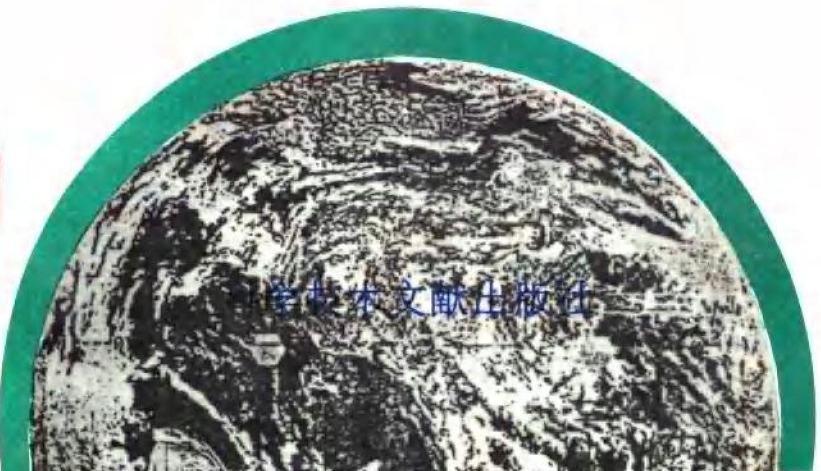




粒子对称性探索

葛旭初 著



科学出版社

粒子对称性探索

葛旭初 著

科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

图书在版编目(CIP)数据

粒子对称性探索/葛旭初著. 北京:
科学技术文献出版社, 1994

ISBN 7-5023-2197-7

I. 粒… II. 葛… III. 粒子-对称-研究 IV. O572.23

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

水利电力出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1994 年 7 月第 1 版 1994 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/32 10.25 印张 246 千字

科技新书目: 314-117 印数: 1—1000 册

定价: 10.00 元

内 容 简 介

本书对粒子对称性中许多带根本性的问题，从基本物理概念和物理思想上进行了探索性的分析和论证；得到了某些新结论，明确了一些守恒量子数如宇称、电荷、重子数和轻子数以及同位旋和奇异数等的具体物理意义和它们之间的内在联系、从而使一些带根本性的问题，得到了定性和半定量的统一解释，并可能为把现有的理论纳入一个统一的方案找到一个可行的途径。

本书以辩证思维为主，尽量不涉及复杂的数学运算、语言浅显，道理深刻具体，适于不同层次的读者了解粒子对称性的进展情况和当前存在的问题。本书对从事物理学、物理学史、哲学、哲学史的研究工作者以及大学的物理和哲学教师、学生、研究生都有一定参考价值。

前 言

粒子物理是当前极其重要的前沿学科之一。几十年来,它已取得了举世公认的巨大成就,但仍然存在着许多带根本性的困难和问题。单就粒子的对称性和守恒定律来说,杨振宁 1985 年对其所著的“物理学中的宇称守恒及其他对称定律”一文所加的注解还这样写道:“为什么在弱相互作用下,C,P 和 T 都不守恒?这是目前还完全不能了解的问题。……这个问题恐怕不是十年二十年之内可以解决的。”(读书教学四十年,三联书店出版)。杨振宁 1957 年在诺贝尔讲演中还说:“另一个被广泛讨论的对称是引起同位旋守恒的对称。……然而它肯定是在所有对称定律中被了解得最少的一个。……了解同位旋守恒的起因以及如何把它纳入整个对称系统,无疑是今天高能物理所面临的突出问题之一。”30 多年过去了,可是这个问题至今还未见有突破性的进展。正如 L. 赖德在其所著的“基本粒子与对称性”一书的结束语中所说:“为什么内部对称性仅仅是近似的?或反问,它们究竟为什么存在?”又说:“大多数物理学家都承认近几年来已经取得了巨大的进展,但是看来仍然不知道最终的解在哪里。为了把现有的理论纳入一个统一的方案,可能需要提出一些全新的概念;另一方面,我们可能已经具备了所有必要的资料,而只是需要有人来正确理解它们的意义。”(中译本,科学出版社 1983 年出版)

