}$，故 AD 正确，BC 错误。

故选 AD。

12．(1) $\frac{mg}{\cos\theta}$，(2) $g\tan\theta$，(3)见解析



【详解】（1）小球受力如图

根据小球竖直方向受力平衡得 $T\cos\theta=mg$，得 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$

（2）根据几何关系，根据牛顿第二定律 $mg\tan\theta=ma_n$

解得 $a_n=g\tan\theta$

（3）根据向心加速度的公式有 $a_n=r\omega^2=g\tan\theta$，有 $r=l\sin\theta$

联立解得 $\cos\theta=\frac{g}{l\omega^2}$

可知角速度越大则绳与竖直方向的夹角也越大。

第八讲：万有引力定律

考点一：开普勒三定律

题型一：认识开普勒三定律

【精选例题】：BD

1．BD

【详解】A．开普勒第一定律指出所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，A 错误；

B．由开普勒第一定律知，太阳处在绕它运动的行星轨道的焦点上，B 正确；

C．由开普勒第二定律可知，行星与太阳连线在相同时间内扫过的面积相等，这个定律相对于同一行星而沿，对于不同的行星，其相同时间内扫过的面积不相等，C 错误；

D．由开普勒第三定律可知，所有行星的轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值相同，D 正确。

故选 BD。

【跟踪训练】：D　　C

1．D

【详解】A．开普勒定律不但适用于行星绕太阳的运动，也适用于卫星绕地球的运动，故 A 错误；

B．另一个焦点在太阳与椭圆中心的连线上，太阳与另一个焦点关于椭圆中心对称，由于行星轨道不一样，所以另一个焦点每个行星都是不同的，故 B 错误；

C．根据开普勒第二定律，同一行星在不同位置与太阳的连线在相等的时间内扫过的面积相等，而火星和地球不在同一轨道，相等的时间内扫过的面积不相同，故 C 错误；

D. 根据开普勒第三定律，同一中心天体的所有行星的轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值都相等，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】A．由开普勒第三定律可知，绕太阳运行的行星，轨道半长轴越长，公转的周期就越大。故 A 错误；

B．由开普勒第三定律可知，在月球绕地球运动中，$\frac{r^3}{T^2}=k$ 中的 T 表示月球环绕地球的周期。故 B 错误；

C．由开普勒第二定律可知，对于任意一个行星，它与太阳的连线在相等的时间内扫过的面积相等。故 C 正确；

D．开普勒第三定律针对的是环绕同一中心的天体的行星间的关系。故 D 错误。

故选 C。

题型二：开普勒三定律简单应用

【精选例题】：BC　　B

1．BC

【详解】A．地球绕太阳在椭圆轨道上运行，从近日点到远日点，太阳对地球的引力做负功，则速度减小，即在近日点速率大于远日点运行的速率，选项 A 错误；

B．根据开普勒第一定律可知，所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上，选项 B 正确；

C．根据开普勒第三定律可知，表达式椭圆半长轴的a与公转周期T，$\frac{a^3}{T^2}$比值为常数，选项C正确；

D．根据开普勒第二定律可知，若图中两阴影部分行星运动时间相等，则右侧面积等于左侧面积，选项D错误。

故选BC。

2．B

【详解】A．因为地球在近日点最快，远日点最慢，冬至时地球在近日点，所以冬至时地球公转速度最大，故A错误。

B．因为地球在近日点最快，远日点最慢，地球从夏至到秋分的时间大于地球公转的周期的四分之一，故B正确；

C．地球绕太阳做椭圆轨道运动，不是匀速率，地球在近日点最快，远日点最慢，故C错误；

D．一年四季的顺序是春夏秋冬，所以地球绕太阳运行方向（正对纸面）是逆时针方向，故D错误。

故选B。

【跟踪训练】：CD　　B

1．CD

【详解】A．海王星绕太阳运动，月球绕地球运动，中心天体质量不同，海王星和月球运行轨道半长轴的三次方与其运行周期的平方之比不相等，故A错误；

B．P为近日点，Q为远日点，卫星在Q点的线速度小于P点的线速度，根据$\omega=\frac{v}{r}$，卫星在Q点的角速度小于P点的角速度，故B错误；

C．P为近日点，近日点线速度大，远日点线速度小，所以从P到M所用时间小于$\frac{1}{4}T_0$，故C正确；

D．从P到Q阶段，从近日点运动至远日点，速率逐渐变小，故D正确。

故选CD。

2．B

【详解】根据万有引力提供圆周运动的向心力有$G\frac{mM}{r^2}=mr\omega^2=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$有$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，则轨道半径越大，周期越大，角速度越小，相同的时间内转过的角度越小．因为：$R_A<R_B<R_C$．所以有：$\omega_A>\omega_B>\omega_C$，在A卫星转过的$\frac{1}{4}$T的时间内，三卫星对地球转过的角度$\theta_A>\theta_B>\theta_C$，所以B正确，ACD错误．故选B．

题型三：天体中的相遇问题

【精选例题】：A　　A　　B

1．A

【详解】地球周期$T_0=1$年，设地球轨道半径为r，行星轨道半径为nr，由开普勒第三定律$\frac{r^3}{T_0^2}=\frac{(nr)^3}{T^2}$

解得行星周期$T=\sqrt{n^3}$年

设每隔t年会发生一次连珠现象，则有$\left(\frac{2\pi}{T_0}-\frac{2\pi}{T}\right)t=2\pi$；可得$t=\frac{\sqrt{n^3}}{\sqrt{n^3}-1}$年。故选A。

2．A

【详解】AB．有 A、B 两颗行星绕同一恒星 O 做圆周运动，运行方向相反，当 A、B 再次相距最近时，即 A、B 转过的角度之和为 2π，即$(\frac{2\pi}{T_A}+\frac{2\pi}{T_B})t=2\pi$；解得$t=\frac{T_AT_B}{T_B+T_A}$；故 A 正确，B 错误；

CD．经过时间 t，A、B 相距最远，则有$(\frac{2\pi}{T_A}+\frac{2\pi}{T_B})t=n\pi$（n=1，3，5，…），解得$t=\frac{nT_AT_B}{2(T_B+T_A)}$,故 CD 错误。

故选 A。

3．B

【详解】由开普勒第三定律可得$\left(\frac{T_乙}{T_甲}\right)^2=\left(\frac{r_乙}{r_甲}\right)^3=25$；解得$T_乙=5T_甲$

则甲每转 2 周半时间内乙转半周，就会“相遇”一次，故再次“相遇”经历的时间为 2.5T。

故选 B。

【跟踪训练】：B　　A　　CD　　B

1．B

【详解】AB．由图知，行星的轨道半径大，那么由开普勒第三定律知其周期长，每过 N 年，行星会运行到日地连线的延长线上(相距最近)，则说明从最初在日地连线的延长线上开始，过 N 年，地球转了 N 圈，行星转$N-1$圈，所以行星的周期是$\frac{N}{N-1}$年．所以行星与地球的公转周期之比$k_1=\frac{N}{N-1}$，故 A 错误，B 正确．

CD．行星与地球的公转周期之比$k_1=\frac{N}{N-1}$，根据开普勒第三定律$\frac{r_地^3}{T_地^2}=\frac{r_行^3}{T_行^2}$可得，

行星与地球的公转半径之比$k_2=\frac{r_行}{r_地}=k_1^{\frac{2}{3}}=\left(\frac{N}{N-1}\right)^{\frac{2}{3}}$，故 CD 错误。

故选 B。

2．A

【详解】经过t_0时间，A、B 两颗卫星就会相距最近一次，两卫星绕行方向相同，且 B 卫星是地球的同步卫星，则有$\frac{2\pi}{T_A}t_0-\frac{2\pi}{T_B}t_0=2\pi$，又$T_B=1$天，解得，$T_A=\frac{t_0}{t_0+1}$天

故选 A。

3．CD

【详解】A．火星和地球绕太阳运动的周期之比$\frac{T_1}{T_2}=\sqrt{\frac{r_1^3}{r_2^3}}=\sqrt{\frac{27}{8}}$，

解得火星绕太阳公转的周期$T_1\approx1.84$年，故 A 错误；

B．火星与太阳的连线在相等时间内扫过的面积相等，地球与太阳的连线在相等时间内扫过的面积相等，但两者不相等，故 B 错误；

C．设相邻两次“火星冲日”的时间间隔为 t，则$2\pi=\omega_2t-\omega_1t$，解得$t=\frac{T_1T_2}{T_1-T_2}\approx2.2$年，故 C 正确；

D．火星和地球相对速度最大时，两者和太阳在同一条直线上且分居太阳两则，则$\pi=\omega_2 t_0-\omega_1 t_0$

解得$t_0=\frac{T_1T_2}{2(T_1-T_2)}\approx1.1$年，故D正确。

故选CD。

4．B

【详解】由开普勒第三定律可得$\left(\frac{T_乙}{T_甲}\right)^2=\left(\frac{r_乙}{r_甲}\right)^3=9$；解得$T_乙=3T_甲$

故甲每转1周半时间内乙转半周，就会相遇一次，故甲运动5圈的时间内，甲、乙卫星将“相遇”3次.

故选B。

考点二：万有引力定律

题型一：认识万有引力定律

【精选例题】：B　　D

1．B

【详解】AB．两个物体间的万有引力为相互作用力，由牛顿第三定律可知，两个物体间的万有引力总是大小相等、方向相反的，故A错误，B正确；

C．由$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$两个物体间的距离越大，万有引力越小，故C错误；

D．当两个物体间的距离趋于零时，两物体不能看成质点，公式$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$不再适用，万有引力不趋于无穷大，故D错误。

故选B。

2．D

【详解】A．对不同两物体间的万有引力的计算，公式中引力常量G的值都是相同的，故A错误；

B．计算太阳与地球之间的万有引力时，万有引力公式中的r指的是太阳中心与地球球心间的距离，故B错误；

C．当有第三个物体m_3放入之间时，m_1和m_2之间的万有引力不变。故C错误；

D．m_1和m_2所受的引力性质相同。故D正确。

故选D。

【跟踪训练】：C　　D

1．C

【详解】A．根据表达式$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$可以得到$G=\frac{Fr^2}{m_1m_2}$，但万有引力是一个常量，该常量与F、r、m_1、m_2无关，故A错误；

B．牛顿发现了万有引力定律，卡文迪什利用扭秤实验测得了引力常量，根据$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$，有$G=\frac{Fr^2}{m_1m_2}$，根据

单位运算可知，引力常量 G 的单位为 $\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$，故 B 错误；

C．根据牛顿第三定律可知，无论 m_1 和 m_2 是否相等，它们之间的万有引力大小都相等，故 C 正确；

D．万有引力定律可以普遍使用，不仅仅只适用于两个质点间万有引力大小的计算，故 D 错误。

故选 C。

2．D

【详解】（3）A．当增大石英丝的直径时，会导致石英丝更不容易转动，该操作对测量石英丝极微小的扭转角却没有作用，故 A 错误；

B．当增大 T 型架横梁的长度时，会导致石英丝更容易转动，对测量石英丝极微小的扭转角仍没有作用，故 B 错误；

C．增大光源与平面镜的距离不会改变光转动的角度，对“微小量放大”没有作用，故 C 错误；

D．增大刻度尺与平面镜的距离时，转动的角度更明显，故 D 正确。

故选 D。

题型二：万有引力定律简单应用

【精选例题】：A　　A　　D　　C

1．A

【详解】根据万有引力定律可知火星对探测器的万有引力大小 $F=G\frac{Mm}{R^2}$，故选 A。

2．A

【详解】根据万有引力定律表达式可得 $F=G\frac{Mm}{r^2}$，其中 r 为物体到地球中心的距离，某物体在地球表面，受到地球的引力为 F，此时 $r=R$，若此物体受到地球的引力减小为 $\frac{F}{9}$，

根据 $F=G\frac{Mm}{r_1^2}$ 可得出此时物体到地球中心的距离为 $r_1=3R$，故 A 正确，BCD 错误。

故选 A。

3．D

【详解】设小铁球的半径为 R，则两小球间的万有引力为 $F=G\frac{mm}{(2R)^2}=G\frac{\left(\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3\right)^2}{4R^2}=\frac{4}{9}G\pi^2\rho^2R^4$

同理，两大铁球之间的万有引力 $F'=G\frac{m'm'}{(4R)^2}=\frac{4}{9}G\pi^2\rho^2\cdot(2R)^4=16F$

故选 D。

4．C

【详解】C 点小球受 A、B 两点小球的万有引力的大小分别为 $F_1=G\frac{m_Am_C}{L^2}$，$F_2=G\frac{m_Bm_C}{L^2}$

由于 A、B 位置小球质量相等，则解得 $F_1=F_2=\frac{2Gm^2}{L^2}$

根据矢量合成可知，合力大小为$F=2F_1\cos 30^\circ$；解得$F=2\sqrt{3}G\frac{m^2}{L^2}$

故选 C。

【跟踪训练】：A　　C　　B　　B

1．A

【详解】根据万有引力定律$\frac{F_{太地}}{F_{月地}}=\frac{GM_{太}M_{地}}{r_{太地}^2}:\frac{GM_{月}M_{地}}{r_{月地}^2}=\frac{p}{q^2}$，故选 A。

2．C

【详解】A．根据万有引力的公式$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$可知，两物体的质量各减少一半，距离不变，两质点间的万有引力减小到原来的$\frac{1}{4}$，故 A 正确，不符合题意；

B．使其中一个物体的质量减小到原来的$\frac{1}{4}$，距离不变，两质点之间的万有引力将减小为原来的$\frac{1}{4}$，故 B 正确，不符合题意；

C．使两物体间的距离和质量都减少原来的$\frac{1}{2}$，两物体间的万有引力不变，故 C 错误，符合题意；

D．使两物体间的距离增为原来的 2 倍，质量不变，两质点之间的万有引力将减小为原来的$\frac{1}{4}$，故 D 正确，不符合题意。

故选 C。

3．B

【详解】设飞行器距地心的距离与距月心的距离分别为r_1和r_2，根据题意有$\frac{GM_{地}m}{r_1^2}=4\frac{GM_{月}m}{r_2^2}$

可得该飞行器距地心的距离与距月心的距离之比为$r_1:r_2=\sqrt{M_{地}:4M_{月}}=9:2$

故选 B。

4．B

【详解】将图甲中的$\frac{3}{4}$圆环分成 3 个$\frac{1}{4}$圆环，则由对称性可知，$\frac{3}{4}$圆环对小球的万有引力等于其中的一个$\frac{1}{4}$圆环对小球的引力，则每个$\frac{1}{4}$圆环对小球的引力均为 F；则图乙中半圆环对球的引力为$F_{乙}=\sqrt{F^2+F^2}=\sqrt{2}F$

图丙中由对称性可知，整个圆环对球的万有引力为零。

故选 B。

题型三：割补法在万有引力中的应用

【精选例题】：C　　B　　A

1．C

【详解】设质点与原球体球心相距 l，万有引力为 F，则$F=\frac{G\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3m}{l^2}$

在球体中央挖去半径为 r 的一部分球体后，

质点与原球体剩余部分之间的万有引力 $F_1=\dfrac{G\rho\left(\frac{4}{3}\pi R^3-\frac{4}{3}\pi\frac{R^3}{8}\right)m}{l^2}=\dfrac{7}{8}\dfrac{G\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3 m}{l^2}=\dfrac{7}{8}F$

故选 C。

2．B

【详解】根据题意可知被挖出的小球体的体积为原球体的$\frac{1}{8}$，质量也为原球体的$\frac{1}{8}$，则原球体质量为 8m。根据割补法可知，没挖之前球对质点的引力减去被挖部分对质点的引力，就是剩余部分对质点的引力，则挖出的小球体跟球体剩余部分之间的万有引力大小为 $F=\dfrac{G\times 8m\times m}{\left(\frac{5}{2}R\right)^2}-\dfrac{G\times m\times m}{(2R)^2}=\dfrac{103Gm^2}{100R^2}$

故 B 正确，A、C、D 错误。故选 B。

3．A

【详解】把整个球体对质点的引力看成是挖去的小球体和剩余部分对质点的引力之和。两个完整的均质球体对球外质点 m 的引力这个引力为 $F_1=2G\dfrac{Mm}{(2R)^2}\cos 30^\circ=\dfrac{\sqrt{3}GMm}{4R^2}$

此力可以看成是挖去球穴后的剩余部分对质点的引力 F_2 与两个半径为$\frac{R}{2}$的小球对 m 质点的引力 F' 之和，

即 $F_1=F_2+F'$

根据 $M=\rho V=\dfrac{4}{3}\rho\pi R^3$，半径为$\frac{R}{2}$的小球质量为 $M'=\rho V'=\dfrac{4}{3}\rho\pi(\dfrac{R}{2})^3=\dfrac{M}{8}$

两个半径为$\frac{R}{2}$的小球对 m 质点的引力为 $F'=2G\dfrac{M'm}{(R+\frac{R}{2})^2}\cos 30^\circ=\dfrac{\sqrt{3}GMm}{18R^2}$

挖去球穴后的剩余部分对球外质点 m 的引力为 $F_2=F_1-F'=\dfrac{7\sqrt{3}GMm}{36R^2}=\dfrac{7}{9}F_1$

故选 A。

【跟踪训练】：C　　B　　D

1．C

【详解】剩下部分对质点的万有引力应等于完整球体对质点的引力减去被挖去的小球体对质点的引力，

即 $F=\dfrac{GMm}{4R^2}-\dfrac{GM_{小}m}{4R^2}$

被挖去的小球体的质量为 $M_{小}=\rho\dfrac{4}{3}\pi(\dfrac{R}{3})^3$，而大球体的质量为 $M=\rho\dfrac{4}{3}\pi R^3$

联立可得，剩下部分对质点的万有引力为 $F=\dfrac{13GMm}{54R^2}$

故选 C。

2．B

【详解】将地球分为半径为（R－d）的球和厚度为 d 球壳两部分，球壳对小球的引力为零

则F等于半径为（R－d）的球对小球的引力，有$F=\frac{Gm_1m}{(R-d)^2}$

设半径为（R－d）球的质量为m_1，由密度公式得$m=\rho V=\rho\frac{4}{3}\pi R^3$，所以$\frac{m_1}{M}=\frac{(R-d)^3}{R^3}$

解得，F的大小为$F=\frac{GMm(R-d)}{R^3}$，B正确，ACD错误。

故选B。

3．D

【详解】设小球对另一个大球的万有引力大小为F_1，大球剩余部分对另一个大球的万有引力大小为F_2，小球对小球的万有引力大小为F_3，小球对另一个大球剩余部分的万有引力大小为F_4，大球剩余部分对另一个大球剩余部分的万有引力大小为F_5。由题可知，挖掉小球的质量$M_1=\frac{M}{8}$，$F=\frac{GM^2}{16R^2}$

$F_1=G\frac{MM_1}{\frac{81}{4}R^2}=\frac{GM^2}{162R^2}=\frac{8}{81}F$，$F_2=F-F_1=\frac{73}{81}F$，$F_3=\frac{GM_1^2}{25R^2}=\frac{1}{100}F$，$F_4=F_1-F_3=\frac{719}{8100}F$

所以$F_5=F_2-F_4=\frac{6581}{8100}F$

故选D。

题型四：天体物理史

【精选例题】：B　　D

1．B

【详解】A．开普勒提出所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，故A错误；

B．卡文迪什在实验室里通过扭秤实验，得出了引力常量G的数值，故B正确；

C．牛顿用“月—地检验”证实了万有引力定律的正确性，故C错误；

D．伽利略通过理想斜面实验得出“物体运动不需要力来维持”，故D错误。

故选B。

2．D

【详解】A．开普勒研究了第谷的行星观测记录，得出了开普勒行星运动定律，选项A正确，不符合题意；

B．牛顿将行星与太阳、地球与月球、地球与地面物体之间的引力规律推广到宇宙中的一切物体，得出了万有引力定律，选项B正确，不符合题意；

C．卡文迪许首次在实验室中比较准确地得出了引力常量G的数值，选项C正确，不符合题意；

D．海王星是英国人亚当斯和法国人勒威耶根据万有引力推测出这颗新行星的轨道和位置，柏林天文台年轻的天文学家伽勒和他的助手根据勒威耶计算出来的新行星的位置，发现了第八颗新的行星—海王星，故D错误，符合题意。

故选D。

【跟踪训练】：ACD　　AD

1．ACD

【详解】A．所有的行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在所有椭圆的一个焦点上，物体做曲线运动，运动的方向总是沿轨道的切线方向，A 正确；

B．对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等时间内扫过的面积相等，近日点速率大，远日点速率小，B 错误；

C．根据万有引力公式$F=\frac{GMm}{R^2}$可知，地球在椭圆轨道上运行时，在近日点的距离比远日点的距离小，所以在近日点万有引力大，C 正确；

D．地球对月球的引力来自地球的引力，重力也来自地球的引力，D 正确。

故选 ACD。

2．AD

【详解】A．海王星是先根据万有引力定律算出轨道，然后在计算的轨道上发现的。海王星是运用万有引力定律在“笔尖下发现的行星”。故 A 正确。

B．牛顿发现了万有引力定律，卡文迪什测出了引力常量G的数值。故 B 错误；

C．第谷经过多年的天文观测和记录获得大量天文数据，开普勒通过天文数据总结提出了开普勒三大定律。故 C 错误；

D．“月--地”检验，表明了地面物体所受地球的引力、月球所受地球的引力，与太阳、行星间的引力，遵从相同的规律。故 D 正确。

故选 AD。

考点三：重力与万有引力的关系

题型一：月地检验

【精选例题】：D　　2．同一性质、$G\frac{Mm}{r^2}$、$G\frac{m_{地}}{r^2}$、$\frac{4\pi^2}{T^2}r$、$\frac{1}{3600}$、2.70×10^{-3}、0.276×10^{-3}、相同

1．D

【详解】设月球的转动半径为 r，对月球绕地球转动，根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$

对苹果$G\frac{Mm_0}{R^2}=m_0g$；联立解得$\frac{4\pi^2r^3}{T^2}=gR^2$

若要检查两力为同一种力，由上式可知，需要知道地球半径 R，和“月-地”中心距离 r，月球公转周期 T，和地球表面重力加速度 g。故 D 正确，ABC 错误。

故选 D。

2．　同一性质　$G\frac{Mm}{r^2}$　$G\frac{m_{地}}{r^2}$　$\frac{4\pi^2}{T^2}r$　$\frac{1}{3600}$　2.70×10^{-3}　0.276×10^{-3}　相同

【详解】(1)[1] 月—地检验目的：检验地球绕太阳运动、月球绕地球运动的力与地球对树上苹果的引力是否为同一性质的力。

（2）检验方法：

（a）[2]假设地球与月球间的作用力和太阳与行星间的作用力是同一种力，它们的表达式也应该满足 F=$G\frac{Mm}{r^2}$　。

（b）[3][4]根据牛顿第二定律，月球绕地球做圆周运动的向心加速度 $a_{月}=G\frac{m_{地}}{r^2}=\frac{4\pi^2}{T^2}r$（式中 $m_{地}$是地球质量，r 是地球中心与月球中心的距离）。

（d）[5]$\frac{a_{月}}{a_{苹}}=\frac{R^2}{r^2}$，由于 r≈60R，所以$\frac{a_{月}}{a_{苹}}=\frac{1}{3600}$

（b）[6][7]月球中心到地球中心的距离 $r=3.8\times10^8$m，月球公转周期 T=27.3 d≈2.36×10^6s，

则 $a_{月}=(\frac{2\pi}{T})^2r\approx2.70\times10^{-3}$m/s²；$\frac{a_{月}}{a_{苹}}\approx0.276\times10^{-3}$（数值）≈$\frac{1}{60^2}$（比例）

（4）[8]结论：地面物体所受地球的引力、月球所受地球的引力，与太阳、行星间的引力遵从相同的规律。

【跟踪训练】：BCD

1．BCD

【详解】根据题意可知，对月球$a_{月}=\frac{4\pi^2}{T^2}r$在运算中需要月球公转周期、月球中心距离地球中心的距离。

对于地表$a_{苹}=\frac{F}{m_{苹}}=G\frac{m_{地}}{R^2}=g_{地}$，需要自由落体加速度 g，不需要月球质量。故选 BCD。

题型二：不同纬度的重力加速度 g

【精选例题】：B　　B　　B

1．B

【详解】B．考虑地球的自转，地球表面的物体相对地轴做圆周运动，向心力方向垂直于地轴，万有引力始终沿半径指向球心，在地球两极处，物体不随地球自转，向心力为零，重力等于万有引力，

即有$mg=G\frac{Mm}{R^2}$，故 B 正确；

AC．结合上述可知，在除两极的其他位置，万有引力的一个分力提供向心力，另一个分力即重力，两个分力的夹角小于90°，故重力小于万有引力，即有$mg<G\frac{Mm}{R^2}$可知，除两极和赤道，重力都不指向地心，故 AC 错误；

D．结合上述可知，在赤道上，物体的重力和向心力在一条直线上，与万有引力方向相同，

则有$G\frac{Mm}{R^2}=m\omega^2R+mg$，故 D 错误。故选 B。

2．B

【详解】在地球表面两极处有$G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$，在地球表面赤道处有$G\frac{Mm}{R^2}=mg+mR\frac{4\pi^2}{T^2}$

联立可得，地球的半径为$R=\frac{(g_0-g)T^2}{4\pi^2}$，故选 B。

3．B

【详解】A 位置的重力加速度由万有引力提供得$G\frac{Mm}{R^2}=mg$

D 位置万有引力提供重力加速度和向心加速度$G\frac{Mm}{R^2}=m\times\frac{3}{4}g+m\omega^2R$

E 位置的向心加速度 $a_n=\omega^2 r=\omega^2 R\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}\omega^2 R=\frac{\sqrt{3}}{8}g$

故选 B。

【跟踪训练】：ACD　　D　　B

1．ACD

【详解】A．南北极地面上物体受到的万有引力等于重力，则有 $F_0=\frac{GMm}{R^2}$，故 A 正确；

B．在赤道地面称量时，万有引力等于重力加上随地球一起自转所需要的向心力，则 $F_1<\frac{GMm}{R^2}$，故 B 错误；

C．在北极地面上空高度为 h 处称量时，万有引力等于重力，有 $F_2=\frac{GMm}{(R+h)^2}$，故 C 正确；

D．粗略计算时（或忽略地球自转的情况下），可以认为地面附近物体受到地球的引力等于重力，故 D 正确。

故选 ACD。

2．D

【详解】设火星的质量为 M，物体在赤道处随火星自转做圆周运动的角速度于火星自转的角速度，轨道半径等于火星半径，物体在赤道上的重力和物体随火星自转的向心力是万有引力的分力。有 $G\frac{Mm}{R^2}-mg=m\omega^2 R$

物体在两极受到的重力等于在火星两极受到的万有引力 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{g_0-g}{R}}$

故选 D。

3．B

【详解】在月球南极点有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$，月球赤道上有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_0+m\omega^2 R$

在着陆点南纬 $60°$ 处有 $(mg_1)^2=\left(\frac{GMm}{R^2}\right)^2+\left(m\omega^2 R\cos 60°\right)^2-2\frac{GMm}{R^2}m\omega^2 R\cos 60°\cos 60°$，解得 $g_1=\frac{\sqrt{3g^2+g_0^2}}{2}$

故选 B。

题型三：星球解体问题

【精选例题】：C　　B

1．C

【详解】现在赤道上的物体，根据牛顿第二定律 $m\omega_0^2 R=ma_0$；而赤道上的物体受到的万有引力 $\frac{GMm}{R^2}=mg+ma_0$

自转角速度最大时，物体恰好不离开地面 $m\omega_1^2 R=\frac{GMm}{R^2}$；联立解得 $\omega_1=17\omega_0$

故选 C。

2．B

【详解】星球恰好能维持自转不瓦解时，万有引力恰好能提供其表面物体做圆周运动所需的向心力，设该星球的质量为 M，半径为 R，表面一物体质量为 m，有 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2 R}{T^2}$，又 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$

式中ρ为该星球密度，联立解得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，代入数据可得$\rho\approx3\times10^{16}\mathrm{kg/m^3}$

故选 B。

【跟踪训练】：B　　D　　AD

1．B

【详解】物体在地球的两极处，自转向心力为零，有$\frac{GMm}{R^2}=mg_0$

而物体在赤道处，万有引力的两个分力为重力和自转向心力，有$\frac{GMm}{R^2}=mg+m\omega_1^2R$

联立解得向心加速度为$\omega_1^2R=g_0-g$

当赤道上的物体刚刚“飘起来”时，由万有引力提供向心力，设此时地球转动的角速度为ω_2，则有

$\frac{GMm}{R^2}=mg_0=m\omega_2^2R$，$\omega_2^2R=g_0$，又因为周期与角速度成反比，联立可得$\frac{T_2}{T_1}=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\sqrt{\frac{g_0-g}{g_0}}$

故选 B。

2．D

【详解】地表恰好缺少引力束缚时$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4p^2}{T^2}R$，该星体的密度为$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，联立可得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$

假设某种星体的自转的周期为1ms时，恰好未解体，此时其周期为地球自转周期的$\frac{1}{5000000}$，则其密度是地球的2.5×10^{13}倍，即为$1.375\times10^{17}\mathrm{kg/m^3}$，故自转的周期为1ms时，若未解体，则密度应大于$1.375\times10^{17}\mathrm{kg/m^3}$。

故选 D。

3．AD

【详解】AB．当周期小到一定值时，压力为零，此时完全由万有引力充当向心力$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2R}{T^2}$

解得：$T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$，故 A 正确，B 错误；

CD．星球的质量为$M=\rho V=\frac{4}{3}\pi\rho R^3$；$T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$，联立可得$T=\sqrt{\frac{3\pi}{\rho G}}$，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

题型四：黄金代换公式（GM=gR²）

【精选例题】：D　　B　　B

1．D

【详解】月壤在月球表面有$\frac{GM_月m}{R_月^2}=mg_月$；在地球表面有$\frac{GM_地m}{R_地^2}=mg_地$

解得样品在月球表面与地球表面的重力之比约为$\frac{mg_{月}}{mg_{地}}=\frac{a}{b^2}$

故选 D。

2．B

【详解】在地面时$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，在某高度时$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\cdot\frac{1}{4}g$，解得 h=R

故选 B。

3．B

【详解】为了获得类似在地球表面的“重力”，圆管转动，人挤压外管壁，有$mg=m\omega^2R_2$

人在地球表面时，有$G\frac{Mm}{R^2}=mg$；解得$\omega=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{GM}{R_2}}$

故选 B。

【跟踪训练】：C　　D　　3．（1）$g=\frac{GM}{R^2}$；（2）$T=2\pi(R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}}$

1．C

【详解】在地球上有$mg=\frac{GM}{R^2}$；在火星上有$mg_{火}=\frac{G\cdot\frac{1}{9}M}{\left(\frac{1}{2}R\right)^2}$；可得$g_{火}=\frac{4g}{9}$

宇航员连同宇航服的质量$m=\frac{G_{火}}{g_{火}}=90\text{kg}$

故选 C。

2．D

【详解】AB．火箭向上加速运动具有竖直向上的加速度，则火箭中的测试仪器处于超重状态，测试仪器仍受重力，故 AB 错误；

CD．启动前测试仪器对平台的压力为$N_1=mg$

火箭升到离地面高度为R时，由牛顿第二定律有$N_2-\frac{GMm}{(2R)^2}=m\cdot\frac{g}{2}$，又有$\frac{GMm}{R^2}=mg$，解得$N_2=\frac{3}{4}mg$

则测试仪器对平台的压力与启动前压力之比为$N_2:N_1=3:4$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

3．（1）$g=\frac{GM}{R^2}$；（2）$T=2\pi(R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}}$

【详解】（1）在月球表面有$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，解得月球表面的重力加速度为$g=\frac{GM}{R^2}$

（2）根据万有引力提供向心力，对“鹊桥二号”中继星有$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$，解得$T=2\pi(R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}}$

题型五：星球表面的抛体运动

【精选例题】：1．(1)$\frac{2v_0}{g_{月}}$；(2)$\frac{2v_0R^2}{Gt}$　　2．（1）$g=\frac{2hv_0^2}{x^2}$；（2）$R=\frac{hv_0^2t^2}{8\pi^2x^2}$

1．(1)$\frac{2v_0}{g_{月}}$；(2)$\frac{2v_0R^2}{Gt}$

【详解】（1）根据竖直上抛运动规律可得$t=\frac{2v_0}{g_{月}}$，解得$g_{月}=\frac{2v_0}{t}$

（2）在月球表面，万有引力提供向心力，设一绕月球表面运动的近地卫星的质量为m，则有$G\frac{Mm}{R^2}mg_{月}$

解得$M=\frac{g_{月}R^2}{G}=\frac{2v_0R^2}{Gt}$

2．（1）$g=\frac{2hv_0^2}{x^2}$；（2）$R=\frac{hv_0^2t^2}{8\pi^2x^2}$

【详解】（1）小钢球做平抛运动，满足$h=\frac{1}{2}gt^2$，$x=v_0t$，解得$g=\frac{2hv_0^2}{x^2}$

（2）在行星表面$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，飞船绕行星表面做匀速圆周运动时，周期为$T=\frac{t}{2}$

根据万有引力提供向心力$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，以上各式联立，解得$R=\frac{hv_0^2t^2}{8\pi^2x^2}$

【跟踪训练】：

1．（1）$g=\frac{GM}{R^2}$；（2）$v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$；（3）$t=\frac{v_0R^2}{GM}$

2．(1)4s；(2)5m/s，方向竖直向上；(3)30m，方向竖直向上

3．(1)$\frac{v_0}{t\tan\theta}$；(2)$\frac{3v_0}{4\pi GRt\tan\theta}$；(3)$2\pi\sqrt{\frac{Rt\tan\theta}{v_0}}$。

1．（1）$g=\frac{GM}{R^2}$；（2）$v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$；（3）$t=\frac{v_0R^2}{GM}$

【详解】（1）假设把一个物体放在行星表面，则万有引力等于重力$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，解得$g=\frac{GM}{R^2}$

（2）万有引力提供向心力，则$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{v^2}{(R+h)}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$

（3）向上做匀减速直线运动，则$v_0-gt=0$，解得$t=\frac{v_0R^2}{GM}$

2．(1)4s，(2)5m/s，方向竖直向上，(3)30m，方向竖直向上

【详解】（1）小球向上做匀减速直线运动，当小球速度减为 0 时到达最高点。

根据匀变速直线运动的速度时间关系$v_0=gt_0$，则到达最高点所需时间为$t_0=4\text{s}$

（2）规定竖直向上为正方向，根据匀变速直线运动的速度时间关系$v=v_0-gt_1$

可得抛出 3s 时小球的速度为$v=5\text{m/s}$，方向竖直向上。

（3）规定竖直向上为正方向，根据匀变速直线运动的位移时间关系$x=v_0t_2-\frac{1}{2}gt_2^2$

可得抛出的小球在前 6s 内的位移为$x=30\text{m}$，方向竖直向上。

3．(1)$\frac{v_0}{t\tan\theta}$，(2)$\frac{3v_0}{4\pi GRt\tan\theta}$，(3)$2\pi\sqrt{\frac{Rt\tan\theta}{v_0}}$。

【详解】(1)以初速度v_0水平抛出一个小球，测得小球经时间t垂直落到倾角为θ的斜坡上，则有$\tan\theta=\frac{v_0}{v_y}$，$v_y=gt$

解得月球表面的重力加速度为$g=\frac{v_0}{t\tan\theta}$

（2）假设月球表面一物体质量为m，有$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，又$M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$，联立解得月球的密度为$\rho=\frac{3v_0}{4\pi GRt\tan\theta}$

（3）人造卫星绕月球表面做匀速圆周运动的最小周期等于卫星靠近月球表面绕月球做匀速圆周运动的周期，由万有引力提供向心力为$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$

联立解得$T=2\pi\sqrt{\frac{Rt\tan\theta}{v_0}}$

题型六：不同高度的重力加速度g

【精选例题】：A　　2．(1)$a=\frac{R^2g}{(R+h)^2}$；(2)$g-\frac{4\pi^2}{T_0^2}R$

1．A

【详解】在地球内部，根据题意有$G\frac{M'm}{r^2}=mg$，地球可视为质量分布均匀的球体，则$M'=\rho V=\frac{4}{3}\pi r^3$

联立可得$g=\frac{4}{3}\pi\rho Gr\propto r$

地表重力加速度为g_0；在地球外部，满足$G\frac{Mm}{r^2}=mg$，即$g=\frac{GM}{r^2}\propto\frac{1}{r^2}$

故选A。

2．(1)$a=\frac{R^2g}{(R+h)^2}$，(2)$g-\frac{4\pi^2}{T_0^2}R$

【详解】（1）根据题意，由牛顿第二定律有$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=ma$，根据万有引力与重力的关系$G\frac{Mm}{R^2}=mg$

联立解得$a=\frac{R^2g}{(R+h)^2}$

（2）若考虑地球自转的影响，在地球赤道处的物体，根据牛顿第二定律有$G\frac{Mm}{R^2}-mg_0=mR\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2$

联立求得，地球赤道处的重力加速度为$g_0=g-\frac{4\pi^2}{T_0^2}R$

【跟踪训练】：AC　　C

1．AC

【详解】AB．设地球质量是M，地球半径是R，则火星质量是aM，火星半径是bR，对于质量是m的物体，在星球表面，根据万有引力等于重力有，在地球上$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，在火星上$G\frac{aMm}{(bR)^2}=mg_{火}$

联立解得$g_{火}=\frac{ag}{b^2}$，故 A 正确，B 错误；

CD．由于质量分布均匀的球壳对其内部物体的引力为零，则在火星表面正下方距表面的距离为火星半径$\frac{1}{2}$处的重力加速度相当于火星内部半径为$\frac{1}{2}bR$的球体的引力产生的，

火星内部半径为$\frac{1}{2}bR$的球体质量$M'=\rho\times\frac{4}{3}\pi\left(\frac{bR}{2}\right)^3=\frac{1}{8}aM$，则有$G\frac{\frac{1}{8}aMm}{\left(\frac{1}{2}bR\right)^2}=mg'_{火}$

联立解得$g'_{火}=\frac{ag}{2b^2}$，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

2．C

【详解】根据万有引力定律和牛顿第二定律有$\frac{GMm}{R_0^2}=mg_0$，$\frac{GMm}{(R_0+h)^2}=mg$

整理可得$g=g_0\left(\frac{R_0}{R_0+h}\right)^2=g_0\left(1+\frac{h}{R_0}\right)^{-2}$，由数学知识可知，当$h\ll R_0$时有$g=g_0\left(1+\frac{h}{R_0}\right)^{-2}=g_0\left(1-\frac{2h}{R_0}\right)$

故选 C。

考点四：万有引力定律的成就

题型一：发现未知天体

【精选例题】：B　　B

1．B

【详解】万有引力定律的成就之一是发现未知天体，下列被称作笔尖下发现的行星是海王星。

故选 B。

2．B

【详解】AB．天王星是在 1781 年发现的，而卡文迪许测出引力常量是在 1789 年，在此之前人们还不能用万有引力定律做有实际意义的计算，故 A 错误，B 正确；

CD．太阳系的第八颗行星即海王星是英国剑桥大学的学生亚当斯和法国年轻的天文学家勒维耶各自独立地利用万有引力定律计算出轨道和位置，由德国的伽勒首先发现的，故 CD 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：D　　BC

1．D

【详解】天王星轨道外面还有一颗未发现的行星。该行星对天王星产生吸引作用，使其轨道产生了偏差。故 ABC 错误，D 正确。

故选 D。

2．BC

【详解】每隔 t_0 时间发生一次最大偏离，知每隔 t_0 时间天王星与未知行星相距最近，即每隔 t_0 时间天王星行星比未知行星多运行一圈，则有 $\frac{2\pi}{T_0}t_0-\frac{2\pi}{T}t_0=2\pi$；解得 $T=\frac{t_0T_0}{t_0-T_0}$

根据开普勒第三定律有 $\frac{R_0^3}{T_0^2}=\frac{r^3}{T^2}$；解得 $r=\left(\frac{t_0}{t_0-T_0}\right)^{\frac{2}{3}}R_0$

根据万有引力提供向心力，则有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $r=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$

将 $T=\frac{t_0T_0}{t_0-T_0}$ 代入半径表达式，则可得 $r=\left[\frac{GM}{4\pi^2}\left(\frac{t_0T_0}{t_0-T_0}\right)^2\right]^{\frac{1}{3}}$，故 BC 正确，AD 错误。

故选 BC。

题型二：预测彗星回归

【精选例题】：D

1．D

【详解】A．根据开普勒第三定律可知，利用半长轴即可计算，且哈雷彗星运动轨道是一个椭圆，不可以将其轨道近似认为是一个圆，故 A 错误；

B． 太阳实际上是位于哈雷彗星运动椭圆轨道的一个焦点上，故 B 错误；

C．海王星运动轨迹是圆周，故 C 错误；

D． 根据开普勒第三定律 $\frac{r_{地}^3}{T_{地}^2}=\frac{r_{哈}^3}{T_{哈}^2}$，解得 $T_{哈}\approx76.4$ 年，故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：B

1．B

【详解】A．根据开普勒第二定律，取时间微元 Δt，结合扇形面积公式可得 $\frac{1}{2}v_1\Delta tr_1=\frac{1}{2}v_2\Delta tr_2$，解得 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_2}{r_1}$，A 错误；

B．在近日点时，由牛顿第二定律可得 $\frac{GMm}{r_1^2}=ma_1$，在远日点时，由牛顿第二定律可得 $\frac{GMm}{r_2^2}=ma_2$

联立解得 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{r_2^2}{r_1^2}$，B 正确；

C．由题中信息可知，哈雷彗星将在 $2023+(76\div2)=2061$ 年左右回到近日点，C 错误；

D．根据开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2}=k$，得 $\frac{a^3}{T_{哈}^2}=\frac{R^3}{T_{地}^2}$，则 $a=\sqrt[3]{76^2}R\approx18R$，又半长轴 $a=\frac{r_1+r_2}{2}$，则 $\frac{r_1+r_2}{R}\approx36$，D 错误；

故选 B。

考点五：计算中心天体的质量

题型一：重力加速度法

【精选例题】：C　　C　　D

1．C

【详解】当“嫦娥三号”在最后一次悬停时，由平衡知识可知 Mg=F，在月球表面 $G\frac{Mm_{月}}{R^2}=Mg$，解得 $m_{月}=\frac{FR^2}{GM}$

故选 C。

2．C

【详解】设月球表面的重力加速度为 g_0，据竖直上抛运动规律可知，有 $t_0=\frac{2v_0}{g_0}$，又 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$，解得 $M=\frac{2v_0R^2}{Gt_0}$

故选 C。

3．D

【详解】物块在该行星极地表面静止时，万有引力等于重力 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_{极}=F$

在赤道表面静止时，万有引力和重力的合力提供向心力 $G\frac{Mm}{R^2}-mg_{赤}=F_n$

其中 $mg_{赤}=\frac{3}{4}F$，联立解得 $F_n=\frac{1}{4}F$

A．根据向心力公式 $F_n=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 可得，该行星的自转周期为 $T=\sqrt{\frac{16\pi^2mR}{F}}$，故 A 错误；

B．物块在该行星极地表面静止时，万有引力等于重力 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_{极}=F$，解得 $M=\frac{FR^2}{Gm}$，故 B 错误；

C．在赤道表面静止时，根据平衡条件，重力等于弹簧测力计的拉力，即 $mg_{赤}=\frac{3}{4}F$，解得 $g_{赤}=\frac{3F}{4m}$，故 C 错误；

D．根据 $\rho=\frac{M}{V}$ 可知，该行星的密度为 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{\frac{FR^2}{Gm}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3F}{4\pi RGm}$，故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：A　　C　　3．（1）$\frac{2hv_0^2}{L^2}$；（2）$\frac{2hv_0^2R^2}{L^2G}$；（3）$\frac{v_0}{L}\sqrt{2hR}$

1．A

【详解】星球表面的物体受到的重力等于万有引力，即 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$，可得 $M=\frac{R^2g}{G}$，所以 $\frac{M_{火}}{M_{地}}=\frac{g_{火}R_{火}^2}{g_{地}R_{地}^2}$

可得火星的质量为 $M_{火}=\frac{g_{火}R_{火}^2}{g_{地}R_{地}^2}M_{地}$

故选 A。

2．C

【详解】在上升器上升的第一阶段，有$h=\frac{1}{2}at^2$，$F-mg=ma$，在月球表面附近有$mg=G\frac{Mm}{R^2}$

联立解得月球的质量为$M=\frac{FR^2}{Gm}-\frac{2hR^2}{Gt^2}$

故选 C。

3．（1）$\frac{2hv_0^2}{L^2}$；（2）$\frac{2hv_0^2R^2}{L^2G}$；（3）$\frac{v_0}{L}\sqrt{2hR}$

【详解】（1）设小物体经过时间t落地，则$L=v_0t$，$h=\frac{1}{2}g_0t^2$，解得$g_0=\frac{2hv_0^2}{L^2}$

（2）由$mg_0=\frac{GMm}{R^2}$，解得$M=\frac{2hv_0^2R^2}{L^2G}$

（3）登月舱要离开月球表面，速度至少要大于月球的第一宇宙速度，设月球的第一宇宙速度是v_1，则$mg_0=\frac{mv_1^2}{R}$

解得，$v_1=\frac{v_0}{L}\sqrt{2hR}$

题型二：环绕型

【精选例题】：ABC　　C　　B　　D　　D

1．ABC

【详解】A．根据$mg=G\frac{Mm}{R^2}$，得$M=\frac{gR^2}{G}$，仅知道地球的半径，地球表面的重力加速度和引力常量也是已知的常数，可以求出地球的质量，故 A 正确；

B．卫星绕地球做匀速周运动，根据万有引力提供向心力有$G\frac{mM}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得地球质量$M=\frac{v^2r}{G}$，故已知卫星绕地球做匀速圆周运动的轨道半径 r 和线速度 v，可以计算出地球质量，故 B 正确；

C．根据$v=\frac{2\pi r}{T}$得$r=\frac{vT}{2\pi}$，根据万有引力提供向心力$G\frac{mM}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$M=\frac{v^2r}{G}=\frac{v^3T}{2\pi G}$，故已知卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度 v 和周期 T 可以计算地球的质量，故 C 正确；

D．地球绕太阳公转，中心天体是太阳，根据万有引力提供向心力只能求太阳的质量$M=\frac{4\pi^2r'^3}{GT'^2}$，故已知地球公转的周期 T′及运转半径 r′不可以计算地球的质量，故 D 错误；

2．C

【详解】AB．根据黄金代换，可得$\frac{GMm}{R^2}=mg$，解得$M=\frac{gR^2}{G}$，故 AB 错误；

CD．万有引力提供人造卫星的向心力，可得$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得$M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$，故 C 正确；D 错误。

故选 C。

3．B

【详解】设地球的质量为 m，地球到太阳的距离为 r=1AU，地球的公转周期为 T=1 年；

由万有引力提供向心力可得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得$M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$

对于 S2 受到黑洞的作用，椭圆轨迹半长轴 R=1000AU，根据图中数据结合图象可以得到 S2 运动的半周期为（2002-1994）年=8 年，则周期为 T′=16 年

根据开普勒第三定律结合万有引力公式可以得出$M_{黑}=\frac{4\pi^2R^3}{GT'^2}$

其中 R 为 S2 的轨迹半长轴，因此有 $M_{黑}=\frac{R^3T^2}{r^3T'^2}M$；

代入数据解得 $M_{黑}\approx4\times10^6M$，根据题中条件无法求解恒星 S2 的质量。

故选 B。

4．D

【详解】根据万有引力定律和牛顿第二定律可知 $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R+h)$，解得 $M=\frac{4\pi^2(R+h)^3}{GT^2}$

故选 D。

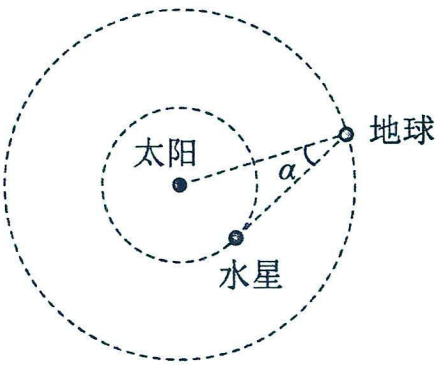
5．D

【详解】AB．由 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot r=m\frac{v^2}{r}$，可得 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$，$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

由于地球的轨道半径大于水星的轨道半径，所以地球绕太阳运行的周期大于水星绕太阳运行的周期，地球绕太阳的运行速率小于水星绕太阳的运行速率。故 AB 错误；

C．由开普勒第三定律可得 $\frac{r^3}{R^3}=\frac{T_{水}^2}{T_{地}^2}$，结合 $T_{地}=1$年、$\frac{r}{R}=k$；可得 $T_{水}=k^{\frac{3}{2}}$年，故 C 错误；

D．水星、太阳与地球上眼睛连线的夹角即视角最大时，如图



由几何关系，水星、太阳的连线与水星、地球的连线之间的夹角为90°，若水星与太阳的距离为 r，地球与太阳之间的距离为 R，则有 $\frac{r}{R}=k$，可得 $R=\frac{r}{k}$

由万有引力充当向心力可得 $\frac{GM_{太}m}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T_{水}^2}r$，结合 $r=kR$

可得 $M_{太}=\frac{4\pi^2k^3R^3}{GT_{水}^2}$，故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：B　　A　　D　　D　　BC

1．B

【详解】由万有引力作用提供向心力得 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2r}{T^2}$，解得 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}=\frac{4\pi^2\left(1.4\times10^8\right)^3}{6.7\times10^{-11}\times(14\times3600)^2}=6\times10^{26}\text{kg}$

故选 B。

2．A

【详解】地球表面物体重力等于万有引力：$m'g=\frac{Gm'm}{R^2}$，得：$G=\frac{gR^2}{m}$　①

设太阳的质量为 M，地球围绕太阳做圆周运动万有引力提供向心力有：$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，得：$M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}=\frac{4\pi^2mr^3}{T^2R^2g}$

故 A 正确，BCD 错误；

3．D

【详解】A．月球绕地球近似做匀速圆周运动的周期为T_2，则有$G\frac{M_{地}M_{月}}{\left(kR_{月}\right)^2}=M_{月}\left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2\left(kR_{月}\right)$

解得$M_{地}=\frac{4\pi^2\left(kR_{月}\right)^3}{GT_2^2}$，由于不知道月球的半径，故不能求出地球的质量，故 A 错误；

B．嫦娥七号绕月球表面做匀速圆周运动的周期为T_1，则有$G\frac{M_{月}m}{R_{月}^2}=m\left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2R_{月}$，解得$M_{月}=\frac{4\pi^2R_{月}^3}{GT_1^2}$

由于不知道月球的半径，故不能求出月球的质量，故 B 错误；

C．开普勒第三定律是相对于同一个中心天体的，不同的中心天体该表达式不正确，故 C 错误；

D．地球的质量与月球的质量之比等于$\frac{M_{地}}{M_{月}}=\frac{T_1^2k^3}{T_2^2}$，故 D 正确。

故选 D。

4．D

【详解】每隔时间 t 会发生一次“相冲”现象，得$\left(\omega_A-\omega_B\right)t=2\pi$

根据万有引力提供向心力，有$G\frac{Mm_A}{r^2}=m_A\omega_A^2r$，$G\frac{Mm_B}{\left(4r\right)^2}=m_B\omega_B^2\cdot4r$；联立，解得$M=\left(\frac{16}{7}\right)^2\frac{\pi^2r^3}{Gt^2}$

故选 D。

5．BC

【详解】AB．根据万有引力等于向心力，对绕该黑洞做圆周运动的天体 A$G\frac{M_{黑}m_A}{R_A^2}=m_A\omega_A^2R_A$

对地球$G\frac{M_{太}m}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$；解得$\frac{M_{黑}}{M_{太}}=\frac{\omega_A^2R_A^3T^2}{4\pi^2R^3}$；选项 A 错误，B 正确；

CD．对天体 AB 由开普勒第三定律可知$\frac{T^2}{T_A^2}=\frac{R_B^3}{R_A^3}$，$T_A=\frac{2\pi}{\omega_A}$；解得$R_B=R_A\sqrt[3]{\frac{\omega_A^2T^2}{4\pi^2}}$，选项 C 正确，D 错误。

故选 BC。

考点六：计算中心天体的密度

题型一：重力加速度法

【精选例题】：D　　A　　BC　　4．(1)$t=\sqrt{3}$ s；(2)$g=\frac{20}{3}$m/s^2；(3)8×10^3kg/m^3

1．D

【详解】根据$\frac{GMm}{R^2}=mg$，$M=\rho\frac{4}{3}\pi R^3$，可得$\rho=\frac{3g}{4\pi GR}$，由于星球与地球密度相同，星球表面的重力加速度是地球表面的重力加速度的 2 倍，则星球的半径是地球半径的 2 倍，则该星球的质量是地球质量的 8 倍。

故选 D。

2．A

【详解】根据竖直上抛运动的规律，有$v^2=2gh$，解得$g=\frac{v^2}{2h}$，在星球表面有$mg=\frac{GMm}{R^2}$

其中$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，$M=\rho V$，联立解得$\rho=\frac{3g}{4\pi GR}=\frac{3v^2}{8h\pi GR}$，故$\rho_{地}:\rho_{a}=\frac{1}{h_1R_1}:\frac{1}{h_2R_2}=\frac{h_2R_2}{h_1R_1}=\frac{h_2}{kh_1}$

故选 A。

3．BC

【详解】CD．设斜面倾角为θ，物体抛出后做平抛运动，则有$\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$，$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}=2\tan\theta$

则有$v_{Ay}=v_{By}=2v_0\tan\theta$，$g_A=3g_B$，故 C 正确，D 错误；

AB．根据万有引力与重力的关系有$\frac{GMm}{R^2}=mg$，星球密度为$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，解得$\rho=\frac{3g}{4G\pi R}$

结合题意可知$\rho_A=\rho_B$，故 A 错误，B 正确；

故选 BC。

4．(1)$t=\sqrt{3}$ s；(2)$g=\frac{20}{3}$m/s^2；(3)8×10^3kg/m^3

【详解】（1）研究水平方向运动，有$x=v_0t$，$\tan\theta=\frac{h}{x}$，解得$t=\sqrt{3}$ s

（2）根据竖直方向的运动规律可知$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得$g=\frac{20}{3}$m/s^2

（3）根据万有引力定律可得$\frac{GMm}{R^2}=mg$，星球密度$\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，联立解得$\rho=8\times10^3$kg/m^3

【跟踪训练】：ABD　　ABD　　BD　　AD

1．ABD

【详解】A．该“类地球”行星质量为$M=\rho V=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4}{3}\pi\rho R^3$，故 A 正确；

B．根据万有引力提供向心力，静止轨道卫星与“类地球”行星相对静止，该“类地球”行星的静止轨道卫星的轨道一定与其赤道共面，故 B 正确；

C．根据匀速圆周运动线速度公式，该“类地球”行星的静止轨道卫星运行速率为$v=\frac{2\pi r}{T}$ r为该“类地球”行星的同步卫星的轨道半径，并不是“类地球”行星半径 R，故 C 错误；

D．根据万有引力与重力的关系$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，解得该“类地球”行星表面两极的重力加速度大小为$g=\frac{4}{3}\pi G\rho R$，

故 D 正确。

故选 ABD。

2．ABD

【详解】A．上滑过程中，根据牛顿第二定律，在沿斜面方向上有$\mu mg\cos\theta+mg\sin\theta=ma_1$

下滑过程中，在沿斜面方向上有 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$

又知 $v-t$ 图像的斜率表示加速度，则上滑和下滑过程中的加速度大小分别为 $a_1=\frac{6-0}{0.6}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$，

$a_2=\frac{2}{0.4}\mathrm{m/s^2}=5\mathrm{m/s^2}$；联立，解得 $g=15\mathrm{m/s^2}$，故 A 正确；

B．根据黄金替代公式 $GM=gR^2$,可得该星球的质量为 $M=\frac{gR^2}{G}=\frac{15\times\left(6\times10^4\times10^3\right)^2}{6.67\times10^{-11}}\mathrm{kg}=8.1\times10^{26}\mathrm{kg}$，故 B 正确；

C．根据所给条件无法计算自转周期。故 C 错误；

D．该星球的平均密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{gR^2}{\frac{4}{3}\pi R^3G}=\frac{3g}{4\pi RG}=895\mathrm{kg/m^3}$，故 D 正确。

故选 ABD。

3．BD

【详解】AB．设地球半径为 R，由万有引力定律在两极和赤道分别有，$G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$，$G\frac{Mm}{R^2}-mg=m(\frac{2\pi}{T_0})^2R$

设地球的密度为 ρ，则地球质量为 $M=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$，联立三式可得 $\rho=\frac{3\pi}{GT_0^2}\frac{g_0}{g_0-g}$，故 A 错误，B 正确；

CD．由近地卫星在地面附近绕地球做匀速圆周运动，轨道半径等于地球半径，

万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$，$M=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$，联立两式解得 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

4．AD

【详解】A．由公式 $v^2-v_0^2=-2gx$，可得 $v^2=-2gx+v_0^2$，结合图线可求得两星球表面的加速度为 $2g_{\mathrm{A}}=\frac{3v_0^2}{x_0}$

解得 $g_{\mathrm{A}}=\frac{3v_0^2}{2x_0}$；$2g_{\mathrm{B}}=\frac{v_0^2}{3x_0}$，解得 $g_{\mathrm{B}}=\frac{v_0^2}{6x_0}$，故可得两星球表面的加速度的比为 $\frac{g_{\mathrm{A}}}{g_{\mathrm{B}}}=\frac{9}{1}$，即 $g_{\mathrm{A}}=9g_{\mathrm{B}}$，故 A 正确；

B．结合图可知 A 上抛的初速度为 $v_{\mathrm{A}}=\sqrt{3}v_0$，则 A 抛出后回到原处的时间为 $t_{\mathrm{A}}=\frac{2v_{\mathrm{A}}}{g_{\mathrm{A}}}$

同理可得 B 上抛的初速度为 $v_{\mathrm{B}}=v_0$，则 B 抛出后回到原处的时间为 $t_{\mathrm{B}}=\frac{2v_{\mathrm{B}}}{g_{\mathrm{B}}}$

所以两者时间的比为 $\frac{t_{\mathrm{A}}}{t_{\mathrm{B}}}=\frac{v_{\mathrm{A}}}{g_{\mathrm{A}}}\times\frac{g_{\mathrm{B}}}{v_{\mathrm{B}}}=\frac{\sqrt{3}}{1}\times\frac{1}{9}=\frac{\sqrt{3}}{9}$，故 B 错误；

C．星球表面的重力加速度为 $g=\frac{GM}{R^2}=\frac{G\cdot\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3}{R^2}$，化简可得 $\rho=\frac{3g}{4G\pi R}$

所以两星球的密度比为 $\frac{\rho_{\mathrm{A}}}{\rho_{\mathrm{B}}}=\frac{g_{\mathrm{A}}}{g_{\mathrm{B}}}\times\frac{R_{\mathrm{B}}}{R_{\mathrm{A}}}=\frac{9}{1}\times\frac{2}{1}=\frac{18}{1}$，故 C 错误；

D．在星球表面，重力提供向心力，可得 $mg=m\frac{v^2}{R}$，解得第一宇宙速度为 $v=\sqrt{Rg}$，

所以两星球的第一宇宙速度的比为 $\frac{v_{\mathrm{A}}}{v_{\mathrm{B}}}=\sqrt{\frac{R_{\mathrm{A}}}{R_{\mathrm{B}}}\times\frac{g_{\mathrm{A}}}{g_{\mathrm{B}}}}=\frac{3\sqrt{2}}{2}$，故 D 正确。

故选 AD。

题型二：环绕型

【精选例题】：B　　B　　B　　D

1．B

【详解】小卫星在月球表面轨道绕月球做匀速圆周运动，

由万有引力提供向心力可得$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4p^2}{T^2}R$，又$M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$

联立解得月球密度为$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，可知宇航员只需要测量的一个物理量是小卫星的周期。

故选 B。

2．B

【详解】当中子星恰好能维持自转不解体时，万有引力充当向心力$\frac{GMm}{R^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R$

又$M=\rho\frac{4}{3}\pi R^3$，解得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$

故选 B。

3．B

【详解】由万有引力提供向心力$G\frac{Mm}{R^2}=mR\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得行星的质量为$M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$

行星的体积为$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，可得行星的密度为$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，则行星 A，B 的密度之比为$\frac{\rho_A}{\rho_B}=\frac{T_D^2}{T_C^2}=\frac{1}{2}$

故选 B。

4．D

【详解】A．航天员相对太空舱静止时，依然绕地球做圆周运动，所受合外力不为零，故 A 错误；

B．由题知，核心舱与地球中心的连线在单位时间内扫过的面积为S_0，则核心舱的运行周期为$T=\frac{\pi(R+h)^2}{S_0}$，故

B 错误；

C．根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R+h)$，又根据$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=mg_h$

联立解得核心舱处的重力加速度大小为$g_h=\frac{4S_0^2}{(R+h)^3}$，故 C 错误；

D．根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R+h)$，解得$M=\frac{4S_0^2}{G(R+h)}$

地球的密度为$\rho=\frac{M}{\frac{4\pi}{3}R^3}=\frac{3S_0^2}{G\pi(R+h)R^3}$，故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：A　　B　　D　　B　　A

1．A

【详解】根据 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，解得 $M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$，体积 $V=\frac{4\pi}{3}R^3$，则 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{3\pi}{GT^2}$

