

张永德 主编

物理学大题典

A Grand Dictionary of
Physics Problems and Solutions

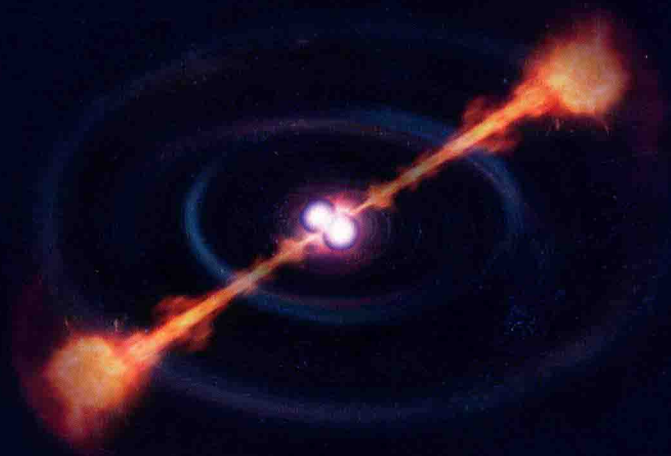
6

相对论物理学

Relativity Physics

第二版

强元荣 张鹏飞 杨建明 杨保忠 宫竹芳 / 编著
陈银华 尤峻汉 周又元 张家铝



科学出版社

中国科学技术大学出版社

物理学入门⑥ / 张永德主编

相对论物理学

(第二版)

强元荣 张鹏飞 杨建明 杨保忠 宫竹芳 编著
陈银华 尤峻汉 周又元 张家铝



科学出版社

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

“物理学大题典”是一套大型工具性、综合性物理题解丛书。丛书内容涵盖综合性大学本科物理课程内容：从普通物理的力学、热学、光学、电学、近代物理到“四大力学”，以及原子核物理、粒子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、激光物理、量子光学、量子信息等。内容新颖、注重物理、注重学科交叉、注重与科研结合。

《相对论物理学(第二版)》共8章，包括相对论时空和洛伦兹变换、狭义相对论的运动学、相对论力学、相对论时空变换对称性和有关应用、相对论在亚原子物理学中的应用、相对论电动力学、广义相对论和相对论宇宙学。

本丛书可作为物理类本科生的学习辅导用书、研究生的入学考试参考书和各类高校物理教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

相对论物理学/强元荣等编著. —2版. —北京: 科学出版社, 2018.9

(物理学大题典/张永德主编; 6)

ISBN 978-7-03-058789-3

I. ①相… II. ①强… III. ①相对论-题解 IV. ①O412.1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018) 第 209299 号

责任编辑: 昌盛 罗吉 / 责任校对: 张凤琴
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 华路天然工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路96号

邮政编码: 230026

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年9月第 二 版 印张: 24 1/2

2018年9月第一次印刷 字数: 578 000

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“物理学大题典”编委会

主 编 张永德

编 委 (按姓氏拼音排序)

白贵儒	陈银华	程稼夫	范洪义	范扬眉	宫竹芳	顾恩普
郭光灿	胡友秋	金怀诚	李泽华	林鸿生	刘金英	刘乃乐
柳盛典	潘必才	潘海俊	强元荣	仝茂达	王冠中	王韶舜
翁明其	吴 强	许咨宗	轩植华	杨保忠	杨德田	杨建明
尤峻汉	张家铝	张鹏飞	张永德	章世玲	赵叔平	郑久仁
周又元	周子舫	朱栋培	朱俊杰			



丛书序

这套“物理学大题典”源自 20 世纪 80 年代末期的“美国物理试题与解答”，而那套丛书则源自 80 年代的 CUSPEA 项目 (China-United States Physical Examination and Application Program)。这套丛书收录的题目主要源自美国各著名大学物理类研究生入学试题，经筛选后由中国科学技术大学近百位高年级学生和研究生解答，再经中科大数十位老师审定。所以这套丛书是中国改革开放初期中美文化交流的成果，是中美物理教学合作的结晶，是 CUSPEA 项目丰硕成果的一朵花絮。

贯穿整个 80 年代的 CUSPEA 项目是由李政道先生提出的。1979 年李先生为了配合中国刚刚开始实施的改革开放方针，向中国领导建言，逐步实施美国著名大学在中国高校联合招收赴美攻读物理博士研究生计划。经李先生与我国各级领导和美国各著名大学反复多次磋商研究，1979 年教育部和中国科学院联合发文《关于推荐学生参加赴美研究生考试的通知》，紧接着同年 7 月 14 日又联合发出补充通知《关于推荐学生参加赴美物理研究生考试的通知》，直到 1980 年 5 月 13 日，教育部和中国科学院再次联合发文《关于推荐学生参加赴美物理研究生考试的通知》，神州大地正式全面启动这一计划。

1979 年最初实施的是 Pre-CUSPEA，从李先生任教的哥伦比亚大学开始，通过考试选录了 5 名同学进入哥大。此后计划迅速扩大，包括了美国所有著名大学在内的 53 所大学，后期还包括了加拿大的大学，总数达到 97 所。10 年 CUSPEA 共计录取 915 名中国各高校应届学生，进入所有美国著名大学。迄今项目过去 30 年，当年赴美的青年学子早已各有所成，展布全球，许多人回国报效，成绩斐然，可喜可慰。

