



## 当代物理学与宏微介宇生观世界

李国栋

(中国科学院物理研究所 北京 100080)

我们生活在当今世界上,需要

认识世界,更需要改造世界.在科学技术高度发展的今天,我们所认识的世界是怎样的?这一认识又与当代物理学的进展有什么关系?这就是说,从当代物理学的角度看,我们在生产和生活中所接触的宏观世界,构成这些宏观物体的单元的微观世界,介于宏观与微观之间而具有其特点的介观世界,由各种天体和宇宙空间构成的宇观世界,以及涉及各种生物和生命现象的生观世界,它们各有什么特点?当代物理学是怎样认识它们的?

### 一、宏观世界

当代社会的一个重要标志是从工业社会转向信息社会,信息、能源、材料既是当前的重大基础科学问题,又是新技术革命的关键内容,而这些又涉及基本的物质状态(物态).

信息科学技术的迅速发展和广泛应用是当代社会的重要特征之一.信息所表征的是客观世界中客体的变化或客体之间的相互差异和相互关系,它表现的形式多种多样,如文字、数字、声音、图象等.通信和计算机是当前信息科技中的两大典型应用.近代通信的发展可以说是与近代物理学的发展密切相关的,它们既互相启示,又互相推动.电磁学和无线电物理的发展,促进了电报电话、有线通信和无线通信的发明和改进;激光的发明及随后光物理学的发展,为当代光通信的研究和应用奠定了基础.这一发展使信息载体从电波进展到光波,从电子进展到光子,不但大大地提高了信息容量,而且还具有以光速传输和抗电磁干扰等优点.电子计算机从发明到现在虽只有半个世纪,但却进展非常快,已经历了电子管、晶体管、集成电路、大规

模集成和超大规模集成的5代发展,还正在向速度更快、密度更高和容量更大的光计算机、超导计算机、神经计算机、生物计算机等方向发展.这些进展表明,当代信息科学技术的进展与当代物理学有着多么密切的联系.

能源是社会生产和生活中不可缺少的.随着生产的发展和生活的进步,人类对于能源的需要是越来越大的,而传统的天然能源和化学能源却是有限的.按目前能源的消耗情况,石油、煤、天然气等只能用几百年,甚至利用当代新能源的核裂变反应的原子能(核能)发电,由于核裂变材料的有限,也只能用约一、两千年.怎样解决能源危机?这便需要从各方面研究和开发新的能源.从当代物理学研究,开辟新能源的途径有:充分利用太阳能,这需要研究和开发高效价廉的新太阳能电池,如晶体Si和非晶Si等太阳能换能材料的研究开发,也可进行太阳能卫星发电站的设计试验,避免太阳能通过大气层的大量(约70%)损失;安全利用氢能,研究发展干净、安全和高效的储氢材料;研究和发展核聚变反应的新能源,如当前正积极研究的磁约束聚变装置和利用强激光或高能粒子束的惯性约束聚变装置都有可能成为新的核能发电方法.据估计,地球上可供聚变核能发电原料的重氢( $^2\text{H}$ ),按目前能源消耗计算可用约 $10^{11}$ 年,这比目前估计的宇宙年龄(约 $10^{10}$ 年)还要长,真可以说这一能源是“取之不尽、用之不竭”了.而这些新能源原理、方法和原料的研究又都是离不开(原子)核物理、等离(子)体物理、高能物理和凝聚体(固体)物理的研究进展的.

材料是发展信息技术和能源技术的基础.新的信息和能源技术更需要多种多样的功能各异的新材料.这不仅需要以力学性能为主的新结构材料,更需要具有特定物理(电、磁、声、光、热、抗辐照等)性能的新功能材料,以及模仿生

命系统,同时具有感知和驱动功能的新智能材料.这些都要求凝聚体物理、表面物理和材料科学进行相关材料问题的研究,提供能满足各种性能、功能和智能需要的新材料.

