

# 非粒子交换导致的长程作用力\*

廖 益<sup>†</sup>

(南开大学物理系 天津 300071)

**摘 要** 最近 Georgi 建议了一种客体——非粒子,它不存在色散关系的约束(因而不是粒子),却受所谓的标度量纲控制.文章作者指出,它与粒子相互作用会导致粒子间新奇的长程力.这种力与人们熟知的长程力完全不同,在人们已设想到的任何新物理中也没有这样的长程力.如果在未来的精确测量中发现了这种力,这将明确地指向非粒子物理,从而对粒子物理学的基本概念产生重要影响.另一方面,利用现有的精确观测的电子自旋-自旋长程作用,文章作者得到了对电子与非粒子相互作用的很强限制.对该领域的研究前景,文章中也作了简短的展望.

**关键词** 非粒子,长程力,标度不变性

## Long-range force from unparticle exchange

LIAO Yi<sup>†</sup>

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract** Unparticles as recently suggested by Georgi are identities that are not constrained by dispersion relations (and are thus not particles) but are governed by their scaling dimension. We show that their coupling to particles results in novel long-range forces between particles that are totally different from known ones or those arising in any other new physics contemplated so far. If such forces were discovered in future precision measurements it would point to unparticle physics unambiguously, and thus impact significantly the basic concepts of particle physics. On the other hand, we use the existing precisely measured long-range spin-spin interaction of electrons to set stringent bounds on the unparticle coupling to the electron. We also mention briefly the prospects for research in this field.

**Keywords** unparticle, long-range force, scale invariance

## 1 引言

万有引力和库仑力是我们仅知的长程作用力.它们具有宏观尺度的力程,并遵从距离平方反比律.自然界中是否存在别的长程力?是否存在平方反比律以外的长程力?由于这是一个基础性的重要问题,物理学家们从理论和实验方面进行了长期不懈的探索.

量子场论是建立在狭义相对论和量子论基础上的、描述相互作用的理论框架.按照量子场论的观念,相互作用或力是通过力的载体(称之为力的量子或粒子)传递的,而长程力是质量为零的量子导致的.比如,引力子传递引力作用,而光子传递电磁作用<sup>1)</sup>.长程力的平方反比律是相互作用在低速极限下的主要特征,它源于两个基本事实.其一,所有粒子(包括力的量子)都满足一个色散关系,即:粒

子的能量  $E$ 、动量  $P$  间存在二次型约束  $E^2 = P^2 c^2 + m^2 c^4$ .这里,常数  $c$  是光速, $m$  则是粒子的质量.其二,我们生活在一个三维的物理空间.当然,如果相互作用的粒子有自旋,或者,如果我们计入很小的相对论性效应或量子论修正,力的长距离行为与平方反比律会有很小的偏离,但这些偏离总是距离的负整数次幂.有趣的是,即使在像紧致额外维(compactified extra dimensions)这样的新颖理论中,作用力

\* 本文应《物理》编辑部邀请撰写,以通俗语言介绍发表 Phys. Rev. Lett., 2007 99:191804 一文,只列出主要文献 2007-12-13 收到

<sup>†</sup> Email: liaoy@nankai.edu.cn

1) 在电磁、弱、强相互作用的统一理论——粒子物理标准模型中,强作用也是通过零质量的量子传递的.但由于强作用的荷(称之为色,相当于电磁作用的电荷)不能单独、自由地存在(色禁闭),我们观测到的比如核子间的强作用并不是长程力

也是距离的负整数次幂<sup>2)</sup>。

这样就自然产生了一个疑问:自然界不可能存在别的形式长程力吗?一个比较简单、看上去也不怎么奇怪的形式似乎是距离的负的非整数次幂。什么样的量子能传递这种力?前述分析告诉我们,它不可能是粒子!在通常的量子场论中,粒子是作为场的量子激发而自然出现的,因此,这样的回答看起来很奇怪。其实,产生这一印象倒不是因为这种形式的长程力太离奇,而是因为我们太习惯于粒子这样的基本物理概念,以至于很难偏离哪怕是一小步。