李先生在他总结文章中回忆说^①：“在 CUSPEA 实施的 10 年中，粗略估计每年都用了我约三分之一的精力。虽然这对我是很重的负担，但我觉得以此回报给我创造成长和发展机会的祖国母校和老师是完全应该的。”文中李先生两次提及他已故夫人秦惠箴女士和助理 Irene 女士，为赴美中国年轻学子勤勤恳恳、默默无闻地做了大量细致的服务工作。编者读到此处，深为感动！这次丛书再版适逢中国科学技术大学 60 周年校庆，又承李先生题词祝贺，中科大、科学出版社以及丛书编者同仁都十分感谢！

苏轼《花影》诗：“重重叠叠上瑶台，几度呼童扫不开。刚被太阳收拾去，却教明月送将来。”聚中科大百多位师生之力，历二十余载，唯愿这套丛书对中美教育和文化交流起一点奠基作用，有助于后来学者踏着这些习题有形无迹的斑驳花影，攀登瑶台，观看无边深邃的美景。

张永德 谨识

2018 年 6 月 29 日

^① 李政道，《我和 CUSPEA》，载于“知识分子”公众号，2016 年 11 月 30 日。



前 言

物理学, 由于它在自然科学中所具有的主导作用, 在人类文明史, 特别是在人类物质文明史中, 占据着极其重要的地位. 经典物理学的诞生和发展曾经直接推动了欧洲物质文明的长期飞跃. 20 世纪初诞生并蓬勃发展起来的近代物理学, 又造就了上个世纪物质文明的辉煌. 自 20 世纪末到 21 世纪初的当前时代, 物理学正以空前的活力, 广阔深入地开创着向化学、生物学、生命科学、材料科学、信息科学和能源科学渗透和应用的新局面. 在本世纪里, 物理学再一次直接推动新一轮物质文明飞跃的伟大进程已经开始.

然而, 经历长足发展至今的物理学, 宽广深厚浩瀚无垠. 教授和学习物理学都是相当艰苦而漫长的过程. 在教授和学习过程许多环节中, 做习题是其中必要而又重要的环节. 做习题是巩固所学知识的必要手段, 是深化拓展所学知识的重要练习, 是锻炼科学思维的体操.

但是, 和习题有关的事有时并不被看重, 似乎求解和编纂练习题是全部教学活动中很次要的环节. 但从书编委会同仁们觉得, 这件事是教学双方的共同需要, 只要是需要的, 就是合理的, 有益的, 应当有人去做. 于是大家本着甘为孺子牛的精神, 平时在科研教学中一道题一道题地积累, 现在又一道题一道题地编审, 花费了大量时间做着这种不起眼的事. 正如一个城市的基础建设, 不能只去建地面上摩天大楼和纪念碑等“抢眼球”的事, 也同样需要去做修马路、建下水道等基础设施的事.

这套“物理学大题典”的前身是中国科技大学出版社出版的“美国物理试题与解答”丛书 (7 卷). 那套丛书于 20 世纪 80 年代后期由张永德发起并组织完成, 内容包括普通物理的力、热、光、电、近代物理到四大力学的全部基础物理学. 出版时他选择了“中国科学技术大学物理辅导班主编”的署名方式. 自那套丛书出版之后, 历经 10 余年, 仍然有不断的需求, 于是就有了现在的这套丛书——“物理学大题典”.

“题典”编审的大部分教师仍为原来的, 只增加了少许新成员. 经过大家着力重订和大量扩充, 耗时近两年而成. 现在这次再版, 编审工作又增加了几位新成员, 复历一年而再成. 此次再版除在原来基础上适当修订审校之外, 还有少量扩充, 增加了第 6 卷《相对论物理学》, 第 7 卷《量子力学》扩充为上、下两分册. 丛书最终为 8 卷 10 分册. 总计起来, 丛书编审历时近 20 年, 耗费近 40 位富有科研和教学经验的教授、约 150 位 20 世纪 80 年代和现在的研究生及高年级本科生的巨大辛劳. 丛书确实是众人长期合作辛劳的结晶!

现在的再版, 题目主要来源当然依旧是美国所有著名大学物理类研究生的入学试题, 但也收录了部分编审老师的积累. 内容除涵盖力、热、光、电、近代物理到四大力学全部基础物理学之外, 还包括了原子核物理、粒子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、激光物理、量子光学和量子信息物理. 于是, 追踪不断发展的科学轨迹, 现在这套丛书仍然大体涵盖了综合性大学全部本科物理课程内容.

这里应当强调指出两点: 其一, 一般地说, 人们过去熟悉的苏联习题模式常常偏重

基础知识、偏于计算推导、偏向基本功训练；与此相比，美国物理试题涉及的数学并不繁难，但却或多或少具有以下特色：内容新颖，富于“当代感”，思路灵活，涉及面宽广，方法和结论简单实用，试题往往涉及新兴和边沿交叉学科，不少试题本身似乎显得粗糙但却抓住了物理本质，显得“物理味”很足！纵观比较，编审者深切感到，这些考题的集合在一定程度上体现着美国科学文化个性及思维方式特色！唯鉴于此，大家不惮繁重，集众多人力而不怯，耗漫长岁月而不辍，是值得的！另外，扩充修订中增添的题目，也是本着这种精神，摘自编审老师各自科研工作成果，或是来自各人教学心得，实是点滴聚成。

