

胡乾善对宇宙射线的研究*

尹晓冬[†] 周金蕊

(首都师范大学物理系 北京 100048)

2012-05-18收到

[†] 通讯联系人. Email: xiaodongstone@139.com

DOI: 10.7693/wl20130105

摘要 胡乾善(1911—2004), 振动专家和工程力学教育家, 1934—1937年留学英国期间师从布莱克特研究宇宙射线, 曾参与宇宙射线的国际合作研究, 并与苏联物理学家去高加索山4km处进行宇宙射线测量. 他是最早参与宇宙射线研究的中国物理学家之一, 回国后由于无研究设备, 后致力于机械振动研究. 该文是在胡乾善的博士论文及已发表的论文的基础上, 回顾并分析了上世纪30年代胡乾善在宇宙射线方面的研究工作, 目的是使读者了解当时物理学界在此方面的研究进展. 2011年是胡乾善百年诞辰, 2012年是宇宙射线发现100周年, 谨以此文纪念.

关键词 胡乾善, 宇宙射线, 布莱克特, 五重法

Studies of cosmic ray showers by Hu Chien-Shan

YIN Xiao-Dong[†] ZHOU Jin-Rui

(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract Hu Chien-Shan (1911—2004) was an educator and expert in vibration and engineering mechanics who studied cosmic ray showers under P. M. S. Blackett in London from 1934 to 1937. He participated in international experiments on cosmic rays, and collaborated with Soviet physicists in observing cosmic ray showers at 4000m above sea-level on Mt. Kazbek in the Caucasus. He was one of the pioneer Chinese physicists to study cosmic rays, but later devoted himself to the study of mechanical vibration due to the lack of equipment. To commemorate the centennial anniversary of Hu Chien-Shan's birth in 1911 and that of the discovery of cosmic rays in 1912, this paper reviews the research on cosmic rays that Hu performed in the 1930s, based on his doctoral thesis and two articles in the *Proc. of the Royal Soc. of London*. We hope to provide the reader with some details of the research of physicists in this field during that historical period.

Keywords Hu Chien-Shan, cosmic-ray, P. M. S. Blackett, quintuple coincidences method

* 国家自然科学基金(批准号: 11075109)、北京市教育委员会科技计划面上项目(编号: KM201010028007)资助项目

1 引言

宇宙射线是来自于宇宙中的一种具有高能量的带电粒子流,宇宙射线研究已逐渐成为天体物理学的重要领域,许多科学家都试图解开宇宙射线之谜,但直到现在,人们都并未完全了解宇宙射线的起源,时至今日,此研究仍有意义.

人们对宇宙射线的认识始于19世纪末20世纪初,宇宙射线的研究同近代物理学的发展紧密相关.1895年,伦琴(Wilhelm Conrad Röntgen, 1845—1923)发现X射线后,贝克勒尔(Antoine Henri Becquerel, 1852—1908)于1896年发现铀的放射性,并发现一种比X射线贯穿能力更强的射线.1902年,卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937)与索迪(Fredrick Soddy, 1877—1956)将放射线分为 α , β , γ 三种.在1910年之前,所有研究工作都是基于放射性源于地面的观念并在地面上测量而得.1909年,库尔兹(K. Kurz)将此前所有研究工作进行总结和评价,并研讨验电器放电效应可能的三种来源:大地、大气、大气外的区域,但后两种却被否定^[1].1910年,格克尔(S. Gockel)把验电器载入气球中,升到4500m高空,发现高空中验电器的放电率比在地面大,实验结果恰恰否定了库尔兹的第一种假设^[2-3].1911年,赫斯(Victor Francis Hess, 1883—1964)重做格克尔的实验,将高度升至5200m,先后进行10次高空飞行,发现2000m以上辐射随高度增加的事实,得出放电效应来源于大气以外区域的结论^[4-5].赫斯的发现引起了人们的极大兴趣,此后,科学界对宇宙射线的各种效应和起源问题进行了广泛研究.最初,这种辐射被称为“赫斯辐射”,后来被密立根(Robert A. Millikan, 1868—1953)正式命名为“宇宙射线”^[6, 7].

1927到1937的十年间,大量的实验数据表明,初级宇宙射线大部分是带正电的粒子,而在地平面上产生的次级辐射主要是由电子、光子和 μ 介子组成的.1934年,罗西(Bruno Rossi, 1905—1993)通过观察两个水平放置的盖革计数器的放电现象进行东西效应(east-west effect)的测量^[8].1937年,奥格(Pierre Victor Auger, 1899—1993)经过实验发现,

高能宇宙射线在穿过大气层时与大气中的氧、氮等原子核发生碰撞,并转化成次级宇宙线粒子,逐级转化的结果会产生一个庞大的粒子群,奥格将此现象命名为“广延大气簇射”^[9].1935年,苏联物理学家维尔诺夫(Sergey Vernov)利用一对盖革计数器在13.6km的高山上测量初级宇宙射线成分^[10],他是第一个利用无线电控空仪进行宇宙射线测量的人.

