

# 超统一场 与协变电磁学引论

SUPER UNIFIED FIELD AND COVARIANT  
ELECTROMAGNETISM INTRODUCTION

肖军 著★

$$F = qE \left( 1 - \frac{R}{r} \right) e^{-R/r}$$

$$x'_j = \left[ \sqrt{1 - |\bar{k}_0 \times \bar{u}/c|^2} x_j - \bar{k}_0 \cdot (\bar{u}/c) \bar{k}_0 \cdot \bar{e}_j ct \right] / \sqrt{1 - u^2/c^2}$$

$$c't' = \left[ \sqrt{1 - |\bar{k}_0 \times \bar{u}/c|^2} ct - \bar{k}_0 \cdot (\bar{u}/c) \bar{k}_0 \cdot \bar{e}_j x_j \right] / \sqrt{1 - u^2/c^2}$$

$$c' = c \sqrt{1 - |\bar{k}_0 \times \bar{u}/c|^2}$$

# 超统一场与协变电磁学引论

肖 军 著

 哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

寻求四种场力的超统一理论和光速与光源运动速度关系式,已是中外学者梦寐以求的追求目标。本书在经典绝对时空基础上,利用麦克斯韦场方程通过严密的数理推导,不仅最先导出光速与光源运动速度关系式,还首次证明了引力、核力及弱力均是电场力的不同表现形式,尤其是解决了零作用距离四种场力存在的无穷大问题。所有结论均能被实验证实,理论的这种自洽性和普适性对以相对时空为基础的现代物理学必将导至突破性的革命。

本书可供科研人员、理论及实验物理工作者和物理系师生参考之用,也适用于具有本科以上文化程度的自学人员阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

超统一场与协变电磁学引论/肖军著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2016.4

ISBN 978-7-5661-1238-5

I. ①超… II. ①肖… III. ①统一场论 ②协变性-电磁学  
IV. ①O412.2 ②O44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 064110 号

选题策划 史大伟

责任编辑 薛 力

封面设计 恒润设计

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16

印 张 12.75

字 数 334 千字

版 次 2016 年 4 月第 1 版

印 次 2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价 27.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

---

## 序

四种场力的统一和关于光速是否不变的讨论是建立和发展现代物理学的两个不容忽视的关键问题。爱因斯坦晚年花费了二十多年的时间力图建立电磁力和万有引力的统一场论,但终因没有找到正确方向而功亏一篑。

肖军先生对这两个课题进行了长达三十多年的不断探索,凭着杰出的数学逻辑和敏锐的直觉,在麦克斯韦静电作用理论基础上,首次从理论上证明了核力、弱力、万有引力都是与电场力有关,并由此建立起完备的超统一场理论。他在把荷电粒子周围测不准空间内存在真空极化电荷的作用引入麦克斯韦静电作用理论后,用无可置疑的方法彻底地解决了电力、核力、弱力及万有引力中均存在的原点无穷大问题。特别是论证了万有引力来源于同号电荷间斥力略小于异号电荷间引力所致,从而为超统一场论的建立和发展做出了杰出的贡献。他同时也用大量篇幅讨论了由爱因斯坦场方程导出的引力结果并非是与空间弯曲有关,而是由于引力偏离平方反比作用的结果。

肖军先生具有崇尚科学、追求真理的精神,他没有被对相对论盲目膜拜的偏见所束缚,勇敢地向狭义光速不变假设发起挑战。他从理论和实验两方面均能证明或证实光速与光源运动速度有关,并从多个角度用严密的数学方法导出光速与光源间存在的关系式,在此基础上他还导出满足波动方程协变的同波数不变的肖军变换式,洛伦兹变换只是其运动速度与光速同向情形时的一个特例。由肖军变换式导出的诸多推论都能得到实验证实,尤其是利用肖军变换式所导出的多普勒波长表达式的正确性能够被切连科夫辐射效应所证实,而由洛伦兹变换式所导出的多普勒波长表达式则与切连科夫辐射效应明显相抵触,这让我们对相对论理论的正确性不得不产生怀疑。总之,他所使用研究工作的独特方法和所获得的成果,为正确认识相对论提供新的判断依据。

抱着平和的心理再读肖军先生的深邃洞见,就会发现他的研究方法与众不同,他是先弄清四种场力的作用形式,然后探讨在该力作用下物体运动规律,也就是从本质到现象的认识过程。而我们通常对四种场力的认识过程是从现象到本质,之所以这样是因为我们并不了解四种场力的正确作用形式,只能从作用物体间的运动规律窥见力的作用形式,肖军建立的四场力的统一理论值得理论物理学界同仁们认真思考和对待。

