**第三讲 圆周运动**

匀速圆周运动是指物体运动的轨迹是圆周，且运动快慢不变的运动，这是一种曲线运动。

**一、描述匀速圆周运动的几个物理量**

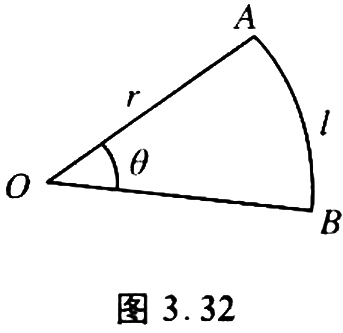
**1．周期**

做匀速圆周运动的物体，每完成一次完整的圆周运动所需要的时间都相同，这个时间叫做一个周期，用符号表示，国际单位为秒。例如，时钟的秒针周期为，分针周期为，地球自转的周期为等。匀速圆周运动的周期越小，转动越快。

**2．频率**

单位时间内物体完成的圆周数，叫做匀速圆周运动的频率，用符号表示，国际单位为赫兹，频率越大，转动越快，频率与周期互为倒数，即。例如，秒针转动的频率为，每分钟转动300转的电风扇，其转动频率为。

**3．角速度**

做匀速圆周运动的物体，单位时间内物体与圆心的连线（即半径）转过的角度叫做角速度，用表示。若时间内半径转过的角度用表示，则角速度可以表示为。这里应该注意的是，的单位不再是“度”，而是“弧度”，弧度是指某个角所对的圆弧长度与圆弧半径的比值，如图3.32所示，，弧度无单位，但物理学中常用“”来表示弧度的单位。由弧度的定义，角所对应的弧度可以表示为，即，可得，因此我们可以得到其他常用角度的弧度值，例如，，，，，等。当物体运动一周时，转过的角度为，所用时间为一个周期，因此匀速圆周运动的角速度还可以表示为等，根据角速度的定义式，可知角速度的单位为“弧度/秒”，符号为“”。

**4．转速**

转速表示物体单位时间内完成的圆周数，常用单位有“转/秒”和“转/分”，符号分别为“”和“”，。转速取“转/秒”作为单位时，其数值与频率相同。若转速为，则表示每秒转过周，每秒转过的角度为，因此角速度与转速的关系可表示为。

**5．线速度**

线速度是描述做圆周运动的物体沿着圆弧运动的快慢程度，线速度大小等于物体通过的弧长与所用时间的比值，即，匀速圆周运动的线速度大小不变，方向时刻变化。当物体运动一周时，通过的路程为圆的周长，所用时间为一个周期，因此匀速圆周运动的线速度还可以表示为，线速度的单位为“米/秒”。

上述描述匀速圆周运动的5个物理量中，周期、频率、角速度和转速描述的是物体转动的快慢，这4个物理量均与物体转动半径无关，而线速度是描述物体沿着圆弧运动的快慢，与半径密切相关。

**二、线速度与角速度的关系**

在匀速圆周运动中，线速度的公式为，另外根据角速度的公式。，我们还可以得到线速度与角速度的关系：，即线速度大小等于角速度大小与转动半径的乘积，这也是一个重要的关系式。

**例1** 转速是指做匀速转动的物体单位时间内转过的圆周数，转速用表示。转速的单位为“转/分”或“转/秒”，符号分别为“”和“”。已知洗衣机的脱水桶转速为，脱水桶半径为，求脱水桶转动的频率、周期、角速度以及脱水桶边缘上点的线速度的大小。

**分析与解** 比较转速与频率的定义，两者都可以理解为“单位时间内完成的圆周数”，因，可知，周期与频率互为倒数，则可得周期，角速度，结合线速度、角速度、半径三者的关系，可得线速度。

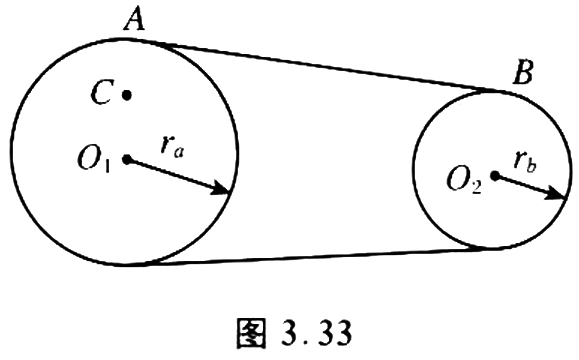
**三、匀速圆周运动的典型问题**

（一）传动问题

所谓传动，即一个轮子转动时，借助皮带或两轮之间的静摩擦力、轮子边缘的齿轮带动另一个轮子转动。根据传动方式的不同，又分为皮带传动、摩擦传动和齿轮传动。关于传动装置，有两个重要结论：

