

威耳逊云室的发明和霍秉权的改进*

牙述刚^{1 †} 胡化凯²

(1 广西民族学院电子与通讯工程学院 南宁 530006)

(2 中国科学技术大学科技史与科技考古系 合肥 230026)

摘要 英国物理学家 C. T. R. 威耳逊是云室的发明者,中国物理学家霍秉权对云室做了重要改进. 文章在介绍威耳逊发明云室工作的基础上,着重分析了霍秉权对云室的改进工作及其意义.

关键词 威耳逊,发明,云室,霍秉权,改进

Invention of the cloud chamber by Wilson and its improvement by P. Q. Ho

YA Shu-Gang^{1 †} HU Hua-Kai²

(1 College of Electron and Communication Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China)

(2 Department of History of Science and Technology and Archaeometry, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract British physicist C. T. R. Wilson invented the cloud chamber and P. Q. Ho was the Chinese physicist who improved it. Wilson's invention is reviewed, and the significance of Ho's improvement is analyzed.

Key words C. T. R. Wilson, invention, cloud-chamber, P. Q. Ho, improvement

霍秉权,字重衡,中国物理学家和教育家. 1903年2月27日出生于湖北省黄冈县樊口镇一个小商人家庭. 早年在私塾读书,后到鄂城县寒溪中学读初中. 高中毕业后,考入南京国立中央大学,1929年毕业,获理学学士学位,随即留校任助教. 1930年考取湖北省公费留学英国,1931年进入英国伦敦大学学习,然后到剑桥大学师从诺贝尔物理学奖获得者、英国著名物理学家 C. T. R. 威耳逊,进行云室的改进及其应用研究. 1935年回国,先后任清华大学和西南联合大学教授,继续进行云室的改进并将其应用于宇宙线的研究. 1943年赴美国华盛顿卡内基(Carnegie)研究所进行合作研究. 1944年回国,先后任清华大学物理系教授、系主任(1946—1949),东北工学院物理系教授兼系主任(1951—1952),东北人民大学物理系教授(1952—1955),为这三所大学物理系的恢复和建设作了大量的工作. 1956年到河南省筹建郑州大学,历任物理系教授、系主任、校长助理、副校长. 在郑州大学物理系,他除了担任基础

物理教学外,还开展了原子核能谱和宇宙线的研究,并培养这方面的人才,从而使郑州大学成为我国高等学校中进行宇宙线及高能物理研究的主要院校和人才培养基地之一. 霍秉权曾当选为第二、三、五届全国人民代表大会代表兼河南省人民代表大会代表及河南省第五届人民代表大会常务委员会副主任;中国民主同盟中央委员、河南省第四、五届副主任;中国人民政治协商会议河南省第四届委员会副主席;河南省科学院副院长;中国高能物理学会理事、河南省物理学会理事长、河南省核学会名誉理事长等职. 1988年9月27日病逝于南京,享年86岁^[1].

霍秉权是我国老一辈物理学家,他对威耳逊云室的改进工作,为20世纪高能物理研究,尤其是宇宙线的研究作出了基础性的贡献,同时,他也是我国宇宙线研究的奠基人和开拓者. 云室是观测高能粒

* 2003-01-21收到初稿,2003-07-31修回

† 通讯联系人. E-mail: yem-ya@sohu.com

子径迹的重要仪器,是由 C. T. R. 威耳逊发明的,但是威耳逊发明的云室存在一些缺陷,因此它并不适用于观测宇宙线. 霍秉权对云室进行改进以后,使它的性能进一步完善,应用范围得以拓展,能够被用于包括宇宙线在内的各种高能粒子的观测.

1 威耳逊云室的发明

威耳逊 1869 年 2 月出生在苏格兰的一个农民家庭里. 1888 年他获得剑桥大学的奖学金而成为 J. J. 汤姆孙的研究生. 云室的发明起源于他在实验室中进行模拟日晕现象的实验研究. 1894 年 9 月,威耳逊在苏格兰群山的最高峰尼维斯峰天文台观察到日晕的瑰丽云景,使他发生了极大的兴趣,于是开始致力于在实验中重现这种现象的研究.

