

“无理”的物理

罗会仟[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

何谓物理,在中国古代哲学家中早就有诸多讨论,老子的“道”便是物理这个概念的雏形.《韩非子·解老》有句云:“万物各异理,而道尽稽万物之理.”“探寻万物之理”就是物理学的内涵所在.宋代和明代哲学家朱熹、程颐、罗钦顺等强调“格物致知、穷理明辨”,则道出了物理学的研究方法,即以“格物”式的实验为基础获取物质的信息,以“穷理”式的思辨为辅助分析出信息中的一般规律,然后解释更多的现象和规律.物理的基础来源于完全真实的物质实验信息,物理的灵魂在于它能提取出一般规律并返回应用到真实的物质世界中去.简而言之,物理是人类试图寻找真理的一种途径,它的目的在于给人们解释万物之理.可是,物理学真的是这么“有据有理”的科学吗?数学是物理学的重要基础,它以严谨著称,物理会如数学一般严谨么?实际上并非如此,给别人讲理的物理其实在很多方面是“不讲理”的.本文就试图从以下几个方面让你看到物理的另一张面孔——“无理”的物理.

1 理想化的物理

物理学喜欢理想化,因为当你尝试用公式定理等去描述一个事物的时候,你会发现存在许多具体的问题,如果把它们统统考虑进来的话,那么你将束手无策而痛苦不堪.举一个简单的例子,在牛顿的万有引力理论里,两个物体相互吸引,它们的引力大小和它们的质量成正比,和它们之间的距离的平方成反比.乍看这个理论用数学公式一写,既简单又明了.若仔细想一想,实际情况却是非常复杂的,因为任何有质量的物体都应该有一定的形状、大小等,倘若考虑这些因素在内,那么两个物体的不同部分之间的距离便不大相同,你又如何计算他们的引力?这着实令人犯愁!聪明的物理学家用了一种无理的方法——理想化,就是干脆把物体缩为一个有质量的点——“质点”.既然是零维的点,形状和体积就无从谈起了,引力问题变成了两个质点之间的相互作用,上面说的问题也就不复存在了.这招确实很高明,不是直接去面对问题,而是直接把存在的问题给

抹掉了,用一个理想化假设把本来复杂的问题简单到了不能再简单的地步.可是质点这个概念,真可以存在么?

很不幸,现代物理中最为头疼的许多问题,都起因于这个质点模型.经典物理学里质点的概念非常巧妙地避开了问题本身,可万万没想到的是,当质点这个概念悄悄混入现代物理中来的时候,却引起了一系列大麻烦.因为实际上没有大小又有质量的东西是根本不存在于我们这个宇宙的.您或许会反驳说宇宙中黑洞里面的奇点就是如此,可惜,尽管 Hawking 和 Penrose 严格证明了奇点的存在,但我们也要注意,奇点本身并不属于我们的宇宙这个时空.

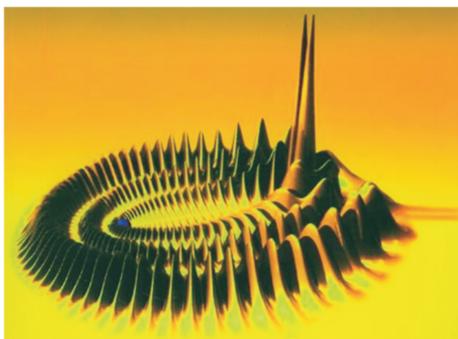


图1 量子围栏——微观粒子的实际运动状态^[1]

回到一个古老的哲学问题——世界是无穷可分的吗?一般看来,我们的物质世界可以不断地分下去.从宇观到宏观,从宏观到介观,从介观到微观(见图1),尺度不断减小下去,总是能找到相关的物质与其对应.物质一般由分子组成,分子又是由原子组成的,而原子又由原子核和核外电子构成,原子核是由质子和中子通过强相互作用结合在一起的……似乎这一切都可以无止境地分下去,而用半经典物理学观念来看,在每一步你似乎可以把相应的“子”看成质点来简单理解.接下来,问题来了.电子有大小吗?质子和中子有内部结构吗?毫无疑问,有.可若