（1）凡是直接用皮带传动（或者链条传动、摩擦传动和齿轮传动）的两个轮子，两轮边缘上各点的线速度大小相等。

（2）凡是在同一个轮轴上（各个轮都绕同一根轴同步转动）的轮子，轮上各点的角速度都相等（轴上的点除外）。

**例2** 如图3.33所示，，两轮靠皮带转动，，分别为两轮边缘上的点，与同在轮上，已知，，在传动时，皮带不打滑，求：（1）\_\_\_\_\_\_\_\_；（2）\_\_\_\_\_\_\_\_。

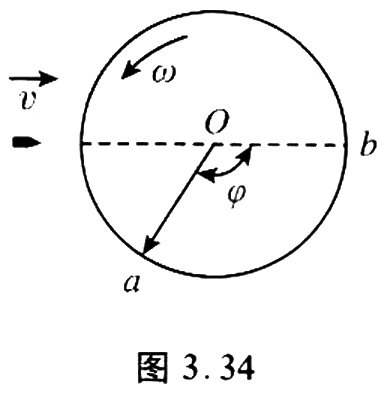
**分析与解** ，两点在同一皮带轮上，它们的角速度相等，即时，由于皮带不打滑，所以，两点的线速度大小相等，即。

（1）根据，知。

（2）根据，知。

（二）多解问题

圆周运动是一种典型的周期运动，前一个周期中发生的事件在后一个周期中同样可能发生，所以有关圆周运动的问题往往会有多解。这就要求我们在表达做匀速圆周运动物体的运动时间时，必须把其周期性考虑进去，下面就从这一角度对圆周运动的多解问题进行探讨。

**例3** 如图3.34所示，直径为的纸筒以角速度绕轴匀速转动，从枪口发射的子弹沿直径穿过圆筒。

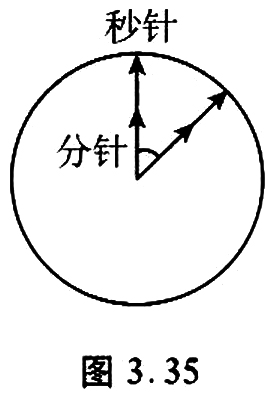
（1）若子弹在圆筒上留下，两个弹孔，已知和夹角为，则子弹的速度大小为多少？

（2）子弹通过圆筒后，有没有可能只留下一个弹孔？若可能，计算出子弹速度的可能值；若不可能，说明理由。

**分析与解** （1）设子弹速度为，子弹穿过圆筒的时间为。在时间内，圆筒转过的角度可能为，也可能为，……因此圆筒转过的角度可表达为，则有，可得。

（2）若子弹将要穿出圆筒时，先前打过的孔刚好转到子弹将要穿出的位置，则子弹只在圆筒上留下一个孔。此时，圆筒转过的角度，经历时间，因此子弹速度满足。

**例4** 已知某钟表的秒针和分针在某位置恰好重合，问：再经过多长时间，秒针与分针仍然重合？

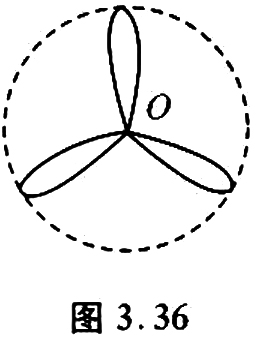
**分析与解** 秒针转动周期为，分针转动周期为，对应的角速度分别为，。如图3.35所示，秒针和分针每重合一次，秒针都比分针多转，即多转。当第次重合时，秒针多转了角度，设经过时间，秒针和分针又一次重合，则秒针和分针转过角度满足，即，代人两者的角速度值，可得



（三）视觉暂留与频闪效应

视觉暂留是指光刺激视网膜并在其上逗留的时间比它从我们眼前闪过的实际时间要长一些，日常生活中视觉暂留现象很常见，比如一个亮点以很大的速度做圆周运动时，我们看上去它就形成了一个光环。