其二，对于学生，的确有一个正确使用习题集的问题。有的同学，有习题集也不参考，咬牙硬顶，一个晚上自习时间只做了两道题。这种精神诚应嘉勉，但效率不高，也容易挫伤积极性，不利于培养学习兴趣；另有些同学，逮到合适解答提笔就抄，这样做是浮躁不踏实的。两种学习方法都不可取。编审者认为，正确使用习题集是一个“三步曲”过程：遇到一道题，先自己想一想，想出来了自己做最好；如果认真想了些时间还想不出来，就不要老想了，不妨翻开习题集找寻答案，看懂之后，合上书自己把题目做出来；最后，要是参考习题集做出来的，花费一两分钟时间分析解剖一下自己，找找存在的不足，今后注意。如此“三步曲”下来，就既踏实又有效率。本来，效率和踏实是一对矛盾，在这一类“治学小道”之下，它俩就统一起来了。总之，正确使用之下的习题集肯定能够成为学生们有用的“爬山”拐杖。

丛书第一版是在科学出版社胡升华博士倡议和支持下进行的，同时也获得刘万东教授、杜江峰教授的支持。没有他们推动和支持，丛书面世是不可能的。这次再版工作又承科学出版社昌盛先生全力支持，并再次获得中国科技大学物理学院和教务处的支持。对于这些宝贵支持，编审同仁们表示深切谢意。

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

本卷由丛书第一版《力学》卷第 12 章狭义相对论力学、《电磁学与电动力学》卷第 6 章相对论电动力学和《原子亚原子与相对论物理学》卷第四篇第 14 章高速粒子运动学、第五篇相对论组成，张鹏飞、杨建明负责统编，删掉各卷中的重复题目，并新增了不少题目，新增篇幅占百分之三十以上。

编审者谨识

2005 年 5 月

2018 年 8 月修改

题 意 要 览

- 1.1 简单叙述一下需要狭义相对论来解决的难题
- 1.2 菲佐实验 (I)
- 1.3 菲佐实验 (II)
- 1.4 航天旅行者和他地球上的朋友关于钟的读数
- 1.5 地球上某地发生的一个过程经历的时间为 Δt , 飞机上的观察者测得的此过程经历的时间
- 1.6 在地球上的观察者看来, 高速 μ 子能运动多远距离
- 1.7 与 A 钟相距 L 的 B 钟校准到与 A 钟时间一致
- 1.8 在两个坐标原点重合的时刻放在两个坐标原点的时钟指示同一时刻
- 1.9 到半人马星座的旅行
- 1.10 高速列车作匀速运动经过地面上 A、B 两点
- 1.11 一个惯性系同一地点先后发生两个事件在另一个惯性系发生的地点相距多远
- 1.12 运动车厢的后端沿运动方向发出一光信号, 经前端的平面镜反射回到后端
- 1.13 宇宙飞船 A、B 沿平行的轨道以恒定的相对速率相向而行
- 1.14 一艘火箭飞船飞经地球, 相遇时都把时间调整到 12 点整
- 1.15 米尺在其静止系 K' 系与 x' 轴的夹角为 30° , K' 系相对于 K 系运动
- 1.16 飞船中的观察者看短跑选手跑步
- 1.17 K' 系中先后发生的两个事件并不发生在同一地点
- 1.18 运动杆和一根静止的标有刻度的米尺一起拍摄在一张照片上 (I)
- 1.19 运动杆和一根静止的标有刻度的米尺一起拍摄在一张照片上 (II)
- 1.20 隧道佯谬
- 1.21 封闭的运动车厢中点光源的光通过圆孔出射
- 1.22 粒子在动参考系的 $x'y'$ 平面内匀速运动, 求静参考系中粒子运动方程
- 1.23 观测者 O 和 O' 以 $0.6c$ 的相对速度互相接近
- 1.24 打算访问距离我们 160000 光年的遥远星系
- 1.25 地球上的观测者用望远镜看飞船上观测者的时钟 (I)
- 1.26 地球上的观测者用望远镜看飞船上观测者的时钟 (II)
- 1.27 惯性系 K 中不同地点同时发生两个事件 A、B, 在相对于 K 匀速运动的 K' 系中测出的两事件发生的时间间隔
- 1.28 A、B 两钟在相对于某惯性系的一条直线上做方向相同、速率不同的匀速运动
- 1.29 一质点在惯性系 K' 中做匀速率圆周运动, 沿其轨道一条半径方向匀速运动惯性系 K 中测得的轨道 (I)
- 1.30 O 的参考系中有一个静止的正方形, 观察者 O' 沿正方形的对角线高速运动

