

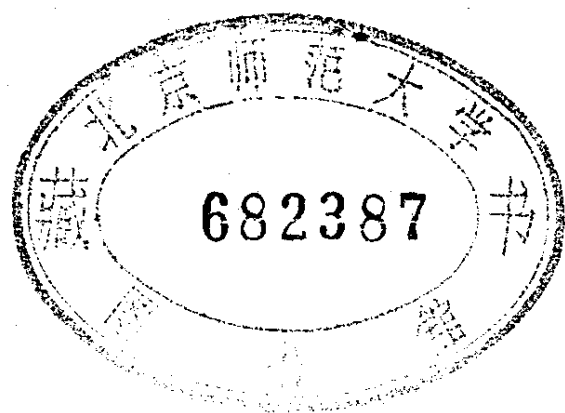


物理学进展

江苏科学技术出版社

物理学进展

江苏省物理学会编



江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书汇集了 1978 年底在无锡召开的江苏物理学会年会上有关物理学进展的一组报告，综述了基本粒子、核物理、声学、无线电电子学及固体物理等分支学科或其中某一专题的现状和发展动向。可供大专院校、中学物理教师，物理专业的大学生以及广大科技工作者参考。

本书编委会由施士元、冯端、周孝谦、夏元复等同志组成。

物 理 学 进 展

江苏省物理学会 编

*

江苏科学技术出版社出版

江苏省新华书店发行

苏州印刷厂印刷

1980 年 2 月第 1 版

1980 年 2 月第 1 次印刷

印数：1—7,000 册

书号：13196·012 定价：0.83 元

序 言

近代物理学进展很快，物理教师和物理工作者对当前物理学各分支的现状希望有所了解，以利于开拓眼界，活跃思想，丰富教学内容，或确定科学研究方向和课题。江苏省物理学会针对这种需要，在年会活动中进行了一系列报告，这些报告受到与会群众的欢迎和支持。为了适应广大科技工作者的需要，特精选一部分汇集成册。

基本粒子物理或高能物理是处在当前物理学的最前沿，发展日新月异，研究气氛十分活跃。四十年代初，人们提出的强子结构的概念发展到现在，已成为层子谱的理论，而对物质的基本构造单位，点状无自旋的轻子和层子等问题的研究促使建造下一代能量更高的加速器。中高能核物理是低能核物理的自然发展。在我国也正在建造高能物理实验基地和重离子加速器实验基地。电子直线加速器也已有一定基础。中高能核物理已经提到日程上来了。

低能原子核物理曾经是物理学领域的一个宽广前沿。自1896年起，经过八十多年来的发展，已经使人们逐渐明了这样一个物质结构层次的各种美妙图景。今天，它已越来越深入到许多其它科学领域，在化学、生物学、冶金学、地质学、工农业生产和医疗卫生方面都有大量的应用。例如穆斯堡尔谱学及其应用，已是核物理渗透到兄弟学科中的一个尖兵。

核科学技术的进展是和电子学技术分不开的。最近几年，随着大规模集成电路元件的商品化，微计算机和微处理机已在仪器仪表中广泛使用，而在粒子物理和中高能核物

理实验中则已使用计算机数据处理和过程控制的标准接口即 CAMAC 系统。微处理机和 CAMAC 系统的使用与否,已成为物理实验室现代化与否的一个标志。

在数学物理方法中,群表示理论有多方面的应用。这里挑选群表示理论的一个进展和群表示在核结构理论上的一些应用为例。群表示理论的一个进展是:应用量子力学中常用的完备算符集概念和本征函数方法使类代数表示对角化。用对角化后的本征值标志不可约表示,用它的本征矢作为群的不可约表示。在核结构理论中,角动量、四极矩等力学量作为李代数表示,按照群表示约化规律,得到多种标志态的方式来表示组态混合。群论在粒子物理、核物理、固体物理、分子物理及原子物理中应用的进展,不胜枚举。

