全国部分地区非物理类专业

大学生物理竞赛题解

(第 16 届)

2000 年 6 月

工科物理　物理竞赛题解

2000 年 6 月出版

●编　　辑: 清华大学出版社《物理与工程》编辑部

●主　　编: 陈泽民

●出　　版: 清华大学出版社

●印　　刷: 清华大学印刷厂

●订购地址: 清华大学出版社《物理与工程》编辑部　100084

●联系电话: (010) —62789753

●定　　价: 1.50 元

●电子信箱: PhysAEng @tup.tsinghua.edu.cn

ISSN　1004—2873　　国内统一刊号　CN11—2974/TB

需要全本请访问 www.ertongbook.com

工 科 物 理

第 10 卷第 3 期(总第 77 期)　2000 年 6 月

目　　录

院 士 论 坛

- 面向 21 世纪的计算机应用技术 …… 张　钹(1)

专　　论

- 如何给工科学生讲波函数(3) …… 李元杰　何菊明(6)

教 学 研 究

- 中心力场中散射角 φ的简洁推导 …… 胡经国(9)
- 两个驻波能叠加成一个行波 …… 曲成宽(11)
- 带电粒子在偶极子电场中的运动 …… 温建岳　王晓初　解希顺(13)
- 浅谈对称技巧在解决力学问题中的作用 …… 于凤军　吴同友　贾栓稳(15)
- 数学变换在狭义相对论中的应用 …… 王爱坤　杨　韧　魏江南(17)

物理与实验

- 岩石超声波谱测试技术 …… 金永君　李晓萍(20)
- 在工科物理实验中的不确定度 …… 金正一　宋健宇(23)

物理与工程

- 高温超导薄膜及器件应用 …… 陈默轩　何元金(27)
- 磁光盘的物理原理 …… 陈国庆　吴亚敏(32)
- 磁悬浮轴承的原理 …… 王养丽(35)

教 学 手 段 现 代 化

- 谈现代化教学技术和手段在物理实验课中的应用 …… 陈士谦(37)

热 门 话 题

- 产业化:中国减灾的后劲与希望 …… 金　磊(40)
- 欣赏对称 …… 王泽良(43)

教 改 论 坛

- 从 21 世纪工科人才特征看工科物理课程体系的改革 …… 廖耀发　陶作花　张立刚等(45)

经 验 交 流

- 应用坐标法求一段圆弧电流在轴线上的磁场分布 …… 程达三　崔彩娥(48)
- 仅由 P V 图能求出热机效率吗? …… 任保文　李存志(50)
- 狭义相对论创建中的直觉思维和教学 …… 江泽洲(52)
- 采用蒙特卡洛方法寻找匀质平板的质心 …… 蒋晨曦　过祥龙(55)

- 第十六届非物理专业大学生物理竞赛试题及解答 …… (59)

封　　面

清华大学出版社最新出版的院士科普书系

院士论坛



1998 年 8 月在清华大学召开的“当代工程科学进展及工科物理教学改革高级研讨班”上特邀张钹院士作了报告. 2000 年 3 月张钹先生对此报告内容又作了删改, 今予发表.

面向 21 世纪的计算机应用技术

张　钹
中国科学院院士, 清华大学计算机科学与技术系教授
(北京　100084)

关键词　信息技术; 计算机; 通讯; 计算机应用; 人工智能

THE TREND OF COMPUTER APPLICATIONS IN THE 21ST CENTURY

Zhang Bo

Key Words　Information technology; computer; communication; computer application; artificial intelligence

我想分三个方面来讲这个题目: 首先讲计算机技术本身的发展, 然后讲计算机应用技术的发展历史, 最后作一些展望.

大家知道, 现在讲的电子计算机, 它的数学模型是由英国数学家图灵于 1932 年提出来的. 这种机器由两个部分构成, 一条无限长的带子, 上记有一组符号, 且可以读写, 还有一个有限状态控制器, 它根据读取的不同符号实现状态转移, 且在带上留下一定的符号作为结果, 停机时带上留下的符号, 就是机器的输出. 所以计算机本质上是一台符号处理器. 十多年之后, 即 1946 年, 第一台电子管的计算机在实验室里诞生了. 它是由一部处理器和一部存储器组成的, 这也是现代电子计算机所采用的基本结构, 就是所谓的冯. 诺依曼体系结构, 由美国数学家冯. 诺依曼提出的. 至今维持不变. 不难看到, 这种机器本质上跟图灵提出的数学模型是一样的, 因此也可称之为图灵机. 其中的存储器就相当于原来的长带子, 而处理器就相当于有限状态控制器. 图灵机要求一个有限符号集, 我们现在的计算机使用了最简单的符号集, 即只有 0 和 1 两个符号, 但这已经足够了. 所以, 计算机原理本身十分简单.