- 1.31 一质点在惯性系 K' 中做匀速率圆周运动, 沿其轨道一条半径方向匀速运动惯性系 K 中测得的轨道 (II)
- 1.32 两根尺平行于 x 轴相向做匀速运动
- 1.33 对运动球拍照
- 1.34 原子钟被喷气式飞机带着绕地球一周后, 与没有动的精确同步的同样的钟比较
- 1.35 固定在 K' 系内 (x'_0, y'_0, z'_0) 点的时钟, 在 t'_0 时刻从 K 系内 (x_0, y_0, z_0) 点旁边经过
- 1.36 K' 系相对于 K 系的速度 V 并不平行于 x 轴的洛伦兹变换公式
- 1.37 三个参考系 K 、 K' 和 K''
- 1.38 由爱因斯坦设计的几个推理实验导出洛伦兹变换的结论
- 1.39 求运动中的玻璃块内的光相对于实验室系的速度
- 1.40 求作匀加速运动的观察者看到的星体分布
- 2.1 质点在 K' 系运动速度与 x' 轴的夹角与在 K 系中质点运动速度与 x 轴的夹角满足的关系
- 2.2 两根静止长度均为 l_0 的杆成一直线放置, 以相对于一个参考系匀速相向运动
- 2.3 两根静止长度相同的尺在某一参考系中以相同的速率 v 、互成 90° 角运动
- 2.4 在某一参考系 K 中, 两条飞船 A、B 分别以 $0.8c$ 及 $0.6c$ 的速率相向而行
- 2.5 已知在参考系 K 中物体 A 与 B 的速度, 求其相对速度
- 2.6 利用速度变换公式求菲佐实验中顺水速和逆水速两种情况下的光速
- 2.7 一束光通过运动的玻璃块, 求在玻璃块中光相对于实验室参考系的速度
- 2.8 火箭 A、B 相对于地球向不同方向飞行, 求火箭 A、B 的相对速度
- 2.9 K^0 介子衰变成一个 π^+ 介子和一个 π^- 介子
- 2.10 合成速度大小的表达式
- 2.11 不同惯性系的速度变换一般公式
- 2.12 辐射的前灯效应
- 2.13 光线角度在不同参考系的变化
- 2.14 光束立体角在不同参考系的变化
- 2.15 求做高速运动的观察者看到的星体分布
- 2.16 一无线电信号由地球上的观察者向飞离地球的宇宙飞船发出
- 2.17 惯性系 K 中观察到两宇宙飞船沿两直线相向平行飞行, 飞船①向飞船②投出包裹
- 2.18 观察者 1 看到粒子作匀速直线速度, 求观察者 2 测得的粒子运动的速度
- 2.19 一枚火箭相对于固连于自己的参考系以匀加速度 a_0 做直线运动
- 2.20 运动氢原子光谱线 H_δ 的波长
- 2.21 光源、地球上静止的观测者与相对地球运动的观测者
- 2.22 一辆汽车以每小时 120km 的速度接近一个汽车速度监视雷达站
- 2.23 高速火箭发出的绿光可对于地球上的观测者成为不可见
- 2.24 来自太阳赤道上相对两端辐射 H_α 线的波长差

- 2.25 分别在家与高速星际旅行的两个双生子发出和接收脉冲
- 2.26 一宇宙飞船高速飞行, 地球上每隔 1 年向飞船发一光脉冲, 飞船上的人也每隔 1 年向地球发一光脉冲
- 2.27 推导多普勒效应公式
- 2.28 真空中一般情形的光波多普勒效应
- 2.29 H_{β} 辐射的一级和二级多普勒频移
- 2.30 光的多普勒效应和光行差效应
- 2.31 光的多普勒效应
- 2.32 宇宙飞船上以恒定速度远离地球期间向地球发一信号脉冲, 并接收被地球反射回来的信号
- 2.33 动镜对光子的反射
- 2.34 动镜对垂直入射光子的反射
- 2.35 与银河系平面成直角的方位高速飞行时, 出现的光行差现象与多普勒效应
- 3.1 两个静质量均为 m 的粒子沿同一方向运动, 具有不同动量
- 3.2 静止带电粒子被均匀电场加速了一段时间
- 3.3 高速运动系统 π 介子出射
- 3.4 初速为零的相对论带电粒子在恒定均匀电场中的运动
- 3.5 相对论带电粒子在恒定均匀磁场中的运动
- 3.6 相对论粒子作圆轨道运动, 以同样大小的速率沿径向运动的观察者看粒子的轨道
- 3.7 相对论力学方程
- 3.8 相对论粒子的“纵向质量”和“横向质量”
- 3.9 推导固有加速度和相对论性三力表达式的共动系变换方法
- 3.10 粒子最初沿 x 轴运动, 后受到一个沿 y 方向的恒力作用
- 3.11 相对论带电粒子在均恒磁场中做圆周运动, 磁场和能量关系
- 3.12 相对论性 μ 子在高空中的运动
- 3.13 自由的相对论粒子的哈密顿函数和拉格朗日函数
- 3.14 相对论性带电粒子处在电磁场中的哈密顿函数
- 3.15 相对论性带电粒子在磁偶极场中的运动
- 3.16 带电粒子在恒定平面磁场中的运动
- 3.17 带电粒子在轴对称恒定磁场中运动时的一个守恒量
- 3.18 行星进动
- 3.19 库仑场中电子的椭圆轨道的相对论修正
- 3.20 星体的满足什么条件时, 光不能从星体表面逃逸
- 3.21 若一粒子的动能等于它的静能, 它的速度多大
- 3.22 用相对论粒子的动能表示它的动量的大小, 用相对论粒子的动量表示它的速度
- 3.23 已知粒子的静止质量和能量, 求该粒子的速率
- 3.24 π 介子的产生和衰变

