



郑永令 ◎ 主编

亚洲物理奥林匹克 试题与解答 (第1届—第8届)

 华东师范大学出版社

ISBN 978-7-5617-6294-3



9 787561 762943 >

定价: 24.00 元

www.ecnupress.com.cn

亚洲物理奥林匹克 试题与解答

(第 1 届—第 8 届)

主 编 郑永令

编译者 郑永令 蒋最敏 王思慧

华东师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

亚洲物理奥林匹克试题与解答(第1届—第8届)/郑永令主编. —上海:华东师范大学出版社, 2008
ISBN 978-7-5617-6294-3

I. 亚… II. 郑… III. 物理课—中学—竞赛题
IV. G634.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 116698 号

亚洲物理奥林匹克试题与解答(第1届—第8届)

主 编 郑永令
编 译 者 郑永令 蒋最敏 王思慧
策划编辑 倪 明 赵俊丽
审读编辑 段劲松
装帧设计 高 山

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
电话总机 021-62450163 转各部门 行政传真 021-62572105
客服电话 021-62865537(兼传真)
门市(邮购)电话 021-62869887
门市地址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口
网 址 www.ecnupress.com.cn

印 刷 者 上海崇明裕安印刷厂
开 本 890×1240 32 开
印 张 10
字 数 275 千字
版 次 2009 年 1 月第 1 版
印 次 2009 年 2 月第 2 次
印 数 6001-11100
书 号 ISBN 978-7-5617-6294-3/G·3655
定 价 24.00 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社客服中心调换或电话 021-62865537 联系)

前言

亚洲物理奥林匹克 (APhO) 自 2000 年创办至今, 已举办了八届。规模逐年扩大, 从第一届 10 个国家或地区的 64 名选手参赛, 至第八届 22 个国家或地区的 153 名选手参赛, 在亚洲和世界上的影响也日益扩大。澳大利亚在承诺不改变亚洲物理奥林匹克名称的前提下自愿参与赛事, 并成为亚洲物理奥林匹克的成员; 俄罗斯作为传统的欧洲国家也曾以客队身份参加竞赛。

受中国科协和中国物理学会委托, 复旦大学与南京大学从 2000 年至 2007 年先后担任参加国际物理奥林匹克 (IPhO) 和亚洲物理奥林匹克 (APhO) 中国代表队选手的培训与选拔工作, 并带领中国代表队参赛, 取得了优异成绩, 也积累了丰富的经验和资料。复旦大学还在 2007 年承办了第八届亚洲物理奥林匹克的考务工作。此次承蒙华东师范大学出版社的大力支持, 将第一届至第八届亚洲物理奥林匹克的资料, 包括竞赛试题与题解的中文译稿, 汇集成本书出版, 弥补了这方面资料出版的空白, 必将满足众多关心物理竞赛的学生和教师的需要。我谨代表本书作者及他们所在学校——复旦大学和南京大学, 向华东师范大学出版社表示感谢! 希望本书的出版能引起广大读者和社会对这一领域的关心和关注。

在本书资料的收集与整理过程中, 得到亚洲物理奥林匹克竞赛秘书处, 特别是林明瑞先生的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢! 没有他们的帮助, 本书要在这么短的时间内出版是不可能的。也向所有参与了亚洲物理奥林匹克中国代表队培训与选手选拔工作的两校教师表示感谢! 他们也对本书作出了很多贡献。

因时间仓促, 也因编译者水平有限, 书中定存在许多错误与不妥, 敬请广大读者与同仁不吝指正。

郑永令

2008. 4. 16 于复旦大学

目录

1	前言 / 1
25	第一届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 3 实验竞赛 / 15
59	第二届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 26 实验竞赛 / 48
97	第三届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 61 实验竞赛 / 82
126	第四届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 98 实验竞赛 / 111
164	第五届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 128 实验竞赛 / 145
204	第六届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 166 实验竞赛 / 185
243	第七届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 206 实验竞赛 / 229
286	第八届亚洲物理奥林匹克竞赛 理论竞赛 / 245 实验竞赛 / 270
	附表 第一至第八届亚洲物理奥赛各队参赛情况