无线电电子学已有近一百年的历史,但仍在迅速发展,并向各个领域渗透。宇宙空间的研究,遥感、遥测、遥传信息的需要形成了宇宙电子学。信息论、控制论和快速计算技术相结合,模拟生物的认识和知觉过程,模拟大脑和中枢神经的活动规律,产生仿生电子学。电磁波的频率越高,能容纳的通信量就越多,分辨率也越高,因此,无线电电子学正在不断向越来越高的频率发展,目前正在研究高频率的紫外激光、X 激光和 γ 激光。在电子器件微小型化方面已有了大规模、超大规模集成电路,正在希望飞跃到超小型的分子电路和分子元件。

近代声学发展很快,它兼有宏观经典物理和近代微观物理的内容,并且正在不断向其它科学领域渗透。声学研究与地球物理和天体演化有关,应用声学方法可以有效地研究物质结构。分子声学、生理声学和心理声学的研究直接对生命科学作出贡献。在《声学研究的广阔前景》一文中将对读者介绍

近代声学的特点和前景。

固体物理是物理学的一大组成部分。这里选取三个问题：晶体生长理论、超导电性及其应用和非晶半导体的基本性质。晶体生长实质上是非平衡态相变过程，既包括向平衡态趋近过程，也包括远离平衡态的自组织过程。生长界面的实际结构和微观形貌对晶体生长起着重要作用。晶体生长科学的发展趋势正向边缘学科渗透，而晶体生长理论的研究正在对这一领域起着越来越大的作用。上看天空有美丽的雪花，下探矿岩则见五彩缤纷的宝石，还有高分子、生物大分子和活体中的结晶过程，都是晶体生长领域的广阔的研究对象。

谈起低温超导，人们就会想起BCS理论和约瑟夫逊效应。超导磁体和超导电子学已成为实际应用中的两大类。关键而急需解决的问题是提高超导临界温度。有些人设想了在固体中可以形成库柏对的一些新机理。也有些人正在想象在生物体大分子中的自由电子体系、人的大脑记忆甚至神经网络的信息传递，也可能有类似的超导性在起作用，当然，这些临界温度就很高了。

谈起半导体，人们马上联想到晶态半导体和晶体管。但是，必须指出，近十年来发展了非晶半导体。它可以制成高密度存贮元件和非晶硅 $P-N$ 结。非晶硅太阳能电池具有工艺简便、造价低廉的优点，有利于太阳能应用。工艺上的成功引起对非晶体结构和其相变机理许多新的理论探讨，其中不少是与价键结构有关的量子化学和量子力学的问题。

为了实现四个现代化，迅速赶超国际先进水平，希望这书对物理教学和研究工作有所裨益。

施士元 1979年6月

目 录

基本粒子结构概念的一些发展·····	陆 埏 (1)
中高能核物理·····	施士元 (32)
群表示理论及其在核结构中应用的进展·····	周孝谦 (46)
穆斯堡尔谱学·····	夏元复 (59)
微型计算机及其应用·····	席德勋 (85)
声学研究的广阔前景·····	魏荣爵 (98)
无线电电子学的发展趋势·····	鲍家善 (108)
晶体生长理论——回顾与前瞻·····	冯 端 (124)
超导电性及其应用·····	徐龙道 (165)
非晶半导体的基本性质·····	何宇亮、陈存礼 (210)

基本粒子结构概念的一些发展

陆 埏

本文将对基本粒子物理的发展作一简要的概述，重点阐述强子结构概念的一些进展。

一、基本粒子物理学的早期发展 (1897~1950)

1897年 $J. J$ 汤姆逊通过测定阴极射线粒子的电荷质量比，发现了电子(记作 e)，这是人类认识的第一个基本粒子。

1905年爱因斯坦为了解释光电效应，提出了光子(记作 γ)概念。光子作为一种粒子，是人类认识的第二个基本粒子。

1919年卢瑟福在研究核反应时证认出氢原子核是组成各种原子核的一个基元，称为质子(记作 p)，这是人类认识的第三个基本粒子。

1932年是基本粒子物理学发展史上特别重要的一年。在这一年里，人们发现了中子(记作 n ，查特威克)和正电子(记作 e^+ ，安德逊)，并从理论上预言了中微子(记作 ν ，泡利)的存在。