从 1946 年第一台存储程序的电子计算机诞生之后, 计算机的进步突飞猛进, 不长的

时间里,从电子管到晶体管到大规模集成电路. 1953 年, 第一台商用电子管计算机 IBM701 诞生了. 可以看出, 从 1946 年第一台计算机试验样机的出现, 到进入了商用, 前后只用了 7 年, 这是相当快的. IBM 公司面对这种新机器, 感到困惑, 不知有何商业前景, 为此请了一批专家来, 对此新产品进行评估. 经一段时间后他们得出的结论是, 这种机器全世界大体需要 5～7 台. 可见, 当时人们对计算机的市场前景并不看好. 后来, 晶体管和集成电路相继出现, 计算机的性能价格比飞速提高, 如今计算机技术已今非昔比, 面貌完全改观. 简单地说, 从 1946 年到 1996 年这 50 年间, 即半个世纪中, 计算机或者说计算机与通讯技术的变化, 可以用三个数字来描述, 一个是计算机的速度, 一个是存储容量, 还有一个是通讯速度. 人们用不同的语言来形容它的变化, 有的说它们随时间指数增长, 有的说每 18 个月翻一番, 每五年增长一个数量级等等, 也就是所谓的莫尔定律. 计算机与通讯如此高速的发展, 其根本的原因在于技术不断的创新与发展. 拿存储技术来讲, 最早的有动态随机存储器, 它的存储容量以 K (bits 比特) 或 M 计, 磁盘达到 M 和 G, 到了光盘, 就是以 G 甚至以 T 计了. 总之, 半个世纪以来计算机与通讯技术的发展可以用三个数据来形容, 即计算机速度, 存储容量和通讯速度都由 K(10^3) 变化到 G(10^9), 即由 3K 变化到 3G. 计算机速度由 10^3 (bits/sec) 到 10^9 (bits/sec), 存储密度由 10^3 (bits/inch) 到 10^9 (bits/inch), 通讯速度由 10^3 (bits/sec) 到 10^9 (bits/sec). 那么, 21 世纪的计算机技术会有怎样的发展和变化? 人们普遍认为未来世纪计算机技术发展变化的势头还不会停止, 我们即将进入信息的“太”(Tera) 纪元. 什么是太纪元?也就是说, 到 21 世纪初, 我们上面所说的信息技术的三个指标都可以达到 10^{12} 量级(即太量级). 即计算机速度可达每秒万亿次(10^{12} bits/s). 存储的密度也可以达到每平方英寸 10^{12} 比特, 通讯的速度也可以达到每秒 10^{12} 比特.

计算机和通讯技术的突飞猛进, 给计算机的应用也带来许多革命性的变化, 这一点, 对于非计算机专业的人来讲可能更为重要. 大家经常关心计算机能做什么和不能做什么的问题, 从理论上讲这似乎已经解决了的, 因为图灵机理论已经告诉我们, 哪些东西是可计算的, 哪些是不可计算的, 即图灵可判定性, 从数学上说清楚了. 但问题不是这样简单, 有一大类问题, 从道理上讲是可以计算, 但实际上算不了, 所谓 NP 难问题. 它所需要的计算资源: 存储量, 计算量, 现代计算机根本无法提供. 我们需要寻找一种折衷的办法, 当然还有一些问题虽然不是 NP 难问题, 由于它需要的计算资源很多, 计算机性能的提高自然有助于问题的解决, 所以计算机能完成的工作, 随着其性能的提高, 实际上在不断地扩展.

从计算机的应用技术角度讲, 半个世纪以来, 我们在计算机的处理对象、处理方法和工作方式等三个方面发生了根本性的变化. 最初计算机只能处理数值(或简单的符号, 如英文字母等), 现在可以处理声, 图, 文等多种媒体. 在处理方法上, 我们大体上经历了三个阶段. 第一个是所谓的传统应用阶段, 这种应用方式, 在座的听众大体上都接触到, 我们的绝大多数应用, 都叫做数值计算, 也就是说, 不同程度地跟数值计算有关系. 比如说, 大家所做的科学计算, 数据处理, 计算机自动化等等, 都离不开数值计算. 比如, 我们用计算机来控制飞机, 其中的控制器叫自动驾驶仪. 自动驾驶仪又是什么呢? 一般情况下是所谓的 PID 控制器, PID 分别代表了比例、积分、微分, 等于说进行微积分(数值) 运算. 所以, 所有我们目前遇到的应用, 绝大多数都属于这种性质, 也就是说, 它以数学模型为基础的数值计算.

现在我们从信息角度来看问题, 1948 年

仙农提出信息论,提出熵的概念,把它作为不确定性的一个度量,也就是信息量的度量,用不确定性来度量信息量的大小.刚才我们谈到的比特(bit),就是这个信息量.从这个角度上来认识信息,我们可以看到所有信息载体:文字(英文、中文)、语言、语音、图形、图像,实际上到机器里面都变成二进制的比特了.一个英文字母用 8 个 0 或 1(位)表示,即一个字节(byte),一个汉字占 2 个英文字母,即 2 个字节,一张图要多少呢?差不多要几百 K(几十万)字节,一张彩图相当于几十万字的一本书.不难看到,为什么计算机处理图像和视频才是近几年的事,正因为图像包含巨大的信息量.如果计算机的存储量和速度达不到一定的水平的话,计算机处理多媒体信息就不能做到.大家都会体会到,计算机一处理图速度就会明显慢下来.

从 80 年代中期开始,提出了人工智能研究方向,计算机的应用技术起了一个新的变化,.使计算机从数值计算的局限下解脱出来,走进符号处理的领域,使计算机代替更多原先只有人才能做的事情.举两个例子来说明,大家都很熟悉计算机程序深兰战胜国际象棋冠军卡斯帕罗夫的事,这是 1996 年发生的一件大事,国内外的新闻界曾经大大炒作过.这件事对于计算机应用来讲它的意义如何?计算机国际象棋程序从 1956 年就开始研究,预定的目标就是要战胜世界冠军,经过 40 年的努力,这个目标实现了.这不是偶然性,它不仅是计算机技术进步的必然结果,同时也是计算机应用技术进步的结果.我们只需看一下以下的数据就会清楚了,计算机(深兰)的速度一秒种内可以考虑 2 亿状态,这相当于可以向前看 10 至 15 步,在残局情况下可看到 75 步以外,而一位好的棋手一般可向前看 6 至 7 步.与计算机相比,当然棋手的优点在于他丰富的经验,深兰已经考虑这个问题,机器中存有 60 万种棋谱,其中包括卡斯帕罗夫历史上下过的所有棋(有记录的).为了评价棋局的好坏,设置了 8000 个参数进行调整,这些参数的调整通常由世界上顶尖的棋手来完成,可见这里同时凝聚了棋手的智慧.大家知道,下棋是一个推理和决策过程,它不能简单地用数学公式描述,象棋程序的成功表明,在符号推理上计算机有可能作得和人做的一样好,甚至更好些.当时还有一件想做的事是机器翻译,这件事至今做得不像国际象棋那么成功,原因在于自然语言的歧义性,这个问题的最终解决要依赖于知识.大家常用以下的例子来说明机器翻译的困难,英文的原句是

The spirit is willing but the flesh is weak(心有余而力不足).