人类五百年的现代科学发展史在宇宙的时间长河里仅仅是一丝微小的涟漪,世间万物都概莫能外地经历着成往环空的天规天律。秉承这样的认识论心态,读者可以从肖军先生的《超统一场与协变电磁学引论》一书中甄别良莠、汲取营养,放眼物理学未来的发展。

高歌 谨识于北京  
2015 年春

# 前 言

现在奉献于读者面前的这本书,收集的是笔者近三十多年在统一场理论和动体电磁理论两方面研究的成果。此书共两部分:第一部分着重论述了通过考虑源电荷激发的电场对被作用电荷周围存在的真空极化电荷的作用,首次得出引力场、核力和弱力都是静电场不同形式作用结果的结论。其中弱力场是静电作用理论附带的短程作用场;核力是源于荷电粒子周围存在带有等量异号电荷的虚粒子云;引力场则是两中性物质间存在静电作用的剩余效应,它们都包含在一个可由麦克斯韦(Maxwell)电磁理论导出的统一场方程中。对于爱因斯坦(Einstein)场方程的引力解及应用也做了全新的探讨。第二部分主要是讨论建立在麦克斯韦电磁理论基础上的动体电磁新理论,该理论未借助任何假设,仅依据波动方程的形式与光源及观测者运动速度无关结论,首次得到光速与源速关系式,并导出电磁波相位不变变换式,我们熟悉的洛伦兹(Lorentz)变换式实际上仅是电磁波相位不变变换式的一个特例。用电磁波相位不变变换式替代洛伦兹变换式后,无需对经典绝对时空理论做任何修正,就很容易解释目前所有动体电磁实验结果。可以讲,流行百年的狭义相对论势必要被以电磁波相位不变变换式为数学基础建立起来的动体电磁新理论所取代,并将导致物理学的突破性革命。

从此书看出,一个仅依据麦克斯韦电磁理论,并在经典绝对时空基础上能够解释目前所有动体电磁现象的动体电磁理论和统一场理论已初步形成。为推动理论发展,现将此书奉献给广大读者,欢迎此领域的专家和读者参与讨论。

在本书编写和出版过程中,曾得到淮海工学院李盛菊副教授的关怀指导,且提出不少宝贵意见。同时也得到郑州大学吴显鼎教授和淮海工学院李冠成教授的帮助和支持,在此表示衷心感谢。

肖 军

2008年5月 鹤岗

## 再版说明

2008 年作者出版《统一场及动体电磁理论》专著迄今已有七年,在这段时间内通过不断深入探讨,对原著中存在的疏漏做了全面校正,尤其是在原著基础上,又补充了大量的理论依据和实验证据,使理论论证更加严密,实验证据充实。再版把书名改为《超统一场与协变电磁学引论》,内容也由原来的 9 章 40 节增加到 9 章 107 节。

在对原著中提到的正负虚粒子云实质就是真空感生极化正负电荷,这些极化电荷均分布在荷电粒子周围测不准空间内,在有外电场作用时,真空感生极化电荷只对其所包围的荷电粒子有与外场作用相反的作用力,并由此解决了电场力在零点存在的无穷大难题。尤其是当两核电子的真空感生极化电荷发生重叠时,还会有核力作用产生。另外,考虑到真空感生极化正负电荷作用后,由泊松方程能够证明弱场作用力实质是电场的一种短程力。反观主流根据标准模型理论通过引入矢量流由拉氏量导出的核力及弱力作用规律,需要通过适当调解参数才能使理论结果与实验结果符合,但这样得到的理论只能算是一种唯象结果,它不能真实反映核力及弱力的作用本质。

该书讨论的协变动体电磁理论是建立在绝对时空基础上,在新增 8.2 节论述的不等臂长干涉实验和 8.4 节非闭合光路干涉实验,就可看作是支持绝对静止参照系存在的实验证据。对于这两个实验,即使利用相对论理论分析,也不能否认绝对静止参照系的存在。因此,只有建立在绝对时空基础上的协变动体电磁理论,才是理论发展的正确途径。

事实和理论均告诉我们,无论光源运动是否,光源辐射的电磁波都是按余弦规律周期变化。因此,理论中应存在有一个与源运动速度有关的变换式,在这个变换式的变换下,场方程和波动方程都能够保持形式不变,也只有找到这个能使场方程和波动方程协变的变换式,才能够从理论上得到正确的动体电磁波传播规律。麦克斯韦在建立场方程组时,并没有对场方程组的协变性进行讨论。爱因斯坦虽然考虑了场方程组的协变性,但是,他没有把这种协变性看作是相对场源运动状态具有协变性,而是错把它看成是相对于参照惯性系间的坐标变换具有协变性。在经典绝对时空理论基础上,麦克斯韦场方程组的协变性的实质是反映麦克斯韦场方程组的形式与场源的运动状态无关,以此为切入点得到的协变动体电磁理论才能够与实验事实完全相容。