1930年后,物理学界已逐渐认识到研究宇宙射线问题的重要性,随之相关研究逐渐增多,宇宙射线的研究为近代物理学开辟了一个新领域.世界一流的物理学家密立根、安德森(C. D. Anderson, 1905—1991)、布莱克特(P. M. S. Blackett, 1897—1974)等人均从事此项研究^[11].密立根曾质疑赫斯的结论,并于第一次世界大战后进行实验,进一步确认了赫斯的结论.在研究宇宙射线的过程中,安德森发现正电子,后又与奈德梅尔(Seth Henry Neddermeyer, 1907—1988)共同发现 μ 介子.布莱克特改进了威耳逊云室照相技术以研究原子核的人工转变,于1924年用云室照片首次成功地验证了人工轻核转变,即氦-14核俘获 α 粒子变为氧-17.1925年,布莱克特还创制了云室照相受自动计数器控制的装置.在安德森发现正电子后的短短几个月,布莱克特就用此装置拍摄的正负电子成对产生过程的宇宙线径迹照片有力证实了正电子的存在.由于宇宙射线和正电子的发现有密切联系,1936年诺贝尔物理学奖授予从事这两个相关项目研究的赫斯和安德森,布莱克特因改进威耳逊云室以及由此在核物理领域和宇宙射线方面作出的一系列发现而获得1948年度诺贝尔物理学奖.

上世纪三四十年代,当世界科学界正关注此前沿领域时,中国却正处于贫穷落后、战火纷飞的年代.幸运的是,中国学生胡乾善(见图1)留英期间从事宇宙射线的研究.胡乾善在清华大学的毕业论文是关于大气电学方面的问题,其中涉及到宇宙射线,他由此对宇宙射线很感兴趣^[12].1934年,胡乾善留学英国,在伦敦大学伯克贝克学院攻读博士学位,师从布莱克特教授进行宇宙射线的研究,经过三年的学习,他完成了博士论文,题目为《用五重拟合法研究宇宙射线簇》(Studies Cosmic-ray Showers by Quintuple Coincidences),并撰写了两篇学术论文在



图1 胡乾善(照片由英国剑桥李约瑟研究所提供, 李约瑟博士(Dr. Joseph Needham)1946年拍摄)

英国皇家学会会刊上发表. 本文挖掘并分析胡乾善的研究成果, 希望能对读者深入认识宇宙射线的飞速发展、了解中国学者在20世纪上半叶对世界科学领域的贡献有所裨益.

2 胡乾善的宇宙射线研究选题及研究方法

1934年夏, 胡乾善到达英国伦敦大学伯克贝克学院攻读博士学位, 导师布莱克特非常重视实验训练, 第一学年, 让胡乾善随爱伦伯格博士(Dr. W. Ehrenberg)学习实验技术, 其后指导他进行宇宙射线方面的研究.

1929年, 苏联物理学家斯科贝尔琴(Dmitri Vladimirovich Skobeltsyn, 1892—1990)利用云雾室摄得宇宙射线痕迹的照片, 根据径迹在云雾室里的微小偏转, 第一次确认了宇宙线粒子径迹, 这是宇宙射线簇的首次发现^[13]. 次年, 斯坦克(E. Steinke)发现了元素在吸收电离的宇宙射线过程中的过渡效应^[14]. 1931年, 辛德勒(H. Schindler)发表了他对于4种不同元素的过渡效应的详细研究^[15]. 第二年, 洛克(G. Locher)、斯科别利兹、密立根和安德森等人发表了更为深入的研究结果——证明云室照片中同时存在数组宇宙射线轨迹^[16-18]. 从那以后, 很多科学家对宇宙簇射现象有了更加清晰的认识并对其愈发

感兴趣. 与此同时, 布莱克特于1933年发明了一种计算受控云室的巧妙方法^[19]. 这项发明大大推动了对宇宙射线的研究, 尤其是对簇射的研究. 运用这一新工具, 布莱克特很快得到可以提供有关簇射现象信息的大量的有效照片, 并立即提出了产生正负电子对是簇射的形成机理. 后来, 不同的学者拍摄了许多云室径迹的照片^[20]. 上述研究为在理论和实验方面研究宇宙射线簇提供了可能, 并同时开拓了新的领域, 基于当时国际宇宙射线研究进展及热点, 布莱克特给胡乾善的博士论文题目是关于宇宙射线簇方面的.

