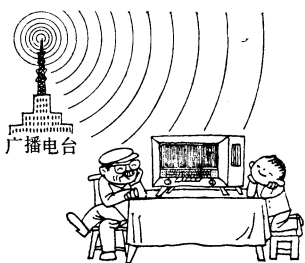
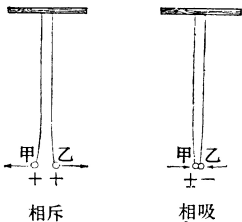


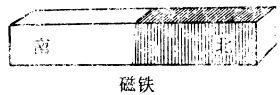
场



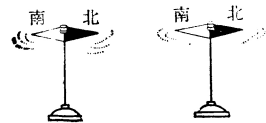
(1)



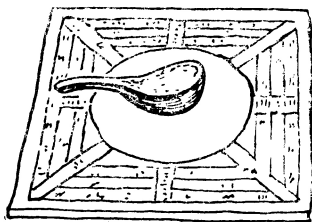
(2)



(3)



(4)



(5)

黄厚昌

在日常生活中，人们大量接触到的是有一定形状和大小的物体，这是物质存在的一种形态。这里介绍物质存在的另一种形态——场。它与实物（有一定形状和大小的物体）不一样，既看不见又摸不着，但它也是人们在日常生活中接触的物质形态。举个例子说，人们打开收音机，调到所需要的波长，就可以听到所想听的节目。收音机为什么会响呀？有的小朋友甚至会打开收音机的后盖，看看里面是否有人在讲话、唱歌？其实，这就是广播电台将广播者的声音转化为电磁波向空中发射，电磁波就是电磁场（电场和磁场）的传播，它以光速（每秒钟30万公里）向四面八方传播（图1）。而收音机则把空中的电磁波再转化为声波，通过喇叭播送出来。所以，在我们的周围，场的确是客观存在的东西。

一、电磁场

一个带电物体周围有电场，一块磁铁周围有磁场。电场和磁场的存在可以通过它们的相互作用来探

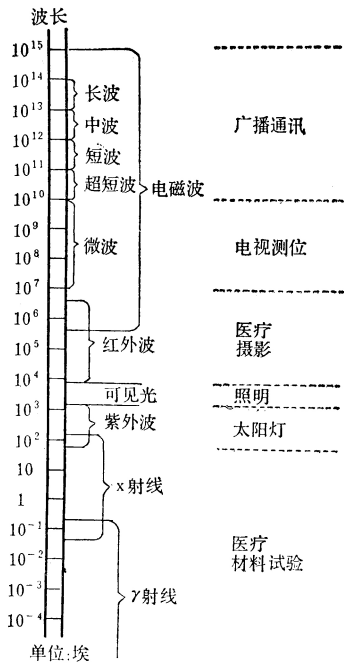
测。例如两个系在长线上的小球，当它们带同种电时，相互排斥，当它们带异种电时，相互吸引（图2）。这是因为电荷的周围有电场。再如，磁铁有南极和北极（图3），两个可以自由旋转的磁针，同性相斥，异性相吸（图4）。这是由于磁体周围存在磁场，磁场对磁体可以起作用。地球南北极间有磁场。中国古代发明的指南针，就是根据这一原理（图5）。有些实验事实还表明电流能够产生磁场。例如两根导线，电流方向都向右，两根导线相互吸引，力的方向垂直于电流方向（图6）。再如，有一个可以自由旋转的小磁针，放在导线的下方，当导线中有电流通过时，磁针就开始旋转，直到磁针与导线垂直为止（图7）。若把电流的方向反过来，磁针反转回来，直到磁针与导线再垂直为止。很明显磁针受力的方向不再是导线和磁针的连线方向。这两个例子都是因为导线中通了电流以后，在导线周围产生磁场，磁场对另一根导线或小磁针产生作用力，其作用力的方向与电流方向相垂直（图8）。