2008-08-04 收到

[†] Email:luohuiqian@sohu.com

问电子的内部结构如何,那尚属未知.在许多物理问题中,我们还是把电子按照质点处理的.而对于质子和中子的内部结构,则是由 3 个相互作用的夸克组成的,3 个夸克本身的质量相加并不等于质子或者中子的质量,实际上它们的质量来源于夸克和夸克之间的强相互作用.这就是核子质量的真实起源,原来根本没有所谓有质量的点(见图 2).

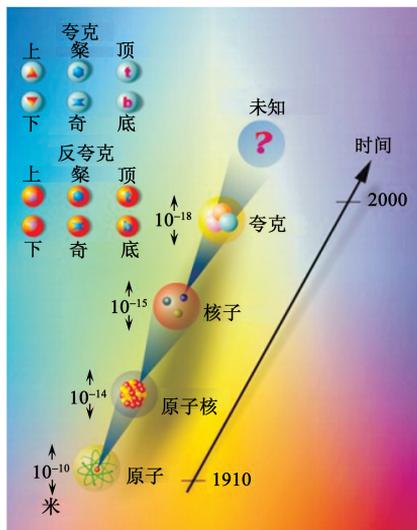


图 2 从原子的发现到夸克的理论,我们的世界真的是无穷可分的吗?

当然有人或许会问,夸克还有结构吗?这下又难为物理学家了.问题在于,我们连独立的夸克都找不到,因为它们被牢牢地禁闭在质子和中子里面,它们之间的作用力随着距离的增加而迅速增大,根本无法从粒子中分离出来.而把微观粒子看成没有体积的零维的点,同时直接导致许多物理问题不可解,也给基本粒子在相对论和量子力学框架下统一造成了不可逾越的阻碍.不过物理学家的确很聪明,他们发明了许多新的理论来解决这些问题.其中之一就是弦理论:既然零维的质点不行,那么就把粒子扩展为一维的“弦”,用弦的卷曲缠绕和震动的方式来表征粒子的性质,这就自然地解决了上述问题(见图 3).不过弦理论也仍然有缺陷,而后有二维的膜理论甚至干脆拓展为所谓 M 理论(没有人知道 M 代表啥意思),试图在自然界的相互作用世界里一统天下.弦理论同时预言,我们的宇宙由更多的维度组成,除了常见的三维空间和时间维度外,还必须引入在极小尺度上卷曲和缠绕着的 6 个维度, M 理论里甚至得要求再增加一个维度^[2,3].至于究竟要多少个维度才能描述这个世界,这个很难说……



图 3 宇宙的琴弦.弦理论把微观粒子看成一根弦,弦的存在使得我们的宇宙多了 6 个额外的卷曲和缠绕着的维度^[2]

2 近似化的物理

物理学除了喜欢把复杂的情况理想化和模型化外,它还喜欢近似化.因为倘若要严格解出数学上的解析解的话,那即便是把问题理想化后,还是不可能做到.这问题在经典力学里就存在,比如日、地、月三体系统.即使你把三者都看成质点,而且只用经典的牛顿万有引力公式列出方程,若要把其中任何一体的轨道用解析的数学公式表述出来,却是不可能的.这个时候只能用近似,因为太阳质量远远大于月球质量,所以在考虑地球轨道的时候干脆把月球忽略不计,而月球的轨道则主要受地球的影响,至于太阳自己则完全可以看成恒定不动(这或许就是恒星说法的来源吧?)倘若把这个系统拓展到整个太阳系,那就是一个无比复杂的多体问题(见图 4).但这绝不是最复杂的!



