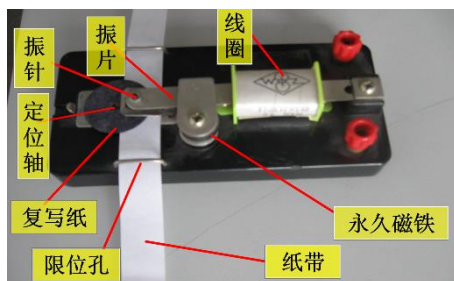


研究运动规律的实验方法归纳

(1) 打点计时器 (不关心打点的原理, 注意数据处理的基本方法)

计时器工作原理简介: 这里介绍的是电磁打点计时器和电火花打点计时器。**电磁打点计时器:**

当给电磁打点计时器的线圈通的是 4-6V 的交流电。线圈产生磁场, 线圈中的振片被磁化, 振片在永久磁铁磁场的作用下向上

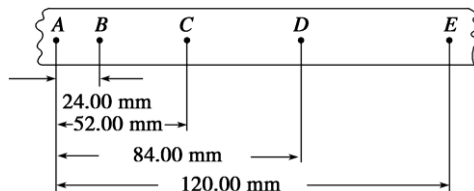


或向下运动, 每两个点间的时间间隔等于交流电的周期: $T=0.02\text{s}$ 。**电火花打点计时器:** 电火花打点计时器是利用火花放电使墨粉在纸带上打出墨点而显出点迹的一种计时仪器。给电火花打点计时器接 220V 交流电源, 按下脉冲输出开关, 计时器发出的脉冲电流, 接正极的放电针和墨粉纸盘到接负极的纸盘轴, 产生火花放电, 即“**尖端放电**”。于是在纸带上打出一系列的点, 而且在交流电的每个周期放电一次, 因此电火花打点计时器打出点间的时间间隔等于交流电的周期。即 $T=0.02\text{s}$ 。相比较而言, 电火花打点比电磁式打点少了个打点针压纸带带来的阻力, 理论上说误差会小一些。

纸带上数据点信息处理的要点简介: 两种打点计时器打出的纸带的数据处理方法是完全相同的。如图, 打点顺序从 A 到 E。因为点过于靠近, 图中显示的是每隔 5 个自然间隔点取的计时点, 即 A 到 B、B 到 C...均为 0.1s。需要处理的基本信息有以下四个: ①中部点的瞬时速度大小。

如 $v_C = \frac{BD}{2T} = \frac{(84-24) \times 0.001}{0.2} \text{ m/s} = 0.3 \text{ m/s}$ 。或

$v_C = \frac{AE}{4T} = \frac{120 \times 0.001}{0.4} \text{ m/s} = 0.3 \text{ m/s}$ 。注: 实际测量的纸带, 这两种取段会有误差, 我们可以



取平均值或取时间段较大范围的那次数据。②求加速度。理论上可以分段计算出 $a_1 = \frac{BC-AB}{T^2}$, $a_2 = \frac{CD-BC}{T^2}$, $a_3 = \frac{DE-CD}{T^2}$ 。然后取平均值。但有一点是蓝冰特别提示, 由于本实验原理

中, 分母的 T 是等时间间隔, 所以可以证明前述平均值是无效的, 它的错误是消除了 BC、CD 段的数据权重, 等于没有测。可以采取数据段合并的方法: $a = \frac{CE-AC}{(2T)^2} = \frac{(68-52) \times 0.001}{0.2^2} \text{ m/}$

$s^2 = 0.4 \text{ m/s}^2$ 。③计算初、末两个端点的瞬时速度。如 $v_A = v_B - aT = v_C - 2aT = (0.3 - 0.4 \times 0.2) \text{ m/s} = 0.22 \text{ m/s}$ 。如此, 也可以求出 v_E 。④判断 A 点是不是从静止开始的。前面算出 v_A , 就可以判断了。如果没有算出 v_A , 还可以根据 AB:BC 与 1:3 的大小关系, 也可以判断。

注释: 滴水留迹法, 车轮局部潮湿留迹均可仿照处理。

(2) 拍摄照片 这个方法可以有两类, 一个是在曝光的时间内, 物体在照片中是一个长的拖迹。另一个是快门打到 B 挡或足够长时间, 用频闪灯照明。注释数码相机的连拍功能类似于后者。