故选 A。

2．B

【详解】设近地卫星的质量为 m，火星的质量为 M，对近地卫星，火星的万有引力提供其做匀速圆周运动的向心力，则有 $\frac{GMm}{\left(\frac{d}{2}\right)^2}=\frac{m4\pi^2}{T^2}\cdot\frac{d}{2}$，可得 $M=\frac{\pi^2d^3}{2GT^2}$，可得火星的密度为 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}=\frac{6M}{\pi d^3}$

将 $M=\frac{\pi^2d^3}{2GT^2}$ 代入上式可得 $\rho=\frac{6M}{\pi d^3}=\frac{\frac{6\pi^2d^3}{2GT^2}}{\pi d^3}=\frac{3\pi}{GT^2}$

又火星对近地卫星的万有引力近似等于近地卫星的重力，则有 $mg_0=G\frac{Mm}{\left(\frac{d}{2}\right)^2}$，解得 $M=\frac{g_0d^2}{4G}$

因此火星的密度为 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}=\frac{\frac{g_0d^2}{4G}}{\frac{1}{6}\pi d^3}=\frac{3g_0}{2\pi Gd}$，故 ACD 正确，B 错误。

此题选择错误选项，故选 B。

3．D

【详解】由题意可知，天宫空间站运动的角速度为 $\omega=\frac{\theta}{t}$

根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2r$，设地球半径为 R，则 $r=(1+k)R$，地球的质量为 $M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$

联立解得地球的密度 $\rho=\frac{3\theta^2(k+1)^3}{4\pi Gt^2}$

故选 D。

4．B

【详解】A．火星探测器飞行 N 圈用时 t，则有飞行的速度为 $v=\frac{s}{t}=\frac{N\cdot(2\pi r)}{t}=\frac{2\pi Nr}{t}$，A 错误；

B．由向心加速度公式可得，火星探测器匀速飞行的向心加速度约为 $a=\frac{v^2}{r}=\frac{4\pi^2N^2r}{t^2}$，B 正确；

C．设火星质量为 M'，火星探测器的质量为 m，由月球的万有引力提供向心力，可得 $G\frac{M'm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$

可知等式两边的质量 m 约去了，因此不能求出火星探测器的质量，C 错误；

D．火星探测器由火星的万有引力提供向心力，可得 $G\frac{M'm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，又有 $M'=\rho\frac{4}{3}\pi r^3$

在地球表面物体的重力等于地球的万有引力，则有 $mg=G\frac{Mm}{R^2}$，解得 $G=\frac{gR^2}{M}$，联立解得 $\rho=\frac{3\pi MN^2}{gR^2t^2}$

D 错误。

故选 B。

5．A

【详解】卫星一、卫星二轨道的半长轴分别为 $a_1=\frac{2R+h_1}{2}$，$a_2=\frac{2R+h_2}{2}$

由开普勒第三定律得 $\frac{T_1}{T_2}=\sqrt{\frac{a_1^3}{a_2^3}}=k$，整理得 $R=\frac{h_1-k^{\frac{2}{3}}h_2}{2\left(k^{\frac{2}{3}}-1\right)}$

星球表面的重力加速度为 g，根据万有引力提供重力得 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_c$

星球质量的表达式为 $M=\frac{4\pi}{3}\rho R^3$，联立得 $\rho=\frac{3g_c}{4\pi GR}=\frac{3g_c\left(1-k^{\frac{2}{3}}\right)}{2\pi G\left(h_2k^{\frac{2}{3}}-h_1\right)}$

故选 A。

题型三：特殊型（已知星球半径与轨道半径的倍数关系）

【精选例题】：D

1．D

【详解】设地球的半径为 R，椭圆的长轴长度是地球直径的 3 倍，则其半长轴为 $3R$，根据开普勒第三定律可知该椭圆轨道与半径为 $3R$ 的圆周轨道运动的卫星的周期相等，根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{(3R)^2}=m(3R)\frac{4\pi^2}{T^2}$

根据密度的计算公式有 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，解得 $T=9\sqrt{\frac{\pi}{G\rho}}$

故选 D。

【跟踪训练】：AB　　AD

1．AB

【详解】A．卫星的轨道半径为 $r=2R$，根据公式 $a=\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得卫星运行的加速度大小为 $a=\frac{8\pi^2R}{T^2}$，A 正确；

BD．万有引力充当向心力，故有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $M=\frac{32\pi^2R^3}{GT^2}$

该星球的密度为 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{32\pi^2R^3}{GT^2}\cdot\frac{3}{4\pi R^3}=\frac{24\pi}{GT^2}$，故 B 正确 D 错误；

C．根据黄金替代公式 $gR^2=GM$，可得 $g=\frac{GM}{R^2}=\frac{G}{R^2}\cdot\frac{32\pi^2R^3}{GT^2}=\frac{32\pi^2R}{T^2}$，C 错误。

故选 AB

2．AD

【详解】AB．设星球的半径为R，则$G\frac{Mm}{R^2}=mR\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$，$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，解得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，故A正确，B错误；

CD．由$\frac{(R+h)^3}{(8T)^2}=\frac{R^3}{T^2}$，解得$R=\frac{1}{3}h$，故C错误，D正确。

故选AD。

考点七：双星问题及多星问题

题型一：双星问题

【精选例题】：C　　D　　D　　D　　A

1．C

【详解】设双星的质量、轨道半径分别为m_A、m_B，r_A、r_B，间距为$L=r_B+r_A$

由于$\frac{Gm_Am_B}{L^2}=m_A\omega^2r_A=m_B\omega^2r_B$，可得$\frac{m_A}{m_B}=\frac{r_B}{r_A}=\frac{1}{2}$

故选C。

2．D

【详解】A．两个天体a、b可以做相对位置不变的匀速圆周运动，由两天体之间的万有引力提供各自圆周运动的向心力，可知，天体a做圆周运动所需的向心力大小等于小于天体b做圆周运动所需的向心力，故A错误；

B．结合上述，两天体圆周运动角速度相等，对两个天体a、b分别进行分析有$G\frac{m_am_b}{(2r)^2}=m_b\omega^2r_b$，$G\frac{m_am_b}{(2r)^2}=m_a\omega^2r_a$

解得$m_ar_a=m_br_b$，由于天体a的质量小于天体b的质量，则有$r_a>r_b$，

由于$v_a=\omega r_a$，$v_b=\omega r_b$，可知$v_a>v_b$，故B错误；

C．结合上述可知$r_b<r$，则天体b在一个周期内的路程小于$2\pi r$，故C错误；

D．结合上述可知，天体a做圆周运动的圆心在O点右侧，故D正确。

故选D。

3．D

【详解】在双星系统中，两星体相对位置不变，运动周期相同，两颗星体之间的万有引力提供做圆周运动的向心力，有$\frac{Gm_am_b}{L^2}=\frac{m_a4\pi^2r_a}{T^2}$，$\frac{Gm_am_b}{L^2}=\frac{m_b4\pi^2r_b}{T^2}$，又有$r_a+r_b=L$，$r_a=\frac{vT}{2\pi}$，

联立可得$m_a+m_b=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}$，$m_a=\frac{2\pi L^2(2\pi L-vT)}{GT^2}$

故选D。

4．D

【详解】A．设体积较小的星体质量为m_1，轨道半径为r_1，体积大的星体质量为m_2，轨道半径为r_2，双星间的距离为L，转移的质量为△m，万有引力$F=G\frac{(m_1+\Delta m)(m_2-\Delta m)}{L^2}$

结合二项式定理可知，二者的质量越接近，万有引力越大，故 A 错误；

B．对 m_1 有 $G\frac{(m_1+\Delta m)(m_2-\Delta m)}{L^2}=(m_1+\Delta m)\omega^2 r_1$，对 m_2 有 $G\frac{(m_1+\Delta m)(m_2-\Delta m)}{L^2}=(m_2-\Delta m)\omega^2 r_2$

又 $r_1+r_2=L$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{G(m_1+m_2)}{L^3}}$，总质量 m_1+m_2 不变，两者距离 L 不变，则角速度ω不变，B 错误；

CD．因为 $G\frac{(m_1+\Delta m)(m_2-\Delta m)}{L^2}=(m_2-\Delta m)\omega^2 r_2$，解得 $\omega^2 r_2=\frac{G(m_1+\Delta m)}{L^2}$ ω、L、m_1 均不变，Δm 增大，则 r_2 增大，即体积较大星体圆周运动轨迹半径变大；

又 $v=r_2\omega$，$a=r_2\omega^2$，体积较大星体的线速度 v 也增大，向心加速度也增大。C 错误，D 正确。

故选 D。

5．A

【详解】BD．根据万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T_1^2}r$，解得图（a）月球绕地球运动的周期为 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

若地月系统是一个双星系统，设地月双星轨道中 O 点到地心距离为 r_1，地月双星轨道中 O 点到月球圆心距离为 r_2，由万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{r^2}=M\frac{4\pi^2}{T_2^2}r_1$，$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T_2^2}r_2$，又 $r=r_1+r_2$

联立可得 $r_1=\frac{m}{M+m}r$，$r_2=\frac{M}{M+m}r$，$T_2=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G(M+m)}}<T_1$

即图（a）月球绕地球运动的周期 T_1 大于图（b）中月球绕 O 点运动的周期 T_2，故 BD 错误；

C．设地球的半径为 R，所以地球密度为 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{\frac{4\pi^2 r^3}{GT_1^2}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\pi r^3}{GT_1^2R^3}$，故 C 错误；

A．图（a）中，若把部分月壤运回到地球，设部分月壤质量为 Δm，则 $(m-\Delta m)\frac{4\pi^2}{T_1^2}r<G\frac{(M+\Delta m)(m-\Delta m)}{r^2}$

即此时月球做圆周运动所需的向心力小于月球与地球间的万有引力，月球做近心运动，月球绕地球做圆周运动轨道半径将变小，故 A 正确。

故选 A。

【跟踪训练】：AC　　BC　　D　　D　　D　　CD

1．AC

【详解】设冥王星的质量为 m_1，轨道半径为 r_1；卡戎的质量为 m_2，轨道半径为 r_2；冥王星与卡戎的距离为 r。

根据万有引力定律有 $G\frac{m_1m_2}{r^2}=m_1\omega^2 r_1$，$G\frac{m_1m_2}{r^2}=m_2\omega^2 r_2$，联立得 $\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}=\frac{1}{7}$，从而线速度满足 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{\omega r_1}{\omega r_2}=\frac{1}{7}$

故选 AC。

2．BC

【详解】AB．双中子星做匀速圆周运动的频率 f=12Hz（周期$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{12}$s），由万有引力等于向心力，

可得$\frac{Gm_1m_2}{r^2}=m_1r_1(2\pi f)^2$，$G\frac{m_1m_2}{r^2}=m_2r_2(2\pi f)^2$，$r_1+r_2=r=400\text{km}$，联立解得$m_1+m_2=\frac{(2\pi f)^2r^3}{G}$

选项 B 正确 A 错误；

C．由$v=2\pi fr$可得$v_1+v_2=2\pi fr_1+2\pi fr_2=2\pi fr$，选项 C 正确；

D．不能得出各自自转的角速度，选项 D 错误。

3．D

【详解】AB．根据万有引力提供向心力有$\frac{Gm_Am_B}{L^2}=m_A\omega^2r_A=m_B\omega^2r_B$，整理可得$m_Ar_A=m_Br_B$，

由于$r_A<r_B$，可得$m_A>m_B$，两星球的向心力都是由星球间的万有引力提供，大小一直相等，故 AB 错误；

C．由公式$a=\omega^2r$可知，星球 A 的向心加速度小于星球 B，故 C 错误；

D．根据万有引力提供向心力有$\frac{Gm_Am_B}{L^2}=m_A\frac{4\pi^2}{T^2}r_A=m_B\frac{4\pi^2}{T^2}r_B$，解得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2L^3}{G(m_A+m_B)}}$

故双星的总质量一定，双星间的距离在不断缓慢增加，双星做圆周运动的周期逐渐增大，故 D 正确。

故选 D。

4．D

【详解】A．两颗恒星 A 和 B 在万有引力作用下各自绕它们连线上的某一点，在同一平面内做匀速圆周运动，

运动过程中二者之间的距离始终不变，故$\omega_1:\omega_2=1:1$，A 错误；

B．根据万有引力提供向心力$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_1\omega^2r_1=m_2\omega^2r_2$，其中$L=r_1+r_2$，可得$r_1=\frac{m_2}{m_1+m_2}L$，$r_2=\frac{m_1}{m_1+m_2}L$

两颗恒星 A 和 B 的半径之比$r_1:r_2=m_2:m_1$，

根据$v=\omega r$，两颗恒星 A 和 B 的线速度之比$v_1:v_2=r_1:r_2=m_2:m_1$，B 错误；

C．根据$a_n=\omega^2r$，两颗恒星 A 和 B 的向心加速度之比$a_1:a_2=r_1:r_2=m_2:m_1$，C 错误；

D．根据万有引力提供向心力$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T_1^2}r_1$，$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_2\frac{4\pi^2}{T_2^2}r_2$

两颗恒星 A 和 B 的周期$T_1=T_2=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{G(m_1+m_2)}}$，D 正确。

故选 D。

5．D

【详解】A．两颗星绕它们连线上的某一点在万有引力作用下做匀速圆周运动，所以两颗星的周期相等，

则$T_b=T_a=T$，故 A 错误；

C．根据题意可知$\begin{cases}r_a+r_b=L\\r_a-r_b=\Delta r\end{cases}$，解得$r_a=\frac{L+\Delta r}{2}$，$r_b=\frac{L-\Delta r}{2}$

则 b 星的线速度大小 $v_b=\frac{2\pi r_b}{T}=\frac{\pi(L-\Delta r)}{T}$，a、b 两颗星的半径之比为，$\frac{r_a}{r_b}=\frac{l+\Delta r}{l-\Delta r}$，故 C 错误；

D．双星系统靠相互间的万有引力提供向心力，角速度大小相等，向心力大小相等，则有 maraω2＝mbrbω2

解得 $\frac{m_a}{m_b}=\frac{r_b}{r_a}=\frac{L-\Delta r}{L+\Delta r}$，故 D 正确；

B．b 星的向心加速度大小为 $a_n=\frac{v_b^2}{r_b}=\frac{\frac{\pi^2(L-\Delta r)^2}{T^2}}{\frac{L-\Delta r}{2}}=\frac{2\pi^2(L-\Delta r)}{T^2}$，故 B 错误。

故选 D。

6．CD

【详解】A．设两星球的轨道半径分别为 r_P、r_Q，由题意可知 $r_P+r_Q=L_1$，$r_P-r_Q=L_2$

解得 $r_P=\frac{L_1+L_2}{2}$，$r_Q=\frac{L_1-L_2}{2}$，整理得 $\frac{r_P}{r_Q}=\frac{L_1+L_2}{L_1-L_2}$，故 A 错误；

B．星球 P、Q 环绕连线上的点做匀速圆周运动，则星球 P、Q 的角速度相等，又星球 P、Q 之间的万有引力提供向心力，所以星球 P、Q 的向心力大小相等，则 $m_Pr_P\omega^2=m_Qr_Q\omega^2$，因为 $r_P>r_Q$，所以 $m_P<m_Q$，故 B 错误；

C．由以上分析可知 P、Q 的线速度分别为 $v_P=\omega r_P$，$v_Q=\omega r_Q$，P、Q 的线速度之和为 $\Delta v_1=v_P+v_Q=\omega L_1$

P、Q 的线速度之差为 $\Delta v_2=v_P-v_Q=\omega L_2$，得 $\frac{\Delta v_1}{\Delta v_2}=\frac{L_1}{L_2}$，故 C 正确；

D．由牛顿第二定律对星体 P 有 $G\frac{m_Pm_Q}{L_1^2}=m_Pr_P\omega^2$，$m_Q=\frac{r_P\omega^2L_1^2}{G}$，同理对 Q 有 $G\frac{m_Pm_Q}{L_1^2}=m_Qr_Q\omega^2$，则 $m_P=\frac{r_Q\omega^2L_1^2}{G}$

P、Q 质量之和为 $\Delta m_1=m_P+m_Q=\frac{\omega^2L_1^3}{G}$；P、Q 质量之差为 $\Delta m_2=m_P-m_Q=\frac{\omega^2L_1^2L_2}{G}$，解得 $\frac{\Delta m_1}{\Delta m_2}=\frac{L_1}{L_2}$，故 D 正确。

故选 CD。

题型二：三星问题

【精选例题】：AD　　C　　CD

1．AD

【详解】A．甲星所受合外力为乙、丙对甲星的万有引力的合力，则有 $F_{甲}=G\frac{M^2}{R^2}+G\frac{M^2}{(2R)^2}=\frac{5GM^2}{4R^2}$，故 A 正确；

B．根据对称性可知，甲、丙对乙星的万有引力等大反向，乙星所受合外力为零，故 B 错误；

C．结合上述，根据牛顿第二定律有 $\frac{5GM^2}{4R^2}=M\frac{v^2}{R}$，解得 $v=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{5GM}{R}}$

由于甲、丙的轨道半径相等，所以线速度大小相等，但方向不同，故线速度不同，故 C 错误；

D．根据 $v=\omega R$ 可知，甲、丙角速度相同，故 D 正确。

故选 AD。

2．C

【详解】A．对于直线三星系统中左侧星体，根据万有引力提供向心力，有 $\frac{Gm_1^2}{L_1^2}+\frac{Gm_1^2}{(2L_1)^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T^2}L_1$

解得 $T_1=4\pi\sqrt{\frac{L_1^3}{5Gm_1}}$，故 A 错误；

B．对于直线三星系统中左侧星体，根据牛顿第二定律有 $\frac{Gm_1^2}{L_1^2}+\frac{Gm_1^2}{(2L_1)^2}=m_1a_1$，解得 $a_1=\frac{5Gm_1}{4L_1^2}$，故 B 错误；

C．对于三角形三星系统中其中一个星体，根据万有引力提供向心力，有 $2\frac{Gm_2^2}{L_2^2}\cos30°=m_2\frac{4\pi^2}{T_2^2}\times\frac{\frac{L_2}{2}}{\cos30°}$

解得 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{L_2^3}{3Gm_2}}$，故 C 正确；

D．对于三角形三星系统中其中一个星体，根据牛顿第二定律有 $2\frac{Gm_2^2}{L_2^2}\cos30°=m_2a_2$，解得 $a_2=\frac{\sqrt{3}Gm_2}{L_2^2}$，故 D 错误。

故选 C。

3．CD

【详解】A．因为双星系统的角速度相同，故对 A、B 可得 $M_A\omega^2R_A=M_B\omega^2R_B$

即 $\frac{M_A}{M_B}=\frac{R_B}{R_A}>1$，即恒星 A 的质量大于恒星 B 的质量，故 A 错误；

B．对恒星 B，根据万有引力提供向心力 $G\frac{M_AM_B}{(R_A+R_B)^2}=M_B\frac{4\pi^2}{T_1^2}R_B$，解得恒星 A 的质量为 $M_A=\frac{4\pi^2R_B(R_A+R_B)^2}{GT_1^2}$

故 B 错误；

C．对卫星 C，根据万有引力提供向心力 $G\frac{M_Bm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T_2^2}r$，可得恒星 B 的质量为 $M_B=\frac{4\pi^2r^3}{GT_2^2}$，故 C 正确；

D．由题可知，A、B、C 三星由图示位置到再次共线所用时间满足 $(\frac{2\pi}{T_2}-\frac{2\pi}{T_1})t=2\pi$，解得 $\Delta t=\frac{T_1T_2}{2(T_1-T_2)}$

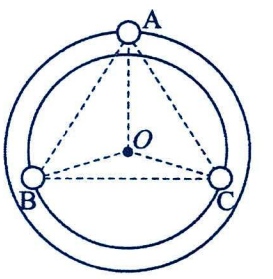
故 D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：C　　CD　　A　　AC　　5.（1）$2\sqrt{3}\frac{Gm^2}{a^2}$　（2）$\frac{\sqrt{7}Gm^2}{a^2}$　（3）$\frac{\sqrt{7}}{4}a$　（4）$T=\pi\sqrt{\frac{a^3}{Gm}}$

1．C

【详解】A．由于三颗星保持相对静止，一起绕着某点做圆周运动，三星角速度与周期相等，根据对称性，B、C 轨道半径相等，作出三星运动轨迹，如图所示



对A星体有$2G\frac{\left(\sqrt{3}+1\right)m^2}{l^2}\cos 30°=m\omega^2R_A$

对B、C星体，两星体各自所受引力的合力大小相等，令为F，根据余弦定理有

$$F^2=\left[G\frac{\left(\sqrt{3}+1\right)m^2}{l^2}\right]^2+\left[G\frac{(\sqrt{3}+1)^2m^2}{l^2}\right]^2-2G\frac{\left(\sqrt{3}+1\right)m^2}{l^2}\cdot G\frac{(\sqrt{3}+1)^2m^2}{l^2}\cos 120°$$

对B、C星体，两星体各自做圆周运动，B、C轨道半径相等，令为$R_B=R_C=R_0$

则有$F=\left(\sqrt{3}+1\right)m\omega^2R_0$，解得$\frac{R_A}{R_0}=\sqrt{2}$，可知，三颗星A、B、C的半径大小之比为$\sqrt{2}:1:1$，故A错误；

B．三颗星A、B、C的角速度相等，故三颗星A、B、C的角速度大小之比为1:1:1，故B错误；

C．距离l均不变，对A星体有$2G\frac{\left(\sqrt{3}+1\right)m^2}{l^2}\cos 30°=m\frac{4\pi^2}{T^2}R_A$，若A、B、C的质量均变为原来的3倍，根据对称性可知，三星圆周运动的圆心不变，即轨道半径不变，则有$2G\frac{9\times\left(\sqrt{3}+1\right)m^2}{l^2}\cos 30°=3m\frac{4\pi^2}{T_1^2}R_A$

解得$T_1=\frac{\sqrt{3}T}{3}$，故C正确；

D．若A、B、C的质量不变，距离均变为$2l$，根据对称性可知，三星圆周运动的圆心不变，即轨道半径均变为先前的2倍，则对A星有$2G\frac{\left(\sqrt{3}+1\right)m^2}{(2l)^2}\cos 30°=m\frac{4\pi^2}{T_2^2}\cdot 2R_A$，解得$T_2=2\sqrt{2}T$

即若A、B、C的质量不变，距离均变为$2l$，则周期变为$2\sqrt{2}T$，故D错误。

故选C。

2．CD

【详解】A．根据万有引力定律，对乙图所示的模型有$G\frac{mm}{(2R)^2}=m\frac{4\pi^2}{T'^2}R$，可得$T'=4\pi\sqrt{\frac{R^3}{Gm}}$

对丙图所示的模型有$\sqrt{3}G\frac{mm}{(\sqrt{3}R)^2}=m\frac{4\pi^2}{T''^2}R$，可得$T''=2\pi\sqrt{\frac{\sqrt{3}R^3}{Gm}}$

则有$T':T''=2:\sqrt[4]{3}$，故A错误；

B．角速度之比等于周期的反比，乙图中环绕天体的周期比丙图中的大，故乙图中环绕天体的角速度比丙图中的小，故B错误；

C．根据万有引力定律，对甲图所示的模型有$G\frac{Mm}{R^2}=m\omega^2R$，解得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$

对丙图所示的模型有$\sqrt{3}G\frac{mm}{(\sqrt{3}R)^2}=m\omega'^2R$，解得$\omega'=\sqrt{\frac{\sqrt{3}Gm}{3R^3}}$

由于$M\gg m$，则甲图中m的角速度大于丙图中m的角速度，故C正确；

D．乙、丙两图半径相同，线速度之比为周期的反比，故线速度之比为$\sqrt[4]{3}:2$，故D正确。

故选 CD。

3．A

【详解】D．a、b、c 三个天体角速度相同，由于 m << M，则对 a 天体有 $G\frac{MM}{(2r)^2}=M\omega^2 r$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{4r^3}}$

故 D 错误；

A．设 c 与 a、b 的连线与 a、b 连线中垂线的夹角为α，对 c 天体有 $2G\frac{Mm}{(\frac{r}{\sin\alpha})^2}\cos\alpha=m\omega^2\frac{r}{\tan\alpha}$，解得α = 30°

则 c 的轨道半径为 $r_c=\frac{r}{\tan 30^\circ}=\sqrt{3}r$，由 v = ωr，可知 c 的线速度大小为 a 的 $\sqrt{3}$ 倍，故 A 正确；

B．由 a = ω²r，可知 c 的向心加速度大小是 b 的 $\sqrt{3}$ 倍，故 B 错误；

C．c 在一个周期内运动的路程为 $s=2\pi r=2\sqrt{3}\pi r$，故 C 错误。

故选 A。

4．AC

【详解】A．若三个星体质量相等，则根据对称性可知，三个星体所受的万有引力大小均相同，在角速度都相等的情况下，轨迹半径也相等，故三颗星体运动轨迹圆为同一个，故 A 正确；

B．若三颗星体运动轨迹半径关系有 $R_A<R_B<R_C$

而因为三颗星体的角速度相等，则万有引力的大小关系为 $F_A<F_B<F_C$

根据对称性可知 $m_A>m_B>m_C$，故 B 错误；

CD．根据万有引力定律可知 $F_1=F_{BA}+F_{CA}$，同理 $F_2=F_{AB}+F_{CB}$；$F_3=F_{AC}+F_{BC}$（此处的“+”号表示的是矢量的运算）

则 $F_1+F_2+F_3=F_{BA}+F_{CA}+F_{AB}+F_{CB}+F_{AC}+F_{BC}=0$，而 $a_1+a_2+a_3=\frac{F_1}{m_A}+\frac{F_2}{m_B}+\frac{F_3}{m_C}$

当三颗星体的质量相等时，加速度的矢量和才等于 0，故 C 正确，D 错误；

故选 AC。

5．（1）$2\sqrt{3}\frac{Gm^2}{a^2}$　（2）$\frac{\sqrt{7}Gm^2}{a^2}$　（3）$\frac{\sqrt{7}}{4}a$　（4）$T=\pi\sqrt{\frac{a^3}{Gm}}$

【详解】（1）由万有引力定律，A 星体所受 B、C 星体引力大小为 $F_{BA}=F_{CA}=G\frac{m_Am_B}{r^2}=G\frac{2m^2}{a^2}$

则合力大小为 $F_A=2\sqrt{3}G\frac{m^2}{a^2}$

（2）同上，B 星体所受 A、C 星体引力大小分别为 $F_{AB}=G\frac{m_Am_B}{r^2}=G\frac{2m^2}{a^2}$，$F_{CB}=G\frac{m_Cm_B}{r^2}=G\frac{m^2}{a^2}$

则合力大小为 $F_{Bx}=F_{AB}\cos 60^\circ+F_{CB}=2G\frac{m^2}{a^2}$，$F_{By}=F_{AB}\sin 60^\circ=\sqrt{3}G\frac{m^2}{a^2}$.

可得 $F_B=\sqrt{F_{Bx}^2+F_{By}^2}=\sqrt{7}G\frac{m^2}{a^2}$

（3）通过分析可知，圆心 O 在中垂线 AD 的中点，$R_C=\sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^2+\left(\frac{1}{2}a\right)^2}=\frac{\sqrt{7}}{4}a$

（4）三星体运动周期相同，对 C 星体，由 $F_C = F_B = \sqrt{7}G\frac{m^2}{a^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R_C$，可得 $T = \pi\sqrt{\frac{a^3}{Gm}}$

题型三：其他

【精选例题】：A　　B　　AD

1．A

【详解】CD．假设每颗小星的质量为 m，母星的质量为 M，等边三角形的边长为 a，则小星绕母星运动轨道半径为 r=$\frac{\sqrt{3}}{3}$a，根据万有引力定律，两颗小星间的万有引 $F = \frac{Gmm}{a^2}$

母星与任意一颗小星间的万有引力为 $9F = G\frac{Mm}{(\frac{\sqrt{3}}{3}a)^2}$，解得 M=3m，故 CD 错误；

AB．根据受力分析可知，每颗小星受到其余两颗小星和一颗母星的引力，其合力指向母星以提供向心力，即每颗小星受到的万有引力为 $F = 2\frac{Gm^2}{a^2}\cos 30^\circ + G\frac{Mm}{(\frac{\sqrt{3}}{3}a)^2} = (\sqrt{3}+9)F$，故 A 正确，B 错误。

故选 A。

2．B

【详解】A．四颗星体在同一平面内围绕同一点做匀速圆周运动，所以星体做匀速圆周运动的圆心一定是正方形的中心，故 A 错误；

B．根据万有引力提供向心力 $\sqrt{2}G\frac{m^2}{L^2} + G\frac{m^2}{(\sqrt{2}L)^2} = m\omega^2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}L$

解得每颗星体做匀速圆周运动的角速度均为 $\omega = \sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{2L^3}}$，故 B 正确；

C．根据牛顿第二定律 $\sqrt{2}G\frac{m^2}{L^2} + G\frac{m^2}{(\sqrt{2}L)^2} = ma$，可得 $a = (\frac{1}{2}+\sqrt{2})G\frac{m}{L^2}$

若边长 L 和星体质量 m 均为原来的两倍，星体做匀速圆周运动的加速度大小是原来的 $\frac{1}{2}$，故 C 错误；

D．根据 $v = \omega r = \omega \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}L$，可知星体做匀速圆周运动的线速度大小为 $v = \sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{4L}}$

所以若边长 L 和星体质量 m 均是原来的两倍，星体做匀速圆周运动的线速度大小不变，故 D 错误。

故选 B。

3．AD

【详解】AB．对三绕一模式，等边三角形边长为 L，三颗绕行星轨道半径均为 r，

由几何关系得三角形的边长为 $L = 2r\cos 30°$，即有 $r = \frac{\sqrt{3}}{3}L$

对顶点的星体受力分析，根据矢量合成的方法可得 $F = 2\frac{Gm^2}{L^2}\cos 30° + 3\frac{Gm^2}{r^2} = \frac{(9+\sqrt{3})Gm^2}{L^2} = \frac{mv^2}{r} = ma$

解得 $v = \sqrt{\frac{(3\sqrt{3}+1)Gm}{L}}$，$a = \frac{(9+\sqrt{3})Gm}{L^2}$，故 A 正确，B 错误；

C. 设它们的密度为ρ，A 半径为 R，则有$m=\rho\cdot\frac{4\pi R^3}{3}$，A 表面的重力加速度$g=\frac{Gm}{R^2}$，联立可得$g=\frac{4}{3}\pi G\rho R$

因密度相同，g 与 R 成正比，星球 A 和中心 O 处的星球质量之比为1:3，所以两者半径之比为$\frac{R}{R'}=\sqrt[3]{\frac{1}{3}}$

所以重力加速度之比$\frac{g}{g'}=\sqrt[3]{\frac{1}{3}}$，故 C 错误；

D. 由$F=\frac{(9+\sqrt{3})Gm^2}{L^2}=\frac{m\cdot4\pi^2r}{T^2}$，可得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2L^3}{(9\sqrt{3}+3)Gm}}$

若 O 处的星球被均分到 A、B、C 三颗星球上，A、B、C 三颗星球的质量都是 2m；若仍按原轨道运动，则对 A 有$2\times\frac{G(2m)^2}{L^2}\times\cos30°=\frac{2m\cdot4\pi^2r}{T'^2}$，可得$T'=\sqrt{\frac{2\pi^2L^3}{3Gm}}>T$，则 A、B、C 三颗星球运动的周期将变大，故 D 正确。

故选 AD。

【跟踪训练】：BD　　2.（1）$\sqrt[3]{\frac{GT^2(M_1+M_2)}{4\pi^2}}$；（2）$2\pi a\sqrt{\frac{2a}{(4+\sqrt{2})Gm}}$，$2\pi a\sqrt{\frac{3a}{(\sqrt{3}+3)Gm}}$

1．BD

【详解】AB．四颗天体均做周期为 T 的匀速圆周运动，其圆心在位于边长为 l 的正方形的几何中心，由几何关系可得轨道半径均为$r=\frac{\sqrt{2}l}{2}$，

由线速度与角速度关系公式$v=\omega r$，可得四颗天体线速度大小均为$v=\omega r=\frac{2\pi}{T}r=\frac{\sqrt{2}\pi l}{T}$，A 错误，B 正确；

CD．以其中一颗天体为研究对象，其所需向心力由其它三颗天体的万有引力的合力提供，

则有$F_{合}=\sqrt{2}\frac{Gm^2}{l^2}+\frac{Gm^2}{\left(\sqrt{2}l\right)^2}=\frac{\left(2\sqrt{2}+1\right)Gm^2}{2l^2}$

由牛顿第二定律可得$\frac{\left(2\sqrt{2}+1\right)Gm^2}{2l^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得四颗天体的质量均为$m=\frac{4\left(4-\sqrt{2}\right)\pi^2l^3}{7GT^2}$，C 错误，D 正确。

故选 BD。

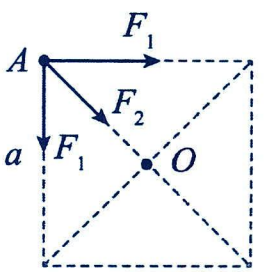
66.（1）$\sqrt[3]{\frac{GT^2(M_1+M_2)}{4\pi^2}}$；（2）$2\pi a\sqrt{\frac{2a}{(4+\sqrt{2})Gm}}$，$2\pi a\sqrt{\frac{3a}{(\sqrt{3}+3)Gm}}$

【详解】（1）根据题意，设星 A 和星 B 做圆周运动的半径分别为r_A和r_B，则有$r_A+r_B=L$

由万有引力提供向心力有$\frac{GM_1M_2}{L^2}=M_1\frac{4\pi^2}{T^2}r_A=M_2\frac{4\pi^2}{T^2}r_B$，联立解得$L=\sqrt[3]{\frac{GT^2(M_1+M_2)}{4\pi^2}}$

（2）根据题意，由几何关系可知，图（1）中对角线上两颗星的距离为$r_1=\sqrt{2}a$

图（1）中每颗星受力情况如图所示



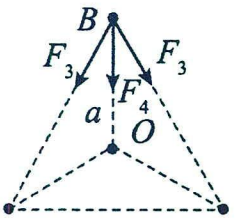
由万有引力公式$F=\frac{GMm}{r^2}$可得，$F_1=\frac{Gmm}{a^2}$，$F_2=\frac{Gmm}{\left(\sqrt{2}a\right)^2}$

则每颗星所受合力为$F_{合1}=\sqrt{2F_1^2}+F_2=\frac{\left(2\sqrt{2}+1\right)Gm^2}{2a^2}$

由合力提供向心力有$F_{合1}=m\frac{4\pi^2}{T_1^2}\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}a$，解得$T_1=2\pi a\sqrt{\frac{2a}{\left(4+\sqrt{2}\right)Gm}}$

根据题意，由几何关系可知，图（2）中，两个三角形顶点上的星间的距离为$r_2=\sqrt{3}a$

图（2）中三角形顶点上的星受力情况如图所示



由万有引力公式$F=\frac{GMm}{r^2}$可得$F_3=\frac{Gmm}{\left(\sqrt{3}a\right)^2}=\frac{Gm^2}{3a^2}$，$F_4=\frac{Gm^2}{a^2}$

则三角形顶点上的星所受合力为$F_{合2}=2F_3\cos30°+F_4=\frac{\left(\sqrt{3}+3\right)Gm^2}{3a^2}$

由合力提供向心力有$F_{合2}=m\frac{4\pi^2}{T_2^2}a$，解得$T_2=2\pi a\sqrt{\frac{3a}{\left(\sqrt{3}+3\right)Gm}}$

第九讲：宇宙航行

考点一：宇宙速度

题型一：了解三大宇宙速度

【精选例题】：B

1．B

【详解】A．第一宇宙速度是人造地球卫星的最小发射速度，为 7.9km/s，也是人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动的最大运行速度，故 A 错误；

B．第二宇宙速度是在地面附近使物体挣脱地球引力束缚，成为绕太阳运行或飞向其他行星的人造卫星的最小发射速度，为 11.2km/s，故 B 正确；

C．人造地球卫星绕地球在圆轨道上运行时的速度一定小于第一宇宙速度，故 C 错误；

D．我国发射的火星探测器，其发射速度应大于第二宇宙速度，小于第三宇宙速度，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：BC　　B

1．BC

【详解】A．为节约能量，发射卫星的方向应和地球自转方向相同，为自西向东，故 A 错误；

B．该卫星未脱离地球束缚，发射速度应不大于第二宇宙速度 11.2km/s，故 B 正确；

C．第一宇宙速度是最小的发射速度，故 C 正确；

D．该卫星轨道半径小于同步卫星轨道半径，根据开普勒第三定律可知，该卫星在轨道上做匀速圆周运动的周期小于同步卫星运动的周期，故 D 错误。

故选 BC。

2．B

【详解】A．轨道①对应的第一宇宙速度是人造卫星做圆周运动的最大运行速度，也是人造卫星绕地球运行所需的最小发射速度，故 A 错误；

B．卫星的发射速度 v 满足 $7.9\text{km/s} < v < 11.2\text{km/s}$，卫星将绕地球运动，故 B 正确；

C．开普勒第二定律中同一颗卫星在同一轨道上运行时与中心天体单位时间扫过的面积相等，故 C 错误；

D．当发射速度达到16.7km/s，即达到第三宇宙速度，飞行器会脱离太阳的束缚，卫星沿轨道④运动，将脱离地球的束缚，故 D 错误。

故选 B。

题型二：三大宇宙速度的相关计算

【精选例题】：B　　B　　B　　B　　CD

1．B

【详解】A．根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，可知第一宇宙速度 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$

由题意可知 $M_1=18M$，$R_1=2R$，得到 $v_1=3v$，故 A 错误；

B．根据星球表面，重力近似等于万有引力，即$\frac{GMm}{R^2}=mg$，得$\frac{GM}{R^2}=g$，解得$g_1=4.5g$，故B正确；

CD．质量是物体的基本属性，与环境无关，质量又是惯性唯一量度，故CD错误。

故选B。

2．B

【详解】ABC．火星探测器前往火星，脱离地球引力束缚，还在太阳系内，发射速度应大于第二宇宙速度、小于第三宇宙速度，故AC错误，B正确；

D．由$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，可得$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，已知火星的质量约为地球的$\frac{1}{9}$，火星的半径约为地球半径的$\frac{1}{2}$，则火星的第一宇宙速度与地球第一宇宙速度之比为$\frac{v_{火}}{v_{地}}=\sqrt{\frac{M_{火}R_{地}}{M_{地}R_{火}}}=\frac{\sqrt{2}}{3}$，故D错误。

故选B。

3．B

【详解】因为物体做竖直上抛运动，根据其运动规律有，上升的最大高度$H=\frac{v_0^2}{2g}$

得到星球表面的重力加速度$g=\frac{v_0^2}{2H}$，“近地”卫星绕该星球做圆周运动时，轨道半径$R=\frac{D}{2}$

此时重力提供卫星的向心力有$mg=m\frac{v^2}{R}$，所以$v=\sqrt{gR}=\sqrt{\frac{v_0^2}{2H}\times\frac{D}{2}}=\frac{v_0}{2}\sqrt{\frac{D}{H}}$

故选B。

4．B

【详解】A．由题图可知$x=2.0\text{m}=v_0t$，$y=2.0\text{m}=\frac{1}{2}gt^2$，解得$g=4.0\text{m/s}^2$，A正确，不符题意；

B．根据$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，可得该星球的质量约为，$M=\frac{gR^2}{G}=\frac{4\times\left(4\times10^6\right)^2}{6.67\times10^{-11}}\text{kg}=9.6\times10^{23}\text{kg}$，B错误，符合题意；

C．该星球的第一宇宙速度为$v=\sqrt{gR}=\sqrt{4\times4\times10^6}\,\text{m/s}=4.0\times10^3\,\text{m/s}=4.0\text{km/s}$，C正确，不符题意；

D．根据$m_1g_{地}=m_2g$，可得$m_2=250\text{kg}$，即若航天员在地球上最多能举起100kg的重物，则在该星球上最多能举起250kg的重物，D正确，不符题意。

故选B。

5．CD

【详解】根据万有引力提供向心力得$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v^2=\frac{GM}{r}$，由题意$k=GM$

A．分析图象，宇宙飞船的轨道半径最小为r_0，所以星球的半径为r_0，根据$\rho=\frac{M}{V}=\frac{\frac{k}{G}}{\frac{4}{3}\pi r_0^3}=\frac{3k}{4\pi Gr_0^3}$，故A错误；

B．根据万有引力提供向心力知只能求环绕星球的周期，无法求星球自转的周期，故B错误；

C．根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{r_0^2}=mg$，解得$g=\frac{GM}{r_0^2}=\frac{k}{r_0^2}$，故C正确；

D．根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{r_0^2}=m\frac{v_0^2}{r_0}$，解得$v_0=\sqrt{\frac{k}{r_0}}$，故 D 正确；

故选 CD。

【跟踪训练】：C　　C　　D　　B　　5．(1)$2r,8r$；(2)$\frac{2048\pi^2r^3}{49GT^2}$；(3)$\frac{32\sqrt{2}\pi r}{7T}$

1．C

【详解】在该运动的轨道的最高点，该星球上的重力提供向心力有$mg=\frac{mv^2}{r}$

在该星球表面，万有引力等于重力，则有$\frac{GMm}{R^2}=mg$，在该星球表面，万有引力提供向心力有$\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv_1^2}{R}$

联立解得该星球的第一宇宙速度为$v_1=v\sqrt{\frac{R}{r}}$

故选 C。

2．C

【详解】A．由自由落体公式可知$h=\frac{1}{2}gt^2$，$g=\frac{2h}{t^2}$

假设星球上质量为 m 的物体所受重力为 mg，则有$mg=G\frac{Mm}{R^2}$，故$M=\frac{gR^2}{G}=\frac{2hR^2}{Gt^2}$，故 A 错误；

B．由球体积公式可得$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，所以$\rho=\frac{M}{V}=\frac{3h}{2\pi RGt^2}$，故 B 错误；

C．由第一宇宙速度公式可知$v=\sqrt{gR}=\frac{\sqrt{2hR}}{t}$，故 C 正确；

D．由于没有给该星球的半径，以及物体在地球上自由落体运动的情况，因此无法比较第一宇宙速度大小。故 D 错误。

故选 C。

3．D

【详解】A．由题意得$\begin{matrix}h=\frac{1}{2}g_{地}(t)^2\\h=\frac{1}{2}g_{星}(4t)^2\end{matrix}$，两式相比得$\frac{g_{星}}{g_{地}}=\frac{1}{16}$，故 A 错误；

BC．由万有引力定律及牛顿第二定律得$\begin{matrix}G\frac{Mm}{R^2}=mg\\G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}\end{matrix}$，解得星球的第一宇宙速度$v=\sqrt{gR}$

所以星球与地球的第一宇宙速度之比$\frac{v_{星}}{v_{地}}=\frac{\sqrt{g_{星}R_{星}}}{\sqrt{g_{地}R_{地}}}=\frac{1}{8}$，星球与地球的质量之比$\frac{M_{星}}{M_{地}}=\frac{g_{星}R_{星}^2}{g_{地}R_{地}^2}=\frac{1}{256}$，故 BC 错误；

D．星体的密度$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4G\pi R}$，星球与地球的密度之比$\frac{\rho_{星}}{\rho_{地}}=\frac{g_{星}}{R_{星}}\times\frac{R_{地}}{g_{地}}=\frac{1}{4}$，故 D 正确。

故选 D。

4．B

【详解】A．根据万有引力提供向心力可得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，联立可得$T^2=\frac{4\pi^2r^3}{GM}$，$T^2-r^3$图像的斜率为$k=\frac{4\pi^2}{GM}$

该星球和地球的质量之比$\frac{M_P}{M_Q}=\frac{k_Q}{k_P}=\frac{\frac{c}{n}}{\frac{c}{m}}=\frac{m}{n}$，故A错误；

B．“探测卫星”在该星球近表面和地球近表面运动时均满足$T^2=c$，则$\frac{4\pi^2R_P^3}{GM_P}=\frac{4\pi^2R_Q^3}{GM_Q}$，则$\frac{R_P}{R_Q}=\sqrt[3]{\frac{M_P}{M_Q}}=\sqrt[3]{\frac{m}{n}}$

根据万有引力提供向心力可得$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，可得$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$

该星球和地球的第一宇宙速度之比$\frac{v_P}{v_Q}=\sqrt{\frac{M_PR_Q}{M_QR_P}}=\frac{\sqrt[3]{m}}{\sqrt[3]{n}}$，故B正确；

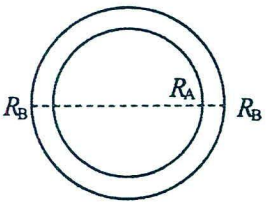
C．体积为$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，密度为$\rho=\frac{M}{V}$，该星球和地球的密度之比为$\frac{\rho_P}{\rho_Q}=\frac{M_PR_Q^3}{M_QR_P^3}=\frac{1}{1}$，故C错误；

D．根据万有引力与重力的关系$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，该星球和地球表面的重力加速度大小之比为$\frac{g_P}{g_Q}=\frac{M_PR_Q^2}{M_QR_P^2}=\frac{\sqrt[3]{m}}{\sqrt[3]{n}}$，故D错误。

故选B。

5．(1)$2r,8r$，(2)$\frac{2048\pi^2r^3}{49GT^2}$，(3)$\frac{32\sqrt{2}\pi r}{7T}$

【详解】（1）设卫星A的轨道半径为R_A，卫星B的轨道半径为R_B，卫星A的线速度大于卫星B的线速度，两卫星的轨道半径如下图所示，故有$R_B-R_A=6r$，$R_B+R_A=10r$，解得$R_A=2r$，$R_B=8r$



（2）由开普勒第三定律可知$\frac{R_A^3}{T_A^2}=\frac{R_B^3}{T_B^2}$，解得$\frac{T_A}{T_B}=\sqrt{\frac{R_A^3}{R_B^3}}=\frac{1}{8}$

两颗卫星经过T时间相距最近，则有$(\frac{1}{T_A}-\frac{1}{T_B})\cdot T=1$，解得$T_B=7T$

对于卫星B而言，则有$G\frac{Mm_B}{R_B^2}=m_B\frac{4\pi^2R_B}{T_B^2}$，解得$M=\frac{4\pi^2R_B^3}{GT_B^2}$，代入数据可得$M=\frac{2048\pi^2r^3}{49GT^2}$

（3）在星球表面万有引力提供向心力，则有$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\frac{32\sqrt{2}\pi r}{7T}$

题型三：$v_2=\sqrt{2}v_1$

【精选例题】：A　　A

1．A

【详解】由题意可知，此星球上的重力加速度为$\frac{1}{6}g$，此星球的宇宙第一速度有$m\cdot\frac{1}{6}g=m\frac{v_1^2}{r}$

又$v_2=\sqrt{2}v_1$，解得$v_2=\sqrt{\frac{gr}{3}}$

故选 A。

2．A

【详解】由万有引力等于向心力$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，可知$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$

若太阳半径缩小至 R′，其环绕速度为$v'=\sqrt{\frac{GM}{R'}}$，其逃逸速度应满足，$c=\sqrt{2}v'$，联立上式可得$\frac{R'}{R}=\frac{2v^2}{c^2}$

故选 A。

【跟踪训练】：D　　D

1．D

【详解】由重力提供向心力，可得$mg=m\frac{v^2}{R}$，解得地球表面的第一宇宙速度为$v_{地}=\sqrt{gR}$

则星球表面的第一宇宙速度为$v_{星}=\sqrt{kgR}$，该星球的第二宇宙速度为$v_2=\sqrt{2}v_{星}=\sqrt{2kgR}$

故选 D。

2．D

【详解】对地球卫星分析可得$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，$\rho=\frac{M}{V}$，$V=\frac{4\pi}{3}R^3$，求得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$

对于与地球平均密度相等的黑洞$G\frac{Mm}{R'^2}=m\frac{v^2}{R'}$，$M=\rho V$，$V=\frac{4\pi}{3}R'^3$，$\sqrt{2}v=c$，联立求得$R'=\frac{\sqrt{2}cT}{4\pi}$

故选 D。

考点二：同步卫星以及近地卫星

题型一：基础辨析

【精选例题】：CD

1．CD

【详解】A．因为人造卫星绕地球做圆周运动，靠万有引力提供向心力，万有引力以及向心力的方向均指向地心，所以人造地球卫星的轨道的圆心必须是地心，故 A 错误；

B．卫星通过南北极上空，某时刻在某一经线上，由于地球的自转，下一刻卫星将不在原来的经线上，故 B 错误；

C．同步卫星在赤道上方，与地球保持相对静止，轨道平面与赤道平面共面，故 C 正确；

D．与地球表面上的赤道线是共面同心圆，但卫星相对于地球表面是运动的，万有引力提供向心力，高度小于或者大于同步卫星高度，故 D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：D　　B

1．D

【详解】AC．根据万有引力提供向心力，则有$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=ma$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$a=\frac{GM}{r^2}$

因同步卫星的轨道半径较大，故同步卫星的线速度、向心加速度都比低轨卫星的小，故 AC 错误；

B．电磁波在空中匀速传播，传播时间$t=\frac{s}{c}$，由于低轨道卫星距离地球表面更近，因此低轨卫星的通讯传输时间较短，故 B 错误；

D．在正常运作条件下，卫星通信的张角相同，低轨卫星距离地球表面近，因此每颗低轨卫星覆盖的地表通讯面积较小，故 D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】A．卫星做圆周运动的向心力指向地心，所以所有卫星轨道的圆心均为地心，所以中轨道卫星不可能与成都所处的纬线圈平面重合，A 错误；

B．倾斜地球同步轨道卫星的运行周期与地球自转周期相同，都是$24h$转一圈，所以每天同一时间经过北京上空，B 正确；

C．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，轨道半径越大，速度越小，所以中轨道卫星的轨道半径小，线速度大，C 错误；

D．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2 r}{T^2}$，可得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$，轨道半径越大，周期越大，所以中轨道卫星的轨道半径小，周期小，D 错误。

故选 B。

题型二：认识同步卫星

【精选例题】：B　　D

1．B

【详解】A．静止于赤道上的物体与静止卫星的角速度相等，根据$a=\omega^2 r$

可知与静止于赤道上的物体相比，静止卫星向心加速度更大，故 A 错误；

B．根据$\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，可知与近地轨道卫星相比，静止卫星的线速度更小，故 B 正确；

C．静止卫星内的物体绕地球做匀速圆周运动，不是平衡状态，故 C 错误；

D．由于不同静止卫星的质量不一定相等，所以不同静止卫星受到地球的引力大小不一定相等，故 D 错误。

故选 B。

2．D

【详解】A．地球静止卫星绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，不是处于平衡状态，故 A 错误；

B．根据万有引力提供向心力可得$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

地球第一宇宙速度7.9km/s等于近地卫星的线速度，所以地球静止卫星运行速度小于7.9km/s，故 B 错误；

C．地球静止卫星只能位于赤道的正上方，所以天通一号 01 不能位于江苏正上方，故 C 错误；

D．根据万有引力提供向心力可得$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$

若地球自转变慢，则自转周期变大，需要升高卫星轨道高度以保持与地球同步，故 D 正确。故选 D。

【跟踪训练】：B　　BD

1．B

【详解】A．第一宇宙速度是指绕地球表面做圆周运动的速度，是环绕地球做圆周运动的所有卫星的最大环绕速度，由$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可知$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，该卫星的轨道半径大于地球的半径，可知运动速度小于第一宇宙速度，故A错误；

BCD．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可知$r=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$，因为该卫星的运动周期与地球自转周期相同，所以该卫星的周期等于“静止”在赤道上空的同步卫星的周期，可知该卫星的轨道半径等于“静止”在赤道上空的同步卫星的轨道半径，该卫星的运动速度等于同步卫星的运动速度，故B正确，CD错误。

故选B。

2．BD

【详解】A．第一宇宙速度是所有绕地球做圆周运动的卫星的最大环绕速度，则地球同步卫星的运行速度小于第一宇宙速度，选项A错误；

B．同步卫星的角速度等于地球自转的角速度，根据v=ωr可知，地球同步卫星的线速度比静止在赤道上物体的大，选项B正确；

C．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，中轨道卫星的轨道半径小于同步卫星的轨道半径，可知中轨道卫星的周期小于同步卫星的周期，即小于24h，选项C错误；

D．根据$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，可得$a=\frac{GM}{r^2}$，中轨道卫星的轨道半径小于同步卫星的轨道半径，中轨道卫星的向心加速度比地球同步卫星的大，选项D正确。

故选BD。

题型三：同步卫星综合应用

【精选例题】：AD　　D　　C

1．AD

【详解】A．地球赤道上的物体与同步卫星具有相同的角速度，所以$\omega_a=\omega_c$，根据$a=r\omega^2$可知，c的向心加速度大于a的向心加速度；根据$a=\frac{GM}{r^2}$，由于b的轨道半径小于c的轨道半径，可知，b的向心加速度大于c的向心加速度，即有$a_b>a_c>a_a$，故A正确；

B．b为沿地球表面附近做匀速圆周运动的人造卫星，即为近地卫星，第一宇宙速度等于近地卫星的环绕速度，可知，b卫星运行的线速度等于7.9 km/s，故B错误；

C．卫星c为地球同步卫星，所以，$T_a=T_c$，根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2r}{T^2}$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

由于b的轨道半径小于c的轨道半径，可知，c的周期大于b的周期，则有$T_a=T_c>T_b$，故C错误；

D．在b、c中，根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，由于b的轨道半径小于c的轨道半径，可知，b的线速度比c的线速度大，故D正确。

故选AD。

2．D

【详解】A．超级缆绳将地球赤道上的固定基地、同步空间站和配重空间站连接在一起，它们随地球同步旋转，则配重空间站的周期等于24h，故A错误；

B．宇航员在同步空间站内，万有引力刚好提供所需的向心力，而宇航员在配重空间站内，万有引力不足以提供宇航员做圆周运动所需的向心力，所以宇航员在配重空间站时受到空间站的作用力，故B错误；

C．若太空电梯沿缆绳匀速运动，由于太空电梯绕地球转动，所以其内的物体受力不平衡，故C错误；

D．若两空间站之间缆绳断裂，则配重空间站受到的万有引力小于所需的向心力，配重空间站将做离心运动，故D正确。

故选D。

3．C

【详解】A．绕地球运行的卫星，地球对卫星的万有引力提供向心力，设卫星的线速度为v，则$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$

所以$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，可知a、b线速度大小之比为$\sqrt{\frac{R+H}{R+h}}$，故A错误；

B．设卫星的角速度为ω，根据万有引力提供向心力$G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$，得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，所以$\frac{\omega_a}{\omega_b}=\sqrt{\left(\frac{R+H}{R+h}\right)^3}$

又由于同步卫星b的角速度与c的角速度相同，所以$\frac{\omega_a}{\omega_c}=\sqrt{\left(\frac{R+H}{R+h}\right)^3}$，故B错误；

C．同步卫星b的角速度与c的角速度相同，根据$a=\omega^2 r$，可得$\frac{a_b}{a_c}=\frac{R+H}{R}$，故C正确；

D．设经过时间t卫星a再次通过建筑物c上方，根据几何关系有$(\omega_a-\omega_c)t=2\pi$，$mg=\frac{GMm}{R^2}$

联立解得$t=\frac{2\pi}{\omega_a-\omega_c}=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}}-\sqrt{\frac{(R+H)^3}{GM}}}=\frac{2\pi\sqrt{gR^2}}{\sqrt{(R+h)^3}-\sqrt{(R+H)^3}}$，故D错误。

故选C。

【跟踪训练】：D　　B　　AD　　BD

1．D

【详解】同步卫星的周期等于行星的自转周期，根据万有引力提供向心力可得$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，

可得$r=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}\propto\sqrt[3]{MT^2}$，

则发射火星的同步卫星，它的轨道半径与地球同步卫星的轨道半径的比值为$\frac{r_{火}}{r_{地}}=\sqrt[3]{\frac{M_{火}T_{火}^2}{M_{地}T_{地}^2}}=\sqrt[3]{\frac{1}{10}}$

故选 D。

2．B

【详解】由题知，a、c 具有相同的角速度，故经过 24 小时，a、c 转过的角度相同，故 c 一直在 a 的正上方；

对 b、c 绕地球公转的卫星，根据万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$，解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

b 的半径为 3.3R，c 的半径为 6.6R，所以 $\frac{T_b}{T_c}=\sqrt{\left(\frac{3.3R}{6.6R}\right)^3}=\frac{\sqrt{2}}{4}$，解得 $T_b\approx 8.4\text{h}$

则 b 卫星在 24 小时内运行的圈数为 $n=\frac{24}{8.4}=2.9$ 圈，故 b 卫星没有回到原位置，在原位置的后面。

故选 B。

3．AD

【详解】A．卫星绕地球做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力得 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

可知 b 的运行速度大于 c 的运行速度；对于同步卫星 c 和未发射的卫星 a，两者角速度相等，根据 $v=\omega r$

可知同步卫星 c 的运行速度大于卫星 a 的运行速度，则 a 的线速度小于 b 的运行速度，故 A 正确；

B．同步卫星 c 的周期等于地球自转周期，为 24h，可知 c 在 4 小时内转过的圆心角为 $\frac{\pi}{3}$，故 B 错误；

C．根据开普勒第二定律可知，同一轨道上的卫星在相同的时间内，卫星与地心的连线扫过的面积相等，但 c 与 d 处于不同轨道，所以在相同的时间内，c 与地心的连线扫过的面积不等于 d 与地心的连线扫过的面积，故 C 错；

D．卫星 d 绕地球做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力得 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，在地球表面有 $\frac{GMm'}{R^2}=m'g$

可得 d 运动周期的平方与其轨道半径的三次方的比值为 $\frac{T^2}{r^3}=\frac{4\pi^2}{GM}=\frac{4\pi^2}{gR^2}$，故 D 正确。

故选 AD。

4．BD

【详解】AB．由图乙可知 $3T=T_{地}$，则该卫星的周期为 $T=8\text{h}$，A 错误，B 正确；

C．卫星做圆周运动，根据万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2 r$，可得周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

该卫星的轨道半径与地球同步卫星的轨道半径关系为 $r=\frac{r_{地}}{\sqrt[3]{9}}\approx\frac{r_{地}}{2}$

该卫星离地面的距离约为 $H\approx\frac{r_{地}}{2}-R=2.3R$，C 错误；

D．该卫星纬度最高时有 $\theta=60°$，卫星离地球球心所在水平面的高度为 $h=r\sin 60°=\frac{\sqrt{3}}{4}r_{地}>\frac{1}{4}r_{地}=1.65R>R$

即卫星高度大于北极点的高度，该卫星能记录到北极点的气候变化，D 正确。

故选 BD。

考点三：一般人造卫星

题型一：卫星轨道问题——定性分析

【精选例题】：C　　ABC

1．C

【详解】A．根据万有引力提供向心力，有$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

神舟十八号的轨道半径小于天宫号的轨道半径，神舟十八号的线速度大于天宫号的线速度，故A错误；

B．根据万有引力提供向心力，有$G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$，解得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

神舟十八号的轨道半径小于天宫号的轨道半径，神舟十八号的角速度大于天宫号的角速度，故B错误；

C．根据万有引力提供向心力，有$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2 r}{T^2}$，解得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$

神舟十八号的轨道半径小于天宫号的轨道半径，神舟十八号的周期小于天宫号的周期，故C正确；

D．因神舟十八号与天宫号的质量关系未知，故无法比较神舟十八号与天宫号所受地球引力大小，故D错误。

故选C。

2．ABC

【详解】A．根据万有引力提供向心力可知$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$

由此可知三种卫星的线速度大小关系为$v_A=v_B<v_C$，A正确；

B．根据万有引力提供向心力可知$G\frac{Mm}{R^2}=m\omega^2 R$，解得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$

由此可知三种卫星的角速度大小关系$\omega_A=\omega_B<\omega_C$，B正确；

C．根据万有引力提供向心力可知$G\frac{Mm}{R^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

由此可知三种卫星的周期大小关系为$T_A=T_B>T_C$，C正确；

D．根据万有引力提供向心力可知$G\frac{Mm}{R^2}=ma$，解得$a=\frac{GM}{R^2}$

由此可知三种卫星的加速度大小关系为$a_A=a_B<a_C$，D错误。

故选ABC。

【跟踪训练】：A　　D　　BC

1．A

【详解】A．对人造卫星受力分析，根据牛顿第二定律有$G\frac{Mm}{r^2}=ma$可得，人造卫星的加速度为$a=\frac{GM}{r^2}$，由题可知，卫星a、c的半径相等，且小于b的半径，则a、c的加速度大小相等，且大于b的加速度，故A正确；

B．对人造卫星受力分析，根据牛顿第二定律有$G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$可得，人造卫星的角速度为$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

由于卫星a、c的半径相等，且小于b的半径，则a、c的角速度大小相等，且大于b的角速度，故B错误；

C．对人造卫星受力分析，根据牛顿第二定律有$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$可得，人造卫星的角速度为$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

由于卫星 a、c 的半径相等，且小于 d 的半径，所以 a、c 的线速度大小相等，且大于 d 的线速度，故 C 错误；

D．根据开普勒第三定律有 $\frac{r^3}{T^2}=k$，由于卫星 b、d 的半径相等，且大于 c 的半径，则 b、d 的周期相同，且大于 c 的周期，故 D 错误。

故选 A。

2．D

【详解】根据万有引力提供向心力，有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，$G\frac{Mm}{r^2}=ma$