对于书中提到的不等臂长闭合光路干涉实验、氢极隧射线实验、双天线射电干涉实验和电磁偏转实验都是属于诺贝尔级重要实验。有条件的实验工作者应抱有对科学高度负责及破局致胜的急迫感,迅速投入到这些实验工作上来。机不可失,时不我待。只有抢占先机,才有望在科学发展历史道路上留下自己的探索足迹。

肖 军

2015.9 鹤岗

# 目 录

## 第一部分 超统一场理论

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第 1 章 超统一场理论及其实验证据 .....          | 2  |
| 1.1 库仑电力无穷大问题的解决 .....            | 2  |
| 1.2 真空极化电荷叠加产生核力 .....            | 4  |
| 1.3 弱力是短程电场作用力 .....              | 8  |
| 1.4 中性物质间的剩余电场吸引力 .....           | 10 |
| 1.5 无发散磁场作用力 .....                | 14 |
| 1.6 磁场的等效电势 .....                 | 15 |
| 1.7 量子场作用力 .....                  | 16 |
| 1.8 周期电场作用力 .....                 | 17 |
| 1.9 电荷与中性物质间的电力作用 .....           | 18 |
| 1.10 真空极化 .....                   | 18 |
| 1.11 库仑电场作用力的修正 .....             | 20 |
| 1.12 跑动耦合常数 .....                 | 21 |
| 1.13 无发散电场力叠加 .....               | 22 |
| 1.14 核力的自旋相关性 .....               | 23 |
| 1.15 渐近自由 .....                   | 25 |
| 1.16 核力与电场力的合一 .....              | 26 |
| 1.17 玻尔氢原子理论的修正 .....             | 27 |
| 1.18 薛定谔方程的无奇点解 .....             | 29 |
| 1.19 “库珀电子对”形成机制 .....            | 30 |
| 1.20 核力的电荷无关性 .....               | 32 |
| 1.21 卡西米尔效应 .....                 | 33 |
| 1.22 玻色 - 爱因斯坦凝聚 .....            | 35 |
| 1.23 $X$ 射线与 $\gamma$ 射线的产生 ..... | 36 |
| 1.24 脉动变星 .....                   | 40 |
| 1.25 暗物质和暗能量 .....                | 42 |
| 1.26 星系物质膨胀速度 .....               | 45 |

|                      |                                                                                                           |    |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.27                 | 行星角动量与引力 .....                                                                                            | 47 |
| 1.28                 | 水星进动经典解释 .....                                                                                            | 47 |
| 1.29                 | 卢瑟福散射 .....                                                                                               | 52 |
| 1.30                 | 巨磁阻效应 .....                                                                                               | 54 |
| 1.31                 | 自旋霍尔效应 .....                                                                                              | 55 |
| 1.32                 | 高温超导体 .....                                                                                               | 56 |
| 1.33                 | shetcslion 质疑及答复 .....                                                                                    | 56 |
| 1.34                 | 沈建其读书札记 .....                                                                                             | 60 |
| 1.35                 | 希格斯(Higgs)粒子的质量 .....                                                                                     | 69 |
| 1.36                 | 中微子的质量及振荡 .....                                                                                           | 71 |
| 1.37                 | 弱力作用下的宇称不守恒 .....                                                                                         | 73 |
| 1.38                 | 连续场的规范变换 .....                                                                                            | 75 |
| 1.39                 | GW150914 引力波事件的辐射机制 .....                                                                                 | 76 |
| 1.40                 | 电力及核力理论研究新进展 .....                                                                                        | 77 |
| 1.41                 | Maxwell's theory of electrostatic is the basis of mathematics establishing a unified field equation ..... | 78 |
| 第2章 爱因斯坦场方程引力解 ..... |                                                                                                           | 87 |
| 2.1                  | 外引力场度规分量 .....                                                                                            | 87 |
| 2.2                  | 静止球对称引力场 .....                                                                                            | 88 |
| 2.3                  | 引力场的作用势能 .....                                                                                            | 89 |
| 2.4                  | 四种场力度规分量 .....                                                                                            | 92 |
| 2.5                  | 近日点进动 .....                                                                                               | 94 |
| 2.6                  | 光线引力偏折 .....                                                                                              | 96 |
| 2.7                  | 空间弯曲并非真实 .....                                                                                            | 96 |
| 2.8                  | 黑洞不存在 .....                                                                                               | 97 |

