机械波

目录

一、波的形成.....2
(一)振动与波的关系.....2
(二)横波 波峰与波谷.....2
(三)纵波 密部与疏部.....2
(四)机械波.....2
二、波的描述.....2
(一)图像.....2
1.正弦波.....2
2.波的图像的应用.....2
(1)波的传播方向判定质点的振动方向的方法.....2
(2)振动图像与波的图像中的图像信息.....3
3.例题.....3
例题 1(2022 年泰安模拟).....3
例题 2(2022 年山东威海统考).....3
(二)波长和波速.....4
(三)周期与频率.....4
(四)波速.....4
(五)机械波的传播规律.....4
例题(2021 年全国甲卷).....4
三、波的反射、折射、叠加与衍射.....4
(一)波的反射.....4
(二)波的折射.....4
(三)波的衍射.....4
(四)波的叠加.....5
例题(清华大学夏令营试题 2009 年上海交通大学自主招生).....5
(五)波的干涉.....5
1.振动加强点、减弱点的判断方法.....5
(1)公式法.....5
(2)波形图法.....5
2.例题(2021 年浙江卷).....5
例题 1.....5
例题 2.....6
3.例题(课本 78 页题目).....6
四、多普勒效应.....6
(一)实际情景及应用.....6
1.实际情景:课本 80 页思考与讨论.....6
例题(2006 年上海交通大学冬令营).....7
2.应用.....7
(1)测量物体速度.....7
(2)彩超.....7
(二)公式推导.....7
1.波源不动,观察者相对于介质运动.....7
2.观察者不动,波源相对于介质运动.....7
3.观察者与波源同时相对介质运动.....8
五、多解问题.....8

(一)波动问题多解的主要因素.....8
1.周期性.....8
(1)时间周期性.....8
(2)空间周期性.....8
2.双向性.....8
(1)传播方向双向性.....8
(2)振动方向双向性.....8
(二)解决波的多解问题的思路.....8
(三)例题.....8
例题 1(2021 年山东卷).....8
例题 2.....8
例题 3.....9
例题 4.....9
六、平面简谐波的波函数.....10
(一)推导.....10
(二)例题(2012 年华约自主招生).....10
七、红移与蓝移.....11

一、波的形成

振动的传播称为波动,简称波.波借以传播的物质叫作介质.组成介质的质点之间有相互作用,一个质点的振动会引起相邻质点的振动.介质不随波一起传播,传播的只是振动这种运动形式.介质中本来静止的质点,随着波的传来而发生振动,表示它获得了能量.能量是从波源通过前面的质点依次传来的.波在传播振动这种运动形式的同时,也将波源的能量传递出去.波不仅传递能量,而且可以传递信息.

(一)振动与波的关系

振动是波动的原因,波动是振动的结果.有波动必然有振动,有振动不一定有波动.

(二)横波 波峰与波谷

质点的振动方向与波的传播方向相互垂直的波,叫作横波,如绳波.在横波中,凸起的最高处叫作波峰,凹下的最低处叫做波谷.

(三)纵波 密部与疏部

质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上的波,叫做纵波.在纵波中,质点分布最密的位置叫做密部,质点分布最疏的位置叫作疏部.发声体振动时在空气中产生的声波是纵波.

(四)机械波

机械振动在介质中传输,形成了机械波.机械波的产生条件是有波源和有能传播振动的介质,如空气、水、绳子等.

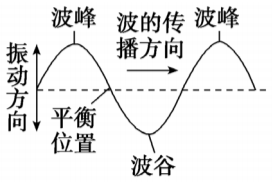
二、波的描述

(一)图像

用横坐标x表示在波的传播方向上绳中各质点的平衡位置,纵坐标y表示某一时刻绳中各质点偏离平衡位置的位移.规定位移向上时y取正值,向下时y取负值.把平衡时位于$x_1, x_2, x_3, \ldots$的质点的位移$y_1, y_2, y_3, \ldots$画在Oxy坐标平面内,得到一系列点,这些点的集合就是该时刻波的图像.波的图像有时也称波形图.

1.正弦波

将波的图像是正弦曲线的波称为正弦波,也叫简谐波.当介质中有正弦波传播时,介质的质点在做简谐运动.简谐波的波形图与质点的振动图像都是正弦曲线,但二者意义不同.