计算机却翻成

The Vodka is strong but the meat is rotten(伏特加是浓的,但肉烂了).

要解决这类问题唯一的办法是让计算机"懂得"什么是"心有余而力不足",什么是伏特加酒等,总之,需要相应的知识.这就是后来在人工智能和计算机应用中所提出的知识工程(knowledge engineering)的研究方向.应用知识工程,目前机器翻译已取得较大进展,机器翻译软件在网上跨语种的浏览上有较大的市场.我国市场上也已有了中英、英中等机器的翻译软件.当然目前的机器翻译软件和专业人员相比还有较大的差距.不过,以知识为基础的推理已成为计算机应用的一项新方法,被广泛地应用,以汉字识别为例,不管是印刷体还是手写体,其单字识别率都难以达到商品化要求,通常总是加上语言模型(上下文知识),使印刷体的汉字识别率达到 99% 以上,使离线手写体汉字识别也能达到了 95%、96% 等水平.对于离线汉字识别,语言知识的加入大体可以把识别率提高十个百分点.这种技术同样被应用于语音听写器,如 IBM 的语音听写器.

我举这些例子是想说明下面一个道理,即几十年来计算机的原理尽管没有多大变

需要全本请访问 www.ertongbook.com

化,但是由于它性能的改进,使它能够作出许多我们原来认为作不了或者很难作的事情.下面我们讲一下与计算机有关系的机器人(robot)的问题,实际上,我们现在让计算机作的事情是想让它代替人的脑力劳动,也就是说模仿大脑的某些功能,但要实现自动化,就需要动手、脚以及其它传感器.从 80 年代开始提出了研制智能机器人的思想.这个所谓的机器人就是给计算机上配上手、脚、眼睛等等,我们看到的所谓机器人无非是计算机控制的手指、手臂、脚之类.它的作用无非是想进一步发挥计算机的作用.因为计算机如果没有传感器,如果没有眼睛,没有手脚就很难在自动化领域发挥作用.

最近在计算机应用技术上,又提出一个软计算(soft computing)的概念.我们说在计算机应用的初期只是数值计算,接下来是符号计算即符号推理,现在又提出软计算.为了让计算机作更多的事情,我们还会遇到下面的困难,数据很多,模型(数学的还是推理的)不清楚,这种情况下我们需要软计算.大家经常听到模糊计算,神经网络计算,进化计算等属于软计算范畴.这种计算是以数据为基础的通过自学习的办法进行计算.

以上我们介绍了计算机应用在 90 年代之前的发展状况,80 年代后期,我们遇到一些新情况,这就是计算机网络的出现.我们可以大体将计算机的发展分为三个时代:主机的时代(mainfame),在座的年长的老师可能经历过,那时每个单位一般买一两台大的机器放在计算中心,大家要用计算机的话,必须跑到计算中心去,即许多人共用一台机器,这是计算机最早的使用方式;在座的年轻人大多只经历过计算机应用的第二个时代,即个人计算机时代,即一人用一台计算机的时代.目前这个时代正在变化,代之以计算机网络的时代,即许多人用许多计算机的时代,也有人称之为无所不在的计算时代.如今你的机器上了网,你所用的不仅限于这台机器,所有网上的资源你都可以享用.

下一个世纪计算机应用技术有什么新的发展?首先我们讲一下信息技术带来的革命.这里信息技术指影响最大的通讯和计算机.现在面临着许多很难解决的问题都可能靠信息技术与其它技术的结合来解决.欧洲有一个"普罗米修斯计划",它是为解决欧洲的公路交通问题的.目前无论是发达国家还是发展中国家都有恼人的交通问题,即都市的文明病,如交通事故,交通堵塞和空气污染等,怎么解决这些问题.普罗米修斯计划指导思想是,"智能路上的智能车"(Intelligent Vehicles on Intelligent Roads".即用信息技术来解决交通问题.如计算机辅助驾驶,交通流的控制和交通管理等.它的思路是利用通讯网和全球定位系统(GPS)把所有路上的车辆管起来,统一调度,以充分利用现有道路.即通过车的智能化和道路的智能化,来解决交通问题.

从这几年技术的发展可以发现信息技术从研究到形成产业,到大量应用的周期越来越缩短.计算机网络把计算机和通讯联为一体.比如说我们正在用一台计算机,而这台机器联到网上,我们究竟是在计算还是在通讯,是很难区别的.现代通讯,从有线到无线又回到有线,转了一圈,却把通讯速度从 K (10^3bits/sec)提高到 T 的量级(10^{12}bits/sec).也就是说在网上获取信息基本上没什么障碍,如果没有如此高的通讯速度,计算机是上不了网的.同时,数字化彻底消除了计算机与通讯之间的最后隔阂.传统通讯使用模拟信号,计算机是数字信号,为了相互沟通,原先需要模拟信号和数字信号的相互转换,从模拟到数字或从数字到模拟使速度和精度都受到极大的影响.现在用不着了,大家都是数字.有人这样认为,我们现在的机器,不只是单纯的机器,而将成为 21 世纪大家工作和生活的一个环境,任何人的工作与生活已经离不开计算机网络了.我们可以用以下三句话

来形容 21 世纪将要面临的形势,这就是计算机即将进入千家万户,计算机将会嵌入千万设备,计算机将渗入千百领域. 计算机的芯片太便宜了,几乎是不要钱的,所谓零价格的芯片,这使它达到高度的普及. 我们将生活在一个无所不在的计算机环境中,对我们来说,人机交互,智能服务,人机协同工作,知识获取变成十分重要.

全世界共有一个网,这是好事,大量的资源可以共享,似乎对大家是平等的,其实不然,现在网上大部分的资源是西文的,我们和计算机交互的方式主要靠键盘和鼠标,这些对中文用户来说都是不方便的,所以对于我国广大普通百姓来讲,使用计算机要比西方人困难得多. 为使计算机成为普通百姓的有效工具,中文信息资源建设和便于中文用户的人机交互方式,可能是我们要作的一项很重要的工作.

