

## 理论与实验相结合的现代物理学大师——费米

阎康年

(中国科学院自然科学史研究所)

在理论愈益精深和实验日趋精密的现代物理学中,学科越分越细,难度愈来愈大,能够驰骋于其中并由理论与实验交融而做出一系列重大成果的现代物理学家,恐怕最具有代表性的要算是费米 (*Enrico Fermi*, 1901—1954) 了。在理论物理学上,他以著名的费米统计和 $\beta$ 衰变理论闻名于世。在实验物理学上,他又因发现慢中子重核人工蜕变及发明第一个原子能反应堆,而被誉为核时代的主要缔造者。

费米被称为在伽利略之后振兴意大利物理学的著名物理学家,1901年9月29日生于罗马,是罗马一个铁路职员 A. 费米的第三个孩子。哥哥少年夭折,促使孤寂的费米从书中去寻求乐趣。他自幼天资聪慧,学习成绩优异,他在理论物理学上的良好基础主要是通过自学取得的。他父亲的朋友阿米迪 (*A. Amidei*) 是他自学物理和数学的启蒙者,并指引他去投考比萨王家高等师范学院,因为在十七岁时就写出《声音的不同特性》论文,而获得该校的研究奖学金。1922年又以《伦琴射线的实验研究》论文和学习成绩优异获得比萨大学的博士学位,毕业于比萨大学。1923年冬天获得去国外做研究员和教育部的奖学金,先去哥廷根大学在著名理论物理学家玻恩的指导下,进修七个月,后去莱登大学在埃伦菲斯特的指导下,继续进修理论物理学,受到教诲和鼓舞。1925年春天回意大利后任佛罗伦萨大学的物理讲师,讲授数学、物理和理论力学,并着手研究广义相对论和量子力学。这期间同光谱学家拉赛蒂 (*E. Rasetti*) 一起进行谐振光在交变磁场中去极化 (*depolarization*) 实验,写出他的

第一篇重要实验的论文,此论文被后来其他物理学家作为进行光学研究的重要参考文献。1926年春天,费米被聘为罗马大学的理论物理学教授,从此他进入了在物理上富于创造性的新时期。这期间他在理论物理上的重要贡献就是著名的费米统计,因此引起国际物理学界的很大重视。1927年9月在科摩举行的国际原子物理学家会议上,当选为理论物理讨论会的主席。会后不久,他和拉赛蒂、赛格莱 (*E. Segrè*) 和阿玛尔迪 (*E. Amaldi*) 等组成闻名的费米物理研究小组,直至1935年墨索里尼发动侵略巴比西尼亚战争使政局出现激烈变化时才结束。这个小组在费米领导下做出了后面将谈到的一系列重大发现,吸引了国内外很多青年物理学家,而形成当时国际上一个重要的物理研究中心,为伽利略之后衰落下来的意大利物理学带来了复兴。

费米在二十年代后期的理论物理研究上,主要是把费米统计用于计算核外电子云的密度,并与托马斯各自独立构成一种原子模型即托马斯-费米原子模型,以及用傅里叶级数、量子论和哈密顿量将量子电动力学表现为人们易于接受的形式。由于前述及这些重要成果,使他成为那时意大利最出色的理论物理学家,因而于1929年当选为意大利科学院和林赛科学院的第一个理论物理院士。这时,他感到相对论、量子力学和量子电动力学的建立和发展日臻完善,而核物理在卢瑟福及其助手和学生们的努力下,在发现原子核之后,又用人工打破原子核实现了元素转变和制成大量的同位素,并对原子核的结构提出了初步设想,费米立即不失时

地带领他的小组把研究方向转到正蓬勃发展起来的核物理。为了迅速扭转意大利在核物理及其他实验研究上的落后状态，他的小组成员分头去国外学习。拉赛蒂先后去美国和德国求教于密里根和迈特纳，学习宇宙线和核物理的实验技术；赛格莱到德国和荷兰就学于斯特恩(O. Stern)和塞曼，阿玛尔迪到莱比锡向德拜学习，……。然后，回罗马系统讨论学习心得和如何开展他们的研究工作。这对意大利的核物理的研究工作迅速赶上国际先进水平，起了重要的作用。