整理得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，$a=\frac{GM}{r^2}$

其中 M 表示中心天体质量，r 表示轨道半径，轨道半径相同，则中心天体质量越大，v 越大，T 越小，a 越大，乙所环绕的中心天体质量较大，故其线速度较大，周期较小，向心加速度较大，故 D 正确。

故选 D。

3．BC

【详解】A．根据 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ 可得，$a=G\frac{M}{r^2}$，由于在图示位置高分十一号 05 卫星离地心的距离小于卫星 a 离地心的距离，故高分十一号 05 卫星的加速度大小大于卫星 a 的加速度大小，故 A 错误；

B．在图示位置，以地心为圆心，过卫星 a 所处位置作一与椭圆相切的辅助圆，辅助圆的半径大于 R，假如卫星 a 在辅助圆上的线速度大小为 v_3，卫星 a 要变轨到椭圆轨道上，必须减速，故 $v_3>v_2$，再根据卫星在圆轨道运行，则有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，可知轨道半径越大线速度越小，有 $v_1>v_3$，联立可得 $v_1>v_2$，故 B 正确；

C．由题意得卫星 a 的半长轴为 R，根据开普勒第三定律可得两卫星的周期相同，从图示位置开始，卫星 a 运动到 A 点时间小于半个周期，而高分十一号 05 卫星运动到 A 点时间大于半个周期，故卫星 a 先运动到 A 点，故 C 正确；

D．同理在椭圆轨道的近地点作一相切的辅助小圆，根据卫星在圆轨道运行，则有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知轨道半径越大线速度越小，故卫星 a 在近地点的线速度大小大于 v_1，故 D 错误。

故选 BC。

题型二：卫星轨道问题——定量计算

【精选例题】：C　　AC　　C　　D

1．C

【详解】A．由题意知 $r_A:r_B=1:2$，由 $\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，解得 $v_A:v_B=\sqrt{2}:1$，故 A 错误；

B．由 $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$，得 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，所以 $\omega_A:\omega_B=2\sqrt{2}:1$，故 B 错误；

C．由 $\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，所以 $T_A:T_B=1:2\sqrt{2}$，故 C 正确；

D．卫星的向心力为$F=m\frac{v^2}{r}$,所以向心力之比$F_A:F_B=2:1$，故 D 错误。

故选 C。

2．AC

【详解】A．根据$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，得$a=G\frac{M}{r^2}$，如图可知，$a_A=a_C<a_B$，A 正确；

B．卫星 C 向后喷气加速做离心运动，不能追上同轨道的 A，B 错误；

C．根据$\left(\frac{2\pi}{T_2}-\frac{2\pi}{T_1}\right)t=2\pi$，卫星 A 与卫星 B 又一次相距最近的时间间隔为，$t=\frac{T_1T_2}{T_1-T_2}$，C 正确；

D．第一宇宙速度是最小发射速度，则卫星 A、C 的发射速度大于第一宇宙速度，D 错误；

故选 AC。

3．C

【详解】A．同步卫星的向心加速度与其所在轨道处的重力加速度相同，即 $a_1=g_1$，选项 A 正确；

B．忽略地球自转的影响，地球表面的重力加速度$g=\frac{GM}{R^2}$

同步卫星绕地球运行时，有$\frac{GMm}{r^2}=ma_1=mg_1$，得$g_1=\frac{GM}{r^2}$，所以$\frac{g_1}{g}=\frac{R^2}{r^2}$，选项 B 正确；

C．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v_1^2}{r}$，得$v_1=\sqrt{\frac{GM}{r}}$；同理$v_2=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，所以$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{R}{r}}$，选项 C 错误；

D．同步卫星的周期等于地球自转周期，即角速度相等，由向心加速度公式有$a_1=\omega^2r$，$a_2=\omega^2R$

因为ω相同，所以$\frac{a_1}{a_2}=\frac{r}{R}$，选项 D 正确。

此题选择不正确的选项，故选 C。

4．D

【详解】A．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

卫星 C 的轨道半径小于卫星 A 的轨道半径，卫星 C 的线速度大于卫星 A 的线速度，故 A 错误；

B． 根据$G\frac{Mm}{r^2}=mr\omega^2$，解得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

卫星 B 的轨道半径等于卫星 A 的轨道半径，所以卫星 B 的角速度等于卫星 A 的角速度，故 B 错误；

C．地面上的物体m'，重力近似等于万有引力，由万有引力等于重力$G\frac{Mm'}{R^2}=m'g$

对卫星 C，根据$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2(R+h)$，解得$T=\frac{2\pi(R+h)\sqrt{g(R+h)}}{gR}$，故 C 错误；

D．根据$G\frac{Mm}{(R+h')^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2(R+h')$，解得$h'=\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}-R$，故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：B　　A　　AD

1．B

【详解】A．卫星绕地球做圆周运动，由万有引力提供向心力，则$G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

设卫星M、N的运行周期分别为T_M、T_N，其中$T_N=T$，则可得$\frac{T_M}{T_N}=\frac{T_M}{T}=\sqrt{\frac{r_M^3}{r_N^3}}=\sqrt{\frac{2^3}{1^3}}=2\sqrt{2}$，解得$T_M=2\sqrt{2}T$，

故A错误；

B．卫星绕地球做圆周运动，由万有引力提供向心力，则$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

则可得$\frac{v_M}{v_N}=\sqrt{\frac{r_N}{r_M}}=\sqrt{\frac{1}{2}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$，故B正确；

C．设经过时间t，卫星M与卫星N又一次相距最近，则有$\left(\frac{2\pi}{T_N}-\frac{2\pi}{T_M}\right)t=2\pi$

其中$T_M=2\sqrt{2}T$，$T_N=T$，解得$t=\frac{8+2\sqrt{2}}{7}T$，故C错误；

D．根据开普勒第二定律，可知同一卫星与地心O连线在相等时间内扫过的面积相等，故D错误。

故选B。

2．A

【详解】A．赤道上物体与“三号卫星”的角速度相同，都等于地球自转角速度，根据$v=r\omega$得，赤道上物体与“三号卫星”的线速度之比为$\frac{v_1}{v_3}=\frac{R}{R+h}$，A符合题意；

B．对于“三号卫星”与近地卫星，由万有引力提供向心力，得$\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2 r$，得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

可得“三号卫星”与近地卫星角速度之比为$\frac{\omega_3}{\omega_2}=\sqrt{\frac{R^3}{(R+h)^3}}$，又$\omega_1=\omega_3$，所以$\frac{\omega_1}{\omega_2}=\sqrt{\frac{R^3}{(R+h)^3}}$，B不符合题意；

C．赤道上物体与“三号卫星”的角速度相同，由$a=\omega^2 r$,可得它们的向心加速度之比为$\frac{a_1}{a_2}=\frac{R}{R+h}$，C不符合题意；

D．对于“三号卫星”与近地卫星，由万有引力等于重力，得:$\frac{GMm}{r^2}=mg$,得$g=\frac{GM}{r^2}$

所以得近地卫星处与“三号卫星”处的重力加速之比为$\frac{g_2}{g_3}=\frac{(R+h)^2}{R^2}$,D不符合题意；

故选A。

3．AD

【详解】AD．对地球表面的物体有$G\frac{Mm}{R^2}=mg$,可得$M=\frac{gR^2}{G}$

空间站绕地球运行，由万有引力提供向心力得$G\frac{Mm_1}{(R+h)^2}=m_1\frac{v^2}{R+h}$，解得$v=\sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$，故AD正确；

B．由牛顿第二定律有$G\frac{Mm_1}{(R+h)^2}=m_1 a$，空间站的向心加速度大小为$a=\frac{gR^2}{(R+h)^2}$，故B错误；

C．由牛顿第二定律有$G\frac{Mm_1}{r^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$，空间站的轨道半径小于同步卫星的轨道半径，可知空间站的周期小于同步卫星的周期，即小于24h，故C错误。

故选AD。

考点四：卫星发射与变轨

题型一：卫星变轨

【精选例题】：D　　B　　D

1．D

【详解】A．月球的第一宇宙速度等于近月轨道的环绕速度，根据$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

由于轨道1的半径大于近月卫星的半径，则月球的第一宇宙速度大于探测器在轨道1上的速度。故A错误；

B．地月转移轨道变轨到轨道1是由高轨道变轨到低轨道，需要在两轨道切点P位置减速，探测器在轨道1上经过P点速度小于在地月转移轨道上经过P点的速度。故B错误；

C．根据开普勒定律可知$\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{a_2^3}{T_2^2}$，由于轨道1的半径大于轨道2的半长轴，则探测器在轨道1上的运动周期比在轨道2上的大。故C错误；

D．根据$\frac{GMm}{r^2}=ma$，解得$a=\frac{GM}{r^2}$，卫星与月心间距相等，加速度大小相等，即探测器在轨道1上经过Q点时的加速度等于在轨道2上经过Q点时的加速度。故D正确。

故选D。

2．B

【详解】A．根据万有引力提供向心力有$\frac{GMm}{r^2}=ma$，解得$a=\frac{GM}{r^2}$

探测器在轨道3上运行时加速度大小不变，方向改变，故A错误；

B．探测器在轨道2上运行时的轨道半长轴$r_2=\frac{r+3r}{2}=2r$

探测器在轨道2和轨道3上运行时，根据开普勒第三定律可知$\frac{(2r)^3}{T_2^2}=\frac{r^3}{T^2}$，解得$T_2=2\sqrt{2}T$，故B正确；

C．探测器在轨道1、3上运行，根据万有引力提供向心力可知$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，

解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，解得$\frac{v_1}{v_3}=\frac{1}{\sqrt{3}}$，故C错误；

D．探测器由高轨道变轨到低轨道，做向心运动，需要减速，故D错误；

故选B。

3．D

【详解】A．根据卫星变轨规律，可知卫星由高轨道到低轨道，需要点火减速，故“揽月”与“梦舟”分离时需要减速，故A错误；

B．根据$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，可得$a=\frac{GM}{r^2}$，因P点离月球的距离更远，故“梦舟”经过P点时的加速度小于经过Q点时的加速度，故B错误；

C．因环月圆轨道的半径大于环月椭圆轨道的半长轴，根据开普勒第三定律可知，“梦舟”在环月圆轨道上的周期大于在环月椭圆轨道上的周期，故C错误；

D．“梦舟”由地月转移轨道进入环月圆轨道，在近月制动点处减速，使得“梦舟”需要的向心力小于月球提供的向心力，从而被月球捕获，故D正确。

故选D。

【跟踪训练】：C　　B　　C

1．C

【详解】A．不考虑月球的自转，在月球表面的物体受到的重力等于万有引力$m_0g=G\frac{Mm_0}{R^2}$，嫦娥五号在IV轨道上绕月运行时由引力作为向心力可得$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{v^2}{R+h}$，

联立可得在IV轨道上绕月运行的速度大小为$v=\sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$，A错误；

B．在II轨道上稳定运行时据牛顿第二定律可得$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，解得$a=G\frac{M}{r^2}$，经过P点时r较大，加速度a较小，B错误；

C．从III轨道进入IV轨道应在Q点减速，机械能减小，故在III轨道上的机械能比IV轨道上大，C正确；

D．由I轨道进入II轨道需在P处进行减速，应向前喷气，由II轨道进入III轨道需在Q处进行减速，应向前喷气，D错误。

故选C。

2．B

【详解】A．嫦娥六号并没有脱离地球的约束，所以发射嫦娥六号的速度应大于第一宇宙速度，小于第二宇宙速度，故A错误；

B．返回器在月面加速起飞阶段，加速度方向向上，处于超重状态，故B正确；

C．返回器在环月飞行时，样品所受万有引力提供所需的向心力，不为零，故C错误；

D．载有月壤样本的返回器在变轨进入月地转移轨道时，即从低轨道变轨到高轨道时，需要点火加速，故D错误。

故选B。

3．C

【详解】A．由低轨道进入高轨道需要点火加速，所以由轨道I进入轨道II需在A点加速，故A错误；

B．根据开普勒第三定律，有$\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{\left(\frac{r_1+r_3}{2}\right)^3}{T_2^2}$，解得沿轨道II运行的周期为$T_2=T_1\sqrt{\left(\frac{r_1+r_3}{2r_1}\right)^3}$，故B错误；

C．根据万有引力提供向心力可得$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

可知神舟十五号飞船在轨道III上线速度小于在轨道I上线速度，故 C 正确；

D．根据牛顿第二定律可得 $\frac{GMm}{r^2}=ma$，可得 $a=\frac{GM}{r^2}$

可知神舟十五号飞船在轨道I上 A 点的加速度等于在轨道II上 A 点的加速度，故 D 错误。

故选 C。

题型二：飞船对接

【精选例题】：A　　D　　A

1．A

【详解】A．根据 $v=r\omega$ 可知飞船向上逐步接近核心舱实现对接过程中，半径逐渐增大，线速度逐渐增大，所以飞船通过加速逐步向上靠近核心舱，故 A 正确；

B．第一宇宙速度（7.9km/s）等于卫星贴近地面做匀速圆周运动的环绕速度，

由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，飞船和核心舱的轨道半径都大于地球的半径，所以其线速度都小于第一宇宙速度，最终飞船与核心舱对接时的速度小于 7.9km/s，故 B 错误；

C．相对静止时二者的角速度相同，飞船的轨道半径小于核心舱的轨道半径，根据 $v=r\omega$ 可知飞船的速度小于核心舱的速度，故 C 错误；

D．根据 $a=\omega^2 r$ 可知相对静止时，飞船的向心加速度小于核心舱的向心加速度，故 D 错误。

故选 A。

2．D

【详解】AB．飞船与空间站沿半径方向相对静止、角速度相等，飞船半径较小，由 $v=\omega r$ 得，飞船运行速度较小，故 AB 错误；

CD．由 $a_n=\omega^2 r$ 得，飞船向心加速度小，故 C 错误；

若飞船只受万有引力，其角速度应大于空间站，因此时飞船与空间站的角速度相同，则发动机需施加推力，故 D 正确。

故选 D。

3．A

【详解】

A．“天宫一号”的发射速度不应大于第二宇宙速度，若大于则会脱离地球的引力束缚，故 A 错误；

B．对接前，由图可知“神舟九号”的轨道半径比“天宫一号”小，根据万有引力提供向心力，可得 $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$

则 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，可知轨道半径越小，周期越小，因此对接前，“神舟九号”的运行周期更短，故 B 正确；

C．对接前，“神舟九号”欲追上“天宫一号”，可以在低轨道上点火加速，做离心运动，追上高轨道的“天宫一号”，故 C 正确；

D．对接前，由图可知“神舟九号”的轨道半径比“天宫一号”小，根据万有引力提供向心力，则有 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$，

$a=\frac{GM}{r^2}$，可知轨道半径越小加速度越大，则对接前，“神舟九号”的加速度大于“天宫一号”的加速度，故 D 正确。

本题选错误的，故选 A。

【跟踪训练】：CD　　A　　AC

1．CD

【详解】AB．航天员在空间站内只受重力作用而绕地球做圆周运动，所受合力不为 0，所以不是平衡状态，故 AB 错误；

C．天舟七号货运飞船加速上升阶段，飞船内的货物具有向上的加速度，此时货物受到向上的支持力大于重力，处于超重状态，故 C 正确；

D．天舟七号货运飞船与空间站对接后，飞船内的货物与空间站均只受重力作用而绕地球做圆周运动，处于完全失重状态，故 D 正确。

故选 CD。

2．A

【详解】A．根据万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，

则有 $v_{月}=\sqrt{\frac{M_{月}R_{地}}{M_{地}R_{月}}}v_{地}=\sqrt{\frac{1\times4}{81\times1}}v_{地}=\frac{2}{9}v_{地}\approx1.76\text{km/s}$，故 A 正确；

B．使轨道器在停泊位置向后喷气加速，将会向高轨道运动，无法对接，故 B 错误；

C．载有月壤样本的返回器在变轨进入月地转移轨道时需要点火加速，使返回器速度增大，向高轨道运动，故 C 错误

D．月球轨道还在地球引力范围内，故卫星回到地球时，速度不可能大于第二宇宙速度，D 错误。

故选 A。

3．AC

【详解】A．神舟十八号欲与天和空间站实现对接，神舟十八号应由低轨道点火加速，做离心运动与空间站对接，因此对接前神舟十八号可能先在 B 位置所在轨道绕行，故 A 正确；

B．对接前神舟十八号应在低轨道上环绕地球做匀速圆周运动，则由 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

即对接前神舟十八号飞船的环绕速度大于空间站的环绕速度，故 B 错误；

C．对接的瞬间，神舟十八号飞船、空间站到地心的距离相等，则由 $\frac{GMm}{r^2}=ma$，得 $a=\frac{GM}{r^2}$

对接瞬间，二者的加速度大小相等，故 C 正确；

D．由 $\frac{GMm}{r^2}=mr\omega^2$，可知 m 约去，故组合体质量变大，不影响角速度，故 D 错误。

故选 AC。

考点五：特殊模型

题型一：太空电梯问题

【精选例题】：B　　A

1．B

【详解】A．由题意可知，太空电梯的缆绳与太空城堡及太空建筑物都以相同的角速度运动，太空城堡在地球静止轨道上，万有引力恰好提供向心力，城堡上不能再施加额外的拉力，所以缆绳上端不能固定在太空城堡上，故A错误；

B．太空建筑物因为除了万有引力外，还要承受缆绳的拉力，而其角速度又与太空城堡相同，所以其轨道高度一定大于地球静止轨道的高度，故B正确；

CD．在地球静止轨道高度以下的缆绳必须受到向上的拉力，在地球静止轨道高度以上的缆绳必须受到向下的拉力，所以缆绳上的张力在地球静止轨道高度处最大，故CD错误。

故选B。

2．A

【详解】A．地球自转角速度不变，相对地面静止在不同高度的宇航员的角速度不变，故A正确；

B．宇航员在$r=R$处是在地面上，不是完全失重状态，故B错误；

C．第一宇宙速度是最大的环绕速度，所以宇航员在$r=r_0$处的线速度小于第一宇宙速度，故C错误；

D．当$r=r_0$时，引力加速度正好等于宇航员做圆周运动的向心加速度，即万有引力提供做圆周运动的向心力$G\frac{Mm}{r_0^2}=mr_0\omega^2$，又在地球表面有$G\frac{Mm}{R^2}=mg+mR\omega^2$，解得$r_0=\sqrt[3]{\frac{gR^2}{\omega^2}}+R$，故D错误。

故选A。

【跟踪训练】：AC　　C　　AD

1．AC

【详解】AB．M、N的转动角速度相同，根据向心加速度公式$a=\omega^2 r$ N的半径较大，物体N的加速度大于M的加速度，故A正确，B错误；

CD．根据题意知，太空天梯上处于同步卫星轨道的物体，只受地球引力，随同步卫星一起做匀速圆周运动，根据牛顿第二定律列式$G\frac{Mm}{r_0^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r_0$，而整个天梯及两物体相对于地球静止不动，故T相同，对物体M，轨道半径$r<r_0$。设太空天梯对天梯上物体的力大小为F，则必有$G\frac{Mm}{r^2}-F=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$

故太空天梯对物体M的力与地球对物体M的引力方向相反，背离地面；

同理，对物体N，轨道半径$r>r_0$，则必有$G\frac{Mm}{r^2}+F=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$

故太空天梯对物体N的力指向地面，故C正确，D错误。

故选AC。

2．C

【详解】A．根据$v=\omega r$可得三个货物速度大小关系$v_c>v_{同}>v_b>v_a$，故A错误；

B．根据题意可知同步卫星所受的万有引力恰好提供同步卫星做圆周运动所需的向心力，即$G\frac{Mm_{同}}{r_{同}}=m_{同}\frac{v_{同}^2}{r_{同}}$

对于a、b货物，从杆上脱落后，万有引力大于所需的向心力，则做近心运动，对于货物c，从杆上脱落后，万有引力小于所需的向心力，则做离心运动，故 B 错误；

C．结合 B 选项分析可知杆对 b 处货物的作用力沿 Ob 方向向上，杆对 c 处货物的作用力沿 cO 方向向下，故 C 正确；

D．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$，可得$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，可知轨道高度与 b 相同的人造卫星角速度大于同步卫星的角速度，则其环绕地球的角速度大于位于 b 处货物的角速度，故 D 错误。

故选 C。

3．AD

【详解】A．三颗果实与赤道共面且随地球一起自转，可知三颗果实的角速度相等，根据$v=\omega r$

可得$v_1>v_2>v_3$，即果实 1 的线速度最大，果实 3 的线速度最小，故 A 正确；

B．由于果实 2 在地球同步轨道上，可知果实 2 随地球一起自转所需的向心力刚好等于受到的万有引力，则果实 2 成熟自然脱离豆秧后仍与果实 1 和果实 3 保持相对静止在原轨道运行，故 B 错误；

C．对于果实 2 有$\frac{GMm_2}{r_2^2}=m_2\omega^2 r_2$，则对于果实 1 有$\frac{GMm_1}{r_1^2}<m_1\omega^2 r_1$

则果实 1 成熟自然脱离豆秧后，果实 1 受到的万有引力不足以提供所需的向心力，将做离心运动，故 C 错误；

D．根据$a=\omega^2 r$，可知$a_2>a$，根据万有引力提供向心力可得$\frac{GMm}{r^2}=ma$，解得$a=\frac{GM}{r^2}$

可知$g>a_2$，则果实 2 的加速度a_2、果实 3 的a与地球表面重力加速度 g 的大小关系为$g>a_2>a$，故 D 正确；

故选 AD。

题型二：拉格朗日点问题

【精选例题】：B　　BD　　BC　　A

1．B

【详解】由万有引力定律$F=G\frac{Mm}{r^2}$及题设条件可知所求两个引力的大小之比约为$\frac{GM_{地}m}{(6L+L)^2}:\frac{GM_{月}m}{L^2}=\frac{81}{49}$

故选 B。

2．BD

【详解】A．据题意知，该卫星围绕太阳做圆周运动，速度方向时刻改变，处于非平衡状态，故 A 错误；

B．该卫星与地球同步绕太阳做圆周运动，则该卫星绕太阳运动周期和地球公转周期相等，故 B 正确；

C．由题可知，卫星在 L_1 点与在 L_2 点的周期与角速度是相等的，根据向心力的公式 $F=m\omega^2 r$

可知在 L_1 点处的轨道半径小，所以在 L_1 点处所受的合力小，故 C 错误；

D．由于该卫星与地球绕太阳做圆周运动的周期相同，该卫星的轨道半径比地球的公转轨道半径大，

根据公式$a=\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可知该卫星绕太阳运动的向心加速度大于地球绕太阳运动的向心加速度，故 D 正确。

故选 BD。

3．BC

【详解】A．假设 L_3 和 L_2 到地球中心的距离相等，则“鹊桥”在 L_2 点受到月球和地球引力的合力更大，加速度更大，所以周期更短，则 L_2 到地球中心的距离大于 L_3 到地球中心的距离，故 A 错误；

B．由于“鹊桥”与月球同步绕地球做圆周运动，则“鹊桥”位于 L_2 点时，绕地球运动的周期和月球的公转周期相等，故 B 正确；

C．“鹊桥”位于 L_2 点时,所受月球和地球引力的合力提供向心力，则有 $F_{合}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$

则轨道半径越大所需向心力越大，由于五个点中 L_2 点离地球最远，所以“鹊桥”在 L_2 点所受月球和地球引力的合力比在其余四个点都要大，故 C 正确；

D．根据 $a=(\frac{2\pi}{T})^2r$ 可知，轨道半径越大向心加速度越大，所以“鹊桥”位于 L_3 点时，“鹊桥”绕地球运动的向心加速度大于月球绕地球运动的向心加速度，故 D 错误。

故选 BC。

4．A

【详解】A．对月球，地球对它的万有引力提供向心力 $G\frac{M_{地}M_{月}}{L^2}=M_{月}\omega^2L$

对“鹊桥”中继星，地球引力和月球引力的合力提供向心力，故 $G\frac{M_{地}m}{(L+d)^2}+G\frac{M_{月}m}{d^2}=m\omega^2(L+d)$

联立解得 $\frac{M_{月}}{M_{地}}=\frac{(L+d)d^2}{L^3}-\frac{d^2}{(L+d)^2}$，故 A 正确；

B．“鹊桥”中继星与月球绕地球运动的角速度相等，根据 $v=\omega r$ 可得“鹊桥”中继星与月球的线速度之比为 $(L+d):L$,故 B 错误；

C．根据 $a=\omega^2r$ 可得“鹊桥”中继星与月球的向心加速度之比为 $(L+d):L$，故 C 错误；

D．月球所受的合外力方向指向地球，故地球对月球的引力大于“鹊桥”中继星对月球的引力，故 D 错误。

故选 A。

【跟踪训练】：D　　C　　D　　C

1．D

【详解】A．“夸父一号”位于日地连线上，和地球一起以相同的角速度绕太阳做匀速圆周运动，根据受力分析，可知“夸父一号”的向心力是由太阳引力和地球引力的合力提供，A 错误；

B．“夸父一号”与地球一起以相同的角速度绕太阳运动，根据线速度与角速度的关系 $v=\omega r$

可知“夸父一号”的线速度小于地球的线速度，B 错误；

C．地球绕太阳运动一周的时间为一年，“夸父一号”与地球的角速度相同，所以“夸父一号”绕太阳运动的周期也为一年，C 错误；

D．根据向心加速度的表达式 $a=\omega^2r$，可知“夸父一号”的向心加速度小于地球的向心加速度，D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】卫星在拉格朗日点，卫星与月球相对静止,所以在拉格朗日点可以认为卫星与月球一起绕地球运动.

AB.卫星在拉格朗日点，卫星与月球相对静止，所以两颗卫星运动的周期和角速度相等；由线速度与角速度的关

系式$v=\omega r$，两颗卫星在L_1和L_2处的半径不同，所以两颗卫星的线速度大小不相等．故A、B错误．

CD. L_2点处卫星的半径大于L_1点处卫星的半径和月球的半径，由结合向心加速度的公式$a=\omega^2 r$，可知L_2点处卫星的向心加速度最大，月球的加速度次之，L_1点处卫星的加速度最小．故C正确，D错误．

3．D

【详解】AD．鹊桥一号中继卫星绕P点做圆周运动的向心力由地球和月球共同引力的矢量和提供，则P点（拉格朗日点）的位置与地球和月球的质量有关，故A错误，D正确；

B．嫦娥四号并没摆脱地球引力的束缚，因此发射速度不会超过第二宇宙速度，故B错误；

C．鹊桥一号中继星一方面绕地做匀速圆周运动，另一方面绕P点做匀速圆周运动，因此以地心为参考系，它是两个匀速圆周运动的合运动，则鹊桥一号中继星绕P点做圆周运动的周期不一定等于其绕地球的公转周期，故C错误。

故选D。

4．C

【详解】A．位于拉格朗日点的绕C点稳定运行的航天器的周期与地球的周期相同，根据$a=(\frac{2\pi}{T})^2 r$可知，离C点越远加速度越大，故A正确，不符合题意；

B．地球和月球组成“地月双星系统”，两者绕共同的圆心C点（图中未画出）做周期相同的圆周运动。根据万有引力提供向心力，对月球$G\frac{Mm}{d^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r_1$，对地球$G\frac{Mm}{d^2}=M\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$，两式相加$G\frac{M+m}{d^2}=\frac{4\pi^2}{T^2}(r_1+r_2)$

因为$d=r_1+r_2$，所以$T=2\pi\sqrt{\frac{d^3}{G(M+m)}}$，故B正确，不符合题意；

C．由$G\frac{Mm}{d^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r_1$，$G\frac{Mm}{d^2}=M\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$，可得$\frac{r_2}{r_1}=\frac{m}{M}$，即圆心$C$点在地球和月球的连线上，距离地球和月球球心的距离之比等于地球和月球的质量的反比，故C错误，符合题意；

D．根据$\frac{r_2}{r_1}=\frac{m}{M}$，$d=r_1+r_2$可得，月球距离圆心$C$点距离为$r_1=\frac{dM}{M+m}$，航天器在月球和地球引力的共同作用下可以绕“月地双星系统”的圆心C点做周期相同的圆周运动，设航天器的质量为m_0，

则$G\frac{Mm_0}{(d+x)^2}+G\frac{mm_0}{x^2}=m_0\frac{4\pi^2}{T^2}(x+\frac{dM}{M+m})$，即$G\frac{M}{(d+x)^2}+G\frac{m}{x^2}=G\frac{M+m}{d^3}(x+\frac{dM}{M+m})$，故D正确，不符合题意。

故选C。

题型三：黑洞问题

【精选例题】：C　　D

1．C

【详解】A．假设恒星和黑洞的质量分别为M、m，环绕半径分别为R、r，且$M>m$，两者之间的距离为L，双星系统属于同轴转动的模型，角速度相等，根据万有引力提供向心力$G\frac{Mm}{L^2}=M\omega^2 R=m\omega^2 r$，其中$R+r=L$

解得恒星的角速度为$\omega=\sqrt{\frac{G(M+m)}{L^3}}$，恒星和黑洞的质量之和不变，恒星和黑洞的距离认为不变，则恒星做圆周运动的角速度不变，故A错误；

B．根据$G\frac{Mm}{L^2}=M\omega^2R=m\omega^2r$，$R+r=L$，可得$r=\frac{M}{m+M}L$

由于恒星和黑洞的质量之和不变，M 减小，m 增大，所以 r 减小，故 B 错误；

C．恒星与黑洞之间的万有引力为$F=G\frac{Mm}{L^2}$

由于恒星和黑洞的质量之和不变，M 减小，m 增大，由数学知识可得，万有引力增大，故 C 正确；

D．线速度为$v=\omega r$可得，恒星与黑洞做圆周运动的线速度大小之和为

$$v_{恒}+v_{黑}=\omega R+\omega r=\omega\times\frac{m}{m+M}L+\omega\times\frac{M}{m+M}L=\omega L$$

所以，恒星与黑洞做圆周运动的线速度大小之和不变，故 D 错误。

故选 C。

2．D

【详解】根据题意有$a=r\omega^2$，$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，$\frac{M}{R}=\frac{c^2}{2G}$，则该黑洞的密度$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3c^6\omega^8}{32\pi Ga^6}$

故选 D。

【跟踪训练】：AC　　D

1．AC

【详解】A．黑洞 A 的角速度等于黑洞 B 的角速度，根据$v=\omega r$，$OA>OB$

可知黑洞 A 的线速度大小大于黑洞 B 的线速度大小，故 A 正确；

B．黑洞 A、B 之间的万有引力大小为$F=\frac{GM_1M_2}{L^2}$，若两黑洞间的距离一定，把黑洞 B 上的物质移到黑洞 A 上，

黑洞 A、B 的质量乘积发生变化，它们之间的万有引力大小发生变化，故 B 错误；

C．设黑洞 A 做圆周运动的半径为r_1，黑洞 A 做圆周运动的半径为r_2，则有$r_1+r_2=L$

分别对 A、B，有万有引力提供向心力得$\frac{GM_1M_2}{L^2}=M_1\frac{4\pi^2}{T^2}r_1$，$\frac{GM_1M_2}{L^2}=M_2\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$，联立可得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2L^3}{G(M_1+M_2)}}$

若两黑洞间的距离一定，把黑洞 A 上的物质移到黑洞 B 上，由于质量之和保持不变，则运行周期不变，故 C 正确；

D．人类要把宇航器发射到距黑洞 A 较近的区域进行探索，要逃离银河系，发射速度只大于第一宇宙速度是不够的，故 D 错误。

故选 AC。

2．D

【详解】AB．若光绕黑洞表面做匀速圆周运动，轨道半径等于黑洞半径，由$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{c^2}{R}$，可知$M=\frac{Rc^2}{G}$

密度为$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3c^2}{4G\pi R^2}$，AB 错误；

CD．逃逸速度$v=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$，此为脱离中心天体吸引的临界速度，代入光速可知临界半径为$r_{临}=2\frac{GM}{c^2}$，C 错误，

D 正确。

故选 D。

题型四：潮汐问题

【精选例题】：A　　D

1．A

【详解】设海水的质量为 m，则太阳对海水的万有引力为 $F_1=G\frac{M_{太}m}{r_{太}^2}$，月球对海水的万有引力为 $F_2=G\frac{M_{月}m}{r_{月}^2}$

以上两式联立得 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{M_{太}}{M_{月}}\times\frac{r_{月}^2}{r_{太}^2}\approx178$

故选 A。

2．D

【详解】A．根据题意可知，A 和 B 是地球上的两个海区，角速度与地球自转角速度相同，则海区 A 的角速度等于海区 B 的角速度，故 A 错误；

B．根据题意，对地球赤道上的物体有 $\frac{GMm}{R^2}=mg+m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，地球自转持续减速，周期 T 变大，可得，地球赤道上的重力加速度会增大，故 B 错误；

C．由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=ma$，由于月球逐渐远离地球，r 增大，则月球绕地球做圆周运动的加速度会减小，故 C 错误；

D．$\frac{GMm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$，解得 $h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R$，由于地球自转周期变大，则地球的同步卫星距离地面的高度会增大，故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：A　　B　　D

1．A

【详解】AC．A 点离月球较近，月球对地表水的万有引力较大，形成高潮，B 点离月球较远，月球对地表水的万有引力较小，不足提供向心力，形成高潮，A 正确，C 错误；

BD．C、D 两点受月球的引力主要是沿切线的力，但也有沿径向分力，所以形成低潮，BD 错误。

故选 A。

2．B

【详解】设海水的质量为 m，则太阳对海水的引力 $F_1=\frac{GM_1m}{r_1^2}$，月球对海水的引力 $F_2=\frac{GM_2m}{r_2^2}$

则 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{\frac{GM_1m}{r_1^2}}{\frac{GM_2m}{r_2^2}}=\frac{M_1r_2^2}{M_2r_1^2}=\frac{2\times10^{30}\times(3.8\times10^5)^2}{7.3\times10^{22}\times(1.5\times10^8)^2}\approx1.76\times10^2$，故应约为 200 倍，ACD 错误，B 正确。故选 B。

3．D

【详解】A．在地球表面$G\frac{Mm_0}{R^2}=m_0g$，对月球绕地球运动时$G\frac{Mm}{(60R)^2}=ma$

解得月球绕地球做圆周运动的加速度为$a=\frac{g}{3600}$，选项A错误；

B．根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，可得$\frac{v_{月}}{v_1}=\sqrt{\frac{1}{60}}$

月球绕地球做圆周运动的线速度为地球第一宇宙速度的$\sqrt{\frac{1}{60}}$，选项B错误；

C．由题中条件不能求解月球表面的重力加速度，选项C错误；

D．地球上距离月球最近的距离为59R，则对于该处的海水由$G\frac{m_{月}m}{(59R)^2}=ma'$

月球对地球海水引力产生加速度的最大值为$a'=\frac{1}{80}\times\frac{GM}{59^2R^2}$，选项D正确。

故选D。

题型五：晨昏线问题

【精选例题】：B　　B　　D

1．B

【详解】A．晨昏轨道与地球经线平面重合，同步卫星轨道与赤道平面重合，所以两个轨道平面不重合，故A错误；

B．根据公式$a=\frac{GM}{(R+h)^2}=\frac{4\pi^2(R+h)}{T_1^2}$可估算出地球的质量，故B正确；

C．“夸父一号”的发射速度大于第一宇宙速度7.9km/s，小于第二宇宙速度11.2km/s，故C错误；

D．因为卫星环绕的中心天体是地球，地球环绕的中心天体是太阳，所以选项中公式两边不相等，故D错误。

故选B。

2．B

【详解】A．根据开普勒第三定律$C=\frac{R^3}{T^2}$，可知“夸父一号”与地球同步卫星运行高度不同，轨道半径不同，运行周期不同，故A错误；

B．根据万有引力与重力的关系$G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$，根据万有引力提供向心力$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{v^2}{R+h}$

解得“夸父一号”的运行线速度大小为$v=R\sqrt{\frac{g_0}{R+h}}$，故B正确；

C．太空中运行的航天器处于完全失重状态，“夸父一号”搭载的科学仪器仍受重力作用，故C错误；

D．根据牛顿第二定律$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=mg$，解得“夸父一号”所处位置的重力加速度大小为$g=(\frac{R}{R+h})^2g_0$,故D错误。

故选B。

3．D

【详解】A．第一宇宙速度为最大的环绕速度，卫星的运行速度不会超过第一宇宙速度，故可知“黎明星”做匀速

圆周运动的速度一定小于 7.9km/s，A 错误；

B．根据开普勒第三定律有$\frac{r_{黎}^3}{T_{黎}^2}=\frac{r_{同}^3}{T_{同}^2}$，可得$\frac{r_{同}}{r_{黎}}=\sqrt[3]{\left(\frac{T_{同}}{T_{黎}}\right)^2}=\sqrt[3]{\left(\frac{24}{1.7}\right)^2}\approx 5.85$，B 错误；

CD．“黎明星”的周期为 1.7h，由于地球的自转，该时刻后“黎明星”并不会经过 1.7h 又经过 P 城市正上方，经过的时间必须满足同时是“黎明星”的周期和地球自转周期的整数倍，故可知经过 17 天能经过 P 城市正上方，经过 1 天不能经过 P 城市正上方，C 错误，D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：CD　　BD　　AD

1．CD

【详解】A．因为 11.2km/s 是第二宇宙速度，是挣脱地球引力束缚的最小速度，有题意可知，“夸父一号”并未脱离地球，仍靠地球引力提供向心力，所以发射速度不会大于 11.2km/s，A 错误；

B．以地球为参考系，“夸父一号”做匀速圆周运动，B 错误；

C．“夸父一号”的周期为 100min，而地球的自转周期为 24 小时，所以$T<T_{自}$，又因为$\omega=\frac{2\pi}{T}$可得，“夸父一号”绕地球运行的角速度大于地球的自转角速度，C 正确；

D．由$\omega=\frac{2\pi}{T}$可得“夸父一号”与地球自转的角速度之比为$\frac{\omega}{\omega_{自}}=\frac{T_{自}}{T}=\frac{24\text{h}}{\frac{100}{60}\text{h}}=\frac{72}{5}$，由题意得，“夸父一号”连续两次经过地球赤道上同一位置正上空，则可能转半圈的奇数倍或者偶数倍。设地球转半圈数为n，则地球转n个半圈的时间内，“夸父一号”转$14.4n$个半圈。由几何关系得，满足$\frac{T_{自}}{2}\cdot n=14.4n\cdot\frac{T}{2}$，上式中，满足$n$和$14.4n$同时为奇数或者偶数，则$n$最小取 10，所以此时地球转了 5 圈，则$\Delta t=5\times 24\text{h}=120\text{h}$，D 正确。

故选 CD。

2．BD

【详解】A．7.9km/s 是围绕地球做圆周运动最大速度，则该卫星的环绕地球运动的速度小于 7.9km/s，故 A 错误；

BD．根据题意，由开普勒第三定律有$\frac{(R+H)^3}{T_{同}^2}=\frac{(R+h)^3}{T_{极}^2}$，又有$T_{同}=24\text{h}$

解得$T_{极}=\sqrt{\frac{(R+h)^3}{(R+H)^3}}\cdot T_{同}=\frac{2}{3}\sqrt{6}\text{h}<2\text{h}$，则从卫星刚好经过 A 点计时，一天超过 12 次经过北极，故 BD 正确；

C．根据题意可知，t时间内卫星与地心连线扫过的面积为$S=\frac{\omega t r^2}{2}=\frac{\sqrt{GMr}}{2}t$可知，相同时间内，该卫星与地心连线扫过的面积小于同步卫星与地心连线扫过的面积，故 C 错误。

故选 BD。

3．AD

【详解】A．第一宇宙速度为最小发射速度，则“黎明星”的发射速度大于第一宇宙速度，A 正确；

B．该时刻后“黎明星”经过 3.4h 正好运行两个周期，因为地球的自转，P 城市转过的角度为$\theta_1=\omega t_1=\frac{2\pi}{24}\times 3.4=\frac{17\pi}{60}$

则 P 城市转走了，“黎明星”没有经过 P 城市正上方，B 错误；

C．由题知“黎明星”绕地球做匀速圆周运动的周期为 1.7h，而赤道上物体随地球自转的周期为 24h，则 $v_{黎}=\frac{2\pi}{T_{黎}}(R+h)$，$v_{赤}=\frac{2\pi}{T_{赤}}R$，$T_{黎}<T_{赤}$，则可看出 $v_{黎}>v_{赤}$，C 错误；

D．由题知“黎明星”绕地球做匀速圆周运动的周期为 1.7h，而赤道上物体随地球自转的周期为 24h，则 $a_{黎}=\frac{4\pi^2}{T_{黎}^2}(R+h)$，$a_{赤}=\frac{4\pi^2}{T_{赤}^2}R$，$T_{黎}<T_{赤}$，则可看出，$a_{黎}>a_{赤}$，D 正确。

故选 AD。

题型六：卫星通信盲区

【精选例题】：C　　D　　B

1．C

【详解】A．根据 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，7.9km/s 是近地卫星的线速度，也是卫星最大的环绕速度，可知“天通一号”系列卫星速率小于 7.9km/s。故 A 错误；

B．由 A 选项分析，可知“天通一号”系列卫星速率与轨道的高度有关，与其质量无关。故 B 错误；

C．依题意，单颗卫星可以覆盖地球的面积三分之一，为了实现全球通信，至少需要部署三颗卫星。故 C 正确；

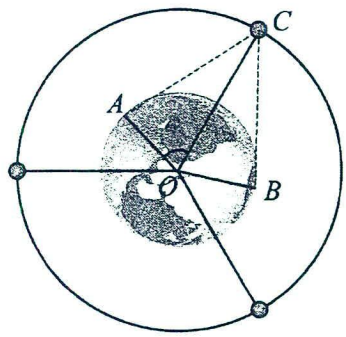
D．根据 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，$\frac{GMm}{(5R+R)^2}=ma$，可得 $\frac{a}{g}=\frac{1}{36}$

即“天通一号”系列卫星的向心加速度约为地表重力加速度 $\frac{1}{36}$。故 D 错误。

故选 C。

2．D

【详解】A．通信卫星受到的万有引力大小为 $F=\frac{GMm}{r^2}$，由于不知道三颗通信卫星的质量大小关系，所以三颗通信卫星受到地球的万有引力大小不一定相等。故 A 错误；



BC．三颗通信卫星若要全面覆盖，则其如图所示

由几何关系可知，$\angle AOB=120°$，$\angle AOC=60°$，其中 OA 为地球半径 R，

由几何关系有，$\cos 60°=\frac{AO}{OC}$

解得 $OC=2R=R+h$，即 $h=R$，所以通信卫星高度至少为 R。故 BC 错误；

D．根据 $\frac{GMm}{(R+h)^2}=m\frac{v^2}{R+h}$，在地球表面 $\frac{GMm'}{R^2}=m'g$，联立解得 $v=\sqrt{\frac{gR}{2}}$，故 D 正确。

故选 D。

3．B

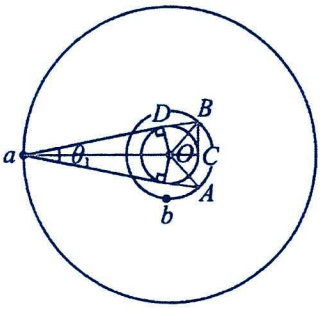
【详解】A．设卫星 a、b 的轨道半径分别为 r_1 和 r_2，地球半径为 R，根据 $G\frac{mM}{r^2}=ma$，解得：$a=\frac{GM}{r^2}$，所以

$\frac{a_a}{a_b}=\frac{r_b^2}{r_a^2}=\frac{1.65^2}{6.6^2}=\frac{1}{16}$，故 A 错误；

B．根据$G\frac{mM}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得：$T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$，所以$\frac{T_a}{T_b}=\sqrt{(\frac{r_a}{r_b})^3}=\sqrt{(\frac{6.6}{1.65})^3}=8$，故 B 正确；

C．如图，ab 卫星盲区两个边缘位置，由几何知识可得∠AOB=θ1+θ2，则

$(\frac{2\pi}{\frac{T}{8}}-\frac{2\pi}{T})t=\angle AOB=\theta_1+\theta_2$，解得，b 每次在盲区运行的时间为$t=\frac{\theta_1+\theta_2}{14\pi}T=\frac{T_a}{56}$，



由几何关系可得，C 错误；

D．根据相对运动可知，如果 a、b 绕地球反向运行，b 经过盲区运行的时间更短，故 D 错误．

故选 B.

【跟踪训练】：BD　　B　　BC　　BD　　D

6．（1）$r_a=2R$；$T_a=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$；（2）$r_b=\frac{2}{3}\sqrt{3}R$；$T_b=\frac{4\pi}{3}\sqrt{\frac{2\sqrt{3}R}{g}}$；（3）$t=\frac{2\pi}{\sqrt[4]{27}-1}\sqrt{\frac{2R}{g}}$

7．（1）$\sqrt{\frac{g}{8R}}$；（2）$\frac{\pi}{3\left(\sqrt{\frac{g}{8R}}-\frac{2\pi}{T}\right)}$

1．BD

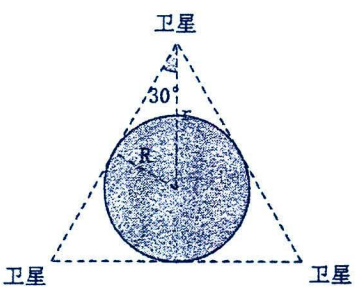
【详解】A．同步卫星周期相同，半径相等，质量不一定相等，故 A 错误；

BC．设地球的半径为 R，则地球同步卫星的轨道半径为 r=6.6R，已知地球的自转周期 T=24h，

地球同步卫星的转动周期与地球的自转周期一致，若地球的自转周期变小，则同步卫星的转动周期变小．

由$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$公式可知，做圆周运动的半径越小，则运动周期越小．

由于需要三颗卫星使地球赤道上任意两点之间保持无线电通讯，所以由几何关系可知三颗同步卫星的连线构成等边三角形并且三边与地球相切，如图：



由几何关系可知地球同步卫星的轨道半径为$r'=2R$．距离地面高度等于地球半径

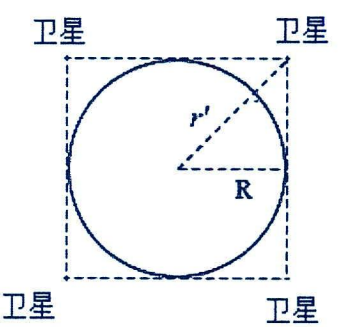
由开普勒第三定律$\frac{r^3}{T^2}=k$得：$T'=T\sqrt{\frac{r'^3}{r^3}}=4h$，故 B 正确，C 错误；

D．根据$\frac{GMm}{r^2}=ma$，目前的同步卫星和地球自转周期最小值的同步卫星的向心加速度之比为

$\frac{a}{a'}=\frac{r'^2}{r^2}=\frac{(2R)^2}{(6.6R)^2}=1:(3.3)^2$，故 D 正确．

2．B

【详解】由于需要四颗卫星使地球赤道上任意两点之间保持无线电通讯，由几何关系可知四颗新同步卫星临界位置如图：



则由几何关系可知新同步卫星的轨道半径$r'=\sqrt{2}R$；原来同步卫星的轨道半径$r=6.6R$，原来同步卫星的周期$T=24h$；据开普勒第三定律可得，$\frac{r^3}{T^2}=\frac{r'^3}{T'^2}$，解

得：新的地球同步卫星的周期$T'=\sqrt{\frac{r'^3}{r^3}}\cdot T=\sqrt{\frac{(\sqrt{2})^3}{6.6^3}}\times 24h\approx 2.5h$．所以后来地球自转周期的最小值约为2.5h．故B项正确，ACD三项错误．

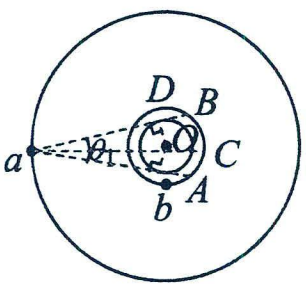
3．BC

【详解】A．设地球半径为r_0，由题意可知$\sin\frac{\theta_1}{2}=\frac{r_0}{r_a}$，$\sin\frac{\theta_2}{2}=\frac{r_0}{r_b}$，$r_a=4r_b$,解得$\sin\frac{\theta_2}{2}=4\sin\frac{\theta_1}{2}$，故选项A错误；

B．由开普勒第三定律得$\frac{r_a^3}{T_a^2}=\frac{r_b^3}{T_b^2}$，又$T_a=T$，$r_a=4r_b$，可得$T_b=\frac{T}{8}$，故选项B正确；

CD．由题意可知，图中A、B两点为盲区的两临界点，由数学知识可得$\angle AOB=\theta_1+\theta_2$

因而$2\pi\left(\frac{t}{T_b}-\frac{t}{T_a}\right)=\theta_1+\theta_2$，解得$t=\frac{\theta_1+\theta_2}{14\pi}T$，选项C正确，D错误。



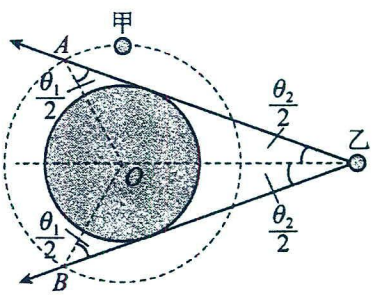
4．BD

【详解】AB．根据题意，由万有引力提供向心力有$G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$，由几何关系有$\frac{R}{r}=\sin\frac{\theta}{2}$

解得$M=\frac{\omega^2 r^3}{G}=\frac{\omega^2 R^3}{G\sin^3\frac{\theta}{2}}$，由于不知道地球半径，也无法求出轨道半径，则无法求出地球质量，又有

$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，$\rho=\frac{M}{V}$，联立解得，$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{\omega^2}{G\left(\sin\frac{\theta}{2}\right)^3\cdot\frac{4}{3}\pi}$

即地球的密度为$\rho=\frac{\omega_1^2}{G\left(\sin\frac{\theta_1}{2}\right)^3\cdot\frac{4}{3}\pi}=\frac{\omega_2^2}{G\left(\sin\frac{\theta_2}{2}\right)^3\cdot\frac{4}{3}\pi}$，故A错误，B正确；



CD．根据题述条件画出几何关系图，如图所示

可知当甲进入弧$\overset{\frown}{AB}$，则甲、乙无法直接通信，当甲的公转比乙多转$\angle AOB=2\left(\frac{\theta_1}{2}+\frac{\theta_2}{2}\right)$

两者可恢复直接通信，则有$\omega_1 t-\omega_2 t=2\left(\frac{\theta_1}{2}+\frac{\theta_2}{2}\right)$，解得$t=\frac{\theta_1+\theta_2}{\omega_1-\omega_2}$，故C错误，D正确。

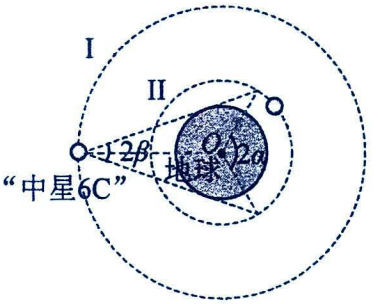
故选BD。

5．D

【详解】A．设卫星I、II的轨道半径分别为R_1和R_2，因卫星I为同步卫星，则有$G\frac{Mm}{R_1^2}=m\frac{4\pi^2}{T_0^2}R_1$

且有 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{3M}{4\pi R^3}$，其中 R 为地球的半径，联立解得，$\rho=\frac{3\pi R_1^3}{GT_0^2R^3}$，故 A 错误；

B．设卫星I、II的角速度分别为 ω_1 和 ω_2，如图所示



在三角形 AOB 中，有 $\frac{AO}{\sin(\alpha-\beta)}=\frac{BO}{\sin\beta}$，即 $\frac{R_1}{\sin(\alpha-\beta)}=\frac{R_2}{\sin\beta}$

根据 $\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2r$，可得 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，故有 $\frac{\omega_1}{\omega_2}=\sqrt{(\frac{R_2}{R_1})^3}$

联立以上各式，有 $\frac{\omega_1}{\omega_2}=\sqrt{(\frac{R_2}{R_1})^3}=\sqrt{\frac{\sin^3\beta}{\sin^3(\alpha-\beta)}}$，故 B 错误；

C．根据 $\frac{GMm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$，可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

因卫星I为同步卫星，则其周期为 T_0，设卫星II的周期为 T_2，则有 $\frac{T_0}{T_2}=\sqrt{(\frac{R_1}{R_2})^3}=\sqrt{\frac{\sin^3(\alpha-\beta)}{\sin^3\beta}}$

整理得 $T_2=\sqrt{\frac{\sin^3\beta}{\sin^3(\alpha-\beta)}}\cdot T_0$，故 C 错误；

D．若卫星I和卫星II均不运动，卫星II对应为圆心角为 2α，则有 $t=\frac{2\alpha}{2\pi}T_2=\sqrt{\frac{\sin^3\beta}{\sin^3(\alpha-\beta)}}\cdot\frac{\alpha}{\pi}T_0$

但卫星之间是有相对运动的，所以时间不可能为 $\sqrt{\frac{\sin^3\beta}{\sin^3(\alpha-\beta)}}\cdot\frac{\alpha}{\pi}T_0$，故 D 错误。

故选 D。

6．（1）$r_a=2R$；$T_a=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$；（2）$r_b=\frac{2}{3}\sqrt{3}R$；$T_b=\frac{4\pi}{3}\sqrt{\frac{2\sqrt{3}R}{g}}$；（3）$t=\frac{2\pi}{\sqrt[4]{27}-1}\sqrt{\frac{2R}{g}}$

【详解】（1）据几何关系可得 $r_a\sin30°=R$，解得 $r_a=2R$

对卫星 a，据万有引力定律可得 $G\frac{Mm_a}{r_a^2}=m_a\frac{4\pi^2}{T_a^2}r_a$，由黄金代换 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，联立，解得 $T_a=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$

（2）对卫星 b，据几何关系可得 $r_b\sin60°=R$，解得 $r_b=\frac{2}{3}\sqrt{3}R$

据万有引力定律可得 $G\frac{Mm_b}{r_b^2}=m_b\frac{4\pi^2}{T_b^2}r_b$，由黄金代换 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，联立，解得 $T_b=\frac{4\pi}{3}\sqrt{\frac{2\sqrt{3}R}{g}}$

（3）设卫星 a 的角速度大小为 ω_a，卫星 b 的角速度大小为 ω_b，从转动的角度，以卫星 a 为参考系，卫星 b 相对卫星 a 转动的角速度大小为 $(\omega_b-\omega_a)$，当卫星 b 出现在地球后方的阴影区域时，两颗卫星无法直接通信，据几何关系可得 $(\omega_b-\omega_a)t=\theta_a+\theta_b$，又 $\omega_a=\frac{2\pi}{T_a}$，$\omega_b=\frac{2\pi}{T_b}$，解得 $t=\frac{2\pi}{\sqrt[4]{27}-1}\sqrt{\frac{2R}{g}}$

7.（1）$\sqrt{\frac{g}{8R}}$；（2）$\frac{\pi}{3\left(\sqrt{\frac{g}{8R}}-\frac{2\pi}{T}\right)}$

【详解】（1）设地球质量为M，卫星 A 的质量为m，A 的轨道半径$r=\frac{R}{\sin 30°}$

万有引力提供向心力$G\frac{Mm}{r^2}=m\omega_A r$，$\frac{GMm_0}{R^2}=m_0 g$，解得$\omega_A=\sqrt{\frac{g}{8R}}$

（2）根据角度关系$\omega_A t-\frac{2\pi}{T}t=\frac{\pi}{3}$，解得$t=\frac{\pi}{3\left(\sqrt{\frac{g}{8R}}-\frac{2\pi}{T}\right)}$

题型七：日出、日落问题及日全食问题

【精选例题】：A　　C　　AD

1．A

【详解】A．航天员在空间站每天会看到 16 次日出和日落，则周期$T_{空}=\frac{24}{16}h=5400\text{s}$

根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得轨道半径$r=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$，空间站离地面的高度$h=r-R=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R$，故 A 正确；

B．空间站与同步卫星的轨道半径之比为$\frac{r_{空}}{r_{同}}=\frac{\sqrt[3]{\frac{GMT_{空}^2}{4\pi^2}}}{\sqrt[3]{\frac{GMT_{同}^2}{4\pi^2}}}=\sqrt[3]{\frac{1}{256}}$，故 B 错误；

C．空间站与同步卫星不是同一轨道上的物体，与地心连线在相同时间内扫过的面积不同，故 C 错误；

D．第一宇宙速度是围绕地球运动的最大速度，空间站的速度小于第一宇宙速度，故 D 错误。

故选 A。

2．C

【详解】ABD．地球同步卫星的角速度等于地球自转角速度，则知 a 与 c 的角速度大小相等，即$\omega_a=\omega_c$，

根据$v=\omega r$，因卫星 c 的轨道半径大于火星的半径，可知$v_a<v_c$，

根据$a=\omega^2 r$，因卫星 c 的轨道半径大于火星的半径，可知$a_a<a_c$；对于卫星 b 与 c，根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r=ma$，可得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，$a=\frac{GM}{r^2}$

因卫星 b 的轨道半径小于卫星 c 的轨道半径，则$v_b>v_c$，$\omega_b>\omega_c$，$a_b>a_c$，由上分析可知，三者的线速度大小关系为$v_a<v_c<v_b$，角速度大小关系为$\omega_b>\omega_a=\omega_c$，向心加速度大小关系为$a_a<a_c<a_b$，故 ABD 错误；

C．根据万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

地球同步卫星 c 和卫星 b 的轨道半径之比为 4：1，卫星 c 和卫星 b 的周期之比为$\frac{T_c}{T_b}=\sqrt{\frac{r_c^3}{r_b^3}}=8$

卫星 c 的运行周期与地球的自转周期相等，为$T_c=1$天，所以 b 的周期为$T_b=\frac{1}{8}$天，一天内卫星 b 绕地球的圈数为$n=\frac{1}{T_b}=\frac{1}{\frac{1}{8}}$周$=8$周，所以在卫星 b 中一天内可看到 8 次日出，故 C 正确。

故选 C。

3．AD

【详解】A．飞船绕地球匀速圆周运动过程中，线速度$v=\frac{2\pi r}{T}$，根据几何关系知$\sin\frac{\alpha}{2}=\frac{R}{r}$

即$r=\frac{R}{\sin\frac{\alpha}{2}}$，联立可得$v=\frac{2\pi R}{T\sin\frac{\alpha}{2}}$，故 A 正确；

B．地球自转一圈时间为T_0，飞船绕地球一圈时间为 T，飞船绕一圈会有一次日全食，所以每过时间 T 就有一次日全食，得一天内飞船经历“日全食”的次数为$\frac{T_0}{T}$，故 B 错误；

C．由几何关系，飞船每次“日全食”过程的时间内飞船转过α角，所需的时间为$t=\frac{\alpha}{2\pi}T$，故 C 错误；

D．根据公式$\frac{GMm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，故有$T=\frac{2\pi R}{\sin\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{R}{GM\sin\frac{\alpha}{2}}}$，故 D 正确。

故选 AD。

【跟踪训练】：D　　A　　C　　D

1．D

【详解】宇航员王亚平在太空授课中说，他们一天恰好能看到 16 次日出，空间站运行周期$T_1=\frac{24}{16}$h

同步卫星周期$T_2=24$h，由开普勒第三定律得$\frac{r_{同}^3}{r_{空}^3}=\frac{T_2^2}{T_1^2}$，解得$\frac{r_{同}}{r_{空}}=\sqrt[3]{16^2}$

故选 D。

2．A

【详解】A．第一宇宙速度是卫星绕地球做圆周运动的最大速度，则组合体绕地球做匀速圆周运动的速度一定小于 7.9km/s，选项 A 正确；

B．根据万有引力提供向心力有$G\frac{Mm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得$T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$，因组合体的轨道半径小于同步卫星的半径，则其周期小于地球自转的周期，事实上实验室绕地球运转的周期大约是 90 分钟，则航天员空间站每经过 90 分钟经历一次日出，则工作的 180 天里共经历的日出次数远大于 180 次，选项 B 错误；

C．对接后，由于组合体质量变大，组合体受到的万有引力变大，同时需要的向心力也变大，仍然满足万有引力提供向心力，组合体不会被地球吸引到更低的轨道上运行，选项 C 错误；

D．实验室内所有物体都处于完全失重状态，故在空间实验室中航天员不可以借助重锤和羽毛演示轻重物体下落一样快的实验，选项 D 错误。

故选 A。

3．C

【详解】ABD．根据张角可以求出空间站的轨道半径 $r=\frac{R}{\sin\frac{\theta}{2}}$，根据观测到相邻两次“日落”的时间可以求出空间站的公转周期，不能求地球自转周期，且地球半径未知，故无法求出地球质量，故 ABD 错误；

C．根据观测到相邻两次“日落”的时间可知空间站的公转周期为 t，根据 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{4\pi^2mr}{t^2}$，$M=\rho V$，$V=\frac{4}{3}\pi R^3$ 联立可求出地球的平均密度 $\rho=\frac{3\pi}{Gt^2\sin^3\frac{\theta}{2}}$，故 C 正确。

故选 C。

4．D

【详解】A．由几何关系，飞船每次“日全食”过程的时间内飞船转过α角，所需的时间为 $t=\frac{\alpha}{2\pi}T$

由于宇航员发现有 $\frac{1}{6}$ T 时间会经历“日全食”过程，则 $\frac{\alpha}{2\pi}=\frac{1}{6}$，所以 $\alpha=\frac{1}{3}\pi$

设宇宙飞船离地球表面的高度 h，由几何关系可得 $\frac{R}{R+h}=\sin\frac{\alpha}{2}=\sin\frac{\pi}{6}=\frac{1}{2}$，可得 h=R，故 A 错误；

B．地球自转一圈时间为 T_0，飞船绕地球一圈时间为 T，飞船绕一圈会有一次日全食，所以每过时间 T 就有一次日全食，得一天内飞船经历“日全食”的次数为 $\frac{T_0}{T}$，故 B 错误；

C．设宇航员观察地球的最大张角为θ，则由几何关系可得 $\sin\frac{\theta}{2}=\frac{R}{R+h}$，可得θ=60°，故 C 错误；

D．万有引力提供向心力，所以 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{4\pi^2mr}{T^2}$，解得 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$，其中 r=R＋h=2R，又 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ 联立可得 $\rho=\frac{24\pi}{GT^2}$，故 D 正确。

故选 D。

第十讲：功及功率

考点一：功

题型一：概念辨析

【精选例题】：BD　　BCD

1．BD

【详解】A．功有正、负之分，但功是标量，功的正、负表示力对物体在对应过程中所起的作用，正功表示力为动力，负功表示力为阻力，选项 A 错误；

B．功是能量转化的量度，选项 B 正确；

C．能量的单位是焦耳，功的单位也是焦耳，选项 C 错误；

D．功与能都是标量，功的正负表示动力与阻力的功，而能量的正负表示大小（例如重力势能）选项 D 正确。

故选 BD。

2．BCD

【详解】A,,物体在粗糙的水平面上绕行一周的过程中，物体的位移为零，摩擦力对物体做的功不等于零，A 错误，

B．功是标量，没有方向，但有正、负之分，功的正、负表示外力对物体做功还是物体克服外力做功，B 正确；

C．由 $W = Fx\cos\alpha$ 可知，力对物体做正功还是负功，取决于力和物体位移的方向关系，C 正确；

D．力做功总是在某过程中完成的，所以功是一个过程量，D 正确。

故选 BCD。

【跟踪训练】：C　　C

1．C

【详解】AB．作用力和反作用力是作用在两个相互作用的物体之上的；作用力和反作用力可以同时做负功，也可以同时做正功；如冰面上两个原来静止的小孩子相互推一下之后，两人同时后退，则两力做正功；而两个相对运动后撞在一起的物体，作用力和反作用力均做负功，故 AB 错误；

C．作用力和反作用力大小相等，方向相反，故它们的冲量一定大小相等，方向相反;故 C 正确；

D．滑动摩擦力可以做正功也可以做负功，还可以不做功，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】AB．功是标量，功的正负表示做功的力是动力还是阻力，A 错误，B 错误。

C．一个力对物体做负功，则该力一定阻碍物体运动，C 正确；

D．作用力做正功时，反作用力不一定做负功，如冰面上的人互相推开，作用力和反作用力都做正功，D 错误。

故选 C。

题型二：做功与否以及做正功或做负功

【精选例题】：C　　AD　　D

1．C

【详解】AB．靠背对运动员的力垂直与靠背，由于运动员没有位移，所以靠背对运动员不做功，故 AB 错误；

CD．脚对踏板的力和踏板的位移方向相同，所以脚对踏板做正功，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．AD

【详解】AB.大圆环光滑，则大圆环对小环的作用力总是沿半径方向，与速度方向垂直，大圆环对小环的作用力一直不做功，A 正确，B 错误；

CD．小环在运动过程中，在大环的上半部分运动时，大环对小环的支持力背离圆心，运动到大环的下半部分时，支持力指向大环的圆心，C 错误，D 正确。故选 AD。

3．D

【详解】AB．根据题意可知，加速过程中人的加速度方向为右上方，可知，人受竖直向上的支持力，水平向右的摩擦力和竖直向下的重力，由$W=Fx\cos\theta$可知，摩擦力和支持力均对人做正功，故 AB 错误；

CD．根据题意可知，匀速过程中人受力平衡，可知，人受竖直向上的支持力和竖直向下的重力，不受摩擦力，由$W=Fx\cos\theta$可知，支持力对人做正功，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：C　　C　　B

1．C

【详解】苹果箱在水平地面上向右做匀减速直线运动，加速度向左，则对于箱子正中央的一只苹果，它周围苹果对它作用力的合力有水平向左的分力和竖直向上与重力平衡的分力，因此合力方向左上，因位移向右，可知它周围苹果对它作用力的合力对这只苹果做负功。

故选 C。

2．C

【详解】甲图中力 F 对物体做功为$W_1=Fl\cos(180^\circ-150^\circ)=\frac{\sqrt{3}}{2}Fl$

乙图中力 F 对物体做功为$W_2=Fl\cos(180^\circ-30^\circ)=-\frac{\sqrt{3}}{2}Fl$，丙图中力 F 对物体做功为$W_3=Fl\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}Fl$

故甲图中力 F 对物体做正功，乙图中力 F 对物体做负功，丙图中力 F 对物体做正功，功的正负只反映动力功还是阻力功，不代表大小，则三种情况下力 F 对物体做功一样多。

故选 C。

3．B

【详解】在加速向左运动的车厢中，人的加速度向左，根据牛顿第二定律得出人受的合力向左，人受力在竖直方向平衡，人的合力是由车厢对人的力提供的，所以车厢对人的力向左，根据牛顿第三定律得人对车厢的力向右，而车厢向左运动，所以人对车厢做负功，故 B 正确，ACD 错误；

故选 B.