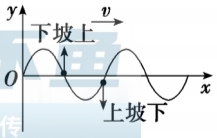
2.波的图像的应用

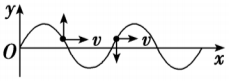
(1)波的传播方向判定质点的振动方向的方法

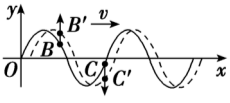
上下坡法:沿波的传播方向,上坡时质点向下振动,下坡时质点向上振动

同侧法:波形图上某点表示传播方向和振动方向的箭头在图线同侧

微平移法:将波形沿传播方向进行微小平移,再由对应同一x坐标的两波形曲线上的点来判断振动方向

上下坡法: 

同侧法: 

微平移法: 

(2)振动图像与波的图像中的图像信息

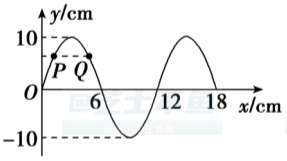
振动图像:质点振动周期,质点振幅,各时刻质点位移,各时刻质点速度、加速度方向.

波动图像:波长、振幅,任意一质点在该时刻的位移,任意一质点在该时刻加速度方向,传播方向、振动方向的互判.

3.例题

例题 1(2022 年泰安模拟)

如图所示是一列简谐横波沿x轴正方向传播在$t=0$时刻的波形,从此时刻开始,介质中的质点P,Q回到平衡位置的最短时间分别为$0.2\ s, 0.8\ s$,下列说法正确的是(　　).



A.$t=1.5\ s$时刻质点P正沿y轴的负方向运动

B.$t=1.5\ s$时刻质点Q加速度最大

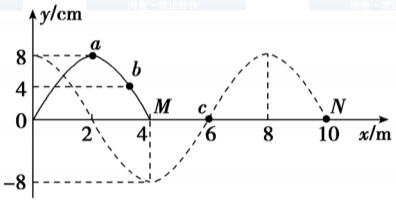
C.$0\sim1.5\ s$内质点Q发生的路程为$30\ cm$

D.$0\sim1.5\ s$内波传播的路程为$9\ cm$

根据同侧法可知,0时刻P质点向下振动,Q质点向上振动,根据题意可知,P质点回到平衡位置的最短时间$t_P=0.2\ s$,Q质点回到平衡位置的最短时间$t_Q=0.8\ s$,且$t_P+t_Q=\dfrac{T}{2}=1\ \mathrm{s}$,所以该波的周期$T=2\ s$.因为$t=1.5\ \mathrm{s}=\dfrac{3}{4}T$,所以$t=1.5\ s$时刻,质点$P$正由平衡位置向波峰运动,其速度方向沿$y$轴的正方向,而$Q$质点正由波谷向平衡位置运动,未到达最大位移处,其加速度不是最大,故A,B错误;由于Q质点在0时刻并不是在平衡位置或者最大位移处,所以经过$\dfrac{3}{4}T$,其路程不等于$3A$,即Q质点发生的路程不等于$30\ cm$,故C错误;因为$t=1.5\ \mathrm{s}=\dfrac{3}{4}T$,所以波朝着传播方向传播的路程为$x=\dfrac{3}{4}\lambda=9\ \mathrm{cm}$,故 D 正确.

例题 2(2022 年山东威海统考)

(多选)一列沿x轴正方向传播的简谐横波,$t=0$时,波刚好传播到M点,波形如图实线所示,$t=0.3\ s$时波刚好传播到N点,波形如图虚线所示.则以下说法正确的是(　　).



A.波的周期为$0.6\ s$

B.波的波速为$20\ m/s$

C.c点在$0\sim0.3\ s$内通过的路程等于$24\ cm$

D.$t=\dfrac{1}{6}\ s$时,b点到达平衡位置

所需时间$\Delta t=0.3\ \mathrm{s}=\dfrac{3}{4}T$,故周期$T=0.4\ s$,选项$A$错误;波速$v=\dfrac{\lambda}{T}=20\ m/s$,选项$B$正确;波传到$c$点需要

时间$\Delta t'=\frac{\Delta x'}{v}=0.1\ s$,在0~0.3 s内,c点只运动了0.2 s,即$\frac{T}{2}$,通过路程$s=2A=16\ cm$,选项C错误;$t=0$时b点对应的纵坐标为4 cm,对应角度为150度,所以b点对应的横坐标为$x=\frac{\frac{5}{6}\pi}{2\pi}\lambda=\frac{10}{3}\ m$,当原点的振动形式传到$b$点时,$b$点处于平衡位置,时间$t=\frac{x}{v}=\frac{1}{6}\ s$,选项$D$正确.

(二)波长和波速

在波的传播方向上,振动相位总是相同的两个相邻质点之间的距离,叫作波长,通常用λ表示.在横波中,两个相邻波峰或两个相邻波谷之间的距离等于波长.在纵波中,两个相邻密部或两个相邻疏部之间的距离等于波长.