中子的发现，完成了人们对物质微观构造的基本认识。质子和中子构成原子核；电子和原子核构成原子；原子与原子构成分子，从而构成所有一切宏观物质。因此，电子、质子和中子

是构成一切宏观物质的三种基本材料。自由中子是不稳定的，其平均寿命只有约 15 分钟。但中子在原子核内可以是稳定的，不失为原子核的基本组成部分之一。

正电子是人类发现的第一个反粒子，意义十分深远。事实上，在正电子被直接发现之前，理论上已经预言了它的存在，实验上也已有表明其存在的明显迹象。1928 年，狄拉克在研究相对论与量子力学相结合的问题时，导出了描述电子运动的相对论性波动方程，称为狄拉克方程。这个方程既有正能解，也有负能解。狄拉克为了消除负能解，预言了正电子的存在。值得注意的是，这个论断具有普遍意义，它意味着一切粒子都有其反粒子（也有极少几种特例，其反粒子与粒子相同，比如光子）。1930 年，赵忠尧在研究物质对高能 γ 射线的吸收规律时发现吸收物质中会发射出一种能量为 0.51 MeV 的辐射^[1]，称为赵忠尧特征辐射。实际上，赵忠尧的这个发现已经相当明显地表明了正电子的存在。因为高能 γ 射线射入物质引起了电子对 (e^+ 和 e^-) 的生成，其中正电子经多次碰撞逐步静止下来而后与物质中的别的电子发生湮灭，转化为两个光子

$$e^+ + e^- \longrightarrow \gamma + \gamma \quad (1)$$

（动量、能量守恒定律要求 $e^+ + e^-$ 至少转化为两个光子而不可能转化为一个光子），这种 γ 光子的能量正好为 0.51 MeV，就是赵忠尧辐射。因此，赵忠尧辐射的发现已经暗示了正、负电子对生成和湮灭两种过程的存在。

中微子是为了解释原子核 β 蜕变过程中的能量表观丢失现象而引入的。 β 蜕变是由一种十分弱的作用（称弱作用）引起的。中微子的质量为 0，不带电，不具有电磁作用，只有弱

作用。因此,中微子极难探测,直到1956年才在实验上真正找到。

我们知道,光子是电磁场的量子,是电磁作用的承担者、传递者。但是,使质子、中子紧紧地结合成原子核的究竟是什么力?它显然不是电磁作用,而是另一种强得多的力,称核力或强作用。1935年,汤川秀树假设有一种称作 π 介子的粒子来承担和传递这种力。根据核力的短程性,可以估计出 π 介子的质量约为电子质量的二、三百倍;根据核力的电荷无关性,质子、中子同样地参与核力作用,可以推测出 π 介子应有三种荷电状态(π^+ , π^0 , π^-)。在汤川作出预言不久,1937年在宇宙射线中果真发现了质量约为电子质量207倍的荷电粒子(记作 $\mu^\pm$)。可是十分奇怪,详尽的研究表明 $\mu^\pm$ 不具有强作用,它不是汤川所预言的那种粒子。直到1947年,鲍威尔等人利用核乳胶才在宇宙线中真正发现了具有强作用的介子,其质量约为电子的270倍。这个粒子正是汤川所预言的 π 介子。 π 介子是个不稳定粒子, $\pi^\pm$ 的平均寿命约为 2.6×10^{-8} 秒; π^0 的平均寿命更短,约为 0.84×10^{-16} 秒。它们的蜕变方式是

$$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \pi^- \longrightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (2)$$

$$\pi^0 \longrightarrow \gamma + \gamma \quad (3)$$

可见,早先发现的 $\mu^\pm$ 只是 $\pi^\pm$ 的蜕变产物。顺便说明,(2)式中的中微子(记为 ν_μ 、 $\bar{\nu}_\mu$;上加一横表示反粒子,以后也将用此符号表示各种粒子的反粒子)只与 μ 子相联系,它不同于 β 蜕变中放出的中微子(记为 ν_e 、 $\bar{\nu}_e$),后者只与电子相联系。由于中微子探测的极端困难性, ν_μ 与 ν_e 的不同直到1962年才在实验上被发现。 ν_μ 的质量也可能为0,但不易定准〔2〕。 $\mu^\pm$ 也是不稳定粒子,其平均寿命约为 2.2×10^{-6} 秒;其蜕变方