题型三：简单计算

【精选例题】：B　　A　　C　　A　　B　　A

1．B

【详解】游客在水平面内做匀速圆周运动，游客的高度不变，则重力对飞椅（包括游客）做功为$W_G=0$

摆线对飞椅（包括游客）的拉力方向始终与速度方向垂直，则摆线对飞椅（包括游客）的拉力做功$W_T=0$

故选 B。

2．A

【详解】功是标量，用两个力 F_1、F_2、F_3 拉弹簧的另一端至 O 点，此过程 F_1、F_2、F_3 分别做了 6J、8J、-5J 的功；换用另一个力 F 仍使弹簧重复上述过程，则力 F 做的功等于 F_1、F_2、F_3 做的总功，

所以 $W_F = W_{F_1} + W_{F_2} + W_{F3} = 6\text{J} + 8\text{J} - 5\text{J} = 9\text{J}$；故 BCD 错误，A 正确。

故选 A。

3．C

【详解】AB．乒乓球沿水平方向做匀加速直线运动，重力对球不做功，小球动能增加，可知合力对球做正功，选项 AB 错误；

CD．球受的合外力为 $F_{合} = mg\tan 45^\circ$；则合外力做功为 $W_{合} = F_{合}x = mgx$

因重力做功为零，可知球拍对球做功等于合力对球做功，即球拍对球做功为 mgx，选项 C 正确，D 错误。

故选 C。

4．A

【详解】AB．根据 $W = Fx$ 可知运动员起跳过程地面弹力没有位移，所以做功为零，故 A 正确，B 错误；

C．由题知，好者离地后上升的高度为 $h = 3.20\text{m} - 2.20\text{m} = 1.0\text{m}$

该过程可以逆向看成自由落体运动，则有 $h = \frac{1}{2}gt^2$，解得 $t = \frac{\sqrt{5}}{5}\text{s}$，故 C 错误；

D．爱好者从开始起跳到脚离开地面重心上升 $h_1 = 0.5\text{m}$，做匀加速运动，加速度向上，处于超重状态；离开地面到上升到最高点的过程中，加速度向下，处于失重，故 D 错误。

故选 A。

5．B

【详解】A．物块在 AB 段运动时 $F - \mu_1 mg = ma$，$a = \frac{6}{2}\text{m/s}^2 = 3\text{m/s}^2$，代入数据得 $F = 8\text{N}$，A 错误；

B．通过 B 点后物块做匀速直线运动 $F = \mu_2 mg$，解得 $\mu_2 = 0.8$，B 正确；

C．由 $v-t$ 图像得，通过 AB 段用时 2s，所以 $L_{AB} = \frac{1}{2}\times 2\times 6\text{m} = 6\text{m}$，C 错误；

D．2—6s，物块位移 $L_2 = 4\times 6\text{m} = 24\text{m}$，$W_f = -\mu_1 mgL_{AB} - \mu_2 mgL_2 = -222\text{J}$ D 错误。

故选 B。

6．A

【详解】A．空气阻力忽略不计，米粒和糠秕在竖直方向都做自由落体运动，由 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可知，运动时间相同，故 A 正确；

B．米粒和糠秕的区别是质量不同，由于从同一高度 h 释放，由 W_G=mgh 可知，米粒和糠秕重力做功不同，故 B 错误；

C．在恒定水平风力作用下，由 F=ma 可知，由于米粒质量大，米粒水平运动的加速度小，由 $x = \frac{1}{2}at^2$ 可知，米粒水平运动的距离小，在根据功的公式 W=Fx 可知，风力对米粒做功少，故 C 错误；

D．在恒定水平风力作用下，由 F=ma 可知，由于米粒质量大，米粒水平运动的加速度小，同一高度处根据 $v_x = at$ 可知米粒水平速度较小，竖直方向 $v_y = gt$，根据 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 可知在同一高度处，米粒比糠秕的速度小，故 D 错误。

故选 A。

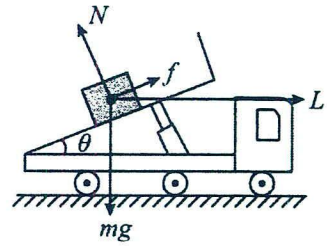
【跟踪训练】：C　　D　　BD　　CD　　D　　D

1．C

【详解】根据 $W = Fx$ 可知两种情况下，推力 F、位移 x 均相同，则推力对木箱所做的功一样多。

故选 C。

2．D



【详解】AC．对货物受力分析可知

货物受到的支持力与运动方向之间的夹角为钝角，故货物受到的支持力对货物做负功，根据功的定义 $W_N = (mg\cos\theta)\cdot L\cdot\cos\left(\frac{\pi}{2}+\theta\right) = -mgL\sin\theta\cos\theta$，故 A 错误，C 错误；

BD．货物受到的摩擦力与运动方向之间的夹角为锐角，

故货物受到的摩擦力对货物做正功，根据平衡条件知 $f = mg\sin\theta$

根据功的定义知 $W_f = (mg\sin\theta)\cdot L\cdot\cos\theta = mgL\sin\theta\cos\theta$，故 B 错误，D 正确。

故选 D。

3．BD

【详解】A．由 v-t 图可知，v-t 图的斜率表示物体匀变速直线运动的加速度，则两物匀减速直线运动的加速度大小分别为 $a'_A = \frac{v_0}{3t_0 - t_0} = \frac{v_0}{2t_0}$，$a'_B = \frac{v_0}{3t_0 - 2t_0} = \frac{v_0}{t_0}$

根据牛顿第二定律知，A、B 受到的摩擦力大小分别为 $f_A = 2ma'_A = \frac{mv_0}{t_0}$，$f_B = ma'_B = \frac{mv_0}{t_0}$，则可得 $f_A = f_B$

故 A 错误；

B．对于匀加速运动，加速度大小分别为 $a_A = \frac{v_0}{t_0}$，$a_B = \frac{v_0}{2t_0}$，由牛顿第二定律得 $F_A - f_A = 2ma_A$，$F_B - f_B = ma_B$

解得 $F_A = \frac{3mv_0}{t_0}$，$F_B = \frac{3mv_0}{2t_0}$，则两力大小之比为 2：1，故 B 正确；

D．根据“面积”表示位移，可知，全过程的位移分别为 $x_A = x_B = \frac{1}{2}\times v_0 \times 3t_0 = \frac{3v_0t_0}{2}$

可得全过程中摩擦力对 A、B 做功分别为 $W_{fA} = -f_Ax_A$，$W_{fB} = -f_Bx_B$

因两个摩擦力、位移都相等，故全过程中摩擦力对 A、B 做功之比为 1：1，故 D 正确；

C．对全过程，由动能定理得 $W_F - W_f = 0$，可得 $W_F = W_f$，可知 F_1、F_2 对 A、B 做功之比为 1：1，故 C 错误。

故选 BD。

4．CD

【详解】AD．由 a－t 图像可知，a－t 图像与时间轴所围面积表示速度变化量Δv，设 t＝6 s 时玩具车的速度为 v，

则 $v = v - 0 = \Delta v = [2 \times 10 + (-4) \times (6-2)]\ m/s = 4\ m/s$，故 A 错误，D 正确；

B．设玩具车在 0～2 s 内的加速度为 a_1，在 2 s～6 s 内的加速度为 a_2，玩具车受到的滑动摩擦力为 f，由图像可知，$a_1 = 10\ m/s^2$，$a_2 = -4\ m/s^2$，由牛顿第二定律得 $F - f = ma_1$，$-f = ma_2$，解得 $F = 35\ N$，$f = 10\ N$，故 B 错误；

C．设玩具车在 0～2 s 内的位移为 x_1，则 $x_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2\ m = 20m$，拉力 F 做功 $W = Fx_1 = 35 \times 20\ J = 700\ J$，

故 C 正确。

故选 CD。

5．D

【详解】AC．由于船相对岸保持不动，位移为 0，水的阻力和人对船的力做的功均为 0，故 AC 错误；

BD．对船、人和船桨分别受力分析可知，人对船、人对船桨、水对船桨在水平方向上力的大小均为 f，所以水对船桨做功为-fd，人对船桨做功为 fd，故 B 错误，D 正确。

故选 D。

6．D

【详解】设恒力 F_1 作用 t 后物体的速度为 v_1，恒力 F_2 又作用 3t 后物体的速度为 v_2，所以：

物体在恒力 F_1 作用 t 后物体的位移为 $x_1 = \frac{v_1 t}{2}$；物体在恒力 F_2 作用下的位移 $x_2 = \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot 3t$

由题意知 $x_1 = -x_2$；整理得 $v_1 = -\frac{3}{4}v_2$

由动能定理得 $W_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$；$W_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$；代入解得 $W_1 : W_2 = 9 : 7$

故选 D。

考点二：功率

题型一：概念辨析

【精选例题】：B　　D　　B

1．B

【详解】A．功率大的物理意义是做功的快慢，故 A 错误；

B．虽然功是标量，但功的正负不是表示功的大小，而是表示动力或者阻力做功，所以−10J 的功比+5J 的功多，故 B 正确；

C．某个力的功为正，说明说明该力的方向与位移方向的夹角小于90°，该力的方向不一定与位移方向相同，故 C 错误；

D．若某一个力对物体不做功，该物体不一定没有发生位移，可能是力的方向与发生的位移方向垂直，故 D 错误。

故选 B。

2．D

【详解】AB．根据功的计算公式 $W = Fl\cos\alpha$ 可知，功与力、位移以及力与位移的夹角都有关系，力越大，力做功不一定越多；同理，位移越大，力做功也不一定越多，故 AB 错误；

D．功率是描述物体做功快慢的物理量，功率越大，做功越快；故 D 正确；

C．根据 $P = \frac{W}{t}$ 因做功多少不确定，则功率大小不能确定，故 C 错误。

故选 D。

3．B

【详解】A．功率由物体运动的速度、力，以及力与速度方向夹角的余弦共同决定，可知，物体运动越快，即速度越大，功率不一定越大，故 A 错误；

B．由 $P=Fv\cos\theta$ 可知，某一时刻，力大、速率也大，若夹角的余弦很小，功率也可能很小，即功率不一定大，故 B 正确；

C．由 $P=\frac{W}{t}$ 可知，力做功越多，功率不一定就越大，还与时间有关，故 C 错误；

D．由 $W=Pt$ 可知，功率越大，力做功不一定越多，还与时间有关，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：C　　AC

1．C

【详解】A．当牵引力等于阻力时，汽车的速度最大，则有 $v_{m}=\frac{P}{f}$

可知汽车的最大行驶速度由汽车的额定功率和阻力决定，故 A 错误；

B．由 $P=Fv$ 知，当 F 一定时，物体运动得越快，功率越大；如果 F 不是定值，物体运动得越快，功率不一定越大，故 B 错误；

C．一个力对物体做了负功，则说明这个力阻碍物体的运动，故 C 正确；

D．物体受力的同时又发生了位移，如果力的方向与位移方向垂直，则力对物体不做功，故 D 错误。

故选 C。

2．AC

【详解】A．由 $P=Fv$ 知，当汽车发动机功率一定时，牵引力与速度成反比，故 A 正确；

B．物体运动的越快，但 F 大小不确定，因此功率大小无法判断，故 B 错误；

C．功率是反应做功快慢的物理量，数值上等于单位时间内做的功，故 C 正确；

D．F 不为零，v 也不为零，若 F 的方向与 v 的方向垂直，则这个力的功率 P 就为零，故 D 错误。

故选 AC。

题型二：平均功率瞬时功率定性比较

【精选例题】：A　　A　　B　　D

1．A

【详解】根据 W=Gh 可知小明体重较大，则小明上楼做功多；

根据 $P=\frac{W}{t}$ 小明用时间较短，可知小明上楼的功率大。

故选 A。

2．A

【详解】B．飞机发动机推力等于空气阻力与重力在切向的分力之和，重力在切向的分力逐渐增大，所以飞机发动机的推力逐渐增大，故 B 错误；

A．飞机推力与速度方向相同，飞机推力逐渐增大，根据$P=Fv$所以飞机推力做功的功率逐渐增大，故 A 正确；

C．设飞机的速率为 v，运动方向与竖直方向的夹角为θ，则竖直方向分速度为$v_y=v\cos\theta$

飞机克服重力做功的功率为$P_G=mgv_y=mgv\cos\theta$ θ角逐渐减小，所以功率逐渐增大，故 C 错误；

D．飞机做匀速圆周运动，空气阻力大小不变，方向时刻与运动方向相反，发生改变，故 D 错误。

故选 A。

3．B

【详解】A．三个小球下落高度相同，小球 1、2 竖直方向均做自由落体运动，而小球 3 竖直方向的加速度小于重力加速度，所以 3 个小球下落时间关系为$t_1=t_2<t_3$；故 A 错误；

B．根据$P=mgv_y$，由于小球 1、2 竖直方向均做自由落体运动，则小球 1、2 落地瞬间的竖直分速度相等，小球 1、2 落地瞬间的重力的功率相等，故 B 正确；

C．根据$W=mgh$，由于 3 个小球下落高度相同，则 3 个小球的重力做功相同，故 C 错误；

D．根据$\overline{P}=\frac{W}{t}=\frac{mgh}{t}$，$t_1=t_2<t_3$；则有$\overline{P_1}=\overline{P_2}>\overline{P_3}$；故 D 错误。

故选 B。

4．D

【详解】AB．设小球抛出到落地的高度为h，

竖直方向对三个小球分别为$v_{Ay}^2=2gh$，$v_{By}^2-(v_0\sin\theta)^2=2gh$，$v_{Cy}^2-(v_0\sin\theta)^2=2gh$，可得$v_{Ay}<v_{By}=v_{Cy}$

落地时，重力的瞬时功率为$P=mgv_y$，则三小球落地时，重力的瞬时功率大小关系为，$P_A<P_B=P_C$,故 AB 错误；

CD．从开始运动至落地，重力做功的平均功率为$\overline{P}=\frac{W}{t}=\frac{mgh}{t}$

三个小球在竖直方向的加速度均为重力加速度，下落高度相同，但 A 球竖直初速度为 0，B 球竖直初速度向上，C 球竖直初速度向下，可知三个小球在空中的时间大小关系为$t_C<t_A<t_B$

则重力对三小球做功的平均功率大小为$\overline{P_C}>\overline{P_A}>\overline{P_B}$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：C　　C　　D　　C

1．C

【详解】根据$W=Fx$可知两次做功相同，而第二次粗糙面上合力小于第一次，所以第二次加速度较小，则运动相同的距离所用时间较长，由$P=\frac{W}{t}$，可知$P_1>P_2$

故选 C。

2．C

【详解】在 A 点时，小球的速度为零，因此重力的功率为零，而在 B 点时，小球的速度最大，但速度方向沿水平方向，重力沿竖直方向，此时重力的功率也为零，在中间过程中，重力的功率不为零，所以重力的功率先变

大后变小。

故选 C。

3．D

【详解】A．两个小球在运动的过程中都是只有重力做功，机械能守恒，所以根据机械能守恒可以知两物体落地时速度大小相等，方向不同，所以速度不同，故 A 错误；

B．到达底端时两物体的速率相同，重力也相同，但 A 物体重力与速度有夹角，B 物体重力与速度方向相同，所以落地前的瞬间 B 物体重力的瞬时功率大于 A 物体重力的瞬时功率，故 B 错误；

C．根据 $\Delta v = gt$ 速度的变化量是相同的，则 $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 速度的变化率是一个定值，且相等，A、B 的速度变化率相等，故 C 错误；

D．从开始运动至落地，重力对两小球做功相同，但过程 A 所需时间小于 B 所需时间，根据 $P = \frac{W}{t}$ 知道重力对 A 小球做功的平均功率较大，故 D 正确。

故选 D。

4．C

【详解】物体的加速度相同，说明物体受到的合力相同，物体在运动过程中，受到拉力 F，重力 mg，摩擦力 f，摩擦力 $f = \mu F_N$，则有 $f_1 = \mu mg\cos\alpha$，$f_2 = \mu(F_2\sin\alpha + mg\cos\alpha)$，$f_3 = \mu(mg\cos\alpha - F_3\sin\alpha)$，所以 $f_2 > f_1 > f_3$

根据牛顿第二定律有 $F_1 - mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha = ma$，故 $F_1 = mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha + ma$

由 $F_2\cos\alpha - mg\sin\alpha - \mu(mg\cos\alpha + F_2\sin\alpha) = ma$，得 $F_2\cos\alpha = mg\sin\alpha + \mu(mg\cos\alpha + F_2\sin\alpha) + ma$

由 $F_3\cos\alpha - mg\sin\alpha - \mu(mg\cos\alpha - F_3\sin\alpha) = ma$，得 $F_3\cos\alpha = mg\sin\alpha + \mu(mg\cos\alpha - F_3\sin\alpha) + ma$

所以 $F_2\cos\alpha > F_1 > F_3\cos\alpha$

由于斜面的长度相同，物体的加速度相同，所以物体到达顶端的时候，物体的速度的大小也是相同的，

根据 $P = Fv$，可知 $P_2 = F_2 v\cos\alpha$ $P_1 = F_1 v > P_3 = F_3 v\cos\alpha$，故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

题型三：平均功率瞬时功率定量计算

【精选例题】：C　　BC　　AC　　78．（1）24J；（2）12W；（3）24W

1．C

【详解】从物体下落开始，前 2s 内物体下落的高度 $h = \frac{1}{2}gt^2$，代入数据可得 $h = 20\text{m}$

前 2s 内重力对物体做的功 $W_G = mgh$，代入数据可得 $W_G = 400\text{J}$

前 2s 内重力对物体做功的平均功率 $P_1 = \frac{W_G}{t} = 200\text{W}$

故选 C。

2．BC

【详解】AB．由位移的偏角公式可得 $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$，解得 $t=1.5\text{s}$，运动员的竖直位移为 $y=\frac{1}{2}gt^2=11.25\text{m}$

从 O 到 A 重力做功的平均功率为 $\overline{P}=\frac{mgy}{t}=4500\text{W}$，A 错误，B 正确；

CD．运动员落到斜面上时竖直分速度为 $v_y=gt=15\text{m/s}$，

重力做功的瞬时功率为 $P=mgv_y=9000\text{W}$，C 正确，D 错误。

故选 BC。

3．AC

【详解】A．在斜面下滑的过程中，根据牛顿第二定律 $mg\sin37^\circ-\mu mg\cos37^\circ=ma$，可得 $a=3.6\text{m/s}^2$，A 正确；

B．克服摩擦力所做的功 $W=\mu mgL\cos37^\circ=240\text{J}$，B 错误；

C．从斜面顶端滑到底端的时间，根据 $L=\frac{1}{2}at^2$，可得 $t=\frac{5}{3}\text{s}$

重力做的功 $W=mgh=600\text{J}$，因此平均功率 $\overline{P}=\frac{W}{t}=360\text{W}$，C 正确；

D．小孩滑到底端时的速度 $v=at=6\text{m/s}$，滑到斜面底端时重力的瞬时功率 $P_{瞬}=mgv\sin37^\circ=720\text{W}$，D 错误。

故选 AC。

4．（1）24J；（2）12W；（3）24W

【详解】（1）根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$，木块的加速度 $a=2\text{m/s}^2$

前 2s 内木块 $x=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times2\times2^2\text{m}=4\text{m}$，所以，重力在前 2s 内做的功为 $W=mgx\sin\theta=1\times10\times4\times0.6\text{J}=24\text{J}$

（2）重力在前 2s 内的平均功率为 $\overline{P}=\frac{W}{t}=\frac{24}{2}\text{W}=12\text{W}$

（3）木块在 2s 末的速度 $v=at=2\times2\text{m/s}=4\text{m/s}$；2s 末重力的瞬时功率 $P=mgv\sin\theta=1\times10\times4\times0.6\text{W}=24\text{W}$

【跟踪训练】：B　　AC　　ACD　　C

1．B

【详解】一分钟内克服重力做功 $W=120mgh$，平均功率为 $P=\frac{W}{t}=\frac{120mgh}{t}=\frac{120\times40\times10\times0.05}{60}\text{W}=40\text{W}$

故选 B。

2．AC

【详解】A．根据人的重心不动知人处于平衡状态，人所受的摩擦力与拉力平衡，传送带对人的摩擦力方向向右，拉力等于物体的重力 G，所以人对传送带的摩擦力大小也等于 G，方向水平向左，故 A 正确。

B．由题知，重物没有位移，所以人对重物没有做功，功率为 0，故 B 错误；

C．在时间 t 内人对传送带做功消耗的能量等于人对传送带做的功，人的重心不动，绳对人的拉力和人与传送带间的摩擦力平衡，而拉力又等于 G．根据 W=Fvt，所以人对传送带做功的功为 Gvt．故 C 正确。

D．根据恒力做功功率 P=Fv 得：若增大传送带的速度，人对传送带做功的功率增大，故 D 错误。

故选 AC。

3．ACD

【详解】A．物体自由下落，t 秒内物体下落的高度为$h=\frac{1}{2}gt^2$，则重力对物体做功为$W=mgh=\frac{1}{2}mg^2t^2$，

故 A 正确；

B．t 秒内重力的平均功率为$P=\frac{W}{t}=\frac{\frac{1}{2}mg^2t^2}{t}=\frac{1}{2}mg^2t$，故 B 错误；

C．从静止开始自由下落，根据$v=gt$可知$\frac{t}{2}$秒末与t秒末的速度之比为1:2，根据$P=Fv=mgv\propto v$

故$\frac{t}{2}$秒末与t秒末功率瞬时值之比为$P_1:P_2=1:2$，故 C 正确；

D．根据匀变速直线运动的规律，可知前$\frac{t}{2}$秒与后$\frac{t}{2}$秒下落的位移之比为1:3，则重力做功之比为1:3，故重力

做功的平均功率之比为1:3，故 D 正确。

故选 ACD。

4．C

【详解】A．落地时，物体的速度为$v=gt=40\text{m/s}$，落地时，重力的功率为$P=mgv=400\text{W}$，故 A 正确；

B．前 2s 物体的下落的高度为$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}\times10\times2^2\text{m}=20\text{m}$

后 2s 物体的下落的高度为$h_2=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}\times10\times4^2-\frac{1}{2}\times10\times2^2\text{m}=60\text{m}$

重力做功为$W=mgh$，前 2s 和后 2s 重力做功之比为$W_1:W_2=h_1:h_2=1:3$，故 B 正确；

C．第 4s 内物体的下落的高度为$h_3=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}gt_2^2=\frac{1}{2}\times10\times4^2-\frac{1}{2}\times10\times3^2\text{m}=35\text{m}$

第 4s 内重力做功的平均功率为$\overline{P_1}=\frac{W_3}{t_3}=\frac{mgh_3}{t_3}=\frac{1\times10\times35}{1}\text{W}=350\text{W}$，故 C 错误；

D．4s 内物体的下落的高度为$h_4=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times4^2\text{m}=80\text{m}$

整个下落过程中，重力做功的平均功率为$\overline{P_2}=\frac{W_4}{t}=\frac{mgh_4}{t}=\frac{1\times10\times80}{4}\text{W}=200\text{W}$，故 D 正确。

本题选错误的，故选 C。

题型四：功率中的图像问题

【精选例题】：D　　BCD

1．D

【详解】根据 P=Fv，可知在相同的速度 v 时，4 的牵引力 F 最大，则 4 的功率最大。故选 D。

2．BCD

【详解】AB．由图像乙可知，第 1s 内的平均速度大小为$\overline{v_1}=\frac{x_1}{t}=1\text{m/s}$

第 2s 内的平均速度大小为$\overline{v_2}=\frac{x_2}{t}=1\text{m/s}$；第 3s 内的平均速度大小为$\overline{v_3}=\frac{x_3}{t}=2\text{m/s}$

则第 1s 内的平均功率为$P_1=F_1\overline{v_1}=1\text{W}$，第 2s 内的均功率为$P_2=F_2\overline{v_2}=3\text{W}$，第 3s 内的均功率为$P_3=F_3\overline{v_3}=4\text{W}$

即$P_1<P_2<P_3$，故 B 正确，A 错误；

C．0~3s 内力 F 对滑块做功为$W=F_1x_1+F_2x_2+F_2x_2=8\text{J}$，故 C 正确；

D．由图像可知，当$F_3=2\text{N}$时，滑块匀速运动，由力的平衡条件可得$F_3=F_f$

则第 2s 内滑块客服摩擦力做功的平均功率为$P=\frac{W_f}{t}=2\text{W}$，故 D 正确。

故选 BCD。

【跟踪训练】：D　　B

1．D

【详解】A．由速度时间图像可以知道在 2~3s 的时间内，物体匀速运动，处于受力平衡状态，所以滑动摩擦力的大小为 2N，在 1~2s 的时间内，物体做匀加速运动，直线的斜率代表加速度的大小，所以$a=\frac{2-0}{1}\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律可得 F-f=ma，所以$m=\frac{F-f}{a}=\frac{3-2}{2}\text{kg}=0.5\text{kg}$，故 A 错误；

B．由 f=μF$_N$=μmg，所以$\mu=\frac{f}{mg}=\frac{2}{0.5\times10}=0.4$，故 B 错误；

C．第 2 秒内物体的位移是$x=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times2\times1^2\text{m}=1\text{m}$，克服摩擦力做的功，W=fx=2N×1m=2J，故 C 错误；

D．前 2s 内，在第一秒内物体没有运动，只在第二秒运动，F 也只在第二秒做功，F 的功为 W=Fx=3×1J=3J

所以前 2s 内推力 F 做功的平均功率为$\overline{P}=\frac{W}{t}=\frac{3}{2}\text{W}=1.5\text{W}$，故 D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】$0\sim4\text{s}$内，物体的加速度大小为$a_1=\frac{F_1-\mu mg}{m}=\frac{10-0.2\times2\times10}{2}\text{m/s}^2=3\text{m/s}^2$

物体通过对位移为$x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2=\frac{1}{2}\times3\times4^2\text{m}=24\text{m}$

4s时物体的速度为$v_1=a_1t_1=12\text{m/s}$

$4\sim6\text{s}$内，由于$F_2=\mu mg=4\text{N}$

则物体做匀速直线运动，通过的位移为$x_2=v_1t_2=12\times2=24\text{m}$

则$0\sim6\text{s}$内，水平力F做的总功为$W=F_1x_1+F_2x_2=10\times24\text{J}+4\times24\text{J}=336\text{J}$

则F在前6s的平均功率为$\overline{P}=\frac{W}{t}=\frac{336}{6}\text{W}=56\text{W}$

故选 B。

考点三：摩擦力做功

题型一：概念辨析

【精选例题】：C

1．C

【详解】A．静摩擦力对物体做功不一定为0，例如，当物体在倾斜的传送带上与传送带保持相对静止向上运动时，静摩擦力做正功，故A错误；

B．当物体轻放在倾斜的传送带上，物体向上做匀加速直线运动时，物体受到向上的滑动摩擦力，该滑动摩擦力做正功，故B错误；

C．相互作用的一对滑动摩擦力大小相等，方向相反，由于滑动摩擦力的受力物体与施力物体发生了相对运动，滑动摩擦力作用一定有摩擦生热，根据功能关系可知，一对滑动摩擦力做功的代数和一定小于零，故C正确；

D．根据功率的关系式有$P=Fv\cos\theta$可知，功率与力、速度、力与速度方向的夹角的余弦有关，可知物体运动的速度越大，作用在物体上的力的功率不一定越大，故D错误。

故选C。

【跟踪训练】：A　　C

1．A

【详解】A．恒力做功的表达式$W=Fs\cos\theta$知，静摩擦力的方向与物体相对运动趋势的方向相反，但与运动方向可以相同，也可以相反，故静摩擦力可以做负功，也可以做正功，故A正确；

B．摩擦力做功不一定产生热量。根据$Q_{热}=fs_{相对}$可知，如果有相对位移，那么摩擦力做的功可以转化成物体内能，若没有相对位移，那么摩擦力做功，但不产热，故B错误；

C．一对相互作用力，可能作用力做正功时，反作用力可能做负功，也可能做正功，甚至可能不做功，故C错误；

D．一对静摩擦力的总功一定为零，但一对滑动摩擦力做的总功不一定为零，故D错误。

故选A。

2．C

【详解】A．静摩擦力可以做正功、负功、不做功，A错误；

B．相对地面没有发生位移的物体滑动摩擦力对其做功为零，B错误；

C．一对静摩擦力作用的物体间无相对滑动，故位移始终相等，而二力大小相等，方向相反，故一个做正功，则另一个就做负功，C正确；

D．一对相互作用的滑动摩擦力做的功的代数和总为负，D错误。

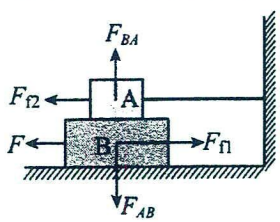
故选C。

题型二：摩擦力做功的简单计算

【精选例题】：CD　　CD

1．CD

【详解】判断AB间是否有摩擦力时是看AB间有无相对滑动（或运动趋势），计算功的大小时涉及到的位移，都是相对地面的位移。A、B间相互作用力为F_{f1}与F_{f2}、F_{AB}与F_{BA}，如图所示



A没有位移，F_{f2}、F_{BA}对A不做功，B有位移，F_{f1}做负功，F_{AB}与位移成90°，不做功， AB错误，CD正确。

故选CD。

2．CD

【详解】A．由功的定义可得，力 F 对物体做功为$W_F = Fs\cos 60^\circ = 200\text{J}$，A 错误；

BC．由于物体匀速前进，由平衡条件可得，摩擦力大小为$f = F\cos 60^\circ$，摩擦力对物体做功为$W_f = -fs = -200\text{J}$

则物体克服摩擦力做功 200J，B 错误，C 正确；

D．支持力及重力与位移垂直，不做功，故合力做功为$W_{合} = W_F + W_f = 0$，D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：AB　　B

1．AB

【详解】AB．力对物体做的功等于力的大小、位移的大小、力跟位移夹角的余弦值三者的乘积，所以由$W = F \cdot x\cos\alpha$可知，甲图中力 F 做功最多，丁图中力 F 做功最少，乙图中力 F 做功与丙图中力 F 做功一样多，故 AB 正确；

D．由图可以看出，乙图中压力最大，丁图中压力最小，所以乙图中物体受到的摩擦力最大，丁图中物体受的摩擦力最小，所以乙图中物体克服摩擦力做功比丁图中物体克服摩擦力做功多，故 D 错误；

C．甲图中，重力和支持路不做功，只有力F做功，乙图中重力和支持力不做功，有力F和摩擦力做功，丙图中重力和支持路不做功，只有力F做功，丁图中重力和支持力不做功，有力F和摩擦力做功，C 错误。

故选 AB。

2．B

【详解】A．滑块相对平板运动到右端的过程中，所受的摩擦力方向水平向左，与位移方向反，相对于地的位移大小为$s+L$，所以摩擦力对滑块做的功为$W_{\text{f}} = -F_{\text{f}}(s+L)$，故 A 错误；

B．平板向右运动，所受的摩擦力方向水平向右，摩擦力对平板做正功，平板的对地位移为s，摩擦力对平板做的功为$W_{\text{f}}' = F_{\text{f}}s$，故 B 正确；

C．摩擦力对系统做的总功为$W = W_{\text{f}} + W_{\text{f}}' = -F_{\text{f}}L$，故 C 错误；

D．由功能关系可知，系统产生的热量等于摩擦力对系统做的总功的绝对值，即$Q = F_{\text{f}}L$，故 D 错误。

故选 B。

题型三：斜面中的摩擦力做功

【精选例题】：D　　C　　B

1．D

【详解】AB．根据$W_{\text{G}} = mgh$ h 相同，则重力对物体做功相同，即$W_1 = W_2$，故 AB 错误；

CD．设斜面的倾角为θ，动摩擦因数为μ，则摩擦力对物体做功$W_{\text{f}} = \mu mg\cos\theta \cdot \dfrac{h}{\sin\theta} = \mu mgh \cdot \dfrac{1}{\tan\theta}$

所以$W_3 < W_4$，故 D 正确，C 错误。故选 D。

2．C

【详解】设斜面倾角为α，物体沿斜面下滑时，克服摩擦力所做的功为$W_{\mathrm{f}}=\mu mg\cos\alpha\cdot s=\mu mgL$ L 是斜面在水平面上的投影长度，I和II的路径虽然不同，当它们的水平面上投影长度 L 相同，因此它们克服摩擦力所做的功相同。故选 C。

3．B

【详解】设斜面倾角为θ，运动到与 O 点相距 x 时停止，对木块运动的整个过程，

根据动能定理得$mgh-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}-\mu mg(x-\frac{h}{\tan\theta})=0$，解得$x=\frac{h}{\mu}$

可知，x 与斜面倾角没有关系，ACD 错误，B 正确。

故选 B。

【跟踪训练】：B　　D

1．B

【详解】设斜面倾角为θ，斜面长为 s，滑动摩擦力大小$f=\mu mg\cos\theta$，物体克服摩擦力做功$W=\mu mg\cos\theta\cdot s$

而$s\cos\theta$相同，故克服摩擦力做功相等，即$W_{fA}=W_{fB}$，由题图可知$h_A>h_B$，根据重力做功可知$W_G=mgh$

同一物体滑行过程中$W_{GA}>W_{GB}$，故 B 正确，ACD 错误。

故选择 B。

2．D

【详解】AB．对小木块运动的整个过程，根据动能定理有$0-0=mgh-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}-\mu mg(x-\frac{h}{\tan\theta})$

解得$h=\mu x$，所以 x 与θ无关，故 AB 错误；

CD．根据前面分析可知重力对木块做功为$W_{\mathrm{G}}=mgh=\mu mgx$，摩擦力对木块做功为$W_{\mathrm{f}}=-W_{\mathrm{G}}=-mgh=-\mu mgx$

故 C 错误，D 正确。

故选 D。

考点四：变力做功

题型一：微元法和等效法

【精选例题】：B　　2．$F\left(\frac{h}{\sin\alpha}-\frac{h}{\sin\beta}\right)$

1．B

【详解】在磨盘转动一周的过程中，力 F 大小恒定，方向始终与手柄 AB 的运动方向相同，所做的功应等于力与路程的乘积，即$W=F\cdot 2\pi R$，手柄 AB 的线速度大小为$v=\frac{2\pi R}{T}$，联立解得$v=0.6\mathrm{m/s}$

故选 B。

2．$F\left(\frac{h}{\sin\alpha}-\frac{h}{\sin\beta}\right)$

【详解】由题图可知，在绳与水平面的夹角由α变到β的过程中，拉力F的作用点的位移大小$\Delta h=\frac{h}{\sin\alpha}-\frac{h}{\sin\beta}$

所以绳的拉力对滑块所做的功$W=F\Delta h=F\left(\frac{h}{\sin\alpha}-\frac{h}{\sin\beta}\right)$

【跟踪训练】：C　　A　　A

1．C

【详解】A．摆球所受重力竖直向下，摆球位移有竖直向下的分量，故重力做功不为零，故 A 错误；

B．悬线的拉力始终与 v 垂直，不做功，故 B 错误；

CD．将圆弧路径分成若干小圆弧（尽量小），每一段小圆弧上可认为 f 是恒力，所以 f 所做的总功等于每个小弧段上 f 所做功的代数和，即 $W_f=-（f\Delta x_1+f\Delta x_2+…）=-\frac{1}{2}f\pi L$　故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】将力 F 分解为切线方向和径向方向两个分力，其中径向方向始终与速度方向垂直，不做功，切线方向分力始终与速度方向相同，则滑块匀速运动半周，力 F 做的功为$W=F\cos 60°\cdot\pi R=\frac{F\pi R}{2}$

故选 A。

3．A

【详解】全过程人拉着绳缓慢运动，认为重物的动能不变，人对重物所做的功等于重物重力势能的增加，根据几何关系知重物上升的高度$\Delta h=\frac{h}{\cos\theta}-h$　则$W=mg\Delta h=mg\left(\frac{h}{\cos\theta}-h\right)=\frac{mgh(1-\cos\theta)}{\cos\theta}$　A 正确，BCD 错误。

故选 A。

题型二：平均值法

【精选例题】：C　　A

1．C

【详解】所受的阻力 F 与深度 h 的关系为线性关系，则有$W=\overline{F}h_0=\frac{F_0+kh_0+F_0}{2}h_0=F_0h_0+\frac{1}{2}kh_0^2$；故选 C。

2．A

【详解】铁锤每次敲钉子时对钉子做的功等于钉子克服阻力做的功，由于阻力与深度成正比，可用阻力的平均值求功，据题意可得$W=\overline{F_1}d=\frac{kd}{2}d$，$2W=\overline{F_2}d'=\frac{kd+k(d+d')}{2}d'$　解得$d'=(\sqrt{3}-1)d$　故 A 正确。故选 A。

【跟踪训练】：C　　C

1．C

【详解】小方块依次进入粗糙区域，摩擦力逐渐增大，设小方块全部进入粗糙区域时的摩擦力为 f，则 $f=\mu Mg$

整个过程中的平均摩擦力$\overline{f}=\frac{0+f}{2}=\frac{1}{2}\mu Mg$　　摩擦力对所有小方块做的功$W=-\overline{f}\cdot l=-\frac{1}{2}\mu Mgl$

所以做功的大小为$\frac{1}{2}\mu Mgl$。　　故选 C。

2．C

【详解】木板的阻力与钉子进入木板的深度成正比，钉子进入 1cm 时，阻力可表示为 $f_1 = k \times 1 = k$

钉子全部进入时阻力可表示为 $f_2 = k \times 3 = 3k$

因为力与位移成正比，所以，第一次锤子做的功可表示为 $W_1 = \frac{0 + f_1}{2} \times 1 = 0.5k$

从钉子进入 1cm 至全部进入，锤子做的总功为 $W = \frac{f_1 + f_2}{2} \times 2 = 4k$

所以，锤子打击的次数为 $n = \frac{W}{W_1} = \frac{4k}{0.5k} = 8$　　故 C 正确，ABD 错误。

故选 C。

题型三：图像法

【精选例题】：C　　A　　B

1．C

【详解】由力做功公式可知 W=Fx，则 F-x 图象中，图象与坐标轴围成的面积表示力 F 所做的功，由图象可知，C 图象中围成的面积最大，所以 C 中合外力做功最多，故 C 正确，ABD 错误。故选 C。

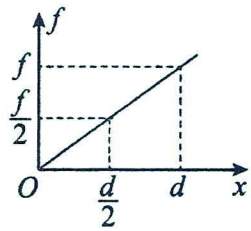
2．A

【详解】小物块所受的摩擦力 $f = \mu mg = 1\text{N}$　由图可知，拉力的最小值都大于小物块所受的摩擦力，所以从拉力 F 作用开始，小物块就开始运动，根据 $W = Fx$ 可知 $F - x$ 图像的面积为 F 对小物块做的功为 $W_{\text{F}} = \frac{3+5}{2} \times 1\text{J} = 4\text{J}$

摩擦力对小物块做的功为 $W_{\text{f}} = -1 \times 1\text{J} = -1\text{J}$　物块在 $0 \sim 1\text{m}$ 内所受合力做功为 $W = W_{\text{F}} + W_{\text{f}} = 3\text{J}$；故选 A。

3．B

【详解】作出钉子所受阻力与进入深度的关系图，可知前一半深度与后一半深度过程中，阻力做功之比为1:3，由题意可知，每次砸锤，锤对钉做功相同，将钉全部砸进木梁需要砸 4 次，则第 1 锤将铁钉砸进木梁的深度是 $\frac{L}{2}$。故选 B。



【跟踪训练】：C　　C

1．C

【详解】根据 $F - x$ 图像与横轴围成的面积等于拉力做功的大小，由于图线为半圆，则有 $S = \frac{1}{2}\pi (x_0)^2 = \frac{\pi}{2} x_0^2$

F_{m} 与 x_0 在数值上相等，则有 $F_{\text{m}} = x_0$　联立可得拉力做的功为 $W = \frac{1}{2}\pi F_{\text{m}} x_0$

故选 C。

2．C

【详解】AB．由图像可知，$0 \sim 4\text{m}$ 过程水平力 F 一直为正方向，滑块一直沿正方向加速运动；4m 后水平力 F 变为负方向，滑块沿正方向做减速运动，可知滑块在 4m 处的动能最大，滑块运动 4m 后速度没有反向，故 AB 错误；

CD．根据 $F - x$ 图像与横轴围成的面积表示力 F 做的功，

则滑块从 $x = 3\text{m}$ 运动至 $x = 4\text{m}$ 过程中，力 F 做的功为 $W_{\text{F}} = \frac{1}{2} \times 2 \times 1 = 1\text{J}$

滑块从$x=4\text{m}$运动至$x=5\text{m}$过程中，力F做的功为$W_{\text{F}}'=-\frac{1}{2}\times2\times1=-1\text{J}$　故C正确，D错误。

故选C。

考点五：机车起动

题型一：恒定功率启动

【精选例题】：A　　C　　D　　B

1．A

【详解】牵引力对车厢的牵引功率等于牵引力与速度的乘积，即$P=Fv$，故A正确，BCD错误；故选A。

2．C

【详解】汽车具有最大速度时，牵引力与阻力平衡，可得$P_{额}=fv_{\text{m}}$，解得$f=2000\text{N}$

当汽车的速度$v=10\text{m/s}$时，有$P_{额}=Fv$，解得$F=8000\text{N}$；由牛顿运动定律，可得$F-f=ma$，解得$a=3.75\text{m/s}^2$

故选C。

3．D

【详解】A．汽车以额定功率行驶，做加速度减小的加速运动，当加速度减为零时，速度达到最大，因此汽车均做变加速直线运动，A错误；

BCD．设汽车行驶过程中受到的阻力为F_{f}，当汽车达到最大速度时，加速度为零，

对题图甲有，牵引力$F_1=mg\sin\theta+F_{\text{f}}$，额定功率$P=F_1v_1$，对题图乙有，牵引力$F_2=F_{\text{f}}-mg\sin\theta$，额定功率$P=F_2v_2$

联立可得$F_{\text{f}}=\frac{v_1+v_2}{v_2-v_1}\cdot mg\sin\theta$，$P=\frac{v_1v_2}{v_2-v_1}\cdot2mg\sin\theta$，故$v_1<v_2$，D正确，BC错误。故选D。

4．B

【详解】由于重力的瞬时功率为0，所以，牵引力的功率为$P=fv,f=kmg$，所以$P=kmgv$；故选B。

【跟踪训练】：B　　D　　AC　　B

1．B

【详解】根据功率的关系式有$P=Fv$，根据平衡条件有$F=f$，解得$f=1500\text{N}$；故选B。

2．D

【详解】A．根据题意有$k=Fv$可知，k为功率，由于k为大小不变的系数，可知，汽车保持功率k不变，速度增大，牵引力减小，加速度减小，汽车先做加速度减小的加速运动，当加速度为0时，达到最大速度，最后做匀速直线运动，故A错误；

B．结合上述，根据牛顿第二定律有$\frac{k}{v}-f=ma$，由于汽车先做加速度减小的加速运动，当速度为0时，加速度达到最大值，根据上述表达式可知，汽车加速度的最大值不存在，故B错误；

C．结合上述可知，牵引力为$\frac{k}{v}$，当速度为0时，牵引力达到最大值，则汽车牵引力的最大值不存在，故C错误；

D．结合上述可知，当牵引力与阻力平衡时，速度达到最大值，则汽车所受阻力大小为$f=\frac{k}{v_{\text{m}}}$，故D正确。

故选D。

3．AC

【详解】A．由功率的公式有$P=Fv$，当车的功率不变时，其速度越小，其牵引力越大，所以当以最大牵引力爬坡时，变速杆应推至“1”档，故A项正确；

BC．当车的牵引力等于车所受的阻力时，其达到最大速度，有$P=Fv_{\max}=fv_{\max}$，解得$F=f=1200\text{N}$

故B错误，C正确；

D．车匀速行驶，所以此时牵引力等于阻力，即$F'=f=1200\text{N}$，根据功率公式有$P_{输出}=F'v'$

解得$P_{输出}=18\text{kW}$，故D错误。

故选AC。

4．B

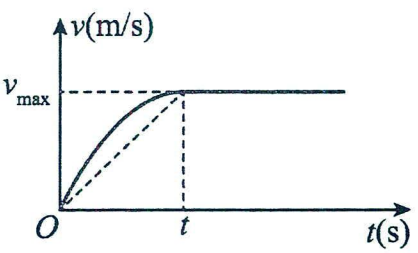
【详解】A．当列车匀速行驶时，所受的牵引力等于阻力，即$P=fv_{\max}$，

解得行驶过程中列车受到的阻力为$f=\dfrac{P}{v_{\max}}=\dfrac{750\times10^3}{30}\text{N}=2.5\times10^4\text{N}$，故A错误；

B．当列车以$v_1=15\text{m/s}$行驶时，对列车由牛顿第二定律$F_1-f=ma$，其中$P=F_1v_1$

联立解得，列车以15m/s行驶时的加速度是$a=0.5\text{m/s}^2$，故B正确；

C．作出列车运动的$v-t$图像，如图所示



由图可知，列车加速过程中的平均速率$\overline{v}>\dfrac{0+v_{\max}}{2}=15\text{m/s}$，故C错误；

D．根据列车以最大功率启动，则$W=Pt=750\times10^3\times60\times60\text{J}\neq750\text{kJ}$，故D错误。

故选B。

题型二：恒定加速度启动

【精选例题】：ABD　　AB　　B

1．ABD

【详解】A．汽车做匀加速直线运动时，牵引力最大，则$F-0.3mg=ma$，

发动机最大牵引力为$F=4\times10^3\text{N}$，故A正确；

B．匀加速运动结束时，发动机功率刚好到额定功率，则$P_0=Fv=Fat$，

匀加速运动持续的时间为$t=10\text{s}$，故B正确；

C．5s末汽车的速度为$v_5=at_5=5\text{m/s}$，故C错误；

D．5s末发动机的实际功率为$P_5=Fv_5=2\times10^4\text{W}$，故D正确。

故选ABD。

2．AB

【详解】A．当牵引力等于重力时功率最大，

则起重机输出的最大功率为$P=mgv_{\text{m}}=5\times10^3\times10\times1.02\text{W}=5.1\times10^4\text{W}$，选项A正确；

BC．重物做匀加速运动的牵引力 $F=mg+ma=5.1\times10^4\,\mathrm{N}$，匀加速能达到的最大速度 $v=\dfrac{P}{F}=1\mathrm{m/s}$

所经历的时间为 $t=\dfrac{v}{a}=5\mathrm{s}$，选项 B 正确，C 错误；

D．起重机在第 2 秒末的输出功率为 $P_2=Fv_2=Fat_2=5.1\times10^4\times0.2\times2\mathrm{W}=2.04\times10^4\mathrm{W}$，选项 D 错误。

故选 AB。

3．B

【详解】A．由题知，汽车所受的阻力大小为 $f=\dfrac{P}{v_\mathrm{m}}=\dfrac{60\times10^3}{120\times\dfrac{1000}{3600}}\mathrm{N}=1800\mathrm{N}$，故 A 错误；

B．设汽车匀加速启动时的加速度大小为 a，则经 6.25s 的速度为 $v=at=6.25a$

根据牛顿第二定律有 $F-f=ma$，解得 $F=f+ma=1800+1500a$

经 6.25s 达到匀加速直线运动的最大速度，则有 $P=Fv$，则有 $60\times10^3=(1800+1500a)\times6.25a$

解得 $a=2\mathrm{m/s^2}$，故 B 正确；

C．因 $t_1=3\mathrm{s}<6.25\mathrm{s}$，故此时汽车仍处于匀加速直线运动，速度为 $v_3=at_1=6\mathrm{m/s}$

根据牛顿第二定律有 $F-f=ma$，解得 $F=4800\mathrm{N}$，则此时的功率为 $P'=Fv_3=28.8\mathrm{kW}$，故 C 错误；

D．汽车速度为15m/s大于匀加速直线运动的最大速度 12.5m/s，故此时汽车的功率已达到额定功率，

根据 $P=F'v'$，解得 $F'=4000\mathrm{N}$，根据牛顿第二定律有 $F'-f=ma'$，解得 $a'=\dfrac{22}{15}\mathrm{m/s^2}$，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：ACD　　A　　AB

1．ACD

【详解】AB．匀加速提升重物时钢绳的拉力最大，且等于匀加速结束时的拉力,由 $P=F_\mathrm{m}v_1$，解得 $F_\mathrm{m}=\dfrac{P}{v_1}$，

故 A 正确，B 错误；

C．重物以最大速度 v_2 匀速上升时 $F=mg$，所以 $v_2=\dfrac{P}{mg}$，故 C 正确；

D．重物做匀加速运动的加速度 $a=\dfrac{F_\mathrm{m}-mg}{m}=\dfrac{P-mgv_1}{mv_1}$ 重物做匀加速运动的时间为 $t=\dfrac{v_1}{a}=\dfrac{mv_1^2}{P-mgv_1}$，故 D 正确。

故选 ACD。

2．A

【详解】D．根据 $P=fv_\mathrm{m}$，可得 $f=\dfrac{P}{v_\mathrm{m}}=2000\mathrm{N}$，故 D 错误；

A．当速度为 10m/s 时，汽车牵引力 $F_1=\dfrac{P}{v_1}=12000\mathrm{N}$；根据牛顿第二定律 $a_1=\dfrac{F_1-f}{m}=5\mathrm{m/s^2}$，故 A 正确；

B．当加速度为 $2\mathrm{m/s^2}$ 时，根据牛顿第二定律 $F_2-f=ma_2$，可得 $F_2=6000\mathrm{N}$，此时速度 $v_2=\dfrac{P}{F_2}=20\mathrm{m/s}$，故 B

错误；

C．若汽车以$5\mathrm{m/s^2}$的加速度启动，根据$F_3-f=ma_3$，$P=F_3v_3$，

可得$v_3=10\mathrm{m/s}$加速度不变最多能维持时间

$t_3=\dfrac{v_3}{a_3}=2\mathrm{s}$，故C错误；故选A。

3．AB

【详解】列车以速度为v行驶时受到的阻力为$f_1=kv$，列车的牵引力为$F_1=\dfrac{P}{v}$

设列车总质量为m，根据牛顿第二定律有F_1-f_1=ma，联立解得$P=mav+kv^2$

同理，列车以速度为2v行驶时受到的阻力为$f_2=k\times 2v$，列车的牵引力为$F_2=\dfrac{P'}{2v}$

根据牛顿第二定律有F_2-f_2=ma，联立解得$P'=2mav+4kv^2$

因为$2mav+2kv^2<2mav+4kv^2<4mav+4kv^2$，可知$2P<P'<4P$

故选AB。

题型三：机车启动中的图像问题—常规图像

【精选例题】：A　　A　　BC　　D

1．A

【详解】轿车在启动阶段，由牛顿第二定律有$F_{牵}-f=ma$，由于启动阶段轿车受到的牵引力不变，则轿车的加速度不变，所以轿车在开始阶段做匀加速直线运动；根据功率的计算公式有$P=Fv=Fat$，可知开始阶段汽车功率随时间均匀增加；当实际功率达到额定功率时，功率不再增加，速度继续增加，牵引力减小，加速度减小，当牵引力减小到等于阻力时，加速度等于零，此时速度达到最大值$v_{\mathrm{m}}=\dfrac{P_{\mathrm{m}}}{f}$，可知题中四个图像依次可以反映加速度、牵引力、速度、功率随时间变化的关系，A正确，BCD错误。故选A。

2．A

【详解】A．从题中图像可以看出，赛车匀加速行驶的加速度为$2\mathrm{m/s^2}$、时间为5s，

匀加速行驶的距离$x=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{1}{2}\times 2\times 5^2\mathrm{m}=25\mathrm{m}$，选项A正确；

BC．设匀加速阶段的牵引力为F，根据牛顿第二定律$F-f=ma$，可得$F=80\mathrm{N}$

5s的时候达到了额定功率，则赛车5s末的速度是$v=at=2\times 5\mathrm{m/s}=10\mathrm{m/s}$

根据$P=Fv$，可得赛车5s末的功率是$P=80\times 10\mathrm{W}=800\mathrm{W}$，选项BC错误；

D．由题中图像可知，有一段时间赛车做加速度减小的加速运动，故匀速行驶的时间应小于30s，选项D错误。

故选A。

3．BC

【详解】A．当汽车做初速度为0的匀加速直线运动时，汽车的牵引力保持不变，汽车功率为$P=Fv=Fat\propto t$

由图像可知$0\sim t_1$时间内，机车做匀加速直线运动，故A错误；

B．$t_1\sim t_2$时间内，汽车的功率保持不变，且t_2时刻，机车的速度刚好达到最大速度，则该段时间内汽车的速度逐渐增大，根据$P=Fv$可知，牵引力逐渐减小，则汽车在该段时间内做加速度逐渐减小的加速运动，故B正确；

C．当牵引力等于阻力时，汽车的速度达到最大，

则有$v_{\mathrm{m}}=\frac{P_0}{f}$，$t_2$时刻机车的速度是$t_1$时刻机车速度的 1.5 倍，则$t_1$时刻机车速度为$v_1=\frac{2}{3}v_{\mathrm{m}}=\frac{2P_0}{3f}$，

根据牛顿第二定律可得该时刻的加速度大小为$a=\frac{F_1-f}{m}=\frac{\frac{P_0}{v_1}-f}{m}=\frac{\frac{P_0}{\frac{2P_0}{3f}}-f}{m}=\frac{f}{2m}$，故 C 正确；

D．由于$t_1\sim t_2$时间内，汽车做加速度逐渐减小的加速运动，则机车运动的平均速度$\bar{v}\neq\frac{v_1+v_{\mathrm{m}}}{2}=\frac{\frac{2P_0}{3f}+\frac{P_0}{f}}{2}=\frac{5P_0}{6f}$

故 D 错误。故选 BC。

4．D

【详解】D．汽车在前 5s 内做匀加速运动，根据加速度的定义，可得加速度为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{10}{5}\mathrm{m/s^2}=2\mathrm{m/s^2}$

由牛顿第二定律得$F-f=ma$，解得汽车在前 5s 内的牵引力为$F=f+ma=\frac{1}{5}\times2\times10^3\times10\mathrm{N}+2\times10^3\times2\mathrm{N}=8\times10^3\mathrm{N}$

在前 5s 内汽车运动的位移$x=\frac{10}{2}\times5\mathrm{m}=25\mathrm{m}$，在前 5s 内汽车牵引力做的功为$W=Fx=8\times10^3\times25\mathrm{J}=2\times10^5\mathrm{J}$

故 D 正确；

B．汽车在 5s 末功率达到额定功率为$P=Fv=8\times10^3\times10\mathrm{W}=8\times10^4\mathrm{W}$，故 B 错误；

A．当汽车速度最大时，牵引力与阻力大小相等，则汽车的最大速度为$v_{\mathrm{m}}=\frac{P}{F}=\frac{P}{f}=\frac{8\times10^4}{\frac{1}{5}\times2\times10^3\times10}\mathrm{m/s}=20\mathrm{m/s}$，

故 A 错误；

C．汽车的速度大小为 16m/s 时，汽车的牵引力为$F_1=\frac{P}{v_1}=\frac{8\times10^4}{16}\mathrm{N}=5\times10^3\mathrm{N}$，

加速度为$a=\frac{F_1-f}{m}=\frac{5\times10^3-\frac{1}{5}\times2\times10^3\times10}{2\times10^3}\mathrm{m/s^2}=0.5\mathrm{m/s^2}$，故 C 错误。故选 D。

【跟踪训练】：CD　　C　　D　　BD

1．CD

【详解】A．由题意得，在 0～t_1时间内功率随时间均匀增大，知汽车做匀加速直线运动，加速度恒定，由牛顿第二定律$F-f=ma$可知，牵引力恒定，合力也恒定。在t_1时刻达到额定功率，随后在$t_1\sim t_2$时间内，汽车速度继续增大，由$P=Fv$可知，牵引力减小，

则加速度减小，直到牵引力减小到与阻力相等时，达到最大速度$v_{\mathrm{m}}=\frac{P}{F}=\frac{P}{f}$接着做匀速运动，故 A 错误；

B．发动机所做的功等于图线与 t 轴所围的面积，则 0～t_1时间内发动机做的功为$W_1=\frac{1}{2}P_0t_1$，故 B 错误；

C．发动机所做的功等于图线与 t 轴所围的面积，则 0～t_2时间内发动机做的功为$W=\frac{1}{2}P_0(t_2-t_1+t_2)=P_0(t_2-\frac{t_1}{2})$