最近,Georgi 基于理论上的设想,建议了一种新客体,因为不是粒子,他称之为 unparticle(本文暂译为非粒子)<sup>[1]</sup>。这项建议立即引起了广泛注意和研究。人们发现非粒子会产生一些不寻常的物理后果<sup>3)</sup>。因为我们关于相互作用的知识都是通过粒子的实验研究获得的,非粒子的物理理论自然应该包括它与粒子间的相互作用。本文将主要介绍非粒子与粒子的相互作用所导致的粒子间长程力<sup>[2]</sup>。该长程力一般具有距离的负非整数次幂形式。由于目前实验上尚未发现这种力,我们可以对非粒子与粒子的相互作用给出很强的限制。如果在未来的实验中发现了这种力,这将是存在非粒子的特征性证据,因为如上所述,通常的粒子理论产生不了这种长程力,而这可能导致基础理论的深刻变化。

## 2 粒子与非粒子

质量,如同电荷、自旋一样,是粒子的固有属性,它决定了粒子的运动学特征。比如说,只要是电子,它的质量就总是  $0.511 \text{ MeV}^4)$ 。在量子场论中,我们可以将一个粒子 A 与另一个粒子 B 的相互作用过程(如碰撞),形象化地理解为,粒子 A(或 B)发射了一个虚的力量子  $Q$ ,后者又被粒子 B(或 A)吸收。这里,力量子  $Q$  是虚的,指的是在该过程中它的能-动量(称之为四动量或动量) $p$  不满足色散关系。从运动学上很容易理解这一点:我们观察的是粒子 A 和 B,因此,在相互作用发生的前后,它们都是实的(或称为物理的)粒子,满足各自的色散关系。四动量守恒告诉我们,它们发射或吸收的粒子  $Q$  就一定是虚的。这一相互作用的强弱既取决于粒子 A 和 B 发射或吸收粒子  $Q$  的强度(即相互作用形式和耦合常数),也取决于虚的力量子  $Q$  自由传播的振幅(称之为传播子)。后者正比于  $(p^2 - m^2)^{-1}$ ,其中  $m$  是力量子  $Q$  的质量<sup>5)</sup>。由此,我们根据量子力学知道,粒子 A 和 B 在低速运动时(这时动量传递  $p$  也很小)的作用力是长程的还是短程的,取决于力量子  $Q$  的质量  $m$  是否为零。这样,我们也容易理解,弱

作用力是短程的,因为它的力量子非常重,而电磁力是长程的,因为光子无质量。

什么是非粒子?目前,还没有人知道确切答案,关于非粒子的基本理论也尚未建立。但这并不意味着我们无法研究非粒子的物理。物理学的经验告诉我们,虽然所有的物理现象或许可以在一个统一的基本理论框架内加以理解,但每一个能量或时空尺度的物理问题有其特点,我们可以通过引入合适的物理学量对该尺度的物理现象进行简单而有效的描述。比如,量子力学是比牛顿力学更基本的理论,但在研究宏观现象时,我们使用得更多的是牛顿力学的坐标与速度,而不是量子力学的波函数。这一物理经验在量子场论领域也得以成功实践,这便是有效场论的观念:在每个能量尺度,我们都可以引入有效的物理自由度或动力学场变量来描述物理过程,因此,我们将得到有效场论按能量尺度递减的一个序列,而重整化理论将这些不同尺度的有效场论联系在一起。

Georgi 关于非粒子的建议<sup>[1]</sup>也是建立在有效场论观念之上的。他设想,非粒子可能起源于某个能量尺度极高的基础理论,后者具有非平庸的红外固定点。也就是说,当所研究的物理问题的特征能量低于某个值时,该理论实际上是一个标度不变的相互作用理论。他进一步假定,在能标  $\Lambda_U$  时,该标度不变的理论产生了新的物理自由度,即动力学场变量  $U$ ,它在标度变换下按标度因子的简单幂次变换<sup>6)</sup>。正如通常的场的量子激发称为粒子一样,场  $U$  的量子激发则称为非粒子。之所以加上“非”字,是因为在标度不变的一般理论中,没有“质量”这个概念,而质量是粒子的一个基本属性。有趣的是,虽然不存在

