

超 对 称 理 论 20 年

江 向 东

(中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

介绍了超对称理论的一些基本概念和性质,例如:超对称代数、超多重态、韦斯-朱弥诺模型、超场方法和紫外性质等。此外,还介绍了一些超对称模型唯象学的结果,通过这些介绍,粗略地展示了20年来超对称理论的一些有趣的内容和进展。

迄今观察到的自然力,若按照它们在低能时所测得的强度分类,可分成四类,即强力、电磁力、弱力和引力。若用无量纲参数表征它们的强度,则其强度依次为 10 , 10^{-2} , 10^{-3} 和 10^{-40} 。已经观察到的基本粒子,按照它们的统计性质可分成两类:一类是带半整数单位自旋的服从费米-狄拉克统计的粒子,称为费米子;另一类是带整数单位自旋的服从玻色-爱因斯坦统计的粒子,故称玻色子。描述基本粒子及其相互作用的理论很多,但得到众多实验支持的,是根据可重整规范理论的思想方法来描述强、电磁和弱相互作用的理论。获得显著成功的是电弱统一理论,即格莱肖-温伯格-萨拉姆模型。将描述夸克之间的作用力的量子色动力学(QCD)模型与电弱统一模型组合起来,便是著名的描述强、电磁和弱三种相互作用的标准模型。尽管标准模型多年来在粒子物理学上的地位显著,却仍有不少物理学家认为它带有根本性的缺陷。例如,该模型含有不能由理论本身来确定的20多个任意参数。企图包含和统一标准模型的理论;即把三种相互作用当作一种相互作用来描述的大统一理论,也不能有效地减少这些参数。而在这些大统一理论中,又出现额外的理论问题。因为这里存在两个差别悬殊的质量标度:传递弱作用的中间玻色子的质量标度为 100 GeV 的量级;弱电和强相互作用变得强度相当的大统一质量标度为 10^{15} GeV 量级。这两种质量标度之间的巨大差别,在理论上很难理解。此外,在量子场论中,由于弱电统

一标度对于辐射修正是不稳定的,因而使重整化技巧问题变得突出了。这就是所谓规范等级问题。另外,无论是标准模型还是大统一模型,都不能解释基本粒子谱,即对目前已知的三代夸克和轻子的存在缺乏理性认识。此外,还有一个引力的统一问题。虽然大统一理论以宏大的胸襟企图统一所有的相互作用,却仍然忽略了引力。虽说引力在目前的实验能区内对基本粒子的作用效应完全可以忽略,但在普朗克能量标度(10^{19} GeV)附近,它必将变得不容忽略。一种完美的理论应能自洽地描述四种相互作用。

另一个很少提及的理论疑点是爱因斯坦的宇宙常数。从观测结果看,它的值至少应该非常小,很可能为零。可是,在量子场论中却存在着一个高度发散的诱导宇宙常数。而且,它在自发对称性破缺的规范理论中,甚至连有限部分也大得难以接受,完全不符合目前的宇宙图像。虽然有人从非零的宇宙常数着手,通过自发破缺和辐射修正来使它严格相消,但所用的对有关参数作“精细调节”的方法,是理论家们希望避免的。真正有预言能力的理论,应能解释宇宙常数的微小性。

一方面是诸多理论问题的存在,另一方面是人们对规范对称性和规范群性质的日益深入的了解和广泛的应用。这两方面的因素,促使一些物理学家,不以一时或局部的实验现象为依据,而以相互作用的规范不变性或更广义的不变性为指导原理,进行了一系列超越标准模

型的尝试,以期建立一个更为和谐的统一图象。超对称理论便是这样的尝试之一,它给人们带来可能解决一些理论问题的希望。

一、超对称理论发展简史

超对称性,是一种把具有不同自旋和统计性质的粒子联系起来对称性,或者说,是让费米子和玻色子互相变换的对称性。而且,它是把时空对称性和内部对称性结合在一起的一种新型对称性。