当时研究宇宙射线的方法是拟合法. 罗西最先利用计算来研究宇宙射线, 1933年发表了他的研究成果^[21], 随后, 芬费尔(E. Fünfer)做了类似的研究^[22]. 由于计算的构成简单, 便于使用, 大多数簇射现象的研究都运用拟合法. 为测定宇宙射线在某方向的强度, 宇宙射线因计数器的个数和排列方式的不同而产生不同的结果, 当时采用的方法是重合计数法(coincidence counting method). 玻特(Walther Bothe, 1891—1957)在盖革计数器的基础上提出了符合计数法^[23], 他利用两个计数管, 使得只有当电离碰撞在两个计数管中同时发生时, 这两个计数管才会计数. 从此, 符合法在宇宙射线的研究中得到了广泛应用. 在此法中, 多个计数器并用, 当每一个计数器同时均被射线穿过时得到一重合计数, 对重合计数电路工作原理, 富塞尔(L. Fussell)、约翰逊(T. H. Johnson)和弗兰克(J. Frank)曾最早进行了详细说明^[24]. 当时, 其他研究者也运用拟合法进行宇宙射线的研究, 如泽勒(Zeiller)、摩根(Morgan)和尼尔森(Nielsen)运用了三重拟合法, 但获得的数据有限; 奥格、勒普兰斯—林盖(Lepince—Ringuet)和艾伦菲斯特(Paul Ehrenfest, 1880—1933)运用了四重拟合, 这种方法不能记录偏离吸收物质中定点的射线, 所以不能记录次级射线, 只能有效地记录初级簇射线^[25]; 芬费尔已经运用五重拟合法研究宇宙射线簇, 但计数器的排列有所不同: 一个计数器放在紧贴着铅的下方,

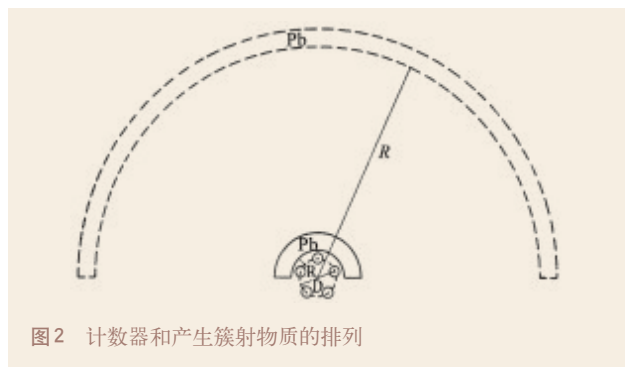


图2 计数器和产生簇射物质的排列

其他4个在第一个下方并在同一水平面上,这样得到的测量结果与三重拟合相差很小.

胡乾善采用了五重拟合法,是将5个计数器按五角形排列,如图2所示.这种方法需要至少可以记录三条射线,以构成拟合,而且不需要限制产生簇射的物质的大小,从而提高了产生簇射的概率.在这种排列中,将产生簇射的薄片弯成半圆筒形,使簇射粒子在产生簇射的物质中的路程大致相等^[25].

3 胡乾善的宇宙射线研究内容、实验过程和主要实验结果

胡乾善通过五重拟合法研究铅产生的簇射的分布和过渡曲线的形状,研究不同元素簇射的相关概率、簇射的厚度以及原子系数之间的关系,研究不同元素对不同元素产生的簇射的吸收作用.

3.1 测量铅中产生的不同角分布的簇射过渡曲线

根据玻色和海特勒的理论计算值,入射光子与能量为 E 的电子之间的夹角平均值 θ 大约是 mc^2/E (其中 m 为光子的质量, c 为光速).这样,如果假设单电子对是产生簇射的主要机制,那么当簇射中的粒子的平均能量为 $\bar{E}$ 时,其平均角度 $\bar{\theta}$ 应大约为 $mc^2/\bar{E}$.可能存在与簇射中粒子数量有关的附加因素,但这样的关系是合理的.由此可知,簇射的散度随着粒子平均能量的增加而降低.一些实验结果表明^[26, 27],在一定范围内,簇射的过渡曲线的极大值还可能与簇射粒子的能量大小有关,这对罗西—吉伯过渡曲线解释理论——吸收物质的厚度与曲线的极大值相符提出质疑.因此,可

以用排列好的计数器记录不同角度的簇射来研究铅的过渡曲线.