上述的这些问题以及其他类似的问题,都是带根本性的问题,仅用数学推导演算或以数学推导演算为主的方法,恐

怕是难以解决问题的。正如雅默所说：“现代的物理学家可以理直气壮地以其在科学上和技术上的许多惊人成就而自豪，然而，他应当时刻认识到，他那庄严大厦的基础，即他的科学中的一些根本概念，还在至今仍未得到解决的许多严肃的问题和重重的困难中纠缠不清。”（引自大学物理 1984 年第 11 期，4 页）要解决这一类的问题，看来首先要重视基本概念的研究，要面对现有的资料（实验和理论两方面的），运用辩证思维的方法，进行由此及彼和由表及里的全面分析，经过判断推理，力争把“形的逻辑深化为物的逻辑”，并不断接受实验资料的检验，坚持真理，修正错误，最后才有可能引进一些全新的概念，正确理解现有的资料的物理意义，并把现有的理论纳入一个统一的方案。

本书通过对极化 Co^{60} 实验的基本概念分析，认识到这一著名实验只是证明了右旋电子和左旋电子之间的不对称，并不一定会破坏镜象对称或宇称守恒，而且宇称守恒的破坏还是与狄拉克方程的空间反演不变根本不相容的。要极化 Co^{60} 实验的镜象反演能和狄拉克方程的空间反演不变相一致，则极化 Co^{60} 实验的镜象就只能是反极化 Co^{60} 实验，不可能还是极化 Co^{60} 实验。因此，电子 e^- 的镜象也只能是正电子 e^+ ，而不可能还是电子 e^- 。为证明这一结论，我们还根据狄拉克的自由电子运动理论，对电子和正电子的镜象反演进行了全面的分析。经过引进本征自旋，证明了上述的结论，接着对二分量中微子理论和狄拉克方程的区别和联系从物理意义上进行了比较深入的分析，认为左旋中微子在镜象反演下也只能转换为实际上存在的右旋反中微子，而不是对转换为实际上不存在的所谓右旋中微子，电子和中微子的镜象只能是正电

子和反中微子，质子 p 和中子 n 的镜象也只能是反质子和反中子。总之，物质的镜象只能是反物质，反物质的镜象只能是物质。由此便得到了物质和反物质的镜象对称理论。

按照正反物质的镜象反演理论，电荷必在镜象反演下变号。因此，我们又重新提出电荷的二旋量理论，认为电荷由两个旋量所构成，一个就是本征自旋，称为显旋，另一个称为隐旋。正反物质之间的根本关系。就是它们的显旋和隐旋都等值反号。将电荷的二旋量理论与盖尔曼——西岛关系进行比较，得到了显旋与 $S_{\text{显}}$ 和隐旋 $S_{\text{隐}}$ 与某些已知量子数如重子数 B 和轻子数 L 以及奇异数 S 和同位旋第三分量 t_3 之间的关系。不仅重子和介子有同位旋第三分量 t_3 ，轻子、光子和中间玻色子也同样都有自己的同位旋第三分量 t_3 。而且轻子、光子和中间玻色子的 t_3 实质上也就是它们各自的隐旋。

因显旋和隐旋都是普遍守恒的量子数，故电荷守恒定律以及重子数、轻子数和同位旋第三分量 t_3 等量子数的守恒定律都有了解释，而且这些量子数守恒的起因和守恒性质（如精确守恒还是近似守恒等），也都有了统一的解释。又因显旋和隐旋都是在镜象反演下变号的旋量，故上述各量子数，也必然在镜象反演下变号。由此，则正反粒子的重子数、轻子数、奇异数和同位旋第三分量 t_3 等为什么都等值反号的问题，也都自然地得到了解决。同位旋 t 的物理意义及守恒问题本书也作了具体的分析，至于如何把同位旋守恒纳入整个对称系统的问题，看来还值得作进一步的研究和讨论。但不管怎样，显旋和隐旋的引入，看来有可能会起到关键作用。如果说“为了把现有的理论纳入一个统一的方案，可能需要提出一些全新的概念”的话，看来显旋和隐旋可能就是两个优

先的候选者。

按照物质和反物质的镜象对称理论，电荷在空间反演下变号，磁极在空间反演下不变；电场是空间反演不变的膺矢量，磁场是空间反演反向的矢量。同样，能证明电流和磁场的关系也不破坏镜象对称或宇称守恒定律。另外，本书还着重地分析了粒子的内禀宇称，重新提出了宇称破坏的原因，并应用大量现有的资料对宇称破坏理论进行了实验的验证，证明了理论的正确。