第二部分 协变动体电磁理论

|                   |                   |     |
|-------------------|-------------------|-----|
| 第3章 双曲函数及变换 ..... |                   | 102 |
| 3.1               | 电磁波波前的传播方程 .....  | 102 |
| 3.2               | 等轴双曲线 .....       | 103 |
| 3.3               | 双曲线上两点间坐标关系 ..... | 105 |
| 3.4               | 半轴不变的几何表述 .....   | 107 |
| 3.5               | 双曲坐标分量变换式 .....   | 108 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 3.6  | 双曲坐标分量变换式的简化        | 109 |
| 3.7  | 不等轴双曲线变换            | 110 |
| 第4章  | 光源运动对光速影响           | 112 |
| 4.1  | 电磁场能量守恒             | 112 |
| 4.2  | 涡旋电磁场的横向分量          | 113 |
| 4.3  | 横向电磁场的能量密度和能流密度     | 114 |
| 4.4  | 利用电磁场能量守恒推导光速       | 115 |
| 4.5  | 利用麦克斯韦场方程推导光速       | 117 |
| 4.6  | 利用波动方程协变性推导光速       | 118 |
| 4.7  | 纠缠光子                | 119 |
| 第5章  | 电磁波波动方程协变变换         | 120 |
| 5.1  | 洛伦兹变换式与伽利略变换式的区别    | 120 |
| 5.2  | 运动时钟变慢的原因           | 121 |
| 5.3  | 相对因子 $\gamma$ 的真实含义 | 122 |
| 5.4  | 肖军变换式的导出            | 123 |
| 5.5  | 肖军逆变换式的导出           | 125 |
| 5.6  | 肖军变换满足四维不变间隔        | 128 |
| 5.7  | 电磁波相位不变几何意义         | 128 |
| 5.8  | 四维间隔与波振面方程          | 129 |
| 5.9  | 波动方程的协变变换           | 132 |
| 5.10 | 波动方程的相对协变变换         | 134 |
| 5.11 | 组合变换与等效运动速度         | 135 |
| 5.12 | 肖军变换式的常用形式          | 137 |
| 5.13 | 超光速运动下的肖军变换式        | 141 |
| 第6章  | 麦克斯韦场方程组协变变换        | 143 |
| 6.1  | 满足场方程协变的电磁场量        | 143 |
| 6.2  | 亥姆霍兹方程与场方程的协变       | 146 |
| 6.3  | 四维二阶电磁张量的协变变换       | 147 |
| 6.4  | 电磁场量的能量密度协变关系       | 151 |
| 6.5  | 带电动体间的电磁作用力         | 152 |
| 6.6  | 电磁偏转实验              | 154 |
| 6.7  | Bucherer 实验         | 155 |
| 第7章  | 电磁波的多普勒效应           | 158 |
| 7.1  | 两个重要恒等式             | 158 |

7.2 多普勒效应 ..... 159

7.3 电磁波的波长和频率 ..... 160

7.4 多普勒效应与参照系选择 ..... 161

7.5 星系的反常红移 ..... 161

7.6 单光子波函数 ..... 163

7.7 媒介空间多普勒效应 ..... 164

7.8 切连科夫辐射 ..... 165

7.9 负折射光效应 ..... 167

7.10 追光问题..... 168

**第 8 章 光速与源速有关实验证据 ..... 170**

8.1 迈克尔逊 - 莫雷干涉实验 ..... 170

8.2 不等臂长闭合光路干涉实验 ..... 172

8.3 双天线射电干涉实验 ..... 174

8.4 非闭合光路干涉实验 ..... 176

8.5 天体的超光速视运动 ..... 177

8.6 特鲁顿 - 诺贝电磁实验 ..... 178

8.7 氢极隧射线实验 ..... 179

8.8 双星观测 ..... 180

8.9 新星的爆发 ..... 181

8.10 两莱赛(Cialdea)实验 ..... 182

**第 9 章 质速关系 ..... 184**

9.1 质速关系式的导出 ..... 184

9.2 质速关系式的修正 ..... 185

9.3 Proca 方程..... 187

9.4 电子的自旋磁矩 ..... 188

**后记 ..... 190**

**参考文献 ..... 191**

# 第一部分 超统一场理论

物理学的一个终极目标(爱因斯坦曾经长期追求),便是将包括引力在内的四种力全部统一起来。但是至今还没有人提出过可以达到这一目标的令人信服的方法。有人想按照描述其他三种力的理论来描述引力,但是都失败了。大多数物理学家认为,必须提出崭新的思想才能把引力包括在自然界的统一论之中。