- 3.25 100kg 铜的温度升高 100°C , 它的质量增加量
- 3.26 地球大气层中产生了 π^{+} 介子, 这个 π^{+} 介子竖直向下运动
- 3.27 手电筒接通开关并允许它沿一直线自由地运动
- 3.28 光子被一个静止电子所散射, 散射光子能量与散射角之间的关系
- 3.29 一个静止的 π^{+} 介子衰变为 μ 子和中微子
- 3.30 电子和正电子碰撞湮灭, 产生电磁辐射
- 3.31 运动粒子与静止粒子做完全非弹性碰撞
- 3.32 运动粒子的两体衰变
- 3.33 运动粒子与静止粒子做完全弹性碰撞
- 3.34 质子和反质子碰撞产生两静止质量相同的粒子
- 3.35 “光子火箭”获得的附加速度
- 3.36 光子在地球引力场中下落频率增加
- 3.37 相同静止质量两粒子的散射实验
- 3.38 静止质量不同两个粒子的正碰
- 3.39 K 介子衰变成一个 μ 子和一个中微子
- 3.40 处于激发态的原子核通过辐射 γ 光子返回基态
- 3.41 静止粒子的两体衰变
- 3.42 静止的电子偶湮灭时产生两个光子, 其中一个光子再与另一个静止电子发生碰撞
- 3.43 单个光子不可能产生电子-正电子对
- 3.44 电子束被固定的散射靶散射
- 3.45 运动粒子, 跟另一个静止粒子发生弹性碰撞
- 3.46 π^0 介子衰变生成两个 γ 光子
- 3.47 光子与电子碰撞
- 3.48 运动原子与同一静止原子同样两个能级间发生跃迁所发出的光子频率之间满足 Doppler 关系
- 3.49 两个运动点电荷的所受力
- 3.50 求在洛伦兹系中物体非弹性碰撞的最大速度和质量
- 4.1 作为四维矢量问题重解题 2.28
- 4.2 波矢四矢量
- 4.3 四维 (时空) 坐标和动量矢量的洛伦兹变换
- 4.4 Pauli 度规和 Bjorken 度规
- 4.5 采用 Bjorken 度规给出洛伦兹变换的一般定义和洛伦兹变换矩阵满足的条件
- 4.6 Lorentz 变换满足成群的条件
- 4.7 顺时 Lorentz 变换满足成群的条件
- 4.8 顺时 Lorentz 群
- 4.9 Lorentz 变换的矩阵形式
- 4.10 Wigner 转动计算的一个简化版本

- 4.11 两粒子系统的洛伦兹变换不变量
- 4.12 两束动能均为 T 的质子迎头碰撞的反应与多大动能的单束质子跟静止的质子碰撞时的反应相同
- 4.13 一个动量为 p 的光子与一个静止质量为 m 的静止粒子发生碰撞
- 4.14 一光子与静止的靶质子发生碰撞
- 4.15 一个静止质量为 m 的粒子入射与一个静止质量为 m_1 的静止粒子碰撞, 发生有很多粒子产生的反应
- 4.16 一个入射核子与另一个静止的核子碰撞产生 π 介子
- 4.17 当静止质量 $m_1 \neq 0$ 的粒子参加反应时, 一个 γ 光子转化为一个电子和正电子偶
- 4.18 高能质子-质子碰撞, 一个或两个质子分解成一个质子和几个带电 π 介子的阈能
- 4.19 π 介子的光致反应
- 4.20 π 介子与开始处于静止的质子发生弹性碰撞
- 4.21 π 介子通过衰变产生中微子
- 4.22 粒子间的相互作用通过交换虚粒子而进行
- 4.23 一个静止质量为 m_1 、速率为 $\beta_1 c$ 的核与一个静止质量为 m_2 的静止的靶核做正碰
- 4.24 π 介子衰变产生中微子
- 4.25 入射核与固定靶核的碰撞
- 4.26 运动的 π^0 介子衰变生成两个 γ 光子
- 4.27 多普勒效应的两个式子
- 4.28 K_L^0 介子束入射与铅块相互作用
- 4.29 带电粒子绕均匀恒定磁场做圆周运动, 另一个垂直磁场作匀速运动的观察者看来粒子能量的改变
- 4.30 带电粒子在均匀恒定的电磁场中运动, 四维速度的所有分量沿其轨道是有界的条件
- 4.31 两体到两体的反应
- 4.32 真空中一般情形的光波多普勒效应
- 4.33 运动原子跃迁所发出的光子频率与同一静止原子同样两个能级间发生跃迁所发出的光子频率之间满足 Doppler 关系
- 4.34 光被运动镜子反射
- 4.35 GPS 卫星的相对论效应
- 5.1 两体弹性碰撞的特点
- 5.2 比较在质心系和实验室系两对撞粒子束的长度和半径, 求相互偏转角
- 5.3 由介子通过介质前后的刚度求其静止质量及半衰期
- 5.4 由质子被加速可达到的能量求 $^{14}\text{N}^{+6}$ 离子的最大动能
- 5.5 求 μ 子从高空到达地面所需的能量及被地磁场偏转的角度