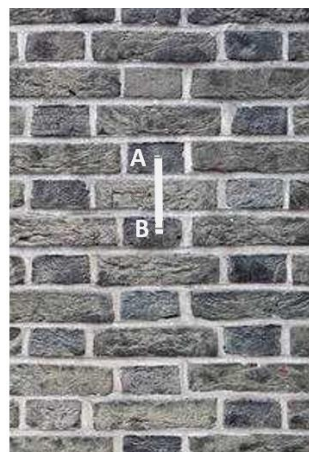
一颗小石子从离地某一高度处由静止自由落下，某摄影爱好者拍摄到石子在空中的照片如图所示。由于石子的运动，它在照片上留下了一条模糊径迹 AB，若每块砖的厚度为 6cm，已知曝光时间为 0.01s，则小石子到 A 点时速度的大小约为（ ）（不计每块砖间的缝隙）

A. 12m/s B. 1.2 m/s C. 6m/s D. 0.6m/s

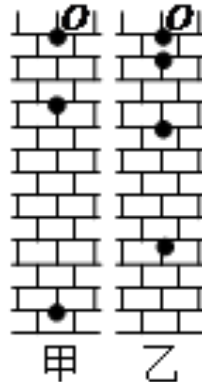
解：由图可知 AB 的长度为 12cm，即 0.12m，曝光时间为 0.01s，所以 AB 段的平均速度的大小为：

$$\bar{v} = \frac{0.12m}{0.01s} = 12m/s.$$

★ 此为平均速度，理论上应该等于 AB 时间段内，中点时刻的瞬时速度，即从 A 点起再往下 0.005s 时的瞬时速度。由于时间极短，它可以约等于从 A 到 B 之间的任意时刻的瞬时速度。更多的习惯是当作开始时刻即 A 点的瞬时速度。故 A 点对应时刻的瞬时速度近似为 12m/s，选 A。



例题 6 将一质量为 m 的小球靠近墙面竖直向上抛出，图甲、图乙分别是上升和下降时的连拍照片的叠图。O 点恰是运动的最高点。假设小球所受阻力大小不变，重力加速度为 g ，则小球向上运动的加速度大小为_____，受到的阻力大小为_____。



设每块砖的厚度是 d ，向上运动上运动时：

$$9d - 3d = aT^2 \text{ ① 向下运动时： } 3d - d = a'T^2 \text{ ② 联立①②得： } \frac{a}{a'} = 3 \text{ ③}$$

$$\text{根据牛顿第二定律，向上运动时： } mg + f = ma \text{ ④}$$

$$\text{向下运动时： } mg - f = ma' \text{ ⑤}$$

$$\text{联立③④⑤得： } a = 1.5g; f = \frac{mg}{2}.$$

同学们还可以用 $h = \frac{1}{2}at^2$ 来处理，涉及到的物理知识方法就更接近知识本源。

注：频闪照片与连拍照片的区别在于：连拍照片是一组独立的几张照片，后期可以叠合到一张图片上。而频闪照片是把快门打在 B 挡，几个位置的图片在一张照片上，典型特征是背景必须是黑色的，否则背景严重超量曝光，会把运动体掩盖了。流行的题目中，有时会出现人工制作的频闪照片，把背景弄成实物背景，您心中有数即可。前述两种摄影的共同点是相邻两次曝光的时间间隔相等。

在摄影法研究物体运动的时候，特别需要提醒的是，照片与实景是有个类似于地图比例尺的缩小的比例。（微距或显微摄影除外）。处理起来往往有三个信息来源：①摄影时摆放一把尺子同步摄进去；②知道背景物或运动体实际尺寸，然后按比例计算（必要时量一下照片中这些物体的尺寸）；③告诉缩小的比例，然后量得照片中尺寸。

5. 拍视频

数码影像在电脑里很容易得到各帧影像所对应的时刻，需要处理的就是物体运动的实际尺寸。这一点同照片的处理。

需要特别提醒的是视频摄影可以快放和与慢放。要能对时间、位移、速度和加速度的处理做到方法定型。如：拍摄武打演员从 5 米高的平台跳下的视频时，视其为自由落体运动。用每秒 60 帧的速度拍摄好后，正常放映的时间是_____s。若以每秒 30 帧的速度播放，且播