将正反物质的镜象对称理论应用于对真空的考察，本书还得到了综合真空模型，并作出了有些正反粒子可以不发生湮灭的结论。因此，对原子核的结构理论可能产生重大的影响。由综合真空的涨落，也可能甚至必然要产生出正负能正反物质对称的宇宙。另外，本书还对中间玻色子和光子进行比较认真的分析和讨论，证明了它们都是自旋为 1 和宇称 $p = 1$ 的粒子，并对高能中间玻色子和光子的统一问题从物理概念上进行了分析和讨论。对喷注现象和横动量大丢失等问题也从物理概念作了定性的解释。

本书涉及的内容虽比较广泛，但理论体系还是统一的，它对当前粒子物理和宇宙学一些带根本性的问题，都进一步作出了统一的解释，书中大部分内容虽然都在拙著《粒子宇宙探索》（科学技术文献出版社 1991 年出版）中分析讨论过，但由于现在有了物质和反物质的镜象对称理论，所以在深度和统一性方面都有进一步的提高。不过这本书写的仍然是粒子对称性的探索，有些论点可能还很不成熟，缺点和错误更是在所难免，欢迎批评指正。

葛旭初 1993 年 2 月

粒子对称性探索

目 录

前言

第一章 物质和反物质的镜象对称理论	(1)
§ 1 空间反演和镜象反演的等价关系	(3)
§ 2 CP 联合反演不变分析	(9)
§ 3 正反粒子的镜象对称理论	(12)
§ 4 空间反演与物质和反物质的变换	(16)
§ 5 本征自旋和正反物质的镜象对称理论	(19)
§ 6 极化 Co^{60} 实验并未推翻宇称守恒定律	(22)
§ 7 π - μ -e 衰变链实验也未推翻宇称守恒定律 ...	(29)
§ 8 关于 C、P、T 守恒定律	(33)
§ 9 粒子的内禀自旋	(34)
§ 10 本章的小结	(38)
第二章 正反物质的镜象对称与粒子电荷的二旋量 理论	(41)
§ 1 电荷的二旋量理论	(42)
§ 2 轻子、光子和中间玻色子的显旋、隐旋和 电荷	(44)
§ 3 夸克与重子和介子的显旋、隐旋和电荷	(46)

§ 4 电荷的二旋量理论与盖尔曼——西岛关系的比较	(50)
§ 5 重子数和轻子数的物理意义及其守恒定律	(54)
§ 6 普通粒子的同位旋第三分量 t_3 及其守恒定律	(56)
§ 7 奇异粒子和粲粒子的 t_3 与含奇异粒子和粲子的反应过程的 t_3 守恒定律	(59)
§ 8 关于同位旋概念及其守恒问题	(63)
§ 9 重子和介子的同位旋 t 及其和 t_3 的比较	(68)
§ 10 电子的质量及其与显旋和隐旋的关系	(80)
§ 11 再论物质和反物质之间的关系	(84)
第三章 电流和磁场的空间或镜象反演理论	(87)
§ 1 右手螺旋法则和空间或镜象反演不变	(89)
§ 2 关于电磁场的两种空间和镜象反演理论	(92)
§ 3 麦克斯韦方程组的空间反演不变	(97)
§ 4 带电粒子在电磁场作用下的运动定律及其空间反演不变	(100)
§ 5 磁场和自旋的同旋向关系	(101)
§ 6 四维势的空间反演和光子的内禀宇称	(110)
§ 7 结论和评论	(113)
第四章 破坏宇称守恒的真正原因	(117)
§ 1 γ 光子的宇称	(119)
§ 2 中间玻色子 $W^\pm$ 的宇称	(122)
§ 3 关于夸克宇称的定义	(124)
§ 4 强相互作用宇称不一定都守恒	(130)

