物理星空

高中物理
题型全练一本通
必修第一册

拔高首选 强效提分

答案详解册

目录

第一讲：描述质点运动——1 6
考点一： 6
题型一：条件判断 6
考点二：参考系 6
题型一：概念辨析 6
题型二：相对运动分析 7
考点三：时间与时刻 8
题型一：概念辨析 8
题型二：时间与时刻判断 8
考点四：坐标系 9
题型一：概念辨析 9
考点五：标量与矢量 9
题型一：概念辨析 9
考点六：路程与位移 10
题型一：概念辨析 10
题型二：路程与位移的计算 11
第二讲：描述质点运动——2 13
考点一：速度 13
题型一：概念辨析 13
题型二：速度与速率的计算 14
题型三：两个平均速度的计算公式 15
考点二、速度变化量： 16
考点三：加速度（速度变化率） 16
题型一：概念辨析 17
题型二：加速度的计算 18
题型三：加速减速的判断 19
第三讲：描述质点运动——3 20
考点一：x-t 图像 20
题型一：理解 x-t 图像的物理意义 20
题型二：利用 x-t 图像分析质点运动规律 21
考点二：v-t 图像 22
题型一：理解 v-t 图像的物理意义 22
题型二：利用 v-t 图像解决实际问题 23
题型三：图像综合应用 24
考点三：打点计时器 26
题型一：利用打点计时器测量加速度 26
题型二：利用现代技术测量加速度 27
跟踪练习（一） 30
第四讲：匀变速直线运动基本规律及推论 34
考点一：匀变速直线运动 34
题型一：概念辨析 34
考点二：四大基本公式 34
题型一：理解基本公式 35
题型二：利用基本公式进行简单计算 36
题型三：两种匀减速运动——刹车问题与双向可逆问题 38
考点三：中间时刻速度等于平均速度 41

题型一：利用平均速度求加速度与速度 42
题型二：利用平均速度求位移 44
考点四：中间位置速度 45
题型一：利用中间位置速度公式 45
题型二：非中间位置速度公式推导应用 47
考点五：逐差相等公式：$\Delta x=aT^2$ 48
第五讲：初速度为零的匀变速直线运动规律及应用 49
题型一：等时间规律的应用 49
题型二：等位移规律的应用 50
题型三：利用规律判断初始位置 51
题型四：逆向思维的应用 52
跟踪练习（二） 54
第六讲：自由落体与竖直上抛 59
考点一：自由落体 59
题型一：基础题型 59
题型二：反应时间问题 60
题型三：滴水问题 61
题型四：频闪照相问题 62
题型五：过窗问题 63
题型六：最后 1s、最后 1m 问题 65
考点二：竖直上抛 66
题型一：基础题型 66
题型二：竖直上抛中的对称问题与多解问题 68
题型三：竖直上抛的相遇问题 69
题型四：竖直上抛的相对运动问题 70
第七讲：追击相遇专题 72
题型一：高速追低速 72
题型二：低速追高速 73
题型三：避免碰撞 76
题型四：追击猎物 78
题型五：接力赛 80
题型六：多次相遇 80
第八讲：图像专题 84
题型一：v-t 图像 84
题型二：特殊 v-t 图像：0-v-0 模型 86
题型三：x-t 图像 88
题型四：a-t 图像 90
题型五：图形转换 92
题型六：其他特殊图像 93
题型七：图像中的追及相遇问题 97
跟踪练习（三） 101
第九讲：三大基本力——重力、弹力、摩擦力 106
考点一：力的基本性质 106
题型一：概念辨析 106
考点二：重力 106
题型一：概念辨析 106
题型二：重力三要素 107
考点三：弹力 108

题型一：概念辨析 108
题型二：弹力方向 109
题型三：弹簧弹力分析 110
题型四：弹力的大小——胡克定律 111
题型五：弹簧的串并联 114
考点四：摩擦力 116
题型一：概念辨析 116
题型二：静摩擦与动摩擦 116
题型三：摩擦力方向 117
题型四：摩擦力的大小 120
题型五：静摩擦力突变 122
题型六：受力分析 123
跟踪练习（四） 130
第十讲：力的合成与分解 135
考点一：力的合成 135
题型一：概念辨析 135
题型二：二力合成 136
题型三：多力合成 137
考点二：力的分解 138
题型一：正交分解 138
题型二：对一个已知力分解情况分析 141
题型三："死结"与"活结"、"死杆"与"活杆" 141
考点三：牛顿第三定律 143
题型一：概念辨析 143
考点四：受力分析 145
题型一：单体受力分析 145
题型二：多体受力分析 146
题型三：整体法与隔离法 148
题型四：解答题 150
第十一讲：共点力平衡问题 156
考点一：静态平衡 156
题型一：单体静态平衡 156
题型二：多体静态平衡 158
题型三：立体问题 160
考点二：动态平衡 161
题型一：解析法 161
题型二：图解法 162
题型三：静摩擦力反向 164
题型四：相似三角形 165
题型五：正弦定理（拉密定理） 168
题型六：晾衣杆问题 170
考点三：平衡中的临界与极值问题 172
第十二讲：实验专题 177
考点一：探究弹簧弹力和弹簧形变量的关系 177
考点二：验证力的平行四边形法则 178
跟踪练习（五） 180
第十三讲：牛顿运动定律 185
考点一：牛顿第一运动定律 185

题型一：理想实验 185
题型二：概念辨析 185
题型三：惯性 186
考点二：牛顿第二运动定律 187
题型一：概念辨析 187
考点三：基本单位制 188
题型一：基本概念 188
题型二：验证表达式准确性 189
考点四：两类动力学问题 189
题型一：已知运动求受力情况 189
题型二：已知受力求运动情况 191
题型三：多过程问题 192
第十四讲：探究力与加速度的关系 195
题型一：探究加速度与力的关系 195
题型二：探究加速度与质量的关系 196
题型三：创新实验 198
跟踪练习（六） 204
第十五讲：牛顿运动定律应用（一） 209
题型一：轻绳与弹簧中的突变 209
题型二：接触面弹力突变 211
题型三：部分加速度相同 212
考点二：等时圆模型 215
题型一：等时圆 215
题型二：等时三角形 216
题型三：“等路程”问题 218
考点三：超重与失重 219
题型一：基础应用 219
题型二：电梯问题 220
题型三：下蹲与起跳 221
第十六讲：牛顿运动定律应用（二） 223
考点一：连接体问题 223
题型一：“内力公式”的应用 223
题型二：加速度相同 226
题型三：加速度不同 229
考点二：临界问题 231
题型一：“g tanθ”与“$\frac{g}{tan\theta}$” 231
题型二：绳连接体中的临界问题 234
题型三：弹簧中的临界问题 236
题型四：板块中的临界问题 238
考点三：极值问题 240
考点四：其他问题 242
第十七讲：牛顿运动定律应用（三）——图像专题 246
题型一：v-t 图，x-t 图 246
题型一：a-t 图 247
题型一：F-t 图 248
题型一：F-a 图 250
题型一：其他图像 252

跟踪练习（七）.....253
第十八讲：牛顿运动定律应用（四）.....258
考点一：传送带问题.....258
题型一：同向水平传送带.....258
题型二：反向水平传送带.....259
题型三：倾斜传送带--同向下行传送带.....262
题型四：倾斜传送带--反向上行传送带.....264
题型五：倾斜传送带--同向上行传送带.....266
题型六：倾斜传送带--反向下行传送带.....270
考点二：板块问题.....272
题型一:无外力F下的水平板块.....272
题型二:有外力F下的水平板块.....275
题型三:单板+多块.....277
题型四:单块+多板.....283
题型五:多次碰撞.....285
考点三：倾斜板块问题.....285
题型一:无外力F下的倾斜板块.....285
题型二:有外力F下的倾斜板块.....287
题型三:多次碰撞.....289
考点四：竖直面类板块问题.....290
跟踪练习(八).....294

参考答案（详解）

第一讲：描述质点运动——1

考点一：

题型一：条件判断

【典型例题】

1．AD

【详解】A．月亮和太阳一样，都是“东升西落”，这是以地面为参考系来描述的，选项 A 正确；

B. 求火车穿过北盘江大桥的时间时，火车的大小不能忽略，不可以把火车看成质点，选项 B 错误；

CD．物体能否看做质点，主要是看物体的线度和大小与所研究的问题相比能否忽略，质量、体积很大的物体不一定不能看作质点，例如地球很大，但在研究地球公转时可把地球看做质点，选项 C 错误，D 正确。

故选 AD。

2．B

【详解】A．研究和观察日食现象时，太阳的形状、大小不能忽略，不能把太阳看作质点，故 A 错误；

B．研究地球的公转时，地球的形状、大小可以忽略，可以把地球看作质点，故 B 正确；

C．研究地球的自转时，地球的形状、大小不能忽略，不能把地球看作质点，故 C 错误；

D．原子核很小，如果大小、形状对研究的问题没有影响，才可以把它看成质点，如研究内部的具体结构则不能看成质点，故 D 错误。

故选 B。

【变式训练】

3．B

【详解】A．蹦床比赛中运动员的动作是不能忽略的，不能看作质点，A 错误；

B．自行车比赛中运动员相对于比赛的长度来说其大小和形状可以忽略，所以可以看作质点，B 正确；

C．体操中主要根据人的肢体动作评分，故不能忽略大小和形状，故不能看作质点，C 错误；

D．击剑时要注意人的肢体动作，不能看作质点，D 错误。

故选 B。

考点二：参考系

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．CD

【详解】A.参考系的选择是任意的，可以是相对地面不动的物体，也可以是相对地面运动的物体，故 A 错误；

B.选取参考系时要考虑研究问题的方便，使之对物体运动的描述尽可能的简单;故 B 错误；

C.不选定参考系，就无法研究某一物体是怎样运动的，故 C 正确；

D.同一物体的运动，对不同的参考系可能有不同的观察结果，故 D 正确；

故选 CD。

【变式训练】2．BCD

【详解】A.任何物体均可作为参考系，并不要求是否静止，A 错误；

B.要想描述一个物体的运动，必须先选择参考系，B 正确；

C.同一物体的运动，相对于不同的参考系，观察的结果可能不同，C 正确；

D.我们平常所说的楼房是静止的，是以地球为参考系的，D 正确．

故选 BCD

题型二：相对运动分析

【典型例题】

1．C

【详解】A．以地面为参照物，发射塔的位置不变，是静止的，故 A 错误；

B．以发射塔为参照物，火箭的位置不断变化，是运动的，故 B 错误；

C．以舱内的航天员为参照物，火箭位置不变，是静止的，故 C 正确；

D．以舱内的航天员为参照物，发射塔位置不断变化，是运动的，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】乙船上的乘客看到丙船和码头都向东运动，说明乙船是向西运动的，丙可能静止也可能向西运动，但速度小于乙船速度；

甲船上的乘客看到乙船向东运动，说明甲船是向西运动的，且甲船的速度大于乙船的速度；

丙船上的乘客看到甲船向西运动，说明丙船可能处于静止状态，也可能向东运动，也可能向西运动且速度比甲船的速度小。

故选 C。

3．BCD

【详解】甲中乘客看到高楼向下运动，说明甲电梯相对高楼向上运动；乙中乘客看到甲电梯向下运动，说明乙电梯相对甲电梯向上运动，相对高楼也向上运动，且比甲电梯运动的快；丙中乘客看到甲、乙两电梯都在向上运动，说明丙电梯相对于甲、乙两电梯在向下运动，则丙电梯相对地面的运动情况有三种可能：①静止不动，②向下运动，③向上运动，但比甲、乙两电梯都慢。

A．甲向上、乙向下、丙不动。与分析不符，A 错误；

B．甲向上、乙向上、丙不动。与分析相符，B 正确；

C．甲向上、乙向上、丙向下。与分析相符，C 正确；

D．甲向上、乙向上、丙也向上，但比甲、乙都慢。与分析相符，D 正确。

故选 BCD。

【变式训练】

1．BD

【详解】由彩旗的飘扬方向可知风向左吹，甲所拿火把的火焰向左飘，那么甲可能静止，也可能向右运动，还可能向左运动，但是向左运动的速度小于风速。乙所拿火把的火焰向右飘，则乙只能向左运动，且向左运动的

速度大于风速。

故选 BD。

2．D

【详解】AB．甲看到楼房匀速上升，说明甲相对于地面匀速下降；乙看到甲匀速上升，说明乙匀速下降，而且 $v_{乙}>v_{甲}$；甲看到丙匀速上升，丙看到乙匀速下降，丙可能停在空中，也可能匀速上升，故 AB 正确；

CD．甲看到丙匀速上升，丙看到乙匀速下降，丙可能匀速下降，且 $v_{丙}<v_{甲}$，故 C 正确，D 错误。

本题选不可能的，故选 D。

考点三：时间与时刻

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．D

【详解】A．t_2 表示时刻，称为第 2s 末或第 3s 初，前 3s 初是 t_0，A 错误；

B．t_1～t_2 表示时间间隔，称为第 2s 内，t_0～t_1 表示时间间隔，称为第 1s 内，B 错误；

C．t_0～t_2 表示时间间隔，称为前 2s 或前 2s 内，t_1～t_2 表示时间间隔，称为第 2s 内，C 错误；

D．t_{n-1}～t_n 表示时间间隔，称为第 ns 内，D 正确。

故选 D。

2．D

【详解】A．时间间隔是时间轴上的一段距离，时刻是时间轴上的一个点，A 错误；

B．3 秒内的时间长度等于 3s，第 3 秒的时间长度等于 1s，B 错误；

C．第 3 秒末和第 4 秒初是同一时刻，C 错误；

D．第 3 秒内和第 4 秒内经历的时间间隔相等，都等于 1s，D 正确。

故选 D。

【变式训练】

1．AD

【详解】A．第 4 s 末就是第 5 s 初，指的是时刻，选项 A 正确；

B．第 5 s 初指的是时刻，选项 B 错误；

C．物体在 5 s 内指的是物体在从开始计时到第 5 s 末这 5 s 的时间间隔，选项 C 错误；

D．物体在第 5 s 内指的是物体在 4 s 末到 5 s 末这 1 s 的时间间隔，选项 D 正确。

故选 AD。

题型二：时间与时刻判断

【典型例题】

1．D

【详解】A．17 点 55 分是指时刻，选项 A 错误；

B．第 8s 末指的是时刻，选项 B 错误；

C．时间间隔与时刻是两个不同的概念，在时间轴上，时刻对应一个点，而时间间隔对应一条线段，选项C错误；

D．上午第一节课从8：00开始上课，这里的8：00是指时刻，选项D正确。

故选D。

【变式训练】

1．A

【详解】A．58分钟及67分钟是进球的时刻，故A正确；

B．13秒09是指完成比赛的时间，故B错误；

C．40小时是工作的过程所经历的时间；故C错误；

D．68.5小时是飞船飞行的时间；故D错误．

2．C

【详解】A．2021年12月31日上午八点半，沁源一中全体学生在操场举行会议，此处强调的是一个瞬间，为时刻，故A错误；

B．一中运动会100m赛跑的最好成绩是12.8s，此处强调的是一个过程，为时间间隔，故B错误；

C．在2019年12月12日下午组织的拔河比赛中，高二高三教师队的僵持时间为65秒，此处指时间间隔，故C正确；

D．本次物理考试的考试时间为90分钟，此处指的是时间间隔，故D错误。

故选C。

考点四：坐标系

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．A

【详解】建立坐标系的意义是为了定量地描述物体的位置及位置的变化，要根据问题的实际需要，建立合适的坐标系．沿直线运动建立直线坐标系，在平面上运动建立平面直角坐标系，故选A。

【变式训练】

1．A

【详解】AB．建立坐标系是为了定量描述物体的位置和位置的变化，描述物体的运动及运动快慢，要建立参考系，故A正确B错误；

CD．研究物体沿斜面滑下、沿直线竖直落下等直线运动时可以建立直线坐标系，不一定非要建立平面直角坐标系和三维坐标系。故CD错误。

故选A。

考点五：标量与矢量

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．C

【详解】ABD．温度、质量、时间都没有方向，其运算都不符合平行四边形定则，都是标量，ACD 错误；

C．位移有大小、有方向，其运算符合平行四边形定则，所以位移是矢量，C 正确。

故选 C。

2．B

【详解】AB．标量只有大小没有方向，运算遵循数学算术法则，矢量既有大小，又有方向，运算遵循平行四边形定则，两者有着严格的区别，A 错误，B 正确；

C．时间、时刻与路程只有大小没有方向，运算遵循数学算术法则，均为标量，C 错误；

D．电流有大小与方向，但是电流的运算遵循数学算术法则，不遵循平行四边形定则，因此电流是标量，不是矢量，D 错误。

故选 B。

【变式训练】

1．B

【详解】A．位移是矢量遵守平行四边形定则，物体先向东运动 3 m，再向北运动 2 m，物体的总位移是 $\sqrt{3^2+2^2}\,\mathrm{m}=\sqrt{13}\,\mathrm{m}$；A 错误；

B．时间是标量物体先向东运动 3 s，再向北运动 2 s，物体的总运动时间是 5 s，B 正确；

C．位移是矢量负号表示方向，-10 m 的位移比 5 m 的位移大，C 错误；

D．温度是标量负号表示温度低于 0℃，-10℃比 5℃的温度低，D 错误；

故选 B。

考点六：路程与位移

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．A

【详解】A．位移是矢量，有大小，有方向，而路程是标量，只有大小，没有方向，故 A 正确；

B．位移和路程都是既可以描述直线运动，也可以描述曲线运动，故 B 错误；

C．位移仅取决于物体的初末位置，故 C 错误；

D．物体做单向直线运动时，位移的大小等于路程，故 D 错误。

故选 A。

2．C

【详解】AD．只有物体做单向直线运动时，位移的大小与路程相等，其它情况路程大于位移的大小，故 AD 错误；

B．位移和路程都可以描述直线运动和曲线运动，故 B 错误；

C．位移是初位置指向末位置的有向线段长，所以位移取决于初末位置，路程等于运动轨迹的长度，所以路程与实际运动的路线有关，故 C 正确。

故选 C。

【变式训练】

1．C

【详解】A．位移是矢量，既有大小，又有方向，路程是标量，有大小，无方向，两个物理量不相同，A 错误；

B．位移与路程均可描述直线与曲线运动，B 错误；

C．位移是矢量，它取决于物体的始末位置；路程是标量，它取决于物体实际通过的路线，C 正确；

D．位移是矢量，路程是标量，当物体做单向直线运动时，位移的大小才等于路程，D 错误；

故选 C。

题型二：路程与位移的计算

【典型例题】

1．C

【详解】路程是指物体所经过的路径的长度，所以路程为$s=3.0km+4.0km=7.0km$

位移是从初位置到末位置的有向线段，所以位移的大小为$x=\sqrt{3.0^2+4.0^2}km=5.0km$

故选 C。

2．B

【详解】位移是由初位置指向末位置的有向线段，路程是运动轨迹的长度。篮球通过的路程为$s=H+h=4.3\text{m}$

以向上为位移正方向，则在该过程中，篮球的位移为$x=h-H=-0.7\text{m}$

故选 B。

3．A

【详解】根据位移的定义可知，出发点 A 到 C 点的位移大小为$x=2R=16\text{m}$

方向为正南方向。

故选 A。

【变式训练】

1．C

【详解】位移为初位置指向末位置的有向线段，所以此次巡检中安检员发生的位移大小为 160 m，方向向东；路程是指轨迹的长度，所以此次巡检中安检员通过的路程为$s=120\text{m}+160\text{m}+120\text{m}=400\text{m}$

故选 C。

2．B

【详解】AB．若取地面 C 为坐标原点，A 点的坐标为 x_A=3m;C 点坐标为 x_C=0

则整个过程中，小球的位移$\Delta x=x_C-x_A=$（0-3）m=-3m

且位移与坐标原点的选取无关，A 错误，B 正确；

CD．从 A 到 B 的位移为Δx_1=5m；从 B 到 C 的位移为Δx_2=-8m

位移是矢量，正、负号表示位移的方向，而不表示位移的大小，所以从 A 到 B 的位移小于从 B 到 C 的位移，CD 错误。

故选 B。

3．BD

【详解】A．小车运动的路程为$s=\sqrt{(2a)^2+a^2}=\sqrt{5}a$；选项 A 错误；

BC．小车运动的位移为$x=\sqrt{a^2+(\sqrt{2}a)^2}=\sqrt{3}a$；选项 B 正确，C 错误；

D．小车运动的时间为$t=\frac{s}{v}=\frac{\sqrt{5}a}{v}$；选项 D 正确。

故选 BD。

4．A

【详解】A．位移为物体初末位置的变化，由图知硬币滚动一周，P 点与 O 点位移大小相等，故 A 正确；

B．P 点运动到位置 1 时速度方向为右上方，故 B 错误；

C．P 点运动到位置 2 时，P 点做曲线运动，则向心加速度不为零，故 C 错误；

D．P 点的运动，为水平匀速运动与匀速圆周运动的合成；而 O 点的运动一直为向右匀速直线。故到位置 3 时，两者速度不可能相等。故 D 错误。

故选 A。

第二讲：描述质点运动——2

考点一：速度

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．A

【详解】A．物体做匀速直线运动时，物体的速度大小和方向不变，A 错误，符合题意；

B．$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$为速度的定义式，速度 v 的大小与运动的位移和时间都无关，B 正确，不符合题意；

C．速度定义式$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$适用于任何运动，C 正确，不符合题意；

D．速度是表示物体运动快慢及方向的物理量，D 正确，不符合题意。

故选 A。

2．D

【详解】如图所示的限速标志，是告诫驾驶员在这一路段驾驶车辆时瞬时速度不能超过 40km/h，在行驶的任何时刻都不能超过该数值，行驶速度低于或者等于 40km/h 都是允许的。

故选 D。

【变式训练】

1．A

【详解】A．速度是表示物体运动快慢的物理量，它既有大小，又有方向，故 A 正确；

B．平均速度等于位移除以时间，它既有大小，又有方向，故 B 错误；

C．汽车以速度v_1经过某一路标，子弹以速度v_2从枪口射出，v_1和v_2均指瞬时速度，故 C 错误；

D．运动物体经过某一时刻（或某一位置）的速度，叫瞬时速度，它是矢量，故 D 错误。

故选 A。

2．A

【详解】AB．平均速度与位移方向一致；瞬时速度和运动的方向总是一致，但两者的方向可能不同，A 错误，B 正确；

CD．根据速度定义式$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$

当Δt非常小时，即$\Delta t\to 0$时，$\frac{\Delta x}{\Delta t}$就可以表示物体在 t 时刻的瞬时速度，该定义应用了极限思想法，CD 正确。

故不正确的选 A。

3．B

【详解】A．平均速度为一段时间内位移与所用时间的比值，但平均速度的方向为这段时间内物体位移的方向，不是运动轨迹的切线方向，故 A 错误；

B．瞬时速度是指物体在某一位置或某一时刻的速度，故 B 正确；

C．做匀速直线运动的物体，瞬时速度的大小不变，方向不变，故 C 错误；

D．物体做变速运动时，平均速度是指物体通过的位移与所用时间的比值，故 D 错误。

故选 B。

题型二：速度与速率的计算

【典型例题】

1．C

【详解】A．前 7s 内跑了 63m，可得$\bar{v}=\frac{x}{t}=9\text{m/s}$

即前 7s 内的平均速度为 9m/s，而运动员在第 7s 末的瞬时速度不一定是 9m/s，故 A 错误；

BC．第 10s 末到达终点时的速度 10.3m/s 是瞬时速度，而不是平均速度，故 B 错误，C 正确；

D．百米赛跑要经过加速和匀速的过程，运动员在全过程中做变速直线运动，故 D 错误。

故选 C。

2．A

【详解】A．全过程中，甲、乙的位移相等，为零，故甲、乙的平均速度一样大，故 A 正确；

B．甲、乙在最高点的速度都为零，甲在最高点的速度等于乙在最高点的速度，故 B 错误；

C．根据题意，无法比较甲、乙在中点时的速度，故 C 错误；

D．从顶端返回的过程中，甲、乙的位移相等，伐木工甲率先爬到顶端，乙先返回到出发点，说明从顶端返回的过程中，乙所用的时间较短，根据$\bar{v}=\frac{x}{t}$

可知甲的平均速度一定小于乙的平均速度， 故 D 错误。

故选 A。

3．B

【详解】质点沿圆周运动半周，故全程质点的位移为 x＝2R

路程为 s＝πR

故速率为$v=\frac{s}{t}=\frac{\pi R}{t}$

平均速度为$v'=\frac{2R}{t}$

故 B 正确，ACD 错误。

故选 B。

4．C

【详解】设等边三角形的边长为 L，从重叠到刚好完全分开所需时间为$t=\frac{L}{2v}$

这段时间内腰上的交点 O 从顶部动到后部，位移为$x=\frac{\sqrt{3}}{2}L$；则其速度大小为$v_0=\frac{x}{t}=\sqrt{3}v$

故选 C。

【变式训练】

1．AC

【详解】A．同一时间，李帅已经过线，而王杰没有，所以在相同位移的情况下，李帅所用时间比王杰短，故 A 正确；

B．由于没有王杰撞线时的照相记录，所以并不能判定撞线时，王杰的瞬时速度一定大于李帅的瞬时速度，故 B 错误；

C．全程时，李帅先到终点，位移相同，则根据 $v_{平均}=\frac{x}{t}$，全程王杰的平均速度小于李帅的平均速度，故 C 正确；

D．由于没有王杰撞线时的照相记录，所以并不能判定撞线时，王杰的瞬时速度一定小于李帅的瞬时速度，故 D 错误。

故选 AC。

2．D

【详解】A．平均速率等于路程比时间，则整个过程中赛车的平均速率为 $\overline{v_s}=\frac{15}{\frac{5}{60}}\text{km/h}=180\text{km/h}$；故 A 错误；

B．平均速度等于位移与时间的比值，则整个过程中赛车的平均速度大小 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{9}{\frac{5}{60}}\text{km/h}=108\text{km/h}$；故 B 错误；

C．若赛车手原路返回用时也为 5min，则来回平均速度大小相同，方向相反，故 C 错误；

D．经过某路标 C 时，车内速度计指示的示数为 150km/h,对应空间的某一位置的速度为瞬时速度大小，所以赛车经过路标 C 时的瞬时速度大小为 150km/h，故 D 正确。

故选 D。

3．ABC

【详解】A．物体在 AB 段的平均速度为 $\overline{v_{AB}}=\frac{x_{AB}}{t_{AB}}=\frac{1}{1}\text{m/s}=1\text{m/s}$；故 A 正确；

B．物体在 ABC 段的平均速度为 $\overline{v_{ABC}}=\frac{x_{AC}}{t_{AC}}=\frac{\sqrt{2^2+1^2}}{2}\text{m/s}=\frac{\sqrt{5}}{2}\text{m/s}$；故 B 正确；

C．由于 AB 段的时间更小，所以 AB 段的平均速度比 ABC 段的平均速度更能反映物体处于 A 点时的瞬时速度，故 C 正确；

D．不能确定物体在 B 点的速度是否等于 AC 段的平均速度大小，故 D 错误。

故选 ABC。

题型三：两个平均速度的计算公式

【典型例题】

1．D

【详解】设物体运动的总时间为 3t，则物体在整段时间内的平均速度大小是 $\bar{v}=\frac{\bar{v}_1\times 2t+\bar{v}_2\times t}{3t}$；解得 $\bar{v}_2=6\text{m/s}$

故选 D。

2．BD

【详解】AB．设斜坡长度为 s，则此同学往返一次的平均速率为 $\bar{v}=\frac{2s}{\frac{s}{\bar{v}_1}+\frac{s}{\bar{v}_2}}=4.8\text{m/s}$；故 A 错误，B 正确；

CD．此同学往返一次的过程位移为零，所以平均速度大小为零，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

3．BC

【详解】AB．设总位移的一半为x，则有$\overline{v_{甲}}=\frac{2x}{\frac{x}{v_1}+\frac{x}{v_2}}=\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$；A错误，B正确；

CD．设乙运动总时间的一半为t，则有$\overline{v_{乙}}=\frac{v_1t+v_2t}{2t}=\frac{v_1+v_2}{2}$；C正确，D错误。

故选BC。

【变式训练】

1．D

【详解】因往返全程的位移为零，则全程的平均速度的大小为$\overline{v}=\frac{0}{t}=0$

设向上运动的位移为h，则路程为$2h$，全程的平均速率为$\overline{v_{率}}=\frac{2h}{\frac{h}{v_1}+\frac{h}{v_2}}=\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$

故选D。

2．A

【详解】水不流动时，小船通过的路程为二倍A点到B点之间的距离，即$2s=vt$

故A点到B点之间的距离$s=\frac{vt}{2}$

若水速为v_0时，则顺水速度为$v+v_0$，从A点到B点所用的时间为$t_{AB}=\frac{s}{v+v_0}$

若水速为v_0时，则逆水速度为$v-v_0$，从B点到A点所用的时间为$t_{BA}=\frac{s}{v-v_0}$

水速为v_0时，往返时间为$t'=\frac{s}{v+v_0}+\frac{s}{v-v_0}=\frac{v^2}{v^2-v_0^2}t$

故选A。

3．(1)5.2m/s(2)5.0m/s

【详解】（1）设质点从A位置运动到B位置的时间为t，

则前$\frac{2}{5}$时间内的位移为$x_1=v_1\cdot\frac{2}{5}t$；后$\frac{3}{5}$时间内的位移为$x_2=v_2\cdot\frac{3}{5}t$

全过程的平均速度为$\overline{v_1}=\frac{x_1+x_2}{t}=5.2\text{m/s}$

（2）设质点从A位置运动到B位置的位移为x，

质点前$\frac{2}{5}$位移所用的时间为$t_1=\frac{\frac{2}{5}x}{v_1}$；质点后$\frac{3}{5}$位移所用的时间为$t_2=\frac{\frac{3}{5}x}{v_2}$

全过程的平均速度为$\overline{v_2}=\frac{x}{t_1+t_2}=5.0\text{m/s}$

考点二、速度变化量：

考点三：加速度（速度变化率）

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．A

【详解】A．速度大小不变的物体，但速度方向改变，则速度变化量不为零，加速度不为零，故 A 正确；

B．加速度是描述物体速度变化快慢的物理量，速度变化越快，加速度一定越大，故 B 错误；

C．速度为零，加速度不一定为零，如自由落体运动初始时刻速度为零，而加速度为 g，故 C 错误；

D．物体速度方向向东，加速度方向可能向北，故 D 错误。

故选 A。

2．D

【详解】A．物体运动的加速度等于 0，而速度却不等于 0，比如做匀速直线运动的物体，故 A 正确；

B．根据 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可知，两物体相比，一个物体的速度变化量 Δv 比较大，但若所用时间 Δt 也比较大，则加速度可能比较小，故 B 正确；

C．若物体向西做减速直线运动，则物体具有向东的加速度，故 C 正确；

D．物体做加速直线运动，加速度与速度方向一定相同，故 D 错误。

由于本题选择错误的，故选 D。

3．AD

【详解】AB．物体的初速度方向为正方向，其加速度为负表示加速度的方向与速度方向相反，物体做匀减速直线运动，其速度在均匀减小，故 A 正确，B 错误；

C．根据加速度的定义可得 $\Delta v=a\Delta t$

这一秒末与前一秒初的时间间隔为 2s，这一秒末的速度比前一秒初的速度小 8m/s，故 C 错误；

D．这一秒末与前一秒末的时间间隔为 1s，这一秒末的速度比前一秒末的速度小 4m/s，故 D 正确。

故选 AD。

【变式训练】

1．D

【详解】A．物体速度越大，其加速度不一定越大，例如高速匀速行驶的列车加速度为零，选项 A 错误；

B．物体速率不变，但是如果方向不断变化，则其加速度不为零，选项 B 错误；

C．物体做曲线运动，其加速度不一定变化，例如平抛运动，选项 C 错误；

D．加速度等于速度的变化率，则物体速度变化越快，其加速度一定越大，选项 D 正确。

故选 D。

2．BD

【详解】A．加速度是矢量，既有大小，又有方向，正负号表示方向，比较大小时应比较其绝对值的大小，所以物体 A 的加速度比物体 B 的加速度小，故 A 错误；

B．加速度表示物体速度变化的快慢，所以物体 A 的速度变化比物体 B 的速度变化慢，故 B 正确；

C．物体 A 的速度是否增加，需要看其速度方向与加速度方向的关系，如果二者方向相同，速度将增加，如果二者方向相反，速度将减小，故 C 错误；

D．同理，物体 B 的速度可能在增加，也可能在减小，故 D 正确。

故选 BD。

3．B

【详解】AB．根据 $j=\frac{\Delta a}{\Delta t}$

可知 j 的方向总是与 Δa 的方向一致，j 与加速度的变化率在数值上相等，不能认为与 Δa 成正比，与 Δt 成反比，故 A 错误，B 正确；

C．若某运动物体的 j 是正值，则该物体的加速度是增大的，但速度不一定增大，故 C 错误；

D．物体的加速度 a 是否增大取决于 a 与 j 的方向是同向还是反向，与 j 增大还是减小无关，故 D 错误。

故选 B。

题型二：加速度的计算

【典型例题】

1．D

【详解】设反向弹回的方向为正方向，根据加速度定义式有 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{6-(-9)}{0.3}\mathrm{m/s^2}=50\mathrm{m/s^2}$

故排球在这段时间内的平均加速度大小为 $50\mathrm{m/s^2}$。

故选 D。

2．BD

【详解】AB．若 1s 后速度方向与初速度方向相同，则速度变化量的大小为 $\Delta v_1=v_2-v_1=10-4\mathrm{m/s}=6\mathrm{m/s}$

若 1s 后速度方向与初速度方向相反，则速度变化量的大小为 $\Delta v_2=\left|v_2'-v_1\right|=\left|-10-4\right|\mathrm{m/s}=14\mathrm{m/s}$

故 A 错误，B 正确；

CD．若 1s 后速度方向与初速度方向相同，加速度的大小为 $a_1=\frac{\Delta v_1}{\Delta t}=6\mathrm{m/s^2}$

若 1s 后速度方向与初速度方向相反，加速度的大小为 $a_2=\frac{\Delta v_2}{\Delta t}=14\mathrm{m/s^2}$；故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

【变式训练】

1．D

【详解】加速度大小为 $a=\frac{v-v_0}{\Delta t}=\frac{10-(-8)}{1.0}\mathrm{m/s}=18.0\mathrm{m/s^2}$；加速度方向：竖直向上

故选 D。

2．AC

【详解】初、末速度的方向可能相同，也可能相反。若初、末速度方向相同，取初速度方向为正方向，则 $\Delta v=v_{末}-v_{初}=(8-4)\mathrm{m/s}=4\mathrm{m/s}$；加速度 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=2\mathrm{m/s^2}$

若初、末速度方向相反，取初速度方向为正方向，则 $v_{末}'=-8\mathrm{m/s}$

速度变化量 $\Delta v'=v_{末}'-v_{初}=(-8-4)\mathrm{m/s}=-12\mathrm{m/s}$；加速度 $a'=\frac{\Delta v'}{\Delta t}=-6\mathrm{m/s^2}$

负号说明加速度的方向与初速度方向相反。故 AC 正确，BD 错误。

故选 AC。

题型三：加速减速的判断

【典型例题】

1．D

【详解】A．加速度增大，如果加速度方向与速度方向相反，则速度减小，故 A 错误；

B．速度为零，加速度不一定为零，比如自由落体运动的初始时刻，故 B 错误；

CD．加速度是描述速度变化快慢的物理量，速度变化越快，加速度越大；加速度的定义式为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，加速度与速度和速度的变化量均没有直接关系，所以速度变化越大，加速度不一定越大，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．D

【详解】A．图中加速度方向与速度方向相同，汽车做加速运动，故 A 错误；

B．图中加速度方向与速度方向相同，即速度变化量方向应该向右，汽车做加速运动，故 B 错误；

C．图中加速度方向与速度方向反，即速度变化量方向应该向左，汽车做减速运动，故 C 错误；

D．图中加速度方向与速度方向反，即速度变化量方向向左，汽车做减速运动，故 D 正确。

故选 D。

【变式训练】

1．C

【详解】A．汽车的速度越大，加速度不一定大，比如汽车以很大的速度匀速运动时，加速度为零，故 A 错误；

B．汽车的加速度越大，速度变化得越快，但速度变化量不一定越大，故 B 错误；

C．图甲中汽车做加速运动，其 a 与Δv方向相同，故 C 正确；

D．图甲中汽车做减速运动，其 a 与Δv方向相同，故 D 错误。

故选 C。

2．BCD

【详解】A．$v_0\langle 0$、$a\rangle 0$，速度和加速度的方向相反，所以物体是做减速运动，故 A 错误；

B．$v_0<0$、$a<0$，速度和加速度的方向相同，所以物体是做加速运动，故 B 正确；

C．$v_0>0$、$a<0$，速度和加速度的方向相反，根据牛顿第二定律可知，物体受到与运动方向相反的力的作用，故物体可以先做减速运动后加速运动，故 C 正确；

D．$v_0>0$、$a=0$，物体做匀速运动，故 D 正确。

故选 BCD。

第三讲：描述质点运动——3

考点一：x-t 图像

题型一：理解 x-t 图像的物理意义

【典型例题】

1．C

【详解】A．由 $x-t$ 图线和直线位移为末位置坐标减初位置坐标知，2s 末位置坐标为 0，但是位移不为零，0~4s 内的位移都为正，故 A 错误；

B．$x-t$ 图线的斜率表示速度，2s 末图线的斜率不为零，可知 2s 末速度不为零，位移也不为零，故 B 错误；

C．位移随时间均匀变化，做匀速直线运动，速度的大小为 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{0.2-(-0.2)}{4-0}\text{m/s}=0.1\text{m/s}$

为正值，说明速度方向与规定正方向相同，故 C 正确；

D．质点在 4s 内的位移为 $\Delta x=0.2\text{m}-(-0.2)\text{ m}=0.4\text{m}$

是正值，说明位移方向与规定正方向相同，故 D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】由于物体沿直线运动的 s—t 图象的斜率代表速度，则由此可看出在 0～1s 内物体沿正向做匀速直线运动，在 1～2s 内物体沿负向做匀速直线运动且回到起点，后面的情况以此类推，由此可知物体沿直线做往复运动。

故选 B。

3．D

【详解】AC．$x-t$ 图像的斜率表示速度，由图可知 A 的速度越来越小，B 的速度越来越大，某一时刻 A、B 速度可能相等，故 AC 错误；

B．由图可知，A、B 间的距离先增大后减小，故 B 错误；

D．平均速度 $\overline{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 可知 A、B 的时间和位移均相等，故 A、B 的平均速度相等，故 D 正确。

故选 D。

【变式训练】

1．AC

【详解】A．根据 x-t 图像的斜率表示速度，可知 AB 段表示汽车速度为零，汽车处于静止状态，故 A 正确；

B．BC 段发生的位移为 $\Delta x=12\text{m}-4\text{m}=8\text{m}$；故 B 错误；

C．根据 x-t 图像的斜率表示速度，知 CD 段斜率为负值，速度为负值，BC 段斜率为正值，速度为正值，所以 CD 段运动方向和 BC 段运动方向相反，汽车在 C 点掉头，故 C 正确；

D．根据 x-t 图像可知 3s 末汽车离出发点的距离最大，为 8m；5s 末汽车离出发点的距离为 4m，故 D 错误。

故选 AC。

2．D

【详解】ABC．由于两坐标轴单位长度表示的数值未必相同，故 ABC 错误；

D．由$x-t$图像切线的斜率表示速度可知$v_B=\frac{x_1}{t_2-t_1}\text{m/s}$；故D正确。

故选D。

题型二：利用x-t图像分析质点运动规律

【典型例题】

1．A

【详解】ABD．由图可知，三个物体的初位置相同，末位置也相同，所以通过的位移相等，所用的时间相等，故平均速度相等，故A正确，BD错误；

C．根据图像的斜率等于速度，可知甲先沿正向运动后沿负向运动，而乙、丙一直沿正向运动，三个物体通过的位移相等，所以甲的通过的路程最大，乙和丙通过的路程相等，因平均速率等于路程和时间的比值，则甲的平均速率最大，乙和丙的平均速率相等，故C错误。

故选A。

2．CD

【详解】A．$x-t$图像是矢量图，只能够描述直线运动，即乙做直线运动，故A错误；

B．甲的平均速度大小$\bar{v}_{甲}=\frac{3}{12}\text{m/s}=0.25\text{m/s}$；乙的平均速度大小$\bar{v}_{乙}=\frac{0-0}{12}\text{m/s}=0\text{m/s}$

可知，甲的平均速度大于乙的平均速度，故B错误；

C．$x-t$图像的斜率表示速度，将甲图像向右上方平移至与乙图像相切，该时刻两者图像的斜率相等，即该时刻甲、乙的速度相同，故C正确；

D．乙的图线是抛物线，乙做匀变速直线运动，由于$x-t$图像斜率的绝对值表示速度大小，斜率的正负表示速度方向，乙图斜率的绝对值先减小后增大，斜率先为正值后为负值，表明乙先做匀减速运动再反向做匀加速运动，故D正确。

故选CD。

3．C

【详解】A．根据s-t图像的斜率表示速度大小，可知乙在0s到10s内做匀速直线运动，甲在0-5s内静止不动，在5s-10s内做匀速直线运动，故A错误；

B．根据s-t图像的斜率表示速度大小，10s时，两直线的斜率不同，故二人的速度不相同，故B错误；

C．由图可知，乙先走5s，发生的位移为5m，而甲在0-5s一直处于静止状态，故5s时，甲乙相距5m，故C正确；

D．由图可知，0s到10s内，两物体发生的位移相同，故甲的平均速度等于乙的平均速度，故D错误。

故选C。

【变式训练】

1．B

【详解】A．由位移—时间图像斜率表示速度可知，t_1时刻，A物体的图像斜率是0，则速度是0，B物体的图像斜率不是0，则速度不是0，A错误；

B．由题图可知，在$0\sim t_2$内，A、B两物体通过的位移相同，所用时间相同，则A的平均速度等于B的平均速

度，B 正确；

C．由题图可知，在$0\sim t_2$内，A 的路程为$s_A=4\text{m}+2\text{m}=6\text{m}$；B 的路程为$s_B=2\text{m}$

可知 A 的路程比 B 的路程多 4m，C 错误；

D．由位移—时间图像斜率表示速度可知，t_2时刻，A 的图像斜率是负值，则 A 的速度方向是负方向，B 的图像斜率是正值，则 B 的速度方向是正方向，即t_2时刻，A、B 两物体的速度方向不相同，D 错误。

故选 B。

2．D

【详解】A．A、B 两质点在4s 末位置坐标相同而相遇，A 错误；

B．位移时间图象的斜率等于速度，直线的斜率不变，表示速度不变，所以 A 质点做匀速直线运动，B 错误；

C．在 0~4s 内，质点 B 的通过的路程等于 80m，C 错误；

D．由斜率表示速度，可知 B 质点在前 4s 做减速运动，后 4s 也做减速运动，D 正确。

故选 D。

3．BCD

【详解】A．$x-t$图像的斜率表示速度，$0\sim3\text{s}$内，甲物体$x-t$图像的斜率不变，故$t=2\text{s}$时甲物体的运动方向未发生改变，故 A 错误；

B．由图可知，$t=2.5\text{s}$时，甲物体$x-t$图像与乙物体$x-t$图像相交，故$t=2.5\text{s}$时两物体到达同一位置，故 B 正确；

C．$0\sim3\text{s}$内，乙物体$x-t$图像的斜率逐渐增大，乙物体的速度逐渐增大，故 C 正确；

D．$t=0$时，乙物体的速度大小小于甲物体的速度大小，$t=3\text{s}$时，乙物体的速度大小大于甲物体的速度大小，0~3s 内，甲物体的速度保持不变，乙物体的速度逐渐增大，故 0~3s 内某时刻两物体的速度大小相等，故 D 正确。

故选 BCD。

考点二：v-t 图像

题型一：理解 v-t 图像的物理意义

【典型例题】A　　B

1．A

【详解】A．$t=3\text{s}$时速度由正变负，可知此时物体运动的速度方向发生改变，选项 A 正确；

BD．图像的斜率等于加速度，图像斜率的符号反映加速度的方向，可知$t=3\text{s}$时物体运动的加速度方向没有发生改变，且此时的加速度不为零，选项 BD 错误；

C．因 0~3s 时物体的速度一直为正，3s 后速度为负值，可知$t=3\text{s}$时物体离出发点最远，选项 C 错误；

故选 A。

2．B

【详解】A．根据$v-t$图像与横轴围成的面积表示位移，

可知质点在$0\sim5\text{s}$内的位移为$x=\frac{1}{2}\times5\times2\text{m}=5\text{m}$；故 A 错误；

B．根据$v-t$图像的斜率表示加速度，由题图可知 10~12s 内图像斜率绝对值最大，则加速度最大，故 B 正确；

C．由$v-t$图像可知，质点在0～11s内一直向正方向运动，11s末开始向负方向运动，则质点在11s末离出发点最远，故C错误；

D．根据$v-t$图像与横轴围成的面积表示位移，可知10~12s位移为零，

故8~12s内的位移等于8～10s内的位移，为$x'=\frac{1}{2}\times(2+6)\times 2\mathrm{m}=8\mathrm{m}$

质点在8~12s内的平均速度为$\overline{v}=\frac{x'}{t}=\frac{8}{4}\mathrm{m/s}=2\mathrm{m/s}$；故D错误。

故选B。

【变式训练】

1．C

【详解】A．根据$v-t$图像与时间轴围成的面积表示位移，

可得在0～2s内，质点的位移为$x=\frac{v_0+v}{2}t=\frac{1+(-3)}{2}\times 2\mathrm{m}$=-2m；即位移大小为2m，故A正确，不符合题意；

BC．由v-t图像的斜率表示加速度，知在2～4s时间内，质点的加速度不断减小，但方向不变，故B 正确，不符合题意，C错误，符合题意；

D．由v-t图像的斜率表示加速度，知0~2s内，质点的加速度大小和方向均不变，故D正确，不符合题意。

故选C。

2．A

【详解】A．根据$v-t$图像的斜率表示加速度，可得前10s物体的加速度为$a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{5-0}{10}=0.5\mathrm{m/s^2}$；

后5s物体的加速度为$a_2=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{0-5}{5}=-1\mathrm{m/s^2}$；故A正确；

BC．根据$v-t$图像围成的面积表示位移，可得15s内物体位移为$s=\frac{1}{2}\times 15\times 5=37.5\mathrm{m}$

显然物体没有回到出发点，故BC错误；

D．物体前10s内做匀加速直线运动，平均速度大小为$\overline{v_1}=\frac{0+5}{2}=2.5\mathrm{m/s}$

10s~15s做匀减速直线运动，平均速度大小为$\overline{v_2}=\frac{5+0}{2}=2.5\mathrm{m/s}$；二者大小相等，故D错误。

故选 A。

题型二：利用v-t图像解决实际问题

【典型例题】

1．D

【详解】A．$v-t$图像斜率代表加速度，小车上升过程和下降过程的加速度大小相同，方向相同，故A错误；

B．小车上升过程和下降过程的位移大小相同，方向相反，故B错误；

C．上升到最高点时，小车的瞬时速度为零，加速度不为零，故C错误；

D．运动过程中，小车加速度不变，在任何相等时间内的速度变化量都相同，故D正确。

故选D。

2．BC

【详解】A．$v-t$图像斜率表示物体的加速度，根据题图可知甲的加速度先比乙的加速度大，在某一时刻后甲的加速度比乙的加速度小，故A错误；

B．在$0\sim t_1$时间内甲的速度总是大于乙的速度，则甲总跑在乙的前面，故B正确；

C．$v-t$图像与t轴围成的面积表示位移，根据题图可知$0\sim t_1$时间内甲的位移大于乙的位移，根据$v=\frac{x}{t}$可知$0\sim t_1$时间内甲的平均速度比乙大，故C正确；

D．根据题图可知甲做加速度减小的加速运动，故D错误。

故选BC。

3．D

【详解】A．在$0\sim t_2$时间内运动员做竖直上抛运动，加速度为重力加速度，方向都是竖直向下，故A错误；

B．运动员向上运动时间为t_1，在t_1时刻运动员重心到达最高点，故B错误；

C．运动员在$t_1\sim t_4$时间内都在竖直向下运动，所以在t_3时刻运动员重心速度没有反向，故C错误；

D．运动员在$t_1\sim t_4$内竖直向下运动，在t_4时速度减为零，知在t_4时刻运动员重心入水深度最大，故D正确。

故选D。

【变式训练】

1．B

【详解】A．A的加速度为$a_1=\frac{8-2}{6-0}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$

A做初速度v_0=2m/s，加速度a=1m/s^{2}的匀加速直线运动，A正确，A不符合题意；

B．4s后，B沿反方向做匀加速运动，B错误，B符合题意；

C．t=1s时，A的速度大小为$v=v_0+at=(2+1\times1)\text{m/s}=3\text{m/s}$；方向沿正方向，C正确，C不符合题意；

D．t=6s时，B的速度大小为4m/s，方向沿负方向，D正确，D不符合题意。

故选B。

2．C

【详解】A．由图像可知在$0\sim t_0$时间内，b车的速度大于a车的速度，由于两车从同一位置开始运动，所以两车距离一直增加，故A项错误；

B．$v-t$图像的图像与坐标轴围成的面积为物体的位移，由图像可知，b车的位移大于a车的位移，故B项错误；

C．$v-t$图像的斜率表示物体的加速度，在$0\sim t_0$时间内b车的图像的斜率逐渐减小，所以其加速度逐渐减小，故C项正确；

D．由之前的分析可知在$0\sim t_0$时间内，b车的位移大于a车的位移，由于$\bar{v}=\frac{x}{t}$

两者时间相同，所以b车的平均速度大于a车的平均速度，故D项错误。

故选C。

题型三：图像综合应用

【典型例题】

1．AC

【详解】A．速度—时间图线的斜率表示加速度，则质点 A 的加速度大小为 $a_A=\frac{2-0}{4}\text{m/s}^2=0.5\text{m/s}^2$；故 A 正确；

B．t=1s 时，质点 B 的速度仍为负值，运动方向没有改变，故 B 错误；

C．v–t 图像斜率表示加速度，t=2s 时，质点 B 的斜率没有发生变化，所以加速度方向不变，故 C 正确；

D．在 0～1s 内，质点 B 的加速度为 $a_B=\frac{-1-0}{1}\text{m/s}^2=-1\text{m/s}^2$

在 1～4s 内，B 的加速度为 $a_{B1}=\frac{2-(-1)}{4-1}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$；故 D 错误。

故选 AC。

2．BD

【详解】AB．0~t_1 时间内 $v_乙>v_甲$，t_1~t_2 时间内 $v_甲>v_乙$，t_2 时刻两车相遇，但 0~t_1 时间内两者的位移差小于 t_1~t_2 时间内两者的位移差，则 t_1 时刻甲在乙的后面，A 错误 B 正确；

CD．由图象的斜率知，甲、乙两车的加速度均先减小后增大，C 错误 D 正确。

故选 BD。

3．D

【详解】A．甲在 3s 末回到出发点，距出发点的最大距离为 4m；由 $v-t$ 图像与时间轴所围面积表示位移可知，乙在 6s 末回到出发点，距出发点的最大距离为 $x=\frac{1}{2}\times3\times4\text{m}=6\text{m}$；故 A 错误；

B．x–t 图像的斜率等于速度，可知 0~2s 内与 4~6s 内，甲的速度等大、同向，故 B 错误；

C．0~6s 内，甲在 2s 末和 4s 末运动方向共改变两次，乙在 3s 末运动方向改变一次，故 C 错误；

D．6s 内甲的路程为 $s_1=4\times4\text{m}=16\text{m}$ v–t 图像与时间轴所围的面积等于位移，

可知 6s 内乙的路程为 $s_2=2\times\frac{1}{2}\times3\times4\text{m}=12\text{m}$；故 D 正确。

故选 D。

【变式训练】

1．C

【详解】A．在 0—10 s 内，乙车的速度一直比甲车大，两车应逐渐远离，则 A 错误；

B．在 10—20 s 内，甲车的速度一直比乙车大，两车逐渐靠近，则 B 错误；

C．在 5—15 s 内，两图象与坐标轴的面积相等，则两车的位移相等，则 C 正确；

D．在 t=10 s 时两车速度相等，相距最远，则 D 错误．

2．A

【详解】ABC．$v-t$ 图像中图线与坐标轴围成的面积表示物体的位移，且坐标轴之上表示位移为正，坐标轴之下表示位移为负值，从图中可以看出 0～3s 内甲的位移大于乙的位移，A 正确，B 错误，C 错误；

D．图像的斜率等于速度，从图像中可以看出，$t=3\text{s}$ 时甲乙两人速度相等，D 错误。

故选 A。

3．AC

【详解】A．3s 末，b、d 物体图线的斜率分别与 a、c 物体图线的斜率相同，甲图中图线斜率表示速度，乙图中图线斜率表示加速度，则 3s 末，a、b 两物体的速度相等，c、d 两物体的加速度相等，故 A 正确；

B．甲图为 x-t 图像，a、b 图像的交点表示相遇，乙图为 v-t 图像，c、d 图线的交点表示速度相等，则 a、b 两物体在 1s 末相遇，由于不知道 c、d 两物体的初位置关系，故不能判断 c、d 两物体在 1s 末是否相遇，故 B 错误；

C．v-t 图像与 t 轴围成的面积表示位移，由图像可知，c、d 两物体在1～4s 内 c 的位移大，故 c 的平均速度大，故 C 正确；

D．b 物体先向负方向运动再向正方向运动，a、c、d 三个物体都向正方向运动，故 D 错误。

故选 AC。

考点三：打点计时器

题型一：利用打点计时器测量加速度

【典型例题】

1．(1)交流　　220　　乙　　(2)0.340　　0.400　　偏大

【详解】（1）[1][2]电火花打点计时器的工作电压为交流 220V。

[3]应优先选用阻力更小的电火花打点计时器。

（2）[1]打下 D 点时小车的瞬时速度为 $v_{\mathrm{D}}=\dfrac{CD+DE}{2t}=\dfrac{(3.20+3.60)\times10^{-2}\mathrm{m}}{2\times(0.02\mathrm{s}\times5)}=0.340\mathrm{m/s}$

[2]小车的加速度为 $a=\dfrac{CE-AC}{(2t)^2}=\dfrac{(3.20+3.60-2.80-2.40)\times10^{-2}\mathrm{m}}{(2\times0.02\mathrm{s}\times5)^2}=0.400\mathrm{m/s^2}$

[3]若电源的实际频率为 49Hz，则打点的时间间隔大于 0.02s，根据计算公式 $a=\dfrac{CE-AC}{(2t)^2}$

可知，加速度的测量值比实际值偏大。

2．(1)A　　(2)0.32　　0.47

【详解】（1）A．在进行实验时，应先打开电源，再释放纸带，故 A 错误，符合题意；

B．打点计时器应接在交流电源上，故 B 正确，不符合题意；

C．由于打点计时器的频率为 50Hz，则打点计时器每隔 0.02s 打一个点，故 C 正确，不符合题意；

D．舍去纸带上密集的点，利用点迹清晰、点间间隔适当的部分进行测量、计算，故 D 正确，不符合题意；

E．释放小车时，应将其靠近打点计时器，以便打出更多的点进行研究，故 E 正确，不符合题意。

故选 A。

（2）[1]由于打点计时器的频率为 50Hz，则打点计时器每隔 0.02s 打一个点，所以相邻两个计数点间的时间间隔为 $T=5\times0.02\mathrm{s}=0.1\mathrm{s}$

所以打 D 点时小车的速度为 $v_D=\dfrac{s_4+s_5}{2T}=\dfrac{2.93+3.40}{2\times0.1}\times10^{-2}\mathrm{m/s}=0.32\mathrm{m/s}$

[2]由逐差法可得，小车的加速度为

$a=\dfrac{(s_4+s_5+s_6)-(s_1+s_2+s_3)}{(3T)^2}=\dfrac{(2.93+3.40+3.88)-(1.51+1.98+2.45)}{(3\times0.1)^2}\times10^{-2}\mathrm{m/s^2}=0.47\mathrm{m/s^2}$

【变式训练】

1．(1)AC　　(2)0.1　　(3)$\dfrac{x_3-x_1}{2T}$　　(4)$\dfrac{x_4-2x_2}{4T^2}$　　(5)偏小

【详解】（1）A．在释放小车前，小车要靠近打点计时器，故 A 正确；

B．打点计时器应放在长木板远离滑轮的一端，故 B 错误；

C．为了充分利用纸带，打点计时器使用时应先接通电源，后释放小车，故 C 正确；

D．电火花计时器应使用 220V 的交流电源，故 D 错误。

故选 AC。

（2）相邻两个计数点之间还有四个计时点未标出，则相邻两计数点的时间间隔为 $T = 0.02\times 5\text{s} = 0.1\text{s}$

（3）计数点 3 对应的瞬时速度大小计算式为 $v_3 = \dfrac{x_3 - x_1}{2T}$

（4）根据逐差法可得，小车加速度大小的计算式为 $a = \dfrac{(x_4 - x_2) - x_2}{(2T)^2} = \dfrac{x_4 - 2x_2}{4T^2}$

（5）若计时器工作频率大于 50Hz，则实际打点周期变小，所以代入计算的时间间隔偏大，则根据表达式和题中数据计算出 v_3 的结果比实际值偏小。

2．(1)0.400　　(2)0.80　(3)图略；0.78　　(4)0.80

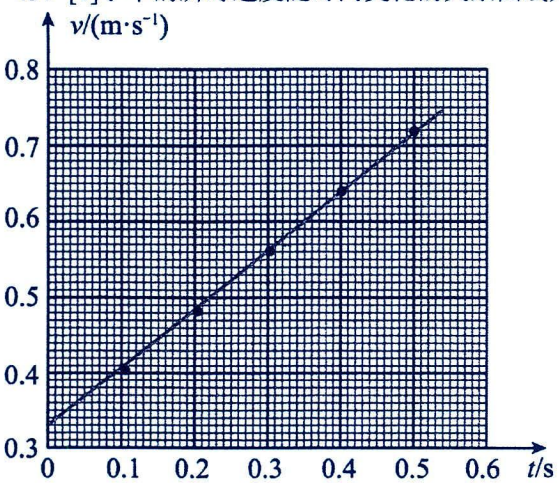
【详解】（1）相邻两计数点的时间间隔为 $T = 5\times\dfrac{1}{f} = 5\times\dfrac{1}{50}\text{s} = 0.1\text{s}$

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 B 点时的小车瞬时速度大小

$v_B = \dfrac{x_{AC}}{2T} = \dfrac{8\times 10^{-2}}{2\times 0.1}\text{m/s} = 0.400\text{m/s}$

（2）根据逐差法求出小车加速度为 $a_{甲} = \dfrac{x_{DG} - x_{AD}}{(3T)^2} = \dfrac{33.61 - 13.20 - 13.20}{9\times 0.1^2}\times 10^{-2}\text{m/s}^2 \approx 0.80\text{m/s}^2$

（3）[1]小车的瞬时速度随时间变化的关系图线为



[2] $v-t$ 图像的斜率表示加速度，小车加速度为 $a_{乙} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{0.721 - 0.330}{0.5}\text{m/s}^2 \approx 0.78\text{m/s}^2$

（4）因为剪断的纸带所用的时间都是 t=0.1s，即时间 t 相等，所以纸带的长度之比等于此段纸带的平均速度之比，而此段纸带的平均速度等于这段纸带中间时刻的速度，最后得出结论纸带的长度之比等于此段纸带的平均速度之比，还等于各段纸带中间时刻的速度之比，即纸带的高度之比等于中间时刻速度之比。因此该做法是合理的。$v-t$ 图像的斜率表示加速度，小车运动的加速度为 $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{0.721 - 0.400}{0.55 - 0.15}\text{m/s}^2 \approx 0.80\text{m/s}^2$

题型二：利用现代技术测量加速度

【典型例题】

1．(1)A　　(2)$\frac{d}{t_2}$　　(3)$\frac{d^2}{2L}(\frac{1}{t_2^2}-\frac{1}{t_1^2})$

【详解】（1）滑块通过光电门时，遮光条挡住光电门的时间极短，则可用平均速度代替瞬时速度，这种方法属于极限法。

故选 A。

（2）由极限法可知滑块通过光电门乙时的速度大小为$v_2=\frac{d}{t_2}$

（3）滑块通过光电门甲时的速度大小为$v_1=\frac{d}{t_1}$

光电门甲、乙之间的距离为 L，滑块做匀加速直线运动，有$v_2^2-v_1^2=2aL$

联立解得$a=\frac{v_2^2-v_1^2}{2L}=\frac{d^2}{2L}(\frac{1}{t_2^2}-\frac{1}{t_1^2})$

2．(1)$\frac{d}{\Delta t_1}$ $\frac{d}{\Delta t_2}$　　(2)$\frac{1}{t}\left(\frac{d}{\Delta t_2}-\frac{d}{\Delta t_1}\right)$　　(3)BC

【详解】（1）[1][2]滑块经过光电门的瞬时速度近似等于遮光板通过光电门的平均速度，有$v_1=\frac{d}{\Delta t_1}$，$v_2=\frac{d}{\Delta t_2}$

（2）由$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，得加速度$a=\frac{v_2-v_1}{t}=\frac{1}{t}\left(\frac{d}{\Delta t_2}-\frac{d}{\Delta t_1}\right)$

（3）AB．遮光板的宽度小，遮光板经过光电门的平均速度越接近于滑块经过光电门的速度，误差越小，A 错误，B 正确；

C．两光电门的间距越大，两速度的差值越大，从开始遮住第一个光电门到开始遮住第二个光电门的时间长，测量时间的相对误差越小，C 正确；

D．使滑块的释放点更靠近光电门，遮光板经过光电门时的速度可能更小，所需时间更长，遮光板经过光电门时的平均速度反而更不接近滑块经过光电门的速度，D 错误。

故选 BC。

3．0.2　　0.338　　$\frac{(x_6-2x_3+x_0)f^2}{225}$

【详解】（1）[1]频闪照片的频率$f=30\text{Hz}$，则周期为$T=5\frac{1}{f}=0.2\text{s}$

（2）[2]匀变速直线运动满足平均速度等于中间时刻的瞬时速度，

可得$v_2=\frac{x_3-x_1}{2T}=\frac{(18.5-5.0)\times10^{-2}}{2\times0.2}\text{m/s}\approx 0.338\text{m/s}$

（3）[3]由匀变速直线运动的判别式$\Delta x=aT^2$，结合连续相等时间内的六段位移采用逐差法可得

$a=\frac{x_{36}-x_{03}}{9T^2}=\frac{(x_6-x_3)-(x_3-x_0)}{9T^2}=\frac{(x_6-2x_3+x_0)f^2}{225}$

【变式训练】

1．(1)3.4　　3.9　　(2)不为零偏小

【详解】（1）[1][2]根据题意可知，运动到 A 处时小车的速度大小 $v_A=\frac{x_{OB}}{2T}=\frac{67.4}{2\times0.1}\times10^{-2}\text{m/s}\approx3.4\text{m/s}$

根据逐差法，小车运动的加速度大小 $a=\frac{x_{BD}-x_{OB}}{4T^2}=\frac{(150.5-67.4)-67.4}{4\times0.1^2}\times10^{-2}\text{m/s}^2\approx3.9\text{m/s}^2$

（2）[1][2]由 O 到 A 小车做匀加速直线运动，根据运动学公式 $v_A=v_0+at$

得 $v_0=v_A-at=3.4\text{m/s}-3.9\times0.1\text{m/s}=3.01\text{m/s}$

则小车在 O 点时的速度不为零。如果实验时数码相机实际拍摄频率为 12Hz，则实际周期更短，由 $a=\frac{x_{BD}-x_{OB}}{4T^2}$

可知，实际加速度更大，即加速度的测量值和实际值相比是偏小的

2．C　　C　　9.85

【详解】（1）[1]如图所示为用频闪相机拍摄的羽毛与苹果同时在真空环境下落的局部频闪照片，已知频闪相机每隔 Δt 时间闪光一次，根据匀变速直线运动推论 $\Delta x=aT^2$；可得 $\Delta x=x_3-x_2=x_2-x_1$；可得 $2x_2=x_3+x_1$

由于不清楚图中 A 点是否下落的初位置，不清楚 A 点的速度是否为零，故无法确定图中的 x_1、x_2、x_3 的比例关系。故选 C。

（2）[2]根据匀变速直线运动推理 $\Delta x=aT^2$；可得 $x_3-x_1=2g(\Delta t)^2$；解得 $g=\frac{x_3-x_1}{2(\Delta t)^2}$ 故选 C。

跟踪练习（一）

1．B

【详解】A．在研究弹力时，通过激光笔、平面镜观察桌面形变，应用了微小量放大法，故 A 正确；

B．在不需要考虑物体本身的大小和形状时，用质点来代替物体的方法是理想模型法，故 B 错误；

C．根据平均速度$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$，当△t 很小时，$\frac{\Delta x}{\Delta t}$就可以表示物体在 t 时刻的瞬时速度，这里应用了极限思想，故 C 正确；

D．在推导匀变速直线运动位移公式时，把整个运动过程划分成很多小段，每一小段近似看做匀速直线运动，然后把各小段的位移相加，这里应用了微元累积法，故 D 正确。

选不正确，故选 B。

2．C

【详解】位移、速度、位置变化都是既有大小又有方向的物理量，是矢量；而时间、速率、质量和路程只有大小无方向，是标量。

故选 C。

3．B

【详解】A．对参加首次列入亚运会正式竞赛项目的霹雳舞竞赛的运动员打分时，运动员的形状、大小不能忽略，不可以把运动员看成质点，故 A 错误；

B．忽略空气阻力，17 岁“天才少女”黄雨婷，在射击比赛中打出的子弹在空中只受重力，加速度为重力加速度，做匀变速运动，故 B 正确；

C．张亮以 6 分 57 秒 06 的成绩获得赛艇男子单人双桨冠军，6 分 57 秒 06 指时间间隔，故 C 错误；

D．参加 4×100 米混合泳接力赛的四名运动员比赛游过的总路程大小为 400m，总位移大小为 0，故 D 错误。

故选 B。

4．C

【详解】A．位移指的是从 M 点漂流到 N 点的有向线段，故位移大小为1.8km，故 A 错误；

B．从 M 点漂流到 N 点的路程为5.4km，用时1h，则平均速率为$\overline{v_{率}}=\frac{s}{t}=\frac{5.4}{1}\text{km/h}$；故 B 错误；

C．该游客的平均速度大小为$\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{1.8}{1}\text{km/h}=0.5\text{m/s}$；故 C 正确；

D．以玉女峰为参考系，所乘竹筏的平均速度为0.5m/s，若以所乘竹筏为参考系，玉女峰的平均速度也为0.5m/s，故 D 错误；

故选 C。

5．C

【详解】A．记录送餐机器人从 1 楼至 9 楼的时间时，机器人自身大小、形状与研究问题无关可忽略，因此可以把机器人看成质点，A 错误；

B．导航显示的 96 公里是实际走的路线距离，是路程，B 错误；

C．以小孩为参考系，车外的建筑物相对小孩位置发生变化，是运动的，C 正确；

D．雷达测速仪测得的是汽车经过这个位置点的瞬时速度，D 错误。

故选 C。

6．C

【详解】由图中所示信息可知汽车做减速直线运动，汽车的加速度方向与Δv的方向相同，与v_1的方向相反。

故选 C。

7．C

【详解】A．篮球开始下落时的位置坐标为 0m，A 错误；

B．篮球被接住时的在坐标原点负方向上，所以篮球被接住时的位置坐标为-1.0m，B 错误；

C．篮球从落下到被接住通过的位移为$x=-1.0\text{m}-0=-1.0\text{m}$；C 正确；

D．篮球从落下到被接住通过的路程为$s=2.0\text{m}+1.0\text{m}=3.0\text{m}$；D 错误。

故选 C。

8．B

【详解】A．由题图可知，乙车在t_2时刻之前沿正方向运动，t_2时刻之后沿负方向运动，运动方向发生了变化，

故 A 错误；

B．题图中甲与乙有两个交点，说明两车相遇两次，故 B 正确；

C．乙车在t_2时刻的速度最小，速度为 0，故 C 错误；

D．由题图可知，$t_1\sim t_2$时间内，甲车的位移均匀增大，乙车位移不均匀增大，故 D 错误。

故选 B。

9．D

【详解】A．由图可知，t=2s 时甲的速度方向没有发生变化，甲的加速度方向发生了变化。故 A 错误；

B．根据图线与坐标轴所围面积表示物体的位移，可得 0~4s 内甲乙两物体的位移不同，所以二者不会在 t=4s 时相遇。故 B 错误；

C．同理，0～6s 内，甲、乙两物体的位移分别为$x_{甲}=\frac{6\times4}{2}\text{m}=12\text{m}$，$x_{乙}=2\times2\text{m}+\frac{2\times2}{2}\text{m}+\frac{2\times(-2)}{2}\text{m}=4\text{m}$

由平均速度公式$\overline{v}=\frac{x}{t}$；易知，甲、乙平均速度不相同。故 C 错误；

D．同理，0～1s 内，甲、乙两物体的位移分别为$x_{甲}=\frac{2\times1}{2}\text{m}=1\text{m}$，$x_{乙}=2\times1\text{m}=2\text{m}$

所以乙在甲前方。故 D 正确。

故选 D。

10．ACD

【详解】ABC．速度的正负号表示方向，绝对值表示大小，乙质点的速度大于甲质点的速度。故 AC 正确；B 错误；

D．若甲、乙两质点同时由同一点出发，则 10s 后甲、乙两质点相距$\Delta x=(2+4)\times10\text{m}=60\text{m}$；故 D 正确。

故选 ACD。

11．BC

【详解】A．由$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$可知，速度的变化量与对应时间的比值越大时，它的加速度一定越大，当知道速度的变化量，但不知道Δt的大小时，无法确定加速度的大小变化情况，故A错误；

BC．加速度与速度的变化率有关，与速度本身的大小无关，故速度很大的物体，其加速度不一定为零，而物体的速度为零，其加速度也可能很大，故B正确，C正确；

D．若加速度方向与速度方向相反，则加速度很大时，运动物体的速度会变小得很快，故D错误。

故选BC。

12．CD

【详解】A．物体的位移是指从初位置指向末位置的有向线段的长度，所以物体从M到P过程中的位移大小为$x_{MP}=\sqrt{2}R$；方向由M指向P；$x_{PN}=\sqrt{2}R$；方向由P指向N，故A错误；

B．从M到P的过程中，时间为$t_1=\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi R}{v}$

所以平均速度的大小为$\overline{v}=\frac{x_{MP}}{t_1}=\frac{\sqrt{2}R}{\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi R}{v}}=\frac{2\sqrt{2}v}{\pi}$；故B错误；

C．从M到N的过程中，速度变化量为$\Delta v=-v-v=-2v$

所以速度变化量的大小为2v，故C正确；

D．从M到N的过程中，平均加速度的大小为$a=\frac{2v}{\frac{\pi R}{v}}=\frac{2v^2}{\pi R}$

故D正确。

故选CD。

13．BC

【详解】A．小球最终从离地面3m处移动到地面，方向向下，则小球整个过程的位移为−3m，故A错误；

B．小球的平均速度为$v=\frac{x}{t}=\frac{-3\text{m}}{2.4\text{s}}=-1.25\text{m/s}$；故B正确；

C．小球上升时，根据牛顿第二定律可得$f+mg=ma_1$

小球下降时，根据牛顿第二定律可得$mg-f=ma_2$

可知$a_1>a_2$，即小球上升的加速度大于下降的加速度，故C正确；

D．设小球抛出的初速度为v_0，小球回到抛出点的速度为v_1，则小球上升时，根据匀变速直线运动规律有$v_0^2=2a_1h$

其中$h=5\text{m}$，小球下降时，根据匀变速直线运动规律有$v_1^2=2a_2h$

由于$a_1>a_2$，可知$v_0>v_1$，即小球再次落回抛出点的速度小于抛出速度，故D错误。

故选BC。

14．B

【详解】根据几何知识，从 A 点到前表面的右侧顶点的距离 $x_1=\sqrt{a^2+c^2}$

所以 A 点到 B 点的直线距离为 $x_{AB}=\sqrt{x_1^2+b^2}=\sqrt{a^2+b^2+c^2}$

故选 B。

15．C

【详解】AB．由图乙可知，超声波的速度为 $v_{声}=\frac{x_1}{\frac{t_1}{2}}=\frac{2x_1}{t_1}$；或者 $v_{声}=\frac{x_2}{\frac{t_2-t_0}{2}}=\frac{2x_2}{t_2-t_0}$；故 AB 错误；

CD．由题可看出，物体通过的位移为 x_2-x_1 时，所用时间为 $t=\frac{t_2-t_0}{2}-\frac{t_1}{2}+t_0=\frac{t_2+t_0-t_1}{2}$

则物体的平均速度为 $\overline{v}=\frac{x_2-x_1}{\frac{t_2+t_0-t_1}{2}}=\frac{2(x_2-x_1)}{t_2+t_0-t_1}$；故 C 正确，D 错误。

故选 C。

16．A

【详解】因为蜜蜂与汽车速度大小相等且它们并列运动，以汽车为参照物，蜜蜂相对于汽车位置不变，它们在水平方向上相对静止，车轮边缘的点相对于车做圆周运动，运动轨迹是圆，因蜜蜂相对于车静止，所以蜜蜂看到的车轮边缘上的点的运动轨迹是圆。

故选 A。

第四讲：匀变速直线运动基本规律及推论

考点一：匀变速直线运动

题型一：概念辨析

【典型例题】

1．B

【详解】A．匀变速直线运动的运动方向可能发生改变，如竖直上抛运动，故 A 错误；

BC．匀变速直线运动是速度的变化率恒定的直线运动，故 B 正确，C 错误；

D．匀变速直线运动的加速度不变，故 D 错误。

故选 B。

2．B

【详解】A．加速度大小和方向均不变的直线运动一定是匀变速直线运动，A 错误；

B．匀变速直线运动的 v-t 图像是一条倾斜的直线，B 正确；

C．匀变速直线运动的 v-t 图像斜率不变，C 错误；

D．匀变速直线运动的速度方向可能变化，D 错误。

故选 B。

3．B

【详解】AC．x–t 图像的斜率表示速度，A 图中物体做匀速直线运动，C 图中物体静止，AC 错误；

BD．v–t 图像斜率表示加速度，B 图中物体做匀加速直线运动，D 图中物体做匀速直线运动，故 B 正确，D 错误。

故选 B。

【变式训练】

1．BC

【详解】A．匀减速运动说明加速度不变，故 A 错误；

B．当速度和加速度方向相反时，物体做减速运动，故 B 正确；

C．物体运动方向不变，位移随时间增大，故 C 正确；

D．根据匀减速运动的定义，速率越来越小，故 D 错误。

故选 BC。

2．CD

【详解】A．只有当初速度为零时，匀加速直线运动的速度才与时间成正比，选项 A 错误；

B．匀减速直线运动加速度与速度反向，而加速度不一定为负值，选项 B 错误；

C．匀变速直线运动是加速度恒定不变的直线运动，选项 C 正确；

D．匀变速直线运动是任意相等时间内速度变化相同的直线运动，选项 D 正确。

故选 CD。

考点二：四大基本公式

题型一：理解基本公式

【典型例题】

1．B

【详解】A．在运用公式$v=v_0+at$时，需规定正方向，根据正方向确定式中的v、v_0、a的正负，故可以取v_0为负，故A错误；

B．正负号表示方向，若v_0为正，v为负，则说明说明v与v_0方向相反，故B正确；

C．当加速度与速度方向相同时，做加速运动，当加速度方向与速度方向相反时，做减速运动，只根据加速度的方向不能确定物体的运动性质，故C错误；

D．运算时，v、v_0、a都要代入方向，即运算中物理量的正负要代入进行运算，故D错误。

故选B。

2．BC

【详解】AC．根据位移时间公式$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$；$x=3t^2+5t$

由此可知$v_0=5\text{m/s}$；$\frac{1}{2}a=3$；所以$a=6\text{m/s}^2$，故A错误，C正确；

B．前4s的位移为$x_4=3\times4^2+5\times4\text{m}=68\text{m}$；所以前4s的平均速度为$\overline{v}=\frac{x_4}{t_4}=17\text{m/s}$，故B正确；

D．物体第1s的位移为$x_1=3\times1^2+5\times1\text{m}=8\text{m}$，故D错误。

故选BC。

3．AD

【详解】ABD．公式$x=\frac{v^2-v_0^2}{2a}$

适用于匀变速直线运动，即对于匀加速和匀减速直线运动都适用，与加速度和位移的方向无关，即与加速度和位移的正负无关，故AD错误，符合题意；B正确，不符合题意；

C．不管位移是正还是负，此公式都适用，故C正确，不符合题意。

故选AD。

【变式训练】

1．AD

【详解】根据$v=(20t+4)\text{m/s}$

结合匀变速直线运动速度时间关系$v=v_0+at$

可知火箭做匀加速直线运动，火箭初速度为$v_0=4\text{m/s}$；火箭的加速度为$a=20\text{m/s}^2$

在3s末，火箭的瞬时速度为$v_3=v_0+at_3=4\text{m/s}+20\times3\text{m/s}=64\text{m/s}$

故选AD。

2．D

【详解】AB．已知汽车刹车过程中的位移随时间变化的规律为$x=24t-3t^2$

结合匀变速直线运动位移时间公式$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

可得汽车刹车时的初速度和加速度大小分别为$v_0=24\text{m/s}$，$a=-6\text{m/s}^2$

故AB正确，不满足题意要求；

C．刹车后2s末的速度为$v_2=v_0+at_2=24\text{m/s}-6\times 2\text{m/s}=12\text{m/s}$

故C正确，不满足题意要求；

D．汽车从刹车到停下所用时间为$t_0=\frac{0-v_0}{a}=\frac{0-24}{-6}\text{s}=4\text{s}$

则刹车后5s内的位移为$x_5=x_4=\frac{v_0}{2}t_0=\frac{24}{2}\times 4\text{m}=48\text{m}$

故D错误，满足题意要求。

故选D。

3．AC

【详解】根据位移速度公式有$x=\frac{v^2}{2a}-\frac{v_0^2}{2a}$；对比$x=0.125v^2-2$；由此可得$a=4\text{m/s}^2$，$v_0=4\text{m/s}$

故选AC。

题型二：利用基本公式进行简单计算

【典型例题】

1．(1)25m/s；(2)10s；(3)250m

【详解】（1）滑行5s后，舰载机的速度大小为$v_5=at_5=5\times 5\text{m/s}=25\text{m/s}$

（2）从启动到起飞，至少需要滑行的时间为$t=\frac{v}{a}=\frac{50}{5}\text{s}=10\text{s}$

（3）航母跑道长度至少为$x=\frac{v^2}{2a}=\frac{50^2}{2\times 5}\text{m}=250\text{m}$

2．(1)加速度大小为20m/s^2，加速度方向与速度方向相反；(2)477.5km

【详解】(1)设$0\sim t_1$期间加速度为a_1，$t_1=30\text{s}$时速度为v_1，则有$v_1=a_1t_1$

设$t_2=40\text{s}$时速度为v_2，$t_1\sim t_2$期间加速度为a_2，则有$v_2=v_1+a_2(t_2-t_1)$

在$t_2\sim t_3$期间加速度为a_3，$t_3=130\text{s}$时，速度$v_3=8.5\text{km/s}$，则有$v_3=v_2+a_3(t_3-t_2)$

联立解得$a_2=-20\text{m/s}^2$

其中负号代表卫星做减速运动，加速度方向与速度方向相反。

(2)全过程卫星的位移为s，则有$s=\frac{v_1}{2}t_1+\frac{v_1+v_2}{2}(t_2-t_1)+\frac{v_2+v_3}{2}(t_3-t_2)$；解得$s=477.5\text{km}$

3．（1）2.5m/s^2；（2）127.5m

【详解】（1）游客在 AB 段做匀加速直线运动，根据速度时间关系有；解得 $a_1=2.5\text{m/s}^2$

（2）在 AB 段运动的位移大小为 $x_{AB}=\frac{v_B}{2}t_1=45\text{m}$

游客在 BC 段做匀速直线运动，位移大小为 $x_{BC}=v_Bt_2=60\text{m}$

游客在 CD 段做匀减速直线运动，位移大小为 $x_{CD}=\frac{v_B^2}{2a_2}=22.5\text{m}$

所以游客在全过程中运动的总路程为 $x=x_{AB}+x_{BC}+x_{CD}=127.5\text{m}$

变式

1．(1)0.125m/s^2；(2)100m；(3)39s

【详解】（1）根据加速度的定义式 $a=\frac{v_\text{m}-v_0}{t}=\frac{5-0}{40}\text{m/s}^2=0.125\text{m/s}^2$

（2）故匀加速下降的高度 $h=\frac{1}{2}at^2=100\text{m}$

（3）设匀速运动时间为 t_1 ，匀速下降的高度为 h_2，由题意有 $h_2=v_\text{m}t_1$

匀减速过程 $0^2-v_\text{m}^2=2a_2(220-h_2)$ ； $0=v_\text{m}+a_2(t_{总}-t-t_1)$

联立解得 $a_2=-0.5\text{m/s}^2$； $t_1=39\text{s}$

2．(1)4m/s；(2)18m；(3)15s

【详解】（1）企鹅在 8s 时的速度大小为 $v_1=a_1t=4\text{m/s}$

（2）第一段位移为 $x_1=\frac{1}{2}a_1t^2=16\text{m}$；第二段位移为 $x_2=\frac{v_1^2}{2a_2}=2\text{m}$

则企鹅沿冰面向上运动的总位移大小为 $x=x_1+x_2=18\text{m}$

（3）第二段所用时间为 $t_2=\frac{v_1}{a_2}=\frac{4}{4}\text{s}=1\text{s}$；下滑过程中根据 $x=\frac{1}{2}a_3t_3^2$；解得 $t_3=6\text{s}$

故企鹅完成一次游戏所需的时间为 $t=t_1+t_2+t_3=8\text{s}+1\text{s}+6\text{s}=15\text{s}$

3．(1)9s；(2)90m

【详解】（1）汽车做匀减速直线运动，加速度为 a_0，则有 $v^2-v_0^2=2a_0x_0$；即得 $a_0=-2\text{m/s}^2$

减速需要的时间为 t_1，则有 $v=v_0+a_0t_1$；即得 $t_1=5\text{s}$

汽车加速的时间为 t_2，则有 $v=v_0+at_2$；即得 $t_2=4\text{s}$

共经历的时间 $\Delta t=t_1+t_2$；解得 $\Delta t=9\text{s}$

（2）汽车加速的位移为x'，则有$x'=\frac{v+v_0}{2}t_2$；即得$x'=40\text{m}$

汽车通过的总位移为$x=x_0+x'$；解得$x=90\text{m}$

题型三：两种匀减速运动——刹车问题与双向可逆问题

【典型例题】

1．C

【详解】A．所用的时间为$t_0=\frac{v_0}{a}=\frac{6}{2}\text{s}=3\text{s}$，A 错误；

BD．汽车通过的距离为$x=\frac{v_0}{2}t_0=9\text{m}<10\text{m}$ 故汽车与小象不会发生碰撞，BD 错误；

C．汽车最后 1s 的位移为$x_1=\frac{1}{2}at_1^{\ 2}=\frac{1}{2}\times 2\times 1^2\text{m}=1\text{m}$ ，C 正确。

故选 C。

2．A

【详解】由题可知，汽车停止运动的时间$t=\frac{v}{a}=\frac{20}{4}\text{s}=5\text{s}$

制动后 3s 内的位移$x_1=vt_1-\frac{1}{2}at_1^2=20\times 3\text{m}-\frac{1}{2}\times 4\times 3^2\text{m}=42\text{m}$

由于制动后 5s 汽车停止运动，故制动后汽车 6s 内的位移$x_2=vt-\frac{1}{2}at^2=20\times 5\text{m}-\frac{1}{2}\times 4\times 5^2\text{m}=50\text{m}$

故有$x_1:x_2=42:50=21:25$

故选 A。

3．D

【详解】由于小球在光滑斜面上运动时，加速度的大小、方向都不改变，可判断小球先向上做匀减速运动，再向下做匀加速直线运动，以小球运动的方向为正方向，当小球的速度向上 3m/s 时，据 v=v₀+at，得 3m/s=6m/s-2t；故有 t=1.5s

则位移为$x=\frac{v_0+v}{2}t=6.75\text{m}$；路程也为 s=6.75m

当小球的速度向下 3m/s 时，据 v=v₀+at，得-3m/s=6m/s-2t；所以 t=4.5s

故位移为$x=\frac{v_0+(-v)}{2}t=6.75\text{m}$；而路程为$s=\frac{v_0^2}{2a}+\frac{1}{2}a(t-\frac{v_0}{a})^2=11.25\text{m}$

综上可知，当小球的速度向上 3m/s 时，运动时间为 1.5s，位移为 6.75m，路程为 6.75m；当小球的速度向下 3m/s 时，运动时间为 4.5s，位移为 6.75m，路程为 11.25m。

故选 D。

4.(1)$a=5\text{m/s}^2$；(2)$\bar{v}=12.5\text{m/s}$；(3)$x=40\text{m}$

【详解】（1）汽车的初速度为$v_0=72\text{km/h}=20\text{m/s}$

刹车做匀减速直线运动，前 2s 内行驶的距离是 30m，有 $x_2=v_0t_2-\frac{1}{2}at_2^2$

解得加速度为 $a=5\text{m/s}^2$

（2）汽车的刹车时间为 $t_0=\frac{v_0}{a}=4\text{s}$

因 $t_3=3\text{s}<t_0$，则开始制动后， 3s 末的速度为 $v_3=v_0-at_3=5\text{m/s}$

则前 3s 内平均速度大小为 $\bar{v}=\frac{v_0+v_3}{2}=12.5\text{m/s}$

（3）因 $t_5=5\text{s}>t_0$，则汽车已停止，汽车行驶的距离为 $x=\frac{v_0^2}{2a}=40\text{m}$

5. （1）$v_1=6.0\text{m/s}$，$v_5=1.0\text{m/s}$；（2）t_1=2.0s，$t_2=8.0\text{s}$；（3）t_1=2.0s，$t_3=6.8\text{s}$，$t_4=11\text{s}$

【详解】（1）第 1s 末的速度 $v_1=v_0-a_1t=(8-2\times1)\text{m/s}=6.0\text{m/s}$

方向沿斜面向上，减速度为 0 所用时间 $t_0=\frac{v_0}{a_1}=\frac{8}{2}\text{s}=4\text{s}$

故第 5 s 末的速度 $v_5=a_2t_5=1\times1\text{m/s}=1.0\text{m/s}$，方向沿斜面向下

（2）物体速度大小为 4 m/s，方向沿斜面向上 $t_1=\frac{\Delta v}{a_1}=\frac{8-4}{2}\text{s}=2.0\text{s}$

物体速度大小为 4 m/s，方向沿斜面向下 $t_2=t_0+\frac{\Delta v'}{a_2}=\left(4+\frac{4}{1}\right)\text{s}=8.0\text{s}$

（3）当向上运动，且位移向上 12m 时 $x_1=v_0t-\frac{1}{2}at^2=12\text{m}$

解得 t_1=2.0s，$t_2=6.0\text{s}$（舍去）

向上运动最高点位移 $x_\text{m}=\frac{v_0^2}{2a_1}=\frac{8^2}{2\times2}\text{m}=16\text{m}$

从最高点向下运动 4m，此时位移向上 12m，所用总时间 $t_3=t_0+\sqrt{\frac{2x}{a_1}}=\left(4+\sqrt{\frac{2\times4}{1}}\right)\text{s}\approx6.8\text{s}$

从最高点向下运动 28m，此时位移向下 12m，所用总时间 $t_4=t_0+\sqrt{\frac{2x}{a_1}}=\left(4+\sqrt{\frac{2\times28}{1}}\right)\text{s}\approx11\text{s}$

6. （1）12s；（2）110m；（3）4.3s

【详解】（1）设初速度方向为正方向，v_0=54km/h=15m/s，v_1=18km/h=5m/s，

则 $t_1=\frac{v_0-v_1}{a_1}=\frac{15-5}{1}\text{s}=10\text{s}$；$t_2=\frac{x_2}{v_1}=\frac{10}{5}\text{s}=2\text{s}$

所以汽车从 AB 处到 EF 的时间为 $t=t_1+t_2=12\text{s}$

（2）由速度位移关系可得 $x_1=\frac{v_0^2-v_1^2}{2a_1}=\frac{15^2-5^2}{2\times1}\text{m}=100\text{m}$；AB 处到 EF 的距离为 $x=x_1+x_2=110\text{m}$

（3）由速度位移关系得匀减速运动的位移大小为 $x_4=\frac{v_0^2}{2a_2}=\frac{15^2}{2\times 2.5}\text{m}=45\text{m}$

所以匀速的位移大小为 $x_3=x-x_4=65\text{m}$

匀速运动的时间为 $t'=\frac{x_3}{v_0}=4.3\text{s}$

变式

1．(1)90m；(2)120m；(3)20m/s

【详解】（1）汽车在高速公路上匀速行驶的速度为 $v=108\text{km/h}=30\text{m/s}$

汽车停止运动的时间为 $t_1=\frac{v}{a}=\frac{30}{5}\text{s}=6\text{s}$

可知汽车刹车 6s 后，停止运动，故汽车刹车后 10s 内滑行的距离 $x_1=\frac{1}{2}at_1^2=\frac{1}{2}\times 5\times 6^2\text{m}=90\text{m}$

（2）司机的反应距离为 $x_0=vt_0=30\times 1\text{m}=30\text{m}$

从司机发现危险到最后停车，汽车前进的距离是 $x=x_0+x_1=30+90\text{m}=120\text{m}$

（3）设汽车在雨天安全行驶的最大速度为 v_m，根据动力学公式可得 $x=v_\text{m}t_0+\frac{v_\text{m}^2}{2a'}$

解得 $v_m=20m/s$

2．(1)2.5m/s²，方向与初速度方向相同，4s；(2)2s；(3)20m

【详解】（1）由加速度定义式得 $a=\frac{v-v_0}{t}=\frac{5-10}{2}\text{m/s}^2=-2.5\text{m/s}^2$

故汽车的加速度大小为 2.5m/s²，方向与初速度 v_0 方向相反；

汽车停车所需时间为 $t_{停}=\frac{v-v_0}{a}=\frac{0-8}{-2}\text{s}=4\text{s}$

（2）根据位移时间关系 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

代入数据解得 $t_1=2\text{s}$，$t_2=6\text{s}>t_{停}$（舍去）

所以刹车后前进 15m 所用的时间为 2s；

（3）由上知 4s 时汽车已经停止运动，故刹车后 5 秒内前进的距离等于刹车后 4 秒内前进的距离，所以

$x=\frac{v^2-v_0^2}{2a}=\frac{0-10^2}{2\times(-2.5)}\text{m}=20\text{m}$

3．（1）2；（2）60m；（3）$\left(4+2\sqrt{6}\right)\text{s}$

【详解】（1）由图像可知在 0~2s 内，加速度大小 $a_1=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{20\text{m/s}-0}{2s}=10\text{m/s}^2$

2s 之后，加速度大小为 $a_2=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{20\text{m/s}-10\text{m/s}}{2s}=5\text{m/s}^2$，所以 $\frac{a_1}{a_2}=2$

（2）沿斜面向上，先加速，加速位移 $x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2=20\text{m}$

撤去外力之后，做匀减速运动，减速位移为 $x_2=\frac{v_m^2}{2a_2}=40\text{m}$

所以沿斜面向上最大距离为 $x=x_1+x_2=60\text{m}$

（3）物块上滑减速时间 $t_2=\frac{v_m-0}{a_2}=4\text{s}$，反向加速 $\frac{1}{2}a_2t_3^2=x$，解得 $t_3=2\sqrt{6}\text{s}$

所以撤去外力至物块返回斜面底端时间为 $t=t_2+t_3=\left(4+2\sqrt{6}\right)\text{s}$

4．(1) 157.5m (2) 150m (3) 34.5s

【详解】(1) 汽车通过人工收费通道时：

匀减速过程：$x'1=\frac{v_1^2}{2a_1}=45\text{m}$　　匀加速过程：$x'2=\frac{v_1^2}{2a_2}=112.5\text{m}$

通过人工收费通道从开始减速到恢复到正常速度行驶位移大小为 $x'=x'1+x'2=157.5\text{m}$

(2) 汽车通过 ETC 通道时：

匀减速过程：$x_1=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a_1}=40\text{m}$　　匀加速过程：$x_2=\frac{v_1^2-v_2^2}{2a_2}=100\text{m}$

汽车的总位移：$x=x_1+d+x_2=150\text{m}$

（3）汽车通过人工收费通道 $t_1'=\frac{v_1}{a_1}=6\text{s}$　　$t_2'=\frac{v_1}{a_2}=15\text{s}$

汽车通过人工通道的总时间：$t'=t_1'+t_0+t_2'=51\text{s}$

汽车通过 ETC 通道时：$t_1=\frac{v_2-v_1}{a_1}=4\text{s}$　$t_3=\frac{v_1-v_2}{a_2}=10\text{s}$

匀速过程：$t_2=\frac{d}{v_2}=2\text{s}$　　汽车通过 ETC 通道的总时间：$t=t_1+t_2+t_3=16\text{s}$

由（1）知通过人工收费通道从开始减速到恢复到正常速度行驶位移大小为　$x'=x'1+x'2=157.5\text{m}$

由(2)知汽车通过 ETC 通道时，从开始减速到恢复到正常速度行驶位移大小为　$x=150\text{m}$；

则汽车通过 ETC 通道还需匀速用时 $t_4=\frac{x'-x}{v_1}=\frac{157.5-150}{15}\text{s}=0.5\text{s}$

则过此收费站汽车通过 ETC 通道比通过人工收费通道到达目的地节约的时间为：　　$\Delta t'=t'-\left(t+t_4\right)=34.5\text{s}$.

考点三：中间时刻速度等于平均速度

题型一：利用平均速度求加速度与速度

【典型例题】

1．C

【详解】匀加速直线运动中，中间时刻的速度与平均速度相等$\overline{v}=v_{\frac{t}{2}}$

前一段中间时刻的速度为$v_1=\frac{6}{3}=2\text{m/s}$　　紧接下一段中间时刻的速度为$v_2=\frac{6}{2}=3\text{m/s}$

两个中间时刻的时间差为$\Delta t=1.5\text{s}+1\text{s}=2.5\text{s}$　　所以加速度为$a=\frac{3-2}{2.5}\text{m/s}^2=0.4\text{m/s}^2$

故选 C。

2．D

【详解】AB．AB段和BC段的长度之比为$x_{AB}:x_{BC}=3:5$，设$x_{AB}=3L$，则$x_{BC}=5L$，

在AB段运动的时间$t_1=\frac{x_{AB}}{\overline{v_{AB}}}=\frac{3L}{9}=\frac{L}{3}$　　在BC段运动的时间$t_2=\frac{x_{BC}}{\overline{v_{BC}}}=\frac{5L}{5}=L$

上滑时的加速度大小$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{\overline{v_{AB}}-\overline{v_{BC}}}{\frac{1}{2}(t_1+t_2)}=\frac{6}{L}$

由于L未知，故无法求出上滑时的加速度大小、在AB段运动的时间，故 AB 错误；

C．在 A 点的速度大小为$v_A=\overline{v_{AB}}+a\cdot\frac{t_1}{2}=10\text{m/s}$，故 C 错误；

D．在 C 点的速度大小为$v_C=\overline{v_{BC}}-a\cdot\frac{t_2}{2}=2\text{m/s}$，故 D 正确。

故选 D。

3．B

【详解】由题知，电动公交车做匀减速直线运动，两段距离相等，平均速度是 2 倍的关系，设所用时间分别为 t、2t，平均速度等于中间时刻瞬时速度，速度从 12m/s 减到 6m/s 所用时间为 1.5t，因此在 0.5t 时间内速度减小 2m/s，公交车经过 S 点时的瞬时速度为$v_S=\overline{v_{RS}}-a\cdot0.5t=(12-2)\text{m/s}=10\text{m/s}$

故选 B。

4．D

【详解】根据匀变速直线运动的平均速度等于中间时刻的瞬时速度，

可知第 2s 内的中间时刻的速度为$v_{1.5}=\frac{x_2}{t}=6\text{m/s}$

假设物块的运动时间大于等于 3s，则第 3s 内的中间时刻的速度为$v_{2.5}=\frac{x_3}{t}=1.2\text{m/s}$

则匀减速的加速度为$a=\frac{v_{2.5}-v_{1.5}}{\Delta t}=4.8\text{m/s}^2$

故从 1.5s 减速的时间为$t_1=\frac{v_{1.5}}{a}=1.25\text{s}<1.5\text{s}$

则假设不成立，即匀减速的时间小于3s，将刹车过程看成初速度为零的匀加速直线运动，设第3s加速的时间为t_0，有$x_3=\frac{1}{2}a_1t_0^2$；$x_2+x_3=\frac{1}{2}a_1(1+t_0)^2$

联立解得$t_0=\frac{1}{\sqrt{6}-1}\text{s}$，$a_1\approx5\text{m/s}^2$

故选D。

【变式训练】

1．A

【详解】在某时刻前t_1时间内位移大小为s_1，则t_1时间内的中间时刻速度为$v_1=\frac{s_1}{t_1}$

在该时刻后的t_2时间内位移大小为s_2，则t_2时间内的中间时刻速度为$v_2=\frac{s_2}{t_2}$

则物体的加速度大小为$a=\frac{v_2-v_1}{\frac{t_1}{2}+\frac{t_2}{2}}$　　联立解得$a=\frac{2(s_2t_1-s_1t_2)}{t_1t_2(t_1+t_2)}$

故选A。

2．BD

【详解】AB．由题，小球从a到c和从c到d所用的时间都是2s，根据匀变速直线运动的推论得知，c点的速度等于ad间的平均速度，则有$v_c=\frac{ac+cd}{2t}=\frac{8}{2\times2}\text{m/s}=2\text{m/s}$

ac间中点时刻的瞬时速度为$v_1=\frac{ac}{t}=\frac{5}{2}\text{m/s}=2.5\text{m/s}$

cd间中点时刻的瞬时速度为$v_2=\frac{cd}{t}=\frac{3}{2}\text{m/s}=1.5\text{m/s}$

故物体的加速度大小为$a=\frac{v_2-v_1}{t}=-0.5\text{m/s}^2$，A错误，B正确；

D．由速度位移关系$v_c^2-v_b^2=2a(\overline{bc})$，得$v_b=\sqrt{5}\text{m/s}$，故D正确

C．设c到e的时间为T，则$0-v_c=aT$，得$T=4\text{s}$

则从d到e所用时间为$t=T-2\text{s}=2\text{s}$，故C错误。

故选BD。

3．B

【详解】设AB段距离为x，BC段距离为2x，AC段平均速度$v_3=\frac{3x}{\frac{x}{v_1}+\frac{2x}{v_2}}=\frac{3x}{\frac{x}{30}+\frac{2x}{60}}=45\text{m/s}$

由匀变速直线运动平均速度等于初末速度之和的一半，可知AB、BC、AC段平均速度可表示为$v_1=\frac{v_A+v_B}{2}=30\text{m/s}$；

$v_2=\frac{v_B+v_C}{2}=60\text{m/s}$；$v_3=\frac{v_A+v_C}{2}=45\text{m/s}$　　解得列车经过C点时速度大小为$v_C=75\text{m/s}$

故选B。

4．BC

【详解】若汽车在第 4 个 1s 一直运动，则由逆向可看作匀加速运动，设逆向第 1s 的初速度为 v_0，根据时间位移公式，有 $\frac{x_4}{x_1}=\frac{(v_0+3aT)\cdot T+\frac{1}{2}aT^2}{v_0T+\frac{1}{2}aT^2}=\frac{v_0T+\frac{7}{2}aT^2}{v_0T+\frac{1}{2}aT^2}<\frac{7(v_0T+\frac{1}{2}aT^2)}{v_0T+\frac{1}{2}aT^2}=7$　　而实际 $\frac{x_4}{x_1}=\frac{24}{1}>7$

则说明汽车在第 4 个 1s 不是一直在运动，即可确定汽车在第 4 个 1s 末前已经停下，设汽车的加速度大小为 a，在第 3s 时的速度为 v_3，则有 $\frac{v_3^2}{2a}=1\text{m}$

根据题意可知汽车在 0.5s 时的速度为 $v_{0.5}=\frac{24}{1}\text{m/s}=24\text{m/s}$，则有 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{24-v_3}{2.5}$

联立解得 $a=8\text{m/s}^2$，$v_3=4\text{m/s}$

则汽车的初速度大小为 $v_0=v_3+at_3=4\text{m/s}+8\times 3\text{m/s}=28\text{m/s}$

故选 BC。

题型二：利用平均速度求位移

【典型例题】

1．AC

【详解】A．运动过程中的加速度大小为 $a=\frac{\Delta x}{T^2}=\frac{30-20}{2^2}\text{m/s}^2=2.5\text{m/s}^2$，选项 A 正确；

B．运动员经过 M 点的速度等于 PN 段的平均速度为 $v_M=\frac{30+20}{2\times 2}\text{m/s}=12.5\text{m/s}$，选项 B 错误；

C．运动员经过 P 点的速度为 $v_P=v_M-aT=(12.5-2.5\times 2)\text{m/s}=7.5\text{m/s}$，选项 C 正确；

D．运动员经过 OP 的距离是 $OP=\frac{v_P^2}{2a}=\frac{7.5^2}{2\times 2.5}\text{m}=11.25\text{m}$，选项 D 错误。

故选 AC。

2．B

【详解】设 BC 的长度为 L_{BC}，由匀变速直线运动规律可得 $L-(L_0+L_{BC})=a(3T)^2$

滑块在通过 AB 的中间时刻的瞬时速度为 $v_1=\frac{L_0}{T}$

滑块在通过 CD 的中间时刻的瞬时速度 $v_2=\frac{L}{3T}$

由 AB 的中间时刻到 CD 的中间时刻对应的时间 $\Delta t=4T$，$v_2=v_1+a\Delta t$

解得 $L_{BC}=\frac{L+5L_0}{4}$。

故选 B。

【变式训练】

1．AC

【详解】A．物体加速度的大小为$a=\frac{x_{BC}-x_{AB}}{t^2}=\frac{8-4}{2^2}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$，故A正确；

B．由$x_{CD}-x_{BC}=x_{BC}-x_{AB}$，得$x_{CD}=12\text{m}$，故B错误；

CD．C点瞬时速度为$v_C=\frac{x_{CD}+x_{BC}}{2t}=5\text{m/s}$；则A点速度为$v_A=v_C-a\cdot 2t=1\text{m/s}$

OA距离为$x_{OA}=\frac{v_A^2}{2a}=0.5\text{m}$，故C正确，D错误。

故选AC。

2．ACD

【详解】设每5s为一个单位时间，则$x_{AB}=x_1+x_2+x_3=42\text{m}$；$x_{BC}=x_4+x_5$；$x_{CD}=x_6=30\text{m}$

由于$\Delta x=x_6-x_5=x_5-x_4=x_4-x_3=x_3-x_2=x_2-x_1$，得$x_1+x_3=2x_2$

则$x_{AB}=3x_2=42\text{m}$，得$x_2=14\text{m}$

由于$x_6-x_2=4\Delta x$，得$\Delta x=4\text{m}$

故可得出$x_4=22\text{m}$，$x_3=26\text{m}$，则$x_{BC}=x_3+x_4=48\text{m}$

本题选择不可能的，故选ACD。

3．A

【详解】由于C点为AB的中点，则$v_C=\sqrt{\frac{v_A^2+v_B^2}{2}}=\sqrt{\frac{14^2+2^2}{2}}\text{m/s}=10\text{m/s}$

所以AB间的距离为$x_{AB}=2x_{AC}=2\cdot\frac{v_A+v_C}{2}t_{AC}=2\times\frac{14+10}{2}\times 2\text{m}=48\text{m}$

故选A。

考点四：中间位置速度

题型一：利用中间位置速度公式

【典型例题】

1．D

【详解】根据$v^2-v_0^2=2ax$

则对前半程有$v_{中}^2-v_1^2=2a\times\frac{x}{2}$　　对后半程有$v_2^2-v_{中}^2=2a\times\frac{x}{2}$　　两式联立可得$v_{中}=\sqrt{\frac{v_1^2+v_2^2}{2}}$

故选D。

2．C

【详解】BD．经过ab中间位置的速度是$v_{\frac{s}{2}}=\sqrt{\frac{v^2+(3v)^2}{2}}=\sqrt{5}v>2v$，错误；

AC．中间时刻的速度等于该过程的平均速度即为$2v$，故前$\frac{t}{2}$时间通过的位移$x_1=\frac{v+2v}{2}\cdot\frac{t}{2}=\frac{3}{4}vt$

后$\frac{t}{2}$时间通过的位移$x_2=\frac{2v+3v}{2}\cdot\frac{t}{2}=\frac{5}{4}vt$

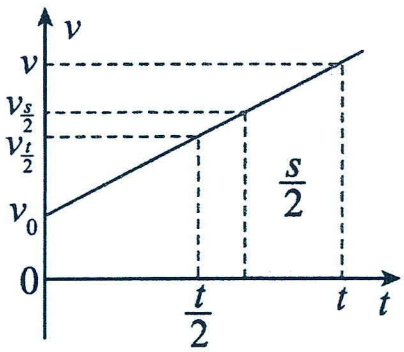
即前$\frac{t}{2}$时间通过的位移比后$\frac{t}{2}$时间通过的位移少$0.5vt$，C 正确，A 错误。

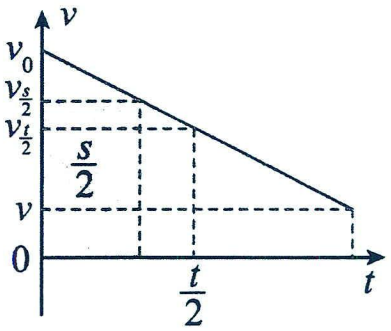
故选 C。

3．A

【详解】当物体做匀加速直线运动时，速度图像如图所示

物体经过中点位置时，前后两段过程的位移相等，速度图像与时间所围的“面积”相等，由图看出 $v_{\frac{s}{2}}>v_{\frac{t}{2}}$





当物体做匀减速直线运动时，速度图像如所示　　由图看出$v_{\frac{s}{2}}>v_{\frac{t}{2}}$

所以不论物体是做匀加速直线运动还是做匀减速直线运动，总有$v_{\frac{s}{2}}>v_{\frac{t}{2}}$

故选 A。

【变式训练】

1．B

【详解】通过第二棵树的位置是通过第一棵树到通过第三棵树这段位移的中间位置，根据中位速公式

$v_2=\sqrt{\frac{v_1^2+v_3^2}{2}}=\sqrt{\frac{1^2+7^2}{2}}=5\text{m/s}$

故选 B。

2．B

【详解】D．由运动学公式得，汽车经过 AB 位移中点时速度是$v_{\frac{x}{2}}=\sqrt{\frac{v_A^2+v_B^2}{2}}=\sqrt{\frac{2^2+8^2}{2}}\text{m/s}=\sqrt{34}\text{m/s}$

故 D 错误；

B．由运动学公式得，汽车经过 AB 中间时刻的速度是 $v_{\frac{t}{2}}=\frac{v_A+v_B}{2}=\frac{2+8}{2}\text{m/s}=5\text{m/s}$，故 B 正确；

C．由运动学公式得，汽车前一半时间发生位移为 $x_1=\frac{v_A+v_{\frac{t}{2}}}{2}\times\frac{t}{2}=\frac{2+5}{2}\times\frac{t}{2}=\frac{7}{4}t$

汽车后一半时间发生位移为 $x_2=\frac{v_B+v_{\frac{t}{2}}}{2}\times\frac{t}{2}=\frac{8+5}{2}\times\frac{t}{2}=\frac{13}{4}t$ ；因为 $x_1\neq\frac{1}{2}x_2$，故 C 错误；

A．汽车前一半位移内有 $\frac{x}{2}=\frac{v_A+v_{\frac{x}{2}}}{2}t_1=\frac{2+\sqrt{34}}{2}t_1$，可得 $t_1=\frac{x}{2+\sqrt{34}}$

汽车后一半位移内有 $\frac{x}{2}=\frac{v_B+v_{\frac{x}{2}}}{2}t_2=\frac{8+\sqrt{34}}{2}t_2$，可得 $t_2=\frac{x}{8+\sqrt{34}}$；因为 $t_1\neq 2t_2$，故 A 错误。

故选 B。

题型二：非中间位置速度公式推导应用

【典型例题】

1．C

【详解】设子弹穿出 A 时速度为 v，穿过 A、B 过程根据位移—速度公式分别可得 $v_2^2-v_1^2=2a\times 3L$

穿过 A 的过程，根据位移—速度关系，有 $v^2-v_1^2=2a\times L$，联立解得 $v=\sqrt{\frac{2v_1^2+v_2^2}{3}}$；故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

【变式训练】

1．C

【详解】列车车头过桥头到车头过桥尾有 $v_2^2-v_1^2=2a\cdot 2L$；车头过桥尾到车尾过桥尾有 $v_3^2-v_2^2=2a\cdot L$

由以上两式可得 $v_3=\sqrt{\frac{3v_2^2-v_1^2}{2}}$

故选 C。

2．A

【详解】物体加速度 $a=\frac{v_B-v_A}{t}$；物体经过 $\frac{t}{4}$ 的瞬时速度 $v=v_A+a\cdot\frac{t}{4}=\frac{v_B+3v_A}{4}$；

物体加速度 $a=\frac{v_B{}^2-v_A{}^2}{2x}$；距车头为 $\frac{x}{4}$ 处的瞬时速度为 v'，有 $v'^2-v_A{}^2=2a\frac{x}{4}$

联立解得 $v'=\sqrt{\frac{v_B^2+3v_A^2}{4}}$

故选 A。

考点五：逐差相等公式：$\Delta x=aT^2$

【典型例题】

1．C

【详解】A．根据匀变速直线运动相同时间间隔内的位移差相等，则有 $x_5-x_3=2aT^2$

解得加速度大小为 $a=\dfrac{x_5-x_3}{2T^2}=\dfrac{7.2-4}{2\times1^2}\text{m/s}^2=1.6\text{m/s}^2$，故 A 错误；

B．根据匀变速直线运动相同时间间隔内的位移差相等，则有 $x_4-x_3=x_5-x_4$

解得第 4 s 内的位移为 $x_4=\dfrac{x_3+x_5}{2}=5.6\text{m}$

所以第 3 s 初至第 4 s 末的位移大小为 $x'=x_3+x_4=9.6\text{m}$，故 B 错误；

C．根据匀变速直线运动相同时间间隔内的位移差相等 $x_6-x_5=aT^2$，解得 $x_6=x_5+aT^2=8.8\text{m}$

所以后 2 s 内的位移大小为 $x=x_5+x_6=16\text{m}$，故 C 正确；

D.该运动员前 6 s 内做匀加速直线运动，所以第 3 s 初的速度比第 5 s 末的速度小；$\Delta v=a\Delta t=1.6\times3\text{m/s}=4.8\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 C。

【变式训练】

1．BC

【详解】A．由逐差公式 $x_m-x_n=(m-n)aT^2$

可得，该列车的加速度大小为 $a=\dfrac{4-2}{4\times1^2}\text{m/s}^2=0.5\text{m/s}^2$，故 A 错误；

B．同理可得 $x_5-x_2=(5-2)aT^2$，解得该列车在第 5s 内的位移 $x_5=3.5\text{m}$，故 B 正确；

C．第 5s 内和第 6s 内的总位移为 $x_5+x_6=\overline{v}\cdot2T=v_5\cdot2T$，则 $v_5=3.75\text{m/s}$

则 $t=0$ 时该列车的速度大小为 $v_0=v_5-a\cdot5T=3.75\text{m/s}-0.5\times5\text{m/s}=1.25\text{m/s}$，故 C 正确；

D．$t=6\text{s}$ 时该列车的速度大小为 $v_6=v_5+aT=3.75\text{m/s}+0.5\times1\text{m/s}=4.25\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 BC。

2．BD

【详解】A．根据连续相等时间内初速度为 0 的匀变速直线运动的位移规律有 $s_1:s_2:s_3:s_4=1:3:5:7$

但是根据图像可知 $s_1:s_2:s_3:s_4=2:3:4:5$；所以位置 1 不是小球释放的初始位置，则 A 错误；

B．小球在位置 3 的速度为 $v_3=\dfrac{s_{24}}{2T}=\dfrac{3d+4d}{2T}=\dfrac{7d}{2T}$，所以 B 正确；

C．根据 $a=\dfrac{\Delta s}{T^2}$，小球下落的加速度为 $a=\dfrac{d}{T^2}$，所以 C 错误；

D．小球在位置 5 的速度为 $v_5=v_3+a\cdot2T=\dfrac{7d}{2T}+\dfrac{d}{T^2}\times2T=\dfrac{11d}{2T}$，所以 D 正确；故选 BD。

第五讲：初速度为零的匀变速直线运动规律及应用

题型一：等时间规律的应用

【典型例题】

1．ABC

【详解】A．根据$x=\frac{1}{2}at^2$可知，初速度为零的匀加速直线运动第 1s 内、前 2s 内、前 3s 内……相应的运动距离之比为 x_1∶x_2∶x_3∶…=1∶4∶9∶…；故 A 正确；

BD．初速度为零的匀加速直线运动前 1s 内，前 2s 内，前 3s 内…相应的运动距离之比一定是

x_1：x_2：x_3：…=1：4：9：…

则第 1s 内、第 2s 内、第 3s 内…相邻的相同时间内的位移之比一定是 x_{I}∶x_{II}∶x_{III}∶…=1∶3∶5…

故 B 正确 D 错误；

C．匀变速直线运动在连续相等时间内的位移之差是一恒量，即$\Delta x=aT^2$，其中T为相同的时间间隔，故 C 正确。

故选 ABC。

2．CD

【详解】A．由匀变速直线运动公式的推论可知在 GF 段比 ED 段长$x_{GF}-x_{ED}=2at^2=2a\left(\frac{T}{7}\right)^2=\frac{2aT^2}{49}$,故 A 错误；

BC．小球做初速度为零的匀变速直线运动，根据比例规律可知$v_C:v_D:v_E:v_G=3:4:5:7$

则可设$v_C=3v$；$v_D=4v$；$v_G=7v$

小球在 CD 中点时的速度为$v_{中}=\sqrt{\frac{v_C^2+v_D^2}{2}}=\frac{5\sqrt{2}}{2}v\geq\frac{v_G}{2}$，故 B 错误，C 正确；

D．对于初速度为零的做匀变速直线运动的物体，在相同时间间隔内经过的位移之比为 1:3:5:...，因此 AB 和 BC 的长度之比为 3:5，故 D 正确。

故选 CD。

【变式训练】

1．C

【详解】根据初速度为 0 的匀加速直线运动的推论，经过连续相同时间内，位移之比为1:3:5:7:9...