(三)周期与频率

在波动中,各质点振动周期或频率相同,都等于波源的振动周期或频率,该周期和频率叫作波的周期和频率.

(四)波速

经过一个周期T,振动在介质中传播的距离等于一个波长λ,故机械波在介质中传播的速度为$v=\frac{\lambda}{T}$.又$f=\frac{1}{T}$,故上式可写为$v=\lambda f$.机械波在介质中的传播速度由介质本身的性质决定,与机械波的频率无关.在不同的介质中,波速是不同的.

(五)机械波的传播规律

1.波传到任意一点,该点的起振方向都和波源的起振方向相同.

2.介质中每个质点都做受迫振动,因此任一质点的振动频率和周期都和波源的振动频率和周期相同.

3.波从一种介质进入另一种介质,由于介质不同,波长和波速可以改变,但频率和周期都不会改变.

例题(2021 年全国甲卷)

均匀介质中质点A,B的平衡位置位于x轴上,坐标分别为0和$x_B=16\ cm$.某简谐横波沿x轴正方向传播,波速为$v=20\ cm/s$,波长大于20 cm,振幅为$y=1\ cm$,且传播时无衰减.$t=0$时刻A,B偏离平衡位置的位移大小相等、方向相同,运动方向相反,此后每隔$\Delta t=0.6\ s$两者偏离平衡位置的位移大小相等、方向相同.已知在t_1时刻$(t_1>0)$,质点A位于波峰.求

(i)从t_1时刻开始,质点B最少要经过多长时间位于波峰;

在t_1时刻质点A位于波峰,A,B的平衡位置坐标分别为0和$x_B=16\ cm$.波峰从A传到B所用时间$t_{AB}=\frac{x_B}{v}=0.8\ s$.故从$t_1$时刻开始,质点$B$最少要经过0.8 s位于波峰.

(ii)t_1时刻质点B偏离平衡位置的位移.

根据对称性知$\Delta t=\frac{T}{2}$,解得周期$T=1.2\ s$.若选t_1时刻为计时零点,则由题意可知质点A的振动方程为$y_A=y\cos\omega t$,质点B的振动方程为$y_B=y\cos\omega(t-t_{AB})$,$t_{AB}=0.8\ s,\omega=\frac{2\pi}{T},t=0.$

联立解得t_1时刻即$t=0$的时刻质点B偏离平衡位置的位移为$y_B=-0.5\ cm$.

三、波的反射、折射、叠加与衍射

(一)波的反射

与光的反射遵循同样的规律,反射线、法线和入射线在同一平面内,反射线与入射线分居法线同侧,反射角等于入射角.

(二)波的折射

一切波都会发生折射现象.一列水波在深度不同的水域传播时,在交界面处将发生衍射.

(三)波的衍射

波可以绕过障碍物或孔继续向前传播,这种现象叫做波的衍射.只有缝、孔的宽度或障碍物的尺寸相差

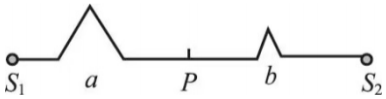
不多,或者比波长更小时,才能观察到明显的衍射现象.当缝、孔的宽度或障碍物的尺寸大于波长时,也会发生不明显的衍射现象.一切波都能发生衍射.衍射是波特有的现象.

(四)波的叠加

几列波相遇时能够保持各自的运动特征继续传播,这里的运动特征指各自的波长、频率等保持不变,不因其他波的存在而受影响,在它们重叠的区域里,介质的质点同时参与这几列波引起的振动,质点的位移等于这几列波单独传播时引起的位移的矢量和.

例题(清华大学夏令营试题 2009 年上海交通大学自主招生)

波源S_1在绳的左端发出一个时间跨度为T_1,振幅为A_1的三角波a;同时,波源S_2在绳的右端发出一个时间跨度为T_2,振幅为A_2的三角波b.已知$T_1 > T_2$,左右两波沿绳的传播速度均为v,P点为两波源连线的中点.下列选项正确的是(　　).



A.两列波在P点叠加时,P点的位移最大可达$A_1 + A_2$

B.a波的波峰到达S_2时,b波的波峰尚未到达S_1

C.两列波波峰相遇的位置在P点的左侧

D.要使两列波的波峰在P点相遇,两列波发出的时间差为$\dfrac{T_1 - T_2}{8}$

因波速相同,波源到P点的距离相同,所以两列波同时到达P点,由于b波波长小,b波到达P点后先到达波峰,两列波波峰相遇的位置在P点的左侧,A, B错误,C正确;要使两波峰在P点相遇,两列波发出的时间差为$\dfrac{T_1 - T_2}{2}$,D错误.