故 C 正确；

D．当汽车匀速运动时所受的阻力$f=F=\frac{P_0}{v_{\mathrm{m}}}$，故 D 正确。故选 CD。

2．C

【详解】AB．汽车受到的阻力为 $f=kmg=0.1\times1\times10^3\times10\text{N}=1\times10^3\text{N}$

前 5s 内，由图知 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{v_1}{t_1}=\dfrac{20}{5}\text{m/s}^2=4\text{m/s}^2$，由牛顿第二定律可得 $F_1-f=ma$，解得 $F_1=5\times10^3\text{N}$，故 AB 错误；

C．5s 末汽车功率达到额定功率为 $P=F_1v_1=5\times10^3\times20\text{W}=1\times10^5\text{W}=100\text{kW}$，故 C 正确；

D．当汽车达到最大速度时，牵引力等于阻力，所以汽车的最大速度为 $v_\text{m}=\dfrac{P}{f}=100\text{m/s}$，故 D 错误。故选 C。

3．D

【详解】A．由 $a-t$ 图像可知，物体在 $0\sim5\text{s}$ 做匀加速直线运动，5s 时物体的速度为 $v_1=at_1=2\times5\text{m/s}=10\text{m/s}$

由于 5s 后物体继续做加速度逐渐减小的加速运动，可知物体在 $0\sim10\text{s}$ 内运动的最大速度大于 10m/s，故 A 错误；

B．由 $a-t$ 图像可知，在 5s 时，物体结束做匀加速运动，此时起重机功率达到最大功率，

根据牛顿第二定律可得 $F-mg=ma$，解得 $F=1800\text{N}$，则起重机的额定功率为 $P_\text{额}=Fv_1=1800\times10\text{W}=18000\text{W}$，

故 B 错误；

CD．$0\sim5\text{s}$ 内，物体的位移为 $x_1=\dfrac{v_1}{2}t_1=\dfrac{10}{2}\times5\text{m}=25\text{m}$，

$0\sim5\text{s}$ 内起重机对物体做的功为 $W_1=Fx_1=1800\times25\text{J}=45000\text{J}$

$5\sim10\text{s}$ 内起重机保持额定功率不变，则 $5\sim10\text{s}$ 内起重机对物体做的功 $W_2=P_\text{额}t=18000\times5\text{J}=90000\text{J}$，

可得 $W_2=2W_1$，故 C 错误，D 正确。故选 D。

4．BD

【详解】A．由题意可知汽车前 30s 做匀加速直线运动，则牵引力恒定，所以 15s 末、30s 末汽车的牵引力大小之比为 1:1，故 A 错误；

B．由图可知 15s 末、30s 末的速度分别为 9m/s、18m/s，由公式 $P=Fv$ 可知，15s 末、30s 末的功率之比为 1:2，故 B 正确；

C．汽车的加速度为 $a=\dfrac{F-f}{m}=\dfrac{\frac{P}{v}-f}{m}$，所以 30s 末、54s 末的加速度之比应为 $\dfrac{a_1}{a_2}=\dfrac{\frac{P}{18}-F_\text{f}}{\frac{P}{24}-F_\text{f}}=\dfrac{4}{3}\cdot\dfrac{P-18F_\text{f}}{P-24F_\text{f}}>\dfrac{4}{3}$

故 C 错误；

D．0～30s 内，汽车发动机做功 $W_1=Fx_1=\dfrac{P}{18}\times\dfrac{30\times18}{2}=15P$，30～54s 内汽车发动机做功 $W_2=P(54-30)=24P$

所以 $\dfrac{W_1}{W_2}=\dfrac{5}{8}$，故 D 正确。故选 BD。

题型四：机车启动中的图像问题—拓展图像

【精选例题】：BC　　C

1．BC

【详解】由牛顿第二定律有$\frac{P}{v}-f=ma$，可知随着速度的增大，则赛车做加速度逐渐减小的加速直线运动，由上述公式整理得$\frac{1}{v}=\frac{m}{P}a+\frac{f}{P}$，可知图像的斜率恒定为$\frac{m}{P}$，与纵轴的截距为$\frac{f}{P}$，

结合图像可得$\frac{f}{P}=0.05$，$\frac{m}{P}=\frac{0.1-0.05}{20}$，解得 m=25kg，f=500N；代入 v=5m/s，解得 a=60m/s²

故选 BC。

2．C

【详解】AB．由图可知汽车在 AB 段汽车牵引力不变，根据牛顿第二定律$F-\frac{1}{4}mg=ma$，解得$a=2.5\text{m/s}^2$

可知汽车在 AB 段做匀加速直线运动，汽车在 BC 段牵引力逐渐减小，做加速度减小的加速运动，故汽车启动后先做匀加速直线运动，后做加速度减小的加速运动，直到速度达到最大，故 AB 错误；

C．$t_1=6\text{s}$时汽车的速度为$v_1=at_1=15\text{m/s}$，汽车额定功率为$P=Fv_1=10\times10^3\times15\text{W}=1.5\times10^5\text{W}$

汽车达到的最大速度大小为$v_\text{m}=\frac{P}{f}=\frac{P}{\frac{1}{4}mg}=\frac{1.5\times10^5}{\frac{1}{4}\times2000\times10}\text{m/s}=30\text{m/s}$，故 C 正确；

D．汽车做匀加速直线运动的位移为$x_1=\frac{1}{2}at_1^2=45\text{m}$

从启动到速度达到最大过程中，根据动能定理$P(t_2-t_1)-\frac{1}{4}mgx_2=\frac{1}{2}mv_\text{m}^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，解得$x_2=105\text{m}$

汽车通过的距离为$x=x_1+x_2=150\text{m}$，故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：B　　C

1．B

【详解】A．由图可知，汽车在速度等于10m/s前，加速度不变，故汽车是恒加速度启动的，根据匀变速直线运动的基本规律可知$t=\frac{v}{a}=\frac{10}{2}\text{s}=5\text{s}$，故 A 错误；

BD．汽车达到最大车速为40m/s，汽车开始做匀速直线运动，此时$F=\frac{P_\text{额}}{v_\text{m}}$处于平衡状态，有$F=f$

当$v=10\text{m/s}$时，汽车的加速度为$a=2\text{m/s}^2$，根据牛顿第二定律可得$\frac{P_\text{额}}{v}-f=ma$

联立解得$f=1.4\times10^3\text{N}$，$P_\text{额}=5.6\times10^4\text{W}$，故 B 正确，D 错误；

C．汽车在车速为 5m/s 时，汽车处于匀加速阶段，加速度$a=2\text{m/s}^2$，有$F-f=ma$，由$P=Fv$

解得$P=2.8\times10^4\text{W}$，故 C 错误。

故选 B。

2．C

【详解】A．在 c 点，有$P=F_\text{min}v_\text{m}=fv_\text{m}$，则根据图像可得$f=F_\text{min}=4\times10^3\text{N}$，A 错误；

B．根据图像可知汽车从 a 到 b 做匀加速直线运动，

在 b 点，由图可知牵引力与末速度分别为$F_0=5\times10^3\text{N}$，$v_0=10\text{m/s}$

由牛顿第二定律得$F_0-f=ma$；由匀加速直线运动规律得$v_0=at$

可得汽车从a到b持续的时间为$t=16\text{s}$，B错误；

C．根据$P=Fv$，整理得$v=P\frac{1}{F}$，bc反向延长过原点O，可知该过程保持额定功率恒定，

在b点有$P=F_0v_0=5\times10^4\text{W}$，汽车能够获得的最大速度为$v_\text{m}=\frac{P}{f}=\frac{5\times10^4}{4\times10^3}\text{m/s}=12.5\text{m/s}$，C正确；

D．汽车从b到c过程中汽车做加速度减小的加速运动，根据动能定理得$Pt-fl=\frac{1}{2}mv_\text{m}^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得$l=88.75\text{m}$，D错误；，故选C。

题型五：机车起动中的突变问题

【精选例题】：C　　AC

1．C

【详解】电动汽车以额定功率在平直公路上匀速行驶，则有$P=Fv=fv$，在t_1时刻突发故障使汽车的功率减小一半，由于速度来不及变化，可知此时牵引力减小为原来的一半，即牵引力小于阻力，

根据牛顿第二定律可得$a=\frac{f-F}{m}$；加速度方向与速度方向相反，汽车开始做减速运动，速度减小，导致牵引力增大，可知汽车的加速度逐渐减小，当牵引力增大到等于阻力时，加速度减少到0，又做匀速直线运动；故这段时间内汽车做加速度逐渐减小的减速运动。故选C。

2．AC

【详解】根据功率表达式：P=Fv；开始的时候$P=F_0v_0$；此时阻力等于牵引力$f=F_0$

若阻力变为原来的2倍，则汽车做减速运动，功率不变，根据P=Fv

可知，牵引力会增加，根据$f'-F=ma$

则加速度减小，当加速度再次为零时，牵引力变为原来的2倍，即$F'=2F_0$

此时速度变为$\frac{1}{2}v_0$，即该过程是加速度减小的减速运动，故AC正确，BD错误。故选AC。

【跟踪训练】：A　　B

1．A

【详解】匀速行驶时$P=F_0v_0$，此时阻力等于牵引力$f=F_0$

若t_1时刻进入另一足够长的倾斜路面，由于多了一与速度方向相反的重力下滑分力，汽车开始做减速运动，功率不变，根据P=Fv可知，牵引力会增加。

在斜面上，以沿斜面向下为正方向，根据牛顿第二定律有$-F+f+mg\sin\theta=ma$

则该过程是加速度减小的减速运动。当加速度再次为零时，有$F'=f+mg\sin\theta>F_0$

根据P=Fv可知，此时速度小于v_0。

故选A。

2．B

【详解】原来以功率P_0以速度v_0匀速行驶时，牵引力等于阻力，即$F=ft_1$时刻，功率增大到$2P_0$，由P=Fv可知，牵引力变为原来的2倍，即2F，由牛顿第二定律可得$2F-f=ma$，汽车开始做加速运动，之后随着牵引力逐渐

减小，加速度减小，当速度增大到 $2v_0$ 时，牵引力减小到与阻力相等；

t_2 时刻，功率减小到 P_0，牵引力变为原来的一半，即 $\frac{1}{2}F$，由牛顿第二定律可得 $f-\frac{1}{2}F=ma$

汽车开始做减速运动，之后随着牵引力逐渐增大，加速度减小，当速度减小到 v_0 时，牵引力增大到与阻力相等，之后维持匀速运动，B 正确。故选 B。

考点六：重力势能

题型一：概念辨析

【精选例题】：ABD　　AC

1．ABD

【详解】A．重力势能的变化，只跟物体所处的初末位置有关，与物体实际经过的路径无关，选项 A 正确；

B．重力势能的变化，只跟重力做功有关，和其他力做功多少无关，选项 B 正确；

C．重力势能是标量，当重力对物体做正功时，物体的重力势能减少，选项 C 错误；

D．重力势能是物体和地球系统共有的，而不是物体单独具有的，选项 D 正确。

故选 ABD。

2．AC

【详解】AC．重力势能的变化只跟物体所处的初、末位置有关，与物体实际经过的路径无关，且物体重力势能的大小与零势能参考面的选取有关，所以放在地面上的物体重力势能不一定为零，故 AC 正确；

B．若物体在零势能参考面的上方，则物体与参考平面的距离越大，它的重力势能越大；反之，若物体在零势能参考面的下方，则物体与参考平面的距离越大，它的重力势能越小，故 B 错误；

D．一个物体的重力势能从 −10J 变化到 4J，重力势能增加，故 D 错误。

故选 AC。

【跟踪训练】：AC　　C

1．AC

【详解】A．根据重力势能的定义可以知道，重力势能是地球和物体共同具有的，故 A 正确；

B．物体的重力势能与所选的零势能面有关，重力势能等于零的物体，高度也可以很高，也可以对别的物体做功；故 B 错误；

C．同一高度，将物体以速度 v_0 向不同的方向抛出，落地时物体下落的高度是相等的，所以物体减少的重力势能一定相等，故 C 正确；

D．物体的重力势能与所选的零势能面有关，当不是取地面为零势能面时，它的重力势能就不等于零，故 D 错误。

故选 AC。

2．C

【详解】A．根据 $E_p=mgh$ ，质量大的物体，重力势能不一定大，重力势能还与物体到零势能面的高度有关，

A 错误；

B．根据 $E_p=mgh$，被举得高的物体，重力势能不一定大，重力势能还与物体的质量有关，B 错误；

CD．重力做负功，重力势能一定增加，不可能减少，C 正确，D 错误。

故选 C。

题型二：重力做功与重力势能的关系

【精选例题】：AC　　B　　C　　A

1．AC

【详解】AB．足球在空中运动时只受重力，所以加速度为重力加速度，保持不变，故 B 错误，A 正确；

CD．足球在某一高度 h 所具有的重力势能为 $E_p = mgh$，即重力势能 E_p 与高度 h 成正比，故 D 错误，C 正确。

故选 AC。

2．B

【详解】A．若以桌面为参考平面，小球在 A 点的重力势能为 $E_P = mgH = 20\text{J}$，A 错误；

B．若以桌面为参考平面，小球在桌面上的重力势能为 $E_P = 0\text{J}$，B 正确；

C．若以桌面为参考平面，小球在 B 点的重力势能为 $E_P = -mgh = -16\text{J}$

整个下落过程中重力势能的减少量为 $\Delta E_P = mg(H+h) = 36\text{J}$，C 错误；

D．若改变所选择的参考平面，根据 $E_P = mgh$，则小球在 A、B 点的重力势能改变，D 错误。

故选 B。

3．C

【详解】A．上山过程李华克服重力做功，其重力势能增大，故 A 错误；

B．重力做功的多少与李华爬山的路径无关，与初末位置的高度差有关，故 B 错误；

C．从山顶至山底的过程，重力对李华做功的功率为 $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{mgh}{t_2}$，故 C 正确；

D．重力势能的变化与参考平面的选取无关，故 D 错误。

故选 C。

4．A

【详解】A．重力做功为 $W_G = mgh = 0.6\times10\times(4.5-2.0) = 15\text{J}$，故 A 正确；

B．若以抛出点为参考平面，球被抢到时的重力势能为 $E_p = -mg(h-h_1) = -0.6\times10\times(4.5-2)\text{J} = -15\text{J}$，故 B 错误；

C．重力做正功，重力势能减小，故重力势能减少了 15J，故 C 错误；

D．重力势能的变化与重力做功对应，与参考平面的选取无关。故 D 错误。

故选 A。

【跟踪训练】：D　　A　　AC　　B

1．D

【详解】A．以地面为参考平面，小球在 A 点的重力势能 $E_p = mg(h_1+h_2) = 20\text{J}$，A 错误；

B．以桌面为参考平面，小球在 B 点的重力势能　$E_p = -mgh_2 = -8\text{J}$，B 错误；

C．以桌面为参考平面，从 A 点到 B 点的过程中，重力做功$W=mg\left(h_1+h_2\right)=20\text{J}$，

重力势能改变量$W=-\Delta E_{\text{p}}$，$\Delta E_{\text{p}}=-20\text{J}$，C 错误；

D．从 A 点到 B 点的过程中，重力做功$W=mg\left(h_1+h_2\right)=20\text{J}$，重力势能改变量$W=-\Delta E_{\text{p}}$，$-\Delta E_{\text{p}}=20\text{J}$

从 A 点到 B 点的过程中，重力势能的减少量一定为 20J，与参考平面无关，D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】CD．小球沿不同的轨道由同一位置滑到水平桌面，下降的竖直高度都相同，所以重力做功一样多，故 CD 错误；

AB．重力势能的变化量与零势能面的选取无关，重力做的正功就等于重力势能的减小量，重力做功为mgh，重力势能的减少量为mgh，故 B 错误，A 正确。

故选 A。

3．AC

【详解】AB．重力做功与物体的运动路径无关，只与物体初、末位置的高度差有关，从 A 到 B 的高度差是 H，所以皮球所受重力做的功为$W_{\text{G}}=mgH$，故 A 正确，B 错误；

CD．由重力势能和重力做功的关系可知，从 A 到 B 重力势能变化为$\Delta E_{\text{p}}=-W_{\text{G}}=-mgH$

即皮球的重力势能减少mgH，故 C 正确，D 错误；

故选 AC。

4．B

【详解】A．当v_0一定时，α角越大，竖直速度越大，则小鸟在空中运动时间越长，选项 A 错误；

B．小鸟从开始到上升到最高点的过程中增加的势能为$\Delta E_P=mgh=mg\dfrac{(v_0\sin\alpha)^2}{2g}=\dfrac{1}{2}m{v_0}^2\sin^2\alpha$

选项 B 正确；

C．当α角一定时，v_0越小，竖直速度越小，则在空中的时间越小，

根据$x=v_0\cos\alpha\cdot t$可知其水平射程越短，选项 C 错误；

D．若$\alpha=0°$，则$h=\dfrac{1}{2}gt^2$，$L=v_0t$；可知要想击中目标，初速度应满足$v_0=L\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$，选项 D 错误。

故选 B。

题型三：非质点及流体的重力势能

【精选例题】： A　　2．(1)$-\dfrac{1}{8}mgL\left(1+\sin\theta\right)$，$-\dfrac{1}{2}mgL$；(2)$\dfrac{1}{8}mgL\left(3-\sin\theta\right)$

1．A

【详解】由题意可知，PM 段细绳的重力势能不变，MQ 段细绳的重心升高了$\dfrac{l}{6}$，

则重力势能增加$\Delta E_{\mathrm{p}}=\frac{2}{3}mg\cdot\frac{l}{6}=\frac{1}{9}mgl$

故选 A。

2．(1)$-\frac{1}{8}mgL(1+\sin\theta)$，$-\frac{1}{2}mgL$；(2)$\frac{1}{8}mgL(3-\sin\theta)$

【详解】（1）开始时，左边一半链条的重力势能为$E_{\mathrm{p1}}=-\frac{m}{2}g\cdot\frac{L}{4}\sin\theta=-\frac{1}{8}mgL\sin\theta$

右边一半链条的重力势能为$E_{\mathrm{p2}}=-\frac{m}{2}g\cdot\frac{L}{4}=-\frac{1}{8}mgL$

左、右两部分总的重力势能为$E_{\mathrm{p}}=E_{\mathrm{p1}}+E_{\mathrm{p2}}=-\frac{1}{8}mgL(1+\sin\theta)$

最后链条从右侧刚好全部滑出时，重力势能$E_{\mathrm{p}}'=-\frac{1}{2}mgL$

（2）重力势能减少了$\Delta E_{\mathrm{p减}}=E_{\mathrm{p}}-E_{\mathrm{p}}'=\frac{1}{8}mgL(3-\sin\theta)$

【跟踪训练】：A　　C

1．A

【分析】链条状物体求重力势能需要看重心到零势能面的距离，重力做的正功等于重力势能的减少量。

【详解】A．取桌面为零势能面，则初始位置甲图的重力势能为$E_{\mathrm{p1}}=-\frac{mgL}{4}$

离开桌面时整体重力势能为$E_{\mathrm{p2}}=-mgL$，则甲装置重力势能减少了$\frac{3}{4}mgL$，故 A 正确；

B．小球下降高度为$\frac{L}{2}$，所以乙装置重力势能减少了$\frac{mgL}{2}$，故 B 错误；

C．重力做的正功等于重力势能减少量，所以甲重力做功大于乙重力做功，故 C 错误；

D．甲重力势能减少量大于乙重力势能减少量，故 D 错误；

故选 A。

2．C

【详解】设桌面为零势能面，开始时链条的重力势能为$E_{1}=-\frac{1}{4}mg\cdot\frac{1}{8}L=-\frac{1}{32}mgL$

当链条刚脱离桌面时的重力势能$E_{2}=-mg\cdot\frac{1}{2}L=-\frac{1}{2}mgL$

所以重力势能的变化量$\Delta E=E_{2}-E_{1}=-\frac{5}{32}mgL$，故 C 符合题意，ABD 不符合题意。

考点七：弹性势能

题型一：概念辨析

【精选例题】：B

1．B

【详解】AB．发生弹性形变的物体，恢复形变的过程能够对外做功，即具有弹性势能，故 A 错误，B 正确；

C．弹性势能可以与其他形式的能相互转化，如撑竿跳高过程中撑竿的弹性势能与其他形式的能之间的转化，故

C 错误；

D．弹性势能在国际单位制中的单位是焦耳，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：BD　　B

1．BD

【详解】A．由牛顿第三定律，运动员撑杆上升的过程中，杆对运动员的弹力等于运动员对杆的弹力，故 A 错误；

B．运动员越过横杆后在空中运动的过程中，只受重力作用，加速度为重力加速度，加速度方向向下，处于失重状态，故 B 正确；

C．运动员撑杆上升的过程中，撑杆先被压缩后还原至原长，撑杆的弹性势能先增大后减小，故 C 错误；

D．运动员经过最高点越过横杆时，水平速度不为零，故速度不为零，故 D 正确。

故选 BD。

2．B

【详解】AB．弹力做正功，弹簧要恢复原长，弹簧的弹性势能将减小，弹力做负功，弹簧要被压缩或是拉升，弹簧的弹性势能将增加，故 A 错误，B 正确；

C．重力做功与物体的路径无关只与物体的始末位置有关，故 C 错误；

D．重力势能与零势能点的选取有关，但重力势能的改变量与零势能点的选取无关，重力做正功重力势能减小，重力做负功重力势能增加，且始终有$W_G = mgh = -\Delta E_p$,故 D 错误。

故选 B。

题型二：弹力做功与弹力势能的关系

【精选例题】：ABC　　BC

1．ABC

【详解】AB．整个过程中，人向下运动，重力与运动方向相同，重力一直做正功，重力势能一直减小，故 AB 正确；

CD．人从高空落下到弹性绳子达到原长的过程中，弹性绳子不做功，此后弹力与运动方向相反，弹性绳子一直做负功，弹性势能一直增加，故 C 正确，D 错误。

故选 ABC。

2．BC

【详解】A．物体由 A 向 O 运动的过程中，弹簧对物块弹力向左，物块对弹簧的力向右，物块对弹簧做负功，弹性势能逐渐减小，故 A 错误；

B．物体由 O 向 A′运动的过程中，弹簧对物块弹力向右，物块对弹簧的力向左，物块对弹簧做正功，弹性势能逐渐增加，故 B 正确；

C．在 A、A′两处关于 O 点对称，弹簧的型变量大小相等，弹性势能相等，故 C 正确；

D．弹性势能的大小与选取零势能面有关，故 D 错误。

故选 BC。

【跟踪训练】：ABD　　B　　C

1．ABD

【详解】A．由$F=kx$知弹簧的弹力大小与弹簧的压缩量成正比，故A正确；

B．弹簧开始被压缩时弹力较小，发生相同的位移时弹力做的功较少，弹簧的压缩量变大时，物体向墙壁运动相同的位移，弹力做的功较多，故B正确；

CD．物体压缩弹簧的过程，弹簧的弹力与弹力作用点的位移方向相反，所以弹力做负功，弹性势能增加，故C错误，D正确。

故选ABD。

2．B

【详解】AB．在重物由A点摆向最低点B的过程中，重物的高度下降，重物的重力势能减小，重力对重物做正功；弹簧伸长，弹簧的弹力对重物做负功，根据功能原理知，小球的机械能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量，故A错误，B正确；

C．在O点正下方B点时，弹簧伸长，重物向下运动，重力的功率不为零，故C错误；

D．若用与弹簧原长相等的不可伸长的细绳代替弹簧后，重力做功的功率先增大后减小，故D错误。

故选B。

3．C

【详解】设弹簧的劲度系数为k，则弹簧形变量为x时，弹力大小为$F=kx$

假设$PQ=QO=x_0$，则在PQ段，弹簧对该物块所做的功为$W_1=\frac{k\cdot 2x_0+kx_0}{2}\cdot x_0=\frac{3}{2}kx_0^2$

在QO段，弹簧对该物块所做的功$W_2=\frac{kx_0}{2}\cdot x_0=\frac{1}{2}kx_0^2$；联立可得$\frac{W_1}{W_2}=3$

故选C。

第十一讲：动能定理

考点一：动能

题型一：概念辨析

【精选例题】：D

1．D

【分析】由 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知，物体的动能由物体的质量和物体的速度大小共同决定。

【详解】A．物体做曲线运动时，其速度大小有可能不变，如匀速圆周运动，若物体的质量也不变，则其动能也不变，故 A 错误；

B．速度为矢量，速度变化大，速度大小的变化不一定大，其动能变化不一定大，故 B 错误；

C．两物体的动能相同，若两物体的质量不相等，则其速度大小不相同，故 C 错误；

D．洒水车在匀速向前喷水的运动过程中，洒水车的总质量变小，故洒水车的速度不变，质量变小，洒水车的动能在减小，故 D 正确；

故选 D。

【跟踪训练】：C　　C

1．C

【详解】A．动能的表达式为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，即物体的动能大小由质量和速度大小共同决定，速度大的物体的动能不一定大，故 A 错误；

B．若物体质量不变，速度加倍，根据 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知该物体的动能变为原来的 4 倍，故 B 错误；

C．做匀速圆周运动的物体的速度大小不变，根据 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知，物体动能保持不变。故 C 正确；

D．物体质量一定，且动能就不变，根据 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知，物体的速度大小不变，但速度是矢量，方向可能改变，即速度可能改变，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】A．物体做变速运动，当速度大小一定，方向改变时，物体动能不变，故 A 错误；

B．物体的动能不变，则物体速度大小不变，当速度方向改变时，速度的变化量不等于 0，加速度不为 0，此时所受合力不为零，故 B 错误；

C．如果物体所受合力为零，根据功的定义式可知，合力对物体做的功一定为零，故 C 正确；

D．当合力方向始终与速度方向垂直时，合力对物体所做的功为零，此时合力不一定为零，故 D 错误。

故选 C。

题型二：动能基础计算

【精选例题】：B　　B　　D　　C

1．B

【详解】物体的动能表达式为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知，当物体的质量减半，速度增大到原来的 2 倍，则它的动能是原来

的 2 倍。

故选 B。

2．B

【详解】由题意可知卫星在轨道上运动时，万有引力提供向心力，设地球半径为 R，有 $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{v^2}{(R+h)}$

化简后可得 $mv^2=\frac{GMm}{R+h}$；又因为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{2(R+h)}$，所以可知 E_k 随 h 的增大非线性减小。

故选 B。

3．D

【详解】小球做斜抛运动，竖直方向做竖直上抛运动，水平方向做匀速直线运动，当小球运动到最高点时，小球竖直分速度恰好减为 0，小球的速度恰好等于水平分速度，则在最高点小球的速度为 $v_x=v_0\cos 30^\circ$

此时小球的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv_x^2$，解得 $E_k=\frac{3}{8}mv_0^2$

故选 D。

4．C

【详解】A．由于两次篮球垂直撞在竖直墙面上，篮球被抛出后的运动可以看作是平抛运动的逆反运动，加速度都为 g，在竖直方向上 $h=\frac{1}{2}gt^2$，因为 $h_1>h_2$；则 $t_1>t_2$，故 A 错误；

B．根据 $v_y=gt$，由于 $t_1>t_2$，则 $v_{y1}>v_{y2}$，两次抛出的初速度竖直分量不相等，故 B 错误；

C．水平方向根据 $x=v_0t$，可得 $v_{01}<v_{02}$；又 $v_{y1}>v_{y2}$，根据运动的合成可知两次抛出的初速度大小可能相等，则动能可能相等，故 C 正确；

D．根据 $\Delta v=g\cdot\Delta t$ 可知两次运动速度变化 $\Delta v_1>\Delta v_2$，故 D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：D　　A　　C　　B

1．D

【详解】从 A 到 B 做匀速直线运动，则加速度一直为零，处于平衡状态，速度不变，动能不变，整个过程中高度一直下降，则重力势能一直减小，选项 ABC 错误，D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】ABCD．根据向心力公式 $F=m\frac{v^2}{R}$，把上式代入动能定理公式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 中,得 $E_k=\frac{1}{2}FR$

把两物体运动半径之比为 2∶3，受到向心力之比为 3∶2，代入上式得动能之比是 1：1

故选项 BCD 错误，选项 A 正确。

故选 A。

3．C

【详解】B．由图乙可知，沙包 2 做斜上抛运动，沙包 1 做平抛运动，两者竖直位移相同，对沙包 1 有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$，

对沙包 2，令其初速度与水平方向夹角为 θ，则有 $h=-v_2\sin\theta\cdot t_2+\frac{1}{2}gt_2^2$，结合上述式可知 $t_2>t_1$

即沙包 2 从抛出点到落地点运动的时间大于沙包 1 从抛出点到落地点运动的时间，故 B 错误；

A．沙包 1 与沙包 2 从抛出点到落地点运动的水平位移相同，由于沙包 2 的运动时间大于沙包 1，根据 $x=v_xt$ 可知，沙包 2 的水平速度小于沙包 1，故 A 错误；

C．根据上述可知，沙包 2 的水平速度小于沙包 1，而沙包 2 的水平速度为其初速度的水平分速度，因此抛出时沙包 1 和沙包 2 的初速度有可能大小相等，又因为两沙包相同，则初动能有可能相等，从抛出点到落地点，两次竖直高度相同，由动能定理可知，到达落地点时，两沙包的动能可能相等，故 C 正确；

D．根据平抛运动与斜抛运动竖直方向分运动规律可知，两沙包落地过程，

在竖直方向有 $v_{y1}^2=2gh$，$v_{y2}^2-\left(v_2\sin\theta\right)^2=2gh$，则有 $v_{y1}<v_{y2}$

根据瞬时功率的关系式有 $P=mgv_y$ 可知落地时沙包 2 重力的瞬时功率大于沙包 1 重力的瞬时功率，故 D 错误。

故选 C。

4．B

【详解】A．经过 Q 点时，排球的高度相同，则重力势能相等，故 A 错误；

B．从最高点到 Q 点，根据平抛运动规律有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$x=v_0t$，可知排球沿轨迹 2 在最高点的速度大于排球沿轨迹 1 在最高点的速度，则排球沿轨迹 2 运动经过最高点时动能大于排球沿轨迹 1 运动经过最高点时动能，故 B 正确；

C．从最高点到 Q 点，竖直方向有 $v_y=gt$，可知沿轨迹 2 运动经过 Q 点竖直方向的速度较小，

根据 $P=mgv_y$，可知排球沿轨迹 2 运动相比沿轨迹 1 运动经过 Q 点时重力的瞬时功率小，故 C 错误；

D．从最高点到 Q 点，重力做功的平均功率为 $\overline{P}=\frac{mgh}{t}=\frac{mg^2t}{2}$，可知排球沿轨迹 2 运动相比沿轨迹 1 运动从最高点到 Q 点重力做功的平均功率小，故 D 错误。

故选 B。

题型三：动能变化量

【精选例题】：D　　AD

1．D

【详解】以弹回的速度方向为正方向，则小球碰墙过程中的速度变化为 $\Delta v=5\text{m/s}-(-5)\text{m/s}=10\text{m/s}$

小球碰墙过程中的动能变化为 $\Delta E_k=\frac{1}{2}\times0.1\times5^2\text{J}-\frac{1}{2}\times0.1\times5^2\text{J}=0$

故选 D。

2．AD

【详解】AB．在 OA、AB、BC 三个过程中沿 y 轴方向的距离相等，且竖直方向做匀速直线运动，故 OA、AB、BC 三个过程所用时间相等，设为 t，设物体水平方向加速度为 a，

则有 $v_{yO}=v_{yA}=v_{yB}=v_{yC}=v$，$v_{xA}=at$，$v_{xB}=a2t$，$v_{xC}=a3t$

故有 $v_O=\sqrt{0+v^2}=v$，$v_A=\sqrt{(at)^2+v^2}$，$v_B=\sqrt{(a2t)^2+v^2}$，$v_C=\sqrt{(a3t)^2+v^2}$

故而在 OA、AB、BC 三个过程中动能变化量分别为

$\Delta E_{k1}=\frac{1}{2}mv_A^2-\frac{1}{2}mv_O^2=\frac{1}{2}m(at)^2$，$\Delta E_{k2}=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2=\frac{3}{2}m(at)^2$，$\Delta E_{k3}=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{5}{2}m(at)^2$

故而 $\Delta E_{k1}:\Delta E_{k2}:\Delta E_{k3}=1:3:5$，故 A 正确，B 错误；

CD．在 OA、AB、BC 三个过程中速度变化量分别为

$\Delta v_1=\sqrt{(v-v)^2+(at-0)^2}=at$，$\Delta v_2=\sqrt{(v-v)^2+(a2t-at)^2}=at$，$\Delta v_3=\sqrt{(v-v)^2+(a3t-a2t)^2}=at$

故而 $\Delta v_1:\Delta v_2:\Delta v_3=1:1:1$，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

【跟踪训练】：B　　AD

1．B

【详解】A．功是标量，负号表示克服力做功，不是表示大小，故 A 错误；

B．重力势能是标量，负号表示重力势能的大小，则 $-2J>-5J$，故 B 正确；

C．动能是标量，物体动能的变化量也是标量，负号表示动能减小了，不是表示大小，故 C 错误；

D．加速度是矢量，负号表示方向，不是表示大小，故 D 错误。

故选 B。

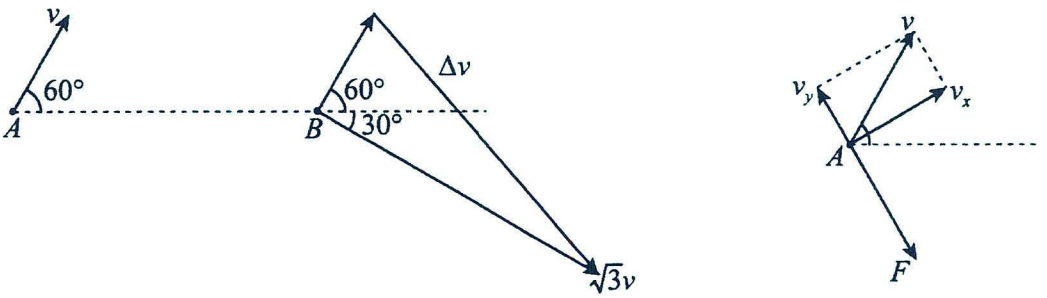
2．AD

【详解】A．物体从 A 点运动到 B 点动能变化量为 $\Delta E_k=\frac{1}{2}m\left(\sqrt{3}v\right)^2-\frac{1}{2}mv^2=mv^2$，故 A 正确；

BC．速度为矢量，则根据题意可知初速度的方向与末速度的方向之间的夹角为 90°，做出其矢量图，如图所示

根据矢量的合成法则可得速度的变化量为 $\Delta v=\sqrt{v^2+\left(\sqrt{3}v\right)^2}=2v$，其速度变化量的方向与 AB 成 60° 角，

而根据题意可知，该恒力即为物体所受合外力，则恒力方向与速度变化量方向相同，故 BC 错误；



D．根据以上分析，将初速度分解为竖直恒力方向的运动和沿着恒力水平方向的运动，其分解图如图所示

可知，当分速度 v_y 减为零时速率最小，此时只有垂直恒力方向的分速度 v_x，

根据几何关系可得最小速率 $v_x=v\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}v$，故 D 正确。

故选 AD。

考点二：动能定理

题型一：概念辨析

【精选例题】：B　　BD

1．B

【详解】A．合外力的功为零，可能是合外力为零，也可能是位移为零，还可能是力和位移垂直，故 A 错误；

B．合外力为零，合外力的功一定为零，故 B 正确；

C．物体做变速运动，可能是速度方向发生变化，大小不变，动能不一定变化，故 C 错误；

D．物体动能不变时，合外力不做功，合外力不一定为零，故 D 错误。

故选 B。

2．BD

【详解】A．在某过程中，外力做的总功等于各个力单独做功的代数和，故 A 错误；

B．动能定理既适用于直线运动，又适用于曲线运动，故 B 正确；

C．有力对物体做功，但如果合力对物体做功为 0，则物体的动能保持不变，故 C 错误；

D．动能定理既适用于恒力做功，又适用于变力做功，故 D 正确。

故选 BD。

【跟踪训练】：BC　　BC

1．BC

【详解】A．物体做变速运动，合外力一定不为 0，但动能不一定变化，比如物体做匀速圆周运动时，故 A 错误；

B．根据动能表达式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知物体的动能不变，则速率也不变，故 B 正确；

C．若物体的合外力做功，根据动能定理可知，物体的动能发生变化，则速度大小一定发生改变，故 C 正确；

D．物体具有动能，是因为物体有一定的速度，不是因为力对物体做了功，故 D 错误。

故选 BC。

2．BC

【详解】AB．力是改变物体速度的原因，物体做变速运动时，合外力一定不为零，但合外力不为零时，做功可能为零，例如做匀速圆周运动的物体，故动能可能不变，故 A 错误，B 正确；

C．根据动能定理可知物体合外力做功，它的动能一定变化，速度大小也一定变化，故 C 正确；

D．物体的动能不变，所受合外力做功一定为零，但合外力不一定为零，例如匀速圆周运动，故 D 错误。

故选 BC。

题型二：简单应用

【精选例题】：B

1．B

【详解】根据动能定理可得 $\Delta E_k=W_{合}=-10\text{J}$，可知动能减少了 10J。

故选 B。

【跟踪训练】：A　　D

1．A

【详解】该过程对滑雪运动员应用动能定理有$W_G+W_f=E_k-0$，解得$E_k=W_G+W_f=2000J-1500J=500J$

即滑雪运动员的动能增加了 500J。

故选 A。

2．D

【详解】A．由$v-t$图像可知，在1s～3s内，物体的速度不变，故物体的动能不变，根据动能定理可知合力对质点不做功，故 A 错误；

B．在0～1s，物体的速度减小，故动能减小，根据动能定理可知合力对质点做负功，故 B 错误；

C．在0～1s速度减小，动能减小，故合外力做负功，而3s～4s内，动能增大，故合力对质点做的正功，所以合力对质点所做的功不相同，故 C 错误；

D．由图可知，0～4s内的初末速度相同，故动能的变化量为零，由动能定理可知，合力对质点做的功为零，故 D 正确。

故选 D。

题型三：应用动能定理解决匀变速直线运动

【精选例题】：C　　AD

1．C

【详解】对物块进行分析，根据动能定理有$W_F+W_f=\frac{1}{2}mv^2$，解得$W_f=-3J$，故选 C。

2．AD

【详解】A．人对物体做的功等于物体增加的机械能，即人对物体做的功为$W=E_k+E_p=\frac{1}{2}mv^2+mgh=21J$

故 A 正确；

BC．物体的动能增加量为$\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2-0=1J$，根据动能定理合外力对物体做的功为 1J，故 BC 错误；

D．在这一过程中人克服重力做功$W_G=mgh=2\times10\times1J=20J$，物体的重力势能增加 20J，故 D 正确。

故选 AD。

【跟踪训练】：A　　2．(1)0.2s；(2)$\frac{\sqrt{34}}{34}$

1．A

【详解】从 h 高度下落的过程中，根据动能定理$mgh-fh=\frac{1}{2}m(\sqrt{v^2-gh})^2-\frac{1}{2}mv^2$，解得阻力大小$f=\frac{3}{2}mg$

故选 A。

2．(1)0.2s，(2)$\frac{\sqrt{34}}{34}$

【详解】（1）根据竖直上抛运动规律可知，从起跳到最高点的时间与从最高点下落到起跳点的时间相等，

则有$h=\frac{1}{2}gt^2$；解得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=0.2s$

（2）从起跳到最高点，根据动能定理可得$-(mg+0.2mg)h=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

可得$v_0=\sqrt{2.4gh}=\sqrt{2.4\times10\times0.2}\text{m/s}=\sqrt{4.8}\text{m/s}$

从最高点到入水，根据动能定理，则有$(mg-0.2mg)h'=\frac{1}{2}mv^2-0$

可得$v=\sqrt{1.6gh'}=\sqrt{1.6\times10\times(0.2+10)}\text{m/s}=\sqrt{163.2}\text{m/s}$

联立解得$\frac{v_0}{v}=\frac{\sqrt{4.8}}{\sqrt{163.2}}=\frac{\sqrt{34}}{34}$

题型四：应用动能定理解决曲线运动问题

【精选例题】：C　　36．(1)30 N，方向竖直向下；(2)1 s，1 m

1．C

【详解】根据题意，设该过程中小球克服摩擦阻力做功为W，从释放到最高点，由动能定理有$mgh-W=\frac{1}{2}mv^2$

在最高点，由牛顿第二定律有$mg=m\frac{v^2}{R}$，联立代入数据解得$W=0.15\text{J}$

故选 C。

2．(1)30 N，方向竖直向下；(2)1 s，1 m

【详解】（1）设滑块滑到 B 点时的速度为 v，从 A 到 B 由动能定理得$mgR=\frac{1}{2}mv^2-0$

在 B 点时，由牛顿第二定律得$F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$；解得 v = 2 m/s，$F_N=30\text{ N}$

根据牛顿第三定律可知，滑块对 B 点的压力$F_N'=F_N=30\text{N}$，方向竖直向下

（2）滑块从 B 到 C 做减速运动的加速度大小为$a=\mu g=2\text{m/s}^2$

运动时间$t=\frac{v}{a}=1\text{s}$，运动距离$s=\frac{v}{2}t=1\text{m}$

【跟踪训练】：CD　　2．(1)$4\sqrt{5}\text{m/s}$；(2)60N

1．CD

【详解】A．重力做功$W_G=mgh=0.6\times10\times5\text{J}=30\text{J}$，故 A 错误；

B．物体竖直方向上有$h=\frac{1}{2}gt^2$，得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=1\text{s}$，重力做功的平均功率是$\overline{P}=\frac{W}{t}=\frac{30}{1}\text{W}=30\text{W}$，故 B 错误；

C．落地瞬间物体竖直方向速度 vy 为$v_y=gt=10\text{m/s}$

着地前瞬间重力做功的瞬时功率为$P=mgvy=0.6\times10\times10\text{W}=60\text{W}$，故 C 正确；

D．由动能定理知，物体动能的变化量等于重力所做的功，为 30J，故 D 正确。

故选 CD。

2．(1)$4\sqrt{5}\mathrm{m/s}$，(2)60N

【详解】（1）开始到P点物体做平抛运动，竖直方向有$v_y^2=2gH$，从P点沿切线进入圆轨道，则有$v_P=\dfrac{v_y}{\sin 60°}$

联立解得滑块A到达P点的速度大小为$v_P=4\sqrt{5}\mathrm{m/s}$

（2）从P点到圆弧最低点，由动能定理得$mgR\left(1-\cos 60°\right)=\dfrac{1}{2}mv_1^2-\dfrac{1}{2}mv_P^2$，在最低点时有$F_{\mathrm{N}}-mg=\dfrac{mv_1^2}{R}$

联立可得$F_{\mathrm{N}}=60\mathrm{N}$；由牛顿第三定律可得，轨道对滑块A的支持力与滑块A对轨道的压力等大反向，故滑块A下滑至圆弧轨道最低点B点时对轨道的压力大小为$F_{\mathrm{N}}'=F_{\mathrm{N}}=60\mathrm{N}$

题型五：应用动能定理解决变力做功问题

【精选例题】：D　　B

1．D

【详解】A、B项：F为恒力时，拉力做功为：$W=Fs=FL\sin\theta$，故AB错误；

C、D项：当F缓慢地将小球拉离到与竖直方向成θ角的位置过程中，小球的速率不变，动能不变，由动能定理可得：$W_F-mgh=0$，而高度变化为：$h=L(1-\cos\theta)$，拉力做的功为：$W_F=mgL(1-\cos\theta)$，故C错误，D正确．

2．B

【详解】由题意，根据动能定理可得$W_{\mathrm{F}}-mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$，

又因$F-h$图像的图线与横轴所围成的面积表示拉力做的功，可得$W_{\mathrm{F}}=(\dfrac{1}{2}\times 2\times 10+10\times 3)\mathrm{J}=40\mathrm{J}$，

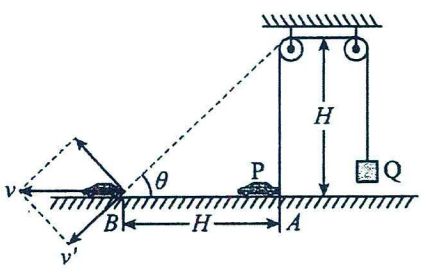
代入数据可得，物体上升3m时的速度大小为$v=10\mathrm{m/s}$

故选B。

【跟踪训练】：D　　A　　C

1．D

【详解】A．将小车的速度分解为沿绳子方向的速度以及垂直绳子方向的速度，如图



设绳子与水平方向的夹角为θ，小车沿绳方向的分速度与物块速度相等，则$v'=v\cos\theta$

小车向左运动的过程中θ逐渐减小，cosθ逐渐增大，故物块做加速运动，加速度的方向向上，所以物块处于超重状态，故A正确，不符合题意；

B．当小车运动到B点时$\tan\theta=\dfrac{H}{H}=1$，所以$\theta=45°$，则$v'=v\cos\theta=\dfrac{\sqrt{2}}{2}v$，故B正确，不符合题意；

C．当小车运动到B点时，绳与水平方向夹角$\theta=45°$，左侧的绳子的长度是$L=\sqrt{2}H$

由图可知，垂直于绳子方向的分速度为$v_{\perp}=v\sin\theta=\dfrac{\sqrt{2}}{2}v$

所以左边绳子绕定滑轮转动的角速度为$\omega=\dfrac{v_{\perp}}{L}=\dfrac{v}{2H}$，故C正确，不符合题意；

D．设此过程中绳子上的拉力对物块 Q 所做的功为 W，由动能定理得 $W-mg(\sqrt{2}H-H)=\frac{1}{2}mv'^2-0$

解得 $W=(\sqrt{2}-1)mgH+\frac{1}{4}mv^2$，故 D 错误，符合题意。

故选 D。

2．A

【详解】当与圆柱体未接触部分的细绳竖直时，小球的动能最大，此时下落的高度为 $h=R+\frac{3\pi R}{2}-\frac{2\pi R}{4}=R+\pi R$

根据动能定理有 $mgh=E_k$，解得 $E_k=(\pi+1)mgR$

故选 A。

3．C

【详解】当物块在水平面上速度减为零时，运动的距离最大，

根据动能定理可得 $Fx_m+W_f=0$，$W_f=-\bar{f}\cdot x_m=-\frac{1}{2}\mu mg\cdot x_m$；解得 $x_m=2\text{m}$

当物块的速度达到最大时，摩擦力与外力 F 大小相等，

根据动能定理可得 $Fx-\frac{F}{2}x=\frac{1}{2}mv_m^2$，$F=\mu mg$，解得 $v_m=\sqrt{5}\text{m/s}$

故选 C。

题型六：应用动能定理解决机车启动问题

【精选例题】：C　　ABD

1．C

【详解】A．汽车发动机功率保持不变，则在匀速行驶时，牵引力大小等于阻力，则发动机功率为 $P=F_{牵}v=fv$

故 A 错误；

B．汽车发动机功率保持不变，在启动过程中，速度逐渐增大，由 $P=F_{牵}v'$

可知汽车随速度的增大牵引力逐渐减小，阻力不变，由牛顿第二定律可得 $a=\frac{F_{牵}-f}{m}$

可知，加速度逐渐减小，因此汽车在启动过程中，做加速度逐渐减小的加速运动，故 B 错误；

C．在车速为 $\frac{1}{4}v$ 时，汽车的牵引力为 $F'_{牵}=\frac{P}{\frac{1}{4}v}=4f$

由牛顿第二定律可得汽车的加速度大小为 $a'=\frac{F'_{牵}-f}{m}=\frac{4f-f}{m}=\frac{3f}{m}$，故 C 正确；

D．设发动机在 t 时间内做的功为 W，根据动能定理可得 $W-fx=\frac{1}{2}mv^2-0$

由于汽车在启动过程中，做加速度逐渐减小的加速运动，则汽车的位移 $x\neq\frac{1}{2}vt$

则有 $W=fx+\frac{1}{2}mv^2\neq\frac{1}{2}fvt+\frac{1}{2}mv^2$，故 D 错误。

故选 C。

2．ABD

【详解】B．当阻力等于牵引力时，速度最大，阻力$f=F=\frac{P}{v_{\mathrm{m}}}=\frac{80000}{20}\mathrm{N}=4\times10^{3}\mathrm{N}$，故B正确；

A．$0\sim t_1$时间内$F_1-f=ma$，$v_1=\frac{P}{F_1}$，$v_1=at_1$，代入数据联立得$t_1=5\mathrm{s}$，故A正确；

C．$t_1\sim t_2$时间内速度增大，根据$F=\frac{P}{v}$，牵引力减小，加速度减小，故C错误；

D．5s～11s时间内牵引力做的功为$W_1=Pt_3$，$t_3=11\mathrm{s}-5\mathrm{s}=6\mathrm{s}$；$0\sim t_1$时间内$v_1=\frac{P}{F_1}$，位移$s=\frac{1}{2}at_1^2$

设这段时间内牵引力做功W_2，根据动能定理$W_2-fs=\frac{1}{2}mv_1^2$，以上各式联立代入数据得$W_1+W_2=6.8\times10^{5}\mathrm{J}$

故D正确。故选ABD。

【跟踪训练】：D　　BC

1．D

【详解】AB．以恒定功率P启动，由静止出发，根据$P=Fv$，$a=\frac{F-f}{m}$，速度增大，牵引力减小，加速度减小，小车先做加速度减小的变加速直线运动，当加速度减为0时，速度达到最大值，小车随后做匀速直线运动，故AB错误；

CD．小车从静止出发到刚好达到最大速度，根据动能定理有$Pt-fx=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{m}}^2$，解得$v_{\mathrm{m}}=\sqrt{\frac{2(Pt-fx)}{m}}$，$x=\frac{Pt}{f}-\frac{mv_{\mathrm{m}}^2}{2f}$

故C错误，D正确。

故选D。

2．BC

【详解】B．汽车的最大速度$v_2=90\mathrm{km/h}=25\mathrm{m/s}$，汽车所受的阻力大小为$f=\frac{P_{额}}{v_2}=\frac{75\times10^{3}}{25}\mathrm{N}=3\times10^{3}\mathrm{N}$

A．$0\sim t_1$时间内，汽车做匀加速直线运动，牵引力不变，由$P_{额}=Fv_1$，可知$F=\frac{P_{额}}{v_1}=\frac{75\times10^{3}}{72\times\frac{5}{18}}\mathrm{N}=3750\mathrm{N}$，A错误；

D．$v-t$图像与坐标轴围成的面积表示位移，$0\sim t_1$时间内，汽车的位移大小为$x_1=\frac{1}{2}\times20\times72\times\frac{5}{18}\mathrm{m}=200\mathrm{m}$，故

C．设汽车在$t_1\sim t_2$时间内位移为x_2，$t_1\sim t_2$时间内对汽车由动能定理得$P_{额}(t_2-t_1)-fx_2=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

$0\sim t_1$时间内，对汽车由动能定理得$(F-f)x_1=\frac{1}{2}mv_1^2$，又$\frac{\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2}{\frac{1}{2}mv_1^2}=\frac{9}{16}$

所以$\frac{P_{额}(t_2-t_1)-fx_2}{(F-f)x_1}=\frac{9}{16}$，上式中除$t_2$、$x_2$外都是已知量或可求量，若$t_2$已知，则可以求出$0\sim t_2$时间内汽车运动的距离$x_2$，故C正确。

故选BC。

考点三：动能定理综合应用

题型一：应用动能定理解决多过程直线运动

【精选例题】：D 2．(1)$\frac{1}{9}\tan\theta$；(2)$0.8h$；(3)$\frac{\mu_1}{\mu}\geq\frac{18}{5\tan\theta+2}$

1．D

【详解】设小球所受的空气阻力大小为f，上升的最大高度为h。

根据动能定理得上升过程有$-(mg+f)h=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，下落过程有$(mg-f)h=\frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2-0$

联立解得$f=\frac{3}{5}mg, h=\frac{5v_0^2}{16g}$，故选 D。

2．(1)$\frac{1}{9}\tan\theta$；(2)$0.8h$；(3)$\frac{\mu_1}{\mu}\geq\frac{18}{5\tan\theta+2}$

【详解】（1）设小滑块 P 滑到底端时的速度大小为v，则与 Q 碰后上滑时的速度大小为$\frac{v}{2}$，

滑块 P 下滑时$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_1$，解得$a_1=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$，则下滑时间$t_1=\frac{v}{a_1}=\frac{v}{g\sin\theta-\mu g\cos\theta}$

上滑时$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_2$，解得$a_2=g\sin\theta+\mu g\cos\theta$，上滑的时间$0.4t_1=\frac{v}{2a_2}=\frac{v}{2(g\sin\theta+\mu g\cos\theta)}$

联立解得$\mu=\frac{1}{9}\tan\theta$

（2）由动能定理可知，下滑时$mgh-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}=\frac{1}{2}mv^2$，上滑时$-mgh_1-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h_1}{\sin\theta}=0-\frac{1}{2}m(\frac{v}{2})^2$

联立解得$h_1=0.8h$

（3）小滑块 Q 在水平面滑动的距离为x，则由动能定理可知$-\mu m_Q gx=0-\frac{1}{2}m_Q(\frac{v}{2})^2$，

结合（2）可知$v^2=\frac{16}{9}gh$，解得$x=2h$

设小滑块 P 再次与 Q 碰时的速度为v'，则有$mgh_1-\mu_1 mg\cos\theta\cdot\frac{h_1}{\sin\theta}-\mu_1 mgx=\frac{1}{2}mv'^2-0\geq 0$

联立可得$\mu_1\geq\frac{0.8}{2+0.8\cot\theta}$，所以$\frac{\mu_1}{\mu}\geq\frac{18}{5\tan\theta+2}$

【跟踪训练】：B **AD** 52．(1)0.5；(2)6.25m；(3)150J

1．B

【详解】A．由动能定理可知$mg\cdot 2h-\mu mg\cos45^\circ\cdot\frac{h}{\sin45^\circ}-\mu mg\cos37^\circ\cdot\frac{h}{\sin37^\circ}=0$，解得$\mu=\frac{6}{7}$，A 错误；

B．对前一段滑道，根据动能定理有$mgh-\mu mg\cos45^\circ\cdot\frac{h}{\sin45^\circ}=\frac{1}{2}mv^2$，解得$v=\sqrt{\frac{2gh}{7}}$

故载人滑草车最大速度为$\sqrt{\frac{2gh}{7}}$，B 正确；

C．载人滑草车克服摩擦力做功为 2mgh， C 错误；

D．载人滑草车在下段滑道上的加速度大小为 $a=\dfrac{\mu mg\cos37^\circ-mg\sin37^\circ}{m}=\dfrac{3}{35}g$，D 错误。

故选 B。

2．AD

【详解】C．设停止施力瞬间重物的速度大小为 v_1，根据动能定理有 $(2F\cos37^\circ-mg)h=\dfrac{1}{2}mv_1^2$，则 $v_1=\sqrt{1.2gh}$

设重物刚落地时的速度大小为 v_2，根据动能定理有 $2F\cos37^\circ\cdot h=\dfrac{1}{2}mv_2^2$，则 $v_2=\sqrt{3.2gh}$，故 C 错误；

A．重物在空中运动过程，开始在拉力作用下做匀加速运动，速度大小达到 v_1 后做匀减速运动直至速度为零，之后再做匀加速直线运动直至速度大小为 v_2，由此可知上升过程中的平均速度大小为 $v_1=\dfrac{v_1}{2}$，下降过程中的平均速度大小为 $\overline{v_2}=\dfrac{v_2}{2}$，又由于上升、下降位移大小相等，则重物在空中上升的时间一定大于在空中下落的时间，故 A 正确；

B．重物在整个运动过程中，根据动能定理有 $W_{入}+W_G-W_{阻}=0$

则重物克服地面阻力做的功大于人对重物做的功，故 B 错误；

D．根据动能定理有 $2F\cos37^\circ\cdot h+mg\dfrac{h}{10}-F_{阻}\dfrac{h}{10}=0$，则 $F_{阻}=17mg$，故 D 正确。

故选 AD。

3．(1)0.5；(2)6.25m；(3)150J

【详解】（1）由图乙求得物块在水平面上滑行的加速度大小为 $a_2=\dfrac{5-0}{1-0}\mathrm{m/s^2}=5\mathrm{m/s^2}$

根据牛顿第二定律，有 $\mu mg=ma_2$，求得 $\mu=0.5$

（2）物块在斜面上滑行过程中，根据牛顿第二定律，有 $mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha=ma_1$，

另外 $v^2=2a_1x_{AB}$，求得 $x_{AB}=6.25\mathrm{m}$

（3）由图乙可知，物体在水平面上滑行的位移为 $x_{BC}=2.5\mathrm{m}$

将物块由 C 点拉回到 A 点，若物体到达 A 点时的速度恰好为零，则拉力所做的功最少，设为 W，该过程中，根据动能定理，有 $W-mgx_{AB}\sin\alpha-\mu mgx_{BC}-\mu mgx_{AB}\cos\alpha=0$，求得 $W=150\mathrm{J}$

题型二：应用动能定理解决多过程曲线运动

【精选例题】：

1．(1)$\dfrac{4}{3}mg$，水平向右；(2)$2\sqrt{\dfrac{R}{3g}}$；(3)8mg

2．(1)5N；(2)不能通过 D 点，不能到达 FG 轨道

3．(1)0.45m；(2)0＜R≤0.34m，R≥0.85m

1．【详解】（1）由于恒力 F 的竖直分力 $\dfrac{5}{3}mg\sin37^\circ=mg$

故力 F 与重力的合力即为 F 的水平分力，可视二者合力为等效重力 $G_{等}=\frac{5}{3}mg\cos37°=\frac{4}{3}mg$，方向水平向右。

（2）E 点为等效最高点，恰好通过 E 点有 $G_{等}=m\frac{v_E^2}{R}$

滑块通过 E 点后做竖直下抛运动，设滑块从 E 点第一次运动到斜面 AB 上的位置为点 F，

则由几何关系知 $EF=BF=\frac{R+R\sin\theta}{\cos\theta}$，$EF=v_Et+\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=2\sqrt{\frac{R}{3g}}$

（3）滑块从 C 点运动到 E 点的过程中，根据动能定理有 $-G_{等}\cdot2R=\frac{1}{2}m_E^2-\frac{1}{2}m_C^2$，解得 $v_C=2\sqrt{\frac{5gR}{3}}$

设滑块到达 C 点时，轨道对滑块的支持力大小为 F_N，则 $F_N-G_{等}=m\frac{v_C^2}{R}$，解得 $F_N=8mg$

根据牛顿第三定律知，滑块到达 C 点时对轨道的压力大小为 $F_{压}=F_N=8mg$

2．(1)5N；(2)不能通过 D 点，不能到达 *FG* 轨道

【详解】（1）滑块从出发到 C，根据动能定理 $mg(l\sin\theta-R)-\mu mgl\cos\theta=\frac{1}{2}mv_C^2-0$

在 C 点，轨道对滑块的支持力为 F_N，根据牛顿第二定律 $F_N=m\frac{v_C^2}{R}$

根据牛顿第三定律，滑块对轨道的压力 $F_N'=F_N$，联立解得 $F_N'=5N$

（2）要使滑块能越过 D 点到达 *FG* 轨道，设滑块刚发能通过 D 点，则有 $mg=m\frac{v_D^2}{R}$

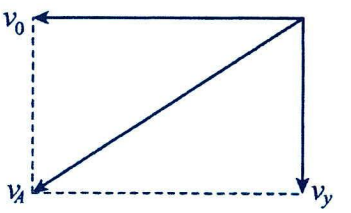
设滑块释放点到 B 点的距离为 l_0，由动能定理有 $mg(l_0\sin\theta-2R)-\mu mgl\cos\theta=\frac{1}{2}mv_D^2-0$，解得 $l_0=9m$

由于 $l'<l_0$，所以滑块不能通过 D 点，不能到达 *FG* 轨道。

3．(1)0.45m；(2)0＜R≤0.34m，R≥0.85m

【详解】（1）弹射装置将滑块弹射出去后滑块做平抛运动，恰好从 A 点沿斜面方向无碰撞进入斜面

则可知进入 A 点时竖直方向的速度与水平方向的速度关系有 $\frac{v_y}{v_0}=\tan37°$，



解得 v_y=3m/s，竖直方向做自由落体运动，有 $v_y^2=2gh$，解得 h=0.45m

（2）由平抛运动特点得 A 点速度 $v_A=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=5m/s$

滑块刚好不脱离轨道，有两种临界情况，一是刚好能够到达圆轨道最高点，二是刚好到达与圆轨道圆心等高的地方。

第一种情况：在最高点有 $mg=m\frac{v^2}{R}$

从 A 到圆轨道最高点，由动能定理 $mg(x_{AB}\sin\theta-2R)-\mu mgx_{AB}\cos\theta-\mu mgx_{BC}=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得 R=0.34m

第二种情况：从 A 到与圆心等高的位置，由动能定理 $mg(x_{AB}\sin\theta-R)-\mu mgx_{AB}\cos\theta-\mu mgx_{BC}=0-\frac{1}{2}mv_A^2$

解得 R=0.85m

则可知滑块从 A 点进入后不脱离轨道时 R 应满足，0＜R≤0.34m，R≥0.85m

【跟踪训练】:

1．(1)4m/s；(2)1.02m；(3)0.4m

2（1）3.2m；（2）76N，方向竖直向下；（3）$R'\geq 5\text{m}$或$0<R'\leq 2\text{m}$

3．(1)$\sqrt{10}$m/s；(2)3N；(3)0.125m；0.5m

1．(1)4m/s，(2)1.02m，(3)0.4m

【详解】（1）物体由C点运动到最高点，根据动能定理得$-mg\left(h+R\right)=0-\frac{1}{2}mv_C^2$，代入数据解得$v_C=4\text{m/s}$