从现象上看,客观世界的物质形态(物态)虽有千差万别和千姿百态.但从其基本的共性看,当代研究和认识的基本物态却是有限的,目前认识的有固态、液态、气态、等离子态、超密态、反物质态和真空态7种.前3种物态(固态、液态、气态)是一般所熟悉的,但近年来发现了介于液体和固态晶体之间的液晶态.由足够数量的带正电粒子和带负电粒子组成,其运动主要受电磁力支配的物质状态称为等离子态,又称物质的第4态.从宏观上看,等离子体所含的正电荷和负电荷几乎处处相等,一般是电中性的,运动过程中表现出集体行为.等离子体虽在我们周围宏观世界中并不多见,仅存在于电弧、日光灯、等离子体实验装置和高空电离层中,但在宇观世界中却是物质存在的主要形式.物质的第5态为超高密度态,简称超密态,这是存在于一些晚期恒星的物态,由于这些恒星中热核反应停止,热压力骤减,而引力作用使星体收缩,密度剧增,形成超密态.例如,白矮星的密度高达 $10^5\text{—}10^6\text{g/cm}^3$ ,中子星的密度更高达 $10^{14}\text{—}10^{16}\text{g/cm}^3$ .物质的第6态为反物质态,即由反粒子系统构成的物态.例如由反质子和反电子(即正电子)构成反氢原子.最近欧洲核子研究中心便利用超高能加速器研制成微量的这种反氢物质.过去认为真空是一无所有的“虚空”,当代物理学通过研究说明真空是物质存在的最低能态,称为真空态,也就是当今认识的物质第7态.可以看出,当代物理学所研究和认识的这7种物态虽是客观世界存在的,但并非都能在我们所接触的宏观世界中能直接见到和感觉到.

## 二、微观世界

微观世界是构成宏观物质的基本单元如原子、原子核和基本粒子等的总体.它们虽不能直接为我们的感官所感觉到,但却可以通过科学实验证实其存在并认识它们的结构、性质和运动规律.当代物理学通过前代和当前的大量科

学研究已经认识到,宏观物质的基本构成单元是原子,原子又是由原子核和电子组成的,构成原子核的质子和中子又还有其结构,其组成单元称为夸克或层子,还有传递各种作用力的基本粒子,如光子、W玻色子、Z<sub>0</sub>玻色子、胶子和引力子,另外还有磁单极子等.由此可以看出,微观世界的内容是十分丰富的,这里仅简单介绍原子核的磁性及其应用、磁单极子、各种作用力的统一问题.

宏观物质的种类虽极其繁多,但构成这些物质的原子种类却是不多的.元素周期表归纳了这些不同种类的原子.每一种原子的原子核由于含有相同数目的质子和不同数目的中子而又有几种同位素.现已测定,绝大多数原子核同位素具有磁矩,称为核磁矩.由于原子核的质量比电子质量约重2000倍或更多,而微观粒子的磁矩与其质量成反比,故原子核的磁矩仅约为电子磁矩的 $1/2000$ 或更低.这样原子的磁矩便主要决定于电子的磁矩,而一般略去核磁矩的影响.但在一些特殊情况下,核磁矩的贡献却不能忽略,有时甚至起着十分重要的作用.例如由核磁矩产生的核磁共振及由核磁矩产生的极低温度便是较显著的例子.

核磁共振是原子核磁矩系统在互相垂直的恒定(直流)磁场和高频磁场的同时作用下,当恒定磁场强度和低频磁场频率满足一定关系时,这核磁矩系统便会从这高频电磁场显著吸收能量,称为核磁共振吸收.因为不同的原子核和不同的同位素具有不同的核磁性,故在同样的恒定磁场下,不同原子核和不同同位素必须在不同频率才产生核磁共振;或者在同样频率的高频磁场下,不同原子核和不同同位素必须在不同恒定磁场才产生核磁共振.这样便可由不同的核磁共振情况来分辨不同的原子核及其同位素.由于绝大多数原子核及其同位素具有核磁矩并可进行核磁共振实验,选择性高,分辨率高,通过一定实验条件还可获得高的灵敏度,故已成为重要的分析方法,在化学、物理、生物学、地质学以及工业、农业、环境保护等许多方面得到广泛的应用.进一步综合利用核磁共振、磁场

梯度扫描及计算机成象等技术成功地实现了核磁共振成象新技术.目前这一新技术已在医学诊断和生物学、材料科学上得到重要应用.同医学上的 X 射线成象、超声成象和正电子成象相比较,核磁共振成象具有可分辨原子核(元素)和状态的优点,可获得更多生理和病理信息.