288

附录 A

亚洲物理奥林匹克竞赛章程 / 288

亚洲物理奥林匹克竞赛章程附件(竞赛大纲) / 295

300

附录 B

基本物理常量 / 300

太阳系天文数据 / 302

物理常用数据 / 303

三角公式 / 307

微积分公式 / 309

近似公式 / 314

第一届亚洲物理奥林匹克竞赛

印度尼西亚 卡拉瓦奇

举办亚洲物理奥林匹克竞赛(APhO)的最初设想是由已故国际物理奥林匹克竞赛主席 Waldemar Gorzkowski 教授提出的。1999 年在意大利帕多瓦举行的第 30 届国际物理奥赛期间, Waldemar Gorzkowski 教授和印度尼西亚代表队领队 Dr. Yohanes Surya 商定, 2000 年 4 月在印度尼西亚举行第一届亚洲物理奥林匹克竞赛。这一倡议得到了 12 个亚洲国家或地区的积极响应。

举办亚洲物理奥赛的目的是为了广泛了解亚洲中学生参加国际物理奥赛(IPhO)的准备情况, 为各领队间就物理教育的诸多问题的进一步协作建立一个联系平台。这些问题包括在各自国内举办物理竞赛, 鼓励亚洲国家积极参与各种国际物理竞赛等等。

第一届亚洲物理奥林匹克竞赛于 2000 年 4 月 24 日至 5 月 2 日在印度尼西亚卡拉瓦奇举行。共有 10 个国家或地区派代表队参加了本次竞赛。其中澳大利亚(非亚洲成员国)以客队身份参赛, 文莱、印度、马来西亚派观察员参加了竞赛活动。参赛选手共计 64 名, 我国有 5 名选手参加竞赛。印度尼西亚方面十分重视本次大赛活动, 总统瓦西德亲自参加开幕式并致词。

经过紧张角逐, 最后有 8 名选手获得金奖, 9 名选手获得银奖, 11 名选手获得铜奖, 17 名选手获得表扬奖。我国参赛的 5 名选手, 4 名获得金奖, 1 名获得银奖。

除以上奖项外, 总成绩最佳奖为我国选手宋均亮获得; 最佳女生奖为我国选手董世英获得; 最年轻选手奖为菲律宾选手获得。

为表彰我国代表队的杰出表现, 联合国教科文组织(UNESCO)特向中国代表队颁发最佳参赛队奖(爱因斯坦奖)。

我国代表队得奖情况如下:



奖 项	获奖者姓名	获奖者所在中学
金 奖	宋均亮 张 弛 陈晓升 王 堡	华中师大一附中(湖北) 东北育才学校(辽宁) 启东中学(江苏) 宝鸡中学(陕西)
银 奖	董世英(女)	鲁迅中学(浙江)
最佳参赛队奖	中国队	
总成绩最佳奖	宋均亮	华中师大一附中(湖北)
最佳女生奖	董世英	鲁迅中学(浙江)



理论竞赛

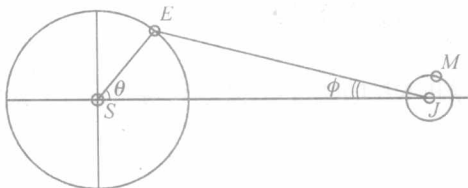
2000年4月25日 竞赛时间 5小时



理论题 1 木星的卫食

远在科学家能精确测量光速之前,丹麦天文学家欧·罗梅尔(O. Romer)就研究了木星卫星的星食时间。他通过观测木星的卫星绕木星运动的周期来确定光的速率。图1表示地球 E 绕太阳 S 的运动轨道和木星的一个卫星 M 绕木星 J 的运动轨道。他观测木星的卫星 M 相继两次从木星的太阳阴影中出现的時間间隔。卫星处在行星的太阳阴影中,称为卫星食,简称卫食。