图 4 太阳系的简单模型.这是一个复杂的多体问题

在凝聚态物理学里,我们将面临 10^{23} 量级的多体系统!神通广大的量子力学,面对如此庞大的系统要得到严格解,那简直是天方夜谭.这个时候,物理学就不管三七二十一,先近似化了再说.比如金属中原子最外层电子,巡游性很强,基本不受原子核的束缚,而且电子和电子之间关联效应很弱,那么就可以把电子一个个独立起来看,而其他的原子核和内层电子则看成是一个正电背景,一个带负电的自由电子在这个正电背景下运动,这又回到了单体问题,容易多了.常规的金属超导本质就是自由电子

在这个正电背景下得以两两配对并同时相干凝聚下来,从而使得电子对在固体中的运动不受阻碍.这个时候,近似化的自由电子模型还是可行的,可以简单地用两个电子的配对来解释典型实例.但是在高温超导体里面,电子和电子之间关联效应显著增强,不再能独立起来看,于是以前的自由电子近似失效,这个问题就变得复杂了许多.这也是凝聚态物理前沿难题之一.

数学家往往不理解物理学家,他们总是困惑地问道:“这个怎么可以这样近似呢?没道理啊!”即便物理学家解释一大堆,恐怕他还是很难搞明白.可真的物理,就是带有这么无理的成分的,没有这些恐怕就得出多少“有理”的结论了.



图5 《山海经》里面描述的混沌——一种没有脑袋长着翅膀的奇怪动物

3 模糊化的物理

物理学中另一个令人感到无理的方面是,许多问题并不能得到确切的答案.受牛顿力学的熏陶,很多人形成了一些缺乏依据的习惯性思维,比如认为对于一个受力情况完全清楚的物体而言,你是可以预知它在下一个时刻的所有运动状态的.也就是说,这应该是一个确定性的过程.果真如此吗?确定论的出现其实只能在比较理想的情况下才有的,一般来说,只有线性方程才肯定能得出解析解.而对于非线性方程,很多情况下是根本得不出解析解的.解决的办法有两种:一是寻求恰当的近似,也不乏采用理想化的模型来简化方程;二是放弃解析解转而寻求数值解.后者相对容易一些,只是数值解的结果要强烈依赖于你设定的初始值和所谓的边界条件以及计算精度等,而且是否正确要靠实际情况来验证.这当然不是一个确定论的结果,只是它能告诉你发生某些事件的可能性有多大.非线性条件下有很多有趣的现象,比如混沌.在这种状态下,物体的运动几乎是随机的,你所能预言的不过是模糊地说某种运动

状态的可能性有多大,绝对无法说出某个特定时刻物体的真实运动状态,而且物体的实际运动状态对初始情况敏感依赖,只要开始条件稍稍不同,就可能得到截然不同的后果,例如混沌(见图5).物理学家用所谓“蝴蝶效应”来比喻这个现象:一只蝴蝶在南美轻轻扇动翅膀,可能被无限放大,以至于一个月后在北美引起一场龙卷风.这或许稍微有点夸张,却真实存在这种可能性^[4](见图6).

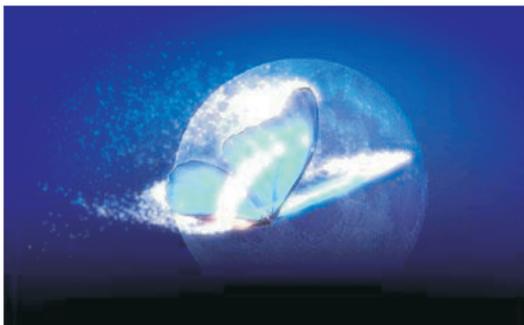


图6 蝴蝶效应.一只蝴蝶在南美轻轻扇动翅膀,可能引起北美的一场龙卷风

确定论的丧失在量子力学里面体现更为深刻,用爱因斯坦的话来说就是:“上帝在掷骰子.”实际上,上帝不仅仅是会掷骰子,上帝简直就是一个赌徒.微观世界就是如此奇妙,微观粒子的运动状态是无法用经典力学的传统理论来描述的.在神奇的量子世界里,微观粒子的能量不是连续变化的,而是一份一份的离散状态;微观粒子在某个地方出现也是不可预知的,只能得到在这个位置可能出现的概率;微观粒子的状态甚至是不可观测的,因为一旦观测就必须破坏它的状态.这些都让人感到不可理喻,万能的上帝掷出的色子点数,连上帝自己也不知道.

