



维基百科
自由的百科全书

异常磁矩

维基百科，自由的百科全书

在量子电动力学中，一个粒子的**异常磁矩**（英语：anomalous magnetic moment）就是除去该粒子的磁矩（又称磁偶极矩，用于量度磁源的强度）之外，从量子力学而来的额外影响，一般由带圈的费曼图贡献。

对应树状费曼图的“狄拉克”磁矩（一般被视为经典结果）可由狄拉克方程求得。一般以g因子表示；狄拉克方程预测g=2。就例如电子的粒子而言，其观测值与经典结果相差约千分之几。这个差就是异常磁矩，以a表示，其定义如下：

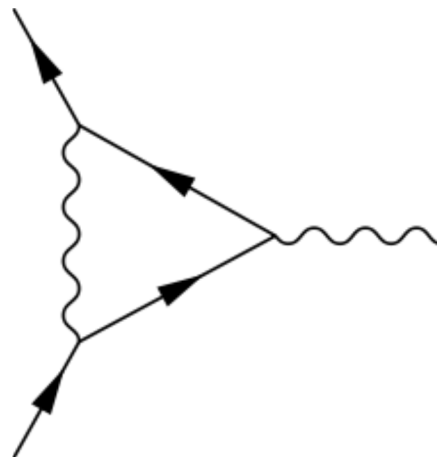
$$a = \frac{g - 2}{2}$$

电子

异常磁矩的单回圈修正对应最早且最大的量子力学修正，而电子的异常磁矩单回圈修正可由右图顶点函数的计算所得。这个计算还是相对地直接的^[1]，单回圈结果为：

$$a = \frac{\alpha}{2\pi} \approx 0.0011614$$

其中α为精细结构常数。这个结果最早由朱利安·施温格于1948年得出^[2]，而这个数也被铭刻在他的墓碑之上。电子异常磁矩的量子电动力学公式系数的计算到2009年已经用到α⁴^[3]，而且已知解析值已达到α³^[4]。量子电动力学的预测值与实验观测值在超过10位有效数字时仍然一致，因此电子异常磁矩是物理学史上确认准确性最高的常数。



对费米子磁矩的单回圈修正

现时的实验与误差为^[5]：

$$a = 0.00115965218073(28)$$

根据以上的数值，a的已知准确度大概为十亿分之一（10⁻⁹）。要达到这样的准确度，量度g时的准确度需达千亿分之一（10⁻¹²）。

μ子

μ子的异常磁矩计算方式与电子的相近，它的量度可以作为标准模型的精密试验。μ子的异常磁矩预测值包含三个部份^[6]：

$$\alpha_{\mu}^{\text{SM}} = \alpha_{\mu}^{\text{QED}} + \alpha_{\mu}^{\text{EW}} + \alpha_{\mu}^{\text{Hadron}}.$$

首两个部份分别代表电子和光子回圈，以及W及Z玻色子回圈，而它们可以通过第一原理的计算准确地得知。第三部分代表强子回圈，而这部份不能单独通过理论来准确得知。它需要使用通过量度电子-反电子（ e^+e^- ）碰撞时重子转化成μ子所得的实验比值（R）来估算。实验值与标准模型预测值的不确定度在2006年时超过标准差的3.6倍^[7]，意味着超越标准模型的物理学可能对此有所影响（或是理论／实验误差并不是完全受到控制）。这是标准模型与实验间其中一项由来已久的差异。

布鲁克黑文国家实验室的E831实验研究μ子与反μ子在不变外加磁场下的进动，实验中粒子环绕密闭的贮存环运动^[8]。

E821实验对外公布的平均值为^[9]：

$$a = \frac{g - 2}{2} = 0.00116592091(54)(33)$$

其中第一个误差是统计误差，第二个是系统误差^[6]。

费米国立加速器实验室有一项新的实验，叫“缪子g-2”，他们计划使用E821实验用的磁铁来改进这个数值的准确度^[10]。该实验2017年开始取数，美国中部时间2021年4月7日公布第一次公布结果^[11]：