(五)波的干涉

频率相同、相位差恒定、振动方向相同的两列波叠加时,某些区域的振动总是加强,某些区域的振动总是减弱,形成加强区和减弱区相互隔开的稳定的干涉图样,这种现象叫作波的干涉.干涉是波特有的现象.波源与观察者如果相互靠近,观察者接收到的频率变大;波源与观察者如果相互远离,观察者接收到的频率变小;波源和观察者如果相对静止,观察者接收到的频率等于波源的频率.

1.振动加强点、减弱点的判断方法

(1)公式法

某质点的振动是加强还是减弱,取决于该点到两相干波源的距离之差Δr.

①当两波源振动步调一致时

若$\Delta r = n\lambda (n = 0,1,2,\ldots)$,则振动加强;若$\Delta r = (2n+1)\dfrac{\lambda}{2}(n = 0,1,2,\ldots)$,则振动减弱.

②当两波源振动步调相反时

若$\Delta r = (2n+1)\dfrac{\lambda}{2}(n = 0,1,2,\ldots)$,则振动加强;若$\Delta r = n\lambda (n = 0,1,2,\ldots)$,则振动减弱.

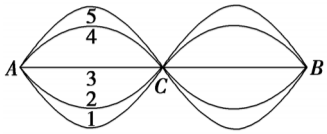
(2)波形图法

在某时刻波的干涉的波形图上,波峰与波峰(或波谷与波谷)的交点,一定是加强点,而波峰与波谷的交点一定是减弱点,各加强点或减弱点各自连接而成以两波源为中心向外辐射的连线,形成加强线和减弱线,两种线互相间隔,加强点与减弱点之间各质点的振幅介于加强点与减弱点的振幅之间.

2.例题(2021 年浙江卷)

例题 1

两列频率、振幅均相同的简谐波I和II分别从绳子的两端持续相向传播,在相遇区域发生了干涉,在相距$0.48\ m$的A, B间用频闪相机连续拍摄,依次获得1,2,3,4,5五个波形,如图所示,且1和5是同一振动周期内绳上各点位移都达到最大值时拍摄的波形.已知频闪时间间隔为$0.12\ s$,下列说法正确的是(　　).

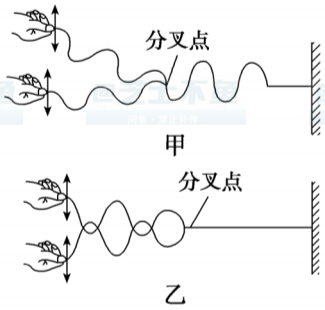


A.简谐波I和II的波长均为$0.24\ m$

B.简谐波I和II的周期均为$0.48\ s$
C.绳上各点均做振幅相同的简谐运动
D.两波源到A点和C点的路程差之差的绝对值是$0.48\ m$
由题图可知,两列波的波长均为$0.48\ m$,A错误;由于1,5是同一振动周期内绳上各点位移都最大时拍摄的,则由1到5的时间为半个周期,即$\frac{T}{2}=0.48\ s$,即$T=0.96\ s$,B错误;绳上有振动加强点、振动减弱点,因此各点的振幅不可能均相同,C错误;由干涉条件以及对题图的分析可知,两波源到A点和C点的距离差之差的绝对值为波长,即$0.48\ m$,D正确.

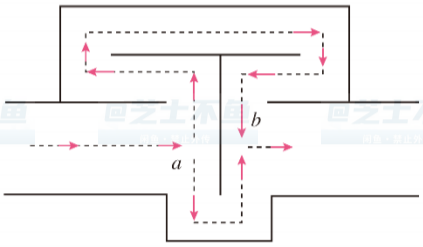
例题 2

将一端固定在墙上的轻质绳在中点位置分叉成相同的两股细绳,它们处于同一水平面上.在离分叉点相同长度处用左、右手在身体两侧分别握住直细绳的一端,同时用相同频率和振幅上下持续振动,产生的横波以相同的速率沿细绳传播.因开始振动时的情况不同,分别得到了如图甲和乙所示的波形.下列说法正确的是(　　).



A.甲图中两手开始振动时的方向并不相同
B.甲图中绳子的分叉点是振动减弱的位置
C.乙图中绳子分叉点右侧始终见不到明显的波形
D.乙图只表示细绳上两列波刚传到分叉点时的波形
由于两列波振动频率相同,所以在传播到绳子分叉点后两列机械波产生干涉现象,题图甲可以看出两列机械波形成稳定的波形,即甲图中左、右手开始振动的方向相同,两列波叠加,分叉点到左、右手的波长差满足振动加强条件,分叉点是振动加强点,所以选项A,B错误;乙图中左、右手振动方向恰好完全相反,一个在波峰,另一个就在波谷,所以两列波叠加后看不到明显的波形,选项C正确;由于是稳定的干涉图样,乙图中分叉点后的绳子始终见不到明显的波形,所以选项D错误.