他研制的第一个实验装置如图 1 所示^[2],它被叫作膨胀测量仪. 使观测室 A 内的潮湿空气膨胀达到过饱和状态就可以制造出人工云雾,用光照射到人工云雾上就能看到彩霞. 实验过程是通过玻璃管 C 上的阀 D 调节 A 中潮湿气体的体积, F 是一个与抽气机及容器 B 连接的真空室,调节气阀 E 就可以改变 B 中液面压强,使 A 内气体膨胀达到过饱和状态,如果 A 内有凝结核,即可产生云雾.

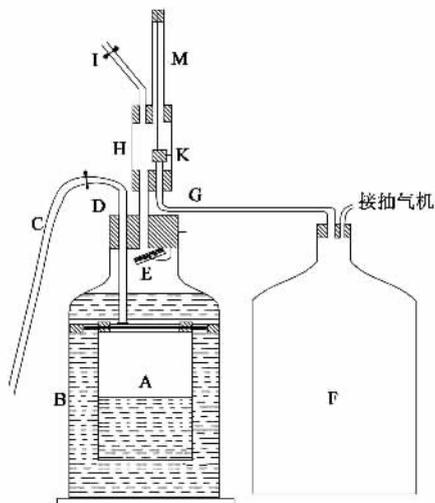


图 1 威耳逊研制的第一个实验装置——膨胀测量仪

威耳逊没有将自己的研究停留在对美好景色的观赏之上,而是对形成雾珠的凝结核产生了兴趣. 根据当时人们的观点,要使水蒸气凝结,每颗雾珠必须有一个尘埃为核心. 尘埃是唯一的凝结核吗? 威耳逊进行大量的实验后发现,除去仪器中的尘埃后,只要膨胀比足够大,云雾同样出现. 这说明除了尘埃

外, A 室中还有某种凝结核心存在. 他立即想到,这些凝结核会不会是带电的原子?

1895 年秋,伦琴发现了 X 射线. 威耳逊受导师 J. J. 汤姆孙研究空气在 X 射线照射下的导电性的影响,他将膨胀测量仪产生云雾的部分改成如图 2 所示的装置^[3],用于观察 X 射线照射过饱和气体可能产生的现象. 其工作原理为:将混有水蒸气的洁净空气注入 B 室,用 X 射线管 C 照射水蒸汽使之电离,然后用活塞 A 使室中气体的温度和压强在突然膨胀过程中急剧下降,从而产生过饱和蒸汽,以离子为凝结核的云雾立即出现. 这个实验证明了凝聚现象是以离子为中心出现的. 此后,威耳逊还用这个装置研究了铀射线、紫外线、尖端放电以及其他方法在空气中产生的凝结现象. 经过四年研究,他总结出,当无尘空气的体积膨胀比为 1.25 时,一部分负离子开始成为凝聚核心;当膨胀比为 1.28 时,全部负离子成为凝聚核心. 对于正离子来说,膨胀比为 1.31 时有些即成为凝聚核心,膨胀比为 1.35 时全部成为凝聚核心.

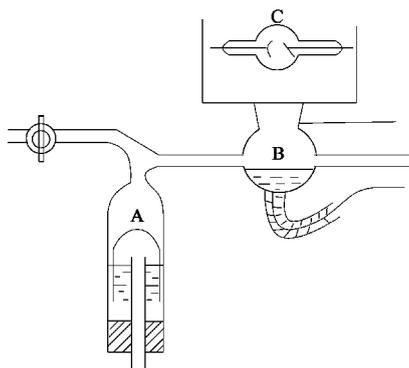


图 2 威耳逊改进后的膨胀测量仪中产生云雾的部分

威耳逊的研究方法和有关结果为当时从事离子电荷测量的 J. J. 汤姆孙和 H. A. 威耳逊所采用,他们从负离子生成可见雾滴所需的过饱和度直接推算出基本电荷 e 的量值为 4.9×10^{-10} 静电单位,与密立根的精确测定值的误差仅为百分之一^[2].