还是让薛定谔的猫来具体化一下这个问题吧.量子力学创始人之一薛定谔说,你把一只猫放进黑箱子里,里面再放一瓶毒药,毒药的开关用一个放射源来控制.只要放射源放射出粒子,那么药瓶打翻,猫就会被毒死,否则猫就活着.问题是对于站在黑箱外面的人而言,你可知道猫到底是活着还是死去?正确的答案是:既可能活着也可能死去.这不废话吗?不是的.量子力学告诉我们,这只猫活着和死去的概率分别是二分之一.至于你说它活着还是死去,或是半死不活,都不对,它就是可能活着也可能死去!这样的回答,你愿意接受么?当然,要知道猫究竟是活着还是死去的方法很简单,打开箱子一看就知道.可是一旦你开了箱,就是进行了观测,也就破坏了猫原先既可能活着也可能死去的状态,然后只

有一个结果,活着或者死去.不知道讲到这里有没有把您给绕晕了?套用莎士比亚《哈姆雷特》里的一句话来说就是:“活着还是死去,这是个问题.”(读者若需要深入理解“猫论”的问题可以参阅文献[5])(见图7).



图7 薛定谔的猫:“活着还是死去,这是个问题.”

4 臆想化的物理

物理不仅仅喜欢靠理想化、近似化来建立模型,然后给出一个模糊化的结论,有时候它简直就是充满臆想.自然科学的存在,正是因为人类对未知世界充满好奇心,对未知领域的不断探索和研究,导致了物理学的不断进展.号称囊括万物之理的物理学,更是当仁不让地试图解释人类一切已知和未知的东西.有的时候就难免有点走向臆想的境地了.

比如说我们的宇宙,从何处来,到何处去?物理学告诉我们,宇宙起源于约150亿年前的一次“大爆炸”,至于宇宙将演化到何处去,取决于当今宇宙所含物质的密度大小.令人郁闷的是,我们宇宙究竟存在哪些物质,还是没怎么搞清楚.目前的研究结果是,我们的宇宙由70%的暗能量、22%的暗物质和约4%的重子及轻子组成.在这些成分里,人类究竟能看到多少?不是多数的那个,而是最少的那部分——我们所能观测到的星系只占这个宇宙的4%,实在是少得可怜(见图8).更可怜的还在后头,即使我们能看到这4%的东西,可能真正理解的物质微乎其微.对生活在这个比4%还要小得多的世界里的我们,能够勇敢地站出来试图解释整个宇宙的诞生和演化,好像有点盲人摸象的自嘲感觉.这不是臆想那是什么?

如果这还不算臆想的话,那么关于所谓平行宇宙、超对称粒子之类的设想更是为了解答问题而解

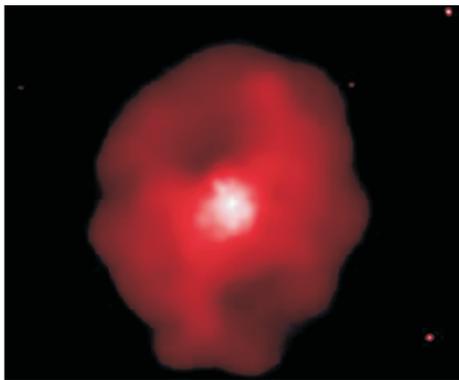


图8 暗物质和暗能量——神秘的面纱充斥在整个宇宙中,我们对自己所在的宇宙确实知之甚少[6]