放的影像大小刚好与实际高度相等(后续讨论依此)。它的落下动作变_____；相同位置的观感速度为正常的_____倍；加速度观感值是正常的_____倍。

注：本问题的基本出发点是非正常放映时，演员仍然是匀加速直线运动。理由是相邻帧的间隔时间仍然相等，而对应的位置并不变。解题时尤其是加速度的计算方法有多种角度，一不小心就会出现差错或不同解法的矛盾。但可以定型如下：在某位置时的瞬时速度为从开始到该位置的平均速度的 2 倍，现在观感高度不变，时间加倍，得现在的平均速度时原来的一半，所以瞬时速度是正常时的一半。从开始到某位置，又有 $h = \frac{1}{2}at^2$ 得 a 减到原来正常时的 $\frac{1}{4}$ 倍。综上，答案是：1, 慢, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ 。为防止定型不够，建议用其它方法再加以验证。

多想一点：若以每秒 30 帧倒放，则演员做_____直线运动，加速度大小是_____ m/s^2 。匀减速；2.5。

6. 位移传感器

中学常用的是两种原理，一是分离式的，如图。测量结果 $x = v_{\text{声}} \cdot (t_2 - t_1)$ 。另一个是单体式的，如图。第一次反射时， $x_1 = v_{\text{声}} \cdot \frac{t_1}{2}$ ，第二次反射时， $x_{21} = v_{\text{声}} \cdot \frac{t_2}{2}$ ，设两次发射开始时刻差是 Δt ，则两次反射点的时间间隔是 $\Delta t - \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2}$ 。

即车子在 $\Delta t - \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2}$ 时间内走了 $(v_{\text{声}} \cdot \frac{t_2}{2} - v_{\text{声}} \cdot \frac{t_1}{2})$ 的距离。

这两种原理的共同性就是声波信号转为电信号再换算成距离信号。区别在于是单体还是分体，需不需要红外线信号来辅助。

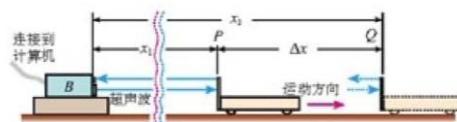


图 1.4-9 另一种运动传感器的工作原理

多想一点：①对行驶的汽车测速应该用哪种原理；②神舟八号与天宫一号对接时在 400m 停留和 30m 停留，以便从容准确调节飞船姿势；这个距离为什么没有采取上述任何一个原理；③为什么不采取第二个原理，只是将超声波换成红外线即可。

依据第一个原理，可以结合适当专用软件，即可在描出 (t, x) 系列坐标点，然后通过电脑里的“数据点连线”得到 $x-t$ 图像，再选择区域获取对应时间内的平均速度值。或者通过另一个软件得到 $v-t$ 图像，再选择区域获取对应时间内的平均加速度值。



7. 光电门传感器。

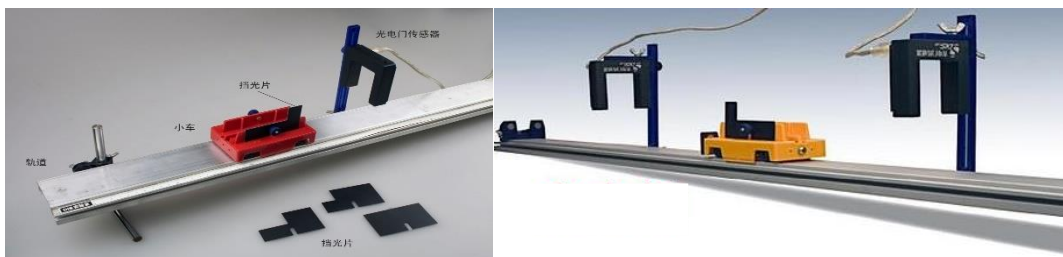
光电门的原理和测量功能要义如下 4 点：①测量的是时间。它通过接口插接到电脑后，就可以获得电源而从发射孔发射红外线，接收孔接收红外线。当它的红外线被遮挡时，开始计时，下一个无遮挡时结束计时。所以从本质上讲，它就是一个通知电脑何时开始计时何时结束计时的光触发器。②在通用软件上，它既可以记录某挡光片单次挡光的时间，也可以记录挡光片先后经过两个光电门的时间间隔。当然可以设定是开始挡光的时间间隔或其它。③依据②所述原理，可以通过另用刻度尺测量挡光片的宽度 d ，结合光电门测得的挡光时间 t ，