最后讲一下,我们如何在信息产业上赶上世界先进水平,大家已经认识到其关键在于创新能力,而创新的关键在于人才. 我们需要大力培养科技人员的创新能力,大力提高全民族的素质,只有这样才能在信息科技和产业中有我们的一席之地.

谢谢大家.



张 钹 1935 年 3 月生,福建省福清市人. 中国科学院院士. 清华大学计算机科学与技术系教授. 1958 年毕业于清华大学自动控制系. 同年留校任教至今.

目前担任清华大学信息学院学术委员会副主任,中国自动化学会智能控制专业委员会主任,《计算机学报》副主编,北京市学位委员会副主任委员,清华大学学位委员会副主任委员等. 从事人工智能,人工神经网络,遗传算法,分形和小波等理论研究. 以及把上述理论应用于模式识别,数据采掘,知识工程,智能机器人与智能控制等领域的计算机应用技术研究.

在国内外发表或合作发表论文 100 多篇. 中英文专著有《问题求解理论及应用》(英文版为“Theory and Applications of Problem Solving”),“Research on Frontiers in Computing”,以及《人工神经网络理论及应用》等. 前两部均获国家教委颁发的高校出版社优秀学术专著特等奖. 后两部分别获得中国优秀科技图书一等奖和全国优秀科技图书奖暨科技进步奖(科技著作)一等奖. 科技成果获得奖励的有: ICL 欧洲人工智能奖,国家自然科学三等奖,国家科技进步三等奖,国家教委科技进步一等奖、二等奖,光华科技基金二等奖,电子工业部科技进步一等奖,以及国防科工委科技进步一等奖等.



专 论

如何给工科学生讲波函数(3)

李元杰 何菊明

(华中理工大学物理系,湖北武汉 430074)

(收稿日期:1999-12-08)

摘 要 本文介绍作者在华中理工大学给二年级工科学生讲波函数的思路与方法.

关键词 波函数的相因子;势的不定性;A-B 效应和相因子物理

HOW TO TEACH WAVE FUNCTIONS FOR ENGINEERING STUDENTS(3)

Li Yuanjie He Juming

(Depart. of Physics Huazhong Univ. of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract In this paper teaching ideas and methods of wave functions of authors in HUST are introduced.

Key Words phase factor of wave functions; uncertainty of potential; A-B effect

1 波函数的相位因子

平面简谐波 $S = A\cos(\omega t - k \cdot r)$ 在一维情况下的表示是 $S = A\cos(\omega t - ky)$,还可以有指数形式的表示 $Ae^{i(\omega t - ky)}$,其中经典波的相位 $\varphi = \omega t - ky$,对于一个 ω 和 k 都确定的经典波,它只由 t 和 y 的值决定.

在量子论中,自由粒子的波函数为 $|p\rangle = \psi = Ae^{-\frac{i}{\hbar}(Et - p \cdot r)}$,其中 $\frac{Et - p \cdot r}{\hbar}$ 是波函数的相位因子.

我们在讨论波函数的物理意义时曾指出,波函数相差一个任意相因子而描述的物理现象和规律是相同的.用数学公式表示就是:$|\psi|^2 = |\psi e^{i\varphi_0}|^2$.然而,实验发现波函数的相位因子是与许多重要的量子物理现象有关系的.

图 1

在量子论中,影响波函数相位因子的物理量有 E、t、p、r,其中当能量确定时,影响相因子最重要的量是动量 p.例如,在 COW 相移中,由于重力势能的作用,粒子在位置高的臂运动的速度 v(或动量 p)小,在位置低的臂运动的速度 v(或动量 p)大(见图 1).于是二

束粒子波在 P 点相遇,由于相位差而产生干涉. 波函数的相位因子在量子干涉效应中起着重要的作用,不过直接决定干涉结果的并非是相因子本身,而是相因子沿一条闭合路径的积分.

为了向学生讲清楚这个问题,我们还得从势的不定性及势对相位的贡献讲起.

2 势的不定性

在中学,学生就接触到重力的势的不定性,他们知道可以取海平面的势能为 0,也可以取高山顶处势能为 0. 重力势能可以相差任意一个常数而不影响物理结果. 在电学中,学生也知道电势或电位也是不定的,只有电势差或电压才是实验可以测量的量. 由于静电力是保守力,电场可以写成电势的梯度加上负号: $E = -\grave{e}V$. 如果取 $V' = V + C$, C 是任意常数, V 是一个新的电势,则有相同的电场: $E' = -\grave{e}V' = -\grave{e}V = E$. 类似地,在磁学中可以引入“磁势”,不同的是磁势是一个矢量势(记为 A),它和磁感应强度 B 有关系: $B = \grave{e}\times A$. 写成分量形式(以 x 方向为例)则为: $B_x = \partial_y A_z - \partial_z A_y$, $E_x = -\partial_x V$. 它与电场中的形式不同,原因在于电场是纵场,磁场是横场. 磁场中,在对矢势求导时是交叉式的,且 A_y、A_z 与 B_x 是垂直的. 容易证明,取 $A' = A + \grave{e}\alpha$ 其中 α是 x、y、z 的一个任意连续可微函数, A 是一个新的矢势,则 A 和 A 都对应同一个磁场: $B' = \grave{e}\times A' = \grave{e}\times A + \grave{e}\times\grave{e}\alpha = \grave{e}\times A = B$. 这里$\grave{e}\times\grave{e}\alpha = 0$.

以上事实归结为如下结论: 势 V、A 是不确定的,可以有许多不同的势,但却描述相同的物理场.