（2）物体由A点运动到C点，根据动能定理得$mgH-\mu mgl_{BC}=\frac{1}{2}mv_C^2-0$，代入数据解得$H=1.02\text{m}$

（3）从物体开始下滑到停下，根据动能定理得$mgH-\mu mgs_1=0-0$，代入数据解得$s_1=5.1\text{m}$

由于$s_1=4l_{BC}+0.7\text{m}$，所以物体最终停止的位置到C点的距离为$s=l_{BC}-0.7\text{m}=0.4\text{m}$

2.（1）3.2m；（2）76N，方向竖直向下；（3）$R'\geq 5\text{m}$或$0<R'\leq 2\text{m}$

【详解】（1）小滑块恰好在B点沿BC轨道的切线方向滑入光滑的圆弧轨道，在B点有$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$

解得小滑块在B点的竖直分速度为$v_y=8\text{m/s}$，则A、B两点的高度差为$h_{AB}=\frac{v_y^2}{2g}=3.2\text{m}$

（2）小滑块在B点的速度大小为$v_B=\frac{v_0}{\cos\theta}=10\text{m/s}$

小滑块从B点到C点过程，根据动能定理可得$mgh=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，解得$v_C=\sqrt{140}\text{m/s}$

由几何关系可得$h=R(1-\cos\theta)$，解得$R=5\text{m}$

小滑块在C点，由牛顿第二定律可得$N-mg=m\frac{v_C^2}{R}$，解得$N=76\text{N}$

根据牛顿第三定律可知，滑块从B点滑到C点时对轨道BC的压力大小为76N，方向竖直向下。

（3）若滑块刚好能运动到圆轨道DE圆心等高处，根据动能定理有$-\mu mgL-mgR_1=0-\frac{1}{2}mv_C^2$，解得$R_1=5\text{m}$

若滑块刚好能经过圆轨道DE的最高点，由重力提供向心力得$mg=m\frac{v_{\min}^2}{R_2}$

解得在轨道最高点时的速度最小为$v_{\min}=\sqrt{gR_2}$，由动能定理$-\mu mgL-2mgR_2=\frac{1}{2}mv_{\min}^2-\frac{1}{2}mv_C^2$，解得$R_2=2\text{m}$

综上分析可知，要使滑块在轨道DE上运动时，不脱离轨道，圆轨道DE的半径应满足$R'\geq 5\text{m}$或$0<R'\leq 2\text{m}$

3．(1)$\sqrt{10}$m/s，(2)3N，(3)0.125m；0.5m

【详解】（1）小车的质量$m=50\text{g}=0.05\text{kg}$，小车由A运动至B过程，由能量关系可知$E_P=kmgL+\frac{1}{2}mv_B^2$

其中$L=1.0\text{m}$，$k=0.2$，代入数据得$v_B=\sqrt{10}\text{m/s}$

（2）小车恰好能通过竖直圆轨道BCD，设小车在C点的速度为v_C，则$mg=m\frac{v_C^2}{R}$

小车从 B 到 C，由动能定理得$-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，得$R=0.2\text{m}$

在 B 点，根据牛顿第二定律可得$F_\text{N}'-mg=m\frac{v_B^2}{R}$，联立解得$F_\text{N}'=3\text{N}$

由牛顿第三定律，小车运动至 B 点时对轨道压力大小为$F_\text{N}=F_\text{N}'=3\text{N}$

（3）小车从 B 到 P，由动能定理得$-mg\cdot 2r=\frac{1}{2}mv_P^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

小车从 P 点飞出后做平抛运动，根据平抛运动的规律可得$x=v_Pt$，$2r=\frac{1}{2}gt^2$

联立解得$x=\sqrt{-16r^2+4r}=\sqrt{-4\left(2r-\frac{1}{4}\right)^2+\frac{1}{4}}$

当$r=\frac{1}{8}\text{m}=0.125\text{m}$时，小车落地点与 P 点的水平距离最大，小车从 P 点飞出$v_P>0$，则$r<0.25\text{m}$

综合可知，当$r=0.125\text{m}$时，小车落点与 P 点水平距离最大，最大距离为$x_\text{m}=\frac{1}{2}\text{m}$

题型三：应用动能定理解决图像问题

【精选例题】：A　　C　　C　　AB

1．A

【详解】对于运动的整个过程，根据动能定理有$W_1-W_2=0$

因为拉力的作用时间小于摩擦力的作用时间，根据$P=\frac{W}{t}$可知$P_1>P_2$

因$\alpha>\beta$，结合图像可知，加速过程加速度a_1大于减速过程的加速度a_2，

根据牛顿第二定律有$F-F_\text{f}=a_1m$，$F_\text{f}=a_2m$，由于$a_1>a_2$，故有$F-F_\text{f}>F_\text{f}$，即$F>2F_\text{f}$

故选 A。

2．C

【详解】A．由题意可知，汽车所受牵引力和摩擦力的合力提供加速度，牵引力在 0~12s 是减小的，加速度在 0~12s 也是减小的，在此期间汽车做变加速运动，故 A 错误；

B．由 A 可知，汽车在 0~12s 做加速度减小的加速运动，12s 后，汽车牵引力不变，由 P=Fv 可知，汽车的速度不变，做匀速运动，故 B 错误；

C．由题意可知，12s 后，汽车做匀速直线运动，牵引力等于阻力，所以阻力大小为$2\times10^3\text{N}$，故 C 正确；

D．由题意可知，在 12s 内，由动能定理可得$Pt-fx=\frac{1}{2}mv_{12}^2-0$，$P=fv_{12}$，由于缺乏条件，无法计算$v_{12}$的大小，无法判断汽车从静止开始运动 12s 内位移，故 D 错误。

故选 C。

3．C

【详解】B．根据$kx_0=mg\sin30°$，得弹簧的劲度系数为$k=\frac{mg}{2x_0}$，故 B 错误；

A．小球运动到最低点时，根据动能定理$mg\sin30°x=\frac{1}{2}kx^2$，得$x=2x_0$

所受弹簧弹力大小为$F=kx=mg$，故 A 错误；

C．当弹簧伸长量为x_0时，动能最大，根据动能定理$mg\sin 30°x_0-\frac{1}{2}kx_0^2=\frac{1}{2}mv_m^2-0=E_{km}$，

得$E_{km}=\frac{mgx_0}{4}$，故 C 正确；

D．弹簧拉伸量为x_0时，弹性势能为$E_p=\frac{1}{2}kx_0^2=\frac{mgx_0}{4}$，故 D 错误。

故选 C。

4．AB

【详解】A．由图乙可知，小物块上滑的最大距离为$L=\frac{h}{\sin 37°}=\frac{3}{0.6}\text{m}=5\text{m}$，故 A 正确；

B．由图乙，全程根据动能定理得$-f\cdot\frac{h}{\sin 37°}\times 2=20\text{J}-40\text{J}$，解得小物块所受的摩擦力大小为$f=2\text{N}$，故 B 正确；

C．小物块上滑过程中根据动能定理得$-mgh-f\cdot\frac{h}{\sin 37°}=0-40\text{J}$，解得小物块质量为$m=1\text{kg}$，故 C 错误；

D．根据$f=\mu mg\cos 37°=2\text{N}$，解得动摩擦因数为$\mu=0.25$，故 D 错误。

故选 AB。

【跟踪训练】：BD　　ACD　　AB　　AD

1．BD

【详解】A．若为 x–t 图像，其斜率表示速度，则物体速度保持不变，A 错误；

B．若为 a-t 图像且物体初速度为零，则图像与坐标轴所围的面积表示速度的变化量。

所以物体的最大速度为$v_{max}=\Delta v=\frac{mn}{2}$，B 正确；

C．若为 v-x 图像，假设物体做匀变速直线运动，则有$2ax=v^2-v_{max}^2$

即对于匀变速直线运动，其 v-x 图像不可能是一次函数图像，C 错误；

D．若为 a–x 图像且物体初速度为零，由动能定理有$\frac{1}{2}m_0v_{max}^2-0=\sum F\cdot x=\sum m_0ax=\frac{m_0mn}{2}$

即$v_{max}^2=mn$，所以物体的最大速度为，$v_{max}=\sqrt{mn}$，D 正确。

故选 BD。

2．ACD

【详解】A．由动能定理可知$F_{合}\cdot\Delta h=\Delta E_k$，故有$F_{合}=\frac{\Delta E_k}{\Delta h}$

结合图像可得，上升的过程中$mg+f=12\text{N}$，下落的过程中$mg-f=6\text{N}$，解得$m=0.9\text{kg}$，A 正确；

B．抛出时小球的动能$E_{k0}=\frac{1}{2}mv_0^2$，代入数据解得$v_0=\sqrt{\frac{1000}{9}}\text{m/s}$，B 错误；

C．小球上升到最大高度时速度为 0，根据动能定理可知$-(mg+f)\cdot h_{max}=0-E_{k0}$，解得$h_{max}=\frac{50}{12}\text{m}=\frac{25}{6}\text{m}$，C 正确；

D．根据上述分析可知，由牛顿第二定律可知，上升时的加速度$mg+f=ma$同理可知下落时的加速度$mg-f=ma'$

解得$a:a'=2:1$；即小球上升过程与下落过程加速度的比值为 2，D 正确。

故选 ACD。

3．AB

【详解】A．根据$F-x$图像的面积表示力做功，可知推力对物体做的功为$W_{\mathrm{F}}=\frac{1}{2}\times(2+10)\times80\mathrm{J}=480\mathrm{J}$故A正确；

B．设物体整个运动过程的位移大小为x_0，根据动能定理可得$W_{\mathrm{F}}-\mu mgx_0=0$，解得$x_0=12\mathrm{m}$，故B正确；

C．在推力不变，物体的加速度大小不变；当推力开始减小时，一开始推力大于摩擦力，物体的加速度逐渐减小；当推力等于摩擦力时，物体的加速度为0，之后推力小于摩擦力，物体的加速度反向逐渐增大，撤去推力后，物体的加速度大小保持不变，故C错误；

D．当推力等于摩擦力时，物体速度最大，则有$F=\mu mg=40\mathrm{N}$

结合$F-x$图像可知此时$x=6\mathrm{m}$，根据动能定理可得$W_{\mathrm{F}}'-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{m}}^2-0$

其中$W_{\mathrm{F}}'=80\times2\mathrm{J}+\frac{1}{2}(80+40)\times4\mathrm{J}=400\mathrm{J}$，解得最大速度为$v_{\mathrm{m}}=2\sqrt{10}\mathrm{m/s}$，故D错误。

故选AB。

4．AD

【详解】A．由图可知，当$\theta=90^\circ$时物体做竖直上抛运动，位移为$x=0.80\mathrm{m}$，由竖直上抛运动规律可知$v_0^2=2gh$

代入数据解得$v_0=4\mathrm{m/s}$，故A正确；

B．当$\theta=0^\circ$时，位移为$x=1.60\mathrm{m}$，由动能定理可得$-\mu mgx=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，代入数据解得$\mu=0.5$，故B错误；

C．若$\theta=30^\circ$时，物体的重力沿斜面向下的分力为$mg\sin30^\circ=\frac{1}{2}mg$

最大静摩擦力为$f_{\mathrm{m}}=\mu mg\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{4}mg<mg\sin30^\circ$，小球达到最高点后会下滑，故C错误；

D．由动能定理得$-mgx\sin\theta-\mu mg\cos\theta\cdot x=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$x=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}=\frac{8}{5\sqrt{5}\sin(\theta+\alpha)}$

当$\theta+\alpha=90^\circ$时，$\sin(\theta+\alpha)=1$，此时位移最小为$x=\frac{8}{5\sqrt{5}}\mathrm{m}\approx0.7\mathrm{m}$，故D正确。

故选AD。

题型四：应用动能定理解决传送带问题

【精选例题】：D

2．(1)4 m/s，(2)$2\sqrt{3}$ m

3．(1)1.4m，(2)3.2J；(3)$x=\frac{h}{\mu}=5h$，$x=2x_1-\frac{h}{\mu}=(6-5h)\mathrm{m}$，$x=\frac{h}{\mu}-2x_1=(5h-6)\mathrm{m}$，

$x=x_1+x_2+v_Et=(7+\frac{2\sqrt{5h-7}}{5})\mathrm{m}$

4．(1)$v_D=\sqrt{gR}=2\mathrm{m/s}$；(2)$h=1.46\mathrm{m}$；(3)$x=0.8\mathrm{m}$；(4)$2.3\mathrm{m}\geq h\geq1.46\mathrm{m}$

1．D

【详解】物块向右减速运动时，根据牛顿第二定律可得加速度大小为$a=\frac{\mu mg}{m}=2\mathrm{m/s^2}$

物块向右减速到速度为 0 通过的位移大小为 $x_1=\frac{v_0^2}{2a}=4\text{m}<L=6\text{m}$

可知物块向右减速到速度为 0 后反向加速到与传送带共速，之后与传送带相对静止一起匀速运动到左端离开，根据动能定理可知，传送带对物块做的功为 $W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=-6\text{J}$

故选 D。

2．(1)4 m/s；(2)$2\sqrt{3}$ m

【详解】(1)若 $h_1=2.4$ m，设小物块到达 B 端时速度的大小为 vB，由动能定理得 $mgh_1-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h_1}{\sin\theta}=\frac{1}{2}mv_B^2-0$

解得 $v_B=4\text{m/s}$

（2）若 $h_2=6$ m，设小物块到达 D 点时速度的大小为 vD，由于传送带的运动方向与小物块滑上传送带时的速度方向相反，所以传送带始终对小物块做负功，由动能定理得 $mgh_2-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h_2}{\sin\theta}-\mu mgL=\frac{1}{2}mv_D^2-0$

小物块从 D 点飞出后，做平抛运动，则 $H=\frac{1}{2}gt^2$，$x=v_Dt$，解得 $x=2\sqrt{3}\text{m}$

3．(1)1.4m；(2)3.2J；(3)见解析

【详解】（1）若滑块恰好能过最高点，在最高点时有 $mg=m\frac{v^2}{R}$

从 A 到 C，根据动能定理有 $mg(h_1-2R)=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $h_1=0.5\text{m}$

要使滑块恰能运动到 E 点，则滑块到 E 点的速度为 0，从 A 到 E，根据动能定理有 $mgh_2-\mu mg(x_1+x_2)=0$

解得 $h_2=1.4\text{m}$，显然 $h_2>h_1$

要使滑块恰能运动到 E 点，则滑块释放点的高度 $h_0=h_2=1.4\text{m}$

（2）若 $h=0.8$ m，设物体到达 D 点的速度为 v_D，根据动能定理有 $mgh-\mu mgx_1=\frac{1}{2}mv_D^2$，解得 $v_D=2\text{m/s}<4\text{m/s}$

则物体到传送带上减速为 0 后，反向加速到传送带左端，速度依然为 2m/s，加速和减速的时间均为 $t=\frac{v_D}{\mu g}=1\text{s}$

整个过程中的相对位移为 $\Delta x=\frac{v_D}{2}t+v_0t+v_0t-\frac{v_D}{2}t=8\text{m}$

动能不变，则电动机因传送物块多做的功为 $W=Q=\mu mg\Delta x=3.2\text{J}$

（3）①若滑块刚好停在 D 点，则 $mgh_3-\mu mgx_1=0$，得 $h_3=0.6\text{m}$

当滑块释放点的高度范围满足 $0.5\text{m}\le h\le 0.6\text{m}$ 时，滑块不能运动到 D 点，最终停在 BD 上，设其在 BD 上滑动的路程为 x，根据动能定理有 $mgh-\mu mgx=0$，可得 $x=\frac{h}{\mu}=5h$

②当滑块释放点的高度范围满足 $0.6\text{m}\le h\le 1.2\text{m}$ 时，滑块从传送带返回 D 点，最终停在 BD 上，在 BD 上滑动的路程为 $(2x_1-x)$，根据动能定理有 $mgh-\mu mg(2x_1-x)=0$，可得 $x=2x_1-\frac{h}{\mu}=(6-5h)\text{m}$

③当滑块释放点的高度范围满 $1.2\text{m}\le h\le 1.4\text{m}$ 足时，滑块从传送带返回 D 点，重回圆轨道，最终停在 BD 上，分析可知滑块在 BD 上滑动的路程为 $(2x_1+x)$，根据动能定理有 $mgh-\mu mg(2x_1+x)=0$，可得 $x=\frac{h}{\mu}-2x_1=(5h-6)\text{m}$

④当滑块释放点的高度$h>1.4\text{m}$时，滑块从E点飞出，根据动能定理有$mgh-\mu mg(x_1+x_2)=\frac{1}{2}mv_E^2$

由平抛运动知识可知，平抛运动的时间$t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$，可得$x=x_1+x_2+v_Et=(7+\frac{2\sqrt{5h-7}}{5})\text{m}$

4．(1)$v_D=\sqrt{gR}=2\text{m/s}$，(2)$h=1.46\text{m}$，(3)$x=0.8\text{m}$，(4)$2.3\text{m}\geq h\geq 1.46\text{m}$

【详解】（1）滑块恰好经过圆形轨道最高点D，根据牛顿第二定律可得$mg=m\frac{v_D^2}{R}$

解得$v_D=\sqrt{gR}=2\text{m/s}$

（2）设滑块静止释放点到B点的距离为L，由静止释放点到D点，

由动能定理得$mgL\sin\theta-\mu_1mgL\cos\theta-mgR(1+\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_D^2$，解得$L=2.3\text{m}$

根据几何关系$h=L\sin37°+R(1-\cos37°)$，解得$h=1.46\text{m}$

（3）设滑块滑到F点时的速度为v_{F1}，由D到F点，由动能定理得$2mgR-\mu_1mgL_1=\frac{1}{2}mv_{F_1}^2-\frac{1}{2}mv_D^2$，解得$v_{F_1}=2\sqrt{2}\text{m/s}$

设滑块在传送带上向右运动x_1时速度减为0，则$-\mu_2mgx_1=0-\frac{1}{2}mv_{F_1}^2$，解得$x_1=\frac{2}{3}\text{m}$

此后，滑块反向加速到F点时速度为v_{F_2} $\mu_2mgx_1=\frac{1}{2}mv_{F_2}^2$，即$v_{F_2}=v_{F_1}$

设滑块最终停在距E点x处，由动能定理得$-\mu_1mg(L_1-x)=0-\frac{1}{2}mv_{F_2}^2$，解得$x=0.8\text{m}$

（4）设滑块过F点速度为v_{F_3}时，滑块恰好滑到传送带的右端$-\mu_2mgL_2=0-\frac{1}{2}mv_{F_3}^2$，解得$v_{F_3}=\sqrt{19.2}\text{m/s}$

设滑块以v_{F_3}返回时，能返回到高度为h'时速度为0，由动能定理得：$-\mu_1mgL_1-mgh'=0-\frac{1}{2}mv_{F_3}^2$

解得$h'=0.36\text{m}<0.4\text{m}$

设滑块从高h_1从静止滑下时，到F点速度为v_{F_3}，由动能定理得：$mgh_1-\mu_1mg\cos\theta\frac{h_1-R(1-\cos\theta)}{\sin\theta}-\mu_1mgL_1=\frac{1}{2}mv_{F_3}^2$

解得$h_1=2.3\text{m}$

即当$2.3\text{m}\geq h\geq 1.46\text{m}$时，滑块不会脱离轨道，最终停在$EF$段

【跟踪训练】：ACD　　2．(1)$N'=4\text{N}$，方向竖直向下；(2)$v_0=2\text{m/s}$；(3)$L\geq 8\text{m}$或$0<L\leq 3.2\text{m}$

3．（1）0.45m；（2）1N；（3）不能；（4）$0\text{m/s}<v_{传}<2\sqrt{2}\text{m/s}$，$2\sqrt{5}\text{m/s}<v_{传}<4\sqrt{3}\text{m/s}$，$v_{传}>2\sqrt{15}\text{m/s}$

1．ACD

【详解】AB．物块刚放上传送带时，所受摩擦力沿传送带向上，根据牛顿第二定律得$\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$

解得$a_1=1\text{m/s}^2$，物块速度与传送带速度相等的时间$t_1=\frac{v}{a_1}=4\text{s}$，

之后，由于$mg\sin\theta<\mu mg\cos\theta$摩擦力突变为静摩擦力，大小为$mg\sin\theta$，物块与传送带保持相对静止向上匀速

运动，物块匀加速阶段的位移$x_1=\frac{v^2}{2a_1}=8\text{m}$，传送带的位移$x_1'=vt_1=16\text{m}$

物块与传送带保持相对静止运动的时间$t_2=\frac{L-x_1}{v}=1\text{s}$

物块从传送带底端到达顶端的时间$t=t_1+t_2=5\text{s}$

物块相对传送带的位移大小为$\Delta x=x_1'-x_1=8\text{m}$，故 A 正确，B 错误；

C．物块被运送到顶端的过程中，摩擦力对物块做的功为$W=\mu mg\cos\theta\cdot x_1+mg\sin\theta\cdot(L-x_1)=80\text{J}$，故 C 正确；

D．物块被运送到顶端的过程中，电动机对传送带做的功转化为热和物块增加的机械能，

其大小为$W'=\mu mg\cos\theta\cdot\Delta x+mgL\sin\theta+\frac{1}{2}mv^2=136\text{J}$，故 D 正确。

故选 ACD。

2．(1)$N'=4\text{N}$，方向竖直向下，(2)$v_0=2\text{m/s}$，(3)$L\geq 8\text{m}$或$0<L\leq 3.2\text{m}$

【详解】（1）圆弧半径为$R=\frac{d}{2}=1.6\text{m}$，小滑块下滑过程由机械能守恒定律得$mgR(1-\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_B^2$

B 点由牛顿第二定律得$N-mg=m\frac{v_B^2}{R}$，解得$N=4\text{N}$，由牛顿第三定律得$N'=N=4\text{N}$，方向竖直向下

（2）设小滑块在 M 点的初速度为 v_0，从 M 到 A 根据动能定理得$mgR(1-\sin\theta)-\mu mgL=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得$v_0=2\text{m/s}$

（3）小物块不脱离圆弧轨道有两种可能：①恰好通过最高点 D $mg=m\frac{v_D^2}{R}$

设传送带长度为 L_1，由动能定理得$\mu mgL_1-mgR=\frac{1}{2}mv_D^2-0$，解得$L_1=8\text{m}$

②恰好到达圆心等高处 C，设传送带长度为 L_2，由动能定理得$\mu mgL_2-mgR=0$，解得$L_2=3.2\text{m}$

综上，小物块不脱离圆弧轨道，传送带 AB 段长度满足$L\geq 8\text{m}$或$0<L\leq 3.2\text{m}$。

3．（1）0.45m；（2）1N；（3）不能；（4）$0\text{m/s}<v_{传}<2\sqrt{2}\text{m/s}$，$2\sqrt{5}\text{m/s}<v_{传}<4\sqrt{3}\text{m/s}$，$v_{传}>2\sqrt{15}\text{m/s}$

【详解】（1）从 A 到 B 做平抛运动，则$v_{By}=v_A\tan\theta$，解得$v_{By}=3\text{m/s}$，$v_{By}^2=2gh_1$，解得$h_1=0.45\text{m}$

（2）由动能定理，得$mg(h_1+h_2)-\mu mgL_{CD}=\frac{1}{2}mv_E^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得$v_E=2\text{m/s}$

由牛顿第二定律$F_N-mg=\frac{mv_E^2}{r}$，得$F_N=1\text{N}$

（3）由动能定理$\frac{1}{2}mv_C^2\pm\mu mgL_{CD}=\frac{1}{2}mv_{Em}^2$，解得$v_{E\max 0}=2\sqrt{17}\text{m/s}$，$v_{E\min 0}=2\text{m/s}$

当传送带速度处于$2\text{m/s}\sim 2\sqrt{17}\text{m/s}$时物块均可共速离开，所以$v_{E1}=4\text{m/s}$

从 E 到 F $\frac{1}{2}mv_{E1}^2-2mgr=\frac{1}{2}mv_{F1}^2$，解得$v_{F1}=0\text{m/s}$，$\frac{mv_{F1}^2}{r}<mg$，故不能过 F 点。

（4）1、物块第一次无法过圆心等高处$\frac{1}{2}mv_E^2-mgr\le 0$，$0\text{m/s}<v_{传}<2\sqrt{2}\text{m/s}$

2、物块能从右侧返回时，但无法回到圆心等高处$\frac{1}{2}mv_E^2-2\mu mgL_{EG}<mgR$，解得$v_E<4\sqrt{3}\text{m/s}$

$\frac{1}{2}mv_E^2-2mgr=\frac{1}{2}mv_F^2$，在 F 点时$\frac{mv_F^2}{r}\le mg$，$v_E\ge 2\sqrt{5}\text{m/s}$，可得$2\sqrt{5}\text{m/s}<v_E<4\sqrt{3}\text{m/s}$

3、物块能第二次到达最高点$\frac{1}{2}mv_E^2-2\mu mgL_{EG}>\frac{1}{2}mv_{Emin1}^2$，故$v_E>2\sqrt{15}\text{m/s}$

$\frac{1}{2}mv_{E\max}^2-2\mu mgL_{EG}=0.7\text{J}<\mu mgL_{CD}$，故物块无法完成$D\to C$的过程，重新回到传送带后会原速从$D$点离开。

当$2\sqrt{15}\text{m/s}<v_E<2\sqrt{17}\text{m/s}$，不会脱离轨道

综合上述情况：$0\text{m/s}<v_{传}<2\sqrt{2}\text{m/s}$；$2\sqrt{5}\text{m/s}<v_{传}<4\sqrt{3}\text{m/s}$；$v_{传}>2\sqrt{15}\text{m/s}$ 三种情况。

题型五：应用动能定理解决往返问题

【精选例题】：1．(1)0.5；(2)14m/s；(3)0.4m

【详解】（1）从 A 到 D 由动能定理$mgH-\mu mgx-mgh=0-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得μ=0.5

（2）物体第 3 次经过 B 点时由动能定理$mgH-2\mu mgx=\frac{1}{2}mv_{B3}^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得$v_{B3}=14\text{m/s}$

（3）最终停止时由动能定理$mgH-\mu mgs=0-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得 s=21.6m，物体最后停止时距离 B 点 0.4m。

【跟踪训练】：1．(1)$\frac{5}{3}\sqrt{2}\text{s}$；(2)2m

【详解】（1）小滑块从 A 点到第一次到达 C 点过程中，由动能定理得$mgh_1-\mu mgs=\frac{1}{2}mv_C^2$

代入数据解得$v_C=5\sqrt{2}\text{m/s}$

小滑块沿 CD 段上滑的加速度大小为$a=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta=6\text{m/s}^2$

小滑块沿 CD 段上滑到最高点的时间为$t_1=\frac{v_C}{a}=\frac{5}{6}\sqrt{2}\text{s}$

由对称性可知小滑块从最高点滑回 C 点的时间为$t_2=t_1=\frac{5}{6}\sqrt{2}\text{s}$

则小滑块第一次与第二次通过 C 点的时间间隔为$t=t_1+t_2=\frac{5}{3}\sqrt{2}\text{s}$

（2）设小滑块在水平轨道上运动的总路程为s'，对小滑块运动全过程应用动能定理有$mgh_1-\mu mgs'=0$

代入数据解得$s'=8\text{m}$

由于$s'=2s+2\text{m}$

故小滑块最终停止的位置距 B 点的距离为2m。

第十二讲：机械能守恒

考点一：机械能守恒

题型一：机械能守恒的条件

【精选例题】：D

1．D

【详解】AC．物体机械能守恒的条件是只有重力或者是弹力做功，物体可以受到其它力，但其它力不做功，或做功之和为零即可。故 AC 错误；

B．物体在竖直平面内做匀速直线运动时，动能不变，重力势能变化，机械能不守恒。故 B 错误；

D．只有重力做功时，机械能不变，而物体的动能和重力势能之和增大时，机械能增大，必定有重力以外的其它力对物体做功。故 D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：B　　BC

1．B

【详解】A．做匀速运动的物体，机械能不一定守恒，比如匀速上升的物体，动能不变，重力势能增加，机械能增加，故 A 错误；

B．做变速运动的物体，机械能可能守恒，比如做自由落体运动的物体，故 B 正确；

C．合外力对物体做功等于零时，物体的动能不变，但重力势能可能发生变化，机械能可能发生变化，故 C 错误；

D．物体受到重力以外的其它外力，但如果它对物体不做功，则物体的机械能守恒，故 D 错误。

故选 B。

2．BC

【详解】A．物体只有重力或者系统内的弹力做功，机械能守恒。若物体在水平方向做匀速直线运动其机械能守恒，若物体在竖直方向做匀速直线运动，其机械能不守恒，不符合题意，A 错误；

B．若物体做自由落体运动，物体受到的合外力不为零，但机械能守恒。符合题意，B 正确；

C．若物体在竖直方向的拉力作用下匀速上升，合外力对物体不做功，但拉力做正功，机械能不守恒。符合题意，C 正确；

D．运动的物体，若受到的合外力不为零，但除了重力之外的外力做功可能为零，其机械能可能守恒，例如在水平面内做匀速圆周运动的物体，不符合题意，D 错误；

故选 BC。

题型二：机械能守恒判断

【精选例题】：C　　C　　A　　CD

1．C

【详解】A．随电梯匀加速上升的木箱，木箱的动能和重力势能均增大，则木箱的机械能增大，A 不符合题意；

B．坐在匀速转动的摩天轮中的游客，游客的动能不变，重力势能变化，游客的机械能变化，B 不符合题意；

C．抛出后在空中运动的实心球（不计空气阻力），只有动能和重力势能相互转化，球的机械能守恒，C 符合题意；

D．在空中匀速下落的雨滴，雨滴的动能不变，重力势能减小，雨滴的机械能减小，D 不符合题意。

故选 C。

2．C

【详解】A．做匀速圆周运动的物体，机械能不一定守恒，如在竖直平面内做匀速圆周运动的物体，动能不变，重力势能不断变化，机械能不断变化，故 A 错误；

B．变速运动的物体机械能可能守恒，如水平方向的匀速圆周运动，故 B 错误；

C．平抛运动的物体只有重力做功，机械能一定守恒，故 C 正确；

D．自由落体运动的物体只有重力做功，机械能一定守恒，故 D 错误。

故选 C。

3．A

【详解】A．在与圆心等高的位置时，游客受重力和座椅对他的作用力，合力指向圆心，所以重力小于座椅对游客的作用力，故 A 正确；

B．游客做匀速圆周运动，故所受的合外力不为零，故 B 错误；

C．摩天轮转动过程中，游客的动能不变，重力势能变化，所以机械能不守恒，故 C 错误；

D．摩天轮转动过程中，游客瞬时速度大小不变，但方向不断变化，所以重力的瞬时功率变化，故 D 错误。

故选 A。

4．CD

【详解】A．人在下降到最低点的过程中，除了受到重力的作用外，还受到了弹性绳的拉力作用，所以人的机械能不守恒，故 A 错误；

B．当人下降到弹性绳的拉力与人受到的重力等大反向的位置时，人的动能最大，即人落至 b 点时的动能最大，故 B 错误；

C．从 b 点到 c 点的过程中，人的加速度方向向上，弹性绳对人的拉力大于人受到的重力，即人处于超重状态，故 C 正确；

D．当人下降到 b 点时，人的动能达到最大；在继续向 c 点下降的过程中，弹性绳对人做负功，把人的动能和重力势能全部转化为弹性绳的弹性势能，在 c 点处，人的动能减小到零，重力势能也减到最小，弹性绳的弹性势能达到最大，根据能量守恒有 $\frac{1}{2}mv_b^2+mgh_{bc}=E_{\text{P}}$ 所以弹性绳具有的最大弹性势能大于人的最大动能，故 D 正确。

故选 CD。

【跟踪训练】：C　　B　　AD　　C

1．C

【详解】无论物体向上加速运动还是向上匀速运动，除重力外，其他外力一定对物体做正功，物体机械能都增加；物体向上减速运动时，除重力外，物体受到的其他外力不确定，故无法确定其机械能的变化，C 正确。

故选 C。

2．B

【详解】A．图甲中，运动员上升过程中，人本身消耗生物能，则人的机械能增加，故 A 错误；

B．图乙中，秋千从 A 点摆到 B 点的过程中，根据 $P_{\text{G}}=mgv_y$，因开始在 A 点时竖直速度为零，到 B 点时竖直速度又变为零，可知小朋友受到重力的功率先逐渐增大、后逐渐减小，故 B 正确；

C．图丙中，从 A 至最低点 C 过程中，只有重力和蹦床弹力做功，运动员以及蹦床系统的机械能守恒，但是运动员的机械能不守恒，故 C 错误；

D．图丁中，物块在光滑水平面上压缩弹簧的过程中，弹簧的弹力对物块做负功，则物块的机械能减小，故 D 错误。

故选 B。

3．AD

【详解】A．苹果做匀速圆周运动，则苹果在运动过程中所受合外力提供向心力，所以大小不变，故 A 正确；

B．苹果在 b 位置和 d 位置时受到的摩擦力大小相等，方向相反，都指向圆心且提供向心力，故 B 错误；

C．苹果在 a 位置时，加速度方向向上，处于超重状态，受到的支持力大于其重力，故 C 错误；

D．整个运动过程中，苹果的动能不变，重力势能发生变化，则苹果的机械能不守恒，故 D 正确。

故选 AD。

4．C

【详解】AB．助跑过程中，运动员的质量不变，速度增大，因此运动员的动能增大；高度不变，运动员的重力势能不变，机械能是动能与重力势能之和，因此机械能增大，故 AB 错误；

C．起跳后的上升过程中，运动员的质量不变，高度增大，重力势能增大，故 C 正确；

D．越过横杆后的下降过程中，运动员的质量不变，速度增大，因此运动员的动能增大，故 D 错误。

故选 C。

考点二：单体机械能守恒

题型一：直线运动中的机械能守恒

【精选例题】： D　　B　　3．(1) 20m；(2) $10\sqrt{3}\mathrm{m/s}$

1．D

【详解】A．以桌面为参考平面，则小球在 A 点的重力势能为 mgh_1，故 A 错误；

B．以桌面为参考平面，则小球在 B 点的重力势能为 $-mgh_2$，故 B 错误；

CD．小球下落过程仅仅受到重力作用，因此小球机械能守恒，可知小球在落地前瞬间的机械能与小球在 A 点的机械能相等，可知小球在落地前瞬间的机械能为 mgh_1，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】A．滑块沿光滑斜面上滑，则机械能守恒，则 $E_{k0}=mgh=4\mathrm{J}$，其中 h=0.8m，则该滑块的质量为 m=0.5kg

选项 A 错误；

B．滑块返回斜面底端时的动能不变，则由 $E_{k0}=\frac{1}{2}mv_0^2=4\mathrm{J}$，可得速度大小为 v_0=4.0m/s，选项 B 正确；

C．滑块的机械能守恒，则滑块上升到 0.2m 高度时的机械能为 4J，选项 C 错误；

D．滑块下滑到 0.4m 高度时由机械能守恒定律 $\frac{1}{2}mv_1^2+mgh_1=E_{k0}$，解得 $v_1=2\sqrt{2}\mathrm{m/s}$，选项 D 错误。

故选 B。

3．(1)20m；(2)$10\sqrt{3}\mathrm{m/s}$

【详解】（1）由机械能守恒定律得$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得烟花弹上升的最大高度$h=\frac{v_0^2}{2g}=20\mathrm{m}$

（2）烟花弹的重力势能为动能的$\frac{1}{3}$倍时，由机械能守恒定律得$\frac{1}{2}mv_0^2=mgh_1+\frac{1}{2}mv_1^2$

又$mgh_1=\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}mv_1^2$；联立解得$v_1=10\sqrt{3}\mathrm{m/s}$

【跟踪训练】：C　　C　　AD

1．C

【详解】设地面为势能零点处，距地面的高度为h时物体的重力势能和动能相等$mgh=\frac{1}{2}mv^2$

由机械能守恒$mgh+\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$h=10\mathrm{m}$

故选C。

2．C

【详解】A．重力对物体做的功为$W_G=-mgH$，故A错误；

B．根据牛顿第二定律$F-mg=ma$，$F=m(g+a)$，拉力对物体做的功为$W_F=FH=m(g+a)H$，故B错误；

C．物体动能的增加等于合外力做的功$\Delta E_k=F_{合}H=maH$，故C正确；

D．物体机械能的增加量为$\Delta E=\Delta E_k+\Delta E_p=maH+mgH=m(a+g)H$，故D错误。

故选C。

3．AD

【详解】A．物体运动过程只受重力作用，机械能守恒，物体的重力势能为动能的一半时，则有$mgh_1=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}mv_1^2$

又$mgh_1+\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$h_1=\frac{v_0^2}{6g}$，故A正确；

BC．物体的动能和重力势能相等时，有$mgh_2=\frac{1}{2}mv_2^2$，又$mgh_2+\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$h_2=\frac{v_0^2}{4g}$，$v_2=\frac{\sqrt{2}v_0}{2}$

故BC错误；

D．物体的动能为重力势能的一半时，则有$\frac{1}{2}mv_3^2=\frac{1}{2}mgh_3$，又$mgh_3+\frac{1}{2}mv_3^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得$v_2=\frac{\sqrt{3}v_0}{3}$，故D正确。

故选AD。

题型二：抛体运动中的机械能守恒

【精选例题】：D

1．D

【详解】A．以抛出点所在水平面为零势能面，则石块落到水平地面时的重力势能为$E_p=-mgh$，故A错误；

B．石块从抛出点到落到地面的过程中，由动能定理得 $mgh = E_k - \frac{1}{2}mv_0^2$

解得石块落到水平地面时的动能为 $E_k = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$，故 B 错误；

CD．石块落到水平地面时的机械能为动能和重力势能之和，即 $E_{机} = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 + (-mgh) = \frac{1}{2}mv_0^2$

故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【跟踪训练】：D　　C

1．D

【详解】由平抛运动的规律可知，小球从 A 点到 B 点的运动时间 $t = \frac{x}{v_0} = 0.4\text{s}$

小球在 B 点时沿竖直方向的分速度大小 $v_y = gt$

设小球运动到 B 点时的速度方向与水平方向的夹角为 θ，则有 $\tan\theta = \frac{v_y}{v_0}$

小球从 A 点运动到 C 点的过程中机械能守恒，有 $mg\left[\frac{1}{2}gt^2 + R(1-\cos\theta)\right] = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

又由向心力公式有 $F_N - mg = m\frac{v^2}{R}$，解得 $F_N = 4.3\text{N}$

根据牛顿第三定律可知，小球在 C 点时对轨道的压力大小为 4.3N 。故选 D。

2．C

【详解】当小球从管口 A 的正上方 h_1 高处自由落下，到达细管最高点 B 处时的速度为零，则根据机械能守恒定律有(取管口 A 所在水平面为参考平面)$mgh_1 = mgR$，解得 $h_1 = R$

当从 A 管口正上方 h_2 高处自由落下时，根据平抛运动规律有 $R = v_B t$，$R = \frac{1}{2}gt^2$，解得 $v_B = \sqrt{\frac{gR}{2}}$

根据机械能守恒定律有 $mgh_2 = mgR + \frac{1}{2}mv_B^2$，解得 $h_2 = \frac{5}{4}R$，则可得 $h_1 : h_2 = 4 : 5$

故选 C。

题型三：圆周运动中的机械能守恒

【精选例题】：B　　D　　AC

1．B

【详解】A．对任意一球研究，设半圆轨道的半径为 r，根据机械能守恒定律得 $mgr = \frac{1}{2}mv^2$

得 $v = \sqrt{2gr}$，由于 r 不同，则 v 不等，故 A 错误；

BC．由 $a = \frac{v^2}{r} = 2g$，$\omega = \frac{v}{r} = \sqrt{\frac{2g}{r}}$，可知两球的向心加速度大小相等，角速度不等，故 B 正确，C 错误；

D．通过圆轨道最低点时根据牛顿第二定律得 $F_N - mg = ma$，得轨道对小球的支持力大小 $F_N = 3mg$

由牛顿第三定律知球对轨道的压力为 $F_N' = 3mg$，则通过 C、D 时，两球对轨道的压力不相等，故 D 错误。

故选 B。

2．D

【详解】图中 NO 连线与水平方向的夹角 θ，由几何关系可得 $\sin\theta=\frac{x}{R}=\frac{R-x}{R}$，可得 $\theta=30°$

设小物块通过 N 点时速度为 v，小物块从左侧圆弧最高点静止释放，由机械能守恒定律可知 $mgR\sin\theta=\frac{1}{2}mv^2$

解得 $v=\sqrt{gR}$，故 D 正确，ABC 错误。

故选 D。

3．AC

【详解】A．小球到达右侧斜面上最高点时的速度为零，根据机械能守恒定律得 $mgh+0=mgh'+0$，则 $h'=h$

故 A 正确；

B．小球离开轨道后做斜抛运动，水平方向做匀速直线运动，运动到最高点时在水平方向上有速度，即在最高点的速度不为零，根据机械能守恒定律得 $mgh+0=mgh'+\frac{1}{2}mv^2$，则 $h'<h$，故 B 错误.

C．小球离开轨道做竖直上抛运动，运动到最高点速度为零，根据机械能守恒定律得 $mgh+0=mgh'+0$，则 $h'=h$

故 C 正确；

D．小球在内轨道运动，通过最高点最小的速度为 $v=\sqrt{gr}$，故在最高点的速度不为零，根据机械能守恒定律得

$mgh+0=mgh'+\frac{1}{2}mv^2$，则 $h'<h$，即不能过最高点；故 D 错误。

故选 AC。

【跟踪训练】：ABC　　BCD　　BC

1．ABC

【详解】A．小球经过 B 点时，加速度向上，可知小球处于超重状态，选项 A 正确；

B．小球下摆的过程中机械能守恒，小球的重力势能减小了 mgL，则动能增加了 mgL，选项 B 正确；

C．小球下摆过程中，经过 B 点时，根据机械能守恒定律 $mgL=\frac{1}{2}mv^2$，根据牛顿第二定律 $T-mg=m\frac{v^2}{L}$

可得绳子的拉力为 $T=3mg$，选项 C 正确；

D．根据 $P_G=mgv_y$ 可知小球在 A 点时重力瞬时功率为零，在 B 点时重力的瞬时功率也为零，可知小球下摆过程中重力对小球做功的瞬时功率先增大后减小，选项 D 错误。

故选 ABC。

2．BCD

【详解】小球运动到 b 点时

①若杆对球的力为支持力，则 $0\le v_b\le\sqrt{gR}$，此时 $mg-F_{Nb}=m\frac{v_b^2}{R}$，$F_{Na}-mg=m\frac{v_a^2}{R}$

联立可得 $\Delta F=F_{Na}-F_{Nb}=m\frac{v_b^2}{R}+m\frac{v_a^2}{R}$

对杆和球组成的系统，由 $b\to a$ 机械能守恒可得 $\frac{1}{2}mv_a^2=\frac{1}{2}mv_b^2+mg\cdot 2R$

则有 $\Delta F=2m\frac{v_b^2}{R}+4mg$　$v_b=0$ 时，$\Delta F=4mg$，若 v_b 增大，则 ΔF 增大；

②若杆对球恰好无弹力，则$v_b=\sqrt{gR}$，此时$\Delta F=6mg$；

③若杆对球的力为拉力，则$v_b>\sqrt{gR}$，此时$mg+F_{Nb}=m\frac{v_b^2}{R}$，$F_{Na}-mg=m\frac{v_a^2}{R}$

对杆和球组成的系统，由$b\to a$机械能守恒可得$\frac{1}{2}mv_a^2=\frac{1}{2}mv_b^2+mg\cdot 2R$，联立可得$\Delta F=6mg$

故选BCD。

3．BC

【详解】A．小球在光滑轨道上运动，只有重力做功，故机械能守恒，

所以有$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv^2+mgh$，解得$v^2=-2gh+v_0^2$

由图乙可知，当$h=0.8\text{m}$时，$v^2=9\text{m}^2/\text{s}^2$，代入上式，得$v_0=5\text{m}/\text{s}$

又当$h=0$时，$v^2=v_0^2=25\text{m}^2/\text{s}^2$，即$x=25$，故A错误；

B．由题图乙可知，轨道半径$R=0.4\text{m}$，小球在C点的速度$v_C=3\text{m}/\text{s}$，由牛顿第二定律可得$F+mg=m\frac{v_C^2}{R}$

解得$m=0.2\text{kg}$，故B正确；

C．小球从A到B过程中由机械能守恒有$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_B^2+mgR$，解得小球运动到$B$点的速度$v_B=\sqrt{17}\text{m}/\text{s}$

在B点，由牛顿第二定律可知$N_B=m\frac{v_B^2}{R}$，代入数据得$N_B=8.5\text{N}$，故C正确；

D．小球在A点时，重力与速度垂直，重力的瞬时功率为0，故D错误。

故选BC。

题型四：图像中的机械能守恒

【精选例题】： B　　BD　　AD

1．B

【详解】A．根据机械能守恒定律$E_k=E_{k0}-mgh$，故A正确；

B．重力势能与动能成线性关系，即与速度平方成线性关系，故B错误；

C．竖直上抛运动的机械能保持不变，故C正确；

D．根据$E_k=\frac{1}{2}mv^2$，故D正确。本题选择不正确的，故选B。

2．BD

【详解】A．以竖直向上为正方向，初速度应为正值，故A错误；

BC．速度先减小为0后反向增大，所以位移时间图像斜率先减小后变为负数增大，且机械能一直有损失，导致上升过程中任意位置的速率都比下降过程同一位置速度大，则上升、下降经过同一位置处的动能不可能相等，因此上升过程的平均速度大于下降过程的平均速度，所以上升过程的时间小于下降过程的时间，故B正确，C错误；

D．$E_{机}$-x图像斜率表示空气阻力，空气阻力上升过程减小，下降过程增大，且上升过程机械能损失更多，故D正确。

故选BD。

3．AD

【详解】A．Ep-h 图像知其斜率为 G，故 $G=\frac{80\text{J}}{4\text{m}}$ =20N，解得 m=2kg，故 A 正确

B．h=0 时，Ep=0，$Ek=E_{机}-Ep$=100J-0=100J，故 $\frac{1}{2}mv^2$=100J，解得：v=10m/s，故 B 错误；

C．h=2m 时，Ep=40J，$Ek=E_{机}-Ep$=90J-40J=50J，故 C 错误

D．h=0 时，$Ek=E_{机}-Ep$=100J-0=100J，h=4m 时，$Ek'=E_{机}-Ep$=80J-80J=0J，故 $Ek-Ek'$=100J，故 D 正确

【跟踪训练】：AC　　AB　　AB

1．AC

【详解】AB．设箱子所受的拉力为 F，机械能的变化量为 $\Delta E=Fx$，则图像的斜率等于物体所受拉力的大小，由图可知在 0～x_1 内斜率的逐渐减小，故在 0～x_1 内物体所受的拉力逐渐减小，开始一段时间内拉力大于重力，做加速运动，如果拉力减小时，小于重力，则做减速运动，故动能不一定一直增大，故 A 正确，B 错误；

C．由于物体在 x_1~x_2 内，斜率恒定，故物体受到的拉力不变，根据牛顿第二定律可知物体加速度不变，故 C 正确；

D．由于物体在 x_1~x_2 内图像的斜率的绝对值不变，故物体所受的拉力保持不变。若拉力等于物体所受的重力，物体做匀速直线运动，速度保持不变，根据公式 $P=Fv$ 可知，起重机的输出功率不变，故 D 错误。

故选 AC。

2．AB

【详解】A．根据 EF 段方程 $y=4t-26$，可知 EF 段无人机的速度大小为 $v=\frac{\Delta y}{\Delta t}=4\text{m/s}$，故 A 正确；

B．根据 $y-t$ 图像的切线斜率表示无人机的速度，可知 FM 段无人机先向上做减速运动，后向下做加速运动，加速度方向一直向下，则无人机的货物处于失重状态，故 B 正确；

C．根据 MN 段方程 $y=-2t+140$，可知 MN 段无人机的速度为 $v'=\frac{\Delta y'}{\Delta t'}=-2\text{m/s}$

则有 $\Delta p=mv'-mv=2\times(-2)\text{kg}\cdot\text{m/s}-2\times4\text{kg}\cdot\text{m/s}=-12\text{kg}\cdot\text{m/s}$

可知 FN 段无人机和装载物总动量变化量大小为 12kg·m/s，故 C 错误；

D．MN 段无人机向下做匀速直线运动，动能不变，重力势能减少，无人机的机械能不守恒，故 D 错误。

故选 AB。

3．AB

【详解】A．下滑 5m 的过程中，重力势能减少 30J，动能增加 10J，减小的重力势能并不等与增加的动能，所以机械能不守恒，A 正确；

B．斜面高 3m、长 5m，则斜面倾角为θ=37°。令斜面底端为零势面，则物块在斜面顶端时的重力势能 mgh=30J 可得质量 m=1kg；下滑 5m 过程中，由功能原理，机械能的减少量等于克服摩擦力做的功$\mu mg\cdot\cos\theta\cdot s$=20J，求得$\mu$=0.5，B 正确；

C．由牛顿第二定律 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$，求得 a=2m/s^2，C 错误；

D．物块下滑 2.0m 时，重力势能减少 12J，动能增加 4J，所以机械能损失了 8J，D 选项错误。

故选 AB。

考点三：系统机械能守恒

题型一：概念辨析

【精选例题】：BD　　BD

1．BD

【详解】AD．小球下落的过程中，减小的重力势能转化为小球的动能和弹簧的弹性势能，因此小球和弹簧组成的系统机械能守恒，故A错误，D正确；

BC．小球下落的过程中，弹簧的弹性势能增加，弹簧对小球做负功，故B正确，C错误。

故选BD。

2．BD

【详解】A．甲图中，物体A将弹簧压缩的过程中，物体A与弹簧组成的系统机械能守恒，由于弹簧的弹性势能不断增加，故物体A的机械能不断减少，故A错误；

B．乙图中，用平行于斜面向下的大小等于摩擦力的拉力F作用下物体B沿斜面下滑时（斜面A不动），对物体B，除重力外的其他力所做功的代数和为零，故物体B机械能保持不变，故B正确；

C．连在一根轻杆上的两球自由下摆的过程中，两个球间的轻杆要做功，两球的机械能一个增加，另一个减小，系统机械能守恒，所以A球机械能不守恒，故C错误；

D．小球在水平面内做匀速圆周运动，动能不变，重力势能不变，小球机械能守恒，故D正确。

故选BD。

【跟踪训练】：AD

1．AD

【详解】A．甲图过程中轻杆对小球不做功，小球的机械能守恒，故A正确；

B．乙图过程中小球在绳子绷紧的瞬间有动能损失，机械能不守恒，故B错误；

C．丙图中重力和系统内弹力做功，物体A和弹簧组成的系统机械能守恒，但物体A的机械能不守恒，故C错误；

D．丁图中绳子张力对A做负功，对B做正功，代数和为零，A、B组成的系统机械能守恒，故D正确。

故选AD。

题型二：绳连接中的机械能守恒——速度大小相等

【精选例题】：A　　B

1．A

【详解】对A、B两物体组成的系统，只有重力做功，系统机械能守恒，B的重力势能不变，所以A重力势能的减小量等于系统动能的增加量，有$m_{\mathrm{A}}g\left(H-h\right)=\frac{1}{2}\left(m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}\right)v^{2}$

又因为物体A的动能与其重力势能相等，有$m_{\mathrm{A}}gh=\frac{1}{2}m_{\mathrm{A}}v^{2}$

又因为B物体的质量是A物体质量的一半，解得$h=0.4H$

故选A。

2．B

【详解】.

设B的质量为m，则A的质量为$5m$，A球落地前，A、B组成的系统机械能守恒，

有$5mgR-mgR=\frac{1}{2}(5m+m)v^2$，解得$v=2\sqrt{\frac{gR}{3}}$

对B运用动能定理得$-mgh=0-\frac{1}{2}mv^2$，解得$h=\frac{2}{3}R$，则B上升的最大高度为$H=R+h=\frac{5R}{3}$

故选B。

【跟踪训练】：B　　D

1．B

【详解】A．根据图像可知，A物块上升至h高时，B物块将与地面发生碰撞，可知，对A、B两物块及地球组成的系统，整个过程中机械能不守恒，故A错误；

BC．A物块上升至h高时，对A、B构成的系统有$m_Bgh=m_Agh+\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$

之后，B与地面碰撞，绳松弛，A向上运动，对A分析有$-m_Ag(H-h)=0-\frac{1}{2}m_Av^2$

解得$v=2\sqrt{2}\mathrm{m/s}$，m_B=50kg，故B正确，C错误；

D．对A、B分别进行分析，根据牛顿第二定律有$T-m_Ag=m_Aa$，$m_Bg-T=m_Ba$，解得$T=\frac{500}{3}\mathrm{N}$，故D错误。

故选B。

2．D

【详解】A．剪断轻绳后A自由下落，B沿斜面下滑，A、B都只有重力做功，根据动能定理得$mgh=\frac{1}{2}mv^2$

解得$v=\sqrt{2gh}$，所以A、B速率的变化量相同，但速度变化量不同，故A错误；

B．从剪断轻绳到物块着地，A自由下落，B沿斜面下滑，A、B都只有重力做功，机械能均守恒，故B错误；

CD．A运动的时间为$t_A=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，所以A物块重力做功的平均功率为$P_A=\frac{m_Agh}{t_A}=m_Agh\sqrt{\frac{g}{2h}}$

设B运动的时间为t_B，则有$\frac{1}{2}g\sin\theta t_B^2=\frac{h}{\sin\theta}$，解得$t_B=\sqrt{\frac{2h}{g}}\cdot\frac{1}{\sin\theta}$

B物块重力做功的平均功率为$P_B=\frac{m_Bgh}{t_B}=m_Bgh\sin\theta\cdot\sqrt{\frac{g}{2h}}$

又因为$m_Ag=m_Bg\sin\theta$，所以$P_B=P_A$，$t_A:t_B=\sin\theta:1$，故C错误，D正确。

故选D。

题型三：绳连接中的机械能守恒——速度大小不等

【精选例题】：D　　ACD　　BC

1．D

【详解】A．由静止释放物块A，物块A向下加速运动过程中，重力做正功，绳子的拉力做负功，物块A的机械能减小。故A错误；

B．设物块A下滑过程中绳与竖直方向的夹角为α，则$v_A\cos\alpha=v_B$，由此可知，物块A的速度大于物块B的速

度，当物块 A 的速度为零时，物块 B 的速度也为零。故 B 错误；

C．设物块 A、B 处于同一高度时定滑轮左侧细绳与水平方向所成的角为 θ，

有 $L\tan\theta=2L-\frac{L}{\cos\theta}$，又 $(\sin\theta)^2+(\cos\theta)^2=1$，解得 $\theta=37°$

所以等高时的总动能为 $E_k=mgL\tan\theta-\sqrt{3}mg\left(\frac{L}{\cos\theta}-L\right)$，解得 $E_k=\frac{3-\sqrt{3}}{4}mgL$，故 C 错误；

D．当物块 A 的速度为零时，下落的高度最大，此时物块 B 的速度也为 0，则 $mgh=\sqrt{3}mg\left(\sqrt{h^2+L^2}-L\right)$

解得 $h=\sqrt{3}L$，故 D 正确；

故选 D。

2．ACD

【详解】A．环从 A 点释放时，环在竖直方向上只受到重力 mg，则环的加速度大小为 $a=\frac{mg}{m}=g$，故 A 正确；

B．环下降到最低点的过程中，环和滑轮之间的绳子长度一直在增加，则滑轮和重物之间的绳子长度一直在减小，即绳子对重物一直做正功，故 B 错误；

C．环到达 B 处时，由几何关系知 $\tan\theta=\frac{4}{3}$，故 $\theta=53°$

设重物到 B 时上升高度为 h，则 $h=\left(\frac{5d}{4}-d\right)sin53°=\frac{d}{5}$，设到 B 时环的速度为 v，则重物的速度为 $v\cos53°=0.6v$

则根据环和重物组成的系统机械能守恒有 $\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}\times2.5m(0.6v)^2=mg\frac{3d}{4}-2.5mg\frac{d}{5}$，解得 $v=\sqrt{\frac{5gd}{19}}$，故 C 正确；

D．环下降到最低点时，设此时滑轮到环的距离为 L，根据环与重物系统机械能守恒，

有 $mg\sqrt{L^2-d^2}=2.5mg(L-d)\sin53°$，求得 $L=\frac{5}{3}d$，则环下降的高度为 $h'=\sqrt{L^2-d^2}=\frac{4}{3}d$，故 D 正确。

故选 ACD。

3．BC

【详解】A．在 m_1 由 C 点下滑到 A 点的过程中，两球沿绳方向的速度大小是相等的，质量为 m_1 的小球下滑一段时间后其速度有垂直于绳方向的分量，所以此时两个小球的速度大小必然不相等。故 A 错误；

B．重力的功率 $P=mgv_y$，其中 v_y 为质量为 m_1 的小球速度的竖直分量，开始时质量为 m_1 的小球静止 v_y 为 0，当质量为 m_1 的小球运动到 A 点时，其速度方向是水平的，所以 v_y 也为 0，因此 v_y 先变大后变小，所以重力的功率也先增大后减小。故 B 正确；

C．若质量为 m_1 的小球恰好能沿圆弧下滑到 A 点，此时两小球速度均为 0，对两球组成的系统从 C 点运动到 A 点的过程，由几何关系可知质量为 m_2 的小球上升高度为 R。根据系统机械能守恒得 $m_1gR(1-\cos\theta)=m_2gR$

解得 $m_1=2m_2$，故 C 正确；

D．由 C 选项分析可知，两球组成的系统机械能守恒，对质量为 m_1 的小球，由 C 点下滑到 A 点的过程中，除重力以外轻绳的拉力也做了功，其机械能不守恒。故 D 错误。故选 BC。

【跟踪训练】：AD　　D　　AC

1．AD

【详解】A．当 B 运动到滑轮正下方时，B 沿绳方向速度为零，则 A 的速度也为零，说明 A 经历了先加速后减速的过程，先失重后超重，即细绳对小球 A 的拉力先小于 mg 后大于 mg，故 A 正确；

B．因 $v_A = v_B \cos\theta$，小球 B 由静止向左运动至速度最大的过程中，θ角一直变大，可知小球 B 的速度一定总是大于小球 A 的速度，选项 B 错误；

C．当小球 B 运动到滑轮正下方时 B 的速度最大，此时 B 的加速度为零，此时 A 的速度为零，但是加速度不为零，选项 C 错误；

D．当小球 B 运动到滑轮正下方时 B 的速度最大，由机械能守恒定律 $mg(\frac{L}{\cos 37^\circ} - L\tan 37^\circ) = \frac{1}{2}mv^2$

解得小球 B 运动过程中的最大速度大小 $v = \sqrt{gL}$，选项 D 正确。

故选 AD。

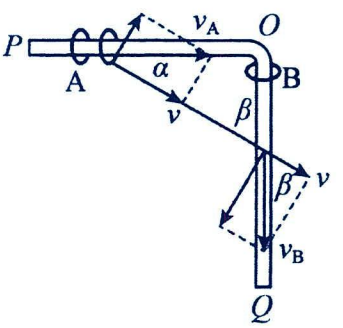
2．D

【详解】A．在 A 环到达 O 点前的过程中，拉力对 B 做负功，机械能不守恒，故 A 错误；

B．B 环下落一段位移后，设绳子与水平方向之间的夹角为α，

则与竖直方向之间的夹角 β=90°-α

设沿绳子方向的分速度为 v，如图



则 $v_A\cos\alpha = v_B\cos\beta$，所以 $v_A = v_B\tan\alpha$，A 与 B 速度之比变化，故 B 错误；

C．根据能量守恒定律可知，在 A 环到达 O 点前的过程中，B 减少的重力势能等于 A 与 B 增加的动能，故 C 错误；

D．由 B 分析可知，A 到达 O 点时 B 的速度等于 0，由机械能守恒得 $mgL = \frac{1}{2}mv^2$

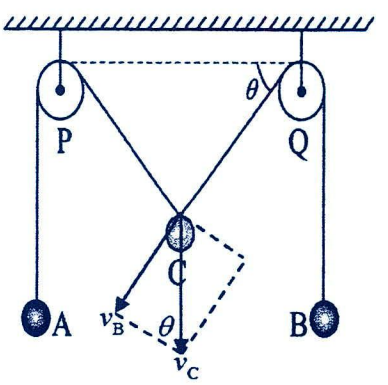
环 A 过 O 点后做加速度等于 g 的匀加速直线运动，B 做自由落体运动，当 A 追上 B 时有 $vt + \frac{1}{2}gt^2 = L + \frac{1}{2}gt^2$