答问题了.人类不仅臆想自己所在的宇宙如何如何,还试图说明除了自身之外还存在无数平行的宇宙,在另一个时空里面按照那个宇宙的规律演化着.宇宙的大爆炸甚至可能就起源于两个平行宇宙之间的碰撞,因此在大爆炸之前存在一个镜像宇宙,或者我们的宇宙这类大爆炸广泛存在于更高维度的空间上,这些都不稀奇了.同样,为了解释我们的宇宙为何如此这般,理论学家还构想出许多超对称粒子——每一个我们现在所认识的粒子中都有一个超对称粒子和它相对应.遗憾的是,我们无法观察到我们宇宙维度之外的东西,所以关于平行宇宙及超对称粒子的实验验证存在许多难以克服的困难.或许通过探测高能粒子对撞机上释放出的引力子是一种办法,但是到目前为止,费米实验室和CERN实验室都还没有相关的实验证据.如果关于这一切证实都是错误的话,那么这类想法除了是人类美好的优雅臆想外,便一无是处了.

5 赖皮化的物理

物理学不仅臆想大量根本不了解的东西,在它面临许多实在不能解释的问题的时候,有些做法简直就是要赖皮了.

正如前面所述,我们的宇宙起源于一次大爆炸(见图9),这个大爆炸的前身,是一个奇点,又是一个时空无穷小的点,简直让人烦透了!谁要是问你大爆炸附近的宇宙到底啥模样?物理学家一般的回答是:“别问!我不知道.”或者耐心点的家伙会说:“那个时候所有的物理规律都不起作用,对不起,我们的物理学家无法回答!”这不是耍赖是什么?物理不是要解释万事万物的“理”么?怎么这个时候就没“理”可寻了呢?这真的是很无奈,因为我们的物理学,最多只能描述大爆炸后 10^{-34} 秒之后的事情,

之前发生了啥,不知道!这种不知道在许多情况下还能看到,比如若把尺度变得无限小,小到比普朗克长度还小的话,物理规律同样失效了.如果时空尺度无限放大,放大到超出我们宇宙,对于宇宙之外的宇宙,我们同样无法知道发生过或者会发生什么.这个时候,只能回答:不知道,真不知道,就是不知道.

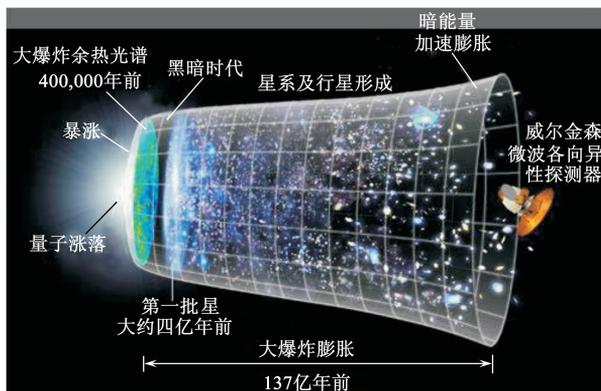


图9 宇宙起源于一次“大爆炸”.此为从大爆炸到现在的演化示意图,有兴趣的读者可以访问:<http://map.gsfc.nasa.gov/>,以了解相关信息

最绝的赖皮要数“人择原理”.在我们的宇宙演化进程中许多匪夷所思的事情,比如强相互作用、电弱相互作用和引力相互作用的及时分离,中子和质子个数比偏离一比一,核聚变的及时发生等等.在大爆炸后的初期,还有一次所谓的“暴涨”,就是宇宙在极短的时间内膨胀了许多.我们宇宙为什么要如此演化?不知道,我们只知道只有在这种演化情况下,才可能有我们的银河、太阳系、地球等等.如果加上地球自身的演化,那么人类的诞生简直就是奇迹中的奇迹.于是一个超级赖皮的理论横空出世:宇宙大爆炸理论是我们人类创造出来的,如果都不能产生人类的话,就不可能有这样的大爆炸,更没有这样的理论了.换句话说就是:“因为这样的宇宙才允许类似人类的智慧物种存在,才有可能会有生物意识到有宇宙这个概念.包含智慧的信息处理过程一定会在宇宙中出现,而且,它一旦出现就不会灭亡.”这难道不是在赖皮么?(此段内容可以参阅文献[6, 7])

这就是物理学家的痛苦,物理学真的不是万能的,它在某种特定的条件下,确实无能为力,甚至不得不陷入一种哲学的思辩当中去.但物理学演变成了哲学,或许就失去了它“讲理”的意义所在.