从一系列的卫食观测可以精确地求出卫食周期,而该周期 T 的观察值大小依赖于地球在以连线 SJ 作为一根坐标轴的参照系中的相对位置。卫星绕木星转动一周的平均周期为 $T_0 = 42$ 小时28分16秒,周期的最大观测值为 $T_0 + 15$ 秒。



题1图1 地球 E 绕太阳 S 的运动轨道及卫星 M 绕木星 J 的运动轨道。地球 E 到太阳的平均距离 $R_E = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$,最大距离 $R_{Emax} = 1.015R_E$ 。地球绕太阳公转的周期为365天(即1年),木星绕太阳公转的周期为11.9年。卫星 M 与木星的距离 $R_M = 422 \times 10^3 \text{ km}$ 。

- 假定地球和木星绕太阳运动的轨道均为圆形,试用牛顿万有引力定律估算木星和太阳的距离。
- 计算地球在以太阳—木星连线 SJ 为一坐标轴的参照系中的相

对角速度。并计算地球在该参照系中的相对速率。

c. 设观测者(在地球上)处在 θ_k 位置时,看到卫星 M 从木星的阴影中出现。当他处在 θ_{k+1} 位置时,看到卫星下一次从木星阴影中出现,其中 $k = 1, 2, 3, \dots$ 从以上的观测结果中他得到卫星绕木星公转的表观周期 $T(t_k)$ 依赖于观测时刻 t_k 。他认为这种表观周期因观测时间而发生的变化,是由于观测过程中地球相对于木星的距离 d 发生变化造成的。根据图1推导出木星相对于地球的距离与时间的关系 $d(t_k)$,然后利用该关系式的近似表达式解释该距离如何影响木星卫星绕木星公转的周期并估算你的距离近似表达式的相对误差。

d. 导出 $d(t_k)$ 和 $T(t_k)$ 的关系式,画出 $T(t_k)$ 对观测时间 t_k 的关系图,指出观测者观测到表观周期为最大值、最小值以及真实值时的地球位置。

e. 从以上结果估算光的速率。指出你的估算的误差来源,并计算出这些误差大小的数量级。

f. 已知地球质量 $M_E = 5.98 \times 10^{24}$ kg 以及 1 个月 = 27 天 7 小时 3 分,求木星的质量。



理论题 1 参考解答

a. 假定地球和木星的轨道均为圆形,则向心力=太阳的引力,有

$$\frac{GM_E M_S}{R_E^2} = \frac{M_E v_E^2}{R_E},$$

$$\frac{GM_J M_S}{R_J^2} = \frac{M_J v_J^2}{R_J}.$$

其中 G 为引力常量, M_S 为太阳质量, M_E 为地球质量, M_J 为木星质量, R_E 为地球轨道半径, R_J 为木星轨道半径, v_E 为地球公转速度, v_J 为木星公转速度。因而

$$\frac{R_J}{R_E} = \left(\frac{v_E}{v_J} \right)^2.$$

已知

$$T_E = \frac{2\pi}{\omega_E} = \frac{2\pi R_E}{v_E},$$

及

$$T_J = \frac{2\pi}{\omega_J} = \frac{2\pi R_J}{v_J}.$$

两式相比,得

$$\frac{T_E}{T_J} = \frac{\frac{R_E}{v_E}}{\frac{R_J}{v_J}} = \left(\frac{R_E}{R_J}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

由此得 $R_J = R_E \left(\frac{T_J}{T_E}\right)^{\frac{2}{3}} = 149.6 \times 10^6 \times 11.9^{\frac{2}{3}} = 779.8 \times 10^6 \text{ km}.$

b. 相对角速度

$$\begin{aligned}\omega &= \omega_E - \omega_J = 2\pi \left[\frac{1}{365} - \frac{1}{11.9 \times 365} \right] \\ &= 0.0158 \text{ rad/day}.\end{aligned}$$