日常生活中许多光源使用的都是交流电，例如日光灯、电视机、电脑等，由于电源电压随时间不断变化，使得一些灯工作时带有明显的明暗变化的现象，这种光现象即为频闪。在频闪的光线下注视转动的电风扇，会发生电风扇不转或倒转的视错觉现象，这种现象就是频闪效应造成的错觉。下面请看几个例子。

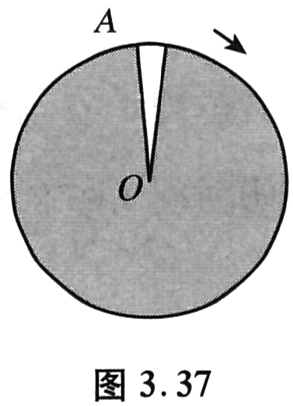
**例5** 如图3.36所示，电风扇在闪光灯下运转，闪光灯每秒闪30次，风扇转轴上装有3个叶片，它们互成。当风扇转动时，观察者感觉扇叶不动，则风扇转速可能是（ ）。

A． B．

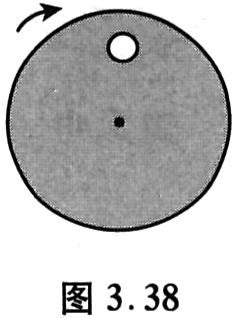
C． D．

**分析与解** 风扇转动时，观察者感觉扇叶不动，说明在每相邻两次闪光的时间间隔内，风扇转过的角度是的整数倍，即圈的整数倍。由于闪光周期，所以风扇的转速，故选项ACD正确。

**例6** 由于眼睛有视觉暂留，因此会造成一些奇特的现象。例如，在如图3.37所示的黑色圆盘中有一白色窄条，圆盘绕垂直于盘面的中心轴以频率顺时针旋转，用频率的频闪光去照射，在盘上能看到\_\_\_\_\_\_\_\_根稳定的白色窄条。

**分析与解** 只有在闪光的瞬间，我们才能看到圆盘上的白色窄条。由于视觉暂留，前几次看到的白色窄条的影像还未在大脑中消失，因此我们会看到圆盘上好像有好几根白色窄条。当某一次闪光时出现的白色窄条与前面某次出现的白色窄条重合时，所看到的白色窄条就不会再增多了。我们只需要求出相邻两次闪光时间间隔内白色窄条转过的角度，即可求出圆盘上能看到的白色窄条的总数。

由转动频率，得圆盘转动的角速度，相邻两次闪光的时间间隔，因此在相邻两次闪光时间间隔内，白色窄条转过的角度为，在圆盘上能看到的稳定的白色窄条的个数为，即第1根出现的白色窄条与第6根出现的白色窄条重合，只能看到5根白色窄条。本题正确答案为5。

**例7** 如图3.38所示，带有一白点的黑色圆盘可绕过其中心、垂直于盘面的轴匀速转动，每秒沿顺时针方向旋转30圈。在暗室中用每秒闪光31次的频闪光源照射圆盘，观察到白点每秒沿（ ）。

A．顺时针旋转31圈 B．逆时针旋转31圈

C．顺时针旋转1圈 D．逆时针旋转1圈

**分析与解** 圆盘转动的角速度，频闪光源的闪光周期，因此在一个闪光周期内，白点转过的角度为，由于人的祝觉暂留效应，人不会觉得白点顺时针转过了，而会错误地认为白点逆时针转过了，因此人观察到的白点逆时针转动的角速度，对应的转速，因此选项D正确。

**练习题**

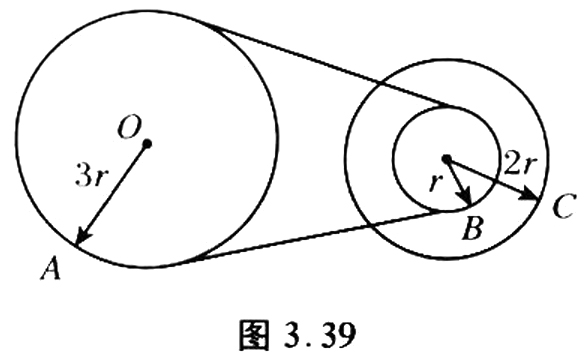
1．时钟上的时针、分针和秒针的角速度关系是（ ）。

A．时针的角速度与分针的角速度之比为1：60

B．时针的角速度与分针的角速度之比为1：12

C．分针的角速度与秒针的角速度之比为1：12

D．分针的角速度与秒针的角速度之比为1：60

2．如图3.39所示为一皮带传动装置，传动时皮带与轮之间不打滑，已知大轮半径、轮轴的轮半径和轮轴的轴半径的关系是，，，分别为大轮、轮轴的轴和轮轴的轮边缘上的点，为大轮圆心，则传动时，，三点的（ ）。