根据题意，可知题干中第 1s 内对应推论中的第 3s，所以该质点在前 4s 内的位移大小为$x=5+7+9+11=32(\mathrm{m})$

故选 C。

2．BD

【详解】AC．根据题中信息，无法判断自行车的运动，也无法求出第 3s 末的瞬时速度，AC 错误；

B．若该运动是初速度为 0 的匀加速直线运动，则在第 1s 内、第 2s 内、第 3s 内、第 4s 内，通过的位移之比为 1:3:5:7，所以该运动可能是初速度为 0 的匀加速直线运动，B 正确；

D．4s 内的平均速度是$\overline{v}=\frac{1+3+5+7}{4}\mathrm{m/s}=4\mathrm{m/s}$，D 正确。

故选 BD。

题型二：等位移规律的应用

【典型例题】

1．BCD

【详解】AB．汽车做初速度为零的匀加速直线运动，通过连续相等位移所用时间之比为

$1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(2-\sqrt{3})$

由题知通过 ab 段的时间为 t，则汽车通过 cd 段的时间为$(\sqrt{3}-\sqrt{2})$t，故通过 ac 段的时间为$\sqrt{2}t$，

故 A 错误，B 正确；

C．ab段和bc段的时间之比为 1：$(\sqrt{2}-1)$，根据平均速度的公式$\bar{v}=\frac{x}{t}$可知，在ab段和bc段的平均速度之比为

$\left(\sqrt{2}-1\right):1$，故 C 正确；

D．由推论可知，b 为 ae 段时间的中间时刻，故 ae 段的平均速度等于b点的瞬时速度，ac 段的平均速度不等于b点的瞬时速度，故 D 正确；

故选 BCD。

2．BC

【详解】根据初速度为零的匀变速直线运动的规律，可知通过连续相等的位移，

其时间之比为$1:\left(\sqrt{2}-1\right):\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right):\left(\sqrt{4}-\sqrt{3}\right):\left(\sqrt{5}-\sqrt{4}\right)$

故小火车车头分别通过第 3 片卡片和第 5 片卡片的时间之比为$t_3:t_5=\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right):\left(\sqrt{5}-\sqrt{4}\right)$

每片卡片的长度为 L=15cm，根据平均速度的公式有$\bar{v}=\frac{L}{t}$

小火车车头分别通过第 3 片卡片和第 5 片卡片的平均速度大小之比为$\frac{\bar{v}_3}{v_5}=\frac{t_5}{t_3}=\frac{\sqrt{5}-\sqrt{4}}{\sqrt{3}-\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{3}+\sqrt{2}}{\sqrt{5}+\sqrt{4}}$

故 BC 正确，AD 错误。

故选 BC。

【变式训练】

1．B

【详解】A．根据动力学公式$x=\frac{1}{2}at^2$，可知$t_E=2t_B$，故 A 错误；

B．根据动力学公式$v^2=2ax$，可知物体到达各点的速率$v_B:v_C:v_D:v_E=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:2$，故 B 正确；

C．物体从 A 运动到 E 全过程的平均速度为$\bar{v}=\frac{0+v_E}{2}=\frac{v_E}{2}$，故 C 错误；

D．物体到达各点的速率比为$v_B:v_C:v_D:v_E=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:2$

故物体通过每一部分时，其速度增量$v_B-v_A>v_C-v_B>v_D-v_C>v_E-v_D$，故 D 错误。

故选 B。

2．C

【详解】A．根据动力学公式$x_1=\frac{1}{2}aT^2$；$x_2=\frac{1}{2}a(2T)^2-\frac{1}{2}aT^2$；$x_3=\frac{1}{2}a(3T)^2-\frac{1}{2}a(2T)^2$

可得$x_1:x_2:x_3=1:3:5$

故在相等的时间里经过小朋友的车厢数之比是1:3:5，故A错误；

B．设每节车厢的长度为L，根据动力学公式$L=\frac{1}{2}at_1^2$，$2L=\frac{1}{2}at_2^2$，$3L=\frac{1}{2}at_3^2$

第1、2、3节车厢经过小朋友的时间之比是$t_1:(t_2-t_1):(t_3-t_2)=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})$

故B错误；，C．根据$v=at$

第1、2、3节车厢尾经过小朋友瞬间的速度之比是$v_1:v_2:v_3=t_1:t_2:t_3=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$，故C正确；

D．设小火车最后一节车厢经过小朋友瞬间的速度为v，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，火车通过小朋友的平均速度为$\bar{v}=\frac{v}{2}$

火车中间位置经过小朋友的瞬时速度为$v_{\frac{x}{2}}=\sqrt{\frac{0+v^2}{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2}v>\bar{v}$，故D错误。

故选C。

题型三：利用规律判断初始位置

【典型例题】

1．BCD

【详解】A．初速度为0的匀加速直线运动，第1s、第2s、第3s、第4s内的位移之比为1:3:5:7，题目中位移比为1:2:3:4，所以初速度不为0，A错误；

B．小球在4s内的平均速度为$\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{1\text{m}+2\text{m}+3\text{m}+4\text{m}}{4s}=2.5\text{m/s}$，B正确；

C．根据匀变速直线运动公式，中间时刻的速度等于平均速度，有$v_3=\frac{3\text{m}+4\text{m}}{2\text{s}}=3.5\text{m/s}$，C正确；

D．根据$\Delta x=aT^2$，可得$a=1\text{m/s}^2$，D正确。

故选BCD。

【变式训练】

1．BC

【详解】A．根据$\Delta x=aT^2$，可得$a=\frac{BC-AB}{T^2}=\frac{3-2}{0.2^2}\text{m/s}^2=25\text{m/s}^2$，A错误；

B．由于$\Delta x=CD-BC=BC-AB$，可知CD=4m，B正确；

C．B点为AC的中间时刻，因此B点的速度等于AC间的平均速度$v_B=\frac{AB+BC}{2T}=\frac{2+3}{0.4}\text{m/s}=12.5\text{m/s}$；C正确；

D．根据$v^2=2ax$，可得$x_{OA}=\frac{v_B^2}{2a}-AB=\frac{12.5^2}{2\times25}\text{m}-2\text{m}=1.125\text{m}$，D错误。

故选BC。

2．B

【详解】从静止开始做匀加速直线运动的物体，从开始运动起，连续在相邻的1s内的位移之比为1：3：5：7：9：11……，因连续通过三段位移的时间分别是1 s、2 s、3 s，

则这三段位移的长度之比1：(3+5)：(7+9+11)=1：8：27=1 ： 2^3 ： 3^3

根据$\bar{v}=\frac{x}{t}$可得三段位移上的平均速度之比1 ： 2^2 ： 3^2

故选B。

题型四：逆向思维的应用

【典型例题】

1．BD

【详解】CD．初速度为零的匀加速直线运动，相同时间的位移比为1:3，可以把子弹的运动反向看成初速度为零的匀加速直线运动，由于木板AB的长度是BC的三倍，故子弹经过AB和BC的时间相等，均为$\frac{t}{2}$，故C错误，D正确；

AB．初速度为零的匀加速直线运动，相同时间的速度比为1:2，由于子弹以初速度v_0从A端射入木板，可知子弹到B的速度为$\frac{v_0}{2}$，故A错误，B正确。

故选BD。

2．D

【详解】C．由题意可知子弹恰好能穿出第4个水球，即末速度v=0，逆向看子弹由右向左做初速度为零的匀加速直线运动，则由匀变速直线运动规律的推论：相同位移下的时间比值可知，自左向右子弹通过四个水球的时间比为$t_1:t_2:t_3:t_4=(2-\sqrt{3}):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(\sqrt{2}-1):1$，故C错误；

A．由于加速度a恒定，由加速度的定义可以，速度变化量$\Delta v=at$由上述的分析可知，子弹在每个水球中的时间不同，所以速度变化量也不同，故A错误；

B．由上述的分析可知，子弹穿出前三个水球的时间等于全部穿过水球的时间的一半，因此子弹穿出第三个水球的瞬时速度与全程的平均速度相等，即为$\frac{v}{2}$，故B错误。

D．逆向分析可看作是初速度为零的匀加速直线运动，根据$v^2=2ax$可得$v=\sqrt{2ax}$

子弹穿出前三个水球的瞬时速度之比为$v_1:v_2:v_3=\sqrt{3}:\sqrt{2}:1$，故D正确；

故选D。

3．B

【详解】将汽车从a到e的匀减速直线运动，看作反向初速度为零的匀加速直线运动，根据初速度为零的匀变速直线运动的规律可得，汽车经过de段和ab段所用的时间之比为

1：$(2-\sqrt{3})$，所以汽车经过ab段的平均速度与通过de段的平均速度之比为$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\frac{L}{2-\sqrt{3}}}{\frac{L}{1}}=\frac{1}{2-\sqrt{3}}$

又因为$2-\sqrt{3}\approx 2-1.73=0.27$，所以$3<\frac{v_1}{v_2}<4$，ACD 错误，B 正确。

故选 B。

【变式训练】

1．B

【详解】根据匀变速直线运动相邻的相等时间间隔内的位移差相等，可知汽车做匀变速直线运动，根据逐差法有$x_2-x_1=aT^2$，解得$a=-4\text{m/s}^2$，1s 末的速度大小为$v=\frac{14+10}{2\times 1}\text{m/s}=12\text{m/s}$，

由开始制动到静止，汽车运动的距离为$s=14\text{m}+\frac{v^2}{-2a}=32\text{m}$

故选 B。

2．B

【详解】将动车的运动反向看做初速度为零的匀加速直线运动，则 1s 内的位移为$x_3=\frac{1}{2}at^2=\frac{a}{2}$

2s 内的位移为$x_2=\frac{1}{2}a\times 3^2-\frac{1}{2}a\times 1^2=4a$，3s 内的位移为$x_1=\frac{1}{2}a\times 6^2-\frac{1}{2}a\times 3^2=\frac{27}{2}a$

故位移之比为$x_1:x_2:x_3=27:8:1$

故选 B。

3．D

【详解】A．子弹的运动为匀减速到零的直线运动，可逆向看作初速度为 0 的匀加速直线运动。初速度为 0 的匀加速直线运动，通过连续相等时间内位移之比为 1：3：5…则前$\frac{t}{2}$时间内穿透的苹果个数为$36\times\frac{3}{4}=27$个苹果，

故 A 错误；

BC．初速度为 0 的匀加速直线运动，通过连续相等位移所用时间之比为$1:\left(\sqrt{2}-1\right):\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)\ldots$

则子弹穿透前 18 个苹果所用时间为$\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}}t$，子弹穿透第 1 只与最后 1 只苹果所用的时间之比为$\left(\sqrt{36}-\sqrt{35}\right):1$，

故 BC 错误；

D．设每个苹果被穿透的长度为 d，则$36d=\frac{1}{2}at^2$

设子弹穿透后 16 个苹果所用时间为 t_{16}，则$16d=\frac{1}{2}at_{16}^2$

设子弹穿透后 17 个苹果所用时间为 t_{17}，则$17d=\frac{1}{2}at_{17}^2$

子弹穿透第 20 只苹果所用时间为 $t_{20}=t_{17}-t_{16}$

联立解得$t_{20}=\frac{\sqrt{17}-4}{6}t$

故 D 正确。故选 D。

跟踪练习（二）

1．C

【详解】A．速度随时间均匀增大的直线运动才叫匀加速直线运动，故 A 错误；

B．若物体的速度和加速度的方向均与选定的正方向相反，则此时加速度为负值，但物体做匀加速直线运动，故 B 错误；

C．做匀减速直线运动的物体，它的速度方向和加速度的方向相反，故 C 正确；

D．若物体的加速度不断减小，但速度方向与加速度的方向相同，则物体的速度不断增大，故 D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】该车的平均加速度为$a=\frac{G}{10}=3\mathrm{m/s^2}$，又因为$v=at=100\mathrm{km/h}=27.8\mathrm{m/s}$，解得$t=9.3\mathrm{s}$

故选 B。

3．A

【详解】A．根据匀变速直线运动相邻相等时间间隔内发生的位移差的关系$\Delta s=aT^2$，可得汽车制动后做匀减速运动的加速度大小为$a=\frac{\Delta s}{T^2}=\frac{9-7}{1^2}\mathrm{m/s^2}=2\mathrm{m/s^2}$，故 A 正确；

B．汽车制动后第 2s 内的平均速度为$\bar{v}=\frac{s_{12}}{\Delta t}=\frac{7}{1}\mathrm{m/s}=7\mathrm{m/s}$，故 B 错误；

C．汽车制动后第 1s 末的速度等于前 2s 的平均速度，则有$v_1=\frac{s_{02}}{\Delta t'}=\frac{9+7}{2}\mathrm{m/s}=8\mathrm{m/s}$，故 C 错误；

D．汽车制动时的初速度为$v_0=v_1+at_1=8+2\times1\mathrm{m/s}=10\mathrm{m/s}$，故 D 错误。

故选 A。

4．C

【详解】ABD．x、v、t 不存在$x=vt$关系，时间 t 不是减速运动的时间，则也不存在$\mathrm{x}=\frac{1}{2}\mathrm{at}^2$

或者$x=vt-\frac{1}{2}at^2$的关系，故 ABD 错误；

C．根据$0-v^2=-2ax$，得$x=\frac{v^2}{2a}$，故 C 正确。

故选 C。

5．D

【详解】设第 6 节车厢刚到达旅客处时，车的速度大小为v_0，加速度大小为a，则有$L=v_0t-\frac{1}{2}at^2$

从第 6 节车厢刚到达旅客处到列车停下来，有$v_0^2=2a\cdot2L$，解得加速度大小$a\approx2\mathrm{m/s^2}$

故选 D。

6．C

【详解】A．设汽车在做匀减速直线运动的加速度大小为a，在停止运动前的第 2 个 2s 内前进的位移为 18m。汽车的运动可逆向看做初速度是零的匀加速直线运动，

由位移时间公式可得$x_2=\frac{1}{2}at_2^2-\frac{1}{2}at_1^2=18\text{m}$，其中$t_1=2\text{s}$；$t_2=4\text{s}$，解得$a=3\text{m/s}^2$，A 错误；

B．由位移时间公式可得，汽车最初 2s 内的位移为$x_2'=v_0t_1'-\frac{1}{2}at_2'^2=15\times2\text{m}-\frac{1}{2}\times3\times2^2\text{m}=24\text{m}$，B 错误；

C．汽车的运动可逆向看做初速度是零的匀加速直线运动，

汽车停止前 2s 内的位移为$x_1=\frac{1}{2}at_1^2=\frac{1}{2}\times3\times2^2\text{m}=6\text{m}$，C 正确；

D．由速度时间公式可得，汽车匀减速运动的总时间为$t=\frac{v_0}{a}=\frac{15}{3}\text{s}=5\text{s}$，D 错误。

故选 C。

7．D

【详解】A．一小滑块自a点由静止开始下滑比小滑块从b点静止开始下滑通过bd段任意一点的速度大，所以让该滑块自b点由静止开始下滑，相同位移平均速度变小，时间变大，通过bc、cd段的时间均大于T，故 A 错误；

B．从a点静止开始下滑，通过ab、bc、cd各段所用时间均为T，根据初速度为0的匀加速直线运动，相同时间的位移之比为$ab:bc:cd=1:3:5$

设$ab=L$，则$bc=3L$，$cd=5L$，设滑块匀加速运动的加速度为a，从b点静止开始下滑通过c点，根据速度位移关系公式$v_c^2=2a\cdot3L$，解得$v_c=\sqrt{6aL}$

同理可得d点的速度为$v_d=\sqrt{16aL}$，故$v_c:v_d=\sqrt{3}:\sqrt{8}$，故 B 错误；

C．由 B 选项及公式$v=at$，可知$t_{bc}:t_{cd}=\sqrt{3}:(\sqrt{8}-\sqrt{3})$，故 C 错误；

D．通过bd段的平均速度$\overline{v}=\frac{v_d}{2}=2\sqrt{aL}$，所以有$v_c>\overline{v}$，故 D 正确。

故选 D。

8．BD

【详解】A．在不需要考虑物体本身的大小和形状时，用质点来代替物体的方法叫理想模型法，故 A 错误；

B．从科学方法角度来说，物理学中引入“平均速度”概念运用了等效替代方法，故 B 正确；

C．根据速度定义式$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$，当$\Delta t$非常非常小时，$\frac{\Delta x}{\Delta t}$就可以表示物体在 t 时刻的瞬时速度，该定义应用了极限思想，故 C 错误；

D．在推导匀变速运动位移公式时，把整个运动过程划分成很多小段，每一小段近似看做匀速直线运动，然后把各小段的位移相加，这里采用了微元法，故 D 正确。

故选 BD。

9．AC

【详解】A．物体加速度的大小为$a=\frac{x_{BC}-x_{AB}}{t^2}=\frac{8-4}{2^2}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$，故 A 正确；

B．由$x_{CD}-x_{BC}=x_{BC}-x_{AB}$，得$x_{CD}=12\text{m}$，故 B 错误；

CD．C 点瞬时速度为$v_C=\frac{x_{CD}+x_{BC}}{2t}=5\text{m/s}$

则 A 点速度为$v_A=v_C-a\cdot2t=1\text{m/s}$OA 距离为$x_{OA}=\frac{v_A^2}{2a}=0.5\text{m}$，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

10．BC

【详解】AB．根据题意，A 到 B 过程中，有 $x_2=\frac{v_B}{2}t_2$，代入数据解得 $t_2=3\text{s}$

则滑块从初始位置滑到最高点 A 的时间为 $t_1=t-t_2=3\text{s}$

所以滑块从初始位置滑到最高点 A 的位移为 $x_1=\frac{v_0}{2}t_1=13.5\text{m}$

所以该滑块 6s 内的平均速度大小为 $\overline{v}=\frac{x_1-x_2}{t}=\frac{13.5-4.5}{6}\text{m/s}=1.5\text{m/s}$，故 A 错误，B 正确；

C．该滑块前 3s 内的平均速度大小为 $\overline{v'}=\frac{v_0}{2}=4.5\text{m/s}$，故 C 正确；

D．滑块上滑的加速度大小为 $a_1=\frac{v_0}{t_1}=3\text{m/s}^2$

所以 2~3s 内滑块的位移大小为 $x_1'=\frac{1}{2}a_1t'^2=1.5\text{m}$

滑块下滑的加速度大小为 $a_2=\frac{v_B}{t_2}=1\text{m/s}^2$

所以 3~4s 内滑块的位移大小为 $x_2'=\frac{1}{2}a_2t'^2=0.5\text{m}$

所以该滑块 2s~4s 时间内的平均速度大小为 $\overline{v''}=\frac{x_1'-x_2'}{t''}=\frac{1.5-0.5}{2}\text{m/s}=0.5\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 BC。

11．(1) $\frac{\frac{d}{t_2}-\frac{d}{t_1}}{\Delta t}$　　(2)　　0.25　　0.50　(3) $\frac{d^2}{2k}$

【详解】（1）遮光条经过光电门 1 和 2 的速度大小分别为 $v_1=\frac{d}{t_1}$；$v_2=\frac{d}{t_2}$

滑块的加速度大小 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1}{\Delta t}=\frac{\frac{d}{t_2}-\frac{d}{t_1}}{\Delta t}$

（2）[1] 滑块通过光电门 1 的速度大小 $v_1=\frac{d}{t_1}=0.25\text{m/s}$

[2] 滑块的加速度大小 $a=\frac{\frac{d}{t_2}-\frac{d}{t_1}}{\Delta t}=0.50\text{m/s}^2$

（3）滑块从静止开始做匀加速直线运动，有 $2ax=\left(\frac{d}{t}\right)^2$，整理得 $x=\frac{d^2}{2a}\cdot\frac{1}{t^2}$；依题意有 $k=\frac{d^2}{2a}$，整理得 $a=\frac{d^2}{2k}$

12．(1)　　位移　　时间　　220　　(2)BC

(3)　　0.1　　0.280　　0.280　　见解析　　速度随时间均匀变化

【详解】（1）[1][2][3]打点计时器是一种可以记录做直线运动的物体的位移和时间的仪器，电火花计时器的工作电压是220V。

（2）A．实验时，应把打点计时器固定在桌子上，把墨粉纸盘套在纸盘轴上，让纸带穿过限位孔，故A正确，不符合题意；

B．电火花计时器的工作电压是220V，故B错误，符合题意；

C．实验中，为了避免纸带上出现大量的空白段落，应该先接通电源，然后拉动纸带，故C错误，符合题意；

D．实验结束，关闭电源，取下纸带，用刻度尺测量某计数点与计时起点的距离 x_0，并算出时间t，故D正确，不符合题意。

故选BC。

（3）[1]由于相邻的两个计数点间还有四个点未画出，打点计时器所用电源的频率是50Hz，则相邻两个计数点之间的时间间隔为 $T=5\times\frac{1}{50}\text{s}=0.1\text{s}$

[2]CE段的平均速度大小为 $\overline{v_{CE}}=\frac{x_4+x_5}{2T}=\frac{(2.70+2.90)\times10^{-2}}{2\times0.1}\text{m/s}=0.280\text{m/s}$

[3]D点是CE段的中间时刻，所以D点的速度为 $v_D=\overline{v_{CE}}=0.280\text{m/s}$

13．(1)160m　(2)10m/s

【详解】（1）设跑道最短为 L，根据匀变速直线运动位移速度公式可得 $v^2-v_0^2=2aL$；代入数据解得 $L=160\text{m}$

（2）设航空母舰前进的速度最小为 v_1，飞机起飞的时间为 t，对航空母舰有 $x_1=v_1t$

对飞机有 $v=v_1+at$，$v^2-v_1^2=2ax_2$，又 $x_2=x_1+L$，联立解得 $v_1=10\text{m/s}$

14．(1)$\frac{1}{2}a_1t^2$　(2)$3a_1$　(3)$\frac{4}{3}t$　(4)$\frac{2}{3}a_1t^2$

【详解】（1）根据运动学公式可知，小球沿斜面加速上升的位移的大小 $x_1=\frac{1}{2}a_1t^2$

（2）撤去外力，小球再经时间t回到出发点，根据运动学公式可得 $-x_1=a_1t\cdot t-\frac{1}{2}a_2t^2$

联立解得撤去外力后，小球的加速度的大小为 $a_2=3a_1$

（3）撤去外力后，小球沿斜面继续向上运动的时间为 $t_2=\frac{v}{a_2}=\frac{a_1t}{3a_1}=\frac{t}{3}$

则小球沿斜面向上运动的时间为 $t_{上}=t+t_2=\frac{4}{3}t$

（4）撤去外力后，小球沿斜面继续向上运动的位移大小为 $x_2=\frac{v}{2}t_2=\frac{a_1t}{2}\cdot\frac{t}{3}=\frac{1}{6}a_1t^2$

则小球沿斜面向上运动的距离为 $x_{上}=x_1+x_2=\frac{2}{3}a_1t^2$

15. （1）2s；（2）11；（3）5

【详解】（1）根据题意，由运动学公式有$L=\frac{1}{2}at^2$，解得$t=2\text{s}$

（2）设每一台车加速的时间为t_1，加速的位移为x_1，绿灯亮的过程中有k_1台车通过停车线，则有$v=at_1$，$x_1=\frac{1}{2}at_1^2$；

$L+(k_1-1)(x+L)=x_1+v\left[\Delta t_1-(k_1-1)\Delta t_2-t_1\right]$，解得$k_1=11.8$，即$n_1=11$

（3）第 1 台车和第 11 台车通过路口 1 的停车线匀速运动过程中，相邻的两车车头之间的距离为$\Delta x=v\Delta t_2+L+x$，解得$\Delta x=46\text{m}$

在第 1 台车离开路口 1 后，经$\Delta t_1=30\text{s}$时，第 1 台车距离第 2 个路口的停车线为x_2，则

$x_2=x_0-x_1-v(\Delta t_1-t_1)$，解得$x_2=1000\text{m}$

当路口 2 的绿灯第 2 次亮起时，第 1 台车距离路口 2 的停车线距离为$x_3=x_2-v\Delta t_1=400\text{m}$

设在第 2 个路口绿灯再次亮的期间，有k_2台车通过该路口停车线，则$v\Delta t_1=x_3+k_2\Delta x+L$

解得$k_2=4.3$，即$n_2=5$

第六讲：自由落体与竖直上抛

考点一：自由落体

题型一：基础题型

【典型例题】

1．B

【详解】ABD．做自由落体运动的物体初速度为 0，只受重力作用，加速度为重力加速度，下落的快慢与质量无关，所以自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，故 AD 错误，B 正确；

C．“重的物体下落得快”是亚里士多德自由落体运动的结论，故 C 错误。

故选 B。

2．B

【详解】A．根据自由落体运动公式$v=gt$，可求得，下落时间为$t=3\text{s}$，A 错误；

B．根据根据自由落体运动公式$2gh=v^2$，可求得下落高度为$h=45\text{m}$，B 正确；

C．前 2s 内的位移为$h_2=\frac{1}{2}gt_2^{\ 2}=20\text{m}$，平均速度为$\overline{v}=\frac{h_2}{t_2}=10\text{m/s}$，C 错误；

D．在最后 1s 内下落的高度是$h'=h-h_2=25\text{m}$，D 错误。

故选 B。

【变式训练】

1．C

【详解】A．做自由落体运动的物体下落速度与物体的质量无关，选项 A 错误；

B．物体刚下落时，初速度为零，加速度为重力加速度 g，故 B 错误；

C．自由落体运动的初速度为零，根据推论知，在开始连续三个 2s 内的位移之比为 1：3：5，故 C 正确；

D．当 h_1=4.9m，h_2=9.8m，h_3=14.7m 时 h_1：h_2：h_3=1：2：3，因为$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

所以 t_1：t_2：t_3=1：$\sqrt{2}$：$\sqrt{3}$，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】ABD．自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，由公式$\Delta v=gt$可知，相同时间内速度变化量一定相同，由公式$\Delta x=gT^2$可知，相邻相等时间间隔内位移之差都相等，故 ABD 正确；

C．自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，速度越来越大，相同时间内的平均速度一定不相同，故 C 错误。本题选错误的，故选 C。

3．D

【详解】将运动员上升过程中的匀减速运动逆向看作是自由落体运动，根据$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

可得$t_2:t_1=\left(\sqrt{\frac{2\cdot\frac{H}{2}}{g}}-\sqrt{\frac{2\cdot\frac{H}{4}}{g}}\right):\left(\sqrt{\frac{2\cdot\frac{3H}{4}}{g}}-\sqrt{\frac{2\cdot\frac{H}{2}}{g}}\right)=\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{3}-\sqrt{2}}\approx 1.3$，所以$1<\frac{t_2}{t_1}<2$

故选 D。

题型二：反应时间问题

【典型例题】

1．BC

【详解】AB．由题可知，手的位置在开始时应放在 0 刻度处，所以 0 刻度要在下边。物体做自由落体运动的位移$h=\frac{1}{2}gt^2$

位移与时间的平方成正比，所以随时间的增大，刻度尺上的间距增大．故测量的是乙的反应时间。故 A 错误，B 正确；

C．由公式$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=0.2\text{s}$，故 C 正确；

D．由公式$h=\frac{1}{2}gt^2$，位移与时间的平方成正比，故 D 错误。

故选 BC。

2．（1）180m；（2）55m；（3）15m/s

【详解】（1）由$v^2=2gh$，解得楼顶的高度为$h=\frac{v^2}{2g}=\frac{60^2}{2\times10}\text{m}=180\text{m}$

（2）由$v=gt$，解得物体下落的总时间$t=\frac{v}{g}=\frac{60}{10}\text{s}=6\text{s}$

则最后 1s 下落的高度为$\Delta h=h-\frac{1}{2}g\left(6\text{s}-1\text{s}\right)^2=180\text{m}-\frac{1}{2}\times10\times5^2\text{m}=55\text{m}$

（3）由于落地后不反弹，则 12s 内物体运动的路程为$s=h=180\text{ m}$

12s 内物体的平均速率为$\bar{v}=\frac{s}{t}=\frac{180}{12}\text{m/s}=15\text{m/s}$

【变式训练】

1．C

【详解】ABC．根据题意，由公式$h=\frac{1}{2}gt^2$可得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

可知，其“时间刻度”是不均匀的，且靠近直尺零刻度的地方“时间刻度”密，与长度刻度的平方根成正比例，故 AB 错误，C 正确；

D．由于月球上的重力加速度小，可知如果在月球上使用此刻度尺，刻度尺下落比地球上慢，同样的下落距离对应反映时间变长，“时间刻度”的每个数字应该成比例改大一些，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】圆棒做自由落体运动，下端到达人手位置时有$h=\frac{1}{2}gt_1^2$，解得$t_1=0.5\text{s}$

圆棒上端到达人手位置时有$L+h=\frac{1}{2}gt_2^2$，解得$t_2=\frac{\sqrt{30}}{10}\text{s}\approx 0.55\text{s}$

可知游戏者能抓住圆棒的时刻$0.5\text{s}\le t\le 0.55\text{s}$

可知，游戏者能抓住圆棒的时刻可能是 0.53s。，故选 C。

题型三：滴水问题

【典型例题】

1．B

【详解】由题意可知，每滴水落地所需时间为 2T，则有$H=\frac{1}{2}g(2T)^2$，可得当地重力加速度大小为$g=\frac{H}{2T^2}$

故选 B。

2．D

【详解】A．水滴在相邻两点之间的位移满足$x_{AB}:x_{BC}:x_{CD}=10\text{cm}:30\text{cm}:50\text{cm}=1:3:5$

根据初速度为零的匀加速直线运动的等分规律得$t_{AB}=t_{BC}=t_{CD}$，故 A 错误；

C．由$v=gt$水滴在各点速度之比为$v_B:v_C:v_D=1:2:3$，故 C 错误；

BD．由$a=\frac{\Delta x}{T^2}$得，间歇发光的间隔时间为$t=\sqrt{\frac{\Delta x}{g}}=\sqrt{\frac{0.3-0.1}{10}}\text{s}=\frac{\sqrt{2}}{10}\text{s}$，故 D 正确，B 错误。

故选 D。

【变式训练】

1．B

【详解】A．水滴初速度为零，仅受重力作用，故水滴做自由落体运动，故 A 错误；

B．相对于水滴 3 来说，水滴 2 的加速度为 0，速度为 gT，做匀速直线运动，故 B 正确；

C．设水滴 1 下落时间为t，水滴 1 和水滴 2 之间的距离为$\Delta h=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}g(t-T)^2=gT\left(t-\frac{T}{2}\right)$

故水滴 1 和水滴 2 之间的距离不断增大，故 C 错误；

D．根据匀加速直线运动连续相等时间内位移之差为定值，所以$x_{12}-x_{23}=gT^2$，故 D 错误。

故选 B。

2．C

【详解】A．水口到盘子的高度为 h，一滴水刚碰到盘子时，恰好有另一滴水刚开始下落，而空中还有一滴水正在下落，设相邻两滴水开始下落的时间间隔为Δt，由自由落体运动位移公式$h=\frac{1}{2}gt^2$可得$h=\frac{1}{2}g\left(2\Delta t\right)^2$可知第 1 滴水刚落至盘中时的时间为$2\Delta t$，第二滴水运动的时间为$t_2=\Delta t$，由于加速度相同，则它们的位移之比为$\frac{h}{h_2}=\frac{4}{1}$，

即第 2 滴水下落的高度为$h_2=\frac{1}{4}h$

则第 2 滴水距盘子的距离为$h_2'=\frac{3}{4}h$，A 错误；

BC．从第 1 滴水开始下落到第 n 滴水刚落至盘中（即第$n+2$滴水开始下落）所用时间为 t，

可知相邻两滴水间的时间间隔为$\Delta t=\frac{t}{n+1}$

则有每滴水在空中的下落时间为$t'=2\Delta t=\frac{2t}{n+1}$，B 错误，C 正确；

D．由自由落体运动位移公式可得$h=\frac{1}{2}gt'^2$，解得$g=\frac{2h}{t'^2}=\frac{h(n+1)^2}{2t^2}$，D 错误。

故选 C。

3．D

【详解】A．空中相邻的两个水滴间的时间间隔相同，但是水滴在做加速运动，加速度相同，所以下面的水滴相对上面水滴在匀速下落，间距变大，故 A 错误；

B．1 分钟内下落水滴 180 个，相邻水滴间隔$t_0=\frac{1}{3}\text{s}$，下落总时间$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=0.8\text{s}$

空中相邻的两个水滴的之间的最大间距是$\Delta h=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}g(t-t_0)^2=\frac{19}{9}\text{m}$，故 B 错误；

C．只有初速度为零匀加速时，才有相邻间距之比为 1：3，故不是始终存在，故 C 错误；

D．下落总时间是 0.8s，时间间隔为$\frac{1}{3}\text{s}$，空中有 3 个水滴和 2 个水滴的时间之比是$\frac{0.8-\frac{1}{3}\times2}{\frac{1}{3}\times3-0.8}=2:3$，故 D 正确。

故选 D。

题型四：频闪照相问题

【典型例题】

1．C

【详解】设拍照周期为T，从照片中可以看出小球落地的时间大约为 7 个拍照周期，教授的身高大约为$h=1.80\text{m}$

则小球下落的位移大约为$2h$，则有$\frac{1}{2}g\cdot(7T)^2=2h$，解得$T\approx0.1\text{s}$

故选 C。

2．A

【详解】A．根据题意，由图可知$x_{34}-x_{23}=x_{23}-x_{12}=d$，由$\Delta x=aT^2$

下落过程中的加速度大小约为$a=\frac{d}{T^2}$，故 A 正确；

B．经过位置 3 的瞬时速度大小约为$v_3=\frac{x_{34}+x_{23}}{2T}=\frac{7d}{2T}$，故 B 错误；

C．经过位置 4 的瞬时速度大小约为$v_4=v_3+gT=\frac{7d}{2T}+gT$，故 C 错误；

D．从位置 1 到 4 过程中的平均速度大小约为$v=\frac{x_{14}}{3T}=\frac{9d}{3T}$，故 D 错误。

故选 A。

【变式训练】

1．B

【详解】A．小球由静止释放做自由落体运动，因此小球从释放点开始在连续相同时间内的位移之比为1:3:5:7，对比题图可知，位置“0”不是小球由静止释放的位置，选项 A 错误；

B．根据匀变速直线运动的规律可知，小球在相同相邻时间间隔内的位移之差$\Delta x=gT^2$，结合题图分析可知$\Delta x=d$，

解得每块砖的厚度$d=gT^2=9.8\times0.1^2\text{m}=0.098\text{m}=9.8\text{cm}$；选项 B 正确；

C．小球经过位置“2”时的速度大小$v_2=\frac{x_{13}}{2T}=\frac{5\times0.098}{2\times0.1}\text{m/s}=2.45\text{m/s}$，选项 C 错误；

D．小球做自由落体运动，速度越来越大，因此下落相同的距离时所用的时间不相同，选项 D 错误；

故选 B。

2．BD

【详解】A．只有初速度为零的匀变速直线运动，从开始计时，连续相等时间内位移之比才为

$x_1:x_2:x_3=1:3:5$，但题中 A 点不一定是起点，故 A 错误；

B．羽毛下落到B点的速度大小为$v=\frac{x_1+x_2}{2T}$，故 B 正确；

C．如果 A 点是起点且拍照时苹果在 A 点开始运动，苹果在C点的速度大小为$2gT$，题目无此条件，故 C 错误；

D．根据$\Delta x=aT^2$可知羽毛下落的加速度大小为$a=\frac{x_3-x_1}{2T^2}$，故 D 正确。

故选 BD。

题型五：过窗问题

【典型例题】

1．CD

【详解】A．水滴做自由落体运动，则$v^2=2gH$

解得水滴下落到达窗台下边沿的速度大小$v=8\text{m/s}$，故 A 错误；

B．水滴下落到达窗台下边沿用时$t=\frac{v}{g}=0.8\text{s}$，而$t=4T$，得相邻水滴的时间间隔$T=0.2\text{s}$，故 B 错误；

C．设水滴下落到达窗台上边沿用时t_1，则$H-h=\frac{1}{2}gt_1^2$，得$t_1=0.6\text{s}$

水滴经过窗户的时间$\Delta t=t-t_1=0.2\text{s}$，故 C 正确；

D．水滴经过窗户的平均速度$\overline{v}=\frac{h}{\Delta t}=7\text{m/s}$，故 D 正确。

故选 CD。

2．B

【详解】设花盆下落点距离该同学家窗户上沿高度为h，则$h=\frac{1}{2}gt^2$；$h+2=\frac{1}{2}g(t+0.15)^2$

解得$t=1.26\text{s}$；$h=7.9\text{m}$

因每层楼高度为3m，则有$\frac{h}{3}=\frac{7.9}{3}=2.6$，则花盆是从该同学楼上的第3层落下。

故选B。

3．（1）3m/s；（2）0.2s

【详解】（1）圆棒底部距离A点高度为$h_1=2.1\text{m}-0.4\text{m}-1.25\text{m}=0.45\text{m}$

圆棒做自由落体运动下落到A点有$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$，解得$t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=0.3\text{s}$

则圆棒下端到达A点时的速度大小为$v_A=gt_1=3\text{m/s}$

（2）圆棒上端距离B点高度为$h_2=2.1\text{m}+0.4\text{m}-1.25\text{m}=1.25\text{m}$

圆棒做自由落体运动，当圆棒上端下落到B点有$h_2=\frac{1}{2}gt_2^2$，解得$t_2=\sqrt{\frac{2h_2}{g}}=0.5\text{s}$

则圆棒经过AB段所需的时间为$\Delta t=t_2-t_1=0.2\text{s}$

【变式训练】1．（1）0.6m；（2）0.35m　2．（1）2m/s；（2）$\sqrt{3}$m/s；（3）2m/s，0.2s

1．（1）0.6m；（2）0.35m。

【详解】（1）设木棒的长度为l，绳子剪断后木棒自由下落，故可将A、B两端分别看做自由下落的质点，它们下落到C点所用时间分别为t_1、t_2，依题意：$\frac{1}{2}gt_1^2=0.8\text{m}$；$\frac{1}{2}gt_2^2=0.8-l$；$t_1-t_2=0.2\text{s}$，解得：$l=0.6\text{m}$，$t_1=0.4\text{s}$，$t_2=0.2\text{s}$

（2）由于AD、DB两段通过C点的时间相同，则根据$\Delta x=aT^2$

可得：$AD-DB=g\left(\frac{t}{2}\right)^2=10\times\left(\frac{0.2}{2}\right)^2=0.1\text{s}$，而且：$AD+DB=l=0.6\text{m}$，联立解得：$AD=0.35\text{m}$

2．（1）2m/s；（2）$\sqrt{3}$m/s；（3）2m/s，0.2s

【详解】（1）根据题意可得$d=v_1t_1-\frac{1}{2}gt_1^2$，解得$v_1=2\text{m/s}$

（2）若小球运动中恰好未进入空管，则可知当小球到达N端面时恰好与空管达到共速，则$d=\frac{v_2^2}{2g}$，解得$v_2=\sqrt{3}\text{m/s}$

（3）若小球运动中恰好未穿过M端面，则可知当小球到达M端面时恰好与空管达到共速，则有$d+l=\frac{v_3^2}{2g}$；$v_3=gt_2$，联立解得$v_3=2\text{m/s}$；$t_2=0.2\text{s}$

根据（1）中可知，t_1=0.1s 时小球恰好到达 N 端面，可知小球从 N 端面到达 M 端面所用的时间为 0.1s，小球与空管在 M 端面达到共速后，设再经过 t_3 时间小球离开空管，则有 $l=\frac{1}{2}gt_3^2$

解得 $t_3=0.1\text{s}$，由此可得小球在空管中运动的时间 $t=t_2-t_1+t_3=0.2\text{s}$。

题型六：最后 1s、最后 1m 问题

【典型例题】

1．ABC

【详解】A．根据 $2gh=v^2$，则 $h=\frac{v^2}{2g}$

可知知道落地的速度可以求出塔的高度，故 A 正确；

B．设落地的总时间为 t，落地前 1s 内的位移等于 ts 内的位移减去 $(t-1)$s 内的位移，从而可以求出运动的时间 t，再根据位移时间公式 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 可得出下落的高度，故 B 正确；

C．若已知石块通过最后 1m 位移所用的时间，设下落总时间为 t，最后 1m 的时间为 t_0，则根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$；$h-1=\frac{1}{2}g(t-t_0)^2$，联立可求楼房的高度，故 C 正确。

D．由 $v=gt$ 可知，石子在 1s 末的速度恒为 10m/s，在 2s 末的速度恒为 20m/s，与塔的高度无关，故 D 错误。

故选 ABC。

2．C

【详解】AC．设小球下落的时间是 t，则有 $\Delta s=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}g(t-1)^2$，解得 $t=3\text{s}$

下落的高度为 $h=\frac{1}{2}gt^2=18\text{m}$，故 A 错误，C 正确；

B．小球下落的平均速度是 $\bar{v}=\frac{h}{t}=6\text{m/s}$，故 B 错误；

D．着地速度是 $v=gt=12\text{m/s}$，故 D 错误；

故选 C。

【变式训练】

1．A

【详解】由公式 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 可得第一米的时间为 $t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=\sqrt{\frac{1}{5}}\text{s}$

最后一米的时间为 $t_2=\sqrt{\frac{2h_{17}}{g}}-\sqrt{\frac{2h_{16}}{g}}=(\sqrt{\frac{17}{5}}-\sqrt{\frac{16}{5}})\text{s}$，则 $\frac{t_2}{t_1}=\frac{\sqrt{\frac{17}{5}}-\sqrt{\frac{16}{5}}}{\sqrt{\frac{1}{5}}}=\sqrt{17}-\sqrt{16}$

故选 A。

2．D

【详解】A．由自由落体的速度公式$v=gt$，得篮球下落的时间$t=\frac{v}{g}=\frac{20}{10}\text{s}=2\text{s}$，故A错误；

B．由自由落体的位移公式$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times2^2\text{m}=20\text{m}$，故B错误；

C．下落过程中的平均速度大小$\bar{v}=\frac{h}{t}=\frac{20}{2}\text{m/s}=10\text{m/s}$，故C错误；

D．最后1s的位移为$h'=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}g(t-1)^2=20\text{m}-5\text{m}=15\text{m}$，故D正确。

故选D。

3．AD

【详解】AB．设物体下落总时间为t，塔高为h，根据题意得$h=\frac{1}{2}gt^2$；$\frac{4}{9}h=\frac{1}{2}g(t-2)^2$

解得$h=180\text{m}$；$t=6\text{s}$，故A正确，B错误；

C．最后1s的初速度就是5s末的速度$v_5=gt_5=50\text{m/s}$，故C错误；

D．最后1s的末速度就是6s末的速度$v_6=gt_6=60\text{m/s}$

最后1s内的平均速度$\bar{v}=\frac{v_5+v_6}{2}=55\text{m/s}$，故D正确。

故选AD。

考点二：竖直上抛

题型一：基础题型

【典型例题】

1．B

【详解】A．竖直上抛运动先后两次经过同一点时速度大小相等，方向不同，故A错误；

B．根据速度—位移公式有$v_0^2=2gh$，解得$h=\frac{v_0^2}{2g}$，故B正确；

C．根据对称性可知，竖直上抛运动的物体从某点到最高点和从最高点回到该点的时间相等，故C错误；

D．竖直上抛运动的物体运动到最高点时合力为mg，加速度为g，故D错误；

故选B。

2．D

【详解】AD．螺钉松脱后先做竖直上抛运动，到达最高点后再做自由落体运动，故A错误，D正确；

C．规定向下为正方向，根据$v=-v_0+gt$，螺钉落到井底时的速度大小为$v=35\text{m/s}$，故C错误；

B．螺钉下降距离为$h'=-v_0t+\frac{1}{2}gt^2=60\text{m}$，因此井深$h=v_0t+h'=80\text{m}$，故B错误。

故选D。

3．(1)4.2s；(2)8m 和 22m

【详解】（1）取向上为正方向，达到最大速度之后以 g=10m/s² 向上做匀减速直线运动

由 $t_2=\frac{0-v_1}{-g}$，得 t_2=1.2s，则经历的时间为 $t=t_1+t_2$=4.2s

（2）取向上为正方向，向上匀加速的加速度为 $a=\frac{v_1}{t_1}$=4m/s²

向上匀加速阶段上升的高度为 $h_1=\frac{v_1^2}{2a}$=18m

当向上加速达到 v_2=8m/s 时，此时 $h_2=\frac{v_2^2}{2a}$=8m

从 12m/s 减速到 8m/s，由 $h_3=\frac{v_2^2-v_1^2}{-2g}$=4m

则此时距离地面的高度为 $h_4=h_1+h_3$=22m

即向上速度为 8m/s 时，距离地面高度为 8m 和 22m。

【变式训练】

1．BD

【详解】A．小球从抛出到上升到最高点的高度为 $h=\frac{v_0^2}{2g}=5\,\mathrm{m}$

若以抛出点为坐标原点，则小球在最高点的坐标为 5m，故 A 错误；

B．在距离地面 15m 高的位置抛出小球，由上可知以抛出点为坐标原点，竖直向上为正方向，即从最高点到落地点，小球的位移为−20m；故 B 正确；

C．小球从抛出点到最高点的时间 $t_1=\frac{v_0}{g}=1\,\mathrm{s}$

从最高点到落地做自由落体运动，下落时间 $t_2=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{2\times20}{10}}$ s=2s

所以小球从抛出到落地总时间 $t=t_1+t_2=3\,\mathrm{s}$

所从抛出点到落地点，小球的平均速度为 $\bar{v}=\frac{s}{t}=\frac{-15}{3}\,\mathrm{m/s}=-5\,\mathrm{m/s}$，故 C 错误；

D．小球落地时的速度为 $v=-gt_2=-20\,\mathrm{m/s}$

从抛出点到落地点，小球的速度变化量为 $\Delta v=v-v_0=-30\,\mathrm{m/s}$，故 D 正确；

故选 BD。

2．D

【详解】A．根据速度与时间的关系可知 $\Delta v=g\Delta t=10\,\mathrm{m/s}$，故 A 错误；

B．加速度为重力加速度，则第 1s 内的速度变化比第 3s 内的速度变化的快慢相等，故 B 错误；

C．根据速度与时间的关系可知上升的时间为 $t_1=\frac{v_0}{g}=1.5\,\mathrm{s}$

根据对称性可知，第 1s 内的位移等于前 2s 内的位移，根据平均速度的公式 $\bar{v}=\frac{x}{t}$

可知第 1s 内的平均速度大于前 2s 内的平均速度，故 C 错误，D 正确；

故选 D。

3．（1）10m　（2）15m/s　（3）24m

【详解】（1）设小物体离开气球时，气球离地的高度为 h，取竖直向上为正方向，则 $-h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$

代入得：$h=\frac{1}{2}gt^2-v_0t=\frac{1}{2}\times10\times2^2-5\times2=10\text{m}$

（2）小物体着地时的速度大小为 $v_t=v_0-gt=5-10\times2=-15\ m/s$，（“-”表示方向向下）

（3）小物体着地时，气球的高度 $H=h+(v_0t+\frac{1}{2}at^2)=10+(5\times2+\frac{1}{2}\times2\times2^2)=24\text{ m}$

题型二：竖直上抛中的对称问题与多解问题

【典型例题】

1．AC

【详解】依题意，若物体在塔顶上方时，有两种情况：

一、若物体未上升到最大高度，向上运动到位移大小为 10m 时，则通过的路程为 10m

二、若物体上升到最大高度后，返回过程中位移大小为 10m 时，则通过的路程为 $s=20\text{m}+10\text{m}=30\text{m}$

若物体在塔顶下方 10m 处时，则该情况下通过的路程为 $s=2\times20\text{m}+10\text{m}=50\text{m}$

故选 AC。

2．B

【详解】根据竖直上抛运动的对称性可知，空中的四个球，有两个在上升，两个在下降，由于每隔 0.4s 抛一个，因此从抛出到最高点的时间为 $t=0.8\text{s}$，所以上升的最大高度为 $h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times0.8^2\text{m}=3.2\text{m}$

故选 B。

3．A

【详解】小球做竖直上抛运动，根据运动时间的对称性得到物体从最高点自由下落到 A 点的时间为 $\frac{t_A}{2}$，最高点到 B 点的时间为 $\frac{t_B}{2}$，AB 间距离为 $h_{AB}=\frac{1}{2}g\left(t_A^2-t_B^2\right)=\frac{1}{2}\times10\times\left(2.5^2-1.5^2\right)\text{m}=20\text{m}$

故选 A。

【变式训练】

1．AD

【详解】A．石子做竖直上抛运动，上升的总时间为 3s，由对称性可知，第 2s 末和第 4s 末石子经过同一位置，速率相等，故 A 正确。

B．第 2s 末和第 4s 末速度大小相等，方向相反，则速度不同，故 B 错误。

C．石子做竖直上抛运动，路程不断增大，则前 2s 内的路程比前 4s 内路程小，故 C 错误。

D．由于第 2s 末和第 4s 末石子经过同一位置，所以前 2s 内和前 4s 内位移相同，故 D 正确。

故选 AD。

2．ACD

【详解】根据运动学公式可得 $x=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$

若石块运动到离抛出点上方 15m 处，则有 $15=20t-5t^2$，解得 $t=1\text{s}$ 或 $t=3\text{s}$

若石块运动到离抛出点下方 15m 处，则有 $-15=20t-5t^2$，解得 $t=(2+\sqrt{7})\text{s}$ 或 $t=(2-\sqrt{7})\text{s}$（舍去）

故选 ACD。

3．A

【详解】A．规定向上为正方向，根据 $v^2-v_0^2=-2gh$，得 $h=\frac{10^2-20^2}{-2\times10}\text{m}=15\text{m}$，A 正确；

B．若小球的末速度方向与初速度方向相同，根据 $v=v_0-gt$；$10=20-10t$，联立解得 $t=1\text{s}$

若小球的末速度方向与初速度方向相反，根据 $v=v_0-gt$；$-10=20-10t$，联立解得 $t=3\text{s}$，B 错误；

CD．根据平均速度 $\overline{v}=\frac{v+v_0}{2}$，

若小球末速度方向与初速度方向相同，则平均速度 $\overline{v}=\frac{v+v_0}{2}=\frac{10+20}{2}\text{m/s}=15\text{m/s}$，方向向上，

若小球的末速度方向与初速度方向相反，$\overline{v}=\frac{v+v_0}{2}=\frac{-10+20}{2}\text{m/s}=5\text{m/s}$ 方向向上，CD 错误。

故选 A。

题型三：竖直上抛的相遇问题

【典型例题】

1．A

【分析】小球 A 做自由落体运动，小球 B 做竖直上抛运动；根据位移时间公式分别求出 A 和 B 的位移大小，两球在空中相碰，知两球的位移之和等于 20m，列式求解，判断.

【详解】小球 A 做自由落体运动，小球 B 做竖直上抛运动，设经过时间 t 在空中相遇

A 自由落体位移 $h_1=\frac{1}{2}gt^2$

B 竖直上抛的位移 $h_2=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$；$h_1+h_2=20$，联立可得：t=1s，则：

A 项：相遇时，A 球的速率 $v_A=gt=10\text{m/s}$，B 球的速率 $v_B=v_0-gt=$（20-10）m/s=10m/s，故 A 正确；

B 项：由上面分析可知，相遇时离地面高度 $h_2=20\times1-\frac{1}{2}\times10\times1=15m$，故 B 错误；

C 项：由上面分析可知，经过 1s 两球相遇，故 C 错误；

D 项：由题意知，B 求速度减为零的时间为 $t'=\frac{v_0}{g}=2s$，两球第一次相遇后，A 球继续下落，B 求继续向上运动，

当 B 球上升到最高点时，A 球下落距离 $H=20\text{m}$，故两球不可能在空中相遇两次，故 D 错误.

故应选：A.

【变式训练】

1．BC

【详解】A．由于竖直上抛相对于自由落体为匀速运动，故两球相遇时满足$H=v_0t$，即为$20\text{m}=v_0t$

要使两球在空中相遇，则有相遇时间一定小于竖直上抛全过程的时间，设全过程时间为t'，则$t'=\frac{2v_0}{g}$，相遇条件为$t<t'$，即$\frac{20}{v_0}<\frac{2v_0}{g}$，解得$v_0>10\text{m/s}$，故A错误；

B．要使B球在上升阶段与A球相遇，则有相遇时间小于竖直上抛上升时间t_1，可得$t<t_1$

即$\frac{20}{v_0}<\frac{v_0}{g}$，解得$v_0>10\sqrt{2}\text{m/s}$，故B正确；

C.要使B球在下落阶段与A球相遇，则有相遇时间大于竖直上抛上升时间t_1，小于全过程时间为t'，可得$t_1<t<t'$，

即$\frac{v_0}{g}<\frac{20}{v_0}<\frac{2v_0}{g}$，解得$10\text{m/s}<v_0<10\sqrt{2}\text{m/s}$，故C正确；

D．设A、B两球经过时间t相遇，因B相对A做匀速直线运动，且速度为B的初速度v_0，则$H=v_0t$，解得$t=1\text{s}$，

故D错误。

故选BC。

2．(1)$\frac{L}{v_0}$(2)$v_0>\sqrt{(h+L)g}$

【详解】（1）设经过时间t_1小球进入管，则有$\frac{1}{2}gt_1^2+v_0t_1-\frac{1}{2}gt_1^2=h$，解得$t_1=\frac{h}{v_0}$

设经过时间t_2小球穿出管，则有$\frac{1}{2}gt_2^2+v_0t_2-\frac{1}{2}gt_2^2=h+L$，解得$t_2=\frac{h+L}{v_0}$

小球穿过管所用时间$\Delta t=t_2-t_1=\frac{L}{v_0}$

（2）管上升的时间为$t_0=\frac{v_0}{g}$，小球在管上升阶段完全穿过管，则有$t_2<t_0$，解得$v_0>\sqrt{(h+L)g}$

题型四：竖直上抛的相对运动问题

【典型例题】

1．A

【详解】试题分析：当上抛的物体回到抛出点时，做初速度为v的下抛运动，之后的运动和下抛物体的运动相同，即运动时间相同，所以两者落地的时间差正好是上抛物体上升和回到抛出点的时间，上抛物体回到抛出点的运动过程中，加速度为g，初速度为v，末速度为-v，所以有$t=\frac{-v-v}{-g}=\frac{2v}{g}$，A正确

【变式训练】

1．B【详解】设抛出第二个小球经t'时间与第一个小球相遇，由竖直上抛运动公式，

则有$v_0(t'+0.4)-\frac{1}{2}g(t'+0.4)^2=v_0t'-\frac{1}{2}gt'^2$，解得$t'=0.8\text{s}$

则两小球在空中相遇的时刻为$t''=0.8\text{s}+0.4\text{s}=1.2\text{s}$

故选B。

2．B

【详解】A．t=2s 时，两球运动的位移相差 $\Delta x=\frac{30+10}{2}\times 2\mathrm{m}=40\mathrm{m}$

但两小球是从距地面不同高度处竖直向上抛出，故无法判断两小球的高度差，一定不等于 40m，故 A 错误；

B．根据 v-t 图像中图线与坐标轴包围的面积表示位移知，

t=4s 时两球的位移都是 $x=\frac{30+10}{2}\times 2\mathrm{m}=40\mathrm{m}$，故 B 正确；

C．两小球以同样的速度在距地面不同高度处竖直向上抛出，则两球从抛出至落到地面所用的时间不相等，故 C 错误；

D．两小球竖直向上的初速度相同，由 $0=v_0-gt$，可得 $t=\frac{v_0}{g}$

可知甲球与乙球从抛出至到达最高点的时间相等，故 D 错误。

故选 B。

第七讲：追击相遇专题

题型一：高速追低速

【典型例题】

1．D

【详解】AB．设 v_1=18m/s，v_2=6m/s，t=3s，两车恰好没有追尾，即两车速度相等时相遇，据匀减速的平均速度为 $\bar{v}=\frac{v_1+v_2}{2}=12\,\text{m/s}$，距离为 $x=\bar{v}t=36\,\text{m}$，故 AB 错误；

C．由加速度公式有 $a=\frac{\Delta v}{t}=-4\,\text{m/s}^2$，即小汽车加速度大小为 4 m/s²，故 C 错误；

D．小汽车的位移为 $x'=v_2t=18\,\text{m}$，刹车时小汽车离卡车 $\Delta x=x-x'=18\,\text{m}$，故 D 正确；

故选 D。

2．(1)10s，12m/s；(2)0.75m/s^2

【详解】（1）设泥石流到达坡底的时间为 t_1，速度为 v_1，根据位移时间公式和速度时间公式有

$s_1=v_0t_1+\frac{1}{2}a_1t_1^2$；$v_1=v_0+a_1t_1$，代入数据得 $t_1=10\text{s}$；$v_1=12\text{m/s}$

（2）泥石流在水平地面上做匀速直线运动，故汽车的速度加速至 v_1，且两者在水平地面的位移刚好相等就安全了，设汽车加速时间为 t，故有 $v_{汽}=v_1=at$；$s_{汽}=\frac{v_1^2}{2a}$；$s_{汽}=v_1(t+2-t_1)$

联立各式代入数据解得 $a=0.75\text{m/s}^2$

3．(1)$t_1=1\text{s}$，$x_1=6\,\text{m}$(2)6s(3)$\sqrt{13}\,\text{m/s}$

【详解】（1）高中生匀加速过程有 $v_1=v_0+a_2t_1$，解得 $t_1=1\text{s}$，根据 $x_1=\frac{1}{2}(v_0+v_1)t_1$，解得 $x_1=6\,\text{m}$

（2）设匀速阶段经历时间 t_2，高中追上车头，汽车运动位移 $x_{车}=\frac{1}{2}a_1(t_1+t_2)^2$

学生运动位移 $x_{人}=x_1+v_1t_2$；汽车、学生位移满足 $x_{人}=x_{车}+x_0$

联立上述方程，解得 $t_2=5\text{s}$，故，学生能够追上，耗时 $t=t_1+t_2=6\text{s}$

（3）中老年人的速度设为 v，经历时间 t 可以出现在汽车后视镜内，汽车位移 $x_c=\frac{1}{2}a_1t^2$

中老年人位移 $x_r=vt$，两位移满足关系 $x_r=x_c+x_0-L$

联立，方程有两解 $t_1'=v-\sqrt{v^2-12}$，$t_2'=v+\sqrt{v^2-12}$

在后视镜中保留时间 $t_2'-t_1'\geq\Delta t$，代入解得 $v'\geq\sqrt{13}\,\text{m/s}$

该中老年人想要乘车，其运动最小速度为 $\sqrt{13}\,\text{m/s}$

【变式训练】

1．（1）5s；（2）50m

【详解】（1）设历时t_x乙车追上甲车，有$v_1t_x+x_0=v_2t_x$，代入数据得$10t_x+100=30t_x$，解得$t_x=5\text{s}$

（2）乙车减速后历时t_x'与甲车速度相等，有$v_1=v_2-at_x'$，代入数据得$10=30-5t_x'$，解得$t_x'=4\text{s}$

当两车速度相等时，甲车位移为$x_1=v_1\left(\Delta t+t_x'\right)$，其中$\Delta t=t_2-t_1=0.5\text{s}$，，代入数据得$x_1=10\left(0.5+4\right)\text{m}=45\text{m}$

乙车位移为$x_2=v_2\Delta t+v_2t_x'-\frac{1}{2}at_x'^2$，代入数据得$x_2=\left(30\times0.5+30\times4-\frac{1}{2}\times5\times4^2\right)\text{m}=95\text{m}$

则两车相距最近时的距离为$\Delta x=x_0+x_1-x_2=50\text{m}$

2．(1)$v_1=12\text{m/s}$；(2)$a_2=2\text{m/s}^2$

【详解】（1）根据运动学公式$v_1^2-v_0^2=-2a_1L$，可得$v_1=12\text{m/s}$

（2）人避险的最小加速度为a_2，假设达到最大速度前追上，且追上时二者速度相同时，可得

$x_{泥}-x_{人}=L$；$x_{人}=\frac{1}{2}a_2t^2$；$x_{泥}=v_0t-\frac{1}{2}a_1t^2$；$a_2t=v_0-a_1t$

求解可知假设不成立，速度大于人的最大速度；

故追上前，人已经达到最大速度，则$v_0-a_1t=8\text{m/s}$，解得$t=7\text{s}$

则$x_{泥}=v_0t-\frac{1}{2}a_1t^2=80.5\text{m}$，则$x_{人}=\frac{v_2^2}{2a_2}+v_2\left(t-\frac{v_2}{a_2}\right)$，解得$a_2=2\text{m/s}^2$

3．(1)会相撞；(2)$d=1.5\text{m}$

【详解】（1）设轿车乙运动到减速带前的速度大小为v_2，假设轿车乙能在减速带中减速到零，减速距离为x_3，

有$v_1^2-v_2^2=2a_{外}x_2$；$v_2^2=2a_{内}x_3$，解得$x_3>x_1$，两车会相撞。

（2）当两车速度相等时，两车的距离最小，设轿车乙在减速带外的减速时间为t_1，从轿车乙开始减速经过t_2两

车速度相等，有$t_1=\frac{v_1-v_2}{a_{外}}$；$v_1-a_{外}t_1-a_{内}\left(t_2-t_1\right)=a_{甲}\left(t_2-\Delta t\right)$

$d=x_1+x_2+\frac{1}{2}a_{甲}\left(t_2-\Delta t\right)^2-x_2-v_2\left(t_2-t_1\right)+\frac{1}{2}a_{内}\left(t_2-t_1\right)^2$，解得$d=1.5\text{m}$

题型二：低速追高速

【典型例题】

1．(1)$t=20\text{s}$，$x=400\text{m}$ (2)$t_1=5\text{s}$，$\Delta x=225\text{m}$

【详解】（1）设经过时间t甲追上乙，$a=2\text{m/s}^2$，对甲有$x=\frac{1}{2}at^2$

乙物体做匀速直线运动，$x_0=200\text{m}$，$v=10\text{m/s}$，有$x=x_0+vt$

联立解得$t=20\text{s}$（$t=-10\text{s}$舍去），$x=400\text{m}$

（2）当甲乙的速度相等时距离最远，设时间为t_1，相距的最远距离为Δx，有$v=at_1$

$\Delta x=x_0+vt_1-\frac{1}{2}at_1^2$，联立解得$t_1=5\text{s}$，$\Delta x=225\text{m}$

2．(1)18m；(2)5s；(3)28m/s

【详解】（1）当汽车 A 的速度小于出租车 B 的速度时，两车距离逐渐增大，两车速度相同时距离最大，可得$v_{0\text{B}}=v_{0\text{A}}+at_1$，解得$t_1=2\text{s}$

又$x_{1\text{B}}=v_{0\text{B}}t_1$；$x_{1\text{A}}=\frac{v_{0A}+v_{0\text{B}}}{2}t_1$，则速度相同时两车的位移差$\Delta x=x_{1\text{B}}+s_0-x_{1\text{A}}$，解得$\Delta x=18\text{m}$

（2）汽车 A 与出租车 B 相遇时，有$v_{0\text{A}}t_2+\frac{1}{2}at_2^2=s_0+v_{0\text{B}}t_2$

求得$t_2=-1\text{s}$（舍去）或$t=5\text{s}$故汽车 A 与出租车 B 相遇时的时间为 5s；

（3）相遇时汽车 A 的速度大小$v_{\text{A}}=v_{0\text{A}}+at_2=28\text{m/s}$

3．(1)25m；(2)6.5s

【详解】（1）设速度相等所用时间为 t1 $v_2=v_1-at_1$，解得$t_1=2\text{s}$

小汽车追上卡车前，两车间的最大距离 d $d=x_0+\left(\frac{v_1+v_2}{2}t_1-v_2t_1\right)=25\text{m}$

（2）设卡车停止运动的时间为 t2 $t_2=\frac{v_1}{a}=6\text{s}$

卡车运动的距离为$x_1=\frac{v_1}{2}t_2=45\text{m}$

小汽车追上卡车所需的时间$t_3=\frac{x_0+x_1}{v_2}=6.5\text{s}>6\text{s}$

小汽车追上卡车所需的时间为 6.5s。

4．(1)5s、15s、$(10+5\sqrt{15})\text{s}$；(2)10s，200m；(3)$(10+10\sqrt{2})\text{s}$，$(20+20\sqrt{2})\text{m/s}$；(4)32.5s

【详解】（1）甲车的位移为$x_1=vt$；乙车的位移为$x_2=\frac{1}{2}at^2$

若两车相距为 175m 时，甲车在前，则$x=x_1-x_2+x_0$，解得$t_1=5\text{s}$或$t_2=15\text{s}$

若两车相距为 175m 时，乙车在前，则$x=x_2-x_1-x_0$，解得$t_3=(10+5\sqrt{15})\text{s}$

（2）在甲车在前，乙车在后的情况下，两车共速时，两车相距最远，则$t_4=\frac{v}{a}=\frac{20}{2}\text{s}=10\text{s}$

最远距离是$x_{\text{m}}=vt_4-\frac{1}{2}at_4^2+x_0=20\times10-\frac{1}{2}\times2\times10^2+100\text{m}=200\text{m}$

（3）乙车追上甲车，则$\frac{1}{2}at^2-vt-x_0=0$，解得$t_5=(10+10\sqrt{2})\text{s}$

追上时乙车的速度大小为$v_5=at_5=\left(20+20\sqrt{2}\right)\text{m/s}$

（4）根据 $v_5=(20+20\sqrt{2})\text{m/s}>v_m=30\text{m/s}$

可知乙车追上甲车时，乙车以达到最大速度，乙车加速到最大速度的时间为 $t_6=\frac{v_m}{a}=15\text{s}$

设乙车追上甲车的时间为 t_7，则 $vt_7+x_0=\frac{1}{2}at_6^2+v_m(t_7-t_6)$，解得 $t_7=32.5\text{s}$

【变式训练】

1．(1)20m；(2)9s

【详解】（1）当两物体速度相等时距离最大 $v_A=v_B+at$，得 $t=3\text{s}$

这段时间内 A 物体运动距离 $x_A=v_At=12\text{m}$；B 物体运动距离 $x_B=v_Bt+\frac{1}{2}at^2=21\text{m}$

A、B 两物体间最大距离 $s=x+x_B-x_A=20\text{m}$

（2）B 停止需要时间 $t'=\frac{0-v_B}{a}=5\text{s}$

这段时间内 B 位移 $x'=\frac{v_B}{2}t'=25\text{m}$；A 的位移为 $x_A'=v_At'=20\text{m}<x'+x$

故当 B 停止时 A 还未追上 B，A 追上 B 所经历的时间 $t_0=\frac{x+x'}{v_A}=9\text{s}$

2．(1)2s；(2)5s；(3)20m/s，超速了

【详解】（1）设经过 t_1 时间，汽车的速度和自行车速度相等，则有 $v_{自}=at_1$，解得 $t_1=2\text{s}$

（2）设经过 t 时间，汽车追上自行车，根据位移关系可得 $x_{汽}=x_0+x_{自}$

其中 $x_{汽}=\frac{1}{2}at^2$，$x_{自}=v_{自}t$，$x_0=10m$，代入数据解得 $t=5\text{s}$ 或 $t=-1\text{s}$（舍去）

（3）追上自行车时，汽车的速度为 $v=at=20\text{m/s}$

由于 $v=20\text{m/s}=72\text{km/h}>60\text{km/h}$，可知汽车超速了。

3．(1)36m；(2)6.5s

【详解】(1)已知货车的初速度为 $v_1=12\text{m/s}$，加速度大小为 $a_1=2\text{m/s}^2$，货车做匀减速运动的时间为 $t_1=\frac{v_1}{a_1}=6\text{s}$

货车做匀减速运动的位移为 $x_1=\frac{1}{2}v_1t_1$，解得 $x_1=36\text{m}$

（2）已知该自行车的加速度为 $a_2=2\text{m/s}^2$，最大速度为 $v_2=8\text{m/s}$，自行车做匀加速运动达到最大速度的时间和位移分别为 $t_2=\frac{v_2}{a_2}=4\text{s}$，则位移为 $x_2=\frac{1}{2}v_2t_2$，解得 $x_2=16\text{m}$

之后自行车以最大速度做匀速直线运动，到货车停止运动时，

其位移为 $x_3=v_2(t_1-t_2)=8\times2\text{m}=16\text{m}$

由于$x_2+x_3<x_1$，故货车停止运动时，自行车没有追上货车，然后自行车继续以最大速度匀速运动追赶货车，由匀速运动公式得$x_1-(x_2+x_3)=v_2t_3$，代入数据解得$t_3=0.5\text{s}$

自行车追上货车的时间$t=t_1+t_3=6.5\text{s}$

4．（1）55.5m；（2）200m

【详解】（1）乙车行驶 t_1=3s 运动的距离$x_{乙1}=\frac{1}{2}a_{乙1}t_1^2=9\text{m}$；此时乙的速度为$v_{乙1}=a_{乙1}t_1=6\text{m/s}$

乙车减速至速度为零时时间$t_2=\frac{v_{乙1}}{a_{乙2}}=\frac{6}{1.5}\text{s}=4\text{s}$；位移$x_{乙2}=\frac{v_{乙1}}{2}t_2=12\text{m}$

此过程中甲的位移$x_{甲}=\frac{1}{2}a_{甲}(t_1+t_2)^2=24.5\text{m}$

乙车减速至速度为零时，两车间的距离$\Delta x=101\text{m}-24.5\text{m}-9\text{m}-12\text{m}=55.5\text{m}$

（2）乙车减速至速度为零时，甲车的速度$v_{甲1}=a_{甲}(t_1+t_2)=7\text{m/s}$

甲车达到最大速度的时间为$t_{甲}=\frac{v_{甲m}-v_{甲1}}{a_{甲}}=\frac{20-7}{1}\text{s}=13\text{s}$

乙车达到最大速度的时间为$t_{乙}=\frac{v_{乙m}}{a_{乙2}}=\frac{15}{1.5}\text{s}=10\text{s}$

设再经过时间 t_3 两车相遇，假设此时两车都已达到最大速度，

则$\frac{v_{乙m}}{2}t_{乙}+v_{乙m}(t_3-t_{乙})+\Delta x=\frac{v_{甲m}+v_{甲1}}{2}t_{甲}+v_{甲m}(t_3-t_{甲})$，解得 t_3=13s

因$t_3=t_{甲}>t_{乙}$可知假设成立；

此时甲的位移$s=\frac{1}{2}a_{甲}(t_1+t_2+t_3)^2=200\text{m}$

题型三：避免碰撞

【典型例题】

1．(1)100s；(2)0.12m/s^2；(3)1400m

【详解】（1）由题意分析可知，要使两车不相撞，它们的运动满足$v_{快}-at=v_{货}$；$\frac{v_{快}+v_{货}}{2}t=v_{货}t+\Delta x$

联立可得，快车从制动到两车恰好不相撞的时间为$t=100\text{s}$

（2）根据$v_{快}-at=v_{货}$，解得$a=0.12\text{m/s}^2$

（3）由运动学公式$x=\frac{v_{快}+v_{货}}{2}t$

从制动到两车不相撞快车的位移为$x=1400\text{m}$

2．（1）两者不会相遇；（2）没有违反要求；（3）$a_2\geq\frac{5}{3}\text{m/s}^2$

【详解】（1）从题述时刻到轿车车尾离开人行道所需的时间$t=\frac{L_1+L+L_2}{v_0}=3.8\text{s}$

行人在这段时间内的位移为$x_0=v_1t=3.8\text{m}$，则有$x_0-L_4=0.8\text{m}$，可知，两者不会相遇。

（2）从题述时刻到行人走上人行道所用时间$t_1=\frac{L_4}{v_1}=3\text{s}$；在3s内轿车的位移$x=v_0t_1+\frac{1}{2}at_1^2$

代入数据得$x=39\text{m}>L_1+L+L_2$

故没有违反要求。

（3）从题述时刻到行人穿过人行道所用时间$t_2=\frac{L_3+L_4}{v_1}=12\text{s}$

要保证不违反要求，轿车必须在12s内到达停止线，所以轿车在30m内速度减小为零时对应的加速度最小

$a_{2\min}=\frac{v_0^2}{2L_1}=\frac{5}{3}\text{m/s}^2$；故轿车的加速度大小应满足$a_2\geq\frac{5}{3}\text{m/s}^2$

变式:

1．(1)两车会发生相撞事故；(2)0.8m/s^2

【详解】（1）轿车车头到达O点的时间为$t_1=\frac{x_1}{v_1}=\frac{20}{8}\text{s}=2.5\text{s}$

轿车通过O点的时间为$\Delta t=\frac{\Delta x}{v_1}=\frac{4.8}{8}\text{s}=0.6\text{s}$

助力车到达O点的时间为$t_2=\frac{x_2}{v_2}=\frac{20}{7}\text{s}\approx2.86\text{s}$，由于$t_1<t_2<t_1+\Delta t$，故两车会发生相撞事故。

（2）阻力车到达O点的时间小于$t_1=2.5\text{s}$，可避免交通事故发生，设助力车的最小加速度为$a_{\min}$，则

$x_2=v_2t_1+\frac{1}{2}a_{\min}t_1^2$，解得$a_{\min}=0.8\text{m/s}^2$

2．(1)40m；(2)小车会被小球砸到，5m；(3)见解析

【详解】（1）设小球从最高点下落至地面所用的时间为t，最大高度为h，则有$h=\frac{1}{2}gt^2$

$h-25=\frac{1}{2}g(t-1)^2$，解得$t=3\text{s}$，$h=45\text{m}$

则小球抛出点离地面的高度为$H=h-\frac{v_0^2}{2g}=45\text{m}-\frac{10^2}{2\times10}\text{m}=40\text{m}$

（2）若小球刚好到最高点时，小车由静止开始向右做$a_1=2\text{m/s}^2$匀加速直线运动，则小球下落至地面时，小车

通过的位移大小为$x=\frac{1}{2}a_1t^2=\frac{1}{2}\times2\times3^2\text{m}=9\text{m}$，由于$s<x<s+L_1$

则小车会被小球砸到；小球砸到小车上的位置到M点的距离为$\Delta x=x-s=9\text{m}-4\text{m}=5\text{m}$

（3）若小车在小球的左侧且M端距离小球抛出点的正下方$s'=18\text{m}$，当小球抛出2s时，小车以$v_0=10\text{m/s}$的初

速度向小球正下方做匀变速运动，可知小球从抛出2s到下落至地面所用时间为$t'=3\text{s}-2\text{s}=1\text{s}$

若小车以$v_0=10\text{m/s}$做匀速直线运动，则有$x_0=v_0t'=10\text{m}<s'=18\text{m}$

可知若小车做匀减速直线运动，则加速度取任意值都可避免小球砸到小车；

若小车做匀加速直线运动，当小球到达地面时，M端刚好到达小球正下方，则有$s'=v_0t'+\frac{1}{2}a_1t'^2$

解得$a_1=16\text{m/s}^2$

当小球到达地面时，N 端刚好到达小球正下方，则有 $s'+L_1=v_0t'+\frac{1}{2}a_2t'^2$，解得 $a_2=32\text{m/s}^2$

则当加速度大小满足 $0\le a<16\text{m/s}^2$ 或 $a>32\text{m/s}^2$，可避免小球砸到小车。

3．（1）10m；（2）26.2m；（3）i．12.25m；ii．2.6s

【详解】（1）由题可知甲车刚刚并线结束时，甲车比乙车多行驶的距离为 $\Delta x'=(v-v_0)t_0=6\text{ m}$

则甲车车尾与乙车车头之间的距离为 $\Delta x_1=\Delta x'+d=10\text{ m}$

（2）并线完成后，甲车立刻以大小为 $a=2.5\text{m/s}^2$ 的加速度匀减速刹车，设经过时间 t_1，丙车和甲车共速，则有 $t_1=\frac{v-v_0}{a}=2.4\text{ s}$

则甲车的位移为 $x_1=\frac{v+v_0}{2}t_1=31.2\text{ m}$，乙车的位移为 $x_2=v_0t_1=24\text{ m}$

此时甲车前端与乙车前端相距 $\Delta x_2=\Delta x_1+d+(x_1-x_2)=21.2\text{ m}$

此时甲车车头与前面丙车车尾的距离最小为 Δx =5m，

乙车车头到丙车车尾之间距离至少为 $\Delta x_2'=\Delta x_2+\Delta x=26.2\text{ m}$

（3）i．设甲车与乙车共速的时间为 t_2，则有 $t_2=\frac{v-v_0}{a_1}=0.75\text{ s}$

甲车车尾与乙车车头的最大距离为 $\Delta x_3=\Delta x_1+\frac{v+v_0}{2}t_2-v_0t_2=12.25\text{ m}$

ii．设甲车刹车的时间为 t_3，则有 $t_3=\frac{v}{a_1}=2\text{ s}$

甲车的位移为 $x_1'=\frac{v}{2}t_3=16\text{ m}$

乙车的位移为 $x_2'=v_0t_3=20\text{ m}$

此时由于 $x_2'-x_1'=4\text{ m}<10\text{m}$

则甲车停止后，乙继续向前行驶，有 $t_4=\frac{\Delta x_1-(x_2'-x_1')}{v_0}=0.6\text{ s}$

甲乙两车相撞用时 $t_{总}=t_3+t_4=2.6\text{ s}$

题型四：追击猎物

【典型例题】

1．B

【详解】A．猎豹和羚羊加速运动的时间分别为 $t_{豹}=\frac{30}{9}\text{s}=\frac{10}{3}\text{s}$；$t_{羊}=\frac{25}{12.5}\text{s}=2\text{s}$

A 错误；

BC．羚羊的最大加速度大，在羚羊达到最大速度之前，羚羊的速度一直大于猎豹的速度，猎豹和羚羊间的距离越来越大。羚羊的速度先达到最大，猎豹的最大速度大于羚羊的最大速度，所以在猎豹达到最大速度之前，猎豹和羚羊间的距离先变大后变小，B 正确，C 错误；

D．根据运动规律可知，当猎豹与羚羊的速度相同，即猎豹达到羚羊的最大速度时，猎豹和羚羊相距最远，D 错误。

故选 B。

2．（1）$x \le 21.7\text{m}$；（2）$x \le 42.5\text{m}$；（3）$x \le 47.5\text{m}$

【详解】（1）羚羊做加速运动的加速度大小为 $a_1=\frac{v_1^2}{2x_1}=\frac{25^2}{2\times 50}\text{m/s}^2=6.25\text{m/s}^2$

羚羊做加速运动的时间为 $t_1=\frac{v_1}{a_1}=\frac{25}{6.25}\text{s}=4.0\text{s}$

而猎豹做加速运动的加速度为 $a_2=\frac{v_2^2}{2x_2}=\frac{30^2}{2\times 60}\text{m/s}^2=7.5\text{m/s}^2$

猎豹做加速运动的时间为 $t_2=\frac{v_2}{a_2}=\frac{30}{7.5}\text{s}=4.0\text{s}$

因 $t_2=t_1$，猎豹要在其加速阶段追上羚羊，猎豹运动的时间 $t \le 4\text{s}$，所以猎豹追上羚羊时，羚羊也正在加速运动，则有 $\frac{1}{2}a_2t^2 \ge \frac{1}{2}\left(t-t'\right)^2+x$，解得 $x \le 21.7\text{m}$

（2）设猎豹在维持最大速度的时间内追到羚羊，由题意得总时间 $t \le 8.0\text{s}$，由 $t_2=t_1$ 可知，当猎豹进入匀速运动过程 0.5s 后，羚羊将做匀速运动。所以当猎豹追到羚羊时，羚羊早已在做匀速运动，只是匀速运动的时间比猎豹少了 0.5s，则有 $x_2+v_2t_0 \ge x_1+x+v_1(t_0-t')$，解得 $x \le 42.5\text{m}$

综合（1）问可知 $x \le 42.5\text{m}$

（3）当猎豹的速度减到与羚羊的速度相等时，如果还追不上羚羊则永远追不上了。则猎豹减速到与羚羊速度相等的时间为 $t^*=2\text{s}$

根据运动学公式，有 $x_2+v_2t_0+\frac{v_2+v_1}{2}t^* \ge x_1+x+v_1(t_0+t^*-t')$，解得 $x \le 47.5\text{m}$

【变式训练】

1．(1)4s；(2)18m；(3)不能

【详解】（1）杰瑞减速到 0 所用的时间 $t_0=\frac{v_0}{a}=4\text{s}$

（2）当汤姆和杰瑞速度相等时，距离最大，根据速度时间关系 $v_0-at=at$，解得 $t=2\text{s}$

杰瑞的位移 $x_1=v_0t-\frac{1}{2}at^2$，汤姆的位移 $x_2=\frac{1}{2}at^2$

最大距离 $x_{\max}=x_1-x_2+\Delta x$，代入数据解得 $x_{\max}=18\text{m}$

（3）根据位移时间关系有 $x_3=v_0t_3-\frac{1}{2}at_3^2$

解得杰瑞从开始减速到回到鼠洞的时间 $t_3=3\text{s}$

此过程汤姆的位移 $x_4=\frac{1}{2}at_3^2=9\text{m}$，由于 $x_4<x_3+\Delta x$

所以汤姆不能在杰瑞回到鼠洞前捉住它。

2．(1)5s，75m；(2)223m；(3)此次捕猎可以成功

【详解】（1）猎豹达到最大时速所需要的时间为$t=\frac{v_{\mathrm{m}}}{a_1}=5\mathrm{s}$

根据匀变速直线运动位移与时间关系的表达式$x=\frac{1}{2}a_1t^2=75\mathrm{m}$

（2）猎豹前 5s 内走过的位移为$x=\frac{1}{2}a_1t^2=75\mathrm{m}$

羚羊有 3s 的反应时间，可知羚羊在前 5 内位移为$x_1=\frac{1}{2}a_2t_1^{\ 2}=8\mathrm{m}$

初始时羚羊在猎豹前方 290m，可知第 5s 末猎豹与羚羊之间的距离为$\Delta x=x_0+x_1-x=223\mathrm{m}$

（3）羚羊的最大速度$v_{1\mathrm{m}}=20\mathrm{m/s}$，猎豹从最大速度减速到和羚羊最大速度相等的过程所用时间$t_2=\frac{v_{\mathrm{m}}-v_{1\mathrm{m}}}{a_2}=2\mathrm{s}$

猎豹从最大速度减速到和羚羊最大速度相等过程的位移$x_2=\frac{v_{\mathrm{m}}^2-v_{1\mathrm{m}}^2}{2a_3}=50\mathrm{m}$

猎豹从开始运动到猎豹和羚羊速度相等的过程所用时间$t_3=t+20+t_2=27\mathrm{s}$

猎豹从开始运动到猎豹和羚羊速度相等过程的位移$x_3=x+x_2+20v_{\mathrm{m}}=725\mathrm{m}$

羚羊达到最大时速所需要的时间为$t_4=\frac{v_{1\mathrm{m}}}{a_2}=5\mathrm{s}$

羚羊的反应时间为 3s，羚羊运动时间 24s，总位移$x_4=\frac{1}{2}a_2t_4^{\ 2}+v_{1\mathrm{m}}\left(24-t_4\right)=430\mathrm{m}$

$\Delta x=x_3-x_4=295\mathrm{m}>290\mathrm{m}$

故猎豹能追上羚羊，此次捕猎可以成功。

题型五：接力赛

【典型例题】

1．（1）$3\mathrm{m/s^2}$；（2）$6.5\mathrm{m}$；（3）见解析

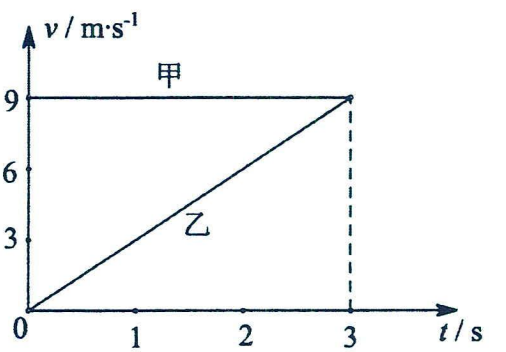
【详解】（1）设乙起跑到被甲追上所用时间为t，则有$v=at$，$x_{甲}=vt$，$x_{乙}=\frac{1}{2}at^2$

又$x_{甲}=x_{乙}+x_0$，联立解得$t=3\mathrm{s}$，$a=3\mathrm{m/s^2}$

（2）在完成交接棒时乙离接力区末端的距离为

$x=L-x_{乙}=L-\frac{1}{2}at^2=20\mathrm{m}-\frac{1}{2}\times3\times3^2\mathrm{m}=6.5\mathrm{m}$

（3）从乙起跑到被甲追上的$v-t$图像如图所示



题型六：多次相遇

【典型例题】

1．（1）10s（2）36m（3）13.5s

【详解】(1) 设经t_1秒，汽车追上自行车$v_2t_1=v_1t_1+S$，

求的$t_1=10\text{s}$，故经过10s两车第一次相遇；

(2) 在两车第二次相遇前，当两车的速度相等时，相距最远．设经过t秒两车的速度相等，则

$v_1=v_2+at$，，解得：t=6s，所以：$\Delta x=x_{汽}-x_{自}=v_2t+\frac{1}{2}at^2-v_1t=36\text{m}$；

(3) 汽车的加速度为$a=-2\text{m/s}^2$，设第二次追上所用的时间为t_2，则$v_1t_2=v_2t_2+\frac{1}{2}at_2^2$，解得：$t_2=12s$

设汽车从刹车到停下用时t_3秒，$0=v_2+at_3$，求的$t_3=9\text{s}<t_2$

故自行车又追上汽车前，汽车已停下

停止前汽车的位移$s_{汽}=\frac{0+v_2}{2}t_3$

设经t_4时间追上，则$v_1t_4=\frac{0+v_2}{2}t_3$，求得$t_4=13.5\text{s}$

故再经过13.5s两车第二次相遇．

2．(1)2s；(2)3 次；(3)4s 和 8s

【详解】（1）从两车刹车开始计时，设甲车第一次追上乙车所用时间为t，

则有$v_1t-\frac{1}{2}a_1t^2=v_2t-\frac{1}{2}a_2t^2+L$，解得$t_1=2\text{s}$；$t_2=6\text{s}$，所以在$t_1=2\text{s}$时甲车第一次追上乙车。

（2）当$t_2=6\text{s}$时，甲车的速度大小为$v_1'=v_1-a_1t_2=4\text{m/s}$

此后甲车一直匀速运动，乙车的速度大小为$v_2'=v_2-a_2t_2=6\text{m/s}$

此时乙车追上甲车，甲车的速度小于乙车的速度，但乙车做减速运动，假设再经Δt后甲车追上乙车，有

$v_1'\cdot\Delta t=v_2'\cdot\Delta t-\frac{1}{2}a_2(\Delta t)^2$，解得$\Delta t=4\text{s}<\frac{v_2'}{a_2}$

此时乙车仍在做减速运动，假设成立，综合以上分析知，甲、乙两车共相遇 3 次。

（3）设两车第一次速度相等的时间为t_3，有$v_1-a_1t_3=v_2-a_2t_3$，解得$t_3=4\text{s}$

甲车匀速运动的速度为4m/s，设第二次速度相等的时间为t_4，有$v_1'=v_2-a_2t_4$，解得$t_4=8\text{s}$

3．（1）t=20s；（2）$x=400\text{m}$；（3）5 辆，9 次；（4）$\Delta t=16\sqrt{5}\text{s}$

【详解】（1）设经过时间t摩托车与车队达到共速，则根据$v=v_0-at$，解得t=20s

（2）摩托车前进的距离$x=v_0t-\frac{1}{2}at^2=25\times20-\frac{1}{2}\times0.5\times20^2\text{m}=400\text{m}$

（3）汽车前进的距离$x_2=vt=300\text{m}$

摩托车与最后一辆汽车的距离为$\Delta x=400\text{m}-300\text{m}-20\text{m}=80\text{m}$

故摩托车追上的汽车数 $n=\frac{80}{20}+1=5$ 辆

之后汽车反追摩托车，摩托车与汽车相遇的次数为 9 次。

（4）根据位移关系，设相遇时间为 t' 则有 $x_0+vt'=v_0t'-\frac{1}{2}at'^2$

设摩托车追上最后一辆汽车的时刻为 t_1，最后一辆汽车超过摩托车的时刻为 t_2，解得 $t_1=20-8\sqrt{5}\text{s}$，$t_1=20+8\sqrt{5}\text{s}$

故摩托车从赶上车队到离开车队，共经历的时间为 $\Delta t=t_2-t_1=16\sqrt{5}\text{s}$

【变式训练】

1．（1）16.75s；（2）9s

【详解】（1）设自行车速度为 v_1，汽车加速度为 a_1，加速为时间 t_1，汽车最大速度 v_2，则 $v_2=a_1t_1$

代入数据求得 $t_1=9\text{s}$

汽车运动位移为 $x_1=\frac{v_2}{2}t_1=81\text{m}<120\text{m}$

所以汽车追上自行车，则有 $x_1+v_2t_2=v_1(t_1+t_2)+x_0$，代入数据求得 $t_2=7.75\text{s}$

故汽车追上自行车总时间 $t=t_1+t_2=16.75\text{s}$

（2）汽车从刹车到停下时间 $t_3=\frac{v_2}{a_2}=\frac{18}{3}\text{s}=6\text{s}$，位移 $x=\frac{1}{2}v_2t_3=54\text{m}$

则自行车追上时间为 $t'=\frac{x}{v_1}=\frac{54}{6}\text{s}=9\text{s}>6\text{s}$，所以再经过 9s，二者第二次相遇。

2．（1）6m/s；（2）2s；（3）10s

（1）设甲、乙两车经过时间 t_1 第一次通信断开，根据几何关系可知，当甲车在乙车前方且 O_1O_2 为 13m，此时甲比乙多走 $\Delta x=\sqrt{13^2-5^2}\text{m}=12\text{m}$，有 $x_{甲}-x_{乙}=\Delta x$

根据运动学公式 $x_{甲}=v_{甲}t_1$；$x_{乙}=\frac{1}{2}at_1^2$，解得 $t_1=2\text{s}$ 或 $t_1'=4\text{s}$（舍去）

根据速度时间公式得，此时乙车的速度大小为 $v_1=at_1=6\text{m/s}$

（2）设经时 t 乙车速度达到最大，有 $t=\frac{v_{\text{m}}}{a}=4\text{s}$

根据（1）分析可知，4s 时，O_1O_2 为 13m，此后乙车的速度大于甲车，两车开始接近，因此 4s 时恢复通信，故从第一次通信断开到恢复的时间为 2s；

（3）当 4s 后乙车在甲车前方且 O_1O_2 为 13m 时，通信断开，此后两车相距越来越远，失去信号，两车设经 t_2 乙车在甲车前方且 O_1O_2 为 13m，有 $x_{乙}'-x_{甲}'=\Delta x$

根据运动学公式 $x_{甲}'=v_{甲}t_2$；$x_{乙}'=\frac{1}{2}at^2+v_{乙}(t_2-t)$，解得 $t_2=12\text{s}$

甲、乙两车能够保持通信的总时间 $t_{总}=t_1+(t_2-t)=10\text{s}$

3．（1）2s；（2）28m；60m；76m

【详解】（1）设两车经过t_1时间速度相等，有$v_1-a_1t_1=v_2-a_2t_1$，代入数据解得$t_1=4\text{s}$

此时甲车的位移$x_1=v_1t_1-\frac{1}{2}a_1t_1^2=48\text{m}$，乙车的位移.$x_2=v_2t_1-\frac{1}{2}a_2t_1^2=40\text{m}$

由于 $x_1>x_2+L$，可知两车速度相等前甲车已经与乙车相遇一次.

设经过t_2时间相遇，有$v_1t_2-\frac{1}{2}a_1t_2^2=L+v_2t_2-\frac{1}{2}a_2t_2^2$，代入数据解得$t_2=2\text{s}$，$t_2'=6\text{s}$.