1931年10月，费米出席在罗马举行的第一次国际“核蜕变会议”，并在会上会下积极支持泡利反对玻尔等人在会上提出的 $\beta$ 单体衰变过程中能量不守恒的看法。会后，他积极研究 $\beta$ 衰变过程及其理论问题，为解释 $\beta$ 衰变过程中微子将损失的那部分能带走和核内存在弱相互作用。1934年春天，约里奥-居里夫妇宣布用 $\alpha$ 粒子轰击轻元素发现人工放射性同位素后，费米和他的小组立即转向用中子轰击重核以产生重元素的人工放射性的研究，发现含氢元素的物质可使中子速度减慢，而达到慢中子重核蜕变的目的。为此，他于1934年5月发表《含氢物质对中子产生放射性的影响》论文两篇，介绍他们的实验结果和提出其产生的机理。同年，去阿根廷和巴西讲学。1935年因政局的变化和小组主要成员因种种原因离去，研究工作难于进行下去。1938年10月，费米获得物理学的诺贝尔奖。由于他对墨索里尼的法西斯统治不满，以及其排犹政策牵连到他的犹太血统的妻子和孩子，在去斯德哥尔摩出席诺贝尔奖授典礼后，即带全家转道去美国。1939年1月2日抵纽约之后，被聘为哥伦比亚大学的理论物理学教授。在哥伦比亚大学，费米提出了核链式反应概念，并用该大学的回旋加速器，进行实验，证明核链式反应的可能性。1942年4月，去芝加哥大学，在康普顿领导的冶金实验室内负责研制原子能反应堆工作。在费米、安德逊和西拉德等的共同努力下，终于1942年12月2日制成第一个原子能反应堆，为后来原子弹的

研制成功解决了关键问题。1944年7月费米全家正式取得美国国籍，9月即去劳斯阿拉莫斯实验室，在奥本海默领导下从事原子弹的研制。1945年7月16日凌晨第一颗原子弹试验成功，费米起了公认的重要作用。不久，杜鲁门总统任命费米为负责制定美国原子弹和原子能有关政策的临时委员会及其专家组的成员。由于他们的决策，促进了美国总统决定于1945年8月6日和9日在日本广岛和长崎先后投下世界上第一、二颗原子弹，加速了日本军国主义政府的无条件投降。

1946年元旦，费米一家离开劳斯阿拉莫斯实验室去芝加哥大学，受聘为该大学核科学研究所的教授，在和平时重新投入到培养人才和科学研究之中。在他的倡议下，核研究所设立研究生院，用他在罗马大学的方法，培养高级核科学研究人才。研究生大多是来自劳斯阿拉莫斯实验室的理论组和实验组的青年研究人员，其中也有李政道和杨振宁。根据杨振宁的一篇回忆费米的文章介绍说，他在1945年9月抵美国时，就决心追随费米进行核物理的研究。他是在普林斯顿大学听到正在该大学巴尔末实验室做研究教授的张文裕说过，芝加哥大学将建立一个研究所，费米将参加研究所的工作，他就立即赶到芝加哥大学，并注了册，做了费米的研究生<sup>[1]</sup>。由于费米的知识渊博，讲授深入浅出，强调青年人应把大部分时间致力于简单的实际问题，而不是深奥的重大问题，以及他的崇高威望，使芝加哥的核科学研究所成为战后世界上最著名的核科研中心。

战后几年，费米意识到核物理的发展已接近成熟阶段，应该把研究方向转移到基本粒子物理或高能物理上来。为此，于1950年春天在耶鲁大学就这个问题进行讲学，并将讲稿汇集成《基本粒子》一书予以发表。为了深入研究基本粒子问题，他倡议在芝加哥大学建造大型回旋加速器，并自任顾问。利用制成的这台加速器，投入 $\pi$ 介子与核子散射的实验研究，他是“ $\pi$ 介子”和“ $\mu$ 介子”的命名者，又是第一个共振态即布鲁克纳预言的同位旋为 $3/2$ 和自旋为 $3/2$ 的

共振态的发现者。1947年他同泰勒(E. Teller)发表的《负介子在物质中的衰变》<sup>[2]</sup>论文中,提出宇宙线介子被铁或石墨停止后,因与核短程相互作用而被核俘获。这个思想不久被惠勒(J. A. Wheeler)发展为负 $\mu$ 子被核俘获后沿定态轨道绕核旋转,并在轨道间跃迁,并被张文裕在1948年用实验第一次证实和发现了 $\mu$ 子原子<sup>[3]</sup>,从而开拓了奇异原子这个新的物质组成形式的研究领域。五十年代初,费米同安德逊一起用电子计算机等先进技术对共振态进行的探测、计算和研究的方法,后来成为探测共振态的典型方法。此外,他还研究了宇宙线的起源,发展处理高能粒子碰撞现象与粒子多重产生的统计方法。这些成就对后来高能物理的发展有很大的作用。