——摘自《发现》杂志

在数学物理中一个方法的成功不是由于巧妙的谋略,或是幸运的偶遇,而是因为它表达着一个物理真理的某个方面。

——O. G. 沙顿

单是统一规范理论的标准模型就需要大约 20 个参数: $e, G, \theta_w$ , 三代轻子及夸克的各种各样的质量以及四个弱衰变角  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  及  $\delta$  (如果观测到中微子振荡,可能需要更多的参数)。因此,一方面,我们可能已经得到对于直到大约 100 GeV 的物理过程的有效描述。另一方面,把我们已有的理论看成实质上是唯象理论更为合适。毕竟,谁曾听说过,一个基本的理论要求 20 个左右的参数呢?

——李政道

如果给我四个自由参数,我可以把任何实验数据拟合成一头大象。如果给我第五个自由参数,我可以让大象的鼻子来回摆动。

——费米

# 第1章 超统一场理论及其实验证据

自然界中已发现有四种场力,它们分别是引力、弱力、电磁力和核力,其中电磁力和引力均是与作用距离平方成反比的长程力,核力和弱力则是作用距离分别在  $10^{-15}\text{m}$  和  $10^{-17}\text{m}$  以内的短程力。物理学家把这四种场力均看作是通过交换自旋为整数玻色子交换力,由此虽然已建立起弱力、电磁力和核力的统一理论,但至今还没有得到一个可把引力包括在内的超统一场理论。

四种场力实际上均是静电场力的不同表现形式,考虑带电粒子周围测不准空间内存在的正、负等量真空感生极化电荷云作用,由麦克斯韦静电作用理论不仅可导出无发散电力作用公式,还能由静电作用理论导出无发散的弱力、核力及万有引力作用公式。尤其是四种场力都存在有一个不为零的平衡作用距离,在平衡作用距离前后的作用力方向相反,原为斥力作用将变成引力作用,原为引力作用将变成斥力作用。熟知的牛顿万有引力、库仑力、汤川核力都是作用距离远大于平衡作用距离时的结果。

## 1.1 库仑电力无穷大问题的解决

库仑电场力在零作用距离时无穷大,一直是物理学家想要解决理论存在的发散难题,并为此提出过很多理论和假说,但都没有成功。其实,库仑电场力是没有考虑荷电粒子周围由真空感生极化电荷形成的电偶极层作用。若把电偶极层的作用考虑进去,得到电场静电作用力就不存在发散。

在麦克斯韦静电场作用理论中,源电荷在场点  $P$  处激发的电场强度  $E$  是定义为电势  $\varphi$  的负梯度,即

$$E = -\nabla\varphi \quad (1.1)$$

把式(1.1)代入静电场的散度方程

$$\nabla \cdot E = \rho/\varepsilon_0 \quad (1.2)$$

中可知,电势  $\varphi$  满足泊松(Poisson)方程,即

$$\nabla^2\varphi = -\rho/\varepsilon_0 \quad (1.3)$$

式中,  $\varepsilon_0$  为真空介电常数;  $\rho$  是场点  $P$  处存在电荷的体密度。

根据电场强度  $E$  在零点处有无穷大奇点可知,在荷电粒子周围肯定存在有一个由正、负两种真空感生极化电荷云形成的电偶极层,与荷电粒子所带电荷相反的真空感生极化电荷集中分布在荷电粒子的原点处。与荷电粒子所带电荷相同的真空感生极化电荷则分布在荷电粒子原点外围测不准空间区域内。在没有外电场作用时,这些真空感生极化电荷是处于静电平衡分布状态,对其所包围的荷电粒子的合作用为零。但在有外电场作用时,被作用荷电粒子  $q$  除受外电场源电荷  $Q$  激发的电势  $\varphi$  作用外,还受其周围的真空感生极化电荷云产生的干扰电势  $\varphi_p$  的作用,若假设

$$\varphi_p = \chi_p\varphi \quad (1.4)$$

其中  $\varphi$  是外电场源电荷在被作用荷电粒子所在位置  $P$  处激发的电势。位于  $P$  点处的被作用荷电粒子受到电场作用的总电势就一定是  $\varphi + \varphi_p$ , 若设

$$\varphi + \varphi_p = \varphi/\chi(r) \quad (1.5)$$

作用于荷电粒子  $q$  的作用势能  $V$  则为

$$V = q(\varphi + \varphi_p) = q\varphi/\chi(r) \quad (1.6)$$

亦即有

$$\varphi = \chi(r) V/q \quad (1.7)$$

而不再是

$$\varphi = V/q$$

把式(1.7)代入式(1.3)则知,两电荷间的静电作用势能  $V$  满足的方程为

$$\nabla^2 [\chi(r) V/q] = -\rho/\epsilon_0 \quad (1.8)$$

为求出  $\chi(r)$  这个函数,不妨对式(1.8)中的作用距离  $r$  做变量  $r = 1/x$  替换,并利用

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d}{dr} \right) = x^4 \frac{d^2}{dx^2} \quad (1.9)$$