可知经过 2s 两车第一次相遇，6s 两车第二次相遇。

（2）第一次相遇时，距离 A 点的距离$x_{A1}=v_1t_2-\frac{1}{2}a_1t_2^2=28\text{m}$

第二次相遇时，距离 A 点的距离$x_{A2}=v_1t_2'-\frac{1}{2}a_1t_2'^2=60\text{m}$

第二次相遇后，甲的速度为$v_1'=v_1-a_1t_2'=4\text{m/s}$

然后做匀速直线运动,.乙的速度为$v_2'=v_2-a_2t_2'=6\text{m/s}$

继续做匀减速直线运动，两者的距离先增大后减小，还会发生第三次相遇。

当乙的速度为零时，继续运动的时间t''，根据速度—时间公式有$t''=\frac{v_2'}{a_2}=6\text{s}$

此时乙的位移为$x_{乙}=\frac{v_2'^2}{2a_2}=18\text{m}$，甲的位移为$x_{甲}=v_1't''=24\text{m}$

可知在乙的速度减为零前发生第三次相遇，设第二次相遇到第三次相遇的时间为Δt，有:$v_1'\Delta t=v_2'\Delta t-\frac{1}{2}a_2\Delta t^2$，

代入数据解得$\Delta t=4\text{s}$

第三次相遇时，距离 A 点的距离$x_{A3}=x_{A2}+v_1'\Delta t=76\text{m}$

第八讲：图像专题

题型一：v-t 图像

【典型例题】

1．A

【详解】A．根据$v-t$图像的斜率表示加速度，

可知$0\sim t_a$段火箭的加速度小于$t_a\sim t_b$段的火箭加速度，故 A 正确；

BCD．根据图像可知，$0\sim t_c$段火箭都是上升过程，则t_c时刻火箭离地最远，故 BCD 错误。

故选 A。

2．D

【详解】A．汽车的初速度为$v_0=9\text{m/s}$，由运动学公式有$v_0t_0+\frac{v_0}{2}(3-t_0)=18$，解得$t_0=1\text{s}$；A 错误；

B．根据图像可知，小车刹车时的加速度为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{0-9}{3-1}\text{m/s}^2=-4.5\text{m/s}^2$，B 错误；

C．小车3s内的平均速度为$\overline{v}=\frac{x}{t}=6\text{m/s}$，C 错误；

D．汽车停车前最后1s发生的位移是$\frac{1}{2}|a|t^2=\frac{1}{2}\times4.5\times1^2\text{m}=2.25\text{m}$，D 正确。

故选 D。

3．A

【详解】试题分析：因为图线与坐标轴所夹的面积是物体的位移，故在 0-t_1时间内，甲车的位移大于乙车，故根据$\overline{v}=\frac{x}{t}$可知，甲车的平均速度大于乙车，选项 A 正确，C 错误；因为乙车做变减速运动故平均速度不等于$\frac{v_1+v_2}{2}$，选项 B 错误；因为图线的切线的斜率等于物体的加速度，故甲乙两车的加速度均逐渐减小，选项 D 错误．

4．BC

【详解】A．0~2s 内，加速度为$a_1=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{0-(-5)}{2}\text{m/s}^2=2.5\text{m/s}^2$

所以 1s 末的速度$v_1=v_0+a_1t_1=-2.5\text{m/s}$，故 A 错误；

B．v-t 图像与坐标轴所围区域的面积表示物体发生的位移，

所以前 4s 内的位移为$x=2\times\frac{1}{2}\times(-5)\times2\text{m}=-10\text{m}$，故 B 正确；

C．2~4s 内，加速度为$a_2=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{(-5)-0}{2}\text{m/s}^2=-2.5\text{m/s}^2$，故 C 正确；

D．前 2s 内的平均速度为$\overline{v}=\frac{\frac{1}{2}\times2\times(-5)}{2}\text{m/s}=-2.5\text{m/s}$，故 D 错误。

故选 BC。

5．AC

【详解】AB．由题意知，在$t_1=15\,\mathrm{s}$时，两车同速，两车间距离为最大值，在速度时间图像中面积表示位移，则

甲车的位移为$x_1=\frac{5+10}{2}\times10\,\mathrm{m}+10\times5\,\mathrm{m}=125\,\mathrm{m}$；乙车的位移为$x_2=\frac{0+10}{2}\times5\,\mathrm{m}=25\,\mathrm{m}$

故乙车追上甲车前，两车间距的最大值为$\Delta x=x_1-x_2=100\,\mathrm{m}$，A 正确，B 错误；

C D．由速度时间图像中面积表示位移可知，甲车运动 20s 时，甲车在前，乙车在后

两车间距为$\Delta x_0=\frac{5+10}{2}\times10\,\mathrm{m}=75\,\mathrm{m}$

之后甲乙两车都分别以$v_{甲}=10\,\mathrm{m/s}$、$v_{乙}=20\,\mathrm{m/s}$的速度做匀速直线运动，设再经过时间△t 乙车追上甲车，

则$\Delta x_0=v_{乙}\cdot\Delta t-v_{甲}\cdot\Delta t$，代入数据解得Δt=7.5s

此时，甲车运动时间为$t_2=20\mathrm{s}+\Delta t=20\mathrm{s}+7.5\mathrm{s}=27.5\mathrm{s}$

甲车在该时间段内运动的位移为$x_3=\frac{5+10}{2}\times10\,\mathrm{m}+10\times17.5\,\mathrm{m}=250\,\mathrm{m}$

故从甲车经过中心线开始计时经过 27.5s，甲车前进 250m 时被乙车追上。，C 正确，D 错误。

故选 AC。

【变式训练】

1．B

【详解】A．图中质点速度大小呈周期性变化，故质点的运动不是匀速直线运动，故 A 错误；

BD．速度的方向未发生变化，故质点做单向直线运动，位移一直在增大，故 B 正确，D 错误；

C．$v-t$图像斜率正负表示加速度的方向，可知质点加速度方向发生变化，故 C 错误。

故选 B。

2．B

【详解】A．根据$v-t$图像可知，0～3s 内质点做匀加速直线运动，平均速度为$\bar{v}=\frac{0+30}{2}\mathrm{m/s}=15\mathrm{m/s}$,故 A 错误；

B．根据$v-t$图像可知，3.5～6s 内质点做匀减速直线运动，故 B 正确；

C．根据$v-t$图像的斜率绝对值表示加速度大小，由可知0～3s 的加速度大小为$a_1=\frac{30}{3}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$，

3.5～6s 的加速度大小满足$a_2>\frac{30}{6-3}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$，可知0～3s 的加速度比3.5～6s 的小，故 C 错误；

D．根据$v-t$图像与横轴围成的面积表示位移可得，0～3s 的位移为$x_1=\frac{1}{2}\times30\times3\mathrm{m}=45\mathrm{m}$

3.5～6s 的位移满足$x_2<\frac{1}{2}\times30\times(6-3.5)\mathrm{m}=37.5\mathrm{m}$，可知0～3s 的位移比3.5～6s 的大，故 D 错误。

故选 B。

3．BD

【详解】AB．0~t_1时间内$v_{乙}>v_{甲}$；t_1~t_2时间内$v_{甲}>v_{乙}$。t_2时刻两车相遇，但 0~t_1时间内两者的位移差小于 t_1~t_2

时间内两者的位移差，则 t_1 时刻甲在乙的后面，A 错误 B 正确；

CD．由图象的斜率知，甲、乙两车的加速度均先减小后增大，C 错误 D 正确。

故选 BD。

4．AB

【详解】AC．由 $v-t$ 图像可知，甲以 2m/s 的速度做匀速直线运动，乙在 0～2s 内做匀加速直线运动，加速度 $a_1=\frac{4}{2}\mathrm{m/s^2}=2\mathrm{m/s^2}$，在 2～6s 内做匀减速直线运动，加速度 $a_2=\frac{0-4}{6-2}\mathrm{m/s^2}=-1\mathrm{m/s^2}$，选项 A 正确，C 错误；

B．由图可知第 1s 末和第 4s 末两物体速度相同，选项 B 正确；

D．由图可知 0～6s 内甲、乙的速度方向都沿正方向，选项 D 错误。

故选 AB。

5．C

【详解】A．$v-t$ 图像的斜率表示加速度大小，由图可知，图像的斜率一直不变，故加速度不变，故0.5s时和1.5s时物体的加速度方向相同，故 A 错误；

B．$v-t$ 图像的斜率表示加速度大小，由图可得 $a=\frac{0-(-1)}{1}\mathrm{m/s^2}=1\mathrm{m/s^2}$，故 B 错误；

C．$v-t$ 图像的面积表示位移，则前 1s 内的位移为 $x_1=\frac{1}{2}\times1\times(-1)\mathrm{m}=-0.5\mathrm{m}$

1s-3s 做初速度为零的匀加速直线运动，则位移为 $x_2=\frac{1}{2}\times1\times2^2\mathrm{m}=2\mathrm{m}$

则前3s内物体的位移大小为 $x=x_1+x_2=1.5\mathrm{m}$，故 C 正确；

D．因 1s-3s 做初速度为零的匀加速直线运动，则第 3s 内的位移为 $\Delta x=\frac{1}{2}\times1\times2^2\mathrm{m}-\frac{1}{2}\times1\times1^2\mathrm{m}=1.5\mathrm{m}$

则第3s内物体的平均速度大小为 $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{1.5}{3-2}\mathrm{m/s}=1.5\mathrm{m/s}$，故 D 错误。

故选 C。

题型二：特殊 v-t 图像：0-v-0 模型

【典型例题】

1．B

【详解】A．设物体的最大速度为 v，根据 v—t 图象斜率的绝对值等于加速度大小，则加速度大小之比为 $a_1:a_2=\frac{v}{t_0}:\frac{v}{2t_0}=2:1$，故 A 错误；

B．根据 v—t 图象与坐标轴所围的“面积”大小等于位移，则位移之比为 $x_1:x_2=\frac{vt_0}{2}:\frac{v\cdot2t_0}{2}=1:2$，故 B 正确；

C．在 0—t 时间内物体做匀加速直线运动，在 t—3t 间内物体做匀减速直线运动，由平均速度公式 $\bar{v}=\frac{v_0+v}{2}$ 得两段时间内的平均速度均为 $\bar{v}=\frac{v}{2}$，则平均速度大小之比为 1：1，故 C 错误；

D．由图像可知，汽车全程的速度都为正即汽车速度方向不变，故 D 错误。

故选 B。

2．BD

【详解】AC．设加速的末速度和减速的初速度为v，加速时间为$2t$，则减速时间为t，根据加速度定义式$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$

得加速度大小比为$a_{加}:a_{减}=\frac{v}{2t}:\frac{v}{t}=1:2$

平均速度之比为$\overline{v}_{加}:\overline{v}_{减}=\frac{0+v}{2}:\frac{0+v}{2}=1:1$，AC 错误；

B．加速与减速过程中位移大小之比为$x_{加}:x_{减}=2t\overline{v}_{加}:t\overline{v}_{减}=2:1$，B 正确；

D．甲地到乙地全过程平均速度为$\overline{v}=\frac{x_{加}+x_{减}}{3t}=\frac{3x_{减}}{3t}=\frac{x_{减}}{t}$，减速过程中平均速度为$\overline{v}_{减}=\frac{x_{减}}{t}$

得甲地到乙地全过程与减速过程中平均速度大小之比为1:1，D 正确。

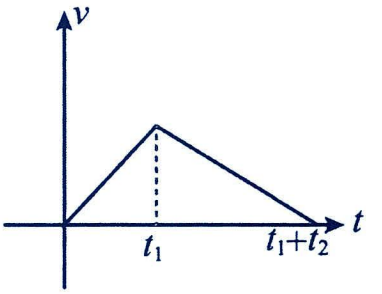
故选 BD。

3．ABD

【详解】AB.由题意知，物体先做匀速度为零的加速运动后做末速度为零的匀减速运动，作出 v-t 图象如下图

则可知，全程中的最大速度 v=a1t1

因前后均为匀变速直线运动，则平均速度$\overline{v}=\frac{0+v}{2}=\frac{a_1t_1}{2}=\frac{a_2t_2}{2}$，故 AB 正确；



CD. 全程的总位移$x=\frac{1}{2}a_1t_1^2+\frac{1}{2}a_2t_2^2$

对全程由平均速度公式有$\overline{v}=\frac{x}{t_1+t_2}=\frac{a_1t_1^2+a_2t_2^2}{2(t_1+t_2)}$，故 C 错误，D 正确。

故选 ABD。

【变式训练】

1．C

【详解】无人车匀加速的末速度为$v=a_1t_1=6\text{m/s}$，加速位移为$x_1=\frac{vt_1}{2}=9\text{m}$

匀速运动位移为$x_2=vt_2=30\text{m}$，减速运动位移为$x_3=\frac{vt_3}{2}=6\text{m}$

则 10 秒内汽车运行的平均速度大小为$\overline{v}=\frac{x_1+x_2+x_3}{t}=4.5\text{m/s}$

故选 C。

2．B

【详解】A．根据 v-t 图像与坐标轴所围“面积”大小等于位移得：$x_1=\frac{1}{2}\times t_0\times 2v_0=v_0t_0$，$x_2=\frac{1}{2}\times 4t_0\times v_0=2v_0t_0$，

所以$x_1=\frac{1}{2}x_2$，故 A 错误；

B．全程的位移$x'_1=\frac{1}{2}\times 3t_0\times 2v_0=3v_0t_0$，乙的位移$x'_2=\frac{1}{2}\times 5t_0\times v_0=2.5v_0t_0$，所以$x_1'=1.2x_2'$，B 正确；

C．甲匀减速运动的位移$s_1=\frac{1}{2}\times 2t_0\times 2v_0=2v_0t_0$，乙匀减速运动的位移$s_2=\frac{1}{2}\times t_0\times v_0=\frac{1}{2}v_0t_0$

所以$\frac{s_1}{s_2}=\frac{4}{1}$，故C错误；

D． 速度时间图像的斜率表示加速度，根据图像可知，在匀加速过程中甲的加速度$a_1=\frac{2v_0}{t_0}$

乙物体的加速度$a_2=\frac{v_0}{4t_0}$，故$a_1=8a_2$，故D错误。

故选B。

题型三：x-t图像

【典型例题】

1．C

【详解】AB．物体做直线运动，位移与时间成函数关系，AB选项中一个时间对应2个以上的位移，故不可能，故AB错误；

CD．同理D选项中一个时间对应2个速度，只有C选项速度与时间是成函数关系，故C正确，D错误。

故选C。

2．A

【详解】A．x-t图像的斜率等于速度，可知0~2s内甲图质点做匀速直线运动，v-t图像的斜率等于加速度，可知乙图质点做加速直线运动，选项A正确；

B．2~3s内甲图质点静止不动，乙图质点做匀速运动，选项B错误；

C．3~5s内甲图质点反向匀速运动，乙图质点均做减速运动，加速度为$a=\frac{0-30}{5-3}\mathrm{m/s^2}=-15\mathrm{m/s^2}$，选项C错误；

D．0~5s内甲图质点的位移为$x=0-10\mathrm{m}=-10\mathrm{m}$

乙图质点的速度变化量为$\Delta v=0-10\mathrm{m/s}=-10\mathrm{m/s}$，选项D错误。

故选A。

3．D

【详解】A．在$x-t$图像中，斜率表示速度，根据图像可知，甲的斜率不变，速度不变；乙的斜率绝对值减小，速度减小，故乙做减速运动，故A错误；

B．由图可知，$t=2\mathrm{s}$时刻两车的速度相等，大小均为$v_2=\frac{6}{3}\mathrm{m/s}=2\mathrm{m/s}$

根据图中比例关系可知，$t=2\mathrm{s}$时对应的$x=2\mathrm{m}$，则$0\sim2\mathrm{s}$内乙通过的位移为$s=6\mathrm{m}$，

根据运动学公式可得$\frac{v_0+v_2}{2}t=s$，解得$t=0$时，乙车的速度大小为$v_0=4\mathrm{m/s}$，故B错误；

C．乙车的加速度为$a=\frac{v_2-v_0}{t}=\frac{2-4}{2}\mathrm{m/s^2}=-1\mathrm{m/s^2}$，则乙车的加速度大小为$1\mathrm{m/s^2}$，故C错误；

D．曲线与横坐标相交时，乙通过的位移大小为$s'=8\mathrm{m}$，乙车做匀减速直线运动，根据位移速度公式可得$2as'=v'^2-v_0^2$，解得$v'=0$

可知曲线与横坐标相交时，乙的速度刚好减为0，则曲线与横坐标的交点为$t=\frac{0-v_0}{a}=\frac{0-4}{-1}\mathrm{s}=4\mathrm{s}$

故D正确。

故选D。

4．C

【详解】A．a 做匀速直线运动，其速度等于图线的斜率 $v_a=\frac{4-1}{3-0}\text{m/s}=1\text{m/s}$，A 错误；

B．t=3s 时 a 和 b 相遇，此时二者速度相同，都等于 1m/s，B 错误；

C．b 图线的斜率减小，所以 b 做匀减速直线运动，2s 内的位移为 4m，末速度为 1m/s，逆向思维，根据 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 得 $4=1\times2+\frac{1}{2}\times a\times2^2$，解得 $a=1\text{m/s}^2$，C 正确；

D．前 3s 内物体 a 的位移是 $x_a=4\text{m}-1\text{m}=3\text{m}$，逆向思维，根据 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，前 3s 内物体 b 的位移为 $x_b=1\times3\text{m}+\frac{1}{2}\times1\times3^2\text{ m}=7.5\text{m}$，$t$=0 时 a 和 b 的距离为 $\Delta x=x_b-x_a=4.5\text{m}$，D 错误。

故选 C。

【变式训练】

1．D

【详解】x—t 图像的斜率表示速度，小车先做匀加速运动，因此速度变大即 0—t_1 图像斜率变大，t_1—t_2 做匀减速运动则图像的斜率变小，在 t_2 时刻停止图像的斜率变为零。

故选 D。

2．B

【详解】A．图线 1 是位移-时间图像，表示物体做变速直线运动，A 错误；

B．x-t 图线上某点斜率的绝对值的大小表示速度的大小，由题图可知 t_1 时刻 $v_1>v_2$，B 正确；

C．v-t 图像中图像与坐标轴所围的面积表示位移，0～t_3 时间内 3 和 4 位移不同，所以平均速度大小不相等，C 错误；

D．t_2 时刻物体 2 开始反向运动，物体 4 的速度始终为正值，表明物体 4 始终向正方向运动，t_4 时刻物体 4 的运动方向不变，t_4 时刻物体 4 开始做减速运动，D 错误。

故选 B。

3．B

【详解】A．由题可得，设质点 N 的加速度大小为 a，则 $v=v_0+at$；$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

联立解得 $v_0=-6\text{m/s}$；$a=1.5\text{m/s}^2$，A 错误；

B．根据公式可得 $v_4=v_0+at$，解得 $v_4=0$，B 正确；

C．甲图中直线 M 与曲线 N 相切与 c 点，可知质点 M 的速度与质点 N 在 10s 时速度相等，即 $v_M=v_{10}=9\text{m/s}$

设质点 M 的出位置坐标为 x_1，则有 $v_M=\frac{21-x_1}{10}$，解得 $x_1=-69\text{m}$

由图甲可知，t=0 时，质点 N 的坐标为 6m，则 t=0 时，质点 M、N 之间的距离为 75m，C 错误；

D．由 B 分析可知，4s 时，质点 N 的速度为 0，由公式可得 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

质点 N 的位移为 $x_{4N}=-12\text{m}$，质点 M 的位移为 $x_{4M}=v_M t=36\text{m}$

可知，在 4s 内，质点 N 和质点 M 相向运动，则当质点 N 的速度为零时，质点 M、N 之间的距离为 $\Delta x=(75-12-36)\text{m}=27\text{m}$，D 错误。

故选 B。

题型四：a-t 图像

【典型例题】

1．C

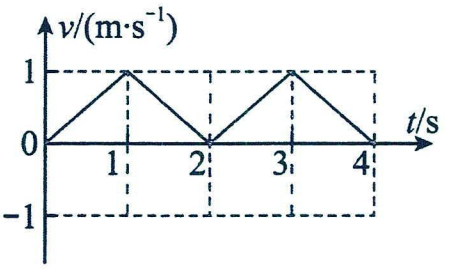
【详解】AB．由图知道，0～2s 内物体沿正方向做匀加速直线运动，2s～4s 内物体沿正方向匀减速直线运动，4s 末速度为零，4s～6s 又做沿正方向匀加速直线运动，如此反复。物体一直沿正方向运动，速度方向不变，AB 错误；

C．位移一直在增大，0～2s 内做初速为零的匀加速直线运动，2s～4s 内做匀减速直线运动，末速度为零，加速度大小相同，物体的位移相等，C 正确；

D．0～2s 内做加速运动，2s～4s 内物体做减速运动，速度变化大小相同，方向不同，D 错误。

故选 C。

2．B



【详解】将 $a-t$ 图像转化为对应的 $v-t$ 图像，如图所示

根据 $v-t$ 图像与横轴围成的面积表示位移可知，

物体 4 s 内发生的位移为 $x=\frac{1}{2}\times1\times2\text{m}+\frac{1}{2}\times1\times2\text{m}=2\text{m}$

故选 B。

3．BD

【详解】A．加速度变化率为 0 是指加速度保持不变，如果加速度为 0，则物体做匀速直线运动，如果加速度不为 0，则物体做匀变速运动，故 A 错误；

B．在 0~2s 内，物体加速度的变化率不变为 $\frac{\Delta a}{\Delta t}=\frac{0-3}{2-0}\text{m/s}^3=-1.5\text{m/s}^3$，故 B 正确；

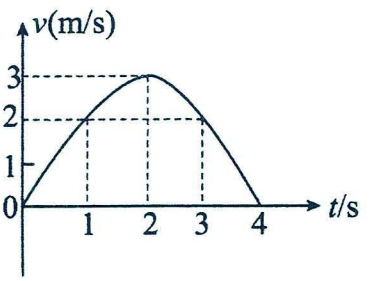
C．由于不知道加速度的方向与速度方向的关系，所以无法确定速度是增加还是减小，故 C 错误；

D．图线与时间轴围成的面积表示速度的变化量，则 2s 内物体的速度变化量$\Delta v=\frac{1}{2}\times3\times2\text{m/s}=3\text{m/s}$，故 D 正确。

故选 BD。

4．D

【详解】A．由题图可知，第 1s 时间内，物体做匀加速直线运动，加速度大小为 2m/s^2，第 1s 时间内的位移 $x_1=\frac{1}{2}at_1^2=\frac{1}{2}\times2\times1^2=1\text{m}$，故 A 错误；



BCD．根据 $\Delta v=a\cdot\Delta t$ 结合题图可得 $v-t$ 图像如图所示

可知 4s 末物体回到初始位置物体的位移最大，2s 末物体的速度最大为 3m/s，

根据 $v-t$ 图像与 t 轴围成面积表示位移结合几何关系可知第 2s 时间内物体的位移大于 2.5m，故 D 正确，BC 错误。

故选 D。

【变式训练】

1．D

【详解】A．t_0时刻物体的加速度为零，速度达到最大值，故A错误；

B．t_0至$2t_0$，物体的速度沿着正方向，加速度沿着负方向，即速度与加速度反向，物体沿正向做加速度增大的减速运动，故B错误；

C．t_0时刻的速度等于$0\sim t_0$时间内速度的增量，即$0\sim t_0$时间内a—t图像与时间轴所围的“面积”，同样$3t_0$时刻的速度等于$0\sim 3t_0$时间内a—t图像与时间轴所围成的“面积”，易知两段时间内的“面积”大小相等，符号相反，即t_0与$3t_0$两时刻的速度等大反向，故C错误；

D．由a—t图像可知，$2t_0$、$4t_0$两时刻物体的速度均为零，$0\sim 2t_0$时间内物体沿正向运动，$2t_0\sim 4t_0$时间内物体沿负向运动，根据运动的对称性可知，两段时间内物体的位移大小相等，方向相反，可得物体在$4t_0$时刻返回了出发时的位置，故D正确。

故选D。

2．AD

【详解】A. 1号车在0～1s内的速度与2s～4s内的速度都是正值，都向正方向运动，方向相同，A正确；

B. 1号车在0～4s内的平均速度大小为$\overline{v}=\frac{x}{t}=\frac{\frac{(1+4)\times 4}{2}}{4}\text{m}=2.5\text{m/s}$，B错误；

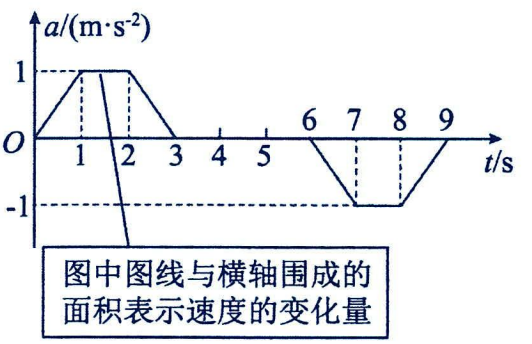
C. 2号车在0～1s内的加速度与2s～4s内的加速度都是正值，加速度方向都向正方向，方向相同，C错误；

D. 2号车在0～4s内的速度变化量大小等于图像的面积$\Delta v=\frac{(1+4)\times 4}{2}\text{m/s}=10\text{m/s}$，D正确。

故选AD。

3．AC

【详解】图解剖析



A．由$a-t$图像可知，$0\sim 3\text{s}$内，电梯在加速上升，电梯的速度增加了2m/s；$3\sim 6\text{s}$内，电梯加速度为0，电梯匀速上升；$6\sim 9\text{s}$内，电梯的加速度方向向下，与运动方向相反，电梯在向上减速。$0\sim 2\text{s}$内，电梯的速度增加了$\Delta v=\frac{(1+2)\times 1}{2}\text{m/s}=1.5\text{m/s}$ $t=0$时电梯的速度为0，所以$t=2\text{s}$时，电梯的速度为1.5m/s，故A正确；

B．$t=3\text{s}$时电梯的速度最大，为2m/s，故B错误；

C．$3\sim 5\text{s}$内，电梯以2m/s匀速上升，运动的距离为$x=vt=2\times 2\text{m}=4\text{m}$，故C正确；

D．$6\sim 9\text{s}$内，电梯速度减小了2m/s，$t=9\text{s}$时，电梯速度减为0，可知$6\sim 9\text{s}$内，电梯在向上运动，故D错误。

故选AC。

题型五：图形转换

【典型例题】

1．A

【详解】$x-t$图象斜率的物理意义是速度，在$0\sim t_1$时间内，$x-t$图象斜率增大，汽车的速度增大；在$t_1\sim t_2$时间内，$x-t$图象斜率不变，汽车的速度不变；在$t_2\sim t_3$时间内，$x-t$图象的斜率减小，汽车做减速运动，综上所述可知A中$v-t$图象可能正确。

故选A。

2．AC

【详解】A．第一个图像是位移时间图像，由位移时间图像可知，在0～3s内物体静止，在3～5s内匀速直线运动，速度为$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{10-6}{5-3}=2\text{m/s}$

第二图像是速度时间图像，由速度时间图像可知，在0～3s内速度为零，在3～5s内物体做匀速直线运动，速度为2m/s，A正确；

B．第一个图像是速度时间图像，由速度时间图像可知，在0～3s内物体以速度6m/s匀速直线运动，在3～5s内做匀加速直线运动，加速度为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{10-6}{5-3}=2\text{m/s}^2$

第二个图像是位移时间图像，由位移时间图像可知，

在0～3s内物体做匀速直线运动，速度为$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{2}{3}\text{m/s}$

在3～5s内物体静止在离原点2m远处，B错误；

C．第一个图像是速度时间图像，由速度时间图像可知，在0～3s内物体以速度6m/s做匀速直线运动，加速度为零，在3～5s内物体做匀加速直线运动，加速度为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{10-6}{5-3}=2\text{m/s}^2$

第二个图像是加速度时间图像，由加速度时间图像可知，在0～3s内物体的加速度为零，在3～5s内物体的加速度为2m/s²，说明物体在这段时间内做匀加速直线运动，C正确；

D．第一个图像是位移时间图像，由位移时间图像可知，在0～3s内物体静止，在3～5s内匀速直线运动，速度为$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{10-6}{5-3}=2\text{m/s}$

第二个图像是加速度时间图像，由加速度时间图像可知，在0～3s内物体的加速度为零，在3～5s内物体的加速度为2m/s²，说明物体在这段时间内做匀加速直线运动，D错误。

故选AC。

3．C

【详解】开始手机静止在手掌上，突然撤走手掌，手机自由下落，则手机的加速度向下，速度随时间增大，然后接住手机，手机的速度由最大减小到零，可知观察到手机屏幕上速度传感器的图像接近的是C图像。故选C。

【变式训练】

1．D

【详解】由 a—t 图象知，0～0.5T 时间内的加速度与 T～2T 时间内的加速度大小相等，方向相反，而对应时间内的 v-t 图象的斜率的绝对值相等，正负不同，可得 D 正确，ABC 错误

2．A

【详解】AB．忽略空气阻力，篮球在下落与上升的过程中，加速度大小均为 g，而 v-t 图像中的斜率表示加速度，即两段图线应相互平行，故 A 正确，B 错误；

C．x-t 图像的斜率表示篮球的速度，下落过程速度越来越大，斜率越来越大，反弹过程速度越来越小，斜率越来越小，故 C 错误；

D．由于下落和反弹过程的加速度相等，但反弹的高度小，所以时间短，D 错误。

故选 A。

3．A

【详解】AB．根据机械能守恒可得 $mgH=\frac{1}{2}mv^2$，可得小球 a 和 b 到达轨道底端的速度大小均为 $v=\sqrt{2gH}$

小球 b 沿直线轨道II做匀加速直线运动，其 $v-t$ 图像为一条倾斜直线，小球 a 沿“最速降线”轨道I运动过程，加速度逐渐减小，则其 $v-t$ 图像的切线斜率逐渐减小，且小球 a 所用时间小于小球 b 所用时间，故 A 正确，B 错误；

CD．根据机械能守恒可得 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$

可得小球 a 和 b 下滑过程速率平方 v^2 与下滑高度 h 的关系为 $v^2=2gh$

可知小球 a 和 b 的 v^2-h 图像均为一条过原点的倾斜直线，故 CD 错误。

故选 A。

题型六：其他特殊图像

【典型例题】D　　C　　C　　A　　D　　B　　C　D

1．D

【详解】AB．由图像可知 $\frac{x}{t}=3+0.75t$，整理得 $x=3t+0.75t^2$

对比公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 可知，质点的初速度为 v_0=3m/s，加速度为 a=1.5m/s²，故 AB 错误；

C．质点在第 4s 末速度为 $v=v_0+at=3\text{m/s}+1.5\times4\text{m/s}=9\text{m/s}$，故 C 错误；

D．质点在前 4s 内的位移为 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2=(3\times4+\frac{1}{2}\times1.5\times4^2)\text{m}=24\text{m}$，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】AB．根据匀变速直线运动的位移-时间公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，解得 $\frac{x}{t}=\frac{1}{2}at+v_0$，由图可得 $\frac{x}{t}$=-1.25t+10

对比可得汽车的初速度为 v_0=10m/s，对比可得汽车的加速度为 a=-2.5m/s²，AB 错误；

C．刹车过程持续的时间为 $t=\frac{0-v_0}{a}=\frac{0-10}{-2.5}\text{s}=4\text{s}$，C 正确；

D．刹车过程的位移为$x=\frac{v_0^2}{2a}=\frac{10^2}{2\times2.5}\text{m}=20\text{m}$，D 错误。

故选 C。

3．C

【详解】ABC．由$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$可知，将等式变形为$\frac{x}{t^2}=\frac{v_0}{t}+\frac{1}{2}a$

由图像的两个交点可得$v_0=20\text{m/s}$；$a=-8\text{m/s}^2$

机动车做初速度为20m/s，加速度为8m/s^2的匀减速运动，故 AB 错误 C 正确；

D．由$v=v_0+at$可判断，机动车在 2.5s 时停止运动，由$v^2-v_0^2=2ax$

则机动车在前 3 秒的位移 $x=\frac{20^2}{2\times8}\text{m}=25\text{m}$，故 D 错误。

故选 C。

4．A

【详解】A．根据匀变速直线运动，位移速度公式$v^2-v_0^2=2ax$整理得$x=\frac{v^2}{2a}-\frac{v_0^2}{2a}$

由图可知位置坐标 x 与速度的平方v^2的关系的表达式为$x=\frac{v^2}{2}-2$，则$a=1\text{m/s}^2$

根据图线知质点做匀变速直线运动，故 A 正确；

B．质点运动的速度大小为 0 时，即$v_1^2=0$，由图可知，相对原点的坐标为$x_1=-2\text{m}$，故 B 错误；

CD．质点运动的速度大小为2m/s时，即$v_2^2=4\text{m}^2/\text{s}^2$，由图可知，相对原点的坐标为$x_2=0$，故 CD 错误。

故选 A。

5．D

【详解】A．由公式$v^2-v_0^2=2ax$可得$v^2=2ax+v_0^2$，结合图像可知玩具车的初速度为 3m/s，A 错误；

B．由图像可知整个过程末速度为 0，由匀变速直线运动规律可知玩具车在整个运动过程中间时刻的瞬时速度大小为$v_{\frac{t}{2}}=v=\frac{v_0+v}{2}=\frac{3\text{m/s}+0}{2}=1.5\text{m/s}$，B 错误；

C．由图像可知$2a=\frac{0-9\text{m}^2/\text{s}^2}{4\text{m}}$，解得玩具车的加速度大小为 1.125m/s，C 错误；

D．玩具车停止运动的时间为$t_0=\frac{v-v_0}{a}=2.67\text{s}$

则玩具车在前 2s 的位移是$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2=3\times2\text{m}-\frac{1}{2}\times1.125\times2^2\text{m}=3.75\text{m}$，D 正确；

故选 D。

6．B

【详解】A．$0\sim x_2$过程中加速度不变，所以物体做匀加速直线运动，$x_2\sim x_3$过程中加速度方向不变，依然与速度同向，故物体仍做加速直线运动，位移为x_3时，物体的速度达到最大，AC 错误；

B．由位移速度公式可得$2a_0x_1=v_1^2$解得移为x_1时，物体的速度大小为$\sqrt{2a_0x_1}$，B 正确；

D．由位移速度公式可得$\frac{v^2-v_0^2}{2}=a\cdot x$

故$a-x$图像的面积表示$\frac{v^2-v_0^2}{2}$，则物体在位移为x_3时的最大速度为$\sqrt{a_0(x_2+x_3)}$，D 错误。

故选 B。

7．C

【详解】AB．根据$a-x$图像可知，无人机先做加速度增大的变加速直线运动，后做加速度恒定的匀加速直线运动，滑行距离为 80m，故 AB 错误；

C．根据$ax=\frac{v^2-v_0^2}{2}$可知，$a-x$图像所围的三角形面积可求得匀加速直线运动的初速度，

有$\frac{20\times40}{2}=\frac{v_1^2}{2}$，可得初速度为$v_1=20\sqrt{2}\text{m/s}$，故 C 正确；

D．由$a-x$图像所围的三角形和矩形面积之和可求出无人机的起飞速度，

有$\frac{20\times40}{2}+20\times(80-40)=\frac{v_2^2}{2}0$，可得起飞速度为$v_2=20\sqrt{6}\text{m/s}$，故 D 错误；

故选 C。

8．D

【详解】A.根据图象可知，当 x＝0 时，N 的速度为 6m/s，即 N 的初速度 v_0＝6m/s，故 A 错误；

B.设 M、N 先后通过 x＝6m 处时的速度均为 v，则对 M：$v^2=2a_1x$，对 N：$v^2-v_0^2=-2a_2x$，联立以上两式解得 $a_1+a_2=3\text{m/s}^2$，故 B 错误；

CD.设当 M 的速度 v_1＝8m/s、N 的速度 v_2＝2m/s 时，两车通过的位移均为 x′，则对 M：$v_1^2=2a_1x'$，对 N：$v_2^2-v_0^2=-2a_2x$，联立以上两式解得 $a_1=2a_2$，解得 $a_1=2\text{m/s}^2$，$a_2=1\text{m/s}^2$，故 C 错误,D 正确.

【变式训练】

1．AB

【详解】AD．由图得$\frac{x}{t}=0.5+0.5t$根据$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，得$\frac{x}{t}=v_0+\frac{a}{2}t$

对比可得$\frac{a}{2}=0.5\text{m/s}^2$，$v_0=0.5\text{m/s}$，则加速度为 a=2×0.5=1m/s²

由图知质点的加速度不变，说明质点做匀加速直线运动，A 正确，D 错误；

B．质点的初速度为 0.5m/s，在 1s 末速度为 $v=v_0+at=1.5\text{m/s}$，B 正确；

C．质点在第 1s 内的平均速度$\bar{v}=\frac{v_0+v}{2}=\frac{0.5+1.5}{2}\text{m/s}=1\text{m/s}$，C 错误。

故选 AB。

2．C

【详解】ABC．由$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$可知，将等式变形为$\frac{x}{t^2}=\frac{v_0}{t}+\frac{1}{2}a$，由图像的两个交点可得$v_0=15\text{m/s}$；$a=-6\text{m/s}^2$

机动车做初速度为15m/s，加速度为6m/s^2的匀减速运动，故 AB 错误 C 正确；

D．由$v=v_0+at$可判断，机动车在 2.5s 时停止运动，由$v^2-v_0^2=2ax$

则机动车在前 3 秒的位移 $x=\frac{15^2}{2\times6}\text{m}=18.75\text{m}$，故 D 错误。

故选 C。

3．BC

【详解】A．质点由静止开始沿 x 轴做直线运动，即初速度$v_0=0$，由图像可读得初位置为$x_0=8\text{m}$， 位置由正值逐渐减小，即质点沿 x 轴负方向运动，故 A 错误；

BC．函数图像满足$v^2-v_0^2=2a(x-x_0)$有$x=\frac{v^2}{2a}+x_0=-\frac{2}{5}v^2+8$

可知质点一定做负方向的匀加速直线运动，函数的斜率度满足$\frac{1}{2a}=-\frac{2}{5}$，解得$a=-1.25\text{m/s}^2$

即加速度的大小为 1.25 m/s²，负号表示方向沿 x 轴负方向，故 BC 正确；

D．质点的运动时间为$t=\frac{v}{a}=\frac{5}{1.25}\text{s}=4\text{s}$，故 D 错误；

故选 BC。

4．AD

【详解】A．无人机起飞位移是 40m 时的速度大小为$v=\sqrt{2ax}=\sqrt{2\times5\times40}=20\text{m/s}$，选项 A 正确；

B．无人机先做匀加速运动再做加速度减小的变加速运动，然后又做加速度增加的变加速运动，选项 B 错误；

C．无人机在 120m 内一直加速，则起飞位移 80m 时的速度不是最大，选项 C 错误；

D．由$v=\sqrt{2ax}$结合图像可知，无人机起飞位移 120m 时的速度大小为$v'=\sqrt{2\times5\times40+2\times5\times40}=20\sqrt{2}\text{m/s}$，选项 D 正确。

故选 AD。

5．BC

【详解】AB. 根据图象可知，甲图象的速度随位移增大而增大，乙图象的速度随位移增大而减小，当$x=0$时，乙的速度为 6m/s，即质点乙的初速度$v_0=6\text{m/s}$，设质点乙、甲先后通过$x=6\text{m}$处时的速度均为v，

对质点甲：$v^2=2a_1x$ ①　　对质点乙：$v^2-v_0^2=-2a_2x$ ②

联立①②解得：$a_1+a_2=3\text{m/s}^2$ ③

当质点甲的速度$v_1=8\text{m/s}$、质点乙的速度$v_2=2\text{m/s}$时，两质点通过相同的位移均为x'，

对质点甲：$v_1^2=2a_1x'$ ④　　对质点乙：$v_2^2-v_0^2=-2a_2x'$ ⑤

联立④⑤解得：$a_1=2a_2$ ⑥

联立③⑥解得：$a_1=2\text{m/s}^2$，$a_2=1\text{m/s}^2$，故 A 错误，B 正确；

C. 根据甲的运动知$v^2=2a_1x$知$x=6\text{m}$时，则有：$v=\sqrt{2\times2\times6}\text{m/s}=2\sqrt{6}\text{m/s}$，即：$a=2\sqrt{6}\text{m/s}$

当$v=8\text{m/s}$时，则有：$x=\frac{8^2}{2\times2}\text{m}=16\text{m}$，即：$b=16\text{m}$，故 C 正确；

D. 图线a、b的交点表示两质点在同一位置，但不是同时，故 D 错误.

6．（1）见解析；（2）14m/s，4m/s²；（3）37.75m

【详解】（1）假设第 4 秒内汽车未停下来。则第 1s 内平均速度为12m/s，第 4s 内平均速度为0.5m/s，则加速度大小为$a_1=\frac{12-0.5}{3.5-0.5}\text{m/s}^2=\frac{23}{6}\text{m/s}^2$

代入数据求得第 4s 末速度为负值，故假设错误，说明物体在第 4s 内已经停下来。

（2）设汽车在x_1位置的速度为v_0，x_2位置的速度为 v，在x_2位置后一段时间内汽车做匀减速运动，设其加速度大小为 a，由题意汽车第 1s 内的位移为 12m，第 4s 内的位移为 0.5m，取$t=1\text{s}$，由运动学公式第 1s 内有$12=vt-\frac{1}{2}at^2$

第 3s 末速度为$v_3=v-3at$　　对 3s 后有$v_3^2=2a'\ 0.5$

联立解得$v=14\text{m/s}$；$a=4\text{m/s}^2$

（3）汽车从x_1位置到x_2位置过程中做加速度增大的减速运动；取极小一段时间Δt可认为汽车做匀减速运动，

由运动学公式$v_1^2-v_0^2=2a_1\Delta x_1$

可得$v_2^2-v_1^2=2a_2\Delta x_2$；$v_3^2-v_2^2=2a_3\Delta x_3\cdots v^2-v_n^2=2a_4\Delta x_n$

所有式子相加得$v^2-v_0^2=2\left(a_1\Delta x_1+a_2\Delta x_2+a_3\Delta x_3+\cdots\cdots+a_n\Delta x_n\right)\ a_1\Delta x_1+a_2\Delta x_2+a_3\Delta x_3+\cdots\cdots+a_n\Delta x_n$

则表示$a-x$图像围成面积，由此求得$v_0=15\text{m/s}$

由司机反应时间为$t_1=0.4\text{s}$，则有反应时间内$x=v_0t_1=15\times0.4\text{m}=6\text{m}$

在匀减速阶段有$v^2=2ax_3$　可得汽车做匀减速阶段位移为$x_3=24.5\text{m}$

汽车行驶总位移$x=6\text{m}+7.25\text{m}+24.5\text{m}=37.75\text{m}$

题型七：图像中的追及相遇问题

【典型例题】

1．C

【详解】A．$0\le t\le140\text{s}$时，和谐号动车速度大于复兴号高铁，$t\ge140\text{s}$时，和谐号动车速度小于复兴号高铁，故复兴号高铁追上和谐号动车前 t=140s 时两车相距最远，故 A 错误；

B．t=140s 时，两车只是速度大小相等，但是位移大小不相等，所以没有追上，故 B 错误；

C．根据 v-t 图像中，斜率表示加速度可知，高铁的加速度为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{70-0}{140-70}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$

所以加速到 95m/s 的所用的时间应为$t=\frac{\Delta v}{a}=\frac{95-0}{1}\text{s}=95\text{s}$

所以当 t=70s+95s=165s 时，速度达到最大，C 正确；

D．复兴号高铁追上和谐号动车前 t=140s 时两车相距最远，由于 v-t 图像中面积表示位移，所以两车最远相距应为$\Delta x=\frac{70\times140}{2}-\frac{70\times(140-70)}{2}\text{m}=2450\text{m}$，故 D 错误。

故选 C 。

2．BD

【详解】B．由题中$v-t$图像得$a_{甲}=10\mathrm{m/s^2}, a_{乙}=5\mathrm{m/s^2}$

两车在$t=3\mathrm{s}$时并排行驶，此时$x_{甲}=\frac{1}{2}a_{甲}t^2=\frac{1}{2}\times10\times3^2\mathrm{m}=45\mathrm{m}$

$x_{乙}=v_0t+\frac{1}{2}a_{乙}t^2=10\times3\,\mathrm{m}+\frac{1}{2}\times5\times3^2\,\mathrm{m}=52.5\,\mathrm{m}$

所以$t=0$时甲车在前，距乙车的距离为$L=x_{乙}-x_{甲}=7.5\mathrm{m}$，故B正确。

AC．$t=1\mathrm{s}$时$x_{甲}'=\frac{1}{2}a_{甲}t^2=5\mathrm{m}$；$x_{乙}'=v_0t+\frac{1}{2}a_{乙}t^2=12.5\,\mathrm{m}$，此时$x_{乙}'=x_{甲}'+L=12.5\,\mathrm{m}$

所以另一次并排行驶的时刻为$t=1\mathrm{s}$，故A、C错误；

D．两次并排行驶的位置沿公路方向相距$L'=x_{乙}-x_{乙}'=40\mathrm{m}$，故D正确。

故选BD。

3．ACD

【详解】A．甲车匀速运动的速度$v_{甲}=\frac{100}{10}\mathrm{m/s}=10\mathrm{m/s}$，乙车的加速度$a=\frac{2x}{t^2}=\frac{2\times100}{10^2}\mathrm{m/s^2}=2\mathrm{m/s^2}$

$t=5\mathrm{s}$时乙的速度$v_{乙5}=at=10\mathrm{m/s}$，即两车速度相等，则甲、乙两车相距最远，选项A正确；

B．$t=5\mathrm{s}$时，乙车的平均速度为$\bar{v}_{乙}=\frac{10}{2}\mathrm{m/s}=5\mathrm{m/s}$

可知甲、乙两车的平均速度不相同，选项B错误；

C．$t=10\mathrm{s}$时，乙的速度$v_{乙10}=at=20\mathrm{m/s}=2v_{甲}$，即乙车的速度一定是甲车的2倍，选项C正确；

D．10s时两车位移相等，两车相遇，10s后甲车的速度小于乙车，则甲车在10s后无法追上乙车，选项D正确。

故选ACD。

4．ABD

【详解】A．根据$v-t$图像可知，甲车的加速度为$a_{甲}=\frac{v_0-\frac{v_0}{3}}{t_1}=\frac{2v_0}{3t_1}$

甲车速度减到零的时间为$t=\frac{v_0}{a_{甲}}=\frac{3t_1}{2}$

在$0\sim t_1$时间内甲车的位移为$x=\frac{v_0+\frac{v_0}{3}}{2}t_1=\frac{2}{3}v_0t_1$

甲车的位移为$\frac{5}{8}x$时的速度为v，有$v^2-v_0^2=-2a_{甲}\times\frac{5}{8}x$；$(\frac{v_0}{3})^2-v_0^2=-2a_{甲}x$，解得$v=\frac{2}{3}v_0$

甲车的位移为$\frac{5}{8}x$时的时刻为t'，有$\frac{2}{3}v_0=v_0-a_{甲}t'$，解得$t'=\frac{t_1}{2}$

根据图像，若甲车的位移为$\frac{5}{8}x$时，即$\frac{1}{2}t_1$两车第一次相遇，则第二次相遇的时刻为$\frac{3}{2}t_1$，此时甲车位移是x'，有

$v_0^2=2a_{甲}x'$；$(\frac{v_0}{3})^2-v_0^2=-2a_{甲}x$，可得$x'=\frac{9}{8}x$

故A正确；

B．t_1时刻两车的位移分别为$x_{甲}=\frac{(v_0+\frac{v_0}{3})}{2}t_1=\frac{4x_0}{3}$；$x_{乙}=\frac{\frac{v_0}{3}}{2}t_1$，解得$x_{乙}=\frac{x_0}{3}$

因为$x_{甲}-x_{乙}=x_0$，所以甲车的位移$x=\frac{4x_0}{3}$，则甲、乙两车在t_1时刻相遇，故B正确；

CD．若甲、乙两车在$t<t_1$时间内能够相遇，后面的乙车做加速运动，前面的甲车做减速运动，乙车一定能追上甲车，两车还能相遇一次，即两车可以相遇两次，故C错误，D正确。

故选ABD。

5．CD

【详解】A．由图像可知，乙物块为匀速直线运动，其速度$v_{乙}=\frac{x_1}{t_1}$

第一次相遇时，为乙追上甲的情形，因此此时甲的速度应该小于乙速度，故A错误；

B．由题意可知，甲做初速度为零的匀加速直线运动，根据$x=x_0+\frac{1}{2}at^2$

将点坐标(t_1,x_1)代入可求出$a=\frac{2(x_1-x_0)}{t_1^2}$，故B错误；

C．两个物块相遇条件为抛物线与直线相交，根据题意有$x=x_0+\frac{1}{2}at^2=v_{乙}t$

代入可知$t_2=\frac{x_0t_1}{x_1-x_0}$，故C正确；

D．根据前面的相遇条件可知，当方程$x=x_0+\frac{1}{2}at^2=v_{乙}t$

有一个解时即为相遇一次，即二次方程中$\Delta=0$，解得$x_1=2x_0$，故D正确。

故选CD。

【变式训练】

1．BC

【详解】A．由图读出，甲、乙两物体的速度大小都是2 m/s，甲的速度沿正方向，乙的速度沿负方向，说明两物体速度方向相反，而速度是矢量，则质点甲、乙的速度不同，故A错误；

B．丙图线的斜率小于丁图线的斜率，则丙的运动速率小于丁的运动速率，故B正确；

C．由图看出丙由距原点正方向x_0处出发沿正方向做匀速直线运动，丁从原点出发沿同一方向做匀速直线运动，所以丙的出发点在丁前面x_0处，故C正确；

D．由于甲乙出发点的位置关系未知，无法判断它们之间的距离如何变化，故D错误。

故选BC。

2．BC

【详解】A．该图中，甲乙在t_0时刻之前位移没有相等的时刻，即两人在t_0时刻之前不能相遇，选项A错误；

B．该图中，甲乙在t_0时刻之前图像有交点，即此时位移相等，即两人在t_0时刻之前能再次相遇，选项B正确；

C．因v-t图像的面积等于位移，则甲乙在t_0时刻之前位移有相等的时刻，即两人能再次相遇，选项C正确；

D．因v-t图像的面积等于位移，由图像可知甲乙在t_0时刻之前，甲的位移始终大于乙的位移，则两人不能相遇，选项D错误。

故选 BC。

3．C

【详解】A．由速度时间图象的斜率表示加速度，可得甲车的加速度大小为 $a_1=\frac{16}{48}\text{m/s}^2=\frac{1}{3}\text{m/s}^2$

乙车的加速度大小为 $a_2=\frac{20}{40}\text{m/s}^2=0.5\text{m/s}^2$，两车的加速度之比为 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{2}{3}$，A 错误；

B．由图像可知，$t=24\text{s}$ 两车共速前，甲的速度一直小于乙，故两车间距逐渐减小，由于两车不相撞，则共速时，两车间距最小，B 错误。

C．由位移公式可得 $t=24\text{s}$ 时，

甲车的位移为 $x_1=v_1t-\frac{1}{2}a_1t^2=288\text{m}$，乙车的位移为 $x_2=v_2t-\frac{1}{2}a_2t^2=336\text{m}$

两者位移之差 $\Delta x=x_2-x_1=48\text{m}$

若两车在 $t=24\text{s}$ 时刻恰好不相撞.则开始刹车时两辆车的间距等于 48m，若两车在 $t=24\text{s}$ 时刻之前相撞，则开始刹车时两辆车的间距小于 48m，C 正确

D．若两车速度相等时没有相撞，则此后的过程，甲车的速度比乙车的大，因此两车不可能再相撞，D 错误。

故选 C。

4．D

【详解】AB．根据 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，可得 $\frac{x}{t}=v_0+\frac{1}{2}at$

由图像可知，甲车初速度为零，加速度 $\frac{1}{2}a_1=\frac{9}{3}=3$，可得 $a_1=6\text{m/s}^2$

乙车的初速度 $v_{02}=12\text{m/s}$，加速度 $\frac{1}{2}a_2=\frac{9-12}{3}=-1$，可得 $a_2=-2\text{m/s}^2$

两车速度相同时 $a_1t=v_{02}+a_2t$，解得 t=1.5s，选项 AB 错误；

C．乙车速度为 6m/s 时，即 6m/s=12-2t_1，解得 $t_1=3\text{s}$

此时甲车速度为 $v_{甲}=a_1t_1=18\text{m/s}$，选项 C 错误；

D．甲车追上乙车前，两车速度相等时距离最远，则最远距离为 $x=v_{02}t+\frac{1}{2}a_2t^2-\frac{1}{2}a_1t^2=9\text{m}$，选项 D 正确。

故选 D。

跟踪练习（三）

1．D

【详解】A．裁判在评分时，全红婵的形状大小不能忽略不计，不可以将全红婵看成质点，故 A 错误；

B．由题图可知，全红婵竖直方向先竖直上升1.4m后，再做自由落体运动下落11.4m，根据$h=\frac{1}{2}gt^2$

可知全红婵做下落运动的时间为$t=\sqrt{\frac{2\times11.4}{10}}\text{s}\approx1.5\text{s}$，故 B 错误；

C．本次跳水她在空中的运动过程全红婵的重心在竖直方向的位移大小为 10m，故 C 错误；

D．由题图可知，全红婵在空中运动的末速度大小为 47.2km/h，故 D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】AB．根据$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}\propto\sqrt{h}$，可知，物资下落到地面的时间之比为$t_a:t_b:t_c=\sqrt{3}:\sqrt{2}:1$，故 A

错误，B 正确；

CD．根据$v^2=2gh$，解得$v=\sqrt{2gh}\propto\sqrt{h}$，可知，物资到达地面时的速度大小之比是$v_a:v_b:v_c=\sqrt{3}:\sqrt{2}:1$，故

CD 错误。故选 B。

3．B

【详解】A．第 2 内的平均速度大小为$\overline{v_2}=\frac{x_2}{t_2}=5\text{m/s}$，故 A 错误；

B．第 2 内的平均速度大小为第 1.5s 的瞬时速度，设刹车时加速度大小为 a，

则有$a=\frac{v_0-\overline{v_2}}{\Delta t}=\frac{8-5}{1.5}\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$，故 B 正确；

D．刹车时间为$t_0=\frac{v_0}{a}=4\text{s}$，刹车后 5s 内，车已经停止，所以 5s 内的位移等于 4s 内的位移，则有$x=\frac{v_0^2}{2a}=16\text{m}$，

故 D 错误；

C．根据逆向思维可知，第 1s 内，第 2s 内，第 3s 内，第 4s 内的位移之比为$x_1:x_2:x_3:x_4=7:5:3:1$

所以第 2s 内与第 3s 内通过的位移大小之比为 5：3，故 C 错误。故选 B。

4．B

【详解】整个过程中小球做自由落体运动，圆筒做竖直上抛运动，小球下落时间为$t_1=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ h 为实际下落高度，

圆筒在空中运动时间为$t_2=\frac{2v_0}{g}$ v_0为其上抛时的速度。根据题中要求，在圆筒落地前的瞬间，小球在圆筒内运动

而没有落地，则临界情况为圆筒上抛速度较小时，当圆筒落地瞬间，小球刚到圆筒的上沿，则 h=1.25 m，又$t_1=t_2$，

即$\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{2v_0}{g}$，解得$v_0=2.5\text{m/s}$，

故选 B。

5．B

【详解】A．$x-t$图像的斜率表示速度，在t_0时刻甲的斜率比乙的大，所以t_0时刻甲的速度比乙的速度大，故A错误；

B．$x-t$图像的斜率表示速度，所以乙的速度为$v_{乙}=\frac{3x_0-x_0}{t_0}=\frac{2x_0}{t_0}$

甲在$\frac{t_0}{3}$时刻的速度为$v_{甲}=at=\frac{6x_0}{t_0^{\ 2}}\times\frac{t_0}{3}=\frac{2x_0}{t_0}$，则$v_{甲}=v_{乙}$

所以甲的图像在$\frac{t_0}{3}$时刻的切线与乙的图像平行，故B正确；

C．甲的图像为抛物线，$t=0$时图像的斜率为零，所以甲的初速度为0，故C错误；

D．乙在$t=0$时刻位移$x_{乙}=x_0$，甲在$t=0$时位移$x_{甲}=0$

所以甲、乙在$t=0$时刻处不在同一地点，故D错误。

故选B。

6．D

【详解】A．由乙图可知，脉冲第一次被运动的物体反射时，物体距离B的距离$x_1=v_0\frac{t_1}{2}$，故A错误；

B．由乙图可知，脉冲第二次被运动的物体反射时，物体距离B的距离$x_2=\frac{v_0(t_2-\Delta t_0)}{2}$，故B错误；

CD．由题可知物体通过的位移为x_2-x_1时所用时间为$t=\frac{t_2-\Delta t_0}{2}-\frac{t_1}{2}+\Delta t_0=\frac{1}{2}(t_2-t_1+\Delta t_0)$

所以物体的速度为$\bar{v}=\frac{x_2-x_1}{\frac{1}{2}(t_2-t_1+\Delta t_0)}=\frac{2(x_2-x_1)}{t_2-t_1+\Delta t_0}$，故C错误，D正确。

故选D。

7．ACD

【详解】A．由图甲可知，$0\sim t_1$时间内，A、B、C三物体做直线运动的位移相同，则三物体的平均速度均为$v=\frac{s_1}{t_1}$；

$0-t_1$时间内三物体的平均速度相等，故A正确；

B．根据$v^2-v_0^2=2ax$，可知v^2-x图像的斜率的绝对值等于2a，所以甲图中$x_1\sim 2x_1$物体的加速度大小为

$a=\frac{|k|}{2}=\frac{v_0^2}{2x_1}$，故B错误；

C．根据$\Delta v=at$知阴影面积表示$t_1\sim t_2$时间内物体的速度变化量的大小，故C正确；

D．根据丁图可知$\frac{x}{t}=2t+2$，整理得$x=2t^2+2t$，结合$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

可知加速度大小为$4\mathrm{m/s^2}$，故D正确。

故选ACD。

8．AC

【详解】AD．松鼠与松子相隔的距离最远时，松鼠与松子速度相等，设此时松子运动时间为t，松鼠的速度大小为v，松子沿冰面下滑的加速度大小为a_1，松鼠加速度为a_2，有$v=a_1t=v_0+a_2(t-1)$

$\frac{1}{2}a_1t^2=v_0(t-1)+\frac{1}{2}a_2(t-1)^2+d_{\mathrm{m}}$，解得$a_1=2\mathrm{m/s^2}$，$t=1.5\mathrm{s}$，$v=3\mathrm{m/s}$，故A正确，D错误；

BC．设松子运动时间为t_1时，松鼠追上松子，有$\frac{1}{2}a_1t_1^2=v_0(t_1-1)+\frac{1}{2}a_2(t_1-1)^2$，解得$t_1=3\mathrm{s}$

松鼠从顶端A出发后，追上松子的所用时间为$t_2=t_1-1\mathrm{s}=2\mathrm{s}$

冰面AB的长度为$x_{AB}=\frac{1}{2}a_1t_1^2=\frac{1}{2}\times2\times3^2\mathrm{m}=9\mathrm{m}$，故B错误，C正确。

故选AC。

9．AD

【详解】ABC．小球上升到最高点所用时间为$t_1=\frac{v_0}{g}=0.4\mathrm{s}$

小球上升到最高点时离水平地面的高度为$h_1=\frac{v_0}{2}t_1+h_0=\frac{4}{2}\times0.4\mathrm{m}+1\mathrm{m}=1.8\mathrm{m}$

小球从最高点落回地面所用时间为$t_2=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=\sqrt{\frac{2\times1.8}{10}}=0.6\mathrm{s}$

则小球从抛出到落到水平地面共经历的时间为$t=t_1+t_2=1\mathrm{s}$，故A正确，BC错误；

D．由竖直上抛运动位移公式$h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$

可得小球在0.2s时的位移为$h_1'=v_0t_1'-\frac{1}{2}gt_1'^2=0.6\mathrm{m}$

小球在0.6s时的位移为$h_2'=v_0t_2'-\frac{1}{2}gt_2'^2=0.6\mathrm{m}$

所以小球在0.2s时和0.6s时经过同一位置，故D正确。

故选AD。

10．ACD

【详解】A．根据v—t图像的斜率表示加速度的大小，可知，

刹车失灵前的加速度大小为$a_1=\frac{30-20}{1}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$

刹车失灵后的加速度大小为$a_2=\frac{20-10}{5-1}\mathrm{m/s^2}=2.5\mathrm{m/s^2}$

故刹车失灵前与失灵后，小汽车加速度大小之比为$a_1:a_2=4:1$，故A正确；

BC．根据$v-t$图像与时间轴所围“面积”大小等于位移，由图知，

$t=3\mathrm{s}$时b车的位移为$x_b=10\times3\mathrm{m}=30\mathrm{m}$；a车的位移为$x_a=\frac{20+30}{2}\times1\mathrm{m}+\frac{20+15}{2}\times2\mathrm{m}=60\mathrm{m}$

则有$\Delta x=x_a-x_b=30\mathrm{m}$，所以在$t=3\mathrm{s}$时追尾，故B错误，C正确；

D．当速度相等时，a 车的位移为 $x_a'=\frac{30+20}{2}\times 1\text{m}+\frac{20+10}{2}\times 4\text{m}=85\text{m}$ ；b 车的位移为 $x_b'=10\times 5\text{m}=50\text{m}$

则两车相距 $\Delta x'=x_a'-x_b'=35\text{m}$

则不会发生追尾事故且两车最近时相距 $d=40\text{m}-35\text{m}=5\text{m}$ ，故 D 正确。

故选 ACD。

11．ABC

【详解】C．根据图像可知，甲乙两车均做匀加速直线运动，甲的加速度大于乙的加速度，甲车在乙车前方 s_0 处，乙车追甲车， S_1 表示两车速度相等时，乙相对于甲的位移，若 $s_0=S_1$，表明在 Q 点速度相等时，两车相遇，之后甲速度始终大于乙的速度，两车间距逐渐增大，即若 $s_0=S_1$，两车相遇 1 次，故 C 正确；

B．结合上述，若 $s_0<S_1$，表明在 Q 点对应时刻之前，乙已经追上了甲，此时乙的速度仍然大于甲的速度，随后乙在前，甲在后，甲的加速度大于乙的加速度，则之后甲一定追上乙一次，即两车相遇 2 次，故 B 正确；

A．结合上述，若 $s_0=S_1+S_2$，表明在 Q 点速度相等时，两车仍然没有相遇，甲仍然在前，乙在后，由于甲的加速度大于乙的加速度，此后甲的速度大于乙的速度，两车不会相遇，故 A 正确；

D．若 $s_0=S_2$，即有 $s_0=S_2<S_1$

表明在 Q 点对应时刻之前，乙已经追上了甲，此时乙的速度仍然大于甲的速度，随后乙在前，甲在后，甲的加速度大于乙的加速度，则之后甲一定追上乙一次，即两车相遇 2 次，故 D 错误。

故选 ABC。

12．(1)不需要；(2)　9.8　$\frac{d^2}{2\Delta t^2 h}$；(3)　1.96　9.76

【详解】（1）该方法中由纸带数据即可计算出重力加速度，不需测量质量。

（2）[1]小球的直径 $d=9\text{mm}+0.1\text{mm}\times 8=9.8\text{mm}$

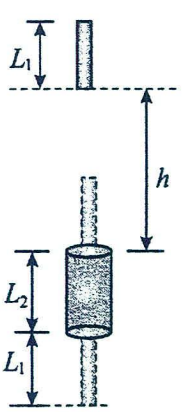
[2]小球通过光电门的速度即为平均速度 $v=\frac{d}{\Delta t}$，由 $v^2=2gh$ ，可得 $g=\frac{v^2}{2h}=\frac{d^2}{2\Delta t^2 h}$

（3）[1]小球通过 D 点的速度 $v_D=\frac{h_{CE}}{2T}=\frac{(11.01+8.57)\times 10^{-2}}{2\times 0.05}\text{m/s}=1.96\text{m/s}$

[2]由 $\Delta x=gT^2$，可得 $g=\frac{(11.01-8.57)\times 10^{-2}}{(0.05)^2}=9.76\text{m/s}^2$

13．(1)0.59s；(2)20m/s

【详解】（1）直棒从开始下落至离开空心管过程中，位移的关系如图所示



根据自由落体运动有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$； $h+L_1+L_2=\frac{1}{2}gt_2^2$

代入数据解得 $t_1\approx 1.41\text{s}$， $t_2=2\text{s}$

则直棒通过该空心管所用的时间为 $\Delta t=t_2-t_1=0.59\text{s}$

（2）直棒离开空心管时的速度大小为 $v=gt_2=20\text{m/s}$

14．(1)50m；(2)21s；36m/s

【详解】（1）警车和货车同速时，警车加速的时间 $t_1=\frac{v_2-v_{10}}{a}=\frac{20-10}{2}$s=5s

加速的距离 $s_1=\frac{v_2+v_{10}}{2}t_1=\frac{20+10}{2}\times$5m=75m

当警车和货车同速时，警车和货车间距最大，最大距离 $\Delta x_1=x_0+v_2t_1-s_1=25\text{m}+20\times5\text{m}-75\text{m}=50\text{m}$

（2）警车行驶到车尾距货车车头前 53m 安全距离处时，

此时警车的车头超过货车车尾Δx_2=53m+5m+20m=78m

此时警车和货车的速度相等，设此期间警车的最大速度为 v_m，加速的时间为 t_1，减速的时间为 t_2，则由

$x_0+\Delta x_2+v_2(t_1+t_2)=\frac{v_{10}+v_m}{2}t_1+\frac{v_2+v_m}{2}t_2$

根据速度时间关系有 $v_m=v_{10}+at_1=v_2+at_2$

联立解得 t_1=13s，t_2=8s，v_m=36m/s，则 t= t_1+ t_2=21s

15．（1）31.5m；（2）6.125s；（3）$\frac{16}{31}$m/s^2

【详解】（1）由题意可知，小强加速时间 $t_1=\frac{v-v_1}{a_1}=3\text{s}$

小强加速时的位移 $x=\frac{v^2-v_1^2}{2a_1}=7.5\text{m}$；公交车刹车距离 $x_0=\frac{v_2^2}{2a_2}=25\text{m}$

刹车时间 $t_0=\frac{v_2}{a_2}=5\text{s}$；公交车匀速运动到停下 $s+\frac{L}{3}=x_0+v_2t_2$，解得 $t_2=3\text{s}$

当小强和公交车共速时，小强和公交车之间有最大距离 Δx，则有 $v=v_2-a_2(t-t_2)$；$t=6\text{s}$

此时公交车位移 $x_2=v_2t_2+v_2(t-t_2)-\frac{1}{2}a_2(t-t_2)^2$；$x_2=51\text{m}$

小强位移 $x_1=x+v(t-t_1)$；$x_1=19.5\text{m}$；$\Delta x=x_2-x_1=31.5\text{m}$

（2）公交车到站点过程中总位移 $s_{总}=v_2t_2+x_0=55\text{m}$；总时间 $t_4=t_0+t_2=8\text{s}$

小强到达站点 $s=x+v(t_3-t_1)$；$t_3=14.125\text{s}$；则有 $\Delta t=t_3-t_4=6.125\text{s}$

（3）公交车在站台停留 10s 后即刻出发，小强运动的最长时间为：$t_m=10\text{s}+8\text{s}=18\text{s}$

小强减速到零的时间为 $t_5=\frac{v}{a_3}$

小强加速阶段的时间为 $t_1=3\text{s}$，加速阶段的位移为 $x=7.5\text{m}$，总位移为 $s=52\text{m}$，

则有 $s=x+v(t_m-t_1-t_5)+\frac{v}{2}t_5$

解得 $a_3=\frac{16}{31}\text{m/s}^2$

第九讲：三大基本力——重力、弹力、摩擦力

考点一：力的基本性质

题型一：概念辨析

【典型例题】 ：D

1．D

【详解】AD．力是物体与物体之间的相互作用，一个物体不能产生力，选项 A 错误，D 正确；

B．力的大小可用弹簧秤直接测量，天平测量质量，选项 B 错误；

C．力不一定只发生在相互接触的物体之间，相互不接触的物体也能发生力的作用，例如磁力，选项 C 错误。

故选 D。

【变式训练】 ：D AD

1．D

【详解】A．力的作用是相互的，受力物体是空气，施力物体和受力物体同时存在，故 A 错误；

B．打出的排球在空中飞行是由于惯性，不再受到向前的推力，故 B 错误；

C．力不可以离开物体而存在，空中悬挂的吊灯受重力是由于地球的吸引而产生的，即重力的产生不可能脱离地球而独立存在，故 C 错误；

D．踢球时脚感到疼痛说明力是物体间的相互作用，故 D 正确。

故选 D。

2．AD

【详解】A．力是物体之间的相互作用，离开了物体，力是不可能存在的，A 正确；

B．力是施力物体对受力物体的作用，所以有力一定有施力物体，B 错误；

C．两个物体相互施加力时，不一定直接接触，如地球和太阳之间存在相互作用力，但地球与太阳并不直接接触；两块相距一定距离的磁铁之间存在相互作用的吸引力或排斥力，但两块磁铁没有直接接触，C 错误；

D．甲、乙两个物体间发生相互作用时，甲对乙施加了力，甲是施力物体，乙是受力物体，同时，乙对甲也有力的作用，这时，乙是施力物体，甲是受力物体，所以，两个物体间发生力的作用时，其中的任一物体既是施力物体，也是受力物体，D 正确。

故选 AD。

考点二：重力

题型一：概念辨析

【典型例题】 ：C

4．C

【详解】A．重力方向总是竖直向下，不一定垂直于物体的支持面，故 A 错误；

BD．静止物体和运动的物体都受重力作用，空中向上飘的气球受重力作用，故 BD 错误；

C．根据 $G=mg$；则粉笔在使用时，质量变小，重力变小，故 C 正确。

故选 C。

【变式训练】 ：D AD

1．D

【详解】在地球上的任何物体均受重力，与物体和地球是否接触无关，与物体的运动状态无关。

故选 D。

2．AD

【详解】A．重力的方向总是竖直向下的，故 A 正确；

B．重力 G＝mg，其大小只和质量、自由落体加速度 g 有关，与其他因素无关，故 B 错误；

C．绳子拉力的施力物体是绳子，重力的施力物体是地球，两者的施力物体不同，不是同一个力，故 C 错误；

D．由于重力加速度随着纬度、高度的变化而变化，所以同一物体在地球各处所受重力大小不一定相等，故 D 正确。故选 AD。

题型二：重力三要素

【典型例题】 ：A　　B

1．A

【详解】AB．重力的方向竖直向下，由于把地球看成一个均匀的球体，则帝企鹅受到的重力的方向一定指向地心，故 A 正确，B 错误；

C．帝企鹅对地面的压力的受力物体是地球，帝企鹅的重力的受力物体是企鹅，压力与重力作用在不同物体上，因此，不能够认为帝企鹅对地面的压力就是其受到的重力，故 C 错误；

D．由于帝企鹅处在南极极点，帝企鹅相对于地心处于静止状态，并没有随地球自转，则帝企鹅受到的重力等于地球对它的吸引力，故 D 错误。

故选 A。

2．B

【详解】A．注水后，水的重心低，易拉罐本身的重心位置不变，整体的重心位置降低了，故 A 错误；

B．重力的方向总是竖直向下的，所以易拉罐重力的作用线垂直于水平面向下，故 B 正确；

C．若将注水后的易拉罐正立放置，水的形状发生变化，整体的重心位置也发生变化，故 C 错误；

D．若将空易拉罐剪去上半部，易拉罐本身的重心降低，则整体重心位置降低，故 D 错误。

故选 B。

【变式训练】 ：BC　　C

1．BC

【详解】A．只有质量分布均匀、形状规则的物体，它的重心才与其几何中心重合，所以物体的重心不一定在其几何中心上，也不一定在物体内，故 A 错误；

B．用悬挂法找物体重心时，物体受重力与绳子拉力是一对平衡力，它们大小相等、方向相反，因此重心一定在绳子的延长线上，故 B 正确；

C．地球表面的重力加速度随纬度的增大而增大，故 C 正确；

D．物体所受重力的方向总是竖直向下，不一定垂直地面向下，故 D 错误。

故选 BC。

2．C

【详解】A．重心是物体各部分所受重力的等效作用点，重心概念的建立用到了“等效替代”的方法，故A错误；

B．瓶子所受重力的施力物体是地球，故B错误；

C．由绳拉力方向的定义可知轻绳对瓶子的拉力沿轻绳的收缩方向，故C正确；

D．由于空瓶倾斜，装半瓶水竖直，满瓶水会倾覆，所以瓶子由倾斜到竖直再到倾斜直至倾覆，瓶子（包括瓶中的水）重心的位置先下降再上升，故D错误。

故选C。

考点三：弹力

题型一：概念辨析

【典型例题】 ：C　　B　　D　　B

1．C

【详解】A．“弯弓”发生的是弹性形变，故A错误；

B．“弯弓”说明力可以改变物体的形状，故B错误；

C．人在“弯弓”的过程中对地面的压力是由于人的形变，故C正确；

D．人在“弯弓”的过程中重力方向竖直向下，但不是指向地心，故D错误。

故选C。

2．B

【详解】A．演员头部受到压力作用是由于坛子发生了形变，故A错误；

B．坛子受到支持力作用是由于演员头部发生了形变，故B正确；

C．压力和重力是不同性质的力，只能说坛子对头部的压力大小等于坛子受到的重力大小，故C错误；

D．坛子对头部的压力和头部对坛子的支持力是一对相互作用力，故D错误。

故选B。

3．D

【详解】AB．桌面受到手的弹力作用是由于手发生了弹性形变，故AB错误；

C．力的作用是相互的，桌面受到手的弹力作用，则手也一定受到桌面的弹力作用，故C错误；

D．反射在天花板上的光点发生移动，说明桌面发生了形变，故D正确。

故选D。

4．B

【详解】A．假设A与斜面有弹力，则水平方向合力不为0，则小球不平衡，假设错误，因此A球和斜面之间没有弹力作用，A错误；

B．由平衡条件可知，B球和与C球间有弹力作用，B正确；

C．假设倾斜的细绳有拉力，则水平方向合力不为0，不平衡，因此假设错误，故倾斜细绳对D球没有拉力作用，C错误；

D．E球（足球）与斜台作用时斜台给足球的弹力方向总是垂直于接触面，故E球（足球）与斜台作用时斜台给足球的弹力方向垂直斜台向左上方方向，D错误。

故选B。

【变式训练】 ：D　　C　　A　　BC

1．D

【详解】A．通常所说的压力、支持力、拉力、张力，就其力的性质而言都是弹力，故 A 不符合题意；

B．物体由于发生了弹性形变，会对使其发生弹性形变的物体施加弹力作用，故 B 不符合题意；

C．在一定范围内，物体发生的形变是弹性形变，弹性形变越大物体产生的弹力越大，故 C 不符合题意；

D．发生形变的物体由于要恢复原状，对与它接触的物体产生力的作用，这种力叫做弹力。物体不可能在不发生形变的条件下对物体施以弹力作用，故 D 符合题意。

故选 D。

2．C

【详解】A．甲图是弯曲形变，弯曲之后可以恢复到原来的形状，故 A 错误。

B．乙图是扭转形变，扭转之后不可以恢复到原来的形状，故 B 错误；

C．图丙中把物体各部分所受重力集中作用于重心，运用了等效替代法，故 C 正确；

D．丁图是杂技表演，演员伸出手臂和腿会影响他的重心位置，故 D 错误。

故选 C。

3．A

【详解】AB．若在两镜之间桌面用力 F 下压，M、N 将向中间倾斜，光束的入射角减小，由光的反射定律可知，光点会在刻度尺上由上向下移动，故 A 错误，B 正确；

C．力 F 越大，M、N 将向中间倾斜越大，则光点 P 移动的距离越大，故 C 正确；

D．在相同压力的条件下，N 与墙面间的距离越大，光点 P 移动效果越明显，移动的距离越大，故 D 正确。

本题选错误的，故选 A。

4．BC

【详解】A．小球随车厢（底部光滑）一起向右做匀速直线运动，小球受到的重力和小车底部对小球的支持力平衡，车厢左壁对小球无弹力，A 错误；

B．小球被轻绳斜拉着静止在光滑的斜面上，假设轻绳对小球没有弹力，去掉轻绳，小球会沿斜面下滑，假设不成立，即轻绳对小球有弹力，B 正确；

C．小球被 a、b 两轻绳悬挂而静止，其中 a 绳处于竖直方向，则小球的重力和 a 绳的拉力平衡，故 b 绳对小球一定没有拉力，C 正确；

D．小球静止在光滑的三角槽中，三角槽底面水平，小球的重力和三角槽底部对小球的支持力平衡，倾斜面对小球一定无弹力，D 错误。

故选 BC。

题型二：弹力方向

【典型例题】 ：A B

1．A

【详解】A．A 球受到墙的弹力 F_1，方向垂直于墙壁向右；斜面的支持力 F_2，方向垂直于斜面向上，故 A 正确；

B．F_2 方向不对，应通过球心，故 B 错误；

C．F_1 方向应垂直于墙壁向右，故 C 错误；

D．A 球只受到水平面的弹力 F_1，右侧的球对 A 没有弹力，否则 A 球将向左运动，与实际情况不符，故 D 错误。

故选 A。

2．B

【详解】A．根据受力平衡可知，斜杆对 A 球的弹力应竖直向上，故 A 错误；

B．根据受力平衡可知，A 球受到重力，右侧竖直墙壁水平向左的弹力 F_{N2}，下方小球对 A 球沿两球心斜向上的弹力 F_{N1}，故 B 正确；

C．根据受力平衡可知，A 球受到重力和竖直绳子的拉力 F_{T1}，倾斜绳子的拉力为 0，故 C 错误；

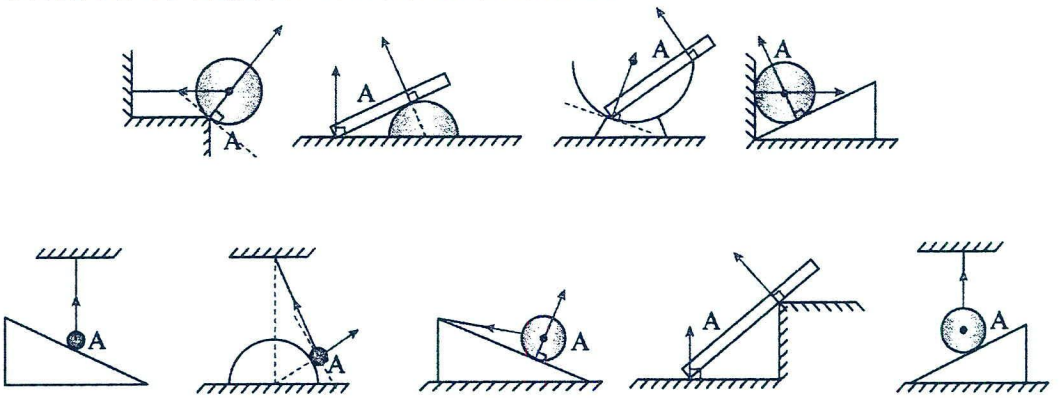
D．根据受力平衡可知，A 球受到重力、沿绳子收缩方向的拉力 F_{N1}，指向半圆轨道圆心的弹力 F_{N2}，故 D 错误。

故选 B。

【变式训练】 ：见解析　　AD

1．见解析

【详解】两物体直接接触产生的弹力与接触面垂直，点点接触的过接触点做出公切面，弹力垂直与共切面，绳子的弹力沿绳子收缩方向，对 A 物体受到的弹力如图



2．AD

【详解】A．甲图中，反弹出去的排球在空中运动时，只受到重力作用，不受沿运动方向的弹力作用，故 A 错误，符合题意；

B．乙图中，将细线悬挂的小球静止在斜面上时，细线竖直，小球受到沿细线向上的拉力及竖直向下的重力作用，不受垂直斜面的支持力，故 B 正确，不符合题意；

C．丙图中，地面与篮球接触，且发生弹性形变，故静止在墙角的篮球受到竖直向上的支持力，故 C 正确，不符合题意；

D．丁图中，静止在杆顶端的铁球受到竖直向上的弹力，故 D 错误，符合题意。

故选 AD。

题型三：弹簧弹力分析

【典型例题】 ：A　　C　　D

1．A

【详解】弹簧受到的拉力与其伸长量(弹簧实际长度与原长之间的差值)成正比，且测力计的示数代表的是作用在测力计挂钩上的力，由于右端受力大小皆为 F，与左端的受力情况无关，故四根弹簧的伸长量相同，即 l1=l2=l3=l4，故 A 正确，BCD 错误.

故选 A.

2．C

【详解】A．对小球受力分析，重力一定有，竖直向下；若弹簧 Q 无拉力，小球受到弹簧 P 的拉力，不受斜面的支持力，否则小球受力不能平衡，即小球与斜面间有可能无弹力，故 A 错误；

B．若弹簧 P 无拉力，则弹簧 Q 一定有拉力，斜面对小球有支持力，一共 3 个力，可以平衡，故 B 错误；

C．若弹簧 Q 处于压缩状态即对小球有沿斜面向下的弹力，则无论受支持力和 P 的拉力还是支持力和 P 的弹力都不能平衡，故轻弹簧 Q 不可能处于压缩状态，故 C 正确；

D．若弹簧 P 和 Q 都有拉力，斜面一定有支持力，否则不平衡，故有 4 个力，结合 AB 选项分析，可得小球受到 2 个力、3 个力或 4 个力均有可能，故 D 错误；

故选 C。

3．D

【详解】当弹簧处于伸长状态，以 A 为研究对象，

由平衡条件得到，细线对 A 的拉力为 $F=G_A+F_{弹}=3N+2N=5N$

对 B 研究可得，地面对 B 的支持力为 $F_N=GB-F_{弹}=4N-2N=2N$

则 B 对地面的压力大小等于 2N。当弹簧处于压缩状态，以 A 为研究对象，由平衡条件得到，

细线对 A 的拉力为 $F=G_A-F_{弹}=3N-2N=1N$

对 B 研究可得，地面对 B 的支持力为 $F_N=G_B+F_{弹}=4N+2N=6N$

则 B 对地面的压力大小等于 6N，故 D 正确，ABC 错误。

故选 D。

【变式训练】：AB　　BC

1．AB

【详解】A．假设 a 受到轻绳向上的拉力 F 的作用，则弹簧 N 必定处于拉伸状态，当 $F<G_a$ 时，M 必处于压缩状态，故 A 选项正确；

B．当 $F=G_a$ 时，弹簧 M 处于不伸不缩状态，故 B 选项正确；

C．绳只能产生拉力，不能产生压力，弹簧 N 处于压缩状态是不可能的，故 C 选项错误；

D．当弹簧 N 处于不伸不缩状态，则拉力 F 为零，此时弹簧弹力等于 G_a，弹簧处于压缩状态，若弹簧 M 处于伸长状态则必须满足 $F>G_a$。故 D 选项错误；

故选 AB。

2．BC

【详解】AB．剪断I的瞬间，由于弹簧的伸长量没有变化，弹簧还处于拉伸状态，所以弹簧的弹力还存在，故 A 错误，B 正确；

CD．剪断II的瞬间，弹簧上的弹力消失，杆上的力可以突变，I对 m 的弹力立即消失，故 C 正确，D 错误；

故选 BC。

题型四：弹力的大小——胡克定律

【典型例题】 ：C　　C　　C　　A　　A

1．C

【详解】由题图可知，弹簧原长为10cm，弹簧下端挂上重为4N的钩码时弹簧长度为15cm，故弹簧伸长量为$x=5\text{cm}$

由胡克定律可知，弹簧劲度系数为$k=\dfrac{F}{x}=\dfrac{4}{0.05}\text{N/m}=80\text{N/m}$

故选C。

2．C

【详解】BCD.设未悬挂重物时，指针P正对刻度尺的x_0位置，

根据胡克定律有$F_1=k\left(x_1-x_0\right)=20\text{N},F_2=k\left(x_2-x_0\right)=30\text{N}$；其中$x_1=3\text{cm},x_2=4\text{cm}$

联立解得$k=1000\text{N/m},x_0=1\text{cm}$，故BD错误，C正确；

A.根据胡克定律有$F_3=k\left(x_3-x_0\right)=50\text{N}$；解得$x_3=6\text{cm}$

故挂上50N重物，重物静止时指针P正对刻度尺的6cm位置，故A错误。

故选C。

3．C

【详解】BC．对题图甲的小球2和题图乙的小球1进行受力分析，有$mg=k_b\Delta x$

由题图可知题图乙中b弹簧伸长量较长，则有$m_1>m_2$，故B错误，C正确；

AD．对题图甲的小球1进行受力分析，有$k_a\Delta x_a=k_b\Delta x_b+m_1g$

由于a、b两弹簧的伸长量Δx_a、Δx_b大小未知，故无法比较两个弹簧的劲度系数，故AD错误。

故选C。

4．A

【详解】开始时弹簧q的压缩量为$x_1=\dfrac{m_bg}{k}=\dfrac{10}{500}\text{m}=2\text{cm}$

物块c刚离开地面时弹簧q的伸长量为$x_2=\dfrac{m_cg}{k}=\dfrac{20}{500}\text{m}=4\text{cm}$

此时弹簧p的拉力$F=\mu m_ag+(m_b+m_c)g=40\text{N}$

弹簧p的伸长量$x_3=\dfrac{F}{k}=\dfrac{40}{500}\text{m}=8\text{cm}$

则该过程p弹簧的左端向左移动的距离是$x=x_1+x_2+x_3=14\text{cm}$

故选A。

5．A

【详解】ACD．设弹簧甲、乙的劲度系数分别为是k_1、k_2，伸长量分别为x_1、x_2，由图可知弹簧甲所受的拉力为2mg，弹簧乙所受的拉力为mg，则有$2mg=k_1x_1$；$mg=k_2x_2$

又$x_1+x_2+2L_0=2.4L_0$；$k_1:k_2=2:1$；解得$x_1=x_2=0.2L_0$，$k_1=\frac{10mg}{L_0}$，$k_2=\frac{5mg}{L_0}$,故 A 正确，CD 错误；

B．弹簧乙的长度为$L=L_0+0.2L_0=1.2L_0$，故 B 错误。

故选 A。

【变式训练】：ACD　　C　　C　　C　　AD

1．ACD

【详解】A．在弹性限度内，弹簧的弹力与弹簧的伸长量（或压缩量）遵守胡克定律$F=kx$，故 A 正确；

BC．弹簧的劲度系数由弹簧本身的性质决定，与弹力 F 及弹簧伸长（或缩短）的长度 x 无关，故 B 错误，C 正确；

D．由胡克定律得$k=\frac{F}{x}$；可理解为弹簧每伸长（或缩短）单位长度时，弹力的改变值与 k 值相等，故 D 正确。

故选 ACD。

2．C

【详解】A．弹簧的弹力满足胡克定律，即$F=k\Delta l=k\left(l-l_0\right)$

图像的横截距表示弹簧的原长，由图像知 b 的原长比 a 的长，故 A 错误；

BC．图像的斜率表示弹簧的劲度系数 k，由图像知 a 的劲度系数比 b 的小，故 B 错误，C 正确；

D．由胡克定律知，弹簧弹力与弹簧的形变量成正比，故 D 错误。

故选 C。

3．C

【详解】最初，由两物块都处于静止状态可知，弹簧弹力$F_1=mg=1\times10\text{N}=10\text{N}$，所以弹簧的压缩量为$x_1=\frac{F_1}{k}=2\text{cm}$

物块 B 刚好离开水平地面时，弹簧弹力$F_2=mg=1\times10\text{N}=10\text{N}$；其伸长量为$x_2=\frac{F_2}{k}=2\text{cm}$

所以物块 A 移动的距离是$x=x_1+x_2=4\text{cm}$

故选 C。

4．C

【详解】AB．设弹簧的劲度系数为 k，根据题意，当 A 静止时，在物块 A 上端再放一个质量为 m 的物块 B，弹簧的压缩量增加了$\Delta x=l_1-l_2$；则有$mg=k\left(l_1-l_2\right)$；解得$k=\frac{mg}{l_1-l_2}$；故 AB 错误；

CD．设弹簧的原长为 l，则根据题意有$3mg=k\left(l-l_1\right)$，$4mg=k\left(l-l_2\right)$；联立解得$l=4l_1-3l_2$,故 C 正确，D 错误。

故选 C。

5．AD

【详解】根据胡克定律可得，原来 1 弹簧的压缩量为$x_{11}=\frac{mg}{k_1}$；弹簧 2 的压缩量为$x_{21}=\frac{2mg}{k_2}$

若 2 弹簧弹力大小变为原来的一半且 2 弹簧处于压缩状态，则此时 2 弹簧的压缩量为$x_{22}=\frac{1}{2}x_{21}=\frac{mg}{k_2}$

对 B 分析可得$mg=k_2x_{22}$

所以 1 弹簧刚好恢复原长，此过程中 A 木块上升的位移为 $\Delta x = x_{11} + (x_{21} - x_{22}) = \frac{mg}{k_1} + \frac{mg}{k_2}$

若 2 弹簧弹力大小变为原来的一半且 2 弹簧处于伸长状态，

则此时 2 弹簧的伸长量为 $x'_{22} = \frac{1}{2}x_{21} = \frac{mg}{k_2}$

对 B 分析可得 $mg + k_2 x'_{22} = k_1 x'_{12}$

所以 1 弹簧的弹力为 $2mg$，此时 1 弹簧的伸长量为 $x'_{12} = \frac{2mg}{k_1}$

此过程中 A 木块上升的位移为 $\Delta x' = x_{11} + x_{21} + x'_{21} + x'_{12} = \frac{3mg}{k_1} + \frac{3mg}{k_2}$

故选 AD。

题型五：弹簧的串并联

【典型例题】 ：B D A

1．B

【详解】A．根据牛顿第三定律可得，弹簧 Q 拉弹簧 P 的力等于 P 拉 Q 的力，故 A 错误；

B．由题意可知，两只弹簧中的弹力大小均为 F，则两只弹簧的形变量之和为 $\Delta x = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}$

所以 $\Delta x = 0.3\text{m}$，故 B 正确；

C．由以上分析可知，若将拉力 F 增加一倍，则稳定后两只弹簧的伸长量之和也加倍，但总长度之和应小于原来的两倍，故 C 错误；

D．由题意 $\Delta x = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2} = \frac{F}{k}$；解得 $k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} = \frac{200}{3}\text{N/m}$，故 D 错误。

故选 B。

2．D

【详解】AB．当物体的质量为 m 时，根据平衡条件可得 $k_1 x_1 = mg$

解得下方弹簧被压缩的长度 $x_1 = \frac{mg}{k_1}$，故 AB 错误；

CD．当物体的质量变为 $2m$ 时，设该物体与第一次相比平衡位置下降的高度为 x，则上方弹簧伸长量为 x，下方弹簧压缩量为 $x_1 + x$，两弹簧弹力之和等于 $2mg$，

由胡克定律和平衡条件可得 $k_2 x + k_1(x_1 + x) = 2mg$；联立解得 $x = \frac{mg}{k_1 + k_2}$，C 错误，D 正确。

故选 D。

3．A

【详解】设该测力计单根弹簧的劲度系数为 k，根据受力平衡结合胡克定律可得 $2k\Delta x = \Delta F = mg$

解得 $k = \frac{mg}{2\Delta x} = \frac{0.3\times 10}{2\times 1.5\times 10^{-2}}\text{N/m} = 100\text{N/m}$

故选 A。

【变式训练】：AD　　AC　　AD　　D

1．AD

【详解】AB．对物体受力分析，受重力和弹簧 b 的拉力，二力平衡，故 $F_b=12\text{N}$

再对 b 弹簧和物体的整体分析，受重力和弹簧 a 的拉力，二力平衡，故 $F_a=12\text{N}$；故 A 正确，B 错误；

CD．根据胡克定律 $F=kx$，得到 $\Delta x_a=\dfrac{F_a}{k_a}=\dfrac{12}{1000}\text{m}=0.012\text{m}$；$\Delta x_b=\dfrac{F_b}{k_b}=\dfrac{12}{2000}\text{m}=0.006\text{m}$

故 a 弹簧长度变为 7.2cm，b 弹簧长度变为 4.6cm，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

2．AC

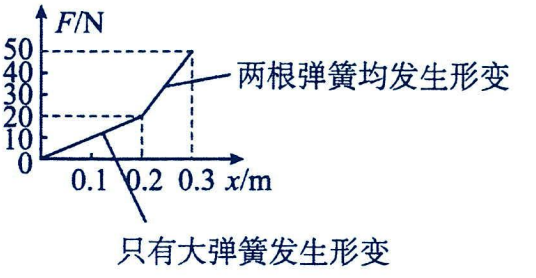
【详解】设大弹簧的劲度系数为 k_1，小弹簧的劲度系数为 k_2，根据 $F=kx$

可知弹簧压缩量为 0.2m 时有 $20\text{N}=k_1\times0.2\text{m}$

弹簧压缩量为 0.3m 时有 $50\text{N}=k_1\times0.3\text{m}+k_2\times(0.3\text{m}-0.2\text{m})$

解得 $k_1=100\text{N/m}$，$k_2=200\text{N/m}$

故选 AC。



3．AD

【详解】设弹簧原长为 l_0，弹簧的劲度系数为 k。由于五根弹簧并联，每根弹簧受到的拉力相等，拉力之和等于 550N，则每根弹簧产生的弹力均为 110N；$F_1=kx_1=k(l_1-l_0)$

三根弹簧并联，每根弹簧受到的拉力相等，拉力之和等于 270N，则每根弹簧产生的弹力均为 90N；

$F_2=kx_2=k(l_2-l_0)$；解的 $k=100\text{N/m}$；$l_0=50\text{cm}$

故选 AD。

4．D

【详解】B．由于两弹簧用光滑细绳连接，同一绳上张力相等，故两弹簧的弹力大小相等，故 B 错误；

A．物体静止时有 $2F=G$，根据胡克定律有 $F=k_1\Delta x_1=k_2\Delta x_2$；解得 $\Delta x_1=\dfrac{G}{2k_1}$，$\Delta x_2=\dfrac{G}{2k_2}$

即两弹簧的伸长量不相等，故 A 错误；

CD．弹簧共伸长 $x=\Delta x_1+\Delta x_2=\dfrac{G(k_1+k_2)}{2k_1k_2}$

根据动滑轮的特点，重物下降的距离为 $h=\dfrac{x}{2}=\dfrac{G(k_1+k_2)}{4k_1k_2}$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

考点四：摩擦力

题型一：概念辨析

【典型例题】 ：A

1．A

【详解】A．摩擦力的方向可能与运动方向相同，也可能与运动的方向相反，但总是和物体之间的相对运动的方向或相对运动趋势的方向相反。故 A 正确；

B．摩擦力产生的条件中，必须接触挤压，所以有摩擦力必有弹力，但有弹力不一定有摩擦力。故 B 错误；

C．滑动摩擦力总是阻碍物体间的相对运动，但可以与物体的运动方向相同，从而充当动力。故 C 错误；

D．运动的物体可以受到静摩擦力，而静止的物体可以受到滑动摩擦力的作用，如物体在地面上滑行，地面受到是滑动摩擦力。故 D 错误。

故选 A。

【变式训练】 ：D C

1．D

【详解】A．滑动摩擦力的大小与两物体间的正压力大小成正比，静摩擦力由二力平衡判断，故 A 错误；

B．运动的物体也可能受到静摩擦力的作用，如用手竖直握着酒瓶行走，故 B 错误；

C．静止的物体可能受到滑动摩擦力的作用，如用黑板擦擦黑板，黑板受到滑动摩擦力的作用，故 C 错误；

D．滑动摩擦力的方向一定与物体的相对运动方向相反，可能与运动方向相同，也可能相反，故 D 正确。

故选 D。

2．C

【详解】A．受静摩擦力的物体不一定静止，例如物体随水平加速的传送带一起运动时；受滑动摩擦力的物体不一定运动，例如物体在水平地面上滑上，则静止的地面受滑动摩擦力，选项 A 正确，不符合题意；

B．摩擦力不一定是阻力，可以是动力，例如物体随水平加速的传送带一起运动时，静摩擦力是动力，选项 B 正确，不符合题意；

C．滑动摩擦力一定阻碍物体间的相对运动，选项 C 错误，符合题意；

D．摩擦力的方向与物体的运动方向可能相同，也可能相反，选项 D 正确，不符合题意。

故选 C。

题型二：静摩擦与动摩擦

【典型例题】 ：D BD

1．D

【详解】A．两个接触且相对静止的光滑物体间没有静摩擦力，故 A 错误；

B．静摩擦力产生在相对静止的物体之间，与物体本身的静止、运动无关，故 B 错误；

CD．静摩擦力方向总是会与物体的相对运动方向相反，可能会与物体的运动方向相反，也可能相同，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．BD

【详解】A．若相互接触并有相对运动的物体之间未发生弹性形变，物体间没有摩擦力，故 A 错误；

B．弹力是产生摩擦力的前提条件，故两物体之间有滑动摩擦力，则其间必有弹力，故 B 正确；

C．滑动摩擦力的方向总是与物体相对运动方向相反，故 C 错误；

D．压力的方向垂直于接触面，摩擦力的方向与接触面相切，所以两力方向一定垂直，故 D 正确。

故选 BD。

【变式训练】：A　　D　　B

1．A

【详解】AC．运动的物体也可能受到静摩擦力作用，比如站在加速前进的车上的乘客，故 A 正确，C 错误；

B．滑动摩擦力总是与物体的相对运动的方向相反，但滑动摩擦力可能与物体的运动方向相同，故 B 错误；

D．两个相对静止的物体，如果没有相对运动的趋势，则没有静摩擦力作用，故 D 错误。

故选 A。

2．D

【详解】A．静摩擦力产生的条件是，两个物体相互接触、有弹力且有相对运动趋势，A 错误；

B．静摩擦力可以是阻力，也可以是动力，例如人在行走时脚掌和地面的静摩擦力即为动力，B 错误；

C．受静摩擦力作用的物体是和所接触的物体间保持相对静止，与实际运动状态无关 C 错误；

D．在压力一定的条件下，静摩擦力的大小是可以变化的，变化范围是从零到最大静摩擦力，D 正确。

故选 D。

3．B

【详解】A．若相互接触并有相对运动的物体之间未发生弹性形变，物体间没有摩擦力，故 A 错误；

B．弹力是产生摩擦力的前提条件，故两物体之间有滑动摩擦力，则其间必有弹力，故 B 正确；

C．滑动摩擦力的方向总是与物体相对运动方向相反，故 C 错误；

D．滑动摩擦力不一定是阻力，可以是动力，例如静止放置在水平传送带上的物块，物块受到滑动摩擦力与物块运动方向相同，故 D 错误。

故选 B。

题型三：摩擦力方向

【典型例题】：C　　C　　C　　A　　C

1．C

【详解】A．A 物体做水平方向的匀速直线运动，水平方向不受摩擦力，故 A 错误；

BCD．B、C 物体有向下滑动的趋势，受到沿斜面向上的静摩擦力，大小均等于重力沿斜面向下的分力，大小为 $mg\sin\theta$，故 BD 错误，C 正确。

故选 C。

2．C

【详解】A．提笔静止时，手对毛笔的摩擦力为静摩擦力，大小等于重力，与握力不是成正比关系，故 A 错误；

B．毛笔对红纸的压力与红纸对毛笔的支持力是一对相互作用力，大小相等，故 B 错误；

C．向左行笔时，笔受到红纸的摩擦力向右，则笔对红纸的摩擦力向左，以红纸和“镇纸”为整体，根据受力平衡可知，桌面对红纸的静摩擦力方向向右，则红纸对桌面的静摩擦力方向向左，故 C 正确；

D．向右行笔时，镇纸相对于纸既没有相对运动趋势，也没有发生相对运动，红纸对“镇纸”没有静摩擦力，故 D 错误。

故选 C。

3．C

【详解】A．磁吸块 a 受到重力、弹力、摩擦力、吸引力 4 个力作用，故 A 错误；

B．磁吸块 a 相对纸有向下运动的趋势，则摩擦力方向向上，故 B 错误；

CD．纸质通知在竖直方向受自身重力，公告栏对其向上的摩擦力和四颗磁铁向下的摩擦力，有 $mg+4f'=f$

所以受到白板的摩擦力大小大于自身重力，去掉磁吸块 c，纸质通知受到白板的摩擦力变小，故 C 正确，D 错误；

故选 C。

4．A

【详解】A．若 $v_1=v_2$，则 A、B 相对静止，A、B 之间无滑动摩擦力，A 正确；

BD．若 $v_1>v_2$，则 A 相对 B 向右运动，故 B 对 A 施加向左的滑动摩擦力，BD 错误；

C．若 $v_1<v_2$，则 B 相对 A 向右运动，故 B 受到 A 施加的向左的滑动摩擦力，C 错误。

故选 A。

5．C

【详解】ABC．因甲的质量大于乙的质量，且薄板 a、b 与“草地”间的动摩擦因数均相同，可知薄板 a 与草地间的最大静摩擦力大于薄板 b 与草地间的最大静摩擦力；甲、乙双方各自缓慢向两侧拖拉时，薄板 b 与草地间首先产生相对滑动，薄板 a 和“草地”间相对静止，此时绳子的拉力等于薄板 b 与草地间的滑动摩擦力，也等于薄板 a 与草地间的静摩擦力，即薄板 b 和薄板 a 与“草地”间的摩擦力大小相等，选项 AB 错误，C 正确；

D．甲、乙“拔河”的力同时作用在绳上，不属于作用力与反作用力，故选项 D 错误。

故选 C。

【变式训练】：C　　C　　D　　D　　D　　BD　　ACD

1．C

【详解】A．杯子静止，处于受力平衡状态，在竖直方向上，受向下的重力与向上的静摩擦力等大反向，所以杯子受到的摩擦力方向竖直向上，根据牛顿第三定律，手受到的摩擦力方向竖直向下，故 A 错误；

BC．杯子重力不变，则平衡时所受的静摩擦力等于重力不变，与手握杯子的力大小无关，但最大静摩擦力与压力有关，手握的越紧，杯子和手之间的最大静摩擦力越大，故 B 错误，C 正确；

D．若往杯中倒水，水的重力增大，静摩擦力也增大，瓶子和手之间的最大静摩擦力与与压力有关，若手的握力不变则最大静摩擦力不变，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】AB．宝剑在外力作用下水平向右运动时，宝剑与磨石之间存在滑动摩擦力，故 AB 错误；

C．滑动摩擦力方向与相对运动方向相反，宝剑相对于磨石向右运动，宝剑受到的，摩擦力水平向左，则宝剑对磨石的摩擦力方向水平向右，故 C 正确；

D．由于宝剑对磨石的摩擦力方向水平向右，以磨石为对象，根据受力平衡可知桌面对磨石的摩擦力方向水平向左，故 D 错误；

故选 C。

3．D

【详解】A．物块的惯性由质量决定，与拉纸的快慢没有关系，故 A 错误；

B．水杯与纸发生相对滑动，纸受到的是滑动摩擦力，故 B 错误；

C．纸受到的是滑动摩擦力，纸受到的正压力不变，根据 $f=\mu F_{\mathrm{N}}$ 可知，水杯对纸的摩擦力不变，故 C 错误；

D．水杯相对纸向左运动，则纸对水杯的摩擦力向右，故 D 正确。

故选 D。

4．D

【详解】A．铁夹竖直向上匀速移动，物块与铁夹保持相对静止且物块有向下运动的趋势，所以摩擦力为静摩擦力方向竖直向上，故 A 错误；

B．物块与铁夹一起水平运动保持了相对静止，物块受到的摩擦力为静摩擦力，故 B 错误；

CD．物块处于平衡状态，受到的摩擦力等于物块所受的重力，竖直向下匀速运动和增大铁夹对物块的压力都是平衡状态，物块受到的摩擦力不变，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

5．D

【详解】由于 A 轮为主动轮，A 轮边缘相对于皮带有向前运动的趋势，则 A 轮受的摩擦力方向和 A 轮的转动方向相反；由于 B 轮为从动轮，皮带转动时，B 轮边缘相对于皮带有向后运动的趋势，则 B 轮受摩擦力的方向向前，与 B 轮转动方向相同。

故选 D。

6．BD

【详解】A．物块所受摩擦力方向向左，与长木板运动方向相同，选项 A 错误；

B．物块和木板之间静摩擦力的大小存在一个最大值，选项 B 正确；

C．由题中信息可以测出物块与木板间的滑动摩擦力，但是由于物块的质量未知，则不能求解动摩擦因数，选项 C 错误；

D．物块处于静止状态，则细线对物块拉力与物体所受摩擦力大小时刻相等，选项 D 正确。

故选 BD。

7．ACD

【详解】A．擦窗机器人静止在竖直玻璃上，在竖直方向，由平衡条件可得 $f=mg=15\mathrm{N}$

故 A 正确；

B．当自动擦窗机器人不动时，受到的摩擦力为静摩擦力，所以真空泵继续向外抽气，自动擦窗机器人受到的摩擦力还是保持不变，因为重力不变，由平衡条件可知摩擦力也不变，故 B 错误；

C．此时机器人对玻璃的压力和玻璃对机器人的支持力是一对相互作用力，故 C 正确；

D．当自动擦窗机器人竖直向下匀速运动时，受到的摩擦力为滑动摩擦力，若真空泵继续向外抽气，则压力增大，根据滑动摩擦力公式 $f=\mu F_{\mathrm{N}}$ ，则自动擦窗机器人受到的摩擦力将变大，故 D 正确。

故选 ACD。

题型四：摩擦力的大小

【典型例题】 ：C C AB D

1．C

【详解】因为 $F_1=10\mathrm{N},F_2=3\mathrm{N}$ 且物体保持静止，可知物体受静摩擦力大小为 $f=F_1-F_2=7\mathrm{N}$

方向向左，物体受最大静摩擦力 $f_m\geq7\mathrm{N}$；现撤去 F_1 保留 F_2，因 $F_2=3\mathrm{N}<f_m$，则物体仍静止，此时木块在水平方向受到的摩擦力为 3N，方向向右。

故选 C。

2．C

【详解】AB．根据整体匀速运动，对整体 AB 受力分析可知整体都受到一个向右的拉力 F，地面对 B 的摩擦力向左，大小与 F 相等为 5N，故 AB 正确，不符题意；

C．对甲图中的 A 受力分析，受到一个向右的拉力 F，由于要保持匀速，B 将给 A 一个向左的摩擦力，则图甲中 A、B 之间的摩擦因数不可能为零，故 C 错误，符合题意；

D．对乙图中的 A 受力分析，水平方向没有外力，由于要保持匀速，则 AB 之间没有摩擦力，图乙中 A、B 之间的摩擦因数无法确定，可能为零，故 D 正确，不符题意。

故选 C。

3．AB

【详解】A.当 F=0 时，木块沿墙面下滑，木块受到的摩擦力为 $f_1=\mu N_1=\mu F=0$，故 A 正确；

B.当 F=10 时，木块沿墙面下滑，木块受到的摩擦力为 $f_2=\mu N_2=\mu F=2.5\mathrm{N}$，故 B 正确；

C.当 F=24N 时，木块的最大静摩擦力 $f_m=\mu F=0.25\times24\mathrm{N}=6\mathrm{N}<G$

所以木块不能静止，所受摩擦力为 6N。故 C 错误。

D.当 $F\geq32\mathrm{N}$ 木块受到的摩擦力 $f_m\geq8\mathrm{N}$

所以物体静止不动，根据平衡条件可得木块受到的摩擦力为 f=G=6N，不再随 F 的增大而增大，故 D 错误。

故选 AB。

4．D

【详解】ABC．第 10 本与第 11 本之间摩擦力大小为 $f_1=\mu_1\cdot10mg=10\mu_1mg$

将下面 20 本看成一个整体，因为 $f_1<\mu_2\cdot30mg$

所以下面 20 本作业相对桌面静止，桌面对其的静摩擦力大小等于 $f_1=10\mu_1mg$，故 ABC 错误；

D．第 10 本与第 9 本之间摩擦力大小为 $f_2=\mu_1\cdot 9mg=9\mu_1 mg$

若要把第 10 本抽出，水平拉力 $F>f_1+f_2=19\mu_1 mg$ ，故 D 正确。

故选 D。

【变式训练】 ：A　　CD　　BC　　AC

4.（1）4N；（2）2.5N；（3）0.25；（4）2.5N

1．A

【详解】AB．对 a 木块由受力平衡可得，水平方向不受摩擦力，故选项 A 正确，选项 B 错误；

CD．对 b 木块，水平方向受力平衡，c 作用于 b 的静摩擦力与水平恒力 F 是一对平衡力，故 c 作用于 b 的静摩擦力大小等于 F，由牛顿第三定律得，b 作用于 c 的静摩擦力大小为 F，故选项 CD 错误。

故选 A。

2．CD

【详解】A．根据题图乙可知，木块所受摩擦力先逐渐增大至 12N，之后保持为 10N 不变，表明木块最大静摩擦力为 12 你，则在拉力开始逐渐增大至 12N 之前，木块始终处于静止状态，即当拉力 F 增大到 10N 时，木块仍处于静止状态，受到的摩擦力为静摩擦力，故 A 错误；

B．结合上述可知，当拉力 F 增大到 11N 时，木块仍受到静摩擦力作用，木块处于静止状态，故 B 错误；

C．结合上述可知，当拉力 F 增大到 12N 时，木块受的摩擦力为最大静摩擦力，接下来木块开始运动，受到滑动摩擦力，大小为 10N，即当拉力 F 增大到 13N 时，木块受到滑动摩擦力作用，大小仍为 10N，故 C 正确；

D．滑动摩擦力大小为 10N，则动摩擦因数 $\mu=\dfrac{10\text{N}}{25\text{N}}=0.4$，故 D 正确。

故选 CD。

3．BC

【详解】AB．木块向右加速滑行，则木块受到木板向左的滑动摩擦力，大小为 $f=\mu_1 F_{\text{N}}=\mu_1 mg<F$

故 A 错误，B 正确；

CD．木块受到木板向左的滑动摩擦力，则木板受到木块向右的滑动摩擦力为，大小也为 $\mu_1 mg$ ，由于长木板处于静止状态，则木板受到地面向左的静摩擦力，大小也等于 $\mu_1 mg$ ，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

4．AC

【详解】A．若 $v_1<v_2$，则物块受向右的滑动摩擦力，大小 $f=\mu mg$ ，选项 A 错误；

B．若 $v_1>v_2$，则物块受向左的滑动摩擦力，大小为 $f=\mu mg$ ，选项 B 正确；

CD．若 $v_1=v_2$，且物块 m 保持匀速运动，则受向右的拉力与静摩擦力而平衡，则受静摩擦力 $f=m_0 g$ 方向向左，选项 C 错误，D 正确。此题选择不正确的，故选 AC。

5．（1）4N；（2）2.5N；（3）0.25；（4）2.5N

【详解】（1）当物体刚开始运动时，弹簧的弹力为 $F_1 = kx_1 = 100 \times (0.10 - 0.06)\text{N} = 4\text{N}$

物体所受的最大静摩擦力的大小为 $F_{max} = F_1 = 4\text{N}$

（2）当弹簧拉着物体匀速前进时，根据平衡条件有 $F_{滑} - kx_2 = 0$

物体所受滑动摩擦力的大小为 $F_{滑} = 2.5\text{N}$

（3）当弹簧拉着物体匀速前进时，物体竖直方向有 $F_N - mg = 0$；解得 $F_N = 10\text{N}$

物体与地板间的动摩擦因数为 $\mu = \dfrac{F_{滑}}{F_N} = \dfrac{2.5}{10} = 0.25$

（4）当弹簧长度为 15cm 时，物体受到的滑动摩擦力 $F_{滑}' = \mu F_N = 2.5\text{N}$

题型五：静摩擦力突变

【典型例题】 ：B AC

1．B

【详解】由于物体受到的水平推力为 F=kt，由二力平衡得，墙壁与物体间的弹力 F_N=kt。

当摩擦力 F_f 小于物体的重力 G 时，物体将沿墙壁下滑，此时物体与墙壁间的摩擦力为滑动摩擦力，滑动摩擦力大小 F_f=μkt

当摩擦力 F_f 大小等于重力 G 时，物体有速度，不能立即停止运动，物体受到的摩擦力仍然是滑动摩擦力，滑动摩擦力大小为 F_f=μkt

当摩擦力 F_f 大于重力时，物体继续下滑，滑动摩擦力大小为 F_f=μkt

当物体静止时，滑动摩擦力将变为静摩擦力，静摩擦力与正压力无关，跟重力始终平衡，静摩擦力大小为 $F_f = G$

故选 B。

2．AC

【详解】用力 F 推物体，在推动之前，物体受静摩擦力作用，静摩擦力的大小随 F 的增大而增大，方向与 F 方向相反，当物体刚要开始滑动时达到最大静摩擦力。若 F 增大到能推动物体，物体受到的摩擦力为滑动摩擦力，滑动摩擦力的大小 $f = \mu N = \mu mg$

故选 AC。

【变式训练】 ：C B

1．C

【详解】D．人的水平推力逐渐增大到 80N 时，才能使木箱从原地开始运动，所以木箱与地面间的最大静摩擦力为 $f_{max} = 80\text{N}$，故 D 错误；

