



大学生物理竞赛试题赏析(V)

——近代物理部分

刘家福 张昌芳

(装甲兵工程学院物理室 北京 100072)

(收稿日期:2015-08-06)

摘要:本文首先对全国部分地区大学生物理竞赛中近代物理试题所占的比例、各知识点的分布情况进行统计,然后对近代物理试题的特点进行剖析.

关键词:大学生物理竞赛 近代物理试题 基本要求

由北京物理学会和北京高校物理教学研究会举办的全国部分地区大学生物理竞赛具有30年的历史,笔者对其影响有切身的体会,对其意义^[1,2]有深刻的认识.10余年来,笔者始终关注该项赛事,搜集、研究了其所有试题.本文是笔者对历届近代物理试题进行研究的总结,主要是对近代物理试题进行统计,并对试题的特点进行剖析,希望能为日常教学、参赛选手的学习准备及竞赛辅导工作提供参考.

1 近代物理试题及其在竞赛中的占比

教育部教指委2010年编制发布的《理工科类大

学物理课程教学基本要求》^[3](以下简称《基本要求》)将大学物理课程内容分解为11个板块,第六、第七和第九板块分别为“狭义相对论力学基础”、“量子物理基础”和“核物理与粒子物理”.本文所分析的即是这些内容范围内的试题.

基于同样的原因^[2],本文所采用的试题样本为非物理类A组试题,而且将每一届的理论题总分数均折合为100分.

在表1中,我们列出了历届竞赛近代物理试题的总分数.其中,“沪津”指1988年上海、天津两市的大学生物理竞赛.

表1 历届大学生物理竞赛近代物理试题的总分数统计

届次	第1届	第2届	第3届	第4届	第5届	沪津	第6届	第7届
近代物理试题分数/分	7.5	2.2	19.2	15.2	14.0	17.3	2.8	6.1
届次	第8届	第9届	第10届	第11届	第12届	第13届	第14届	第15届
近代物理试题分数/分	11.2	4.1	6.0	4.9	8.8	5.9	5.0	5.2
届次	第16届	第17届	第18届	第19届	第20届	第21届	第22届	第23届
近代物理试题分数/分	8.6	4.8	21.0	7.6	15.2	6.7	6.8	25.0
届次	第24届	第25届	第26届	第27届	第28届	第29届	第30届	
近代物理试题分数/分	19.2	6.7	7.5	3.8	3.8	3.8	3.8	

从表1的数据看,近代物理试题的最高(第23届)、最低(第2届)占比相差超过10倍,前26届的占比忽上忽下,没有任何规律可循;在最近4届竞赛中,近代物理试题的占比稳定在3.75%(每届一道

“狭义相对论力学基础”或“量子物理基础”的填空题).全部31套试题中,近代物理试题的平均占比为9.0%.《基本要求》建议《近代物理》授课不少于26学时,而整个课程不少于126学时,竞赛中近代物理

试题的分数占比不及《基本要求》建议的《近代物理》学时占比的一半. 近几届的占比更低, 主要是考虑到每年12月初举行竞赛时, 部分高校的大学物理课程尚未结课.

2 近代物理试题各知识点的分布

《基本要求》将“狭义相对论力学基础”内容分解为A类知识点(为核心内容, 本科生学习大学物

理课程应达到的最低要求)4条、B类知识点(为扩展内容, 体现加强基础教育, 增强学生发展潜力)3条; 将“量子物理基础”分解为A类知识点10条、B类知识点4条; 将“核物理与粒子物理”分解为B类知识点6条. 在31套试题中, 直接考核到的只有8条A类知识点和5条B类知识点, 其他6条A类知识点和8条B类知识点从未直接考核. 表2列出了直接考核到的各条知识点在历届竞赛中所占比重的平均值.

表2 《近代物理》各考核到的知识点在竞赛试题中的平均占比

	知识点	类别	平均占比/%
狭义相对论力学基础	迈克耳孙-莫雷实验	B	0.10
	洛伦兹坐标变换和速度变换	A	0.12
	同时的相对性、长度收缩和时钟延缓	A	1.14
	相对论动力学基础	A	1.66
	能量和动量的关系	B	0.32
量子物理基础	黑体辐射、光电效应、康普顿效应	A	2.30
	戴维孙-革末实验、德布罗意的物质波假设	A	0.42
	玻尔的氢原子模型	B	0.35
	不确定关系	A	0.21
	氢原子的能量和角动量量子化	A	1.38
	电子自旋; 施特恩-格拉赫实验	A	0.07
核物理与粒子物理	放射性衰变、辐射剂量	B	0.44
	守恒定律	B	0.11

在历届竞赛中, 考核次数最多的是“黑体辐射、光电效应、康普顿效应”(14次), 紧随其后的是“相对论动力学基础”(11次)、“氢原子的能量和角动量量子化”(8次)和“同时的相对性、长度收缩和时钟延缓”(8次), 这个次序与它们的平均占比一致; 只考核了1次的知识点有“迈克耳孙-莫雷实验”(第3届)、“洛伦兹坐标变换和速度变换”(第19届)、“玻尔的氢原子模型”(第24届)、“电子自旋; 施特恩-格拉赫实验”(第2届)和“守恒定律”(沪津).