3.例题(课本 78 页题目)



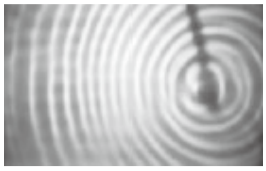
消除噪声污染是当前环境保护的一个重要课题,内燃机、通风机等在排放各种高速气流的过程中都会发出噪声,图中所示的消声器可以用来削弱高速气流产生的噪声.波长为λ的声波沿水平管道自左向右传播,在声波到达a处时,分成上下两束波,这两束声波在b处相遇时可削弱噪声.试说明该消声器的工作原理及要达到良好的消声效果必须满足的条件.
在声波到达a处,分成上下两束波,这两束声波的频率相同,假设它们分别通过r_1和r_2的路程后再在b处相遇,只要保证r_2-r_1等于半波长的奇数倍,在b处声波干涉就会出现振动减弱,即可削弱噪声.

四、多普勒效应

波源与观察者相互靠近或者相互远离时,接受到的波的频率都会发生变化.这种现象称为多普勒效应.

(一)实际情景及应用

1.实际情景:课本 80 页思考与讨论



固定在振动片上的金属丝周期性触动水面可以形成水波.当振动片在水面上移动时拍得一幅如图所示的照片,显示出此时波的图样.由照片是否可知,振动片正在向图中哪个方向移动?单位时间内是水波槽左边接收完全波个数多还是右边接收完全波个数多?

由照片可知:波源左方的波变得密集,右方的波变得稀疏,即振动片向左移动.若静止的观察者在波源左方,单位时间内接收到的完全波个数增多,即接收频率增大;而右侧恰好相反,故可判定单位时间内水波槽左边接收完全波个数多.

例题(2006 年上海交通大学冬令营)

在水流速度为0的静止水面上,有一波源S在做上下振动,其发出的波的波阵面形状如图所示.若将同样的波源置于水流速度一定的水面上(波在水中的传播速度大于水的流速),并保持波源位置不变,画出其发出的波的波阵图形状.

答案与上文右图类似.

2.应用

(1)测量物体速度

交通警察向行进中的车辆发射频率已知的超声波,同时测量反射波的频率,根据反射波频率变化的多少就能知道车辆的速度.装有多普勒测速仪的监视器可以装在公路上方,在测速的同时把车辆牌号拍摄下来,并把测得的速度自动打印在照片上.利用多普勒测速仪,还可以测量水在海底的流速,为养殖场寻找适合贝类生长的场所.

(2)彩超

医生向人体内发射频率已知的超声波,超声波被血管中的血流反射后又被仪器接收.测出反射波的频率变化,就能知道血流的速度.这种方法俗称彩超,可以检查心脏、大脑和眼底血管的病变.

(二)公式推导

简单起见,假定波源、观察者的运动在两者连线上,设波源相对于介质的运动速度为v_S,观察者相对于介质运动的运动速度为v_R,以u表示波在介质中传播的速度.波源的频率、观察者接收到的频率和波的频率分别用ν_S,ν_R和ν_W表示.波源的频率ν_S是指波源在单位时间内发出的完全波的数目;观察者接收到的频率ν_R是指观察者在单位时间内接收到的完全波的数目;波的频率ν_W是指单位时间内通过介质中某点的完全波的数目,满足$\nu_W=\frac{u}{\lambda}$.只有波源与观察者相对于介质静止时,三者是相等的.

1.波源不动,观察者相对于介质运动

观察者以速度v_R相对于介质运动.在单位时间内原来位于观察处的波阵面向右传播了u的距离,观察者向左运动了v_R的距离,相当于波通过观察者的总距离为$u+v_R$,故此时在单位时间内观察者所接收的完全波的数目为$\nu_R=\frac{u+v_R}{\lambda}=\frac{u+v_R}{u}\nu_W$.由于波源在介质中静止,则$\nu_W=\nu_S$,故$\nu_R=\frac{u+v_R}{u}\nu_S$,观察者向波源运动时所接收到的频率为波源频率的$\left(1+\frac{v_R}{u}\right)$倍.当观察者远离波源运动时,按类似的分析,可得观察者接收到的频率为$\nu_R=\frac{u-v_R}{u}\nu_S$.