A．当水平推力为 40N 时，木箱保持静止，由水平方向二力平衡可知木箱所受静摩擦力为 40N，故 A 错误；

BC．用 70N 的水平推力就可使木箱继续做匀速直线运动，由水平方向二力平衡可知木箱所受滑动摩擦力为 $F_f = 70\text{N}$；根据滑动摩擦力公式 $F_f = \mu N$；又因为 $N = mg$

联立代入数据求得$\mu=0.35$，故B错误，C正确；

故选C。

2．B

【详解】未加F时，木块A在水平方向上受弹簧的弹力F_1及静摩擦力F_A作用，且$F_A=F_1=kx=8N$

木块B在水平方向上受弹簧弹力F_2和静摩擦力F_B作用，且$F_B=F_2=kx=8N$

在木块B上施加F=1N的向右的拉力后，由于$F_2+F<\mu G_B$

故木块B所受摩擦力仍为静摩擦力，其大小$F_B'=F_2+F=9N$

木块A的受力情况不变。故木块A所受摩擦力大小是8N，木块B所受摩擦力大小是9N，故B正确。

故选B。

题型六：受力分析

【典型例题】 ：C B

1．C

【详解】由于此时AB保持相对静止，即A与B之间没有相对运动趋势，所以AB之前没有摩擦力，此时A的受力个数为2个，A受到重力和B给A的支持力，C正确。

故选C。

2．B

【详解】B．天幕顶对氢气球的弹力垂直天幕顶斜向下，则由平衡可知，氢气球一定受到天幕顶的摩擦力，氢气球相对天幕顶有斜向上运动的趋势，则天幕顶对氢气球的摩擦力沿天幕顶斜向下，故B正确；

C．天幕顶对氢气球的弹力是由于天幕顶发生弹性形变而产生的，故C错误；

A．氢气球受重力、浮力、天幕顶对氢气球的弹力和摩擦力，共受到四个力的作用，故A错误；

D．氢气球受力平衡，因浮力和重力的合力竖直向上，则氢气球受到天幕顶的作用力（弹力和摩擦力的合力）竖直向下，天幕顶对氢气球的弹力垂直天幕顶斜向下，故D错误。

故选B。

【变式训练】 ：C CD A D

1．C

【详解】A．对A受力分析，受重力和支持力两个力而平衡，故A与B之间无摩擦力，故A错误；

A．对B物体受力分析可知，受重力、已知拉力F、A对B的压力、支持力，C对B的摩擦力，共5个力，其中C对B的摩擦力大小为F，方向水平向左，故B错误；

C．对ABC整体受力分析，水平方向受拉力和向左的摩擦力，根据平衡条件，C受到地面给予的摩擦力大小为F，方向水平向左，故C正确；

D．对B物体分析可知在竖直方向有$N_{CB}=N_{AB}+mg$

即B物体的重力和A对B的压力之和等于C物体对B物体的支持力，则C物体对B物体的支持力大于B物体的重力，故D错误。

故选C。

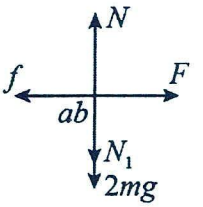
2．CD

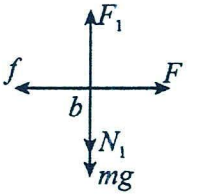
【详解】A．对于ab，受力分析如图



由物体的平衡条件 $F=f$

有摩擦力必有弹力即 $N_1\neq 0$，$N=N_1+2mg>0$，故 A 错误；





B．对于 a，受力分析，如图

由物体的平衡条件，受力分析可知：a 不受摩擦力，故 B 错误；

CD．对于 b，受力分析，如图

由平衡条件可得 $f=F$，$F_1=N_1+mg$；因为 $N_1>0$；可得 $F_1>mg$，故 CD 正确；

故选 CD。

3．A

【详解】D．以 a、b 整体为研究对象，整体受到重力、水平推力 F、墙壁对整体水平向右的弹力和墙壁对整体向上的摩擦力作用，由于整体处于平衡状态，所以墙壁对 a 的摩擦力等于整体的重力，不随 F 的增大而增大，选项 D 错误；

C．隔离 b 为研究对象，b 受到重力、水平推力、a 对 b 水平向右的弹力、a 对 b 向上的摩擦力四个力作用，选项 C 错误；

AB．再隔离 a，a 受到 b 对 a 向下的摩擦力、墙壁对 a 向上的摩擦力、重力及水平方向上的两个弹力作用，选项 A 正确，B 错误。

故选 A。

4．D

【详解】BD．对 a、b 水平方向不受外力，也就不受静摩擦力，即 a 与 b 之间没有摩擦力、b 与 c 之间没有摩擦力，故 B 错误，D 正确；

C．对 c，受到水平拉力 F，所以一定受到 d 对 c 的水平向左的静摩擦力，书 c 受到一个摩擦力作用，故 C 错误；

A．d 对 c 有水平向左的静摩擦力，所以 c 对 d 有水平向右的静摩擦力，根据平衡条件可知，d 还受到 e 对 d 的水平向左的静摩擦力，d 受两个摩擦力作用；同理 e 也受 d 给的向右摩擦力和地面向左的摩擦力作用，故 A 错误。

故选 D。

题型七：摩擦力综合分析

【典型例题】 ：C B AC D CD C D

1．C

【详解】A．脚对墙壁的压力，施力物体是脚，是脚发生形变产生的，故 A 错误；

B．墙壁对脚的支持力与脚对墙壁的压力是相互作用力，大小是相等的，故 B 错误；

CD．运动员处于平衡状态，竖直方向上两侧的静摩擦力的合力与演员的重力大小相等，方向相反，故墙壁对运动员的摩擦力大小不会随脚对墙壁的压力增大而变大；换一双鞋底更粗糙的运动鞋，人受到的墙壁对她的摩擦力仍然与重力大小相等，方向相反， 故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】AB．以晾衣杆与衣物为整体，受力分析可得两边杆头与墙面间的静摩擦力等于晾衣杆与衣物的总重力，

即 $f=(m_{衣物}+m_{晾衣杆})g$

故杆头与墙面间的压力越大，杆头与墙面间的摩擦力不变，所晾衣物的质量越大，杆头与墙面间的摩擦力就越大，故 A 错误，B 正确；

C．在湿衣物晾干的过程中，晾衣杆与衣物的总重力减小，杆头与墙面间的摩擦力减小，故 C 错误；

D．为了能晾更大质量的衣物，可增加杆头与墙面的粗糙程度或增大杆头与墙面间的压力，以增大杆头与墙面间的最大静摩擦力，增加杆头与墙面的接触面积时不能够增大杆头与墙面间的最大静摩擦力，故 D 错误。

故选 B。

3．AC

【详解】AB．P 向右匀速运动，则 Q 向左匀速运动，Q 受到 P 给的向右的滑动摩擦力为 $f=\mu mg$

根据作用力与反作用力可知，Q 对 P 摩擦力为μmg，方向向左，A 正确，B 错误

CD．根据平衡条件可知，绳对 Q 的拉力为 $T=f=\mu mg$

对 P 受力分析：P 受重力 2mg，绳子向左的拉力 T，向右的力 F，Q 对 P 的压力 mg，地面对 Q 的支持力 3mg，Q 对 P 向左的摩擦为 f，地面对 P 向左的滑动摩擦力为 $f_{地}=3\mu mg$

根据平衡条件 $F=T+f+f_{地}=5\mu mg$，C 正确，D 错误。

故选 AC。

4．D

【详解】黑毛巾有四个面受到摩擦力，要将黑毛巾匀速拉出，根据平衡条件，可得需要的水平力为

$$F=f_1+f_2+f_3+f_4=\frac{1}{2}\mu mg+\mu mg+\frac{3}{2}\mu mg+2\mu mg=5\mu mg$$

故选 D。

5．CD

【详解】A．物体 C 竖直方向受到重力、A 的压力、B 的压力和地面支持力作用，水平方向受到 A 的摩擦力、B 的摩擦力和地面的摩擦力作用，则物体 C 受到 7 个力作用，故 A 错误；

B．A、B 和 C 一起向左做匀加速直线运动，可知 C 对 B 的摩擦力向左，则 B 对 C 有向右的摩擦力，故 B 错误；

C．物体 C 受地面的摩擦力大小为 $f_{地}=\mu(m+m+2m)g=4\mu mg$，故 C 正确；

D．以 A、B 和 C 为整体，根据牛顿第二定律可得 $F-4\mu mg=4ma$

以 A 为对象，根据牛顿第二定律可得 $F-f_{AC}=ma$；联立可得 $f_{AC}=\frac{3}{4}F+\mu mg$

又 $f_{AC}\le\mu_{AC}mg$；可得 $\mu_{AC}\ge\mu+\frac{3F}{4mg}$

可知 A、C 之间的动摩擦因数的最小值为 $\mu+\frac{3F}{4mg}$，故 D 正确。

故选 CD。

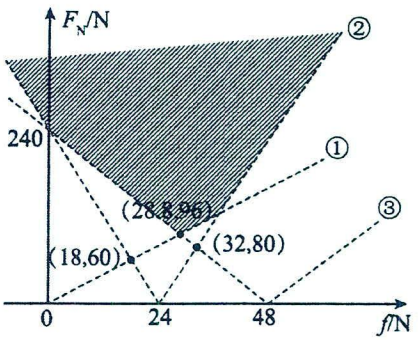
6．C

【详解】设砖 1 对砖 2 的摩擦力大小为 f，方向向上，则砖 3 对砖 2 的摩擦力大小为 $f_1 = f - mg$

砖 4 对砖 3 的摩擦力大小为 $f_2 = 2mg - f$

摩擦力和压力需满足 $F_N \geq \frac{|f|}{0.3}$；$F_N \geq \frac{|mg-f|}{0.1}$；$F_N \geq \frac{|2mg-f|}{0.2}$

线性规划如图所示，相邻两块砖之间的最小压力为 96N；若四块砖粘在一起，则砖块夹对砖的最小压力为 60N。



故选 C。

7．D

【详解】A、B 间最大静摩擦力为 $f_{m1} = \mu m_A g = 0.2 \times 1 \times 10\text{N} = 2\text{N}$

当 A 刚要拉动时，右侧绳子的拉力至少等于 A、B 间最大静摩擦力，即 $T = f_{m1} = 2\text{N}$

B、C 间的最大静摩擦力 $f_{m2} = \mu(m_A + m_B)\ g = 0.2 \times (10+20)\ \text{N} = 6\text{N}$

故 A、B 间最大静摩擦力小，A、B 间先滑动；

D 与地面间的最大静摩擦力 $f_{m4} = \mu(m_A + m_B + m_C + m_D)\ g = 0.2 \times (1+2+3+4) \times 10\text{N} = 20\text{N}$

再对 B、C、D 三个物体组成的整体进行研究，

由平衡条件得到，水平向左的拉力最小值为 $F = f_{m1} + f_{m4} + T = 2\text{N} + 2\text{N} + 20\text{N} = 24\text{N}$

故选 D。

【变式训练】：BC　　BC　　D　　D　　D　　BC　　C

1．BC

【详解】AB．由受力平衡可知，墙面对单杠的摩擦力等于该同学和单杠的总重力，则只增大墙面的粗糙程度或只增大卡槽与墙面间的弹力，墙面对单杠的摩擦力不变，故 A 错误，B 正确；

C．墙面对单杠的摩擦力与该同学和单杠的总重力等大反向，则墙面对单杠的摩擦力沿墙面竖直向上，故 C 正确；

D．该同学挂在单杠上，单杠没有沿墙面下滑，是因为墙面对单杠的最大静摩擦力不小于单杠和该同学的总重力，故 D 错误。

故选 BC。

2．BC

【详解】AD．开始时当力 F 较小时，两物块均静止不动，则两物块所受的静摩擦力都等于力 F，则所受摩擦力大小相等；随 F 的增加，则因为 B 的质量较小，则 B 与绸带间的最大静摩擦力较小，则 B 先与绸带间产生滑动，则此后 B 与绸带间的摩擦力为滑动摩擦力不变，而 A 与绸带间的静摩擦力等于绸带与 B 之间的摩擦力也保持不变，则两物块所受摩擦力的大小总是相等的，选项 AD 错误；

B．由以上分析可知，两物块不可能同时相对绸带滑动，选项 B 正确；

C．由以上分析可知，当 B 与绸带间产生相对滑动后，A 物块与绸带间的摩擦力保持不变且小于 A 与绸带间的最大静摩擦力，则 A 物块不可能相对绸带发生滑动，选项 C 正确；

故选 BC。

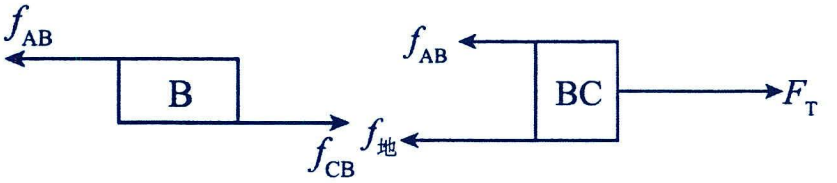
3．D

【详解】对 B 进行受力分析，设 A 对 B 的摩擦力为 f_{AB}，C 对 B 的摩擦力为 f_{CB}

f_{AB} 为滑动摩擦 $f_{AB}=\mu F_{N1}=\mu m_A g=4\text{N}$

C 对 B 的最大静摩擦力 $f_{CBmax}=\mu F_{N2}=\mu(m_A g+m_B g)=8\text{N}$

因为 $f_{AB}<f_{CBmax}$

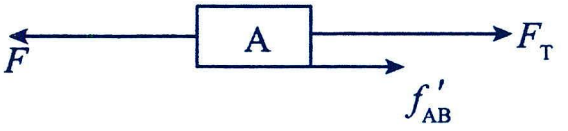


所以 B、C 之间不会发生相对滑动，即 B、C 一起向右匀速运动，将 B、C 看成整体，对其进行受力分析，设地面对 C 的摩擦力为 $f_{地}$，C 与地面发生相对滑动，故 $f_{地}$ 为滑动摩擦力

$f_{地}=\mu F_{N3}=\mu(m_A g+m_B g+m_C g)=12\text{N}$

根据 BC 整体受力平衡，有 $F_T=f_{AB}+f_{地}=16\text{N}$

对 A 受力分析



根据 A 受力平衡，有 $F=F_T+f_{AB}'=20\text{N}$

故选 D。

4．D

【详解】AB．以 A 和 B 为整体作为研究对象，由于 B 恰好不滑动，

则根据平衡条件有 $F=\mu_2(m+M)g$，故 AB 错误；

CD．对 A 物体单独分析，由于 A 刚好不下滑，根据平衡条件有 $mg=\mu_1 F$

结合前面的式子联立起来有 $\mu_1\mu_2=\dfrac{m}{M+m}$，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

5．D

【详解】A．当 C 物体即将运动时，在水平方向桌面给 C 的向右的摩擦力 $f_{桌}$，绳子向右的拉力 T，B 给 C 向右的摩擦力 f_{BC}，其中 $f_{桌}=0.1(m_A+m_B+m_C)g=3\text{N}$；$f_{BC}=0.2(m_A+m_B)g=4\text{N}$

当 C 物体即将滑动时应有 $F=f_{桌}+f_{BC}+T$；$T=f_{BC}=4\text{N}$；可解得 $F=11\text{N}$，故 A 错误；

BD．因为 B 和 C 的加速度大小相等，在 A 和 B 即将发生相对滑动，

对 A 受力分析可得 $f_{AB}=0.4m_A g=m_A a$，对 AB 整体受力分析可得 $T'-f_{BC}=(m_A+m_B)a$

对 C 物体受力分析可得 $F_1-T'-f_{BC}-f_{地}=m_C a$，联立解得 $F_1=23\text{N}$

说明 A 和 B 发生相对滑动的临界力 F 大小为 $F_1 = 23\text{N}$

当 $F = 17\text{N}$ 时，没有发生相对滑动，此时对 AB 整体 $T'' - f_{BC} = (m_A + m_B)a_1$

对 C 物体受力分析 $F - T'' - f_{BC} - f_{地} = m_C a_1$，联立解得 $T'' = 8\text{N}$，故 B 错误，D 正确；

C．当拉力超过 23N，A 和 B 发生相对滑动，则 A 物体受到滑动摩擦力，加速度为 $a_2 = 0.4g = 4\text{m/s}^2$

后期加速度始终不变，故 C 错误。

故选 D。

6．BC

【详解】AB．设该同学最多可以夹起 n 个盒子，木板与盒子之间的动摩擦因数为 $\mu_1 = 0.5$ ，盒子与盒子之间的动摩擦因数为 $\mu_2 = 0.4$ 则 $2\mu_1 F_N = nG$ ，解得 n=16

取这 16 个盒子中除去最左边和最右边的其他 14 个盒子为研究对象，其重力为 $G_{14} = 14 \times 5\text{N}=70\text{N}$

最左与最右的两个盒子能提供给这 14 个盒子的最大静摩擦力为 $f_{max} = 2\mu_2 F_N = 2 \times 0.4 \times 80\text{N} = 64\text{N}$

则因为 $f_{max} < G_{14}$

所以中间这 14 个盒子不能被夹起，即最多不能夹起 16 个盒子；设我们从 16 个盒子中去掉 x 个盒子，剩下 $(16-x)$ 个盒子，取 $(16-x)$ 个盒子中除去最左边和最右边的其他 $(14-x)$ 个盒子为研究对象，其重力为

$G_{14-x} = (14-x) \times 5\text{N}=(70-5x)\text{N}$

最左与最右的两个盒子能提供给这 $(14-x)$ 个盒子的最大静摩擦力为 $f_{max} = 2\mu_2 F_N = 2 \times 0.4 \times 80\text{N} = 64\text{N}$ ，则

$64\text{N} = (70-5x)\text{N}$ ；解得 $x = 1.2$

因为盒子个数只能取整数，所以取 $x = 2$

盒子与盒子间的最大静摩擦力为 64N，中间的这 12 个盒子能被夹起的话，靠里面的盒子由于数量减少也能被夹起。所以最多能夹起 14 个盒子。故 A 错误。故 B 正确；

C．若该同学夹起 10 个盒子，则取 10 个盒子整体为研究对象，左右两侧分别受到竖直向上的静摩擦力，大小都为 5G。根据对称性我们取左边 5 个和右边 5 个分别为研究对象，则它们各自的重力和静摩擦力已经平衡，所以相互之间没有摩擦力。即第五个和第六个盒子之间的摩擦力为 0。故 C 正确；

D．木板和盒子之间的摩擦力是静摩擦力，盒子的数量减小时静摩擦力的大小也随之减小。故 D 错误。

故选 BC。

7．C

【详解】设绳子中的拉力为 T，传送带逆时针转动可知传送带对乙的摩擦力 f_2 竖直向上，对甲乙整体受力分析有 $2T + f_2 = 2mg$

可知 $T < mg$ ，对甲单独受力分析，竖直方向受力平衡，受到竖直向上绳子的拉力 T，自身竖直向下的重力 mg，可知乙对甲的摩擦力 f_1 方向竖直向上，故有 $T + f_1 = mg$ ；联立解得 $2f_1 = f_2$

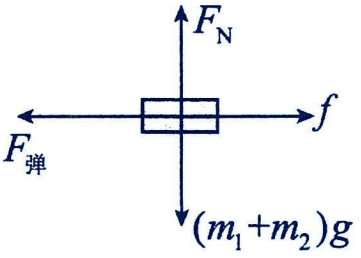
设水平方向的力为F，甲、乙恰好均处于静止状态可知 $f_1=\mu_1 F$ ， $f_2=\mu_2 F$ ，故可知 $\mu_1:\mu_2=1:2$

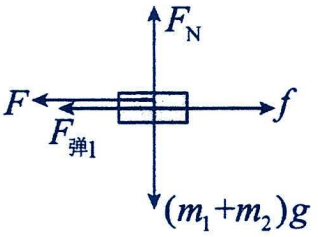
故选 C。

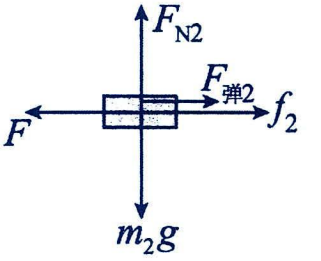
8. （1） $\Delta x=\frac{\mu(m_1+m_2)g}{k_1}$ ；（2） $\Delta x_1=\frac{\mu m_1 g}{k_1+k_2}$ ， $F=\mu m_2 g+\frac{k_2}{k_1+k_2}\mu m_1 g$

【详解】（1）对 PQ 及中间的弹簧看成一整体，对整体受力分析有

$F_{弹}=f$ ； $F_{弹}=k_1\Delta x$ ； $f=\mu F_N=\mu(m_1+m_2)g$ ；解得 $\Delta x=\frac{\mu(m_1+m_2)g}{k_1}$







（2）分析可得，最后两弹簧长度之和要等于原长，必然有 A 被压缩 B 被拉长，且两弹簧的形变量相等；对 PQ 及中间的弹簧看成一整体，

对整体受力分析有 $F+F_{弹1}=\mu(m_1+m_2)g$ ； $F_{弹1}=k_1\Delta x_1$

对 Q 隔离受力分析有 $F=\mu m_2 g+F_{弹2}$ ； $F_{弹2}=k_2\Delta x_2$ ； $\Delta x_2=\Delta x_1$

联立方程可得 $\Delta x_1=\frac{\mu m_1 g}{k_1+k_2}$ ； $F=\mu m_2 g+\frac{k_2}{k_1+k_2}\mu m_1 g$

跟踪练习（四）

1．D

【详解】A．力是物体对物体的作用，力不能脱离物体而存在，必须存在施力物体和受力物体，故 A 错误；

B．力有两个作用效果：①使物体发生形变②改变物体的运动状态，物体受到力的作用后形状不一定发生改变，故 B 错误；

C．但有力的作用不一定会改变物体的运动状态，当物体受到多个力的作用时，而这多个力的合力为 0 时，力的作用就不会改变物体的运动状态，物体只会保持原来的运动状态，故 C 错误；

D．影响力的作用效果的因素有力的大小、方向和作用点，故 D 正确。

故选 D。

2．B

【详解】A．物体各部分都受重力作用，但可以认为物体各部分所受重力集中于一点，这点叫做重心，但重心不一定在物体上（比如空心环撞物体、空心球），故 A 错误；

B．根据摩擦力产生的条件可知产生摩擦力的两物体之间一定有弹力，故 B 正确；

C．根据弹力产生的条件可知挂在电线下的电灯受到向上的拉力，是因为电线发生了微小形变，故 C 错误；

D．前驱小轿车起步时，前轮相对地面有向后运动的趋势，前轮受到地面的摩擦力向前，故 D 错误。

故选 B。

3．C

【详解】A．由 $G=mg$ 可知，将木材做成等质量的橱柜，重力不会变化，故 A 错误；

B．因为木材的形状发生变化，所以重心的位置可能发生变化，故 B 错误；

C．物体各部分都受到重力作用，橱柜上各点都受到重力作用，故 C 正确；

D．橱柜是空心的，密度分布不均匀，形状不规则，重心不一定在橱柜上，故 D 错误。

故选 C。

4．C

【详解】A．蝙蝠的重心位于蝙蝠身上，应在树枝的下方。故 A 错误；

BC．由于蝙蝠倒挂在倾斜的树枝上，则蝙蝠对树枝的弹力垂直树枝向下，蝙蝠受重力、弹力以及摩擦力的作用，由力的平衡可知，弹力和摩擦力的合力与重力大小相等、方向相反，即树枝对蝙蝠的作用力与蝙蝠的重力等大反向。故 B 错误；C 正确；

D．蝙蝠在飞离的瞬间对树枝的作用力与树枝对它的作用力是一对相互作用力，等大反向。故 D 错误。

故选 C。

5．A

【详解】A．M 处受到的支持力的方向与地面垂直向上，即竖直向上，故 A 正确；

B．N 处受到的支持力的方向与原木 P 垂直向上，不是竖直向上，故 B 错误；

C．原木相对于地有向左运动的趋势，则在 M 处受到的摩擦力沿地面向右，故 C 错误；

D．因原木 P 有沿原木向下的运动趋势，所以 N 处受到的摩擦力沿 MN 方向，故 D 错误。

故选 A。

6．C

【详解】A．向右拉桌布，杯子没有滑离桌布时，杯子相对于桌布向左运动，杯子受到的摩擦力向右，A 错误。

B．拉出桌布后，杯子在桌面上向右滑动，桌面对杯子的摩擦力的方向向左，B 错误。

CD．杯子受到的摩擦力为滑动摩擦力，其大小与拉力无关，只与正压力和动摩擦因数有关，因此增大拉力时，摩擦力不变，C 正确，D 错误。

故选 C。

7．D

【详解】A．瑜伽球受到重力、两个压力和两个摩擦力共 5 个力的作用，故 A 错误；

B．地面对同学的支持力等于该同学受到的重力与瑜伽球对该同学的摩擦力之差，故 B 错误；

C．瑜伽球受到墙面的弹力是由于墙的形变产生的，故 C 错误；

D．若减小背部与墙壁的距离且保持背部竖直，瑜伽球仍将保持静止状态，竖直方向受力平衡，受到的摩擦力大小等于重力，保持不变，故 D 正确。

故选 D。

8．B

【详解】A．顾客所受重力的方向一定竖直向下，不一定指向地心，A 错误；

B．顾客所受弹力是由于扶梯的形变而产生的，B 正确；

C．顾客与自动扶梯之间没有滑动，所以其受到的摩擦力为静摩擦力，C 错误；

D．顾客所受摩擦力方向沿扶梯向上，D 错误。

故选 B。

9．D

【详解】A．小木棍对糖浆的弹力是小木棍发生形变引起的，A 错误；

B．根据牛顿第三定律，小木棍对糖浆的拉力等于糖浆对小木棍的拉力，B 错误；

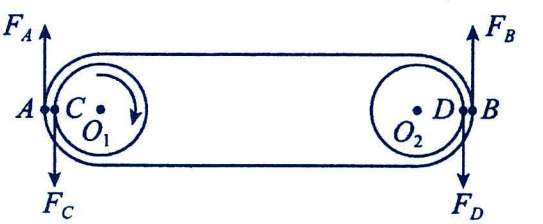
C．整个下扯过程中，小木棍不是一直向下加速运动，所以不是始终处于失重状态，C 错误；

D．整个下扯过程中，人对糖浆有向下的拉力，所以地面对固定的木柱的支持力大于木柱和糖浆的总重力，D 正确。

故选 D。

10．C

【详解】假设主动轮 O_1 与皮带间无摩擦力作用，则当 O_1 顺时针启动时，O_1 与皮带间将会打滑，此时 C 点将相对于 A 点向上运动。实际上，O_1 与皮带间没有打滑，可见 C 点相对于 A 点有向上运动的趋势；反之，A 点相对于 C 点有向下运动的趋势。根据静摩擦力的方向与物体相对运动趋势的方向相反，可知 C、A 两点受到的静摩擦力 F_C、F_A 的方向分别是向下、向上。同理，可判断 B、D 两点所受摩擦力的方向如图所示。

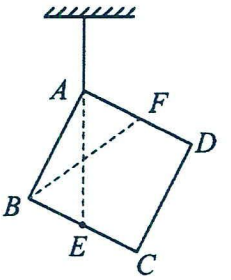


故选 C。

11．D

【详解】以物块 A 为研究对象，根据平衡条件 $F_{弹}=\mu mg$，其中 $F_{弹}=kx$；解得 $x=2.5\text{cm}$，故选 D。

12．C



【详解】根据题意可知，AE 和 BF 的交点是薄板的重心，如图所示

由几何关系可知，薄板的重心到 AB 边的距离是 $d=\frac{1}{2}BE=\frac{1}{4}BC=\frac{1}{4}a$

故选 C。

13．B

【详解】A．摩擦力 $f=\frac{X}{L}\mu mg$ X 不随 t 均匀变化，则 f 不随 t 均匀变化，故 A 错误；

B．加速度 $a=\frac{f}{m}=\frac{\mu g}{L}X$ a-X 图像为过原点的直线，故 B 正确；

CD．A 点右侧铁链对 A 点左侧铁链的拉力 $F=\frac{L-X}{L}ma=\frac{L-X}{L}m\frac{\mu g}{L}X=\frac{\mu mg(LX-X^2)}{L^2}$ F-X 图像为抛物线，故 CD 错误。

故选 B。

14．D

【详解】A．根据题意可得，地面对木板的滑动摩擦力为 $f_2=\mu_2(M+m)g$

木块对木板的滑动摩擦力为 $f_1=\mu_1 mg$

木板刚好要运动时，此时木板依然保持静止，但有 $f_1=f_2$；$\mu_1 m=\mu_2(M+m)$；$\mu_1>\mu_2$，故 A 错误；

BD．无论 F 为多大，当木块滑动时，木板所受到木块的摩擦力大小不变，故木板不可能运动，故 B 错误，D 正确；

C．当木块滑动时，木板所受到木块的摩擦力大小为 f_1，而木板静止不动，期所受地面给木板的摩擦力为静摩擦力，大小也为 f_1，故 C 错误。

故选 D。

15．D

【详解】AB．甲图中，B 与地面间的最大静摩擦力为 $f_{Bmax}=\mu_2(G_A+G_B)=9\text{N}$，拉力 $F=8\text{N}<9\text{N}$

所以 AB 静止不动，A 不受摩擦力，B 受到 8N 的静摩擦力，方向水平向左，故 AB 错误；

CD．乙图中，A 与 B 间的最大静摩擦力为 $f_{Amax}=\mu_1 G_A=2\text{N}$；拉力 $F=8\text{N}>2\text{N}$

所以 AB 相对滑动，A 受到的滑动摩擦力为 $f_A=2\text{N}$

方向水平向左；对 B 进行受力分析可知，A 对 B 的滑动摩擦力向右，大小为 2N，小于 B 与地面间的最大静摩擦力 9N，则 B 静止不动，所以地面对 B 的静摩擦力大小是 2N，方向水平向左，故 C 错误、D 正确。

故选 D。

16．D

【详解】A．悬挂稳定时，弹簧 1 的弹力等于 A、B 两个物体的总重量，而弹簧 2 的弹力等于 B 物体的重量，根据平衡条件 $kx_1=2mg$；$kx_2=mg$；而 $x_1+x_2+2l=2.6l$；解得 $x_1=0.4l$，$x_2=0.2l$

因此弹簧 1 的长度为 1.4l，弹簧 2 的长度为 1.2l，A 错误；

BCD．弹簧 2 恢复原长时，弹簧 1 的弹力等于 A 物体的重力，弹簧 1 的伸长量变为 0.2l，因此长度变为 1.2l，这样 A 物体上升的距离为 0.2l，B 物体上升的距离为 0.4l，BC 错误，D 正确。

故选 D。

17．BD

【详解】A．由题意知，欹器处于静止状态，水比较少时，是倾斜的，故 A 错误；

BC．欹器本身的重心位置不变，水比较少时，随水的增加，整体的重心位置先降低然后逐渐升高，故 B 正确，C 错误；

D．根据重心的定义可知，欹器的重心是欹器各部分所受重力的等效作用点，故 D 正确。

故选 BD。

18．AD

【详解】A．吊线处于平衡状态，吊线重力不计，则受到的铃铛给的向上的拉力大小等于铃托给的向下的拉力。故 A 正确；

B．铃托对吊线的拉力与铃铛对吊线拉力是一对平衡力，故 B 错误；

C．对铃铛、吊线和铃托整体进行受力分析，整体受到的主线向上的拉力和整体（铃铛和铃托）的重力平衡，所以主线对铃铛的拉力与铃铛的重力不平衡。故 C 错误；

D．风吹铃响时，铃托与铃铛的相对位置发生变化，整体形状改变时，风铃的重心在其内的相对位置也发生变化。故 D 正确。

故选 AD。

19．BC

【详解】AB．根据题意可知，进第一张纸时，第一张纸相对第二张纸向右运动，则第一张纸受第二张纸向左的摩擦力，大小为 $f_{21}=\mu(k+1)mg$

由于第一张纸向右匀速运动，则第一张纸受滚轮向右的摩擦力，大小为 $f=f_{21}=\mu(k+1)mg$

由牛顿第三定律可知，纸张对滚轮的摩擦力方向向左，设滚轮与第一张纸之间的动摩擦因数为 μ_0，则有

$f=\mu_0 kmg$；解得 $\mu_0=\dfrac{k+1}{k}\mu$，故 A 错误，B 正确；

C．进第一张纸时，其余纸张均静止，把剩余纸张看成整体，由平衡条件可知，摩擦片对纸张摩擦力与第一张纸对第二张纸的滑动摩擦力等大反向，结合牛顿第三定律可知，进第一张纸时，纸张对摩擦片的摩擦力大小为 $\mu(k+1)mg$，故 C 正确；

D．由于进第一张纸时，第二张纸静止，则第二张纸与第三张纸之间的摩擦力大小与第一张纸对第二张纸的滑动摩擦力大小相等，为 $\mu(k+1)mg$，故 D 错误。

故选 BC。

20．AC

【详解】A．每本书受到的摩擦力的合力与重力平衡，每本书的质量相同，则它受到的摩擦力的合力大小相等，故 A 正确；

B．越靠近外侧书与书之间的摩擦力越大，即书与书之间的摩擦力大小不相等，故 B 错误；

CD.先将所有的书(设有 n 本)当作整体，受力分析，竖直方向受重力、两个静摩擦力，根据平衡关系，有 $2\mu_1F\geq nmg$；则有 $n\leq\frac{2\mu_1F}{mg}=30$

再考虑除最外侧两本书（n-2 本）外的其他书，受力分析，竖直方向受重力、两个静摩擦力，根据平衡关系，有 $2\mu_2F\geq$（n-2）mg；则有 $n\leq\frac{2\mu_2F}{mg}+2=22$

故最多可以有 22 本书，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

第十讲：力的合成与分解

考点一：力的合成

题型一：概念辨析

【典型例题】 ：AD C

1．AD

【详解】A．力的平行四边形适用于共点力，若非共点力，则无法画出平行四边形，故 A 正确；

BCD．在画平行四边形时要注意通过力的图示，将两个分力为平行四边形邻边，做出一个平行四边形，其对角线即为合力的方向，长度则对应为合力的大小，其中与两个分力共点的对角线所表示的力才是它们的合力，故 BC 错误，D 正确。

故选 AD。

2．C

【详解】A．合力的大小不一定大于每个分力的大小，可以比分力小，也可以与分力相等，故 A 错误；

B．由于力是矢量，有大小、有方向，若两个分力 F_1、F_2 的大小一定，但方向不确定，那么其合力 F 的大小和方向也无法确定，故 B 错误；

C．合力与分力的关系是：$|F_1-F_2|\le F\le F_1+F_2$；当两个分力的大小不变，两个分力的夹角越小，其合力 F 一定越大，故 C 正确；

D．若两个分力方向相反，F_1 与 F_2 的夹角θ不变，F_1 大小不变，只增大 F_2，合力可能减小，故 D 错误。

故选 C。

【变式训练】 ：A A

1．A

【详解】AB．根据力的等效性原理，两个共点力共同作用的效果与其合力单独作用的效果相同，选项 A 正确，选项 B 错误；

C．把物体受到的几个力的合力求出后，物体仍受多个力，只是这几个力的作用效果与合力相同，选项 C 错误；

D．性质不同的力可以合成，作用在不同物体上的力不可以合成，选项 D 错误。

故选 A。

2．A

【详解】A．离开杆后，不计阻力，仅受重力作用，加速度为重力加速度，橙子在空中做匀变速运动，故 A 正确；

B．加速度是表示速度变化快慢的物理量，离开杆后，橙子的加速度相同，大橙速度变化与小橙的一样快，故 B 错误；

C．橙子受到每根杆的弹力的方向都与杆垂直，但由于两杆不平行，所以弹力的作用点不同，杆对橙子的弹力方向变化，故 C 错误；

D．两直杆倾斜放置，橙子垂直于杆方向上合力为零，沿两杆向下方向上合力不为零，橙子在杆上运动时所受合力不为零，故 D 错误。

故选 A。

题型二：二力合成

【典型例题】 ：C ABC C C A

1．C

【详解】A．根据平行四边形定则可知，合力可以比分力中的任何一个力都大，也可以比分力中的任何一个力都小，还可以等于其中任意一个分力，故 A 错误；

B．当F_1和F_2大小不变时，θ角减小，根据平行四边形定则可知，合力 F 一定增大，故 B 错误；

CD．合力大小的变化范围为$|F_1-F_2|\le F\le|F_1+F_2|$；则$2\text{N}\le F\le 14\text{N}$，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．ABC

【详解】两个力的合力取值范围为$|F_1-F_2|\le F\le F_1+F_2$；解得$1\text{N}\le F\le 7\text{N}$

故这两个力的合力大小可能为 2N、5N、6N。

故选 ABC。

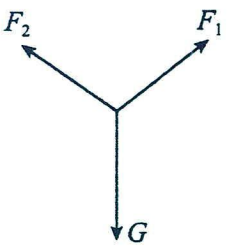
3．C

【详解】弹力圈上的力可近似为大小处处相等，弹力圈对 3 号小朋友的张角最大，根据平行四边形定则可知合力最小。

故选 C。

4．C

【详解】对身体受力分析如图：，两个力的夹角为 120°，根据力的平衡条件可知F_1=G



故选 C。

5．A

【详解】每根橡皮条产生的弹力为 F=kL，夹角为 60°，则合力为$F_{合}=2F\cos 30^\circ=\sqrt{3}kL$

故选 A。

【变式训练】 ：A B B

1．A

【详解】根据牛顿第三定律可知，叶根夹角较大的一方的叶根与另一方的叶根的作用力大小相等；以两个叶根十字交错点为对象，可知每个叶根对交错点的作用力的合力大小相等，根据$F_{合}=2F\cos\theta$

可知叶根夹角θ较小的一方，叶根产生的拉力较小，则叶根夹角较大的一方先达到树叶根所承受的最大拉力，故叶根夹角较小的一方获胜。

故选 A。

2．B

【详解】两端弓弦的夹角为 90°，弓弦上的张力大小为 F_T，

则此时弩箭受到的弓弦的作用力大小为$F=2F_T\cos 45^\circ=\sqrt{2}F_T$

故选 B。

3．B

【分析】由题可知本题考查力的平衡。

【详解】轻绳上的拉力大小等于重物所受的重力mg，设滑轮两侧轻绳之间的夹角为φ，滑轮受到木杆 P 的弹力F等于滑轮两侧轻绳拉力的合力，即$F=2mg\cos\frac{\varphi}{2}$；由夹角关系可得$F_D>F_A=F_B>F_C$，故 B 正确，ACD 错误。

故选 B。

题型三：多力合成

【典型例题】 ：D　　D　　D　　A

1．D

【详解】A．由于树枝倾斜，所以松鼠受到的支持力垂直于树枝斜向上，故 A 错误；

B．松鼠对树枝有压力是因为松鼠发生了形变而产生对树枝的弹力，故 B 错误；

C．松鼠受重力、支持力、摩擦力三力而平衡，摩擦力大小等于重力沿树枝向下的分力，小于重力大小，故 C 错误；

D．根据牛顿第三定律，松鼠受到的摩擦力大小等于树枝受到的摩擦力大小，故 D 正确。

故选 D。

2．D

【详解】根据三角形定则可知选项 A 中F_1、F_2的合力等于F_3，则选项 A 中F_1、F_2、F_3这三个力合力大小等于$2F_3$；

根据三角形定则可知选项 B 中，F_1、F_2、F_3这三个力合力大小等于 0；

根据三角形定则可知选项 C 中F_2、F_3的合力等于F_1，则选项 C 中F_1、F_2、F_3这三个力合力大小等于$2F_1$；

根据三角形定则可知选项 D 中F_1、F_3的合力等于F_2，则选项 C 中F_1、F_2、F_3这三个力合力大小等于$2F_2$；故这三个力合力最大的是 D。

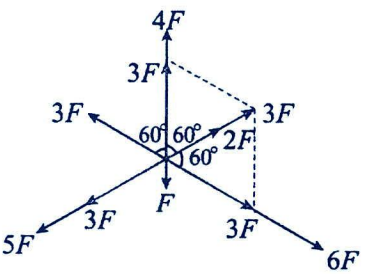
故选 D。

3．D

【详解】根据平行四边形定则，F_1和F_4的合力为F_3，F_2和F_5的合力为F_3，所以五个力的合力等于$3F_3$，因为$F_1=F$

根据几何关系知$F_3=2F$，所以五个力的合力大小为 6F，方向沿F_3方向。

故选 D。



4．A

【详解】如图所示

求六个共点力的合力先求共线的两个力的合力，共线的两个力的合力都为 3F 且两两的夹角都为 120°，再求其中两个力的合力，作出平行四边形为菱形，由几何关系知合力也为 3F 且方向与另一个 3F 的力反向，故$F_1=0$，若撤去其中的一个大小为 2F 的力，其余五个力的合力与 2F 的力等大反向，即与 5F 的力方向相同。

故选 A。

【变式训练】：AD　　AD　　B　　A

1．AD

【详解】AB．根据弹力都是施力物体形变产生的，所以，人受到支持力的原因是椅子发生了形变产生的，椅子靠背受到压力是因为人发生了形变产生的，A 正确，B 错误；

CD．根据平衡条件，椅子各部分对人作用的合力大小为 G，再根据牛顿第三定律，人对椅子各部分作用的合力大小为 G ，C 错误，D 正确；

故选 AD。

2．AD

【详解】要使三力的合力为零，应保证任意两力之和可以大于等于第三力，任意两力之差小于等于第三力。

A．3N 、5N 的合力最小为 2N，最大为 8N，7N 在合力范围之内，所以三个力的合力可能为零，故 A 正确；

B．3N 、4N 的合力最小为 1N，最大为 7N，8N 不在合力范围之内，所以三个力的合力不能为零，故 B 错误；

C．1N 、2N 的合力最小为 1N，最大为 3N，4N 不在合力范围之内，所以三个力的合力不可能为零，故 C 错误；

D．7N 、6N 的合力最小为 1N，最大为 13N，13N 在合力范围之内，所以三个力的合力能为零，故 D 正确。

故选 AD。

3．B

【详解】A．五个共点力的合力为 0，F_2、F_3、F_4、F_5 的合力与 F_1 大小相等方向相反，如果撤去 F_1，物体所受合力大小为 F_1，方向和 F_1 方向相反，故 A 错误；

B．五个共点力的合力为 0，F_1、F_3、F_4、F_5 的合力与 F_2 大小相等方向相反，如果将 F_2 减半，合力大小为 $F_{合2}=F_2-\frac{F_2}{2}=\frac{F_2}{2}$，故 B 正确；

C．五个共点力的合力为 0，F_1、F_2、F_4、F_5 的合力与 F_3 大小相等方向相反，如果将 F_3 逆时针旋转 90°，合力大小将变为 $F_{合2}=\sqrt{F_3^2+F_3^2}=\sqrt{2}F_3$，故 C 错误；

D．五个共点力的合力为 0，F_1、F_2、F_3、F_4、的合力与 F_5 大小相等方向相反，如果将 F_5 逆时针旋转 180°，合力大小将变为 $F_{合4}=F_5+F_5=2F_5$，故 D 错误。

故选 B。

4．A

【详解】由作用力与反作用力可知，O 点对杂技演员的作用力大小为 F，方向竖直向上。因为 dOe、bOg 均成 90°向上的张角，网绳 dOe、bOg 的弹力大小相等，假设网绳的张力为 T，由几何关系得 $4T\cos 45°=F$ 解得，这时 O 点周围每根网绳承受的力的大小为 $T=\frac{\sqrt{2}}{4}F$

故选 A。

考点二：力的分解

题型一：正交分解

【典型例题】：　BD　　B　　A　　A　　A

1．BD

【详解】AB．物体只受重力和支持力两个力，故 A 错误，B 正确；

C．物体对斜面的压力的受力物体是斜面，不是物体，而 F_2 是重力沿垂直于斜面方向的分力，作用在物体上，故 C 错误；

D．F_1 和 F_2 是重力 mg 的分力，所以 F_N、F_1 和 F_2 三个力的作用效果跟 mg、F_N 两个力的作用效果相同，故 D 正确。

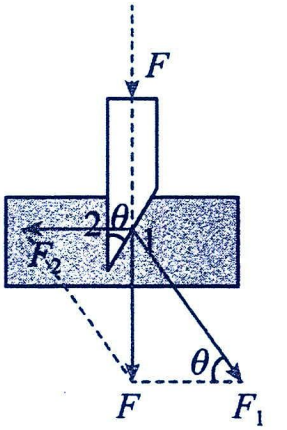
故选 BD。

2．B

【详解】把该力分解为水平向左和竖直向下的两个力，

则水平方向的分力大小为 $F_x = F\cos 30° = 80\times\frac{\sqrt{3}}{2}\text{N} = 40\sqrt{3}\text{N}$

故选 B。



3．A

【详解】将力在木板 1、2 面分解如图；可得 $F_1 = \frac{F}{\sin\theta}$

故选 A。

4．A

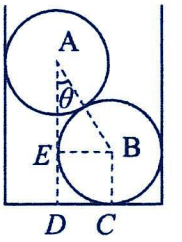
【详解】设 A、B 两玻璃球球心的连线与竖直方向的夹角为θ，

如图甲所示，则由几何关系可知 $\sin\theta = \frac{1}{2}$

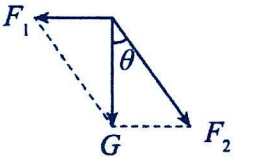
将玻璃球 A 的重力进行分解，如图乙所示

可得 $F_1 = G\tan\theta = \frac{\sqrt{3}}{3}G$

$F_2 = 2F_1 = \frac{2\sqrt{3}}{3}G$



甲



乙

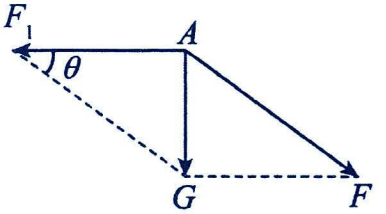
故玻璃球 A 对玻璃杯侧壁的压力大小为 $\frac{\sqrt{3}}{3}G$，玻璃球 A 对玻璃球 B 的压力大小为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}G$。

故选 A。

5．A

【详解】“Y”形分解如图甲所示，

将重物对 A 处的压力 G 分解为拉螺旋杆的力 F_1 和压斜杆的力 F，作平行四边形，由图可知 $F_1 = \frac{G}{\tan\theta}$



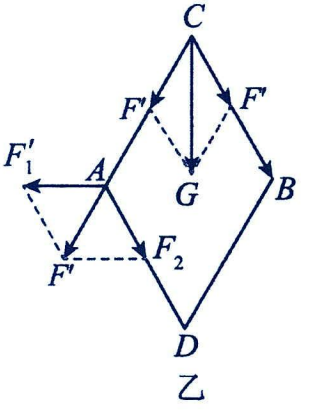
甲

对“菱形”分解如图乙所示，

根据力的实际作用效果，首先重物对 C 点压力 G 可分解为两个等大的力 F'，即 $F' = \frac{G}{2\sin\theta}$ F' 作用在 A 点，又可分解为拉螺旋杆 F_1' 和压斜杆 F_2 两个分力，由于 $ACBD$ 是一个菱形，根据力的三角形与几何三角形相似可得 $F_2 = F'$

在 A 处可得 $F_1' = 2F'\cos\theta$；所以 $F_1' = \frac{G}{2\sin\theta}\cdot 2\cos\theta = \frac{G}{\tan\theta}$

则图（a）、（b）两千斤顶螺旋杆的拉力大小之比为 1：1。



乙

故选 A。

【变式训练】：C　　B　　A　　C　　D

1．C

【详解】AB．F_1和F_2是小球重力的两个分力，不是小球对挡板、斜面的正压力，只是大小与小球对挡板、斜面的正压力相等，故 AB 错误；

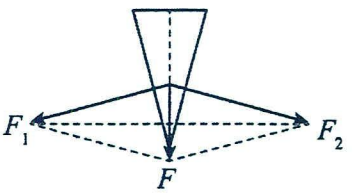
C．F_1是小球所受重力的一个分力，由几何关系可知，其大小为$G\tan\theta$，故 C 正确；

D．F_1、F_2均是重力的分力，是重力产生的两个效果，不是小球受到的力，故 D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】将力 F 分解为F_1、F_2两个分力，这两个分力分别与劈的两个侧面垂直，根据对称性，两分力F_1、F_2大小相等，这样，以F_1、F_2为邻边的平行四边形就是一个菱形。菱形的对角线互相垂直且平分，根据三角形相似可得$\frac{\frac{d}{2}}{l}=\frac{\frac{F}{2}}{F_1}$；解得$F_1=F_2=\frac{l}{d}F$



故选 B。

3．A

【详解】如图 1，球的重力作用效果，是同时挤压斜面和挡板，则重力的两个分力方向分别垂直斜面和挡板。

由图 1 可得斜面受到的压力大小为$F_1=G_1=\frac{G}{\cos\theta}$

如图 2 所示，斜面受到的压力大小为$F'_1=G'_1=G\cos\theta$

故$\frac{F_1}{F'_1}=\frac{G_1}{G'_1}=\frac{1}{\cos^2\theta}$

即两挡板受到小球的压力大小之比为$\frac{1}{\cos^2\theta}$。

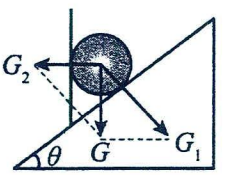


图1

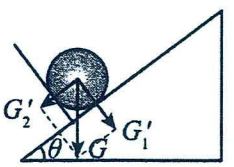


图2

故选 A。

4．C

【详解】由题意可知，当倾角为45°时物块与木板间为滑动摩擦力，则$f_1=\mu mg\cos45^\circ$

当倾角为30°时物块与木板间为静摩擦力，则$f_2=mg\sin30^\circ$；则由$\mu mg\cos45^\circ=mg\sin30^\circ$；$\mu=\frac{\sqrt{2}}{2}$

故选 C。

5．D

【详解】AC．F_1是船前进的动力，大小为$F_1=F\sin30^\circ=\frac{F}{2}$

船沿着航向的反方向还会受到阻力 f，则船受到的合力大小为$F_{合}=F_1-f=\frac{F}{2}-f$，故 AC 错误；

B．F_2垂直航向，会被很大的横向阻力平衡，则横向阻力大小为$f_{横}=F_2=F\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}F$

故 B 错误；

D．若船沿着航向的反方向受到的阻力为$\frac{1}{10}F$，

根据牛顿第二定律可得$F_{合}=F_1-\frac{1}{10}F=\frac{F}{2}-\frac{1}{10}F=\frac{2}{5}F=ma$

解得船的加速度大小为$a=\frac{2F}{5m}$，故 D 正确。

故选 D。

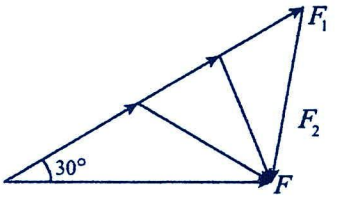
题型二：对一个已知力分解情况分析

【典型例题】　：C　　A

1．C

【详解】AD．画出矢量三角形，如图所示

当 F_2 的方向与 F_1 垂直时，F_2 最小，最小值为$F_2=F\sin 30°=40\times\frac{1}{2}\text{N}=20\text{N}$



当$F_2<20\text{N}$时，没有与它相对应的 F_1 的值，故 AD 错误；

B．当$F_2=20\text{N}$时，有$F_1=F\cos 30°=20\sqrt{3}\text{N}$，故 B 错误；

C．结合 A 选项分析可知，当$F_2>40\text{N}$时，此时 F_2 只能处于图中 F_2 最小值右侧，故此时只有一个 F_1 的值与它相对应，故 C 正确。

故选 C。

2．A

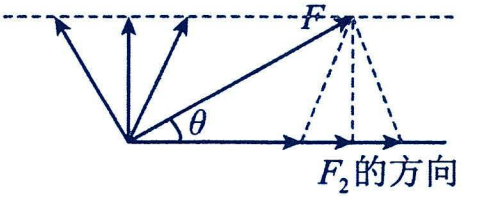
【详解】根据平行四边形法则可知，合力和分力构成一个三角形当F_2与F_1方向垂直时，此时F_2有最小值，为$F_{2\min}=F\sin 37°=0.6\text{N}$，分析可得$F_2$没有最大值，所以$F_2$的范围为$F_2\geq 0.6\text{N}$

故选 A。

【变式训练】　：D

1．D

【详解】如图所示：



AB．当 F>F_1>Fsinθ时，根据平行四边形定则，有两组解；若$F_1>F\sin\theta$，当$F_1>F$时，只有一组解，故 AB 错误；

CD．当 F_1=Fsinθ时，两分力和合力恰好构成三角形，有唯一解；当 F_1<Fsinθ时，分力和合力不能构成三角形，无解，故 D 正确，C 错误。

故选 D。

题型三："死结"与"活结"、"死杆"与"活杆"

【典型例题】　：D　　C　　AC

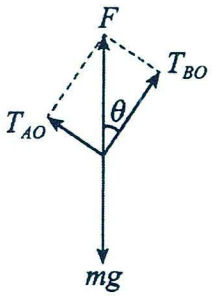
1．D

【详解】轻杆的力与两绳对滑轮的合力等大反向，甲图杆的力与竖直方向成30°向右上；乙图杆的力与竖直方向成60°向右上；丙图为动杆，不能保持静止；丁图杆的力与竖直方向成60°向右上，故乙和丁的相同。

故选 D。

2．C

【详解】ABC．对结点 O 进行受力分析，AO 绳拉力为 T_{AO}，BO 绳拉力为 T_{BO}，OC 绳拉力大小为重物的重力 mg，如图



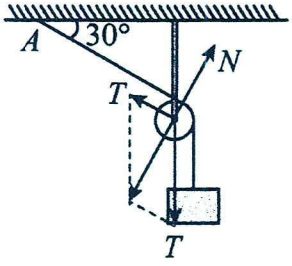
由平衡条件可得 $T_{AO}=mg\sin\theta$，$T_{BO}=mg\cos\theta$，故 AB 错误；C 正确；

D．依题意，OA、OB、OC 能承受的最大拉力相同，由 O 点受力分析图可知，在力的三角形里，三个力成比例增大，若逐渐增加 C 端所挂重物的质量，一定是绳 CO 先断。故 D 错误。

故选 C。

3．AC

【详解】AB．定滑轮受两段绳子的压力和杆的拉力，分析如图所示



由于两段绳子是同一条绳子，力相等，且夹角为 120°，故两力合力等于绳子张力 $F_{合}$=T=mg

由平衡得 F=T=mg

由几何关系得方向斜向右上与杆夹角为 60°，故 A 正确，B 错误；

CD．根据 AB 项分析可知，若仅将 A 点左移少许，则绳与天花板的夹角变小，两绳子之间夹角变小，设为 2α，有 $F_{合}=2T\cos\alpha$

α 减小，则 $\cos\alpha$ 增大，绳子张力不变，两绳子合力变大，根据平衡可知，F 大小增大，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

【变式训练】：AC　　C　　3．150N，180N

1．AC

【详解】A．由于图甲轻杆 OA 为“定杆”，其 O 端光滑，可以视为活结，两侧细线中拉力大小相等，都等于 mg，由力的平衡条件可知，图甲轻杆中弹力大小为 $F_{甲}=2mg\cos45°=\sqrt{2}mg$

故 A 正确；

BD．图乙中轻杆 $O'A'$ 可绕 A' 点自由转动，为“动杆”，另一端 O' 光滑，可以视为活结，O' 两侧细线中拉力相等，“动杆”中弹力方向一定沿“动杆”方向，“动杆” $O'A'$ 中弹力大小等于 O' 两侧细线中拉力的合力大小，两细线夹角不确定，则轻杆中弹力大小无法确定，故 BD 错误；

C．根据共点力平衡条件，图甲中轻杆弹力与细线 OB 中拉力的合力方向一定与竖直细绳的拉力方向相反，即竖直向上，故 C 正确。

故选 AC。

2．C

【详解】对轻环 Q 进行受力分析如图 1，则只有绳子的拉力垂直于杆的方向时，绳子的拉力沿杆的方向没有分

力；由几何关系可知，绳子与竖直方向之间的夹角是30°；

对滑轮进行受力分析如图2，由于滑轮的质量不计，则OP对滑轮的拉力与两个绳子上拉力的和大小相等方向相反，所以OP的方向一定在两根绳子之间的夹角的平分线上，由几何关系得OP与竖直方向之间的夹角：β=$\frac{90°+30°}{2}$-30°=30°，则OP与天花板之间的夹角为：90°-β=60°，故选C.

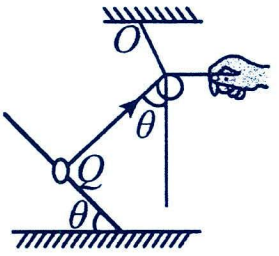


图1

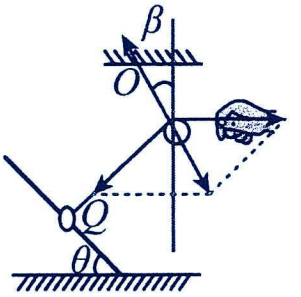


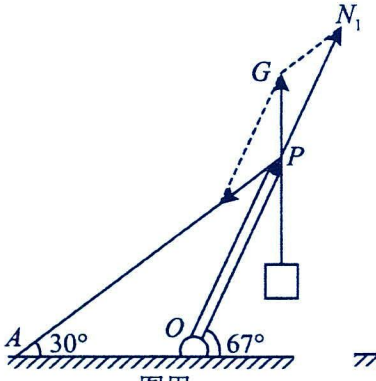
图2

3．150N，180N

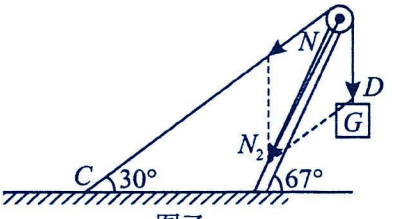
【详解】甲图中，对P结点受力分析可知，由正弦定理$\frac{N_1}{\sin 120°}=\frac{G}{\sin 37°}$

解得杆的作用力大小为$N_1=150\text{N}$

乙图中对滑轮N受力分析如图，则杆的作用力大小为$N_2=2G\cos 30°=180\text{N}$



图甲



图乙

考点三：牛顿第三定律

题型一：概念辨析

【典型例题】　：D　　B

1．D

【详解】A．小车加速向左运动，受到自身的重力和电机的驱动力，受到长木板对小车的支持力和阻力，A错误；

B．木板对小车的作用力包括竖直向上的支持力和水平方向的阻力，根据平行四边形定则可知合力方向一定不在水平方向，B错误；

CD．木板对小车的作用力与小车对木板的作用力是一对相互作用力，等大反向，C错误，D正确。

故选D。

2．B

【详解】A．对a、b、c整体分析，受重力和支持力，二力平衡，c不受地面的摩擦力，故A错误；

B．对物体 a 受力分析，受重力、支持力和静摩擦力，根据平衡条件，b 对 a 的作用力一定竖直向上，和 a 的重力平衡，故 B 正确；

C．以 a 和 b 整体为研究对象，受到重力、支持力和静摩擦力，根据平衡条件，c 对 b 的静摩擦力平行接触面向上，故 C 错误；

D．b 对 a 的支持力与 a 对 b 的压力是一对作用力和反作用力，故 D 错误。

故选 B。

【变式训练】：B　　D

1．B

【详解】对球进行受力分析，球受重力 Mg、绳子的拉力 T 及两个墙壁对它的支持力，两个支持力大小相等，夹角为90°，设支持力的大小为 N、绳子与竖直墙壁交线的夹角 θ，根据几何知识可知球心到竖直墙壁交线的垂直距离为 $d=\sqrt{R^2+R^2}=\sqrt{2}R$；故 $\sin\theta=\frac{d}{2R}=\frac{\sqrt{2}}{2}$；解得 $\theta=45°$

在竖直方向上根据受力平衡可得 $T\cos\theta=Mg$；解得 $T=\sqrt{2}Mg$

在水平方向上根据受力平衡可知两个墙壁对球的支持力的合力大小等于绳子拉力 T 的水平分力的大小，即 $\sqrt{N^2+N^2}=T\sin\theta$；解得 $N=\frac{\sqrt{2}}{2}Mg$

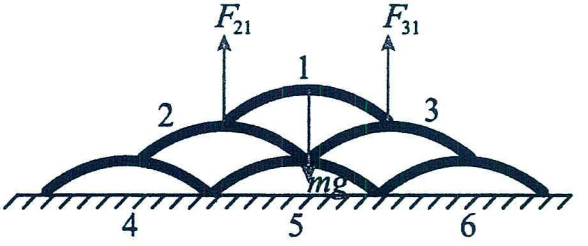
根据牛顿第三定律可得则球对任一墙壁的压力大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2}Mg$。

故选 B。

2．D

【详解】分别对 6 个瓦片受力分析如图所示（仅画出瓦片 1）

由平衡条件和牛顿第三定律可得 $F_{21}=F_{31}=\frac{1}{2}mg$



$F_{53}=F_{63}=\frac{1}{2}(F_{13}+mg)=\frac{3}{4}mg$

$F_{42}=F_{52}=\frac{1}{2}(F_{12}+mg)=\frac{3}{4}mg$

$F_{地4左}=F_{地4右}=\frac{1}{2}(mg+F_{24})=\frac{7}{8}mg$

$F_{地5左}=F_{地5右}=\frac{1}{2}(mg+F_{25}+F_{35})=\frac{5}{4}mg$

$F_{地6左}=F_{地6右}=\frac{1}{2}(mg+F_{66})=\frac{7}{8}mg$

A．根据牛顿第三定律，4 右端对地面的压力与左端的一样大，均等于 $F_{4左地}=F_{4右地}=\frac{7}{8}mg$

故 A 错误；

B．5 右端受到的支持力是 2 右端受到支持力的关系为 $\frac{F_{地5右}}{F_{52}}=\frac{\frac{5}{4}mg}{\frac{3}{4}mg}=\frac{5}{3}$，故 B 错误；

C．根据牛顿第三定律，4 顶端受到的压力大小为 $F_{24}=F_{42}=\frac{3}{4}mg$ ，故 C 错误；

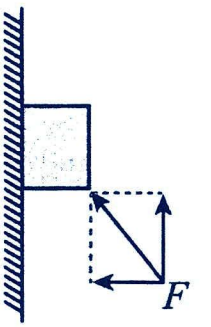
D．根据牛顿第三定律，5 左端对地面的压力为 $F_{5左地}=F_{地5左}=\frac{5}{4}mg$ ，故 D 正确。

故选 D。

考点四：受力分析

题型一：单体受力分析

【典型例题】 ：BC　　A　　C



1．BC

【详解】将 F 分解如图所示

当竖直分力等于重力时，不受摩擦力，则受力为重力、压力和 F，是 3 个力，当竖直分力大于或小于重力时，木块受摩擦力，受力个数为 4 个，故 B C 正确，AD 错误。

故选 BC。

2．A

【详解】物块在垂直斜面的压力 F 作用下平衡，受力分析可知，沿斜面方向重力的分力 $mg\sin\theta=f_{静}$，则有静摩擦力一定有垂直于斜面的弹力，$F=mg\cos\theta+F_N$；故物块一共受四个力分别为推力 F、重力 mg、弹力 F_N、静摩擦力 $f_{静}$；故选 A.

3．C

【详解】直梯四个接触点，有四个弹力，两个摩擦力，和一个重力，共 7 个力的作用。

故选 C。

【变式训练】 ：A　　AD

1．A

【详解】物体受到重力方向竖直向下，受到竖直向上的恒力 F，假如还受到沿斜面向下的摩擦力和斜面的支持力作用，则物体受到的合力不为零，因为物体做匀速直线运动，物体不会受摩擦力作用，也不会受到斜面的支持了作用。

故选 A。

2．AD

【详解】A．对 a 受力分析如图 1

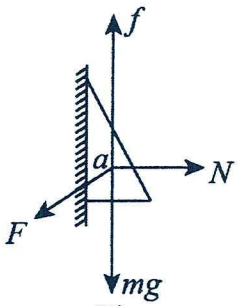


图1

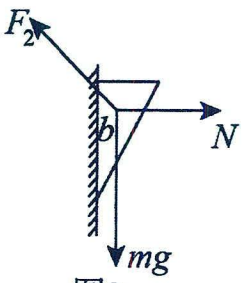


图2

除摩擦力外的三个力不可能平衡，故一定有摩擦力；故 a 受四个力，除摩擦力外对 b 受力分析如图 2

除摩擦力外，N，F_2，mg 三力有可能平衡．沿竖直方向和水平方向分解F_2，设F_2与竖直方向夹角为α，则有

$F_2\cos\alpha=mg$；可得$F_2=\frac{mg}{\cos\alpha}$；$F_2\sin\alpha=N$

若$F_2=\frac{mg}{\cos\alpha}$没有摩擦力，此时 b 受 3 个力，若$F_2>\frac{mg}{\cos\alpha}$摩擦力向下，b 受四个力，若$F_2<\frac{mg}{\cos\alpha}$摩擦力向上，b 受四个力，故 A 正确；

B．由 A 的分析可知，F_1和F_2有可能相等，但也有可能不等，故 B 错误；

C．因两力可能相同，也可能不同，因夹角相等，则弹力可能相同，也可能不同，故 C 错误；

D．由摩擦力公式得$f_1=mg+F_1\cos\alpha$

方向向下，而 b 受到的摩擦力可能是$f_2=mg-F_2\cos\alpha$或$f_2=F_2\cos\alpha-mg$

因不明确推力大小，则有可能$mg+F_1\cos\alpha<F_2\cos\alpha-mg$

故 b 受到摩擦力可能大于 a 受到的摩擦力，故 D 正确。

故选 AD。

题型二：多体受力分析

【典型例题】 ：C　　D　　C　　C

1．C

【详解】受力分析时，先分析重力，再分析弹力，然后分析摩擦力。A 首先会受到重力作用，其次有一个拉力F和 B 对 A 向上的支持力，由于 A、B 保持相对静止，一起向右做匀速直线运动，A 处于平衡状态，根据平衡条件，B 对 A 有一个向左的静摩擦力，故 A 一共受到 4 个力的作用。

故选 C。

2．D

【详解】A．对 A 受力分析，根据平衡条件知 A 只受重力和支持力 2 个力的作用，故 A 错误；

B．对 B 受力分析，重力、压力、斜面施加的斜向上的支持力、拉力 F，根据平衡条件还得受斜面施加的斜向上的摩擦力，共 5 个力的作用，故 B 错误；

C．对 ABC 整体为研究对象受力分析，根据平衡条件知地面对物块 C 的支持力等于三者重力之和，故 C 错误；

D．对 ABC 整体为研究对象受力分析，根据平衡条件知地面对物块 C 的摩擦力大小等于 F，方向水平向右，故

D 正确；

故选 D。

3．C

【详解】图 1 中，根据整体法可知，木块 B 除了受重力外，一定受到墙面水平向右的弹力（与水平推力平衡）和竖直向上的静摩擦力（与整体重力平衡），隔离 B 分析，其一定还受到 A 的弹力（垂直于接触面向左上方），隔离 A 分析，A 受到重力、水平向左的推力、B 对其垂直于接触面向右下的弹力，这样的三个力不可能使 A 平衡，所以 A 一定还要受到 B 对其沿接触面斜向右上的静摩擦力才能平衡，可知 B 一定受到 A 沿接触面斜向左下的静摩擦力，故 B 共受 5 个力的作用；

图 2 中，根据整体法可知 B 与墙面间既无弹力也无摩擦力，所以 B 受重力和 A 的弹力及摩擦力共 3 个力的作用。则在此两种方式中，木块 B 受力个数之比为 5∶3。

故选 C。

4．C

【详解】A.压力不是重力；

B.石块 B 受力的个数最多可能 5 个；

C.对石块 A、B 整体分析，重力竖直向下，故 C 对 B 的作用力竖直向上，C 正确；

D.石块质量未知，不能确定作用力的大小关系；

故选 C。

【变式训练】：D　　C　　C　　D　　D

1．D

【详解】先对 AB 整体分析，受推力，重力、地面的支持力、墙壁的支持力；再对物体 A 分析，受重力、推力、斜面体的支持力、摩擦力（当重力的下滑分力与推力的上滑分力相等时静摩擦力为零），则 A 可以受到 3 个或 4 个力，分析 B 的受力情况：受重力、墙壁的支持力、地面的支持力、A 对 B 的压力、A 对 B 的静摩擦力（当重力的下滑分力与推力的上滑分力相等时静摩擦力为零）则 B 可以受到 4 个或 5 个力，当 A 受到 3 个力时，B 受 4 个力，当 A 受 4 个力时，B 受 5 个力，故 D 正确．故选 D.

2．C

【详解】与物体发生相互作用的有地球、丙物体及甲物体；则乙物体受重力、物体丙的支持力、甲对乙的压力及水平力 F；因在拉力作用下，物体乙相对于丙有相对运动的趋势，故乙受丙对物体乙的摩擦力；而甲与乙相对静止，无相对滑动趋势，故甲对乙没有摩擦力；故乙受五个力；

故选 C。

3．C

【详解】以 A 为研究对象，分析受力：重力、B 的压力、C 的压力和摩擦力、地面的支持力和摩擦力，共 6 个力。

故选 C。

4．D

【详解】A．垂直于斜面方向的力可以使整体有向右运动的趋势，故斜面受到地面的摩擦力向左，故 A 错误；

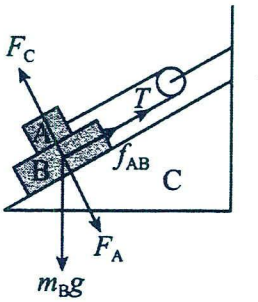
BC．a 物体受重力、支持力、轻杆给它的作用力，不一定有摩擦力，b 物体受重力、支持力、轻杆给它的作用力、摩擦力，故 BC 错误；

D．对 a、b 分别受力分析，可得两物块与斜面间的正压力相等，所以最大静摩擦力相等，则 b 先达到最大静摩擦力，先滑动，D 正确。

故选 D。

5．D

【详解】由于 B 的质量大于 A 的质量，所以物体 A 有沿 B 向上运动的趋势，故 AB 之间有静摩擦力，如下图所示，所以 B 物体的受力为重力，斜面 C 的支持力，物体 A 的压力，绳子的拉力，静摩擦力共 5 个力。



故选 D。

题型三：整体法与隔离法

【典型例题】 ：A　　D　　D

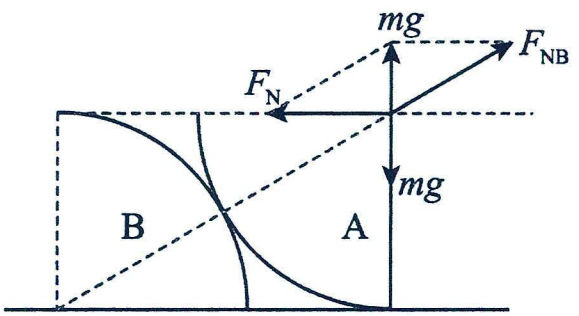
1．A

【详解】A、B 整体同时沿竖直墙面下滑，受到总重力，墙壁对其没有支持力，如果有支持力，将会向右加速运动，因此没有弹力，故也不受墙壁的摩擦力，即只受重力，做自由落体运动；由于整体做自由落体运动，故 A、B 间无弹力，再对物体 B 受力分析，可知只受重力。

故选 A。

2．D

【详解】A．对 A 受力分析如图，由几何关系可知，B 对 A 的支持力 F_{NB} 与竖直方向夹角为 60°，则 B 对 A 的支持力为 $F_{NB}=\dfrac{mg}{\cos 60^\circ}=2mg$ ；即 A 对 B 的压力大小为 $2mg$，选项 A 错误；



B．对 A、B 的整体受力分析可知，地面对 B 的支持力为 2mg，即 B 对地面的压力大小为 2mg，选项 B 错误；

C．墙壁对 A 的支持力为 $F_N=mg\tan 60^\circ=\sqrt{3}mg$ ；可知 A 对竖直墙面的压力大小为 $\sqrt{3}mg$，选项 C 错误；

D．对整体分析可知，B 受到水平地面的摩擦力大小等于墙壁对 A 的支持力，即为 $f=F_N=\sqrt{3}mg$

选项 D 正确。

故选 D。

3．D

【详解】A. 依题意有，以 C 为研究对象对其受力分析，设绳子张力为 T，杆对 C 的作用力为 N，则有 $T\cos\beta=m_Cg$ ；

解得 $T=4\text{N}$

两绳子的夹角为 120°，则细线对定滑轮的作用力大小为 $F=T=4\text{N}$；方向竖直向下，故 A 错误；

B．对 A、B 整体，根据共点力平衡条件有 $T+f=(m_A+m_B)g\sin\alpha$；解得 $f=11\text{N}$

斜面对 B 的摩擦力方向沿斜面向上，根据牛顿第三定律可知 B 对斜面的摩擦力沿斜面向下，故 B 错误；

CD．将 A、B 视为一整体，剪断细线后，假设水平方向上没有相对滑动，则有共同的加速度沿斜面下滑，设为 a，有$(m_A+m_B)g\sin\alpha-\mu(m_A+m_B)g\cos\alpha=(m_A+m_B)a$；解得$a=1.25\text{m/s}^2$

则在竖直和水平方向的分加速度为$a_y=a\sin30°=\frac{5}{8}\text{m/s}^2$，$a_x=a\cos30°=\frac{5\sqrt{3}}{8}\text{m/s}^2$

设 B 对 A 的支持力为 N'，根据牛顿第二定律有$m_Ag-N'=m_Aa_y$；解得$N'=9.375\text{N}$

水平方向的摩擦力为$f=m_Aa_x=\frac{5\sqrt{3}}{8}\text{N}<\mu N'$

可见 A、B 没有相对滑动，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

【变式训练】：B　　BD　　BD　　C

1．B

【详解】AD．M、N 两物体叠放在一起沿粗糙竖直墙面向上做匀速直线运动，由平衡条件知物体 N 受到重力、M 对 N 的弹力和摩擦力共 3 个力，故 AD 错误；

BC．将 M、N 整体，可知水平方向上没有外力，所以物体 M 与墙之间没有弹力，所以物体 M 与墙之间没有摩擦力，所以物块物体 M 受到重力，竖直向上的外力 F，N 对 M 的弹力和摩擦力共 4 个力，B 正确，C 错误。

故选 B。

2．BD

【详解】B．对 4 个灯笼的整体受力分析可知$\tan45°=\frac{4f}{4mg}$

可得四个灯笼所受到的风力之和为$4f=4mg$，故 B 正确；

A．对下面的 n 个灯笼（$n<4$）的整体分析可知$\tan\alpha=\frac{nf}{nmg}=1$；可得$\alpha=45°$

即每根绳与竖直方向的夹角均相同，故 A 错误；

C．以 3、4 号灯笼为整体受力分析，2 号灯笼与 3 号灯笼之间的作用力大小为$T_{23}=\frac{2mg}{\cos45°}=2\sqrt{2}mg$，故 C 错误；

D．对 4 号灯笼受力分析可知，3 号、4 号灯笼之间的作用力大小为$T_{34}=\frac{mg}{\cos45°}=\sqrt{2}mg$，故 D 正确。

故选 BD。

3．BD

【详解】A．对 A 物体，开始受重力、B 对 A 的支持力和静摩擦力平衡，当施加 F 后，仍然处于静止，开始 A 所受的静摩擦力大小为$m_Ag\sin\alpha$，若$F=2m_Ag\sin\alpha$

则 A、B 之间的静摩擦力大小还是等于$m_Ag\sin\alpha$，所以 A、B 之间的摩擦力可能不变，故 A 错误；

B．以整体为研究对象，开始时 B 与墙面的弹力为零，施加力 F 后，B 与墙面的弹力变为 Fcosα，弹力增大，故 B 正确；

C．对整体分析，因为 A、B 不动，弹簧的形变量不变，则弹簧的弹力不变，开始弹簧的弹力等于 A、B 的总重力，由于水平方向没有外力作用，故整体和墙间没有弹力，也就肯定没有摩擦力；施加 F 后，弹簧的弹力不变，

总重力不变，根据平衡条件知，则 B 与墙之间一定有摩擦力，摩擦力大小等于力 F 在竖直方向的分力，方向竖直向下，所以施力前后的摩擦力不可能相等，故 C 错误；

D．对 A 分析可知，施力前 A 受重力和 B 对 A 的作用力处于平衡，B 对 A 的作用力大小等于 A 的重力，施力后 A 受重力、推力以及 B 对 A 的作用力，推力和 B 对 A 的作用力的合力等于 A 的重力，根据力的合成可知，B 对 A 的作用力可能小于 A 的重力，再由牛顿第三定律可知，施力后 A 对 B 的作用力可能比施力前小，故 D 正确；

故选 BD。

4．C

【详解】AB．对 32 个灯笼整体受力分析，如图所示

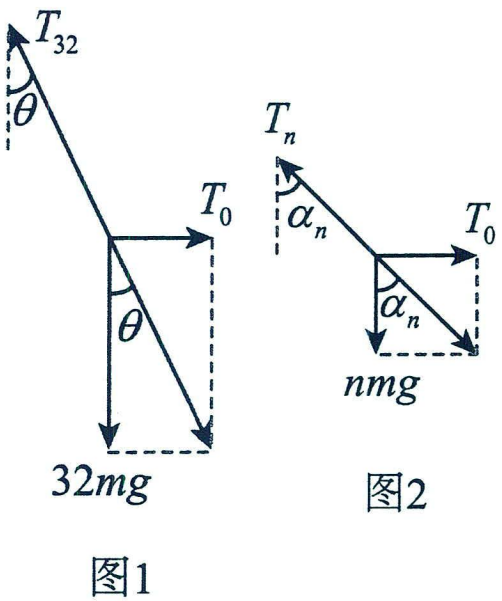


图1　　图2

由平衡条件可知，最右端轻绳的拉力 $T_0=32mg\tan\theta$

对从最右侧开始的 n($n\le32$，且为正整数)个灯笼整体为研究对象，受力分析，如图 2 所示

由平衡条件可知，连接在此整体最左侧的轻绳拉力 $T_n=\sqrt{T_0^2+(nmg)^2}$

则可知 n 越大，T_n 越大，且均大于 T_0，故当 $T_{32}=T_m=320\sqrt{2}\text{N}$ 时，θ最大，

由图 1 可知 $\cos\theta_m=\frac{32mg}{T_m}=\frac{\sqrt{2}}{2}$；解得$\theta_m=45°$

此时最右端轻绳的拉力为 $T_0=32mg\tan\theta_m=320\text{N}$，故 AB 错误；

C．当 $\tan\theta=\frac{1}{2}$ 时，则有 $T_0=32mg\tan\theta=160\text{N}$

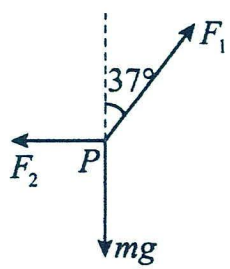
第 16 个灯笼与第 17 个灯笼间轻绳与竖直方向的夹角α_{16}满足 $\tan\alpha_{16}=\frac{T_0}{16mg}=1$；解得$\alpha_{16}=45°$，故 C 正确；

D．当 $\tan\theta=\frac{3}{4}$ 时，则有 $T_0=32mg\tan\theta=240\text{N}$

第 8 个灯笼与第 9 个灯笼间轻绳与竖直方向的夹角α_{24}满足 $\tan\alpha_{24}=\frac{T_0}{24mg}=1$；解得$\alpha_{24}=45°$，故 D 错误。

故选 C。

题型四：解答题



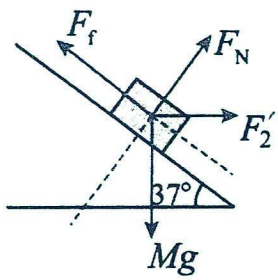
1．(1)5N 和 3N；(2)38.4N，46.2N；(3)79.98N

【详解】（1）如图所示分析结点 P 受力，

由平衡条件得 $F_1\cos37°=mg$，$F_1\sin37°=F_2$

解得 PB 绳的拉力为 $F_2=3\text{N}$PA 绳的拉力为 $F_1=5\text{N}$

（2）再分析 M 的受力情况如图所示：

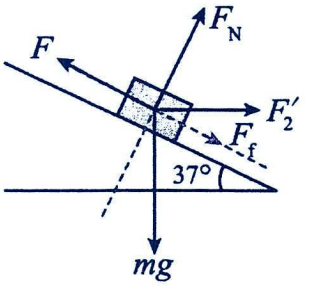


由平衡条件得 $F_f=Mg\sin37°+F'_2\cos37°$

$F_N+F'_2\sin37°=Mg\cos37°$

其中 $F_2=F'_2$

代入数据解得 F_f=38.4N，F_N=46.2N



（3）对 M 再次受力分析如图

当 F 较大时，由物体的平衡条件可得沿斜面方向 $F_{max}=F'_f+Mg\sin37°+F'_2\cos37°$

垂直于斜面方向 $F_N+F'_2\sin37°=Mg\cos37°$

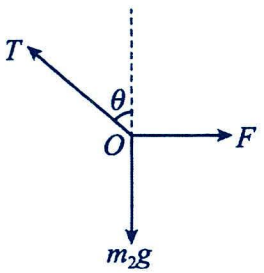
根据摩擦力表达式和牛顿第三定律得 $F_f=\mu F_N$，$F'_2=F_2$

解得 F_{max}=79.98N

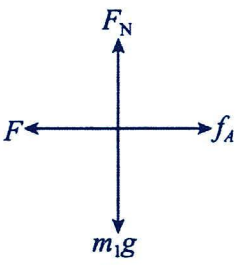
2．(1)$k=500\text{N/m}$；(2)0.4；(3)20N，方向水平向右

【详解】（1）对结点 O 受力分析如图甲所示

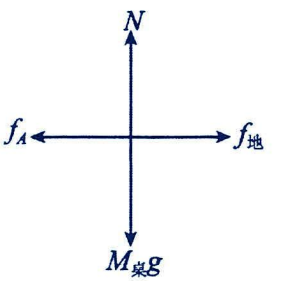
根据平衡条件，有 $T\cos\theta-m_2g=0$，$T\sin\theta-F=0$；且 $F=kx$，解得 $F=20\text{N}$，$k=500\text{N/m}$



甲



乙



丙

（2）物体 A 所受静摩擦力方向水平向右，对物体 A 受力分析如图乙所示

根据物体平衡和临界条件，有 $F-f_A=0$；$f_{max}=\mu m_1 g$；解得 $\mu=0.4$，即物块 A 与桌面间的动摩擦因数至少为 0.4。

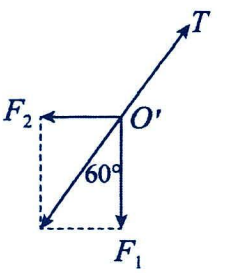
（3）以桌子为研究对象，如图丙所示，因为桌子处于平衡状态，所以物块 A 对桌子的摩擦力与地面对桌子的摩擦力等大反向，即地面对桌子的摩擦力大小为 $f_{地}=f_A=20\text{N}$（方向水平向右）

3．(1)10N；(2)2kg；(3)$10\sqrt{3}$N；(4)30°

【详解】（1）由于动滑轮两侧绳子的拉力大小相等，根据对称性和几何关系可知，细线 OP 与竖直方向的夹角为 30°。设 $O'a$ 绳上的拉力为 T，根据题意 $2T\cos30°=F$

解得 $T=20\text{N}$

以结点 O' 为研究对象，则受力分析如下图所示



根据平衡条件得，弹簧的弹力为 $F_1=T\cos60°=10\text{N}$

（2）$O'a$ 绳上的拉力大小等于重物 A 的重力，则 A 的质量大小为 $m_A=\dfrac{T}{g}=2\text{kg}$

（3）物体 B 受力平衡，则 $O'b$ 绳上的拉力大小等于桌面对物体 B 的摩擦力，

即 $f=F_2=T\sin60°=10\sqrt{3}\text{N}$

（4）根据（1）问中的解析可得细线 OP 与竖直方向的夹角为 30°。

4．(1)8N；(2)0.2；(3)$\dfrac{5}{4}$

【详解】（1）将木块和小球看场一个整体，因为匀速运动，所以整体受力平衡，

水平方向有 $f=F\cos 37°$，解得 $f=8\text{N}$

（2）对小球竖直方向有 $F\sin 37°+T\sin\theta=mg$；对木块竖直方向有 $T\sin\theta+Mg=F_{\text{N}}$

又因为 $f=\mu F_{\text{N}}$；解得 $\mu=0.2$

（3）对小球竖直方向有 $F\sin 37°+T\sin\theta=mg$；对小球水平方向有 $F\cos 37°=T\cos\theta$

又因为 $\tan\theta=\dfrac{\sin\theta}{\cos\theta}$；解得 $\tan\theta=\dfrac{5}{4}$

5．(1)0.25；(2) $f=(10\sqrt{3}-15)\text{N}$

【详解】（1）设轻绳的张力大小为 T，对重物 B 受力分析有 $T\cos 30°=\dfrac{1}{2}m_2g$；解得 $T=20\text{N}$

物块 A 恰好不上滑，则摩擦力为最大静摩擦力，

对物块 A 受力分析有 $T=m_1g\sin\theta+f_{\max}$；$F_{\text{N}}=m_1g\cos\theta$；$f_{\max}=\mu F_{\text{N}}$；解得 $\mu=0.25$

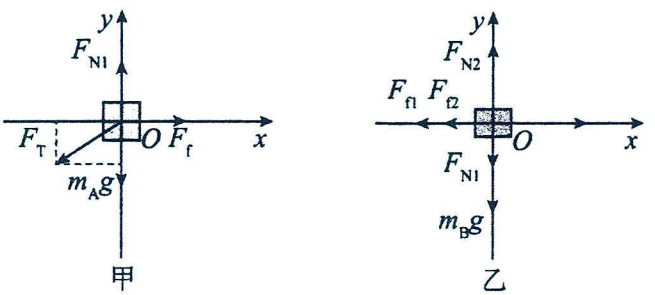
（2）当动滑轮两侧轻绳夹角为零时轻绳拉力最小，有 $T_{\min}=\dfrac{1}{2}m_2g=10\sqrt{3}\text{N}$

此时对物块 A 受力分析有 $m_1g\sin\theta=T_{\min}-f$；解得 $f=(10\sqrt{3}-15)\text{N}$

6．（1）200N；（2）320N

【详解】(1)对 A 进行受力分析如图甲所示，可知 A 受 4 个力作用，分解绳的拉力

根据受力平衡可得：$F_{\text{N1}}=m_Ag+F_{\text{T}}\sin\theta$ ；$F_{\text{T}}\cos\theta=\mu_1F_{\text{N1}}$ ；代入数据解得 $F_{\text{T}}=200\text{N}$



(2)对 B 进行受力分析可知 B 受 6 个力的作用，

地面对 B 的支持力为 $F_{\text{N2}}=m_Bg+F_{\text{N1}}$；$F_{\text{N1}}=m_Ag+F_{\text{T}}\sin\theta$；拉力为 $\mu_2F_{\text{N2}}+\mu_1F_{\text{N1}}$

代入数据解得 $F=320\text{N}$

7．(1)12N；(2)2N，沿斜面向上；(3) $\dfrac{5}{6}\text{kg}$

【详解】（1）当 B 与 C 之间的摩擦力恰好为零时，绳 OQ 的拉力大小 $T=m_{\text{B}}g\sin 53°=12\text{N}$

（2）当 A 的质量 $m_{\text{A}}=0.6\text{kg}$ 时，物块 B 受到的拉力 $T'=\dfrac{m_{\text{A}}g}{\cos 53°}=10\text{N}$

物块 B 受到摩擦力的大小 $f_{\text{B}}=m_{\text{B}}g\sin 53°-T'=2\text{N}$；方向沿斜面向上；

（3）当物块 A 质量取最大值时，若 C 与地面间的摩擦力达到最大，

则对 ABC 整体 $f_{C地}=\mu(m_{Amax}+m_B+m_C)g=T_{OP}$；对 A $T_{OP}=m_{Amax}g\tan 53^\circ$；解得 $m_{Amax}=\frac{5}{6}$kg

此时 OQ 的拉力 $T_{OQ}=\frac{m_{Amax}g}{\cos 53^\circ}=\frac{125}{9}\text{N}\approx 13.9\text{N}$

此时 B 与斜面 C 间的摩擦力为 $f_{BC}=T_{OQ}-m_Bg\sin 53^\circ=1.9\text{N}<\mu m_Bg\cos 53^\circ=3\text{N}$

此时 B 与斜面 C 之间不会产生滑动，则物块 A 质量的最大值 $m_{Amax}=\frac{5}{6}$kg

8．(1)$5\sqrt{3}$N；(2)$\frac{5\sqrt{3}}{2}$N；(3)$\frac{4}{7}\text{kg}\le m_1\le 4\text{kg}$

【详解】（1）对小球乙受力分析如图 1 所示，由相似三角形得 $\frac{mg}{2R}=\frac{N}{R}=\frac{T}{\sqrt{3}R}$

解得拴接小球乙的轻绳拉力大小为 $T=5\sqrt{3}\text{N}$

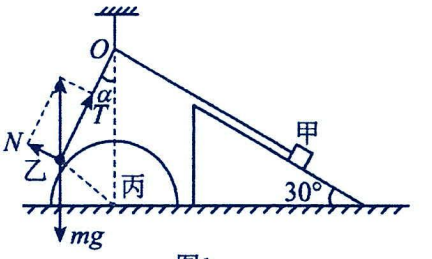


图1

（2）设拴接小球乙的轻绳与竖直方向的夹角为 α，

由几何关系可知 $(2R)^2=R^2+\left(\sqrt{3}R\right)^2$

所以拴接乙球的轻绳与半圆柱体相切，可得 $\sin\alpha=\frac{R}{2R}=\frac{1}{2}$

解得 $\alpha=30^\circ$

以小球乙和半圆柱体丙整体为研究对象，可知半圆柱体所受的摩擦力方向水平向左、大小等于拉力 T 沿水平向右方向的分力，即 $f=T\sin\alpha$，解得 $f=\frac{5\sqrt{3}}{2}$N

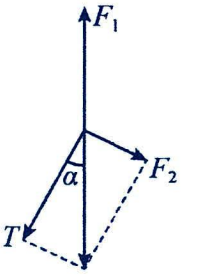


图2

（3）以结点 O 为研究对象，对其受力分析如图 2 所示，由平衡关系得 $F_2=T\tan\alpha$

代入数据解得 $F_2=\frac{1}{2}mg=5\text{N}$

以甲为研究对象，设物块甲的质量为 m_1，当静摩擦力沿斜面向上达到最大值时有

$F_2'+\mu m_1g\cos\theta=m_1g\sin\theta$ F_2 与 F_2' 是一对相互作用力，由牛顿第三定律可知 $F_2=F_2'$，解得 $m_1=4\text{kg}$

当静摩擦力沿斜面向下达到最大值时有 $F_2'=m_1g\sin\theta+\mu m_1g\cos\theta$；解得 $m_1=\frac{4}{7}$kg

物块甲质量的取值范围为 $\frac{4}{7}\text{kg}\le m_1\le 4\text{kg}$

9．(1)1kg；(2)50N；(3)3kg，5cm

【详解】（1）对物体丙，由平衡条件得 $2T\cos 60^\circ=m_3g$；所以 $T=\frac{m_3g}{2\cos 60^\circ}=\frac{1\times 10}{2\times\frac{1}{2}}\text{N}=10\text{N}$

对沙桶，由平衡条件得 $mg=T$；所以 $m=1\text{kg}$

（2）对物体乙，由平衡条件得 $f=m_2g\sin 30^\circ+T$；解得 $f=50\text{N}$

（3）当甲刚要向下滑动时，

对甲乙，由平衡条件得 $(m_1+m_2)g\sin 30^\circ+T'=\mu(m_1+m_2)g\cos 30^\circ$；解得 $T'=40\text{N}$

对甲，由平衡条件得 $\mu m_1g\cos 30^\circ=m_1g\sin 30^\circ+kx$；解得 $x=5\text{cm}$

对沙桶，由平衡条件得$(m_{沙}+m)g=T'$；解得$m_{沙}=3\text{kg}$

10．（1）26N；（2）0.6N；（3）$(26\cos 74^\circ-0.48)\text{N}$

【详解】（1）设绳子对木块 A 的拉力大小是 T，则木块 A 对 B 板的压力$N=m_Ag\cos 37^\circ-T\sin 37^\circ$

A、B 之间的摩擦力$f_{AB}=\mu(m_Ag\cos 37^\circ-T\sin 37^\circ)$

根据平衡条件有$m_Ag\sin 37^\circ+\mu(m_Ag\cos 37^\circ-T\sin 37^\circ)=T\cos 37^\circ$；代入数据解得 T=26N

（2）木板 B 与斜面之间的摩擦力$f_{BC}=\mu\left[(m_Ag\cos 37^\circ-T\sin 37^\circ)+m_Bg\cos 37^\circ\right]=6.8\text{N}$

B 板沿斜面方向上受力平衡，有：$F+m_Bg\sin 37^\circ=f_{AB}+f_{BC}$；代入数据解得 F=0.6N

（3）对整体受力分析，结合牛顿第三定律知地面受摩擦力

$f_{地}=T\cos 74^\circ-F\cos 37^\circ=(26\cos 74^\circ-0.6\times 0.8)\text{N}=(26\cos 74^\circ-0.48)\text{N}$

11．（1）$4m$；（2）$f=\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$

【详解】（1）小车处于静止状态，受力平衡，对小车受力分析，沿斜面方向有$Mg\sin 30^\circ=2mg$

解得$M=4m$

（2）当 A 和 B 互换位置后，设 A 连接的绳子与垂直于斜面方向为θ，

小车沿斜面方向受力$Mg\sin 30^\circ=mg+2mg\sin\theta$；计算得出$\theta=30^\circ$

即 A 连接的绳子竖直向上拉小车，对小车和斜面体整体受力分析$f=mg\cos 30^\circ$

计算得出$f=\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$

12．（1）$\dfrac{\sqrt{3}}{3}(M+m)g$；（2）$\theta=30^\circ$，$F_{\min}=\dfrac{1}{2}(M+m)g$

【详解】（1）如图 1

以 A、B 整体为研究对象，水平方向受水平力 F，滑动摩擦力F_f，竖直方向上受重力$(M+m)g$，横杆的支持力

F_N，则$F=F_f$；$F_N=(M+m)g$；$F_f=\mu F_N$；解得$F=\mu(M+m)g=\dfrac{\sqrt{3}}{3}(M+m)g$

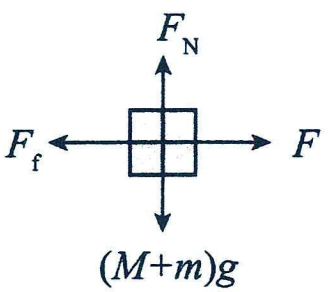


图1

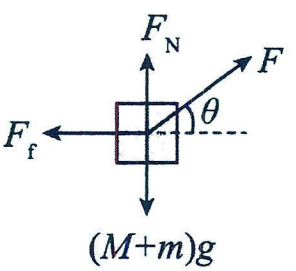


图2

（2）以 A、B 整体为研究对象，受与水平方向成θ角的力 F，滑动摩擦力F_f，竖直方向上受重力$(M+m)g$，横

杆的支持力F_N，如图所示$F\cos\theta=F_f$；$F_N+F\sin\theta=(M+m)g$；$F_f=\mu F_N$

解得$F=\dfrac{\mu(M+m)g}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$

其中$\cos\theta+\mu\sin\theta=\sqrt{1+\mu^2}\left(\dfrac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}\cos\theta+\dfrac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}\sin\theta\right)$

$\sin\beta=\dfrac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，$\beta=60°$

则$\cos\theta+\mu\sin\theta=\sqrt{1+\mu^2}\left(\dfrac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}\cos\theta+\dfrac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}\sin\theta\right)=\dfrac{2}{\sqrt{3}}\sin(\theta+\beta$

当$\theta=30°$时，$\cos\theta+\mu\sin\theta$最大，F 最小，代入得$F_{min}=\dfrac{1}{2}(M+m)g$

第十一讲：共点力平衡问题

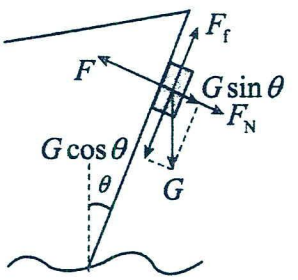
考点一：静态平衡

题型一：单体静态平衡

【典型例题】 ：AD　　AC　　C　　C　　A

1．AD

【详解】如图所示，将重力垂直于斜面方向和沿斜面方向分解



沿斜面方向，由平衡条件得 $F_f = G\cos\theta$

垂直斜面方向，由平衡条件得 $F = F_N + G\sin\theta$

故选 AD。

2．AC

【详解】AB．运料车的车轮相对地面有水平向右的运动趋势，因此车轮受到的摩擦力方向水平向左，A 正确，B 错误；

C．用恒力 F 推着运料车在水平地面上匀速前进，可知运料车在水平方向受力平衡，由平衡条件可知，恒力 F 在水平方向的分力与摩擦力大小相等，则有 $F_1 = F\cos\theta = F_f$ 。代入数据解得 $F_f = \frac{\sqrt{3}}{2}F$，C 正确；

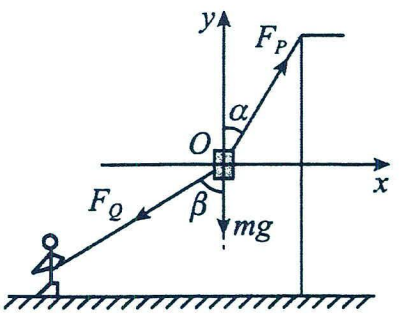
D．运料车在竖直方向受力平衡，由平衡条件则有地面对运料车的支持力 $F_N = G + F\sin\theta$

由滑动摩擦力公式可得运料车与地面间的动摩擦因数为 $\mu = \frac{F_f}{F_N} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}F}{G+\frac{1}{2}F} = \frac{\sqrt{3}F}{2G+F}$，D 错误。

故选 AC。

3．C

【详解】对空调主机受力分析，建坐标系如图所示



则 y 方向有 $F_P\cos\alpha = mg + F_Q\cos\beta$ ； x 方向有 $F_P\sin\alpha = F_Q\sin\beta$

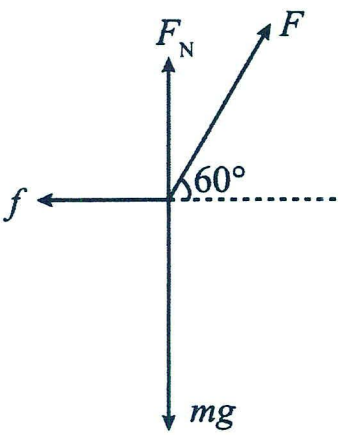
联立可得 $F_P = \frac{20}{7}mg$， $F_Q = \frac{15}{7}mg$

故选 C。

4．C

【详解】当拉力水平时，物体匀速运动，则拉力等于摩擦力，即：$F = \mu mg$，

当拉力倾斜时，物体受力分析如图



由平衡条件得：$F_N = mg - F\sin\theta$， $f = F\cos 60°$，又 $f = \mu F_N$，

得摩擦力为：$f = \mu(mg - F\sin\theta) = F\cos 60°$，联立解得：$\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$，故选 C.