3 近代物理试题的特点

3.1 大多数试题相对简单

绝大多数近代物理试题只需要简单的逻辑性思维方法就能够得到解决. 也就是说, 如果考生牢固地掌握了基本概念、基本原理, 受到过基本的分析问题的方法训练, 就可以解决绝大多数问题. 所有的近代物理试题都不需要综合性思维方法^[4]求解, 绝大多数试题的求解过程只需要寥寥几个步骤, 只有极少数试题需要细心一些, 或者比较综合性一些.

这里所说的“简单”只是相对而言. 在日常教学

过程中, 我们发现大多数学生对近代物理有畏惧心理. 虽然他们在中学学习阶段已经接触到狭义相对论和原子物理, 但是, 他们相信只有爱因斯坦这样的科学伟人才能弄透相对论, 他们习惯于以经典方式分析自己生活在其中的这个宏观世界里的物质运动, 而对微观世界里物质的量子行为则感到莫名的深奥. 再加上课程进度的原因(竞赛举行的时候, 量子物理的内容刚刚学完, 有的甚至还没有学完; 有的可能也刚刚学完相对论; 大多数的非物理类专业并不选学核物理和粒子物理内容), 在多数学生眼里, 近代物理试题就是“难”.

3.2 较有难度的试题多属狭义相对论范畴

纵观全部31套竞赛试题, 只有为数不多的题目需要细心一些, 有的综合性强一些, 求解的步骤多一些. 笔者在教学中, 常在课堂上讲解这些问题, 发现学生存在一定程度的理解困难, 现举几例.

【例1】^[5]一飞船装有无线电发射和接收装置, 正以速度 $v=0.6c$ 飞离地球. 当它发射一个无线电信号, 并经地球反射, 40 s后飞船才收到返回信号. 试求:

(1) 当信号被地球反射时刻,从飞船参考系测量,地球离飞船有多远?

(2) 当飞船接收到地球反射信号时,从地球参考系测量,飞船离地球有多远?

学生认为这个问题比较困难,难在他们思维上的纠结——信号返回的过程中,地球还在远离,该如何分析地球的远离运动对信号返回的影响呢?其实,信号返回与地球的运动没有任何关系(并不存在一条绳子让地球拽着信号),在飞船参考系观察,信号往返的时间均为 20 s.

该题的第(2)问可直接利用洛伦兹时空坐标变换求解(除此之外,该问还有其他解法,可参考文献[6]).

【例 2】^[7] 如图 1, 惯性系 S 中有两静质量同为 m_0 的粒子 A 和 B , 它们的速度分别沿 x 和 y 方向, 速度大小分别为 $0.6c$ 和 $0.8c$. 某时刻粒子 A 位于 xy 平面上的 P 处, 粒子 B 也在 xy 平面上.

(1) S 系认定再过 $\Delta t = 5$ s, A 和 B 会相碰, 试问 A 认为还需经过多长时间 Δt_A 才与 B 相碰?

(2) A 认为自己位于 S 系 P 处时, 粒子 B 与其相距 l , 试求 l .

(3) 设 A 与 B 碰后粘连, 且无任何能量耗散, 试在 S 系中计算粘连体的静止质量 M_0 .

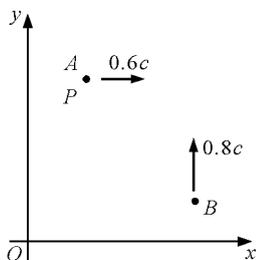


图 1

这是一个十分典型的综合性试题, 既涉及到相对论运动学中的速度变换和时钟延缓, 又要用到相对论动力学中的总能量守恒、动量守恒及质速关系, 求解过程比较复杂, 不仅能够考核学生对这些知识的理解与掌握程度, 也能考核他们综合运用这些知识分析、解决问题的能力.

【例 3】^[8] 惯性系 S 和 S' 间的相对运动关系如图 2 所示, 其间相对速度大小为 v . S' 系的 $O'-X'Y'$ 平面中有一根与 X' 轴平行的细杆 AB . 杆长 l_0 , 在 S' 系中沿 Y' 方向匀速平动, 速度大小也为 v . S 系测得杆 AB 与 X' 轴夹角绝对值 $|\theta| =$ _____, 杆长 $l =$

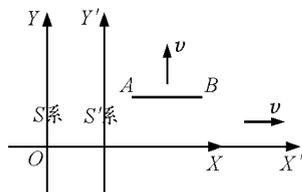


图 2

这个问题乍看起来似曾相识, 因为笔者在学习和准备教学的过程中遇到过很多的“动杆”问题. 仔细琢磨, 才发现这个问题的与众不同: 在 S' 系中, 杆与 X' 轴平行, 而运动方向却是沿 Y' 轴. 坦率地说, 笔者也是第一次遇到这样的问题. 慎重起见, 笔者查阅了自己的藏书, 还专门去两家图书大厦查阅资料, 一无所获. 后来, 经与其他同事讨论, 群策群力, 才最终得出解答——该题的求解过程其实只用到洛伦兹时空坐标变换(有兴趣的读者不妨动手一试, 答案为: $\arctan \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^2}}, \sqrt{1-\beta^2} + \beta^2 l_0$, 其中 $\beta = \frac{v}{c}$).