A．角速度之比为1：3：3

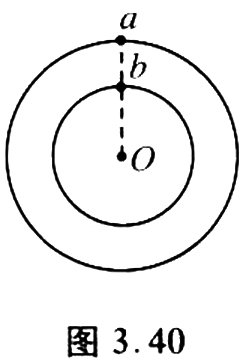
B．角速度之比为3：1：1

C．线速度大小之比为1：2：2.

D．线速度大小之比为1：1：2

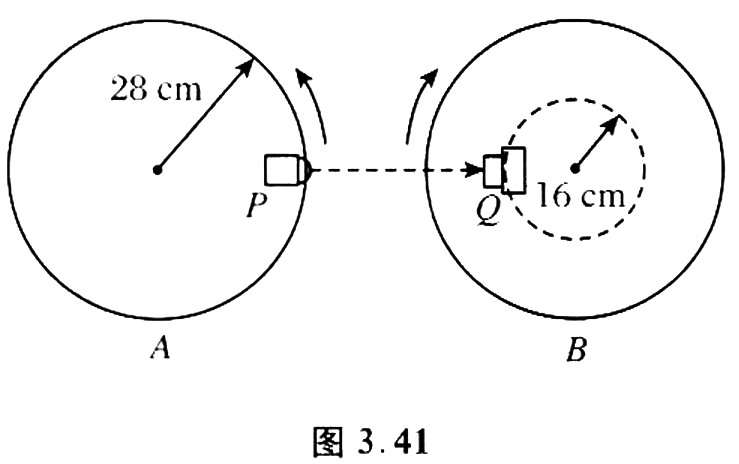
3．（上海第24届大同杯初赛）假期时，小明一家人到赤道附近某景点旅游。在一个晴好的日子里，小明没有跟随爸爸爬山，而是和另外几个朋友一起躺在山下平静的海滩上观看日落。结果，小明爸爸在山上观察到太阳消失的时间要比地面上小明观察到的该现象足足晚了。已知地球半径为，则可以判断小明爸爸所处位置的海拔高度最接近（ ）。

A． B． C． D．

4．如图3.40所示，两质点，在同一平面内绕沿逆时针方向做匀速圆周运动，，的周期分别为和，，和三点第一次到第二次同侧共线经历的时间为（ ）。

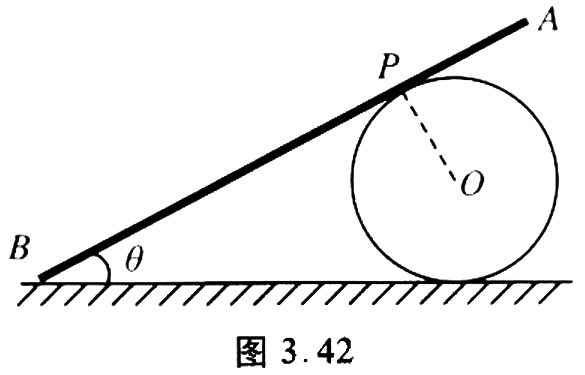
A． B．

C． D．

5．某机器内有两个围绕各自固定轴匀速转动的铝盘和，盘上固定一个信号发射装置，能持续沿半径向外发射红外线，到圆心的距离为。盘上固定一个带窗口的红外线信号接收装置，到圆心的距离为。，转动的线速度均为。当。，正对时，发出的红外线恰好进入的接收窗口，如图3.41所示，则每隔一定时间就能接收到红外线信号，这个时间的最小值为（ ）。