5．A

【详解】A．把动滑轮及物块看做一个整体，设跨过滑轮的轻绳中的张力大小为T，整体在竖直方向平衡，则有$T\sin 53°+T\sin 37°=mg$；代入得$T=\frac{1}{1.4}mg=\frac{5}{7}mg$，A 正确；

B．整体在水平方向平衡，则有$T\cos 53°+T\cos 37°=F$；代入得$F=mg$，B 错误；

C．由平衡条件知，物块与滑轮间的轻绳中的张力大小为$F_{张}=\sqrt{F^2+mg^2}$；代入得$F_{张}=\sqrt{2}mg$，C 错误；

D．由数学知识可知显然物块与滑轮间的轻绳中的张力与竖直方向夹角的正切值为$\tan\theta=\frac{F}{mg}=1$，D 错误；

故选 A。

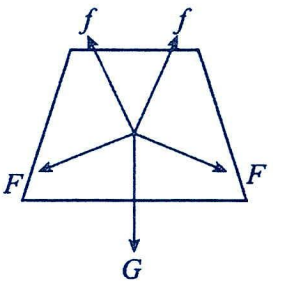
【变式训练】：B　　C　　B　　A　　D

1．B

【详解】以弓和所挂重物为研究对象，设弦对 a 点的拉力为 F，根据共点力平衡 $2F\cos\theta=Mg$

解得$F=\frac{Mg}{2\cos\theta}$，故选 B。

2．C

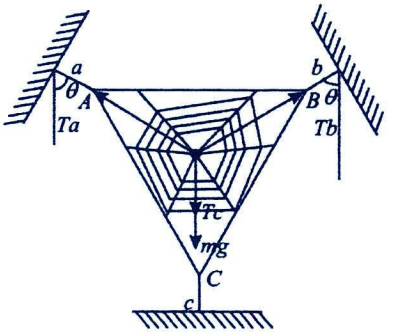


【详解】对金砖受力分析，如答图所示，由平衡条件可得$f=\mu F$；

$2f\sin\theta=G+2F\cos\theta$；解得$F=\frac{G}{2(\mu\sin\theta-\cos\theta)}$

故选 C。

3．B



【详解】ABC．以网和蜘蛛为研究对象，受力分析如图所示

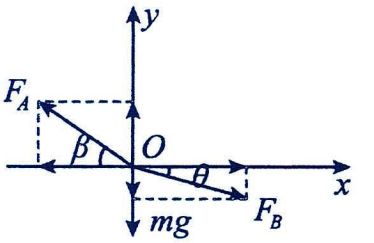
由平衡条件得$T_a\sin\theta=T_b\sin\theta$；$T_a\cos\theta+T_b\cos\theta=T_c+G$；可得$T_a=T_b>T_c$

故 AC 错误，B 正确；

D．蜘蛛网在水平风吹拂下晃动，T_a与T_b以及T_c在垂直蜘蛛网的方向均有分力，根据力的合成可知，a 中张力大小发生变化，故 D 错误。

故选 B。

4．A



【详解】以结点 O 为研究对象，受力情况如图所示

由共点力平衡条件得$F_A\cos\beta=F_B\cos\theta$；$F_A\sin\beta=mg+F_B\sin\theta$

联立解得$F_A=\frac{mg}{\sin\beta-\cos\beta\tan\theta}$；$F_B=\frac{mg}{\tan\beta\cos\theta-\sin\theta}$

故选 A。

5．D

【详解】物块所受支持力$F_N=mg\cos 37°+F\sin 37°$；物块所受摩擦力$F_f=\mu F_N$

重力和F平行于斜面方向的合力$F_{合}=\sqrt{(mg\sin 37°)^2+(F\cos 37°)^2}$

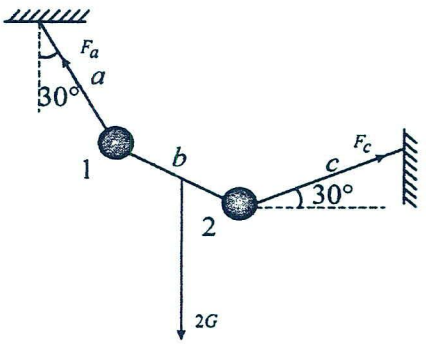
物块在斜面上恰好做匀速运动，则$F_{合}=F_{f}$；又$F=mg$

联立解得$\mu(mg\cos37^{\circ}+mg\sin37^{\circ})=mg$ $\mu=\frac{5}{7}$

故选 D。

题型二：多体静态平衡

【典型例题】 ：B　　C　　D　　C



1．B

【详解】A.将两小球看成一个整体，该整体受重力$2G$，细线 a 的拉力F_a，细线 c 的拉力F_c，受力如图

可得$F_a\cos30^{\circ}+F_c\cos60^{\circ}=2G$，$F_a\sin30^{\circ}=F_c\sin60^{\circ}$

联立，解得$F_a=\sqrt{3}G$，$F_c=G$，故 A 错误；

BC.以小球 1 为研究对象，设细线 b 与水平方向的夹角为θ，受力分析$F_a\sin30^{\circ}=F_b\cos\theta$，$F_a\cos30^{\circ}=F_b\sin\theta+G$；

联立，解得$F_b=G$，$\theta=30^{\circ}$，故 B 正确；C 错误；

D．综上所述，有$F_b=F_c=G$，故 D 错误。

故选 B。

2．C

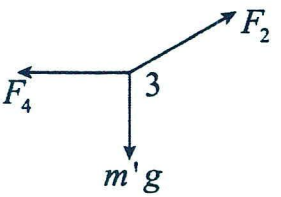
【详解】对木块 2 研究，根据平衡条件弹簧的弹力$F=\mu m_2g$

又由胡克定律得到弹簧伸长的长度$x=\frac{F}{k}=\frac{\mu m_2g}{k}$

所以两木块一起匀速运动时两木块之间的距离是$L=l+x=l+\frac{\mu m_2g}{k}$

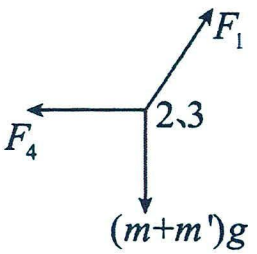
故选 C。

3．D



【详解】六块形状完全相同的石块围成半圆对应的圆心角为180°，每块石块对应的圆心角为30°，对第 3 块石块受力分析如图

结合力的合成可知$\tan60^{\circ}=\frac{F_4}{m'g}$



对第 2 块和第三块石块整体受力分析如图；$\tan30^{\circ}=\frac{F_4}{(m+m')g}$，解得$\frac{m}{m'}=2$

故选 D。

4．C

【详解】A．设绳子拉力为 F，墙壁支持力为 N，两球之间的压力为 T，将两个球作为一个整体进行受力分析，如图 1 所示。根据图 1 中几何关系可得绳子的拉力大于墙壁的支持力，故 A 错误；

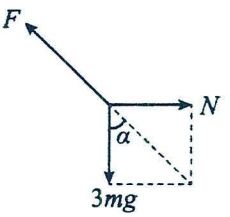


图1

B．根据平衡条件可得 N=3mgtanα

由于α大小不确定，所以墙壁的支持力不一定小于两球的重力，故 B 错

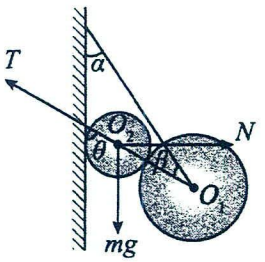


图2

误；

CD．对小球进行受力分析，如图 2 所示，根据平衡条件可得 N=mgtan θ

根据几何关系可得 θ = α + β，则 N=mgtan（α + β）

联立得 3tan α =tan（α + β），故 C 正确，D 错误。

故选 C。

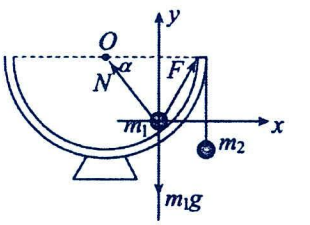
【变式训练】：C　　A　　A

1．C

【详解】对小球 m_2 受力分析，受重力 m_2g 和细线拉力 F'，由于二力平衡，由平衡条件可得 $F'=m_2g$

对小球 m_1 受力分析，如图所示，由几何关系可知，力 F 与 x 轴的夹角为 $60°$，由共点力平衡条件可得，在 x 轴方向则有 $F\cos 60°-N\cos 60°=0$

在 y 轴方向则有 $F\sin 60°+N\sin 60°-m_1g=0$

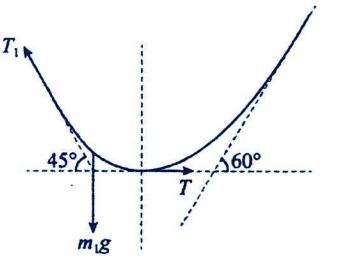


由牛顿第三定律可知，F 与 F' 大小相等，方向相反。联立以上各式解得 $\frac{m_2}{m_1}=\frac{\sqrt{3}}{3}$

故选 C。

2．A

【详解】对竖直虚线左边绳子受力分析如图，则 $T_1\cos 45°=m_1g$；$T_1\sin 45°=T$



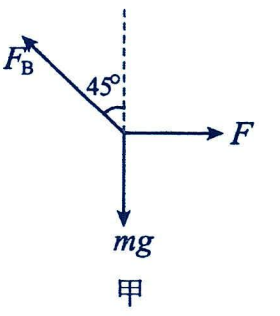
同理对竖直虚线右边绳子受力分析可知 $T_2\sin 60°=m_2g$；$T_2\cos 60°=T$

联立解得 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{1}{\sqrt{3}}$

故选 A。

3．A

【详解】D．对下面的小球进行受力分析，如图甲所示



甲

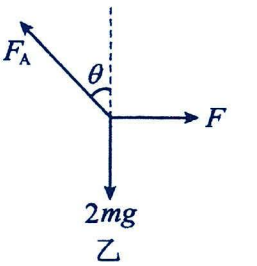
根据平衡条件得 F=mgtan45° =mg；$F_B=\frac{mg}{\cos 45°}=\sqrt{2}mg$；故 D 错误；

AC．对两个小球整体受力分析，如图乙所示

根据平衡条件得 $\tan\theta=\frac{F}{2mg}$；又 F=mg

解得 $\tan\theta=\frac{1}{2}$；$F_A=\sqrt{(2mg)^2+F^2}=\sqrt{5}mg$；故 A 正确，C 错误；

B．由题可知两弹簧的形变量相等，则有 $x=\frac{F_A}{k_A}=\frac{F_B}{k_B}$



乙

解得 $\frac{k_A}{k_B}=\frac{F_A}{F_B}=\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{2}}$

故 B 错误。

故选 A。

题型三：立体问题

【典型例题】 ：A　　C　　A

1．A

【详解】A．a纸牌处于静止状态，受到其它纸牌的作用力和自身重力，根据力的平衡条件可知其它纸牌对a纸牌的作用力大小为mg，方向竖直向上，故A正确；

B．b纸牌处于静止状态，受到其它纸牌的作用力、自身重力和摩擦力作用，则其它纸牌对b纸牌的作用力大小不等于mg，故B错误；

C．共有7张纸牌，整体受力分析，可知地面对其支持力为7mg，则纸牌对地面的压力大小为7mg，故C错误；

D．每张纸牌都处于静止状态，合外力都为0，故D错误；

故选A。

2．C

【详解】要使木桩受到绳子作用力的方向竖直向下，则绳子OC与CD上拉力的合力竖直向下，对结点C受力分析，如图1所示，根据平行四边形定则有$T_C=\dfrac{F}{\sin 60^\circ}=\dfrac{100}{\frac{\sqrt{3}}{2}}\text{N}=\dfrac{200}{3}\sqrt{3}\text{N}$

点O受力平衡，对其受力分析，如图2所示，根据平衡条件，结合对称性，

有$T_A=T_B=\dfrac{T_C}{\sqrt{2}}=\dfrac{\frac{200}{3}\sqrt{3}\text{N}}{\sqrt{2}}=\dfrac{100\sqrt{6}}{3}\text{N}$

故选C。

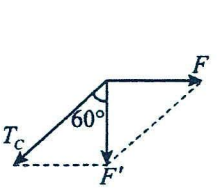


图1

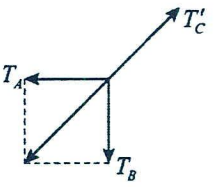


图2

3．A

【详解】根据题意，垂直于斜面的截面图及受力分析如图所示

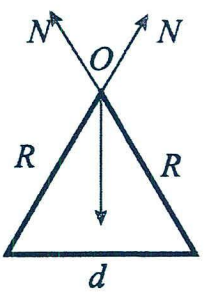
因为$R=d$

所以由平衡条件$\dfrac{1}{2}mg\sin 30^\circ=\mu N$

垂直于斜面方向$2N\cos 30^\circ=mg\cos 30^\circ$

解得瓦片与椽子间的动摩擦因数为$\mu=\dfrac{1}{2}$

故选A。



【变式训练】 ：B　　A　　C

1．B

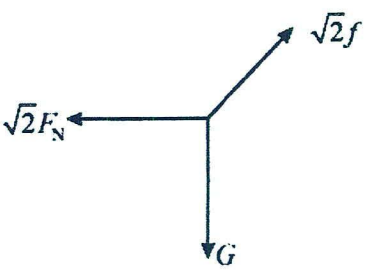
【详解】根据几何关系可知$PO=25\text{cm}$，令OO'的中点为D，则$2T\dfrac{DP}{OP}\cdot\dfrac{h}{Dp}=mg$；解得$T=5N$

故选B。

2．A

【详解】设一个篮子的质量为m，连接下篮的绳子的拉力为F_2，对下篮，

根据平衡条件得$4F_2=mg$



解得 $F_2=\frac{mg}{4}$

设连接上篮的绳子的拉力为 F_1，绳子与竖直方向夹角为 θ，

对两个篮整体由平衡条件得 $4F_1\cos\theta=2mg$

由几何关系可得 $\cos\theta=\frac{\sqrt{40^2-24^2}}{40}=0.8$；可得 $F_1=\frac{5}{8}mg$，则可得 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{\frac{5}{8}mg}{\frac{1}{4}mg}=\frac{5}{2}$

故选 A。

3．C

【详解】ABC．对小孩受力分析，小孩受到竖直向下的重力 G，墙壁对每只脚的支持力为 F_N，对每只脚的摩擦力为 f，则手脚交替的弹力、摩擦力，摩擦力的方向斜向上，如图所示

设每个受力点受到的支持力为 F_N，摩擦力为 f，由图可知，不能确定小孩受到墙壁的支持力与重力的大小关系，但小孩受到墙壁的摩擦力大于重力的大小，小孩受到墙壁的摩擦力大于支持力，即 $f=\mu F_N>F_N$；所以 $\mu>1$

故 AB 错误，C 正确；

D．由图可知，若对称增加脚与墙壁的挤压力，则摩擦力增大，故 D 错误。

故选 C。

考点二：动态平衡

题型一：解析法

【典型例题】 ：D

1．D

【详解】AB．蚂蚁缓慢爬行的过程可以视为始终处于平衡状态，对蚂蚁受力分析可知，蚂蚁受到重力、沿切线方向的摩擦力和垂直切线方向指向球心的支持力，设蚂蚁所在位置与球心连线与竖直方向的夹角为 θ，根据受力平衡可得 $f=mg\sin\theta$，$N=mg\cos\theta$

从底部经过 b 点爬到 a 点，θ 逐渐增大，则碗对蚂蚁的摩擦力变大，碗对蚂蚁的支持力变小。故 AB 错误；

CD．蚂蚁处于平衡状态，合外力一直为 0，则碗对蚂蚁的作用力与重力平衡，保持不变，故 C 错误；D 正确。

故选 D。

【变式训练】 ：D　　A

1．D

【详解】A．石头对右壁的压力与右壁对石头的压力是互为作用力和反作用力，因作用在两个物体上，则不能相互平衡，选项 A 错误；

BC．对石头受力分析，则竖直方向 $F_N\sin\theta=mg$

可得石头对左壁的压力大小为 $F_N'=F_N=\frac{mg}{\sin\theta}$

则石头对左壁的压力大小大于石头的重力大小，选项 BC 错误；

D．若随着风化程度的增加，导致夹角 θ 减小，则根据 $F_N^{'}=\frac{mg}{\sin\theta}$

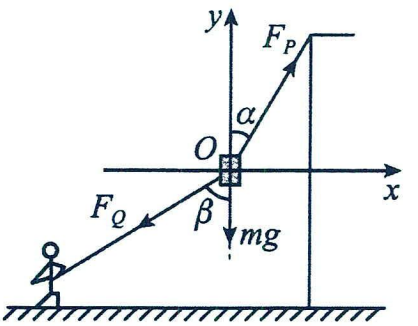
可知石头对左壁的压力增大，选项 D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】对空调主机受力分析，建坐标系如图所示

根据平衡条件，可得 y 轴方向有 $F_P\cos\alpha=mg+F_Q\cos\beta$；可得 $F_P\cos\alpha>F_Q\cos\beta$



x 轴方向有 $F_P\sin\alpha=F_Q\sin\beta$

两式联立可得 $F_P^2\cos^2\alpha+F_P^2\sin^2\alpha>F_Q^2\cos^2\beta+F_Q^2\sin^2\beta$

化简得 $F_P^2>F_Q^2$；解得 $F_P>F_Q$

根据 x 轴方向有 $F_P\sin\alpha=F_Q\sin\beta$；可知 $\alpha<\beta$

故 A 正确；

BC．由题知，要求吊运过程中空调主机与楼墙保持一定的距离，即 d 不变，设 OP 间的绳长为 l_{OP}，OQ 间的绳长为 l_{OQ}，空调主机离地的高度为 h，根据几何关系可得 $\sin\alpha=\frac{d}{l_{OP}}$，$\cos\beta=\frac{h}{l_{OQ}}$

在缓慢上升过程中，OP 间的绳长变短，OQ 间的绳不变，但离地高度 h 增大，则有 $\sin\alpha$ 变大，$\cos\beta$ 变大，故 α 变大，β 变小，根据平衡条件，

可得 y 轴方向有 $F_P\cos\alpha=mg+F_Q\cos\beta$ x 轴方向有 $F_P\sin\alpha=F_Q\sin\beta$；联立解得 $F_P=\frac{mg}{\cos\alpha-\frac{\sin\alpha}{\tan\beta}}$

可知 F_P 变大，根据 $F_P\sin\alpha=F_Q\sin\beta$

可知 F_Q 变大，故 BC 错误；

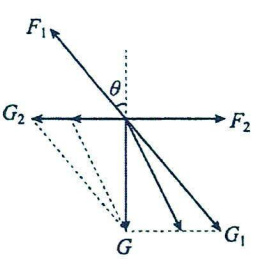
D．对地面上的人受力分析，在水平方向有 $F_f=F_Q\sin\beta=F_P\sin\alpha$

故地上的人受到地面的摩擦力变大，故 D 错误。

故选 A。

题型二：图解法

【典型例题】 ：C B



甲

1．C

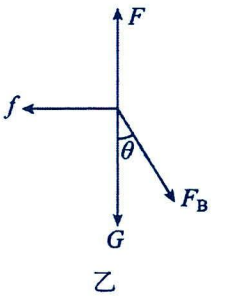
【详解】AB．小球 B 受重力、A 的支持力 F_1 和墙壁的压力 F_2，如图甲所示

将重力 G 分解为 G_1 和 G_2，则根据平衡可知 $F_1=G_1=\frac{G}{\cos\theta}$，$F_2=G_2=G\tan\theta$

当 A 向右移动少许，根据题意可知，A 对小球 B 的作用力 F_1 与竖直方向的夹角 θ 将减小，故 cos θ 增大，tan θ 减小，即墙壁对小球 B 的作用力将减小，A 对小球 B 的支持力减小，根据牛顿第三定律可知，球 B 对墙壁的压力

将减小，球 B 对 A 的压力亦减小，故 AB 错误；

C．再对 A 进行受力分析如图乙所示



乙

由于 A 受力平衡，所以 A 受地面摩擦力 $f=F_B\sin\theta$

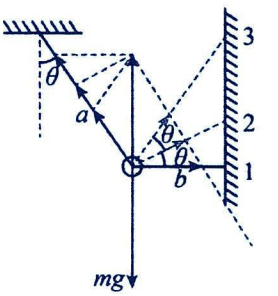
根据题意知，B 对 A 的压力 F_B 减小且 F_B 与竖直方向的夹角 θ 减小，故 A 所受地面的摩擦力 f 减小，再根据牛顿第三定律知，地面所受 A 的摩擦力减小，故 C 正确；

D．对整体分析可知，整体受重力和支持力的作用，由于竖直方向受力不变，故受地面的支持力不变，由牛顿第三定律可知，A 对地面的压力不变，故 D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】对小球受力分析，受到重力和两个拉力，三力平衡，如图



根据几何关系可知，力 F_2 垂直与倾斜绳 a，由图可知；$F_1=F_3>F_2$

且 F_a 不断减小。

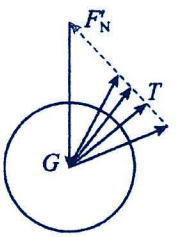
故选 B。

【变式训练】：A　　AD　　C

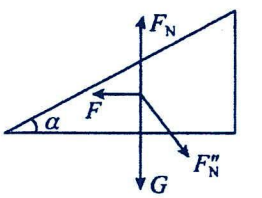
1．A

【详解】C．利用矢量三角形法对球体进行分析，如图甲所示，可知 T 先减小后增大，斜面体对球体的支持力 F_N' 逐渐增大，故 C 错误；

AB．对斜面体受力分析，如图乙所示，可知 $F=F_N''\sin\alpha$



甲



乙

根据牛顿第三定律有 $F^*_N=F_N'$

所以 F 逐渐增大，故 A 正确，B 错误；

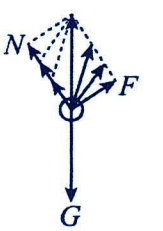
D．水平面对斜面体的支持力 $F_N=G+F_N''\cos\alpha$

故 F_N 逐渐增大，故 D 错误。

故选 A。

2．AD

【详解】以小球为研究对象，受力分析如图所示，因“缓慢”移动悬挂点，故小球处于动态平衡，在悬挂点由 A 点缓慢移动到 B 点的过程中，细线对球的拉力 F 与斜面对球的支持力的合力与小球重力 G 等大反向共线；由图知，细线对球的拉力 F 一直减小，当细线与斜面平行时，F 与 N 垂直，此时 F 有最小值；而斜面对小球的支持力 N 一直增大；



故选 AD。

3．C

【详解】A．由于系统仍保持静止，斜劈 P 所受合外力仍为零，保持不变，A 错误；

B．将斜劈和球作为一个整体，当 F 增大时，斜劈 P 对竖直墙壁的压力也增大，B 错误；

C．如果斜劈原来受到的摩擦力向上，增大 F 时，球对斜劈斜面的压力变大，斜劈受到的摩擦力可能减小，而如果斜劈原来受到的摩擦力向下，增大 F 时，球对斜劈的压力变大，斜所受摩擦力变大，C 正确；

D．将斜劈和球作为一个整体，在竖直方向上，如果斜劈与墙壁间的摩擦力变化，球对地面的压力也会变化，D错误。

故选C。

题型三：静摩擦力反向

【典型例题】 ：C　　BC

1．C

【详解】对物体Q受力分析，受推力、重力、支持力，可能有摩擦力：

①当$mg\sin\theta > F\cos\theta$时，摩擦力沿着斜面向上，大小为$f_1 = mg\sin\theta - F\cos\theta$，当F增大时，$f_1$变小；

②当$mg\sin\theta = F\cos\theta$时，摩擦力为零，F增大时，$f_1$变大；

③当$mg\sin\theta < F\cos\theta$时，摩擦力沿着斜面向下，大小为$f_1 = F\cos\theta - mg\sin\theta$，F增大时，$f_1$变大．

对整体受力分析，则有$f_2 = F$，F变大，则f_2一定变大．

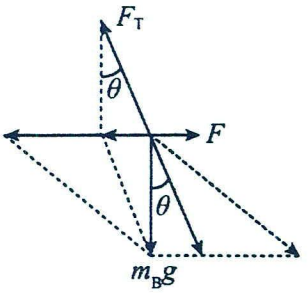
故C正确，ABD错误．

2．BC

【详解】分析B受力如图所示：

A．当B缓慢拉高时，则有$F = m_B g\tan\theta$；$F_T = \dfrac{mg}{\cos\theta}$

θ增大，水平拉力F变大，细绳拉力增大，故A错误；



BC．以A、B和斜面作为整体分析，地面对斜面的摩擦力与拉力F平衡$f = F$

则当F变大时，地面对斜面的摩擦力变大；

地面支持力$F_N = (m + m_A + m_B)g$，因此地面的支持力不变，故BC正确；

D．若初始时，物体A所受斜面体的摩擦力沿斜面向上$f + F_T = m_A g\sin\theta$

当细绳拉力增大，物体A所受斜面体的摩擦力会先变小，故D错误。

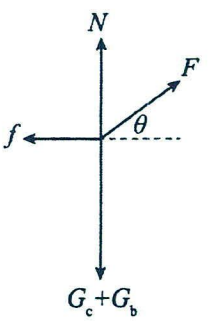
故选BC。

【变式训练】 ：BCD　　B　　AD

1．BCD

【详解】AB．若开始时小物块b所受重力沿斜面向下的分力小于绳的拉力，即$G_b\sin\theta < G_a$

则b受到c的摩擦力沿斜面向下，其大小为$F_f = G_a - G_b\sin\theta$



根据牛顿第三定律，b对c的摩擦力方向平行斜面向上；随着G_a的减小，则b受的摩擦力先减小然后反方向增大，方向先沿斜面向下然后变为沿斜面向上，b对c的摩擦力先减小然后反方向增大，方向先沿斜面向上然后变为沿斜面向下，故A错误，B正确；

C．以 bc 整体为研究对象，分析受力如图所示

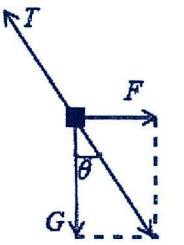
根据平衡条件可知，地面对 c 的摩擦力为 $f=F\cos\theta=G_a\cos\theta$，方向水平向左，故 C 正确；

D．若剪断细绳而 b 依然静止，此时地面对 c 的摩擦力为零，故 D 正确。

故选 BCD。

2．B

【详解】对木块 B 受力分析，如图，根据共点力平衡条件，有 $F=m_Bg\tan\theta=3mg\tan\theta$，$T=\frac{m_Bg}{\cos\theta}=\frac{2mg}{\cos\theta}$，在缓慢拉开 B 的过程中，$\theta$ 变大，故 F 变大，A 正确；对斜面体和木块 A、B 整体受力分析，由于一直平衡，故支持力等于系统的总重力，B 错误；由于 A 处于静止状态，故开始时有 $T-m_Ag\sin30°-f=0$，可得 A 所受摩擦力 $f=\frac{3mg}{\cos\theta}-2mg$，当 θ 由 0 开始增大时，A 所受静摩擦力变大，C 正确；斜面体对 A 的作用力的合力也就是摩擦力与支持力的合力，由于支持力大小不变而摩擦力增大，故合力增大，D 正确.



3．AD

【详解】AB．由于整个系统处于静止状态，所以滑轮两侧连接 a 和 b 的绳子的夹角不变；物块 a 只受重力以及绳子的拉力，由于物体 a 平衡，则连接 a 和 b 的绳子张力 T 保持不变；对滑轮分析，受三个拉力，由于滑轮两侧的绳子的拉力相等，故其合力在角平分线上，与第三个力平衡，故 2α=β；由于绳子的张力及夹角均不变，所以 OO′ 中的张力保持不变；故 A 正确，B 错误；

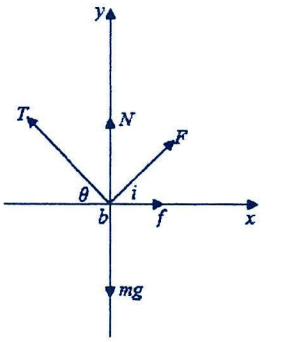
CD．物块 b 处于静止即平衡状态，对 b 受力分析有：力 T 与力 F 与 x 轴所成夹角均保持不变，

由平衡条件可得 N+Fsini+Tsin θ -mg=0；Fcosi+f-Tcos θ =0

由此可得 N=mg-Fsini-Tsin θ；f=Tcos θ -Fcosi

由于 T 的大小不变，可见当 F 大小发生变化时，支持力的大小也在一定范围内变化，摩擦力的大小也在一定范围内发生变化，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。



题型四：相似三角形

【典型例题】 ：A C D BC D

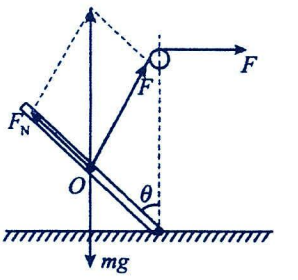
1．A

【详解】细棒质量分布均匀，重心在 O 点，对细棒进行分析如图，

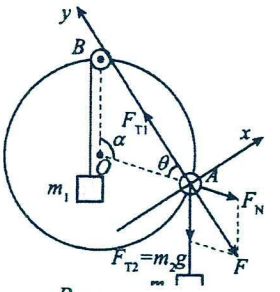
令杆长为 L，O_1 与 O_2 间距为 h，左侧绳长为 x，

根据相似三角形有 $\frac{mg}{h}=\frac{F}{x}=\frac{F_N}{\frac{L}{2}}$ θ 从 $\frac{\pi}{2}$ 缓慢减小到 0 的过程中，左侧绳长为 x 减小，可知，F 逐渐变小，F_N 大小不变。

故选 A。



2．C

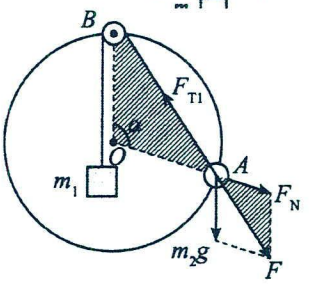


【详解】解法一：对小圆环A受力分析，建立如图甲所示的坐标系，在x轴方向上合力为零，则有$F_{T2}\sin\theta=F_N\sin\theta$；$F_N=F_{T2}=m_2g$

由几何知识可知$2F_{T2}\sin\frac{\alpha}{2}=F_{T1}=m_1g$；解得$\frac{m_1}{m_2}=2\sin\frac{\alpha}{2}$

C正确。

故选C。



乙

解法二：由题可知绳长$AB=2R\sin\frac{\alpha}{2}$；$F_{T1}=m_1g$

力的三角形和几何三角形OBA相似，则对应边成比例，如图乙所示，

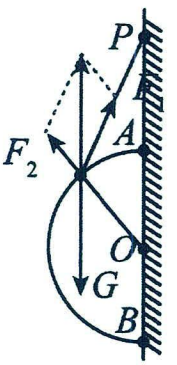
则有$\frac{m_2g}{BO}=\frac{F}{BA}=\frac{m_1g}{BA}$；解得$\frac{m_1}{m_2}=\frac{BA}{BO}=2\sin\frac{\alpha}{2}$

C正确。

故选C。

3．D

【详解】设小球所在位置为为Q，对小球受力分析如图所示



小球受重力G、绳对小球的拉力F_1及支架对小球的支持力F_2，三力平衡，三个力构成的矢量三角形与ΔOPQ相似，可有$\frac{G}{OP}=\frac{F_1}{PQ}=\frac{F_2}{OQ}$

重力为恒力，P点下移的过程，OP间距离减小，比例式比值增大，PQ间距离为绳长，OQ间距离为圆形支架的半径，均保持不变，所以F_1和F_2均增大.

A.A项与上述分析结论不相符，故A不符合题意；

B.B项与上述分析结论不相符，故B不符合题意；

C.C项与上述分析结论不相符，故C不符合题意；

D.D项与上述分析结论相符，故D符合题意.

4．BC

【详解】对B受力分析有$\frac{F_{BC}}{BC}=\frac{F}{AB}=\frac{m_Bg}{AC}$

设橡皮筋的劲度系数为k_1，弹簧的劲度系数为k_2，弹簧原长为l_0有$\frac{k_1BC}{BC}=\frac{k_2(AB-l_0)}{AB}=k_2\left(1-\frac{l_0}{AB}\right)=\frac{m_Bg}{AC}=k_1$；

k_1不变，AB不变，F不变，AC变大，m_B变大。

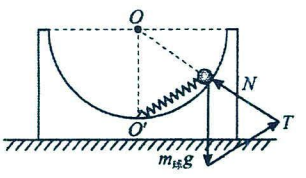
故选BC。

5．D

【详解】小球受三个共点力而平衡，这三个力构成一个矢量三角形，如图所示

矢量三角形刚好和几何三角形相似，则当弹簧另一端与质量为m的小球A相连时$\frac{mg}{R}=\frac{N_1}{R}=\frac{T_1}{R}$

设L_2为O′M的长度，当弹簧另一端与质量为2m的小球B相连时$\frac{2mg}{R}=\frac{N_2}{R}=\frac{T_2}{L_2}$



设弹簧的原长为L_0，则$T_1=k(L_0-R)$；$T_2=k(L_0-L_2)$

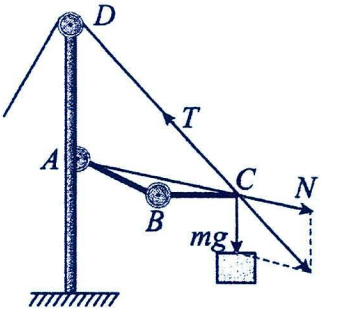
联立可得$T_1=mg$；$L_0=R+\frac{mg}{k}$；$N_2=2mg$；$L_2=\frac{mgR+kR^2}{2mg+kR}$；$T_2=\left(1+\frac{kR}{kR+2mg}\right)mg>T_1$

故选 D。

【变式训练】：C　　B　　ACD　　C

1．C

【详解】AB．对 C 点受力分析，沿轻绳的拉力 T，竖直向下大小为重物重力的拉力 mg，沿 AC 方向由 A 指向 C 的支持力 N，如图



根据三力平衡的特点可知力的三角形与边的三角形相似，有$\frac{mg}{T}=\frac{DA}{DC}$

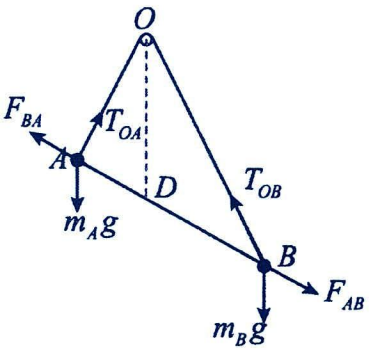
依题意，上臂 AB 转过 60° 过程中，DA 保持不变，DC 减小。可知绳 CD 拉力减小。故 AB 错误；

CD．同理，可得$\frac{mg}{N}=\frac{DA}{AC}$，上臂 AB 转过 60° 过程中，$DA$ 保持不变，AC 大小也保持不变。可知前臂 BC 对 C 点的支持力的大小不变。根据牛顿第三定律可知，前臂 BC 受到的压力大小不变。故 C 正确；D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】由于是一个绳子挂在细杆 O 上，所以绳子 OA 段和 OB 段的拉力大小相等，过 O 做竖直线与 AB 交与 D，如图所示



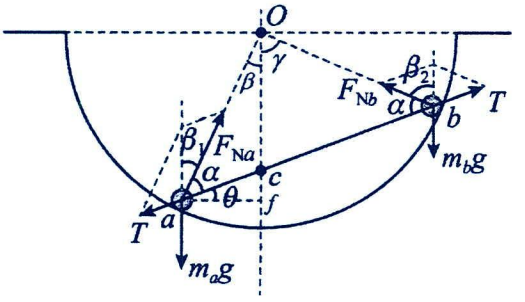
三角形 OAD 与小球 A 的矢量三角形相似，同理三角形 OBD 与小球 B 的矢量三角形相似，所以有$\frac{m_Ag}{OD}=\frac{T_{OA}}{OA}$，$\frac{m_Bg}{OD}=\frac{T_{OB}}{OB}$

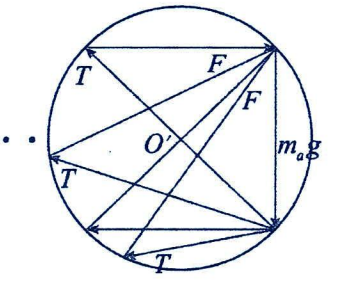
结合之前的分析，以及题意有$m_A=2m_B$，$T_{OA}=T_{OB}$；解得$\frac{OA}{OB}=\frac{1}{2}$

故选 B。

3．ACD

【详解】AB．对轻杆，受两个球的弹力是一对平衡力，根据牛顿第三定律，杆对 a、b 两球作用力大小相等，且沿杆方向。对两球进行受力分析，如下图





设球面的半径为 R，则ΔOac与左侧力三角形相似，ΔObc与右侧力三角形相似，

则$\frac{m_ag}{Oc}=\frac{T}{ac}$；$\frac{m_bg}{Oc}=\frac{T}{bc}$；可得$\frac{m_a}{m_a}=\frac{bc}{ac}$

由题意可知细杆长度是半球面半径的$\sqrt{2}$倍，根据几何知识可得$\alpha=45°$

则$\beta=90°-\alpha-\theta=37°$；$\gamma=90°-\beta=53°$

由于Δacf与Δbce相似，可得$\frac{m_a}{m_a}=\frac{bc}{ac}=\frac{be}{af}=\frac{R\sin\gamma}{R\sin\beta}=\frac{4}{3}$

故A正确，B错误；

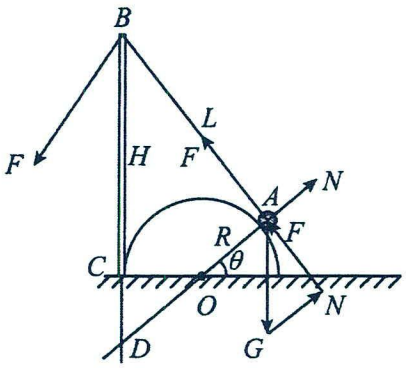
C．对a球进行受力分析，a球重力、细杆的弹力T和球面的支持力F，a球受力平衡，重力、T和F可组成矢量三角形，由于重力大小和方向不变，根据AB选项分析可知T和F的夹角始终为135°，根据几何知识可得到力的辅助圆如下图

由图可知，当a、b小球沿球面缓慢移动直至小球a到达与球心O点等高处过程中，轻杆对a的作用力T逐渐增大，直到等于辅助圆的直径，由于轻杆对a的作用力与轻杆对b的作用力大小相等，故此过程中轻杆对b的作用力逐渐增大，故C正确；

D．根据C选项分析可知，当a、b小球沿球面缓慢移动直至小球a到达与球心O点等高处过程中，球面对a的作用力F先增大到等于辅助圆的直径，再减小，故D正确。

故选ACD。

4．C

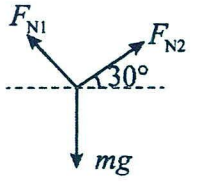


【详解】根据题意，对小球受力分析，受拉力、支持力和重力，把拉力和支持力平移，组成矢量三角形，延长AO和BC交于D点，如图所示，由几何关系和相似三角形有$\frac{F}{L}=\frac{mg}{H+R\tan\theta}$，解得$F=\frac{mgL}{H+R\tan\theta}$

故选C。

题型五：正弦定理（拉密定理）

【典型例题】　：D　　BCD　　AB

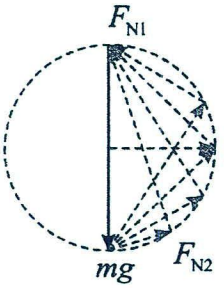


1．D

【详解】AB．当底板与水平面间的夹角为30°时，受力分析如图

由平衡条件可得$F_{N_1}=mg\sin60°$，$F_{N2}=mg\cos60°$，，解得$F_{N1}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$，$F_{N2}=\frac{1}{2}mg$

即当底板与水平面间的夹角为30°时，底板对货物的支持力为$\frac{\sqrt{3}}{2}mg$，支架对货物的支持力为$\frac{1}{2}mg$，故AB错误；



CD．压下把手的过程中，货物的受力情况如图，由图可知，底板对货物的支持力一直减小，支架对货物的支持力一直增大，故C错误，D正确。

故选D。

2．BCD

【详解】AB．由于物块缓慢移动，可看作是平衡状态，小物块和圆心的连线与水平方向的夹角为θ，对物块受力分析，由平衡条件可得$F=mg\cos\theta+\mu mg\sin\theta=mg\left(\frac{3}{4}\sin\theta+\cos\theta\right)$

由数学知识可知$\frac{3}{4}\sin\theta+\cos\theta=\sqrt{\frac{9}{16}+1}\sin(\theta+\varphi)=\frac{5}{4}\sin(\theta+\varphi)$

其中$\tan\varphi=\frac{4}{3}$；得$\varphi=53°$；即$F=\frac{5}{4}mg\sin(\theta+53°)$

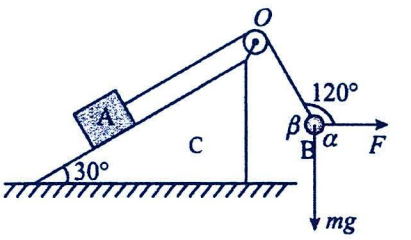
所以在θ从0增大到90°的过程中，F先增大后减小，故A正确，B错误；

C．由于物块处于动态平衡状态，对整体受力分析，可知地面对整体的摩擦力水平向左，即半圆柱体对地面有水平向右的摩擦力。故C错误；

D．地面受到的摩擦力大小为$f_{地}=F\sin\theta$；$f_{地}=\frac{5}{4}mg\sin\theta\sin(\theta+53°)$；$f_{地}=\frac{5}{8}mg\left[\cos53°-\cos(2\theta+53°)\right]$

因为θ的取值范围从0到90°，所以$f_{地}$先增大后减小，故D错误。

故选BCD。



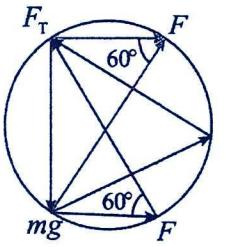
3．AB

【详解】AB．对B球受力分析，如图所示

由动态平衡的特点，根据正弦定理得$\frac{mg}{\sin120°}=\frac{F_T}{\sin\alpha}=\frac{F}{\sin\beta}$

改变拉力F，保持夹角θ大小不变，将小球B向右上方缓慢拉起至OB水平，β从钝角减小至90°，α从90°大至150°，$\sin\beta$一直增大，拉力F一直增大；F最小就是初始状态，β为150°，拉力F最小为$\frac{\sqrt{3}}{3}mg$，AB正确；

CD．以ABC三个物体为整体进行受力分析，地面所受静摩擦力大小等于拉力F的水平分力，做辅助圆如图所示



拉力F的水平分力先变大后变小，所以物块C所受地面摩擦力先变大后变小，故CD错误。

故选AB。

【变式训练】：C　　BD　　AD

1．C

【详解】AB．如图所示，设F与竖直方向夹角为α，根据受力平衡知$mg\cos\alpha=F$，$mg\sin\alpha=N$

从A到B过程中，α从$\frac{\pi}{4}$逐渐减小到0，可知F逐渐增大，N逐渐减小。当滑块到达B点时，N恰好为零，F具有最大值为mg。，故AB错误；

C．将两物体看成整体，整体受水平向左的作用力为$F'=F\sin\alpha=mg\cos\alpha\sin\alpha=\frac{1}{2}mg\sin2\alpha$

因为2α从$\frac{\pi}{2}$减小到0，根据函数单调性可知$\sin2\alpha$减小，则F'减小，可知墙面对凹槽的压力减小，故C正确；

D．对凹槽进行受力分析可知，水平地面对凹槽的支持力$N_1=Mg+N'\sin\alpha$

根据牛顿第三定律$N'=N$，则地面对凹槽的作用力为$N_1=Mg+N\sin\alpha$

由以上分析知，α逐渐减小，N逐渐减小，可知水平地面对凹槽的支持力逐渐减小，故D错误。

故选C。

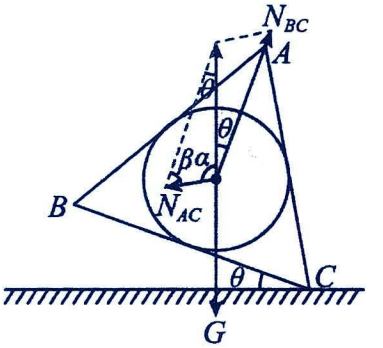
2．BD

【详解】A．对正三角形内部的小球受力分析，如图所示

由几何关系可知，随着角度θ从0°到120°增大过程中，

角α与角θ之和保持不变，且$\alpha+\theta=120°$

所以角β也保持不变$\beta=60°$



由平衡条件和正弦定理得$\frac{G}{\sin\beta}=\frac{N_{AC}}{\sin\theta}=\frac{N_{BC}}{\sin(120°-\theta)}$

所以球对 AC 边的压力$N_{AC}'=N_{AC}=\frac{G}{\sin\beta}\sin\theta=\frac{2\sqrt{3}}{3}G\sin\theta$

球对 BC 边的压力$N_{BC}'=N_{BC}=\frac{G}{\sin\beta}\sin(120°-\theta)=\frac{G}{\sin 60°}\sin(120°-\theta)=\frac{2\sqrt{3}}{3}G\sin(120°-\theta)$

当 BC 边与 AC 边所受压力大小相等时，即$N_{AC}'=N_{BC}'$；则$\theta=60°$

此时 AB 处于水平状态，故 A 错误；

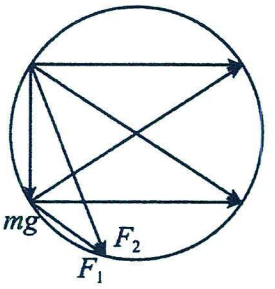
BC．角度θ从 0° 到 120° 增大过程中，$\sin\theta$和$\sin(120°-\theta)$都是先增大后减小，所以球对 AC 边的压力和球对 BC 边的压力都是先增大后减小，故 B 正确，C 错误；

D．当$0°<\theta<60°$时$N_{BC}'>G$；即 BC 边所受压力有可能大于球的重力，故 D 正确。

故选 BD。

3．AD

【详解】以重物为研究对象，受重力 mg，OM 绳上拉力 F_2，MN 上拉力 F_1，由题意知，三个力合力始终为零，矢量三角形如图所示，



在 F_2 转至水平的过程中，MN 上的张力 F_1 逐渐增大，OM 上的张力 F_2 先增大后减小，所以 A、D 正确；B、C 错误．

题型六：晾衣杆问题

【典型例题】 ：C AD A A

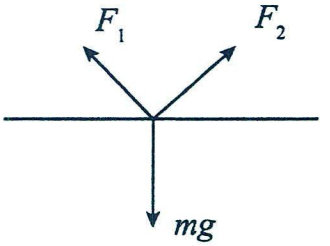
1．C

【详解】左手缓慢竖直向上移动过程中，圆环两边的细线间的夹角保持不变，根据力的合成可知，细线上的张力不变。

故选 C。

2．AD

【详解】对空竹受力分析，同一根绳子拉力处处相等，所以$F_1=F_2$，如图



设 F_1 与水平方向的夹角为 α，F_2 与水平方向的夹角为 β，根据共点力平衡，

在水平方向上有$F_1\cos\alpha=F_2\cos\beta$；所以$\alpha=\beta$

所以两根绳与竖直方向的夹角相等，设为θ，则有$2F_1\cos\theta=mg$；解得$F_1=\frac{mg}{2\cos\theta}$

两端点沿 AB、CD 以同一速度匀速移动，则移动过程的位移大小相等，两端点在水平方向上的距离不变，所以θ不变，则 F_1 和 F_2 均不变，且两者大小相等。

故选 AD。

3．A

【详解】设绳子拉力大小为F，以B为对象，有$F=m_Bg$

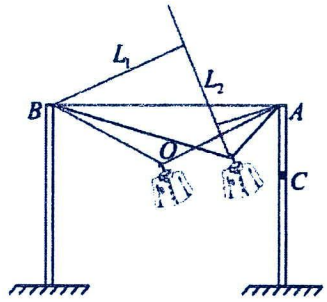
以动滑轮为对象，根据受力平衡可得$2F\sin\theta=m_Ag$

设左侧墙壁与定滑轮之间的绳子长度为L，水平距离为x，根据几何关系可得$\cos\theta=\frac{x}{L}$

将绳一端的固定点P缓慢向上移动到Q点，绳子拉力大小保持不变，则θ不变，由于水平距离x不变，则左侧墙壁与定滑轮之间的绳子长度L不变，故物块B的高度不变。

故选A。

4．A



【详解】A．设无风时绳子夹角的一半为θ_1，绳长为L，有风时绳子夹角的一半为θ_2，钩子两边细绳与竖直方向夹角相等，则有风时如图

有$L_1+L_2=L\sin\theta_2$；$d=L\sin\theta_1$；又因为$d>L_1+L_2$，所以$\theta_1>\theta_2$

故A正确；

B．无风时，衣服受到重力和两边绳子的拉力处于平衡状态，如图所示，同一条绳子拉力相等，则挂钩左右两侧绳子与竖直方向的夹角相等。由几何关系可得$\sin\theta=\frac{d}{\frac{5}{3}d}=\frac{3}{5}$；解得$\theta=37°$

根据平衡条件可$mg=2F\cos\theta$；解得$F=\frac{mg}{2\cos\theta}=\frac{5}{8}mg$，故B错误；

C．由于不计绳子的质量及绳与衣架挂钩间的摩擦，则挂钩相当于动滑轮，两端绳子的拉力总是相等，故C错误；

D．在有风的情况下，两端绳子之间的夹角变小，但是两细绳拉力的合力为恒力，则拉力F变小，故D错误。

故选A。

【变式训练】：BC　　D　　C　　AD

1．BC

【详解】根据几何关系可知两段绳子间的夹角为2θ，由平衡条件可知$2F\cos\theta=mg$，

所以$F=\frac{mg}{2\cos\theta}$

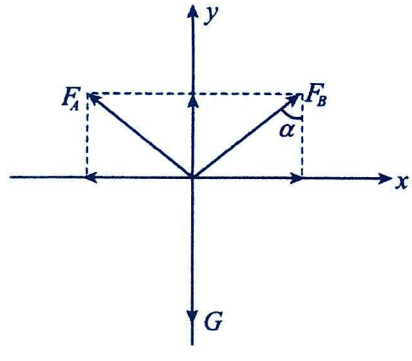
设绳子总长为L，两杆间距离为s，由几何关系$L_1\sin\theta+L_2\sin\theta=s$；得$\sin\theta=\frac{s}{L_1+L_2}=\frac{s}{L}$

AB．由$a\to b$的过程，L、s都不变，θ不变，绳子张力F也不变，由几何关系可知衣服的位置升高，故B正确，A错误；

CD．由$b\to c$的过程，s变小，θ变小，$\cos\theta$变大，F变小，由几何关系可知衣服的位置下降，故C正确，D错误。

故选BC。

2．D



【详解】AB．以粗面条为研究对象并对其进行受力分析如图所示$2F_B\cos\alpha=mg$

同理可知$2F_{B'}\cos\beta=mg$；故$F_B>F_{B'}$，AB错误；

CD．对 BC 段绳子受力分析可知$T_C = F_B \sin\alpha$；同理$T_{C'} = F_{B'} \sin\beta$；可知$T_C > T_{C'}$

可知 C 点张力大小大于C'点张力大小，C 错误，D 正确。

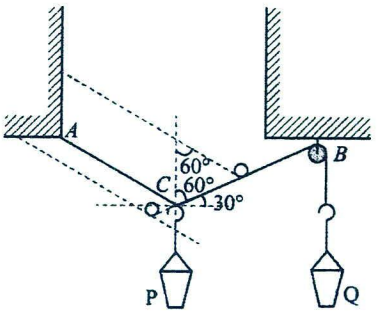
故选 D。

3．C

【详解】AD．对砂桶 Q 分析有 $F_T=G_Q$

设两绳的夹角为 θ，对砂桶 P 的 C 点分析可知受三力而平衡，而 C 点为活结绳的点，两侧的绳张力相等，有$2F_T \cos\frac{\theta}{2} = G_P$

联立可知$2G_Q \cos\frac{\theta}{2} = G_P$；即 $G_Q=Q_P$，则 $m_Q=m_P$



若增大 Q 的重力，则 C 两侧绳的夹角变大，所以 AD 选项错误；

BC．无论将 A 点上移还是往左移动一点，根据 P、Q 受力平衡可知，C 点两侧的绳子张力大小相等，两侧绳子之间的夹角仍然为 120°，根据几何关系可知，将 A 上移，P 位置上升，Q 的位置不会发生变化；A 点左移，P 的位置下降，Q 的位置上升，所以 B 错误，C 正确。

故选 C。

4．AD

【详解】A．设绳子 MC 长为l_1，绳子 PC 长为l_2，MP 的水平距离为 x，由几何关系得

$l_1 = \frac{x_1}{\sin\frac{\alpha}{2}}$；$l_2 = \frac{x_2}{\sin\frac{\alpha}{2}}$；又$L = l_1 + l_2 = \frac{x_1 + x_2}{\sin\frac{\alpha}{2}}$；即$L = \frac{x}{\sin\frac{\alpha}{2}}$

绳子的总长度 L 不变，x 先增大后减小，所以夹角α先增大后减小，故 A 正确；

B．对 C 点受力分析，可得绳子的拉力为$F_T = \frac{\frac{mg}{2}}{\cos\frac{\alpha}{2}}$

所以轻绳中的弹力先增大后减小，故 B 错误；

C．分析物块 A 的受力情况，由于斜面倾角及动摩擦因数未知，A、B 的质量大小也未知，无法明确 A 所受摩擦力F_{fA}，故在轻绳中的弹力先增大后减小的过程中，F_{fA}的大小变化情况存在多种可能，故 C 错误；

D．将物块 A 和斜面看作整体，受力分析可得，斜面体与水平面之间的摩擦力为$F_f = F_T \cos\theta$

其中θ为斜面的倾角，轻绳的弹力先增大后减小，所以摩擦力F_f也是先增大后减小，故 D 正确。

故选 AD。

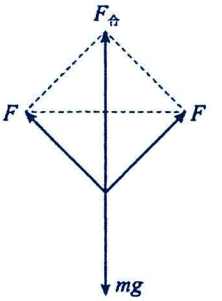
考点三：平衡中的临界与极值问题

题型一：临界问题

【典型例题】　：C　　A

1．C

【详解】画框受力分析如图



受到重力 mg 和两个大小相等的细绳拉力 F 的作用而处于静止状态，当 $F=F_{\max}$=10N

对应于细绳不被拉断的最小长度 L，作细绳拉力的合力 $F_{合}$，如上图，由平衡条件得 $F_{合}=10\text{N}$

所以两绳拉力的夹角是 120°，绳子的最小长度 $L=\dfrac{L_0}{\sin 60^\circ}=\dfrac{0.5}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\text{m}$

故选 C。

2．A

【详解】将重力沿斜面与垂直于斜面分解，则有 $N=mg\cos\theta$

由于木块做匀速直线运动，则沿斜面方向所受合力为 0，结合上述有 $f=\sqrt{F^2+(mg\sin\theta)^2}$

木块受到斜面对其的滑动摩擦力，则有 $f=\mu N$；解得 $\mu=0.6$

故选 A。

3．(1) $T_{OA}=40\text{N}$，$T_{OB}=50\text{N}$；(2) 8N；(3) $52\text{N}\le F\le 60\text{N}$

【详解】（1）对结点 O，由平衡条件得 $T_{OB}\cos37^\circ=T_{OA}$，$T_{OB}\sin37^\circ=mg$；解得 $T_{OA}=40\text{N}$，$T_{OB}=50\text{N}$

（2）对物块甲进行受力分析，在垂直斜面方向，由受力平衡可得 $N=Mg\cos37^\circ-T_{OA}\sin37^\circ=8\text{N}$

（3）甲受到的最大静摩擦力为 $f_{\text{m}}=\mu N=4\text{N}$

当拉力 F 较小，且沿斜面向上的摩擦力达到最大静摩擦力时，

由平衡条件可得 $F_1+f_{\text{m}}=Mg\sin37^\circ+T_{OA}\cos37^\circ$；解得 $F_1=52\text{N}$

当拉力 F 较大，且沿斜面向下的摩擦力达到最大静摩擦力时，

由平衡条件可得 $F_2=Mg\sin37^\circ+T_{OA}\cos37^\circ+f_{\text{m}}$；解得 $F_2=60\text{N}$

故力 F 大小的取值范围为 $52\text{N}\le F\le 60\text{N}$

4．(1) $5\sqrt{3}\text{N}$；(2) $\dfrac{5\sqrt{3}}{2}\text{N}$；(3) $\dfrac{4}{7}\text{kg}\le m_1\le 4\text{kg}$

【详解】（1）对小球乙受力分析如图 1 所示，由相似三角形得 $\dfrac{mg}{2R}=\dfrac{N}{R}=\dfrac{T}{\sqrt{3}R}$

解得拴接小球乙的轻绳拉力大小为 $T=5\sqrt{3}\text{N}$

（2）设拴接小球乙的轻绳与竖直方向的夹角为 α，由几何关系可知

$(2R)^2=R^2+\left(\sqrt{3}R\right)^2$

所以拴接乙球的轻绳与半圆柱体相切，可得 $\sin\alpha=\dfrac{R}{2R}=\dfrac{1}{2}$

解得 $\alpha=30^\circ$

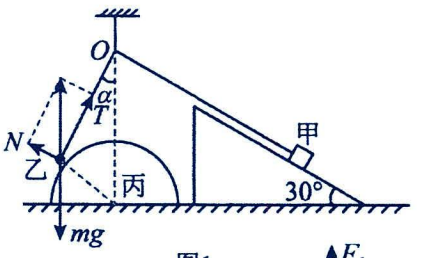


图1

以小球乙和半圆柱体丙整体为研究对象，可知半圆柱体所受的摩擦力方向水平向左、大小等于

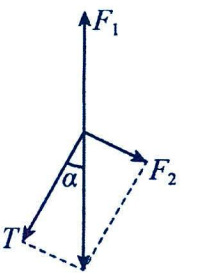


图2

拉力T沿水平向右方向的分力，即$f=T\sin\alpha$；解得$f=\frac{5\sqrt{3}}{2}\text{N}$

（3）以结点O为研究对象，对其受力分析如图2所示，由平衡关系得$F_2=T\tan\alpha$

代入数据解得$F_2=\frac{1}{2}mg=5\text{N}$

以甲为研究对象，设物块甲的质量为m_1，当静摩擦力沿斜面向上达到最大值时有$F_2'+\mu m_1 g\cos\theta=m_1 g\sin\theta$ F_2与F_2'是一对相互作用力，由牛顿第三定律可$F_2=F_2'$，解得$m_1=4\text{kg}$

当静摩擦力沿斜面向下达到最大值时有$F_2'=m_1 g\sin\theta+\mu m_1 g\cos\theta$；解得$m_1=\frac{4}{7}\text{kg}$

物块甲质量的取值范围为$\frac{4}{7}\text{kg}\le m_1\le 4\text{kg}$

【变式训练】：B　　AC

1．B

【详解】P、Q之间的最大静摩擦力为$f_{1\max}=\mu mg$

Q与水平桌面之间的最大静摩擦力为$f_{2\max}=\mu\cdot 2mg=2\mu mg$

则要将物理课本Q从物理课本P下方沿水平方向抽出，作用在物理课本Q上的水平拉力F应满足

$F\ge f_{1\max}+f_{2\max}=3\mu mg$

故选B。

2．AC

【详解】对两物体受力分析，考虑m_1的摩擦向上和向下的两个临界，根据公式有

$m_2 g+\mu m_1 g\sin 37^\circ=m_1 g\cos 37^\circ$；$m_2' g=\mu m_1 g\sin 37^\circ+m_1 g\cos 37^\circ$；解得$\frac{m_1}{m_2}=2$，$\frac{m_1}{m_2'}=\frac{10}{11}$

故选AC。

3．（1）$\sqrt{3}mg$；（2）$\frac{\sqrt{3}}{2}mg$；（3）$\frac{3}{4}mg\le F\le\frac{\sqrt{209}}{4}mg$

【详解】（1）以A为对象，可得绳子拉力大小为$T=mg$

以滑轮为对象，根据受力平衡可知，轻杆对滑轮的作用力大小为$F=2T\cos 30^\circ=\sqrt{3}mg$

（2）以B和C为整体，水平方向根据受力平衡可知，

地面对斜面体的摩擦力大小为$f_{地}=T\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

（3）当物块B受到的摩擦力沿斜面向上，且达到最大值时，绳子拉力具有最小值，则有

$Mg\sin 30^\circ=T_{\min}+\mu Mg\cos 30^\circ$

以A为对象，根据受力平衡可得$T_{\min}=\sqrt{(mg)^2+(F_{\min})^2}$

解得加在 A 上的水平拉力的最小拉力为 $F_{\min}=\frac{3}{4}mg$

当物块 B 受到的摩擦力沿斜面向下，且达到最大值时，绳子拉力具有最大值，

则有 $T_{\max}=Mg\sin 30^{\circ}+\mu Mg\cos 30^{\circ}$

以 A 为对象，根据受力平衡可得 $T_{\max}=\sqrt{(mg)^2+(F_{\max})^2}$

解得加在 A 上的水平拉力的最大拉力为 $F_{\max}=\frac{\sqrt{209}}{4}mg$

则加在 A 上的水平拉力应满足 $\frac{3}{4}mg\le F\le\frac{\sqrt{209}}{4}mg$

4．（1）22N；（2）4N，方向水平向右；（3）1.1kg

【详解】（1）以圆环为对象，竖直方向根据受力平衡可得 $T\cos\alpha=mg$；得绳子拉力大小为 $T=5N$

以物块为对象，竖直方向根据受力平衡可得 $N+T\cos\beta=Mg$；解得支持力 $N=22\text{N}$

根据牛顿第三定律，可知物块对地面的压力大小 22N。

（2）以物块为对象，水平方向根据受力平衡可得 $f=T\sin\beta=4\text{N}$

可知地面对物块的摩擦力大小为 4N，方向水平向右。

（3）若 m、M 大小可调，以圆环为对象，可得绳子拉力大小为 $T=\frac{mg}{\cos\alpha}$

以物块为对象，竖直方向根据受力平衡可得 $N+T\cos\beta=Mg$

解得 $N=Mg-T\cos\beta=Mg-\frac{mg\cos\beta}{\cos\alpha}$

水平方向根据受力平衡可得 $f=T\sin\beta=\frac{mg\sin\beta}{\cos\alpha}$；又 $f\le\mu N$

联立可得 $\frac{mg\sin\beta}{\cos\alpha}\le\mu(Mg-\frac{mg\cos\beta}{\cos\alpha})$；解得 $\frac{m}{M}\le\frac{4}{11}$；可得 $M\ge 1.1\text{kg}$

则 M 的最小值 1.1kg。

题型二：“tanα”模型

【典型例题】 ：B　　A　　A

1．B

【详解】斜面上物体平衡的临界条件 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$；可得 $\mu=\tan\theta$

因此 μ 越大，沙粒可平衡位置的倾角越大。已知沙粒间的动摩擦因数小于沙粒与篮球间动摩擦因数，故沙粒与沙粒接触面最大倾角小于沙粒与篮球接触面的最大倾角，即沙子形成的锥形和篮球的切面是一条切线，然后沙子依附在篮球面的切线倾角大于沙子锥形的切线倾角。

故选 B。

2．A

【详解】分析可知，只要摩擦力最大时刚好不滑动，此时对应的摩擦因数最小。整体分析有 $N=2mg$；$f=F_{板}$

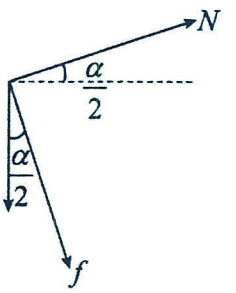
设 O_1O_2 与水平面的夹角 θ，对甲，由平衡条件得 $F_{板}=\frac{mg}{\tan\theta}$；联立解得 $f=\frac{mg}{\tan\theta}$

可知角越小，f 越大，由几何关系得，θ 最小为 30°。则 $f=\frac{mg}{\tan 30^{\circ}}=\mu N=\mu\cdot 2mg$；解得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{2}$

故选 A。

3．A

【详解】由于存在对称性，仅对尖劈的一个侧面分析，如图所示



当尖劈能自锁而不会自动滑出时，一定满足 $N\sin\frac{\alpha}{2}<\mu N\cos\frac{\alpha}{2}$

整理得 $\sin\frac{\alpha}{2}<\mu\cos\frac{\alpha}{2}$；解得 $\mu>\tan\frac{\alpha}{2}$

故选 A。

【变式训练】：B　　B

1．B

【详解】沙堆底部周长为 31.4m，则圆锥体的底部圆半径为 $r=\frac{31.4}{2\times\pi}\text{m}=5\text{m}$

对锥面上的一粒沙粒分析，当沙粒刚好静止时，则有 $\mu mg\cos\theta=mg\sin\theta$；可得 $\mu=\tan\theta=\frac{h}{r}$

解得圆锥体高为 $h=2.5\text{m}$

圆锥体的体积约为 $V=\frac{1}{3}Sh=\frac{1}{3}\times3.14\times5^2\times2.5\text{m}^3\approx65\text{m}^3$

可知这堆沙子的体积最接近 60m^3。

故选 B。

2．B

【详解】把锥体等效成斜面，设手施加上的力为 F，则可等效成斜面上的物体受力情况，拿不起来时，说明其沿锥面的摩擦力小于等于其下滑分力，则有 $F\sin\frac{\theta}{2}\geq\mu F\cos\frac{\theta}{2}$；解得 $\mu\leq\tan\frac{\theta}{2}$

B 正确。

故选 B。

第十二讲：实验专题

考点一：探究弹簧弹力和弹簧形变量的关系

1．(1)　　刻度尺　　胡克定律　　(2)　　正比　　5.00　　(3)C

【详解】（1）[1]实验中还需要的测量工具有刻度尺。

[2]该实验的公式依据为胡克定律。

（2）[1]如图乙所示，根据实验数据绘图，纵轴是钩码质量 m，横轴是弹簧的形变量 x。由图像可得结论：在弹簧的弹性限度内，弹簧的弹力与弹簧的伸长量成正比；

[2]根据胡克定律可得，弹簧的劲度系数为 $k=\frac{F}{x}=\frac{mg}{x}=\frac{40\times10^{-3}\times10}{8\times10^{-2}}\text{N/m}=5.00\text{N/m}$

（3）A．图像与横轴的交点等于弹簧原长，则 b 的原长比 a 的长，故 A 错误；

BC．图像的斜率等于劲度系数，则 a 的劲度系数比 b 的大，故 B 错误，C 正确；

D．由图像可知，弹力与弹簧长度为线性关系，不是成正比关系，故 D 错误。

故选 C。

2．(1)CBDAEF　　(2)　　在弹性限度内，弹力的大小与伸长量成正比　　66.7　　200

(3)　控制变量法　　弹簧丝的直径、弹簧直径、弹簧原长　　弹簧丝的直径越大、弹簧的直径越小、弹簧的原长越短，则弹簧的劲度系数越大　　(4) $\frac{k}{n}$

【详解】（1）在“探究弹簧弹力与形变量的关系”实验中，应先组装器材，然后进行实验，最后处理数据，得出结论。故实验操作的先后顺序为 CBDAEF。

（2）[1]根据图像可知，对于给定的同一弹簧，弹簧的伸长量与弹力的关系是：在弹性限度内，弹力的大小与伸长量成正比。

[2][3]根据题图可得两个弹簧的劲度系数分别为 $k_{甲}=\frac{\Delta F_{甲}}{\Delta x_{甲}}=\frac{4\text{N}}{6\times10^{-2}\text{m}}\approx66.7\text{N/m}$

$k_{乙}=\frac{\Delta F_{乙}}{\Delta x_{乙}}=\frac{8\text{N}}{4\times10^{-2}\text{m}}=200\text{N/m}$

（3）[1]本实验的变量比较多，针对多变量问题，本实验采取的方法是控制变量法

[2]根据题表中实验数据可知，在材料相同、匝间距相同的条件下，弹簧丝直径不同，劲度系数不同，弹簧原长不同，劲度系数不同，弹簧的直径不同，劲度系数不同，可见在材料和匝间距相同的条件下，影响弹簧劲度系数的因素有弹簧丝的直径，弹簧的直径和弹簧原长。

[3]弹簧的劲度系数与题表中各因素的大致定性关系是：弹簧丝的直径越大、弹簧的直径越小、弹簧原长越短，弹簧的劲度系数越大。

（4）当只有弹簧原长这一因素不同时，弹簧的劲度系数与弹簧原长成反比。将 n 根劲度系数为 k 的完全相同弹簧串联后，等效弹簧的劲度系数 $k_n=\frac{k}{n}$

3．(1)A (2)小于　　(3)C　　(4)D

【详解】（1）根据胡克定律 $F=kx$，结合图像可知图中 x 表示弹簧的形变量。

故选 A。

（2）由（1）中分析可知，F-x 图像中斜率表示弹簧的劲度系数，由于图像中弹簧 a 的斜率小于弹簧 b 的斜率，由此可知弹簧 a 的劲度系数小于弹簧 b 的劲度系数。

（3）弹簧自身受到的重力可忽略时，其各部分均匀伸长。

故 C 正确。

（4）实验中用横轴表示弹簧的伸长量 x，纵轴表示弹簧的拉力 F，由胡克定律 $F=kx$

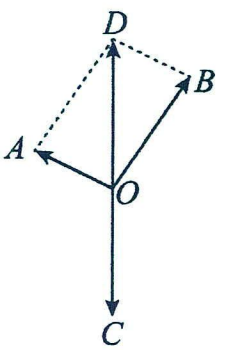
甲组是测出竖直状态时不挂钩码的弹簧长度作为原长，则图像过原点；乙组是测出弹簧自然水平放置时的弹簧长度作为原长，由于弹簧自身的重力，弹簧不挂钩码时弹簧的伸长量已经不为零，则图像不过原点，两种情况下弹簧的劲度系数相同，两图像平行。

故选 D。

考点二：验证力的平行四边形法则

1．(1)ACD　　(2)B　　(3)甲

【详解】（1）A．由题图所示，对 O 点受力分析，如图所示，OA、OB、OC 分别表示三个力的大小，由于共点三个力平衡，由平衡条件可知，这三个力能构成一个三角形，以钩码的个数表示力的大小，可知 $N_1=3$，$N_3=N_2=6$，以三力为边可以构成一个三角形，A 正确；



B．以钩码的个数表示力的大小，可知 $N_1=N_2=3$，$N_3=6$，以三力为边不能构成一个三角形，B 错误；

C．以钩码的个数表示力的大小，可知 $N_1=N_2=N_3=3$，以三力为边能构成一个等边三角形，C 正确；

D．以钩码的个数表示力的大小，可知 $N_1=4$，$N_2=5$，$N_3=6$，以三力为边能构成一个三角形，D 正确。

故选 ACD。

（2）实验要验证力的平行四边形定则，因此要作受力图，应先明确受力点，再确定各绳上钩码的个数和各绳的方向，因此在拆下钩码和绳子前，需要进行的实验步骤有：

A．因各钩码的重力相等，知道各绳上钩码的个数就行，因此不需要用天平测出钩码的质量，A 错误；

B．标记结点 O 的位置，并记录 OA、OB、OC 三段绳子的方向，B 正确；

C．记录了 OA、OB、OC 三段绳子的方向，即确定了三段绳子两两之间的夹角，因此不需要用量角器量出三段绳子两两之间的夹角，C 错误；

D．OA、OB、OC 三段绳子上的力和方向已确定，因此不需要量出 OA、OB、OC 三段绳子的长度，D 错误。

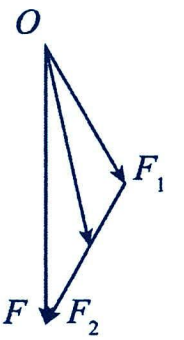
故选 B。

（3）由解析题图可知，以 O 点为研究对象，F_3 是实验时实际作用效果在 OC 线上，即在竖直方向，由于有误差存在，F_1、F_2 的合力 $F_{合}$ 是理论值，与实际值有一定的偏差，因此图 2 中的甲是正确的。

2. (1)　　两弹簧测力计拉力的大小　　0点　　3.70　(2)C　　(3)A

【详解】（1）[1][2]记下结点的位置O和两弹簧测力计拉力的大小和方向；用一个弹簧测力计拉橡皮条将橡皮条的结点拉到O点。

[3]弹簧测力计的最小分度为0.1N，需要估读到0.01N，可知其示数为3.70N。



（2）根据二力平衡条件，F'一定与橡皮条在同一条直线上。 F是根据平行四边形得到的合力，F一定是平行四边形的对角线。故选C。

（3）两个分力大小相等，夹角小于90°，根据矢量三角形

可知，当一个分力F_2方向不变，两分力间的夹角减小，合力F一定，则方向不变的分力F_2减小，转动的分力F_1变大。

故选A。

3. (1)乙　　(2)D　　(3)丙　　(4)5.80　(5)AC

【详解】（1）在使用弹簧之前，为了测试两个弹簧是否完全相同，则在如图（c）所示的两种方案中，由于弹簧自身重力作用，甲方案会受影响，可行的是乙方案，会减小重力的影响。

（2）A．实验中标记下结点O的位置，并记录三个力的方向，A正确，不符合题意；

BC．弹簧的弹力与形变量有关，需要测量形变量，因此要测量弹簧的原长，即要测量图（a）、图（b）中弹簧的长度，BC正确，不符合题意；

D．由于矿泉水瓶的重力是定值，因此不必实验中要使结点O的位置始终固定不变，D错误，符合题意。

故选D。

（3）根据实验原理及操作，在作图时，图（a）单独用一个弹簧测定拉力，即是合力的真实值，由于矿泉水瓶的重力方向始终竖直向下，因此x_1应沿竖直向下方向，图中丙是合理的。

（4）由题图可知，弹簧测力计的最小刻度是0.1N，则弹簧测力计a的示数为5.80N。

（5）A．应测量重物Q所受的重力，即确定两个弹簧测力计拉力的合力大小，A正确；

B．弹簧测力计a、b通过细线对O点作用力的合力与重物Q通过细线对O点的作用力是平衡力，大小相等，方向相反，不是重物Q的重力，B错误；

C．连接弹簧测力计a、b以及重物Q的细线不必等长，但三根细线应与木板平行，以减小实验误差，C正确；

D．改变拉力，进行多次实验，在某一次的实验中要使O点的位置不变，可每次不一定都要使O点静止在同一位置，D错误。

故选AC。

跟踪练习（五）

1．C

【详解】A．物体的重力是由于地球对物体的吸引而产生的，但不能说重力就是地球对物体的吸引力，它只是引力的一部分，它的方向总是竖直向下，故 A 错误；

B．重力、弹力、摩擦力是按力的性质命名的，动力、阻力是按力的效果命名的，故 B 错误；

C．正压力增大，静摩擦力有可能保持不变，例如用手握住瓶子时，手的握力变大了，静摩擦力仍然等于瓶子的重力；正压力增大，摩擦力可能增大，例如放在倾斜粗糙桌面上滑动的物体，正压力增大，则摩擦力增大，故 C 正确；

D．放在桌面上的木块受到桌面对它向上的支持力，这是由于桌面发生微小形变而产生的，故 D 错误。

故选 C。

2．B

【详解】AB.设F_1与F_2分别是 AB 与 BC 对手机的支持力，AB 与水平方向的夹角为θ，由平衡条件可得$F_1=mg\cos\theta$；

$F_2=mg\sin\theta$

稍微增大 AB 部分的倾角θ，则F_1减小，F_2增大；由牛顿第三定律可知，手机对 AB 部分的压力减小，手机对 BC 部分的压力增大，故 A 错误，B 正确；

CD．手机受三个力平衡，则支架的两部分对手机两支持力的合力大小等于重力，方向竖直向上，稍微增大 AB 部分的倾角，手机依然受三个力平衡，故支架对手机的作用力始终与手机的重力大小相等，方向相反。根据牛顿第三定律可知，手机对支架的作用力也不变，故 CD 错误。

故选 B。

3．C

【详解】由于轻质杆的一端用铰链固定于竖直墙壁，且杆一直处于平衡，因此 C 端两侧绳的作用力的合力一定沿杆向下，同一根绳的拉力大小处处相等，且绳的拉力大小等于悬挂物的重力，根据平行四边形定则可知，合力一定在角平分线上。若将细绳的端点 A 稍向下移一小段距离至 A′ 点，若杆不动，则∠A′ CB 小于∠BCG，则不能平衡，若要杆再次平衡，则两绳的合力一定还在角平分线上，所以直杆逆时针转动了一些。

故选 C。

4．A

【详解】对直角三角形木块和光滑圆球组成的整体受力分析，受重力、斜面支持力和沿斜面向上的摩擦力，由平衡条件可得$F_f=2mg\sin\theta$

对三角形木块受力分析，受重力、斜面支持力和圆球的弹力，

由平衡条件可得$mg\sin\theta+T_N=\mu mg\cos\theta$

对圆球受力分析，受重力、斜面支持力和木块的弹力，由平衡条件可得$mg\sin\theta-T_N'=0$ T_N与T_N'是一对相互作用力，由牛顿第三定律可知，T_N与T_N'大小相等，方向相反，即$T_N=T_N'=mg\sin\theta$，联立解得$\tan\theta=\frac{\mu}{2}$

故选 A。

5．C

【详解】A．若F_{f1}等于0，则A不能保持平衡状态，所以F_{f1}不可能等于0，故A错误；

B．把A、B作为一个整体，当$F=(m_A+m_B)g\sin\theta$时F_{f2}=0；故B错误；

C．把A、B、C作为一个整体，当$F=(m_A+m_B+m_C)g\sin\theta$时$F_{f3}$=0；故C正确；

D．若F_{f2}和F_{f3}同时等于0，有$(m_A+m_B+m_C)g\sin\theta=(m_A+m_B)g\sin\theta$；得$m_C=0$

不可能，故D错误。

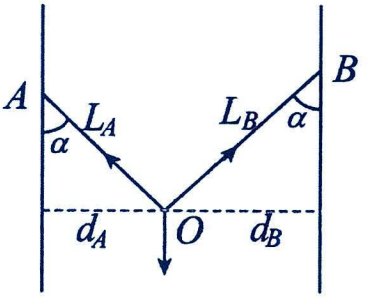
故选C。

6．C

【详解】设轻绳上的拉力大小等于T，则有$T\cos37°+T\cos53°=mg$；$F+T\sin37°=T\sin53°$

解得$F=\frac{1}{7}mg$；故选C。

7．C



【详解】AB．O点受力分析如图所示

设AB间绳长为L，两杆之间距离为d，由于挂钩光滑，OA、OB与竖直方向夹角相同，由几何关系可得$L_A+L_B=L$，$d_A+d_B=d$，$d_A=L_A\sin\alpha$，$d_B=L_B\sin\alpha$；联立可得$\sin\alpha=\frac{d}{L}$

对O点由平衡条件可得$G=2T\cos\alpha$

由于整个装置处于静止状态，由题意可知d不变，L增大，可知α减小，则T减小，AB错误；

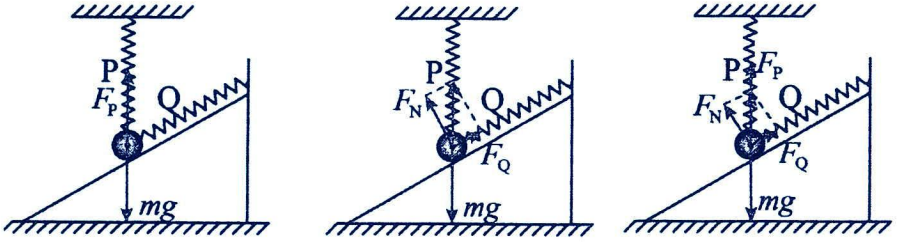
CD．将绳的B端向上缓慢移动一小段距离时，小球P沿半圆槽上移，T减小，与水平方向的夹角β增大，半圆槽对小球P的弹力N与水平方向的夹角γ减小，由水平方向的平衡条件得$T\cos\beta=N\cos\gamma$

可知半圆槽对小球P的弹力变小，故C正确，D错误。

故选C。

8．AB

【详解】小球处于静止状态，则小球受力的可能情况如下图所示，若P弹簧对小球向上的弹力等于小球的重力，此时Q弹簧无弹力，小球受2个力平衡，若P弹簧弹力为零，小球受重力、支持力、弹簧Q的拉力处于平衡，小球受3个力平衡，若P弹簧弹力不为零，小球受重力、弹簧P的拉力、支持力、弹簧Q的拉力，小球受4个力平衡，故选AB。



9．BD

【详解】对 A 受力分析可知，物体 A 被推动之前，受力平衡 $F+F_{弹}=f_{A}$

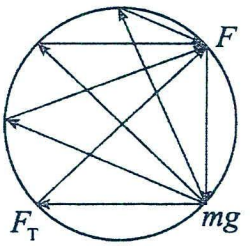
而弹簧对 A 的拉力（弹力）$F_{弹}=kx$

A 被推动之前，弹簧的形变量不变，弹力 $F_{弹}$ 不变，但由于推力逐渐增大，地面对 A 的摩擦力逐渐增大；而对 B 而言，在水平方向上，其受到的弹力和摩擦力是一对平衡力，弹力 $F_{弹}$ 不变，所以地面对 B 的摩擦力不变。

故选 BD。

10．AB

【详解】A．对题图右侧结点处受力分析，α 角大小不变，可以使用辅助圆方法判断力的动态变化情况，如图所示



通过分析可得绳子拉力 F_T 先增大再减小，拉力 F 一直减小，故 A 正确；

B．初始状态，对 A 分析可得绳子拉力大小为 $F_T=mg$

对 B 分析，可发现 $F_T=2mg\sin 30°$

即一开始 B 与 C 间的静摩擦力为零，故当绳子拉力 F_T 从 mg 先增大再减小到 mg，B、C 间的静摩擦力方向一直沿斜面向下且先增大再减小，故 B 正确；

C．将 B、C 看成整体，竖直方向有 $N_{地}+F_T\sin 30°=(2m+M)g$

由于 F_T 先增大再减小，故 $N_{地}$ 先减小再增大，即物体 C 对地面的压力先减小再增大，故 C 错误；

D．将 B、C 看成整体，水平方向上有 $F_T\cos 30°=f_{地}$

当 F_T 最大时，即此时 F 水平，对 A 分析可计算得 $F_{Tmax}=\sqrt{2}mg$；所以 $f_{地max}=\frac{\sqrt{6}}{2}mg$

则物体 C 对地面的摩擦力的最大值为 $\frac{\sqrt{6}}{2}mg$，故 D 错误。

故选 AB。

11．　B　　100　　超过弹簧的弹性限度

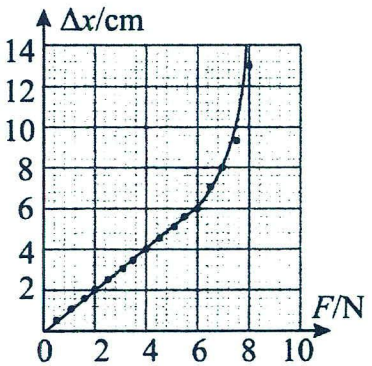
【详解】（1）[1]

A．实验前，为了防止因弹簧本身的重力造成的误差，则必须先把弹簧竖直放置测量其原长，故 A 错误；

BC．逐一增挂钩码，记下每增加一只钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重，但不能随意增减砝码，故 B 正确，C 错误；

D．实验结束后，应拆除实验装置，整理并复原实验器材，故 D 错误。故选 B。

（4）①[2]做出拟合的图线如图所示



根据所测得的数据和关系曲线可以判断，弹簧形变长度在 0~6cm 范围内，图像为直线，即弹力大小与弹簧伸长关系满足胡克定律，这种规格弹簧的劲度系数为 $k=\frac{F}{\Delta x}=\frac{6}{0.06}\text{N/m}=100\text{N/m}$

②[3]图线中后半部分明显偏离直线，你认为造成这种现象的主要原因是超过弹簧的弹性限度。

12. (1)B(2)　　3.70　　6.5　　平行四边形；(3)F；(4)A；(5)D

【详解】（1）本实验采用的科学方法是等效替代法：因为力 F 单独作用与 F_1、F_2共同作用的效果是一样的，所以用 F 替代 F_1、F_2；

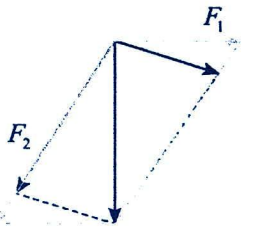
（2）④[1]步骤④中，某个弹簧测力计指针位置如图戊所示，其读数为 3.70N；

[2]另一实验小组所用弹簧测力计在某次实验中指针位置如图己所示，其读数为 6.5N；

⑤[3]用虚线将拉力 F 的箭头端分别与 F_1、F_2的箭头端连接，如图，此图形应该是平行四边形；

（3）根据二力平衡条件，一定沿 GO 方向的是 F；

（4）根据平行四边形定则，将 F_1缓慢转至水平方向的过程中，两弹簧秤示数大小变化为 F_1一直增大，F_2一直增大，如图所示。，故选 A。



（5）A．两根细绳没有必要等长，A 错误；

B．没有必要橡皮条应与两绳夹角的平分线在同一直线上，B 错误；

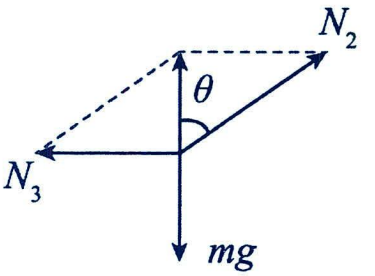
C．用两个弹簧秤同时拉细绳时，两个弹簧秤的读数没有必要相等，C 错误；

D．使用弹簧秤时，弹簧秤要与木板平面平行，减小读数误差，D 正确。

故选 D。

13. (1)50N；40N；(2) $24\text{N} \le F \le 56\text{N}$

【详解】（1）对 B 球受力分析，受重力 mg，A 的支持力 N_2，墙的支持力 N_3，受力如图甲所示



由共点力的平衡条件有 $N_2\sin\theta = N_3$；$N_2\cos\theta = mg$，解得 $N_2 = 50\text{N}$；$N_3 = 40\text{N}$

（2）斜面体受到的最大静摩擦力 $f_m = \mu(m+M)g = 16\text{N}$

①水平向右的外力最大（设为 F_{max}）时，斜面体有向右运动趋势，由平衡条件有 $F_{max} - N_3 - f_m = 0$，解得 $F_{max} = 56\text{N}$

②水平向右的外力最小（设为 F_{min}）时，斜面体可能有向左运动趋势，由于 $f_m < N_3$，，则 $F_{min} - N_3 + f_m = 24\text{N}$

则水平向右的推力 F 的取值范围为 $24\text{N} \le F \le 56\text{N}$

14. (1)10N，方向竖直向上；(2)40N，200N

【详解】（1）当 $F = 50\text{N}$ 时，对斜劈，在水平方向 $N - F\cos37° = 0$；又 $f = \mu N$

故最大静摩擦力 $f_m = f = 20\text{N}$

在竖直方向重力与 F 竖直方向分力的合力 $F_{合} = G - F\sin37° = 10\text{N} < f_m = 20\text{N}$

故此时物块受到的摩擦力是静摩擦力 $f_{静} = F_{合} = 10\text{N}$；方向竖直向上

（2）若沿竖直墙面向下匀速滑动时，力大小为 F_1，对斜劈：水平方向 $N_1 - F_1\cos37° = 0$

竖直方向 $G = f_1 + F_1\sin37°$；又 $f_1 = \mu N_1$；代入数据解得 $F_1 = 40\text{N}$

若沿竖直墙面向上匀速滑动时，力大小为 F_2，对斜劈：水平方向 $N_2 - F_2\cos37° = 0$

竖直方向 $f_2 + G = F_2\sin37°$；又 $f_2 = \mu N_2$；代入数据解得 $F_2 = 200\text{N}$

15. (1)282N; (2) $\frac{375}{4}$N; (3) $33\sqrt{5}$N

【详解】（1）两根绳子拉力的合力 $F = 2T\cos 37° = 80\text{N}$

石墩对地面的压力 $F_N = mg - F\sin 37° = 282\text{N}$

（2）若匀速运动，根据平衡条件 $F'\cos\theta = \mu(mg - F'\sin\theta)$；而 $F' = 2T'\cos 37°$；解得 $T' = \frac{375}{4}\text{N}$

（3）当两绳拉力的方向相同时，合力最大为 2T，当与水平方向夹角为 α 时，

根据平衡条件 $2T\cos\alpha = \mu(mg - 2T\sin\alpha)$；整理得 $T = \frac{\mu mg}{2(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)} = \frac{\mu mg}{2\sqrt{1+\mu^2}\sin(\alpha+\varphi)}$

其中 $\tan\varphi = \frac{1}{\mu}$；显然 T 的最小值为 $T_{\min} = \frac{\mu mg}{2\sqrt{1+\mu^2}} = 33\sqrt{5}\text{N}$

第十三讲：牛顿运动定律

考点一：牛顿第一运动定律

题型一：理想实验

【典型例题】 ：B B

1．B

【详解】B．伽利略利用图 1 斜面实验证明了自由落体是匀加速直线运动，故 B 正确；

ACD．伽利略利用图 2 理想实验设计证明了力不是维持物体运动状态的原因，牛顿第一定律是牛顿推导出的，故 ACD 错误。

故选 B。

2．B

【详解】AB．伽利略设想物体下落的速度与时间成正比，因为当时无法测量物体的瞬时速度，所以伽利略通过数学推导证明如果速度与时间成正比，那么位移与时间的平方成正比；由于当时用滴水法计算，无法记录自由落体的较短时间，伽利略设计了让铜球沿阻力很小的斜面滚下，来“冲淡”重力的作用效果，而小球在斜面上运动的加速度要比它竖直下落的加速度小得多，所用时间长的多，所以容易测量。伽利略做了上百次实验，并通过抽象思维在实验结果上做了合理外推，故 A 错误，B 正确；

C．图 b 中斜面倾角减小到零时，由于摩擦力的存在，小球最终会停止运动，故 C 错误；

D．伽利略用抽象思维、数学推导和科学实验相结合的方法得到物体的运动不需要力来维持，故 D 错误。

故选 B。

【变式训练】 ：C

1．C

【详解】A．质量是惯性大小的唯一量度，速度与惯性大小无关，故 A 错误；

B．顾客乘有台阶的自动扶梯，在加速过程，受摩擦力作用，在匀速过程，不受摩擦力的作用，故 B 错误；

C．伽利略的“斜面实验”是为了“冲淡”重力，便于测量运动时间，故 C 正确；

D．伽利略利用“斜面实验”装置，结合逻辑推理，说明力是改变物体运动的原因，故 D 错误。

故选 C。

题型二：概念辨析

【典型例题】 ：ABC B

1．ABC

【详解】A．力是改变运动状态的原因，物体的运动状态改变时，一定受到了外力的作用，故 A 正确；

B．作用在物体上的力消失后，物体保持静止状态或匀速直线运动状态，故 B 正确；

C．牛顿第一定律是在伽利略“理想实验”的基础上总结出来的，故 C 正确；

D．物体在任何状态下均具有惯性，故 D 错误。

故选 ABC。

2．B

【详解】A．水冲沙石，沙石才能运动，因为水的冲击力克服了阻力，故力是改变运动的原因，故A错误；

B．物体总有保持原有运动状态的性质即为惯性，其大小只与质量有关，质量越大惯性越大，力是改变物体运动状态的原因，重的大石由于质量太大，惯性太大，所以运动状态不容易被水流改变，故B正确；

C．物体的运动不需要力来维持，如沙石不受力的作用时，可以做匀速直线运动状态，故C错误；

D．“大石不移”是因为水的冲力等于大石受到的阻力，大石所受的合外力为零，故D错误。

故选B。

【变式训练】 ：BCD

1．BCD

【详解】AB．是改变物体运动状态的原因，只要物体受力（合力不为零），它的运动状态就一定会改变，故A错误，B正确；

C．物体不受力或合力为零，其运动状态一定不变，处于静止状态或匀速直线运动状态，故C正确；

D．物体的运动方向与它所受合力的方向可能相同，也可能相反，还可能不在一条直线上，故D正确。

故选BCD。

题型三：惯性

【典型例题】 ：C　　A　　B　　A

1．C

【详解】因小车表面光滑，小球在水平方向上没有受到外力作用，原来两球与小车有相同的速度，当车突然停止时，由于惯性，两小球的速度不变保持匀速运动，所以不会相碰，故选C。

2．A

【详解】A．高速行驶的公共汽车紧急刹车时，乘客都要向前倾倒，说明乘客具有惯性，故A正确；

B．把手中的球由静止释放，球竖直下落，说明力能改变物体的运动状态，一切有质量的物体都有惯性，故B错误；

CD．质量是物体惯性大小的唯一量度，所以惯性大小与物体的受力及速度大小无关，则C错误，D错误。

故选A。

3．B

【详解】梯形物体A释放前，小球受到重力和支持力，两力平衡；梯形物体A释放后，由于梯形物体A各面光滑，则小球水平方向不受力，根据牛顿第一定律知，小球在水平方向的状态不改变，即仍保持静止状态，而竖直方向上梯形物体A对B的支持力将小于小球的重力，小球将沿竖直方向做加速运动，所以小球在碰到斜面前的运动是竖直向下的加速运动，其运动轨迹是竖直向下的直线。

故选B。

4．A

【详解】对A选项所示情况，可设想一个与金属小球等体积的水球。金属球位置的变化，必然代替这个水球的位置。而同体积的水球和金属球，金属球的质量大，惯性大，运动状态不容易改变，故相对水球来说滞后。同理，由于同体积水球的质量大于泡沫塑料球的质量，水球惯性大，相对泡沫塑料球来说水球滞后，泡沫塑料球相对水球在前，故A正确，BCD错误。

故选 A。

【变式训练】 ：B　　A　　B

1．B

【详解】A．传球过程中，足球的运动状态改变，足球不是受到平衡力的作用，故 A 错误；

B．运动员用力蹬地，身体却向上跃起，说明力的作用是相互的，故 B 正确；

C．足球在空中能够继续飞行，是由于足球具有惯性，但不能说受到惯性力的作用，因为惯性不是力，故 C 错误；

D．运动员用头顶球时，力即改变了足球的运动状态，也改让足球发生了形变，故 D 错误。

故选 B。

2．A

【详解】AB．方案一中用力击打球筒上端，球筒向下运动，而羽毛球具有惯性，要保持原来的静止状态，方案一利用羽毛球的惯性，使其从球筒上端出来，A 正确，B 错误；

C．方案二中球筒下落，敲击水平面，球筒与水平面碰后速度立即变为 0，而羽毛球具有惯性，要保持原来向下运动的状态，方案二利用羽毛球的惯性，使其从球筒下端出来，C 错误；

D．惯性是物体本身的属性，与速度无关，D 错误。

故选 A。

3．B

【详解】水罐车刹车时，由于惯性，水罐车内的水、乒乓球 A、金属球 B 有想保持原来向右运动状态的趋势，但由于乒乓球 A 的密度小于水的密度，即乒乓球 A 的质量小于同体积水的质量，质量小，惯性就小，所以乒乓球 A 会被相对于车向右运动的水挤向左边，故乒乓球 A 会向左运动；而金属球 B 的质量较大，惯性较大，在与水的抗衡中会向右运动。

故选 B。

考点二：牛顿第二运动定律

题型一：概念辨析

【典型例题】 ：A　　B　　AB

1．A

【详解】A．物体加速度的大小由物体质量和所受合力大小决定，与物体的速度大小无关，故 A 正确；

B．根据牛顿第二定律知，物体的加速度的方向与所受合力的方向一致，与速度方向无关，故 B 错误；

C．物体加速度方向与速度方向无关，可以相同，可以不同，也可以成一夹角，故 C 错误；

D．一旦物体所受合力为零，则物体的加速度立即变为零，速度保持不变，故 D 错误。

故选 A。

2．B

【详解】A．在 F=kma 中，当质量的单位为 kg、加速度的单位为 m/s^2、合外力的单位为 N，此时 k=1，故 A 正确；

BCD．在牛顿第二定律中，加速度与合外力之间存在着因果关系，合外力是产生加速度的原因，且加速度的方向与合外力的方向一致，当合外力为零时，加速度也为零，故 B 错误，C 和 D 正确。

故选 B。

3．AB

【详解】AC．由牛顿第三定律可知，运动员受到地面的支持力等于运动员给地面的压力， A 正确、C 错误；

B．运动员下蹲时，运动员先加速后减速，根据力与运动的规律可知，先失重后超重，即地面对运动员的支持力先小于重力，后大于重力，即她对地面的压力先小于她的重力，后大于她的重力，B 正确；

D．运动员离开地面向上运动是因为运动员在起跳一瞬间具有初速度，由于惯性向上运动，而运动员只受重力，D 错误。

故选 AB。

【变式训练】 ：A　　D

1．A

【详解】A．牛顿第一定律是在大量实验事实的基础上通过推理而概括出来的结论，故 A 正确；

B．牛顿第一定律不是牛顿第二定律在物体所受合力为零时的特例，牛顿第一定律是没有外力的状态，不是实验定律，故 B 错误；

C．甲乙两队进行拔河比赛，甲队拉绳的力等于乙队拉绳的力，甲队获胜是因为甲队与地面之间的最大静摩擦力比乙队的大，故 C 错误；

D．任何情况下，加速度的方向总与合外力方向相同，速度的方向不一定与合外力方向相同，故 D 错误。

故选 A。

2．D

【详解】A．磁铁 a 受到的重力、b 对 a 的吸引力和绳子拉力是一对平衡力，故 A 错误；

B．轻绳对 a 拉力和 a 对轻绳的拉力是一对相互作用力，故 B 错误；

C．整体受力分析，磁铁间的作用力为内力，则无论磁铁磁性有多强，木箱 c 都不可以离开地面，故 C 错误；

D．轻绳剪断前，c 对地面的压力等于 abc 重力的合力，若将轻绳剪断，bc 整体受到向上的磁铁的引力，因此此时的重力小于 bc 的重力之和，根据牛顿第三定律，则剪断轻绳的瞬间地面对 c 的支持力将变小，故 D 正确。

故选 D。

考点三：基本单位制

题型一：基本概念

【典型例题】 ：CD　　B

1．CD

【详解】A．属于国际单位制中基本单位的是千克，即⑦，A 错误；

B．属于国际单位制中导出单位的是②③，B 错误；

C．属于基本量的是⑤长度、⑥质量和⑧时间，C 正确；

D．属于国际单位的是②牛、③米每秒和⑦千克，其中⑦是国际单位的基本单位，②③是国际单位的导出单位，D 正确。

故选 CD。

2．B

【详解】功与能量的单位一样，根据 $W=Fx$ ， $F=ma$

可知能量的单位可表示为 $1\mathrm{J}=1\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}=1\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}\cdot\mathrm{m}/\mathrm{s}^2=1\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2$

故选 B。

【变式训练】 ：A

1．A

【详解】根据$W=F\cdot l$；可得$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$

可知功的单位可以表示为 N·m，根据牛顿第二定律有$F=ma$；所以$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$

所以功的单位可以表示为 $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$。

故选 A。

题型二：验证表达式准确性

【典型例题】 ：C

1．C

【详解】根据公式$B=\frac{kI}{r}$，$F=BIL$；可得$k=\frac{Fr}{I^2L}$

比例系数 k 的单位$1\frac{\text{kg}\cdot\text{m/s}^2\cdot\text{m}}{\text{A}^2\cdot\text{m}}=1\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{A}^2\cdot\text{s}^2}$

故选 C。

【变式训练】 ：B　　B

1．B

【详解】物理表达式两侧单位要相同，$\frac{1}{v}$的单位是 s/m，A、B 选项右侧单位为$\sqrt{\frac{\text{kg}/\text{m}^3}{\text{N}/\text{m}^2}}=\text{s/m}$，C 选项右侧单位是 m/s，D 选项右侧单位也不是 s/m，故 C、D 错误；结合实际情况，内、外压强差越大，喷气速度越大，显然 A 不符合，故 B 正确，A 错误。

故选 B。

2．B

【详解】根据$p=\frac{F}{S}$，可知$1\text{Pa}=1\frac{\text{N}}{\text{m}^2}=\frac{\text{kg}\cdot\text{m/s}^2}{\text{m}^2}=\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$

A．若雷诺数的表达式为$\text{Re}=\frac{\rho\sqrt{v}}{\mu d}$，则雷诺数的单位为$1\frac{\text{kg/m}^3\cdot\sqrt{\text{m/s}}}{\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{s}\cdot\text{m}}=1\text{m}^{-\frac{5}{2}}\cdot\text{s}^{\frac{1}{2}}$，故 A 错误；

B．若雷诺数的表达式为$\text{Re}=\frac{\rho vd}{\mu}$，则雷诺数的单位为$1\frac{\text{kg/m}^3\cdot\text{m/s}\cdot\text{m}}{\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{s}}=1$，故 B 正确；

C．若雷诺数的表达式为$\text{Re}=\frac{\rho vd^2}{\mu}$，则雷诺数的单位为$1\frac{\text{kg/m}^3\cdot\text{m/s}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{s}}=1\text{m}$，故 C 错误；

D．若雷诺数的表达式为$\text{Re}=\frac{\rho vd}{\mu^3}$，则雷诺数的单位为$1\frac{\text{kg/m}^3\cdot\text{m/s}\cdot\text{m}}{(\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{s})^3}=1\text{kg}^{-2}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^2$，故 D 错误。

故选 B。

考点四：两类动力学问题

题型一：已知运动求受力情况

【典型例题】 ：

1．(1) 8m/s^2；(2) 100m；(3) 120N

【详解】（1）由加速度的定义式可知战士加速度的大小为 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{40}{5}\text{m/s}^2=8\text{m/s}^2$

（2）由运动学公式 $v^2=2ah$ 可得，战士下降的高度为 $h=\dfrac{v^2}{2a}=\dfrac{40^2}{2\times8}\text{m}=100\text{m}$

（3）由牛顿第二定律 $mg-F_f=ma$，代入数据可知，战士所受阻力的大小为 $F_f=120\text{N}$

2．（1）15m；（2）2s；（3）20000N

【详解】（1）校车初速度 $v_0=72\text{km/h}=20\text{m/s}$

司机在反应时间内校车运动位移大小 $x=v_0t_{反}=20\times0.75\text{m}=15\text{m}$

（2）取初速度方向为正方向，则加速度 $a=-10\text{m/s}^2$

校车在减速过程中速度变为零所需要的时间 $t=\dfrac{0-v_0}{a}=2\text{s}$

（3）校车在减速过程中所受的合外力 $F_{合}=ma=-20000\text{N}$

负号表示方向与初速度方向相反，即合外力大小 F=20000N

3．(1) $s_1=5\text{m}$，$t_2=1\text{s}$；(2) $F=40\text{N}$

【详解】（1）由 $v-t$ 图像可知行李箱前 5s 内的位移大小为 $s_1=\dfrac{1}{2}vt_1$，其中 $v=2\text{m/s}$，$t_1=5\text{s}$

代入可得 $s_1=5\text{m}$，5s 后的位移大小为 $s_2=s-s_1$，其中 $s_2=\dfrac{1}{2}vt_2$，解得 $t_2=1\text{s}$

（2）行李箱减速过程中的加速度大小为 a，由运动学公式 $v^2=2as_2$，由牛顿第二定律有 $F=ma$，解得 $F=40\text{N}$

【变式训练】 ：

1．（1）$a_1=2\text{m/s}^2$，$a_2=1\text{m/s}^2$；（2）F=6N

【详解】（1）匀加速过程，由运动学公式 $v_1^2=2a_1x_1$，代入数据解得 $a_1=\dfrac{v_1^2}{2x_1}=\dfrac{8^2}{2\times16}\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$

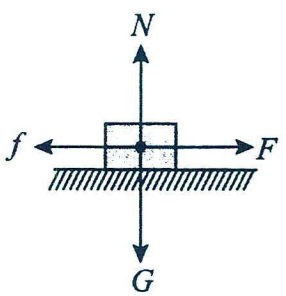
撤去 F 后物体在滑动摩擦力作用下做匀减速运动，则 $0=v_1-a_2t_2$ 且 $\mu mg=ma_2$

代入数据解得 $a_2=1\text{m/s}^2$；$\mu=0.1$

（2）匀加速过程中物体受力如图

由牛顿第二定律，水平方向 $F-f=ma_1$，竖直方向 $N-mg=0$

又 $f=\mu N$，代入数据解得 F=6N



2．（1）4830 N；（2）230 N；（3）245m

【详解】（1）气球匀加速上升过程中，受到向上的浮力，向下的重力，

根据牛顿第二定律可得 $F-mg=ma$，所以 $F=ma+mg=4830\text{N}$

（2）匀速时，气球受到向上的浮力，向下的重力和阻力作用，三力合力为零，故有 $F=f+mg$

所以 $f=F-mg=230\text{N}$

（3）小铆钉先做初速度为 $v_0=10\text{m/s}$ 的竖直上抛运动，然后做自由落体运动，

竖直上抛运动时间为 $t_1=\dfrac{v_0}{g}=1\text{s}$，上升的高度为 $h_1=\dfrac{v_0^2}{2g}=5\text{m}$

故小铆钉做自由落体运动的高度为 $h=175+h_1=\dfrac{1}{2}gt_2^2$，做自由落体运动时间为 $t_2=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=6\text{s}$

故气球上升的高度为 $h_2=v_0(t_1+t_2)$，故此时气球离地的高度为 $H=175\text{m}+h_2=245\text{m}$

题型二：已知受力求运动情况

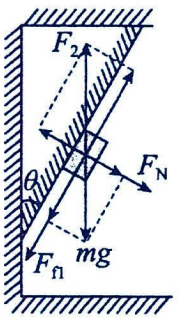
【典型例题】 ：

1．（1）0.5；（2）4m/s

【详解】（1）A 恰好在水平地面上做匀速直线运动，根据平衡条件可得 $F_f=F_1\cos\theta$

且 $F_f=\mu(mg+F_1\sin\theta)$，联立解得 $\mu=0.5$

（2）对 A 受力分析如图所示



在沿斜壁方向有 $F_2\cos\theta-mg\cos\theta-F_{f1}=ma$，在垂直斜壁方向有 $F_N=F_2\sin\theta-mg\sin\theta$

又 $F_{f1}=\mu F_N$，根据动力学公式 $v^2=2ax$，联立解得 $v=4\text{m/s}$

【变式训练】 ：

1．（1）1.25m/s^2；（2）2 m/s

【详解】（1）以小球为研究对象进行受力分析有，$F\cos\alpha+mg\sin\alpha-\mu N=ma$；$F\sin\alpha+N=mg\cos\alpha$

联立解得 $a=\dfrac{F(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)+mg(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)}{m}=1.25\text{m/s}^2$

（2）由运动学公式得 $v^2=2aL$，代入数据解得 $v=\sqrt{2aL}=\sqrt{2\times1.25\times1.6}\,\text{m/s}=2\text{m/s}$

2．（1）0.2；（2）2.6m/s^2，130m，26m/s

【详解】（1）由题意可知箱子沿水平地面做匀速直线运动，则根据受力平衡有 $F_1=f=\mu mg$

代入数据解得 $\mu=0.2$

（2）当小孩拉箱子时，对箱子受力分析沿水平和竖直正交分解有

$F\sin37^\circ+F_N'=mg$；$F\cos37^\circ-f'=ma$；$f'=\mu F_N'$

代入数据联立解得 $a=2.6\text{m/s}^2$

根据匀变速直线运动位移时间关系有 $x=\dfrac{1}{2}at^2=130\text{m}$

根据速度与时间关系有 $v=at=26\text{m/s}$

题型三：多过程问题

【典型例题】 ：

1．(1) 能滑上斜面；0.6s；(2)10.72m；物块最后停止的位置离 B 的距离 0.72m

【详解】(1)小物块在水平面做匀减速直线运动，根据牛顿第二定律可得加速度大小为：$a_1=\dfrac{\mu mg}{m}=\mu g=5\text{m/s}^2$

根据运动学公式可得：$v_B^2-v_A^2=-2a_1x_{AB}$；解得：$v_B=6\text{m/s}$

小物块能滑上斜面，小物块滑上斜面做匀减速直线运动，

根据牛顿第二定律可得加速度大小为：$a_2=\dfrac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{m}=10\text{m/s}^2$

物块在斜面向上滑行的时间：$t=\dfrac{v_B}{a_2}=0.6\text{s}$

(2)物块在斜面向上滑行的距离为：$x_1=\dfrac{v_B}{2}t=1.8\text{m}$

小物块滑下斜面做匀加速直线运动，根据牛顿第二定律可得加速度大小为：$a_3=\dfrac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}=2\text{m/s}^2$

小物块在斜面向下滑行，根据运动学公式可得：$v_B'^2-0=2a_3x_1$

物块在水平面滑行，根据运动学公式可得：$v_B'^2=2a_1x_2$

解得物块在水平面滑行的距离为：$x_2=0.72\text{m}$

可得物块滑行的总距离：$s=x_{AB}+2x_1+x_2=10.72\text{m}$

物块最后停止的位置离 B 的距离 0.72m

2．（1）5m/s^2；（2）15m；（3）$2\sqrt{15}\text{m/s}$

【详解】（1）设小球在前 2 s 内的加速度为 a，由牛顿第二定律 $F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_1$，解得 $a_1=5\text{m/s}^2$

（2）前 2 s 内小球的位移为 x_1，由运动学公式得 $x_1=\dfrac{1}{2}a_1t^2$，代入数据得 $x_1=10\text{m}$

撤去外力后小球加速度大小为 a_2，继续向上运动的位移为 x_2，2s 时速度大小为 v_1，则 $v_1=a_1t$

有牛顿第二定律得 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_2$，由运动学公式 $v_1^2=2a_2x_2$；联立解得 $x_2=5\text{m}$

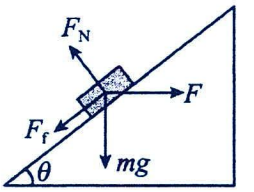
小球沿斜面向上运动的总位移 $x=x_1+x_2=15\text{m}$

（3）小球运动到斜杆低端时的速度大小为 v_2，由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_3$

由运动学公式 $v^2=2a_3x$；联立解得 $v_2=2\sqrt{15}\text{m/s}$

3．（1）0.25；（2）16.25 m；（3）能下滑，$\sqrt{130}\text{m/s}$；（4）$\dfrac{20}{\sqrt{3}}\text{m/s}^2$

【详解】（1）设加速的加速度为 a_1，末速度为 v，减速时的加速度大小为 a_2，撤去 F 前，对物体受力分析如图



在竖直方向，根据平衡条件得 $F_N = F\sin\theta + mg\cos\theta$

在水平方向，根据牛顿第二定律得 $F\cos\theta - F_f - mg\sin\theta = ma_1$

又 $F_f = \mu F_N$，代入数据得 $a_1 = 10\text{-}20\mu$，由速度时间公式可得 $v = a_1 t_1$

撤去 F 后受力分析，由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta + \mu mg\cos\theta = ma_2$

代入数据得 $a_2 = g\sin\theta + \mu g\cos\theta = 6 + 8\mu$

由速度时间公式可得 $v = a_2 t_2$，联立解得 $\mu = 0.25$

（2）由运动学规律得 $x = \frac{1}{2}a_1 t_1^2 + \frac{1}{2}a_2 t_2^2$，解得 $x = 16.25\text{m}$

（3）因为 $\mu < \tan\theta$，故能下滑；对物体下滑过程受力分析，

由牛顿第二定律得 $a_3 = \frac{mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta}{m} = g\sin\theta - \mu g\cos\theta$

由运动学公式得 $v^2 = 2a_3 x$，代入数据解得 $v = \sqrt{130}\text{m/s} \approx 11.4\text{m/s}$

（4）若斜面倾角变为 60°，对物体受力分析，

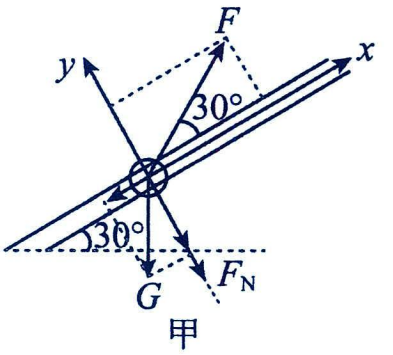
由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta' + \mu'(F\sin\theta' + mg\cos\theta') - F\cos\theta' = ma'$

加速度与 F 无关，则 $\mu' F\sin\theta' - F\cos\theta' = 0$，解得 $\mu' = \frac{\sqrt{3}}{3}$，$a' = \frac{20}{\sqrt{3}}\text{m/s}^2$

【变式训练】：

1．（1）10m/s^2；（2）20m；（3）20m

【详解】（1）对小球受力分析如图甲所示，进行正交分解 y 方向



甲

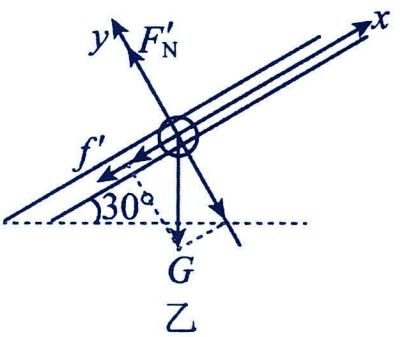
$F\sin 30^\circ = mg\cos 30^\circ + F_N$，解得 $F_N = 0$

即摩擦力等于 0。x 方向 $F\cos 30^\circ - mg\sin 30^\circ = ma$

解得 $a = 10\text{m/s}^2$

(2) 小球做匀加速直线运动 2s 内的位移为 $x_1 = \frac{1}{2}at^2 = 20\text{m}$

(3) 当撤去力 F 后，受力分析如图乙所示。



乙

x 方向 $f' + mg\sin 30^\circ = ma_1$

y 方向 $mg\cos 30^\circ = F_N'$

$f' = \mu F_N'$，联立可得 $a_1 = 10\text{m/s}^2$

2s 末物体的速度大小 $v = at = 20\text{m/s}$

撤去力 F 后，小球运动的位移大小 $x_2=\dfrac{v^2}{2a_1}=20\text{m}$

2．（1）4m，2m/s；（2）7.5m/s²沿斜面向下，2.5m/s²沿斜面向下；（3）$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$m/s