相对速度

$$\begin{aligned}v &= \omega R_E = 0.0158 \times 149.6 \times 10^6 \\ &= 2.36 \times 10^6 \text{ km/day} = 27.3 \text{ km/s}.\end{aligned}$$

c. 木星与地球距离可表示为

$$\begin{aligned}\vec{d}(t) &= \vec{R}_J - \vec{R}_E, \\ d(t) &= (R_J^2 + R_E^2 - 2R_ER_J \cos \omega t)^{\frac{1}{2}} \\ &\approx R_J \left[1 - 2 \frac{R_E}{R_J} \cos \omega t + \dots \right]^{\frac{1}{2}} \\ &\approx R_J \left[1 - \frac{R_E}{R_J} \cos \omega t + \dots \right]\end{aligned}$$

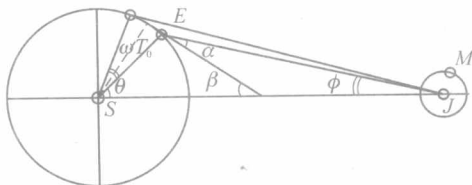
上述表达式的相对误差〔由略去的 $\frac{R_E}{R_J}$ 的平方项引起〕的数量级为

$$\left(\frac{R_E}{R_J}\right)^2 \approx 4\%.$$

当观测者在距离 $d(t)$ 时看到卫星 M 从阴影中出现, 当他在距离 $d(t+T_0)$ 时看到卫星下一次从阴影中出现。光行进距离 $\Delta d = d(t+T_0) - d(t)$ 需要时间, 因而观测者看到的是表观周期 T 而非真实周期 T_0 。

$$\begin{aligned}\Delta d &= R_E [\cos \omega t - \cos \omega(t+T_0)] \\ &\approx R_E \omega T_0 \sin \omega t.\end{aligned}$$

因为 $\omega T_0 \approx 0.03$, $\sin \omega T_0 \approx \omega T_0$, $\cos \omega T_0 \approx 1$ 。我们也可从图 2 的几何关系中直接得到以上近似表式。



题 1 图 2 求 $\Delta d(t)$ 的几何关系图

我们也可用另一种方法计算 Δd 。由图 2 得

$$\beta = \phi + \alpha,$$

$$\frac{\omega T_0}{2} + \beta + \theta = \frac{\pi}{2},$$

$$\Delta d(t) \approx \omega T_0 R_E \cos \alpha = \omega T_0 R_E \sin \left(\omega t + \frac{\omega T_0}{2} + \phi \right).$$

而 $\omega T_0 \approx 0.03$, 及 $\phi < \frac{R_E}{R_J} \approx 0.19$, 故 $\Delta d(t) \approx R_E \omega T_0 \sin \omega t$ 。

d. $T - T_0 \approx \frac{\Delta d(t)}{c}$, 其中 c 是光速。

$$T \approx T_0 + \frac{\Delta d(t)}{c} = T_0 + \frac{R_E \omega T_0 \sin \omega t}{c}.$$

$T \sim t$ 图略。当 $\omega t = \frac{\pi}{2}$ 时观测者观测到最大周期; 当 $\omega t = \frac{3\pi}{2}$ 时观测到

最小周期;当 $\omega t = 0$ 和 π 时观测到真实周期。

e. 由

$$T_{\max} = T_0 + \frac{R_E \omega T_0}{c},$$

得

$$\frac{R_E \omega T_0}{c} = 15 \text{ s}$$

因而

$$c = \frac{R_E \omega T_0}{15}.$$

以 $R_E = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$, $\omega = 0.0158 \text{ rad/day} = 1.82 \times 10^{-7} \text{ rad/s}$,
 $T_0 = 42 \text{ h} 28 \text{ m} 16 \text{ s} = 152896 \text{ s} = 1.53 \times 10^5 \text{ s}$ 代入上式,得

$$c = \frac{149.6 \times 10^6 \times 1.82 \times 10^{-7} \times 1.53 \times 10^5}{15} = 2.78 \times 10^5 \text{ km/s}.$$