1971年,超对称性一词首次出现在戈尔福德和林克曼的工作中^[1]。在非线性实现的超对称变换下不变的理论,是由阿库洛夫和沃尔柯夫于次年提出的^[2]。在另一条独立发展的路线上,超对称性开始是在弦理论的二维时空中引进的。从1971年起,内瓦和施瓦茨以及其他几组人就在二维时空的场论里研究当时所谓的“超规范变换”,这些变换能将标量场变成旋量场,并且将玻色子场变成费米子场^[3]。能否在四维时空中定义这种超规范变换?韦斯和朱弥诺提出并解决了这个问题。1974年,当他们将这个二维对称性推广到四维,并用来构造韦斯-朱弥诺模型时^[4],超对称性便变得广为人知。

韦斯-朱弥诺模型建立后不久,萨拉姆和斯特迪推广场的概念,得到了研究超对称性的一种有力的数学形式,即超场表示方法^[5]。同时,韦斯、朱弥诺和弗拉拉等人研究了推广定域规范变换的普遍理论,并建立了一系列超对称规范场模型^[6]。当定域超对称理论引进自旋为 $3/2$ 的场时,为了使理论在高自旋部分具有超对称性,还必须引进一个无质量的自旋为 2 的场,这正好可看作是引力场。因此,定域超对称理论就是超引力理论,它顺理成章地把引力与其他三种自然力“统一”起来了。这个发现,是弗里德曼等三人以及德泽和朱弥诺这两个组各自独立获得的^[7]。

超对称形式理论的发展,激励了不少人试图将它纳入粒子物理的现实模型。费伊特和弗拉拉等人研究了超对称性的自发破缺,并在构

造现实模型方面作过很多尝试^[8]。弗拉拉等人在非阿贝尔规范场理论中导出的联系玻色子和费米子的质量公式,对建立现实模型有着十分重要的作用。戴莫帕勒斯和乔治等人,采用对称性软破缺的思想,相继建立了一些自洽的唯象学模型,例如大统一理论中的 $SU(5)$ 模型等^[9]。萨拉姆和斯特迪^[6],还有弗拉拉和皮古特^[10],最先制定了超费曼规则。此规则经过格里沙鲁等人的改善后^[10],在计算超对称费曼图时变得更加灵便。此外,在萨拉姆等人的规范场模型中^[6],通过引进两种规范场,利用规范耦合常数间的关系,可以解决在简单的超对称模型中,费米子数守恒与宇称守恒二者不能共存的矛盾。在理论的重整化问题上,曼德斯坦首先确认了 $N=4$ 的超对称杨-密尔斯理论在微扰论的所有级都有好的行为^[11]。紧接着,弗拉拉等人对一些超对称模型做了大量研究,也发现它们具有比相应的普通场论更好的重整化性质。后来,帕克斯、韦斯特和琼斯等人,通过对量子效应的严格计算和对理论中各种反常类型的分析,更具体地揭示了这类理论具有良好的紫外性质,并找到一大类没有任何发散的有数量子场论^[11]。

从1974年到1984年前后,可谓超对称理论的鼎盛时期。尔后,代之而起的是超弦理论的研究高潮。这个高潮持续了大约四年之久。1990年,西欧中心新型正负电子对撞机上的测量资料,支持了超对称 $SU(5)$ 模型中的跑动耦合常数在大统一点的行为^[12]。于是,超对称理论重新受到较多的注意。

二、超对称代数

任何一种对称性都联系着一个连续或分立的变换群。而连续变换群的生成元须服从李代数。例如同位旋对称性,是将质子和中子看作是同位旋空间的一个二重态,在这个内部空间中的任意旋转,都将保持核力不变。换言之,生成这些旋转变换的同位旋荷,将这个二重态中的两种状态互相变换,使系统的作用量保持不

变。同位旋荷是李群 $SU(2)$ 的生成元,所满足的对易关系便是 $SU(2)$ 李代数。普通李群的所有生成元都属于玻色荷(或称偶荷)。这些荷的对易关系便是李代数。

超对称性是将玻色子和费米子看作某个特别空间的一个超多重态,而生成超对称变换的超对称荷应将超多重态中的各个状态互相变换而保持系统的作用量不变。

用普通李群不可能把玻色子和费米子联系起来。此外,超对称性要把时空对称性和内部对称性二者结合起来,想用李群来实现这点会受到“行不通”(no-go)定理的限制。

早在 60 年代,随着对 $SU(2)$ 和更高秩群内部对称性的认识的提高,人们企图寻求一种对称性,它能以非平凡方式把时空彭加莱(Poincaré)群与内部对称性群结合起来。几经努力后得知,该想法在李群的结构关系上行不通。科尔曼和曼多拉在很普遍的假定下揭示了一个“行不通”定理^[4]:任何一个含有彭加莱群和内部对称性群的李群,只能是这两个群的直积,这实质上是说,若采用以非平凡方式包容这两个群的李群,则会导致所有过程的 S 矩阵都为零。