3 势对波函数相位因子的影响

当带电粒子运动时,不仅带电粒子有动量 p_μ,而且带电粒子激发的电磁场作为物质也有动量,它的大小为 eA_μ,其中 $\mu = 1, 2, 3, 4$. $p_\mu = (p, iE)$, $A_\mu = (A, iv)$,系统总的正则动量为 $P_\mu = p_\mu + eA_\mu$,粒子的动量为 $p_\mu = P_\mu - eA_\mu$. 于是,由于 A_μ 的存在,粒子波函数在一段路径下的相位变化将是 $\Delta\varphi = \frac{1}{\hbar}\int (P_\mu - eA_\mu)\,dx_\mu$,其中由于势的影响可作出的贡献为 $\Delta\varphi_A = -\frac{e}{\hbar}\int A_\mu dx_\mu$.

由此,我们又得到一个结论: 量子在时空中运动时,由于势的作用,其相位的变化为 $\Delta\varphi_A = -\frac{e}{\hbar}\int A_\mu dx_\mu$. 它是我们研究量子干涉的重要公式.

4 A-B 效应和相因子物理

我们来观察一个带电粒子的干涉现象,图 2 表示一束带电粒子在 S 处分为两束,一束沿 SEP,另一束沿 SDP,在会合处 P 点产生干涉. SEPD 是一个平行四边形. 在无外场也无势场情况下,由 $\oint_{SEP} p_\mu dx_\mu = \int_{SDP} p_\mu dx_\mu$ 或 $\Delta\varphi = \oint_{SEPDS} p_\mu dx_\mu = 0$. 即相位差为零. 如果粒子处在无场强的势场中,则 $\Delta\varphi = \delta\varphi = \frac{e}{\hbar}\oint A_\mu dx_\mu$. 由此可见,环路积分 $\oint A_\mu dx_\mu$ 决定了相位差 Δφ,因而也决定了粒子的干涉条纹. 这个发现是 1959 年由 Aharnov 和 Bohm 首先提出的,所以称之为 Aharnov-Bohm 效应.

图 2 粒子在无场强区的干涉

1985 年 Akira. Tonomura 等人利用超导体禁闭磁通,从实验中成功地证实了 Aharnov-Bohm 效应. 这个实验相当精密,整

需要全本请访问 www.ertongbook.com

个超导环体只有数个微米的尺度, 其中金属 Nb 作超导体用, 环芯是零点几个微米厚的玻莫合金环, 其上覆盖一层 SiO_2 以减少玻莫合金的矫顽力. 整个环由金属 Nb 支架支撑着(见图 3).

图 3 超导体环的结构

由于从环内、环外穿过的电子束所处的矢势 A 方向相反, 使环路积分 $\frac{e}{\hbar}\oint A\cdot dr \neq 0$, 于是引起干涉. 实际装置如图 4 所示, 利用全息照相原理, 让环内、环外的电子束分别与参考波干涉. 当环内无磁通时, 环内、外干涉条纹是一致的. 若环内有磁通, 则内、外条纹将产生移动. 图 5 是无磁通时放大的干涉条纹照片, 图 6 是有磁通时放大的干涉条纹照片.

图 4 实验装置图

Aharnov-Bohm 效应使我们清楚地认识到, 用场强来描述物理现象是不够的, 而用 4 维矢势 A_μ 来描述又显得多余, 即许多不同的

图 5 无磁通时的照片

图 6 有磁通时的照片

A_μ 对应着同一物理现象. 只有相因子 $\oint A_\mu dx_\mu$ 能确切地描述物理现象. 因此, 人们称此类问题为相因子物理.

相因子物理在许多地方都可以遇到, 前面介绍的 Aharnov-Bohm 效应就是一例. 此外在许多粒子干涉效应中均存在相因子物理. 这里, 我们再列举一例: 约瑟夫森结.

约瑟夫森结是由一个绝缘势垒隔开的两块超导体构成的. 超导波函数(电子对波函数) 可看作由两个部分组成: 一部分从超导体 I 出发进入绝缘体, 呈指数形式衰减; 另一部分从超导体 II 出发进入绝缘体, 也呈指数衰减. 因为两边电子浓度相等, 所以两边贡献的绝对值相等, 唯一可选择的波函数变量是相位 ϕ 和 ϕ_2, 若中间绝缘层足够厚以至于指数衰减为零, 则绝缘层中总波函数(见图 7) 为 $\psi = e^{i\phi_1 - k(x+\alpha)} + e^{i\phi_2 + k(x-\alpha)} = e^{-k\alpha}\, e^{i\phi_1 - kx} + e^{i\phi_2 + kx}$.

在无磁场时, 结区电流为 $j = \frac{\hbar(2e)}{2(2m_e)}\left(\psi^*\frac{\partial\psi}{\partial x} - \psi\frac{\partial\psi^*}{\partial x}\right)$, 将上面 ψ 代入

(下转第 12 页)



中心力场中散射角 φ的简洁推导

胡经国

(扬州大学工学院, 扬州 225009)

(收稿日期: 1999-08-31)

摘 要 本文从牛顿方程及角动量守恒定律出发, 利用矢量函数的微积分运算技巧简捷地推导出中心力场中散射角 φ避免了经典教科书中从轨道方程出发推导出 φ的繁琐性, 不仅计算简洁, 而且物理过程明确.

关键词 牛顿方程; 角动量守恒律; 中心力场及散射角

THE SIMPLE CALCULATION ON SCATTERED ANGLE IN CENTRAL FORCE FIELD

Hu Jingguo

(Technology Institute of Yangzhou University, Yangzhou 225009)

Abstract In this paper the scattered angle in central force field is calculated by using calculus of functional vector analysis on base of Newton equation and the law of conservation of angular momentum, it avoides complex calculations in general textbook on basics of orbital equation of central force field. The calculation is simple, and the physical meaning is concise.

Key Words Newton equation; the law of conservation of angular momentum; central force and scattered angle

1911 年卢瑟福以大角度 α粒子散射的实验事实作为依据建立了行星式核型结构模型, 取得较大成果, 为进一步研究原子结构奠定了基础.