至此,威耳逊还没有发现他发明的膨胀测量仪可以用来显示粒子的径迹. 1910 年,威耳逊开始做一些实验来扩大膨胀测量仪的应用,研究用其直接测定离子电荷的可能性,他认识到电离粒子的径迹由于在离子上形成凝结水而成为可见的和可照相的. 这时,威耳逊才开始着手设计制作用于观测射线径迹的云室. 他花了很多时间去试验膨胀仪器的最合适的形状,寻找拍摄云雾颗粒时瞬时照明的有效方法. 1911 年夏天,他在卡文迪什实验室的工厂加

工制造了第一台用于观测射线径迹的云室. 1912年, 威耳逊为云室增设了拍摄带电粒子径迹的照相设备, 直到1923年, 云室作为研究射线径迹的重要仪器才初步定型. 图3是威耳逊设计制作的云室实物照片^[4], 图4是它的原理图^[4]. 威耳逊曾用它拍摄过很多粒子径迹的照片.

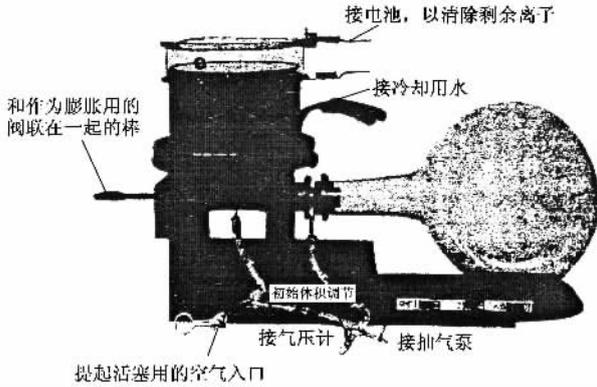


图3 威耳逊设计制作的云室的实物照片

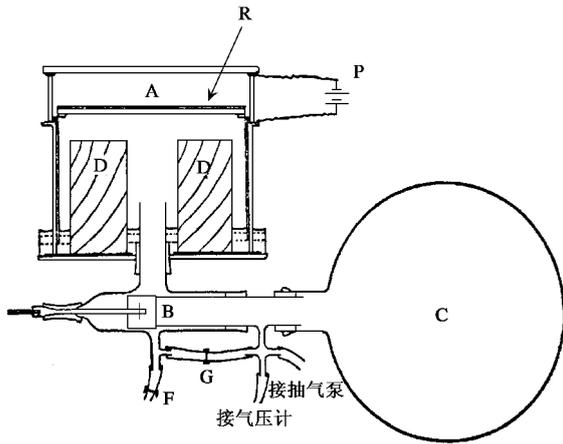


图4 威耳逊云室的原理图

这个云室叫做活塞膨胀式云室, 它的工作原理如下: 将洁净的潮湿气体注入观测室A内, 用直流电源P在云室的顶部和底部之间产生一个电场, 清除A内气体中可能残留的带电粒子, 将玻璃容器C抽成真空, 按照要求通过连杆开启阀门B, 活塞R就会突然下降, 使A内气体突然膨胀产生必需的过饱和气, 然后使致电离粒子通过过饱和气体, 照亮在离子轨迹上凝聚的云雾, 用相机从云室上方向下进行拍照, 即可得到粒子使过饱和气体凝聚的照片.

威耳逊利用他发明的云室拍得 α 粒子引起云室内气体凝聚的第一批照片后, 立即将其中一张送给H. A. 布拉格, 布拉格一看照片就认为, 照片所显示的现象与他想象的 α 粒子的径迹完全一致. 接着

威耳逊又拍摄了 β 粒子引起云室气体凝聚的照片, 这些照片也与布拉格的结论相一致. 因此, 人们认为带电粒子作为凝结核在云室中引起过饱和气体凝聚的现象反映的是这种粒子的径迹. 原来被认为是来去无踪的粒子运动的径迹就是这样直观地展现在人们眼前.