我们可估算由距离平方比 $\left(\frac{R_E}{R_J}\right)^2$ 产生的相对误差约为 4%, 由时间测量产生的相对误差约为 $\frac{0.5}{15} \times 100\% = 3.4\%$, 故总的相对误差约 7.4%。
另一误差来自轨道为圆形的假定, 实际上轨道是椭圆的, 其相对误差约为

$$100\% \times \frac{R_{E\max} - R_E}{R_E} \approx 1.5\%.$$

f. 我们可用推广的开普勒定律, 或对月球 m 绕地球做圆周运动和卫星 M 绕木星做圆周运动应用牛顿定律计算木星质量。由此得

$$\frac{M_J}{M_E} = \left(\frac{T_{mE}}{T_M}\right)^2 \left(\frac{R_M}{R_{mE}}\right)^3,$$

$$M_J = 316 M_E = 1.887 \times 10^{27} \text{ kg}.$$



理论题 2 α 粒子的检测

我们一直受到自然的和人为的辐射。随着核反应堆的发展和放射

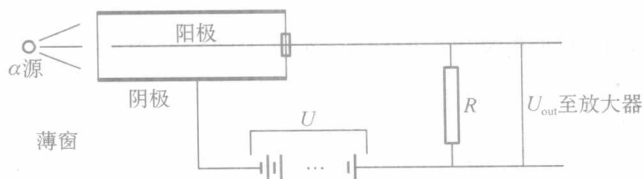
性同位素在农业、工业、生物及医药方面的应用,人造放射源的数目每年都在增加。 α 粒子就是从放射材料发射出来的一种辐射(α 粒子也就是二次离化的氦原子,它带有 2 个单位正电荷,具有 4 个核质量单位)。

利用电学方法检测 α 粒子的原理是基于当 α 粒子通过气体或其他物质时,会使气体或其他物质电离。在标准大气压下, α 粒子的平均电离程 R_a 与其能量 E 的经验关系为

$$R_a = 0.318E^{\frac{3}{2}},$$

其中 R_a 以 cm 为单位, E 以 MeV 为单位。

为了检测由放射源(α 源)放射出来的 α 粒子,可以采用充满气体的电离室作为(α 粒子)探测器,其原理图如图 1 所示。 α 粒子通过气体时使气体电离,由此产生的正负电荷分别跑向阴极和阳极,阴极和阳极收集电荷后产生脉冲电压,这个脉冲电压可被检测、放大和记录。阳极和阴极的电势差保持足够高,以致在正负电荷到达阴极和阳极的过程中产生电荷复合的数量可忽略不计。



题 2 图 1 电离室电路原理图

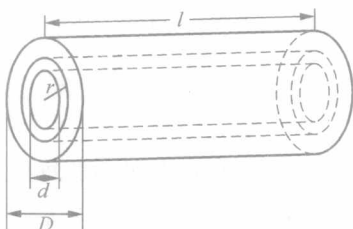
a. 一个电容为 45 pF 的电离室系统被用来检测电离程为 5.50 cm 的 α 粒子。假定在空气中产生一个离子对所需的能量为 35 eV(离子对由一个较轻的负电子和一个较重的正离子组成,两者均带一个电子电量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C),则每个 α 粒子产生的脉冲电压的峰值是多少?(设图中 R 值很大)

b. 由 α 粒子产生的脉冲电压将出现在电阻 R 的两端,假定这一装置可以测量的饱和电流的最小值为 10^{-12} 安培(饱和电流值大体为常量,这时电极以与入射 α 粒子产生电离的速率相同的速率收集正负电荷)。