反过来问，磁场是否可以产生电流呢？实验表明，变化的磁场可以产生电流。取一个螺线管与一个电流计接通，然后用一个磁铁移向螺线管的一端，这时螺线管里就产生电流（图9），这可以由电流计的指针偏转看出来。磁铁的运动停止时，电流也停止。再移开磁铁时，螺线管中又会产生电流，但方向与先前相反。如果用一螺线管代替磁铁也产生同样的效果（图10）。如果此螺线管不动，而代之以电源开关，也产生同样的效果（图11）。

总之，变化的电场可以产生磁场，变化的磁场又可以产生电场。如果存在一个振荡的带电体，电场的每一次变化都要产生磁场，这个磁场的每一次变化又要产生电场，于是电场与磁场就会反复地相互转化，并在空间中以一定速度传播，这就是电磁波。带电体振荡停止以后，由带电体振动所产生的电

磁波还是在继续传播，这就表明电磁场确是离开电荷或电流而独立存在的东西。收音机所接受的就是这种电磁波。

无线电波和光波都是电磁波，唯一区别是波长。光波的波长较短，肉眼可以觉察得到；无线电波的波长较长，必须用无线电接收器才能觉察到。从(图12)可以看到可见光只是很小一个区域，随着波长不同，电磁波的名称也不同，但其本质都是电磁波。



(12)

二、场是物质存在的一种形态

列宁指出：“物质的唯一‘特性’就是：它是客观存在，它存在于我们的意识之外。”电场、磁场、电磁波，都是不依赖于人们的意识而客观存在着，并为人们的意识所反映。它也可以离开电荷而独立存在，它具有宏观物体运动的基本物理属性，它按照一定的客观规律而发展变化。下面以几个重要实验事实为例来说明场的物质性，说明场是客观存在而不是主观虚构：

(1) 电磁场具有能量、动量、质

量等实物的基本物理属性。例如十九世纪末，廿世纪初光压实验表明，光在照射物质的时候对物体有压力，证实了电磁波具有能量、动量。其实，早在欧洲文艺复兴时代，人们为了解释彗星尾巴的形成(图13)就已经提出了光有压力这一假设。这一假设的证实，对于人们认识光的物质性具有重要意义。

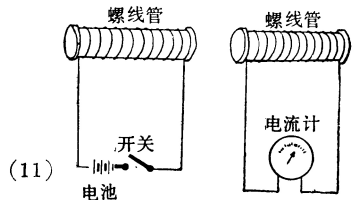
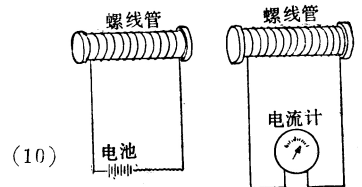
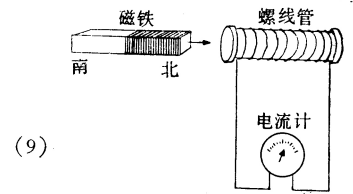
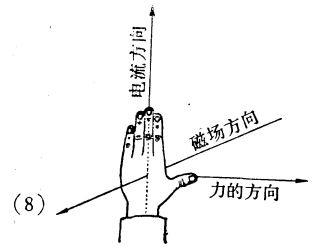
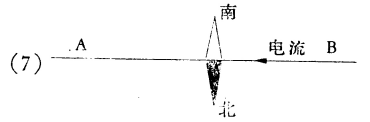
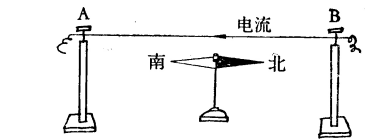
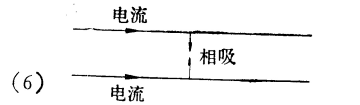
再如带电的 π 介子和中性的 π 介子有许多性质相似，但是带电 π 介子的质量比中性 π 介子的质量大，这是由于两种 π 介子的电磁性质不同，周围的电磁场不同而产生的质量差，通常称为电磁质量差。电磁质量差的发现，说明电磁场也是有质量的，这是人们认识电磁场的物质性的又一依据。