可把式(1.8)展开为

$$(V/q)'' + 2[\chi'(x)/\chi(x)](V/q)' + [\chi''(x)/\chi(x)](V/q) = -(\rho/\epsilon_0)x^{-4}\chi^{-1}(x) \quad (1.10)$$

其中  $V$  是  $x$  的函数,  $x$  是作用距离  $r$  的倒数。显然,欲使  $V$  在  $\chi(x) = 1$  时能够回到库仑 (Coulomb) 静电作用势能公式上来,式(1.10)必须是常系数微分方程。因此,式(1.10)中系数  $\chi'(x)/\chi(x)$  和  $\chi''(x)/\chi(x)$  一定要是常量,而且要满足

$$\Delta = [2\chi'(x)/\chi(x)]^2 - 4\chi''(x)/\chi(x) = -4[\chi'(x)/\chi(x)]' = 0 \quad (1.11)$$

也就是满足  $\chi'(x)/\chi(x)$  等于常量,若用  $R$  表示这个积分常量,就有

$$\chi(x) = e^{Rx} = e^{R/r} \quad (1.12)$$

把式(1.12)代入式(1.5)可知

$$\varphi + \varphi_p = \varphi - \frac{\varphi R}{r} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \left( -\frac{R}{r} \right)^{n-1} \quad (1.13)$$

可见,等式右边的第二项正是真空感生极化电荷在场点  $P$  处产生的干扰电势。

若把式(1.12)代入式(1.10),则知电场作用势能  $V$  满足的方程是一个常系数微分方程

$$(V/q)'' + 2R(V/q)' + R^2(V/q) = -(\rho/\epsilon_0)x^{-4}e^{-Rx} \quad (1.14)$$

如果不做  $r = 1/x$  替换,直接对式(1.8)展开,可得到

$$(V/q)'' + \frac{2\chi'}{\chi}(V/q)' + \left( \frac{\chi''}{\chi} + 2\frac{\chi'}{r\chi} \right)(V/q) = -\rho/(\epsilon_0\chi) - \frac{2}{r}(V/q)' \quad (1.15)$$

其中  $\chi = \chi(r)$ 。由此方程若能得到作用势能  $V$  与  $r$  成反比结果,则应有

$$\left( \frac{2\chi'}{\chi} \right)^2 - 4 \left( \frac{\chi''}{\chi} + 2\frac{\chi'}{r\chi} \right) = 0 \quad (1.16)$$

由式(1.16)同样可解得  $\chi = e^{R/r}$ 。于是,式(1.15)又可写成形式为

$$(V/q)'' + \frac{2}{r} \left( 1 - \frac{R}{r} \right) (V/q)' + \frac{R^2}{r^4} (V/q) = -e^{-R/r} \rho/\epsilon_0 \quad (1.17)$$

对于  $\rho = 0$  情形,若式(1.14)或式(1.17)的解在  $r \gg R$  时与库仑静电作用势能

$$V = \frac{Qqx}{4\pi\epsilon_0} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.18)$$

相一致,由式(1.14)或式(1.17)易解得,两电荷间的静电作用势能为

$$V = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} x e^{-Rx} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r} e^{-R/r} = q\varphi e^{-R/r} \quad (1.19)$$

由此易求出两电荷间的静电作用力为

$$\mathbf{F} = -\nabla V = -\nabla(q\varphi e^{-R/r}) = q\left(\mathbf{E} - \varphi \frac{\mathbf{r}}{r^2} \frac{R}{r}\right) e^{-R/r} \quad (1.20)$$

又由式(1.1)知,电场场强

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi = \varphi \frac{\mathbf{r}}{r^2} \quad (1.21)$$

所以有

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}\left(1 - \frac{R}{r}\right) e^{-R/r} \quad (1.22)$$