利用磁系统的绝热退磁过程可以得到降低温度的效果.早期利用顺磁物质的绝热退磁已获得  $1-10^{-3}\text{K}$  的超低温.后来利用核磁系统的绝热退磁已进一步获得  $10^{-3}-10^{-6}\text{K}$ 、甚至更低温度.最近利用核磁绝热退磁方法已经使核系统达到  $2 \times 10^{-9}\text{K}$  的极低温度,是目前所能达到的最低温度.当然根据热力学理论,绝对零度是不可能达到的,但随着科学技术的进步,却可能不断地接近这一极限.

寻找理论上预言的新粒子是当前微观世界研究中的一项重要课题.磁单极子就是当前实验观测和理论探讨都在进行研究的问题之一.在传统电磁学中,正电荷和负电荷是可以分离和单独存在的,但是北磁极和南磁极却是不能分离,也不能单独存在的.这使得麦克斯韦(Maxwell)电磁方程不对称.1931年狄拉克(Dirac)首先提出了磁单极子理论,认为北南磁极和正负电荷一样也是可以单独存在的,这样不仅可以使电磁方程变为对称,而且还可以解释电荷和磁极(荷)的量子化.从那时以来,实验观测和理论研究便不曾间断.实验上,利用高能加速器、高空和地面探测器、对陆地海底和月球岩石及陨石等都进行过磁单极子的探测,可以说是“上穷碧落下黄泉”;理论上,在多种粒子理论、大统一理论和宇宙极早期演化理论中也都进行过磁单极子的研究,可以说遍及微观和宇观世界.但是直到现在,除了80年代有两次发表论文说是探测到磁单极子事件而后来并未获得重复验证外,这方面的实验和理论研究仍然在继续着.

客观世界的各种各样物质最后统一归结为由微观世界若干种基本粒子所组成,客观世界的各种相互作用力(简称力)也最后统一归结为少数几种力,甚至可能统一为一种力.这一历史发展过

程是富有启发和意义深远的.在科学发展早期,各种作用力曾被看作各不相同的.牛顿首先把天体运动和地上运动的力统一为万有引力,麦克斯韦把电力和磁力统一为电磁力,格拉肖-温伯格-萨拉姆(Glashow-Weinberg-Salam)把电磁力和弱相互作用力统一为电弱力,这些力的统一已得到大量的科学实验验证而得到确立.近年来,关于将电弱力和强相互作用力统一起来的大统一理论,则尚待实验的验证.这些验证有质子衰变实验和超重磁单极子观测等,尚未得到肯定的结果.关于将目前4种力(电磁力、弱力、强力、引力)完全统一起来的超大统一理论,目前尚处于纯理论探讨阶段,还未提出实验验证,是需要更多研究的.

### 三、介观世界

在当代,随着高新技术的发展,材料和器件的微型化成为一个重要的发展方向.这样在从宏观走向微观的过程中,出现了介于宏观与微观之间的介观世界.什么是介观?简单说来,它是指其尺度小于或等于其中波的相位相干长度,因而出现量子相干现象的系统.相干长度的物理意义是载流子产生非相干弹性散射的平均自由程.目前介观世界主要包括纳米材料、团簇材料和量子阱材料等新型功能材料,它们都是当代物理学和材料科学的重要研究对象.