§ 5	电磁相互作用宇称也不一定都守恒	(135)
§ 6	弱相互作用宇称也不一定都不守恒	(139)
§ 7	负宇称杂质是破坏宇称守恒的真正原因 ...	(143)
第五章	宇称破坏理论的非轻子衰变检验	(150)
§ 1	非轻子衰变中的负宇称正反夸克对	(150)
§ 2	宇称破坏理论的介子衰变检验	(155)
§ 3	宇称破坏理论的重子衰变检验	(161)
§ 4	再论破坏宇称守恒的真正原因	(175)
第六章	破坏宇称守恒理论的轻子和半轻子衰变检验	(177)
§ 1	轻子的宇称	(178)
§ 2	介子的轻子和半轻子衰变检验	(179)
§ 3	重子与重轻子的轻子和半轻子衰变检验 ...	(189)
§ 4	轻子和夸克物理学	(195)
第七章	有关低能中间玻色子的若干问题	(198)
§ 1	关于中间玻色子的静质量问题	(200)
§ 2	中间玻色子的衰变及其结构成分	(201)
§ 3	关于中间玻色子的宇称再讨论	(204)
§ 4	关于卡比波理论的统一解释	(208)
§ 5	关于重子——介子族的质量差问题	(213)
§ 6	虚过程的能量守恒和转换定律	(217)
§ 7	简单的小结	(219)
第八章	光子和高能中间玻色子	(221)
§ 1	关于光子和高能中间玻色子的统一问题 ...	(222)
§ 2	高能 $P\bar{P}$ 对撞中产生的所谓中间玻色子	(224)
§ 3	关于喷注的解释	(227)

§ 4	关于横动量大丢失等问题的解释	(230)
§ 5	本章和上一章的小结	(233)
第九章	惠勒方程和真空的对称理论	(235)
§ 1	狄拉克真空模型和惠勒方程解	(236)
§ 2	狄拉克等效真空模型和惠勒方程解	(240)
§ 3	惠勒方程和真空的对称模型	(243)
§ 4	关于真空对称模型的深化问题	(248)
§ 5	正反物质对称和原子核的组成问题	(251)
§ 6	本章的小结和问题	(253)
第十章	关于传递核力的虚 π 介子	(259)
§ 1	狄拉克两种真空的核子和 π 介子的夸克结构	(261)
§ 2	对称真空的核子和 π 介子的夸克结构	(266)
§ 3	狄拉克真空的虚 π 介子表达式	(271)
§ 4	狄拉克等效真空的虚 π 介子表达式	(274)
§ 5	综合真空的虚 π 介子表达式及其对核力和 核结合能的解释	(275)
第十一章	对称真空与正负能物质对称宇宙模型	(283)
§ 1	近代宇宙学的进展	(283)
§ 2	对称真空涨落与正负能正反物质对称宇宙 模型	(289)
§ 3	关于宇宙的有限和无限问题	(294)
§ 4	类星体的负能带电星体假说	(298)
§ 5	哈勃膨胀和宇宙的层次	(304)
§ 6	关于黑洞和奇点问题	(306)
§ 7	辩证唯物主义和现代宇宙论	(311)

第一章 正反物质的镜象对称理论

长期以来，人们一直认为吴健雄等^[1]的极化 Co^{60} 实验推翻了宇称 (P) 守恒定律，或破坏了镜象对称。为恢复镜象对称，李政道和杨振宁^[2] 等于 1957 年还提出了 CP 联合反演理论，认为只需在镜象反演的基础上再把镜内的物质全换为反物质，则镜象对称就可以得到恢复。此称为 CP 联合反演不变或 CP 守恒定律。但 1964 年，克里斯坦等人^[3] 又在 $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 弱相互作用衰变中发现了所谓的 CP 不守恒。由 CPT 定理可知，CP 不守恒 T 也一定不守恒。于是物理学家们便进一步作出了在弱相作用下 C、P 和 T 均不守恒的结论。这一结论虽然已为物理学界所公认，但人们至今还是很不了解的。正如杨振宁所说：“为什么在弱相互作用下，C、P 和 T 都不守恒？这是目前还完全不能了解的问题”^①。他还认为这个问题恐怕不是十年二十年之内可以解决的。另外也还有人对上述的结论表示了极大的怀疑。例如倪光炯和李洪芳在他们合著的《近代物理》一书中就曾写道：“空间——是物质存在的时间基本形式，因此关于空间——时间的对称性也带有基本的性质。……那么空间反演或时间反演，难道不是一种基本的对称性吗？还有基本粒子的对称存在，难道不是自然界无可置