电磁场的能量、动量等物理属性，也遵从能量、动量守恒及转换定律。例如一个带电物体在电磁场的作用下可以加速，它的机械能量要增加，这部分能量的增加，正是由于电磁场能量的减少来补偿的。

(2) 一九三二年在宇宙线的实验中发现了正电子，一九三三年又发现了频率很高的光辐射打击原子核，特别是重原子核，就可以在云室中观察到一对正、负电子产生(图14)。接着，又发现一对正负电子相互湮灭转化为光辐射(图15)这个实验事实，又从另一面说明了物质的存在有着多种多样的形态，证明了物质的不同形态(场和粒子)可以相互转化：例如正、负电子对转化为电磁场，电磁场转化为正、负电子对。

(3) 一九二七年电子衍射实验。这个实验是使运动缓慢的电子自晶体的表面反射，发现它们具有波的衍射性质，其衍射花样与光的衍射花样、X光衍射花样是类似的(图16)。这就表明电子除了具有粒子性，还具有波动性。这就进一步证实了电子和光的类似之处，从而进一步证实了光(电磁场)和实物之间的共性。

自廿世纪初以来，一系列的实验事实都充分地证实了场是物质存



(13)

在的一种形态,是客观的实在,不依赖于人的意识而存在,它与通常意义下的实物一样,具有物体的基本物理属性,遵从物体的基本物理运动变化规律。两者虽有不同之处,例如场是弥漫于整个空间,而不是像实物那样占据空间的一定位置等,这不过是物质所取的形态不同而已。

三、场的粒子性,粒子的产生、消灭及其相互转化现象

上面说到电子除了有粒子性外,还有波动性。其实,光(电磁场)除了有波动性外,也有粒子性。光电效应实验就是光具有粒子性的最好的证据(图17)。当紫外光照射在金属表面上,光就把金属中电子打出来,电子以一定速度运动。当增加紫外光的强度时,电子的速度和能量并不增加。可是,当我们用红外光代替紫外光时,打出的电子的速度、能量就小了。同样,电子的速度、能量也不随红外光的强度而变化。这个实验表明光具有粒子性,它是由一份一份的光所组成的,每一份相当于一个粒子,叫作光子(或光量子)。光色不同,频率不同,光子的能量就不同。红外光的频率较小,它的光子能量要比紫外光的光子能量小,因此由红外光打出的电子的能量也小(图18)。光子的能量越大(即波长越短),打出电子的能量也就越大(图19)。增加光的强度只是增加光子的数目,可是不会增加每个光子打出来的电子的能量。

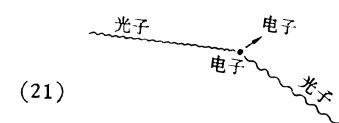
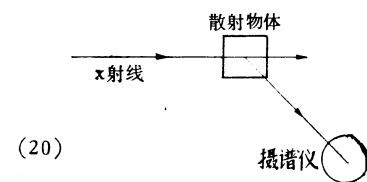
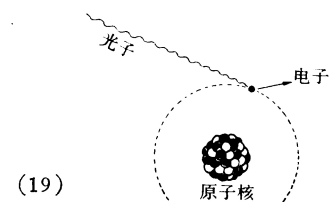
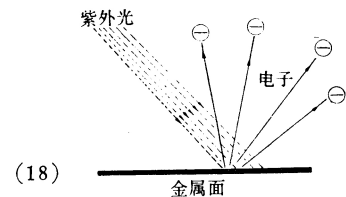
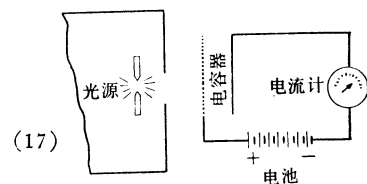
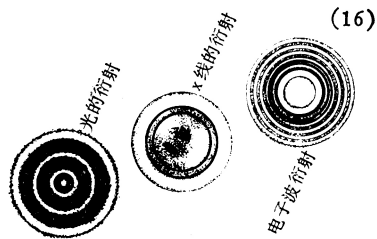
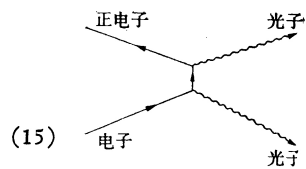
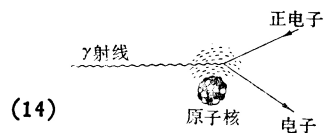
起初光子概念只是一个假设,但为后来的大量实验所证实。例如一九二三年发现的康普顿效应当X射线为物质所散射时(图20),波的频率变小。这个效应与光电效应一样,从光的波动观点无法解释,应该是散射光的频率不变。可是从光的粒子性来看是很好解释的,因为X射线是具有一定频率(或能量)的光子组成的,X射线被散射实质上是