在实验中,将5个直径为0.95cm的计数器排列好(见图2),计数器围成的圆的直径 D 约为3.4cm.采用两种排列铅的方式:一种的内半径 R 为2.3cm,另一种为20cm.若规定一簇射的发散角 θ 为从簇射中心轴测量的所有簇射粒子的平均发散角度,那么,如果采用 $R=20\text{cm}$ 的排列,除了非常小的角度($\theta < 3^\circ$)外,所有角度的簇射都被记录下来,而采用 $R=2.3\text{cm}$ 的排列^[25],仅可记录角度 $\theta > 15^\circ$ 的簇射.测量结果如图3所示,曲线1是所有角度簇射的过渡曲线,极大值的位置在1.5cm处,曲线2仅表示出大角度的簇射,极大值的位置在1.4cm处.曲线1平缓,曲线2比较尖,但几乎在同一处有峰值,这一结果否定了当簇射线的平均范围越小时簇射的离散角越大的假设.

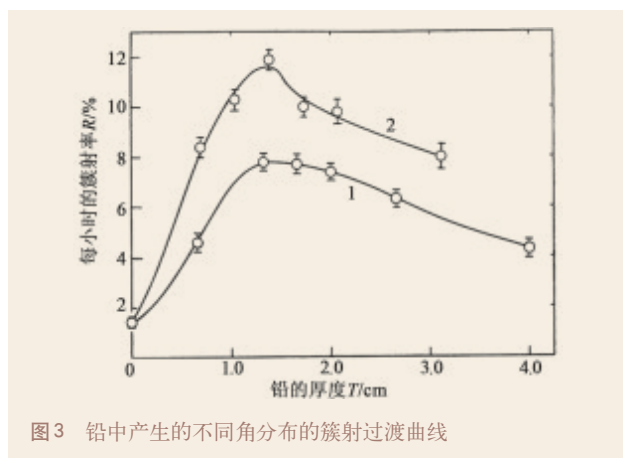


图3 铅中产生的不同角分布的簇射过渡曲线

用一个类似于图2中展示的排列方法,设 D 为5cm, R 为4.5cm,使用铅、锡、锌和铝薄片,通过记录每平方厘米的原子数 n 、总拟合数 N 、总时间 T ,计算每小时的簇射率 R 和 $n \cdot Z^2$ 的值.将 R 与 $n \cdot Z^2$ 为坐标轴,绘制不同元素的过渡曲线(见图4),并得到结论:不同原子核产生的簇射所引起的五重拟合的数量几乎与原子数的平方成比例,不同元素的过渡曲线的初始部分形状几乎相同,而且一般的曲线初始斜率不为零^[25].

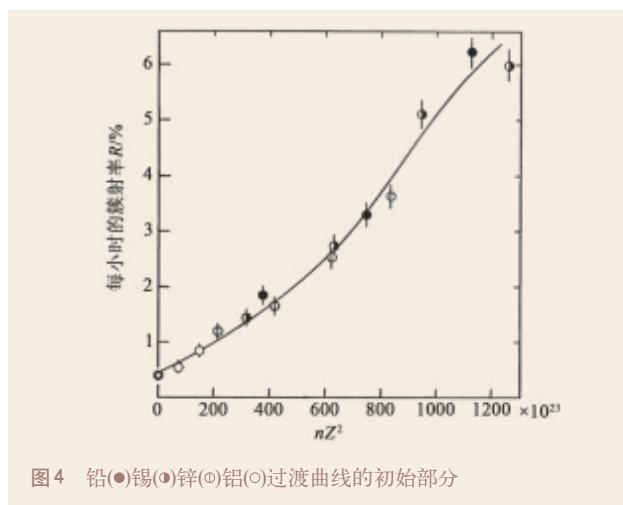


图4 铅(●)锡(◐)锌(◑)铝(○)过渡曲线的初始部分

3.2 在高海拔处测量不同元素产生的宇宙射线簇射

另外，胡乾善在4000m海拔处测量不同元素产生的宇宙射线簇射的相对大小和相对频率及簇射线的吸收。在海拔4000m的高山上进行实验，图5给出了实验时的元素排列和以簇射频率 R 与 $n \cdot Z^2$ 为坐