1949年,费米接受意大利青年物理学家的邀请,首次回到自己阔别多年的祖国作短期讲学,受到热烈的欢迎。第二次回意大利是在1954年的夏天,那时他带病去意大利和法国的暑期学校任教,做 $\pi$ 子物理的讲学。9月回到芝加哥大学时,发现患胃癌,在得知生命危在旦夕的情况下,他以坚强的毅力与病痛搏斗,在生命最后的两个月内把他长年积累起来的原子核物理笔记校订出版。1954年11月28日费米在芝加哥病逝。

费米作为现代物理学的一个大师,对二十年代迄今的理论物理、核物理和高能物理的发展有着重大的影响。他在原子能大规模释放上所做出的划时代贡献,将铭刻千古。他在现代理论和实验物理上做出的举世公认的很多贡献,主要表现在以下几个方面:

### 1. 费米统计

1924年,玻色和爱因斯坦先后提出适用于光子量和自旋为整数的粒子的统计,称为玻色-爱因斯坦统计,但这个统计不适用于满足泡利不相容原理的粒子。1925年泡利提出他的不相容原理:在多电子系中,不能有两个以上的电子处于完全相同的量子态。为了满足不相容原理的粒子的计算要求,需要一种新的统计,这个统计先后由费米和狄喇克于1926年分别独

立发现,因而又称为费米-狄喇克统计。费米认为,凡满足泡利不相容原理的粒子,在理想的单原子气体的分子中,可能存在的任一种量子态的只能有一个原子,从而得出适于气体运动行为的一整套计算方法即费米统计,于1926年3月6日发表在《论理想单原子气体的量子化》论文中。遵守费米统计的粒子又称费米子,包括电子、质子、中子和具有半整数自旋的所有粒子,它在原子物理、核物理和固体物理上有很大的意义。费米统计用于原子模型,就出现上述的托马斯-费米模型,这个模型提出核外电子云概念,对搞清气体的重要性质、金属导电、比热和热电现象等,有重要作用。

### 2. $\beta$ 衰变理论和弱相互作用

为了说明费米在这个问题上的贡献,必须回顾这个问题的历史发展状况。1912年查德威克在曼彻斯特大学卢瑟福实验室工作时,随盖革同去德国的柏林大学进行研究,1914年他发现 $\beta$ 射线具有与 $\alpha$ 和 $\gamma$ 射线不同的性质,其动能谱是连续分布的,并于集中营时告诉了另一个被监禁的英国青年人艾里斯(C. D. Ellis)。艾里斯花了十几年时间,终于用铅吸收 $\beta$ 射线和测量其产生的热量,并将电子连续能谱和外来的能谱分开,证明 $\beta$ 粒子释放的能量恰等于连续能谱中电子的平均能量。泡利曾称赞他说“花了十几年真了不起”,对他未因此获诺贝尔奖很有意见。艾里斯的实验结果说明电子在物质中未损失能量,但在放射性物质衰变中 $\alpha$ 粒子有确定的能量,等于母核和子核的内能之差,而 $\beta$ 粒子因连续能谱很宽,就出现发射快和慢 $\beta$ 粒子后放射性元素核的内能之差如何处理问题。对此,玻尔在二十年代末提出在 $\beta$ 衰变过程中能量守恒定律只能平均地成立,但对单个 $\beta$ 粒子来说则不成立,即其单体能量不守恒,并在1931年10月在罗马举行的有45个国际著名物理学家参加的会议上,提出了这个观点。泡利不同意他的看法,早在1930年12月4日给杜宾根大学核物理组的盖革和迈特纳的信中就提出 $\beta$ 衰变过程损失的那部分能量被一个或多个中性粒子带走了<sup>[4]</sup>,在这次会议上他又明

确提出,反驳玻尔的观点,艾里斯和费米也出席了这次会议,给费米以深刻的影响。他在与罗马的物理学家的谈话中谈到泡利说的“中性粒子”时,开玩笑地说是“中微子”,这就是中微子名称的来源。在1932年海森堡、伊凡宁柯和马捷兰诺(Majorano)分别提出原子核由质子和中子组成的原子核模型后,费米于1933年12月发表的论文中提出 $\beta$ 衰变是中子衰变为质子、电子和中微子即三体衰变,正是中微子将损失的那部分能量带走,从而合理地说明了 $\beta$ 衰变过程。