20世纪初, 人们根据已有实验结果猜测的各种天然放射性相继被证实, 由于这些射线不能通过现有的实验仪器被肉眼直接看到, 只能被验电器检测. 威耳逊云室通过间接的方式使射线的径迹直观地展现在人们眼前, 云室的发明对于促进天然放射性的探测和研究起到了积极的作用, 极大地加快了粒子物理和核物理的建立和发展.

由于云室所具有的这种重要功能, 许多科学家都仿制和使用它, 其中比较著名的有: P. M. S. 布莱克特(Blackette)对 α 粒子与原子核碰撞和由此产生的原子衰变的研究; M. 居里(Mile Curie)和L. 梅特涅(L. Meitner)对单个 α 粒子射程的研究; 查德威克(Chadwick)和埃米勒斯(K. Emeleus)对 γ 射线的研究等^[2]. 威耳逊云室发明后的第一个最成功的运用是威耳逊拍摄的X射线散射照片中的有关现象支持了A. H. 康普顿关于X射线散射的理论. 因此, 威耳逊和康普顿共同分享了1927年的诺贝尔物理学奖.

尽管这个简单的活塞式云室对当时的射线研究起到了令人惊叹的巨大作用, 但它在结构和功能上还存在一些明显的缺陷. 首先, 它是通过活塞快速地向下降来增大云室的体积, 使云室内的气体达到过饱和状态. 云室的有限容积由于活塞的移动而发生改变, 这就很难保证在膨胀时不搅动气体, 气体受到的搅动越大, 粒子径迹的失真就越严重. 其次, 云室使用时, 要保证除待观测的粒子外, 其内部不能有“尘埃”颗粒, 为了防止不洁净气体的侵入, 要求云室有很好的密封性, 为此采用了橡胶环加油或其他液体的密封方式. 由此增大了云室制作以及实际操作的难度. 再次, 由于采用液体来增加密封性能, 致使威耳逊发明的云室只能水平放置^[5]. 由于用于宇宙线研究的云室必须垂直放置, 因此威耳逊采用液体密封的云室不适用于宇宙线的观测研究.

2 霍秉权对威耳逊云室的改进

1931年初春, 霍秉权进入英国伦敦大学学习. 当时他注意到剑桥大学的威耳逊在“云室”上开展

的研究工作很有意义,经过反复考虑,霍秉权向威耳逊提出跟随其作研究的申请,威耳逊很快就同意接受他作为其研究生。来到剑桥后,霍秉权很快迷上了云室,尤其对解决云室存在的缺陷问题产生了极大的兴趣。他对云室的组成及其各部分的功能进行深入的分析 and 研究后,发现要解决的主要问题是(1)通过移动活塞来实现膨胀与云室密封的矛盾(2)云室体积的突然增加所造成的室内气体的搅动问题(3)由于活塞间歇性的突然移动对云室工作稳定性的影响。

经过无数次的探索和尝试,霍秉权终于找到了解决活塞式云室缺陷问题的方法:他将云室分为两层,如图5所示^[6],A和B是两个玻璃圆筒,直径分别为15cm和16cm,高度分别为3cm和5cm。 C_1 是带有内凸缘N的黄铜环,N与圆玻璃板P连接。中间由金属网分开,上层是云室的灵敏区,它的体积不改变。下层的玻璃圆筒在金属隔网下边装有一块橡皮膜R,当此膜膨胀时,则下部压力降低,因而灵敏区的压力也随之下降,与下部压力达到平衡,使云室内气体达到过饱和状态。