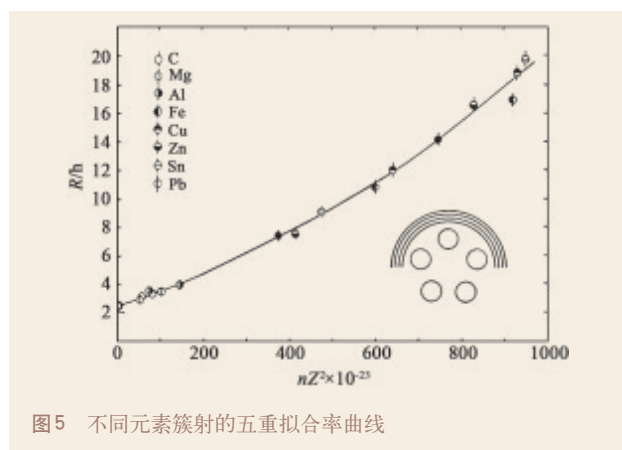


图5 不同元素簇射的五重拟合率曲线

标绘制的五重拟合率曲线^[28]。不同元素的曲线重叠，表明在高海拔处不同元素产生的簇射，其相对频率符合 Z^2 定律。

簇射的相对频率是簇射产生的实际相对频率与计数器系统所记录簇射的概率这两者乘积的测量值。这个概率是簇射线数量 N 的单调增函数，所用计数器数量的单调减函数^[29]。四重符合的频率与五重符合的频率的比值

会随 N 的增大而减小，当 N 接近无穷时，两种符合的频率几乎相同。通过测量这个比值，可以定性地发现，簇射的大小(每簇中射线的数量)会随产生簇射物质的原子序数的增加而增大^[28]。

由于簇射的大小随 Z 增加，所记录簇射的数量与 Z^2 成正比，所以可以说，不同元素中产生簇射的概率基本符合 Z^2 定律，但更准确地讲，概率的增加比按这一定律增加要稍慢一点。

伍德沃德(R. H. Woodward)运用四重拟合研究了宇宙射线的吸收，通过比较铅和铝中簇射的吸收作用，他得出结论，吸收率取决于 Z 的乘方，而乘方的值是在1和2之间^[30]。荷兰物理学家克莱(J. Clay)从测量数据中得出结论，吸收作用符合 Z 定律，铅中产生的簇射具有明确的穿透范围——铅的厚度约为4.4cm，而且轻元素中的簇射其穿透范围比重元素中的大一些^[26]。

胡乾善采用图6中的排列方式，测量了不同元素对不同元素中簇射的吸收作用。在图6(a)中，用铅、锡、锌、铝和碳作为吸收物质分别放在A、B处，A处的测量结果用小圈表示，B处的测量结果用大圈表示。在A处的五重拟合率比在B处的拟合率要大得多，因此，图6(a)中细细的曲线不能表示真实的吸收情况，而大圈比小圈似乎更像在一条曲线上，那短而粗的曲线表示更接近真实的吸收曲线，这意味着吸收作用近似符合 Z 定律。

图6(b)中，表示用同样的排列方式，测量了铅对薄铅、厚铅、锌和铝中簇射的吸收作用。从图中可知，较轻元素中产生的簇射有较强的穿透力；此外，薄铅板(0.67cm)与厚铅板(1.7cm)二者产生簇射

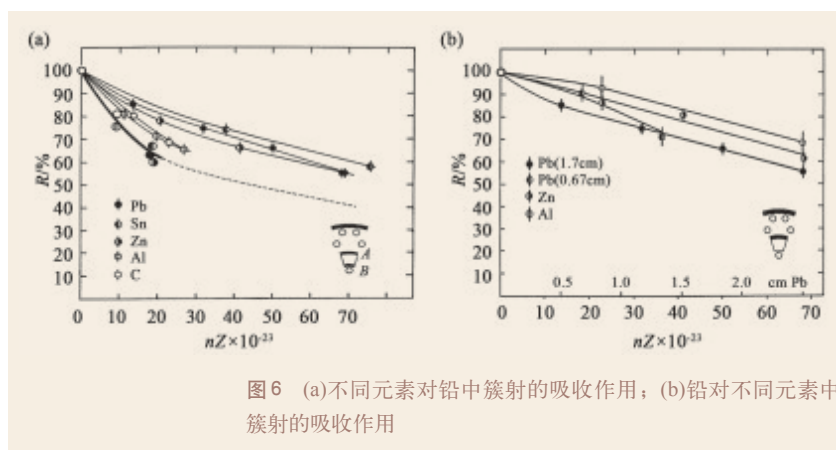


图6 (a)不同元素对铅中簇射的吸收作用；(b)铅对不同元素中簇射的吸收作用

的吸收曲线的初始部分并不完全重合,表明薄铅板中的簇射线比厚铅板中的簇射线要有稍强的穿透力,但这种差异不足以说明铅中所有簇射存在明确范围^[28].