解得 $t = \sqrt{\frac{L}{2g}}$，故 D 正确。

故选 D。

3．AC

【详解】A．忽略一切阻力，A、B、C 三小球组成的系统，只有动能和重力势能之间相互转化，机械能守恒，A 正确；

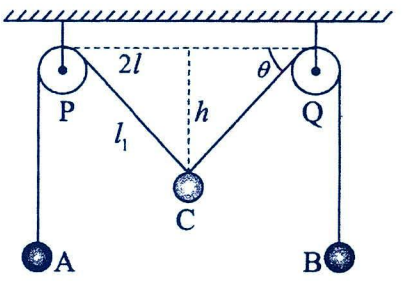


B．小球 C 速度分解如图所示

由对称性可知 $v_A = v_B$，根据三角函数得 $\sin\theta = \frac{v_B}{v_C}$

解得 $v_A = v_B = v_C\sin\theta$，B 错误；

C．设小球 C 下降到最低点时，下降的高度为 h，滑轮与小球 C 之间长度为 l_1，如图所示



小球 C 下降到最低点过程中，三球组成的系统机械能守恒 $2mg(l_1-l)=mgh$，根据勾股定理得 $h=\sqrt{l_1^2-l^2}$

解得 $l=\frac{3}{5}l_1$，此时 $\cos\theta=\frac{l}{l_1}=\frac{3}{5}$，得 $\theta=53°$，C 正确。

D．小球 C 的合力等于 0 时，速度最大，此时三根绳互成 120°角，

根据机械能守恒定律得 $mg\frac{l}{\sqrt{3}}=2mg\left(\frac{2l}{\sqrt{3}}-l\right)+\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2+\frac{1}{2}mv_C^2$，根据速度分解得 $v_A=v_B=v_C\sin 30°$

解得，小球 C 动能的最大值为 $\frac{1}{2}mv_C^2=\frac{4-2\sqrt{3}}{3}mgl$，D 错误。

故选 AC。

题型四：杆连接中的机械能守恒———角速度相等

【精选例题】：C　　C

1．C

【详解】A．释放后，A 球向上运动，速度增大，高度增大，所以 A 球的动能和势能都增大，即 A 球的机械能增大，故 A 错误；

BCD．在杆从水平转至竖直的过程中，A 球和 B 球组成的系统只有重力做功，所以系统的机械能守恒，又根据机械能守恒可得 $E_{A增}=E_{B减}$ 所以 A 球的机械能增大，B 球的机械能减少，杆对 B 球做负功，故 BD 错误，C 正确。

故选 C。

2．C

【详解】AB．A 球到达最低点时，对 AB 系统机械能守恒定律 $(2mg-mg)\cdot\frac{L}{2}=\frac{1}{2}(2m+m)v^2$，解得 $v=\sqrt{\frac{gL}{3}}$

即此时 AB 两球的速度均为 $\sqrt{\frac{gL}{3}}$，故 AB 错误；

CD．摆动过程中，AB 系统的机械能守恒，A 球机械能不守恒，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：ACD　　BC

1．ACD

【详解】A．A、B 两球组成的系统只有重力做功，系统机械能守恒，故 A 正确；

BC．杆从水平位置摆至竖直位置，A、B 球的角速度相等，设在竖直位置 A 球的速度为 v_A，B 球的速度为 v_B，根据圆周运动的角速度与线速度的关系可得 $v_B=2v_A$，根据机械能守恒定律有 $mg\cdot 2L+mgL=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2$

联立解得 $v_B=\frac{2\sqrt{30gL}}{5}$，故 B 错误，C 正确；

D．对小球 B，根据动能定理可得 $mg\cdot 2L+W=\frac{1}{2}mv_B^2$，解得 $W=0.4mgL$，故 D 正确。

故选 ACD。

2．BC

【详解】A．A、B 两球同轴转动，角速度相等，根据 $v=\omega r$，可得 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{2l}{l}=2$

故运动过程中，A、B 两球的速度大小不相等，故 A 错误；

B．运动过程中，系统中只有重力做功，A、B 和支架系统机械能守恒，故 B 正确；

C．A 运动至最低点时，根据机械能守恒 $mg\cdot 2l-mgl=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{A}}^2+\frac{1}{2}mv_{\mathrm{B}}^2$，联立解得 $v_{\mathrm{A}}=\sqrt{\frac{8gl}{5}}$，$v_{\mathrm{B}}=\sqrt{\frac{2gl}{5}}$

故 C 正确；

D．A 运动至最低点的过程中，对 B，根据动能定理有 $W-mgl=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{B}}^2$，解得 $W=\frac{6}{5}mgl$，故 D 错误。故选 BC。

题型五：杆连接中的机械能守恒———角速度不等

【精选例题】：A　　D　　C　　D　　AB

1．A

【详解】A．对 A 球从静止开始到落地前的过程，小球 A、B 构成的系统只有重力做功，所以小球 A、B 构成的系统机械能守恒，故 A 正确；

B．A 球从静止开始运动瞬间，A 球和 B 球竖直方向的加速度均为 0，以两球为整体，可知此时地面对 B 的支持力为 $2mg$，则此时 B 球对水平地面的压力等于 $2mg$，故 B 错误；

CD．若小球 A 一直沿着墙面向下运动，则当小球 A 到达地面时，B 球的速度为 0，则 B 球先向右做加速运动后向右做减速运动，杆对 B 先产生斜向下的推力后产生斜向上的拉力，则在 B 球速度达到最大时，杆的推力为 0，此时 A 球只受重力作用，加速度为重力加速度 g，之后由于 A 球受到斜向下偏右的拉力，则 A 球将会离开墙面，所以小球 A 不可能一直沿着墙面向下运动，故 CD 错误。故选 A。

2．D

【详解】ABD．从释放小球到 a、b 球都滑到水平轨道上，两球组成的系统满足机械能守恒，

则有 $mgR+mg(L+R)=\frac{1}{2}\times 2mv^2$，解得两球都滑到水平轨道上时，$a$、$b$ 两球的速度大小均为 $v=\sqrt{6}\mathrm{m/s}$

从释放小球到 a、b 球都滑到水平轨道上，对 a 球根据动能定理可得 $mgR+W_{杆}=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $W_{杆}=0.4\mathrm{J}$

可知整个过程中轻杆对 a 球做功 0.4J，则 a 球下滑过程中机械能不守恒，故 AB 错误，D 正确；

C．从释放小球到 a、b 球都滑到水平轨道上，整个过程中由于轻杆对 a 球做正功，所以轻杆对 b 球做负功，故 C 错误。故选 D。

3．C

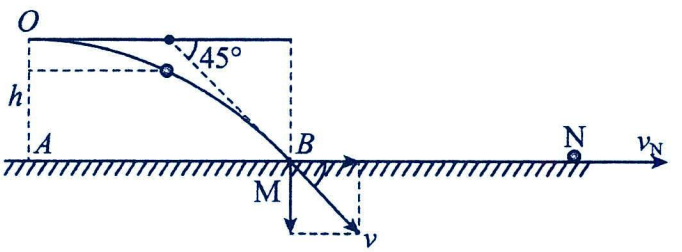
【详解】A．小球 M 运动过程中受重力、轨道对小球的弹力、轻杆对小球的弹力，不满足做平抛运动的条件，故 A 错误；

CD．小球 M 即将落地时，设小球 M 的速度为 v，则小球 N 的速度为 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$，以两小球和轻杆组成的系统为研究对象，根据机械能守恒定律有 $\frac{3mgh}{4}=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}m(\frac{\sqrt{2}}{2}v)^2$，可以求出小球 M 的速度大小为 $v=\sqrt{gh}$

小球 N 的速度大小为 $v'=\frac{\sqrt{2gh}}{2}$，故 C 正确，D 错误；

B．小球 N 的动能为 $E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}m(\frac{\sqrt{2}}{2}v)^2=\frac{1}{4}mgh$，故 B 错误。

故选 C。



4．D

【详解】A．a 球和 b 球组成的系统除重力外没有其他力做功，只有 a 球和 b 球的动能和重力势能相互转换，因此 a 球和 b 球所组成的系统机械能守恒，a 球能回到初始位置，故 A 错误；

B．A 球在最低点速度为零，a 球从释放运动至最低点的过程中，设杆对小球 a 做的功为 W，

由动能定理，有 $mg(\frac{\sqrt{2}}{2}l+l)+W=0$，解得 $W=-mgl(\frac{\sqrt{2}}{2}+1)$，故 B 错误；

C．设轻杆 L 和水平杆 L_2 的夹角为θ，由运动关联可知 $v_b\cos\theta=v_a\sin\theta$，则 $v_b=v_a\tan\theta$，可知当 b 球的速度为零时，轻杆 L 处于水平位置且与杆 L_2 平行，则此时 a 球在竖直方向只受重力 mg，因此 a 球的加速度大小为 g，故 C 错误；

D．当杆 L 和杆 L_1 第一次平行时，a 球运动到最低点，b 球运动到 L_1 和 L_2 交点位置，b 球的速度达到最大，此时 a 球的速度为 0，因此由系统机械能守恒有 $mg(\frac{\sqrt{2}}{2}l+l)=\frac{1}{2}mv_b^2$，解得 $v_b=\sqrt{(2+\sqrt{2})gl}$，故 D 正确。

故选 D。

5．AB

【详解】A．当 A 到达 B 所在水平面时，由运动的合成与分解有 $v_{\mathrm{A}}\cos45°=v_{\mathrm{B}}$，代入得 $v_{\mathrm{B}}=\frac{\sqrt{2}}{2}v_{\mathrm{A}}$，A 正确；

B．从开始到 A 到达 B 所在的水平面的过程中，A、B 两滑块组成的系统机械能守恒，

由机械能守恒定律有 $mgL\sin30°=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{B}}^2+\frac{1}{2}mv_{\mathrm{A}}^2$，代入得 $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{\frac{gL}{3}}$，B 正确；

C．滑块 B 到达最右端时，此时轻杆与倾斜直杆垂直，则此时滑块 B 的速度为零，

由机械能守恒可得 $mgL(\sin30°+\sin45°)=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{A}}^2$，代入得 $v_{\mathrm{A}}=\sqrt{(1+\sqrt{2})gL}$，C 错误；

D．由题意可知，B 的加速度为零时速度最大，当轻杆与水平直杆垂直时 B 的合力为零，速度最大，此时 A 的速度为零，由系统机械能守恒可得 $mgL(1+\sin30°)=E_{\mathrm{kB}}$，代入得 $E_{\mathrm{kB}}=\frac{3}{2}mgL$，D 错误；

故选 AB。

【跟踪训练】：D　　B　　B　　AD　　AD

1．D

【详解】A．当 a 到达底端时，b 的速度为零，b 在整个过程中，速度先增大后减小，则动能先增大后减小，所以轻杆对 b 先做正功，后做负功，故 A 错误；

C．b 的速度在整个过程中，先增大后减小，所以 a 对 b 的作用力先是动力后是阻力，所以 b 对 a 的作用力就先是阻力后是动力，所以在 b 减速的过程中，b 对 a 是向下的拉力，此时 a 的加速度大于重力加速度 g，故 C 错误；

BD．a 落地前，把 ab 看成整体，只有重力做功，所以机械能守恒，但 a 下落过程中，其机械能不守恒。当 a 的机械能最小时，b 的速度最大，此时 b 受到 a 的推力为零，b 只受到重力的作用，所以 b 对地面的压力大小为 mg，故 B 错误，D 正确。

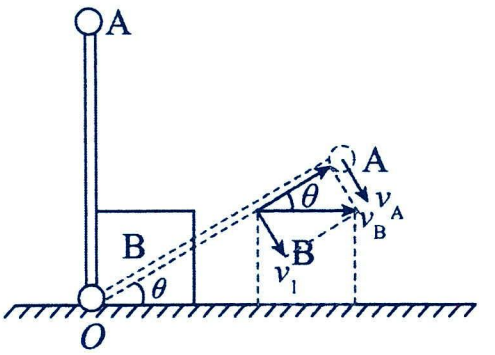
故选 D。

2．B

【详解】以 BC 所在平面为零势能面，根据机械能守恒 $3mgR=3mgh_1+mgh_2$，又 $h_2-h_1=R$，得 $h_2=\frac{3}{2}R$

故 b 球能到达的最大高度 h 为 $h=h_2+R=\frac{5}{2}R$

故选 B。



2．B

【详解】小球 A 顺时针转动，物块 B 向右运动，如图所示

根据运动的分解有 $v_1=v_B\sin\theta$，$\frac{v_1}{v_A}=\frac{\frac{h}{\sin\theta}}{L}$

小球 A 转动过程中，系统机械能守恒，则有 $mgL(1-\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}Mv_B^2$，联立解得 $v_A=v_B=\sqrt{\frac{1}{5}gL}$

故选 B。

3．AD

【详解】A．AB 与轻杆组成的系统机械能守恒，且沿杆分速度相等，当 A 滑到圆心等高处时，由于速度与杆垂直，此时 B 球速度为 0，根据机械能守恒定律 $4mgR=\frac{1}{2}4mv^2$，解得 $v=\sqrt{2gR}$，A 正确；

B．当 A 滑到圆心等高处时，B 在这个过程中先加速后减速，轻杆对他先做正功后做负功，B 错误；

C．A 机械能最小时 B 的机械能最大，速度最大，此时 B 加速度为 0，轻杆对 B 作用力为 0，故水平杆对 B 的弹力应等于 mg，C 错误；

D．A 滑动一圈的过程中，两次经过圆心等高处时，B 的速度都为 0，A 的机械能与最高点处机械能相等，D 正确。

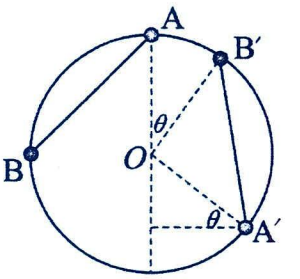
故选 AD。

4．AD

【详解】A．由于轻杆长为 $\sqrt{2}R$，根据几何关系可知，ΔOAB 为等腰直角三角形，根据速度分解规律，两球沿轻杆的分速度相等，则两球速度大小始终相等，两球在运动过程中，当 B 球到达最低点过程，对 A、B 构成的系统有 $mgR+\sqrt{3}mgR=\frac{1}{2}\left(m+\sqrt{3}m\right)v_1^2$，解得 $v_1=\sqrt{2gR}$，故 A 正确；

BC．从释放到 B 球到达最低点过程中，A 球由最高点到达四分之一圆周处，A 球末速度方向竖直向下，可知，在水平方向上，A 球初速度为 0，A 在圆周最左侧水平分速度也为 0，在水平方向上，A 先加速后减速，即轻杆对 A 的弹力开始是拉力，即开始时，轻杆对 A 做正功，A 的机械能增大，结合上述数据，若以过圆心的水平直线为零势能面，则小球 A 在最高点的重力势能等于小球 A 在圆周最左侧位置的动能，即小球 A 在最高点的机械能等于小球 A 在圆周最左侧位置的机械能。其中小球 A 与小球 B 运动到杆竖直时，两球动能相同，减小的重力势能也相同，则两小球的机械能等于初始状态的机械能；此后 A 球的速度变化量向右，即杆的力为拉力，对 A 球做正功，综上可知，全过程 A 的机械能先增加后减小，再增加后减小，故 BC 错误；

D．B 球在圆环右侧区域内能达到的最高点位置如图所示，设此时 B 球与圆心连线与竖直方向的夹角为 θ，



对 A、B 构成的系统有 $mg\left(R+R\sin\theta\right)-\sqrt{3}mgR\cos\theta=0$，则有 $\theta=30°$

则 B 球上升的高度 $h=R\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}R$，故 D 正确。

故选 AD。

题型六：弹簧中的机械能守恒

【精选例题】：C　　B　　BCD　　B　　BC

1．C

【详解】A．上升高度为h_1时，人的动能最大，速度最大，加速度为零，故A错误；

BD．最高点下落到h_1的过程中，图中$h_2\sim h_3$段为直线，人只受重力作用，即下落到h_2的过程中，人的机械能守恒，h_2：h_1阶段人做方向向下的加速度减小的加速运动，此时有弹力作用，弹簧处于压缩状态，对人做负功，人的机械能减小，故B错误，D错误；

C．高度为h=0时，下降到最低点，人的动能为零，速度向下减为零，加速度向上，故人处于超重状态，故C正确。

故选C。

2．B

【详解】A．运动员接触蹦床后，蹦床弹力逐渐增大，弹力小于重力阶段，运动员继续加速运动，加速度减小；弹力等于重力时，加速度为零，速度最大，运动继续向下运动；弹力大于重力，运动员做减速运动，加速度增大，故A错误；

B．运动员在B点时，重力与弹力大小相等，运动员加速度为零，速度最大，故B正确；

C．运动员从B点到C点的过程中，弹力增大，弹力大于重力，由牛顿第二定律$F-mg=ma$

可知加速度增大，故运动员做加速度逐渐增大的减速运动，故C错误；

D．从A点下落至B点的过程，运动员的机械能有一部分转化为蹦床的势能，运动员机械能减少，故D错误。

故选B。

3．BCD

【详解】AC．D到C过程，橡皮筋的弹力对弹丸做正功，弹丸的机械能一直增大，橡皮筋的弹性势能一直减小，故A错误，C正确；

B．D到C过程，橡皮筋的弹力逐渐减小，橡皮筋的弹力先大于弹丸的重力，弹丸做加速度减小的加速运动，当橡皮筋的弹力等于弹丸的重力时，弹丸的速度到达最大，此后橡皮筋的弹力小于弹丸的重力，弹丸做加速度增大的减速运动，故弹丸的动能先增大后减小，故B正确；

D．从D到C过程两边橡皮筋的弹力在减小，夹角在增大，故两边橡皮筋的合力在减小，故从D到E过程，橡皮筋作用在弹丸上的弹力大于从E到C过程，橡皮筋作用在弹丸上的弹力，两段位移相等，橡皮筋对弹丸做的功D到E过程大于E到C过程，故D正确。故选BCD。

4．B

【详解】A．人和弹性橡皮绳组成系统，只有重力和弹力做功，所以人和弹性橡皮绳组成系统机械能守恒，故A错误；

B．从a至c的过程中，动量的变化量为负值，根据动量定理可知合力的冲量方向向上，则重力的冲量大小应小于弹性绳的冲量大小，故B正确；

C．从p至b的过程中，根据动能定理有$W_{\mathrm{G}}-W_{\text{弹}}=\Delta E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}mv_b^2-0>0$，可知从$p$至$b$的过程中重力所做的功大于人克服弹力所做的功，故C错误；

D．a 至 c 的过程中，速度先增大后减小，则人的动量先增大后减小，故 D 错误。故选 B。

5．BC

【详解】A．圆环在下滑过程中，弹簧对其做负功，故圆环机械能减小，故 A 错误；

B．圆环下滑到最大的距离时，由几何关系可知，圆环下滑的距离为 $\sqrt{(2L)^2-L^2}=\sqrt{3}L$

圆环的速度为零，根据整个系统机械能守恒，可得 $E_{p弹}=mg\times\sqrt{3}L=\sqrt{3}mgL$，

即弹簧弹性势能变化了 $\sqrt{3}mgL$，故 B 正确；

C．圆环下滑过程中，所受合力为零时，加速度为零，速度最大，而下滑至最大距离时，物体速度为零，加速度不为零，所受合力不为零，故 C 正确；

D．在下滑过程中，圆环的机械能与弹簧弹性势能之和保持不变，故 D 错误。

故选 BC。

【跟踪训练】：D　　C　　A　　CD

5．（1）$E_{p1}=2.5mgR$；（2）$F_{压}=mg$，方向竖直向上；（3）$v_D=\sqrt{\frac{2}{3}gR}$

1．D

【详解】A．小球从 A 到 B 做自由落体运动，从 B 到 C 过程，由于弹簧弹力小于小球重力，小球做加速度减小的加速运动，在 C 位置小球所受弹力大小等于重力，此时小球加速度为零，小球的速度最大，动能最大，故 A 错误；

B．小球从 $A\rightarrow D$ 位置，由于弹力对小球做负功，所以小球的机械能不守恒，故 B 错误；

C．小球从 $A\rightarrow D$ 位置，由于小球在 A、D 两位置的动能均为零，根据系统机械能守恒可知，从 $A\rightarrow D$ 位置，小球重力势能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量，故 C 错误；

D．根据系统机械能守恒可知，从 $A\rightarrow C$ 位置小球重力势能的减少量等于小球动能与弹簧弹性势能的增加量之和，即小球重力势能的减少量大于弹簧弹性势能的增加量，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】A．从 a 到 b，弹簧对小球有沿弹簧向下的拉力，则小球的加速度大于 g，到达 b 点时，弹簧弹力为零，小球的加速度等于 g，所以小球在 b 点时加速度不是最大，故 A 错误；

B．小球从 a 点下滑到 d 点的过程中，小球与弹簧组成的系统机械能守恒，但由于运动过程中弹簧的弹力对小球做功，小球的机械能不守恒，故 B 错误；

C．从 a 下滑到 c 点的过程中，对于滑块与弹簧组成的系统，由机械能守恒定律得 $mg\cdot 2l\tan 37^\circ=\frac{1}{2}mv_c^2$

可得滑块在 c 点的速度大小为 $v_c=\sqrt{3gl}$，故 C 正确；

D．小球从 c 点下滑到 d 点的过程中，弹簧的弹性势能增加量等于小球的机械能减小量，

即 $\Delta E_p=mgl(\tan 53^\circ-\tan 37^\circ)+\frac{1}{2}mv_c^2$，所以 $\Delta E_p=\frac{25}{12}mgl$，故 D 错误。

故选 C。

3．A

【详解】A．因放手后笔将会竖直向上弹起一定的高度 h，该过程中弹簧的弹性势能转化为重力势能，则弹性势能为 mgh，则按压时笔内部弹簧的弹性势能增加了 mgh，选项 A 正确；

B．放手后到笔向上离开桌面的过程弹簧的弹性势能转化为笔的动能和重力势能，选项 B 错误；

C．笔在离开桌面后的上升阶段，加速度向下为 g，则处于完全失重状态，选项 C 错误；

D．根据竖直上抛运动的对称性可知，笔从离开桌面到落回桌面过程的时间为 $t=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$，选项 D 错误。

故选 A。

4．CD

【详解】A．由于只有重力和弹簧弹力做功，弹簧与三小球构成的系统机械能守恒，当 A 下降到最低点时，三只小球速度均为 0，系统动能最小，系统势能最大，A 错误；

B．根据对称性可知，B、C 两小球速度大小相等，设 A 球速度大小为 v，B、C 两小球速度大小为 v_1，根据牵连速度关系，有 $v\cos\frac{\alpha}{2}=v_1\cos\frac{180^\circ-\alpha}{2}$，整理得 $v\cos\frac{\alpha}{2}=v_1\sin\frac{\alpha}{2}$，$\frac{v}{v_1}=\tan\frac{\alpha}{2}$

三小球的动能之比为，$E_{kA}:E_{kB}:E_{kC}=\frac{1}{2}\cdot 2mv^2:\frac{1}{2}mv_1^2:\frac{1}{2}mv_1^2=2\tan^2\frac{\alpha}{2}:1:1$，B 错误；

C．A 的动能最大时，速度达到最大，此时 A 所受合力为 0，设 A 与 B 间杆上的力为 T，对 A，有，$2T\cos\frac{\alpha}{2}=2mg$

对 B 受力分析，竖直方向，有 $N=mg+T\sin\frac{180^\circ-\alpha}{2}=mg+T\cos\frac{\alpha}{2}=2mg$，C 正确；

D．当 A 下降到最低点时，弹簧的弹性势能最大，此时三个小球速度均为 0 ，根据系统机械能守恒，可知 A 球减小的重力势能等于弹簧的弹性势能，有 $E_{p弹}=2mgh=2mg\left(L\cos\frac{60^\circ}{2}-L\cos\frac{120^\circ}{2}\right)=\left(\sqrt{3}-1\right)mgL$ ，D 正确。

故选 CD。

5．（1）$E_{p1}=2.5mgR$；（2）$F_{压}=mg$，方向竖直向上；（3）$v_D=\sqrt{\frac{2}{3}gR}$

【详解】（1）小球恰能过 C 点，由牛顿第二定律得 $mg=m\frac{v_{C1}^2}{R}$

由系统机械能守恒定律得 $E_{p1}=\frac{1}{2}mv_{C1}^2+mg\cdot 2R$，联立解得 $E_{p1}=2.5mgR$

（2）由系统机械能守恒定律得 $E_{p2}=\frac{1}{2}mv_{C2}^2+mg\cdot 2R=3mgR$

在 C 点由牛顿第二定律得 $F_C+mg=m\frac{v_{C2}^2}{R}$，联立解得 $F_C=mg$

由牛顿第三定律可知小球对导轨的压力 $F_{压}=F_C=mg$，方向竖直向上；

（3）若小球在 D 点恰离开导轨，与导轨间的弹力为零，设此时的速度为 v_D，小球与圆心连线与竖直方向夹角为 θ，由牛顿第二定律有 $mg\cos\theta=m\frac{v_D^2}{R}$，由系统机械能守恒定律得 $E_{p3}=\frac{1}{2}mv_D^2+mg\cdot R(1+\cos\theta)=2mgR$

解得 $v_D=\sqrt{\frac{2}{3}gR}$

题型七：非质点及流体中的机械能守恒

【精选例题】：A　　D　　C　　C　　B　　B

1．A

【详解】设管子的横截面积为 S，液体的密度为ρ。拿去盖板，液体开始运动，

根据机械能守恒定律得 $\rho hSg\cdot\frac{1}{4}h=\frac{1}{2}\rho 4hSv^2$，解得 $v=\sqrt{\frac{gh}{8}}$

故选 A。

2．D

【详解】A．因为是缓慢拉动，所以物体动能不变，故 A 错误；

B．根据功能关系，重力势能的增加量等于克服重力做的功，所以：$\Delta E_p=\frac{1}{3}mg\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}l=\frac{1}{18}mgl$，故 B 错误；

C．物体动能不变，重力势能增加了 $\frac{1}{18}mgl$，所以机械能增加了 $\frac{1}{18}mgl$，故 C 错误；

D．根据 B 选项分析物体克服重力所做的功为 $\frac{1}{18}mgl$，故 D 正确。

故选 D。

3．C

【详解】铁链从开始到刚脱离滑轮的过程中，链条重心下降的高度为：$\frac{1}{2}L-\frac{1}{4}L=\frac{1}{4}L$

在链条下落过程中，其机械能守恒，则得：$mg\cdot\frac{1}{4}L=\frac{1}{2}mv^2$，解得：$v=\sqrt{\frac{gL}{2}}$

故 ABD 错误，C 正确．

4．C

【详解】设桌面为势能零点，图 a 中根据机械能守恒定律有 $-\frac{1}{2}mg\times\frac{L}{4}=\frac{1}{2}mv_a^2-mg\times\frac{L}{2}$，解得 $v_a=\frac{\sqrt{3gL}}{2}$

图 b 中根据机械能守恒定律有 $-\frac{1}{2}mg\times\frac{L}{4}=\frac{1}{2}\times 2mv_b^2-mg\times\frac{L}{2}$，解得 $v_b=\frac{\sqrt{6gL}}{4}$

图 c 中根据机械能守恒定律有 $-\frac{1}{2}mg\times\frac{L}{4}-mg\cdot\frac{L}{2}=\frac{1}{2}\times 2mv_c^2-mg\times\frac{L}{2}-mgL$，解得 $v_c=\frac{\sqrt{14gL}}{4}$，则有 $v_c>v_a>v_b$

故选 C。

5．B

【详解】设链条的质量为 $2m$，以开始时链条的最高点为零势能面，链条的机械能为

$E=-\frac{1}{2}\times 2mg\times\frac{L}{4}\sin\theta-\frac{1}{2}\times 2mg\times\frac{L}{4}=-\frac{1}{4}mgL(1+\sin\theta)$

链条全部滑出后，动能为 $E_k'=\frac{1}{2}\times 2mv^2$，重力势能为 $E_p'=-2mg\frac{L}{2}$

由机械能守恒可得 $E=E_k'+E_p'$，即 $-\frac{1}{4}mgL(1+\sin\theta)=mv^2-mgL$，解得 $v=\frac{5\sqrt{2}}{2}\text{m/s}$

故选 B。

6．B

【详解】AC．整条长铁链机械能守恒，当长铁链布满圆形管状轨道时，重力势能最大，速度最小，从此时到最后一节铁链进入轨道之前，重力势能不变，每节铁链通过最高点的速度不变，故 AC 错误；

B．第一节与最后一节铁链到达最高点时整条长铁链的重力势能相等，由于机械能守恒，则速度大小相等，故 B 正确；

D．整条长铁链机械能守恒，当长铁链布满圆形管状轨道时，重力势能最大，速度最小，由于圆形管状轨道在最高点可以提供支持力，所以速度大于零即可保持继续前进,故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：B　　C　　BD　　BC　　AC　　CD

1．B

【详解】A．物块 M 下落过程中，软绳对物块做负功，物块的机械能逐渐减小，A 错误；

B．物块下落过程中，物块对绳子的拉力做正功，软绳的机械能增加，B 正确；

C．以初态软绳下端所在水平面为零势能面，则初态软绳重力势能为 $E_{p1}=mg\frac{l}{2}=\frac{1}{2}mgl$

末态软绳的重力势能为 $E_{p2}=0$，则 $\Delta E_p=E_{p2}-E_{p1}=-\frac{1}{2}mgl$

即软绳重力势能共减少了 $\frac{1}{2}mgl$，C 错误；

D．根据系统的机械能守恒得：软绳重力势能的减少量等于物块机械能的增加量与软绳动能增加量之和，D 错误。

故选 B。

2．C

【详解】A．铁链下滑过程中靠近 B 端的一小段铁链受到上边拉链的拉力，该拉力做负功，故机械能不守恒，故 A 错误；

B．根据几何关系可知，铁链长度为 $L=\frac{\pi R}{3}=2\text{m}$，铁链全部贴在球体上时，质量分布均匀且形状规则，则其重心在几何中心且重心在 $\angle AOB$ 的角平分线上，故铁链在初始位置时其重心与圆心连线长度等于端点 B 滑至 C 处时其重心与圆心连线长度，均设为 h_0，根据机械能守恒定律有 $mgh_0-mgh_0\sin30°=\frac{1}{2}mv_1^2$，代入数据解得 $h_0=1.8\text{m}$

故 B 错误；

C．铁链的端点 A 滑至 C 点时，其重心在参考平面下方 $\frac{L}{2}$ 处，

则铁链的端点 A 滑至 C 点时其重心下降 $\Delta h=h_0+\frac{L}{2}=2.8\text{m}$，故 C 正确；

D．铁链的端点 A 滑至 C 处过程，根据机械能守恒定律有 $mg\Delta h=\frac{1}{2}mv_2^2$，解得 $v_2=2\sqrt{14}\,\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 C。

3．BD

【详解】AB．物块下降的高度为 $h=l$，物块重力做功为 $W=mgl$，所以物块重力势能减少了 $\Delta E_{\text{p}}=mgl$，

物块减少的重力势能转化为软绳增加的机械能和物块本身的动能，故 A 错误，B 正确；

C．物块未释放时,软绳的重心离斜面顶端的高度为 $h_1=\frac{l}{2}\sin30°=\frac{l}{4}$

软绳刚好全部离开斜面时，软绳的重心离斜面顶端的高度 $h_2=\frac{l}{2}$

则软绳重力势能共减少 $mg(\frac{l}{2}-\frac{l}{4})=\frac{1}{4}mgl$，故 C 错误；，根据机械能守恒有 $mgl+\frac{1}{4}mgl=\frac{1}{2}(m+m)v^2$

则 $v=\frac{1}{2}\sqrt{5gl}$，故 D 正确。故选 BD。

4．BC

【详解】A．当所有球都在斜面上运动时机械能守恒，当有球在水平面上运动时，后面球要对前面的球做功，小球机械能不守恒，选项 A 错误；

B．球 6 在 OA 段由于球 5 的推力对其做正功，其机械能增大，选项 B 正确；

C．由于有部分小球在水平轨道上运动时，斜面上的小球仍在加速，所以可知离开 A 点时球 6 的速度最小，水平射程最小，选项 C 正确；

D．当 1、2、3 小球均在 OA 段时，三球的速度相同，故从 A 点抛出后，三球落地点也相同，选项 D 错误。

故选 BC。

5．AC

【详解】在下滑的过程中，水平面上的小球要做匀速运动，而曲面上的小球要做加速运动，则后面的小球对前面的小球要向前压力的作用，所以小球之间始终相互挤压，冲上斜面后后面的小球把前面的小球往上压，所以小球之间始终相互挤压，故 N 个小球在运动过程中始终不会散开，故 A 正确；把 N 个小球看成整体，若把弧 AB 的长度上的小球全部放在高度为 R 的斜面上，通过比较可知，放在斜面上的 N 个小球的整体的重心位置比较高．而放在斜面上时，整体的重心的高度为：$\frac{1}{2}$R，选择 B 点为 0 势能点，则整体的重力势能小于 $\frac{1}{2}$NmgR，小球整体的重心运动到最低点的过程中，根据机械能守恒定律得：$\frac{1}{2}$Nmv²＜Nmg•$\frac{1}{2}$R；解得：v＜$\sqrt{gR}$，即第 1 个小球到达最低点的速度 v＜$\sqrt{gR}$，故 B 错误，D 错误；冲上斜面后，前面的小球在重力沿斜面向下的分力的作用下，要做减速运动，而后面的小球由于惯性想变成匀速运动，所以后面的小球把前面的小球往上推，后面的小球对前面的小球做正功，所以可得第 N 个小球在斜面上向上运动时机械能增大．故 C 正确．故选 AC．

6．CD

【详解】B．拔掉插销后，小球依次紧密排列运动，整体的加速度大小相等，设为 a，设小球总数为 n，运动过程中倾斜圆筒中剩余的小球个数为 k（$1\le k\le n$），对整体根据牛顿第二定律有 $kmg\sin 30°=nma$，解得 $a=\frac{k}{2n}g$

所以整体的加速度与 k 有关，则 1 号球在下滑过程中做加速度减小的加速运动，故 B 错误；

D．易知所有小球都运动到 OQ 段上后速度相同，且都等于 1 号球经过 O 点时的速度，以 n 个小球整体为研究对象，整体的重心在开始时位于 PO 中点，则对从拔掉插销到所有小球都到达 OQ 段的过程，根据机械能守恒定律有 $nmg\cdot\frac{1}{2}L\sin 30°=\frac{1}{2}nmv^2$，解得 $v=\sqrt{\frac{gL}{2}}$，故 D 正确；

AC．对于 1 号球从 P 到 O 的运动过程，设 2 号球与 1 号球做的功为 W，根据动能定理有 $mgL\sin 30°+W=\frac{1}{2}mv^2$

解得 $W=-\frac{mgL}{4}$，所以 1 号球在下滑过程中有除了重力之外的力对 1 号球做了负功，其机械能不守恒，又因为 1、2 号球之间相互作用力始终大小相等、方向相反，且整个下滑过程位移相同，

所以 1 号球对 2 号球做的功为 $W'=-W=\frac{mgL}{4}$，故 A 错误，C 正确。故选 CD。

第十三讲：实验：验证机械能守恒定律

题型一：实验原型

【精选例题】：1．（1）ABDG，（2）BC，（3）3.65，3.97，（4）P，（5）g

1．（1）ABDG，（2）BC，（3）3.65，3.97，（4）P，（5）g

【详解】（1）AB．为了减小空气阻力和摩擦阻力的影响，重物选用质量和密度较大的金属锤，安装打点计时器时，应使两个限位孔处于同一直线上，故 AB 正确；

C．求解速度时需利用纸带上的点迹，用平均速度等于中间时刻的瞬时速度的思想方法去求解，若用 $v=gt$ 或者 $v=\sqrt{2gh}$ 计算某点速度则相当于默认机械能已守恒，失去了验证实验的意义，故 C 错误；

D．为了充分利用纸带，应先接通电源，后释放重物，故 D 正确。

E．验证机械能守恒定律的实验原理是 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$ 或 $mgh=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，显然，等式两边的质量可以约去，因此本实验不需要测量重物的质量，故 E 错误；

F．数据处理时，应选择纸带上距离较远的两点作为初、末位置，距离越远测量时因读数造成的相对误差就越小，故 F 错误；

G．图中两限位孔必须在同一竖直线上，避免纸带与限位孔之间的摩擦而造成实验误差，故 G 正确；

故选 ABDG。

（2）A．当知道 OA、AD 和 EG 的长度时，无法求出 A 点和 D 点的速度，可以求出 F 点的速度，但无法知道 F 点到 O 点的距离，故 A 错误；

B．当知道 OC、BC 和 CD 的长度时，可以求出 C 点的速度，也可以知道 C 点到 O 点的距离，可以验证机械能守恒定律，故 B 正确；

C．当知道 BD、CF 和 EG 的长度时，知道 BD 的长度可以求出 C 点的速度，根据 EG 的长度可以求出 F 点的速度，结合 CF 的长度，可以验证机械能守恒定律，故 C 正确；

D．当知道 AC、BD 和 EG 的长度时，分别可求出 B 点、C 点、F 点的速度，但无法知道 B 点、C 点、F 点到 O 点的距离，故 D 错误。

故选 BC。

（3）[1]根据匀变速直线运动中间时刻速度等于该段过程的平均速度，

则有 $v_4=\frac{x_{35}}{2T}=\frac{(46.08-35.28)\times10^{-2}}{2\times0.02}\text{m/s}=2.7\text{m/s}$

则打点计时器在打 0 点到 4 点的这段时间内，

重锤动能的增加量为 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_4^2-0=\frac{1}{2}\times1\times2.7^2\text{J}\approx3.65\text{J}$

[2]打点计时器在打 0 点到 4 点的这段时间内，

重锤重力势能的减少量为 $\Delta E_p=mgh_{04}=1\times9.8\times0.4050\text{J}\approx3.97\text{J}$

（4）设重物下落过程中受到的阻力为 f，根据动能定理可得 $(mg-f)h=\frac{1}{2}mv^2-0$

整理可得 $v^2=2\left(g-\frac{f}{m}\right)h$；则 v^2-h 图像的斜率为 $k=2\left(g-\frac{f}{m}\right)$

由于重物 P、Q 质量相同，结合图丙可知重物 Q 所受阻力较大，因此选重物 P 进行实验误差更小。

（5）[1]根据机械能机械能守恒定律的实验原理$mgh=\frac{1}{2}mv^2$，可得$\frac{1}{2}v^2=gh$

即当直线的斜率近似等于重力加速度g时，可认为机械能守恒。

【跟踪训练】：1．（1）220 V交流；（2）　$\frac{(h_3-h_1)f}{2}$　　$(m_2-m_1)gh_2=\frac{(m_1+m_2)(h_3-h_1)^2f^2}{8}$

1．（1）220 V交流；（2）　$\frac{(h_3-h_1)f}{2}$　　$(m_2-m_1)gh_2=\frac{(m_1+m_2)(h_3-h_1)^2f^2}{8}$

(3)空气阻力的影响、测量存在误差、指针与纸带间存在摩擦

【详解】（1）根据电火花计时器的结构和工作原理可知必须接220 V交流电源。

（2）[1]打点时间间隔$T=\frac{1}{f}$

在匀变速直线运动中中间时刻的速度等于相邻两点的平均速度，故$v_B=\overline{v_{AC}}=\frac{x_{AC}}{2T}=\frac{(h_3-h_1)f}{2}$

[2]若要验证纸带从O到B的过程中系统机械能守恒，需要验证系统重力势能的减少量等于系统动能的增加量，即$(m_2-m_1)gh_2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v_B^2$

将上述分析中的B点速度表达式代入可得需验证的表达式是$(m_2-m_1)gh_2=\frac{(m_1+m_2)(h_3-h_1)^2f^2}{8}$

（3）本实验主要的误差来源有：空气阻力的影响、测量存在误差、指针与纸带间存在摩擦。

题型二：实验创新

【精选例题】：1．(1)略大于h

(2)　$\frac{d}{t}$　　$gh=\frac{3}{2}\left(\frac{d}{t}\right)^2$　　物块A、B、C组成的系统

(3)存在空气阻力、滑轮摩擦阻力

2．　$\frac{1}{t_0^2}=\frac{2g}{d^2}H_0$　　减少

3．(1)50.00

(2)　$\frac{d}{\Delta t_1}$　　$\frac{d}{\Delta t_2}$　　$\frac{1}{2}(m+M)\frac{d^2}{\Delta t_1^2}$　　$\frac{1}{2}(m+M)\frac{d^2}{\Delta t_2^2}$　　mgx

(3) $mgx=\frac{1}{2}(M+m)(\frac{d^2}{\Delta t_2^2}-\frac{d^2}{\Delta t_1^2})$

1．(1)略大于h；(2)　$\frac{d}{t}$　　$gh=\frac{3}{2}\left(\frac{d}{t}\right)^2$　　物块A、B、C组成的系统；(3)存在空气阻力、滑轮摩擦阻力

【详解】（1）要保证实验成功，由于C落地后，A、B的速度大小不变，即为C落地时的速度，但要在B落地前通过光电门，因此开始时挡光片到光电门的距离略大于h。

（2）[1]物块A通过光电门的速度$v=\frac{d}{t}$

[2] [3]如果表达式$mgh=\frac{1}{2}\times3m\left(\frac{d}{t}\right)^2$成立，即$gh=\frac{3}{2}\left(\frac{d}{t}\right)^2$成立，则物块A、B、C组成的系统机械能守恒。

（3）实验中发现研究对象重力势能的减少量大于动能的增加量，原因是存在空气阻力、滑轮摩擦阻力。

2. $\frac{1}{t_0^2}=\frac{2g}{d^2}H_0$　　减少

【详解】

（2）①[1]小球经过 B 处的光电门时的速度为 $v_B=\frac{d}{t}$

从 A 到 B 过程，根据机械能守恒可得 $mgH=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\frac{d^2}{t^2}$；可得 $\frac{1}{t^2}=\frac{2g}{d^2}H$

则当图中已知量 t_0、H_0 和重力加速度 g 及球的直径 d 满足表达式 $\frac{1}{t_0^2}=\frac{2g}{d^2}H_0$，可判断小球下落过程中机械能守恒。

②[2]由于该过程中有空气阻力做功，而 A、B 之间高度差越大，空气阻力做功越多，故适当降低下落高度后，空气阻力做功减少，则 $\Delta E_p-\Delta E_k$ 将减少。

3. (1)50.00，(2)　$\frac{d}{\Delta t_1}$　$\frac{d}{\Delta t_2}$　$\frac{1}{2}(m+M)\frac{d^2}{\Delta t_1^2}$　$\frac{1}{2}(m+M)\frac{d^2}{\Delta t_2^2}$　mgx

(3) $mgx=\frac{1}{2}(M+m)(\frac{d^2}{\Delta t_2^2}-\frac{d^2}{\Delta t_1^2})$

【详解】(1) 由图可知，两光电门中心之间的距离为 $x=70.30-20.30\text{cm}=50.00\text{cm}$

(2) [1][2]滑块通过光电门 1 和光电门 2 时的瞬时速度分别为，$v_1=\frac{d}{\Delta t_1}$，$v_2=\frac{d}{\Delta t_2}$

[3][4]当滑块通过光电门 1 和光电门 2 时，系统（包括滑块、挡光条、砝码盘和砝码）的总动能分别为

$E_{k1}=\frac{1}{2}(M+m)v_1^2=\frac{1}{2}(M+m)\frac{d^2}{\Delta t_1^2}$，$E_{k2}=\frac{1}{2}(M+m)v_2^2=\frac{1}{2}(M+m)\frac{d^2}{\Delta t_2^2}$

（3）若在实验误差允许的范围内，系统机械能守恒，则 $\Delta E_p=E_{k2}-E_{k1}$

即 $mgx=\frac{1}{2}(M+m)\frac{d^2}{\Delta t_2^2}-\frac{1}{2}(M+m)\frac{d^2}{\Delta t_1^2}=\frac{1}{2}(M+m)(\frac{d^2}{\Delta t_2^2}-\frac{d^2}{\Delta t_1^2})$

【跟踪训练】：

1. (1) $gh_{OE}=\frac{(h_{OF}-h_{OD})^2}{8\Delta t^2}$　否　B；(2) $\frac{d}{t}$　$mgh=\frac{1}{2}(2M+m)\left(\frac{d}{t}\right)^2$　天平；(3)AB

2. (1)2.4；(2) $\frac{md^2}{2t^2}$；(3)　B　大于

1. (1) $gh_{OE}=\frac{(h_{OF}-h_{OD})^2}{8\Delta t^2}$　否　B；(2) $\frac{d}{t}$　$mgh=\frac{1}{2}(2M+m)\left(\frac{d}{t}\right)^2$　天平；(3)AB

【详解】(1) [1]重物到达 E 点时的速度 $v_E=\frac{h_{OF}-h_{OD}}{2(\Delta t)}$

若机械能守恒则有 $mgh_{OE}=\frac{1}{2}mv_E^2$

联立上式，整理可得 $gh_{OE}=\frac{(h_{OF}-h_{OD})^2}{8(\Delta t)^2}$

[2]表中的 ΔE_p 与 ΔE_k 之间存在差异，ΔE_p 小于 ΔE_k，不是由于空气阻力造成的，如果考虑空气阻力的影响，重力势能的减少量应大于动能的增加量。

[3] 若考虑阻力的影响，设阻力为 f，根据动能定理可得 $(mg-f)h=\frac{1}{2}mv^2$

整理的 $\frac{1}{2}v^2=(g-\frac{f}{m})h$

可知 $\frac{1}{2}v^2-h$ 图像是通过原点的一条直线，B 正确。

故选 B。

（2）[1]由题可知，物体 B 刚穿过圆环后的速度 $v=\frac{d}{t}$

[2]若系统机械能守恒，则有 $mgh=\frac{1}{2}(2M+m)v^2$

整理即为 $mgh=\frac{1}{2}(2M+m)(\frac{d}{t})^2$

[3]由上述分析可知，必须测得物体 A、B 的质量 M 和金属片 C 的质量 m，故实验器材中需要天平测量相关物体的质量。

[5]在滑块从光电门 1 运动到光电门 2 的过程中，系统重力势能的减少量为 $\Delta E_p=mgx$

（3）A．适当增大两光电门的高度差，可以减小高度测量时的误差，故 A 正确；

B．适当增大甲重物刚开始下落时距离 A 光电门的高度，这样子甲重物通过 A 的时间才更短，瞬时速度的测量更精确，从而减小实验误差，故 B 正确；

C．适当增大甲重物开始下落时甲、乙两重物间的高度差，对实验数据没有影响，所以不能减小实验误差，则 C 错误；

D．适当增大挡光片的宽度，则测量 A、B 两点的瞬时速度误差增大，故 D 错误。

故选 AB。

2．(1)2.4；(2) $\frac{md^2}{2t^2}$；(3)　　B　　大于

【详解】（1）10 分度游标卡尺的精确值为 0.1mm，由图可知遮光片的宽度为 $d=2\text{mm}+4\times0.1\text{mm}=2.4\text{mm}$

（2）重锤经过某遮光片时的速度大小为 $v=\frac{d}{t}$，则经过某遮光片时重锤的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{md^2}{2t^2}$

（3）[1]由于重锤重力势能为 $E_p=mgh$

可知 E_p-h 的图像应是经过原点的倾斜直线，因此重力势能 E_p 的图线应为 B。

[2]图线 A 应是重锤摆下过程中机械能随高度变化的图像，可知重锤摆下过程中机械能逐渐减小，则有重锤摆下过程中，重力势能减少量大于动能增加量。

第十四讲：功能关系

考点一：功能关系

题型一：概念辨析

【精选例题】：ABC

1．ABC

【详解】A．根据能量守恒定律，某种形式的能量减少，一定存在其它形式的能量增加，A 正确；

B．根据能量守恒定律，某个物体的能量减少，必然有其它物体的能量增加，B 正确；

C．根据功和能关系，功是能量变化的量度，做功的过程就是能量变化的过程，C 正确；

D．根据能量守恒定律，能量不能凭空消失，石子落地的过程中，克服阻力做功，机械能转化为其它形式的能，D 错误。

故选 ABC。

【跟踪训练】：A

1．A

【详解】人从侧面缓慢推袋壁使它变形，人对水做了功，水的机械能变大，但水的动能不变，所以水的重力势能变大。

故选 A。

题型二：简单计算

【精选例题】：D　　B

1．D

【详解】A．根据重力做功与重力势能的关系知，重力做功 50J，则物体重力势能减少了 50J，故 A 错误；

B．依题意，根据动能定理有 $\Delta E_{\mathrm{k}}=W_{\mathrm{G}}-W_{\mathrm{f}}=50\mathrm{J}-20\mathrm{J}=30\mathrm{J}$，物体动能增加了 30J，故 B 错误；

CD．物体机械能的增加量等于除重力外，其它外力做功的代数和，依题意，可知物体机械能的减少量等于物体克服阻力所做的功，即减少了 20J，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】A．设倾斜滑道倾角为 θ，游客在倾斜滑道滑行的加速度大小为 $a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

设倾斜滑道长度为 L，根据运动学公式可得 $L=\frac{1}{2}at^2$，可得 $t=\sqrt{\frac{2L}{a}}$，由图可知，甲游客下滑的加速度比乙游客的小，甲游客滑行倾斜滑道长度大于乙游客滑行倾斜滑道长度，可知甲游客在倾斜滑道滑行的时间大于乙游客在倾斜滑道滑行的时间，A 错误；

B．游客从静止滑下到最终停止在水平轨道上，根据动能定理可得 $mgh-\mu mg\cos\theta\cdot L-\mu mgx'=0$

可得 $h=\mu(L\cos\theta+x')=\mu(x+x')=\mu x_{总}$，可知两游客整个滑行过程的水平位移相等，即两游客停止同一位置，由图中几何关系可知，在滑道上滑行的总路程乙比甲大，B 正确；

CD．根据能量守恒可知，两游客所乘滑车在滑道上滑行产生的热量等于减少的重力势能，则有 $Q=mgh$，由于游客甲的质量比乙大，所以甲游客所乘滑车在滑道上滑行产生的热量大于乙的，两游客下滑过程中机械能不守

恒，CD 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：D　　CD

1．D

【详解】A．整个过程中空气阻力始终做负功，代数和不可能为零，故 A 错误；

B．整个过程中损失的机械能等于子弹克服阻力做的功，为 $\Delta E=2fh$，故 B 错误；

CD．根据动能定理可得 $-(mg+f)h=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，上升过程中增加的重力势能为 $\Delta E_p=mgh=\frac{1}{2}mv_0^2-fh$

下降过程中空气阻力做功为 $W_f=fh=\frac{1}{2}mv_0^2-mgh$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．CD

【详解】A．物块上升，重力势能增大，增大量为 mgH，A 错误；

B．根据牛顿第二定律可得物块在运动过程中所受力的合力为 mg，

则合力所做的功为 $W=-mg\cdot x=-mg\cdot\frac{H}{\sin 30°}=-2mgH$

根据动能定理可得物块动能减少了 $2mgH$，B 错误；

C．物块重力势能增加了 mgH，动能减少了 $2mgH$，则机械能共减小了 mgH，C 正确；

D．根据功能关系，可得物块机械能的减少量等于克服摩擦力所做的功，D 正确。

故选 CD。

考点二：摩擦力做功与能量转化

题型一：概念辨析

【精选例题】：AC

1．AC

【详解】A．摩擦生热等于物块克服摩擦力做功，设沿任意一木板下滑的位移为 L，倾斜角为 θ，则 $Q=\mu mg\cos\theta\cdot L$，

$L\cos\theta$ 为木板在水平面上的底边，由图可知 1 和 2 底边相等且小于 3 的底边，故摩擦生热关系为 $Q_1=Q_2<Q_3$

故 A 正确；

B．木板下滑到底机械能减少量等于摩擦生热，则有 $\Delta E_1=\Delta E_2<\Delta E_3$，故 B 错误；

C．设任意一木板倾角为 θ，物体滑到底端时的速度为 v，据动能定理得 $\frac{1}{2}mv^2=mgh-\mu mgL\cos\theta$

根据图中斜面高度和底边长度可知滑到底边时速度大小关系为 $v_1>v_2>v_3$，故 C 正确；

D．由动量定理 $(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)t=mv$，解得 $t=\frac{v}{g\sin\theta-\mu g\cos\theta}$

由数学关系可知，斜面的倾角越大，$\cos\theta$ 越小，又因为 $v_1>v_2>v_3$，所以时间关系无法确定，故 D 错误。

故选 AC。

考点三：传送带模型

题型一：水平传送带

【精选例题】：AC　　B　　BC

1．AC

【详解】小物块无初速地放在传送带左端，受到向右摩擦力，加速度为$a=\frac{\mu mg}{m}=\mu g=0.2\times 10\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$

达到与传送带共速的时间为$t=\frac{v}{a}=\frac{2}{2}\text{s}=1\text{s}$，与传送带共速时小物块的位移为$x=\frac{v}{2}t=\frac{2}{2}\times 1\text{m}=1\text{m}<2\text{m}$

共速时传送带的位移为$x=vt=2\times 1\text{m}=2\text{m}$，物体在传送带上的划痕长度为$\Delta x=x'-x=1\text{m}$

此过程中因摩擦产生的热量为$Q=\mu mg\Delta x=0.2\times 1\times 10\times 1\text{J}=2\text{J}$

此过程摩擦力对物块做的功为$W=\mu mgx=0.2\times 1\times 10\times 1\text{J}=2\text{J}$，此过程中传送带多做的功为$\Delta W=Q+\frac{1}{2}mv^2=4\text{J}$

故选 AC。

2．B

【详解】A．由牛顿第二定律可得，滑块在与传送带共速前的加速度为$a=\mu g=2\text{m/s}^2$

滑块在传送带上的加速时间为$t=\frac{v_1-v_2}{a}=\frac{2-1}{2}\text{s}=0.5\text{s}$，故 A 错误；

B．由动能定理得摩擦力对滑块做功为$W_{\text{f}}=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}\times 1\times(2^2-1^2)\text{J}=1.5\text{J}$，故 B 正确；

C．滑块在与传送带共速前的位移为$x_2=v_2t+\frac{1}{2}at^2=1\times 0.5+\frac{1}{2}\times 2\times 0.5^2\text{m}=0.75\text{m}$

传送带位移为$x_1=v_1t=2\times 0.5=1\text{m}$

根据摩擦力产生热量的公式，即$Q=\mu mg\Delta x$，$\Delta x=x_1-x_2$，代入数据，解得$Q=0.5\text{J}$，故 C 错误；

D．传送滑块电动机多输出的能量为整个过程中因为摩擦而产生的内能与摩擦力对滑块做功之和，

即$\Delta E=W_{\text{f}}+Q=1.5+0.5\text{J}=2\text{J}$，故 D 错误。

故选 B。

3．BC

【详解】A．由动能定理得$mg\left(R-R\cos 60^\circ\right)+W_{\text{f}}=\frac{1}{2}mv_B^2$，代入数据得摩擦力做功$W_{\text{f}}=-0.55\text{J}$，故 A 错误；

B．当小滑块到达C点速度恰好减为 0 时，由动能定理得$-\mu mgl=0-\frac{1}{2}mv_B^2$，解得$\mu=0.3$，故 B 正确；

C．若$\mu=0.6>0.3$，小滑块在传送带上减速到零之后返回。由传送带的速度$v=4\text{m/s}>v_B=3\text{m/s}$及小滑块在传送带上加速和减速的对称性可知，小滑块从B点以$v_B=3\text{m/s}$的速度离开传送带。由牛顿第二定律得$\mu mg=ma$

小滑块在传送带上的加速度$a=6\text{m/s}^2$，小滑块在传送带上减速或加速的时间$t=\frac{v_B}{a}=0.5\text{s}$

减速时产生的热量$Q_1=\mu mg(vt+\frac{v_B}{2}t)=1.65\text{J}$，加速时产生的热量$Q_2=\mu mg(vt-\frac{v_B}{2}t)=0.75\text{J}$

小滑块从B到第一次离开传送带过程中系统产生的热量$Q=Q_1+Q_2=2.4\text{J}$，故 C 正确；

D．若$\mu=0.2<0.3$，则小滑块从B在传送带上一直做匀减速运动，由牛顿第二定律$\mu mg=ma$

小滑块在传送带上减速的加速度$a=2\text{m/s}^2$，由运动学公式得$l=v_Bt-\frac{1}{2}at^2$

代入数据得小滑块在传送带上运动的时间$t=\frac{3-\sqrt{3}}{2}\text{s}$

小滑块从B到第一次离开传送带过程中系统产生的热量$Q=\mu mg\left(vt+l\right)=\left(1.5-0.4\sqrt{3}\right)\text{J}$，故D错误。

故选BC。

【跟踪训练】：BCD　　D　　AD

1．BCD

【详解】AB．物体A由传送带左端到右端的平均速度等于位移与时间的比值，即$\overline{v}=\frac{\frac{v}{2}t+v\cdot 2t}{3t}=\frac{5v}{6}$，

C．物体从静止释放后达到速度为v，则传送带与物体A之间因摩擦产生热量为$Q=f(vt-\frac{v}{2}t)=f\frac{v}{2}t=\frac{mv^2}{2}$

D．传送带克服物体A对它的摩擦力做的功为$W=fvt=mv^2$，故D正确。

故A错误，B正确；故C正确；

故选BCD。

2．D

【详解】A．滑块刚放上传送带时，速度小于传送带的速度，所受摩擦力的方向向右，滑块向右做匀加速运动；当传送带做匀减速直线运动时，由于传送带的加速度$a=2\text{m/s}^2>\mu g$，故滑块不能与传送带相对静止一起减速运动，故A错误；

B．滑块在传送带上先加速运动，后减速运动，所受的滑动摩擦力方向先向右后向左，方向发生了变化，B错误；

C．滑块在匀加速直线运动阶段有$\mu mg=ma_1$，得$a_1=1\text{m/s}^2$，

此过程中滑块的位移为$x_1=\frac{v^2}{2a_1}=12.5\text{m}$，传送带的位移为$x_2=v\cdot\frac{v}{a}=25\text{m}$

由于$x_1<x_2$，故滑块相对于传送带向左滑，划痕长度为$\Delta x=x_2-x_1=12.5\text{m}$

在匀减速直线运动阶段，滑块的加速度大小为$a_2=a_1=1\text{m/s}^2$，

故滑块的位移为$x_1'=\frac{v^2}{2a_2}=12.5\text{m}$，传送带的位移为$x_2'=\frac{v^2}{2a}=6.25\text{m}$

由于$x_1'>x_2'$，故滑块相对于传送带向右滑，划痕长度为$\Delta x'=x_1'-x_2'=6.25\text{m}$

由于$\Delta x>\Delta x'$，所以总的划痕长度等于$\Delta x=12.5\text{m}$，故C错误；

D．全程滑块与传送带之间因摩擦产生的热量为$Q=\mu mg\left(\Delta x+\Delta x'\right)=18.75\text{J}$，故D正确。

故选D。

3．AD

【详解】A．3-4s 物体的速度与皮带速度相等，则传送带的速度大小为 1m/s。故 A 正确；

B．0-2s 时间内物块加速度大小为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=1\text{m/s}^2$

根据牛顿第二定律得$\mu mg=ma$，得$\mu=0.1$，故 B 错误；

C．由图像可知，小物块相对传送带滑动的总时间为 3.0s，选项 C 错误；

D．由于 v-t 图像的面积等于位移，可知小物块相对传送带滑动的总距离为

$\Delta s=(\frac{1}{2}\times 2\times 2+2\times 1)\text{m}+(1\times 1-\frac{1}{2}\times 1\times 1)\text{m}=4.5\text{m}$ ，选项 D 正确。

故选 AD。

题型二：倾斜传送带

【精选例题】：C　　C　　C

1．C

【详解】A．由动能定理可知，在 t_1 时间内摩擦力和重力对物块做的功之和等于$\frac{1}{2}mv^2$，重力做负功，故在 t_1 时间内摩擦力对物块做的功大于$\frac{1}{2}mv^2$，故 A 错误；

B．在 t_1 时间内，物块相对传送带的位移 $\Delta x=vt_1-\frac{v}{2}t_1=\frac{v}{2}t_1$

则物块和传送带间因摩擦而产生的内能为 $Q=F_f\Delta x=\frac{1}{2}F_fvt_1$

物块机械能的增加量等于摩擦力做的功，即 $\Delta E=F_fx=F_f\cdot\frac{v}{2}t_1=\frac{1}{2}F_fvt_1$

即在 t_1 时间内物块和传送带间因摩擦而产生的内能等于物块机械能的增加量，故 B 错误；

C．由功能关系可知，在 t_1+t_2 时间内传送带对物块做的功等于物块机械能的增加量，

即 $E=E_p+E_k=mgL\sin\theta+\frac{1}{2}mv^2$，故 C 正确；

D．在 t_1 时间内因运送物块，电动机至少多消耗的电能 $E_1=mgL_1\sin\theta+\frac{1}{2}mv^2+Q$

由选项 B 可知 $mgL_1\sin\theta+\frac{1}{2}mv^2=Q$

则在 t_1 时间内因运送物块电动机至少多消耗 $2mgL_1\sin\theta+mv^2$ 的电能；

在 t_2 时间内因运送物块电动机至少多消耗 $mgL_2\sin\theta$的电能；

则在 t_1+t_2 时间内因运送物块，电动机至少多消耗的电能为

$E'=E_1+E_2=2mgL_1\sin\theta+mv^2+mgL_2\sin\theta=mg(L+L_1)\sin\theta+mv^2$ ，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】A．由图乙可知，在 0~2.5s 内，货物的速度大于传动带的速度，则货物受沿斜面向上的滑动摩擦力，在 2.5s~4.5s 内，货物匀速下滑，根据平衡条件可知，货物受沿斜面向上的静摩擦力，所以 2.5s 时货物所受摩擦力方向不变，故 A 错误；

C．图线与坐标轴围成的区域的面积表示位移的大小，根据题意可得 $L=\frac{v_1+v_0}{2}t_1+v_0t_2$，解得 $v_0=0.5\text{m/s}$，

故 C 正确；

B．由图乙和 C 分析可知，货物在 0~2.5s 内的对物块由牛顿第二定律 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$