费米关于 $\beta$ 衰变过程的上述解释,实际上发展了卢瑟福早在1925年提出的原子核由质子和电子组成的核模型和海森堡等提出的上述核模型,而实际上诠释了中子由质子、电子和中微子组成的思想,这是他提出的三体衰变理论的必然结果。

关于核内存在四种费米子之间的相互作用问题,他通过处理 $\beta$ 衰变现象,应用了二次量子化和费米子湮没与产生的算符及用一个弱相互作用的哈密顿量,按相对论不变性、线性和不出现微商项等形式上的准则,在五种可供选择的方式中,他选用了矢量型弱相互作用,因它与电磁相互作用相类似,因此,普遍认为他于1933年发现了弱相互作用。他的这个研究成果最早出现在给英国《自然》杂志的信中,结果被该杂志编辑作为“含有对读者的兴趣来说是太偏离物理实际的抽象推测,而被拒绝”<sup>[5]</sup>。于是,他写成详细的论文交《科学研究》(*Ricerca Scientifica*)杂志发表,1934年初又由德国的《物理杂志》发表。1934年夏天,在英国召开的国际物理会议上宣读的《 $\beta$ 自发衰变》(*Natural Beta Decay*)论文中,说“在我的 $\beta$ 射线理论中曾给出的这种相互作用方式,只是因为它的简单性才被选择了。……虽然在艾里斯的报告中出现的证据,对于它的现在形式的选择规律是有利的”<sup>[6]</sup>。

### 3. 重元素人工蜕变和慢中子核蜕变

1934年2月,约里奥-居里夫妇宣布用 $\alpha$ 粒子轰击稳定的轻元素核,人工变成放射性的

核,使铝变成硅<sup>30</sup>后又转变成磷<sup>30</sup>,但对重元素的实验却不起作用。费米认为问题出在轰击的“子弹”本身。他按卢瑟福曾指出的具有中性电荷的中子对核的穿透力可能更有效的设想,于1934年3月与拉赛蒂一起,采用能量大的氘加钷作为中子源,从轻元素开始,按原子量大小的顺序,依次轰击,直至重元素。在轰击氟原子时,才出现了放射性。再依次轰击下去,发现有37种重元素具有新放射性的同位素,因而发现了重元素的人工放射性和核蜕变现象。当他们轰击铀原子时,发现产生的放射性同位素并非一种,至少有一种不是铀的同位素。当时,他们未意识到已面临发现铀核裂变的边缘,却误认可能是“第93号元素”,并被有的报纸头版头条加以宣扬,而把铀核裂变的发现推迟到1938年奥托·哈恩和斯特拉斯曼的实验和1939年迈特纳与弗利希进一步加以证实。当1934年费米、赛格莱和阿玛尔迪在英国出席国际物理会议时,后两人去剑桥访问了卢瑟福,卢瑟福对他们的工作给予很高的评价,并对进一步实验做了些提示。卢瑟福在1934年4月23日给费米的信中写道“你的结果是太有意思了,并且毫无疑问我们将会得到更多的信息,……。在所有情况中,约里奥观察的过程像所显示的那样简单,它决不是清楚的。我祝贺你从理论物理的领域成功地脱颖而出!你似乎已开拓了一个好的路线去开始工作,你会有趣地听到狄喇克教授也在进行一些实验,这对理论物理来说似乎是一个好的征兆!”<sup>[7]</sup>赛格莱和阿玛尔迪将论文《中子轰击产生的人工放射性》手稿交给了卢瑟福,卢瑟福仔细阅读并在英文表述上做了修改后交给皇家学会,予以发表。

1934年9月,赛格莱和阿玛尔迪回意大利后继续实验,将中子源放入铅盒中的银筒内,发现在相对铅盒的不同位置上出现不同的放射性反应,而将其放到木桌上则放射性更强。10月24日,费米提出用石蜡进行实验,发现放射性增加百倍。于是,费米从理论上得出一个新的看法,认为石蜡内的氢核因与中子碰撞,使中子速度减慢,易于被氢核俘获的几率增大。尔后