如图 1 所示, α粒子以初速度 v_0 沿直线 ab 的方向入射, 直线 ab 与散射核 O 的最短距离为 b, 当 α粒子入射原子内部时, 受到原子核心 O 正电荷对它的库仑斥力的作用, 就要改变运动方向, 不难知道 α粒子所受斥力为有心斥力场, 根据经典力学理论知, α粒子在核的静电斥力作用下的运动轨道为一条双曲线, 它将沿 cd 方向飞离原子核, 其偏转角 φ称为散射角.

关于散射角 φ的定量计算在原子物理中具有重要的物理意义, 而传统的方法均是从 α粒子在有心斥力场中运动所沿的轨道方程出发的[1, 2]. 一方面, 其计算过程繁琐复杂; 另一方面, 淡化了物理内涵. 本文利用矢量运算技巧结合有心力场守恒性质很简捷地推导出

图 1 α粒子受核散射的示意图

散射角 φ的数学表达式,不仅计算过程简洁,而且物理过程明确.

我们先从牛顿方程出发推导其结果,由牛顿方程

$$m\frac{dv}{dt} = F = \frac{k}{r^2}r^0 \qquad (1)$$

积分(1)式可得

$$v(\infty) - v(-\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty}\frac{k}{mr^2}r^0 dt \qquad (2)$$

(2)式中 $v(-\infty)$, $v(\infty)$ 分别为 $t=-\infty$(开始时刻)和 $t=\infty$(末时刻)时,α粒子的运动速度,由中心力场中能量守恒可得

$$|v(-\infty)| = v_0 = |v(\infty)| \qquad (3)$$

再由中心力场中角动量守恒知

$$-r^2\frac{d\theta}{dt} = h \qquad (4)$$

(4)式中 h 为常量,它由下式决定

$$bmv_0 = h \quad ¡¤m \qquad (5)$$

(5)式中 b 为瞄准距,如图 1 所示. 我们将(2)式两边点乘 v_0,并将(3)、(4)式代入得

$$v_0^2\cos\phi - v_0^2 = -\int_{\pi}^{\Phi}\frac{kv_0}{mh}\cos\theta d\theta \qquad (6)$$

(6)式中 θ为 v_0 与 r^0 的夹角,即为 ab 与 r^0 的夹角,积分(6)式并整理得

$$\cot\frac{\phi}{2} = \frac{\sin\phi}{1-\cos\phi} = \frac{mv_0h}{k} \qquad (7)$$

将(5)式代入(7)式有:

$$\cot\frac{\phi}{2} = \frac{mbv_0^2}{k} \qquad (8)$$

我们再从角动量守恒出发同样可求得上述结果. 考虑矢量 $mv\times L$ 对时间的导数有

$$\frac{d}{dt}(mv\times L) = m\frac{dv}{dt}\times L + mv\times\frac{dL}{dt} \qquad (9)$$

(9)式中 L 为角动量. 因中心力场中 L 为恒矢量则(9)式化为

$$\frac{d}{dt}(mv\times L) = \frac{dp}{dt}\times L = \frac{k}{r^2}r^0\times L \qquad (10)$$

不难分析

$$r^0\times L = mh\theta \qquad (11)$$

(11)式中 θ为 α粒子入射面内垂直于 r^0 的单位矢量. 考虑到

$$\frac{dr^0}{dt} = \frac{d\theta}{dt}\theta \qquad (12)$$

$$-r^2\frac{d\theta}{dt} = h \qquad (13)$$

我们将(11)、(12)、(13)式代入(10)式可得

$$\frac{d}{dt}(mv\times L + mkr^0) = 0 \qquad (14)$$

积分(14)式知

$$mv\times L + mkr^0 = \text{常矢量} \qquad (15)$$

对(15)式有

$$mv(\infty)\times L + mkr^0(\infty) = mv(-\infty)\times L + mkr^0(-\infty) \qquad (16)$$

整理(16)式有

$$m[v(\infty) - v(-\infty)]\times L = mk[r^0(-\infty) - r^0(\infty)] \qquad (17)$$

我们注意到

$$v(-\infty) \ddot{u} -v_0r^0(-\infty) \qquad (18)$$

$$v(\infty) \ddot{u} v_0r^0(\infty) \qquad (19)$$

$$|r^0(\infty) + r^0(-\infty)| = 2\sin\frac{\phi}{2} \qquad (20)$$

$$|r^0(\infty) - r^0(-\infty)| = 2\cos\frac{\phi}{2} \qquad (21)$$

$$L = mh\phi^0 \qquad (22)$$

(22)式中 ϕ^0 为恒单位矢量,垂直纸面向内. 我们将(18)～(22)式代入(17)式并化简可得

$$\cot\frac{\phi}{2} = \frac{mhv_0}{k} = \frac{mbv_0^2}{k} \qquad (23)$$

以上我们用了两种方法简洁地推导出了中心力场中散射角 φ不难看出上述方法依赖于中心力场中一系列守恒性质,利用其守

(下转第 16 页)

两个驻波能叠加成一个行波

曲成宽

(北京印刷学院物理教研室, 北京 102600)

(收稿日期: 2000-01-28)

摘 要 本文利用叠加原理, 分析两个驻波满足一定条件下能形成一个行波.

关键词 行波; 驻波

THE OVERLAP OF TWO STANDING WAVES FORMES A TRAVELING WAVE

Qu Chengkuan

(Department of Basic Courses, Beijing Institute of Printing, Beijing 102600)

Abstract By using the principle of wave overlap, this article analyzes the possibility that, under certain conditions, the overlap of two standing waves can form a traveling wave.

Key Words traveling wave; standing wave

现行的大学物理教材驻波一节中, 只分析沿相反方向传播的两列行波叠加形成一个驻波, 却没有分析两个驻波叠加形成一个行波. 如果补充这方面内容, 对全面理解驻波及波的叠加, 增强学生的逆向思维能力很有好处.

1 利用驻波方程叠加进行分析

设在同一波线上有两个同方向振动, 波长和频率相同, 最大振幅均为 A 的驻波, 其方程分别为

$$y_1 = A\cos kx\cos\omega t$$

$$y_2 = A\cos kx'\cos\omega t'$$

其中波矢 $k=\frac{2\pi}{\lambda}$, λ为波长.