式为

$$\mu^+ \longrightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \qquad \mu^- \longrightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \qquad (4)$$

从汤姆逊发现电子(1897)起大约半个世纪的时期可以看作基本粒子物理学发展的早期。在这个时期内,虽然人们还只发现了少数几种粒子,但对粒子物理也已经有了一些基本了解。比如,在这个时期内已经了解到,自然界中所有各种类型的作用力从基本粒子角度来看可以归结为如下四类(见表1)。

表 1

作用名称	强度比较
万有引力	10^{-40}
弱作用	10^{-12}
电磁作用	10^{-2}
强作用	10

万有引力在基本粒子物理中可以忽略不计;弱作用支配了 β 蜕变等蜕变过程和有中微子参与的各种过程;电磁作用支配了由电荷、磁矩以及粒子内部电磁结构引起的过程和有光子参与的各种过程。对于蜕变过程而言,作用愈强,过程愈

烈,粒子寿命就愈短。 π^0 的寿命远较 $\pi^\pm$ 为短,就是因为过程(3)是由电磁作用引起而过程(2)则由弱作用引起。

强作用问题虽然复杂,但人们对它的认识也在逐步深入。质子和中子的强作用看来是相等的,换句话说,对于强作用而言,质子和中子似乎只是同一个粒子(称核子)的两种不同的状态。早在30年代初,海森堡就引入了同位旋概念,认为质子和中子只是同位旋“取向”的不同。好比一个粒子的自旋 s 那样,核子也具有一种在抽象空间(称同位空间)内的“旋”(称同位旋,记为 $\vec{I}$)。电子的自旋为 $\frac{1}{2}$,它有两种取向状态,即在

某一方向(比如 z 轴)上的投影可以为 $+\frac{1}{2}$ 和 $-\frac{1}{2}$ 。核子同位

旋为 $\frac{1}{2}$ 。质子和中子就相当于核子同位旋在抽象空间内某一

方向上的投影 I_3 为 $+\frac{1}{2}$ 和 $-\frac{1}{2}$ 的两种状态。质子同位旋朝

上, $I_3 = +\frac{1}{2}$; 中子同位旋朝下, $I_3 = -\frac{1}{2}$ 。这个概念也可

以用于 π 介子。相当于说 π 介子的同位旋为1, 因而它有三种取向状态, 即 π^+, π^0, π^- 的 I_3 分别为 $+1, 0, -1$ 。

利用同位旋概念, 可以方便地表述核力的电荷无关性。因为不同的电荷状态相当于同位空间内的不同取向, 那么电荷无关性就相当于核子与 π 介子之间的耦合取同位空间内的标量形式〔3〕。

基本粒子可以分为四种类型, 如表2所列。光子 γ 是电磁作用的传递者。轻子是不具有强作用的费米子, 自旋为 $\frac{1}{2}$ 。

轻子($e^-, \mu^-, \nu_e, \nu_\mu$)具有轻子数(记为 L) $+1$; 反轻子($e^+, \mu^+, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu$)具有轻子数 -1 , 任何过程中轻子数总是守恒的。

表 2

名 称		粒 子	自旋	统计性	作 用
光 子		γ	1	玻 色	电磁
轻 子		$e^\pm, \mu^\pm, \nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	$\frac{1}{2}$	费 米	电磁, 弱
强 子	重子	$p, n, \bar{p}, \bar{n}$	$\frac{1}{2}$	费 米	强, 电磁, 弱
	介子	π^+, π^0, π^-	0	玻 色	强, 电磁, 弱

