

国际天文奥赛

——简介、解答题和题外话

2022届(2)班 HF AA13.0 郭雨泽

2022.1.24

首先要说明

下面具体有关学术的内容可能会比较困难, 主要针对以国际天文奥赛为目标的同学准备

当然, 听不懂具体的数学工具很正常, 重要的是理解分析问题的思想, 以及方法.

同时也会瞎扯一些不常见的知识点, 能懂最好, 不懂就当是为以后大学会学的东西做点心理准备. 总而言之, 目的不在于教实际的知识, 而是开拓自己的视野

首先就从介绍竞赛开始罢

天文竞赛的基本流程(广东)

广东省赛初赛(理论笔试)

广东省赛复赛(实测笔试+观测)

全国中学生天文知识竞赛决赛(理论笔试+星图/目视+望远镜)
&选拔赛(理论+实测)

国际天文奥赛国家集训队

国际天文奥赛(IOAA, IAO, APAO)

全国中学生天文知识竞赛(CNAO)决赛

每年4-5月

100分理论(选择40+解答60), 20分星图, 20分望远镜

联欢会, 熬夜, 串门.....

零食

解答题宁可瞎写不要不写, 选择题宁可不选不要瞎选



国际天文奥赛国家集训队选拔赛

题量: 3道理论, 2道实测(2019年为1道)

内容同决赛理论, 难度加大

时间: 4.5小时

入选条件: 决赛拿牌, 选拔赛靠前者优先

注意: 选拔赛成绩可能与**国家队**直接挂钩

三大国际天文奥赛

国际天文奥林匹克竞赛(IAO), 自1996年举办, 由欧亚天文学会主办, 题目极具特色

亚太天文奥林匹克竞赛(APAO), 自2005年举办, 同样由欧亚天文学会主办, 主要是为没有资格参加IAO的选手准备(~~说白了就是低配IAO~~)

国际天文与天体物理奥林匹克竞赛(IOAA), 自2007年举办, 其出现是由于参加IAO的部分国家希望举办更加民主, 规模更大的国际竞赛. (参考: IRAO2021参赛国16, IOAA2021参赛国48)

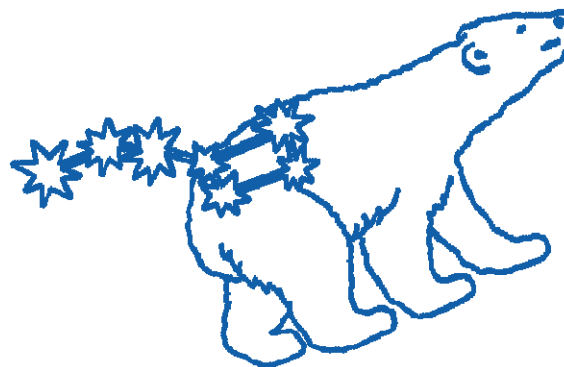
(IOAA也是业内人士普遍认为唯一能和IPhO等相提并论的国际奥赛)

IAO&APAO

主办: 欧亚天文学会(RUS)

主席: Michael G. Gavrilov

官方语言: 英语&俄语



领队在考试前才拿到试题, 手写翻译

他人吐槽: 理论答案会翻回英语, 实测不会(大大的?)

最佳画熊奖

IAO在2020年未办, APAO已经跳票2年(

IAO&APAO经典老题一览

在地球上的什么地方和什么时候能观测到时间最长的日出？并估计其日出的时间长度.

请估算恒星牛郎星的密度

你或许已经注意到了在我们所住的公寓的右边有一群猫，其中四只看上去是纯黑色的. 估算一只黑猫的绝对星等为多少，假设它是一个绝对黑体.

我们接收到来自地外文明的一个信息，你的任务是破译它. 这个信息是：

10001100010011001001001001100111100100110010010010011001001000110

这是全部信息，不是它的一部分.

IOAA

IOAA有独立的组织机构, IB由所有参赛国的两位领队构成, 他们会开会讨论IOAA的各项事宜, 以及在正式比赛之前对LOC的题目进行讨论, 及时发现错题并替换或删除.