在著名的文献[1]中,戈尔福德和林克曼提出,假如我们推广李群的概念,就一定能找到不受行不通定理制约的对称性。在寻求超对称代数的过程中,极其重要的一步便是推广李代数的概念,引进满足反对易关系的生成元。这种新型生成元称为费米荷(或奇荷)。扩充后的代数,包含这些奇荷之间的反对易关系,以及偶荷之间、奇荷与偶荷之间的对易关系。只要进一步假定奇荷在时空变换群——洛伦兹群下具有旋量性质,这个代数的形式就被完全确定。这种代数便是推广的李代数,或称超李代数。

引进的这种超对称荷对场量的作用是将玻色子变成费米子,反之亦然。联系这种变换的具有反对易性质的参数,若与时空无关,这种理论便被称为硬性(或整体)超对称理论;若与时空有关,该理论就叫定域(或局部)超对称理论,也就是超引力理论。通常,按超对称旋量荷的个数 N 给理论分类。最简单的超对称理论只引

进一个旋量荷,称作 $N=1$ 的超对称理论。韦斯-朱弥诺模型便是 $N=1$ 的理论。显然, $N=1$ 理论的代数也是最简单的超李代数。

上述超对称代数,是从彭加莱群和内部对称性群以非平凡方式共存的观点出发而得到的。事后才知,至少还有两种方法也能得到这种代数。一种比较直观的方法是:要求理论具有一种费米-玻色对称性,即在一个多重态里,费米子和玻色子的自由度数目必须相同。而后再找出多重态中标量和旋量的能服从封闭代数的一套变换。另一种方法,是在普通场论里,增加这样一个要求,即让理论具有改善的紫外行为。这一要求也正是超对称理论的一大特点。

三、理论的基本结构

1. 超多重态

要想知道超对称理论的粒子内容,就得看它的超多重态。一个超多重态是超对称性群的一个表示。建立模型的第一件事,便是寻求超对称群的所有不可约表示,通常采用推广的维格纳方法。

最简单的超多重态是 $N=1$ 的理论中的两种。一是韦斯-朱弥诺模型中的标量多重态,含一个自旋为 $1/2$ 的态和两个自旋为 0 的态;二是杨-密尔斯理论中的矢量多重态,含自旋为 $1/2$ 的态和自旋为 1 的态各一个。从可重整性、么正性和螺旋度的考虑得知, $N=4$ 超对称理论是最大的广义杨-密尔斯理论; $N=8$ 的理论是最广义的超引力理论。在求得超多重态及其组合规则后,就可以构造在超对称变换下不变的作用量。

2. 韦斯-朱弥诺模型

我们从费米-玻色对称性的角度来看韦斯-朱弥诺模型,从而引进辅助场的概念。

在这个最简单的超对称模型中,先假定它只有一个马爵拉那旋量费米子,且处于质壳态上(即满足运动方程的自由态,反之称为离壳态)。这个费米子有两个螺旋态,或说两个自由度。应用费米子的自由度数目与玻色子的相等

这一规则,这里应该增加两个玻色自由度。按该模型的取法,是增加两个零自旋粒子。

基于线性、量纲、洛伦兹不变性和手征性的考虑,可求得这些场的一套变换规律。这些场及其变换形成了超对称代数的一个表示。此时的作用量在这种在壳的变换下是不变的,这在代数学上叫做在壳的作用量。然而,当这些场不受它们的场方程支配时,标量场仍有两个自由度,而旋量场变成具有四个自由度,于是不满足费米子和玻色子数目相等规则,也不能实现超对称代数。因此,一旦从在壳扩大到不在壳,超对称表示则必须作根本的改变。

显然,必须增加两个玻色场,用来恢复费米子-玻色子平衡。这些附加场,还得放进作用量里,以便导致离壳态。而且,现在得重新修改变换规则,并检验这些新变换是否真能实现超对称代数。完成这些程序之后得到的作用量,称为离壳作用量。韦斯-朱弥诺模型的这种结构,是通常自由超对称理论的典型代表。