- 5.6 求 μ 子能环绕地球一周所需的最小能量
- 5.7 求动能是静能两倍的粒子与同种粒子碰撞产生的新粒子的静止质量
- 5.8 求动能为静能 (m_0) 两倍的粒子与静能为 $2m_0$ 的粒子碰撞产生的符合粒子的静止质量和速度
- 5.9 求能量为 1000GeV 的质子打静止质子的有效能量
- 5.10 比较质子打静止质子与质子-质子对撞时的有效能量
- 5.11 质子打氢靶产生反质子的阈能
- 5.12 求质子打静止质子及质子-质子对撞产生一个新粒子和两个质子所需的最小能量
- 5.13 一个运动的质子轰击一个静止的质子产生反应 $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$ 的阈能
- 5.14 一个运动的质子轰击一个静止的质子产生反应 $p + p \rightarrow \pi^+ + d$ 的阈动能及在实验室系中的角分布和奇异角
- 5.15 $\bar{p} + p \rightarrow 2\pi^+ + 2\pi^-$, $\bar{p} + p \rightarrow 2\gamma^0$, 求 π 的平均动能、动量及速度; 求 γ 的波长
- 5.16 求用 400GeV 的质子轰击 Fe 靶产生的 c 介子衰变的 μ 子数与产生的 π 介子衰变的 μ 子数之比
- 5.17 用 $\bar{p} + p$ 湮没产生强子共振态, 求束流能量、共振态的 J^P 值、峰的宽度、产生的事例数和截面
- 5.18 求 α 粒子被 ^{16}O 散射 180° 后动能的相对变化
- 5.19 μ^- 衰变产生的轻子能否使静止质子转变成中子, 说明原因
- 5.20 由 $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ 反应的 Q 值及 ^3H 衰变产生的 β 粒子的最大动能求中子与 ^1H 的质量差
- 5.21 能量为 E 和 ε 的两光子对头碰产生 e^+e^- , 求动量中心系的速度和 E 值
- 5.22 求高能 γ 光子和高能质子与微波辐射碰撞产生 e^+e^- 的阈能、平均自由程
- 5.23 下面过程能否发生: 单光子把全部能量传给静止电子, 单光子转变成 e^+e^- , 快 e^+ 与静止电子湮没
- 5.24 求光子与铅核作用产生 e^+e^- 时的阈能, 证明铅核反冲动能的影响可忽略
- 5.25 求产生一定动能的 e^+e^- 的光子的能量
- 5.26 求 γ 与静止电子作用产生 e^+e^- 的阈能
- 5.27 光子与高能电子对头碰撞, 求背散射光子的能量
- 5.28 求质子静止系 $\gamma + p \rightarrow K^+ + \Lambda^0$, $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ 反应的阈能, 若质子在核内运动, 求费米能及 γ 的阈能, 在实验室系中 π^- 的最大动量及在垂直于 Λ^0 运动方向动量最大分量
- 5.29 求 $\gamma + p \rightarrow \pi^0 + p$, 当对头碰和质子静止时的阈能, 估计宇宙线中质子的能谱
- 5.30 对于 $e^+ + e^- \rightarrow Z^0$ 反应, 求 e^+ 打静止电子及正负电子对撞产生 Z^0 时, e^+ 的最小能量, 求 Z^0 在实验室系的能量和速度及 Z^0 衰变的 μ 子的最大能量
- 5.31 求 $\pi + p(\text{静止})$ 产生 K^- 介子的阈能
- 5.32 $\pi + p \rightarrow \pi^0 + n$, $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, 求 π^0 的速度和平均飞行距离、中子的动能和 γ 光子的最大能量

- 5.33 $\pi + p \rightarrow \rho^0 + n$, $\rho^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, 由 ρ^0 的质量宽度求其平均寿命及衰变距离; 产生 ρ^0 的阈能和概率及 ρ^0 衰变的 π^+ 与 π^- 间的最小夹角
- 5.34 $K^- + p \rightarrow \pi^0 + \Lambda^0$, 求当 Λ^0 在实验室系中静止时 K 的能量
- 5.35 $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^0 + K^+$, 求反应阈能
- 5.36 K 介子在飞行中衰变能飞行的距离是多少
- 5.37 求从 5000 光年外能到达地球的中子的能量; 由衰变末态粒子的动能求 π 的静止质量
- 5.38 求动能为 T 的 π^+ 衰变产生反向运动的 μ^+ 时 T 的可能范围
- 5.39 求 J/ψ 衰变前经过的平均距离, 对称衰变时电子的动能及与 J/ψ 运动方向的夹角
- 5.40 $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$, 由质心系中 Λ^0 、 π^- 的夹角求它们在实验室系中的夹角
- 5.41 $K^- \rightarrow \mu^- + \nu$, 求 K^- 静止时 μ^- 和 ν 的动能
- 5.42 $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu$, 求 π^- 静止时 μ^- 的最大动能
- 5.43 $\eta' \rightarrow \rho^0 + \gamma$ 的衰变在质心系中各向同性, 求实验室系中 γ 光子的概率分布及能量
- 5.44 动量与静质量之比为 1 的 K_L^0 介子发生衰变 $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, 求在实验室系中 π 的最大横动量和最大纵动量
- 5.45 求能观察到 50% 的 D^0 衰变所需观察仪器的分辨率
- 5.46 由 D^0 介子的能量和平均飞行距离求其静止寿命及各分支比的时间分布
- 5.47 $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$, 求在 D^0 静止系中 K^- 的动量, 说明产生 D^0 介子的判据
- 5.48 由平均飞行距离求 π^+ 的动能和动量
- 5.49 由介子衰变产生的向前和向后的 γ 光子的能量求该粒子的速度和静止能量
- 5.50 一粒子衰变成两个 γ 光子, 在静止系各向同性分布, 求光子沿粒子运动方向的概率和动量最大值
- 5.51 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, 求在 π^0 运动方向背对背发射的光子的能量, 在相同方向发射的光子间的夹角
- 5.52 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, 在质心系中 γ 各向同性分布, 求在实验室系中 γ 光子的角分布
- 5.53 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$, 求在实验室系 π^+ 飞行的平均距离、 μ^+ 的最大出射角度、 ν 的最大和最小动量
- 5.54 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$, 确定中微子的能量及有一半中微子在 θ_m 内时的 θ_m 值
- 5.55 求质子打靶产生 π 的动量, 讨论 π 介子飞行衰变的特性及中微子的探测
- 5.56 $K^0 \rightarrow \pi^- + \pi^+$, 已知跃迁矩阵元求 K^0 的平均寿命
- 5.57 求探测到质子的衰变概率, $p \rightarrow \pi^0 + e^+$, $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, p 静止时, 求 γ 的最大和最小能量
- 5.58 $\pi \rightarrow \mu + \nu$, 讨论 μ 的螺旋度
- 6.1 两相距 d 的电荷密度分别为 σ , $-\sigma$ 的非导电平行板, 以相同速度运动, 求两板间的电磁场
- 6.2 证明 $(1/c^2)\mathbf{E}^2 - \mathbf{B}^2$ 和 $\mathbf{E} \cdot \mathbf{B}$ 为洛伦兹不变量