显然,当  $R=0$  时,式(1.22)能够过渡到库仑静电作用公式。

图 1.1 是由式(1.22)绘制的当  $R \neq 0$  时的  $F-r$  关系曲线。从图 1.1 中可看出,在  $r > R$  和  $r < R$  两种情形时,电场作用力方向相反<sup>①</sup>。

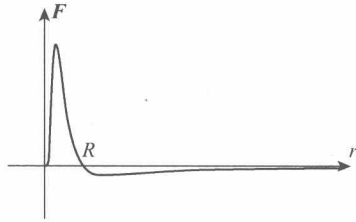


图 1.1 电场作用力与作用距离关系曲线

$R$  是一个具有长度量纲的积分常量,它的具体取值要由实验或其他附加条件来确定。从式(1.19)和式(1.22)可看出,若要电势能及电场力在  $r \rightarrow 0$  没有无穷大奇点, $R$  是不能取零值, $R$  不为零意味着  $R$  有最小值。有一种结果能够满足  $R$  有最小值的要求,就是  $R$  与两作用荷电粒子的质量  $M, m$  有关系式

$$R = \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{m}\right) \frac{\hbar}{c} + \frac{G}{c^2} (M + m) \quad (1.23)$$

式中, $M$  和  $m$  分别是两作用荷电粒子的质量; $\hbar = h/2\pi$ ;  $h$  是普朗克(Planck)常数; $c$  是光速; $G$  是牛顿万有引力常数。此时,无论  $M$  和  $m$  取何值, $R$  都不会小于  $4\sqrt{\hbar G/c^3}$ 。对于质子与质子作用系统有  $R = 4.2 \times 10^{-16} \text{ m}$ ,质子与电子作用系统有  $R = 3.86 \times 10^{-13} \text{ m}$ ,而电子与电子作用系统有  $R = 1.93 \times 10^{-13} \text{ m}$ 。

## 1.2 真空极化电荷叠加产生核力

近半个多世纪以来,人类对原子核的认知主要来源于实验。核物理学家通常利用著名

① 对于作用力在平衡点前后方向改变结论有如下事实支持:

- 对于氢、重氢和离化氮的精细结构测量所显示的能级位移,意味着弱的、短程的相斥作用存在于电子与质子之间;
- 在晶格中运动的两个电子间存在有吸引作用,在这种引力作用下组成电子对称“库珀对”。

的量子色动力学理论来描述原子核内部夸克之间的相互作用。量子色动力学虽然解释了许多核物理现象,但科学家对原子核力性质的研究仍然是建立在经验基础上的唯象理论,还一直未能从量子色动力学中导出核子之间的强排斥力。相反,利用式(1.14)导出的核力作用理论,不仅可以得到汤川秀树(Hideki Yukawa)核力作用规律,还可自然得出核力在作用距离小于某值后,其作用将由吸引力变为排斥力,此结果好于目前任何主流核力作用理论,并将开启核物理研究新纪元。

当两个带电粒子间的作用距离小到两带电粒子周围真空感生极化电荷发生重叠时,两粒子间就会产生核力作用。此时式(1.14)中的 $\rho$ 与核力作用势能 $V$ 有如下关系,即

$$\rho = -k^2 \chi(r) \varepsilon_0 V/q = -k^2 \varepsilon_0 e^{R/x} V/q \quad (1.24)$$

也就是有

$$(V/q)'' + 2R(V/q)' + R^2(V/q) = k^2 x^{-4}(V/q) \quad (1.25)$$

由式(1.25)易解得

$$V = -\alpha_0 \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0} x e^{-k/x - Rx} = -\alpha_0 \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r} e^{-kr - R/r} \quad (1.26)$$

式中, $\alpha_0$ 是待定常量。

取 $R=0$ 后,将式(1.26)与汤川秀树给出的核力势能函数

$$V = -\frac{\hbar c}{r} e^{-kr} \quad (1.27)$$

比较则知,在 $Q=q=e$ 时,常量

$$\alpha_0 = 4\pi\varepsilon_0 \hbar c/e^2 = 137 \quad (1.28)$$

把式(1.28)代入式(1.26)式,就可得到核力的作用势能及作用力的表达式,即

$$V = -\alpha_0 \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r} e^{-kr - R/r} = -P \frac{\hbar c}{r} e^{-kr - R/r} \quad (1.29)$$

$$F = -\nabla V = -P \frac{\hbar c r}{r^3} (1 + kr - R/r) e^{-kr - R/r} \quad (1.30)$$