- 2) 更确切地说,这适用于距离比紧致额外维尺度小(当距离比紧致额外维尺度大时,还有一个距离的指数衰减因子)
- 3) 在网页 <http://www.slac.stanford.edu/spires/> 上,通过检索对文献 [1] 的引用情况,可了解非粒子研究的详情
- 4) 从现在起,我们使用自然单位制,即取普朗克常数  $\hbar = 1$  和  $c = 1$ 。在此单位制中,时间、长度量纲一样,并与质量、能量、动量的量纲互为倒数。 $10^{-12} \text{ TeV} = 10^{-9} \text{ GeV} = 10^{-6} \text{ MeV} = 1 \text{ eV}$
- 5) 从这开始,我们使用狭义相对论记号。比如,四动量  $p$  的分量为  $p^\mu = (p^0, p^1, p^2, p^3)$ ,其中上指标  $\mu$  取所示的四个值,后三个分量构成通常的动量  $p$ ,对一个物理粒子而言,  $p^0$  即其能量。记号  $p^2 = (p^0)^2 - p^2$  是相对论不变量
- 6) 当时空坐标  $x$  改变  $a$  倍时,场  $U(x)$  改变  $a^{-d_U}$  倍,  $d_U$  称为标度量纲。按粒子物理领域的习惯,场的量纲以能量为标准,因此,场  $U(x)$  的量纲相当于能量的  $d_U$  次幂。关于  $d_U$  的取值范围,目前还没有确定的理论依据,但一般预期它是不小于 1 的实数

质量这个概念,标度不变性足以决定非粒子的运动学性质.比如,在四动量  $p$  空间非粒子的态密度正比于  $(p^2)^{d_U-2[1]}$ ;利用么正性质,这又意味着无自旋非粒子场的传播子正比于  $(-p^2 + i0^+)^{d_U-2[3,4]}$ .通过与前述的粒子情形比较,可以想象,如果两个粒子通过交换一个非粒子而产生相互作用,我们将得到完全不同的长程作用力,即:距离的负非整数次幂.这是下小节将要讨论的问题.

如果粒子间存在新的长程力,它一定非常弱,否则,我们早就在通常的粒子物理实验(仅涉及少量粒子间的相互作用)中发现了.因此,人们一般利用大块物质间相互作用的叠加效应来寻找新的长程力.虽然大部分实验仅对自旋无关的作用力敏感,近几年已有实验探测与自旋相关的作用力,并获得了超越自旋无关实验的独特信息.

我们的研究工作限于讨论电子系统,主要是基于以下的考虑.从大块物质的实验,我们能得到关于核子、电子相互作用的知识.在粒子物理标准模型中,核子、电子已处于不同的地位:电子是基本粒子,而核子则是夸克、胶子等基本粒子通过强作用形成的复合粒子,我们很自然地预期,一个更高能量尺度的理论将可能以夸克、胶子(而不是核子)和电子等作为基本成员.因此,关于电子的实验结果能直接限制理论模型中可能的相互作用形式.相反地,关于核子的实验结果需要“反解”强作用变为夸克、胶子的数据才能与新理论建立联系,而这将不可避免地引入强作用导致的不确定性.进一步,由于大块物质间与自旋无关的相互作用被核子主导,在唯象分析中,我们将集中于电子所主导的与自旋相关的相互作用实验.