3.3 对簇射过渡曲线进行解释

关于簇射过渡曲线的解释,罗西—吉尔伯特(Rossi—Gilbert)理论认为,产生簇射物质的厚度与随簇射范围变化的簇射曲线的最大值一致,后来被称为罗西—吉尔伯特解释.1936年,蒙格马利(为C. G. Montgomery 和 D. D. Montgomery 两人)指出,观测到强穿透力的簇射线与众所周知的簇射过渡曲线的罗西—吉尔伯特解释不一致^[27].胡乾善对簇射吸收系数随吸收物质遮盖计数器个数的变化的研究结果做了实验,并进行了解释.

泽勒运用三重拟合,通过用吸收物质分别遮盖一个、两个和全部计数器,得到三次测量的吸收系数的比值为1:1.5:2.2^[28].为了检验泽勒的实验结果,胡乾善进行三重拟合测量,得到曲线A,另用五重拟合测量,得到曲线B(见图7).

作为第一级近似,假设单个簇射线的吸收曲线是指数函数,则对于第*i*个计数器,符合平均簇射的概率为

$$p_i = P_i e^{-\mu_i x}, \quad (1)$$

式中*x*是围住计数器的吸收物质的厚度.由含有3个计数器组成的且均被厚度为*x*的吸收物质盖住的系统所记录的一个平均簇射的概率为Π,则有

$$\Pi = p_1 p_2 p_3 = P_1 P_2 P_3 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)x}. \quad (2)$$

如果只有第一个计数器被吸收物质盖住,则Π减小到

$$\Pi = P_1 P_2 P_3 e^{-\mu_1 x}. \quad (3)$$

(2)式与图7中的曲线A相符,(3)式与曲线B相符.由于次级簇射的产生和单个簇射线吸收曲线并非指数函数的事实使情况更加复杂,所以仅能从定性的角度解释曲线A和曲线B的差异.然而,有趣的是,曲线A和曲线B的初始斜率的比值约为3:1,这正与上述讨论中得到的推测一致^[28].

根据以上所述,胡乾善指出:就罗西—吉尔伯特过渡曲线的解释而言,将复杂簇射的吸收作用视为简单簇射的吸收作用,有关最大值的位置随簇射范围而改变的证明是毫无根据的.实际上,在每一产生簇射的物质的附加层中,产生了较多的初级射线簇,上面的簇射线被吸收,簇射线又产生了次级簇射.

3.4 主要实验结果

运用五重拟合法研究宇宙射线簇,胡乾善得出如下主要实验结果:

一簇射线的发散角取决于这簇射线的平均能量.实验结果表明,平均发散角会随着一簇射线能量的降低而增大.

胡乾善发现,较重元素产生的射线簇的平均大小(每簇的射线数)更大.它也随着产生某种物质的射线簇的厚度增加而增加,这是初级宇宙射线产生次级宇宙射线的缘故.

在大气中从海平面到一个相当的高度(4000m),由于宇宙射线未被任何稠密物质过滤,不同元素中的每个原子产生簇射线的概率,作为一级近似与原子序数*Z*的平方成正比.准确地说,该概率的增大比*Z*²的增大要稍稍慢一点.

从总体上看,产生簇射线的元素愈轻,其穿透力愈强.根据*Z*法则,被不同元素吸收的铅产生的射线簇表明,大部分吸收是来自核外电子.即使这对于具有更强穿透力的射线可能是错的,但至少对于软簇射线是对的.