A． B．

C． D．

6．（上海第30届大同杯初赛）如图3.42所示，一圆球固定在水平地面上，球心为。细棒端搁在地面上，棒身靠在球面上并和球心在同一竖直平面内，切点为，细棒与水平面之间的夹角为。若移动棒的端沿水平地面靠近圆球，发现切点恰好围绕点匀速转动，这表明在移动端的过程中（ ）。

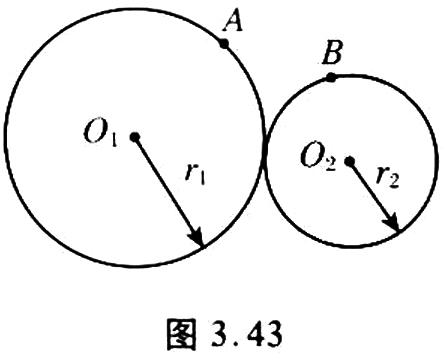
A．的速度大小不变 B．角度均匀增大

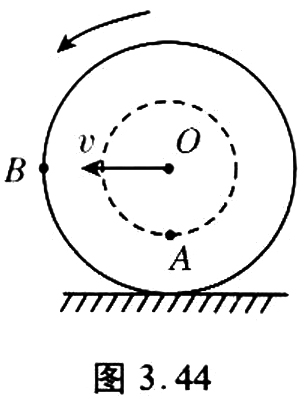
C．长度均匀减小 D．以上说法都不对

7．地球的半径为，在地面上北纬处，物体随同地球自转的线速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_。

8．一飞轮的直径为，若飞轮匀速转动，每分钟转120转，则飞轮边缘上一点的线速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_，飞轮转动的周期为\_\_\_\_\_\_\_\_。

9．一质点沿半径为的圆周做匀速圆周运动，在时间内恰走了半圈，则质点运动的线速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_，角速度为\_\_\_\_\_\_\_\_，转动频率为\_\_\_\_\_\_\_\_。

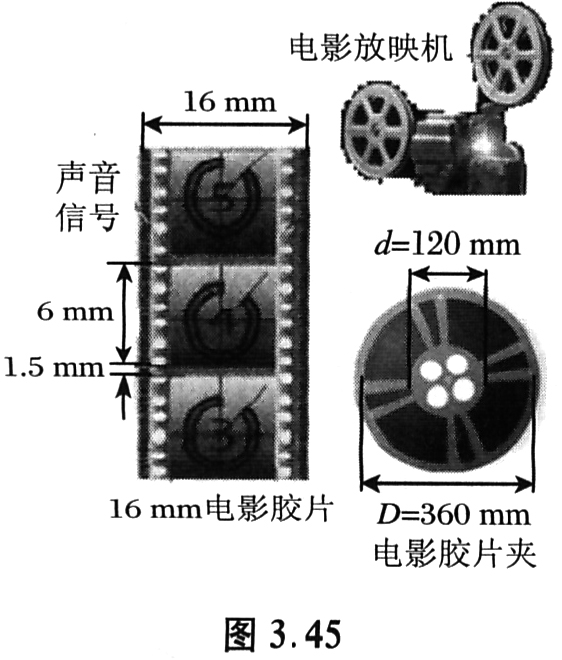
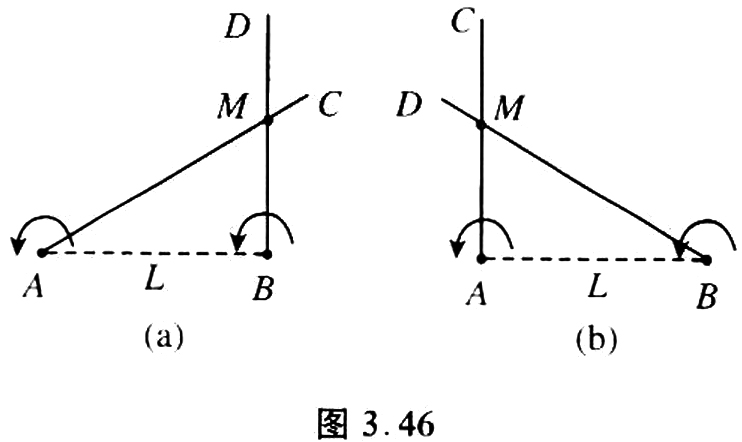
10．如图3.43所示，，两轮通过摩擦传动，传动时两轮间不打滑，两轮的半径之比为，，分别为，两轮边缘上的点，则，两点的线速度大小之比为\_\_\_\_\_\_\_\_，角速度之比为\_\_\_\_\_\_\_\_，周期之比为\_\_\_\_\_\_\_\_，转速之比为\_\_\_\_\_\_\_\_。