实际上， e^- 、 ν_e 类轻子与 μ^- 、 ν_μ 类轻子不同，任何过程中这两类轻子总是分别守恒的。具有强作用的粒子，统称强子，这是基本粒子中最众多的一类。强子又可分为两大类，自旋为半整数的称为重子，重子(如 p ， n)具有重子数 $+1$ ，反重子(如 $\bar{p}$ ， $\bar{n}$)具有重子数 -1 ，任何过程中重子数总是守恒的；自旋为整数的称为介子，介子可以产生，可以吸收，介子数不守恒。强子的同位旋第 3 分量 I_3 、重子数 B 和电荷 Q 之间存在如下关系

$$Q = I_3 + \frac{B}{2} \tag{5}$$

基本粒子的这些量子数列于表 3 中。

表 3

	e^-	μ^-	ν_e	ν_μ	e^+	μ^+	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	π^+	π^0	π^-	p	n	$\bar{p}$	$\bar{n}$
L	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	-1
I									1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
I_3									+1	0	-1	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$
Q	-1	-1	0	0	+1	+1	0	0	+1	0	-1	+1	0	-1	0

基本粒子的结构概念，主要指强子的结构，早在 40 年代末就已经提出。费米-杨(振宇)模型是关于强子结构的一个模型〔4〕。这个模型认为 p 、 n 是基础， π 是由它们组成的，比如

$$\pi^+ \equiv (p\bar{n}) ; \pi^0 \equiv \frac{1}{\sqrt{2}}(p\bar{p} - n\bar{n}) ; \pi^- \equiv (n\bar{p}) \tag{6}$$

用群论的数学语言来说，费米-杨模型是一种 $SU(2)$ 模型，

建立在 (p, n) 二维基础上。 (p, n) 用 2 表示, $(\bar{p}, \bar{n})$ 用 2^* 表示(共轭表示)。按群表示论

$$2 \otimes 2^* = 3 \oplus 1 \quad (7)$$

这里由 (p, n) 和 $(\bar{p}, \bar{n})$ 构成的状态中有一个 3 维表示 3 , (π^+, π^0, π^-) 正对应于这个表示。

二、奇异粒子(1947~1960)

1950年前后, 实验上取得了重大进展, 发现了一大批新的粒子。这里包括两大类, 一类是比 π 介子更重的介子, 如 $K^+, K^0, \bar{K}^0, K^-$; 一类是比核子更重的重子(称超子), 如 $\Lambda, \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^0, \Xi^-$ 。这些粒子有一个奇怪的特点, 它们通过强作用而产生, 却通过弱作用而蜕变。举个例子说, 用 π^- 去轰击 p 可以产生 Λ

$$\pi^- + p \longrightarrow \Lambda + X \quad (8)$$

这里 X 泛指其它粒子。实验测定这个过程的截面颇大, 无疑这是一个强作用过程。但是, Λ 是不稳定的, 会按如下方式蜕变

$$\Lambda \longrightarrow p + \pi^- \text{ 或 } \Lambda \longrightarrow n + \pi^0 \quad (9)$$

实验测定 Λ 的平均寿命约为 2.5×10^{-10} 秒。粒子的寿命与支配蜕变过程的作用强度密切相关。一般地说, 通过弱作用而蜕变, 粒子的寿命 $\gtrsim 10^{-13}$ 秒; 通过电磁作用而蜕变, 粒子的寿命大体上在 $10^{-20} \sim 10^{-14}$ 秒范围; 通过强作用而蜕变, 粒子寿命将短得多(见图1, 图中 τ 表示粒子的寿命)。显然, Λ 的蜕变过程是一种典型的弱作用过程, 它肯定不是电磁过程, 更不是强作用过程。