考虑电子与非粒子的有效场论.二者间的相互作用由有效拉格朗日密度描写.在低能区域,可能的主要作用形式是:

$$L_{int} = C_S \bar{\psi}\psi U_S + C_P \bar{\psi}i\gamma_5\psi U_P + C_V \bar{\psi}\gamma_\mu\psi U_V^\mu + C_A \bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_5\psi U_A^\mu, \quad (1)$$

这里  $U_{S,P,V,A}$  分别代表标量、赝标量、矢量、轴矢量型非粒子场变量;为简单起见,假定它们的标度量纲都是  $d$ .  $\psi$  是 Dirac 电子场,  $\bar{\psi} = \psi^\dagger \gamma_0$  和  $4 \times 4$  矩阵  $\gamma_\mu, \gamma_5$  等是 Dirac 理论中的标准记号.  $\mu$  是 Lorentz(或狭义相对论)四矢量指标,在以上拉格朗日密度中,已对其四个取值求和.耦合常数  $C_{S,P,V,A}$  分别决定了各形式相互作用的强度.由量纲分析,它们可以参数化为  $C_{S,P,V,A} = \Lambda_{S,P,V,A}^{1-d}$ , 这样  $\Lambda_{S,P,V,A}$  代表产生各相互作

用的特征能量尺度.

为了求得上述相互作用导致的电子间作用势(其空间梯度的负值即是作用力),我们只需算出,在非相对论极限下,  $d$  道非粒子交换对电子散射振幅的贡献.我们将保留到  $m^{-2}$  阶次项,这里  $m$  是电子质量,更高阶项对长程力贡献被显著压低,可忽略不计.质心系中电子的平均速度也可忽略.这样,我们求得电子间的作用势为

$$U_d(\mathbf{r}) = A_d (4\pi^2)^{-1} r^{1-2d} [U_{spin}(\mathbf{r}) + U_{non}(\mathbf{r})], \quad (2)$$

$$U_{spin}(\mathbf{r}) = -C_A^2 \Sigma_s \Gamma(2(d-1)) + \frac{\Gamma(2d)}{4m^2 r^2} [(d-2)C_A^2 \Sigma_s - C_P^2 \frac{\Sigma_s - (2d+1)\Sigma_a}{2(d-1)} + (C_A^2 - C_V^2) \frac{(1-2d)\Sigma_s + (2d+1)\Sigma_a}{2(d-1)}], \quad (3)$$

$$U_{non}(\mathbf{r}) = (C_V^2 - C_S^2) \Gamma(2(d-1)) + \frac{\Gamma(2d)}{4m^2 r^2} [(2-d)C_V^2 - (3-d)C_S^2] \quad (4)$$

其中  $\Sigma_s = \sigma_1 \cdot \sigma_2, \Sigma_a = \sigma_1 \cdot \hat{r} \sigma_2 \cdot \hat{r}, \hat{r} = \mathbf{r}/r, r = |\mathbf{r}|$ . 这里,  $\mathbf{r}$  是相互作用电子对的相对位置矢量,  $\sigma$  是描写电子自旋的 Pauli 矩阵,下标 1,2 标记两个电子.  $A_d$  是出现在非粒子传播子中的归一化常数:

$$A_d = \frac{16\pi^{5/2}}{(2\pi)^{2d}} \frac{\Gamma(d + \frac{1}{2})}{\Gamma(d-1)\Gamma(2d)}, \quad (5)$$

非粒子交换也可以发生在电子与正电子之间,从而影响电子偶素(电子与正电子的束缚态)谱的超精细分裂.这方面的结果及其他讨论,请参阅文献[2].下面我们仅讨论电子间的长程力.如我们预期的那样,非粒子导致的电子间长程作用势和作用力一般是距离的负非整数次幂.自旋无关作用力的领头项来自标量型和矢量型非粒子,而自旋有关作用力的领头项则由轴矢量型非粒子贡献,它们都遵循  $r^{-2d}$  的规律.对  $d \in (1, 2)$ ,这是介于库仑力与磁偶极矩间作用力之间的长程力.如果与电子作用的只有赝标量型非粒子,则自旋无关作用力很小(实际上至我们考虑的  $O(m^{-2})$  阶次为零),但它对自旋相关作用力可以有显著贡献,并遵循  $r^{-2d-2}$  的规律.