即可获得挡光片挡光过程的速度 $v = \frac{d}{t}$ ，还可以用两个挡光片，获取两个速度，再结合挡光片先后在两个光电门开始挡光的时间差 Δt 或两个挡光片间距离 x ，进而算出加速度， $a = \frac{\frac{d}{t_2} - \frac{d}{t_1}}{\Delta t}$ ；或 $a = \frac{(\frac{d}{t_2})^2 - (\frac{d}{t_1})^2}{2x}$ 。④光电门测得的速度 $v = \frac{d}{t}$ ，实际上是位移 d 或时间 t 内的平均速度。

理论上它能表示中点时刻的瞬时速度，而不是开始挡光时刻的瞬时速度。这里就会给相关计算带来误差。为了减小测量误差，应选择宽度比较窄的挡光片。这也符合瞬时速度的定义：

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}。$$

重要说明：在上海等一些地区的教材中，把位移传感器得到的 $x-t$ 图像中，通过选择区域得



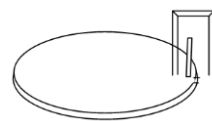
到的是平均速度，而光电门是我们更乐意用来近似得到瞬时速度的方法。这是何故？只要回顾和比较一下选择区域的时间间隔和光电门的挡光时间间隔，就会豁然明白了。

现在我们简单地思考一下，光电门应用过程中的经典误差讨论。（想深入思考的同学可私询我专题微讲座）

如左图，若每次将小车从同一个起点释放，以使挡光片前端开始挡光时的速度等大，并记为 v ，而测量结果又以 $\frac{d}{t}$ 来约等于 v ，则匀加速运动时， $\frac{d}{t}$ _____ v ；匀减速运动时，

$\frac{d}{t}$ _____ v 。其它条件不变，仅考虑挡光片自身的宽度，它适当地 _____ 一些，会使误差小一些。若保持斜面倾角不变，使小车从不同位置无初速释放，则距离越远，各自测量结果与各自开始挡光时的速度相差越 _____。再

如右图，用 $a = \frac{\frac{d}{t_2} - \frac{d}{t_1}}{\Delta t}$ 测量加速度，则匀加速时， a 偏 _____；若使小



车无初速释放，并记录从释放点到挡光片前端开始挡光位置的距离 x ， $a = \frac{(\frac{d}{t})^2}{2x}$ 。来计算加速度，则偏 _____。大于、小于、窄、小、小、大。

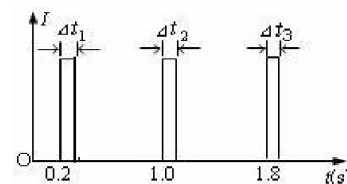
光电门还可以用来观察研究圆周运动。



方法：
用光电
门传感
器测量
转速的

装置示意图如图。若设置挡光片挡光时产生方波。(1)若挡光片宽度为2cm，测得的方波图如图。

$\Delta t = 0.02s$ 。图中坐标时刻为挡光片开始挡光的时刻。则该转盘的转速为 _____ 转/分钟。角速度大小为 _____ rad/s；向心加速度大小为 _____ m/s^2 ；75、 2.5π 、 2.5π 。(2)若使转盘匀加速转动，



则方波的起点时刻的间隔越来越 _____，方波本身的宽度越来越 _____。小，小。

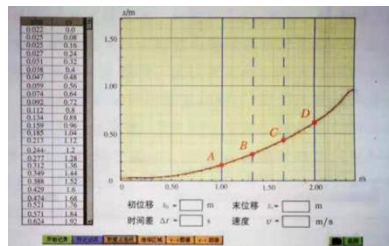
注：研究圆周的方法还有感应脉冲电信号转换，以及磁脉冲信号的转换的转换等。

辅助练习

1.在测位移与速度的界面上可以得到加速度。

某同学在测量加速度的实验中，误用了“用 DIS 测量物

体的位移和速度”的界面。他发现后并没有立即废弃实验数据。如图他选择区域时记录了 AB 段的时间差是 0.3s，速度是 0.573m/s；连续的时间段 BD 段的时间差是 0.7s，速度值 1.109m/s。则可以得到的加速度值是_____m/s²。