同样涉及 $\pi^- p \Lambda$, 为什么在过程(8)中是强作用, 而在过

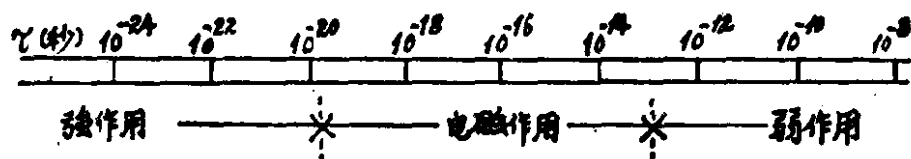


图 1

程(9)中却是弱作用?要知道强作用和弱作用是相差十分悬殊的两种绝然不同的作用!解决矛盾的出路在那里?盖尔曼和西岛利用(8)式比(9)式多一个 X 这一点提出了一个成功的解决方案[5]。

(i)假设重介子和超子是新的一类粒子(称奇异粒子),它们具有一种新量子数 S ,称奇异数。

(ii)假设奇异数在强作用和电磁作用过程中守恒而在弱作用过程中不守恒。

据此可见,过程(9)的左边奇异数不为0,右边奇异数为0,必是弱过程。过程(8)左边奇异数为0,只要 X 的奇异数与 Λ 的奇异数反号,其右边奇异数仍可为0。因此,(8)式为强作用过程,表明 X 必须也是奇异粒子。换句话说,奇异粒子的强产生过程必须是两种或更多奇异粒子的协同产生过程。

后来实验上果然证认出 X 亦包含有奇异粒子(如 K^0),从而支持了上述理论假设。

为了对各个奇异粒子定义确切的奇异数,不妨从研究超子的同位旋关系入手。图2画出了核子和超子在同位旋第3分量 I_3 图上的位

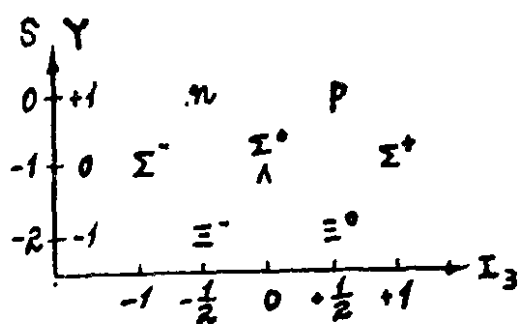


图 2

置。显然， Σ^- 、 Σ^0 、 Σ^+ 和 Λ 的电荷零点位置与 n 、 p 的电荷零点位置相差 $\frac{1}{2}$ ，这差值便是由奇异数引起的，因此可以把

(5) 式推广为〔5〕

$$Q = I_3 + \frac{B + S}{2} \quad (10)$$

($B + S \equiv Y$ 称为超荷) 而定义 Σ^- 、 Σ^0 、 Σ^+ 和 Λ 这四个超子的奇异数 S 均为 -1 。(10) 式称为盖尔曼-西岛关系。由图 2 和式 (10) 可知， Ξ^- 和 Ξ^0 的奇异数均为 -2 。画出介子的同位旋 (I_3) 位置，据

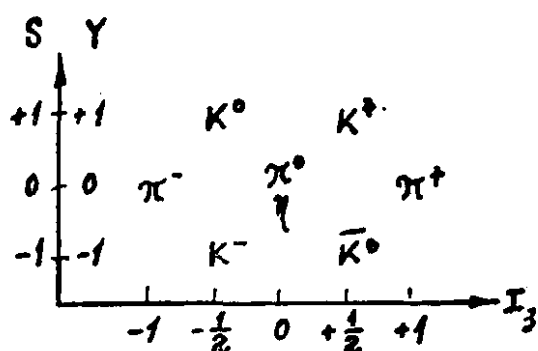
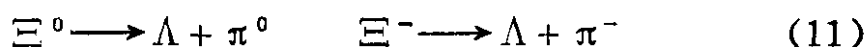
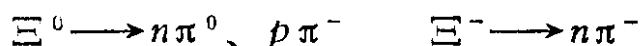