传统的簇射过渡曲线理论是不正确的.尽管不难做出簇射的定性解释,但由于其形成的复杂性,

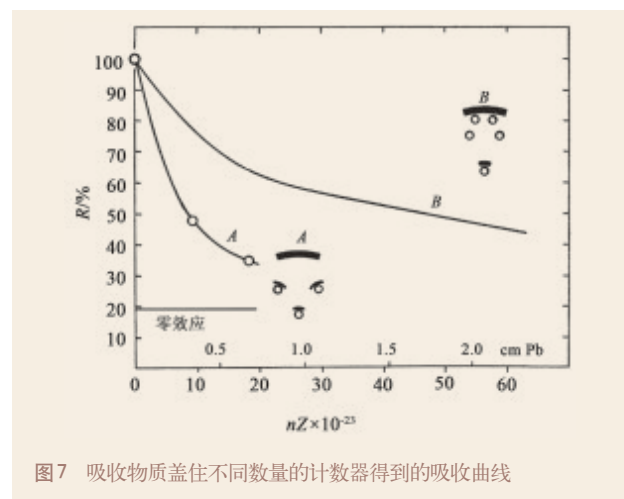


图7 吸收物质盖住不同数量的计数器得到的吸收曲线

目前还不可能给出簇射过渡曲线的数学表达式。

4 胡乾善的研究结论及其意义

由以上分析可以看出,胡乾善主要运用五重拟合法研究宇宙射线,并在实验室和4000m高加索山上进行实验测量。胡乾善的研究结论如下:通过采用两种产生簇射的铅的排列方式,研究簇射线的离散效应,否定了簇射线平均范围越小簇射的离散角越大的假设;研究铅、锡、锌和铝过渡曲线的初始部分,发现不同元素产生的簇射所引起的五重拟合的数量几乎与原子数的平方成正比;在高加索山上的实验,验证了不同元素产生的簇射符合 Z^2 定律,并更准确地表明,随原子数的增加,簇射概率的增加速度要比 Z^2 定律稍慢一点;得出了簇射的大小会随原子序数的增加和产生簇射物质厚度的增加而增加的结论,还得出簇射的吸收作用近似地符合 Z 定律以及较轻元素产生的簇射有较强的穿透力但所有簇射都没有明确的范围等结论,并有力地否定了罗西—吉尔伯特过渡曲线的理论解释。无论是在宇宙射线研究选题、研究方法和对前人成果的验证方面,还是在对尚存问题的探索方面,胡乾善都处于当时宇宙射线研究领域的前沿并取得了重要的进展。

胡乾善在布莱克特安排下,于1936年携带仪器与苏联物理学家到高加索山上对宇宙射线进行观测,1936年夏在完成任务返回英国的途中,经过哈尔科夫和列宁格勒时,曾在两个物理研究所就合作研究的结果做了学术报告,引起苏联专家的广泛兴趣^[12]。胡乾善在完成博士论文后,还设计了一个小型自动受控云室,可以用于对宇宙射线进一步研究。

胡乾善采用五重拟合法研究宇宙射线簇的工作后来被人多处引用。如在匈牙利物理学家杨诺希(L. Janossy)1938年的论文《宇宙射线簇粒子的穿透能力》中,就提到胡乾善等人在海拔4000m观测到的铅中的射线簇的55%的射线穿过2—5cm铅,这个值与杨诺希小组的观测结果符合非常好^[31]。杨诺希在他的《宇宙射线》一书中,也引用了胡乾善发表在英国皇家学会会刊上的文章中的图表(见本文中的图5),认为胡乾善的工作非常明显地表明了产生的簇射与原子序数 Z 的平方成正比^[32]。而且胡乾善对传统罗西—吉尔伯特过渡曲线的否定也引起了研究者

的注意^[33],杨诺希认为胡乾善的工作强有力地支持了依据级联理论对宇宙射线簇的解释^[34]。根据目前所知的文献,胡乾善比较早地将计数器按正五角形的排列并采用五重拟合系统方法¹⁾,实验结果表明,他的这种方法十分合理^[35],在当时具有较为独特的优越性及独创性。

5 结束语

胡乾善1937年博士毕业,由于当时中国正处于抗日战争时期,他中止了自己的研究工作,毅然回国,他在实验室的工作后来由洛弗尔(Bernard Lovell, 1913—)接替,洛弗尔后来取得了很好的成绩^[36]。胡乾善回国后,因受抗战的影响,研究设备短缺,无法从事宇宙射线的研究,胡乾善为之十分痛心,但自己仍无时不在关注这个问题。1941年,他写了关于宇宙射线能谱方面的论文,发表在美国《物理评论》上^[37],并编写了《宇宙射线浅说》一书,以唤起国人对宇宙射线兴趣及认识,为我国将来对宇宙射线的研究不落他人之后^[11],可见胡乾善对宇宙射线的热爱和拳拳爱国之情。

胡乾善是最早参与宇宙射线研究的两位中国留学生之一(另一位是周长宁),也是最早参与宇宙射线国际合作研究的中国物理学家。他的成果不仅是他个人能力的表现,也是中国留学生学术成绩的表现,更是中国学者参与世界前沿科学研究领域并取得优异成绩的最好表征。今天,重提胡乾善的早年工作,一是为展示早期留英物理学家所做出的优秀成果,二是为鼓励当代留学生及广大青年学者踏实工作,为国家贡献力量。在胡乾善百年诞辰和宇宙射线发现100周年之际,谨以此文纪念。

致谢 感谢中国科学院自然科学史研究所戴念祖研究员认真阅读本文并提出建议。

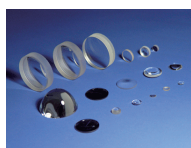
1) 目前发现的文献指出,佛里德和克罗修最早在1936年就使用正五角形的方式进行检测(请参阅D. H. Follett and J. D. Crawshaw. Cosmic Ray Measurements under Thirty Metres of Clay[J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 155, No. 886, 546—558)