6 无理的物理

说了这么多例子后,恐怕您已经对严谨的物理

开始产生怀疑了.的确,物理世界中的“无理”成分要远远比上文所述的内容多得多.物理,看起来就是一个“不讲理”的科学.在很多情况下,物理学必须引入一些前提、公理、假设、模型等才能客观地描述世界,物理规律也是具有一定的适用范围的.不过且慢,让我们逆向思维看看,若所谓真理便是在没有任何前提下一丝不苟地严格描述现实世界的话,那就太难为物理学了,这个世界也就变得不可理解了.当然这并不是我们希望看到的,爱因斯坦曾感叹道:“宇宙最不可理解之处,就在于它是可理解的.”正如《道德经》所云:“大方无隅,大器晚成.大音希声,大象无形.”人类对万物之理的探究是永无止境的,或许真理的最高境界便是无理罢!(见图10).

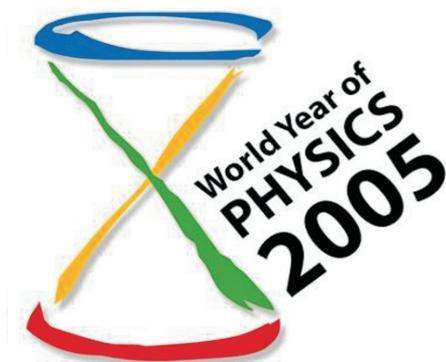


图10 2005世界物理年徽标:既是沙漏——表示物理学的不断前进的历史,也是光锥——爱因斯坦狭义相对论里代表过去和未来的时空观,现在的我们应该属于中间的交点.见:<http://www.physics2005.org/>

补 缀

初写《“无理”的物理》只是出自于一个简单的想法,就是如何把现代物理的一些前沿进展用简单生动一些的语言串起来做一个大杂烩式的科普.后看 B. Green 的《The elegant universe》受到启发:我们描述这个世界的努力是无止境的,但是描述这个世界的方法却存在许多难以用常理理解的地方.再思考下去就会发现,任何物理定律都有一定的前提、假设、公理、模型等等,这些东西的存在使得物理定律有各自的适用范围,换言之之,没有任何一个不需要依赖于任何前提假设就可以严格描述自然界一切东西的物理定律.需要说明的是,这和“物理学的终结”是不一样的,固然,若等四种相互作用的大统一最终完成,你可以说我们得到了一个所谓的“万物之理”(Theory of everything),物理学的大厦仿佛就此大功告成.当然,历史的教训告诉我们这是不对的,物理学不会有终结,也不应该被终结.人类探索未知的步伐永不停滞,人类也永远不会全部认知未知世界,甚至认识越多越丰富就会发现不懂的东西更多更可怕.暗物质和暗能量就是一个例子,原以为我们对这个宇宙过去和未来了解得很清楚了,但是从微波背景辐射的各向异性中可以推断出我们的宇宙

96%以上的物质为我们所不知。既然如此,那我们就是在用我们所知的一小部分世界去理解更广袤的未知世界,那这样得出的认识有几成是接近事实的,确实也值得商榷。鉴于此,我便尝试用“无理”这个形容词来串联起现代物理进展的点点滴滴。

至于“无理”的含义,指的是物理学本身并非如你想象中的那么严谨,对事实忠贞不二,而为了真正描述这个客观世界,任何一套成功的理论或者可以理解的理论都需要一定的前提、假设之类的东西,还有一些理想化、模型化、概率化的思想。公众一般都认为,物理学作为理解这个世界的重要工具,理所当然应该能完全严格描述这个世界,所以,也理所当然应该是异常严谨客观的。可是事实并非想象那么简单,当我们面临一个实际问题的时候,倘若欲把所有方面都考虑到,恐怕就难以得到所需要的结果了。说物理“模糊化”、“臆想化”、“赖皮化”,指的是用日常的“讲理”思维去理解许多物理问题处理的具体过程,有许多不可思议的困惑。物理学并非一定能给出确定论的结果,物理学又喜欢试图描述所有已知甚至未知的事物,以致于到最后超出了物理学/物理学家的能力。这正是“无理”的物理不同于常理的地方!