【例 4】 在惯性系 S 中, 有一个静止质量为 m_0 的粒子, 以速度 u_0 从原点开始沿 x 轴正方向运动, 运动中始终受一个沿 y 轴正向的恒力 F 的作用. 在考虑相对论效应的情况下

(1) 求 t 时刻粒子的动量、总能量和速度(只要将动量和速度写成分量形式);

(2) 讨论 $t \rightarrow \infty$ 的极限情况下速度各分量为何?

这道题不是取自大学生物理竞赛, 之所以把它拿来与读者诸君分享, 是因为笔者一直感到它有竞赛试题的范儿. 1999 年秋季学期期末, 北京市搞了一次普通高校大学物理课程统考, 此题就是那次统考的最后一题. 我们批阅了 200 多份试卷, 完全答对此题的只有一人. 此题属于相对论动力学范围, 求解的出发点是动力学方程 $\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}$, 过程中用到的原理不多(能量—动量关系、质能关系), 步骤简单. 关键的问题在于, 绝大多数考生写错了粒子的初始动量. 正可谓“一着不慎, 满盘皆输”.

3.3 联系实际的题目太少

日常生活中我们观察到的物体的运动速度都远远低于光速, 而微观客体则是肉眼根本看不到的, 核武和核电也只有专家才会关心. 可能是这些原因, 竞赛的近代物理题目也很少贴近实际.

推导匀强电场中导体球的电荷面密度的简单方法

郑 金

(凌源市职教中心 辽宁 朝阳 122500)

(收稿日期:2014-11-14)

摘要:通过推导一个数学结论和电偶极子的场强公式,利用均匀带电球体内部场强公式、等量异号电荷模型、镜像电荷模型和偶极子模型以及等效法和叠加法,对匀强电场中导体球的电荷面密度的关系式给出两种巧妙的推导方法.

关键词:月牙形 导体球 等效法 电荷面密度

对于匀强电场中的导体球的电荷面密度关系式,在电动力学教材和一些物理文献中,是利用拉普拉斯方程和勒让德函数进行推导的,比较高深.下面利用一些等效物理模型和有关数学知识,对匀强电

场中的导体球感应电荷面密度关系式给出两种简单的推导方法.

首先推导一个简单的数学结论.如图1(a)所示,两个大小相等的圆不重合,相交于两点 M 和 N ,

第25届竞赛出了这么一道填空题^[9]:核潜艇中 U^{238} 核的半衰期为 4.5×10^9 年,衰变中有0.7%的概率成为 U^{234} 核,同时放出一个高能光子,这些光子中的93%被潜艇钢板吸收.1981年,前苏联编号U137的核潜艇透射到艇外的高能光子被距核源(处理为点状)1.5 m处的探测器测得.仪器正入射面积为 22 cm^2 ,效率为0.25%(每400个入射光子可产生1个脉冲讯号),每小时测得125个讯号.据上所述,可知 U^{238} 核的平均寿命 $\tau = \underline{\hspace{2cm}}$ 年($\ln 2 = 0.693$),该核潜艇中 U^{238} 的质量 $m = \underline{\hspace{2cm}}$ kg(给出2位数字).

这个题目除了考核基本的物理原理(核衰变规律 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ 及半衰期、平均寿命与常量 λ 的关系)外,还考核学生是否能够正确理解和运用题目中所给的各个数据.笔者以为,该题比较贴近实际,能够激发学生的联想和探索精神.

4 结语

本文对全国部分地区大学生物理竞赛近代物理试题进行了统计,分析了各条知识的占比情况,剖析了近代物理试题的特点.近代物理试题要求考生需具有扎实的知识基础,需要牢固掌握基本概念和原

理、具备基本的分析、解决问题的能力.在以后的竞赛中,期待命题专家能够设计一些联系实际(如航天、新能源、新材料等)的近代物理问题.

参考文献

- 1 刘家福,张昌芳.大学生物理竞赛及其试题特色.物理与工程,2008,18(4):65
- 2 刘家福,张昌芳.大学生物理竞赛试题赏析(I)——力学部分.物理通报,2014(10):54~56
- 3 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会.理工科类大学物理课程教学基本要求.2010年版.北京:高等教育出版社,2010.1
- 4 刘家福,张昌芳.大学生物理竞赛试题赏析(III)——电磁学部分.物理通报,2015(5):43~47
- 5 工科物理编辑部.全国部分地区非物理类专业大学生物理竞赛题解汇编(第1~13届).北京:工科物理,1997.26
- 6 刘家福,赵丽丽.一个狭义相对论问题的多种解法.北京师范大学学报(自然科学版),2012,48(增刊):110
- 7 北京物理学会编印.第24届全国部分地区大学生物理竞赛试卷.2007.8
- 8 北京物理学会编印.第28届全国部分地区大学生物理竞赛试卷.2011.3
- 9 北京物理学会编印.第25届全国部分地区大学生物理竞赛试卷.2008.3