$$a = \frac{g - 2}{2} = 0.00116592061(41)$$

实验值与标准模型预言的理论值相差4.2σ，这种偏差来自统计涨落的概率为1/40000。这暗示了可能存在的超越标准模型的物理学。

复合粒子

复合粒子的异常磁矩通常都相当大。由夸克组成且带电荷的质子如此，而带中性电荷的中子也是如此。

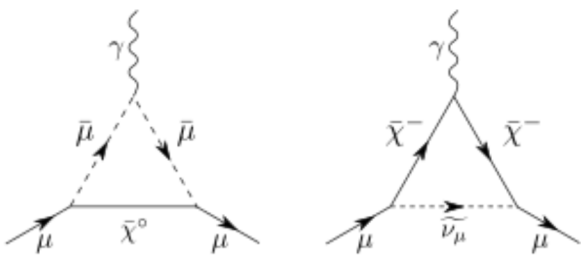
参考文献

引用

1. Peskin, M. E.; Schroeder, D. V. Section 6.3. An Introduction to Quantum Field Theory. Addison-Wesley. 1995. ISBN 978-0-201-50397-5.

2. Schwinger, J. On Quantum-Electrodynamics and the Magnetic Moment of the Electron. Physical Review. 1948, **73** (4): 416. Bibcode:1948PhRv...73..416S. doi:10.1103/PhysRev.73.416.

3. Aoyama, T.; Hayakawa, M.; Kinoshita, T.; Nio, M. Revised value of the eighth-order QED contribution to the anomalous magnetic moment of the electron. Physical Review D. 2008, **77** (5): 053012. Bibcode:2008PhRvD..77e3012A. arXiv:0712.2607. doi:10.1103/PhysRevD.77.053012.



μ子g-2的单回圈最小超对称标准模型修正，分别内含超中性和超μ子（左），以及超荷子和超μ子超中微子。

4. Laporta, S.; Remiddi, E. The analytical value of the electron ($g - 2$) at order α^3 in QED. *Physics Letters B*. 1996, **379**: 283–291. Bibcode:1996PhLB..379..283L. arXiv:[hep-ph/9602417](#) . doi:10.1016/0370-2693(96)00439-X.
5. Hanneke, D.; Fogwell Hoogerheide, S.; Gabrielse, G. Cavity Control of a Single-Electron Quantum Cyclotron: Measuring the Electron Magnetic Moment. *Physical Review A*. 2011, **83** (5): 052122. Bibcode:2011PhRvA..83e2122H. arXiv:[1009.4831](#) . doi:10.1103/PhysRevA.83.052122.
6. Hoecker, A., Marciano, W. J. (2013), "The Muon Anomalous Magnetic Moment", in Beringer, J.; et al. (Particle Data Group). *Review of Particle Physics*. *Physical Review D*. 2012, **86** (1): 1. Bibcode:2012PhRvD..86a0001B. doi:10.1103/PhysRevD.86.010001.
7. Hagiwara, K.; Martin, A. D.; Nomura, D.; Teubner, T. Improved predictions for $g-2$ of the muon and $\alpha_{\text{QED}}(M_Z^2)$. *Physics Letters B*. 2007, **649** (2–3): 173–179. Bibcode:2007PhLB..649..173H. arXiv:[hep-ph/0611102](#) . doi:10.1016/j.physletb.2007.04.012.
8. The E821 Muon ($g-2$) Home Page. Brookhaven National Laboratory. [2014-07-01]. （原始内容存档于2018-05-19）.
9. from the 2013 review by Particle Data Group (PDF). [2015-06-02]. （原始内容存档 (PDF)于2016-03-04）.
10. Revolutionary muon experiment to begin with 3,200-mile move of 50-foot-wide particle storage ring. Press Release. May 8, 2013 [Mar 16, 2015]. （原始内容存档于2015-03-16）.
11. First results from Fermilab's Muon $g-2$ experiment strengthen evidence of new physics. *symmetry magazine*. [2021-04-07]. （原始内容存档于2021-04-20） （英语）.

来源

书籍

- Vonsovsky, Sergei. *Magnetism of Elementary Particles*. Mir Publishers. 1975.

期刊文章

- Kusch, P.; Foley, H. M. The Magnetic Moment of the Electron. *Physical Review*. 1948, **74** (3): 250–263. Bibcode:1948PhRv...74..250K. doi:10.1103/PhysRev.74.250.

外部链接

- g-2实验概述** (<http://www.g-2.bnl.gov/physics/index.html>) （页面存档备份 (<https://web.archive.org/web/20150521231858/http://www.g-2.bnl.gov/physics/index.html>)，存于互联网档案馆） （英文）

参见

- g-factor (physics)
- Anomalous electric dipole moment

取自“<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=異常磁矩&oldid=75682542>”

■