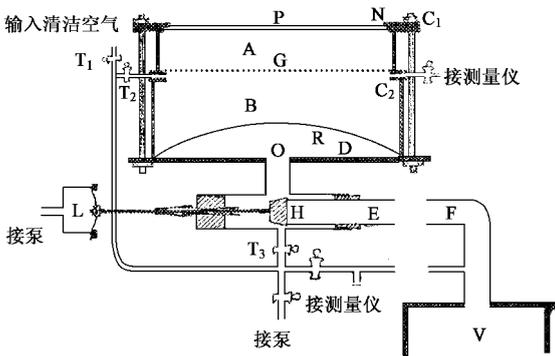


图5 经霍秉权改进后的云室装置

霍秉权的这一改进,使得云室产生过饱和气体的方式从原来的活塞膨胀式变成了改变压力式,以橡胶膜的膨胀代替了活塞的移动,因为没有活塞的突然移动。云室的灵敏区空间始终保持不变,气体不被搅动,两个玻璃圆筒间的金属隔网足以阻止流动气体中的湍流脱离静止云雾粒子的相对位置,使气体流动产生的影响可以忽略不计,作为拍摄粒子径迹的背景又是固定的,所以粒子的径迹反映得更为真实。如图5所示的云室组装完成后,玻璃面板P和橡胶膜R与两个玻璃圆筒被紧密地连接成一个整体,云室工作时,云室内气体与外界完全隔绝,云室的密封问题得到圆满的解决。由于没有活塞的间歇性的突然移动,整个装置的工作十分稳定,为拍摄高

质量的照片提供了一个可靠的保证。此外,云室上沿的黄铜环 C_1 的设计十分巧妙, C_1 有内凸缘N,N与圆板玻璃P连接,当云室中的气体压强超过大气压强时,凸缘在圆板玻璃P的上方,当云室中的气体压强低于大气压强时,凸缘在圆板玻璃P的下方,使得改进后的云室能够适应室内气体压强在较大范围内的变化,应用范围更加广泛。

霍秉权在卡文迪什实验室的工厂里制作出新的云室后,用不同的致电离源,在云室中终值压强从超过一个大气压强一直减到7cm水银柱高($\approx 9331\text{Pa}$)的范围进行拍摄粒子径迹的实验研究。

在云室内气体压强高于大气压强的实验中,拍摄由X射线作用射出的电子穿过云室的径迹,得到了非常令人满意的电子径迹的照片,并且当云室膨胀大到在正离子和负离子上产生几乎相同的凝聚作用时,很少有“背景”水珠的径迹损坏电子径迹的清晰度。云室中的金属网也很好解决了云室内流动气体中的湍流问题。原来使用活塞式膨胀云室拍摄 β 射线的径迹,因为排气管中的空气震荡造成拍出的照片出现两条水珠的平行线的现象,使用改进后的云室就可以防止这种现象的发生。在低于大气压的实验中,霍秉权拍摄的 α 粒子和 β 粒子的照片同样比使用活塞式云室更加容易操作,得到的照片也十分清晰^[7]。

应清华大学物理系赵忠尧教授的邀请,霍秉权于1934年8月启程回国。1935年2月起,在清华大学物理系任教,他在进行基础理论教学的同时致力于科学研究。他将云室作了进一步的改进后,采用云室实验的研究方法进行放射性镭的 β 射线的能量分布的研究,于1936年在《中国物理学报》第2期上发表了《 β -rayspectrum of radium E》的科学论文。图6是霍秉权在清华大学使用的改进后的云室^[8]。这个云室将原来云室的玻璃圆筒改为黄铜圆筒,下部的稍大的玻璃圆筒改为两个黄铜圆筒A和B,在它们之间插入橡胶膜R。因为黄铜圆筒C的恰当直径,以及因为橡胶膜R在膨胀前高于其水平位置,而在膨胀后又低于其水平位置,所以圆筒C内的空气的湍动效应大大减小,以致于可以不用金属网隔板G就可以提高产生过饱和气体的速度。在原来放置金属隔板的位置只需要使用一片黑色棉织丝网作为拍摄照片的背景。圆筒C内气体的膨胀是通过孔O的开闭而实现的,图6的下半部是孔O的开闭控制装置,是当时与霍秉权一道在卡文迪什实验室从事研究工作的英国物理学家、诺贝尔奖获得者布莱

克特的研究成果之一,故本文不作详细介绍.