2.观察者不动,波源相对于介质运动

波源以速度v_S相对于介质运动.波源在运动中仍按频率ν_S发射波,在一个周期T_S内,波在介质中传播了距离uT_S,完成一个完整的波形.设波源向观察者运动.这段时间内波源运动的距离为v_ST_S.由于波源的运动,介质中的波长变小了,实际波长为$\lambda'=uT_S-v_ST_S=\frac{u-v_S}{\nu_S}$,故波的频率为$\nu_W=\frac{u}{\lambda'}=\frac{u}{u-v_S}\nu_S$.由于观察者静止,所以接收到的频率就是波的频率,即$\nu_R=\frac{u}{u-v_S}\nu_S$.当波源远离观察者运动时,按类似的分析,可得观察者接收到的频率为$\nu_R=\frac{u}{u+v_S}\nu_S$.

3.观察者与波源同时相对介质运动

由以上两种情况知,由于波源的运动,介质中波的频率为$\nu_W=\frac{u}{u-v_S}\nu_S$;由于观察者的运动,观察者接收到的频率与波的频率之间的关系为$\nu_R=\frac{u+v_R}{u}\nu_W$.代入得观察者接收到的频率为$\nu_R=\frac{u+v_R}{u-v_S}\nu_S$.二者相向运动时,$v_S,v_R$均取正值;相背运动时,$v_S,v_R$均取负值.

五、多解问题

(一)波动问题多解的主要因素

1.周期性

(1)时间周期性

时间间隔Δt与周期T的关系不明确.

(2)空间周期性

波传播的距离Δx与波长λ的关系不明确.

2.双向性

(1)传播方向双向性

波的传播方向不确定.

(2)振动方向双向性

质点振动方向不确定.

(二)解决波的多解问题的思路

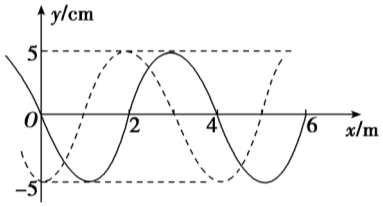
一般采用从特殊到一般的思维方法,即找出一个周期内满足条件的关系Δt或Δx.

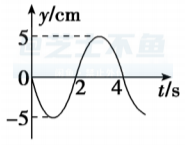
若此关系为时间,则$t=nT+\Delta t(n=0,1,2,\ldots)$;若此关系为距离,则$x=n\lambda+\Delta x(n=0,1,2,\ldots)$.

(三)例题

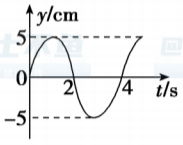
例题 1(2021 年山东卷)

(多选)一列简谐横波沿轴传播,如图所示,实线为$t_1=2\ s$时的波形图,虚线为$t_2=5\ s$时的波形图.以下关于平衡位置在O处质点的振动图像,可能正确的是(　　).

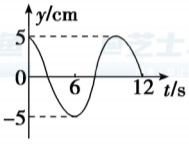




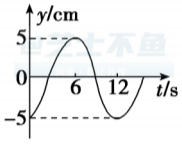
A



B



C



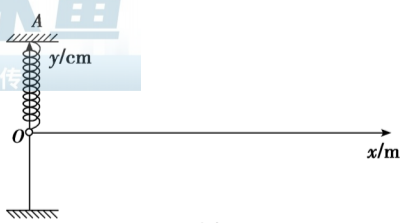
D

若机械波沿x轴正方向传播,在$t_1=2\ s$时O点振动方向竖直向上,则传播时间$\Delta t=t_2-t_1=3\ s$,满足$\Delta t=\frac{3}{4}T+nT(n=0,1,2,3,\ldots)$,解得$T=\frac{12}{4n+3}\ s(n=0,1,2,3,\ldots)$,当$n=0$时,解得周期$T=4\ s$,$A$项正确,$B$项错误;若机械波沿$x$轴负方向传播,在$t_2=5\ s$时$O$点振动方向竖直向下,则$\Delta t=\frac{1}{4}T+nT(n=0,1,2,3,\ldots)$,解得$T=\frac{12}{4n+1}\ s(n=0,1,2,3,\ldots)$,当$n=0$时,解得周期$T=12\ s$,$C$项正确,$D$项错误.

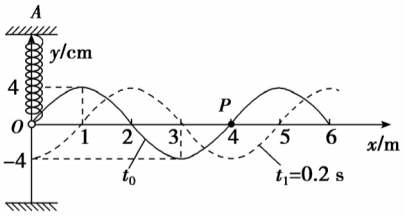
例题 2

如图甲所示,某宇航员在太空中进行实验,左边为弹簧振动系统,弹簧振子连接一根很长的软绳,取沿绳方向为x轴,沿弹簧轴线方向为y轴(x轴与y轴垂直),振子从平衡位置(坐标原点O点)沿y轴方向振动,某

时刻绳子的波形如图乙中实线所示($t_0=0$),经过$t_1=0.2\ s$后的波形如图乙中虚线所示,P为$x=4\ m$处的质点,则(　　).