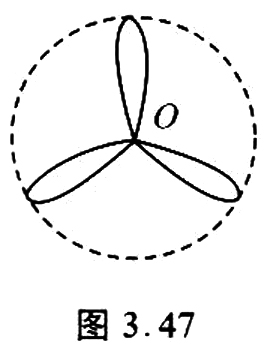
11．如图3.44所示，圆环在水平面上向左匀速滚动，且与水平面间无相对滑动，环心对地速度为，环半径为。某时刻环上在环心正前方的的速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_，环心正下方矩为的点的速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_。

12．（上海第20届大同杯复赛）一台只有时针（短针）和分针（长针）的时钟，从0点整开始计时（算作第一次重合），则一昼夜时针和分针重合\_\_\_\_\_\_\_\_次；从上午9点整开始，分针经\_\_\_\_\_\_\_\_（精确到）与时针第一次相遇。

13．如图3.45所示为运动电影放映机放电影，这种电影放映机使用宽度为的电影胶片，电影中的声音以声音信号的方式刻录在电影胶片上。若此电影胶片的厚度，片夹上密密地绕了一整盘电影胶片，如图3.45所示，图中和分别表示片夹内所转电影胶片的内径和外径，则这盘电影胶片的总长度约是\_\_\_\_\_\_\_\_（保留1位小数）；若按每秒24幅画面正常放映，且不计胶片头与片尾的长度，这盘电影胶片大约能连续正常放映的时间为\_\_\_\_\_\_\_\_（保留1位小数）。

14．（上海第25届大同杯复赛）在同一平面上的，两杆，分别绕相距为的，两轴逆时针转动，转动快慢相同，初始时刻如图3.46（a）所示，且，，经过一段时间，两杆运动到如图3.46（b）所示位置，且，，则此过程中交点的运动轨迹为\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“直线”“圆弧”或“其他曲线”），移动的路程为\_\_\_\_\_\_\_\_，移动的速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_。

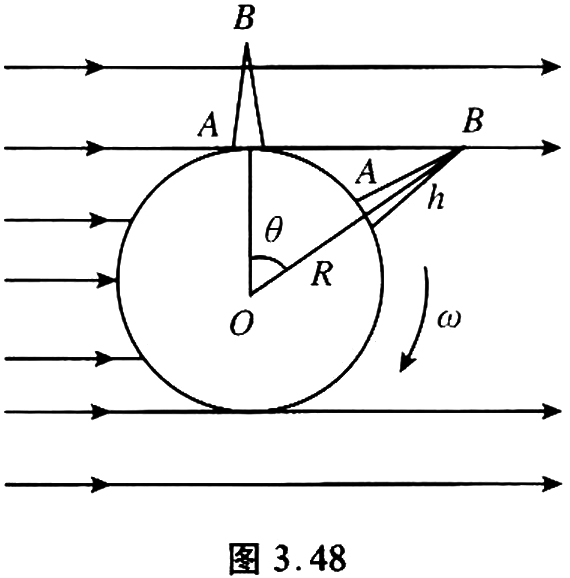
15．如图3.47所示，电风扇在闪光灯下运转，闪光灯每秒闪30次，风扇转轴上装有3个叶片，它们互成。当风扇转动时，观察者可以观察到6个稳定的叶片，则风扇的角速度可能为多少？

**参考答案**

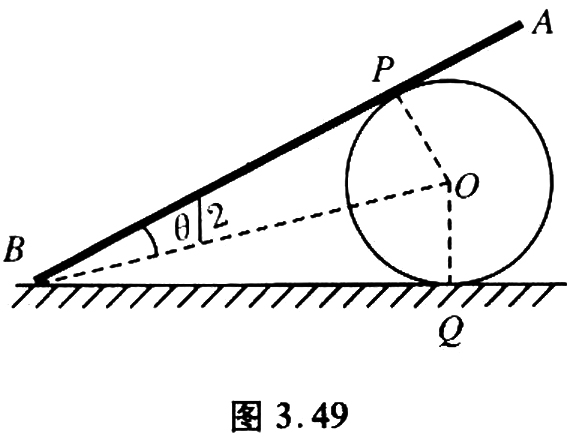
1．BD。秒针的转动周期为，分针的转动周期为，时针的转动周期为，由角速度公式等，可知秒针、分针、时针的角速度之比等于它们转动周期的倒数之比，即。