【详解】（1）规定向上为正方向，则“奔跑”过程有 $x_1=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{1}{2}\times0.5\times4^2\text{m}=4\text{m}$

4s 末的速度为 $v_1=at=0.5\times4\text{m/s}=2\text{m/s}$

企鹅卧倒以肚皮贴着冰面向前滑行，上滑过程，摩擦力沿斜面向下，

根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$，解得 $a_1=g\sin\theta+\mu g\cos\theta=7.5\text{m/s}^2$

沿斜面向下，企鹅下滑过程，摩擦力沿斜面向上，根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$

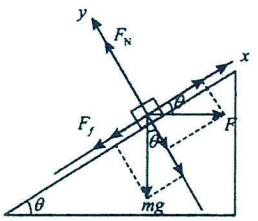
解得 $a_2=g\sin\theta-\mu g\cos\theta=2.5\text{m/s}^2$，沿斜面向下。

（3）企鹅从 4s 时卧倒以肚皮贴着冰面向前滑行，上滑到最高点过程，有 $0-v_1^2=-2a_1x_2$

解得 $x_2=\dfrac{v_1^2}{2a_1}=\dfrac{2^2}{2\times7.5}\text{m}=\dfrac{4}{15}\text{m}$，

返回到“卧倒”点过程 $v_2^2-0=2a_2x_2$，解得 $v_2=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\text{m/s}$

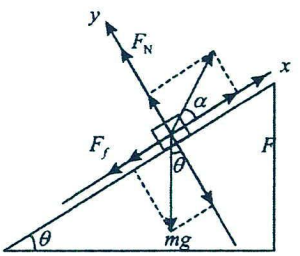
3．（1）$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$；（2）$10\sqrt{3}\,\text{N}$；（3）1s



【详解】（1）设物块和斜面之间的摩擦力为 F_f，根据平衡条件有 $F_f=mg\sin\theta$

又有 $F_f=\mu mg\cos\theta$，联立解得 $\mu=\tan\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

（2）对物块受力分析如下，建立如图所示直角坐标系，则有



在 y 轴方向 $F_N=mg\cos\theta+F\sin\theta$

在 x 轴方向 $F\cos\theta=mg\sin\theta+F_f$，又有 $F_f=\mu F_N$，联立解得 $F=10\sqrt{3}\,\text{N}$

（3）设拉力 F 与斜面的夹角为 α，建立如图所示的坐标系，则有

在 y 轴方向 $F_N+F\sin\alpha=mg\cos\theta$；在 x 轴方向 $F\cos\alpha-mg\sin\theta-F_f=ma$

又有 $F_f=\mu F_N$；联立解得 $a=\dfrac{F}{m}(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)-g(\sin\theta+\mu\cos\theta)$

当 $\alpha=30°$ 时，物块的加速度最大且大小为 $a=10\text{m/s}^2$

物块到达斜面顶端所用时间最短，设最短时间为 t，则有 $x=\dfrac{1}{2}at^2$；解得 $t=1\text{s}$

第十四讲：探究力与加速度的关系

题型一：探究加速度与力的关系

【典型例题】 ：

1.【详解】（1）AB．实验过程中需要平衡摩擦力、并且调节定滑轮高度，使牵引小车的细线与长木板平行，目的使小车受到的合外力等于细线的拉力。故 AB 正确；

C．由于是探究加速度与合外力关系，因此要保证小车的质量不变，改变钩码质量来改变合外力。故 C 错误；

D．实验时先接通电源，打点计时器工作稳定后再释放小车。故 D 正确。

故选 ABD。

（2）相邻两个计数点之间还有四个计时点没有画出来，

则打相邻计数点的时间间隔 $T=5\times0.02\text{s}=0.1\text{s}$

根据逐差法可得，小车做匀加速直线运动的加速度大小 $a=\dfrac{x_{CD}+x_{DE}-(x_{AB}+x_{BC})}{(2T)^2}=0.39\text{m/s}^2$

（3）若不断增加小桶中砂的质量，$a-F$ 图像中各点连成的曲线将不断延伸，当重物质量无限大时，重物将近似自由落体运动，所以加速度 a 的趋向值为 g。

（4）[1]图 C 中，细线拉力为 0 时，小车加速度不为 0，表明平衡摩擦力过多；

[2]图 C 中，当细线拉力较小但不为 0 时，小车加速度开始一直为 0，表明没有平衡摩擦力或平衡摩擦力过少。

（5）以物块为研究对象，根据牛顿第二定律有 $F-\mu Mg=Ma$

可得 $a=\dfrac{F}{M}-\mu g$

由题中 a-F 图像有 $k=\dfrac{1}{M}=\dfrac{0.5}{0.4}\text{kg}^{-1}$；$b=-\mu g=-0.5\text{m/s}^2$

解得 $M=0.80\text{kg}$，$\mu=0.050$

故物块的质量 0.80kg，物块与长木板间的动摩擦因数 0.050。

【变式训练】 ：

1.【详解】（1）利用天平测量质量，利用打点计时器可以计时，打出的纸带需测量长度求加速度，所以需要天平和刻度尺。

故选 BD。

（2）该实验中同时研究三个物理量间关系是很困难的，因此可以控制其中一个物理量不变，研究另外两个物理量之间的关系，即采用了控制变量法。

故选 C。

（3）补偿阻力时应使小车拖动纸带在木板上做匀速直线运动。

（4）由于本实验要求槽码的质量 m 远小于小车的质量 M。故选 C。

（5）根据逐差法可知 $x_5-x_1=4a_1T^2$；$x_6-x_2=4a_2T^2$；$x_7-x_3=4a_3T^2$；$x_8-x_4=4a_4T^2$

联立可得小车加速度的表达式为 $a=\dfrac{1}{4}\left(\dfrac{x_8-x_4}{4T^2}+\dfrac{x_7-x_3}{4T^2}+\dfrac{x_6-x_2}{4T^2}+\dfrac{x_5-x_1}{4T^2}\right)$

故选 D。

（6）探究加速度与力的关系时，需要保持小车的总质量不变。

（7）AB．从题图丙可以看出，图像不过原点，即当F为某一值时，但加速度却为零，所以是未补偿阻力或补偿阻力不足。故A正确；B错误；

CD．随着拉力F增大（即沙桶及沙的重力增大），已经不满足沙桶及沙的总质量远小于小车总质量的条件，造成BC段弯曲。故C正确；D错误。

故选AC。

（8）[1][2]根据牛顿第二定律可得$F-\mu Mg=Ma$

解得$a=\frac{1}{M}F-\mu g$

由图像的斜率和纵轴截距大小关系可得$\frac{1}{M_A}>\frac{1}{M_B}$；$\mu_A g=\mu_B g$

可知M_A小于M_B，μ_A等于μ_B。

题型二：探究加速度与质量的关系

【典型例题】：

1.【答案】(1)C；D；(2)ACD；(3)0.44；(4)$\frac{1}{k}$；$\frac{b}{k}$；(5)C

【详解】（1）[1]实验过程中，为减少误差，提高实验的精确度，他先调节木板上定滑轮的高度，使牵引小车的细绳与木板平行，目的是消除摩擦带来的误差，即平衡摩擦力后，使细绳的拉力等于小车的合力，使小车最终能匀速运动，故选C；

[2]对小车由牛顿第二定律$F=Ma$

对整体$a=\frac{m_0 g}{M+m}$

联立得$F=\frac{M}{M+m_0}m_0 g$

只有$m_0 \ll M$时，系统的加速度较小，才有$F\approx m_0 g$

才能使钩码重力近似等于细线的拉力，故选D。

（2）[3]A．平衡摩擦力时，不挂沙桶，将木板有打点计时器的一端适当垫高，轻推小车，使打出的点迹均匀分布，故A错误，符合题意；

B．令平衡摩擦力时木板的倾角为θ，根据平衡条件有$Mg\sin\theta=\mu Mg\cos\theta$

即有$g\sin\theta=\mu g\cos\theta$

即平衡摩擦力后，与小车质量无关，可知，每次改变小车的质量时，不需要重新平衡摩擦力，故B正确，不符合题意；

C．为了避免纸带上出现大量的空白段落，实验时，应先接通打点计时器电源打点，再放开小车，故C错误，符合题意；

D．实验中小车运动的加速度是利用纸带求解，不能够直接用公式$a=\frac{mg}{M}$求出，故D错误，符合题意。

故选ACD。

（3）[4]纸带上相邻计数点时间间隔为$T=5\times\frac{1}{50}\text{s}=0.1\text{s}$

由某段时间中间时刻的瞬时速度等于该段时间运动过程的平均速度，

可得 $v_B=\frac{x_{AC}}{2T}=\frac{13.30-4.50}{2\times0.1}\times10^{-2}\text{m/s}=0.44\text{m/s}$

（4）[5]设小车质量为M，小车受到外力为F，由牛顿第二定律有 $F=(m_0+M)\ a$

得 $\frac{1}{a}=\frac{1}{F}m_0+\frac{M}{F}$

所以 $\frac{1}{a}-m_0$ 图像的斜率为 $k=\frac{1}{F}$

解得 $F=\frac{1}{k}$

故填 $\frac{1}{k}$；

[6]纵轴截距为 $b=\frac{M}{F}=kM$

解得 $M=\frac{b}{k}$

故填 $\frac{b}{k}$。

（5）[7]在探究加速度与质量的关系时，由于补偿了阻力，所以图像过原点，且分别对沙桶及沙和小车受力分析，由牛顿第二定律可得 mg－F_T＝ma，F_T＝Ma

联立，解得 $a=\frac{mg}{M+m}$

因为保证了沙和沙桶的质量不变，所以由实验数据作出 a－$\frac{1}{M+m}$ 图线，不会发生弯曲。

故选 C。

【变式训练】：

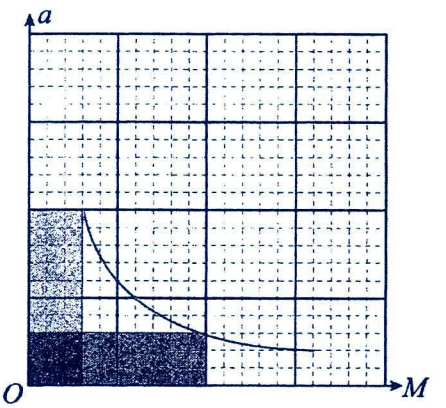
1.（一）(1) $\frac{d^2}{2L}(\frac{1}{t_B^2}-\frac{1}{t_A^2})$；(2)反比；(3) $m-\frac{1}{t^2}\frac{2kgx}{d^2}$；（二）（1）增大；（2）0.18

【详解】（一）（1）滑块经过两光电门的速度分别为 $v_A=\frac{d}{t_A}$，$v_B=\frac{d}{t_B}$

根据运动学公式可得 $v_B^2-v_A^2=2aL$

联立可得滑块的加速度为 $a=\frac{d^2}{2L}(\frac{1}{t_B^2}-\frac{1}{t_A^2})$

（2）把 $a-M$ 函数关系图像中两个矩形补充完整，如图所示



两个完整的矩形的面积相等都为 mg，再减去补充的共有面积，剩余的面积也相等，即图中两矩形的面积相等，当钩码的质量 m 不变，滑块的质量 M 与加速度 a 的乘积不变恒为 mg，则 a 与 M 成反比。

（3）[1]根据速度位移关系可得 $(\frac{d}{t})^2=2ax$

又$a=\frac{mg}{M}$

联立可得$m=\frac{Md^2}{2gx}\cdot\frac{1}{t^2}$

所以为了能更直观地看出滑块的加速度与所受合力的关系，应作出$m-\frac{1}{t^2}$图像；

[2]根据题意可知$m-\frac{1}{t^2}$图像的斜率为$k=\frac{Md^2}{2gx}$

解得滑块的质量为$M=\frac{2kgx}{d^2}$

（二）（1）（a）[1]平衡摩擦力时，若所有的操作均正确，打出的纸带如图乙所示，纸带向右运动，点迹变密集，说明小车做减速运动，为了让小车做匀速运动，应该增大木板的倾角；

（b）[2]由牛顿第二定律得$mg=Ma$

可得$\frac{1}{a}=\frac{M}{g}\cdot\frac{1}{m}$

由$\frac{1}{a}-\frac{1}{m}$图像可得$\frac{M}{g}=\frac{1.8}{100}$

解得小车的质量为$M\approx0.18\text{kg}$

题型三：创新实验

【典型例题】 ：

1. (1)B；(2)2.00；(3)9.7；(4)小于

【详解】（1）A.为了减小空气阻力和摩擦阻力的影响，物块A选用质量和密度较大的物体，故A错误；

B.为了减小纸带与打点计时器间的摩擦，两限位孔应在同一竖直线上，故B正确；

C.为了充分利用纸带，实验时，先接通电源后释放物块A，故C错误。

故选B。

（2）打点计时器所用的交流电源频率为50Hz，每相邻的两个点之间还有四个点未画出，相邻计数点间的时间间隔为$t=5T=\frac{5}{f}=0.1\text{s}$

根据逐差法有$a=\frac{x_{BD}-x_{OB}}{(2t)^2}=\frac{(16.01-4.01)-4.01}{(2\times0.1)^2}\times10^{-2}\,\text{m/s}^2\approx2.00\,\text{m/s}^2$

（3）根据牛顿第二运动定律有$(m_1-m_2)g=(m_1+m_2)a$

解得$g=9.7\,\text{m/s}^2$

（4）空气阻力及纸带的影响使得通过纸带得到的加速度比理想情况下的加速度小，从而使得重力加速度的测量值小于真实值。

2. (1)10；(2)0.20；(3)0.13

【详解】（1）由题知，弹簧处于原长时滑块左端位于0点，A点到0点的距离为6.00cm。拉动滑块使其左端处于A点，由静止释放并开始计时。结合图乙的$F-t$图有Δx=6.00cm，F=0.610N

根据胡克定律计算出$k=\frac{F}{\Delta x}\approx10\,\text{N/m}$

（2）根据牛顿第二定律有 F=ma

则 a-F 图像的斜率为滑块与加速度传感器的总质量的倒数，

根据图丙中 I，则有 $\frac{1}{m}=\frac{3-0}{0.60}\mathrm{kg}^{-1}=5\mathrm{kg}^{-1}$

则滑块与加速度传感器的总质量为 m=0.20kg

（3）滑块上增加待测物体，同理，根据图丙中 II，则有 $\frac{1}{m'}=\frac{1.5-0}{0.5}\mathrm{kg}^{-1}=3\mathrm{kg}^{-1}$

则滑块、待测物体与加速度传感器的总质量为 $m'\approx0.33\mathrm{kg}$

则待测物体的质量为 $\Delta m=m'-m=0.13\mathrm{kg}$

3. (1)1.60；(2)$\frac{1}{k}$；$\frac{2b}{7}$；（3）$\frac{2}{\mathrm{k}}$；$\frac{5}{13}\mathrm{g}$

【详解】（1）[1]相邻两计数点的时间间隔为 $T=5\times0.02\mathrm{s}=0.1\mathrm{s}$

由逐差法有 $x_{PN}-x_{MP}=aT^2$

解得 $a=\frac{(24.02-18.81)-(18.81-15.20)}{0.1^2}\times10^{-2}\mathrm{m/s^2}=1.6\mathrm{m/s^2}$

（2）[2]对重物，根据牛顿第二定律可得 $F-mg=ma$

整理得 $a=\frac{F}{m}-g$

图像的斜率 $k=\frac{1}{m}$

解得重物质量 $m=\frac{1}{k}$

[3]图像的纵截距为 $-b=-g$

可得 $b=g$

根据滑轮组的特点可知，钩码的加速度为重物的一半，则 $Mg-2F=M\cdot\frac{a}{2}$

对重物有 $F-mg=ma$

当 $M=3m$ 时，联立解得重物的加速度大小为 $a=\frac{2b}{7}$

（3）[4]对重物，根据牛顿第二定律可得 2F-mg=ma

整理得 $\mathrm{a}=\frac{2\mathrm{F}}{\mathrm{m}}-\mathrm{g}$

图像的斜率 $\mathrm{k}=\frac{2}{\mathrm{m}}$

解得重物质量 $\mathrm{m}=\frac{2}{\mathrm{k}}$

[5]图像的纵截距为 $-b=-g$

可得 $b=g$

根据滑轮组的特点可知，钩码的加速度为重物的两倍，则 Mg-F=M·2a

对重物有 2F-mg=ma

当 $M=3m$ 时，联立解得重物的加速度大小为 $\mathrm{a}=\frac{5}{13}\mathrm{g}$

4.【详解】（1）为完成实验，除图中已有的器材，由于需要刻度尺测量纸带上计数点间的距离，所以还需要交流电源、天平（含配套砝码）和刻度尺。

（2）A．应适当调节滑轮高度，使线与木板平行，保证线对小车的拉力等于小车受到的合力，故 A 错误；

B．进行“补偿阻力”的实验操作时，小车前面不能悬挂槽码，故 B 错误；

C．实验时小车应从靠近打点计时器处静止释放，以能在纸带上打出更多的点，充分利用纸带，故 C 正确；

D．电火花计时器的工作电压应为交流 220V，故 D 错误。

故选 C。

（3）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，打计数点 5 时小车速度为

$v=\frac{x_{46}}{2T}=\frac{(7.80-5.30)\times10^{-2}}{2\times0.02}\text{m/s}=0.625\text{m/s}$

（4）根据逐差法可得小车加速度的表达式为 $a=\frac{x_{36}-x_{03}}{(3T)^2}=\frac{(x_6-x_3)-x_3}{(3T)^2}=\frac{x_6-2x_3}{(3T)^2}$；故选 C。

（5）[1]根据逐差法可得小车做匀加速直线运动的加速度为 $a=\frac{(x_4+x_5+x_6)-(x_1+x_2+x_3)}{9\times(2T)^2}$

代入数据解得 $a=\frac{(5.69+6.18+6.66)-(4.25+4.73+5.22)}{9\times(2\times0.02)^2}\times10^{-2}\text{m/s}^2\approx3.01\text{m/s}^2$

[2]根据加速度计算结果看，其值较大，可知，实验过程中不合理之处为：不满足槽码的质量远小于小车的质量，在实验中需要用槽码重力来代替小车受到的拉力，此时的误差较大。

（6）①[1]调整轨道的倾角，用手轻拨小车，直到打点计时器在纸带上打出一系列等间距的点，表明小车沿倾斜轨道匀速下滑；

②[2]对于小车匀速时有 $Mg\sin\theta-\mu Mg\cos\theta-6mg=0$

减小 n 个槽码后，对小车和槽码分别有 $Mg\sin\theta-\mu Mg\cos\theta-T=Ma$

$T-(6-n)mg=(6-n)ma$

联立可得 $a=\frac{nmg}{M+6m-nm}$

整理可得 $\frac{1}{a}=\frac{6m+M}{mg}\cdot\frac{1}{n}-\frac{1}{g}$

③[3]根据 $\frac{1}{a}=\frac{6m+M}{mg}\cdot\frac{1}{n}-\frac{1}{g}$

可知 $\frac{1}{a}-\frac{1}{n}$ 系图线的斜率为 $k=\frac{6m+M}{mg}=2.50\text{s}^2/\text{m}$

而 $m=10\text{g}$，$g=9.80\text{m/s}^2$，代入解得小车质量为 $M=0.185\text{kg}$

【变式训练】：

1. (1) $\frac{d}{t}$；$\frac{d^2}{2ht^2}$ (2) $\frac{d^2M}{2hmg}$；(3)>

【详解】（1）[1]遮光条在挡光时间内的平均速度等于托盘甲经过光电门瞬间的速度，即 $v=\frac{d}{t}$

故填 $\frac{d}{t}$；

[2]由运动学规律可得$2ah=v^2=\frac{d^2}{t^2}$；解得$a=\frac{d^2}{2ht^2}$；故填$\frac{d^2}{2ht^2}$。

（2）若加速度与力成正比，则有$a=\frac{Mg+Nmg-(Mg-Nmg)}{2M}$

解得$a=\frac{Nmg}{M}$；由以上分析可知$\frac{Nmg}{M}=\frac{d^2}{2ht^2}$；联立解得$N=\frac{d^2M}{2hmg}\cdot\frac{1}{t^2}$

则图线的斜率为$k=\frac{d^2M}{2hmg}$；故填$\frac{d^2M}{2hmg}$。

（3）斜率偏大，是因为测得的t^2偏大，即加速度偏小，即开始时$M_{甲}>M_{乙}$，故填>。

2.(1)BD；(2)$\frac{x_4-2x_2}{64}f^2$；(3)$\frac{2}{k}$；(4)$\frac{1}{k}$；相等；(5)2:1:1；(6)1.0；(7)$\frac{g}{k}$

【详解】（1）AB．本实验需要细线的拉力等于小车的合外力，故甲、乙、丙、丁都需要消除阻力的影响，故A错误，B正确；

CD．甲、丙、丁图都能通过弹簧或传感器测出细线的拉力，故不需要满足所挂重物质量m远小于小车总质量M的条件，只有乙图需要满足该条件，故C错误，D正确。

故选BD。

（2）相邻两计数点间有三个点未画出，则相邻两计数点间的时间间隔为$T=4\times\frac{1}{f}=\frac{4}{f}$

由逐差法得，小车的加速度为$a=\frac{x_4-x_2-x_2}{4T^2}=\frac{x_4-2x_2}{64}f^2$。

（3）[3]由$a_{乙}=\frac{2mg}{M}=\frac{2}{M}F$；其中$k=\frac{2}{M}$；求得$M=\frac{2}{k}$

（4）[1]丁同学设计装置完成实验，弹簧测力计的拉力为F，画出小车的$a-F$图像纵轴截距为正值，即细线没有拉力作用时，小车已经存在一定的加速度表明平衡摩擦力过多，令小车重力沿长木板的分力与摩擦力的合力大小为F_0，根据牛顿第二定律有$F+F_0=Ma$

则有$a=\frac{1}{M}F+\frac{F_0}{M}$；结合图像有$k=\frac{1}{M}$；解得$M=\frac{1}{k}$

[2]根据上述数据处理的方法可知，利用图像的斜率求解小车的质量与平衡摩擦力过多没有关系，即该值与小车的实际质量相比是相等。

（5）平衡摩擦力后，根据牛顿第二定律有$2F=M_1a$，$F=M_2a$，$F=M_3a$

解得$M_1:M_2:M_3=2:1:1$

（6）根据数学函数规律，$a-\frac{1}{M}$图像对应的函数关系式为$a=\frac{0.2}{0.4}\cdot\frac{1}{M}=\frac{1}{2M}$

当小车的质量M为0.5kg时，解得它的加速度为$a=1.0\mathrm{m/s^2}$

（7）所挂重物质量m远小于小车总质量M的条件下，

小车的合外力等于重物的重力，所以有$mg=Ma$

整理可得$a=\frac{g}{M}m$；故斜率$k=\frac{g}{M}$；所以$M=\frac{g}{k}$

3.(1)左；(2)2.02；(3)不需要；(4)$\frac{g}{k}-\frac{M}{m}$

【详解】（1）发现小车做减速运动，说明斜面倾角过小，应增大倾角，则应将小物块向左移动，才会使小车在板上做匀速运动

（2）根据逐差法可得小车的加速度大小为 $a=\frac{(11.10+13.10+15.10-5.00-7.05-9.10)}{9\times0.1^2}\text{cm/s}^2\approx2.02\text{m/s}^2$

（3）由于本实验中的研究对象是小车和 N 个砝码，不用计算绳子拉力，因此不需要满足“小车及车上钩码的总质量远大于所挂钩码质量”的条件。

（4）以小车和 N 个砝码为整体，根据牛顿第二定律可得 $nmg=(M+Nm)a$

整理可得 $a=\frac{mg}{Nm+M}n$

可知 $a-n$ 图像的斜率为 $k=\frac{mg}{Nm+M}$

解得本实验中可用的钩码个数为 $N=\frac{g}{k}-\frac{M}{m}$

4.【详解】（1）[1]A、B 上的两挡光片通过两光电门的时间相等，说明系统匀速运动，故凹槽匀速运动。

（2）[2]两物块用绳连接，所以速度大小相等，运动过程中，初速度为 $v_1=\frac{d}{t_B}$

末速度为 $v_2=\frac{d}{t_A}$；位移为 $x=\frac{3L}{4}-\frac{L}{4}=\frac{L}{2}$

根据 $2ax=v_2^2-v_1^2$；可得 $a=\frac{\left(\frac{d}{t_A}\right)^2-\left(\frac{d}{t_B}\right)^2}{L}$

（4）[3]从 B 中拿出 $n=1$ 个砝码放入 A 中，A、B 上的两挡光片通过两光电门的时间刚好相等，说明系统匀速运动，设凹槽 A（含挡光片）的质量为 M，有

$(M+11m)g\sin\theta=(M+9m)g\sin\theta+\mu(M+11m)g\cos\theta+\mu(M+9m)g\cos\theta$；解得 $\mu=\frac{m\tan\theta}{(M+10m)}$

从 B 中总共拿出 $n\geq2$ 个砝码放入 A 中时，有

$[M+(10+n)m]g\sin\theta-[M+(10-n)m]g\sin\theta-\mu[M+(10-n)m]g\cos\theta-\mu[M+(10+n)m]g\cos\theta=2(M+20m)a$

解得 $a=\frac{mg\sin\theta}{(M+10m)}(n-1)$

根据图线可知，横坐标为 $n-1$。

故选 C。

（5）[4]图线斜率为 k，则 $k=\frac{mg\sin\theta}{(M+10m)}$；解得 $M=\frac{mg\sin\theta}{k}-10m$

5. m_0g；A；0.98；略；当手机的质量一定时，手机的加速度与手机所受合外力成正比；$\frac{g}{k}$；A

【详解】（3）[1]静止时根据平衡条件可得弹簧的弹力 $F=(M_0+m_0)g$

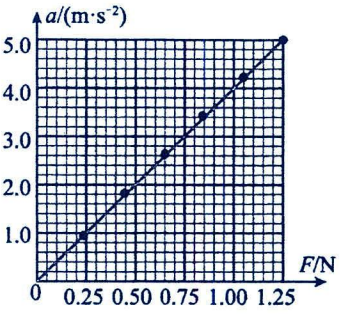
当将小桶突然托起时，弹簧的弹力大小不变，此瞬间手机受到的合外力

$F_1=F-M_0g=m_0g$

[2]前面的数据波动是保持平衡时的轻微扰动，后续的数据波动是因为手机在做（近似）简谐运动，故第一个峰值即为我们要的绳子被剪断时的瞬时加速度，故选“A”点；

（4）[3]根据图 3 可读得手机的加速度大小大约为0.98m/s^2，因此上表中空白处的数据应为0.98。

[4]作图时应用平滑的直线将各点迹连接起来，且应尽可能多的让点迹落在图线上，不能落在图线上的点迹应让其均匀的分布在图线的两侧，明显有误差的点迹应直接舍去。描点作图如图所示



[5]根据图像可以得到的结论是：当手机的质量一定时，手机的加速度与手机所受合外力成正比。

（5）[6]绳子剪断前，设弹力为F，小桶质量为m_0，手机质量为M，对手机有平衡知$F-\left(m+m_0\right)g-Mg=0$

绳子剪断后，对手机由牛顿第二定律有$F-Mg=Ma$

综上可得$a=\frac{mg+m_0g}{M}=\frac{g}{M}\cdot m+\frac{m_0g}{M}$

解得$M=\frac{g}{k}$

（7）[7]A．使用质量更大的砝码组，整体的惯性将增加，其状态将越难改变，扰动将越小，因此该方案可行，故 A 正确；

B．将弹簧更换为不可伸长的细线，在挂上和去掉小桶和砝码时，手机自身总是能达到平衡态，因此该方法不可行，故 B 错误；

C．劲度系数越小，弹簧越容易发生形变，则扰动越大，因此该方法不可行，故 C 错误；

D．让小桶和砝码的质量远远小于手机的质量，并不能减小其扰动，甚至会增加其扰动，且当托起小桶和砝码时，手机所受合外力将过小，对实验数据的处理将变得更困难，因此该方案不可行，故 D 错误。

故选 A。

跟踪练习（六）

1．B

【详解】国际单位制共有七个基本物理单位。包括如下：热力学温度K（开尔文），长度m（米），质量kg（千克），时间s（秒），电流A（安），物质的量mol（摩尔），光强度cd（坎德拉）。

故选B。

2．A

【详解】这两个力的合力范围为$2\text{N} \le F \le 12\text{N}$

根据牛顿第二定律加速度的取值范围为$1\text{m/s}^2 \le a \le 6\text{m/s}^2$

故选A。

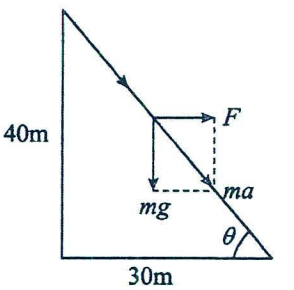
3．C

【详解】由题意可知，无人机运动的方向与水平方向夹角为$\tan\theta = \frac{4}{3}$

可知$\theta = 53°$

无人机加速过程中受竖直向下的重力和空气对无人机的作用力，两个力的合力产生加速度，方向斜向下与水平方向夹角为53°，则空气对无人机的作用力为

$F = \sqrt{(ma)^2 - (mg)^2} = 15\text{N}$



方向沿水平方向。

故选C。

4．C

【详解】A．拉纸的快慢，对纸对罐子的摩擦力没有影响，故A错误；

B．质量是惯性的唯一量度。罐子的质量不变，罐子惯性就不变，故B错误；

C．纸拉得越快，纸对罐子摩擦力的作用时间就越短，则冲量越小。根据动量定理，则动量变化量越小，即罐子速度变化越小，故C正确；

D．如果拉纸的力小一些，罐子就会获得较大的速度或者与纸一起运动，罐子就可能离开桌面，故D错误。

故选C。

5．B

【详解】根据题意，设空气阻力的大小为f，根据牛顿第二定律，物体上升时有$mg + f = m \times 1.25g$

物体下降时有$mg - f = ma$

联立解得$a = 0.75g$

故选B。

6．D

【详解】A．以小球为研究对象，根据牛顿第二定律可得$mg\sin\theta = ma$

解得$a = g\sin\theta$

当玻璃板倾角最小时，小球加速度最小，恰好运动到玻璃板上端B，则有$x = \frac{v_0^2}{2a}$

联立解得$\theta = 30°$

故A错误；

BC．取沿玻璃板向下为正方向，则根据位移—时间关系式有 $x_{AC}=-v_0t+\frac{1}{2}at^2$

又 a≥gsin30°=10×0.5m/s²=5m/s²

联立解得 $x_{AC}\geq 7.5m$

加速度 a 的最大值为 g，即 a≤g，则由 $x_{AC}=-v_0t+\frac{1}{2}at^2$

可得 $x_{AC}\leq 30m$

故 BC 错误；

D．根据速度—时间关系式有 $v_C=-v_0+at$

又 g=10m/s²≥a≥5m/s²

联立解得 25m/s≥v_C≥10m/s

故 D 正确。

故选 D。

7．D

【详解】物体与水平面间的滑动摩擦力大小与正压力成正比，与其他力无关，所以物体受到的摩擦力大小仍为 f，故 A 错误；由牛顿第二定律可知，当水平推力为 F 时，加速度为 a，则 $a=\frac{F-f}{m}$，当水平推力为 2F 时，加速度 $a'=\frac{2F-f}{m}>\frac{2F-2f}{m}=2a$，故 BC 错误，D 正确.

8．D

【详解】木板沿斜面加速下滑时，猫保持相对斜面的位置不变，即相对斜面静止，以猫为研究对象 $f-2mg\sin\alpha=0$

解得猫受到的摩擦力为 $f=2mg\sin\alpha$

以木板为研究对象 $f'+mg\sin\alpha=ma$

结合 $f=f'$ 联立以上可得 $a=3g\sin\alpha$

故选 D。

9．D

【详解】AB. 对儿童，由牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

解得 $a=2m/s^2$，故 B 错误；

故儿童的脚滑到 A 点时的速度为 $v_1=\sqrt{2a\left(\frac{L}{2}-l\right)}=2\sqrt{2}m/s$

故 A 错误；

C. 儿童的脚滑到底端时 $L-l=\frac{1}{2}at^2$

解得 $t=\sqrt{5}s$，故 C 错误；

D. 儿童的头通过 A 点时的速度为 $v_2=\sqrt{2a\left(\frac{L}{2}\right)}=2\sqrt{3}m/s$

故儿童通过 A 点的时间为 $t=\frac{v_2-v_1}{a}=\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)s$

故 D 正确；

故选 D。

10．A

【详解】依题意，未剪断小球 A 与 O 点间的绝缘细线时，有 $F=(M+m)g$

剪断后，小球 A 处于失重状态，有 $(M+m)g-F=ma$

又 $mg+\frac{kq_Aq_B}{r^2}=ma$

在小球 A 下落过程中，两小球之间的距离逐渐减小，二者之间的库仑力增大，导致小球 A 的加速度增大，所以绝缘轻绳 OD 上拉力 F 的大小逐渐变小，且满足 $F<(M+m)g$

故选 A。

11．C

【详解】A．由于上升过程与下落过程的位移大小相等，又有速度-时间图像与时间轴所围面积表示位移可知，上升过程中的平均速度大于下落过程中的平均速度，则小球在运动的全过程，上升的时间小于下落的时间，故 A 错误；

B．由题意可得，阻力与速率的关系为 $F_f=kv$

故阻力的冲量大小为 $I_f=F_ft=kvt=kx$

其中 x 表示位移，因为上升过程和下落过程位移相同，则上升和下降过程冲量大小相等，故 B 错误；

C．设上升时加速度大小为 a，由牛顿第二定律得 $mg+kv=ma$

解得 $a=g+\frac{k}{m}v$

取极短 Δt 时间，速度变化 Δv 有 $\Delta v=-a\Delta t=-g\Delta t-\frac{k}{m}v\cdot\Delta t$ ； $v\Delta t=\Delta h$

上升全程，则有 $\sum\Delta v=0-v_0=-g\sum\Delta t-\frac{k}{m}\sum\Delta h$

则 $v_0=gt_1+\frac{k}{m}H$

空气阻力与其速率成正比，最终以 v_1 匀速下降，由平衡条件则有 $mg=kv_1$

联立解得 $H=\frac{(v_0-gt_1)v_1}{g}$

故 C 正确；

D．小球抛出瞬间，由牛顿第二定律则有 $mg+kv_0=ma_0$；其中 $k=\frac{mg}{v_1}$

解得球抛出瞬间的加速度大小为 $a_0=g\left(1+\frac{v_0}{v_1}\right)$

故 D 错误。

故选 C。

12．C

【详解】AB．由题图乙可知，物块速度减为零时，力F突然反向，由$v_0^2=2a_1x_1$，$v_2^2=2a_2x_2$

代入题图乙中所给数据，解得$a_1=10\text{m/s}^2$，$a_2=4\text{m/s}^2$

则水平向左的力F作用的时间$t_1=\dfrac{v_0}{a_1}=1\text{s}$

1s末力F反向，物块开始做匀加速运动。故AB错误；

CD．力F反向前，由牛顿第二定律有$F+\mu F_N=ma_1$

力F反向后，由牛顿第二定律有$F-\mu F_N=ma_2$

其中$F_N=mg$；解得$F=7\text{N}$，$\mu=0.3$

故C正确；D错误。

故选C。

13．(1) $F=3\text{N}$ (2) $L=4\text{m}$

【详解】（1）若$F<mg$，则有$\dfrac{\mu(mg+F)}{m}\Delta t+\dfrac{\mu(mg-F)}{m}\Delta t=v_0$

则出现矛盾，即$F>mg$，有$\dfrac{\mu(mg+F)}{m}\Delta t+\dfrac{\mu(F-mg)}{m}\Delta t=v_0$

解得$F=3\text{N}$

（2）设第1s内小环的加速度大小为a_1，第2s内小环的加速度大小为a_2，有$a_1=\dfrac{\mu(mg+F)}{m}$；$a_2=\dfrac{\mu(F-mg)}{m}$；

$L=v_0\Delta t-\dfrac{1}{2}a_1(\Delta t)^2+\dfrac{1}{2}a_2(\Delta t)^2$

解得$L=4\text{m}$

14．(1) $a=1.5\times10^3\text{m/s}^2$；(2) 7.8m；(3) 4cm

【详解】（1）礼花弹在发射筒内匀加速上升，有$v^2=2ah_0$；解得$a=1.5\times10^3\text{m/s}^2$

（2）根据牛顿第二定律有$mg+0.2mg=ma_1$；解得$a_1=12\text{m/s}^2$

根据运动学公式有$v^2=2a_1h$；解得$h=37.5\text{m}$

则$H=h_0+h=37.8\text{m}$

（3）根据$v^2-v_1^2=2a_1h\times0.96$；解得$v_1=6\text{m/s}$

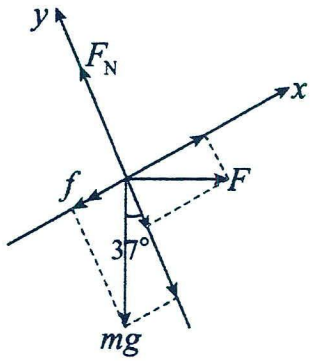
由$v_1=v-a_1t_1$；解得$t_1=2\text{s}$；$L=v_0t_1=2\times2\text{cm}=4\text{cm}$

15．（1）20m/s^2，方向沿细杆向上；10m/s^2，方向沿细杆向下；（2）0.5；（3）120N；（4）见解析

【详解】（1）由图（b）可知，小球在$0\sim0.2\text{s}$内的加速度为$a_1=\dfrac{4-0}{0.2}\text{m/s}^2=20\text{m/s}^2$

方向沿细杆向上；$0.2\sim0.4\text{s}$内的加速度为$a_2=\dfrac{2-4}{0.4-0.2}\text{m/s}^2=-10\text{m/s}^2$

方向沿细杆向下。



（2）$t_1=0.2\text{s}$ 后，停止施加平作用力 F，以小球为对象，

根据牛顿第二定律可得 $-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$

解得小球与细杆之间的动摩擦因数为 $\mu=0.5$

（3）在 $0\sim0.2\text{s}$ 内，对物体进行受力分析如图所示

根据牛顿第二定律可得 $F\cos37°-mg\sin37°-f=ma_1$

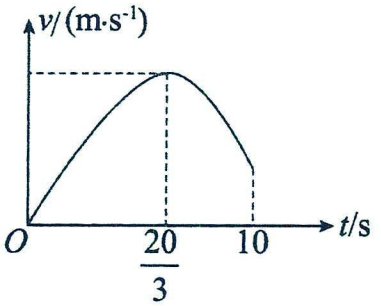
又 $f=\mu F_N=\mu(mg\cos37°+F\sin37°)$

联立解得 $F=120\text{N}$

（4）若拉力 F 的方向改为沿杆向上，其大小满足 $F=60-6t$，物体从静止出发，根据牛顿第二定律可得 $F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

解得 $a=20-3t$

可知一开始加速度大小逐渐减小，方向沿杆向上，物体沿杆向上做加速度减小的加速运动；当加速度为零时，物体速度达到最大，此时有 $20-3t=0$



解得 $t=\frac{20}{3}\text{s}$ $t=\frac{20}{3}\text{s}$ 后，加速度大小逐渐增大，方向沿杆向下，物体沿杆向上做加速度增大的减速运动，根据 $v-t$ 图像的切线斜率表示速度，可得 $0\sim10\text{s}$ 内的 $v-t$ 图像如图所示

第十五讲：牛顿运动定律应用（一）

考点一：

题型一：轻绳与弹簧中的突变

【典型例题】 ：D　　A　　C　　B　　BD

1．D

【详解】AB．剪断 OA 间轻绳瞬间，轻绳拉力突变为零，弹簧弹力 F 瞬间保持不变，

对 A 球列牛顿第二定律 $mg+F=ma$；对 B 球有 $F=mg$；解得 $a_A=2g$；$a_B=0$；故 AB 错误；

CD．剪断 O′C 间轻绳瞬间，轻绳 O′C 拉力突变为零，球 C、D 可视作一个整体，则有 $2mg=2ma$；解得 $a=g$

故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．A

【详解】AB．先对 b 球受力分析，受重力和弹簧 A 的拉力，根据平衡条件，有弹簧 A 的拉力 $F_1=2mg$

再对 a、b 球整体受力分析，受重力、水平力 F 和弹簧 B 的拉力，

根据平衡条件，有弹簧 B 的拉力 $F_2=\dfrac{3mg}{\cos 60°}=6mg$；$F=3mg\tan 60°=3\sqrt{3}mg$

根据胡克定律，有 $F_1=k_1x$；$F_2=k_2x$；得 $k_1:k_2=1:3$；A 正确，B 错误；

C．球 b 受重力和弹簧 A 的拉力，撤去 F 的瞬间，重力和弹簧 A 的拉力都不变，加速度仍然为零，处于平衡状态，C 错误；

D．球 a 原来受重力、水平力 F 和两个弹簧的拉力，撤去 F 瞬间，其余 3 个力不变，合外力与原来的 F 大小相等，方向相反，a 球加速度为 $a_a=\dfrac{3\sqrt{3}mg}{m}=3\sqrt{3}g$；D 错误。

故选 A。

3．C

【详解】撤去挡板前，由平衡条件知挡板对 B 球的弹力大小为 $2mg\sin\theta$，弹簧或杆对 A 的作用力的大小是 $mg\sin\theta$；因弹簧弹力不能突变，而杆的弹力可能突变，所以撤去挡板瞬间，图甲中 A 球所受合力为零，加速度为零，B 球所受合力为 $2mg\sin\theta$，加速度为 $2g\sin\theta$；图乙中撤去挡板后整体将一起沿斜面加速下滑，加速度相等，所以杆的弹力突变为零，A、B 球所受合力均为 $mg\sin\theta$，加速度均为 $g\sin\theta$。

故选 C。

4．B

【详解】剪断 l_1 前，由力的平衡条件可知，图 1、图 2、图 3 中弹簧 S_1 的弹力分别为 $F_1=3mg$，$F_2=2mg$，$F_3=mg$

剪断 l_1 后瞬间，弹簧 S_1 的弹力未变，根据牛顿第二定律，对图 1 中的 a 分析 $F_1-mg=ma_1$；解得 $a_1=2g$

对图 2 中的 a 分析 $F_2+mg=ma_2$；解得 $a_2=3g$ 对图 3 中的 ab 整体分析 $F_3+2mg=2ma_3$；解得 $a_3=1.5g$

故选 B。

5．BD

【详解】AB．三球以相同的加速度竖直向下做匀加速直线运动时，设轻绳中的拉力大小为 T_1，弹簧中的拉力大小为 T_2，根据牛顿第二定律，对三球整体有 $3mg - F = 3ma_1$；解得 $a_1 = \frac{1}{3}g$

对 C 有 $mg + T_1 - F = ma_1$；对 A 有 $mg - T_2 = ma_1$；解得 $T_1 = \frac{4}{3}mg$；$T_2 = \frac{2}{3}mg$；故 A 错误，B 正确；

C．撤去力 F 的瞬间，弹簧弹力不变，大小仍然为 T_2，A 的加速度大小仍为 $a_1 = \frac{1}{3}g$，故 C 错误；

D．根据牛顿第二定律，撤去力 F 瞬间，对 B、C 整体有 $T_2+2mg = 2ma_2$；解得 $a_2 = \frac{4}{3}g$；故 D 正确。

故选 BD。

【变式训练】：AC　　B　　A　　C　　B

1．AC

【详解】细线被烧断的瞬间，细线的拉力立即减为零，但弹簧的弹力不会瞬间发生改变；系统静止时，根据平衡条件可知：对 B 球 $F_{弹} = mg\sin\theta$；对 A 球 $F_{绳} = F_{弹}+mg\sin\theta$

细线被烧断的瞬间，细线的拉力立即减为零，但弹簧的弹力不发生改变，则 B 球受力情况未变，瞬时加速度为零；；对 A 球根据牛顿第二定律得加速度大小为 $a = \frac{F_{弹}+mg\sin\theta}{m} = 2g\sin\theta$；方向沿斜面向下。

故选 AC。

2．B

【详解】A．平衡时，以重物为对象，有 $F_{甲} = mg\sin 30° = \frac{1}{2}mg$，$F_{乙} = mg\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$

可得甲、乙的拉力之比为 $F_{甲}:F_{乙} = 1:\sqrt{3}$；故 A 错误；

B．两橡皮绳的伸长量相同，根据 $F = kx$；可得橡皮绳甲、乙的劲度系数之比为 $k_{甲}:k_{乙} = F_{甲}:F_{乙} = 1:\sqrt{3}$ 故 B 正确；

C．剪断橡皮绳甲的瞬间，橡皮绳乙的拉力不变，则橡皮绳乙的拉力和重力的合力大小等于剪断前橡皮绳甲的拉力，根据牛顿第二定律可得物体的加速度大小为 $a = \frac{F_{合}}{m} = \frac{F_{甲}}{m} = \frac{1}{2}g$，故 C 错误；

D．剪断橡皮绳乙的瞬间，橡皮绳甲的拉力不变，则橡皮绳甲的拉力和重力的合力大小等于剪断前橡皮绳乙的拉力，根据牛顿第二定律可得物体的加速度大小为 $a' = \frac{F'_{合}}{m} = \frac{F_{乙}}{m} = \frac{\sqrt{3}}{2}g$，故 D 错误。

故选 B。

3．A

【详解】剪断前，对 BCD 分析 $F_{AB} = (3m+2m+m)g$；对 D $F_{CD} = mg$

剪断后，对 B $F_{AB}-3mg = 3ma_B$；解得 $a_B = g$；方向竖直向上；

对 C $F_{DC}+2mg = 2ma_C$；解得 $a_C = 1.5g$；方向竖直向下。

故选 A。

4．C

【详解】ABC．剪断 c 与 d 间的线之前，整个系统处于静止状态，根据题意可知弹簧对 b 的作用力方向向下，大小为$F=mg$

以 cd 为研究对象，c 与 b 间的线对 cd 的拉力为$F_1=2mg$

设物体质量 b 为 M，以 b 为研究对象，则有$F_1-F=Mg$；解得$M=m$

将 c 与 d 间的线剪断瞬间，cd 间绳子的拉力突变为 0，弹簧对 b 的作用力不变，b 与 c 的加速度 a 大小相等，设此时 bc 间绳子的拉力为 T，以 c 为研究对象，由牛顿第二定律有$T-mg=ma$

以 bc 整体为研究对象，由牛顿第二定律有$mg=2ma$；代入数据解得$a=0.5g$；$T=1.5mg$

故 AB 项错误，C 项正确；

由上分析可知，剪断线后，b 往下运动，当 b 速度最大时，bc 加速度均为零，设此时弹簧弹力为F_2，以 bc 整体为研究对象，由平衡条件可得$F_2-mg+mg=0$；解得$F_2=0$

即当 b 速度最大时，弹簧的弹力为零，b 下降的距离等于弹簧长度的变化量，根据胡克定律可得弹簧变化量为$\Delta x=\frac{F-F_2}{k}=\frac{mg}{k}$，故 D 项错误。

故选 C。

5．B

【详解】A．滑块 Q 向右做匀速直线运动，根据平衡条件可得$f=\mu mg=F_{弹}=k\Delta x$

弹簧的伸长量为$\Delta x=\frac{\mu mg}{k}$，故 A 错误；

B．两滑块向右一起做匀速直线运动，对两滑块受力分析，可得拉力 F 的大小为$F=2f=2\mu mg$，故 B 正确；

C．撤去拉力 F 瞬间，弹簧弹力不发生突变，P 的加速度为$a_{\mathrm{P}}=\frac{F_{弹}+f}{m}=2\mu g$，故 C 错误；

D．撤去拉力 F 瞬间，弹簧弹力不发生突变，滑块 Q 受力不变，加速度为零，故 D 错误。

故选 B。

题型二：接触面弹力突变

【典型例题】 ：D　　AC

1．D

【详解】用剪刀把绳子剪断的瞬间，物块有竖直方向的加速度$a_y=g=10\mathrm{m/s^2}$，

因物块完全失重，物块对木箱压力为零，

则水平方向不受摩擦力，只受弹簧的拉力，则$a_x=\frac{F}{m}=5\mathrm{m/s^2}$，可知物块的加速度大小$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=5\sqrt{5}\mathrm{m/s^2}$

故选 D。

2．AC

【详解】A．在剪断轻绳前，小球受重力、绳子的拉力以及弹簧的弹力处于平衡，根据共点力平衡得弹簧的弹力为$F=mg\tan 45°=1\times10\times1\mathrm{N}=10\mathrm{N}$

剪断轻绳的瞬间，弹簧的弹力不能突变，故大小等于mg为10N，故A正确；

BCD．剪断轻绳的瞬间，绳的拉力突变为零，

根据牛顿第二定律得小球的加速度为$a=\frac{F}{m}=\frac{10}{1}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$

因弹簧弹力方向向左，故合力方向向左，加速度方向向左；故C正确，BD错误。

故选AC。

【变式训练】：BC　　C

1．BC

【详解】A．取物块A、B、C为整体，根据牛顿第二定律$F=(m+m+m)a$；解得$a=3\mathrm{m/s^2}$

设弹簧弹力为F_1，对BC整体为研究对象，根据牛顿第二定律$F_1=(m+m)a=6\mathrm{N}$，故A错误；

B．设B、C间的摩擦力大小为f，取C为研究对象，根据牛顿第二定律$f=ma=3\mathrm{N}$，故B正确；

C．拿走C的瞬间，弹簧弹力F_1不变，根据牛顿第二定律，对B分析$F_1=ma_\mathrm{B}$，解得B的加速度大小为$a_\mathrm{B}=6\mathrm{m/s^2}$

故C正确；

D．拿走C的瞬间，A的受力没有发生任何变化，故加速度不变，为$a=3\mathrm{m/s^2}$，故D错误。

故选BC。

2．C

【详解】在抽出木板的瞬间，由于物块1、2间用竖直刚性轻质杆连接，以物块1、2与刚性轻杆为整体，根据牛顿第二定律可得$a=\frac{(m+M)g}{m+M}=g$，则有$a_1=a_2=g$

由于物块3、4间的轻弹簧的形变还来不及改变，此时弹簧对物块3向上的弹力大小和对物块4向下的弹力大小仍为mg，因此物块3满足$a_3=\frac{mg-F_{弹}}{m}=0$

由牛顿第二定律得物块4的加速度为$a_4=\frac{F_{弹}+Mg}{M}=\frac{m+M}{M}g$

故选C。

题型三：部分加速度相同

【典型例题】：BD　　BD

1．BD

【详解】AB．细线被剪断前，弹簧的弹力为$kx=4mg\sin\theta$

剪断细线的瞬间，由于弹簧弹力不能突变，弹簧弹力不变，由牛顿第二定律得$kx-2mg\sin\theta=2ma$

则系统AB的加速度$a=g\sin\theta$，方向沿斜面向上，故A错误，B正确；

D．以B为研究对象，设轻杆对B的拉力为FAB，由牛顿第二定律得$F_{AB}-mg\sin\theta=ma$

其中B的加速度$a=g\sin\theta$；解得$F_{AB}=2mg\sin\theta$；D正确；

C．细线剪断的瞬间，C球只受重力和支持力，有$2mg\sin\theta=2ma$；

D．加速度沿斜面向下，大小为$a=g\sin\theta$，故C错误。

故选BD。

2．BD

【详解】A．在轻绳刚断的瞬间，弹簧的弹力不能突变，则物体 B 受力情况不变，故物体 B 的加速度大小为零，故 A 错误；

BCD．假设 A、C 间的弹力为零，C 的加速度为 2g，A 的加速度为 g，可见 C 超前运动，即 C 和 A 实际为一个整体，根据牛顿第二定律得 $F+2mg=2ma_{AC}$；其中 $F=mg$；解得 $a_{AC}=a_A=a_C=1.5g$

对 A 受力分析，由牛顿第二定律 $N_{AC}+mg=ma_A$

可得，物体 C 与吊篮 A 间的弹力大小为 $N_{AC}=0.5mg$；故 BD 正确，C 错误。

故选 BD。

【变式训练】：BD　　BD　　C

1．BD

【详解】A．木块 C 放在 A 上的瞬间，弹簧没有发生突变，弹力大小不变，即弹簧的弹力大小仍然为 mg，故 A 错误；

B．结合上述可知，木块 C 放在 A 上的瞬间，弹簧没有发生突变，弹簧的形变量不变，故 B 正确；

C．结合上述可知，木块 C 放在 A 上的瞬间，弹簧没有发生突变，B 对水平面的压力大小与没有放 C 之前一样，即变为 B 对水平面的压力大小为 2mg，故 C 错误；

D．结合上述可知，A 所受弹力与 A 的重力平衡，对 A、C 整体，根据牛顿第二定律有 $2mg=(m+2m)a$，解得 $a=\frac{2}{3}g$

故 D 正确。

故选 BD。

2．BD

【详解】A．轻绳 b 被烧断的瞬间，A 受力平衡，合力为零，则轻绳 a 的拉力大小 $F_T=mg\sin\theta$，A 错误；

BC．轻绳 b 被烧断的瞬间，B、杆与 C 的加速度相同，对 B、杆和 C 整体进行受力分析，

并根据牛顿第二定律有（2m＋3m）$g\sin\theta=(2m+3m)a_0$，解得 $a_0=g\sin\theta$，方向沿斜面向下，可知 B 正确，C 错误；

D．对 B 进行受力分析并根据牛顿第二定律有 $2mg\sin\theta+F=2ma_0$，解得杆对 B 的弹力 F＝0，D 正确。

故选 BD。

3．C

【详解】剪断细线后，弹簧的弹力不变，则甲的受力不变，加速度 $a_1=0$

对于乙和丙整体，弹簧向下的拉力为 mg，根据牛顿第二定律 $mg+5mg=5ma_2$，解得 $a_2=1.2g$

即乙的加速度为 $a_2=1.2g$；对于丙 $3mg+F=3ma_2$；解得 $F=0.6mg$

故选 C。

题型四：切向加速度

【典型例题】 ：A

1．A

【详解】A．剪断细线 a 瞬间，细线 b 的拉力发生突变，P 球将做圆周运动，细线 b 的拉力大小为$T_b = mg\cos\theta$

故 A 正确；

B．剪断细线 c 前，根据平衡条件弹簧 d 的拉力大小为$T_d = \dfrac{mg}{\cos\theta}$

剪断细线 c 瞬间，弹簧 d 的拉力不发生突变，弹簧 d 的拉力大小为$\dfrac{mg}{\cos\theta}$，故 B 错误；

C．剪断细线 a 瞬间，细线 b 的拉力发生突变，P 球将做圆周运动，

P 球的加速度为$a_{\mathrm{P}} = \dfrac{mg\sin\theta}{m} = g\sin\theta$；故 C 错误；

D．剪断细线 c 前，根据平衡条件细线 c 的拉力大小为$T_c = mg\tan\theta$

剪断细线 c 瞬间，弹簧 d 的拉力不发生突变，Q 球的加速度为$a_{\mathrm{Q}} = \dfrac{T_c}{m} = g\tan\theta$；故 D 错误。

故选 A。

【变式训练】 ：C　　AC

1．C

【详解】AB．对两球的整体，对细线 a，竖直方向$T_a\cos 30^\circ = 2mg$

解得细线 a 上的张力大小为$T_a = \dfrac{4mg}{\sqrt{3}}$，细线 c 上的张力大小为$T_c = T_a\sin 30^\circ = \dfrac{2mg}{\sqrt{3}}$；选项 AB 错误；

CD．剪断细线 b 瞬间小球 1 的加速度大小为$a_1 = \dfrac{mg\sin 30^\circ}{m} = \dfrac{g}{2}$；选项 C 正确，D 错误；

故选 C。

2．AC

【详解】AB．设弹簧弹力为 F，以两球为整体，由平衡条件可得$T_{\mathrm{A}}\sin 30^\circ = F$；$T_{\mathrm{A}}\cos 30^\circ = (m_{\mathrm{M}} + m_{\mathrm{N}})g$

对小球 M 受力分析，由平衡条件可得$T_{\mathrm{B}}\sin 45^\circ = F$；$T_{\mathrm{B}}\cos 45^\circ = m_{\mathrm{M}}g$

联立可得球 M 和球 N 的质量之比$\dfrac{m_{\mathrm{M}}}{m_{\mathrm{N}}} = \dfrac{\sqrt{3}+1}{2}$；轻绳 A 和弹簧 C 的弹力之比为$\dfrac{T_{\mathrm{A}}}{F} = \dfrac{2}{1}$，故 A 正确，B 错误；

CD.剪断轻绳 B 的瞬间，球 N 将做圆周运动，垂直绳 A 方向，即沿切线方向根据牛顿第二定律可得$m_{\mathrm{N}}g\sin 30^\circ = m_{\mathrm{N}}a_{\mathrm{N}}$

可得球 N 的加速度大小为$a_{\mathrm{N}} = \dfrac{1}{2}g$

弹簧弹力不变，对于小球 M 由牛顿第二定律得$\sqrt{F^2 + (m_{\mathrm{M}}g)^2} = m_{\mathrm{M}}a_{\mathrm{M}}$，而$F = m_{\mathrm{M}}g$

联立解得球 M 的加速度大小为$a_{\mathrm{M}} = \sqrt{2}g$，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

考点二：等时圆模型

题型一：等时圆

【典型例题】 ：C D

1．C

【详解】设杆 AB 长为 l，与水平方向的夹角为 θ，圆环的质量为 m，对圆环 a，根据牛顿第二定律可得 mgsin θ=ma；可得 a=gsin θ

由运动学公式可得 $l=\frac{1}{2}at^2$；由几何关系可知 l= 2Rsin θ；解得 $t=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

则圆环的下滑时间与杆的倾角和杆长无关，同理可得圆环 b、c、d 的下滑时间同为 $t=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

故选 C。

2．D

【详解】设轨道 AB 与竖直方向的夹角为 α，

则物体在轨道 AB 上运动的加速度大小为 $a=\frac{mg\cos\alpha}{m}=g\cos\alpha$

根据运动学公式可得 $x_{AB}=2R\cos\alpha=\frac{1}{2}at_{AB}^2$；解得 $t_{AB}=\sqrt{\frac{4R\cos\alpha}{a}}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

设轨道 CD 与竖直方向的夹角为 β，则物体在轨道 CD 上运动的加速度大小为 $a'=\frac{mg\cos\beta}{m}=g\cos\beta$

根据运动学公式可得 $x_{CD}=(2R+2r)\cos\beta=\frac{1}{2}a't_{CD}^2$

解得 $t_{CD}=\sqrt{\frac{2(2R+2r)\cos\beta}{a'}}=\sqrt{\frac{4(R+r)}{g}}=2\sqrt{\frac{R+r}{g}}$，则有 $t_{AB}<t_{CD}$

故选 D。

【变式训练】 ：A C A

1．A

【详解】设弦与竖直方向夹角为 θ，球的半径为 R，

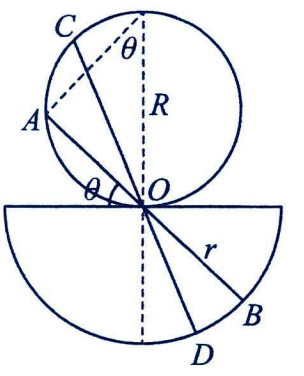
由小环沿弦做匀加速运动有 $2R\cos\theta=\frac{1}{2}g\cos\theta t^2$，解得运动时间为 $t=2\sqrt{\frac{R}{g}}$

与弦与竖直方向夹角无关，所以小环运动到最低点的时间相等。

故选 A。

2．C

【详解】AB．设 AB 与水平方向的夹角为 θ，上边的圆半径为 R，下面的半圆半径为 r，如图：



对 AO 边：由几何关系可得 AO=2Rsin θ，物块在 AB 上滑动的加速度大小为 a，根据牛顿第二定律可得 mgsin θ=ma，解得 a=gsin θ

根据位移时间关系可得$2R\sin\theta=\frac{1}{2}at_{AO}^2$，解得$t_{AO}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

由此可知，从A、C到O下滑的时间与倾角无关，所以有$t_{AO}=t_{CO}$，AB错误；

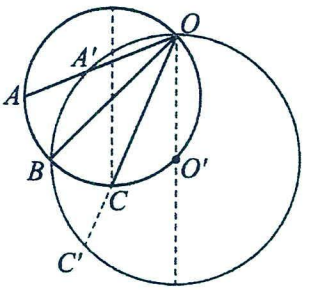
CD．对AB边：AB的长度为L=2Rsinθ+r，根据运动学公式可得：$L=\frac{1}{2}at^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2L}{a}}=\sqrt{\frac{4R}{g}+\frac{2r}{g\sin\theta}}$

由图可知，CD的倾角大于AB的倾角，倾角越大sinθ越大，则滑块经过的时间越短，所以有$t_{AB}>t_{CD}$

C正确、D错误。

故选C。

3．A



【详解】从图中O点做竖直线，以OB为弦做圆O'，圆O'与OA相交于A'点，圆O'与OC延长线相交于C'点，如图所示

由等时圆模型可知，小球沿光滑轨道OA'、OB、OC'所用时间相等，由图可知，小球沿光滑轨道OA所用时间大于沿光滑轨道OB所用时间，小球沿光滑轨道OC所用时间小于沿光滑轨道OB所用时间，则有$t_1>t_2>t_3$

故选A。

题型二：等时三角形

【典型例题】 ：BC　　AC　　BC

1．BC

【详解】A．设斜面的倾角为θ，斜面高为h，则下滑的加速度$mg\sin\theta=ma$；解得$a=g\sin\theta$

下滑的位移$x=\frac{h}{\sin\theta}$；根据$x=\frac{1}{2}at^2$；解得$t=\sqrt{\frac{2h}{g(\sin\theta)^2}}$，故倾角越大下落的时间越短，A错误；

B．设轨道的底边长为L，斜面的倾角为θ，则倾斜轨道的长度$x=\frac{L}{\cos\theta}$

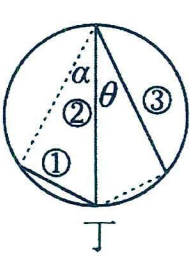
根据牛顿第二定律$mg\sin\theta=ma$；解得$a=g\sin\theta$

根据$x=\frac{1}{2}at^2$解得$t=\sqrt{\frac{4L}{g\sin 2\theta}}$；将θ角带入则$t_2<t_1=t_3$，B正确；

C．设斜面长为L，斜面的倾角为θ，根据牛顿第二定律$mg\sin\theta=ma$，解得$a=g\sin\theta$

根据$L=\frac{1}{2}at^2$；解得$t=\sqrt{\frac{2L}{g\sin\theta}}$；即倾角越小时间越长$t_1<t_2<t_3$；C正确；

D．如图，设圆轨道半径为R，从轨道②下落时，根据$2R=\frac{1}{2}gt_2^2$；解得$t_2=\sqrt{\frac{4R}{g}}$



丁

从轨道③下落时，沿轨道下落时的加速度$mg\cos\theta=ma$；解得$a=g\cos\theta$

轨道的长$L=2R\cos\theta$；根据$L=\frac{1}{2}at_3^3$；解得$t_3=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

从轨道①下落时，沿轨道下落时的加速度，根据牛顿第二定律$mg\sin\alpha=ma$；解得$a=g\sin\alpha$

轨道的长$L=2R\sin\alpha$，根据$L=\frac{1}{2}at_1^2$；解得$t_1=\sqrt{\frac{4R}{g}}$；$t_1=t_2=t_3$；D 错误。

故选 BC。

2．AC

【详解】设圆半径为 R，从 A 点开始的倾斜直轨道与水平方向的夹角为θ，则小球下滑的加速度为$a=g\sin\theta$；

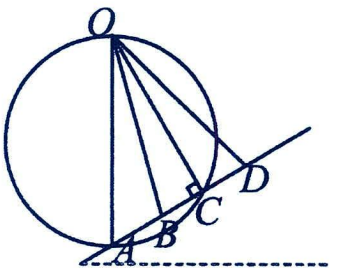
根据运动公式$2R\cos\theta=\frac{1}{2}at^2$；解得$t=\sqrt{\frac{4R}{g\tan\theta}}$

因θ越大，则时间越短，可知球 a 运动到 B 点所用的时间最短，球 c 运动到 C 点所用的时间最长。

故选 AC。

3．BC

【详解】以 OA 为直径画圆，如图所示



若设杆与竖直方向的夹角为 θ，对小滑环受力分析，由牛顿第二定律可得

$mgcos\theta=ma$；解得$a=gcos\theta$

由几何关系，小滑环沿弦下滑的位移$x=2Rcos\theta$

据$x=\frac{1}{2}at^2$，解得$t=\sqrt{\frac{2x}{a}}=\sqrt{\frac{4Rcos\theta}{gcos\theta}}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

即从圆上最高点沿任一条光滑弦滑到底所用的时间相同．则沿 OA 和 OC 滑到斜面的时间相同，有$t_1=t_3$

OB 不是一条完整的弦，时间最短；OD 的长度超过一条弦，时间最长；综上$t_4>t_3=t_1>t_2$

故选 BC。

【变式训练】：C　　C　　D

1．C

【详解】设屋檐的底角为θ，底边为 L，注意底边长度是不变的，雨滴下滑时有

$\frac{L}{2\cos\theta}=\frac{1}{2}at^2$；$a=g\sin\theta$；联立解得；$t=\sqrt{\frac{L}{g\sin\theta\cos\theta}}=\sqrt{\frac{2L}{g\sin2\theta}}$

因此，当$\theta=45°$时，时间最短，故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

2．C

【详解】对物块沿 A 板或 D 板运动到 a 点过程进行分析，设最低点 a 到竖直直线的距离为 x，斜板与水平方向的夹角为 θ，则斜板长为$L=\frac{x}{\cos\theta}$

根据牛顿第二定律可得物块的加速度为$a=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta$

根据运动学公式可得$L=\frac{1}{2}at^2$

解得 $t=\sqrt{\frac{2L}{g\sin\theta}}=\sqrt{\frac{4x}{2g\sin\theta\cos\theta}}=2\sqrt{\frac{x}{g\sin 2\theta}}$

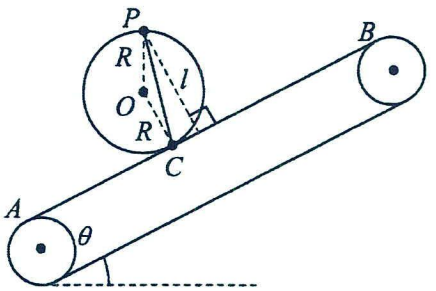
由于 A 板与 D 板最低点交于一点 a（d），则 x 相等，且两板与竖直墙面的夹角分别为 30°、60°，则与水平方向的夹角为 60° 和 30°，则 sin2θ 相等，所以有 $t_A=t_D$

根据等时圆原理可知 $t_D>t_B>t_C$；故有 $t_A=t_D>t_B>t_C$

故选 C。

3．D

【详解】如图所示，以 P 处为圆的最高点作圆 O 与传送带相切于 C 点，设圆 O 的半径为 R，从 P 处建立一管道到圆周上，管道与竖直方向的夹角为 α，原料下滑的加速度为 $a=\frac{mg\cos\alpha}{m}=g\cos\alpha$



管道长度为 $L=2R\cos\alpha$

由运动学公式可得 $L=\frac{1}{2}at^2$

解得 $t=\sqrt{\frac{2L}{a}}=\sqrt{\frac{2\times 2R\cos\alpha}{g\cos\alpha}}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

可知从 P 处建立任一管道到圆周上，原料下滑的时间相等，故在 P 与 AB 传送带间建立一管道 PC，原料从 P 处到传送带上所用时间最短；根据图中几何关系可得 $R+R\cos\theta=l$；可得 $R=\frac{l}{1+\cos\theta}=\frac{l}{2\cos^2\frac{\theta}{2}}$

联立可得 $t=\sqrt{\frac{4\times\frac{l}{2\cos^2\frac{\theta}{2}}}{g}}=\frac{1}{\cos\frac{\theta}{2}}\sqrt{\frac{2l}{g}}$

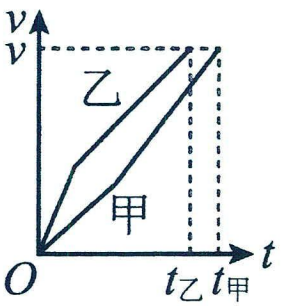
故选 D。

题型三：“等路程”问题

【典型例题】 ：C

1．C

【详解】做出两个物体的速度图像，二者的位移相等，则图像的面积相等，由图像可以看出 $t_{甲}>t_{乙}$，C 正确，ABD 错误。



故选 C。

【变式训练】 ：AC

1．AC

【详解】AB．设长边 L_1、加速度 a_1；短边 L_2、加速度 a_2。过转折点时 v_{A1} 有 $v_{A1}^2=2a_1L_1$

A 到底点速度 v_A 有 $v_A^2-v_{A1}^2=2a_2L_2$

所以 $v_A^2=2a_2L_2+2a_1L_1$

同理可以算 B 到底点速度大小与 A 相同，A 正确，B 错误。

CD．由于 AB 所走路程相同 $\frac{1}{2}a_1t_{A1}^2+a_1t_{A1}t_{A2}+\frac{1}{2}a_2t_{A2}^2=\frac{1}{2}a_2t_{B1}^2+a_2t_{B1}t_{B2}+\frac{1}{2}a_1t_{B2}^2$

可转化成 $a_1t_{A1}^2+2a_1t_{A1}t_{A2}-a_1t_{B2}^2=a_2t_{B1}^2+2a_2t_{B1}t_{B2}-a_2t_{A2}^2$

由于 $a_1<a_2$，所以 $t_{A1}^2+2t_{A1}t_{A2}-t_{B2}^2>t_{B1}^2+2t_{B1}t_{B2}-t_{A2}^2$

可得 $t_{A1}^2+2t_{A1}t_{A2}+t_{A2}^2>t_{B1}^2+2t_{B1}t_{B2}+t_{B2}^2$

即 $(t_{A1}+t_{A2})^2>(t_{B1}+t_{B2})^2$ ；选项 C 正确，D 错误；

故选 AC。

考点三：超重与失重

题型一：基础应用

【典型例题】 ：C D

1．C

【详解】A．踏板对人的作用力和人对踏板的作用力是一对作用力与反作用力，根据牛顿第三定律可知，相互作用力大小相等，作用方向相反，故 A 错误；

B．当人开始向上弹起时，高跷对人向上的支持力大于人的重力，人处于超重状态；当人向上运动并减速时，高跷对人向上的支持力小于人的重力，人处于失重状态，故 B 错误；

C．当弹簧压缩到最低点时，人的速度已经为 0，并要开始向上做加速运动，则高跷对人的作用力大于人的重力，故 C 正确；

D．当人从最高点开始下落时，人处于完全失重状态，人做自由落体运动；当弹簧触地时，弹簧会向上产生弹力，并且弹力随着压缩量的增加而增大，所以人会先做加速度减小的加速运动，后做加速度增加的减速运动，故 D 错误。

故选 C。

2．D

【详解】A．由图可知该同学在 1.5s 前受力平衡，根据实际情况只能是处于静止状态，且弹力大小等于重力，有 $mg=400\text{N}$；解得 m=40kg；故 A 错误；

B．弹力大小小于重力时处于失重状态，弹力大小大于重力时处于超重状态，则该同学在 6.6s~7.4s 内先处于失重状态，后处于超重状态，最后一段又处于失重状态，故 B 错误；

C．该同学在 0~7.4s 内的最大加速度为弹力最大的时刻对应的加速度，由牛顿第二定律有

$a_{\max}=\frac{F_{\max}-mg}{m}=\frac{1400-40\times10}{40}\text{m/s}^2=25\text{m/s}^2$；故 C 错误；

D．由题图可知，该同学在 4.6~6.6s 内，先做竖直上抛后做自由落体运动，根据对称性可知，上升和下落时间均为 $t=1\text{s}$，则该同学在 4.6~6.6s 内离开蹦床上升的最大高度为 $h=\frac{1}{2}gt^2=5\text{m}$；故 D 正确。

故选 D。

【变式训练】：A　　B

1．A

【详解】A．由题意可知，在0~4s内加速度为正值，方向向上，由牛顿第二定律得$F-mg=ma$

解得$F=mg+ma$

4s~6s加速度为负值，方向向下，由牛顿第二定律得$mg-F=ma$；解得$F=mg-ma$

可知F先大于mg，后小于mg，故物块先超重后失重，弹簧秤的示数先增大后减小，故A正确；

B．2s~4s，加速度为正值，方向向上，物块处于超重状态；4s~6s，加速度为负值，方向向下，物块处于失重状态。 根据a-t图像中图线下的“面积”为速度的变化量， t轴上方面积为正值，t轴下方面积为负值，2s~6s，图像中图线下的“面积”代数和为零，则2s~6s内物块先超重后失重，速度变化量为零，故B错误；

C．0~6s内物块先超重后失重。根据a-t图像中图线下的“面积”为速度的变化量，则有

$$\Delta v=\frac{1+2}{2}\times 2\mathrm{m/s}+\frac{1}{2}\times 2\times 2\mathrm{m/s}-\frac{1}{2}\times 2\times(-2)\mathrm{m/s}=3\mathrm{m/s}$$

因物块从静止开始运动，故t=6s的速度为$v_6=\Delta v=3\mathrm{m/s}$

即6s时物块的运动方向向上，故C错误；

D．根据牛顿第二定律，在t=2s时有$F_2-mg=ma_2$；解得$F_2=mg+ma_2=(g+2)m$

在t=6s时有$F_6=mg-ma_6$；解得$F_6=mg-ma_6=(g-2)m$

故弹簧秤在2s末和6s末的示数不相同，a-t图像中图线下的“面积”为速度的变化量，物块在2s~6s速度变化量为零，因此有$v_2=v_6$，物块在2s末和6s末速度等大同向，故D错误。

故选A。

2．B

【详解】A．由图像可知$0\sim t_1$时间内，加速度向上逐渐变大，速度逐渐增大，t_1时刻加速度最大，而速度还在继续增大，故A错误；

B．由图可知，t_2时刻后加速度方向向下，为失重状态，速度方向向上，所以向上做减速运动，故B正确；

C．$t_1\sim t_2$时间内，加速度的方向依然向上，应处于超重状态，故C错误；

D．对手机进行受力分析可知，$t_1\sim t_2$时间内，有$F_N-mg=ma$

该段时间内，a逐渐减小，因此支持力F_N逐渐减小，故D错误。

故选B。

题型二：电梯问题

【典型例题】：B　　D

1．B

【详解】以重物为对象，根据牛顿第二定律可得$mg-F=ma$；其中$mg=10\mathrm{N}$，$F=8\mathrm{N}$

解得加速度大小为$a=2\mathrm{m/s^2}$

方向向下，则电梯可能向上减速运动，也可能向下加速运动，加速度大小为$2\mathrm{m/s^2}$。

故选 B。

2．D

【详解】A．18~20s 过程中，物体的重力保持不变，故 A 错误；

B．匀速运动时，根据受力平衡可得$F=mg=30\mathrm{N}$；解得该物体的质量为$m=3\mathrm{kg}$；故 B 错误；

C．0～4s 内电梯处于超重状态，根据牛顿第二定律可得$F_{\max}-mg=ma_{\mathrm{m}}$

解得最大加速度大小为$a_{\mathrm{m}}=\dfrac{F_{\max}-mg}{m}=\dfrac{50-30}{3}\mathrm{m/s^2}=6.67\mathrm{m/s^2}$；故 C 错误；

D．18～22s 内电梯处于失重状态，根据牛顿第二定律可得$mg-F_{\min}=ma'_{\mathrm{m}}$

解得最大加速度大小为$a'_{\mathrm{m}}=\dfrac{mg-F_{\min}}{m}=\dfrac{30-10}{3}\mathrm{m/s^2}=6.67\mathrm{m/s^2}$；故 D 正确。

故选 D。

【变式训练】：D　　BC

1．D

【详解】AB．由$v\sim t$图像任意点切线的斜率为加速度可知，在0～4s内，乘客加速下降，加速度 a 竖直向下，加速度 a 先增大后减小，根据牛顿第二定律有$G-F_1=ma$，乘客受到地面对乘客的支持力F_1小于重力 G，且支持力F_1先减小后增大，由牛顿第三定律知乘客对电梯的压力F_1先减小后增大，故 AB 错误；

CD．在7s～11s内，乘客减速下降，加速度 a 竖直向上，根据牛顿第二定律有$F_2-G=ma$

加速度先增大后减小，乘客受到地面对乘客的支持力F_2大于重力 G，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

2．BC

【详解】A．　由乙图可知当加速度向下为$a=\dfrac{mg-F}{m}=2m/s$

解得此时钢缆绳拉力的最小值为$F=0.8\times10^4N$；故 A 错误；

B．由乙图可知当加速度向上为$a=\dfrac{F-mg}{m}=2m/s$

解得此时钢缆绳拉力的最大值为$F=1.2\times10^4\mathrm{N}$；故 B 正确；

C．根据$v^2-0=2ah$；可得$ah=\dfrac{v^2}{2}$

则ah的最大值为 h 轴上的梯形面积，所以有$ah=\dfrac{v_{max}^2}{2}=\dfrac{(80+100)}{2}\times2m^2/s^2=180m^2/s^2$；解得$v_{\max}=6\sqrt{10}\mathrm{m/s}$

故 C 正确；

D．电梯由 h=0 上升至 h=100m 的过程中，增加的机械能约为$\Delta E=mgh+\dfrac{1}{2}mv^2=1.18\times10^6J$，故 D 错误。

故选 BC。

题型三：下蹲与起跳

【典型例题】 ：D C

1．D【详解】AB．下蹲过程先向下加速后向下减速，加速度方向先向下后向上，先处于失重后处于超重；起立过程先向上加速后向上减速，加速度方向先向上后向下，先处于超重后处于失重；由图可知，0~5s 内该同学做了 1 次下蹲——起立的动作，故 AB 错误；

C．图中 0.5s 时，人向下的加速度最大，仍处于向下加速阶段，不是处在下蹲的最低点，故 C 错误；

D．由图可知，3s 时处于超重状态，加速度方向竖直向上，故 D 正确。故选 D。

2．C

【详解】A．由图可知运动员的重力为 500 N，即运动员的质量为$m=\frac{G}{g}=\frac{500}{10}\text{kg}=50\text{kg}$，故 A 错误；

B．运动员下蹲的过程，先向下加速再向下减速，则运动员先失重后超重，即在最低点时运动员与台面之间的作用力应大于重力，因此 b 点不是下蹲时的最低点，故 B 错误；

C．运动员在 d 点时，由牛顿第二定律可知$F-mg=ma$；解得$a=20\text{m/s}^2$

运动员在 f 点时与台面之间的作用力为零，因此在 f 点的加速度等于重力加速度 10m/s2

运动员在 d 点的加速度大于 f 点的加速度，故 C 正确；

D．运动员在 e 点时所受的支持力为 650 N>500 N，处于超重状态，故 D 错误。故选 C。

【变式训练】 ：AD C

1．AD

【详解】A．“下蹲”过程中，该运动员先向下加速后向下减速，同时力传感器上的示数先小于重力，后大于重力，则该运动员先处于失重状态后处于超重状态，故 A 正确；

B．“站起”过程中，该运动员先向上加速后向上减速，同时力传感器上的示数先大于重力，后小于重力，则该运动员先处于超重状态后处于失重状态，故 B 错误；

C．“下蹲”时，该运动员对力传感器的压力和力传感器对他的支持力是一对相互作用力，一定大小相等，方向相反，故 C 错误；

D．根据图像可知举重运动员在稳定的站姿和稳定的蹲姿状态中在竖直方向上受平衡力作用，可知该运动员重力为1000 N，则该运动员质量$m=\frac{G}{g}=100\text{ kg}$，

力传感器示数最小时，处于失重状态，此时向下的加速度最大，此加速度大小$a_1=\frac{mg-F_{\min}}{m}=6\text{m/s}^2$

力传感器示数最大时，处于超重状态，此时向上的加速度最大，此加速度大小$a_2=\frac{F_{\max}-mg}{m}=6\text{m/s}^2$

则这段时间内，该运动员加速度的最大值为6m/s^2，故 D 正确。故选 AD。

2．C

【详解】A．开始时人处于平衡状态，人对传感器的压力为 900N，人的重力也为 900N，选项 A 错误；

B．b 到 c 过程中，人对板的压力先小于人的真实重力，后大于人的真实重力，则人先处于失重状态后处于超重状态，选项 B 错误；

C．离开板后人只受重力的作用，处于完全失重状态，选项 C 正确；

D．b 点对应时刻弹力与重力的差值要小于 c 点对应时刻弹力与重力的差值，则人在 b 点对应时刻的加速度要小于在 c 点对应时刻的加速度，选项 D 错误。故选 C。

第十六讲：牛顿运动定律应用（二）

考点一：连接体问题

题型一：“内力公式”的应用

【典型例题】 ：C　　A　　C　　BD　　ACD

1．C

【详解】根据题意可知第 2 节车厢对第 3 节车厢的牵引力为 F，因为每节车厢质量相等，阻力相同，故第 2 节对第 3 节车厢根据牛顿第二定律有 $F-38f=38ma$

设倒数第 3 节车厢对倒数第 2 节车厢的牵引力为 F_1，则根据牛顿第二定律有 $F_1-2f=2ma$；联立解得 $F_1=\frac{F}{19}$。

故选 C。

2．A

【详解】设弹簧劲度系数为 k，在第一种情况下，分别取整体和 b 物块为研究对象，

根据牛顿第二定律得 $F=(m_a+m_b)a_1$；$kx_1=m_ba_1$；解得 $a_1=\frac{F}{m_a+m_b}$；$x_1=\frac{m_bF}{k(m_a+m_b)}$

设斜面倾角为 θ，在第二种情况下，分别取整体和 b 物块为研究对象，根据牛顿第二定律得

$F-(m_a+m_b)g\sin\theta=(m_a+m_b)a_2$；$kx_2-m_bg\sin\theta=m_ba_2$

解得 $a_2=\frac{F-(m_a+m_b)g\sin\theta}{m_a+m_b}$；$x_2=\frac{m_bF}{k(m_a+m_b)}$

在第三种情况下，分别取整体和 b 物块为研究对象，根据牛顿第二定律得

$F-(m_a+m_b)g=(m_a+m_b)a_3$；$kx_3-m_bg=m_ba_3$

解得 $a_3=\frac{F-(m_a+m_b)g}{m_a+m_b}$；$x_3=\frac{m_bF}{k(m_a+m_b)}$

所以有 $a_1>a_2>a_3$；$x_1=x_2=x_3$

故选 A。

3．C

【详解】A．对 A 受力分析，A 受重力、支持力和向右的静摩擦力作用，由此可以知道 C 受重力、A 对 C 的压力、地面的支持力、绳子的拉力、A 对 C 的摩擦力以及地面的摩擦力六个力作用，故 A 错误。

BC．对整体分析，整体的加速度 $a=\frac{F-\mu\cdot6mg}{6m}=\frac{F}{6m}-\mu g$

隔离对 A、C 分析，根据牛顿第二定律得 $F_T-\mu\cdot4mg=4ma$；计算得出 $F_T=\frac{2}{3}F$

当 $F=1.5F_T$ 时，轻绳刚好被拉断，故 B 错误，C 正确；

D．若水平面光滑，绳刚断时，对 A、C 分析，加速度 $a=\frac{F_T}{4m}$

隔离对 A 分析，A 受到的摩擦力 $F_f=ma=\frac{F_T}{4}$；故 D 错误。

故选 C。

4．BD

【详解】AB．若水平面光滑，以 5 个木块为整体，根据牛顿第二定律可得 $F=5ma$

把右面的 4 个物块作为一个整体，设 2 受到 1 的弹力为F_1，根据牛顿第二定律可得$F_1=4ma$

把最右面的 3 个物块作为一个整体，设 3 受到 2 的弹力为F_2，根据牛顿第二定律$F_2=3ma$

依次类推，可以得到弹力之比依次为 4：3：2：1，故 A 错误，B 正确；

CD．若物块与水平面有摩擦，设每个物体与地面的摩擦力为F_f，以 5 个木块为整体，

根据牛顿第二定律可得$F-5F_f=5ma'$

把右面的 4 个物块作为一个整体，设 2 受到 1 的弹力为F_1'，根据牛顿第二定律可得$F_1'-4F_f=4ma'$；解得$F_1'=\frac{4}{5}F$

把最右面的 3 个物块作为一个整体，设 3 受到 2 的弹力为F_2'，

根据牛顿第二定律可得$F_2'-3F_f=3ma'$；解得$F_2'=\frac{3}{5}F$

依次类推，可以得到弹力之比依次为 4：3：2：1，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

5．ACD

【详解】A．以整体为研究对象，加速度$a=\frac{F-2024\mu mg}{2024m}$

以后面的第 1、2、3…2023 个小球为研究对象，根据牛顿第二定律可得可知

$F_1=ma+\mu mg=\frac{F-2024\mu mg}{2024}+\mu mg=\frac{F}{2024}$

$F_2=2ma+\mu\cdot 2mg=\frac{2(F-2024\mu mg)}{2024}+\mu\cdot 2mg=\frac{2F}{2024}$

$F_3=3ma+\mu\cdot 3mg=\frac{3(F-2024\mu mg)}{2024}+\mu\cdot 3mg=\frac{3F}{2024}$

$\cdots\cdots F_{2023}=2023ma+\mu\cdot 2023mg=\frac{2023(F-2024\mu mg)}{2024}\mu\cdot 2023mg=\frac{2023F}{2024}$

即$F_1:F_2:F_3\cdots:F_{2023}=1:2:3:\cdots:2023$；故 A 正确；

B．根据题意，由胡克定律可得$\Delta x=\frac{F}{k}$

则从左到右各弹簧伸长量之比为$1:2:3:\cdots:2023$，从左到右各弹簧长度之比不可能为$1:2:3:\cdots:2023$，故 B 错误；

C．若突然撤去拉力 F 瞬间，由于弹簧的形变量不能瞬变，则除第 2024 个小球以外的小球受力情况不变，加速度不变，对第 2024 个小球，由牛顿第二定律有$F_{2023}+\mu mg=ma'$；解得$a'=\frac{2023F}{2024m}+\mu g$；故 C 正确；

D．设弹簧原长 1，1 和 2 之间的弹簧此时长度$x_1=l+\frac{F_1}{k}$

2023 和 2024 之间的弹簧此时长度$x_2=l+\frac{F_{2023}}{k}$

联立得$l=\frac{2023x_1-x_2}{2022}$

故 D 正确。

故选 ACD。

【变式训练】：D　　D　　B　　D　　D

1．D

【详解】AC．设弹簧弹力的大小为T，对于P、Q整体，

由牛顿第二定律得$F-\mu\left(m_{\mathrm{P}}+m_{\mathrm{Q}}\right)g=\left(m_{\mathrm{P}}+m_{\mathrm{Q}}\right)a$，对Q受力分析有$T-\mu m_{\mathrm{Q}}g=m_{\mathrm{Q}}a$；联立解得$T=\dfrac{m_{\mathrm{Q}}F}{m_{\mathrm{P}}+m_{\mathrm{Q}}}$

可知T与μ无关，因此仅减小水平地面的粗糙程度，弹簧弹力不变，故AC错误；

BD．仅将P、Q的位置对调，同理可得弹簧的弹力$T'=\dfrac{m_{\mathrm{P}}}{m_{\mathrm{P}}+m_{\mathrm{Q}}}F$

因$m_{\mathrm{P}}>m_{\mathrm{Q}}$；则$T'>T$；故B错误，D正确。

故选D。

2．D

【详解】用水平外力F_1向左拉m_1，对m_1有$F_1-T=m_1a_1$；对m_2有$T=m_2a_1$；解得F_1最大值为15N；

用水平外力F_2向右拉m_2，对m_2有$F_2-T=m_2a_2$；对m_1有$T=m_1a_2$；解得F_2最大值为10N。

故选D。

3．B

【详解】A．设每个物体受到的摩擦力为f，对ABC整体分析，由牛顿第二定律得$F-3f=3ma$；解得$a=\dfrac{F-3f}{3m}$

质量增大，加速度减小，故A正确；

B．若橡皮泥粘在A上，根据牛顿第二定律，对BC整体分析有$F-F_1-2f=2ma$；可得$F_1=F-2f-2ma$

因为加速度减小，所以F_1增大，对C物体有$F-F_2-f=ma$；可知，F_2增大，故B错误；

C．若粘在B木块上面，对A有$F_1'-f=ma$；加速度减小，所以F_1'减小，对C有$F-f-F_2'=ma$

所以，F_2'增大，故C正确；

D．若粘在C木块上面，分别以A、B为研究对象，同理可得，绳1、2的拉力都减小，故D正确。

本题选错的，故选B。

4．D

【详解】A．对两物体和弹簧测力计组成的系统，根据牛顿第二定律得整体的加速度$a=\dfrac{F_1-F_2}{m_1+m_2}=\dfrac{40}{8}\mathrm{m/s^2}=5\mathrm{m/s^2}$

隔离m_2，根据牛顿第二定律有$F-F_2=m_2a$；解得$F=45\mathrm{N}$；所以弹簧测力计的示数为45N，A错误；

B．根据$F=\dfrac{m_2}{m_1+m_2}F_1+\dfrac{m_1}{m_1+m_2}F_2$；增大$F_2$，$F$变大，B错误；

C．在突然撤去F_2的瞬间，弹簧的弹力不变，m_1的加速度不变，为$5\mathrm{m/s^2}$，m_2的加速度$a_2=9\mathrm{m/s^2}$C错误；

D．在突然撤去F_1的瞬间，弹簧的弹力不变，m_2的加速度不变，为$5\mathrm{m/s^2}$，m_1的加速度$a_1=15\mathrm{m/s^2}$，D正确。

故选D。

5．D

【详解】对 ABC 整体，可知三个物体加速运动的最大加速度为：$a_m=\frac{2\mu mg}{5m}=0.4\mu g$

此时对 $ABCD$ 整体：$F=6ma_m=2.4\mu mg$；即 $F>2.4\mu mg$，B 和 D 开始相对滑动；

A．当 $F=\mu mg$ 时，四个物体相对静止，此时整体的加速度为：$a_1=\frac{F}{6m}=\frac{\mu mg}{6m}=\frac{1}{6}\mu g$

则 D 的加速度为 $\frac{1}{6}\mu g$，故 A 错误；

B．当 $F=2\mu mg$ 时，四个物体相对静止，此时整体的加速度：$a_2=\frac{F}{6m}=\frac{2\mu mg}{6m}=\frac{1}{3}\mu g$

则 D 的加速度为 $\frac{1}{3}\mu g$，故 B 错误；

C．当 $F=3\mu mg$ 时，此时 D 与 B 已经产生滑动，此时 ABC 系统的加速度为 $0.4\mu g$，即 C 的加速度为 $0.4\mu g$，故 C 错误；

D．当 $F=4\mu mg$ 时，此时 D 与 B 已经产生滑动，此时 ABC 系统的加速度为 $0.4\mu g$，即 C 的加速度为 $0.4\mu g$，故 D 正确；

故选 D。

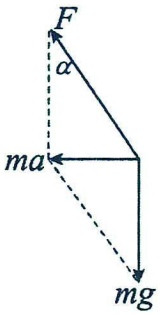
题型二：加速度相同

【典型例题】 ：D　　CD　　AB　　A　　A

1．D

【详解】AB．当小车静止时，球处于平衡状态，则杆对小球的作用力 $F=mg$；方向竖直向上，故 AB 错误；

C．当小车向左以加速度 a 运动时，受力如下图所示，则球的合力为 $F_{合}=ma$



当加速度大小 $a=g\tan\theta$；则杆的作用力 $F=\frac{ma}{\sin\theta}$；否则 $F\neq\frac{ma}{\sin\theta}$

故 C 错误。

D．当小车向右以加速度 a 运动时，F 的水平分力向右，且大小等于 ma，F 的竖直分力向上，且大小等于 mg，则根据力的合成可得 $F=\sqrt{(ma)^2+(mg)^2}$；故 D 正确。

故选 D。

2．CD

【详解】A．如不计空气阻力，将物体竖直上抛，物体的加速度为 g，处于完全失重状态，故四个压力均为零，故 A 错误；

B．如不计空气阻力，将物体竖直上抛向右平抛，物体的加速度为 g，处于完全失重状态，故四个压力均为零，故 B 错误；

C．如空气阻力不能忽略，将物体竖直上抛，上升过程中，整体受重力和向下的空气阻力，加速度大于 g；假设球不受弹力，加速度为 g，球会相对木箱向上运动，故实际情况是球与木箱上侧有挤压，故 $N_1\neq0$，$N_2=0$，故 C 正确；

D．如空气阻力不能忽略，将物体自由落下，整体受重力和向上的空气阻力，加速度小于 g；假设球不受弹力，

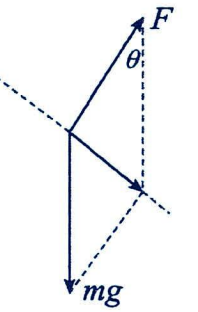
加速度为 g，球会相对木箱向下运动，故实际情况是球与木箱下侧有挤压，故 $N_1=0$，$N_2\neq 0$，故 D 正确。

故选 CD。

3．AB

【详解】A．c 球受重力和拉力两个力，两个力的合力不等于零，受力如图所示

c 球与 a 环以共同的加速度向下滑，对 c 球有 $a=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta$



则 a 环的加速度为 gsin θ，做匀加速直线运动，故 A 正确；

BC．对球 d 隔离分析，只受重力和竖直方向的拉力，因此球 d 的加速度为零，因为 b 和 d 相对静止，因此 b 的加速度也为零，可知 b 环受重力、支持力、拉力和摩擦力处于平衡，d 球处于平衡状态，加速度为零，不是失重状态，故 B 正确，C 错误；

D．根据共点力平衡，可得细线对 c 球的拉力 $T_c=mg\cos\alpha$

根据共点力平衡，可得对 d 球的拉力 $T_d=mg$。细线对 c、d 球的弹力大小不相等，故 D 错误。

故选 AB。

4．A

【详解】设两绳子与水平夹角为 θ，对第一个图进行受力分析，根据平衡条件可得 $F_1=f_A+f_B$

其中 $f_A=\mu_A(m_Ag-T_1\sin\theta)$；$f_B=\mu_B(m_Bg+T_1\sin\theta)$

联立解得 $F_1=\mu_Am_Ag+\mu_Bm_Bg+(\mu_B-\mu_A)T_1\sin\theta$

同理可知，第二个图的拉力 $F_2=\mu_Am_Ag+\mu_Bm_Bg-(\mu_B-\mu_A)T_1\sin\theta$。由题意可知 $0<\mu_B<\mu_A$ 可知 $F_1<F_2$

故选 A。

5．A

【详解】ABC．对右边的小球分析，其受重力以及绳子的拉力，产生的加速度方向为水平向右，

有 $F_{合}=mg\tan\alpha=ma$。解得 $a=g\tan\alpha$

因为左边的小球与右边的小球同在小车上，所以运动情况相同，即左边的小球也在以加速度大小为 $g\tan\alpha$，方向水平向右。对左边小球受力分析，其受重力以及杆的弹力，左边小球的重力与右边小球的重力相同，所以左边小球受到的杆对其的弹力应该与右边小球受到的拉力方向平行，大小相同，故 A 正确，BC 错误；

D．由之前的分析可知，小车的加速度方向为水平向右，大小为 $g\tan\alpha$，所以小车可能向右做加速大小为 $g\tan\alpha$ 的加速运动，也可能向左做加速度大小为 $g\tan\alpha$ 的减速运动，故 D 项错误。

故选 A。



【变式训练】：D　　AC　　C　　CD

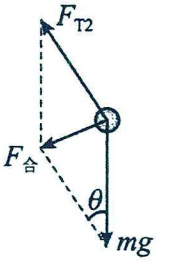
1．D

【详解】A．若稳定下滑时，细线竖直向下，如图所示；则 $F_{T1}=mg$

故小球匀速运动，由题可知，小球和木块相对静止，则木块沿斜面匀速下滑，则受到向上的摩擦力，故 A 错误；

BC．若稳定下滑时，细线垂直斜面，如图所示

则F_{T2}与 mg 的合力必定沿加速度方向，即斜面方向，可得$F_{合}=mg\sin\theta$



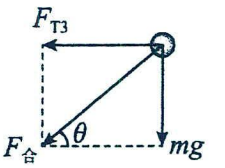
由牛顿第二定律可知$a=\frac{F_{合}}{m}=g\sin\theta$

此时小球和木板组成的系统的加速度为$a=g\sin\theta$

木块的重力沿斜面的分力为$G'=Mg\sin\theta$

对木块研究$ma=Mg\sin\theta$

则木块不受摩擦力，故 BC 错误；



D．若在外力作用下稳定下滑时，细线是水平的，如图所示

当绳子水平时，此时小球所受的合力方向沿斜面向下，此时$F_{合}=\frac{mg}{\sin\theta}$

此时小球和木板组成的系统的加速度为$a=\frac{g}{\sin\theta}$。故 D 正确。

故选 D。

2．AC

【详解】AB．当斜面光滑，斜劈 A 是加速下滑还是以一定的初速度沿斜面减速上滑，斜劈和球具有相同的加速度，方向沿斜面向下，根据牛顿第二定律可知 B 球的合力方向沿斜面向下，所以 B 球受重力、底部的支持力、以及 Q 对球的弹力，P 点对球无压力，Q 点对 B 有压力．故 A 正确，B 错误；

C．斜劈 A 沿斜面匀速下滑，知 B 球处于平衡状态，受重力和底部的支持力平衡，所以 P、Q 对球均无压力，故 C 正确；

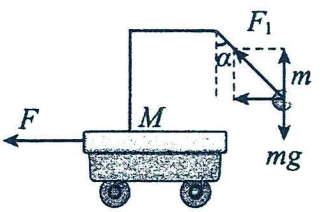
D．斜劈 A 沿斜面加速下滑，斜劈和球这个整体具有相同的加速度，方向沿斜面向下，根据牛顿第二定律，知 B 球的合力方向沿斜面向下，所以 B 球受重力、底部的支持力、以及 Q 对球的弹力，故 D 错误。

故选 AC。

3．C

【详解】先对左图中情况下的整体受力分析，受重力、支持力和拉力，

根据牛顿第二定律有$F=(M+m)a_1$



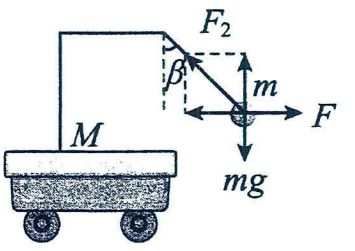
再对小球分析，如图：

由几何关系可得$F_1\sin\alpha=ma_1$，$F_1\cos\alpha=mg$

联立解得$F_1=\frac{mg}{\cos\alpha}$，$a_1=g\tan\alpha$

再对右图情况下的整体受力分析，受重力、支持力和拉力，根据牛顿第二定律有$F=(M+m)a_2$

再对小球分析，如图：



由几何关系可得$F-F_2\sin\beta=ma_2$，$F_2\cos\beta=mg$

联立解得$F_2=\frac{mg}{\cos\beta}$，$a_2=\frac{m}{M}g\tan\beta$

综上可得$a_1=\frac{F}{m+M}$，$a_2=\frac{F}{m+M}$

所以$a_1=a_2$

又因为$M>m$，即$\frac{m}{M}<1$，则有$\alpha<\beta$。所以有$F_1<F_2$

故选 C。

4．CD

【详解】在第一、二两幅图中，M 水平方向只受摩擦力作用，

根据牛顿第二定律得$f_1=Ma_1$，$f_2=Ma_2$

在第三、四两幅图中，对 M 和 m 组成的系统来分析，

根据牛顿第二定律可知$f_3=(M+m)a_3$，$f_4=(M+m)a_4$

A．如果$a_1:a_2=1:2$；解得$f_1:f_2=1:2$。故 A 错误；

B．如果$a_2:a_3=1:2$；则$f_2:f_3=M:2(M+m)$。故 B 错误；

C．若$a_3:a_4=1:2$；则$f_3:f_4=1:2$。故 C 正确；

D．对 m 受力分析可知$\tan\theta=\frac{a_3}{g},\tan\alpha=\frac{a_4}{g}$

若$a_3:a_4=1:2$；可得$\tan\theta:\tan\alpha=1:2$。故 D 正确。

故选 CD。

题型三：加速度不同

【典型例题】 ：D　　B　　AB　　CD

1．D

【详解】对物体 A：$Mg-T=Ma$；对 B：$T-mg=ma$；解得$a=6\text{m/s}^2$；$T=16\text{N}$

故选 D。

2．B

【详解】A．对于装置（a），根据牛顿第二定律分别对两物体分析可得$Mg-T_a=Ma_a$；$T_a=ma_a$

求得$T_a=\frac{mMg}{m+M}$；$a_a=\frac{Mg}{m+M}$；故 A 错误；

B．对于装置（b），根据牛顿第二定律可得$Mg-T_b=Ma_b$；$T_b-f=ma_b$；求得$T_b=\frac{mMg+Mf}{m+M}$；

比较可得$T_a<T_b$；故 B 正确；

C．对装置（c）中的物体 m 分析由牛顿第二定律可得$Mg-f=ma_c$；求得$a_c=\frac{Mg-f}{m}$；由 B 分析可知$a_b=\frac{Mg-f}{m+M}$

因此，装置（b）、（c）中物块 m 的加速度不相同，故 C 错误；

D．由 C 分析可知装置（c）中的物体 m 在$Mg-f>mg$的情况下加速度大于重力加速度g，故 D 错误。

故选 B。

3．AB

【详解】AB．设细线上的拉力大小为T，物块的加速度大小为a，对 B 受力分析$mg\sin53°-T=ma$

对 A 受力分析 $T-mg\sin 37°=ma$；解得 $T=0.7mg$；$a=0.1g$；故选项 AB 正确；

C．整体分析，物块 A 向右上方加速，物块 B 向右下方加速，斜劈 C 静止不动，所以系统向右的动量增加，地面给斜劈 C 的摩擦力方向水平向右，不为 0，故选项 C 错误；

D．对 C 受力分析，在竖直方向上有 $mg\cos 37°\cos 37°+mg\cos 53°\cos 53°+T\sin 37°+T\sin 53°+Mg=N$；

解得 $N=(M+1.98m)g$；故选项 D 错误。

故选 AB。

4．CD

【详解】A、由题可知轻绳弹力为零，重物有竖直向下加速度 g，梯子有竖直向上加速度，大小为 g，方向不同，选项 A 错误；

D、设人对梯子作用力大小为 F，梯子质量为 $M-m$，由牛顿第二定律可得 $F-(M-m)g=(M-m)g$，解得 $F=2(M-m)g$，故选项 D 正确；

BC、设人的加速度大小为 a，由牛顿第二定律可得 $F+mg=ma$，解得人的加速度大小为 $a=\dfrac{2M-m}{m}g$，故选项 C 正确，B 错误；

【变式训练】：B　　B　　BD　　ACD

1．B

【详解】由于 $m_A>\dfrac{1}{2}m_B$，可知静止释放两重物，A 物体竖直向下加速运动，B 物体沿斜面向上加速运动；以 A 物体为对象，根据牛顿第二定律可得 $m_Ag-T=m_Aa$

以 B 物体为对象，根据牛顿第二定律可得 $T-m_Bg\sin 30°=m_Ba$

联立可得 $a=\dfrac{m_Ag-m_Bg\sin 30°}{m_A+m_B}=\dfrac{10m_A-5m_B}{m_A+m_B}=10\text{m/s}^2-\dfrac{15m_B}{m_A+m_B}$；由于 $m_A>\dfrac{1}{2}m_B$，可得 $0<a<10\text{m/s}^2$

则有 $T=m_Bg\sin 30°+m_Ba=10+2a$；可得细线的弹力满足 $10\text{N}<T<30\text{N}$

故选 B。

2．B

【详解】设滑块 A 的质量为 m，滑块 B 的质量为 $2m$；调换前，

对系统根据牛顿第二定律可得 $mg-2\mu mg=3ma$

调换后，对系统根据牛顿第二定律可得 $2mg-\mu mg=9ma$；联立解得 $\mu=0.2$

故选 B。

3．BD

【详解】A．设斜面倾角为 α，动摩擦因数为 μ，

由牛顿第二定律可知上滑时加速度大小为 $a_{上}=\dfrac{mg\sin\alpha+\mu mg\cos\alpha}{m}=g\sin\alpha+\mu g\cos\alpha$

同理可知返回时加速度大小为 $a_{下}=\dfrac{mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha}{m}=g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha$

故 A 错误；

B．根据运动学公式$x=\frac{1}{2}at^2$可知，上滑比下滑的时间短，故B正确；

CD.由于在上滑或下滑过程物体的加速度均为沿斜面向下，所以物体处于部分失重，因此整体支持力应小于(M+m)g，并由于加速度沿斜面向下，所以整体具有向左的加速度，所以当把物体看作整体时，地面对斜面的静摩擦力应向左，故C错误，D正确。

故选BD。

4．ACD

【详解】C．分析可知，AB间最大静摩擦力大于AC间最大静摩擦力，则AC间先发生相对滑动，恰好要发生相对滑动时，整体有$2T=(5m+m+m)a$；对C有$T-\mu mg=ma$；联立解得$a=0.04g$

当AB恰好发生相对滑动时，对A有$5\mu mg+\mu mg=ma'$；解得$a'=0.6g$；由于$0.04g<0.2g<0.6g$

则当A的加速度等于0.2g时，AB相对静止，AC相对滑动，故AC之间为滑动摩擦力，大小为0.1mg，故C正确；

AB．对AB整体有$T'+0.1mg=6ma_A$；代入可求得$T'=1.1mg$

因为K为轻滑轮，故$F=2T'=2.2mg$；故A正确，B错误；

D．对B有$T'-f_{AB}=5ma_A$；代入求得$f_{AB}=0.1mg$；故D正确。

故选ACD。

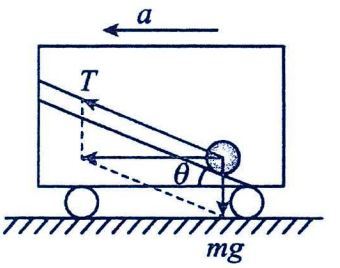
考点二：临界问题

题型一：“g tanθ”与“$\frac{g}{tan\theta}$”

【典型例题】 ：B D C

4．(1)$T=50\text{N}$，$F_N=30\text{N}$；(2)$T=50\text{N}$，$F_N=22\text{N}$；(3)$T=56.56\text{N}$，$F_N=0$

1．B



【详解】若支持力恰好为零，对小球受力分析，受到重力、绳子拉力，如图

小球向左加速，加速度向左，合力水平向左，根据牛顿第二定律，有$T\cos\theta=ma$；

$T\sin\theta=mg$

解得$a=\frac{g}{\tan\theta}=\frac{4g}{3}=\frac{40}{3}\text{m/s}^2\approx13.3\text{m/s}^2$