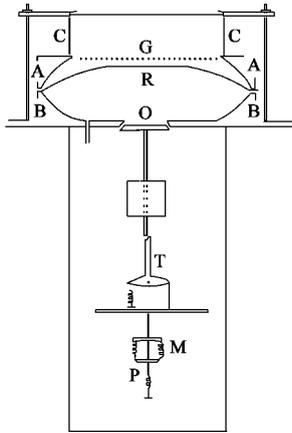


图6 霍秉权在清华大学使用的进一步改进后的云室

由于当时的中国处于极端落后贫穷的状态,放射性元素十分缺乏,改进云室并用于宇宙线的观测成了霍秉权的研究重点,他在清华大学的科学馆制作了用于观测宇宙线的“双云室”.利用这个装置来观察宇宙射线,其径迹清晰,性能良好.他的这一创造得到国际著名物理学家 N. 玻尔和霍秉权的导师威耳逊的充分肯定.他的研究成果于 1937 年写成题为《双云室研究宇宙射线》的论文,但因抗日战争爆发而未能送出^[1].抗战期间,在西南联大的艰苦环境里,霍秉权仍然坚持教学和进行科学研究,继续制作“大云室”,研究宇宙射线.令人遗憾的是因为战争的原因,霍秉权在此期间的研究成果没有能够发表,他在清华大学制作的“双云室”及其附件也被日本侵略者掠夺走.

3 霍秉权工作的意义

经过霍秉权改进后的云室比威耳逊发明的活塞式云室具有更多的优点,突出表现在以下两个方面:

(1)在云室中产生过饱和气体的过饱和度的调节范围更大了,有利于各种粒子在云室中成为凝结核.

活塞式云室工作时,首先使活塞很快地向下移动,以增大云室的体积,使云室温度下降,导致其内部气体达到过饱和状态,这基本上是绝热膨胀过程,由体积改变引起的温度变化的关系为

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}},$$

这里 V_1, V_2 分别是云室膨胀前后的体积, T_1, T_2 是云室膨胀前后的温度, γ 是室内气体的比热容.

霍秉权改进后的云室工作时,橡胶膜膨胀,则下部压力降低,因而灵敏区的压力也随之下降,与下部压力达到平衡,通过降低云室内的压强来使温度下降,让气体达到过饱和状态.云室的压力改变也是绝热过程,则温度变化由下列关系确定:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}},$$

这里 P_1, P_2 是云室膨胀前后的压强, T_1, T_2 是云室膨胀前后的温度, γ 是室内气体的比热容.

以上两种产生过饱和气体的方法都是使密闭容器中的饱和气体降温来获得过饱和状态的.活塞式云室因为受到体积变化范围的限制,膨胀前后的温度变化范围也就受到了限制,所以,产生的过饱和气体的过饱和度将受到限制,云室的灵敏程度不够高.采用改变压力方式,室内气体压强的可变化范围很大,可以较大程度地通过提高气体过饱和度来增加云室的灵敏度.过饱和度调节范围大,有利于各种粒子在云室中成为凝结核.

(2)改进后的云室可以水平或竖直放置,适用于包括宇宙射线在内的各种射线径迹的观测.

经过霍秉权改进后,因为是通过橡胶膜来改变云室内的压强,云室的工作区已经完全密封,不再需要液体来密封,因此可以根据观测需要任意放置,从而扩大了其应用范围.由于宇宙线从外层空间到达地球表面附近的径迹应该是与地面垂直的,所以,用于宇宙线观测的云室必须垂直放置.经霍秉权改进后的云室可以满足这种需要.

在霍秉权对云室的结构进行改进的同时,英国物理学家 P. M. S. 布莱克特在进行云室的控制和自动延时拍照系统的研究.将云室用于宇宙线径迹的拍摄遇到了两个主要问题:一是要求云室垂直放置,这已由霍秉权加以解决;二是因为宇宙射线是稀少的,如果让云室随机拍摄,所拍的照片只有百分之二到百分之五有宇宙线的径迹,照片的可使用率很低.为了克服这一缺陷,布莱克特研究解决了云室拍摄宇宙线的自动化问题.布莱克特将霍秉权改造后的云室垂直放置在强磁场中,与他研制的自动拍摄系统配合,组成了有效用于宇宙线观测和研究的实验装置.他称霍秉权改进后的新型云室是配合其电子管自动控制系统的最佳选择^[9].布莱克特正是由于在改进云室自动拍摄系统和宇宙线研究方面的贡献而获得了 1948 年度诺贝尔物理学奖.