上述附加场称为辅助场。寻求超对称表示的整个问题可概括为寻求这种辅助场。虽然费米-玻色计数规则对辅助场的数目有所启示,但它不能确切告诉你辅助场是什么以及变换规则又如何。迄今,已知的辅助场只有这些:差不多全部的 $N=1$ 和 $N=2$ 的理论,很少几个 $N=4$ 的理论,对更高的 N 理论则一无所知。

3. 超场

在普通场论中,对不同自旋粒子的场是分别处理的,而超对称理论却要研究不同自旋粒子之间的关系。因此,推广场的概念,使之能统一描述带不同自旋的粒子,就显得很必要。

先引进超空间的概念。这是一个在普通时空上增加些费米子性坐标的广义空间。为了让费米子性空间与普通空间对称,于是引进四个费米子性坐标来与四维时空相匹配。这些费米子性坐标被当作旋量来描述。超空间的点是由时空坐标和费米子性坐标来确定。概括地讲,超空间是一个由时空坐标和自旋变量参数化的八维流形。

将普通场推广为超空间的这两种坐标的函数,推广后的场称为超场。由于自旋变量的反对易性质,若把超场按自旋变量作幂次展开,便能得到该超场所含的分量场。这等于知道了一个超多重态中的各个组分态。

在普通场论中,为保持定域规范变换的不变性,需要引进规范场。在超对称理论中,随着场概念的推广,定域规范变换也应作相应的推广,此时需要引进的是旋量规范超场。

超场方法的主要应用是在量子效应的计算中。利用超场方法,能够计算那些保持超对称性显示的量子行为。这一优点,类似于具有洛伦兹协变形式的普通理论。

四、紫外性质

采用超场描述的超费曼规则建立后^[10],可以计算任意超费曼图的发散度。于是,人们发现了超对称理论最壮观的重整化性质和一大类独有限性的场论^[11]。

开始,注意力全放在最广义的 $N=4$ 的硬性超对称杨-密尔斯理论上。人们一级一级地计算了该理论 1—3 圈电荷重整化 β 函数,表明该函数在这几圈都为零。不久,通过对理论中反常结构的分析,普遍性地证实了该函数到所有圈都为零,也就是说, $N=4$ 硬性超对称杨-密尔斯理论到所有级都是有限的。

接着,人们进而讨论 $N=2$ 硬性理论的有限性。在这类理论中,只有一个重整化耦合常数,即规范耦合常数。人们求得一圈 β 函数时发现,只要调整理论中的群表示的内容,该函数便为零。紧接着,又证实了任意 $N=2$ 硬性理论,其单圈有限性能保证所有圈的有限性。

利用 $N=2$ 有限理论很难构成现实模型。这使得人们进而研究 $N=1$ 理论的紫外性质。帕克斯等人求得了 $N=1$ 理论单圈有限的条件。他们通过严格的超图计算和对手征反常的分析,得出了一个令人惊喜的结论,即对 $N=1$ 的理论,单圈有限性条件也能保证两圈时的有限性。伴随着这一发现的进展,是一批双圈有

限的 $N = 1$ 现实模型的建立。

$N = 1$ 理论的两圈有限性明确后,自然会引出下一个问题:该理论的高圈行为怎么样?韦斯特进行了三圈图的复杂计算,结果表明,对一圈有限条件加以适当限制,就能保持三圈有限性。在这些工作的基础上,笔者和周咸建给出了 $N = 1$ 的硬性超对称理论能否保持所有圈有限性的一个判据^[11]。

五、超对称模型的唯一性

1. 质量公式和软破缺

超对称性要起到解释夸克和轻子世界的作用,就必须是一个破缺的对称性,因为从未观察到带有相同质量的费米子与玻色子。将超对称性应用到现实世界的主要问题之一,是寻求破坏超对称性的方法。1979年,弗拉拉等人导出的带有非阿贝尔规范场的理论的联系玻色子和费米子的质量公式,对建立现实模型有重要的指导作用。该公式说,无论超对称性经由哪种形式破缺,所有玻色子的质量都不能重于费米子的质量。对建立现实模型来讲,这个公式对超对称性自发破缺有严格的限制。