纳米材料是指材料的一个或几个维度的尺度在纳米级( $1-10^2\text{nm}$ ,  $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ )的范围,如纳米颗粒、纳米丝、纳米膜和由它们组成的块体材料.这些材料具有比一般块体材料更为优越甚至所不具备的性能.例如,将金属纳米颗粒加入到常规陶瓷中可以显著改善其力学性能;将  $\text{Al}_2\text{O}_3$  纳米颗粒加入到橡胶中可以大为增强其介电性能和耐磨性能;将  $\text{Al}_2\text{O}_3$  纳米颗粒加入到金属中可以使金属的晶粒细化,提高其力学性能;将纳米 Fe 粉掺加到钇铝石榴石( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ , 简写作 YAG)或钆镓石榴石( $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ , GGG)中可以制成工作温度约 20K 的磁致冷材料;将一些通常磁性材料成分制成纳米颗粒或纳米薄膜或由其构成的块体材料或多层膜材料后,可以显著提高其磁性能.因此,各种类型和各种线度的纳米材料已成为新

功能材料中的重要成员.值得注意的是一些纳米磁性材料在适当条件下还会出现一些特殊磁性,如超顺磁性、超铁磁性和超反铁磁性等.

由众多原子组成并具有特定结构和功能的团簇材料在一定条件下也会出现若干介观特性. $C_{60}$ 及其若干衍生物表现的特殊性能不但对当代物理学提供了新的研究内容,也展示出一些引人注意的应用前景. $C_{60}$ 组成的固体是目前除金刚石和石墨以外的固态碳的第三种存在形态. $C_{60}$ 具有高度对称性,显示出一些不寻常的物理特性,它也是C团簇中具有诸多幻数的成员中最典型和研究最多的代表.由 $C_{60}$ 衍生的一些物质也很值得进一步研究,例如, $C_{60}$ 掺碱金属后成为具有较高转变温度 $T_C$ 的超导体,掺K的 $C_{60}$ 的 $T_C$ 高达18K,而掺Rb的 $C_{60}$ 的 $T_C$ 更高达28K.又例如 $C_{60}$ 与TDAE(四-二甲胺基-1,2亚乙基)组成的 $C_{60}(\text{TDAE})_{0.86}$ 是一种不含金属组元的纯有机分子铁磁材料,表现出多种不寻常的磁性,如其铁磁性消失的居里温度 $\theta_f$ 随外加磁场 $H$ 增加而升高, $H=80\text{kA}/\text{m}$ 时, $\theta_f=17.2\text{K}$ , $H=4000\text{kA}/\text{m}$ 时, $\theta_f=24.3\text{K}$ ;低温铁磁状态不出现磁滞回线,即剩磁和矫顽力均为零,称为软铁磁体,而不是超顺磁体;在居里点以上的顺磁状态不遵从居里-外斯定律而呈现若干反常;另外,室温电导率也较高(约 $10^{-2}\text{S}/\text{cm}$ ).

近年来采用纳米工艺和外延生长技术在半导体材料如砷化镓(GaAs)等单晶基片中用不同掺杂方式制成了显示电子和光子的量子效应的多种量子器件.例如,已先后制出了将电子约束于二维平面内的量子阱;将电子约束于一维线度内的量子线;以至将电子约束于近似零维的微小点状区域内的量子点.利用这些量子效应和器件可制成光通信用的激光二极管,电子计算机用的大容量存储器,以及高性能的场效应晶体管(FET)等.

以上这些高科技应用都是在当代介观物理学的基础上发展起来的.

#### 四、宇观世界

物质结构、天体演化和生命起源常称为是现代三大科学问题.它们分别涉及微观世界、宇观世

界和生(命)观世界的根本问题,从一种意义上说来又都与当代物理学有着密切的联系.现代科学研究指出,我们生活的地球是太阳系的一个行星,太阳系内已发现有9个大行星和成千上万的小行星;太阳是银河星系中的一个恒星,而银河星系内约有 $10^{10}$ 个恒星;银河星系又是总星系中的一个星系,而总星系约有 $10^{10}$ 个星系.这就是我们目前观测到的宇宙,也称为宇观世界.宇观世界的一个特点是4种基本力中引力起主要作用的世界,虽然引力比其他3种力要微弱得多,但由于宇宙空间范围非常广袤,天体质量巨大,故能在宇宙中起主要作用.

关于宇宙,有两个大家都很关心的基本问题:第一个问题是,宇宙有起源么?以后宇宙会怎样演化?即宇宙在时间上有没有始终的问题.第二个问题是,宇宙有多大?它的大小在过去、现在和将来有无变化?即宇宙在空间上有没有极限的问题.