- 6.3 证明若 $\mathbf{E} \cdot \mathbf{B} = 0$ 和 $\mathbf{E}^2 = c^2 \mathbf{B}^2$ 在一坐标系成立, 则在任何洛伦兹坐标系都成立
- 6.4 在静止系、半径为 r_0 的理想直导线中有以相对论速度运动的电子流产生的恒定电流, 电荷密度为零, 求在运动系中所观察到的电磁场
- 6.5 求在半径为 a 、电荷密度为 ρ_0 的电子束柱中离轴心 $r < a$ 处电子所受的斥力
- 6.6 一无限长, 单位长均匀分布电量为 q 的离子束, 求离束中心 r 处离子所受的力
- 6.7 求一单位长度带电荷为 q/l 的以速度 v 运动的柱状带电粒子束周围空间的电场和磁场
- 6.8 求一束无限长相对论电子中单个电子所受的径向力
- 6.9 一理想导电球以常速度在均匀磁场中运动, 求导体球面上的感应电荷密度
- 6.10 在相互垂直的电场和磁场中, 放一初速为零、静止质量为 m 、电荷为 q 的粒子, 给出一参考系, 在其中所观察到的电场或磁场为零
- 6.11 对不能遍及全空间, 矢势为 $\mathbf{A}(x - ct)$ 的平面电磁波, 证明 $A_z = 0$
- 6.12 求以常速度运动的带电粒子的电磁场
- 6.13 相距 d 的能量为 50GeV 的两个正电子向同一方向运动, 求两粒子之间的作用力
- 6.14 带电粒子以常速度沿 z 轴运动, 设 $t = 0$ 时刻粒子正好经过原点, 求 t 时刻 P 点的标势和矢势
- 6.15 已知速度和加速度的带电粒子做非相对论运动, 求平均辐射角分布
- 6.16 Cherenkov 辐射粒子探测器测量粒子的静质量
- 6.17 介质波导中传播的电磁波模式和其中的 Cherenkov 辐射
- 6.18 质量为 m 、电荷为 q 在库仑场中做圆周运动的粒子, 考虑粒子的辐射, 计算半径减小一半时所需时间
- 6.19 证明电磁波的波矢和频率组成四矢量
- 6.20 在一参考系中电场和磁场相互垂直, 沿 $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ 方向以多大速度运动的参考系中, 只有电场或只有磁场
- 6.21 求静止质量为 m 、电荷为 q 的粒子通过电势差 U 后的速度
- 6.22 证明自由电子既不能发射光子也不能吸收光子
- 6.23 在以速度 v 运动的参考系中, 已知粒子的能量、速度以及运动方向, 求在静止系中粒子的动量以及运动方向
- 6.24 经典氢原子 $t = 0$ 时刻电子处于第一玻尔轨道, 导出辐射轨道半径衰减至零时所需时间的表达式
- 6.25 求带电粒子被均匀电场加速到接近光速时的动量和速度
- 6.26 带电粒子在矢势为 $\mathbf{A}$ 的电磁场中做相对论运动, 用坐标及其对时间的导数表示与广义坐标 ϕ 对应的正则动量
- 6.27 相对论带电粒子在垂直于磁场的平面内沿半径为 R 的圆运动, 求所需磁场的表达式
- 6.28 已知磁场为 $\mathbf{B} = B_0(x\mathbf{e}_x - y\mathbf{e}_y)/a$, 证明在自由空间中它满足麦克斯韦方程
- 6.29 电子在轴对称磁场中运动, 求电子动量与轨道半径之间的关系