~~(吕斤曾表示很讨厌现任来自印度的秘书的曰↓音↑并称要取代他)~~

IOAA从开幕式到闭幕式期间要求所有选手上交电子设备, 领队不能和选手有任何交流或接触

IOAA的官方语言为英语, 会有中文翻译, 但解答不会再翻译

IOAA仅有高年组

IOAA

理论: 十五道左右题目, 难度与题目长度正相关, 时长5小时, 300分

实测: 2道, 3或4小时, 150分

观测: 每年都有变化, 一般少不了星图和望远镜, 大家分都蛮低的

团队赛: 看主办国的组织能力, 17年玩逃生游戏(换皮做题), 18年测山峰高度, 21年直接给数据做题

IOAA 2021

第一届线上IOAA, 也应该是第一届要求考试时使用自带电脑的IOAA(太阳物理)

鸽: 太阳物理考试延迟2小时开始, 闭幕式延迟3小时开始, 以及到现在连题目都没有公布(恼)

JHelioviewer: 欧空局服务器在考试当天被几百名选手炸崩, 考完试后立即恢复正常

哥伦比亚人蛮会跳舞的

非学术部分到此结束

下面开始讲解竞赛中的解答题的几个类型

解答题

解答题在国决中占有最大比例的分数, 所谓赢大题者赢天下(~~至少我的观测都是被大题救的~~)

解答题做得好, 选择计算差不了(大概)

国决以上的比赛都是大题

解答题答案错了过程还能拿分(~~物理组同学是这样的~~)

前言：天文竞赛对数理水平的要求(个人意见)

所谓要求,指的是所有题目都能做对所需的水平,不过分强求

基础: 高中数学(基本初等函数, 向量, 圆锥曲线)

高中物理力学部分(开普勒定律, 牛顿运动定律, 万有引力定律, 能量, 动量), 以及角动量, 引力势能

高年组: 应当初步掌握单变量微积分(2018&2019国决, 2019&2020选拔赛均已出现求导, 积分和解微分方程)

提示: IOAA2021出现引力场高斯定理, 这个到底要不要涉及看自己实力, 学物理竞赛的同学想必已经信手捏来

热身(确信)

(IOAA2019) 南→东→北

假设地球是一个半径 $R = 6378$ km 的刚性正球体, 表面为平滑的刚体. 在地球表面存在一些这样的点, 我们从那里出发先向南6378千米, 再向东6378千米, 再向北6378千米, 就会回到出发的位置. 找到这些点和路径. 计算这些转向点的地理坐标, 并画出路径.

为了简单起见, 我们用 0° 到 $+360^\circ$ 来标定从格林威治向东的经度, 用 0° 到 $+90^\circ$ 来标定赤道向北的地理纬度, 用 0° 到 -90° 来标定赤道向南的地理纬度. 由于地球是旋转对称的, 从不同的子午圈出发的情况不会被认为不同的解决方案.

现在不要求算出具体坐标, 你能画出多少种情况?

天体测量——角度计算的两种方法

(2019年选拔赛) 流浪地球

今年大年初一上映的电影《流浪地球》可谓开启了中国现代科幻电影元年, 获得了口碑和票房的双丰收. 剧中, 重启行星发动机的剧情也让人津津乐道. 假设某救援队从位于中国乌鲁木齐的基地出发, 开飞机运送火石救援位于印尼苏拉威西的转向发动机, 基地位置为: $43^{\circ}51'1.95''\text{N}$, $87^{\circ}34'2.54''\text{E}$; 转向发动机位置为: $0^{\circ}23'32.64''\text{S}$, $119^{\circ}55'51.92''\text{E}$. 因为任务紧急, 出动救援队过多, 基地燃油储备不足, 这架飞机必须在途中的补给站进行燃油补给才能飞到印尼. 已知在飞行路线附近有两个补给站, 一个是重庆补给站, 位置为: $29^{\circ}33'31.10''\text{N}$, $106^{\circ}34'10.99''\text{E}$; 另一个是贵阳补给站, 位置为 $26^{\circ}34'57.54''\text{N}$, $106^{\circ}42'14.84''\text{E}$, 试问应该选择哪个补给站, 才能尽可能少绕路? 地球可视为球形, 请给出你的计算过程.