甲



乙

A.绳子上产生的波的传播速度可能为$35\ m/s$

B.质点P的振动频率可能为$1.25\ Hz$

C.从$t=0$开始,质点P经过$0.8\ s$沿x轴正方向运动$4\ m$

D.$t=0.4\ s$时,质点P的位置在$y=4\ cm$处

振源在坐标原点,绳子上产生的波只能向右传播.

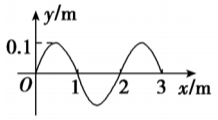
由t_0到t_1波传播的距离 $x=n\lambda+\dfrac{1}{4}\lambda=(4n+1)\ m(n=0,1,2,\ldots)$,$0.2\ s=nT+\dfrac{1}{4}T(n=0,1,2,\ldots)$.

则波速 $v=(20n+5)\ m/s(n=0,1,2,\ldots)$,$T=\dfrac{0.8}{4n+1}\ s(n=0,1,2,\ldots)$.

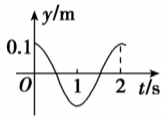
据以上分析可知,该波的波速不可能为$35\ m/s$,故A错误.当$n=0$时,该波振动周期为$0.8\ s$,则质点P的振动频率为$1.25\ Hz$,故B正确.根据机械波的传播特点可知,各质点并不随波迁移,而是在平衡位置附近做简谐运动,故C错误.根据波的图像和以上分析可知,$t=0.4\ s$时,质点P的位置不可能在$y=4\ cm$处,故D错误.

例题 3

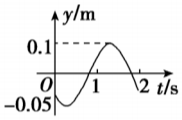
(多选)一列简谐横波沿x轴正方向传播,图(a)是$t=0$时刻的波形图,图(b)和图(c)分别是x轴上某两处质点的振动图像.由此可知,这两质点平衡位置之间的距离可能是(　　).



(a)



(b)

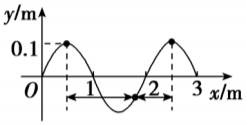


(c)

A.$\dfrac{2}{3}\ m$　　B.$1\ m$

C.$2\ m$　　D.$\dfrac{8}{3}\ m$

题图(b)所示质点在$t=0$时在正向最大位移处,图(c)所示质点在$t=0$时,$y=-0.05\ m$,运动方向沿y轴负方向,结合波形图找到对应的点,如图所示



若题图(b)所示质点为图中左侧波峰上的点,则两点距离为$\dfrac{4}{3}\ m$,若题图(b)所示质点为图中右侧波峰上的点,则两点距离为$\dfrac{2}{3}\ m$.

考虑到空间周期性,则 $x=n\lambda+\dfrac{4}{3}\ (m)=2n+\dfrac{4}{3}\ (m)$ 或 $x=n\lambda+\dfrac{2}{3}\ (m)=2n+\dfrac{2}{3}\ (m)(n=0,1,2,\ldots)$,因此$A,D$正确,$B,C$错误.

例题 4

(多选)A,B为一列简谐横波上的两个质点,它们在传播方向上相距$20\ m$,当A在波峰时,B恰在平衡位置.

经过2 s再观察,A恰再波谷,B仍在平衡位置,则该波(　　).

A.最大波长是80 m　　B.波长可能是$\frac{40}{3}$ m

C.最小频率是0.25 Hz　　D.最小波速是20 m/s

由题意知,某时刻A在波峰时,B恰在平衡位置,则B可能经过平衡位置向上,也可能经过平衡位置向下,得$(2n+1)\frac{\lambda}{4}=20\ m$,即$\lambda=\frac{80}{2n+1}\ m(n=0,1,2,...)$.当$n=0$时,最大波长$\lambda_{max}=80\ m$,$A$正确;因$n$为整数,故$\lambda$不可能等于$\frac{40}{3}\ m$,$B$错误;由题意又知$(2k+1)\frac{T}{2}=2\ s$,得$T=\frac{4}{2k+1}\ s(k=0,1,2,...)$,代入$f=\frac{1}{T}$中得频率$f=(0.5k+0.25)\ Hz(k=0,1,2,...)$,故$f_{min}=0.25\ Hz$,$C$正确;波速$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{20(2k+1)}{2n+1}\ m/s$,无法确定波速的最小值,$D$错误.