假定该检测系统的检测效率为 10%， α 粒子的电离程 R_α 为 5.50 cm，计算利用该检测系统所能测到的 α 放射源的最小活度 A (即每秒钟由 α 放射源产生的 α 粒子数)。

c. 利用上述电离室对由 α 粒子产生的脉冲进行计数。欲使该测量系统的时间常数 $\tau = 10^{-3}$ 秒，计算电阻值 R 。如果要产生 0.25 V 的脉冲电压信号，所需的脉冲放大器的放大倍数为多少？

d. 如图 2 所示，电离室具有圆柱形的电极板。对于采用这样电离室的计数器，设中心的金属圆柱阳极和外面的薄金属圆柱形阴极的直径分别为 d 和 D 。当阳极单位长度上带有电荷 λ 时，导出距圆柱阳极轴心为 r 处的电场强度 $E(r)$ 和电势 $U(r)$ (假定 $\frac{d}{2} \leq r \leq$



题 2 图 2 圆柱形电离室

$\frac{D}{2} \ll l)$ ，并导出电离室单位长度的电容。设空气的击穿电场强度 E_b 为

$3 \text{ MV} \cdot \text{m}^{-1}$ (当空气中电场强度最大处的场强大于 E_b 时空气将被击穿)。如果 $d = 1 \text{ mm}$, $D = 1 \text{ cm}$ ，计算当击穿发生时，阳极和阴极间的电势差。

数据：

1 pF (皮法) $= 10^{-12} \text{ F}$ (法拉), $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$ (电子伏特), 1 Ci (居里) $= 3.7 \times 10^{10} \text{ dis} \cdot \text{s}^{-1}$ (衰变 / 秒) (衰变 / 秒在本题中即每秒 α 粒子的产生数) $= 10^6 \mu\text{Ci}$ (微居里) (居里是活度的基本国际单位), $\int \frac{dr}{r} = \ln r + C$ (常数)。



理论题 2 参考解答

a. 由给出的电离程—能量关系和题中提供的数据得

$$E = \left(\frac{R_\alpha}{0.318} \right)^{\frac{2}{3}} \text{ MeV} = \left(\frac{5.50}{0.318} \right)^{\frac{2}{3}} = 6.69 \text{ MeV}.$$

因 $E_{\text{离子对}} = 35 \text{ eV}$, 则

$$N_{\text{离子对}} = \frac{6.69 \times 10^6}{35} = 1.9 \times 10^5 \text{ 对}。$$

电压脉冲的大小为:

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{N_{\text{离子对}} e}{C}。$$

以 $C = 45 \text{ pF} = 4.5 \times 10^{-11} \text{ F}$ 代入, 得

$$\Delta U = \frac{1.9 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-19}}{4.5 \times 10^{-11}} = 0.68 \text{ mV}。$$

b. 活度为 A (放射源每秒发射的 α 粒子数) 的放射源发出的 α 粒子进入效率为 0.1 的探测器后产生的电子将产生收集电流

$$\begin{aligned} I &= \frac{Q}{t} = 0.1 \times A N_{\text{离子对}} e \\ &= 0.1 \times A \times 1.9 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ A} \\ &= 1.9 \times 1.6 \times 10^{-15} A \text{ A}。 \end{aligned}$$

以 $I_{\min} = 10^{-12} \text{ A}$ 代入, 得

$$A_{\min} = \frac{10^{-12}}{1.9 \times 1.6 \times 10^{-15}} \text{ dis} \cdot \text{s}^{-1} = 3.3 \times 10^2 \text{ dis} \cdot \text{s}^{-1}。$$

因 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dis} \cdot \text{s}^{-1}$, 于是

$$A_{\min} = \frac{3.3 \times 10^2}{3.7 \times 10^{10}} = 8.9 \times 10^{-9} \text{ Ci}。$$

c. 时间常数

$$\tau = RC (\text{其中 } C = 45 \text{ pF}) = 10^{-3} \text{ s},$$

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{10^{-3}}{45 \times 10^{-12}} = 22.22 \text{ M}\Omega。$$

在(a)问中已求出由能量为 6.69 MeV 的 α 粒子在电离室阳极引起的电