参考文献

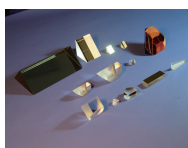
- [1] Kurz K. Z. Phys., 1910, 10: 835
- [2] Gockel A. Z. Phys., 1911, 12: 595
- [3] Gockel A. Z. Phys., 1910, 11: 281
- [4] Hess V F. Z. Phys., 1911, 12: 998
- [5] Hess V F. Z. Phys., 1913, 14: 610
- [6] 姚立澄. 自然科学史研究, 2002, 21(4): 338
- [7] (美)密立根(R.A.Millikan)著, 钟闻译. 电子及其他质点: 正负电子、质子、光子、中子、介子及宇宙射线. 北京: 商务印书馆, 1954
- [8] Rocci B. Cosmic Rays. London: George Allen and Unwin Ltd., 1972
- [9] Auger P. Rev. Mod. Phys., 1939, 11 (3—4): 288
- [10] Vernoff S. Nature, 1935, 135 (3426): 1072
- [11] 胡乾善. 宇宙射线浅说. 上海: 正中书局, 1947
- [12] 杨汉国. 胡乾善. 见: 中国科学技术协会. 中国科学技术专家传略—工程技术编·力学卷I. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 105
- [13] Skobelzyn D. Z. Phys., 1929, 54: 686
- [14] Steinke E. Phys. Z., 1930, 31: 1019
- [15] Schindler H. Z. Phys., 1931, 72: 625
- [16] Locher G. Phys. Rev., 1932, 39: 883
- [17] Skobelzyn D. Compt. Ren., 1932, 195: 315
- [18] MilliKan R A, Anderson C D. Phys. Rev., 1932, 40: 325
- [19] Blackett P M S, Occhialini G P S. Proc. Phys.Soc., 1933, A139: 699
- [20] Hu Chien Shan. Studies Cosmic-ray Showers by Quintuple Coincidences. Dissertation 1937, Introduction
- [21] Rossi B. Z. Phys., 1933, 82: 151
- [22] Fünfer E. Z. Phys., 1933, 83: 92
- [23] Walther Bothe. The Coincidence Method. The Nobel Prize in Physics. 1954. Nobelprize.org
- [24] Fussell L, Johnson T H, Frank J.Inst., 1934, 217: 517
- [25] Hu Chien Shan. Proc. Roy. Soc., 1937, 158A(895): 581
- [26] Clay J. Physica, 1936, 3: 352
- [27] Montgomery C G, Montgomery D D. Phys. Rev., 1936, 49(10): 705
- [28] Hu Chien Shan, Kisilbasch B B, Ketiladje D. Proc. Roy. Soc., 1937, 161A(904): 95
- [29] Montgomery C G, Montgomery D D. Phys. Rev., 1935, 48(15): 786
- [30] Woodward R H. Phys.Rev., 1936, 49(10): 711
- [31] Janossy L. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. 1938, 34: 617
- [32] Janossy L. Cosmic Rays. Oxford: Clarendon Press, 1948. 231—232
- [33] Trumphy B. The beginning of the Photon-Initiated Rossi-Curve for Pb, Fe and Al. København: I kommission hos E. Munksgaard, 1943, 3
- [34] Janossy L. Cosmic Rays and Nuclear Physics. London: Pilot Press, 1948. 103
- [35] Janossy L. Proceedings of the Royal Society of London, 1938, 167 (931): 500.
- [36] Lovell A C B. The Early Years of Radio Astronomy-Reflections Fifty Years after Jansky's Discovery. Edited by W. T. Sullivan, III. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 193; Hu Chien Shan. Phys.Rev., 1941, 60: 614

标准光学元件库存——供您随时选用

总量多达 10 万片，超过 700 个品种规格的透镜，棱镜，反射镜，窗口，滤光片等常用光学器件；涵盖紫外，可见，近红外，红外等光学应用领域。



光学透镜



光学棱镜



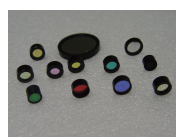
可见光学元件



红外元件



颜色滤光片



窄带干涉滤光片



北京欧普特科技有限公司
Beijing Golden Way Scientific Co., Ltd

地址: 北京市朝阳区酒仙桥东路 1 号 M7 栋 5 层东段

电话: 010-88096218/88096099 传真: 010-88096216

邮箱: optics@goldway.com.cn