式中, $P=qQ/e^2$ ,对于带有单位电荷两核子间的核力作用有 $P=1$ 。

如果已知两粒子间的核力等于零时的平衡作用距离为 $r_0$ ,核力公式中的系数 $k=(R-r_0)/r_0^2$ 。若假设 $r_0=(\sqrt{5}-1)R/2$ ,则有 $k=1/R$ ,此情形核力 $F(r)$ 有两个极值点 $r_1, r_2$ 分别为

$$r_1 = R; \quad r_2 = (\sqrt[3]{2}-1)R$$

图1.2是由式(1.30)绘制的核力与作用距离 $r$ 变化关系曲线。很明显,在 $r=0.618R$ 处,核力为零,当 $r<0.618R$ 时,核作用力的方向发生改变。核力的这种方向改变在核物理实验中已被证实,在实验中人们已发现,当原子核中的核子之间距离小于某一值后,其间的核力作用将由引力变成斥力。

核力具有式(1.30)的形式是与核电粒子内存在带有真空感生极化电荷的分布形式有关,根据

$$Q = \varepsilon_0 \oint E \cdot ds \quad (1.31)$$

可求出在荷电粒子周围,以荷电粒子为中心,以 $r$ 为半径的球内含有真空感生极化电荷所带电荷是

$$Q_s = -\varepsilon_0 \frac{d\varphi}{dr} \cdot 4\pi r^2 \quad (1.32)$$

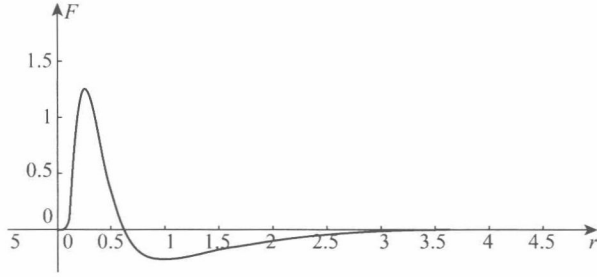


图 1.2 核力与作用距离关系曲线

其中,  $\varphi$  可通过将式(1.29)代入式(1.7)导出, 即

$$\varphi = e^{R/r} V/q = -\frac{\hbar c}{rq} e^{-kr} \quad (1.33)$$

将式(1.33)代入式(1.32), 就可得到

$$Q_s = -\frac{4\pi\epsilon_0\hbar c}{q}(1+kr)e^{-kr} \quad (1.34)$$

由式(1.34)易看出, 真空感生极化电荷  $Q_s$  并非是常量, 而是随  $r$  减小而增大。当  $r \rightarrow 0$  时, 电荷  $Q_s \rightarrow -4\pi\epsilon_0\hbar c/q$ , 这说明在荷电粒子原点处集中分布带有电荷  $Q_{\text{内}} = -4\pi\epsilon_0\hbar c/q$  的内真空感生极化电荷。

另外, 由式(1.34)还可看出, 当  $r \gg 1/k$  时, 电荷  $Q_s \rightarrow 0$ , 这说明在荷电粒子原点外还分布带有与内真空感生极化电荷等量异号电荷的外真空感生极化电荷。随着  $r$  的增大, 内、外真空感生极化电荷将逐渐中和, 使高斯(Gauss)面内真空感生极化电荷的总电量逐渐趋于零。

外真空感生极化电荷所带电荷可由

$$Q_{\text{外}} = 4\pi \int_0^r \rho r^2 dr \quad (1.35)$$

求出。由式(1.24)知

$$\rho = -k^2\epsilon_0 e^{R/r} V/q = \frac{k^2\epsilon_0\hbar c}{qr} e^{-kr} \quad (1.36)$$

把式(1.36)代入式(1.35), 可得到半径为  $r$  的球内含有的外真空感生极化电荷所带电荷是

$$Q_{\text{外}} = \frac{4\pi k^2\epsilon_0\hbar c}{q} \int_0^r r e^{-kr} dr = (4\pi\epsilon_0\hbar c/q)[1 - (1+kr)e^{-kr}] \quad (1.37)$$

显然, 在原点处有  $Q_{\text{外}} = 0$ , 而在  $r \rightarrow \infty$  时, 恰好有  $Q_{\text{外}} = -Q_{\text{内}}$ 。可见, 式(1.24)满足真空感生极化电荷所带的总电荷对外显电中性的要求, 这说明前面给出的核力作用理论是自洽的。

上述的核力作用理论是目前最有说服力的核力作用理论。用其可解释实验发现原子核所具有的一些性质, 还能预言一些新的核物理现象。

目前, 关于核力的主流理论主要有三种, 为便于与上述理论的对比, 分别将其主要观点介绍如下:

### 1. 核力的唯象理论

通过对原子核结合能、核子散射截面、角分布和相移(表征粒子运动状态的位相的变