令 $x' = x - \frac{\lambda}{4}$, 有 $\cos kx' = \cos\left(kx-\frac{\pi}{2}\right) = \sin kx$, 即当两个驻波的原点相隔$\frac{\lambda}{4}$时, 如果都以第一个驻波的原点作为原点, 则在波线上各点, 两驻波的幅值分别按余弦和正弦规律变化. 再令 $t' = t - \frac{T}{4}$, T 为周期. 有 $\cos\omega t' = \cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right) = \sin\omega t$, 即选取同一初始时刻, 波线上任一点, y_2 比 y_1 位相落后$\frac{\pi}{2}$. 当两个驻波之间满足上述关系(原点相隔$\frac{\lambda}{4}$, 初始时刻相隔$\frac{T}{4}$, 因而在空间和时间上均引起相移$\frac{\pi}{2}$)时, 第二个驻波方程 $y_2 = A\sin kx\sin\omega t$, 于是,

$$y = y_1 + y_2 = A(\cos kx\cos\omega t + \sin kx\sin\omega t) = A\cos(\omega t - kx)$$

这即是一个行波方程. 如果原点相隔$\frac{3\lambda}{4}$或初始时刻相隔$\frac{3T}{4}$, 就会叠加成向另一方向传播的行波, 方程为 $y = A\cos(\omega t + kx)$.

2 利用图线叠加进行分析

为了形象地表示两个驻波合成一个行波, 可采用作图方式进行分析. 如图 1, 细实线是 y_1 波形, 虚线是 y_2 波形, 粗实线是叠加后的行波波形. 在 t_1 时刻, y_1 的各点都在各自振幅位置, y_2 的各点位相都落后于 y_1 $\frac{\pi}{2}$, 各点都在平衡位置, 叠加后的波形自然就是 y_1 波形, 如 1 线所示. 然后每隔$\frac{T}{12}$(相移$\frac{\pi}{6}$), 两驻波和行波波形如 2、3、4 线. 粗实线的移动趋势说明, 形成了一个沿 x 方向传播的行波. 从图上可见, 两驻波除时间上引起相差$\frac{\pi}{2}$外, 两原点必须相隔$\frac{\lambda}{4}$, 即形成行波必须同时满足两个条件.

图 1

参 考 文 献

[1] 东南大学等七所工科院校编. 马文蔚改编. 物理学. 高等教育出版社, 1994.

[2] 张三慧. 大学物理学. 清华大学出版社, 1991.

(上接第 8 页)

图 7 超导波函数的组成

得: $j = \frac{2\hbar e}{2m_e} k e^{-2k\alpha} \sin(\phi - \phi) = j_0 \sin\delta$, 式中 $j_0 \equiv \frac{\hbar e}{m_e} k e^{-2k\alpha}$ 为特征常数, $\delta = (\phi - \phi)$ 是相位差.

若存在磁场, 且将两个结并成一个环路(见图 8), 每一个结有一个 δ值, 记为 δ、δ, 则沿环路的相位差为$\frac{2e}{\hbar}\oint A \cdot dL + \delta - \delta = 2\pi n$, 其中 n 为整数. 如果 $\delta = \delta = \frac{\pi}{2}$, 则上

图 8 并联的两个约瑟夫森结

式表示: 最大电流通过并联的两个结时, 需要磁通满足量子化条件. 利用这一原理, 可以做成一个称为 SQUID 的精密测量仪器, 这是相因子物理的一个重要应用.

参 考 文 献

[1] Colella R, Overhauser A W, Werner S A. Observation of Gravitationally Induced Quantum Interference. Phys. Rev. Lett. 1975, 34: 1472.

[2] 李元杰. 宇宙与超弦. 第 1 版. 武汉: 华中理工大学出版社, 1991.

带电粒子在偶极子电场中的运动

温建岳[1]　王晓初[2]　解希顺[3]

(1 晓庄师范学校, 南京　210096)　　(2 沙州工学院, 张家港　215600)
(3 东南大学物理系, 南京　210096)

(收稿日期: 1999-11-23)

摘　要　求得了带电粒子在电偶极子产生的电场中的径向运动方程, 分析了带电粒子在该电场中各种可能的运动规律.

关键词　带电粒子; 偶极子电场; 径向

MOTION OF A CHARGED PARTICLE IN THE ELECTRICAL FIELD OF A DIPOLE

Wen Jianyue　Wang Xiaochu　Xie Xishun

Abstract　In this paper, we found the analytical solution of radical equation of a charged particle in the electrical field of a dipole. The various possibilities of the radical motion of the particle have been given and discussed.

Key Words　charged particle; dipole; radical direction

1　引言

带电粒子在电磁场中的运动是电磁学教学中的一个基本内容, 例如: 电偶极子在均匀外电场中会受到外电场产生的力矩而产生转动, 这是许多教科书上都介绍的内容. 而一个点电荷在电偶极子产生的电场中将会如何运动呢? 通过下面的计算和分析, 我们可以发现, 其结果是比较有趣的.

2　计算

如图 1 所示, 设一电偶极子固定于坐标原点 O 处, 电偶极矩 p 的方向沿 y 轴正向.