由图像可知货物的加速度大小为 $a=\frac{v_1-v_0}{t_1}$，联立解得 $\mu=0.8$，故 B 错误；

D．由于货物向下运动过程中所受到的摩擦力一直沿斜面向上，摩擦力一直做负功，根据功能关系可知，货物所具有的机械能一直减小，故 D 错误。

故选 C。

3．C

【详解】A．煤块刚放上传动带时，受到的滑动摩擦力沿斜面向下，

根据牛顿第二定律得 $mg\sin37^\circ+\mu mg\cos37^\circ=ma_1$，解得 $a_1=8\text{m/s}^2$

则煤块从 0 加速到与传送带共速需要 $t_1=\frac{v_0}{a_1}=2\text{s}$，煤块的位移为 $x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2=16\text{m}$

由于 $mg\sin37^\circ>\mu mg\cos37^\circ$ 可知煤块与传送带共速后继续做匀加速运动，摩擦力沿斜面向上，

根据牛顿第二定律得 $mg\sin37^\circ-\mu mg\cos37^\circ=ma_2$，解得 $a_2=4\text{m/s}^2$

根据 $x_2=v_0t_2+\frac{1}{2}a_2t_2^2=L-x_1$，解得 $t_2=1\text{s}$，共计 $t=t_1+t_2=3\text{s}$，故 A 错误；

B．第一个过程传送带的位移为 $x_3=v_0t_1=32\text{m}$，煤块与传送带的相对位移为 $\Delta x_1=x_3-x_1=16\text{m}$

第二个过程传送带的位移 $x_4=v_0t_2=16\text{m}$，相对位移 $\Delta x_2=x_2-x_4=2\text{m}$

第一个过程摩擦生热为 $Q_1=F_f\Delta x_1=32\text{J}$，第二个过程摩擦生热为 $Q_2=F_f\Delta x_2=4\text{J}$

故总产热量为 $Q=Q_1+Q_2=36\text{J}$，故 B 错误；

C D．摩擦力大小为 $F_f=\mu mg\cos37^\circ=2\text{N}$

第一个过程摩擦力对煤块做功 $W_1=F_fx_1=32\text{J}$，第二个过程摩擦力对煤块做功 $W_2=-F_fx_2=-36\text{J}$

故全程摩擦力对煤块做功为–4J，煤块的机械能减少了 4J，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：C　　BD　　D　　D

1．C

【详解】A．根据动能定理可知 $W_f-W_G=\Delta E_k$ 则小物块所受摩擦力做的功大于小物块动能的增加量，故 A 错误；

BC．若物块滑到顶端时恰好与传送带共速，此时滑块的位移$x_1=\frac{v}{2}t$，传送带的位移$x_2=vt$

产生的热量$Q=f(x_2-x_1)=\frac{1}{2}fvt$，此过程中摩擦力对木块做功为$W_f=fx_1=\frac{1}{2}fvt=Q$

根据动能定理可知$W_f-W_G=\Delta E_k$，即$W_f=\Delta E_{机}$，摩擦力对物块做的功等于物块机械能的增量，则两者间因摩擦而产生的内能恰好等于物块增加的机械能，故B错误，C正确；

D．电动机额外消耗的电能等于小物块增加的机械能与小物块和传送带间产生的摩擦热之和，故D错误。

故选C。

2．BD

【详解】A．开始时a、b处于静止状态有$m_ag\sin\theta=mg$

当a沿传送带向上运动x位移时，物块a的重力势能增加了$\Delta E_p=m_agx\sin\theta=mgx$，故A错误；

B．摩擦力对a做的功等于a、b的系统增加的机械能，由于$m_ag\sin\theta=mg$，故a向上运动的过程中，a增加的重力势能等于b减小的重力势能，故a、b系统的重力势能恒定，故摩擦力对a做的功等于a、b的系统增加的动能之和，故B正确；

C．传送带由于运送a多消耗的电能分成了两部分，一部分为系统增加的内能，一部分转换为a、b的系统增加的动能之和，故C错误；

D．由于$m_ag\sin\theta=mg$，又a、b在同一根绳子上，在任意时刻两者运动的速率大小相等，故有$m_ag\sin\theta\cdot v=mg\cdot v$

所以在任意时刻，a克服重力的功率等于重力对b做功的功率，故D正确。

故选BD。

3．D

【详解】A．由图知，物体先做初速度为零的匀加速直线运动，摩擦力沿斜面向下，速度达到传送带速度后，由于重力沿斜面向下的分力大于摩擦力，物块继续向下做匀加速直线运动，摩擦力沿斜面向上， 故A错误，

B．在0- 1.0s内，物体摩擦力方向沿斜面向下，匀加速运动的加速度为$a_1=g\sin\theta+\mu g\cos\theta=10\,\mathrm{m/s^2}$

在1.0 - 2.0s,物体的加速度为$a_2=g\sin\theta-\mu g\cos\theta=2\,\mathrm{m/s^2}$，联立解得$\theta$=37°，$\mu$=0.5，故B错误；

C．根据“面积”表示位移、可知0~1 .0s物体相对地面的位移$x_1=\frac{1}{2}\times10\times1=5\mathrm{m}$

传送带的位移$x_2=v_0t_1=10\times1=10\mathrm{m}$，$\Delta x_1=x_2-x_1=5\mathrm{m}$

可知0.1~2 .0s物体相对地面的位移$x_3=\frac{10+12}{2}\times1=11\mathrm{m}$，传送带的位移$x_4=v_0t_1=10\times1=10\mathrm{m}$

物体相对传送带的位移$\Delta x_2=x_4-x_3=-1\mathrm{m}$，物体在传送带上留下的痕迹为5m，故C错误；

D．物体在传送带上运动过程中产生的热量为$Q=fs_0=\mu mg\cos\theta\times s_0=24\mathrm{J}$，故D正确。

故选D。

4．D

【详解】A．从 a 到 b 的过程中，煤块加速过程中，根据牛顿第二定律 $\mu mg = ma_1$

又 $x_1 = \frac{1}{2}at_1^2$，$v = at_1$，解得 $t_1 = 0.8\text{s}$，$x_1 = 0.8\text{m}$

因此电动机多消耗的电能 $\Delta E = \mu mg(vt_1 - x_1) + \frac{1}{2}mv^2 = 4\text{J}$，故 A 错误；

B．从 a 到 b 匀速运动阶段，所用时间 $t_2 = \frac{x - x_1}{v} = 0.6\text{s}$

当到达 b 点后，沿斜面向下运动时，根据牛顿第二定律 $mg\sin 37° - \mu mg\cos 37° = ma_2$，可得 $a_2 = 4\text{m/s}^2$

根据位移与时间的关系 $L_{bc} = vt_3 + \frac{1}{2}a_2t_3^2$，可得在斜面上运动的时间 $t_3 = 1\text{s}$

因此小煤块从 a 点运动到 c 点所用的时间 $t = t_1 + t_2 + t_3 = 2.4\text{s}$，故 B 错误；

C．从 a 到 b，因摩擦产生的热量 $Q_1 = \mu mg(vt_1 - x_1) = 2\text{J}$，从 b 到 c，因摩擦产生的热量 $Q_2 = \mu mg\cos 37°(L_{bc} - vt_3) = 4\text{J}$

因此从 a 点运动到 c 点的过程，小煤块和皮带间因摩擦而产生的热量 $Q = Q_1 + Q_2 = 6\text{J}$，故 C 错误；

D．在水平面上和在斜面上划痕的方向时向反的，两部分划痕重叠，因此划痕的长度 $\Delta L = L_{bc} - vt_3 = 2\text{m}$

故 D 正确。

故选 D。

考点四：板块模型

题型一：光滑地面中的板块问题

【精选例题】：A　　B

1．A

【详解】依题意，根据功能关系可知，物体 B 克服摩擦力做的功等于 B 动能的减少量，把 AB 看着一个系统，根据系统能量守恒知，B 动能的减少量等于木板 A 增加的机械能（动能）与系统增加的内能之和。

故选 A。

2．B

【详解】A．滑块相对平板运动到右端的过程中，所受的摩擦力方向水平向左，与位移方向反，相对于地的位移大小为 $s + L$，所以摩擦力对滑块做的功为 $W_1 = -F_f(L + s)$，故 A 错误；

B．平板向右运动，所受的摩擦力方向水平向右，摩擦力对平板做正功，平板的对地位移为 s，摩擦力对平板做的功为 $W_2 = F_fs$，故 B 正确；

C．摩擦力对系统做的总功为 $W = W_1 + W_2 = -F_fL$，故 C 错误；

D．由功能关系可知，系统产生的热量等于摩擦力对系统做的总功的绝对值，即 $Q = F_fL$，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：ABC　　ABC

1．ABC

【详解】A．只增大 m，由功的公式可以知道，拉力的功 $W=Fs$

F 不变，s 不变，故拉力的功不变，A 正确；

B．对 m 根据牛顿第二定律可以知道 $a=\dfrac{F-\mu mg}{m}=\dfrac{F}{m}-\mu g$

若只增大 m，则 m 的加速度减小，运动时间增长，m 对 M 的摩擦力 $f=\mu mg$

增大，则由牛顿第二定律可以知道，M 的加速度增大，故长木板的末速度增大，动能增大，B 正确；

C．若只增大 M，对 m 牛顿第二定律可以知道 $a=\dfrac{F-\mu mg}{m}=\dfrac{F}{m}-\mu g$

m 的加速度不变，运动时间不变，所以小木块末动能也不变， C 正确；

D．若只增大 F，根据 $a=\dfrac{F-\mu mg}{m}=\dfrac{F}{m}-\mu g$，$m$ 的加速度增大，运动时间变小，而长木板的加速度不变，所以长木板的末速度减小，故长木板末动能减小，D 错误。

故选 ABC。

2．ABC

【详解】A．由 v-t 图线的斜率表示加速度可知，小物块 B 在长木板 A 上滑行时加速度大小相等，又因为小物块 B、长木板 A 受到的滑动摩擦力大小也相等，由牛顿第二定律可得 $f=ma$，可知木板 A 与物体 B 质量相等；故 A 正确；

B．若木板 A、物体 B 质量已知，由 v-t 图像可知，小物块 B 的初速度 v_0=2m/s，最终小物块 B 和长木板 A 达到共速，$v_{共}$=1m/s，由能量守恒可得 $\dfrac{1}{2}m_{\mathrm{B}}v_0^2=\dfrac{1}{2}(m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}})v_{共}^2+Q$，可以求出此过程中产生的热量 Q，故 B 正确；

C．在达到共同速度之时，A、B 的位移差 $x_{\mathrm{B}}-x_{\mathrm{A}}=[\dfrac{1}{2}(1+2)\times1-\dfrac{1}{2}\times1\times1]\mathrm{m}=1\mathrm{m}$，故 C 正确；

D．A、B 之间的摩擦力是一对相互作用力，等大反向，但是物块 B 的位移要大于木板 A 的位移，所以它们之间的摩擦力对对方做的功在数量上并不相等，故 D 错误。

故选 ABC。

题型二：粗糙地面中的板块问题

【精选例题】：C　　BC　　D　　C

1．C

【详解】A．根据受力分析可知滑块对木板的滑动摩擦力方向水平向右，因此地面对木板的静摩擦力方向水平向左，故 A 错误；

B．滑块对木板的滑动摩擦力大小 $f_{\mathrm{m}}=\mu_1 mg=3\mathrm{N}$

由于木板始终保持静止，故地面对木板的静摩擦力大小 $f_{\mathrm{M}}=f_{\mathrm{m}}=3\mathrm{N}$，故 B 错误；

C．木板始终保持静止，即 $\mu_2(m+M)g\geq f_{\mathrm{m}}$，解得 $\mu_2\geq0.1$，故 C 正确；

D．整个过程中，滑块的动能全部转化为系统的内能，产生的热量 $Q=\dfrac{1}{2}mv_0^2=2\mathrm{J}$，故 D 错误。

故选 C。

2．BC

【详解】A．由功能关系可知拉力F做功除了增加两物体动能以外还有系统产生的热量，A 错误；

B．滑块和木板都是做初速度为零的匀加速运动，在其他条件不变的情况下，木板的运动情况不变，滑块和木板的相对位移还是L，滑块的位移也没有发生改变，所以拉力F越大滑块的加速度越大，离开木板时间就越短，B 正确；

C．由于木板受到摩擦力不变，当M越大时木板加速度小，而滑块加速度不变，相对位移一样，滑快在木板上运动时间短，所以木板运动的位移小，C 正确；

D．系统产生的热量等于摩擦力和相对位移乘积，相对位移没变，m不变，摩擦力不变，产生的热量不变，D 错误。

故选 BC。

3．D

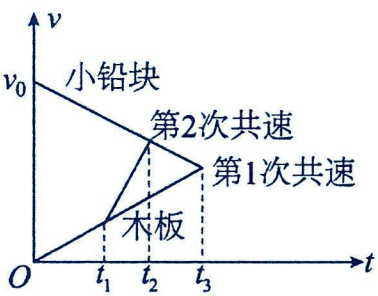
【详解】A．对整块木板根据牛顿第二定律得$\mu(m_1+m_2)g=(m_1+m_2)a$，对m_2根据牛顿第二定律得$F=\frac{1}{2}m_2a$

解得$F=\frac{1}{2}\mu mg$，当m_1=m_2时，铅块在木板 1 上滑行时，两板间的作用力为$\frac{1}{2}\mu mg$，A 错误；

BC．木板分开前后铅块的加速度不变，其加速度为$a_{板}=\frac{\mu mg}{m}=\mu g$

铅块在木板 1 上滑行时，木板的加速度为$a_{板1}=\frac{\mu mg}{m}=\mu g$

铅块在木板 2 上滑行时，木板m_2的加速度为$a_{板2}=\frac{\mu mg}{m_2}>\mu g$



画出速度-时间图像，如图所示，铅块和木板图像所围的面积表示铅块在木板上滑动的距离，第二次的面积小，表示铅块没有滑动到木板m_2的右端，BC 错误；

D．设铅块相对于木板滑动的距离为Δx，产生的内能为$Q_1=\mu mg\cdot\Delta x_1$，$Q_2=\mu mg\cdot\Delta x_2$，根据图像 $\Delta x_1>\Delta x_2$，

所以$Q_1>Q_2$，铅块在木板上滑行的整个过程中，图甲情境中产生的内能一定比图乙的大，D 正确。

故选 D。

4．C

【详解】A．P 的加速度为$a_P=-\frac{\mu_1m_2g}{m_2}=-2\mathrm{m/s^2}$，Q 的加速度为$a_Q=\frac{\mu_1m_2g-\mu_2(m_1+m_2)g}{m_1}=2\mathrm{m/s^2}$

两者共速时有$v_{共}=v_0+a_Pt=a_Qt$，解得t=1s，$v_{共}$=2m/s，选项 A 错误；

B．P、Q 共速时的相对位移为$\Delta x=\frac{v_0+v_{共}}{2}t-\frac{0+v_{共}}{2}t$=2m

之后不发生相对滑动，故长木板 Q 长度至少为 2m，选项 B 错误；

CD．P 与 Q 之间产生的热量为$Q_1=\mu_1m_2g\Delta x=12\mathrm{J}$，地面与 Q 之间产生的热量为$Q_2=\frac{1}{2}m_2v_0^2-Q_1=12\mathrm{J}$

P 与 Q 之间产生的热量与地面与 Q 之间产生的热量之比为1:1，选项 C 正确、D 错误。

故选 C。

【跟踪训练】：AC　　C　　AD

1．AC

【详解】A．由图像得，平板车停止运动后，物块在平板车上做减速运动的加速度为$a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{6}{12-6}\mathrm{m/s^2}=1\mathrm{m/s^2}$

则根据$a=\frac{\mu mg}{m}=\mu g$，可知物块和平板车之间的滑动摩擦因数为$\mu=0.1$，故A正确；

B．图像面积等于位移，达到共速时，物块的位移$s_1=\frac{1}{2}\times6\times6\mathrm{m}=18\mathrm{m}$

小车的位移$s_2=\frac{1}{2}\times12\times4\mathrm{m}+\frac{1}{2}(6+12)\times2\mathrm{m}=42\mathrm{m}$，即物块相对平板车向后滑行$\Delta s=24\mathrm{m}$

达到共速之后到停止，物块的位移$s_1'=\frac{1}{2}\times6\times6\mathrm{m}=18\mathrm{m}$，小车的位移$s_2=\frac{1}{2}\times2\times6\mathrm{m}=6\mathrm{m}$

即物块相对平板车向前滑行$\Delta s'=12\mathrm{m}$，故B错误；

C．物块和平板车之间因摩擦产生的热量为$Q=\mu mg(\Delta s+\Delta s')=36\mathrm{J}$，故C正确；

D．由上述分析可知，物块相对平板车向后运动的最远距离为24m，故D错误。

故选AC。

2．C

【详解】A．物块刚好未从木板右端滑落，则物块到木板右端时，恰好有共同速度，如果物块与木板组成的系统动量守恒，则$mv_0=(m+M)v$，解得$v=\frac{mv_0}{M+m}$，由于水平面粗糙，木板受水平面的摩擦力，所以物块与木板组成的系统动量不守恒，故物块滑到木板最右端的速度不为$\frac{mv_0}{M+m}$，故A错误；

BD．由能量守恒定律可知小物块减少的动能等于木板增加的动能、木板与物块之间产生的内能以及水平面与木板之间产生的内能之和，木板与物块之间产生的内能$E_{内}=\mu mgl$

木板的动能一定小于$\frac{1}{2}mv_0^2-\mu mgl$，故BD错误；

C．设物块运动的位移大小x_1，木板运动的位移大小x_2，物块与木板共同速度v_1，

物块与木板因摩擦产生的热量$Q=\mu mgl=\mu mg(x_1-x_2)$

由于$x_1=\frac{v_0+v_1}{2}t>2\times\frac{v_1}{2}t=2x_2$，故$\mu mgl>\mu mgx_2$

对木板由动能定理得$\mu mgx_2-\mu_2(m+M)gx_2=\frac{1}{2}Mv_1^2$，则$\frac{1}{2}Mv_1^2<\mu mgx_2<\mu mgl$，故C正确。

故选C。

3．AD

【详解】A．若木板全部固定，当滑块恰好能够滑动至d的右端时v_0具有最大值，

根据动能定理有$0-\frac{1}{2}Mv_{0\max}^2=-\mu MgL-2\mu MgL-2\mu MgL-4\mu MgL$，解得$v_{0\max}=3\sqrt{2\mu gL}$，故A正确；

B．若顾客获四等奖，刚好到a木板右侧时，滑块初速度最大为v_0，

滑块与木板之间的摩擦力为$f_1=\mu\cdot2mg=2\mu mg$，地面对$abcd$木板的摩擦力为$f_2=6\mu mg$

由于$f_1<f_2$，则木板静止不动，对滑块$-\mu\cdot 2mgL=0-\frac{1}{2}\times 2mv_0^2$，解得$v_0=\sqrt{2\mu gL}$，故 B 错误；

C．由于$v_1=3\sqrt{\mu gL}>v_0$，可知滑块可以滑上 b 木板，当滑块到 b 木板上时，

地面对 bcd 木板的摩擦力为$f_4=5\mu mg$，滑块与木板之间的摩擦力为$f_3=2\mu\cdot 2mg=4\mu mg$

由于$f_3<f_4$，则木板静止不动，当滑块滑到 b 木板的右侧时，设速度为 v_2，

对滑块$-2\mu mgL-4\mu mgL=\frac{1}{2}\times 2mv_2^2-\frac{1}{2}\times 2mv_1^2$，解得$v_2=\sqrt{3\mu gL}$

可知滑块会滑上 c 木板，地面对 cd 木板的摩擦力为$f_5=4\mu mg=f_3$

可知 cd 木板恰好不动，根据运动学公式$0-v_2^2=-2\times 2\mu gx$，解得$x=\frac{3L}{4}<L$

可知滑块停止在 c 木块上，顾客获二等奖，故 C 错误；

D．若滑块恰好到 d 木块时，因摩擦产生的总热量最少为

$Q_{\min}=Q_1=\mu\cdot 2mg\cdot L+2\mu\cdot 2mg\cdot L+2\mu\cdot 2mg\cdot L=10\mu mgL$

当滑块到 d 木板上时，木板 d 受到地面的摩擦力为$f_6=3\mu mg$

滑块与木板之间的摩擦力为$f_7=4\mu\cdot 2mg=8\mu mg$

由于$f_6<f_7$，则木板 d 会发生滑动，木板的加速度为$a_2=\frac{f_7-f_6}{m}=5\mu g$

滑块在木板上的加速度$a_1=\frac{f_7}{2m}=4\mu g$

当木块刚好到 d 木板右侧时滑块、木板共速，摩擦力产生的热量最多，设这种情况下，滑块滑上 d 木板时的速度为 v_3，根据速度关系$v=v_3-a_1t=a_2t$，可得$v=\frac{5v_3}{9}$

根据位移关系可得$\frac{v^2-v_3^2}{-2a_1}-\frac{v^2}{2a_2}=L$，解得$v_3=\sqrt{18\mu gL}$

滑块和木板到达共同速度后，一起做匀减速运动，直至静止，

根据能量守恒定律可得产生的热量为$Q_{\max}=Q_1+\frac{1}{2}\times 2mv_3^2=28\mu mgL$

所以顾客获得一等奖，因摩擦产生的总热量Q的取值范围为$10\mu mgL\le Q\le 28\mu mgL$，故 D 正确。

故选 AD。

题型三：子弹打木块问题

【精选例题】： BC　　BD　　B

1．BC

【详解】AD．对子弹，根据定理定律可得$-f(s+d)=\Delta E_k$

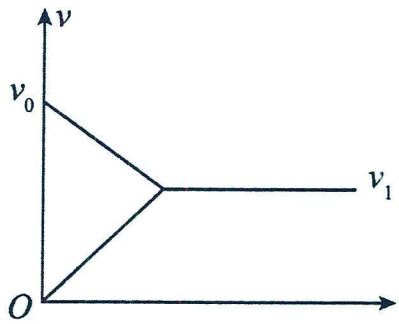
可知子弹克服阻力做功为$f(s+d)$，子弹的动能减少了$f(s+d)$，故 AD 错误；

B．对木块，根据定理定律可得$fs=\Delta E_k'$，可知木块的动能增加了 fs，故 B 正确；

C. 子弹与木块发生的相对位移为 d，根据功能关系可知子弹与木块组成系统产生的热量为 $Q=fd$，故选 C 正确。

故选 BC。

2．BD



【详解】A．子弹对木块的作用力与木块对子弹的作用力是一对作用力与反作用力，大小相等，设子弹射入木块中的深度为 d，子弹水平射入木块后，未穿出，到相对静止时，木块位移为 x，子弹对木块做的功为 fx，木块对子弹做的功为 $-f(x+d)$，由功能关系知 $fd=20\text{J}$

所以子弹对木块所做的功与木块对子弹所做的功的代数和为 -20J，A 错误，

BC．根据 $v-t$ 图像与坐标轴所围面积表示位移可知，子弹射入木块的深度 d（即子弹与木块的相对位移大小）一定大于木块做匀加速运动的位移 x，设子弹与木块之间的作用力大小为 f，根据功能关系可知 $Q=fd=20\text{J}$

根据动能定理可知，木块获得的动能为 $E_k=fx<Q$，故 B 正确，C 错误；

D．子弹射入木块的过程中要克服阻力做功，产生内能为 20J，由能量守恒知系统损失的机械能即为 20J，D 正确。

故选 BD。

3．B

【详解】AB．根据动量守恒知道两次过程最后滑块获得的速度（最后滑块和子弹的共同速度）是相同的，即滑块获得的动能是相同的；根据动能定理，滑块动能的增量是子弹对滑块做功的结果，所以两次子弹对滑块做的功一样多，故 A 错误、B 正确；

C．子弹嵌入下层或上层过程中，系统产生的热量都等于系统减少的动能，而减少的动能一样多（两次过程子弹初速度相等，且滑块与子弹的末速度也相等），则系统减少的动能一样，故系统产生的热量一样多，故 C 错误；

D．根据摩擦力和相对位移的乘积等于系统动能的损失量，两次相对位移不一样，因此子弹所受阻力不一样，子弹与下层之间相对位移比较小，所以摩擦力较大，故 D 错误。

故选 B。

【跟踪训练】：ACD　　AD

1．ACD

【详解】AB．根据能量守恒定律知，摩擦力与相对位移的乘积等于系统能量的损失，则有 $Fx=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v^2$

故 A 正确，B 错误；

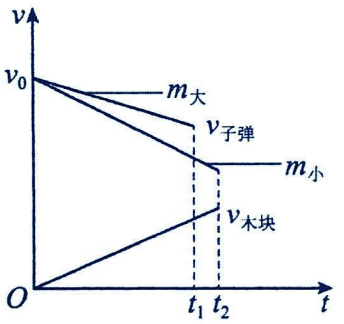
C．对木块进行分析，根据动能定理有 $FL=\frac{1}{2}Mv^2$，故 C 正确；

D．对子弹进行分析，根据动能定理有 $-F(L+x)=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，则有 $F(L+x)=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$，故 D 正确。

2．AD

【详解】A．在同一坐标系中画出子弹和木块的 v-t 图象，子弹的质量 m 不变，子弹的加速度恒定，木块的加速度也恒定，子弹速度 v_0 越大，子弹穿过木块的时间越短，则木块获得的速度越小，故 A 正确；

B．当子弹的质量 m 变化时，由于子弹所受的阻力恒定，则子弹的加速度将随着质量增大而减小，而木块的加速度恒定，两者的速度图象如图所示



设木块的长度为 L，则当子弹穿出时，子弹的位移比木块的大 L，则由速度图象可知，子弹的速度曲线与木块的速度曲线所围成的梯形面积在数值上应等于 L。由图象可知，当子弹质量 m 越大时，穿出木块的时间 t_1 小于质量小时穿出木块的时间 t_2。则木块获得的速度也将变小，故 B 错误；

C．系统损失的机械能等于系统产生的热，即 $Q=fL$

故只要子弹穿出，子弹和木块组成的系统损失的机械能不变，故 C 错误；

D．木块质量 M 越大，木块的加速度越小，子弹穿出时所用时间越短，子弹穿出的速度越大，木块的速度越小，因而子弹损失的机械能减小，故 D 正确。

故选 AD。

考点五：弹簧中的功能关系

题型一：基础模型

【精选例题】：ABD　　ACD

1．ABD

【详解】A．设小物块第一次向左运动的最远位置在 O 点左侧 x_1 处，则由能量关系：$\frac{1}{2}k(5d)^2=\mu mg(5d+x)+\frac{1}{2}kx^2$

解得 $x_1=3d$，选项 A 正确；

B．当加速度为零时速度最大，则此时：$kx_2=\mu mg$ ，解得 $x_2=d$

由能量关系：$\frac{1}{2}k(5d)^2=\mu mg(5d-x_2)+\frac{1}{2}kx_2^2+\frac{1}{2}mv_m^2$，解得 $v_m=4d\sqrt{\frac{k}{m}}$，选项 B 正确；

CD．因 $\mu=\frac{kd}{mg}$ 可知，$f=\mu mg=kd$，则当物块停止时，弹簧的形变量为 d，则由能量关系从开始运动到最终停下来，全过程摩擦生热 $Q=\frac{1}{2}k(5d)^2-\frac{1}{2}kd^2=12kd^2$

此时设滑轮运动的总路程为 x，则 $\mu mgx=12kd^2$，解得 $x=12d$

则物块将停止在 O 点右侧距离为 d 的位置，选项 C 错误，D 正确；

故选 ABD.

2．ACD

【详解】A．小球开始时静止于 d 点，则 $F_{fd}\le\mu F_{Nd}$，假设小球可以在 a 点静止，由受力分析可知，小球在 d 点受到的支持力 F_{Nd} 小于在 a 点受到的支持力 F_{Na}，小球在 d 点受到的摩擦力大于小球在 a 点受到的摩擦力，一定有 $F_{fa}<\mu F_{Na}$，则小球在 a 点静止，A 正确；

B．在 d 点和 a 点弹簧弹力大小相等，弹簧的弹性势能相等，因此弹簧在 a、c、d 位置，弹性势能均相等，由能

量守恒可知，设小球从 d 到 a 运动中克服摩擦力做功 W_1，满足 $\frac{1}{2}mv_0^2=W_1$

若在 a 点给小球一水平向左的初速度 v_0，则小球从 a 点到 d 点运动中克服摩擦力做功也为 W_1，同样满足 $\frac{1}{2}mv_0^2=W_1$

因此小球可以到达 d 点，B 错误；

C．设小球从 d 到 b 运动中克服摩擦力做功 W_2，小球从 a 到 b 运动中克服摩擦力做功 W_3，

设 b 点弹簧的弹性势能为 Eb，小球从 d 到 b 运动中，有 $\frac{1}{2}mv_0^2+E_d=\frac{1}{2}mv_b^2+E_b+W_2$，

同理小球从 a 到 b 运动中，有 $\frac{1}{2}mv_0^2+E_a=\frac{1}{2}mv_b'^2+E_b+W_3$

由于 $W_2>W_3$，所以 $vb<v_b'$，C 正确；

D．小球从 c 到 a 运动中，有 $\frac{1}{2}mv_c^2=W_{fca}$

小球从 a 到 c 运动中，设小球经 c 点时速度大小为 vc'，有 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_c'^2+W_{fac}$

由于 $W_{fca}=W_{fac}$，解得 $v_c'=\sqrt{v_0^2-v_c^2}$，D 正确。

故选 ACD。

【跟踪训练】：D　　AD

1．D

【详解】A．小球在 P 点受力平衡，则有 $mg=f=\mu F_N$，$F_N=k(l-\frac{l}{2})$，联立解得 $k=\frac{4mg}{l}$，故 A 错误；

C．在 PM 之间任取一点 A，令 AO 与 MN 之间的夹角为 θ，则此时弹簧的弹力为 $F=k(l-\frac{l}{2\sin\theta})$

小球受到的摩擦力为 $f_1=\mu F_{N1}=\mu F\sin\theta$，化简得 $f_1=\mu(kl\sin\theta-\frac{kl}{2})$

θ 在 MP 之间增大在 PN 减变小，即摩擦力先变大后变小，故 C 错误；

D．根据对称性可知在任意关于 P 点对称的点摩擦力大小相等，因此由对称性可知 M 到 P 和 P 到 N 摩擦力做功大小相等，故 D 正确；

B．小球运动到 P 点下方 $\frac{l}{2}$ 时 $\theta=45°$，此时摩擦力大小为 $f_1=\mu(\frac{\sqrt{2}}{2}kl-\frac{kl}{2})$

由牛顿第二定律 $mg+F\cos45°-f_1=ma$，联立解得 $a=\sqrt{2}g$，故 B 错误。

故选 D。

2．AD

【详解】A、小物块从静止释放后能下滑，则有 $mg\sin\alpha>\mu mg\cos\alpha$，解得 $\mu<\tan\alpha$；故 A 正确．

B、物块刚与弹簧接触的瞬间，弹簧的弹力仍为零，仍有 $mg\sin\alpha>\mu mg\cos\alpha$，物块继续向下加速，动能仍在增大，所以此瞬间动能不是最大，当物块的合力为零时动能才最大，故 B 错误．

C、若将物块从离弹簧上端 2s 的斜面处由静止释放，下滑过程中物块动能最大的位置不变，弹性势能不变设为 E_p．此位置弹簧的压缩量为 x．根据功能关系可得：

将物块从离弹簧上端 s 的斜面处由静止释放，下滑过程中物块的最大动能为 $E_{km}=mg(s+x)\sin\alpha-\mu mg(s+x)\cos\alpha-E_p$．

将物块从离弹簧上端 2s 的斜面处由静止释放，下滑过程中物块的最大动能为 $E_{km}'=mg\cdot(2s+x)\sin\alpha-\mu mg\cdot(2s+x)$

cosα-E_p.

而 $2E_{km}$=mg（2s+2x）sinα-μmg（2s+2x）cosα-$2E_p$=[mg（2s+x）sinα-μmg（2s+x）cosα-E_p]+[mgxsinα-μmgxcosα-E_p]=E_{km}'+[mgxsinα-μmgxcosα-E_p]；由于在物块接触弹簧到动能最大的过程中，物块的重力势能转化为内能和物块的动能，则根据功能关系可得：mgxsinα-μmgxcosα＞E_p，即 $mgx\sin\alpha-\mu mgx\cos\alpha-E_p>0$，所以得 $E_{km}'<2E_{km}$．故 C 错误．

D、根据能量转化和守恒定律知，弹簧的最大弹性势能等于整个过程中物块减少的重力势能与产生的内能之差，而内能等于物块克服摩擦力做功，可得弹簧的最大弹性势能等于整个过程中物块减少的重力势能与摩擦力对物块做功之和；故 D 正确．故选 AD．

题型二：弹簧连接体中受恒定摩擦力模型

【精选例题】：B　　BC

1．B

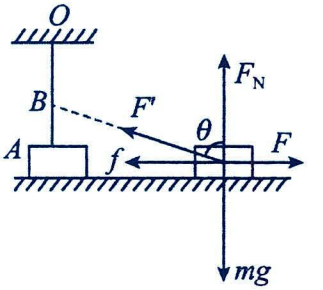
【详解】从 C 到 D 过程，根据动能定理 $mgh-fh-W_{弹}=0$

若仅把小球质量变为 $2m$，根据动能定理 $2mgh-fh-W_{弹}=\frac{1}{2}\times 2mv^2$

联立以上两式得 $v=\sqrt{gh}$，故选 B。

2．BC

【详解】对物块进行受力分析如图所示：



A．设开始时 AB 的长度为 L，则开始时刻地面对物块的支持力为 $F_N=mg-kL$，

当弹性绳处于如图所示的竖直位置时，紧挨一光滑水平小钉 B，此时滑块 A 对地面的压力等于自身所受重力的一半，则 $kL=\frac{1}{2}mg$，解得 $L=\frac{mg}{2k}$

设某一时刻绳子与竖直方向的夹角为θ，则绳子的弹力为 $F'=k\frac{L}{\cos\theta}$

其向上分力 $F_y=F'\cos\theta=kL$，故物体受到地面的支持力仍为 $F_N=mg-kL$，保持不变，A 错误；

B．由于绳子的弹力的水平方向的分力 $F_x=F'\sin\theta=\frac{kL}{\cos\theta}\sin\theta=kL\tan\theta$

由几何知识可知 $L\tan\theta$ 为物块移动的距离，由几何关系可知 $\tan\theta=\frac{\mu mg}{mg}=\mu$，故 $x=\frac{mg}{2k}\tan\theta=\frac{\mu mg}{2k}$，B 正确；

C．因 $f=\mu F_N'=\mu F_N=\frac{1}{2}\mu mg$，故摩擦力做功为 $W_f=fx=\frac{1}{2}\mu mg\cdot\frac{\mu mg}{2k}=\frac{\mu^2m^2g^2}{4k}$，C 正确；

D．从 A 到静止的过程中，由能量关系可得 $W_f+W_F+W_{绳}=0-0$，又因为形变量为 $\Delta x=\sqrt{x^2+L^2}-L$

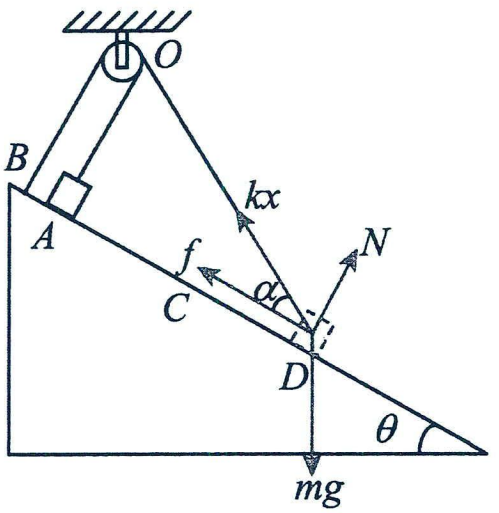
故 $W_F=W_f+W_{绳}=\frac{\mu^2m^2g^2}{4k}+\frac{1}{2}k(\Delta x)^2\neq\frac{3\mu^2m^2g^2}{8k}$，D 错误。

故选 BC。

【跟踪训练】：BD　　CD

1．BD

【详解】A．物块受力如图所示



物块受到的摩擦力为 $f=\mu N$，$kx\sin\alpha+N=mg\cos\theta$，$kx\sin\alpha=k\cdot OA=\dfrac{2mg}{5}$，解得 $f=\dfrac{1}{5}mg$

由此可知，从 A 到 D 物块受到的摩擦力不变，始终为 $\dfrac{1}{5}mg$，故 A 错误；

B．物块刚开始下滑阶段，根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta-f-kx\cos\alpha=ma$，所以 $a=\dfrac{2}{5}g-\dfrac{k}{m}x_{斜面}$

即小球的加速度先随下滑的距离增大而减小到零，再随下滑的距离增大而反向增大，根据运动的对称性（沿斜面方向可以看作单程的弹簧振子模型）可知，小球运动到中点 C 时，加速度为零，速度最大，故 B 正确；

C．除重力之外的合力做功等于物块机械能的变化，物块在 AC 段所受绳子拉力沿斜面分量较小，则物块在 AC 段时摩擦力和弹力做的负功比物块在 CD 段时摩擦力和弹力做的负功少，所以物块在 AC 阶段损失的机械能小于物块 CD 在阶段损失的机械能，故 C 错误；

D．对物块从 A 运动到 D 的过程，根据动能定理得 $mgL\sin\theta-\dfrac{1}{5}mgL-W_{弹}=0$

若在 D 点给物块一个向上的速度，物块恰能从 D 点回到 A 点，根据动能定理得 $-mgL\sin\theta-\dfrac{1}{5}mgL+W_{弹}=0-\dfrac{1}{2}mv^2$

联立解得 $v=\sqrt{\dfrac{4}{5}gL}$，故 D 正确。

故选 BD。

2．CD

【详解】A．设弹性绳的劲度系数为 k，弹性绳自然长度等于 AB 的长度，小球在 C 点受到杆的弹力是其重力的 2 倍，所以此时弹性绳的拉力为 mg，即 $kx_{AB}=mg$

小球在 CD 间某一点 E 时，弹性绳的伸长量等于 BE 的长度，则弹性绳的拉力 $F=kx_{BE}$

将 F 沿杆和垂直杆进行正交分解，则 F 在垂直杆方向的分力为 $F_y=F\sin\theta=kx_{BE}\sin\theta=kx_{BC}=mg$

θ 为弹性绳与杆的夹角，小球受到杆的摩擦力 $f=\mu F_{\mathrm{N}}=\mu\left(mg+F_y\right)=2\mu mg$

所小球由 C 点运动到 D 点过程中弹力和摩擦力保持不变，故 A 错误；

B．小球由 C 点运动到 D 点过程中，由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv^2=\mu F_N L+E_p$，解得 $E_p=2\text{J}$，故 B 错误；

C．小球由 D 点回到 C 点过程，由能量守恒定律得 $E_k+E_p=\mu F_N L$，得 $E_k=4\text{J}$，故 C 正确；

D．换为质量为 $2m$ 的小球，小球和杆的弹力为 $3mg$，假设小球运动到 D 点时的动能为 E_k'，

由动能定理得 $-3\mu mgL-E_p=E_k'-\frac{1}{2}\times 2mv_0^2$，解得 $E_k'=5\text{J}>0$，所以小球仍能到达 D 点，故 D 正确。

故选 CD。

考点六：图像问题

题型一：

【精选例题】：D　　D　　B　　C

1．D

【详解】A．小王同学沿斜面下滑时，由于不计摩擦及空气阻力，先是匀加速运动，加速度恒定，显然，A 错误；

B．整个过程中机械能守恒，B 错误；

C．设斜面的倾角为 θ，斜面上运动时 $E_k=mgx\tan\theta$

弧上运动时因水平位移与上升高度不成正比，故后阶段不是一次函数，C 错误；

D．斜面上运动时，设初始时距斜面底端距离为 L，则有 $E_p=mg(L\sin\theta-x\tan\theta)$

滑到底端时，重力势能为 0，在圆弧上不是一次函数，D 正确。

故选 D。

2．D

【详解】AC．小球在运动中只受重力和细绳的拉力，拉力做的功等于小球机械能的变化，即 $F\Delta x=\Delta E$，得 $F=\frac{\Delta E}{\Delta x}$

所以 E-x 图象斜率的绝对值等于小球所受拉力的大小，由图可知，在 0～x_1 内斜率的绝对值逐渐增加，故在 0～x_1 内小球所受的拉力逐渐增加；$O\sim x_1$ 过程中小球机械能一直减小，拉力做负功，可知物体向下运动，x_1 之后机械能增加，拉力做正功，小球向上运动，则 x_1 时速度为零，故在 0～x_1 内小球先加速后减速，所以拉力先小于重力后大于重力，AC 错误；

B．$O\sim x_1$ 过程小球一直向下运动，重力势能一直减小，B 错误；

D．$x_1\sim x_2$ 过程中机械能增加，拉力做正功，小球向上运动，斜率不变，则拉力恒定大于重力，加速度保持不变，因此小球做匀加速直线运动，D 正确。

故选 D。

3．B

【详解】A．根据能量守恒，重力势能转换为动能加阻力损耗，由此可得 $E_k=mgx-fx$

由此可得，E_k 与 x 成正比，故 A 错误；

B．机械能$E=E_0-fx$，可知机械能E与x成线性关系，故B正确；

D．动能为$E_k=\frac{1}{2}mv^2$，$v=at$，解得$E_k=\frac{1}{2}ma^2t^2$，可知E_k与t成抛物线关系，故D错误。

C．重力势能$E_p=mgh-\frac{1}{2}ma^2t^2-fx$，其中$x=\frac{1}{2}at^2$，可得$E_p=mgh-\frac{1}{2}ma^2t^2-fx=mgh-\frac{1}{2}(ma^2+fa)t^2$

可得E_p与t为抛物线关系，图像开口向下，故C错误。

故选B。

4．C

【详解】A．从地面竖直向上抛出一物体，空气阻力一直做负功，机械能一直减小，则物体上升阶段的机械能大于下降阶段的机械能，故图像中的MN段表示物体在上升，故A错误；

B．物体上升阶段克服空气阻力做功等于下降阶段克服空气阻力做功，有$E_M-E_N=E_N-E_P$，则$E_N=70\text{J}$

在最高点N，物体的动能为零，则物体的机械能等于重力势能，为$E_N=E_p=mgh$

解得物体的质量为$m=1.4\text{kg}$，故B错误；

C．物体上升阶段克服空气阻力做功为$W_f=E_M-E_N=fh$，解得空气阻力大小为$f=2\text{N}$，故C正确；

D．物体上升阶段，物体的动能为$E_k=E_0-mgh-fh=(80-16h)\text{J}\quad 0\le h\le 5\text{m}$

物体下降阶段，物体的动能为$E_k=mg(h-5)-f(h-5)=(12h-60)\text{J}\quad 5\text{m}<h\le 10\text{m}$

故此过程中的动能E_k随物体距地面高度h的变化图像不可用图乙表示，故D错误。

故选C。

【跟踪训练】：AD　　D　　A　　B

1．AD

【详解】A．由图乙可知，弹簧笔在离开水平桌面的高度为h_2时开始做竖直上抛运动，说明此时弹簧恢复原长，因此弹簧原长为h_2，A正确；

B．弹簧笔上升过程中，弹力向上由大到小最后是零，弹簧笔受的合力向上由大到小，当弹力大小等于重力时，合力是零，后弹力小于重力，合力向下由小到大，弹力是零时，合力是重力，因此它的加速度先向上由大到小后减到零，后向下由小到大，最后不变，B错误；

C．$0\sim h_2$的过程中，只有弹力和重力做功，弹簧笔的机械能守恒，即机械能不变，C错误；

D．$h_1\sim h_3$的过程中，只有弹力和重力做功，弹簧笔的机械能不变，D正确。

故选AD。

2．D

【详解】A．根据题意可知，玉米粒在传送带上先做匀加速直线运动，后做匀速直线运动；玉米粒从传送带抛出后到最高点过程，速率应不断减小，到最高点后速率再逐渐增大，故A错误；

B．根据题意可知，玉米粒在传送带上先做匀加速直线运动，后做匀速直线运动；则加速度先恒定不变，再变为

0，玉米粒从传送带抛出后，加速度为重力加速度，故 B 错误；

C．根据题意可知，玉米粒在传送带上运动时，动能先增大后不变；玉米粒从传送带抛出后到最高点过程，动能应不断减小，到最高点后动能再增大，故 C 错误；

D．根据功能关系可知，除重力的其他力做功的功等于机械能的变化量，玉米粒在传送带上运动时，先受到滑动摩擦力后受到静摩擦力，玉米粒的机械能一直增大，且 $E-h$ 图像的斜率先表示滑动摩擦力后表示静摩擦力，则加速阶段的斜率大于匀速阶段的斜率；玉米粒从传送带抛出后到落回地面过程，只受重力作用，机械能不变，故 D 正确。

故选 D。

3．A

【详解】AB．$0\sim0.8\text{s}$，重物做匀加速直线运动，设 0.8s 时速度为 v，则有 $h=\frac{1}{2}vt$

0.8s 的机械能为 $E=\frac{1}{2}mv^2+mgh=750\times0.8^2\ \text{J}=480\text{J}$

联立解得 $v=4\text{m/s}$，$E_\text{k}=\frac{1}{2}mv^2=160\,\text{J}$，$E_\text{p}=mgh=320\,\text{J}$，故 A 正确，B 错误；

C．根据加速度定义有 $a=\frac{v}{t}$，根据牛顿第二定律有 $F-mg=ma$

则起重机的功率为 $P=Fv$，解得 $P=1200\,\text{W}$，故 C 错误；

D．拉力做功代表机械能变化，0.8s 时拉力为 300N，此后机械能随时间均匀增加，则 $E=Fh=F\bar{v}t$

重物受拉力不是定值，故 D 错误；

故选 A。

4．B

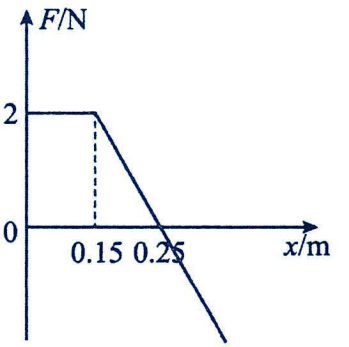
【详解】A．由动能定理可知，E_k-x 图线的斜率表示小物块所受合力。小物块接触弹簧前，E_k-x 图线的斜率恒定，小物块沿斜面做匀加速直线运动，所受合力恒定，大小满足 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=2\text{N}$

可得动摩擦因数 $\mu=0.5$，A 错误；

B．小物块接触弹簧后压缩弹簧 $x=0.1\text{m}$ 时速度最大，为平衡位置，满足 $mg\sin\theta-f-kx=0$

可得弹簧的劲度系数为 $k=20\text{N/m}$，B 正确；

C．根据题中动能变化图像画出合力随位移的变化图像，其与 x 轴所围的面积表示动能的变化，易知，动能最大值对应上面部分面积 $E_\text{kmax}=0.4\text{J}$，C 错误；



D．下滑至最低点时，图像中上、下对应的面积大小相等，物块的位移为 $x_\text{max}=0.45\text{m}$

整个过程中系统损失的机械能为 $\mu mg\cos\theta\cdot x_\text{max}=1.8\text{J}$

根据能量守恒，弹簧的最大弹性势能为 $E_\text{p}=mgx_\text{max}\sin\theta-\mu mg\cos\theta\cdot x_\text{max}=0.9\text{J}$

D 错误。

故选 B。

综合练习（四）

1．（1）0.03N；（2）$\frac{1}{5}$m；（3）1.125×10^{-2}J

【详解】（1）钢球在bc段上滚动时，支持力与竖直方向夹角满足$\sin\theta=\frac{\frac{l}{2}}{\frac{d}{2}}=\frac{4}{5}$

竖直方向根据受力平衡可得$2F\cos\theta=mg$；联立解得$F=0.03$N

（2）Gd 间的运动可以视为两段平抛运动，利用平抛知识可知，水平方向有$\frac{s}{2}=v_x t$

竖直方向有$v_y=gt$ d 点速度与水平方向夹角满足$\tan53°=\frac{v_y}{v_x}$，又$h=\frac{1}{2}gt^2$

联立解得$t=0.2$s，$h=\frac{1}{5}$m

（3）d 点抛出时的竖直分速度为 $v_y=gt=2\text{m/s}$；d 点速度为$v_d=\frac{v_y}{\sin53°}=2.5\text{m/s}$

每次补偿的能量为$W=E_{kd}=\frac{1}{2}mv_d^2=1.125\times10^{-2}$J

2．（1）$mgd\sin\theta$；（2）$\frac{mg(L+29d)\sin\theta-\mu mgs}{30}$；（3）$L>d+\frac{\mu s}{\sin\theta}$

【详解】（1）由题意可知小车在光滑斜面上滑行时根据牛顿第二定律有$mg\sin\theta=ma$

设小车通过第 30 个减速带后速度为 v_1，到达第 31 个减速带时的速度为 v_2，则有$v_2^2-v_1^2=2ad$

因为小车通过第 30 个减速带后，在相邻减速带间的平均速度均相同，故后面过减速带后的速度与到达下一个减速带均为 v_1 和 v_2；经过每一个减速带时损失的机械能为$\Delta E=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，联立以上各式解得$\Delta E=mgd\sin\theta$

（2）由（1）知小车通过第 50 个减速带后的速度为 v_1，则在水平地面上根据动能定理有$-\mu mgs=0-\frac{1}{2}mv_1^2$

从小车开始下滑到通过第 30 个减速带，根据动能定理有$mg(L+29d)\sin\theta-\Delta E_{总}=\frac{1}{2}mv_1^2$

联立解得$\Delta E_{总}=mg(L+29d)\sin\theta-\mu mgs$

故在每一个减速带上平均损失的机械能为$\Delta E'=\frac{\Delta E_{总}}{30}=\frac{mg(L+29d)\sin\theta-\mu mgs}{30}$

（3）由题意可知$\Delta E'>\Delta E$，可得$L>d+\frac{\mu s}{\sin\theta}$

3．(1)8m，(2)10.6m，(3)344J

【详解】（1）由于物块 P 恰好通过圆弧最高点 A，则$mg=m\frac{v_A^2}{R}$，

A 到 B 过程，根据机械能守恒定律可得$mg\cdot2R=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，联立解得$R=8$m

（2）物块从左侧滑上传送带后，有$x_1=\frac{v_0^2-v^2}{2\mu g}=\frac{20^2-18^2}{2\times0.2\times10}\text{m}=19\text{m}<L$

说明物块在传送带上先做匀减速直线运动，后做匀速直线运动，物块第一次经过 D 点的速度大小为 18m/s，从第一次经过 D 点到上升到最大高度处有 $-mgh-\mu mg\cdot x_{DE}=0-\frac{1}{2}mv^2$

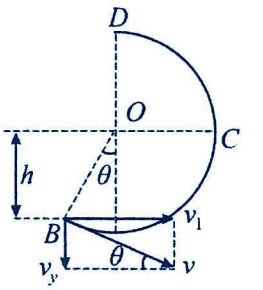
第一次回到传送带上时恰好不能从左端离开，即返回到左端时，速度减为零，则 $-\mu mg(2x_{DE}+L)=0-\frac{1}{2}mv^2$

联立可得 $h=10.6\text{m}$

（3）物块与接触面间因摩擦产生的热量为 $Q=\mu mg(x_1-v\cdot\frac{v_0-v}{\mu g}+2x_{DE}+L+v\cdot\frac{v_1}{\mu g})$，$-\mu mg\cdot 2x_{DE}=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv^2$

联立解得 $Q=344\text{J}$

4．(1)3.33m/s；(2)7.11N；(3)28.44N，水平向右；(4)不能



【详解】（1）小球从 A 到 B 过程做平抛运动，可得 $h=\frac{1}{2}gt^2$

在 B 点时的竖直分速度为 $v_y=gt$

据速度偏角公式可得 $\sin 37^\circ=\frac{v_y}{v_B}$；联立解得 $v_B=\frac{10}{3}\text{m/s}\approx 3.33\text{m/s}$

（2）在 B 点有 $\cos 37^\circ=\frac{v_0}{v_B}$，小球在桌面上滑行过程，据动能定理可得 $Fx=\frac{1}{2}mv_0^2$，联立解得 $F=\frac{64}{9}\text{N}\approx 7.11\text{N}$

（3）从 A 点到 C 点过程，据动能定理可知，合外力做功为零，故 C 点速度大小等于 v_0，在 C 点据牛顿第二定律可得 $N=m\frac{v_0^2}{R}$，其中 $R=\frac{h}{\cos 37^\circ}$，联立解得 R=0.25m，$N\approx 28.4\text{N}$

由牛顿第三定律可知，小球在 C 点对轨道的压力大小为 28.4N，方向水平向右。

（4）假设物块能到达 D 点，且到达 D 点时的速度大小为 v_D，对物块从 A 点运动到 D 点的过程，根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_D^2+mgR$，解得 $v_D=\frac{\sqrt{19}}{2}\text{m/s}$

设物块恰好能通过 D 点的速度大小为 v_0，有 $mg=m\frac{v_0^2}{R}$，解得 $v_0=\frac{3\sqrt{10}}{4}\text{m/s}$

因为 $v_D<v_0$，所以假设不成立，物块不能通过圆弧轨道的最高点 D。

5．(1)5mg，(2)8R，(3)4R

【详解】（1）从 E 点到 C 点由动能定理 $mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_C^2$，在 C 点时由牛顿第二定律 $F_N-mg=m\frac{v_C^2}{R}$

解得 $v_C=2\sqrt{gR}$，$F_N=5mg$

（2）滑块最终将以 B 为最高点在圆弧上来回振动，由能量关系可知 $mg\cdot 2R-mgR(1-\cos 53^\circ)=\mu mgx\cos 53^\circ$

可得 x=8R

（3）从 A 到 E 由动能定理 $mgL\sin 53^\circ+mgR(1-\cos 53^\circ)-\mu mgL\cos 53^\circ-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_E^2$，解得 $v_E=2\sqrt{gR}$

滑块从 E 点做平抛运动，则 $x_1=v_Et$，$2R=\frac{1}{2}gt^2$，解得 x_1=4R

6.（1）7N；（2）$v=\sqrt{12l_x-9.6}$ （$l_x\geq 0.85\text{m}$）；（3）$\frac{13}{15}\text{m}$，$\frac{9}{5}\text{m}$，$\frac{41}{15}\text{m}$

【详解】（1）滑块释放运动到 C 点过程，由动能定理 $mgl\sin 37^\circ+mgR(1-\cos 37^\circ)=\frac{1}{2}mv_C^2$

经过 C 点时 $F_N-mg=m\frac{v_C^2}{R}$，解得 $F_N=7\text{N}$

（2）能过最高点时，则能到 F 点，则恰到最高点时 $mgl_x\sin 37^\circ-mg\times 4R\cos 37^\circ=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $v=\sqrt{12l_x-9.6}$

而要保证滑块能到达 F 点，必须要保证它能到达 DEF 最高点，当小球恰好到达 DEF 最高点时，由动能定理 $mgl_x\sin 37^\circ-mg(3R\cos 37^\circ+R)=0$，可解得 l_x=0.85m

则要保证小球能到 F 点，$l_x\geq 0.85\text{m}$，带入 $v=\sqrt{12l_x-9.6}$ 可得 $v\geq\sqrt{0.6}\text{m/s}$

（3）设全过程摩擦力对滑块做功为第一次到达中点时做功的 n 倍，则 n=1,3,5,.....

$mgl_x\sin 37^\circ-mg\frac{l_{FG}}{2}\sin 37^\circ-n\mu mg\frac{l_{FG}}{2}\cos 37^\circ=0$

解得 $l_x=\frac{7n+6}{15}\text{m}$ n=1,3,5, ...又因为 $l_{AB}\geq l_x\geq 0.85\text{m}$，$l_{AB}=3\text{m}$

当 $n=1$ 时，$l_{x1}=\frac{13}{15}\text{m}$，当 $n=3$ 时，$l_{x2}=\frac{9}{5}\text{m}$，当 $n=5$ 时，$l_{x3}=\frac{41}{15}\text{m}$，满足要求。

即若滑块最终静止在轨道 FG 的中点，释放点距 B 点长度 l_x 的值可能为 $\frac{13}{15}\text{m}$，$\frac{9}{5}\text{m}$，$\frac{41}{15}\text{m}$。

7.（1）$v=\sqrt{2gh_0}$，$I=m\sqrt{2gh_0}$，水平向左；（2）$F_N=2mg(\frac{h}{R}-1)$（h≥R）；（3）$h\leq\frac{5}{2}R$ 或 $h=\frac{9}{2}R$

【详解】(1)机械能守恒 $mgh_0=\frac{1}{2}mv_C^2$，解得 $v_C=\sqrt{2gh_0}$

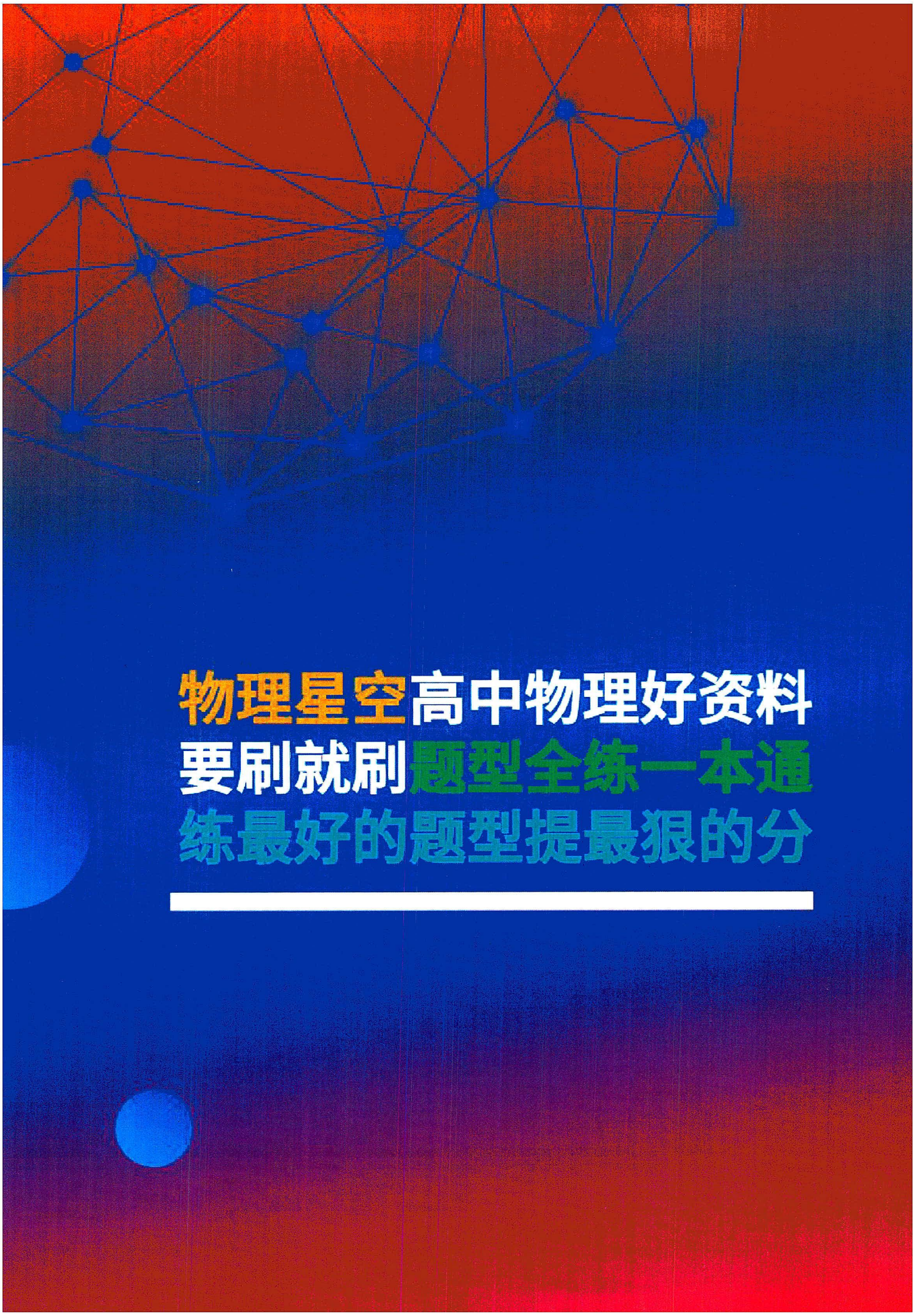
(2)机械能守恒 $mg(h-R)=\frac{1}{2}mv_D^2$，牛顿第二定律 $F_N=\frac{mv_D^2}{R}$，解得 $F_N=2mg(\frac{h}{R}-1)$，满足的条件 $h\geq R$

(3)第 1 种情况:不滑离轨道原路返回，条件是 $h\leq\frac{5}{2}R$

第 2 种情况：与墙面垂直碰撞后原路返回，在进入 G 之前是平抛运动 $v_xt=v_x\frac{v_y}{g}$

其中 $v_x=v_G\sin\theta$，$v_y=v_G\cos\theta$，则 $v_G\sin\theta\frac{v_G\cos\theta}{g}=d$，得 $v_G=2\sqrt{gR}$

机械能守恒 $mg\left(h-\frac{5}{2}R\right)=\frac{1}{2}mv_G^2$，h 满足的条件 $h=\frac{9}{2}R$


物理星空高中物理好资料
要刷就刷题型全练一本通
练最好的题型提最狠的分