在水池内再实验,完全证实了费米的预见,从而发现了慢中子核蜕变。这是继约里奥-居里夫妇发现快中子核蜕变之后,在观念上取得的一次更大的突破,而成为迈向实现铀核裂变和自续核链式反应过程的关键性发现。由于这个重大发现,使费米于1938年10月获得诺贝尔物理学奖。

#### 4. 核链式反应概念和原子能反应堆

核链式反应概念是铀核裂变概念出现后的必然发展,它首先由约里奥-居里、西拉德和费米分别在1939年左右提出来的。1939年1月,当费米在惠勒举办的“杂志俱乐部”的集会上,听到美国物理学家拉比告诉他,玻尔的助手罗森菲尔德说迈特纳和弗利希已证实铀核裂变,以及后来玻尔向他做的详细解释后,作为慢中子核裂变的发现者立即领悟其真谛,并很快同安德逊一起用哥伦比亚大学的回旋加速器予以证实。在美国政府决定把试制原子弹的曼哈顿计划付诸实施后,费米领导的小组立即投入研制原子反应堆工作。他同西拉德提出用石墨代替石蜡对减慢和控制中子速度更为有利,并且不会过多吸收放射出的中子。他们将铀块和石墨分层交错叠放,制造原子反应堆。他又与赛格莱等讨论,提出制造中子源的两种方法,一是按玻尔建议,用 $\alpha$ 粒子轰击铀<sup>238</sup>,产生铀<sup>235</sup>,只有铀<sup>235</sup>才能提供核链式反应所需的中子。另一种方法是用钷的同位素钷<sup>239</sup>作为铀<sup>235</sup>的代用品,而钷<sup>239</sup>可由天然铀<sup>238</sup>俘获中子和放出二次 $\beta$ 射线后形成。他们用这两种方法分别制成了铀弹和钷弹。1942年12月2日,试制成功一座可控自续链式反应堆,解决了试制原子弹和大规模释放原子能的核心问题。

费米所以能在理论物理和实验物理及原子能的大规模释放等方面取得那么多重大成就,并不是偶然的。除去他的天资聪慧和刻苦学习外,在研究方法和学风上悬有很多值得我们很好研究和学习的优点,这些优点可以概括地总结为以下几个方面:

第一,费米在少年和青年时代,对数学和理论物理学有浓厚的兴趣,掌握了扎实的基础知

识。他的科学生涯的前期是作为一个对相对论、量子论和量子力学有很深造诣和贡献的理论物理学家,出现在国际物理学界中。高度的理论素养使他对物理学中特别是实验物理学中出现的问题,具有很敏锐的洞察力,并能很快抓住本质联系,提出切实而准确的意见和判断。

第二,他时时密切注视物理学发展的动向,及时查阅在物理学研究上取得重大进展和突破的文献,通过派人出国学习、讲学和参加国际物理会议,取人之长,补己之短。他能根据物理学的各学科前缘的发展状况和自己的条件,在关键时刻,迅速扭转研究方向,使自己始终站在科学发展的前缘之上,寻找新的突破口,组织力量进行研究。二十年代初,他的研究工作是从现代物理学的起点——伦琴射线开始的,相继转向相对论和量子论,并提出费米统计理论。1925年量子力学刚一出现,他就立即予以研究并取得了成果。1929年鉴于量子力学已臻于完善,就转向正蓬勃发展的核物理,并紧紧抓住当时争论最大的 $\beta$ 衰变的机理及单体衰变过程中能量是否守恒问题,提出弱相互作用及其初步理论。1933—1934年约里奥-居里夫妇在人工轻核蜕变上取得突破后,他立即带领自己的研究小组研究慢中子重核蜕变问题。在发现铀核裂变后,他集中力量研究核链式反应,并制成原子能反应堆。1949年核物理的发展趋于完善时,他立即转而研究基本粒子,以共振态为突破点,研究高能粒子碰撞和粒子的多重性等。他既对理论和实验物理有着深厚的基础,又对新鲜事物极其敏感,因而能保持旺盛的研究精神,不断在物理学前缘上取得重大成绩。

第三,费米是二十世纪以来少有的兼具理论物理和实验物理的渊博知识和才能的伟大科学家。费米夫人说他“总是摇摆于理论物理学与实验物理学之间,很方便地适应着变化中的需要”<sup>[6]</sup>。他以理论物理指导物理实验,并又用实验结果反过来检验和发展理论知识,得心应手,交错运用。在需要实验时,他是一位优秀的实验家;在需要进行理论分析和计算时,他又表现出理论物理大师的才能。在群星灿烂的现代