① 杨振宁 1985 年对“物理学中的宇称守恒及其它对称定律”一文所加的一个注见。“读书教学四十年”。香港三联店 (1985)，30 页。

疑的事实吗？这三种对称性现在都分别破坏了，岂不是颇为奇怪的事吗？”又说：“在我们看来，问题并不在于基本的对称被破坏了，而在于原来的 C、P、T 等变换的定义出了毛病，它们包含了一个共同的错误观念——空时脱离物质。让我们回忆一下，所谓 P 反演的定义是：人们在镜外去看镜内发生的现象，而同时认为镜内‘映象’的‘内禀性质’同镜外的原物是完全一样的；T 反演定义为看倒放的电影，又认为影片中的一切东西就其性质而言也依然故我。这两个定义都包含了先验的假定。另外，正、反粒子的区别又被看作好像是绝对的，一个带着‘正’流体（如正电荷），一个带着‘反’流体（如负电荷），这种性质同空间反演是风马牛不相干的。这一切难道不值得怀疑吗？”^①

对极化 Co^{60} 实验是否真正推翻了宇称守恒定律和 C、P、T 在弱相互作用下是否真的都不守恒，我们过去也曾长期地怀疑过，而且还作了一些探索性的研究；提出过恢复镜象对称的两个方案^[4]，认为极化 Co^{60} 实验并未推翻宇称守恒定律。K 介子的 2π 衰变确实是破坏宇称守恒的。但由于它是和空间或镜象反演没有直接关系的另一种性质的宇称不守恒，所以和极化 Co^{60} 实验未推翻宇称守恒定律并不矛盾。后来又通过对狄拉克波动方程的空间反演不变^[5]和正反粒子的共轭变换不变^[6]的分析，认识到 P 不守恒和 C 不守恒是与狄拉克方程的上述两个不变性根本不相容的，而且 T 的不守恒也与狄拉克波动方程的时间反演不变^[7]不相容。既然狄拉克波动方程的空间和时间反演不变与正反粒子的共轭变换不变是量子

① 倪光炯和李洪芳，《近代物理》，上海科学技术出版社（1979），395 页。

理论早已证明了的，并已得到公认，那么 C, P 和 T 在弱相互作用下是否真的都不守恒，就更值得作进一步的研究和讨论了。

在这一章中，我们首先通过对 CP 联合反演不变的分析，认为只有把 CP 联合反演深化为 P 反演才能和狄拉克方程的空间反演不变和正反粒子的共轭变换不变相一致。并引进本征自旋概念，得到了正反物质的镜象对称理论，不仅更严格地证明了极化 Co^{60} 实验等并未推翻宇称守恒定律，而且还证明了在弱相互作用下，C, P 和 T 仍分别守恒。

§ 1 空间反演和镜象反演的等价关系

空间反演又称为 P 变换，而镜象反演即镜子反射，则说的是镜外空间和镜内空间之间的关系。两种反演形式上虽然不同，但实际上它们之间却存在着十分重要的等价关系。空间反演的基本方程为

$$\vec{r} \xrightarrow{P} -\vec{r} \quad (1-1)$$

式中 $\vec{r}$ 为空间矢量。设 x, y, z 是 $\vec{r}$ 的直角坐标三分量，则空间反演又可表为

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \xrightarrow{P} \begin{pmatrix} -x \\ -y \\ -z \end{pmatrix} \quad (1-2)$$

(1-2) 式说明正空间在空间反演或宇称 P 作用下，将转变为负的空间，反过来说当然也是一样。由图 1-1 (a) 可知正空间遵守右手螺旋法则，即以右手的四指从 x 轴正向转至 y 轴正向时，其拇指则指 z 轴正向。同样，若右手的四指分别从 y 轴