因此,人们讨论了超对称性的软破缺,已经发现的满足重整化要求的三类软破缺项,足以构造粒子物理的现实模型。而且,对软项的一些限制,扼制了模型中任意参数的增生。在硬性超对称性的现实模型中,有的破缺标度是 10^{10}GeV ,从而软化了规范等级问题。

2. 超对称标准模型

经过超对称性扩充的标准模型,显著的特点是模型中增加了全新的超对称粒子。扩充后,所有已知的费米子和玻色子都必然伴有各自的超对称伙伴(或称孪生粒子)。例如,普通夸克和轻子的标量孪生粒子为超夸克和超轻子。弱中间玻色子 W 和 Z 的,以及光子和胶子的孪生粒子,分别叫作超 W 、超 Z 、超光子和超胶子,都是自旋为 $1/2$ 的费米子。此外,还有与希格斯粒子对应的超希格斯粒子。即使不计扩充时额外引进的物质场和希格斯场,粒子总数

也翻了一番。

这些新的“超粒子”,至今还不知道存在与否。假如超对称性是正确的,那么,一个超粒子应有着与它相应的粒子同样的质量。然而,实际情况却并非如此。有很多工作讨论了唯象学对各种超粒子质量的限制^[12]。例如,对超光子与物质相互作用截面的计算,表明它与中微子类似,是最轻的粒子。对正负电子的一些湮灭和散射过程的讨论,给出超电子(或标量电子)和超 μ 子的质量下限为 $18\text{--}22\text{ GeV}$ 。对超中微子的质量,不同的衰变模式给出的数值相差很大,有的是 keV 量级,有的是 GeV 量级。一些特定模式预言:超夸克的质量范围是 $3.1\text{--}17.8\text{ GeV}$;超胶子的质量下限为 $15\text{--}25\text{ GeV}$,上限是 45 GeV 。因此,超对称性必须是一个破缺的对称性,破缺标度至少为 $15\text{--}20\text{ GeV}$ 。

3. 超对称 SU(5) 模型

$\text{SU}(5)$ 模型,是统一描述强、弱和电磁相互作用的理论模型之一。它是把三代中的每一代夸克和轻子的 15 个手征态,看成是具有 $\text{SU}(5)$ 对称性的一个五重态和一个十重态,从而把每一代中的夸克和轻子联系起来。这种联系产生的结果之一是预言质子衰变。它预言质子的寿命为 10^{31} 年,而实验结果基本上否认了这点。此外,该模型在树图一级的一些参数,要靠精细调节使其到 10^{-26} 这种精度,才能使大统一质量与 W 玻色子的质量比为 10^{12} 。而且,由于标量玻色子有二次发散的麻烦,使得树级的精细调节到了更高级后又被搅乱。作超对称性扩充后的 $\text{SU}(5)$ 模型,在树级精细调节好的这些参数,不再因辐射修正而打乱等级,也就是说,能得到不受高阶影响的稳定的弱作用破缺标度。这就部分地解决了有关规范等级的问题。此外,超对称性的引进,将大统一能量标度推移到 10^{16} GeV ,也使质子寿命延长至 10^{33} 年,从而与目前实验不矛盾。当然,在超对称 $\text{SU}(5)$ 模型中,也出现粒子和超粒子的双重谱,还出现其他新奇粒子。这些都是为软化等级问题而付出的代价。

六、超引力和超弦简说

将硬性超对称理论推广到定域规范变换,就自然地变成了超引力理论。一种对称性不仅容许引力的存在,还自然地需要引力,这是超对称性与引力的一种特别的缘分。超引力理论除引力子外,含有一种自旋为 $3/2$ 的场,其量子就是引力子的超对称伙伴,称作超引力子。尽管这对孪生子都未曾被实验发现,然而,正象引力子的存在,是将量子论应用到引力场的必然结果一样,超引力子的存在,则是将超对称性推广到定域规范变换的必然结果。在已经研究的超引力理论的所有形式中,最大的是 $N = 8$ 超引力。当 $N > 8$ 时,理论中必将出现自旋大于 2 的粒子,使理论本身不自洽。在超引力理论中,通过精细调节,不仅能使宇宙常数的量值变得任意小或为零,还能得到一些普通引力理论所得不到的其他结果,例如超引力子与其他粒子的质量关系等。不过,一些用超引力理论来研究唯象学的尝试,迄今无一成功。此外,超引力理论的发散困难虽然得到极大的改善,但并没有根本解决。