图 3

(10) 式可定义 K^+ 、 K^0 的奇异数为 $+1$ 而 $\bar{K}^0$ 、 K^- 的奇异数为 -1 。应当指出，实验上观察到的 Ξ^0 、 Ξ^- 蜕变过程为



却从未观察到过如下过程



由此可见

(iii) 弱作用中奇异数的改变遵循选择定则

$$|\Delta S| \leq 1 \quad (12)$$

这些强子的一般特性列于表 4 和表 5 中。注意，这些奇异粒子一般地还会以轻子方式或弱辐射方式蜕变，比如

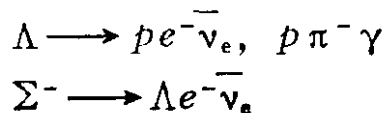


表 4

名 称	自旋	质 量 (Mev)	寿 命 (秒)	主 要 蜕 变 方 式
$\pi^\pm$	0	139.57	2.6×10^{-8}	$\mu\nu_\mu (\sim 100\%)$
π^0	0	134.96	0.83×10^{-16}	$\gamma\gamma (\sim 99\%), \gamma e^+e^- (\sim 1\%)$
$K^\pm$	0	493.7	1.24×10^{-8}	$\mu\nu_\mu (\sim 63.6\%), \pi^\pm\pi^0 (\sim 21\%),$ $\pi^\pm\pi^+\pi^- (\sim 5.6\%), \pi^\pm\pi^0\pi^0 (\sim 1.7\%),$ $\mu\nu_\mu\pi^0 (\sim 3.2\%), e\nu_e\pi^0 (\sim 4.8\%)$
$K^0, \bar{K}^0$	0	497.7	(各约包含 50% K_S^0 和 50% K_L^0)	
K_S^0	0		0.893×10^{-10}	$\pi^+\pi^- (\sim 68.7\%), \pi^0\pi^0 (\sim 31.3\%)$
K_L^0	0		5.18×10^{-8}	$\pi^0\pi^0\pi^0 (\sim 21\%), \pi^+\pi^-\pi^0 (\sim 12\%),$ $\pi\mu\nu_\mu (\sim 27\%), \pi e\nu_e (\sim 39\%),$ $\pi e\nu_e\gamma (\sim 1\%),$ 也包括极少量但极重 要的(CP不守恒的); $\pi^+\pi^- (\sim 0.2\%),$ $\pi^0\pi^0 (0.09\%)$
η	0	549	7.7×10^{-18}	$\gamma\gamma (\sim 38\%), \pi^0\pi^0\pi^0 (\sim 30\%),$ $\pi^+\pi^-\pi^0 (\sim 23.6\%), \pi^+\pi^-\gamma (\sim 4.9\%),$ $\pi^0\gamma\gamma (\sim 3\%)$
p	$\frac{1}{2}$	938.3	$(> 2 \times 10^{30} \text{年})$	
n	$\frac{1}{2}$	939.6	918	$p e^- \bar{\nu}_e (\sim 100\%)$
Λ	$\frac{1}{2}$	1115.6	2.58×10^{-10}	$p\pi^- (\sim 64.2\%), n\pi^0 (\sim 35.8\%)$
Σ^+	$\frac{1}{2}$	1189.4	0.80×10^{-10}	$p\pi^0 (\sim 51.6\%), n\pi^+ (\sim 48.4\%)$
Σ^0	$\frac{1}{2}$	1192.5	$< 1.0 \times 10^{-14}$	$\Lambda\gamma (\sim 100\%)$
Σ^-	$\frac{1}{2}$	1197.4	1.48×10^{-10}	$n\pi^- (\sim 100\%)$
Ξ^0	$\frac{1}{2}$	1315	2.96×10^{-10}	$\Lambda\pi^0 (\sim 100\%)$
Ξ^-	$\frac{1}{2}$	1321.3	1.65×10^{-10}	$\Lambda\pi^- (\sim 100\%)$
Ω^-	$\frac{3}{2}$	1672.2	1.3×10^{-10}	$\Xi^0\pi^-, \Xi^-\pi^0, \Lambda K^-$