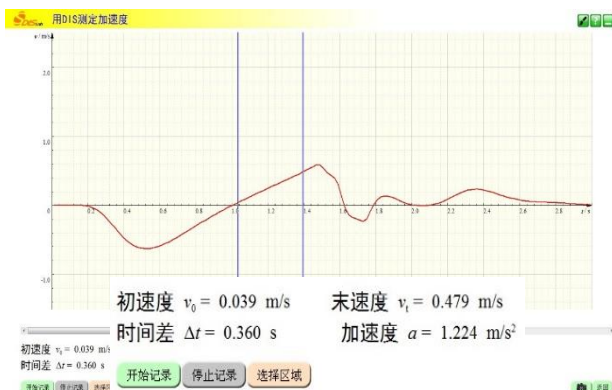
2.用 $g = \frac{v_t^2}{2h}$ 来测量重力加速度时，所测量的 h 比 $\frac{d}{\Delta t}$ 对应位置的真实值偏_____； g 偏_____。

3.用 $g = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2h}$ 来测量重力加速度时，所测量的 h 比 $\frac{d}{\Delta t}$ 对应位置的真实值偏_____； g 偏_____。

4.用 $g = \frac{v_t - v_0}{t}$ 来测量重力加速度时，所测量的 t 比 $\frac{d}{\Delta t}$ 对应的时间差偏_____； g 偏_____。如图，用双光电门组合可以测得小车下滑时的加速度大小。若挡光片的宽度为 d ，按运动顺序经过第一个光电门的时间为 t_1 ，经过第二个光电门的时间为 t_2 ，挡光片前端到达两个光电门

的时间差为 t_{12} ，则小车加速度的计算式可以用 $a = \frac{\frac{d}{t_2} - \frac{d}{t_1}}{t_{12}}$ 来计算会有误差，将分母的 t_{12} 修正可得更精准的表达式为 $a = \frac{\frac{d}{t_2} - \frac{d}{t_1}}{t_{12} - \frac{d}{v_0}}$ 。

5. 位移图象上提取加速度。某实验小组用 DIS 实验系统研究小车在斜面上的运动规律。右图是将小车在斜面底端以一定初速度推出后得出的 $s-t$ 图像，纵坐标的单位是 cm，横坐标的单位是 s。在图 Expp-7 中记录的运动过程中，速度为零的时刻是_____s（读到小数点后 1 位）。从图中可以看出，AB 段的加速度 a_1 与 BC 段的加速度 a_2 的大小关系是： a_1 a_2 （选填“>”、“=”或“<”）。



面_____；下面的图小车沿斜面_____。

(2)所选两段区域加速度大小不一样原因是_____。并说明据此你能计算出的物理量是_____和_____（无须计算，空气阻力不计，重力加速度已知）。

7. 利用如图甲所示的装置可测量滑块在斜面上运动的加速度。一斜面上安装有两个光电门，其中光电门乙固定在斜面上靠近底端处，光电门甲的位置可移动。当一带有遮光片的滑块自斜面上滑下时，与两个光电门都相连的计时器可以显示出遮光片从光电门甲至光电门乙所用的时间 t 。

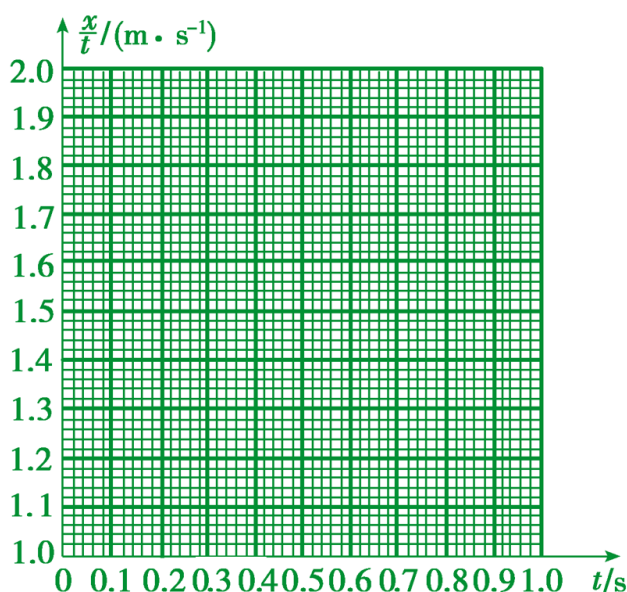
改变光电门甲的位置进行多次测量，每次都使滑块从同一点由静止开始下滑，并用米尺测量甲、乙之间的距离 x ，记下相应的 t 值。所得数据如表所示。完成下列填空和作图：