天体测量——角度计算的两种方法

问题一般化: 已知两天体(或别的物体)的球面坐标, 求球心夹角

暴力方法: 球面三角

$$\sin A \cos a = \sin t \cos \delta$$

$$\cos t \cos \delta = \cos A \cos a \sin \varphi + \sin a \cos \varphi$$

$$\sin \delta = -\cos A \cos a \cos \varphi + \sin a \sin \varphi$$

另解: 空间向量法

天体力学——物理的理论和思维

(2013决赛) 双星

天文学家将包围在恒星周围的特定空间称为洛希瓣, 在这个范围内的物质会受到中心天体的引力约束而在轨道上作环绕运动. 当恒星吸附的物质膨胀至洛希瓣的范围之外, 它们将摆脱恒星引力的束缚, 如果这种情况发生在双星系统中, 逃逸的物质将经由拉格朗日点落入另一颗子星的引力范围内. 某双星系统中两颗恒星围绕它们的质心在同一直线上旋转且正在发生物质交流, 已知某时刻两颗恒星质量分别为 m_1 和 m_2 ($m_1 > m_2$), 两个子星的距离为 r , 引力常量为 G , 不考虑系统与外部的物质交流.

(1) 求该时刻系统轨道周期 T .

(2) 如果一段时间后, 发现轨道周期 T 变短了(ΔT 远小于 T), 试通过计算确定两颗天体是相互靠近还是远离, 物质转移的方向是从 m_1 到 m_2 还是从 m_2 到 m_1 .

天体力学——物理的理论和思维

(2015年决赛) “新视野”号探测器

2015年7月, 美国宇航局的“新视野”号探测器将会飞掠冥王星. “新视野”号从地球上发射, 最后关闭动力引擎时相对于地球的速度是16.26千米/秒, 因此离开地球后, 它的绕日运行轨道近似为抛物线, 太阳位于焦点处. 为增加速度, 它在飞往冥王星的过程中曾利用了木星的引力弹弓效应进行加速. 请画出它的绕日轨道示意图, 并据此估算它从地球飞行到木星所用的时间.

提示:

- (1) 假设地球和木星公转轨道为圆形;
- (2) 阿基米德曾经发现, 抛物线 $y = x^2$ 在区间 $[a, b]$ 内的曲线下的面积, 也就是直角坐标系下 $y = x^2$ 、 $y = 0$ 、 $x = a$ 、 $x = b$ 四条曲线围成的面积, 等于 $(b^3 - a^3)/3$.

题外话——天体力学中的常用二级结论

轨道总机械能

能量与轨道类型

能量, 角动量与轨道参数

力与能量的关系

题外话的题外话——天文学中的守恒

动量守恒

机械能守恒, 质能守恒

角动量守恒

*磁通量守恒

一颗主序星的半径为 $R = 4R_{\odot}$, 质量为 $M = 6M_{\odot}$, 平均磁场强度为 $1 \times 10^{-4} \text{ T}$ (特斯拉). 请计算当这颗主序星演化为半径为 20 km 的中子星时, 其磁场的平均强度.

天体力学——物理的理论和思维

潮汐力专题

(IOAA2008) 太阳和月球的引力作用导致了海潮的涨落. 考虑在地球赤道上的两点A和B, 而且A点在海平面. A点和B点间的经度差为 φ . 如果月球在B点的天顶, 请推导在A点的由于月球引力所导致的海水的水平加速度. (请用 φ 、地球的半径 R 和地月距离来表示)

天体物理——大杂烩

个人习惯上把除纯考常识, 天体测量和天体力学以外的题统统归为天体物理(包括望远镜, 光度学, 及其它物理理论背景的题)

这方面的考题可以参考IAO

因为.....

天体物理——大杂烩

(2020年决赛) 新智慧星颗粒的命运

今年新智慧星(Neowise)吸引了无数眼球. 一般彗星会释放出不同尺寸的颗粒, 假设一个脱离了彗核的彗星颗粒(其尺寸为 D)在太阳系内只受到太阳的万有引力和太阳辐射压力的作用, 则存在一个彗星颗粒临界尺寸 D_0 , 使得该颗粒受到的引力和辐射压力平衡, 请估算 D_0 的值, 并说明尺寸大于 D_0 和小于 D_0 的Neowise彗星颗粒的命运将分别是什么?