现在我们利用电子自旋-自旋作用的实验结果来约束非粒子与电子的耦合常数.目前,共有四个精确可靠的实验.其中两个使用力矩摆<sup>[5,6]</sup>,另两个则利用诱导的顺磁性<sup>[7,8]</sup>.后两个实验给出的结果限制性更强.我们在文献[2]中有较详细的分析,下面仅作简要介绍.文献[7,8]在分析实验时假定,电子

间新的自旋-自旋作用仍遵循标准的磁偶极矩间作用形式,即作用势为  $U_{\text{exp}}(\mathbf{r}) = \alpha_{\text{exp}} \mu_B^2 r^{-3} (\Sigma_a - 3\Sigma_a)$ ; 其中  $\mu_B$  是 Bohr 磁子,  $\alpha_{\text{exp}}$  则是作用强度. 他们得到上限,  $\alpha_{\text{exp}} = (1.2 \pm 2.0) \times 10^{-14}$ . 当我们将该结果运用于非粒子传递的自旋-自旋作用力时, 需要注意, 无论是距离依赖关系还是  $\Sigma_s$  和  $\Sigma_a$  项的相对权重, 二者都不相同. 因此, 严格来说, 需要做详尽的数值分析才能得到对耦合常数  $C_{S, P, V, A}$  较准确的限制. 但我们发现, 利用该实验装置和样品的几何特点, 可将问题大为简化. 首先, 相互作用的两块样品的尺寸远比它们的距离小, 因此, 它们间的作用势基本按它们的典型垂直距离的幂次简单叠加. 其次, 一个样品的自旋极化方向和另一个样品的磁化方向都处在与样品连线垂直的平面内, 因此, 对两样品中大部分电子对而言,  $\Sigma_a$  项远比  $\Sigma_s$  项小, 可以忽略. 这两点近似造成的误差应是数量级为 1 的几何因子. 通过要求非粒子导致的作用势不超过实验测量值, 我们就可以得到对耦合常数或特征能量尺度的限制.

先考虑  $U_{\text{spin}}$  中的最大项, 即第一项. 它给出的约束为

$$\left(\frac{\Lambda_A}{\text{TeV}}\right)^{\chi(d-1)} \geq 3.17 \times 10^4 \frac{\Gamma(d - \frac{1}{2})}{(2\pi)^{2d} \Gamma(d)} K^{\chi(d-2)}, \quad (6)$$

式中  $K = 0.2 \times 10^{-16} \text{ cm}/r_0$ ,  $r_0$  是两样品的距离. 表 1 列出了不同  $d$  取值时  $\Lambda_A$  的下限, 我们已取  $r_0 = 25 \text{ cm}$ . 可以看出, 当  $1.5 < d < 2$  时, 对  $\Lambda_A$  的限制非常强, 而  $1 < d < 1.5$  时, 可以排除轴矢量非粒子与电子的耦合, 即  $C_A \approx 0$ , 因为其特征能量尺度已超过 Planck 质量(约为  $10^{19} \text{ GeV}$ ). 在后一情形, 我们必须考虑  $\alpha \text{ m}^{-2}$  阶次的项. 虽然  $C_P^2$ 、 $C_V^2$  项符号相反, 但将它们一起考虑并不能得到更强的结论, 因为一般来说,  $U_P$  与  $U_V$  场的标度量纲不一样. 因此, 我们逐个考虑两项并得到如下的限制:

$$\left(\frac{\Lambda_P}{\text{TeV}}\right)^{\chi(d-1)} \geq 6.07 \times 10^{16} \frac{\Gamma(d + \frac{1}{2})}{(2\pi)^{2d} \Gamma(d)} K^{\chi(d-1)}, \quad (7)$$

$$\left(\frac{\Lambda_V}{\text{TeV}}\right)^{\chi(d-1)} \geq 1.52 \times 10^{16} \frac{\Gamma(d + \frac{1}{2}) \chi(2d-1)}{(2\pi)^{2d} \Gamma(d)} K^{\chi(d-1)}. \quad (8)$$

以上限制随  $d$  的变化一并在表 1 中列出. 可以看出, 当  $1 < d < 1.3$  时, 赝标量、矢量型非粒子与电子的耦合也可以排除. 但  $d \sim 1.5$  时, 我们得不到对两个耦合常数有价值的限制, 而且, 由于我们限于讨论自旋

-自旋作用, 标量型非粒子至  $\alpha \text{ m}^{-2}$  阶次无贡献, 对其耦合常数完全没有约束. 不过, 这些情形都可以通过其他物理测量进行弥补, 在文献中已有讨论, 不在此赘述.