(1)若滑块所受摩擦力为一常量，滑块加速度的大小 a 、滑块经过光电门乙时的瞬时速度 v 、测量值 x 和 t 四个物理量之间所满足的关系式是_____。

根据所给数据，在图乙给出的坐标纸上

上画出 $\frac{x}{t}-t$ 图线。

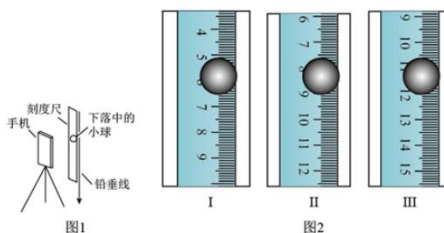
(3)由所画出的 $\frac{x}{t}-t$ 图线，得出滑块加速度的大小为 $a =$ _____ m/s^2 。（保留两位有效数字）。



8. 某同学研究自由落体运动的规律时，将小球在固定的刻度尺旁由静止释放，用手机拍摄小球自由下落的视频，然后用相应的软件处理得到分帧图片，利用图片中小球的位置就可以得出速度、加速度等信息，实验装置如图 1 所示。

如图 2 所示为小球下落过程中三幅连续相邻的分帧图片 I、II、III，相邻两帧之间的时间间隔为 0.02s，刻度尺为毫米刻度尺。

(1) 图片 II 中小球下落速度约为_____ m/s （计算结果保留两位小数）



(2) 关于实验装置和操作, 以下说法正确的是_____ (多选)

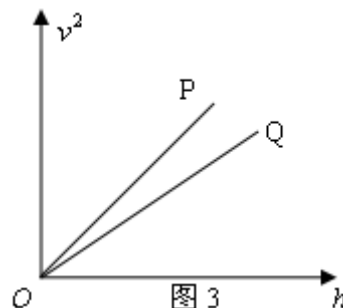
- A. 刻度尺应固定在竖直平面内
- B. 铅垂线的作用是检验小球是否沿竖直方向下落
- C. 手机应正对刻度尺固定
- D. 手机距离刻度尺越近越好

(3) 为了得到更精确的加速度值, 该同学利用多帧图片测算

其对应的速度 v 和下落的高度 h , 绘制了 $v^2 - h$ 图象, 如图 3

所示。其中 P、Q 分别为两个大小相同, 质量不同的小球下落的图象, 由图象可知_____ (多选)

- A. 图象的斜率表示小球下落的加速度
- B. 小球 P 的质量大于小球 Q 的质量
- C. 小球 P 的质量小于小球 Q 的质量
- D. 小球 P 的数据算出的加速度更接近当地重力加速度

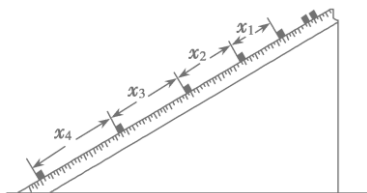


9. 现用频闪照相方法来研究物块的变速运动。在一小物块沿斜面向下运动的过程中, 用频闪相机拍摄的不同时刻物块的位置如图所示。拍摄时频闪频率是 10 Hz; 通过斜面上固定的刻度尺读取的 5 个连续影像间的距离依次为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 。已知斜面顶端的高度 h 和

斜面的长度 s 。数据如下表所示。重力加速度大小 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ 。

根据表中数据, 完成下列填空: (1) 物块的加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ 。(保留三位有效数字)(2)

因为_____, 可知斜面是粗糙的。



单位: cm

x_1	x_2	x_3	x_4	h	s
10.76	15.05	19.34	23.65	48.00	80.00

10. 小钢球从某位置由静止释放, 用频闪照相机在同一底片上多次曝光, 得到的照片如图所示。已知连续两次曝光的时间间隔 t , 为求出小钢球经过 B 点的速率, 需测量 ()

- A. 照片中 A、C 的距离
- B. 照片中球的直径及 A、C 的距离
- C. 小钢球的实际直径、照片中 A、C 的距离
- D. 小钢球的实际直径、照片中球的直径、照片中 A、C 的距离