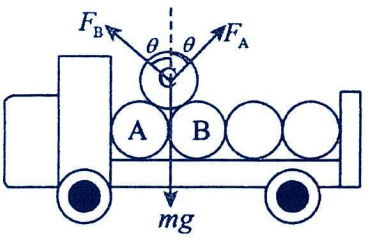
D．由以上分析可知，当$a>13.3\text{m/s}^2$时，小球受mg、F_T两个力作用，当$a<13.3\text{m/s}^2$时，小球受mg、F_T、F_N三个力作用，故D错误；

AB．若$a=14\text{m/s}^2>13.3\text{m/s}^2$，小球受mg、$F_T$两个力作用，故A错误，B正确；

C．若$a=13\text{m/s}^2<13.3\text{m/s}^2$，小球受mg、$F_T$、$F_N$三个力作用，故C错误。

故选B。

2．D



【详解】A．对桶C受力分析如图

根据牛顿第二定律有$F_B\sin\theta-F_A\sin\theta=ma$

竖直方向根据平衡条件可得$F_B\cos\theta+F_A\cos\theta=mg$

加速度变大，则 B 对 C 的支持力增大，A 对 C 的支持力减小，故 A 错误；

B．当汽车向左做加速运动，C 将要脱离 A 时，A 对 C 的支持力为零，此时有 $mg\tan\theta=ma$

其中 θ =30°，解得加速度为 $a=\frac{\sqrt{3}}{3}g$；故 B 错误；

C．汽车向左匀速运动时，C 受力平衡，无论速度多大，都有 $F_B=F_A$，且满足 $F_B\cos\theta+F_A\cos\theta=mg$

则 B 对 C 的支持力不变，故 C 错误；

D．当汽车向右做加速运动，C 将要脱离 B 时，B 对 C 的支持力为零，此时有 $mg\tan\theta=ma$

其中 θ =30°，解得加速度 $a=\frac{\sqrt{3}}{3}g$；故 D 正确。

故选 D。

3．C

【详解】A．以木块 P、Q 整体为研究对象，在竖直方向上受力平衡，则有 $F_N=2mg$

由牛顿第三定律可知，木块 Q 对地面的压力为 2mg，A 错误；

B． P、Q 保持相对静止一起向左做匀加速直线运动，若 F 较小时，P 有向下滑动的趋势，摩擦力沿斜面向上；若 F 较大时，P 有向上滑动的趋势，摩擦力沿斜面向下，因此在 F 增大的过程中，摩擦力可能增大，也可能减小，也可能先减小后反向增大，B 错误；

C．对 P 受力分析，假设 P 受 Q 的摩擦力沿斜面向上为 f，Q 对 P 的支持力为 N，在水平方向由牛顿第二定律可得 $N\sin\theta-f\cos\theta=ma$

在竖直方向由平衡条件可得 $N\cos\theta+f\sin\theta=mg$

联立解得 $a=g\tan\theta-\frac{f}{m\cos\theta}$

若加速度 a=gtan θ，则有 P 受到摩擦力是零，C 正确；

D．由 C 选项分析计算可知，若加速度 a<gtan θ，则 P 有向下滑动的趋势，因此 P 受到摩擦力方向沿斜面向上，D 错误。

故选 C。

4．(1) $T=50\text{N}$，$F_N=30\text{N}$；(2) $T=50\text{N}$，$F_N=22\text{N}$；(3) $T=56.56\text{N}$，$F_N=0$

【详解】(1)当汽车匀速运动时，小球也匀速运动，小球的受力平衡，对小球进行受力分析可知 $T\cos\theta=mg$；$T\sin\theta=F_N$；代入数据得 $T=50\text{N}$，$F_N=30\text{N}$

(2)当汽车以 $a=2\text{m/s}^2$ 向右匀减速行驶时，分析小球受力，

由牛顿第二定律得 $T\cos\theta=mg$；$T\sin\theta-F_N=ma$；代入数据得 $T=50\text{N}$，$F_N=22\text{N}$

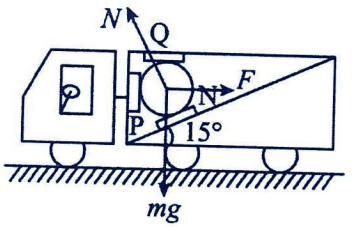
(3)当汽车向右匀减速行驶时，设车后壁弹力为 0 时（临界条件）的加速度为 a_0，受力分析如图所所示，由牛顿第二定律得：$T\cos\theta=mg$；$T\sin\theta=ma_0$；代入数据得 $a_0=g\tan\theta=10\times\frac{3}{4}\text{m/s}^2=7.5\text{m/s}^2$

因为 $a=10\text{m/s}^2>a_0$，所以小球飞起来，故 $F_N=0$；由牛顿第二定律得：$T=\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}=40\sqrt{2}\text{N}\approx56.56\text{N}$

【变式训练】：C　　C　　B

4．（1）$F_{AC}=160\text{N}$，$F_{BC}=120\text{N}$；（2）$F=200\text{N}$；（3）若拉力F水平向左，则$200\text{N}<F\le 866.7\text{N}$；若拉力F水平向右，则$200\text{N}<F\le 575\text{N}$

1．C



【详解】A．汽车静止时，Q传感器示数为零，P、N传感器示数不为零

水平方向$N\sin 15°=F$；；竖直方向$N\cos 15°=mg$；故A错误；

B．当向左加速运动时，当加速度达到某一值时，P，Q均无示数，

水平方向$N\sin 15°=ma$；竖直方向$N\cos 15°=mg$；联立解得$a=g\tan 15°=2.7\text{m/s}^2$

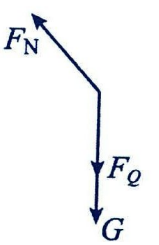
故当$a<2.7\text{m/s}^2$时，P有示数，Q无示数，

当$a>2.7\text{m/s}^2$时，P无示数，Q有示数，即当$a=3.5\text{m/s}^2$时，P无示数，Q有示数，故B错误；

C．当$a<2.5\text{m/s}^2$时，水平方向　$N\sin 15°-F=ma$；竖直方向$N\cos 15°=mg$；解得$F=mg\tan 15°-ma$

根据表达式可知a越大，P的示数越小，N的示数不变，故C正确；

D．当$a>3.5\text{m/s}^2$时，圆柱形工件受力如图；水平方向$F_{\text{N}}\sin 15°=ma$；竖直方向$F_{\text{N}}\cos 15°=F_Q+mg$



解得$F_Q=\dfrac{ma}{\tan 15°}-mg$；根据表达式可知a越大，Q的示数也越大，N的示数也越大，故D错误。

故选C。

2．C

【详解】ABC．AB段为直线，$a=0$时，有$F_{\text{T1}}=mg\sin\theta$；$B$点表示此时小球恰好离开斜面，有$F_{\text{T2}}\sin\theta=mg$

联立解得$m=0.1\text{kg}$，$\theta=37°$；则$\tan\theta=\dfrac{3}{4}$；AB错误，C正确；

D．小球离开斜面之前，对小球受力分析可得$F_{\text{T}}\cos\theta-F_{\text{N}}\sin\theta=ma$，$F_{\text{T}}\sin\theta+F_{\text{N}}\cos\theta=mg$

解得$F_{\text{N}}=mg\cos\theta-ma\sin\theta$；代入数据有$F_{\text{N}}=0.8-0.06a(\text{N})$；D错误。

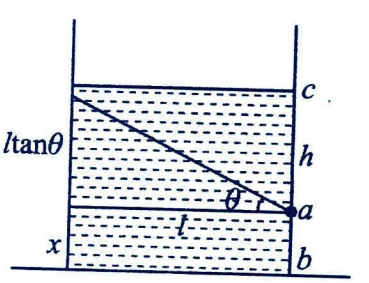
故选C。

3．B

【详解】设当水箱加速向右运动时，设水面与水平方向的倾角为θ，对水面上的某一水滴进行受力分析可得$a=g\tan\theta$；可得$\theta=37°$

设水箱的边长为l，水面c到小孔a的距离为h，小孔a到水箱底部b的距离为x，根据几何关系可得稳定后水箱内，小孔以上水的高度为$l\tan\theta$，则水的体积为$V_1=\dfrac{1}{2}(x+l\tan\theta+x)l^2$

原来水箱中水的体积为$V=(h+x)l^2$



又有$\dfrac{2}{5}$体积的水流出$V_1=\dfrac{3}{5}V$；可得$x=0.075\text{m}$

由于$x+l\tan\theta=0.375\text{m}<0.4\text{m}$；满足条件。

故选B。

4．（1）$F_{AC}=160\text{N}$，$F_{BC}=120\text{N}$；（2）$F=200\text{N}$；（3）若拉力 F 水平向左，则 $200\text{N}<F\le 866.7\text{N}$；若拉力 F 水平向右，则 $200\text{N}<F\le 575\text{N}$

【详解】（1）由平衡条件知 $F_{AC}=mg\cos\theta=160\text{N}$；$F_{BC}=mg\sin\theta=120\text{N}$

（2）整个框架在水平拉力 F 做匀速直线运动，整体法可得 F=f

撤去外力后，测量框架滑行的距离为 32m，由动能定理得 $-fx=0-\frac{1}{2}(M+m)v^2$；解得 $F=200\text{N}$

（3）出于安全考虑，运输途中球不能挤压 AB 面，若拉力 F 水平向左，当上表面恰好没有挤压的最大加速度为 $\frac{mg}{\tan\theta}=ma_1$；整体发得 $F_1-f=(M+m)a_1$；解得 $F_1\approx 866.7\text{N}$

所以取值范围为 $200\text{N}<F\le 866.7\text{N}$

若拉力 F 水平向右，当上表面恰好没有挤压的最大加速度为 $mg\tan\theta=ma_2$

整体发得 $F_2-f=(M+m)a_2$；解得 F_2=575N

所以取值范围为 $200\text{N}<F\le 575\text{N}$

综上所述，若拉力 F 水平向左，则 $200\text{N}<F\le 866.7\text{N}$；若拉力 F 水平向右，则 $200\text{N}<F\le 575\text{N}$

题型二：绳连接体中的临界问题

【典型例题】 ：AB　　C　　AB

1．AB

【详解】A．当 0<F≤μmg 时，A 受到拉力与静摩擦力的作用，二者平衡，绳子拉力为 0，A 正确；

B．当 μmg<F≤3μmg 时，A、B 整体受到拉力和摩擦力的作用，二者平衡，A、B 整体处于静止状态，B 正确；

C．当 $F>3\mu mg$ 时，整体 $a=\frac{F-3\mu mg}{3m}$；对 B $a=\frac{F_{拉}-2\mu mg}{2m}$；由上两式得 $F_{拉}=\frac{2F}{3}$；C 错误；

D．当 $\mu mg<F\le 3\mu mg$ 时，绳子的拉力为 $F-\mu mg$，绳子的拉力可能为 $\frac{F}{3}$，D 错误。

故选 AB。

2．C

【详解】A．若小车做匀速直线运动，对物体进行受力分析有 $T_{AC}=mg\sin 53°=8\text{N}$；故 A 错误；

B．若小车做加速度为 7.5m/s^2 的匀加速运动，对物体受力分析有

$T_{BC1}\cos 37°-T_{AC1}\cos 53°=ma_1$；$T_{BC1}\sin 37°+T_{AC1}\sin 53°=mg$；解得 $T_{BC1}=12\text{N}$；故 B 错误；

C．若小车做加速度为 $\frac{40}{3}\text{m/s}^2$ 的匀加速运动，对物体受力分析有

$T_{BC2}\cos 37°-T_{AC2}\cos 53°=ma_2$；$T_{BC2}\sin 37°+T_{AC2}\sin 53°=mg$；解得 $T_{AC2}=0$；故 C 正确；

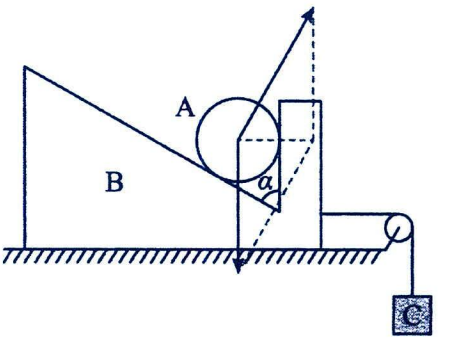
D．若小车做加速度为 15m/s^2 的匀加速运动，由于 $15\text{m/s}^2>\frac{40}{3}\text{m/s}^2$，结合上述可知，此时 AC 绳拉力为零，BC

绳稳定后，对物体受力分析有 $T_{BC3}=\sqrt{(mg)^2+(ma_3)^2}$；解得 $T_{BC3}=5\sqrt{13}\text{N}$；故 D 错误。

故选 C。

3．AB

【详解】D．当 A 和 B 之间的恰好保持相对静止时，对 A 受力分析如图



根据牛顿运动定律有 $mg\cot 60°=ma$

解得 $a=g\cot 60°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}g$

B 与 C 为绳子连接体，具有共同的运动情况，此时对于 AB 和 C 有：

$Mg=(M+2m)a$

所以 $a=\dfrac{M}{M+2m}g=\dfrac{\sqrt{3}}{3}g$；即 $\dfrac{M}{M+2m}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

解得 $M=\dfrac{2\sqrt{3}}{3-\sqrt{3}}m=(\sqrt{3}+1)m=2.73m$；选项 D 错误；

BC．当 $M=(\sqrt{3}+1)m$，A 和 B 刚好发生相对滑动，选项 B 正确，C 错误；

A．当 M=2m 时，A 和 B 保持相对静止，共同加速度为 $a=\dfrac{M}{M+2m}g=\dfrac{1}{2}g=0.5g$；选项 A 正确。

故选 AB。

【变式训练】：D　　BC　　A

1．D

【详解】A．t=0 时，F_{A0}=3N，F_{B0}=8N，设 A 和 B 的共同加速度大小为 a，

根据牛顿第二定律有 $F_{A0}+F_{B0}=(m_1+m_2)a$；代入数据解得 $a=\dfrac{11}{3}\text{m/s}^2$；故 A 错误；

BCD．由分析知，A 和 B 开始分离时，A 和 B 速度相等，无相互作用力，且加速度相同，

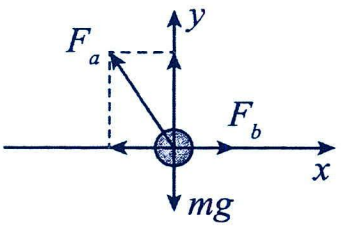
根据牛顿第二定律有 $F_A=m_1a'$，$F_B=m_2a'$；联立解得 $t=\dfrac{2}{7}\text{s}$

故当 t=1s 时，A、B 已分离，F_{B1}=5N，对 B 由牛顿第二定律有 $a_B=\dfrac{F_{B1}}{m_2}=\dfrac{5}{2}\text{m/s}^2=2.5\text{m/s}^2$；故 BC 错误，D 正确。

故选 D。

2．BC

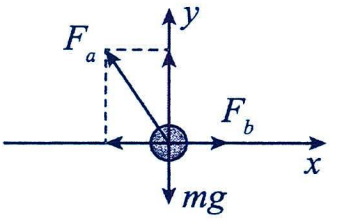
【详解】AB．小球受力如图所示



系统静止时，竖直方向有 $F_a\cdot\sin 37°=mg$；水平方向有 $F_a\cdot\cos 37°=F_b$

解得 $F_a=10\text{N}$；$F_b=8\text{N}$；故 B 正确，A 错误；

C．系统竖直向上匀加速运动时，小球受力如图所示



当 a 线拉力为 15N 时，由牛顿第二定律得，竖直方向有 $F_m\cdot\sin 37°-mg=ma$

水平方向有 $F_m\cdot\cos 37°=F_b$；解得 $F_b=12\text{N}$

此时加速度有最大值$a=5\text{m/s}^2$；故C正确；

D．系统水平向右匀加速运动时，由牛顿第二定律得，

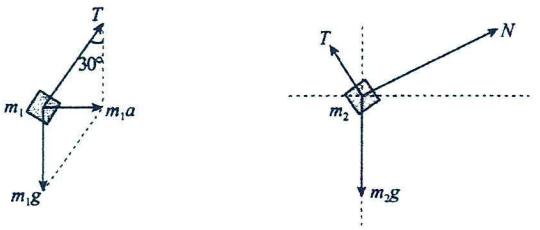
竖直方向有$F_a\cdot\sin37°=mg$；水平方向有$F_b-F_a\cdot\cos37°=ma$；解得$F_a=10\text{N}$

当$F_b=15\text{N}$时，加速度最大为$a=12.5\text{m/s}^2$；故D错误。

故选BC。

3．A

【详解】对m_1、m_2受力分析如图所示



因为m_1恰好没有离开斜面，故其和斜面无弹力，则对m_1有$T=\dfrac{m_1g}{\cos30°}$；$m_1g\tan30°=m_1a$

则对m_2有$N\cos30°-T\sin30°=m_2a$；$T\cos30°+N\sin30°=m_2g$；解得$m_2=2\text{kg}$

故选A。

题型三：弹簧中的临界问题

【典型例题】　：A　　AD

1．A

【详解】A．物体A、B处于静止状态时，

由平衡条件可知弹簧的压缩量为$x_1=\dfrac{(m+M)g}{k}=\dfrac{(2+10)\times10}{80}\text{m}=1.5\text{m}$

两物块A、B分离时二者之间的弹力是零，对A由牛顿第二定律可得$F-mg=ma'$

对B由牛顿第二定律可得$kx_2-Mg=Ma'$；联立解得$x_2=1.375\text{m}$

在此过程中物块A上升的高度为$h=x_1-x_2=1.5\text{m}-1.375\text{m}=0.125\text{m}=12.5\text{cm}$；A正确；

B．设力F作用瞬间，物体AB的加速度大小为a，由牛顿第二定律可得$F=(m+M)a$；代入数据解得$a=\dfrac{11}{6}\text{m/s}^2$

设此时二者之间的弹力大小为T，对A分析可得$F+T-mg=ma$；代入数据解得$T=\dfrac{5}{3}\text{N}$

可知恒力作用瞬间，A、B没有分离，B错误；

CD．对A、B整体分析，开始时弹簧弹力大小等于总重力，在二者上升过程中，弹力逐渐减小，则二者受合力减小，则加速度减小，因此物块A、B分离前，A、B一起做变加速直线运动；可知在恒力刚作用时，二者的加速度最大，则物块B的最大加速度大小为$\dfrac{11}{6}\text{m/s}^2$，CD错误。

故选A。

2．AD

【详解】A．由图乙可知，t_1时刻A、B开始分离，对A，根据牛顿第二定律kx－mgsinθ=ma；则$x=\frac{mg\sin\theta+ma}{k}$

故A正确；

B．由图乙知，t_2时刻A的加速度为零，速度最大，

根据牛顿第二定律和胡克定律得mgsinθ=kx′；则得$x'=\frac{mg\sin\theta}{k}$；故B错误；

C．对A、B整体，根据牛顿第二定律得F－2mgsinθ＋kx=2ma；得F=2mgsinθ－kx＋2ma

则知t=0时F最小，此时有2mgsinθ=kx_0，得F的最小值为F=2ma

由图乙知，t_1时刻A、B开始分离，对A根据牛顿第二定律kx－mgsinθ=ma

t=0时有2mgsinθ=kx_0，又$x_0-x=\frac{1}{2}at_1^2$；速度$v=at_1=\sqrt{\frac{2a(mg\sin\theta-ma)}{k}}$；故C错误；

D．从t=0到t_1时刻，对A、B整体，根据牛顿第二定律得F＋kx－2mgsinθ=2ma；得F=2mgsinθ＋2ma－kx

则随着x减小，F增大；；t_1时刻到t_2时刻，对B，由牛顿第二定律得F－mgsinθ=ma；得F=mgsinθ＋ma

可知F不变，故D正确。

故选AD。

【变式训练】：AC　　BCD

1．AC

【详解】A．当平板车和物块一起向右以$a_1=3\text{m/s}^2$的加速度做匀加速直线运动时，物块和平板车间刚好没有摩擦力，水平方向上，物块只受弹簧的弹力，根据牛顿第二定律，可得弹簧的弹力的大小为$F_{弹}=ma_1=1\times3\text{N}=3\text{N}$

弹力的方向水平向右，故A正确；

BC．若平板车向右的加速度变为$a_2=8\text{m/s}^2$时，物块相对于平板车即将滑动，加速度变大，物块水平方向上受到的合力也变大，水平方向上物块受到弹簧的弹力和平板车对木块水平向右的最大静摩擦力，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，根据牛顿第二定律，有$F_{弹}+\mu mg=ma_2$

解得物块和平板车之间的动摩擦因数为$\mu=\frac{ma_2-F_{弹}}{mg}=0.5$；故B错误，C正确；

D．若保证物块和平板车始终相对静止，平板车向左做加速运动，水平方向上物块受到弹簧的弹力和平板车对木块水平向左的最大静摩擦力时，有最大加速度，根据牛顿第二定律，有$\mu mg-F_{弹}=ma_m$；

解得最大加速度为$a_m=\frac{\mu mg-F_{弹}}{m}=2\text{m/s}^2$；故D错误。

故选AC。

2．BCD

【详解】A．设刚开始时弹簧压缩量为x_1，则有$x_1=\frac{(m_Q+m_P)g}{k}=\frac{(1+2)\times10}{300}\text{m}=0.1\text{m}$

在$0\sim\frac{\sqrt{2}}{10}$s内，整体向上做匀加速运动，根据牛顿第二定律可得F－（m_Q+m_P）g+$F_{弹}$=（m_P+m_Q）a

解得F=（m_P+m_Q）（g+a）－$F_{弹}$

其中 $F_{弹}=k(x_1-\frac{1}{2}at^2)$；即 $F=(m_P+m_Q)a+\frac{1}{2}kat^2$；故 A 错误；

B．在 P、Q 分离之前 F 为变力，分离后，F 为恒力；两物体分离瞬间，P 对 Q 无作用力，故 B 正确；

CD．设两者刚好分离时，弹簧压缩量为 x_2，则对 Q：$kx_2-m_Qg=m_Qa$

在前 $\frac{\sqrt{2}}{10}$ s 时间内，有运动学公式得 $x_1-x_2=\frac{1}{2}at^2$；联立解得 $a=5m/s^2$

最终分离后力 F 最大，有 $F_2-m_Pg=m_Pa$；即 $F_2=m_P$（g+a）=2×（10+5）N=30N；故 CD 正确；

故选 BCD。

题型四：板块中的临界问题

【典型例题】 ：AD　　D　　BD

1．AD

【详解】AB．随着 F 的增大，当 A、B 间摩擦力达到最大静摩擦力时，保持相对静止的加速度最大，隔离 B，根据牛顿第二定律得 $a_m=\frac{\mu m_Ag}{m_B}=\frac{0.6\times20}{1}m/s^2=12m/s^2$

此时对 A、B 整体利用牛顿第二定律得 $F=(m_A+m_B)a_m=36N$

则当 F＜12N 时，A、B 保持相对静止；当 F＞36N 时，A、B 一定相对滑动，故 A 正确，B 错误；

C．当 F＝16N 时，两物体相对静止，此时 A 的加速度大小为 $a=\frac{F}{m_A+m_B}=\frac{16}{2+1}m/s^2=\frac{16}{3}m/s^2$；故 C 错误；

D．由以上分析可知，B 的最大加速度为 $12m/s^2$，若 F 再增大，则 AB 出现相对滑动，二者之间的摩擦力不再增加，所以，B 的加速度大小不会超过 12 m/s^2，故 D 正确。

故选 AD。

2．D

【详解】CD．a、b 之间的最大静摩擦力为 $f_{max}=\mu mg=\mu mg$

b 与地面间的最大静摩擦力为 $f_{max}'=\frac{1}{4}\mu(m+m)g=\frac{1}{2}\mu mg$

a、b 相对地面一起运动，刚好不发生相对滑动时，由牛顿第二定律得：

对 b 有 $\mu mg-\frac{1}{2}\mu mg=ma_0$；得 $a_0=\frac{1}{2}\mu g$；；对整体有 $F_0-\frac{1}{2}\mu mg=2ma_0$；得 $F_0=\frac{3}{2}\mu mg$

所以若 a、b 两个物体始终相对静止，则力 F 不能超过 $\frac{3}{2}mg$，当力 $F>\frac{3}{2}\mu mg$ 时，b 相对 a 滑动，故 D 正确、C 错误；

A．当力 $F=\mu mg$ 时，ab 一起加速运动，加速度为 $a_1=\frac{\mu mg-\frac{1}{2}\mu mg}{2m}=\frac{1}{4}\mu g$；对 a 根据牛顿第二定律可得 $F-f_1=ma_1$

解得 a、b 间的摩擦力为 $f_1=\frac{3}{4}\mu mg$；选项 A 错误；

B．根据 D 选项的分析可知，无论力 F 为何值，b 的加速度不会超过 $\frac{1}{2}\mu g$，故 B 错误。

故选 D。

3．BD

【详解】A 与木板间的最大静摩擦力为 $f_A=\mu m_A g=0.3\times1\times10N=3N$

B 与木板间的最大静摩擦力为 $f_B=\mu m_B g=0.2\times1\times10N=2N$

A．$F=1N<f_A$，所以 AB 即木板保持相对静止，整体在 F 作用下向左匀加速运动，故 A 错误；

B．若 $F=1.5N<f_A$，所以 AB 即木板保持相对静止，整体在 F 作用下向左匀加速运动，根据牛顿第二定律得 $F-f=m_A a$

所以 A 物块所受摩擦力 $f<F=1.5N$；故 B 正确；

CD．当 B 刚要相对于板滑动时静摩擦力达到最大值，由牛顿第二定律得：$f_B=m_B a_0$

又 $f_B=\mu m_B g$；得 $a_0=2m/s^2$；对整体有 $F_0=(m_A+m_B)a_0=2\times2N=4N$

即达到 4N 后，B 将相对地木板运动，此时摩擦力 f=2N；则对木板可知，木板受到 A 的摩擦力等于 B 的摩擦力；故 A 和木板间不会发生相对运动；则可知，当拉力为 8N 时，B 与木板间的摩擦力即为滑动摩擦力为 2N，此后增大拉力，不会改变 B 的受力；其加速度大小均为 $2m/s^2$，故 C 错误；D 正确。

故选 BD。

【变式训练】：ABD　　D　　BD

1．ABD

【详解】A．B 与地面间的最大静摩擦力 $fB=\frac{1}{2}\mu\times5mg=\frac{5}{2}\mu mg$，

当 $F=\mu mg$ 时，AB 处于静止，对 A 分析，A 所受的摩擦力为零，故 A 正确；

B．A 发生相对滑动的临界加速度 $a=\mu g$，对整体分析，$F-\frac{1}{2}\mu\cdot5mg=5ma$，；解得 $F=7.5\mu mg$，

所以当 $F>7.5\mu mg$ 时，A 相对 B 滑动．故 B 正确；

C．当 $7.5\mu mg>F=3\mu mg>\frac{5}{2}\mu mg$，可知 AB 保持相对静止，一起做匀加速直线运动，

加速度 $a=\frac{F-2.5\mu mg}{5m}=0.1\mu g$，；故 C 错误；

D．若去掉 B 上的力，而将 $F=3\mu mg$ 的力作用在 A 上，

B 发生相对滑动的临界加速度 $a=\frac{\mu\cdot3mg-\frac{1}{2}\mu\cdot5mg}{2m}=0.25\mu g$，；对 A 分析 $F-\mu\cdot3mg=3ma$，

解得不发生相对滑动的最小拉力 $F=3.75\mu mg$，可知 $F=3\mu mg$ 的力作用在 A 上，一起做匀加速直线运动，加速度 $a=\frac{F-\frac{1}{2}\mu\cdot5mg}{5m}=0.1\mu g$，；故 D 正确。

故选 ABD。

2．D

【详解】A．由题意可得，A 与地面间的最大静摩擦力为 $f_{A\max}=\frac{3}{4}\mu mg$

A 与 B 间最大静摩擦力 $f_{AB\max}=\mu mg$；C 与地面间的最大静摩擦力 $f_{C\max}=\frac{3}{4}\mu mg$

C 与 D 间最大静摩擦力 $f_{CD\max}=\mu mg$；所以 $F\le\frac{3}{4}\mu mg$ 时，A 和 B、C 和 D 均相对地面静止，故 A 错误；

B．A 和 B 一起加速的最大加速度为$\frac{1}{8}\mu g$，对 AB 整体有$F-\frac{3}{4}\mu mg=3ma$；得$F=\frac{9}{8}\mu mg$

故$\frac{3}{4}\mu mg<F\leq\frac{9}{8}\mu mg$时，A 和 B 一起加速，故 B 错误；

C．由上述分析可得，C 和 D 一起加速时，有$\frac{3}{4}\mu mg<F\leq\frac{15}{4}\mu mg$

当$F=3\mu mg$时，C 和 D 未发生相对滑动，也未达到摩擦力的最大值，故 C 错误；

D．对 A 受力分析可得，A 的最大加速度为$\mu mg-\frac{3}{4}\mu mg=2ma_{\mathrm{A}}$；$a_{\mathrm{A}}=\frac{1}{8}\mu g$

对 D 受力分析可得，D 的最大加速度为$\mu mg=ma_{\mathrm{D}}$；$a_{\mathrm{D}}=\mu g$；故 D 正确。

故选 D。

3．BD

【详解】物块 A 与木板间的最大静摩擦力为：$f_A=\mu_1 m_1 g=20N$，长木板受到的最大摩擦力为：

$f=\mu(m_1+m_2+M)g=7N$，B 与木板间的最大静摩擦力为：$f_B=\mu_2 m_2 g=5N$；

AB、若 F=5N 时，F 小于f和 fA，所以此时三个物体均静止，B 物体受到的摩擦力为零，故 A 错误，B 正确；

CD、若物体 B 与长木板间发生相对滑动，则有$a_{A木}\geq a_B$，而$a_B=\frac{f_B}{m_2}=5m/s^2$，$a_{A木}=\frac{F-f-f_B}{M+m_1}$，解得$F\geq 42N$，

故 C 错误，D 正确；

故选 BD.

考点三：极值问题

题型一：极大值、极小值

【典型例题】 **：D；**2．(1)$\sqrt{gh(1-\sin\theta)}$；(2)$\frac{1}{2}h(1+\sin\theta)$

1．D

【详解】A．以小球为研究对象，根据牛顿第二定律可得 mgsin θ=ma；解得 a=gsin θ

当玻璃板倾角最小时，小球加速度最小，恰好运动到玻璃板上端 B，则有$x=\frac{v_0^2}{2a}$；联立解得 θ=30°；故 A 错误；

BC．取沿玻璃板向下为正方向，则根据位移—时间关系式有$x_{AC}=-v_0t+\frac{1}{2}at^2$

又 a≥gsin30°=10×0.5m/s²=5m/s²；联立解得 $x_{AC}\geq 7.5$m

加速度 a 的最大值为 g，即 a≤g，则由$x_{AC}=-v_0t+\frac{1}{2}at^2$；可得 $x_{AC}\leq 30$m；故 BC 错误；

D．根据速度—时间关系式有 $v_C=-v_0+at$ 又 g=10m/s²≥a≥5m/s²

联立解得 25m/s≥v_C≥10m/s；故 D 正确。

故选 D。

2．(1)$\sqrt{gh(1-\sin\theta)}$；(2)$\frac{1}{2}h(1+\sin\theta)$

【详解】(1)A、B 两物体组成的整体（系统）只有重力做功，故整体的机械能守恒，有$mgh-mgh\sin\theta=\frac{1}{2}(m+m)v^2$

解得 $v=\sqrt{gh(1-\sin\theta)}$

（2）当 A 物体落地后，B 物体由于惯性将继续沿斜面向上运动，此时绳子松了，对 B 物体，只有重力做功，故 B 物体的机械能守恒，设其沿斜面向上运动的最远点离地高度为 H，根据机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv^2=mg(H-h\sin\theta)$

解得 $H=\frac{1}{2}h(1+\sin\theta)$

【变式训练】：CD　　C

3．（1）$a=1.5\times10^3\text{m/s}^2$；（2）7.8m；（3）4cm

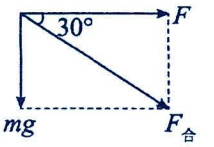
4．（1）0.15m；（2）7.5m/s^2；（3）$F_{\min}=90\text{N}$，$F_{\max}=210\text{N}$

1．CD

【详解】A．由于小圆环在直杆上运动的时间最短，即加速度方向沿杆的方向，而恒力 F 和小圆环的重力的合力一定沿与水平方向夹 30° 斜向右下的方向，即为杆的方向，小圆环与直杆间必无挤压，故 A 错误；

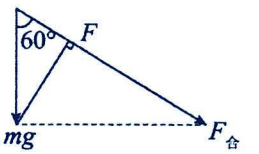
B．根据题意，小圆环在直杆上运动的时间最短，则加速度最大，即恒力与重力的合力方向沿杆的方向，那么恒力的方向不可能沿与水平方向夹 30° 斜向右下，故 B 错误；

C．要使时间最短，则加速度最大，即不论 F 多大，沿何种方向，确定的是 F 与 mg 的合力方向沿杆向下，当恒力的方向水平向右，如图所示



则有 $F=\frac{mg}{\tan30^\circ}=\sqrt{3}mg$；故 C 正确；

D．合力 $F_{合}$ 与 mg、F 三力可构成矢量三角形，如图所示



由图可知，当 F 与 $F_{合}$ 垂直时，即与斜面垂直时，F 有最小，

则有 $F_{\min}=mg\sin60^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$；故 D 正确。

故选 CD。

2．C

【详解】A．对甲乙的整体由牛顿第二定律 $F_N=(M+m)a$；$\mu F_N=(M+m)g$；解得 $a=\frac{g}{\mu}$；选项 A 错误；

B．甲对乙的摩擦力 $f=ma=\frac{mg}{\mu}$

甲对乙的压力为 mg，则甲对乙的作用力为 $F_{甲乙}=\sqrt{(\frac{mg}{\mu})^2+(mg)^2}=\frac{mg}{\mu}\sqrt{1+\mu^2}$

则乙对甲的作用力大小为 $F_{乙甲}=\frac{mg\sqrt{1+\mu^2}}{\mu}$；选项 B 错误；

C．对乙分析可得 $\mu' mg=ma$；可得甲、乙之间的动摩擦因数为 $\mu'=\frac{1}{\mu}$；选项 C 正确；

D．由题中条件不可以求出甲、乙的质量之比，选项 D 错误。；故选 C。

3．（1）$a=1.5\times10^3\text{m/s}^2$（2）7.8m；（3）4cm

【详解】（1）礼花弹在发射筒内匀加速上升，有 $v^2=2ah_0$；解得 $a=1.5\times10^3\text{m/s}^2$

（2）根据牛顿第二定律有 $mg+0.2mg=ma_1$；解得 $a_1=12\text{m/s}^2$

根据运动学公式有 $v^2=2a_1h$；解得 $h=37.5\text{m}$

则 $H=h_0+h=37.8\text{m}$

（3）根据 $v^2-v_1^2=2a_1h\times0.96$；解得 $v_1=6\text{m/s}$；由 $v_1=v-a_1t_1$；解得 $t_1=2\text{s}$；$L=v_0t_1=2\times2\text{cm}=4\text{cm}$

4．(1) 0.15m；(2) 7.5m/s^2；(3) $F_{\min}=90\text{N}$，$F_{\max}=210\text{N}$

【详解】（1）未施加力 F 时，根据受力平衡可得 $mg=kx_0$

解得弹簧的压缩量为 $x_0=0.15\text{m}$

（2）根据题意可知，在 $t=0.2\text{s}$ 时，物体 P 与秤盘开始分离，此时弹簧处于原长状态，则在 $0\sim0.2\text{s}$ 内，根据运动学公式可得 $x_0=\frac{1}{2}at^2$

解得物体做匀加速直线运动的加速度大小为 $a=7.5\text{m/s}^2$

（3）物体 P 与秤盘分离前，以物体 P 为对象，根据牛顿第二定律可得 $F+N-mg=ma$

由于秤盘质量忽略不计，则有 $N=kx$

由于压缩量逐渐减小，N 逐渐减小，则 F 逐渐增大；可知初始时刻 F 最小，则有 $F_{\min}+kx_0-mg=ma$

解得 $F_{\min}=90\text{N}$

当物体 P 与秤盘分离时，$N=0$，此时 F 最大，则有 $F_{\max}-mg=ma$；解得 $F_{\max}=210\text{N}$

考点四：其他问题

题型一：弹簧某方向分力恒定

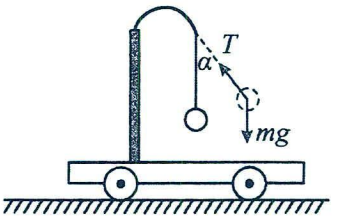
【典型例题】 ：A　　C

1．A

【详解】设 L_0 为橡皮筋的原长，k 为橡皮筋的劲度系数，小车静止时，对小球受力分析得 $T_1=mg$

弹簧的伸长量为 $x_1=\frac{mg}{k}$

即小球与悬挂点的距离为 $L_1=L_0+\frac{mg}{k}$



当小车的加速度稳定在一定值时，对小球进行受力分析如图

由牛顿第二定律可得 $T_2\cos\alpha-mg=0$，$T_2\sin\alpha=ma$；所以 $T_2=\frac{mg}{\cos\alpha}$

弹簧的伸长 $x_2=\frac{T_2}{k}=\frac{mg}{k\cdot\cos\alpha}$

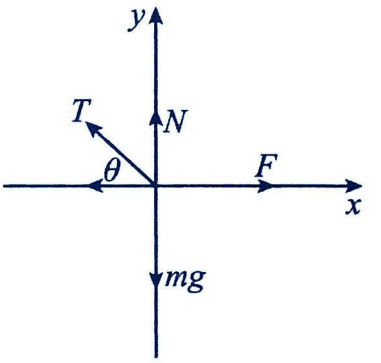
则小球与悬挂点的竖直方向的距离为 $L_2=(L_0+\frac{mg}{k\cdot\cos\alpha})\cos\alpha=L_0\cos\alpha+\frac{mg}{k}<L_0+\frac{mg}{k}=L_1$

所以 $L_1>L_2$，即小球在竖直方向上到悬挂点的距离减小，所以小球一定升高。

故选 A。

2．C

【详解】A．物体受到重力、支持力、水平拉力、弹性绳的拉力和摩擦力，如下图所示



设物体处于初始位置时，与 O_1 点的距离为 h，根据受力平衡可得 $N_0 = mg - kh$

设移动过程中弹力绳的伸长量为 x，弹力绳与水平面的夹角为 θ，根据受力平衡可得 $N = mg - kx\sin\theta = mg - kx \times \frac{h}{x} = mg - kh = N_0$

即移动过程中地面对物体的支持力 N 不变，故 A 错误；

B．由于 $f = \mu N$

故移动过程中地面对物体的摩擦力 f 不变，故 B 错误；

C．由受力平衡可得 $F = f + T\cos\theta$

故外力 F 与弹性绳对物体的弹力 T 的在水平方向上的合力为

$F_{合1x} = F - T\cos\theta = f$

可知外力 F 与弹性绳对物体的弹力 T 在水平方向上的合力不变，外力 F 与弹性绳对物体的弹力 T 在竖直方向的合力为 $F_{合1y} = T\sin\theta = kx \times \frac{h}{x} = kh$

可知外力 F 与弹性绳对物体的弹力 T 在竖直方向上的合力也不变，根据力的合成可知外力 F 与弹性绳对物体的弹力 T 的合力保持不变，故 C 正确；

D．地面对物体的支持力 N 与弹性绳对物体的弹力 T 在竖直方向的合力为 $F_{合2y} = T\sin\theta + N = mg$

即地面对物体的支持力 N 与弹性绳对物体的弹力 T 在竖直方向的合力保持不变，地面对物体的支持力 N 与弹性绳对物体的弹力 T 在水平方向的合力为 $F_{合2x} = T\cos\theta$

物体缓慢向右移动过程中 T 增大，θ 减小，故 $F_{合2x}$ 增大，根据力的合成可知该过程地面对物体的支持力 N 与弹性绳对物体的弹力 T 的合力增大，故 D 错误。

故选 C。

【变式训练】 ：BD　　BC

1．BD

【详解】AB．当小车的加速度大小为 a 时，设此时橡皮筋在 A 点下方的部分与竖直方向的夹角为 θ，橡皮筋的拉力大小为 T，在竖直方向上根据平衡条件得 Tcos θ ＝mg

在水平方向上根据牛顿第二定律得 Tsin θ ＝ma；解得 $T = \frac{mg}{\cos\theta}$；$a = g\tan\theta$；A 错误，B 正确；

C．根据加速度与角度的关系 $a = g\tan\theta$；可知，加速度增大，θ 增大，C 错误；

D．此时小球与悬挂点间的竖直距离为 $L = L_0 + \frac{T}{k}\cos\theta = L_0 + \frac{mg}{k}$

当 a 增大时，小球的高度保持不变，D 正确。

故选 BD。

2．BC

【详解】A．由于轻杆 BO 固定不能转动，则轻绳对滑轮的压力方向可以不沿着轻杆，故 A 错误；

BC．物块在 C 点时有 $N=mg-kx_{BC}$

设向右运动过程绳与水平方向间的夹角为 θ，B 与物块间绳子长度为 x，对物块竖直方向有

$N'+kx\sin\theta=mg$；$x_{BC}=x\sin\theta$；可得 $N'=mg-kx_{BC}$

滑动摩擦力 $f=\mu N'$，则支持力、摩擦力大小不变，故 BC 正确；

D．物块向右匀速运动，则有 $F=f+kx\cos\theta$；$x\cos\theta=x_{水平}$ $x_{水平}$ 增大，则 F 不断增大，故 D 错误。

故选 BC。

题型二：均质绳问题

【典型例题】 ：BD AD

1．BD

【详解】A、B、C、设粗绳与水平面间的动摩擦因数为 μ，力传感器读数为 F_T，对整根绳子，由牛顿第二定律有 F－μmg=ma，对粗绳左侧长度为 x 的部分，由牛顿第二定律有 $F_T-\mu\frac{mx}{L}g=\frac{mx}{L}a$，解得 $F_T=\frac{Fx}{L}$；由力传感器读数和已知条件，不能够判断粗绳运动是否受到摩擦力作用，可知水平外力 F 的大小，不能得出粗绳沿水平面做匀加速直线运动的加速度大小，故 A、C 错误，B 正确．

D、若水平外力 F 的大小恒定，则传感器读数 F_T 与 x 成正比，D 正确．

故选 BD．

2．AD

【详解】A、设绳子的质量为 m，长度为 l，则桌面以下的 x 段的绳子的质量 $m_x=\frac{x}{l}\cdot m$

桌面以上的部分 $m'=m-m_x=(1-\frac{x}{l})m$

桌面以下的 x 段的绳子受到重力和绳子的拉力，则 $m_xg-F_T=m_xa$

桌面以上的部分 $F_T=m'a$

联立得 $F_T=mg(\frac{x}{l}-\frac{x^2}{l^2})$；又 $F_T=5x-\frac{5}{2}x^2$

两式对比可得 $\frac{mg}{l}=5$；$\frac{mg}{l^2}=\frac{5}{2}$；可得 m=1kg；l=2m

故 A 正确，BC 错误；

D、当 x=1m 时粗绳的桌面以上的部分与桌面以下的部分长度相等，则两部分的质量相等，都是 0.5m，所以

$a=\frac{0.5mg}{m}=0.5g=5\text{m/s}^2$

故 D 正确。

故选 AD。

【变式训练】 ：A AC

1．BD

【详解】A、B、C、设粗绳与水平面间的动摩擦因数为μ，力传感器读数为F_T，对整根绳子，由牛顿第二定律有F－μmg＝ma，对粗绳左侧长度为x的部分，由牛顿第二定律有$F_T-\mu\frac{mx}{L}g=\frac{mx}{L}a$，解得$F_T=\frac{Fx}{L}$；由力传感器读数和已知条件，不能够判断粗绳运动是否受到摩擦力作用，可知水平外力F的大小，不能得出粗绳沿水平面做匀加速直线运动的加速度大小，故A、C错误，B正确．

D、若水平外力F的大小恒定，则传感器读数F_T与x成正比，D正确．

故选BD．

2．AD

【详解】A、设绳子的质量为m，长度为l，则桌面以下的x段的绳子的质量$m_x=\frac{x}{l}\cdot m$

桌面以上的部分$m'=m-m_x=(1-\frac{x}{l})m$

桌面以下的x段的绳子受到重力和绳子的拉力，则$m_xg-F_T=m_xa$

桌面以上的部分$F_T=m'a$

联立得$F_T=mg(\frac{x}{l}-\frac{x^2}{l^2})$；又$F_T=5x-\frac{5}{2}x^2$

两式对比可得$\frac{mg}{l}=5$；$\frac{mg}{l^2}=\frac{5}{2}$

可得m=1kg；l=2m

故A正确，BC错误；

D、当x=1m时粗绳的桌面以上的部分与桌面以下的部分长度相等，则两部分的质量相等，都是0.5m，所以$a=\frac{0.5mg}{m}=0.5g=5m/s^2$

故D正确。

故选AD。

第十七讲：牛顿运动定律应用（三）——图像专题

题型一：v-t 图，x-t 图

【典型例题】 ：A　　C　　D

1．A

【详解】根据$s-t$图像中斜率表示速度，由图可知，

$0\sim t_1$时间内，v 增大，由牛顿第二定律可知，$F>mg$；$t_1\sim t_2$时间内，v 不变，物体处于平衡状态，则有$F=mg$

$t_2\sim t_3$时间内，v 减小，由牛顿第二定律可知$F<mg$

故选 A。

2．C

【详解】A．匀速下降时满足$mg=kv_1$;可得 k 的值为$k=\frac{mg}{v_1}=\frac{2}{2}\text{N}\cdot\text{s/m}=1\text{N}\cdot\text{s/m}$；选项 A 错误；

B．图像的面积等于位移，由图像可知，上升过程中的位移小于做匀减速过程中的位移，则飞箭在上升过程的平均速度$\bar{v}<\frac{v_0}{2}=5\text{m/s}$；选项 B 错误；

C．飞箭射出瞬间的加速度大小为$a=\frac{mg+kv_0}{m}=\frac{2+1\times10}{0.2}\text{m/s}=60\text{m/s}^2$；选项 C 正确；

D．图像的斜率等于加速度，可知飞箭的加速度在上升和下降的过程中都在逐渐减小，选项 D 错误。

故选 C。

3．D

【详解】A．根据$v-t$图像可知，滑块在$0\sim15\text{s}$内的位移为$x=\frac{1}{2}\times(10+15)\times10\text{m}+\frac{1}{2}\times15\times5\text{m}=162.5\text{m}$

则滑块在$0\sim15\text{s}$内的平均速度大小为$\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{162.5}{15}\text{m/s}\approx10.83\text{m/s}$；故 A 错误；

B．根据$v-t$图像的斜率表示加速度，可知加速阶段的加速度大小为$a_1=\frac{15-10}{10}\text{m/s}^2=0.5\text{m/s}^2$

减速阶段的加速度大小为$a_2=\frac{15}{5}\text{m/s}^2=3\text{m/s}^2$

可知滑块加速与减速阶段的加速度大小之比为$a_1:a_2=1:6$；故 B 错误；

C．加速阶段根据牛顿第二定律可得$F-f=ma_1$；减速阶段根据牛顿第二定律可得$f=ma_2$

联立可得滑块所受的拉力与摩擦力大小之比为$F:f=7:6$；故 C 错误；

D．减速阶段根据牛顿第二定律可得$f=\mu mg=ma_2$；可得滑块与桌面之间的动摩擦因数为$\mu=\frac{a_2}{g}=0.3$；D 正确。

故选 D。

【变式训练】 ：C　　D　　C

1．C

【详解】A．在 2～4 s 内，由于匀速运动，因此外力 F=f；故 A 错误；

B．在 0～2 s 内，图像的斜率越来越小，则加速度越来越小，由 F－f＝ma 可知，力 F 逐渐变小，故 B 错误；

C．撤去拉力后，物体做减速运动的加速度大小 $a=\frac{\mu mg}{m}=\mu g=2\mathrm{m/s^2}$

因此物块与地面间的动摩擦因数 μ＝0.2，故 C 正确；

D．在 0～2 s 内，位移 s_1 大于 4 m，在 2～4 s 内，位移 s_2 等于 8 m，在 4～6 s 内，位移 s_3 等于 4 m，这样总位移大于 16 m，故 D 错误。

故选 C。

2．D

【详解】B．由乙图可知，物块上滑加速度大小为 $a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{10}{1}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$

物块上滑过程，由牛顿第二定律，可得 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$；解得 $\mu=0.5$；故 B 错误；

A．物块下滑过程，由牛顿第二定律，可得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得 $a_2=2\mathrm{m/s^2}$；故 A 错误；

CD．由乙图可知，0~1s 内滑块上滑的位移为 $x=\frac{1\times10}{2}\mathrm{m}=5\mathrm{m}$

设滑块下滑时间为 t，则有 $x=\frac{1}{2}a_2t^2$；解得 $t=\sqrt{5}\mathrm{s}$；物块回到斜面底端的时刻为 $t_2=1+\sqrt{5}\mathrm{s}$

物块回到斜面底端时速度大小为 $v=a_2t=2\sqrt{5}\mathrm{m/s}$；故 C 错误，D 正确。

故选 D。

3．C

【详解】A．$v-t$ 图像与坐标轴围成的面积表示位移，根据几何关系可知物块在 0～0.5s 时间内位移大于 1.5m，则物块在 0.5s 内的平均速度 $v>\frac{1.5}{0.5}\mathrm{m/s}=3\mathrm{m/s}$；故 A 错误；

B．bc 段物块沿着斜面做匀减速直线运动，由图可得 $a_2=\frac{6-0}{1.0-0.6}\mathrm{m/s^2}=10\mathrm{m/s^2}$

根据牛顿第二定律 $mg\sin37°+\mu mg\cos37°=ma_2$；解得 $\mu=0.5$；故 B 错误；

C．由图可得刚释放时滑块的加速度为 $a_1=\frac{10.26}{0.4}\mathrm{m/s^2}$

由牛顿第二定律得 $k\Delta x-\mu mg\cos37°-mg\sin37°=ma_1$；代入数据解得 $k=31\mathrm{N/m}$；故 C 正确；

D．弹簧在 0.4s 时加速度为 0，根据平衡条件得 $kx'=mg\sin37°+\mu mg\cos37°$；解得 $x'=\frac{20}{31}\mathrm{m}$；故 D 错误。

故选 C。

题型一：a-t 图

【典型例题】 ：BCD　　C

1．BCD

【详解】A．由图乙可知 $t=1\mathrm{s}$ 时撤去外力，物体在摩擦阻力作用下，加速度大小为 $2\mathrm{m/s^2}$，由牛顿第二定律可得摩擦阻力大小为 $f=ma_2=2\times2\mathrm{N}=4\mathrm{N}$

在 0～1s 时间内，物体的加速度为 $4\mathrm{m/s^2}$，由牛顿第二定律可得 $F-f=ma_1$；解得 $F=12\mathrm{N}$；故 A 错误；

B．由图乙可知，0～1s加速度为正方向，1～3s内物体加速度为负方向，所以0～1s和1～3s内物体加速度的方向相反，故B正确；

CD．t=1s时，物体的速度$v=a_1t_1=4\times1\text{m/s}=4\text{m/s}$；物体做减速运动的时间$t_2=\frac{v}{a_2}=\frac{4}{2}\text{s}=2\text{s}$

故物体在$t=3\text{s}$时刚好停下，速度是零，物体离出发位置最远，故C正确，D正确。

故选BCD。

2．C

【详解】A．t=0时刻，对A，有$F=m_Aa_0$；所以$F=1.5\text{N}$；故A错误；

BC．t=1s时，两物体加速度相同，则$F=(m_A+m_B)a_1$；$F_{弹}=m_Ba_1$；代入数据解得；$m_B=1\text{kg}$，$F_{弹}=0.6\text{N}$

故B错误，C正确；

D．$a-t$图像与横轴围成的面积表示速度变化量，若物体A的加速度从1.0m/s²均匀减小到0.6m/s²，图像的面积为$\Delta v=\frac{0.6+1.0}{2}\times1\text{m/s}=0.8\text{m/s}$

由于物体A的a-t图像的面积偏小，即速度变化量小于0.8m/s，则t=1s时A的速度大小小于0.8m/s，故D错误。

故选C。

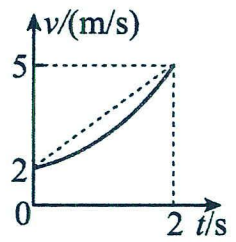
【变式训练】：C

1．C

【详解】A．根据$\Delta v=at$

可得$a-t$图像与坐标轴围成面积表示对应时间内速度的增量，

t=2s时刻，物体的速度为$v=\frac{(1+2)\times2}{2}\text{m/s}+2\text{m/s}=5\text{m/s}$；A错误；



B．由图2可得$a=1+\frac{1}{2}t$

可知在t=1s时刻，物块的加速度为1.5m/s²，B错误；

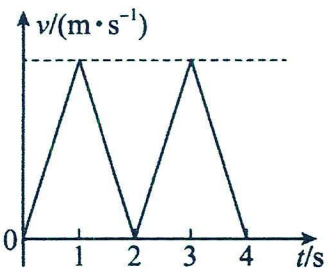
C．在t=1s时刻，由牛顿第二定律可得$F-\mu mg=ma$；解得$F=5\text{N}$；C正确；

D．在0～2s时间内，物体做加速度增大的加速运动，速度—时间图像如图中实线，虚线为匀变速直线运动的速度—时间图像；图像围成的面积表示位移，可知0～2s时间内，物体的位移$s<\frac{(2+5)\times2}{2}\text{m}=7\text{m}$；D错误；

故选C。

题型一：F-t图

【典型例题】：C　　BD　　A



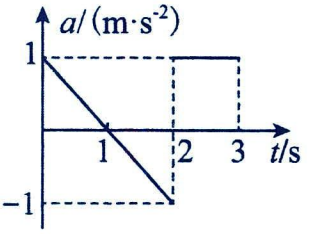
1．C

【详解】作出相应的小球的$v-t$图像如图所示

物体的运动方向由速度的方向决定，由图像可以看出，小球的速度方向始终没有变化，故小球始终向前运动。

故选C。

2．BD



【详解】A．根据动量定理，结合图中信息可知前 2s 内 $\frac{1}{2}Ft-\frac{1}{2}Ft=0$

即前 2s 内物体的速度改变量为 0。故 A 错误；

B．根据牛顿第二定律 $a=\frac{F}{m}$ 可得，物体的加速度随时间变化的图像如图所示

0~1s 内，物体向右加速，1~2s 向右减速，2s 时速度刚好减为 0，2s 内物体一直向右运动。故 B 错误；

CD．第 3s 内，物体从静止开始向右做匀加速运动，

根据牛顿第二定律可得物体的加速度为 $a=\frac{F}{m}=1\mathrm{m/s^2}$

第 3s 末速度为 $v=at_3=1\mathrm{m/s}$

第 2s 末物体的速度为零，第 3 秒内物体的位移为 $x=\frac{1}{2}at_3^2=0.5\mathrm{m}$；故 C 错误；D 正确。

故选 BD。

3．A

【详解】A．由丙图可得，在 0 ~ 3 s 内物体做匀加速直线运动，加速度为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{15-0}{3}\mathrm{m/s^2}=5\mathrm{m/s^2}$

根据牛顿第二定律可得 $F_1-\mu mg=ma$

在 3 ~ 6 s 内物体做匀速直线运动，则 $F_2=\mu mg$

其中 F_1 = 10 N，F_2 = 5 N，联立解得 $m=1\mathrm{kg}$，$\mu=0.5$；故 A 正确；

B．v - t 图像与横坐标所围成的面积表示位移，则物块在 0 ~ 9 s 内的平均速度大小为

$\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{\frac{1}{2}\times(3+6)\times15}{9}\mathrm{m/s}=7.5\mathrm{m/s}$；故 B 错误；

C．物块在 0 ~ 12 s 内的路程为 $s=\frac{1}{2}\times(3+\frac{9+6}{2})\times15\mathrm{m}+\frac{1}{2}\times(12-\frac{9+6}{2})\times15\mathrm{m}=112.5\mathrm{m}$

则物块在 0 ~ 12 s 内的平均速率为 $v=\frac{s}{t}=\frac{112.5}{12}\mathrm{m/s}=9.375\mathrm{m/s}$；故 C 错误；

D．物块在 0 ~ 12 s 内先向正方向运动，后向负方向运动，则物块在 0 ~ 12 s 内在地面上留下的黑色痕迹长为 $\Delta x=\frac{1}{2}\times(3+\frac{9+6}{2})\times15\mathrm{m}=78.75\mathrm{m}$；故 D 错误。

故选 A。

【变式训练】：C　　AC　　B

1．C

【详解】AB．小球落到弹簧表面后，开始压缩弹簧，此后弹簧的弹力开始增大，小球受到的合力减小，但方向仍然向下；当重力等于弹力时合力为零，速度达最大，故 t_1 时刻小球速度没有达到最大；速度达到最大之后，小球继续向下运动，弹力大于重力，合力方向向上，小球做减速运动，由图可知 t_2 时刻弹力最大，所以 t_2 时刻小球到最低点，速度为零，故 AB 错误；

CD．$t_2\sim t_3$ 这段时间内，小球开始向上运动，因为开始时弹力大于重力，所以合力方向向上，但是小球向上运动

时，弹力减小，所以合力减小，则小球向上做加速度减小的加速运动，当弹力等于重力时，速度最大；之后继续向上运动，弹力小于重力，合力方向向下，随着弹力的减小，合力增大，所以小球向上做加速度增大的减速运动，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

2．AC

【详解】$0-T_0$过程中，$F=mg$，物块与墙壁间最大静摩擦力为 0.5mg，小于物块自身重力，物块向下做匀加速直线运动，加速度大小为$a_1=\dfrac{mg-0.5mg}{m}=0.5g$

T_0时刻，物块速度为$v_1=a_1t_1=0.5gT_0$；位移为$x_1=\dfrac{1}{2}a_1t_1^2=0.25gT_0^2$

T_0-2T_0过程中，$F=3mg$，物块与墙壁间为滑动摩擦力，大小为 1.5mg，大于物块自身重力，物块会向下做匀减速运动，加速度大小为$a_2=\dfrac{1.5mg-mg}{m}=0.5g$；减速至 0 的时间为$t_2=\dfrac{v_1}{a_2}=T_0$

该段时间内物块向下位移为$x_2=v_1t_2-\dfrac{1}{2}a_2t_2^2=0.25gT_0^2$

由上述分析可知，物块在T_0时刻速度最大，最大速度为$0.5gT_0$，

整个过程中位移为$x=x_1+x_2=0.5gT_0^2$

故选 AC。

3．B

【详解】AC．由推力与时间的图像可得$F_A=8-2t$，$F_B=2+2t$；则$t=0$时，可知$F_{A0}=8\text{N}$，$F_{B0}=2\text{N}$

由于$m_A>m_B$，所以二者不会分开，A、B 两物体的加速度为$a=\dfrac{F_A+F_B}{m_A+m_B}=1\text{m/s}^2$

设此时 A、B 之间的相互作用力为 F，对 B 根据牛顿第二定律可得$F+F_{B0}=m_Ba$；解得$F=2\text{N}$；故 AC 错误；

BD．当二者之间的相互作用力恰好为零时开始分离，此时的加速度相同，则有$\dfrac{F_B}{m_B}=\dfrac{F_A}{m_A}$

即$\dfrac{2+2t}{4}=\dfrac{8-2t}{6}$；解得$t=1\text{s}$；分离时的速度为$v=at=1\text{m/s}$；故 B 正确，D 错误。

故选 B。

题型一：F-a 图

【典型例题】 ：ABD　　2．（1）$\mu=0.5$，$m=0.4\text{kg}$；（2）0，$1.25\text{m}/s^2$，$8.75\text{m}/s^2$

1．ABD

【详解】A．由题图可知，其力 F 小于 A 点值时，其加速度为零，即物体处于平衡态，而初始物体静止不动，所以当 F 小于图乙中 A 点横坐标表示的值时，物体的重力 Mg>F，物体不动，故 A 正确；

B．当 F 为 A 点值时，物体的加速度恰好为零，对物体有$F=Mg$，故图中 A 点值即物体的重力大小，故 B 正确；

C．物体向上运动，对物体有$F-Mg=Ma$；整理有$a=\dfrac{1}{M}F-g$

所以物体向上运动的加速度和力 F 成一次线性关系，而不是正比关系，故 C 错误；

D．由之前的分析可知，其图像的解析式为 $a=\frac{1}{M}F-g$；

所以图线延长线和纵轴的交点 B 的纵坐标为 $-g$，故 D 正确。

故选 ABD。

2．（1）$\mu=0.5$，$m=0.4\text{kg}$；（2）0，$1.25\text{m}/s^2$，$8.75\text{m}/s^2$

【详解】（1）F 在 2~5N 内时，对圆环受力分析可得 $F\cos\theta-\mu\left(mg-F\sin\theta\right)=ma$

当拉力超过 5N 时，支持力方向相反，所以当拉力为 5N 时 $F\sin\theta=mg$

代入图中数据，联立求解可得 $\sin\theta=0.8$，$\mu=0.5$，$m=0.4\text{kg}$

（2）当圆环受到的摩擦力大小为 1N，且拉力小于 2N 时，对圆环受力分析可知 $F_{合}=0$ 即 $F\cos\theta=f=1\text{N}$

解得圆环的加速度为 0；

当圆环受到的摩擦力大小为 1N，且 $2\text{N}<F<5\text{N}$ 时，可知 $\mu(mg-F\sin\theta)=1\text{N}$；解得 $F=2.5\text{N}$

由 $F\cos\theta-\mu(mg-F\sin\theta)=ma$；解得 $a=1.25\text{m}/s^2$

当圆环受到的摩擦力大小为 1N，且拉力 $5\text{N}<F$ 时，可知 $\mu(F\sin\theta-mg)=1\text{N}$；解得 $F=7.5\text{N}$

由 $F\cos\theta-\mu(F\sin\theta-mg)=ma$；得 $a=8.75\text{m}/s^2$

【变式训练】：BD　　BCD

1．BD

【详解】以物块为对象，根据牛顿第二定律可得 $F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

可得 $a=\frac{F}{m}-\frac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{m}=\frac{1}{m}F-\left(g\sin\theta+\mu g\cos\theta\right)$

结合 $a-F$ 图像可得 $\frac{1}{m}=k=\frac{b}{c}$，$-g\sin\theta+\mu g\cos\theta=-b$；可知小物块的质量为 $m=\frac{1}{k}$

摩擦力与重力沿斜面的分力大小之和为 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=c$；故选 BD。

2．BCD

【详解】ABC．根据题意，由图乙可知，

当 $F=F_1=1\text{N}$ 时，木板相对地面开始滑动，则有 $F_1=\mu_2\left(M+m\right)g$

当 $F_1\le F\le F_3=3\text{N}$ 时，小物块与长木板一起加速运动，则有 $F-\mu_2\left(M+m\right)g=\left(M+m\right)a$；解得 $a=\frac{F}{M+m}-\mu_2 g$

结合图乙可得 $-a_0=-\mu_2 g$，$a_0=1\text{m/s}^2$；解得 $\mu_2=\frac{a_0}{g}=\frac{1}{10}=0.1$

当 $F>F_3$ 时，小物块与长木板间相对滑动，对小物块有 $F-\mu_1 mg=ma$；解得 $a=\frac{F}{m}-\mu_1 g$

结合图乙可得 $\frac{1}{m}=\frac{a_1}{F_3-F_2}$，$a_1=2\text{m/s}^2$，$F_2=2.5\text{N}=\mu_1 mg$

则小物块的质量 $m=\frac{F_3-F_2}{a_1}=\frac{3-2.5}{2}\text{kg}=0.25\text{kg}$；$\mu_1=\frac{F_2 a_1}{\left(F_3-F_2\right)g}=\frac{2.5\times2}{(3-2.5)\times10}=1$；故 A 错误，BC 正确；

D．对长木板有 $\mu_1 mg-\mu_2\left(M+m\right)g=Ma_1$，解得，长木板的质量 $M=\frac{F_2-F_1}{a_1}=\frac{2.5-1}{2}\text{kg}=0.75\text{kg}$；故 D 正确。

故选 BCD。

题型一：其他图像

【典型例题】 ：BD　　D　　A　　A

1．BD

【详解】A B．根据题意可知，速度增加到v_2，物体开始做匀速运动，则有$F_2=mg$

解得重物的质量为$m=\frac{F_2}{g}$；故A错误，B正确；

C．从$B\to A$过程，$\frac{1}{F}$增大，拉力F减小，根据牛顿第二定律可知$F-mg=ma$；得$a=\frac{F-mg}{m}$

重物的加速度逐渐减小，则重物在AB段做变加速运动，故C错误；

D．重物在CB段，$\frac{1}{F}$不变，拉力F不变，由牛顿第二定律得$F_1-mg=ma$

重物的加速度$a=\frac{F_1-mg}{m}=\frac{F_1-\frac{F_2}{g}g}{\frac{F_2}{g}}=\frac{F_1g}{F_2}-g$

重物做匀加速度直线运动，重物在CB段运动时间是$t=\frac{v_1}{a}=\frac{v_1}{\frac{F_1g}{F_2}-g}=\frac{F_2v_1}{(F_1-F_2)g}$；故D正确。故选BD。

2．D

【详解】A．当滑块位移为x时，弹簧弹力的减小量为$\Delta F_{弹}=kx$

根据图像可知，拉力F的增加量为$\Delta F=k'x$；因$k=k'$

故弹簧弹力的减小量等于拉力F的增加量，即滑块所受合力不变，因此滑块做匀加速直线运动，A错误；

B．若滑块运动4cm时与弹簧分开。则滑动摩擦力大小为$F_1=kx=\mu mg$；解得$\mu=0.2$；B错误；

C．根据图像可知，$x=0$时，拉力$F=2\mathrm{N}$，根据牛顿第二定律有$F=ma$；解得$a=1\mathrm{m/s^2}$；C错误；

D．根据$x=\frac{1}{2}at^2$；可得$t=0.2\mathrm{s}$；D正确。故选D。

3．A

【详解】根据图象可知，当v=0时，小球的加速度为b，此时小球受到的空气阻力为0，只受重力，加速度即为重力加速度，则g=b，故A正确，B错误；根据图象可知，当加速度为0时，速度为n，此时受到的空气阻力为$f=\rho n$，加速度为零，受力平衡，则有：$mg=\rho n$，解得：$\rho=\frac{mb}{n}$，故CD错误．故选A．

4．A

【详解】皮球受到的空气阻力大小与速度成正比，设比例系数为k，则$f=kv$，由牛顿第二定律可得$mg-kv=ma$；解得$a=\frac{mg-kv}{m}=-\frac{k}{m}v+g$

皮球做加速度减小的加速运动，当加速度减为0时，皮球速度达到最大，皮球保持最大速度匀速运动。故选A。

跟踪练习（七）

1．C

【详解】A．甲图中的鹅卵石受重力、两个弹力和两个静摩擦力，共五个力，A 错误；

B．图乙中下方筷子对鹅卵石的弹力与鹅卵石对其的弹力是一对作用力与反作用力，其大小相等，方向相反，故 B 错误；

C．当缓慢增大图丙中筷子与水平方向的夹角，鹅卵石始终处于平衡状态，鹅卵石受到筷子对它的作用力与重力互为一对平衡力，故不变，故 C 正确；

D．若图甲中筷子夹着鹅卵石一起向上匀速运动，鹅卵石受到摩擦力方向为竖直向上，故 D 错误。

故选 C。

2．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；

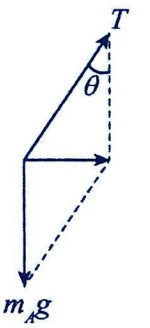
C．在起跳时，运动员具有向上的加速度，地面对运动员的支持力大于重力，根据牛顿第三定律可知运动员对地面的压力大于重力，故 C 正确；

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。

3．D

【详解】AB．以小球 A 为研究对象，分析受力如图所示



根据牛顿第二定律得 $m_Ag\tan\theta=m_Aa$ ；可得 $a=g\tan\theta$

方向向东，列车的速度方向可能向东，也可能向西，则列车可能向东做加速运动，也可能向西做减速运动，故 AB 错误；

C．物块 B 始终相对列车静止在桌面上，对物体 B 由牛顿第二定律得 $f=ma=mg\tan\theta$

即桌面对 B 的静摩擦力大小为 $mg\tan\theta$，方向向东，由牛顿第三定律可知物块对桌面的摩擦力大小为 mgtan θ，方向水平向西，故 C 错误；

D．对 A 球在竖直方向平衡可得 $T\cos\theta=m_Ag$ ；可得 $T=\dfrac{m_Ag}{\cos\theta}>m_Ag$ ，则轻绳对小球的拉力一定大于小球的重力，故 D 正确。

故选 D。

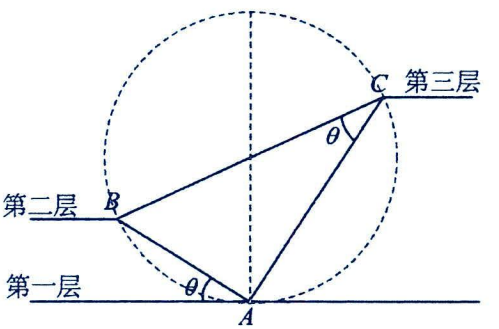
4．D

【详解】斜面的倾角相同，两个叠放的物块无相对滑动地沿斜面一起匀加速下滑，

整体沿斜面下滑的加速度 $a=g\sin\theta$

则斜面一定是光滑的。题中甲、乙、丙图上方物块所受重力沿斜面向下的分力均为 $mg\sin\theta$，甲图上方物块所受支持力的方向垂直于斜面，沿斜面方向没有分力，乙图和丙图上方物块所受支持力沿斜面方向均有分力，必须有摩擦力才能使合力为 $mg\sin\theta$。

故选 D。



5．D

【详解】如图，以 ABC 三点构建一个竖直面内的圆，A 为圆与第一层水平面的切点，由题可知弦切角等于圆周角，所以 A 为最低点，AB、AC 为圆的两条弦，根据等时圆知识可知 $t_{BA}=t_{CA}<t_{CB}$

故选 D。

6．D

【详解】A．轻弹簧恰好处于水平状态，弹簧受到的合力为零，可得 A 对弹簧的力和 B 对弹簧的力大小相等，所以 A 和 B 所受弹簧弹力大小相等，故 A 错误；

B．设弹簧弹力大小为 F，对 A、B 分别进行受力分析可得 $\frac{m_{\mathrm{A}}g}{F}=\tan 60°$，$\frac{m_{\mathrm{B}}g}{F}=\tan 45°$；

解得 $\frac{m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{B}}}=\sqrt{3}:1$；故 B 错误；

C．设左右两边细线上拉力分别为 T_{A} 和 T_{B}，

对 AB 整体进行受力分析可得水平方向有 $T_{\mathrm{A}}\cos 60°=T_{\mathrm{B}}\cos 45°$；即 $\frac{T_{\mathrm{A}}}{T_{\mathrm{B}}}=\sqrt{2}:1$；故 C 错误；

D．根据平衡条件可得剪断两细线的瞬间，A、B 合力大小分别等于 T_{A} 和 T_{B}，

所以有 $a_{\mathrm{A}}=\frac{T_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}}$，$a_{\mathrm{B}}=\frac{T_{\mathrm{B}}}{m_{\mathrm{B}}}$；可得 $\frac{a_{\mathrm{A}}}{a_{\mathrm{B}}}=\frac{\sqrt{6}}{3}$；故 D 正确。

故选 D。

7．B

【详解】对物块由牛顿第二定律可知 $F-mg\sin\theta-f=ma$；可得 $a=\frac{F}{m}-g\sin\theta-\frac{f}{m}$

由图像可知 $k=\frac{1}{m}=\frac{b}{c}$；可得小物块的质量为 $m=\frac{1}{k}$；$g\sin\theta+\frac{f}{m}=b$

可得摩擦力与重力沿斜面的分力大小之和 $mg\sin\theta+f=bm=\frac{b}{k}=c$

故选 B。

8．D

【详解】C．小物块沿斜面向上滑行的初速度 $v_0=12\mathrm{m/s}$，由 $a_{AB}=2a_{BC}$；可得 $\frac{v_0-v_B}{t_0}=2\cdot\frac{v_B}{t_0}$；解得 $v_B=4\mathrm{m/s}$

设 AB 段长度为 s_{AB}，加速度大小为 2a，BC 段长度为 s_{BC}，加速度大小为 a，则根据运动学公式 AB 段有

$v_B^2-v_0^2=2\times(-2a)s_{AB}$ BC 段有 $0-v_B^2=2(-a)s_{BC}$

已知 $v_0=12\mathrm{m/s}$，因 BC 段长度未知，无法求出加速度及斜面 AB 段的长度，C 错误；

AB．小物块在 AB 段，根据牛顿第二定律得 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=m\cdot 2a$

小物块在 BC 段 $mg\sin\theta=ma$

因加速度未知，所以不能解得斜面 ABC 倾角及物块与斜面之间的动摩擦因数，AB 错误；

D．小物块下滑时通过 AB 段，根据牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma'$

因为$mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta=ma$；解得$a'=0$；D 正确。

故选 D。

9．CD

【详解】A．在 3 号猴子手滑后的一瞬间，4 号猴子只受重力作用，其加速度等于重力加速度，速度等于 0，故 A 错误；

B．在 3 号猴子手滑后的一瞬间，1 号、2 号、3 号猴子整体所受的合外力大小为mg，方向竖直向上，根据牛顿第二定律有$mg=3ma$；解得加速度大小$a=\frac{1}{3}g$；加速度的方向竖直向上，故 B 错误；

C．设 2 号猴子对 3 号猴子的作用力大小为F_{23}，根据牛顿第二定律有$F_{23}-mg=ma$；解得$F_{23}=\frac{4mg}{3}$；故 C 正确；

D．根据牛顿第三定律可知 1 号猴子对 2 号猴子的作用力大小与 2 号猴子对 1 号猴子的作用力大小相等，故 D 正确。

故选 CD。

10．AD

【详解】缆车以加速度 a 上行，小物块的加速度也为 a，以小物块为研究对象，沿斜面方向，根据牛顿第二定律有$F_{\mathrm{f}}-mg\sin30°=ma$；解得$F_{\mathrm{f}}=\frac{1}{2}mg+ma$方向平行斜面向上。

垂直斜面方向，根据平衡条件有 F_N-mgcos30° =0；解得$F_{\mathrm{N}}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

故选 AD。

11．AD

【详解】A．由题图可知，当风速$v=5\mathrm{m/s}$时，加速度为零，物体沿斜面下滑的速度最大，故 A 正确；

B．由题图可知，物体的加速度逐渐减小，所以物体沿斜面不是匀变速运动，故 B 错误；

C．对初始时刻，没有风的作用，物体的加速度大小为$a_0=5\mathrm{m/s^2}$，对物体受力分析，

根据牛顿第二定律可得$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_0$；解得物体与斜面间的动摩擦因数为$\mu=0.125$；故 C 错误；

D．当风速$v=5\mathrm{m/s}$时，加速度为零，根据受力平衡可得$mg\sin\theta-\mu N-kv\cos\theta=0$；又$N=mg\cos\theta+kv\sin\theta$

联立解得比例系k为$k=\frac{16}{7}\mathrm{kg/s}$；故 D 正确。

故选 AD。

12．AB

【详解】A．根据题意，对 AB 整理受力分析，由平衡条件有$2mg\sin30°=kx$；解得$x=\frac{mg}{k}$；故 A 正确；

B．设外力施加的瞬间，A、B 间的弹力大小为F_{AB}，对 B 由牛顿第二定律有$F+F_{\mathrm{AB}}-mg\sin30°=ma$

对 AB 整体由牛顿第二定律有$F=2ma$；联立解得$F_{\mathrm{AB}}=m\left(\frac{g}{2}-a\right)$；故 B 正确；

C．根据题意可知，当 A 所受合力为零时，A 的速度最大，此时弹簧弹力不为零，即弹簧未恢复到原长，故 C 错误；

D．由图可知，A、B 在t_1时刻分离，此时 A、B 间的弹力大小为 0，对 A 由牛顿第二定律有$F_{\mathrm{T}}-mg\sin30°=ma$；

解得 $F_T = m\left(\frac{g}{2}+a\right)$；故 D 错误。

故选 AB。

13. (1)A;(2) 不挂　　与木板平行;(3) 反比　　大

【详解】（1）该实验中同时研究三个物理量间关系是很困难的，因此我们可以控制其中一个物理量不变，研究另外两个物理量之间的关系，即采用了控制变量法。故选 A。

（2）[1][2] 平衡摩擦力时不能悬挂槽码，使小车重力沿斜面向下的分力等于其受到的摩擦力大小，细线与长木板平行，细线对小车的拉力即为小车受到的合外力。

（3）[1] 根据图像可知 $\frac{1}{a}$ 与 M 成正比，故在所受外力一定的条件下，a 与 M 成反比；

[2] 设槽码的质量为 m，则由牛顿第二定律得 $mg=(m+M)a$；整理得 $\frac{1}{a}=\frac{1}{mg}\cdot M+\frac{1}{g}$

可见斜率越小，槽码的质量 m 越大，由图可知甲组所用的槽码质量比乙组的更大。

14. (1)D;(2)不需要;(3)0.20;(4) 平衡摩擦力过度　　1.0;(5)AB

【详解】（1）A. 因有拉力传感器，则不需要用天平测出砂和砂桶的质量，故 A 错误；

B. 小车靠近打点计时器，先接通电源，再释放小车，故 B 错误；

CD. 平衡摩擦力时，将无滑轮端适当垫高，并在小车后端连纸带且穿过打点计时器，但前端不需要连接轻绳、悬挂砂桶，故 C 错误，D 正确。；故选 D。

（2）因有拉力传感器可测出拉力，则在实验过程中，向砂桶内加砂时，不需要保证砂和砂桶的总质量 m 远小于小车的总质量 M。

（3）纸带上相邻的两个计数点之间还有 4 个点没有画出，则 T=0.1s

该小车的加速度 $a=\frac{x_{CE}-x_{AC}}{4T^2}=\frac{(2.40-1.60)\times10^{-2}}{4\times0.1^2}\text{m/s}^2=0.20\text{m/s}^2$

（4）[1][2]由图像可知，当拉力为零时小车就已经有了加速度，可知原因是木板抬得过高，平衡摩擦力过度；

由 2F=Ma;可得 $a=\frac{2}{M}F$；则 $\frac{2}{M}=\frac{5.0-1.0}{2.0}=2$;解得 M=1.0kg

（5）滑块经过两光电门的速度分别为;$v_1=\frac{d}{\Delta t_1}$;$v_2=\frac{d}{\Delta t_2}$；所以滑块运动的加速度为 $a=\frac{v_2-v_1}{\Delta t}=\frac{\frac{d}{\Delta t_2}-\frac{d}{\Delta t_1}}{\Delta t}$

滑块所受合力为绳的拉力，当钩码的质量远小于滑块质量时，绳的拉力近似等于钩码的重力，即 $F=mg=Ma$

所以还需要测量或记录的数据为遮光条宽度、钩码的质量。

故选 AB。

15. (1)0.5;(2) 2m/s^2

【详解】（1）由题知，最上层谷粒恰好处于静止状态，设圆锥体的底角为 θ，对其受力分析，

可得 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$;解得 $\tan\theta=0.5$

（2）当圆锥体底角大小为 $37°$ 时，对最上层谷粒，根据牛顿第二定律有 $mg\sin37°-\mu mg\cos37°=ma$；

解得 $a=2\text{m/s}^2$

16. (1) 10N ; (2) 80m

【详解】（1）无人机携带炸弹在地面上从静止开始，以最大升力竖直向上起飞，设加速度大小为a，根据运动学公式可得$h=\frac{1}{2}at^2$；解得$a=\frac{2h}{t^2}=\frac{2\times27}{3^2}\mathrm{m/s^2}=6\mathrm{m/s^2}$

根据牛顿第二定律可得$F-(M+m)g-f=(M+m)a$

解得无人机运动过程中所受空气阻力大小为$f=10\mathrm{N}$

（2）若无人机悬停在离地 20m 处，突然释放炸弹，炸弹做自由落体运动，则有$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$；解得$t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=2\mathrm{s}$

以无人机为对象，根据牛顿第二定律可得$F-Mg-f=Ma'$；解得$a'=30\mathrm{m/s^2}$

根据运动学公式可得$h'=\frac{1}{2}a't_1^2=60\mathrm{m}$

则炸弹落地时无人机的离地高度为$H=h_1+h'=80\mathrm{m}$

17. （1）0.2N，方向水平向右；（2）0.75N，方向沿斜面向下

【详解】（1）设 AB 静止时，连接两者的轻绳绳中拉力为 T，

对 B 受力分析有$m_B g\sin30°=T$；解得$T=1.5\mathrm{N}$

对 A 受力分析有$T=F_0+f$；解得$f=0.2\mathrm{N}$方向水平向右

（2） B 以加速度 a=0.3m/s² 开始做匀加速直线运动，历时 2s，从 P 到 Q，则$x_{PQ}=\frac{1}{2}at^2=0.6\mathrm{m}$

B 到达 Q 位置时，弹簧形变量$\Delta x=\frac{x_{PQ}}{\sin30°}-x_{PQ}\tan60°=\left(1.2-0.6\sqrt{3}\right)\mathrm{m}$

弹簧弹力$F_{弹}=k\cdot\Delta x=\left(6-3\sqrt{3}\right)\mathrm{N}$

对 A：两者加速度大小相同，连接两者的轻绳绳中拉力为 T_2，则$T_2-F_0-f_{A滑}=m_A a$

解得$T_2=1.76\mathrm{N}$

对 B 在 Q 位置时受力分析，由牛顿第二定律可得$F+m_B g\sin30°-F_{弹}\sin30°\text{-}T_2=m_B a$

解得$F\approx0.75\mathrm{N}$；方向沿斜面向下

第十八讲：牛顿运动定律应用（四）

考点一：传送带问题

题型一：同向水平传送带

【典型例题】 ：AC　　BD　　3．(1) $2\mathrm{m/s^2}$；(2)5.5s

1．AC

【详解】根据 $v^2=2aL$，在滑块从 A 位置下滑的情况下，滑块通过斜面底端时的速度等于 $1\mathrm{m/s}$，B 比 A 处低，则在滑块从 B 位置下滑的情况下，滑块通过斜面底端时的速度小于 $1\mathrm{m/s}$，若传送带足够长，则滑块在传送带上先做加速运动后做匀速运动；若传送带不够长，则滑块在传送带上一直做加速运动。

故选 AC。

2．BD

【详解】A．根据牛顿第二定律，开始时小物块的加速度为 $a=\dfrac{\mu mg}{m}=4\mathrm{m/s^2}$

小物块运动到速度与传送带速度相等时的时间 $t_1=\dfrac{v_0}{a}=1\mathrm{s}$；位移大小为 $x_1=\dfrac{1}{2}at_1^2=2\mathrm{m}<x$

此后小物块与传送带以相同的速度匀速运动直至 B 端，A 错误；

B．小物块匀速运动时有 $x_2=x-x_1=2\mathrm{m}$；$t_2=\dfrac{x_2}{v_0}=0.5\mathrm{s}$；运动的总时间为 $t=t_1+t_2=1.5\mathrm{s}$；B 正确；

C．小物块达到的最大速度等于传送带速度，即为 $4\mathrm{m/s}$，C 错误；

D．物块相对于传送带的位移大小为 $\Delta x=v_0t_1-x_1=2\mathrm{m}$；D 正确。

故选 BD。

3．(1) $2\mathrm{m/s^2}$；(2)5.5s

【详解】（1）当快件做加速运动时，由牛顿第二定理可得 $\mu mg=ma$；代入数据，解得 $a=2\mathrm{m/s^2}$

（2）当快件的速度与传送带速度相等时，运动的位移为 $v^2=2ax_1$；代入数据，解得 x_1=0.25m

经历的时间为 $t_1=\dfrac{v}{a}=0.5\mathrm{s}$；此时快件离 B 处的距离为 $x_2=L-x_1=5\mathrm{m}$；则匀速运动的时间为 $t_2=\dfrac{x_2}{v}=5\mathrm{s}$

故快件从 A 运送到 B 所用的时间为 $t=t_1+t_2=5.5\mathrm{s}$

【变式训练】 ：D　　D　　3．（1）4m/s；（2）4.3s

1．D

【详解】AB．由 v—t 图像可知，小行李箱开始做匀减速直线运动，后与传送带一起匀速运动，则小行李箱的初速度 v_0 为 6m/s，而传送带转动的速度 v 大小为 2m/s，故 AB 错误；

C．根据 v—t 图像，小行李箱在前 3s 内运动的距离为 $x=\dfrac{6+2}{2}\times1\mathrm{m}+2\times2\mathrm{m}=8\mathrm{m}$

则 A、B 两点间的距离为 8m，故 C 错误；

D．根据 v—t 图像，在前 3s 内传送带传动的路程为 $s=2\times3\mathrm{m}=6\mathrm{m}$

所以小行李箱与传送带的相对位移大小为 $\Delta x=x-s=2\mathrm{m}$

故 D 正确。

故选 D。

2．D

【详解】AB．行李在传送带上相对滑动时，对行李，由牛顿第二定律得$a=\mu g=0.5\times10\text{m/s}^2=5\text{m/s}^2$

行李在传送带上加速到与传送带速度相等需要的时间$t_1=\frac{v}{a}=0.2\text{s}$

行李加速运动的位移$x_1=\frac{v}{2}t_1=0.1\text{m}<L=2\text{m}$

行李匀速运动到B端需要的时间$t_2=\frac{L-x_1}{v}=\frac{2-0.1}{1}\text{s}=1.9\text{s}$

行李到达B端需要的时间$t=t_1+t_2=(0.2+1.9)\text{s}=2.1\text{s}$

乘客到达B端的时间$t_{乘客}=\frac{L}{v}=2\text{s}$

乘客比行李提前到达B处的时间$\Delta t=t-t_{乘客}=(2.1-2)\text{s}=0.1\text{s}$；故AB错误；

CD．传送带速度增至$v'=2\text{m/s}$时，

行李在传送带上加速到与传送带速度相等需要的时间$t_1'=\frac{v'}{a}=0.4\text{s}$

行李加速运动的位移$x_1'=\frac{v}{2}t_1'=0.4\text{m}<L=2\text{m}$

行李匀速运动到B端需要的时间$t_2'=\frac{L-x_1'}{v'}=\frac{2-0.4}{2}\text{s}=0.8\text{s}$

行李到达B端需要的时间$t'=t_1'+t_2'=(0.4+0.8)\text{s}=1.2\text{s}$

乘客到达B端的时间$t_{乘客}'=\frac{L}{v'}=\frac{2}{2}\text{s}=1\text{s}$

乘客比行李提前到达B处的时间$\Delta t'=t'-t_{乘客}'=(1.2-1)\text{s}=0.2\text{s}$

传送带的速率增至2m/s时，乘客比行李提前到达B处，乘客与行李到达B处的时间差将增大，故C错误，D正确。

故选D。

3．（1）4m/s；（2）4.3s

【详解】（1）包裹从A运动到B的过程中$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_1$　$v_B^2=2a_1L_{AB}$　解得v_B=4m/s

（2）包裹从A运动到B的过程中$v_B=a_1t_1$

包裹刚滑上传送带到与传送带共速的过程中$\mu mg=ma_2$　$v=v_B-a_2t_2$　$x=\frac{v_B+v}{2}t_2$

解得t_2=0.4s，x=1.2m

因为x=1.2m＜5m，因此包裹和传送带共速后匀速向右运动$t_3=\frac{L_{BC}-x}{v}$

所以包裹从A点传送到C点所需的时间为$t=t_1+t_2+t_3=4.3\text{s}$

题型二：反向水平传送带

【典型例题】　：BD　　AD　　D

1．BD

【详解】AC．由题意知，选取水平向左为速度 v 的正方向。则开始时，物块受水平向右的滑动摩擦力，以$a=\mu g$先向左做匀减速运动，如果传送带足够长，物块向左减速为零后又向右以$a=\mu g$做匀加速直线运动，若传送带较短，则物块一直向左减速运动，不可能向左匀速运动，更不可能向左减为零后继续向左加速，故 AC 错误；

B．如果$v_1>v_2$，则物块向左减速为零后再向右一直匀加速回右端，且由对称性知，回到右端时的速度大小仍等于v_2，故 B 正确；

D．如果$v_1<v_2$，则物块先向左减速为零，之后再向右加速到v_1时所受摩擦力为零，则之后随传送带一起匀速运动回右端，故 D 正确。

故选 BD。

2．AD

【详解】A．由图乙可知，小煤块加速度大小为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=2\mathrm{m/s^2}$

根据牛顿第二定律有$\mu mg=ma$；联立解得μ=0.2；故 A 正确；

B．在 t=3s 时，小煤块与传送带达到共速，此时小煤块相对传送带滑动的距离达到最大，故 B 错误；

C．0~3s，小煤块受到滑动摩擦力，之后，小煤块与传送带共速，保持相对静止，没有摩擦力，故 C 错误；

D．小煤块匀减速运动过程中，向左的位移大小为$x_1=\frac{1}{2}v_0t_1=4\mathrm{m}$

这一过程中，小煤块在传送带上留下的痕迹长为$\Delta x_1=x_1+vt_1=8\mathrm{m}$

2s 后小煤块向右匀加速至共速，这一过程中，小煤块向右的位移大小为$x_2=\frac{1}{2}vt_2=1\mathrm{m}$

之后，小煤块与传送带共速回到 A 点，在向右匀加速至共速过程中，

小煤块在传送带上留下的痕迹长为$\Delta x_2=vt_2-x_2=1\mathrm{m}$

则小煤块返回到 A 点时在传送带上留下的痕迹长为$\Delta x=\Delta x_1+\Delta x_2=9\mathrm{m}$；故 D 正确。

故选 AD。

3．D

【详解】A．设物块 A 沿斜面滑到底端时的速度大小为v_A，

根据动能定理有$mgh=\frac{1}{2}mv_\mathrm{A}^2$；解得$v_\mathrm{A}=4\mathrm{m/s}$；A 错误；

B．假设物块 A 一直做匀加速直线运动，经过时间二者相碰，有$v_\mathrm{A}t+\frac{1}{2}\mu_1gt^2+\frac{1}{2}\mu_2gt^2=L$ 解得$t=2\mathrm{s}$

此时物块 A 的速度大小$v_\mathrm{A}^{'}=v_\mathrm{A}+\mu_1gt=8\mathrm{m/s}$；假设成立，B 错误；

CD．根据上述分析可得$0=v_\mathrm{B}-\mu_2gt$；解得 $v_\mathrm{B}=\mu_2gt=8\mathrm{m/s}$；C 错误，D 正确。

故选 D。

【变式训练】：BCD　　BC　　D

1．BCD

【详解】A．在0-t_1时间内小物块向左减速，受向右的摩擦力作用，在t_1-t_2时间内小物块向右加速运动，受到向右的摩擦力作用，t_1时刻小物块向左运动到速度为零，离A处的距离达到最大，故A错误；

B．t_2时刻前小物块相对传送带向左运动，之后相对静止，则知小物块相对传送带滑动的距离达到最大，故B正确；

C．0～t_2时间内，小物块受到的摩擦力方向始终向右，且大小不变，故C正确；

D．小物块向右运动和向左运动的加速度相等，v_2>v_1，所以小物块向右运动的平均速度小于向左运动的平均速度，位移相等，向右运动的时间大于向左运动的时间，所以t_1<t_3-t_1，故D正确。

故选BCD。

2．BC

【详解】A．分别对A、B进行分析可知，A先向右做匀加速直线运动，速度达到v_0后，再向右做匀速直线运动，B先向左做匀减速直线运动，速度减小为0后，再向右做匀加速直线运动，由于两物块恰好没有发生碰撞，可知，当A速度加速至v_0后向右做匀速直线运动过程中，B速度向右匀加速至v_0时，两者恰好相遇，根据B运动的对称性可知，A物块与 B物块相遇位置在B的出发点，即相遇位置在传送带的右端，故A错误；

D．两者与传送带间的动摩擦因数相同，则加速度大小均为$a=\frac{\mu mg}{m}=2\mathrm{m/s^2}$

相遇时，A在匀加速的运动过程，根据速度与位移的关系式有$v_0^2=2ax_1$；解得$x_1=4\mathrm{m}$

此过程经历时间$t_1=\frac{v_0}{a}=2\mathrm{s}$

B做双向匀变速直线运动，根据对称性，B向左匀减速的时间与向右匀加速的时间相等，均等于t_1，则A做匀速直线运动至传送带右端的位移$x_2=v_0t_1=8\mathrm{m}$

结合上述可知，传送带的长度为$L=x_1+x_2=12\mathrm{m}$；故D错误；

B．结合上述，A物块在传送带上的运动时间为$t=2t_1=4\mathrm{s}$；故B正确；

C．根据上述可知，B始终相对于传送带向左运动，B做双向匀变速直线运动，根据对称性，在时间4s内，B的位移为0，则B相对于传送带的位移大小等于传送带在4s内的位移，即有$x_{相}=v_0\cdot 2t_1=16\mathrm{m}$

即B物块与传送带间的“划痕”长度为16m，故C正确。

故选BC。

3．D

【详解】A．物块减速时的加速度大小$a_1=\frac{f}{m}=\frac{\mu mg}{m}=\mu g=4\mathrm{m/s^2}$；减速到零的时间$t_1=\frac{\Delta v}{a_1}=\frac{v_0}{a_1}=2\mathrm{s}$

此时物块的位移$x_{块}=\frac{1}{2}v_0t_1=8\mathrm{m}$；传送带的位移$x_{带}=v_{带}t_1+\frac{1}{2}a_{带}t_1^2=4\mathrm{m}$

故二者的相对位移$\Delta x=x_{块}+x_{带}=12\mathrm{m}$；A错误；

B．物块向左减速运动时，摩擦力向右，减速为零后，开始向右加速运动，共速后，二者以共同的加速度向右匀加速运动，受到的是静摩擦力，B错误；

C．物块速度为零时，传送带的速度为v'，则$v'=v_{带}+a_{带}t_1=3\text{m/s}$

二者向右共速的时间为t_2，则有$a_1t_2=v'+a_{带}t_2$；解得$t_2=1\text{s}$

此时它们共同速度为$v_{共}=4\text{m/s}$；此时物块运动的位移$x'_{块}=\frac{1}{2}v_{共}t_2=2\text{m}$；物块到B端的距离$\Delta x'=x_{块}-x_{块}'=6\text{m}$

设此时到B端的时间为t_3，由匀变速运动规律可得$\Delta x'=v_{共}t_3+\frac{1}{2}a_{带}t_3^2$；解得$t_3=\left(2\sqrt{7}-4\right)\text{s}$

所以从物块冲上传送带到物块返回传送带B端经历的总时间为$t=t_1+t_2+t_3=\left(2\sqrt{7}-1\right)\text{s}$；C错误；

D．根据上述分析可知，物块返回到B端的速度$v_2^2-v_{共}^2=2a_{带}\Delta x'$；解得$v_2=2\sqrt{7}\text{m/s}$；D正确。

故选D。

题型三：倾斜传送带--同向下行传送带

【典型例题】 ：BD　　2．（1）$v=1\text{m/s}$；（2）$t=3.1\text{s}$　　3．（1）35m；（2）25m；（3）3.52s

1．BD

【详解】BC．开始时在$t_1=0.2\text{s}$内的加速度$a_1=\frac{v_0}{t_1}=10\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$；$L_1=\frac{v_0}{2}t_1=0.2\text{m}$

共速后若物块匀速运动，则到达底端的时间为$t'=\frac{L_{PQ}-L_1}{v_0}=1.5\text{s}\neq t_2$

可知物块应该继续加速，根据$L_{PQ}-L_1=v_0t_2+\frac{1}{2}a_2t_2^2$；解得$a_2=2\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得$\mu=0.5$；$\theta=37°$；选项B正确，C错误；

A．物体与传送带共速后继续加速，可知当运动到传送带的底端Q点时的速度大于2m/s，选项A错误；

D．物体由P运动到与传送带共速相对传送带向上运动的位移$\Delta x_1=v_0t_1-\frac{v_0}{2}t_1=0.2\text{m}$

共速后物块相对传动带向下运动的位移$\Delta x_2=(L_{PQ}-L_1)-v_0t_2=1\text{m}$

物体由P运动到Q的过程中，物体相对于传送带的位移大小为$\Delta x=\Delta x_2-\Delta x_1=0.8\text{m}$；选项D正确。

故选BD。

2．（1）$v=1\text{m/s}$；（2）$t=3.1\text{s}$

【详解】（1）包裹从A端放上传送带后，先做匀加速直线运动，

由牛顿第二定律$\mu mg=ma_1$；解得$a_1=5\text{m/s}^2$；根据运动动学公式$v^2=2a_1x_1$；$x_1=0.1\text{m}$

因为$x_1<2\text{m}$，此后包裹匀速运动到B端，所以到达B端时速度的大小为$v=1\text{m/s}$

（2）设包裹从A端运动至B端过程中，匀加速直线运动和匀速运动的时间分别为t_1和t_2有$v=a_1t_1$；解得$t_1=0.2\text{s}$

从A到B匀速运动过程中，由运动学公式$x_2=vt_2$；解得$t_2=1.9\text{s}$

从B端到C端，包裹一直做匀加速运动，由牛顿第二定律$mg\sin37°-\mu mg\cos37°=ma_2$；解得$a_2=2\text{m}/\text{s}^2$

由运动学公式$x_3=vt_3+\frac{1}{2}a_2t_3^2$；解得$t_3=1\text{s}$；所以从A到C的总时间$t=t_1+t_2+t_3$；$t=3.1\text{s}$

3．（1）35m；（2）25m；（3）3.52s

【详解】（1）传送带静止时，设小物块下滑的加速度大小为a_1，

则根据牛顿第二定律有$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_1$；解得$a_1=2\text{m}/\text{s}^2$

A、B两端之间的距离为$L=v_0\Delta t+\frac{1}{2}a_1(\Delta t)^2$；解得$L=35\text{m}$

（2）传送带以$v_1=2\text{m/s}$的速度沿逆时针方向匀速转动时，小物块仍以加速度大小a_1做匀加速直线运动，故小物块运动的位移仍为L，则传送带运动的位移为$x_{带}=v_1\Delta t=10\text{m}$

小物块在传送带上留下的痕迹为$s=L-x_{带}=25\text{m}$

（3）若传送带以$v_2=8\text{m/s}$的速度沿逆时针方向匀速转动，开始时，小物块受到的摩擦力沿着传送带向下，设小物块的加速度大小为a_2，根据牛顿第二定律有$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得$a_2=10\text{m/s}^2$

设经过时间t_1，小物块与传送带达到共同速度，则有$v_2=v_0+a_2t_1$

这段时间内小物块运动的位移为$x_1=v_0t_1+\frac{1}{2}a_2t_1^2$

在此之后，小物块仍以大小为a_1的加速度做匀加速直线运动，

根据运动学公式有$x_2=L-x_1$；$x_2=v_2t_2+\frac{1}{2}a_1t_2^2$

则小物块从A端运动到B端所用的总时间$t=t_1+t_2$；联立代入数据解得$t=3.52\text{s}$

【变式训练】：1．（1）0.4m/s^2；（2）3s　　2．（1）2s；（2）$x=4.5\text{m}$

1．（1）0.4m/s^2；（2）3s

【详解】（1）小包裹的速度v_2大于传动带的速度v_1，所以小包裹受到传送带的摩擦力沿传动带向上，根据牛顿第二定律可得$\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$；解得$a=0.4\text{m/s}^2$

（2）根据（1）可知小包裹开始阶段在传动带上做匀减速直线运动，用时$t_1=\frac{v_2-v_1}{a}=1\text{s}$

在传动带上滑动的距离为$x_1=\frac{v_1+v_2}{2}t_1=0.8\text{m}<2\text{m}$

因为小包裹所受滑动摩擦力大于重力沿传动带方向上的分力，即$\mu mg\cos\theta>mg\sin\theta$

所以小包裹与传动带共速后做匀速直线运动至传送带底端，匀速运动的时间为$t_2=\frac{L-x_1}{v_1}=2\text{s}$

所以小包裹通过传送带的时间为$t=t_1+t_2=3\text{s}$

2．（1）2s；（2）$x=4.5\text{m}$

【详解】（1）开始时，

物块在传送带上以加速度a_1做匀加速运动$mg\sin\theta+\mu_1 mg\cos\theta=ma_1$，$a_1=10\text{m/s}^2$

物块与皮带共速前以加速度a_1做匀加速运动的时间为$t_1=\dfrac{v_0}{a_1}=1\text{s}$

以加速度a_1做匀加速运动的位移为$x_1=\dfrac{1}{2}a_1t_1^2=5\text{m}$

因为$x_1<x_{AB}$和$\mu<\tan\theta$，所以当物块与皮带共速后，

物块再以加速度a_2做匀加速运动$mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma_2$，$a_2=2\text{m/s}^2$

由$L_1-x_1=v_0t_2+\dfrac{1}{2}a_2t_2^2$；得$t_2=1\text{s}$或$t_2=-11\text{s}$（不合理舍去）

所以物块从A运动到B的时间为$t=t_1+t_2=1\text{s}+1\text{s}=2\text{s}$

（2）物块运动到B点时的速度为$v_B=v_0+a_2t_2=12\text{m/s}$

物块在水平面上运动的加速度大小为a_3 $\mu_2 mg=ma_3$，$a_3=4\text{m/s}^2$

设物块在水平面上向右运动到C点的速度为v_C $v_C^2-v_B^2=-2a_3L_2$，$v_C=8\text{m/s}$

设物块在水平面上从C点向左运动至速度为零的距离x $0-\left(\dfrac{3}{4}v_C\right)^2=-2a_3x$

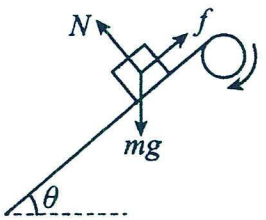
解得物块停止运动时的位置离C点的距离为$x=4.5\text{m}$

题型四：倾斜传送带—反向上行传送带

【典型例题】 ：BD　　D

1．BD

【详解】①若传送带顺时针运动，对放在传送带上的小物体进行受力分析，小物体受到沿传送带向上的滑动摩擦力，如图甲所示



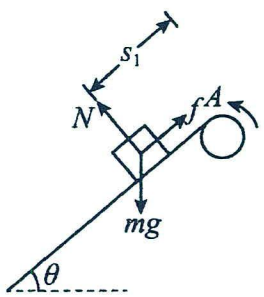
图甲

根据牛顿第二定律，由于$\mu<\tan\theta$，小物体沿传送带下滑的加速度为

$$a_1=\frac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)=10\times(0.6-0.5\times0.8)\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$$

小物体从A端运动到B端做初速度为零的匀加速直线运动，设需要的时间为t，则有$s=\dfrac{1}{2}a_1t^2$；解得$t=\sqrt{\dfrac{2s}{a_1}}=4\text{s}$

②若传送带沿逆时针方向转动时，开始时，传送带作用于小物体的摩擦力沿传送带向下，小物体下滑的加速度为$a_2=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)=10\text{m/s}^2$



图乙

小物体加速到与传送带运行速度相同时需要的时间为$t_1=\dfrac{v}{a_2}=\dfrac{10}{10}\text{s}=1\text{s}$

在这段时间内，小物体沿传送带下滑的距离为$s_1=\dfrac{1}{2}a_2t_1^{\ 2}=\dfrac{1}{2}\times10\times1\text{m}=5\text{m}$

由于$\mu<\tan\theta$，此后，小物体沿传送带继续加速下滑时，它相对于传送带的运动的方向向下，因此传送带对小物体的摩擦力方向有改为沿传送带向上，如图乙所示

其加速度变为$a_1=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)=10\times(0.6-0.5\times0.8)\mathrm{m/s^2}=2\mathrm{m/s^2}$

小物体从该位置起运动到B端的位移为$s-s_1=16\mathrm{m}-5\mathrm{m}=11\mathrm{m}$

小物体做初速度为v=10m/s，加速度为a_1的匀加速直线运动，则有$s-s_1=vt_2-\frac{1}{2}a_1t_2^2$

代入数据，解得t_2=1s（t_2=-11s舍去）

所以，小物体从A端运动到B端的时间为$t=t_1+t_2=2\mathrm{s}$

故选BD。

2．D

【详解】AB．从图像可知，物体速度减为零后反向向上运动，最终的速度大小为1m/s，因此没从N点离开，并且能推出传送带斜向上运动，速度大小为1m/s，故AB错误；

CD．根据$v-t$图像中斜率表示加速度，可知物块沿传送带下滑时的加速度$a=\frac{4-(-1)}{2}\mathrm{m/s^2}=2.5\mathrm{m/s^2}$

由图可知，物块的速度为0时$t_1=\frac{4-0}{2.5}\mathrm{s}=\frac{8}{5}\mathrm{s}$

之后物块沿斜面向上运动，速度图像与时间轴围成的面积表示位移，

所以物块沿斜面向下运动的位移$x_1=\frac{1}{2}\times4\times\frac{8}{5}\mathrm{m}=\frac{16}{5}\mathrm{m}$

$t_1=\frac{8}{5}\mathrm{s}$到$t_2=2\mathrm{s}$时，物块沿斜面向上加速运动的位移$x_2=\frac{2-\frac{8}{5}}{2}\times1\mathrm{m}=\frac{1}{5}\mathrm{m}$

物块沿斜面向上匀速运动的时间$t_{匀}=\frac{x_1-x_2}{v}=3\mathrm{s}$

所以物块回到原处的时间$t=3\mathrm{s}+2\mathrm{s}=5\mathrm{s}$

物块相对传送带滑动的距离为$\Delta x=\frac{1}{2}\times2\times(4+1)m=5m$；故C错误，D正确。

故选D。

【变式训练】：AD　　CD

1．AD

【详解】AC．“虾”掉落到传送带后，有沿着传送带向下的初速度，受到的滑动摩擦力向上，如果摩擦力小于重力沿传送带向下的分力，则“虾”沿传送带向下做加速直线运动；如果摩擦力等于重力沿传送带向下的分力，则“虾”沿传送带向下做匀速直线运动；如果摩擦力大于重力沿传送带向下的分力，则“虾”沿传送带向下做减速直线运动；所以$mg\sin\theta$可能大于、等于或小于$\mu_1mg\cos\theta$，则μ_1可能小于、等于或大于$\tan\theta$，故A正确，C错误；