表 1  $\Lambda_{A, P, V}$  (以 TeV 为单位) 的下限随  $d$  取值而改变(×号表示超过了 Planck 质量, -号代表下限太低而无价值)

$d$	$\log_{10} \Lambda_A$	$\log_{10} \Lambda_P$	$\log_{10} \Lambda_V$	$d$	$\log_{10} \Lambda_A$
1.2	×	×	×	1.6	13.7
1.3	×	6.44	5.77	1.7	9.04
1.4	×	0.126	-0.307	1.8	5.53
1.5	20.3	-	-	1.9	2.81

### 3 结语

非粒子与粒子的相互作用会导致粒子间的长程作用力, 后者一般是距离的负、非整次幂形式. 这是一种新形式的长程力, 在目前设想到的其他理论模型中都不出现, 因此是非粒子物理所特有的. 如果实验能发现这种力, 这可能将是非粒子现实性的无异议证据, 从而对粒子物理学的基本观念产生深刻影响. 另一方面, 利用已有的高精度实验, 可以对这种作用施加很强的限制. 我们的研究结果表明, 至少对电子而言, 基本可以排除它与标度量纲较小的赝标量、矢量和轴矢量型非粒子耦合的可能性, 对其他情形的限制也比较强. 这一结论是否局限于电子等轻粒子有待进一步的研究.

非粒子是个很新颖的想法. 正如 Georgi 所指出的, 它不像通常的粒子物理新模型那样只是带来更多的新粒子和更大的自发破缺对称性. 它提出并尝试回答这样一个基本问题: 除了粒子, 是否存在我们尚未发现的新客体? 但是, 究竟这只是一个有趣的学术新花样, 还是与现实世界有关的新概念, 取决于我们能否建立自洽的理论, 更取决于实验的检验. 目前, 我们还没有关于非粒子的量子场论; 一个自洽场论必须满足的前提条件, 比如散射矩阵的存在性、么正性、因果性等, 尚未受到检视. 从唯象角度看, 很难想象与粒子有相互作用的非粒子不参与规范相互作用, 文献中已有这方面的尝试, 但还不成功. 另一个可能的发展方向是拓展非粒子物理的应用领域. 在最近完成的工作<sup>[9]</sup>中, 我们尝试建立非粒子体系的热力学, 发现非粒子是介于物质和光辐射之间的一种能量形式, 这可能为宇宙中暗物质的研究提供新途径.

### 参考文献

- [1] Georgi H. Phys. Rev. Lett., 2007, 98 : 221601  
 [2] Liao Y, Liu J Y. Phys. Rev. Lett., 2007, 99 : 191804

[ 3 ] Georgi H. Phys. Lett. B ,2007 ,650 :275  
 [ 4 ] Cheung K ,Keung W Y ,Yuan T C. Phys. Rev. Lett. ,2007 ,99 :051803  
 [ 5 ] Ritter R C , Gillies G T , Winkler L I. In : Spin in Gravity. Ed. Bergmann P G , de Sabbata V , Gillies G T , et al. Singapore : World Scientific ,1998 ,199 - 212  
 [ 6 ] Pan S S , Ni W T , Chen S C. Mod. Phys. Lett. A ,1992 ,7 :1287  
 [ 7 ] Chui T C P , Ni W T. Phys. Rev. Lett. ,1993 ,71 :3247  
 [ 8 ] Ni W T et al. Physica ( Amsterdam ) ,1994 ,194 - 196B :153  
 [ 9 ] Chen S L , He X G , Hu X P et al. Thermal Unparticles : A New Form of Energy Density in the Universe. arXiv 0710.5129 [ hep - ph ]