威耳逊云室经过霍秉权改进以后,得到广泛的使用,通过橡胶膜膨胀改变压强而获得过饱和气体

的云室在宇宙线观测上一直被沿用着,而威耳逊的活塞式云室几乎不再被用于科学研究,一般只是作为介绍云室工作原理的教具。

20世纪中期,我国物理学家朱福炘、张文裕在美国进行宇宙线的研究,使用的也是霍秉权改进后的橡胶膜膨胀式云室^[10]。他们对云室也作了进一步的改进和完善,使云室的自动化程度不断提高,适应多种条件下的观测,拍摄的照片质量更高。有关他们的工作我们将另文进行讨论。

上述表明,威耳逊发明云室为20世纪的粒子物理研究提供了一种重要的仪器,而我国物理学家霍秉权先生对威耳逊云室的改进和发展做出了重要的贡献,从而促进了粒子物理学研究的快速发展。

参 考 文 献

- [1] 中国科学技术协会编. 中国科学技术专家传略(理学篇物理卷). 北京:中国科学技术出版社,1993[Ed. Chinese Science Technology Association. Brief Biography of Chinese Science Technology Experts(Physics Volume of Science Chapter). Beijing: Chinese Science Technology Press, 1993(in Chinese)]
- [2] 宋玉升等编. 诺贝尔奖获得者演讲集 物理学(第二卷). 北京:科学出版社,1984[Ed. Song Y S. The Speech Volumes of Nobel Prize Winners(Physics II). Beijing: Science Press, 1984(in Chinese)]
- [3] 谢邦同主编. 世界近代物理学简史. 沈阳:辽宁教育出版社,1988[Ed. Xie B T. The Brief History of the World Modern Physics Briefly. Shenyang: Liaoning Education Press, 1988(in Chinese)]
- [4] 杨振宁著. 杨振玉,范世藩等译. 基本粒子及其相互作用. 长沙:湖南教育出版社,1999[Yang Z N. Yang Z Y, Fang S F trans. The Elementary Particles and Interaction. Changsha: Hunan Education Press, 1999(in Chinese)]
- [5] Wilson C T R. Proc. Roy. Soc. A, 1933, 142 88
- [6] Ho P C, Halliday E C. Proc. Cambridge Phil. Soc., 1934, 30: 201
- [7] Ho P C. Proc. Cambridge Phil. Soc., 1935, 31: 119
- [8] 戴念祖主编. 20世纪上半叶中国物理学论文集粹. 长沙:湖南教育出版社,1993[Ed. Dai N Z. The Chinese Physics Thesis Essence of the First Half of the Twentieth Briefly. Changsha: Hunan Education. 1993(in Chinese)]
- [9] Blackett P M S. Proc. Roy. Soc. A, 1934, 146 281
- [10] Zhang W Y, Winckler J R. Rev. Sci. Instr., 1949, 20 276

· 信息服务 ·



Rensselaer

美国伦斯勒理工学院招生信息

Troy, New York, U. S. A.

June, 2004

JOIN OUR GRADUATE SCHOOL IN PHYSICS

Ph. D. in Department of Physics, Applied Physics, and Astronomy

Areas of research: Terahertz Imaging and spectroscopy, Terascale Electronics and photonics, Nano-Particles Physics, Bio-physics, Origins of Life, Astronomy, Elementary Particles Physics. Teaching, research assistantships, and fellowships are available.

Application ↗ <http://www.rpi.edu/dept/grad-services/>

Information ↗ <http://www.rpi.edu/dept/phys/>

E-mail ↗ gradphysics@rpi.edu