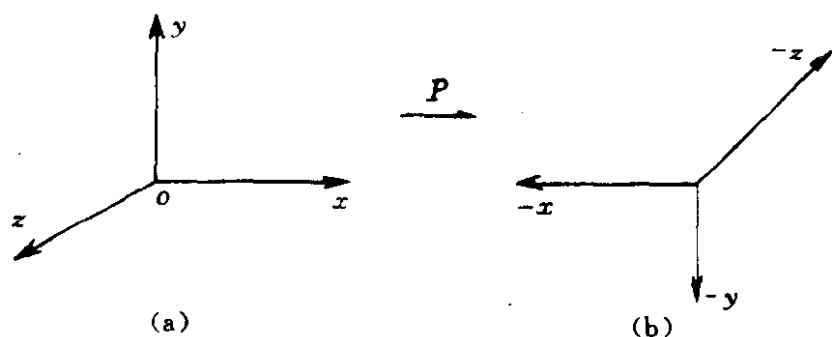


图 1-1

正向转至 z 轴正向和从 z 轴正向转至 x 轴正向时，则拇指也分别指 x 轴正向和 y 轴正向。再由图 1-1 (b) 可知负空间则遵守左手螺旋法则，即左手的四指从 $-x$ 轴正向转至 $-y$ 轴正向时，拇指则指 $-z$ 轴正向，余类推。因此，正空间又可称为右旋空间，负空间又可称为左旋空间。图 1-1 说明在空间或 P 反演下，右旋空间即转变为左旋空间。同样，左旋空间在空间或 P 反演下即转变为右旋空间。

空间是物质存在的形式，空间或 P 反演不仅能使空间的性质发生由正到负和由负到正或由右旋到左旋和由左旋到右旋的转化，而且还能使空间内的物质或粒子的性质发生相应的转化。设粒子的质量为 m ，时间用 t 代表，若 m 和 t 在空间或 P 反演下不变，则粒子的动量 $\vec{P} = m \frac{d\vec{r}}{dt}$ 在空间或 P 反演下有

$$\vec{P} = m \frac{d\vec{r}}{dt} \xrightarrow{P} m \frac{d(-\vec{r})}{dt} = -m \frac{d\vec{r}}{dt} = -\vec{P}$$

即

$$\vec{P} \xrightarrow{P} -\vec{P} \quad (1-3)$$

因此，动量 $\vec{P}$ 和空间矢量 $\vec{r}$ 都是在空间反演下反转方向的矢量。又因角动量 $\vec{J} = \vec{r} \times \vec{P}$ ，故由

$$\vec{J} = \vec{r} \times \vec{P} \xrightarrow{P} (-\vec{r}) \times (-\vec{P}) = \vec{r} \times \vec{P} = \vec{J}$$

可得

$$\vec{J} \xrightarrow{P} \vec{J}$$

这说明角动量 $\vec{J}$ 是在空间反演下不变的矢量。粒子绕轴转动，其角动量也可以根据 $\vec{r} \times \vec{P}$ 进行计算。式中 $\vec{r}$ 为由转轴引至粒子所在点的矢径， $\vec{P} = m\vec{v}$ 为粒子的转动动量。 $\vec{r} \times \vec{P}$ 则恰好与转轴同向或反向。这样算得的角动量将是自旋角动量或粒子自旋 $\vec{\sigma}$ 的两倍。因角动量 $\vec{J} = \vec{r} \times \vec{P}$ 在空间反演下不变，故粒子的自旋 $\vec{\sigma}$ 也在空间反演下不变，即

$$\vec{\sigma} \xrightarrow{P} \vec{\sigma} \quad (1-4)$$

$\vec{r}$ 和 $\vec{P}$ 是在空间反演下反转方向的矢量，而 $\vec{J}$ 和 $\vec{\sigma}$ 则是在空间反演下不变的矢量。这样矢量就可以分为两种了。一种是在空间反演下反向的矢量如 $\vec{r}$ 和 $\vec{P}$ ，通常称为真矢量（简称为矢量）；另一种则是在空间反演下不变的矢量如 $\vec{J}$ 和 $\vec{\sigma}$ ，则称为赝矢量（或假的矢量）。不过矢量和赝矢量也只在空间反演下有上述的差别罢了。

在一般情况下，粒子除绕轴转动外，还有平动。转动有动量，平动也有动量。前者与 $\vec{r} \times$ 乘转动动量构成了粒子的自旋 $\vec{\sigma}$ ，后者就是人们常说的粒子的动量 $\vec{P}$ 。粒子绕轴转动也就是绕动量 $\vec{P}$ 转动。由以上的分析可知，粒子既可能绕动量 $\vec{P}$ 右旋，又可绕 $\vec{P}$ 左旋，或者说粒子的自旋 $\vec{\sigma}$ 既可与动量 $\vec{P}$ 同向，又可与 $\vec{P}$ 反向。 $\vec{\sigma}$ 与 $\vec{P}$ 同向，我们说粒子螺旋度为正， $\vec{\sigma}$ 与 $\vec{P}$ 反向，则说粒子的螺旋度为负。因此，粒子的螺旋度可以