当代物理学对当代天文学和宇宙演化学说提供了重要的实验和理论上的依据.关于宇宙演化的现代学说虽有若干种,但目前广为接受的是“标准宇宙模型”的“大爆炸学说”,其主要科学依据是星系光谱红移、微波背景辐射和宇宙氦丰度.按照这一宇宙演化学说,主要的演化过程是在约150亿年前发生宇宙的原初爆发(大爆炸),如果以其作为时间零点,在约 $10^{-36}$ 秒后由粒子、反粒子和辐射中产生粒子和反粒子的不对称,在约1秒后产生重氢和氦-4的核合成,在约 $10^6$ 年后产生较轻的原子,在约 $10^9$ 年后形成星系,在约 $10^{10}$ 年后形成太阳系.至于宇宙未来的演化,则是按目前天文学和物理学的研究进行推测的,其演化还与宇宙的密度 $\rho$ 有关.如果 $\rho$ 小于宇宙临界密度 $\rho_0$ ( $\rho_0\sim 5\times 10^{-30}\text{g}/\text{cm}^3$ ),则宇宙物质引力小,不能阻止宇宙膨胀而成为开放宇宙,在约 $10^{12}$ — $10^{14}$ 年后,恒星将收缩为白矮星、中子星或黑洞;在约 $10^{17}$ — $10^{18}$ 年后,恒星互相靠近而失去行星;在约 $10^{33}$ 年或 $10^{45}$ 年后,由大统一理论或量子效应,质子将发生衰变;在约 $10^{100}$ 年后将发生超大黑洞蒸发.如果 $\rho$ 大于 $\rho_0$ ,则在约5

$\times 10^{10}$ 年后,宇宙膨胀到最大后将因引力作用而收缩,在约 $10^{11}$ 年后从收缩发展到大爆缩.这些仅是根据当代物理学和宇宙演化的理论推测,其中也存在着一些尚待解决的问题.有意思的是“大爆炸学说”、宇宙微波背景辐射理论和化学元素的天体起源学说都是由物理学家伽莫夫(Gamov, G.)首先提出或首先发展的.

宇宙在空间上是有限还是无限?根据“大爆炸学说”,宇宙是在膨胀的.目前天文学已能观测到约 $2 \times 10^{10}$ 光年的宇宙深处.光年是天文学中计量天体距离的单位,1光年是光在真空中一年内行经的距离,即1光年等于 $9.46 \times 10^{12}$ 公里.如果我们观测到的宇宙是开放的(即 $\rho < \rho_0$ ),则宇宙将不断膨胀下去,其后将同宇宙物质随时间的演化相联系.如果我们观测到的宇宙是闭合的(即 $\rho > \rho_0$ ),则宇宙将在膨胀到最大后收缩.这样宇宙就是有限的.正如上面所说明的,这些也仅是根据当代物理学和宇宙演化理论的推测,同样也存在着一些尚待探索和解决的问题.

科学是探索未知的世界,是不断发展的.在探索和研究宇宙世界时表现得更为明显.

### 五、生观世界

从古到今,生命之谜始终是一个使人困惑,也催人奋力探索的重大问题.现在包括这个问题在内的生(命)观世界,已不仅是生物学界关心和研究的对象,也受到当代物理学及其他一些学科所瞩目和研究.正是这样多学科从不同方面的探讨研究,使当代生命科学有了许多突破性的进展,使生观世界与其他世界有了更多的联系.

生命是什么?按现代常用的定义,生命是生物体所表现的生长、繁殖、新陈代谢、遗传变异和刺激反应等的复合现象.生命现象的主要物质基础是核酸、蛋白质、多糖和类脂等生物大分子.很有意思的是现代生命科学中的一些重大问题却是半个世纪前一位物理家首先提出的.量子力学的建立者之一的薛定谔(Schrödinger, E.)在1944年出版了《生命是什么?》一书,在这本书中他用热力学和量子力学理论来解释生命的本质,首先提出了“遗传密

码”概念来说明生物的遗传和变异.50年代初物理学家克里克(Crick, F.H.C.)同生物学家沃森(Watson, J.D.)合作研究脱氧核糖核酸(DNA)的结构,提出著名的DNA双螺旋学说.利用两条螺旋的分离和重新组合及其中4种核苷酸内碱基的配对,可以解释生物的遗传和变异,为“遗传密码”提供了物质基础和具体的遗传变异机制.