物理学家之中,费米有自己独具的鲜明特色。

第四,费米的思路开阔,思想活跃,选题准确,具有深邃的洞察力。费米体魄健康、精力充沛,知识基础扎实,学识很渊博。因此,他具有高瞻远瞩和思想敏捷而准确的特点,在小组研究“疑无路”时,往往是他的启发才出现柳暗花明又一村,如先后用石蜡和石墨作中子速度的阻剂,使得他的合作者折服,就是例证。

第五,善于分析和学习别人发现中的长处和不足,找出原因,扬长避短,以自己的优势去取得成功。在他的一生中,几乎所有他的研究课题都是在别人开了头后,他才分析其优缺点和存在的问题,寻找突破点并加以实现。费米统计和 $\beta$ 衰变理论如此,慢中子核蜕变更如此,核自续链式反应堆也如此。这说明象费米这样伟大的科学家之所以能成为伟大的科学家,条件之一是他善于分析研究前人的成就,在这个基础上找出自己的方向,并加以实现。

第六,学风民主和善于组织一个研究班子。费米是一个作风民主、平易近人、能容人让人和在金钱上从不计较的科学家,这是他善于团结和组织一个个研究班子并取得成功的重要因素。在他的罗马研究小组中,他的同伴都是一些与他年龄相仿的青年人,他们平等相处,相互帮助,各抒己长,为了科学进步和振兴意大利的物理水平同心协力。在1953年季安尼尼(Gianini)等为了他们发现慢中子核蜕变对美国制成原子弹的作用,而向美国原子能委员会索取专利费时,费米并未参与。第二次世界大战后,参加制造原子弹的主要科学家纷纷取得高位,而做出过主要贡献的费米则仍安居科研第一线,继续为物理学的发展作贡献。

第七,费米一贯重视培养人才,既负责又热心。他的讲课准备很充分详尽,深入浅出,从事例开始,避免公式化。他说讲课中运用复杂公式那是为“高级神父”准备的。在芝加哥大学的物理研究的培养研究生时,他常常把午餐时间献给研究生们,并组织专题讨论会,在讨论中

特别重视问题的实质和实际方面。他认为“青年人应当把大部分时间致力于简单的实际问题,而不是深奥的重大问题”,“作为一个学生他应该解决问题,作为一个研究者他需要提出问题”<sup>[6]</sup>。他在罗马大学和芝加哥大学先后建立的两个研究班子,培养了很多优秀核科学和高能物理方面的人才,如赛格莱、盖尔曼、张伯伦(O. Chamberlain)、李政道和杨振宁等,仅诺贝尔物理学奖获得者就达五人以上,他们在近三十年来对世界高能物理的发展做出了很多重要的贡献。

费米的一生誉满全球,对现代物理的几个主要领域做出举世闻名的重大贡献。他曾获得近五十个各种奖励和荣誉。除去在战后担任过美国政府的原子弹和原子能使用及制定政策的顾问等要职外,于1946年获美国国会勋章。1947年获富兰克林奖章。当选为美国国家科学院的院士和英国皇家学会会员。1954年获美国原子能委员会的最高奖,这在他去世后改为费米奖,成为美国在这方面的最高奖,费米也就成为第一个获奖者。在1955年发现第100号元素后,又以他的名字命名为“镆”,以作为纪念。总之,费米作为一个酷爱和平、反对强暴和以自己的卓越才能和努力,在本世纪二十年代以后的科学发展上,留下巨大踪迹的伟大科学家而载入科学史册。

## 参 考 文 献

- [1] 杨振宁,世界科学,1982年第9期,43页。
- [2] E. Fermi, E. Teller, *Physical Review*, **71** (1947), 314.
- [3] V. W. Hughes, C. S. Wu, *Muon Physics*, New York, San Francisco London, Academic Press, (1977), 7, J. A. Wheeler, *Review of Modern Physics*, **21**, (1949), 133.
- [4] E. Fermi, *Collected Papers*, Vol. 1, The University of Chicago Press, (1962), 538.
- [5] *ibid.*, (1962), 540.
- [6] *ibid.*, (1962), 752.
- [7] *ibid.*, (1962), 641.
- [8] Laura Fermi, *Atoms in the Family*, The University of Chicago Press, (1954), 157.