BD．“鱼”掉落到传送带后，有沿着传送带向下的初速度，受到的滑动摩擦力向上，由题意可知，“鱼”先向下做减速运动到速度为0后，再向上做加速运动，则一定有$m'g\sin\theta<\mu_2m'g\cos\theta$

可得$\mu_2>\tan\theta$；故B错误，D正确。

故选AD。

2．CD

【详解】A．由图乙可知，物体 6s 后与传送带一起匀速运动，故传送带顺时针运动，速度大小为 4 m/s，A 错误；

B．$v-t$ 图像中图线的斜率表示加速度，则物体在传送带上滑动时的加速度大小为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{4-(-2)}{6}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律可得 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$；解得 $\mu=0.875$，B 错误；

C．$v-t$ 图线与时间轴所围的面积表示位移，

0～8s 内物体位移的大小为 $x=-\frac{1}{2}\times2\times2\text{m}+\frac{2+6}{2}\times4\text{m}=14\text{m}$

C 正确；

D．0～8s 内传送带的位移为 $x_{传}=v_{传}t=4\times8\text{m}=32\text{m}$ ；

0～8s 内物体与传送带之间相对运动距离为 $\Delta x=x_{传}-x=32\text{m}-14\text{m}=18\text{m}$；D 正确。

故选 CD。

题型五：倾斜传送带—同向上行传送带

【典型例题】 ：C　　C　　3．(1)2.2s(2)1s

1．C

【详解】A．小物体运动过程中，在沿传送带方向上，受到重力沿传送带向下的分力和摩擦力。设摩擦力最大值为 f，重力沿传送带向下的分力为 F。若 $v_2>v_1$，物体冲上传送带后所受的滑动摩擦力沿斜面向下，做匀减速运动，当其速度与传送带相同时，若 $f\geq F$，则物体与传送带一起匀速运动，则 A 图是可能的。A 选项不合题意，故 A 错误；

BC．若 $v_2>v_1$，物体先做匀减速运动，后与传送带共速后，若 $f<F$，滑动摩擦力沿斜面向上，物体继续向上做匀减速运动，加速度减小，速度减小到零，后又向下做匀加速运动，根据牛顿第二定律 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$ 可知共速后加速度大小不变，则 B 图是可能的，C 图不可能。B 选项不合题意，C 选项符合题意，故 B 错误，C 正确；

D．若 $v_2<v_1$，物体先做匀加速运动，与传送带共速后，若 $f\geq F$，物体与传送带一起匀速运动，则 D 图是可能的。D 选项不合题意，故 D 错误。

故选 C。

2．C

【详解】A．由图乙可知，煤块开始速度比传送带大，摩擦力方向向下，

这段过程中加速度为 $a_1=\frac{mg\sin30°+\mu mg\cos30°}{m}=\frac{8-2}{1}\text{m/s}^2$；解得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{15}$

这段过程中位移 $s_1=\frac{2^2-8^2}{-2\times6}\text{m}=5\text{m}$；故 A 错误；

BC．在速度达到和传送带速度相等后，由于 $mg\sin30°>\mu mg\cos30°$

所以煤块继续做匀减速运动，加速度大小为 $a_2=\frac{mg\sin30°-\mu mg\cos30°}{m}=4\text{m/s}^2$

煤块刚好能滑到传动带的顶端，这段过程中的位移$s_2=\frac{0-2^2}{-2\times4}=0.5\text{m}$；时间为$t_2=\frac{2}{4}\text{s}=0.5\text{s}$

传送带的总长度为$s=s_1+s_2=5.5\text{m}$

煤块向上运动的总时间为$t=1\text{s}+0.5\text{s}=1.5\text{s}$；故 C 正确，B 错误；

D．煤块速度大于传送带速度阶段，煤块在传送带上的划痕为$\Delta s=5\text{m}-2\times1\text{m}=3\text{m}$

煤块速度小于传送带速度阶段，传送带运动较快$\Delta s'=2\times0.5\text{m}-0.5\text{m}=0.5\text{m}$

因为$\Delta s>\Delta s'$；煤块滑到顶端时在传送带上的划痕长度为3m，故 D 错误。

故选 C。

3．(1)2.2s；(2)1s

【详解】（1）开始时物体所受摩擦力沿斜面向下，根据牛顿第二定律可得$Mg\sin\theta+\mu Mg\cos\theta=Ma$

解得加速度大小为$a=10\text{m/s}^2$

物块减速到与传送带速度相等所用时间为$t_1=\frac{v_0-v}{a}=\frac{6-4}{10}\text{s}=0.2\text{s}$

该过程物体通过的位移大小为$x_1=\frac{v_0+v}{2}t_1=\frac{6+4}{2}\times0.2\text{m}=1\text{m}$

由于$\mu=0.5<\tan37°$，可知共速后物体继续向上做匀减速直线运动，

根据牛顿第二定律可得$Mg\sin\theta-\mu Mg\cos\theta=Md$

解得加速度大小为$a'=2\text{m/s}^2$

根据运动学公式可得$L-x_1=vt_2+\frac{1}{2}d't_2^2$；代入数据解得$t_2=2\text{s}$

则物体从 A 点到达 B 点所需的时间为$t=t_1+t_2=2.2\text{s}$

（2）当传送带一直大于物体的速度时，物体受到的摩擦力一直沿斜面向上，则物体一直以加速度$a'=2\text{m/s}^2$向上做匀减速直线运动，运动到 B 点的时间最短，则有$L=vt'-\frac{1}{2}a't'^2$

代入数据整理可得$t'^2-6t'+5=0$；解得$t'=1\text{s}$或$t'=5\text{s}$（舍去）

则物体从 A 点到达 B 点的最短时间是 1s。

【变式训练】：AD　　AC　　ABD　　28．（1）1.25s（2）$2\sqrt{7}\text{m/s}$（3）2.2m

1．AD

【详解】物块第一次减速运动的加速度大小$a_1=g\sin\theta+\mu g\cos\theta=10\text{m/s}^2$

运动到与传送带速度相同，所用时间$t_1=\frac{v_0-v}{a_1}=0.2\text{s}$；运动的位移$x_1=\frac{1}{2}(v_0+v)t_1=0.6\text{m}$

第二次做减速运动，加速度大小$a_2=g\sin\theta-\mu g\cos\theta=2\text{m/s}^2$；做减速运动的时间$t_2=\frac{v}{a_2}=1\text{s}$

运动的位移$x_2=\frac{1}{2}vt_2=1\text{m}$

AB．分析可得传送带 A、B 间的距离为$d=x_1+x_2=1.6\text{m}$；故 A 正确，B 错误；

CD．运动的总时间为$t=t_1+t_2=1.2\text{s}$；故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

2．AC

【详解】A．在 0-1s 内物块的加速度大小为 $a=\frac{12-4}{1}\mathrm{m/s^2}=8\mathrm{m/s^2}$

根据牛顿第二定律有 $mg\sin37^\circ+\mu mg\cos37^\circ=ma$；解得 $\mu=0.25$；故 A 正确；

BC．由图乙可知，传送带速度为 $v_1=4\mathrm{m/s}$，0-1s 煤块速度大于传送带速度，相对传送带向前运动，则煤块的位移为 $x_1=\frac{4+12}{2}\times1\mathrm{m}=8\mathrm{m}$；传送带的位移为 $x_2=4\times1\mathrm{m}=4\mathrm{m}$；煤块相对传送带的位移为 $\Delta x=x_1-x_2=4\mathrm{m}$

0-2s，煤块速度小于传送带速度，相对传送带向后运动，则煤块的位移为 $x_1'=\frac{1}{2}\times4\times1\mathrm{m}=2\mathrm{m}$

传送带的位移为 $x_2=4'\times1\mathrm{m}=4\mathrm{m}$；煤块相对传送带的位移为 $\Delta x'=x_2'-x_1'=2\mathrm{m}$

传送带底端到顶端的距离为 $d=x_1+x_1'=10\mathrm{m}$；故 B 错误，C 正确；

D．由乙图可知在 0-1s 内物块的速度大于传送带的速度，物块所受摩擦力的方向沿斜面向下，与物块运动的方向相反；在 1-2s 内，物块的速度小于传送带的速度，物块所受摩擦力的方向沿斜面向上，与物块运动的方向相同，故 D 错误。

故选 AC。

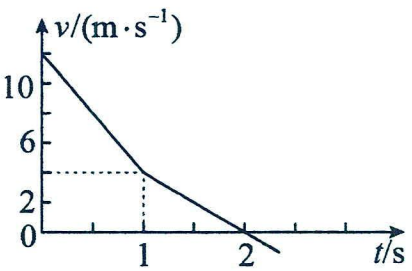
3．ABD

【详解】A．对煤块先做匀减速，由牛顿第二定律可得

$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$；解得 $a_1=8\mathrm{m/s^2}$

设经 t 时间与传送带共速，由 $v_0-a_1t=v$；解得 $t=1\mathrm{s}$

故 A 正确；



B．共速后，摩擦力方向向上，由牛顿第二定律 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得 $a_2=4\mathrm{m/s^2}$

煤块先以 12m/s 的初速度，$8\mathrm{m/s^2}$ 的加速度减速至 4m/s，后又以 $4\mathrm{m/s^2}$ 的加速度减速至 0，再反向加速至回到 A 点，v-t 图像如图所示

由图像煤块上升到最高点的位移大小等于速度时间图线与时间轴所包围的面积的大小

$x=\frac{1}{2}\times(12+4)\times1\mathrm{m}+\frac{1}{2}\times4\times1\mathrm{m}=10\mathrm{m}$；故 B 正确；

C．物块上升到最高点后反向向下做初速度为零，加速度为 $a_2=4\mathrm{m/s^2}$ 的匀加速直线运动，设返回到 A 点所需的时间为 t_1，下滑的位移 $x=\frac{1}{2}a_2t_1^2$；解得 $t_1=\sqrt{5}\mathrm{s}$

结合图像知，物块从冲上传送带到返回 A 端所用时间为 $t_{总}=(2+\sqrt{5})\mathrm{s}$；故 C 错误；

D．在 0 到 1s 内传送带比物块速度慢，则滑块在传送带上的划痕为 $L_1=\frac{1}{2}\times(12+4)\times1\mathrm{m}-4\times1\mathrm{m}=4\mathrm{m}$

此时划痕在物块的下方，在 1s 到 2s 内，传送带速度比物块速度大，则 $L_2=4\times1\mathrm{m}-\frac{1}{2}\times4\times1\mathrm{m}=2\mathrm{m}$

因为$L_2<L_1$，所以在上升阶段产生的划痕为4m，此时煤块在产生的划痕的中点，在2s到$(2+\sqrt{5})$s时间内，煤块向下滑了10m，传送带向上滑了$4\sqrt{5}$m，则煤块在传送带上的划痕为$L_3=(10+4\sqrt{5}+2)\text{m}=(12+4\sqrt{5})\text{m}$

故D正确。

故选ABD。

4. （1）1.25s（2）$2\sqrt{7}$m/s（3）2.2m

【详解】（1）小物块轻放在传送带A端后，开始摩擦力沿斜面向上，小物块匀加速运动，

根据牛顿第二定律$F+\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma_1$；解得$a_1=8\text{m/s}^2$

加速时间$t_1=\dfrac{v}{a_1}=0.5\text{s}$；位移$x_1=\dfrac{1}{2}at_1^2=1\text{m}$

第二段运动，设小物块相对传送带向右上运动；小物块加速度为a_2，

根据牛顿第二定律$F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得$a_2=0$

说明小物块恰好做匀速运动$x_2=L_{AB}-x_1=3\text{m}$；匀速段的时间$t_2=\dfrac{x_2}{v}=\dfrac{3}{4}\text{s}=0.75\text{s}$

小物块从A运动到B的时间$t_{AB}=t_1+t_2=1.25\text{s}$

（2）设BC段小物块的加速度为a_3，根据牛顿第二定律$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_3$；解得$a_3=2\text{m/s}^2$

BC段，根据运动学公式$v_C^2-v^2=2a_3L_{BC}$；解得$v_C=\sqrt{28}\text{m/s}=2\sqrt{7}\text{m/s}$

（3）若在小物块与传送带达到相同速度瞬间撤去F，第一段过程中传送带相对小物块的位移为$\Delta x_1=vt_1-x_1=1\text{m}$

撤去F后，小物块减速上滑，根据牛顿第二定律$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_4$；解得$a_4=2\text{m/s}^2$

减速上滑段位移$x_2=vt_4-\dfrac{1}{2}a_4t_4^2$；解得$t_4=1\text{s}$或$t_4=3\text{s}$（舍）；到B点时的速度$v_B=v-a_4t_4=2\text{m/s}$

传送带相对小物块的位移$\Delta x_2=vt_4-x_2=1\text{m}$

下滑段，开始时，小物块速度小于传送带速度，根据牛顿第二定律$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_5$；解得$a_5=10\text{m/s}^2$

加速时间$t_5=\dfrac{v-v_B}{a_5}=0.2\text{s}$；位移$x_5=v_Bt_5+\dfrac{1}{2}a_5t_5^2=0.6\text{m}$

传送带相对小物块的位移为$\Delta x_3=vt_5-x_5=0.2\text{m}$

然后小物块加速运动，加速度为$a_3=2\text{m/s}^2$；位移为$x_6=L_{BC}-x_5=2.4\text{m}$

根据运动学公式$x_6=vt_6+\dfrac{1}{2}a_3t_6^2$；解得$t_6\approx0.53\text{s}$或$t_6\approx-4.53\text{s}$（舍）

下滑段传送带相对小物块的位移$\Delta x_4=vt_6-x_6=-0.28\text{m}$

传送带相对小物块先向前运动$\Delta x_1+\Delta x_2+\Delta x_3$，

然后又相对小物块向后运动Δx_4，且$\Delta x_4 < \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$

故划痕长度为$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 = 2.2\text{m}$

题型六：倾斜传送带--反向下行传送带

【典型例题】 ：BC BD

1．BC

【详解】若传送带的速度很小（一直小于物块的速度），小物块一直减速，

加速度大小为$a_1 = \dfrac{gm\sin 30° + \mu mg\cos 30°}{m} = 12.5\text{m/s}^2$

物块到达 B 点时的速度最小，根据运动学公式可得$-2a_1 L = v_{B\min}^2 - v_0^2$；代入数据解得$v_{B\min} = 2\text{m/s}$

若传送带的速度很大（一直大于物块的速度），小物块一直加速，

加速度大小为$a_2 = \dfrac{\mu mg\cos 30° - gm\sin 30°}{m} = 2.5\text{m/s}^2$

物块到达 B 点时的速度最大，根据运动学公式可得$2a_2 L = v_{B\max}^2 - v_0^2$；代入数据解得$v_{B\max} = 8\text{m/s}$

则小物块到达 B 点的速度满足$2\text{m/s} \le v_B \le 8\text{m/s}$

故选 BC。

2．BD

【详解】AB．分别对物块 A、B 分析，由于$mg\sin 37° > \mu mg\cos 37°$，所以 A、B 两物块所受摩擦力方向都沿各自的传送带向上，都向下做匀加速直线运动，两物块匀加速直线运动的加速度相等，位移相等，则运动的时间相等，故 A 错误，B 正确；

C．根据速度时间关系可得$v = at$，由于加速度相等，运动时间也相等，所以物块 A、B 到达传送带底端时速度大小相等，故 C 错误；

D．对 A，划痕的长度等于 A 的位移减去传送带运动的长度，以 A 为研究对象，由牛顿第二定律可得

$mg\sin 37° - \mu mg\cos 37° = ma$，解得$a = 2\text{m/s}^2$

由运动学公式可得$L = v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$，解得$t = 1\text{s}$

传送带运动的长度为$x = vt = 1\text{m}$，在传送带上的划痕长度为$\Delta x_1 = 2\text{m} - 1\text{m} = 1\text{m}$

对 B，划痕的长度等于 B 的位移加上传送带运动的长度，则有$\Delta x_2 = 2\text{m} + 1\text{m} = 3\text{m}$

所以划痕长度之比为$\Delta x_1 : \Delta x_2 = 1:3$，故 D 正确。

故选 BD。

【变式训练】 ：BCD ACD 3．(1)3.2m;(2)2.8s，6.25m

1．BCD

【详解】A．由题意可知，若传送带不转动，物体沿 AB 方向从 A 端滑上传送带向上运动的加速度大小为a_1，由

牛顿第二定律可得$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$；解得开始时物体的加速度大小$a_1=10\ \mathrm{m/s^2}$

若传送带转动，其速度小于物体速度$v_0=5.0\mathrm{m/s}$，可知开始时物体的加速度大小为$10\mathrm{m/s^2}$，其速度大于物体速度$v_0=5.0\mathrm{m/s}$，则传送带对物体的摩擦力方向向上，

由牛顿第二定律可得$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得开始时物体的加速度大小为$a_2=2\mathrm{m/s^2}$；A 错误；

B．若传送带不转动，由速度位移关系公式$v^2-v_0^2=2ax$可得，

物体沿传送带上滑的最大距离是$x_m=\dfrac{v_0^2}{2a_1}=1.25\mathrm{m}$；B 正确；

C．若传送带逆时针运转的速度$v=4.0\mathrm{m/s}$时，可知物体受到的滑动摩擦力方向沿传送带向下，可知物体的加速度大小是$10\mathrm{m/s^2}$，物体沿传送带上滑的最大距离是 1.25m，C 正确；

D．若传送带顺时针运转的速度$v=4.0\mathrm{m/s}$，可知物体先做减速运动，

减速到与传送带速度相等时所用时间$t_1=\dfrac{v_0-v}{a_1}=\dfrac{5.0-4}{10}\mathrm{s}=0.1\mathrm{s}$；此时间内物体上滑的距离为$x_1=\dfrac{v_0+v}{2}t_1=0.45\mathrm{m}$

此后由于物体沿传送带向下的下滑力大于传送带对物体的摩擦力，物体的加速度是$2\mathrm{m/s^2}$，方向沿传送带向下，

即物体沿传送带向上做减速运动，设到 B 点时的速度是v_B，由速度位移关系公式$v^2-v_0^2=2ax$可得

$v^2-v_B^2=2a_2\left(L-x_1\right)$；解得$v_B=0$；在此过程所用时间为$t_2=\dfrac{v-v_B}{a_2}=\dfrac{4-0}{2}\mathrm{s}=2\mathrm{s}$

物体从 A 点到达 B 点所需的时间是$t=t_1+t_2=0.1\mathrm{s}+2\mathrm{s}=2.1\mathrm{s}$；D 正确。

故选 BCD。

2．ACD

【详解】AB．当$v_1\le2\mathrm{m/s}$时，物块一直做减速运动，所受摩擦力方向沿传送带向下，加速度大小

$a_1=\dfrac{\mu mg\cos\theta+mg\sin\theta}{m}=\mu g\cos\theta+g\sin\theta$；$v_{01}=2\mathrm{m/s}$；$v_{01}^2-v_0^2=-2a_1L$

当$v_1\ge2\sqrt{11}\mathrm{m/s}$时，物块一直做减速运动，所受摩擦力方向沿传送带向上，加速度大小

$a_2=\dfrac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$；$v_{02}=6\mathrm{m/s}$；$v_{02}^2-v_0^2=-2a_2L$

代入数据联立得$\sin\theta=0.6$；$\mu=0.5$；故 A 正确，B 错误；

C．当平均速度最大时，物块在传送带上运动时间最短，最短时间$t_{\min}=\dfrac{L}{v_{\max}}=\dfrac{L}{\frac{v_{02}+v_0}{2}}=\left(\sqrt{11}-3\right)\mathrm{s}$；故 C 正确；

D．当传送带的速度为$5\mathrm{m/s}$时，物块先做加速度大小为a_1减速运动，速度减到$v_1=5\mathrm{m/s}$后再做加速度大小为a_2减速运动。物块做加速度大小为a_1减速运动过程，物块运动时间$t_1=\dfrac{v_0-v_1}{a_1}$

传送带上形成的划痕长为$s_1=v_1t_1-\dfrac{v_0+v_1}{2}t_1$

这段时间内物块的位移 $x_1=\frac{v_0+v_1}{2}t_1$

则物块做加速度大小为 a_2 减速运动过程的位移 $x_2=L-x_1$；$x_2=v_1t_2-\frac{1}{2}a_2t_2^2$

这段时间内传送带上形成的划痕长为 $s_2=v_1t_2-x_2$

则物块在传送带上形成的划痕长 $s=s_1+s_2$

代入数据联立得 $s=\left(\frac{69}{20}-\sqrt{11}\right)$m；故 D 正确。

故选 ACD。

3．(1)3.2m；(2)2.8s，6.25m

【详解】（1）若传送带不转动，设物体沿传送带向上运动的加速度大小为 a_1，

由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$；解得 $a_1=10\text{m/s}^2$

由运动学公式得 $0-v_0^2=-2a_1x_m$；解得 $x_m=3.2\text{m}$

（2）设物体减速到与传送带速度相等所需的时间为 t_1，则 $v=v_0-a_1t_1$；解得 $t_1=0.3\text{s}$

又 $\mu<\tan\theta$，物体不能与传送带保持相对静止，设物体与传送带共速后物体的加速度大小为 a_2，由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$；解得 $a_2=2\text{m/s}^2$

设物体再用时 t_2 上滑到最高点，可得 $0=v-a_2t_2$；解得 t_2=2.5s

物体从 A 点上滑到最高点所需的时间 $t=t_1+t_2$；解得 $t=2.8\text{s}$

在 0~ 0.3s 内，物体相对传送带上滑，相对位移 $\Delta x_1=\frac{v_0+v}{2}t_1-vt_1$；解得 $\Delta x_1=0.45\text{m}$

在 0.3s~2.8s 内，物体相对传送带下滑，相对位移 $\Delta x_2=vt_2-\frac{v+0}{2}t_2$；解得 $\Delta x_2=6.25\text{m}$

解得 $\Delta x_2=6.25\text{m}>\Delta x_1=0.45\text{m}$；故划痕长度 $\Delta x=\Delta x_2=6.25\text{m}$

考点二：板块问题

题型一:无外力 F 下的水平板块

【典型例题】 ：AD　　2．(1) $a_1=0.5\text{m/s}^2$；(2) $L=9\text{m}$；(3) $x=10.5\text{m}$

3．（1）$\mu_1=0.4$，$\mu_2=0.4$；（2）$L=6.75\text{m}$；（3）$Q=270\text{J}$

1．AD

【详解】A．图像的“面积”等于位移，可求出物块在 t=2s 时的位移为 $x=2\times2+\frac{1}{2}\times2\times1\text{m}=5\text{m}$；故 A 正确；

B．图像的斜率等于加速度，可求出 m 匀减速运动的加速度大小为 $a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{4-2}{1}\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$

以物块 m 为研究对象，由牛顿第二定律得 $\mu mg=ma_1$；所以 $\mu=0.2$；故 B 错误；

CD．由图可知，物块滑上木板后与木板共速，可知木板的最小长度为$L=\frac{1}{2}\times4\times1\mathrm{m}=2\mathrm{m}$

所以木板的长度不小于2m，故C错误，D正确。

故选AD。

2．(1) $a_1=0.5\mathrm{m/s^2}$；(2) $L=9\mathrm{m}$ (3) $x=10.5\mathrm{m}$

【详解】（1）物块在长木板上滑动时，长木板也在地面上滑动。设地面和物块对长木板的摩擦力大小分别为f_1、f_2，则有$f_1=\mu(m_1+m_2)g$；$f_2=\mu_2m_2g$；由牛顿第二定律有$f_2-f_1=m_1a_1$；解得$a_1=0.5\mathrm{m/s^2}$

（2）设开始运动时物块的加速度大小为a_2，有$f_2=m_2a_2$；解得$a_2=4\mathrm{m/s^2}$

设在t_1时刻，物块与长木板达到共同速度v，由运动学公式有$v=v_0-a_2t_1$；$v=a_1t_1$；解得$t_1=2\mathrm{s}$；$v=1\mathrm{m/s}$

t_1时间内，物块的位移大小$x_1=v_0t_1-\frac{1}{2}a_2t_1^2$

长木板的位移大小$x_2=\frac{1}{2}a_1t_1^2$；$L=x_1-x_2$；解得$L=9\mathrm{m}$

（3）物块和长木板共速后，一起做匀减速直线运动，有$f_1=(m_1+m_2)a_3$；解得$a_3=1\mathrm{m/s^2}$

由速度与位移的关系有$v^2=2a_3x_3$；又$x=x_1+x_3$；解得$x=10.5\mathrm{m}$

3．（1）$\mu_1=0.4$，$\mu_2=0.4$；（2）$L=6.75\mathrm{m}$；

【详解】（1）设长木板与小铁块的质量分别为M、m，长木板与水平地面之间的动摩擦因数为μ_1，小铁块与长木板之间的动摩擦因数为μ_2，

由$v-t$图像可得，0~0.5s时间内长木板与小铁块整体的加速度大小为$a_1=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{8-6}{0.5}\mathrm{m/s^2}=4\mathrm{m/s^2}$

长木板受滑动摩擦力$f_1=\mu_1F_{N1}$；而$F_{N1}=(M+m)g$

对整体由牛顿第二定律得$f_1=(M+m)a_1$；解得$\mu_1=0.4$

0.5s时刻之后，长木板向左做匀减速直线运动，小铁块向右做匀减速直线运动。由$v-t$图像可得，0.5s之后长木板的加速度大小为$a_2=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{-2-(-6)}{1-0.5}\mathrm{m/s^2}=8\mathrm{m/s^2}$

小铁块受滑动摩擦力$f_2=\mu_2F_{N2}$；而$F_{N2}=mg$

对长木板由牛顿第二定律得$f_1+f_2=Ma_2$；解得$\mu_2=0.4$

（2）由牛顿第二定律可得，0.5s时刻之后小铁块的加速度大小为$a_3=\mu_2g=0.4\times10\mathrm{m/s^2}=4\mathrm{m/s^2}$

0.5s时刻之后，长木板与小铁块均以$v=6\mathrm{m/s}$的速度大小分别向左、向右做匀减速直线运动，因$a_2>a_3$，故长木板先于小铁块速度减小到零，设此过程长木板的位移大小为x_1，则有$v^2=2a_2x_1$

代入数据解得$x_1=2.25\text{m}$

长木板速度减小到零后，因小铁块与长木板之间的滑动摩擦力小于长木板与水平地面之间的最大静摩擦力，故长木板处于静止状态，小铁块仍向右做匀减速直线运动直到速度为零，设0.5s时刻之后，小铁块向右做匀减速直线运动直到速度为零的位移大小为x_2，则有$v^2=2a_3x_2$；代入数据解得$x_2=4.5\text{m}$

设长木板的长度为L，长木板的长度等于0.5s时刻之后小铁块与长木板的相对位移大小，

则$L=x_1+x_2$；解得$L=6.75\text{m}$

【变式训练】：BC　　2．(1)$\frac{\mu}{4}$；(2)2m/s，2m/s^2；(3)$\frac{1}{4}\text{m}$

3．(1)2m/s^2；1m/s^2；(2)2s；(3)5.8125m

1．BC

【详解】A．A在B上滑动过程中，B受到的摩擦力为滑动摩擦力，大小为$f=\mu mg=2\text{N}$；方向向右，故A错误；

B．对A由牛顿第二定律$\mu mg=ma$；解得A的加速度大小$a=2\text{m/s}^2$；故B正确；

C．以B为研究对象，根据牛顿第二定律$\mu mg=Ma'$；解得B的加速度大小$a'=1\text{m/s}^2$

设经过t时间，A和B达到共同速度，根据速度时间关系$v=v_0-at$；$v=a't$

联立解得A在B达到的共同速度大小$v=2\text{m/s}$；故C正确；

D．A和B速度相等时，B前进的位移大小为$x_1=\frac{1}{2}a't^2$

A前进的位移$x_2=v_0t-\frac{1}{2}at^2$；A相对B滑行的距离$L=x_2-x_1$；联立解得$L=6\text{m}$；故D错误。

故选BC。

2．(1)$\frac{\mu}{4}$；(2)2m/s，2m/s^2；(3)$\frac{1}{4}\text{m}$

【详解】（1）滑块滑上木板，受向左的滑动摩擦力作用$F_\mu=\mu mg$

木板恰好能保持静止，由牛顿第三定律及二力平衡，对木板有$\mu'(3m+m)g=\mu mg$；得$\mu'=\frac{\mu}{4}$

（2）设滑块依次通过第1个$\frac{L}{4}$、第2个$\frac{L}{4}$、第3个$\frac{L}{4}$和第4个$\frac{L}{4}$的时间分别为t_1、t_2、t_3和t_4，运动的总时间为t，滑块最后停在木板的最右端，有$t_1:t_2:t_3:t_4=(2-\sqrt{3}):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(\sqrt{2}-1):1$

已知$t_1=\left(1-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\text{s}=\frac{2-\sqrt{3}}{2}\text{s}$；解得$t=1\text{s}$；由$\overline{v}=\frac{v}{2}=\frac{L}{t}$；得$v=2\text{m/s}$；加速度$a=\frac{\Delta v}{t}=2\text{m/s}^2$

（3）若木板静置于光滑水平面上，滑块仍以原速度从左端滑上木板，滑块做匀减速运动，木板做匀加速运动，加速度大小分别为$a=2\text{m/s}^2$和$a'=\frac{2}{3}\text{m/s}^2$，

设经过时间t'，两者相对静止，有$v-at'=a't'$；代入数据得$t'=\frac{3}{4}\text{s}$

滑块相对木板的位移$\Delta x=\left(vt'-\frac{1}{2}at'^2\right)-\frac{1}{2}a't'^2$；代入数据得$\Delta x=\frac{3}{4}\text{m}$

两者相对静止时，滑块离木板右端的距离 $s=\left(1-\frac{3}{4}\right)\mathrm{m}=\frac{1}{4}\mathrm{m}$

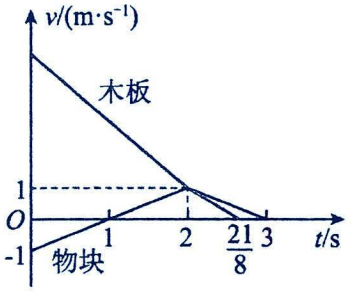
3．(1)$2\mathrm{m/s^2}$；$1\mathrm{m/s^2}$；(2)2s；(3)5.8125m

【详解】（1）对长木板受力分析 $\mu_1(M+m)\ g+\mu_2 mg=Ma_1$；解得 $a_1=2\mathrm{m/s^2}$

对物块受力分析得 $\mu_2 mg=ma_2$；解得 $a_2=1\mathrm{m/s^2}$

（2）对物块与木板的运动情况分析，结合（1）问作出长木板与物块的 $v-t$ 图像如图

令水平向右为正方向，设经 t_1 时间物块与木板的速度 v_3 相同，有



$v_3=v_1-a_1\cdot t_1=-v_2+a_2\cdot t_1$ ；解得 $t_1=2\mathrm{s}$

此时的速度 $v_3=v_1-a_1\cdot t_1=1\mathrm{m/s}$

（3）物块与长木板速度达到相等后的运动分析：由于 $\mu_2<\mu_1$，所以接下来物块与长木板以不同的加速度向前减速。

对物块受力分析知：物块加速度仍为 $a_2=1\mathrm{m/s^2}$

对长木板受力分析得 $\mu_1(M+m)\ g-\mu_2 mg=Ma_1'$；解得 $a_1'=1.6\mathrm{m/s^2}$

长木板从二者速度相等经时间 t_3 减速停下 $0=v_3-a_1'\cdot t_3$；解得 $t_3=0.625\mathrm{s}$

长木板在与物块速度相等前运动的位移为 $x_{板1}=v_1\cdot t_1-\frac{1}{2}a_1\cdot t_1^2=6m$

长木板在 t_3 时间内的位移为 $x_{板2}=v_3\cdot t_3-\frac{1}{2}a_1' t_3^{\ 2}=0.3125m$

可得 $x=x_{板1}+x_{板2}=6.3125\mathrm{m}$

由图物块的 v-t 图可知，物块对地位移为 $x'=\frac{1}{2}\times(3-1)\times1\mathrm{m}-\frac{1}{2}\times1\times1\mathrm{m}=0.5\mathrm{m}$

向右运动两者的相对位移为 $\Delta x=x-x'=5.8125\mathrm{m}$

题型二:有外力 F 下的水平板块

【典型例题】 ：BCD 2．(1)0.1；(2)0.35；(3)45N；(4)15m

1．BCD

【详解】A．根据 v-t 图像可知，物体 A 的加速度为 $a_A=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{10}{5}\mathrm{m/s^2}=2\mathrm{m/s^2}$；故 A 错误；

B．以 A 为研究对象，根据牛顿第二定律可得 $F-\mu m_A g=m_A a_A$；代入数据得 $\mu=0.4$；故 B 正确；

C．若 B 不固定，假设 B 相对 A 滑动，则 B 的加速度为 $a_B=\frac{\mu m_A g}{m_B}=\frac{0.4\times1\times10}{4}\mathrm{m/s^2}=1\mathrm{m/s^2}<a_A$

故假设成立，故 C 正确；

D．由图像知，木板 B 的长度为 $l=\frac{1}{2}\times5\times10\mathrm{m}=25\mathrm{m}$

设 A 运动到 B 的最右端所用的时间为 t，根据题意可得$\frac{1}{2}a_A t^2-\frac{1}{2}a_B t^2=l$；代入数据解得$t=5\sqrt{2}\text{s}$；故 D 正确。

故选 BCD。

2．(1)0.1；(2)0.35；(3)45N；(4)15m

【详解】(1)物块 A 在 B 上做加速运动，根据速度-时间图像的斜率表示加速度，可得加速度为$a_A=\frac{5}{5}\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$

根据牛顿第二定律有$ma_A=\mu_1 mg$；可得 μ_1=0.1

（2）撤去 F 后，根据速度-时间图像的斜率表示加速度，可得木板 B 的加速度大小$a_{B2}=\left|\frac{5-10}{5-4}\right|\text{m/s}^2=5\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律$\mu_1 mg+\mu_2(M+m)g=Ma_{B2}$；解得 μ_2=0.35

（3）力 F 作用于木板 B 时，根据速度-时间图像的斜率表示加速度，可得加速度$a_{B1}=\frac{10}{4}\text{m/s}^2=2.5\text{m/s}^2$

由牛顿第二定律$F-\mu_1 mg-\mu_2(M+m)g=Ma_{B1}$；解得 F=45N

（4）由图像可知 5s 时 AB 速度相等 v=5m/s，此时 A 相对 B 向后的位移，即 A 距离 B 右端的距离为

$x_1=\frac{1}{2}\times 4\times 10\text{m}+\frac{10+5}{2}\times 1\text{m}-\frac{1}{2}\times 5\times 5\text{m}=15\text{m}$

【变式训练】：1．(1)$m=2.5\text{kg}$，$M=0.5\text{kg}$；(2)$\mu=0.4$；(3)$a'=\frac{8}{3}\text{m/s}^2$

2．(1)10N；(2)2.5m/s；(3)1.5s

1．(1)$m=2.5\text{kg}$，$M=0.5\text{kg}$；(2)$\mu=0.4$；(3)$a'=\frac{8}{3}\text{m/s}^2$

【详解】（1）由图像可知当$F=12\text{N}$时，加速度为$a=4\text{m/s}^2$

对整体分析，由牛顿第二定律得 F = (M + m)a；代入数据解得$M+m=3\text{kg}$

当$F>12\text{N}$时，根据牛顿第二定律得$a=\frac{F-\mu mg}{M}=\frac{1}{M}F-\frac{\mu mg}{M}$

知图线的斜率为$k=\frac{1}{M}=\frac{4}{12-10}=2$；解得$M=0.5\text{kg}$；滑块的质量为$m=2.5\text{kg}$

（2）根据$F>12\text{N}$的图线知$a=\frac{F-\mu mg}{M}=\frac{1}{M}F-\frac{\mu mg}{M}$

当$F=10\text{N}$时，$a=0$，即$0=2F-2\times\mu\times 25$；代入数据解得$\mu=0.4$

（3）当$F=8\text{N}$时，对滑块和木板的整体，根据牛顿第二定律得$F=(M+m)a'$；解得$a'=\frac{8}{3}\text{m/s}^2$

2．(1)10N；(2)2.5m/s；(3)1.5s

【详解】（1）撤去外力前，滑块受到的摩擦力$f=\mu_1 m_P g=10\text{N}$

（2）撤去外力前，设滑块 P 和木板 Q 的加速度分别为a_1和a_2，速度分别为v_1和v_2，对 P 根据牛顿第二定律：

$F-\mu_1 m_P g=m_P a_1$；得$a_1=2.5\text{m/s}^2$；可知$v_1=a_1 t=5\text{m/s}$

对 Q $\mu_1 m_P g-\mu_2\left(m_P+m_Q\right)g=m_Q a_2$；得$a_2=1\text{m/s}^2$；可知$v_2=a_2 t=2\text{m/s}$

撤去外力后，木板以加速度a_2继续加速，滑块以加速度a_3减速，根据牛顿第二定律

对P $\mu_1 m_P g = m_P a_3$；得$a_3 = 5\text{m/s}^2$

设经过t_1后滑块和木板共速$v_1 - a_3 t_1 = v_2 + a_2 t_1$；代入求得$t_1 = 0.5\text{s}$；则木板的最大速度$v_m = v_2 + a_2 t_1 = 2.5\text{m/s}$

（3）滑块在拉力作用下加速运动，设其加速度为a_{P1}，根据牛顿第二定律，对$F'\cos\theta - f_1 = m_P a_{P1}$

且$f_1 = \mu_1\left(m_P g - F'\sin\theta\right) = 4\text{N}$；得$a_{P1} = 2.5\text{m/s}^2$

此过程中，木板与水平面间的摩擦力$f_2 = \mu_2\left(m_P g + m_Q g - F'\sin\theta\right) = 5.6\text{N}$

由于$f_1 < f_2$，所以木板不动。

撤去拉力时，滑块的速度最大$v_P = a_{P1} t' = 6\text{m/s}$

撤去F'后，滑块与木板间摩擦力$f = \mu_1 m_P g$，滑块减速的加速度大小$a_{P2} = \mu_1 g = 5\text{m/s}^2$

木板加速的加速度a_{Q2}，则$f - \mu_2\left(m_P g + m_Q g\right) = m_Q a_{Q2}$；得$a_{Q2} = 1\text{m/s}^2$

设再经过t_2时间滑块与木板速度相同$v_{共} = v_P - a_{P2} t_2 = a_{Q2} t_2$；代入求得$t_2 = 1\text{s}$，$v_{共} = 1\text{m/s}$

共速后二者一起匀减速至停止。其加速度$a_{共} = \mu_2 g = 2\text{m/s}^2$

该过程的运动时间$t_3 = \dfrac{v_{共}}{a_{共}} = 0.5\text{s}$；木板的运动时间$t_{总} = t_2 + t_3 = 1.5\text{s}$

题型三:单板+多块

【典型例题】 ：A　　2．(1) $v_m = 1\text{m/s}$；(2) $L = 1.9\text{m}$；(3) $x = 0.55\text{m}$

1．A

【详解】AB．由题意可知，开始一段时间内，木块B向右减速，木块A向左减速，此过程木板C静止不动，木块A的速度先减小到零后与木板C一起反向向右加速，木块B继续向右减速，三者共速时，木块B的速度最小。设木块A、B的质量均为m，则木板C的质量为$3m$，取水平向右为正方向，根据动量守恒定律有$mv_B - mv_A = 5mv$

解得木块B的最小速度为$v = 0.4\text{m/s}$

由能量守恒定律得$\dfrac{1}{2}mv_B^2 + \dfrac{1}{2}mv_A^2 = \dfrac{1}{2}\times 5mv^2 + \mu mgL_A + \mu mgL_B$

解得木板最短长度$L = L_A + L_B = 4.8\text{m}$；故A正确，B错误；

D．木块A向左减速的过程，根据动能定理有$-\mu mgx_1 = 0 - \dfrac{1}{2}mv_A^2$

解得木块A向左运动的最大位移为$x_1 = 1\text{m}$；故D错误；

C．木块A向右加速过程，以A、C整体为研究对象，

根据动能定理有 $\mu mgx_2=\frac{1}{2}(m+3m)v^2$；解得 $x_2=0.16\text{m}$

故从刚开始到A、B、C速度刚好相等的过程中，木块A的位移 $x_A=x_1-x_2=0.84\text{m}$；故C错误。

故选A。

2．(1) $v_m=1\text{m/s}$；(2) $L=1.9\text{m}$；(3) $x=0.55\text{m}$

【详解】（1）设滑块在木板上滑动时的加速度大小为 a_1，木板与滑块1共速前的加速度大小为 a_2，有

$a_1=\frac{\mu m_1 g}{m_1}=\mu g$；$\mu m_1 g-\mu m_2 g-\mu_0(m_0+m_1+m_2)g=m_0 a_2$；解得 $a_1=5\text{m/s}^2$，$a_2=2.5\text{m/s}^2$

设经过时间 t_1 木板与滑块1共速，此时木板速度最大，有 $v_m=v_0-a_1t_1=a_2t_1$；解得 $t_1=0.4\text{s}$；$v_m=1\text{m/s}$

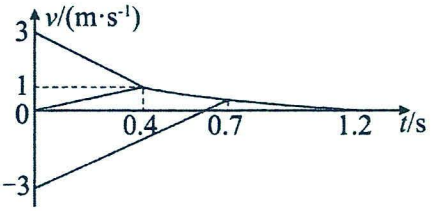
（2）分析可知木板与滑块1共速后，相对静止共同向右减速，由于木块2的初速度大小和加速度大小和滑块1相同，故木板与滑块1共速瞬间，滑块2的速度大小也为 v_m，滑块2以速度大小为 v_m 的速度向左减速，取向右为正方向，设木板与滑块1共速后、与滑块2共速前的加速度大小为 a_3，得 $\mu_0(m_0+m_1+m_2)g+\mu m_2 g=(m_0+m_1)a_3$；解得 $a_3=\frac{5}{3}\text{m/s}^2$

设木板与滑块1共速后再经过时间 t_2 木板与滑块1和2三个共速，该过程中滑块2的加速度大小等于 a_1，得

$v_{共}=v_m-a_3t_2=-v_m+a_1t_2$；解得 $t_2=0.3\text{s}$，$v_{共}=0.5\text{m/s}$

三个物体共速后，整体以共同加速度 a_4 继续向右做匀减速运动，可知 $a_4=\mu_0 g$，再经过时间 t_3 停止得 $t_3=\frac{v_{共}}{a_4}=0.5\text{s}$

整个过程 $v-t$ 图像如图



从开始到木板与滑块1共速时，可知滑块1和2的初末速度大小和加速度大小都相等，故该过程中两滑块的相对位移为

$s_1=2\cdot\frac{v_0^2-v_m^2}{2a_1}=\frac{v_0^2-v_m^2}{a_1}$

从木板与滑块1共速到三个物体一起共速时，可知滑块1相对滑块2做初速度为 $2v_m$，加速度为 a_1+a_3 的匀减速运动，共速时相对速度为零，根据运动学公式可得该段时间内两滑块的相对位移为 $s_2=\frac{(2v_m)^2}{2(a_1+a_3)}$

根据位移关系可得木板的长度为 $L=s_1+s_2$；解得 $L=1.9\text{m}$

（3）根据运动学公式，从开始到木板与滑块1共速时，木板沿地面移动的距离为 $x_1=\frac{v_m^2}{2a_2}$

从木板与滑块1共速到三个物体一起共速时，该段时间木板沿地面移动的距离为 $x_2=v_m t_2-\frac{1}{2}a_3 t_2^2$

三个物体一起共速到最后停止时间内木板沿地面移动的距离为 $x_3=\frac{v_{共}^2}{2a_4}$

故整个过程木板沿地面移动的距离为 $x=x_1+x_2+x_3$；联立解得 $x=0.55\text{m}$

【变式训练】：1．B　　2．（1）$\mu_1=0.5$，$\mu_2=0.1$；（2）$t=1.5\text{s}$；（3）$L=\frac{29}{16}\text{m}$

1．B

【详解】B．对两滑块受力分析，根据牛顿第二定律可得 $\mu_A m_A g=m_A a_A$，$\mu_B m_B g=m_B a_B$

联立可得 $a_A=2\text{m/s}^2$，$a_B=4\text{m/s}^2$

依题意，相遇前木板匀加速，由牛顿第二定律，有 $\mu_A m_A g-\mu_B m_B g-\mu_{木}\left(M+m_A+m_B\right)g=Ma_{木}$

相遇后木板匀减速，有 $\mu_{木}\left(M+m_A+m_B\right)g=\left(M+m_A+m_B\right)a_{1木}$；解得 $a_{1木}=0.5\text{m/s}^2$

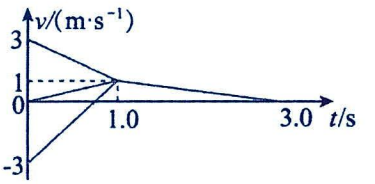
可知相遇时三者共速，取向右为正方向，设三者经 t 时间共速，

由速度与时间关系可得 $v=v_0-a_A t$；$v=-v_0+a_B t$；$v=a_{木}t$

联立解得 $v=1\text{m/s}$，$t=1\text{s}$，$a_{木}=1\text{m/s}^2$，$M=2kg$；故 B 正确；

ACD．根据 B 选项分析，三者一起匀减速过程，有 $0=v-a_{1木}t_1$；解得 $t_1=2\text{s}$

作出它们运动的 $v-t$ 图像如图所示



可知木板的长度为 $L=2\times\frac{1\times3}{2}\text{m}=3\text{m}$

木板运动的最大距离为 $x=\frac{3\times1}{2}\text{m}=1.5\text{m}$

分析滑块 B，减速时间设为 t_B，则有 $0=v_0-a_B t_B$；解得 $t_B=0.75\text{s}$

整个过程中滑块 B 的位移为 $x_B=\frac{0.75\times(-3)}{2}\text{m}+\frac{(3-0.75)\times1}{2}\text{m}=0\text{m}$；故 ACD 错误。

故选 B。

2．（1）$\mu_1=0.5$，$\mu_2=0.1$；（2）$t=1.5\text{s}$；（3）$L=\frac{29}{16}\text{m}$

【详解】（1）BC 共速时，已知 $t_1=0.5\text{s}$，$v_1=0.5\text{m/s}$，

由图可知：B 的加速度大小 $a_1=5\text{m/s}^2$；C 的加速度大小 $a_2=1\text{m/s}^2$

$0\sim t_1$ 过程对 B $\mu_1 m_B g=m_B a_1$；解得 $\mu_1=0.5$

$0\sim t_1$ 过程对 C $\mu_1 m_A g-\mu_1 m_B g-\mu_2\left(m_A+m_B+m_C\right)g=m_C a_2$；解得 $\mu_2=0.1$

（2）设从 BC 共速到 ABC 共速时间为 t_2，BC 的加速度大小为 a_3；ABC 共速为 v_3；

对 BC $\mu_1 m_A g-\mu_2\left(m_A+m_B+m_C\right)g=\left(m_B+m_C\right)a_3$；解得 $a_3=3\mathrm{m/s^2}<a_1$ 成立

$v_A-a_1\left(t_1+t_2\right)=v_1+a_3t_2$；解得 $t_2=\frac{1}{8}\mathrm{s}$

ABC 共同减速度大小为 a_4 $\mu_2\left(m_A+m_B+m_C\right)g=\left(m_A+m_B+m_C\right)a_4$；解得 $a_4=1\mathrm{m/s^2}<a_1$ 成立，

ABC 共速至减停时间为 t_3；$v_1+a_3t_2=a_4t_3$；解得 $t_3=\frac{7}{8}\mathrm{s}$；$t=t_1+t_2+t_3=1.5\mathrm{s}$

（3）BC 相对位移 $\Delta x_{BC}=\frac{1}{2}a_2t_1^2-\left(-v_Bt_1+\frac{1}{2}a_1t_1^2\right)=0.5\mathrm{m}$

AC 相对位移 $\Delta x_{AC}=v_A\left(t_1+t_2\right)-\frac{1}{2}a_1\left(t_1+t_2\right)^2-\left(\frac{1}{2}a_2t_1^2+v_1t_2+\frac{1}{2}a_3t_2^2\right)=\frac{21}{16}\mathrm{m}$

木板 C 长 $L=\Delta x_{BC}+\Delta x_{AC}=\frac{29}{16}\mathrm{m}$

典例

D　　ACD

1．D

【详解】AB．当物块 A、B 的滑动摩擦力提供加速度时，加速度最大，则有 $\mu_Am_Ag=m_Aa_A$，$\mu_Bm_Bg=m_Ba_B$

解得 $a_A=3\mathrm{m/s^2}$，$a_B=2\mathrm{m/s^2}$；故 AB 正确；

C．A、B 滑动时加速度恒定，根据运动学规律有 $L=\frac{1}{2}a_At^2-\frac{1}{2}a_Bt^2$；解得 $t=2\mathrm{s}$；故 C 正确；

D．因为 A、C 与 B 产生相对滑动时，才能相遇，当 $F=8\mathrm{N}$，滑块 B 与 C 恰好发生相对滑动，则有 $F=4ma_B$；解

得 $m_C=2m=2\mathrm{kg}$；故 D 错误。

本题选择错误的，故选 D。

2．ACD

【详解】若开始时两物块相对木板产生滑动，

则木板的加速度 $a_1=\frac{F-\mu_1(m_A+m_B+M)g-\mu_2m_Ag-\mu_3m_Bg}{M}=2\mathrm{m/s^2}$

A 的加速度 $a_A=\mu_2g=2\mathrm{m/s^2}$；B 的加速度 $a_B=\mu_3g=4\mathrm{m/s^2}$

可知假设错误；若 B 相对木板静止，A 产生滑动，

则此时木板和 B 的加速度 $a_2=\frac{F-\mu_1\left(m_A+m_B+M\right)g-\mu_2m_Ag}{m_B+M}=3\mathrm{m/s^2}>a_A$

可知假设成立，当 A 离开木板时 $\frac{1}{2}a_2t_1^2-\frac{1}{2}a_At_1^2=\Delta x=0.5\mathrm{m}$；解得 $t_1=1\mathrm{s}$

此时 A 的速度 $v_A=a_At_1=2\mathrm{m/s}$；木板和 B 的速度 $v_1=a_2t_1=3\mathrm{m/s}$

设力 F 再作用时间 t_2 后撤去，则此时木板的加速度 $a_3=\frac{F-\mu_1(m_B+M)g-\mu_3m_Bg}{M}=8\mathrm{m/s^2}$

物块 B 加速度为 $a_B = \mu_3 g = 4\text{m/s}^2$

经过时间 t_2 木板的速度 $v_2 = v_1 + a_3 t_2 = 3 + 8t_2$

B 的速度 $v_{B1} = v_1 + a_B t_2 = 3 + 4t_2$

B 相对木板的位移 $\Delta x_1 = \frac{v_1 + v_2}{2} t_2 - \frac{v_1 + v_{B1}}{2} t_2 = 2t_2^2$

以后撤去力 F 后木板加速运动的加速度 $a_4 = \frac{\mu_1 (m_B + M) g + \mu_3 m_B g}{M} = 6\text{m/s}^2$

当两者共速时 $v = v_2 - a_4 t_3 = v_{B1} + a_B t_3$；解得 $t_2 = 2.5t_3$；$v = 3 + 5.6t_2$

此过程中 B 相对木板的位移 $\Delta x_2 = \frac{v + v_2}{2} t_3 - \frac{v + v_{B1}}{2} t_3 = 0.8t_2^2$

由题意可知 $\Delta x_1 + \Delta x_2 = 2.8t_2^2 = 0.7\text{m}$；可得 t_2=0.5s

滑块 B 离开木板时的速度大小为 $v = 3 + 5.6t_2 = 5.8\text{m/s}$

水平恒力作用的时间为 $t = t_1 + t_2 = 1.5\text{s}$

木板的最大速度为 $v_2 = 3 + 8t_2 = 7\text{m/s}$；则 ACD 正确，B 错误。

故选 ACD。

3. （1）1N；（2）$2\sqrt{3}\text{s}$；（3）3m

【详解】（1）煤块 B 与 C 之间的最大静摩擦力为 $f_{Bm} = \mu_B mg = 2\text{N}$

假设 A、B、C 相对静止，若 $F = 4\text{N}$，对整体，根据牛顿第二定律有 $F = (M + 2m)a_1$

煤块 B 与 C 之间的摩擦力大小 $f = ma_1 = 1\text{N} < f_m$

假设成立，煤块 B 与 C 之间的摩擦力大小为 1N。

（2）B、C 相对静止，B 的最大加速度为 $\mu_B mg = ma_{Bm}$；解得 $a_{Bm} = 1\text{m/s}^2$

A、C 相对静止，A 的最大加速度为 $\mu_A mg = ma_{Am}$；解得 $a_{Am} = 2\text{m/s}^2$

假设 A、B、C 相对静止，若 $F = 10\text{N}$，对整体，根据牛顿第二定律有 $F = (M + 2m)a_2$；解得 $a_2 = 1.25\text{m/s}^2$

可知 B 与 C 间发生相对移动，以 A、C 为整体，根据牛顿第二定律有 $F - \mu_B mg = (M + m)a_3$，解得 $a_3 = \frac{4}{3}\text{m/s}^2$

故 A、C 相对静止，A、B 第一次相遇时，有 $L = \frac{1}{2}a_3 t_0^2 - \frac{1}{2}a_{Bm} t_0^2$

解得从刚开始施加力至 A、B 第一次相遇所用的时间为 $t_0 = 2\sqrt{3}\text{s}$

（3）若 $F = 16\text{N}$，可知 B 与 C 间发生相对移动，以 A、C 为整体，

根据牛顿第二定律有 $F - \mu_B mg = (M + m)a_4$；解得 $a_4 = \frac{7}{3}\text{m/s}^2 > a_{Am}$

可知 A 与 C 间发生相对移动，对 C，根据牛顿第二定律有 $F - \mu_A mg - \mu_B mg = Ma_5$；解得 $a_5 = 2.5\text{m/s}^2$

A、B 第一次相遇时，有 $L = \frac{1}{2}a_{Am} t_1^2 - \frac{1}{2}a_{Bm} t_1^2$；解得从刚开始施加力至 A、B 第一次相遇所用的时间为 $t_1 = 2\text{s}$

从刚开始施加力至 A、B 第一次相遇时木板 C 上的划痕长度为 $x = \frac{1}{2}a_5 t_1^2 - L = 3\text{m}$

变式

1．(1)0.4；(2)3.75m；(3) $\frac{7+2\sqrt{6}}{2}$ m

【详解】（1）由运动学公式得 $v_1=a_1t_1$，解得 $a_1=2\ m/s^2$；对 A 由牛顿第二定律得 $F-\mu_A mg=ma_1$；解得 $\mu_A=0.4$

（2）$t_2=2.5$ s 时 B 运动的位移大小 $x_B=v_0t_2=2\times2.5$ m=5 m

$t_2=2.5$ s 时 A 运动的位移大小 $x_A=\frac{1}{2}a_1t_2^2=\frac{1}{2}\times2\times2.5^2\text{m}=6.25\text{m}$

$t_2=2.5$ s 时 A、B 间的距离 $x=L_0+x_B-x_A=5\ \text{m}+5\ \text{m}-6.25\text{m}=3.75\ \text{m}$

（3）对木板由牛顿第二定律得 $\mu_A mg-\mu(m+m+M)g=Ma_2$；解得 $a_2=1\ m/s^2$

设经过 t′ 物块 B 滑到木板的右端时 A、B 恰好相碰，则 $\frac{1}{2}a_1t'^2=L_0+v_0t'$

A 到达木板右端，可得 $\frac{1}{2}a_1t'^2=L+\frac{1}{2}a_2t'^2$；联立解得 $L=\frac{7+2\sqrt{6}}{2}\text{m}$

2．(1) 1m/s^2，5m/s^2；(2) 1s；(3) 2m

【详解】（1）对 B 有 $\mu_2m_Bg=m_Ba_B$；可得 $a_B=1\text{m/s}^2$；对 C 有 $\mu_3m_Cg=m_Ca_C$；可得 $a_C=5\text{m/s}^2$

（2）对 A 有 $F-\mu_1(m_A+m_B+m_C)g+\mu_3m_Cg-\mu_2m_Bg=m_Aa_A$；解得 $a_A=5\text{m/s}^2$

设经时间 t_1，AC 速度相等，且为 v_{AC}，由 $v_{AC}=a_At_1=v_0-a_Ct_1$；解得 $t_1=1\text{s}$，$v_{AC}=5\text{m/s}$

（3）$0\sim t_1$ 时间内，A 的位移 $x_{A1}=\frac{v_{AC}}{2}t_1=2.5\text{m}$；B 的位移 $x_{B1}=\frac{1}{2}a_Bt_1^2=0.5\text{m}$；C 的位移 $x_C=\frac{v_0+v_{AC}}{2}t_1=7.5\text{m}$

C 相对于 A 滑动的距离 $\Delta x_{CA}=x_C-x_{A1}=5\text{m}$；B 相对于 A 滑动的距离 $\Delta x_{BA1}=x_A-x_{B1}=2\text{m}$

C 与 A 共速后，C 与 A 不在发生相对运动，此时 B 的速度 $v_B=a_Bt_1=1\text{m/s}$

对 AC 整体 $\mu_1(m_A+m_B+m_C)g+\mu_2m_Bg=(m_A+m_C)a_{AC1}$；解得 $a_{AC1}=3\text{m/s}^2$

设再经过时间 t_2，AB 速度相等，且为 v_{AB}，由 $v_{AB}=v_{AC}-a_{AC1}t_2=v_B+a_Bt_2$；解得 $t_2=1\text{s}$，$v_{AB}=2\text{m/s}$

$t_1\sim t_2$ 时间内，A 的位移 $x_{A2}=\frac{v_{AC}+v_{AB}}{2}t_2=3.5\text{m}$；B 的位移 $x_{B2}=\frac{v_B+v_{AB}}{2}t_2=1.5\text{m}$

B 相对于 A 滑动的距离 $\Delta x_{BA2}=x_{A2}-x_{B2}=2\text{m}$

B 与 A 速度相等后，由于 $\mu_1>\mu_2$，A(C)和 B 各自匀减速到停止。对 AC 整体

$\mu_1(m_A+m_B+m_C)g-\mu_2m_Bg=(m_A+m_C)a_{AC2}$；解得 $a_{AC2}=2\text{m/s}^2$

这段时间内，AC 整体的位移 $x_3=\frac{v_{AB}^2}{2a_{AC2}}=1\text{m}$；B 的位移 $x_{B3}=\frac{v_{AB}^2}{2a_B}=2\text{m}$

B 相对于 A 滑动的距离 $\Delta x_{BA3}=x_{B3}-x_{A3}=1\text{m}$

所以，当 ABC 都静止时，BC 间的距离 $\Delta x_{BC}=L-\Delta x_{CA}-\Delta x_{BA1}-\Delta x_{BA2}+\Delta x_{BA3}=2\text{m}$

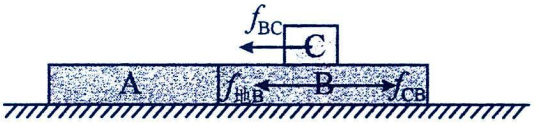
题型四:单块+多板

【典型例题】 ：1. （1）1m/s^2，5m/s^2；（2）0.6s

1. （1）1m/s^2，5m/s^2；（2）0.6s

【详解】(1)如图所示,对物体B、C进行受力分析,设物体C受到摩擦力为f_{BC},物体B受到摩擦力为f_{CB},$f_{BC}=f_{CB}$,

$m_A=m_B=m_C=m$，以向右为正方向，由牛顿第二定律知



对物体C有$f_{BC}=m_Ca_C$；物体B、C之间摩擦力为$f_{BC}=-\mu_2m_Cg$

代入得$a_C=\dfrac{-\mu_2m_Cg}{m_C}=-0.5\times10\text{m/s}^2=-5\text{m/s}^2$

对物体B有$f_{CB}-f_{地B}=m_Ba_B$；物体B与地面之间摩擦力为$f_{地B}=\mu_1\left(m_C+m_B\right)g$

代入得$a_B=\dfrac{\mu_2m_Cg-\mu_1\left(m_C+m_B\right)g}{m_B}=1\text{m/s}^2$

（2）假设物块没有从右端离开，经时间t，二者共速，物体C刚滑上B时速度为v，则由匀变速直线运动速度与位移关系式知$v^2-v_0^2=2a_Cl_A$；代入得$v=\sqrt{v_0^2+2a_Cl_A}=\sqrt{7^2+2\times\left(-5\right)\times1.3}\text{m/s}=6\text{m/s}$

当共速时$v_{共}=v+a_Ct=a_Bt$；代入得$t=1\text{s}$；$v_{共}=1\text{m/s}$

相对位移为$\Delta x=\dfrac{v+v_{共}}{2}t-\dfrac{v_{共}}{2}t$；代入得$\Delta x=3.5\text{m}-0.5\text{m}=3\text{m}$；由于$\Delta x>l_B$；假设不成立

物块C从B木板右端离开，设物块B上滑动时间为t'，则$vt'+\dfrac{1}{2}a_Ct'^2-\dfrac{1}{2}a_Bt'^2=l_B$

则，代入数值$3t'^2-6t'+2.52=0$

代入解得$t_1'=0.6\text{s}$或$t_2'=1.4\text{s}$（此时C的速度反向，不符舍去）

故C在B上滑动的时间为0.6s。

【变式训练】 ：1. （1）6m/s；（2）1.9s；（3）物块最终停在木板E上，$\Delta x=\dfrac{1}{3}\text{m}$

2. (1)$\sqrt{17}\text{m/s}$；；(2)4；；(3)$\left(6+\dfrac{41}{162}\right)\text{m}$

1. （1）6m/s；（2）1.9s；（3）物块最终停在木板E上，$\Delta x=\dfrac{1}{3}\text{m}$

【详解】（1）物块在倾斜轨道上，由牛顿第二定律得$mg\sin37°-\mu_1mg\cos37°=ma_1$

物块从A点到B点，有$v_B^2=2a_1\dfrac{h}{\sin37°}$；联立解得$v_B=6\text{m/s}$

（2）物块在传送带上先做匀减速运动，由牛顿第二定律得$\mu_2mg=ma_2$

物块与传送带共速时，有$t_1=\dfrac{v-v_B}{-a_2}=0.4\text{s}$；此时物块的位移$x_1=\dfrac{v+v_B}{2}t_1=2\text{m}<d$

之后物块与传送带一起匀速运动到C点，则$t_2=\dfrac{d-x_1}{v}=1.5\text{s}$

物块从B点运动到C点的总时间$t=t_1+t_2=1.9\text{s}$

（3）物块刚滑到木板D上时，对两木板整体分析可知$\mu_2 mg=\mu_3\left(m+2M\right)g$

所以两木板保持静止。物块在木板D上匀减速运动，由牛顿第二定律得$\mu_2 mg=ma$

又$v_1^2-v^2=-2aL$；解得$v_1=2\text{m/s}$

故物块能滑上木板E；物块在木板E上运动时，

对木板E由牛顿第二定律得$\mu_2 mg-\mu_3\left(m+M\right)g=Ma'$

经过时间t'物块与木板E共速，则有$v_1-at'=a't'$；解得$t'=\dfrac{1}{3}\text{s}$

由于$\mu_2>\mu_3$，此后物块与木板E一起匀减速至0，物块最终停在木板E上。物块距木板E左端的距离为

$\Delta x=v_1t'-\dfrac{1}{2}at'^2-\dfrac{1}{2}a't'^2$；联立解得$\Delta x=\dfrac{1}{3}\text{m}$

2．(1)$\sqrt{17}\text{m/s}$；；(2)4；；(3)$\left(6+\dfrac{41}{162}\right)\text{m}$

【详解】（1）小铅块在左侧第1块木块上运动时，有$\mu_2 Mg<\mu_1\left(M+4m\right)g$

可知小铅块在左侧第1块木块上滑动时，4块木块仍处于静止状态，小铅块做匀减速直线运动，对小铅块，由牛顿第二定律有；$\mu_2 Mg=Ma$；解得；$a=2\text{m/s}^2$

由匀变速直线运动规律有$v_1^2-v_0^2=-2aL$；解得$v_1=\sqrt{17}\text{m/s}$

（2）设小铅块运动至左侧第n个木块上时，小铅块下方的木块开始滑动，

则有$\mu_2 Mg>\mu_1\left[M+\left(5-n\right)m\right]g$；解得$n>3.75$

设小铅块刚运动到第4个木块时速度大小为v_2，由匀变速直线运动规律有$v_2^2-v_0^2=-2a\cdot 3L$；解得$v_2=1\text{m/s}$

因此小铅块运动至左侧第4个木块上时，木块开始滑动。

（3）设第4个木块做加速运动时加速度大小为a'，由牛顿第二定律有$\mu_2 Mg-\mu_1\left(M+m\right)g=ma'$

解得$a'=0.25\text{m/s}^2$

设经过时间t小铅块和第4个木块的速度相同，则有$v'=v_2-at=a't$；解得$t=\dfrac{4}{9}\text{s},v'=\dfrac{1}{9}\text{m/s}$

此段时间，小铅块的位移大小为$x=v_2t-\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{20}{81}\text{m}$

第4个木块的位移为$x_0=\dfrac{1}{2}a't^2=\dfrac{2}{81}\text{m}$

铅块相对第4个木块的位移为$\Delta x=x-x_0=\dfrac{2}{9}\text{m}<L$

分析可知，小铅块和第4个木块的速度相同后，一起做匀减速直线运动，

则有 $\mu_1(M+m)g=(M+m)a''$，$0-v'^2=-2a''x'$；解得 $x'=\frac{1}{162}\text{m}$

所以小铅块停止运动到左侧第 1 个木块最左端距离为 $s=3L+x+x'=\left(6+\frac{41}{162}\right)\text{m}$

题型五:多次碰撞

【典型例题】 ：1．(1) $L=\frac{3v_0^2}{4\mu g}$；(2) $\frac{2v_0}{\mu g}$

【详解】（1）滑块相对木板始终向右滑动，所有的动能转变内能，所以有 $\frac{1}{2}\times 3mv_0^2=\mu\times 2mgL$；解得 $L=\frac{3v_0^2}{4\mu g}$

（2）由题意知，滑块运动的加速度大小 $a_1=\mu g$；木板运动的加速度大小 $a_2=2\mu g$

木板反向后速度大小仍然为 v_0，则滑块与木板发生相对运动，设经过时间 t_1 二者达到共同速度 v_1，

则 $v_1=v_0-a_1t_1=-v_0+a_2t_1$

这段时间内，滑块前进的位移大小 $x_1=v_0t_1-\frac{1}{2}a_1t_1^2$

木板后退的位移大小 $x_1'=v_0t_1-\frac{1}{2}a_2t_1^2$

此后滑块与木板以共同速度 v_1 向右滑动直到木板与挡板发生第二次碰撞，设这段过程中木板运动的时间为 t_1'，

则 $x_1'=v_1t_1'$；；联立解得 $v_1=\frac{1}{3}v_0$，$t_1=t_1'=\frac{2v_0}{3\mu g}$

之后滑块和木板以 $v_1=\frac{1}{3}v_0$ 的共同初速度重复上述运动过程，设第二次碰撞后二者的共同速度为 v_2，滑块和木板相对运动的时间为 t_2，共同匀速运动的时间为 t_2'，同理可得 $v_2=\frac{1}{3}v_1=\frac{1}{3^2}v_0$，$t_2=t_2'=\frac{2v_0}{3^2\mu g}$

所以滑块和木板从第一次与挡板碰撞到停下来所需的时间为

$t=t_1+t_1'+t_2+t_2'+\cdots+t_n+t_n'=2\times\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{3^2}+\cdots+\frac{1}{3^n}\right)\frac{2v_0}{\mu g}=\frac{2v_0}{\mu g}$

考点三：倾斜板块问题

题型一:无外力 F 下的倾斜板块

【典型例题】 ：BD

1．【详解】A．木板下滑过程中，木板与滑块组成的系统所受的摩擦力 $f=3mg\cos\theta\cdot\tan\theta=3mg\sin\theta$

可知木板与滑块组成的系统所受的合力为零，木板与滑块组成的系统动量守恒，故 A 错误；

B．滑块向上运动过程中，根据牛顿第二定律 $2mg\cos\theta\cdot\frac{\tan\theta}{2}+2mg\sin\theta=2ma_1$；可得 $a_1=\frac{3}{2}g\sin\theta$

根据运动学公式 $v_0^2=2a_1x$

解得滑块向上运动的最大位移大小 $x=\frac{v_0^2}{3g\sin\theta}$；故 B 正确；

C．木板下滑过程中，

根据牛顿第二定律 $3mg\cos\theta\cdot\tan\theta+2mg\cos\theta\cdot\frac{\tan\theta}{2}-mg\sin\theta=ma_2$；解得 $a_2=3g\sin\theta$

木板速度为零的时间$t_2=\frac{v_0}{a_2}=\frac{v_0}{3g\sin\theta}$；滑块速度第一次为零的时间$t_1=\frac{v_0}{a_1}=\frac{2v_0}{3g\sin\theta}$；可知$t_2<t_1$

木板静止时滑块的速度大小$v=v_0-a_1t_2=\frac{v_0}{2}$；故C错误；

D．滑块向上运动到最高点时，由于$2mg\sin\theta>\mu'\cdot 2mg\cos\theta$

可知滑块沿着木板向下运动，此时木板对滑块的摩擦力向上，则滑块对木板的摩擦力向下，由于$\mu'\cdot 2mg\cos\theta+mg\sin\theta<\mu\cdot 3mg\cos\theta$；所以木板保持静止，故D正确。

故选BD。

【变式训练】：1．（1）7m/s^2，方向沿制动坡床向下；（2）10m/s^2；（3）2s，26m；（4）76m

2．（1）3m/s^2，1.5m/s^2；（2）5s

1．（1）7m/s^2，方向沿制动坡床向下；（2）10m/s^2；（3）2s，26m；（4）76m

【详解】（1）设货物的质量为m，货物在车厢内滑动过程中，受摩擦力大小为f，加速度大小为a_1，则

$f+mg\sin\theta=ma_1$　　$f=\mu mg\cos\theta$；代入数据得$a_1=7\text{m/s}^2$；a_1的方向沿制动坡床向下。

（2）设货物的质量为m，则货车的质量为4m，设货车加速度为a_2，

则有$0.34\times 5mg+4mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=4ma_2$；得$a_2=10\text{m/s}^2$

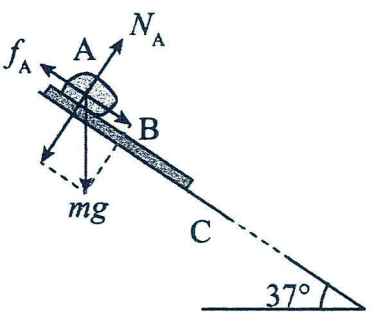
（3）设货物相对货车滑动6m时货物和货车的位移分别为s_1和s_2，

则有$s_1=v_0t-\frac{1}{2}a_1t^2$，$s_2=v_0t-\frac{1}{2}a_2t^2$，$s_1-s_2=6\text{m}$；得$t=2\text{s}$，$s_2=26\text{m}$

（4）制动坡床的长度为$L=s_2+12\text{m}+38\text{m}=76\text{m}$

2．（1）3m/s^2，1.5m/s^2；（2）5s

【详解】（1）对A物体，其受力如答图所示。



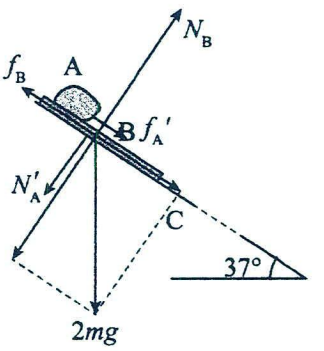
由平行四边形定则和牛顿第二定律可得$N_A=mg\cdot\cos\theta$，

$mg\sin\theta-f_A=ma_A$

由滑动摩擦力公式$f_A=\mu_1\cdot N_A$

代入数据解得$a_A=3\text{m/s}^2$

对B物体，其受力图如答图所示。



由牛顿第二定律得$N_B=2mg\cdot\cos\theta+N_A'$，$2mg\cdot\sin\theta+f_A'-f_B=2ma_B$

根据牛顿第三定律$f_A'=f_A$，$N_A'=N_A$

由滑动摩擦力公式$f_B=\mu_2\cdot N_B$

代入数据解得$a_B=1.5\text{m/s}^2$

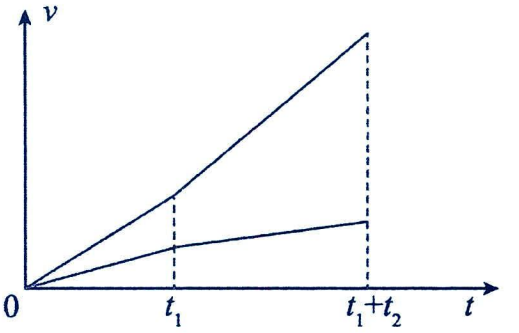
（2）讨论物体在0~2s的运动，设$t_1=2\text{s}$，则2s末有

$v_A = a_A t_1 = 6\text{m/s}$，$s_{A1} = \frac{1}{2} a_A t_1^2 = 6\text{m}$；$v_B = a_B t_1 = 3\text{m/s}$，$s_{B1} = \frac{1}{2} a_B t_1^2 = 3\text{m}$

A 相对 B 滑动的距离为 $\Delta x = x_{A1} - x_{B1} = 3\text{m}$

在 2s 后，对 A 进行受力分析可得，A 受到的摩擦力变小，做加速度更大的匀加速运动，设加速度大小为 a_A'，由牛顿第二定可得 $mg\sin\theta - \mu_1' mg\cos\theta = ma_A'$；代入数据解得 $a_A' = 4\text{m/s}^2$

对 B 分析，B 还是做匀加速运动，设加速度大小为 a_B'，由牛顿第二定可得 $2mg\sin\theta + \mu_1' mg\cos\theta - \mu_2 \cdot 3mg\cos\theta = 2ma_B'$；代入数据解得 $a_B' = 1\text{m/s}^2$



设又经历 t_2 时间，A、B 脱离，这段时间内，由匀变速运动规律

$s_{A2} = v_A t_2 + \frac{1}{2} a_A' t_2^2$，$s_{B2} = v_B t_2 + \frac{1}{2} a_B' t_2^2$

依题意至 A、B 脱离需满足 $s_{A2} - s_{B2} = l - \Delta x = 22.5\text{m}$

代入数据解得 $t_2 = 3\text{s}$（$t_2 = -5\text{s}$ 舍）；所以 A 在 B 上总的运动时间为：$t = t_1 + t_2 = 5\text{s}$

题型二:有外力 F 下的倾斜板块

【典型例题】 ：1. （1）2m/s^2，2m/s^2；（2）7m/s

【详解】（1）对物块受力分析，根据牛顿第二定律得 $F_1 - mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta = ma_1$；解得 $a_1 = -2\text{m/s}^2$

对木板受力分析，根据牛顿第二定律得 $\mu mg\cos\theta - Mg\sin\theta = Ma_2$；解得 $a_2 = 2\text{m/s}^2$

（2）物块、木板在 1s 末的速度为 $v_1 = v_0 + a_1 t_1$，$v_2 = a_2 t_1$；解得 $v_1 = v_2 = 2\text{m/s}$

1s 内木板运动的位移 $v_2^2 = 2a_2 x_1$；解得 $x_1 = \frac{v_2^2}{2a_2} = 1\text{m}$

当 1s 末时，对两物体作为研究对象分析得 $F_2 + (m+M)g\sin\theta = (m+M)a_3$；解得 $a_3 = 10\text{m/s}^2$

物块和木板继续向上做匀减速运动，由运动学关系为 $x_2 = \frac{v_2^2}{2a_3} = 1\text{m}$

物块和木板滑到最高点后，反向向下做匀加速运动，加速度不变；对木板则有 $v_3^2 - v_2^2 = 2a_3(x_1 + x_2)$

解得木板第一次与挡板碰撞时的速度大小 $v_3 = 7\text{m/s}$

【变式训练】 ：1. (1) μ = 0.75；(2)18 N < F ≤ 19.2 N；(3)x = 1.68 m

2. （1） $a_1 = 2\text{m/s}^2$，方向沿斜面向下，$a_2 = 2\text{m/s}^2$，方向沿斜面向上；（2）7m/s；（3）48m

1. (1) μ = 0.75；(2)18 N < F ≤ 19.2 N；(3)x = 1.68 m

【详解】（1）对物块受力分析，有 $mg\sin\theta = f$；$N = mg\cos\theta$；$f = \mu N$；解得 $\mu = 0.75$

（2）以物块和木板整体为研究对象，由牛顿第二定律有 $F - (M+m)g\sin\theta = (M+m)a$

以物块为研究对象，由牛顿第二定律有 $f'-mg\sin\theta=ma$；又 $f'\le f_{max}=\mu' mg\cos\theta$；$a>0$；

解得 18 N < F ≤ 19.2 N

故使物块不滑离木板时恒力 F 的范围 18 N < F ≤ 19.2 N。

（3）由题意知物块会滑离木板，设物块在木板上的加速度大小为 a_1，木板的加速度大小为 a_2，有

$\mu' mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma_1$；$F-Mg\sin\theta-\mu' mg\cos\theta=Ma_2$

设物块在木板上运动的时间为 t_1，由几何关系有 $\frac{1}{2}a_2t_1^2-\frac{1}{2}a_1t_1^2=L$；解得 $t_1=3\text{s}$

此后物块从木板上掉落，设物块的加速度大小为 a_3，木板的加速度大小为 a_4，

有 $mg\sin\theta=ma_3$；$F-Mg\sin\theta=Ma_4$

设从物块刚掉落到物块速度减至零的时间为 t_2，有 $t_2=\frac{a_1t_1}{a_3}$；解得 $t_2=0.2\text{s}$

以物块与木板分离处为起始点，物块的位移大小 $x_1=\frac{a_1t_1}{2}t_2$

木板的位移大小 $x_2=a_2t_1t_2+\frac{1}{2}a_4t_2^2$；又 $x=x_2-x_1$；解得 $x=1.68\text{m}$

2．（1） $a_1=2\text{m/s}^2$，方向沿斜面向下，$a_2=2\text{m/s}^2$，方向沿斜面向上；（2）7m/s；（3）48m

【详解】（1）对小物块，

由牛顿第二定律 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta-F_0=ma_1$；解得 $a_1=2\text{m/s}^2$；方向沿斜面向下。

对木板，由牛顿第二定律 $\mu mg\cos\theta-Mg\sin\theta=Ma_2$ 解得 $a_2=2\text{m/s}^2$；方向沿斜面向上。

（2）小物块沿斜面向上做匀减速运动，木板沿斜面向上做匀加速运动，

设经过 t_1 二者达到共速 v_1，由运动学公式 $v_1=v_0-a_1t_1=a_2t_1$；解得 $t_1=1\text{s}$；v_1=2m/s 方向沿斜面向上。

假设共速后二者一起运动，对整体由牛顿第二定律 $(M+m)g\sin\theta-\frac{3}{4}F_0=(M+m)a$；解得 $a=2\text{m/s}^2$

对木板，由牛顿第二定律 $Mg\sin\theta-f=Ma$；解得 $f=2\text{N}<\mu mg\cos\theta$

故二者一起向上匀减速。二者一起向上匀减速至速度为零，再向下加速，回到刚共速的位置时，速度为 2m/s，但方向沿斜面向下。

二者第一次共速前，木板的位移 $x_2=\frac{v_1}{2}t_1=1\text{m}$

在二者从刚共速的位置至与挡板发生碰撞的过程中，设碰撞时木板的速度为 v_2，

由运动学公式 $v_2^2-v_1^2=2a(s+x_2)$；解得 $v_2=7\text{m/s}$

（3）二者第一次共速前，小物块的位移 $x_1=\frac{v_0+v_1}{2}t_1=3\text{m}$；木板的位移 $x_2=\frac{v_1}{2}t_1=1\text{m}$

小物块相对于木板，沿斜面向上滑行了 $\Delta x_1=x_1-x_2=2\text{m}$

木板与挡板第一次碰撞后，木板向上运动，小物块依然向下，对小物块，

由牛顿第二定律$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_3$； 解得$a_3=2\text{m/s}^2$；方向沿斜面向下。

对木板，由牛顿第二定律$Mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=Ma_4$；解得$a_4=14\text{m/s}^2$方向沿斜面向下。

此后，小物块一直沿斜面向下做匀加速直线运动，木板先沿斜面向上做匀减速运动再反向匀加速，与小物块共速前会再次与挡板发生碰撞，设木板与挡板两次碰撞间隔时间为t_2，$t_2=\dfrac{2v_2}{a_4}=1\text{s}$

以沿斜面向下为正方向，两次碰撞之间得小物块的位移$x_3=v_2t_2+\dfrac{a_3}{2}t_2^{\,2}=8\text{m}$

木板的位移$x_4=-v_2t_2+\dfrac{a_4}{2}t_2^{\,2}=0\text{m}$

小物块相对于木板，沿斜面向下滑行了$\Delta x_2=x_3-x_4=8\text{m}$

又共速前小物块相对于木板，沿斜面向上滑行了$\Delta x_1=2\text{m}$，则当木板与挡板第二次碰撞时，小物块离木板下端的距离$d=l+\Delta x_1-\Delta x_2=48\text{m}$

题型三:多次碰撞

【典型例题】 ：1. （1）2.5m/s^2，12.5m/s^2；（2）19.25s；（3）$\dfrac{138375}{442}\text{m}$

【详解】（1）刚开始运动时物块和木板的加速度的大小分别为a_1和a_2，

对物块分析有$\mu_2mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma_1$；解得$a_1=2.5\text{m/s}^2$

对木板有$5mg\sin\theta+\mu_1\cdot6mg\cos\theta+\mu_2mg\cos\theta=5ma_2$；解得$a_2=12.5\text{m/s}^2$

（2）当木板速度减小到零时，经过的时间为$t_1=\dfrac{v_0}{a_2}=3\text{s}$

此时物块的速度大小为$v_{块1}$=37.5−2.5×3m/s=30m/s

该段时间内木板的位移沿斜面向上为$x_{板1}=\dfrac{v_0}{2}t_1=56.25\text{m}$

过后木板开始向下运动，此时有$5mg\sin\theta+\mu_2mg\cos\theta-\mu_1\cdot6mg\cos\theta=5ma_3$；解得$a_3=0.5\text{m/s}^2$

若木板一直加速到与挡板碰撞，有$x_{板2}=\dfrac{1}{2}a_3t_2^{\,2}$；解得$t_2=15\text{s}$

此时木板和物块的速度分别为$v_{板}$=a_3t_2=7.5m/s，$v_{块2}$=30−2.5×15m/s=−7.5

所以假设不成立；设共速时间为t_3，有$a_3t_3=v_{块1}-a_1t_3$ ；解得$t_3=10\text{s}$

木板和物块的共同速度为$v_{共}=a_3t_3=5\text{m/s}$

该段时间内木板的位移沿斜面向下为$x_{板3}=\dfrac{1}{2}a_3t_3^{\,2}=25\text{m}$

因为有$\mu_1<\mu_2$，所以此后物块与木板不发生相对滑动，共同加速度为$a_4=g\sin\theta-\mu_1g\cos\theta=0$

即物块与木板一起匀速运动，从开始匀速运动到与挡板碰撞的时间为$t_4=\frac{x_{板1}-x_{板3}}{v_{共}}=6.25\text{s}$

所以木板与挡板第一次发生碰撞的时间为$t=t_1+t_3+t_4=19.25\text{s}$

（3）第一次木板与挡板碰撞时木块与木板上端之间的距离为$x_1=\frac{v_0+v_{共}}{2}\cdot(t_1+t_3)+\frac{v_0}{2}t_1-\frac{v_{共}}{2}t_3=307.5\text{m}$

根据题意第一次碰撞后木块以$v_0'=v_{共}=5\text{m/s}$沿斜面向下运动，木板以$v_0'=v_{共}=5\text{m/s}$沿斜面向上运动；分析可得

此时与刚开始运动时仅初速度大小不同，所以对第二次的碰撞过程中有$t_1'=\frac{v_0'}{v_0}t_1=\frac{2}{15}t_1$，$t_3'=\frac{2}{15}t_3$，$v_0''=\frac{2}{15}v_0'$

可得第二次碰后木块与木板上端之间的距离增加量为$x_2=\left(\frac{2}{15}\right)^2x_1=\frac{4}{225}x_1$

所以有最终物块与木板上端之间的总距离为$x_{总}=x_1+\frac{4}{225}x_1+\left(\frac{4}{225}\right)^2x_1+\ldots+\left(\frac{4}{225}\right)^nx_1=\frac{x_1\left[1-\left(\frac{4}{225}\right)^n\right]}{1-\frac{4}{225}}$

因为有$n\to\infty,\left(\frac{4}{225}\right)^n\to0$

所以可得$x_{总}=\frac{x_1}{1-\frac{4}{225}}=\frac{138375}{442}\text{m}$

考点四：竖直面类板块问题

【典型例题】 ：1. （1）$F_1>25\text{N}$；（2）$F_2>16.8\text{N}$；（3）否，见解析

2. （1）2m/s^2；2m/s^2；（2）$\sqrt{29}\text{m/s}$；（3）$\frac{1237}{121}\text{m}$

1. （1）$F_1>25\text{N}$；（2）$F_2>16.8\text{N}$；（3）否，见解析

【详解】（1）滑块与木板间的滑动摩擦力为$f=\mu F_1$

为使木板能向上运动，则$f>Mg$；解得$F_1>25\text{N}$

（2）对木板，由牛顿第二定律有$\mu F_1-Mg=ma_1$；对滑块，由牛顿第二定律有$F_2-\mu F_1-mg=ma_2$

为使滑块与木板能发生相对滑动，则$a_2>a_1$；解得$F_2>16.8\text{N}$

（3）当$F_1=30\text{N}$，$F_2=25\text{N}$，对滑块，由牛顿第二定律有$F_2-\mu F_1-mg=ma_3$；解得$a_3=9\text{m/s}^2$

设滑块上升 h 的时间为 t，则$h=\frac{1}{2}a_3t^2$

对木板，由牛顿第二定律有$\mu F_1-Mg=ma_4$；解得$a_4=2\text{m/s}^2$

设木板在 t 时间上升的高度为 H，则 $H=\frac{1}{2}a_4t^2$；解得 $H=\frac{16}{45}\text{m}$

由于 $h-H=1.6-\frac{16}{45}\text{m}=\frac{56}{45}\text{m}>L=1.2\text{m}$

故滑块上移 $h=1.6\text{m}$ 时，滑块与木板分离，游戏不成功。

2．（1）2m/s^2；2m/s^2；（2）$\sqrt{29}\text{m/s}$；（3）$\frac{1237}{121}\text{m}$

【详解】（1）最初开始运动时，对小环，根据牛顿第二定律 $F_1-2mg-f=2ma_1$；解得 $a_1=-2\text{m/s}^2$

即加速度大小为 2m/s^2，方向竖直向下；

对木棒，根据牛顿第二定律 $f-mg=ma_2$；解得 $a_2=2\text{m/s}^2$

即加速度大小为 2m/s^2，方向竖直向上。

（2）小环初速度 v_0=4m/s，则两物体第一次共速过程 $v_0+a_1t_1=a_2t_1$；解得 $t_1=1\text{s}$

此时拉力 F 恰好变为 $F_2=120\text{N}$，假设之后两物体共同减速到零，

根据牛顿第二定律 $3mg-F_2=3ma_3$；解得 $a_3=2\text{m/s}^2$

则棒受到的摩擦力 $f'=mg-ma_3=40\text{N}$

棒受到的摩擦力小于滑动摩擦力，故假设成立；

棒和小环在 1s 后做类竖直上抛运动，回到 1s 时的位置时，速度均变为竖直向下 $v=a_2t_1=2\text{m/s}$

回到 1s 时的位置时，棒相对于初始位置上升的高度 $h_1=\frac{1}{2}a_2t_1^2=1\text{m}$

之后棒和小环以 $a_3=2\text{m/s}^2$ 加速度向下加速运动，根据 $v_1^2-v^2=2a(H+h_1)$

解得木棒第一次与弹性材料碰撞时的速度的大小 $v_1=\sqrt{29}\text{m/s}$

（3）木棒第一次与弹性地面相碰时，撤去施加在小环上的外力，

此后小环的加速度大小 $a_4=\frac{2mg-f}{2m}=4\text{m/s}^2$

第一次碰地后，木棒的加速度大小为 $a_5=\frac{mg+f}{m}=22\text{m/s}^2$

小环向下做匀加速直线运动，木棒先向上做匀减速直线运动再向下做匀加速直线运动，假设与小环共速前会再次碰地，则两次碰地时间间隔 $\Delta t=\frac{2v_1}{a_5}=\frac{\sqrt{29}}{11}\text{s}$

再次碰地时木棒的速度仍为 $v_1=\sqrt{29}\text{m/s}$，此时环的速度 $v'=v_1+a_4\Delta t>v_1$

故假设成立，即之后过程两物体不会再共速；

若木棒恰好与地面第 4 次碰撞时弹性小环从木棒底端滑落，则从第一次碰撞开始，小环向下加速运动了 $3\Delta t$，相对木棒向下运动距离 $x=3v_1\Delta t+\frac{1}{2}a_4(3\Delta t)^2=\frac{87}{11}\text{m}+\frac{522}{121}\text{m}=\frac{1479}{121}\text{m}$

1s 之前小环相对木棒向上运动距离 $s=\frac{v_0+v}{2}t_1-h_1=2\text{m}$

故小环开始运动时距木棒下端的距离 $l=x-s=\frac{1237}{121}\text{m}$

【变式训练】：1. （1）$a_1=(k-1)g$（2）$\sqrt{\frac{2gH}{k}}$（3）$\frac{k+3}{k+1}H$

2. (1)a_1 = g，a_2 = 2g；(2)$\frac{\sqrt{10gH}}{3}$；(3)$\frac{13}{4}H$

1. （1）$a_1=(k-1)g$（2）$\sqrt{\frac{2gH}{k}}$（3）$\frac{k+3}{k+1}H$

【详解】（1）设棒第一次上升过程中，环的加速度为 a_1，

环受合力 $F=kmg-mg=ma_1$；$a_1=(k-1)g$ 方向竖直向上

（2）由运动学公式 $H=\frac{v_1^2}{2g}$；则棒第一次落地的速度大小为 $v_1=\sqrt{2gH}$

当棒触地反弹时，环将继续下落，棒、环之间存在相对滑动，

设棒弹起后的加速度为 $a_2=\frac{mg+kmg}{m}=(k+1)g$ 方向竖直向下；因此，棒减速上升。

取向下的方向为正方向，环与棒将在空中达到相同速度 v，有：$v=v_1-a_1t=-v_1+a_2t$；得 $v=\frac{v_1}{k}=\frac{\sqrt{2gH}}{k}$

设此时棒上升的高度为 h_1，有 $v^2-v_1^2=-2a_2h_1$

此后，棒和环一起下落，设与地面碰撞前瞬间速度为 v_2，有：$v_2^2-v^2=2gh_1$；得 $v_2=\frac{v_1}{\sqrt{k}}=\sqrt{\frac{2gH}{k}}$

（3）棒第一次弹起的最大高度 $H_1=\frac{v_1^2}{2a_2}$；解得 $H_1=\frac{H}{k+1}$；棒运动的路程 $S=H+2H_1=\frac{k+3}{k+1}H$

2. (1)a_1 = g，a_2 = 2g；(2)$\frac{\sqrt{10gH}}{3}$；(3)$\frac{13}{4}H$

【详解】（1）管第一次落地弹起的瞬间，小球仍然向下运动。设此时球的加速度大小为 a_1，方向向上；管的加速度大小为 a_2，方向向下；由牛顿第二定律得，对球 $f-mg=ma_1$；对管 $f+Mg=Ma_2$；解得 $a_1=g$；$a_2=2g$

（2）设管和球碰地前瞬间它们的速度大小均为 v_1，由运动学公式得 $v_1^2=2gH$

管弹起的瞬间，管的速度反向，球的速度方向依然向下。

设自弹起时经过时间 t_1，管与小球的速度 v_1' 刚好相同，取向下为正方向，

由运动学公式得 $v_1'=v_1-a_1t_1=-v_1+a_2t_1$；解得 $t_1=\frac{2v_1}{3g}$；$v_1'=\frac{v_1}{3}$

设此时管下端距地面的高度为 h_0，管第二次与地面碰撞前瞬间的速度 v_2，

由运动学公式得 $-h_0=-v_1t_1+\frac{1}{2}a_2t_1^2$；根据运动学公式 $v_2^2-v_1'^2=2gh_0$；解得 $v_2=\frac{\sqrt{10gH}}{3}$

（3）根据第（2）问可知 $v_2^2=\frac{5}{9}v_1^2$

由竖直上抛运动 $v_1^2=2a_2h_1$；$v_2^2=2a_2h_2$；……；$v_n^2=2a_2h_n$

根据第（2）问同理可知 $\frac{v_n^2}{v_{n-1}^2}=\frac{5}{9}$；故 $\frac{h_n}{h_{n-1}}=\frac{5}{9}$

总路程 $S=H+2h_1+2h_2+\cdots+2h_n=H+2h_1\left[1+\frac{5}{9}+\left(\frac{5}{9}\right)^2+\cdots+\left(\frac{5}{9}\right)^n\right]$

解得 $S=\frac{13}{4}H$

跟踪练习(八)

1．D

【详解】设 PQ 的水平距离为 L，由运动学公式可知 $\frac{L}{\cos\theta}=\frac{1}{2}g\sin\theta t^2$；可得 $t^2=\frac{4L}{g\sin 2\theta}$

可知 $\theta=45°$ 时，t 有最小值，故当 θ 从由 30° 逐渐增大至 60° 时下滑时间 t 先减小后增大。

故选 D。

2．B

【详解】书放在水平桌面上，若书相对于桌面不滑动，

则最大静摩擦力提供加速度 $f_m=\mu mg=ma_m$；解得 $a_m=\mu g=4\text{m/s}^2$

书相对高铁静止，故若书不动，高铁的最大加速度 4m/s^2。

故选 B。

3．B

【详解】A．$t=1.5\text{s}$ 时，小球加速度方向竖直向上，可知，小球处于超重状态，故 A 错误；

B．$t=3\text{s}$ 时细绳断开，小球速度开始减小，根据 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$

可知，$a-t$ 图像与时间轴所围几何图形的面积表示速度的变化量，可知，3s 时速度最大，由于小球初速度为 0，则面积能够间接表示速度，则小球上升过程中的最大速度为

$$v_{\max}=\frac{(1+2)\times 1}{2}\text{m/s}+\frac{(3-2)\times 2}{2}\text{m/s}=2.5\text{m/s}$$

故 B 正确；

C．3s 时，小球向上的加速度最大值为 2m/s^2，则此时拉力最大，

根据牛顿第二定律有 $F_{\max}-mg=ma$；解得 $F_{\max}=2.4\text{N}$

故 C 错误；

D．$t=3\text{s}$ 时细绳断开，此时小球位于空中 P 点，结合上述可知，此时小球速度方向向上，加速度为重力加速度，小球做竖直上抛运动，可知，P 点不是小球上升的最高点，故 D 错误。

故选 B。

4．B

【详解】AB．物块水平沿中线做匀减速直线运动，则 $\overline{v}=\frac{x}{t}=\frac{v_0+v}{2}$

由题干知 x = 1m，t = 1s，v > 0；代入数据有 $v_0<2\text{m/s}$

故 A 不可能，B 可能；

CD．对物块做受力分析有 $a=-\mu g$，$v^2-v_0^2=2ax$；整理有 $v_0^2-2ax>0$

由于 $v_0<2\text{m/s}$ 可得 $\mu<0.2$

故 CD 不可能。

故选 B。

5．A

【详解】ABC．细绳烧断前，对 A、B、C 整体进行分析，系统静止，处于平衡状态，合力为零，由平衡条件可得

$F_{弹}=(m+2m+2m)g\sin\theta=5mg\sin\theta$；解得弹簧的弹力大小为$F_{弹}=\frac{5}{2}mg$

烧断细线的瞬间，细线的拉力消失，由于弹簧弹力不能突变，弹簧弹力不变，以A、B组成的系统为研究对象，由牛顿第二定律得$F_{弹}-3mg\sin\theta=3ma$；解得$a=\frac{1}{3}g$

故A正确，BC错误；

D．设A、B之间杆的拉力大小为T，以B为研究对象，有$T-2mg\sin\theta=2ma$；解得$T=\frac{5}{3}mg$

故D错误。

故选A。

6．C

【详解】AC．物体刚被放上传送带时的加速度大小为$a=\frac{\mu mg}{m}=\mu g=1\mathrm{m/s^2}$

物体在传送带上的加速时间为$t_1=\frac{v}{a}=1\mathrm{s}$

选项A错误，C正确；

B．物体加速的位移$x_1=\frac{1}{2}at_1^2=0.5\mathrm{m}$；匀速的时间$t_2=\frac{L-x_1}{v}=1.5\mathrm{s}$

物体从A处到B处的时间为$t=t_1+t_2=2.5\mathrm{s}$

选项B错误；

D．若传送带的速度足够大，物体从A处到B可知一直加速，则根据$L=\frac{1}{2}at_{\min}^2$

可得最短时间为$t_{\min}=\sqrt{\frac{2L}{a}}=\sqrt{\frac{2\times2}{1}}\mathrm{s}=2\mathrm{s}$

选项D错误。

故选C。

7．A

【详解】设圆柱体的质量为m，圆柱体与薄板间的动摩擦因数、圆柱体与桌面间的动摩擦因数均为μ，则在抽薄板的过程中，圆柱体在薄板摩擦力的作用下做加速运动，离开模板后在桌面摩擦力的作用下做减速运动，根据牛顿第二定律有$\mu mg=ma$

可得，加速运动与减速运动时的加速度都为$a=\mu g$

由于圆柱体A先离开薄板，B、C同时后离开薄板，则根据$v=at$可知，A离开薄板时的速度小于B、C离开薄板时的速度，同时A加速的位移小于B、C加速的位移。离开薄板后，根据$v^2=2ax$可知，B、C在桌面上滑动的距离相等，且大于A在桌面上滑动的距离。

故选A。

8．AC

【详解】设四幅图中斜面的倾斜角度均设为θ。

A．先对物体AB整体分析，受重力、支持力，加速下滑，

根据牛顿第二定律，有（m_A+m_B）gsinθ=（m_A+m_B）a；解得a=gsinθ

再隔离物体A，受重力、支持力，拉力T（可能为零），

根据牛顿第二定律，有：$m_A g\sin\theta + T = m_A a$；解得：$T=0$

故 A 正确；

B．先对物体 AB 整体分析，受重力、支持力，加速下滑，

根据牛顿第二定律，有：$(m_A+m_B)g\sin\theta = (m_A+m_B)a$；解得 $a=g\sin\theta$

再隔离物体 A，受重力、斜面支持力，A 对 B 的支持力 N（可能为零），

根据牛顿第二定律，有：$m_A g\sin\theta + N = m_A a$；解得 $N=0$

故 B 错误；

C．先对物体 AB 整体分析，受重力、支持力，加速下滑，

根据牛顿第二定律，有 $(m_A+m_B)g\sin\theta = (m_A+m_B)a$；解得 $a=g\sin\theta$；方向沿着斜面向下；

再分析物体 A，加速度沿着斜面向下，故合力沿着斜面向下，受重力、支持力，向左的静摩擦力，有摩擦力一定有弹力，故 B 对 A 一定有向上的支持力，故 C 正确；

D．先对物体 AB 整体分析，受重力、支持力，加速下滑，

根据牛顿第二定律，有：$(m_A+m_B)g\sin\theta = (m_A+m_B)a$；解得 $a=g\sin\theta$

再隔离物体 A，受重力、B 对 A 的支持力，摩擦力 f（可能为零），

根据牛顿第二定律，有：$m_A g\sin\theta + f = m_A a$；解得 $f=0$

故 D 错误。

故选 AC。

9．BC

【详解】根据牛顿第二定律有 $F-\mu mg=ma$；整理后有 $F=ma+\mu mg$

则可知 F—a 图像的斜率为 m，纵截距为 μmg，则由题图可看出 $m_{甲}>m_{乙}$，$\mu_{甲}m_{甲}g=\mu_{乙}m_{乙}g$

则 $\mu_{甲}<\mu_{乙}$

故选 BC。

10．AD

【详解】设两物块的质量均为 m，撤去拉力前，两滑块均做匀速直线运动，则拉力大小为 $F=2\mu mg$

撤去拉力前对 Q 受力分析可知，弹簧的弹力为 $T_0=\mu mg$

AB．从此刻开始到弹簧第一次恢复原长之前的过程中，以向右为正方向，撤去拉力瞬间弹簧弹力不变为 μmg，两滑块与地面间仍然保持相对滑动，此时滑块 P 的加速度为 $-T_0-\mu mg=ma_{P1}$

解得 $a_{P1}=-2\mu g$

此刻滑块 Q 所受的外力不变，加速度仍为零，过后滑块 P 做减速运动，故 PQ 间距离减小，弹簧的伸长量变小，弹簧弹力变小。根据牛顿第二定律可知 P 减速的加速度减小，滑块 Q 的合外力增大，合力向左，做加速度增大的减速运动。

故 P 加速度大小的最大值是刚撤去拉力瞬间的加速度为 $2\mu g$。

Q 加速度大小最大值为弹簧恢复原长时 $-\mu mg=ma_{Qm}$；解得 $a_{Qm}=-\mu g$

故滑块 Q 加速度大小最大值为 μg，A 正确，B 错误；

C．滑块 PQ 水平向右运动，PQ 间的距离在减小，故 P 的位移一定小于 Q 的位移，C 错误；

D．滑块 P 在弹簧恢复到原长时的加速度为$-\mu mg = ma_{P2}$；解得$a_{P2} = -\mu g$

撤去拉力时，PQ 的初速度相等，滑块 P 由开始的加速度大小为$2\mu g$做加速度减小的减速运动，最后弹簧原长时加速度大小为μg；滑块 Q 由开始的加速度为 0 做加速度增大的减速运动，最后弹簧原长时加速度大小也为μg。分析可知 P 的速度大小均不大于同一时刻 Q 的速度大小，D 正确。

故选 AD。

11．（1）$\mu = \frac{\sqrt{3}}{5}$，$\theta = 30°$；（2）1.25m

【详解】（1）由图示图象可知，物体先做初速度为 2m/s 的匀加速直线运动，速度达到传送带速度后（在$t = 0.25s$时刻），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，从图象可知传送带的速度为 4m/s；开始匀加速运动的加速度$a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4-2}{0.25}\text{m/s}^2 = 8\text{m/s}^2$

根据牛顿第二定律得$mg\sin\theta + \mu mg\cos\theta = ma_1$

速度相等后，加速度$a_2 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6-4}{1}\text{m/s}^2 = 2\text{m/s}^2$

根据牛顿第二定律得$mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta = ma_2$

联立两式解得$\mu = \frac{\sqrt{3}}{5}$，$\theta = 30°$

（2）0~0.25s 时间，小物块的位移为$x' = \frac{2+4}{2} \times 0.25\text{m} = 0.75\text{m}$

传送带的位移$x_1 = 4 \times 0.25\text{m} = 1\text{m}$

相对位移$\Delta x_1 = x_1 - x' = 1\text{m} - 0.75\text{m} = 0.25\text{m}$

0.25s~1.25s 时间，小物块的位移为$x'' = \frac{6+4}{2} \times 1\text{m} = 5\text{m}$

传动带的位移$x_2 = 4 \times 1\text{m} = 4\text{m}$

相对位移$\Delta x_2 = x_2 - x'' = 5\text{m} - 4\text{m} = 1\text{m}$

小物块从 A 到 B 的过程中，相对传送带滑行的路程$s = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 1.25\text{m}$

12．（1）$\mu_1 = 0.1$，$\mu_2 = 0.4$；（2）6m；（3）6.5m

【详解】（1）根据图像可以判定碰撞前木块与木板共同速度为$v = 4\text{m/s}$

碰撞后木板速度水平向左，大小也是$v = 4\text{m/s}$

木块受到滑动摩擦力而向右做匀减速，根据牛顿第二定律$\mu_2 g = \frac{4-0}{1}\text{m/s}^2 = 4\text{m/s}^2$；解得$\mu_2 = 0.4$

木板与墙壁碰撞前，匀减速运动时间 t=1s，位移$x = 4.5\text{m}$，末速度$v = 4\text{m/s}$，其逆运动则为匀加速直线运动可得$x = vt + \frac{1}{2}at^2$；解得$a = 1\text{m/s}^2$

木块和木板整体受力分析，滑动摩擦力提供合外力，即$\mu_1 g = a$；可得$\mu_1 = 0.1$

（2）碰撞后，木板向左匀减速，依据牛顿第二定律有$\mu_1(M+m)g + \mu_2 mg = Ma_1$；可得$a_1 = \frac{4}{3}\mathrm{m/s^2}$

对滑块，则有加速度$a_2 = 4\mathrm{m/s^2}$

滑块速度先减小到0，此时碰后时间为$t_1 = 1\mathrm{s}$

此时，木板向左的位移为$x_1 = vt_1 - \frac{1}{2}a_1 t_1^2 = \frac{10}{3}\mathrm{m}$；末速度$v_1 = \frac{8}{3}\mathrm{m/s}$

滑块向右位移$x_2 = \frac{v+0}{2}t_1 = 2\mathrm{m}$

此后，木块开始向左加速，加速度仍为$a_2 = 4\mathrm{m/s^2}$；木块继续减速，加速度仍为$a_1 = \frac{4}{3}\mathrm{m/s^2}$

假设又经历t_2二者速度相等，则有$a_2 t_2 = v_1 - a_1 t_2$；解得$t_2 = 0.5\mathrm{s}$

此过程，木板位移$x_3 = v_1 t_2 - \frac{1}{2}a_1 t_2^2 = \frac{7}{6}\mathrm{m}$；；末速度$v_3 = v_1 - a_1 t_2 = 2\mathrm{m/s}$

滑块位移$x_4 = \frac{1}{2}a_2 t_2^2 = \frac{1}{2}\mathrm{m}$

此后木块和木板一起匀减速，二者的相对位移最大为$\Delta x = x_1 + x_3 + x_2 - x_4 = 6\mathrm{m}$

滑块始终没有离开木板，所以木板最小的长度为6m

（3）最后阶段滑块和木板一起匀减速直到停止，整体加速度$a = \mu_1 g = 1\mathrm{m/s^2}$；位移$x_5 = \frac{v_3^2}{2a} = 2\mathrm{m}$

所以木板右端离墙壁最远的距离为$x_1 + x_3 + x_5 = 6.5\mathrm{m}$


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