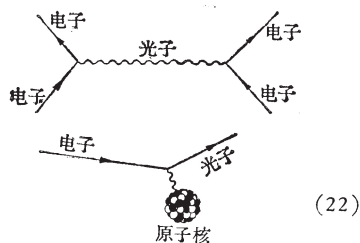
光子与物质中的电子相碰撞(图21)。在光子的作用下,电子的能量增加,光子的能量减少(能量守恒),所以散射后X射线的光子频率也相应地变小。由于这些实验事实,人们认识到电子有波粒二象性,光也有波粒二象性。为了使电磁场理论能够描述场的粒子性,一九二七年提出了将经典电磁场量子化的方法。这个方法就在于将电磁场运动分解为一系列基本的简单的振动,电磁场振动就形成电磁波。电磁场的粒子性问题就归结为电磁场各个基本振动的量子化。在量子化以后,每个基本振动的能量只能取不连续的数值

$$E = (n + 1/2) \hbar \nu \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

ν 是这个基本振动的频率, $\hbar \nu = \epsilon$ 就是前面提到的能量的最小单元,也就是一个光子的能量。当某一基本振动被激发至 $n=1$ 的受激态,就相应于产生了一个频率等于 ν 、能量等于 $\hbar \nu$ 的光子;反之,就是消灭了一个频率等于 ν 、能量等于 $\hbar \nu$ 的光子。这样就从经典的电磁场过渡到量子电磁场。量子电磁场理论不仅解释了光子的存在,即电磁场的粒子性,同时还可以描述光子的产生和消灭,例如前面提到的光子在重原子核的电场中转化为一对正、负电子,或者反过来一对正、负电子转化为光子。前者是光子消灭了,同时正、负电子对产生了;后者是正、负电子对消灭了,同时光子产生了。粒子可以产生、消灭和转化,这是高速微观现象的一个根本的特征。

一九二五年到一九二六年前后,人们总结出来了描述电子波动性的运动规律——量子力学。后来又逐渐认识到量子力学不仅可以描述电子,也可以描述所有微观粒子的运动规律。一九二八年前后进一步总结出高速电子的运动规律——狄拉克方程,揭示出电子的高速运动与电子的自旋和磁矩的关系。可是如何描述电子的产生和消灭呢?人们仿照电磁场情况,引入了反映电子波动性的电子场理论,并将电





子场过渡到量子化的电子场。当电子场的某一基本振动激发时，就相应于电子的产生，反之是电子的消灭。在这个基础上建立了描述电子和光子之间的相互作用理论，认为带电粒子之间的电磁相互作用是由光子来传递的。例如电子——电子散射、电子在原子核电磁场中散射(图 22)。这种理论通常称为量子电动力学。经过多年的实践考验，应用到光的吸收和散射、康普顿散射、电子和正电子的消灭和产生、韧致辐射等现象都得到了与实验相符合的结果，说明电子场、光子场(电磁场)等量子化的场的图象在一定程度上是与客观世界相吻合的。