- 6.30 电子在一维谐振子势阱中运动, 求每周的辐射能量
- 6.31 一电子在线恢复力场中运动, 考虑辐射阻尼, 求辐射阻尼力的表达式
- 6.32 考虑加速带电粒子的能量辐射效应, 求电磁波作用在电子上的力的时均值
- 6.33 电子在简谐势中运动, 考虑阻尼作用, 求辐射强度与频率的关系
- 6.34 考虑在加速器中做非相对论运动的带电粒子的辐射损失, 求粒子动能与时间的关系
- 6.35 证明 Maxwell 方程满足能量守恒定律
- 6.36 从 Maxwell 第一方程组的协变性导出场强在 Lorentz 变换下的变换形式
- 6.37 运动电荷的 Liénard-Wiechert 势
- 6.38 运动电荷激发的电磁场
- 6.39 高速运动点电荷激发电磁场的两种等效场强表达式
- 6.40 利用 Jefimenko 导出电场的 Feynman 表达式与磁场的 Heaviside 表达式
- 6.41 运动电偶极子激发的电磁势和场强
- 6.42 协变波动方程的推迟 Green 函数
- 6.43 Lorentz 变换的推动和转动变换生成元满足的关系
- 6.44 坐标取代时间 t 作为独立变量
- 6.45 从 K 到 K' 变换的一个关系式
- 6.46 为什么可由单电子辐射功率的 Larmor 公式导出 Liénard 公式
- 6.47 辐射功率的 Lorentz 不变性
- 6.48 一个电子在介质运动在空间激发的电磁场
- 6.49 介质中光波的动量
- 6.50 电磁场的 Proca-Lagrange 量
- 6.51 若干个带电粒子在电磁场中的运动的一般 Lagrange 量
- 7.1 给出牛顿第一定律的广义协变形式及各项的意义
- 7.2 解释与原子一起运动的观察者测得原子谱线与有无星球无关, 求地球上原子的发光频率
- 7.3 求光子在宇宙空间作圆周运动的半径及在远处测到的光子运动的周期
- 7.4 写出短程线方程, 何为类时短程线, 何为零短程线
- 7.5 确定度规中 dt^2 系数的符号, 电磁波从大质量物体旁经过会发生什么
- 7.6 引力张量应满足的条件是什么
- 7.7 利用相对论星球的线元中的参数表示星球质量及红移, 求静力平衡条件
- 7.8 无线电波发射到木星后反射回地面, 求其在来回的行程中的引力延迟
- 7.9 证明无源麦克斯韦方程是保角变换后新时空的一个解, 导出宇宙红移公式
- 7.10 类星体发出的光被间介星系引力透镜偏折
- 7.11 证明零质量粒子在黑洞外的平面轨道上的运动方程, 对微小扰动是否稳定
- 7.12 求两星体作圆周运动辐射能量损失率
- 7.13 在广义相对论中能否辐射单极、偶极和四极引力辐射? 总存在“总电荷积分”
- 7.14 在弱场近似下线性化的真空方程是否规范不变

- 7.15 写出自旋粒子在引力场中的运动方程并解释
- 7.16 证明线元 ds 描述平坦时空并找出变换到闵可夫斯基空间的坐标变换
- 7.17 求电磁场能量、动量、张量、能流通量和光子的频率
- 7.18 Minkowski 平直时空中抛物线型世界线代表的运动
- 7.19 判断静态球对称时空的特征面和推导自由粒子运动方程
- 7.20 虫洞时空几何
- 7.21 推导施瓦西几何中径向速度
- 7.22 在施瓦西时空几何中分析引力红移实验
- 7.23 分析高仿施瓦西时空几何的自由光子有效势能曲线和轨道, 判断视界存在性
- 7.24 在太空舱中探测地球引力场的潮汐引力效应
- 7.25 用实测速度表达施瓦西时空中的频率红移
- 7.26 用正交归一基方法推导施瓦西时空中径向匀加速粒子运动方程
- 7.27 分析二维时空 $ds^2 = -(1+x)^2 dt^2 + dx^2$ 的光锥结构, 论证是否有视界
- 7.28 给出二维时空 $ds^2 = -(1+x)^2 dt^2 + dx^2$ 的测地线方程并试求解
- 7.29 推导球对称空腔体的时钟变慢效应因子
- 7.30 推导施瓦西时空中匀速运动粒子的时间、速度和加速度表达式
- 7.31 验算 $10M_{\odot}$ 的施瓦西黑洞视界上方 1cm 高度处的时间流速率是远离黑洞处的时间流速率的 600 万分之一
- 7.32 证明协变分量形式的测地线方程, 计算高仿施瓦西时空中静止观察者加速度
- 7.33 地球引力和多普勒时钟变慢效应
- 7.34 表达和讨论施瓦西几何中径向距离
- 7.35 例解施瓦西几何中的径向速度
- 7.36 验算施瓦西时空中圆周自由加速度为零, 解释可能的进动效应
- 7.37 推算施瓦西时空中圆周自由运动观察者测量的径向速度
- 7.38 推导施瓦西几何中圆周运动光源径向发出的电磁波的红移因子
- 7.39 由曲率的测地线加速偏离定义解释像马鞍面这样的全空间负曲率的曲面上的平行线无穷多
- 7.40 解释引力红移实验的结果可检验爱因斯坦等效原理中的局域位置不变性原理
- 7.41 通过欧式平面上极坐标下的测地线方程得出平面极坐标下的 Newton 加速度表达式
- 7.42 分析参数化后牛顿参数 β 在三个广义相对论经典检验结果的作用
- 7.43 推导 Klein 解析几何坐标下的二维负常曲率空间的线元
- 7.44 找出黎曼几何坐标网格线为测地线的判据
- 8.1 求在宇宙空间观察到的红移和星系的角直径 δ , 证明 δ 随红移的增加达到极小后再增大
- 8.2 求在各向同性的平坦宇宙空间观察到的红移及角直径 δ 及 δ 极小时的红移值
- 8.3 计算从坐标原点到坐标为 r 之间的距离, 写出加速粒子满足的牛顿方程, 与宇宙模型比较