六、平面简谐波的波函数

(一)推导

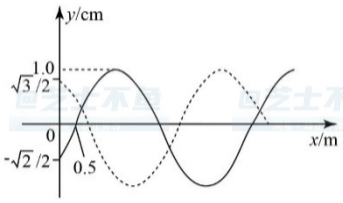
简谐振动在介质中传播形成的波称为简谐波.若简谐波的波面为平面,则这样的简谐波称为平面简谐波.平面简谐波传播时,在任一时刻处在同一波面上的各点具有相同的振动状态.因此只需知道与波面垂直的任意一条波线上波的传播规律就可推得整个平面波的传播规律.下讨论平面余弦波在理想的无吸收的均匀无限大介质中传播时的波函数.

设有一平面余弦行波,在无吸收的均匀无限大介质中沿Ox轴的正方向传播,波速为u.取任意一条波线为Ox轴,并取O作为Ox轴的原点.假定O点处(即$x=0$处)质点的振动表达式为$y_O(t)=A\cos(\omega t+\varphi_0)$.现考察波线上任意另一任意点$P$,其离开$O$点的距离为$x$,振动从$O$点传至$P$点,故$P$点振动的相位将落后于$O$点.若振动从$O$传至$P$所需时间为$t'$,则在时刻$t$时$P$点处质点的位移就是$O$点处质点在$t-t'$时刻的位移.故$P$点处质点在时刻$t$的位移为$y_P(t)=A\cos(\omega(t-t')+\varphi_0)$.若介质中波速为$u$,则$t'=\frac{x}{u}$,代入上式并将下角标省去即得沿$Ox$轴方向前进的平面简谐波的波函数为

$$y(x,t)=A\cos\left[\omega(t-\frac{x}{u})+\varphi_0\right]$$

(二)例题(2012年华约自主招生)

如图所示,一简谐横波沿x轴正方向传播,图中实线为$t=0$时刻的波形图,虚线为$t=0.286\ s$时刻的波形图,该波的周期T和波长λ可能正确的是(　　).



A.0.528 s, 2 m　　B.0.528 s, 4 m

C.0.624 s, 2 m　　D.0.624 s, 4 m

设波动方程为$y=A\sin(\omega t-kx+\varphi_0)$,其中$A=1\ cm$,$\omega=\frac{2\pi}{T}$,$k=\frac{2\pi}{\lambda}$.

当$t=0,x=0$时,$y=-\frac{\sqrt{2}}{2}$,代入方程得$\sin\varphi_0=-\frac{\sqrt{2}}{2}$,解得$\varphi_0=\frac{5}{4}\pi$;

当$t=0,x=0.5\ m$时,$y=0$,代入方程得$\cos(-\frac{2\pi}{\lambda}+\varphi_0)=0$,解得$\lambda=4\ m$;

当$t=0.286\ s,x=0$时,$y=\frac{\sqrt{3}}{2}$,代入方程得$\sin(\frac{2\pi\times0.286}{T}+\frac{5}{4}\pi)=\frac{\sqrt{3}}{2}$.

故可能是$\frac{2\pi\times0.286}{T}+\frac{5}{4}\pi=2\pi+\frac{\pi}{3}=\frac{7\pi}{3}$,解得$t=0.528\ s$.选项$B$正确.

七、红移与蓝移

多普勒效应适用于光波.当一个物体向靠近我们的方向移动时,光的波长会向光谱的蓝色一端移动;当物体向远离我们的方向移动时,波长则会向红色一端移动.这种变化能够在光谱线上被观察到.

红移在物理学和天文学领域,指物体的电磁辐射由于某种原因频率降低的现象,在可见光波段,表现为光谱的谱线朝红端移动了一段距离,即波长变长、频率降低.红移的现象多用于天体的移动及规律的预测上.物体向远离地球的方向移动时,它所发出的光波长随之增加,即多普勒红移.所有的波(包括机械波、电磁波和引力波等)都会因为多普勒效应而造成的频率和波长的变化.多普勒红移是由法国物理学家阿曼德·斐索在1848年首次提出的,他指出恒星谱线位置的移动与多普勒效应有关.1868年,英国天文学家威廉·哈金斯运用该理论首次测得恒星相对于地球的运动速度.

来自遥远物体光源的光谱可以通过光谱学来测量.发现红移后,需要一个有相似特征的光谱进行比较才能够测量,可以使用宇宙中最常见的元素,即氢元素的原子光谱.

蓝移与红移相反,是指物体向靠近地球方向移动引起的波长减小.蓝移是指随着光谱频率的增加或者向更高处转移(能量的增加),电磁波的波长减小的现象.在可见光中,就是颜色从光谱的红色端转移到蓝色端.在天文学中蓝移指观测星体时星体呈现出来的光谱向蓝色端移动的现象.

芝士不鱼