· 书评和书讯 ·

## 探索高等科教书店物理类书目推荐

作者	书名	定价	作者	书名	定价
谢希德	固体能带理论(第二版)	30.0	叶良修	半导体物理学(第二版)上册	65.0
J. E. Marsden	力学和对称性导论 第2版(影印)	69.0	Sheng S. Li	半导体物理电子学(第二版)(影印)	98.0
闫东航	有机半导体异质结导论	50.0	南和礼	超导磁体设计基础	25.0
徐光宪	量子化学——基本原理和从头计算法(第二版下)	65.0	何杰	半导体科学与技术	98.0
张先蔚	量子统计力学(第二版)	52.0	郝跃	微纳米 MOS 器件可靠性与失效机理	78.0
赵凯华	定性与半定量物理学(第二版)	22.8	王升高	纳米碳管的制备——微波等离子体的应用	32.0
P. R. Yoder	光机系统设计(原书第3版)	98.0	王惠龄	超导应用低温技术	41.0
刘铁根	光学防伪检测技术	59.0	刘宗昌	过冷奥氏体扩散型相变	50.0
安毓英	光电子技术(第二版)	27.5	林建忠	超常颗粒多相流体动力学 - 圆柱状颗粒两相流	58.0
郭玉彬	光纤激光器及其应用	45.0	郭方中	热力学(研究生教学用书)	38.8
萧泽新	工程光学设计 第2版	33.0	王秋良	高磁场超导磁体科学	68.0
黄祖洽	输运理论(第二版)	68.0	周廉	中国高温超导材料及应用发展战略研究	60.0
R. M. White	磁性量子理论——材料的磁性性质(影印)	68.0	张兆顺	湍流大涡数值模拟的理论和应用	55.0
F. Schwabl	统计力学(第二版)(影印)	96.0	张雄	计算动力学	55.0
A. Loiseau	碳纳米管——从基础到应用(影印)	90.0	时启燧	高速水气两相流	76.0
俞军	量子力学导读	20.0	王芝银	岩体流变理论及其数值模拟	48.0
凌瑞良	熵、量子与介观量子现象	42.0	Xiao Lin	固体应力波的数值解法	42.0
戴显熹	高等统计物理(英文版)	38.0	王之卓	实用天文学	32.0
刘莲君	量子力学学习指导	38.0	孙义燧	现代天体力学导论	25.5
王正行	简明量子场论	35.0	H. N. Bertram	磁记录理论	45.0

我店以经营科技专著为特色,以为科技工作者和大专院校师生提供优质服务为宗旨,欢迎广大读者来店指导或来电查询。  
 电话 010-82872662、62556876、89162848 网址 <http://www.explorerbook.com>  
 电子邮箱 [explorerbook@vip.163.com](mailto:explorerbook@vip.163.com) 通讯地址 北京市海淀区海淀大街31号313北京探索高等科教书店  
 邮政编码 100080 联系人 徐亮、秦运良



独家代理销售加拿大 GENTEC-EO 生产的激光功率能量计及光束分析仪,其产品具有功率、能量探测头规格全,宽光谱响应,探头损伤阈值高、灵敏度高,SOLO 显示器自动识别每个探头,带有自动校准功能,光束分析仪定量、定性分析激光束等特点。



独家代理销售美国 STELLARNET 生产的微型光纤光谱仪,其产品具有多种型号规格可选,坚固耐用、轻巧便携,波长范围覆盖 190—2200nm,适合于实验室、现场及野外的光谱测量。



联系人 粟曼珊 [sumanshan@goldway.com.cn](mailto:sumanshan@goldway.com.cn) 联系电话 010-84562860 84562550 传真 010-84569901



北京欧普特科技有限公司 <http://www.goldway.com.cn>  
 北京朝阳区酒仙桥东路一号 M7 栋东五层 100016