图 1　一带电粒子处于电偶极子 p 的电场中
当 $E=0, v_{r0}=0$ 时, 若 $q>0$, 运动轨迹为 x 轴下方的半圆;
当 $q<0$, 运动轨迹为 x 轴上方的半圆

若一带电粒子质量为 m, 带电为 q 大于零, 初始时刻位于 x、y 平面内的任一点 M(r, θ

处,并假设该点 M 到原点的距离 r 远大于电偶极子正负电荷之间的距离 d. 众所周知,当 r≫d 时,电偶极子产生的电场在极坐标系中可表示为

电场的径向分量: $E_r = \frac{2p\cos\theta}{4\pi\varepsilon r^3}$ (1)

电场的横向分量: $E_\theta = \frac{p\sin\theta}{4\pi\varepsilon r^3}$ (2)

根据牛顿定律,容易写出带电粒子 q 的运动微分方程如下

$$\frac{2pq\cos\theta}{4\pi\varepsilon r^3} = m\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{pq\sin\theta}{4\pi\varepsilon r^3} = m\left(r\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\theta}{dt}\right) \quad (4)$$

直接求解方程(3)、(4)比较困难. 因此我们进一步考虑到静电力是保守力,带电粒子的能量守恒,有

$$\frac{1}{2}m\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \frac{pq\cos\theta}{4\pi\varepsilon r^2} = E \quad (5)$$

(5)式中 E 为带电粒子的总能量. 经尝试后发现,将(5)式代入(3)式,可以巧妙地消除掉(3)式中所有含变量 θ的项. 从而得到粒子的径向坐标随时间变化的微分方程如下

$$r\frac{d^2r}{dt^2} + \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = A \quad (6)$$

式中 $A = 2E/m$,是一常数.

利用变量代换 $u = r^2$,则可将方程(6)化成非常简单的形式

$$\frac{d^2u}{dt^2} = 2A \quad (7)$$

显然,(7)式的解具有下列形式

$$u = At^2 + Bt + C \quad (8)$$

式中 B、C 可由初始条件确定. 设 t = 0 时,$r = r_0$,$\frac{dr}{dt} = v_{r0}$,则

$$B = 2r_0v_{r0},\quad C = r_0^2 \quad (9)$$

所以 $r = \overline{u} = \sqrt{\frac{2E}{m}t^2 + 2r_0v_{r0}t + r_0^2}$ (10)

——这就是带电粒子在偶极电场中的径向运动方程.

3 讨论

由(10)式可知,带电粒子在偶极电场中的径向运动一般情况下是比较复杂的. 但如果带电粒子的总能量 E = 0,且粒子在径向没有初速度,$v_{r0} = 0$. 则(10)式给出一非常简单的结果

$$r = r_0 \quad (11)$$

这就是说,粒子在此情况下将在圆周上运动,但实际上粒子这时不可能到达 x 轴的上方,因为在 x 上方的任一有限距离处,粒子(带正电)的静电势能恒大于零,因而不可能满足 E = 0 的条件. 所以实际的运动轨迹是位于 x 轴下方的半圆圆周,粒子将在半圆圆周上来回运动. 这时粒子的横向运动方程(4)将简化为

$$\frac{qp\sin\theta}{4\pi\varepsilon r_0^3} = mr_0\frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (12)$$

有趣的是,上式与一单摆在重力场中运动的微分方程形式相似. 因此,这时粒子的横向运动规律在一定程度上与单摆相似. 例如:若带电粒子初始时刻静止于 x 轴上,则其初动能和初始静电势能均为零. 满足 E = 0,$v_{r0} = 0$ 的条件. 这时的带电粒子就好象一单摆的摆球从水平位置自由释放一样运动. 又如:若带电粒子初始时位于 x 轴下方,径向初速度为零,横向速度满足:

$$\frac{1}{2}mv_{\theta_0}^2 + \frac{pq\cos\theta_0}{4\pi\varepsilon r_0^2} = 0 \quad (13)$$

则粒子仍沿半圆的轨道振动. 值得强调的是,若粒子初始时刻粒子位于 x 轴上方,则根据前面分析,粒子不可能在圆形轨道上运动. 各种类型情况下粒子的径向运动特征可根据(10)式的结果给出,参见图 2(为方便起见,图 2 中纵坐标选为 r^2,而不是 r). 图 2 中各种

(下转第 19 页)

浅谈对称技巧在解决力学问题中的作用

于凤军[1]　吴同友[2]　贾栓稳[1]

(1) 安阳师范学院物理系; 2) 安阳一师, 河南安阳　455000)

(收稿日期: 1999-11-06)

摘　要　通过质点力学的两个实例说明了对称技巧在解决力学问题中的重要作用.

关键词　对称; 技巧; 力学

THE ROLE OF USING SKILLS OF SYMMETRY CONSIDERATION IN SOLVING THE PROBLEMS OF MECHANICS

Yu Fengjun　Wu Tongyou　Jia Shuanwen

(Anyang Teachers College, Anyang, Henan, 455000, China)

Abstract　The important role of using skills of symmetry consideration in solving the problems of mechanics is discussed by two examples.

Key Words　symmetry; skill; mechanics

利用对称性不仅可以帮助人们寻找自然界的规律, 还可以使一些具体的物理问题简化, 本文以质点力学的两个实际问题为例, 说明对称技巧是快捷解决力学问题的有力工具.

首先考虑‘等周追逐游戏’问题, 这是一个运动学问题, 对此文献 1 有较深刻但又较复杂的讨论. 一群小朋友等距站在一个大圆圈上, 每个人都朝着相邻的人以同一速率沿逆时针转向追赶, 最后一起追到了中心. 如果不利用对称性, 无论求运动轨迹还是求追逐时间, 象这种多质点的运动问题将难以下手. 设人数为 n, 运动速率为 v, 圆周半径为 R. 将这一群人看作是一个质点系统, 将这 n 个点连接起来, 就构成了一个圆内接正 n 边形, 由于各人的初始位置在圆周上对称分布, 速率相同, 运动方向都沿由正 n 边形的边构成的线段的方向, 即初始条件就具有某种对称性, 所以可以料定, 在 $t > 0$ 的任意时刻, 这个质点系的运动将还保持这种对称性, 即各质点仍将等距地处在半径更小的同心圆周上, 各人的运动方向亦将沿由这个圆周的内接正 n 边形的边构成的线段的方向, 各质点的运动轨道形状应相同, 并对称地分布在圆心周围. 由于 n 一定时所有正 n 边形都是相似的, 所以, 任何一个质点在任一时刻的速度方向(或轨迹的切线方向)与所在位置半径的夹角为常量(由正多边形性质知该角为 $\beta=$

需要全本请访问 www.ertongbook.com