(2019年IAO) 彗星放出的颗粒

彗星会释放出不同尺寸的颗粒. 请估算, 当彗星放出的颗粒尺寸 D 在多大以上时, 它将不会因为太阳的辐射压而被最终推出太阳系?

请注意, 如果你能先推导出公式, 而后再代入数值的话, 你将得到更多的分数.

天体物理——大杂烩

光压专题

天体物理——大杂烩

(2016年选拔赛) 假星

小明决定拍摄一张带地景的猎户东升星野照片, 使用镜头的焦距为24 mm, 参数为ISO 3200, $f/2.8$, 曝光时间20秒. 他的朋友小刚想和他开个玩笑, 于是带了一个闪光灯, 来到小明拍摄方向上距离小明2千米远的地方. 在小明拍摄时, 小刚用闪光灯闪了一下光, 于是在小明的照片上制造了一颗假星. 已知这个闪光灯的闪光持续时间为 $1/250$ 秒, 其闪光亮度如下: 使用它对于距离闪光灯和相机都是1.5米的物体拍照时, 摄影条件(包括感光度、光圈等)与在日光下使用大约 $1/2000$ 秒的曝光时间对同一物体拍照是一样的.

请估算在小明照片上假星的星等.

天体物理——大杂烩

(2006年IAO) 假星

白熊(已经在第7、8、9、10届国际天文奥赛中遇到过了)决定把一台望远镜接一个胶片照相机来拍星座照片. 使用的曝光时间是5分钟量级. 他的朋友企鹅正好特别爱开玩笑, 带了一个照相的闪光灯. 企鹅打算在白熊拍接近地平线的星座时捉弄白熊, 在他的星空图像里多“放”一颗星. 企鹅坐在白熊的望远镜拍照的地方(当然, 相对地远离望远镜-距离2.5千米), 在曝光期间朝着相机闪了一下(发出一个光脉冲).

估算在白熊的图像里假星的星等. 需考虑闪光灯脉冲的参数. 使用闪光灯对于(离闪光灯和相机都是) 1.5 m距离拍摄物体的摄影条件(底片的感光度、光圈)应该跟在日光下使用大约 $1/1000$ 秒的曝光时间对同一物体拍照是一样的. 解答时必须包括一幅有望远镜、熊和企鹅图像的图.

天体物理——大杂烩

(2018年决赛) 霍金辐射

在本题中, 你会一步一步地推导黑洞的霍金辐射表达式. 在这里, 黑洞的模型为没有自旋、不带电荷的史瓦西黑洞; 由于严格的计算需要用到量子场论的知识, 在一些细节上你只需要正确估计量级.

- (1) 请写出质量为 M 的史瓦西黑洞的视界半径 r_s ; 如果你不会, 你可以从牛顿力学出发, 计算质点 M 在逃逸速度为光速 c 时对应的半径.
- (2) 考虑量子效应后, 理论上光子可以从这一黑洞中逃逸出来, 我们认为这时光子的波长 λ 应与黑洞视界面的典型尺度相当. 光子的温度可以表示为 $T = E/k_B$, 其中 k_B 为玻尔兹曼常数, E 为光子的能量. 则光子的温度是多少?
- (3) 假设黑洞以上方式辐射光子, 则黑洞辐射的功率是多少?
- (4) 黑洞的寿命 τ 和黑洞初始质量 M_0 的几次方成正比?

题外话——偶尔会用到的热力学

分子动理论: 气体压强, 麦克斯韦速率分布, 方均根速率

理想气体状态方程

热力学第一定律

模型的类比迁移

题外话——偶尔会用到的热力学

(2018年选拔赛) 计算奥陌陌进入太阳系引力范围前, 在星际空间内穿行的速度; 假设太阳系附近空间中恒星的平均间距为2 pc, 每颗恒星的引力范围为10 AU, 则在奥陌陌探访太阳系之前, 它大约在星际空间内穿行了多长时间? 这一时间长度和宇宙年龄的比值是多少?

平均自由程模型

最后试道题罢

(IOAA2009) 太阳的热核反应会引起太阳质量减少, 请计算在100年内太阳的这种质量减少能够引起地球公转轨道半径的增加量. 假定在此过程中地球一直保持正圆轨道.

看看大家还有没有想让我讲的东西

没有的话就吹水罢(水时间用)

完！