2．AD。设点的角速度为，点与点的线速度大小相同，则，点与点的角速度相同，则，点的线速度大小。因此，，三点的角速度之比，线速度之比。

3．B。当小明在山脚下的点看到太阳刚好消失时，太阳光线恰好在点与地面相切，而在点正上方高度的山顶上的爸爸此时仍能看到太阳，如图3.48所示。设后地球顺时针转过角，山顶上的爸爸恰好也观察到太阳消失，则，由地球自转角速度，解得，则，因此最接近的高度为B选项。

4．B。由题可知，转动的角速度分别为，。，和三点从第一次同侧共线到第二次同侧共线过程中，比多转了角度，即，解得，B选项正确。

5．B。，随圆盘转动的周期分别为，，可见，两次接收到红外线信号的时间间隔既是的整数倍，又是的整数倍，因此，最小的时间间隔应为和的最小公倍数，选项B正确。

6．B。如图3.49所示，连接，则，恰好围绕点匀速转动，所以均匀减小，也即角度均匀增大，故B正确。，均匀增大，的长度不是均匀减小的，故C错。同理的长度也不是均匀减小的，所以的速度大小变化，故A错。因此本题正确选项为B。

7．。地球北纬处的物体随地球绕地轴自转的转动半径为，地球转动角速度为等，则北纬处的物体的线速度大小为



8．2.51，0.5。飞轮的角速度，线速度，周期。

9．15.7，1.57，0.25。略。

10．，，，。提示：两轮不打滑时，轮子边缘点的线速度大小相等。

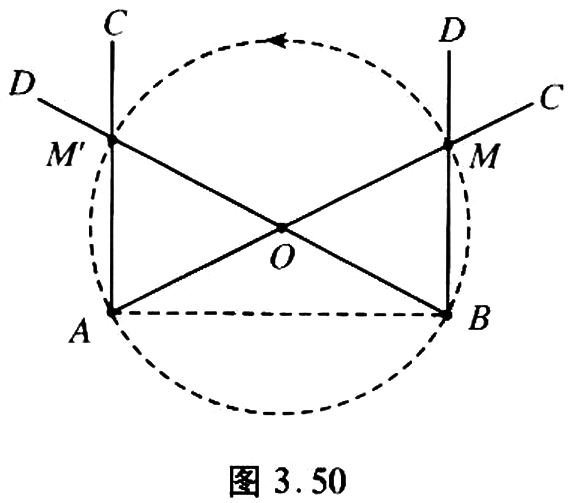
11．，。提示：利用同一物体上各点角速度相等，选与地接触点为转轴。

12．23,2945.5。分针的角速度为，时针的角速度为。从0点整开始计时，当分针与时针经过时间再次重合时，分针比时针多转了弧度，则有时，解得，除去计时开始的0点，24小时内还能重合的次数为，因此共能重合28次。上午9点整到分针递上时针，分针要比时针多转弧度，则，解得。

13．645.9；59.8。电影胶片的侧面积等于其长度与厚度的乘积，即，胶片绕在片夹上时，其侧面积可以表示为，因此解得胶片长度



胶片上每幅画面的长度（包含两幅画面之间的部分）为，按每秒24幅画面正常放映时，胶带的运动速度，因此放映时间。

14．圆弧，，。由于，两杆转动角速度相同，转动方向相同，因此保持不变，由几何知识可得，，三点位于同一个圆上，如图3.50所示，两杆交点的运动轨迹为圆弧。设为圆心，易得。圆的半径，两杆交点运动的弧长恰为圆的三分之一周长，因此交点通过的路程。在此过程中两杆转过的角度均为，因此运动时间，所以的速度大小。

15．当风扇的转速恰当时，前一次风扇的影像在观察者的大脑中由于视觉暂留还未消失，下一次闪光时风扇的叶片刚好出现在前一次某两个叶片的正中间位置，则观察者感觉到叶片有六个。

满足上述条件时，某一叶片在一个闪光周期中转过的角度可以是，，。

因此对应的角速度

，