一九一九年从氮原子核中打出质子，一九三二发现中子以后，实验上又发现了很多“基本”粒子，例如 μ 子、 π 介子、中微子、 K 介子、 Σ 超子、 Λ 超子以及各种共振态粒子等。这些粒子都有波粒二象性，都可以产生、消灭和转化，因此人们认为和电子、光子相类似，对应于每一种“基本”粒子都有一种量子的场，例如 μ 子场、 π 介子场、中微子场、 K 介子场、 Σ 超子场、 Λ 超子场以及各种共振态粒子场等。这种量子场的图象，从科学上给出了场和粒子的辩证统一的描述，也是对微观客体的根本特征——波粒二象性以及粒子的产生、消灭和转化现象给予了辩证统一的描述。这种图象除了上述在电磁相互作用范围内取得显著的成功以外，在弱相互作用范围内也取得了很大的成功。

矛盾的存在是普遍的，对自然的认识不可能停止在一个水平上，新的实验事实揭示了现有的量子场理论存在一系列的矛盾和困

难。自从一九五一年 π 介子——核子的共振态被发现以来，共振态粒子的发现愈来愈多，前后共达二百多种。近来又发现了 J/ψ 、 ψ' 等粒子。难道这些“基本”粒子都是基本的吗？按前面所介绍的量子场理论，相应于每种“基本”粒子引入一种量子场，每种场都是独立的、基本的。人们不禁要问，难道有必要引入这么多的基本场吗？实际上，这种量子场理论在应用到强相互作用范围内成就甚少，迂到了很大的困难。

四、场也是一分为二的

伟大领袖毛主席教导我们“对立统一规律是宇宙的根本规律。”“事物都是一分为二的”。一分为二，这是个普遍的现象，这就是辩证法。五十年代以来，一系列的实验事实揭露出“基本”粒子并不基本，它们是有一定大小的，具有内部结构的微观客体。它们有内部矛盾，“基本”粒子是可分的，也服从对立统一规律。这样，就必然导出一个结论：与“基本”粒子的可分相对应，场也是可分的。前面已经提到的电磁场是由电场和磁场两个对立面组成的，变化的电场可以产生磁场，变化的磁场可以产生电场，两方面相互转化，相互斗争，这已由一系列的实验事实所证实。然而，相应于每个“基本”粒子的场是否可分呢？或者说上百种的“基本”粒子场是否有更深一层次的场呢？早在一九五三年，人们就试图找出一种基本场。随着人们对“基本”粒子的内部结构有了初步的认识，人们对场的认识也不断深入。近年来，我国一些“基本”粒子理论工作者探讨的复合场论，就是遵循“事物都是一分为二的”哲学思想提出的。这一理论认为相应于上百种的“基本”粒子的场并不是基本的，它们是由层子场构成的复合场。例如由正、反层子的层子场组成各种介子的复合场，由三个正层子场组成各种重子复合场，这些复合场的量子则对应着这许许多多介子和重子。这样一个

复合场理论正在逐步推广和应用，并取得了一些成功。当然这个理论还需要用各种实验去检验。至于层子场也绝非就是基本的，层子场也是可分的。这正如列宁早就指出的“电子像原子一样，也是不可穷尽的”，物质是无限可分的。

以上我们讨论了场的物质性；场的粒子性，粒子的产生、消灭和转化现象；场的可分性。这只是目前阶段我们对物质形态之一的场的认识。人类对自然的认识是无穷无尽的，场这一物质形态随着人类实践不断丰富发展，也必将不断为人们深入揭示出它的辩证的本质。事实雄辩地告诉我们，只有遵循辩证唯物主义的观点和方法，才能正确地解释和概括物理学的新的进展和最新的发现。而物理学中的每一重大进展，也无一不是证实了辩证唯物主义的正确。因此，我们必须更加努力地学习马列主义、毛泽东思想，努力攀登科学技术高峰，为实现敬爱的周总理在四届人大宣布的四个现代化的宏伟目标而奋斗！