作者声明 文中部分未注明出处的图片均来自于网络。

致谢 感谢中国科学院物理研究所曹则贤研究员、刘伍明研究员对笔者的鼓励和厚爱。承蒙曹则贤研究员阅读了全文,并提出了一些修改意见。

参考文献

[1] 安东尼·黑,帕特里克·沃尔特斯 著,雷奕安 译.新量子世界.长沙:湖南科技出版社,2005[Hey T, Walters P, Translated by Lei Y A. The New Quantum Universe. Changsha: Hunan Sci. Technol. Press,2005(in Chinese)]

[2] Green B 著,李泳 译.宇宙的琴弦.长沙:湖南科技出版社,2007 [Green B. Translated by Li Y. The Elegant Universe. Changsha: Hunan Sci. Technol. Press,2007(in Chinese)]

[3] 李森 著.超弦史话.北京:北京大学出版社,2005[Li M. History of Superstring. Beijing: Peking University Press. 2005 (in Chinese)]

[4] 伊利亚·普利高津 著,湛敏 译.确定性的终结——时间、混沌与新自然法则.上海:上海科技教育出版社,1998[Prigogine I. Translated by Zhan M. End of Certainty: Time, Chaos and the New Law of Nature. Shanghai: Shanghai Sci. Technol. Edu. Publishing House, 1998(in Chinese)]

[5] John R. Gribbin 著,张广才等译.寻找薛定谔的猫——量子物理和真实性.海口:海南出版社,2001[Gribbin J R. Translated by Zhang G C *et al.* In Search of Schrodinger's Cat: The Starting—World of Quantum physics Explained. Haikou: Hainan Press, 2001(in Chinese)]

[6] Martin Rees ,Steven Hawking 著,李泳 译.果壳里的60年.长沙:湖南科技出版社,2005[Rees M, Hawking S *et al.* Translated by Li Y. Sixty Years in a Nutshell. Changsha: Hunan Sci. Technol. Press, 2005(in Chinese)]

[7] 梁灿彬著.微分几何入门与广义相对论(第一版).北京:北京师范大学出版社,2001[Liang C B. Introduction to Differential Geometry and General Relativity. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001(in Chinese)]



北京欧普特科技有限公司

光学元件库—欧普特科技

欢迎访问:

www.goldway.com.cn

北京欧普特科技有限公司严格参照国际通常规格及技术指标,备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考)供国内各大专院校,科研机构,试验室随时选用,我公司同时可为您的应用提供技术咨询. 我公司可以提供美国及欧洲产的优质红外光学材料,如硒化锌,硫化锌,多光谱硫化锌等.



- 光学透镜:平凸、双凸、平凹、双凹、消色差胶合透镜等。
- 光学棱镜:各种规格直角棱镜,及其他常用棱镜。
- 光学反射镜:各种尺寸规格的镀铝,镀膜,镀金,及介质反射镜.直径5mm—200mm.
- 光学窗口:各种尺寸规格,材料的光学平面窗口,平晶.直径5mm—200mm.
- 紫外石英光纤:进口紫外石英光纤,SMA接口光纤探头,紫外石英聚焦探头。
- 国产滤光片:规格为直径5mm—200mm.(紫外,可见,红外)及窄带干涉滤片。
- 进口光学滤光片:长波通滤光片/短波通滤光片;波长:400—1000nm;窄带干涉滤光片

地址:北京市海淀区知春路49号希格玛大厦B座#306室 电话:010-88096218/88096217 传真:010-88096216

网址: www.goldway.com.cn E-mail: kevinchen@goldway.com.cn, shinan@goldway.com.cn, zengan@goldway.com.cn

联系人:陈镛先生,施楠小姐,曾安小姐,郑海龙先生