汇智起航 2023 年（寒假）高中物理竞赛复赛-光学

模拟测试卷答案

一、

（1）对物方：①（5分）

取②（5分）

③④（10分）

（2）考虑三次成像，⑤（4分）

⑥（4分）

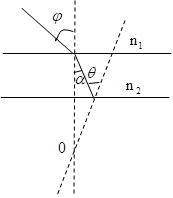
⑦（4分）

⑤+⑥+⑦可得：⑧（4分）

由⑧式可得：⑨（4分）

二、

先证明一个折射不变量：

正弦定理： （5分） 

又∵ （5分）

解得：

（5分）

又∵物理上一个微分方程给定加上初始条件，则解唯一 （5分）

考察如图：

余弦定理：

又∵



 （5分）

显然只需 （5分）

此条件显然可以满足

∵对P,Q两点有

 （5分）

 （5分）

三、

光在介质内速度： …………………….（10分）

…………………….（5分）

所以 …………………….（5分）

…………………….（5分）

又因为 所以近似可得 …………………….（5分）

代入可得： …………………….（5分）

所以 …………………….（5分）

四、

可以证明在极坐标参考系中有不变量（证明略，此处有10分）。

可类比天体运动角动量

…………（4分）

由初始条件

…………（4分）

所以

…………（4分）

所以

…………（4分）

所以

…………（4分）

显然光线轨迹为一椭圆，对此椭圆 …………（4分）

所以

…………（4分）

解得

…………（4分）

所以

…………（4分）

所以偏转角

…………（4分）

所以偏转角

五、

（1）首先考虑光栅每条缝的单缝衍射效应。设该元件某一束平行出射光的出射角（光传播 方向与入射光方向的夹角）为θ ，则经过单缝的平行光，在该出射角上每两条光线之间都会产生角度造成的光程差（即相位差），表现在振幅矢量图上，就是矢量首尾相连形成一段圆弧，圆弧对应的弦长即为衍射光的振幅。设圆弧对应的半径为R，则由几何关系

(2’)

其中为圆心角，也为相位差。两条光线的光程差为(2’)

其中有：(2’)

圆弧的弧长表示ϕ=0 时的振幅，也就是光直线传播时的振幅，这个振幅与题中所给的光强是相对应的，设它为，则有：(2’)

联立可得：(4’)

再考虑多条缝之间的干涉效应。入射到不同缝中的光线，不仅由于出射方向产生光程差（即 相位差），也因入射位置不同在介质中的光程不同，进而产生光程差（即相位差），现规定出射 光指向右上方向θ 角为正，则两种因素造成的总光程差为

(2’)

可得相位差为：(2’)

考虑了单缝衍射后，从每条缝射出的光束可看作振幅矢量图中一个模长为 A 的矢量，且每 两条相邻光束（从相邻的缝中射出）对应的矢量之间的夹角为 δ，N 个这样的矢量首尾相连叠加 而成的即是干涉后的总矢量，其模为干涉后的合振幅。由几何关系

(2’)

因此可以得到 (6’)

(2’)

（2）条纹缺级，亦即单缝衍射因子为零，(2’)

可以得到(4’)

除此之外，还会有干涉极小引起的暗条纹出现，此时干涉因子为零，即

(2’)

可以得到 (2’)

存在这类暗条纹的条件是上式有解，即 (4’)

六、

设在激光炮径向轰击之前轨道机械能为 ，在激光炮径向轰击之后轨道机械能为 ，激光炮使航天器获得的径向动量为 ，由于轰击前后瞬间引力势能几乎没有变化，故由能量守恒定律得：

承认航天器静能远大于激光炮能量这一事实，设激光强度为J，由动量定理可得:

在轰击之后，设轨道半长轴为 a 、半短轴为b 、通径为2 p ，轨道周期为t ，则由开普勒第二定 律可得轨道面积速率σ:

由开普勒第三定律可得:

可以得到：

再设轨道角动量为 L （是守恒量），则

由以上两式可得:

由角动量定理可知激光炮径向轰击不改变角动量，由上式可知通径保持不变，即:p=R+h

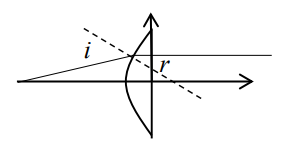
设航天器从被轰击之后瞬间到下一次与炮台、地球球心三点一线经过的时间为t′，则由数学知识可得:

由题意得:

联立解得：

七、

(1) 折射定律，如图所示



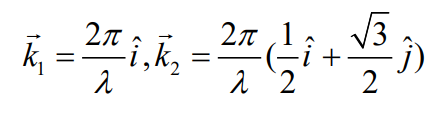
易得：，折射定律：sini=2sinr

由上述两式可得：

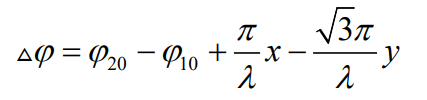
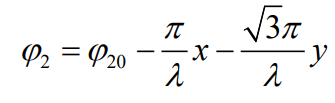
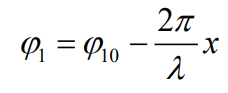
(2)令y=0可得：x=

因此得到透镜厚度d=

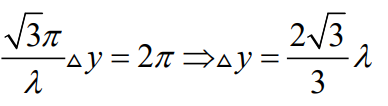
(3)易得右侧波矢分别为：



因而可以得到



由于光屏上 x 坐标相等，因而有：

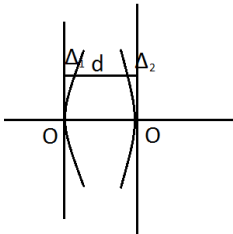


八、

（1）假设第k 个衍射屏的入射波前和出射波前分别为,, 则由定义得，

（5分）

（2）假设透镜所在平面为 xOy 平面，z 轴从物指向像，透镜中心为原点。在旁轴近似下，倾斜因子可以忽略。在透镜两侧做垂直于 z 轴 的切平面，如图所示，则相位差

 （5分）

由几何关系可得：

（5分）

可以得到：

（5分）

因此屏函数为： （5分）

（3）在（2）中所述的坐标系中，假设（0，h,-u)处有一物发出同心球面波，则其在透镜平面上 的波函数为：

（5分）

因此，出射波前为：

（5分）

其中，这个式子的意义，代表一个向点(0,-vh/u,v)汇聚的同心球面波，即可以得出物距像距的公式及放大率公式M=-v/u （5分）