弦的理论概念出现于 60 年代。70 年代,施瓦茨等人把超对称性引进弦理论,谓之“超弦”。在该理论中,粒子是由一个抽象的嵌入到十维空间的二维弦来表征,这种十维空间能被“紧致”成我们所知的四维时空。其紧致过程类似于把一张二维的纸卷成一根线状的管或揉成一个点状的球。该理论所用的是拓扑学和量子场论数学工具相结合的方法。多年来,引力量子化问题一直是统一理论的障碍,超弦理论的开拓者之一威滕说它是“物理学中最大的难题”。这一难题,被超弦理论解决了。虽然有很多人抱怨超弦太数学化,离现实世界太远,但也有不少人觉得,对于最终构造一个包含引力在内的统一的自然图象,超弦理论那丰富的内涵可能不容忽视。

尽管前面的陈述粗略,但仍能看出,当初对

超对称寄予诸多希望,但很少如愿以偿。例如粒子谱,反而比以前更混乱。超对称性破缺的质量标度究竟多大?其回答却因模型而异很不确定。假如这个标度不太高,我们就只能等到实验上发现超粒子后,才能断言超对称性的正确性。我们也能看出,超对称理论确实能软化规范等级问题,能自然地描述引力。尤其是一大类有限场论的发现,令人不由这样想,具有如此独特性质的理论,想必蕴藏着自然的真谛。朱弥诺评述道:“超对称性的诱人之处,在其优美和雅致。与其说它是翔实的理论,不如说是模型的轮廓。”^[14]

“流连戏蝶时时舞,自在娇莺恰恰啼”。尽管超对称理论在进展中已暴露出很多问题,却仍有不少人寄希望于它的未来研究,尤其是对 $N = 4$ 超对称杨-密尔斯理论, $N = 8$ 超引力理论和超弦理论的研究。因为,科学的意义在于探索。

承蒙周咸建、姜焕清、顾以藩、黄涛四位教授和路学辛同志讨论的启迪和鼓舞,在此谨致谢忱。本文恐难包括超对称理论的内涵,有兴趣者,请参阅有关专著,例如文献[14]。

- [1] Y. Golfand and E. Likhtman, *JEP T Lett.*, **13**(1971), 323.
- [2] D. Volkov and V. Akulov, *Pis ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **16**(1972), 621; *Phys. Lett.*, **B46**(1973), 109.
- [3] A. Neveu and J. H. Schwarz, *Nucl. Phys.*, **B31**(1971), 86; P. Ramond, *Phys. Rev. D*, **3**(1971), 2415; Y. Aharonov et al., *Phys. Lett.*, **B35**(1971), 512; J. -L. Gervais and B. Sakita, *Nucl. Phys.*, **B34**(1971), 633.
- [4] J. Wess and B. Zumino, *Nucl. Phys.*, **B70**(1974), 39.
- [5] A. Salam and J. Strathdee, *Nucl. Phys.*, **B76**(1974), 477; **B86**(1975), 142; S. Ferrara and B. Zumino, *Phys. Lett.*, **B51**(1974), 239.
- [6] J. Wess and B. Zumino, *Nucl. Phys.*, **B78**(1974), 1; S. Ferrara and B. Zumino, *Nucl. Phys.*, **B79**(1974), 413; A. Salam and J. Strathdee, *Phys. Rev. D*, **11**(1975), 1521; *Nucl. Phys.*, **B93**(1975), 23.
- [7] D. Freedman et al., *Phys. Rev. D* **13**(1976), 3214; S. Deser and B. Zumino, *Phys. Lett.*, **B62**(1976), 335.
- [8] P. Fayet, *Phys. Lett.*, **B69**(1977), 489; **B84**(1979), 416; S. Ferrara et al., *Phys. Rev. D*, **20**(1979), 403.
- [9] S. Dimopoulos and H. Georgi, *Nucl. Phys.*, **B193**

微波电磁兼容学研究的若干情况和问题

黄志洵

(北京广播学院微波工程系,北京 100024)

在林为干教授的启发、引导下,本文提出了“微波兼容性”(Microwave Compatibility)概念,并从各个角度阐述了这一学科分支的若干研究情况和问题。指出,军事应用和作战需要是开展研究的重要推动力,但在其他领域亦有重要的意义。

电磁兼容(EMC)有关标准文件中规定的有关设备是很广泛的,频率范围从 20Hz 到 40 GHz。尽管一门学科不能根据频段而作机械的分割,我们仍然可以对“微波电磁兼容”(EMC on Microwave)一词的内涵作出分析性阐述和规定。这种努力往往是某个学科分支的成长的基础。通过它可以了解国内外高技术发展的动态和方向。

林为干教授曾指出^[1]:“微波所含的内容非常丰富,可应用于雷达、导航、通信、控制和指挥等广泛领域中,从而出现了微波兼容问题,亦即电磁兼容问题。就是说在无孔不入的微波存在的空间,各种电磁设备如何生存和工作下去的问题,也就是在电磁环境中各种系统和设备的兼容问题。恶劣的环境在战争和军事对抗中是对方制造的,我们如何对付呢?这就产生了电子对抗这门新的学问。”他又说^[2]:“在最近的海湾战争中的电子战,实质上就是频谱战——谁掌握更宽的频谱,谁就占上风”。

林先生的上述言论,简单而深刻!当然,微波电磁兼容学并非只为军事和战争服务,而是有更广泛的意义。但不可否认,军事和战争用途常常集中而突出地表明一种技术可以达到何种程度,而其中反映出来的国际水平又是怎样,

因而,非常值得我们注意。

一、现代战争中的微波兼容性问题

1990年,美国“Microwave News”(Vol. 9, No. 3)杂志谈到美国空军攻击利比亚时,两架战机莫名其妙地自行坠海沉没。专家们怀疑,是否自己的微波干扰了自己的仪器设备?用 EMC 术语讲,这是个“intra-system EMC”(系统内电磁兼容性)问题,这个“系统”是飞机,也可把它看成是个“内部抗扰度”问题,即对来自内部的干扰的抵抗力如何?我们在日常生活中也会遇到这样的事:看甲频道的电视节目时,在背景上发现有乙频道节目的模糊印迹,这就是电视接收机这个系统内的频道间抗扰度太差。所以林为干先生感叹说:“微波兼容性问题无疑是电磁波技术今后应极力重视研究的问题。”

对于“系统”是一条军舰的情况,通信、导航、水声、雷达、识别、侦察等仪器设备是很多的。仅雷达就有远程预警、警戒、炮瞄、导航、导弹攻击等多种,导航方面有导航用接收机、卫星导航系统等。这些设备拥挤在狭小空间中,天线林立,电磁环境(EME)恶劣。由于互相干扰,在陆上合格的设备,安装在舰船上有可能失常;此外,还有可能发生导弹、鱼雷的误动作,以

(1981), 150; N. Sakai, *Z. Physik C*, 11(1981), 153.
[10] S. Ferrara and O. Piguet, *Nucl. Phys.*, **B93**(1975), 261; M. Grisaru et al., *Nucl. Phys.*, **B159**(1979), 429.
[11] S. Mandelstam, *Nucl. Phys.*, **B213**(1983), 149; A. Parks and P. West, *Phys. Lett.*, **B122**(1983), 365; **B138**(1984), 99; P. West, *Phys. Lett.*, **B136**(1984), 371; L. Mezincescu and D. R. Jones, *Phys. Lett.*, **B136**(1984), 242; **B138**(1984), 293; X. D. Jiang and X. J. Zhou, *Phys. Lett.*, **B197**(1987), 156; *Phys.*

Rev. D, **42**(1990), 2109.
[12] J. Ellis et al., *Phys. Lett.*, **B249**(1990), 441; U. Amaldi, W. de Boer and H. Furstenaue, *Phys. Lett.*, **B260**(1990), 447.
[13] S. Coleman and J. Mandula, *Phys. Rev. D*, **159**(1967), 1251.
[14] B. Zumino, *CERN Courier*, Jan. (1983), 13; P. West, *Introduction to Supersymmetry and Supergravity*, World Scientific, (1986); R. Mohapatra, *Unification and Supersymmetry*, Uni. of Maryland, (1986).