表 1

时 间	主 要 事 件
1月1日	0时0分0秒发生“宇宙大爆炸”
2月	形成最初的星系和最初的恒星
3月	形成银河星系
5月1日	形成银河星系中约 $10^{11}$ 个恒星
9月9日	形成太阳系
9月14日	形成地球
9月25日	海洋出现原始生命
10月9日	出现细菌
11月12日	出现光合植物
12月1日	大气中出现氧气
12月24日	出现原始恐龙
12月30日	出现哺乳类动物
12月31日	22时30分,出现原始人类

生命的遗传物质是核酸,但生命活动的物质基础却是多种多样的蛋白质和酶(酶是生物化学反应的催化剂,也是蛋白质).在生物遗传中,如何由核酸决定蛋白质呢?构成核酸的是4种核苷酸或说4种碱基,但构成各种蛋白质的却是20种氨基酸.如何由4种碱基决定20种氨基酸?这一问题又是由两位物理学家克里克和伽莫夫提出的“三联密码”或称“三联体”学说解决的.这一学说的主要点是由3个相联的核苷酸(碱基)形成1个“三联体”,每种“三联体”决定1种氨基酸,而且每条螺旋上的一种碱基与另一条螺旋上的相对应的特定碱基配对.这样,由4种碱基构成的“三联体”共有 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 种,但需要由“三联体”决定的却只有20种氨基酸和1种终止号;因此便有多种三联体决定同一种氨基酸或终止号的情况.有意思的

# 动脉粥样硬化的生物电学说

陈 百 万

(潍坊医学院 物理教研室 山东 261042)

动脉粥样硬化是一种动脉内膜脂质沉积局部形成粥样硬化斑块的病变,它最终将导致冠状动脉、脑动脉或外周动脉的管腔狭窄甚至完全堵塞,使这些重要器官缺血缺氧、功能障碍,以至导致机体死亡。近几十年来,关于动脉粥样硬化发病机理的研究,有过各种各样的学说,其研究结果首先证明了病变中的脂质主要是来自血浆中的低密度脂蛋白(LDL)及极低密度脂蛋白(VLDL),并部分阐明了其进入动脉壁及被拘留于动脉壁的机理;另外还发现了高密度脂蛋白(HDL)对动脉有保护作用。

动脉粥样硬化的生物电学说是以动脉壁及血成分的静电相互作用原理为基础而建立起来的关于研究动脉粥样硬化发病机理及防治措施的一种新学说。

## 一、动脉壁及血成分的生物电性质

生物大分子的净电性质取决于其负电荷与正电荷的比例及其周围介质的 pH 值。像动脉壁的结构蛋白质(胶原蛋白和弹性蛋白)那样的凝胶以及血液中的血浆蛋白质那样的典型溶胶,其电荷来自氨基酸侧链的碱基( $-\text{NH}_3^+$ )和羧基( $-\text{COO}^-$ )。介质的碱性条件( $\text{pH} > 7.0$ )有利于 $-\text{COO}^-$ 基的解离,这样就使分子带有较多的负电荷;反之,酸性条件( $\text{pH} < 7.0$ )可使分

是物理学家伽莫夫不但在前述的宇观世界和生观世界的研究中有开创性的贡献,而且在微观世界的核物理研究中提出了核 $\alpha$ 衰变理论,与人合作建立了 $\beta$ 衰变的选择定则。这在一种意义上表明上述 5 观世界是互相联系的。

根据当代自然科学研究可以提出下面的宇宙演化和生物进化的“日历”。这里的“日历”意义是将宇宙大爆炸以来的 150 亿年约化为 1 年,这样便于一般人对宇宙演化和生物进化有一个相对时间的理解,见表 1。从这宇宙演化和生物进化“日历”中可以看出,我们人类所在的

子带有较多的正电荷。

在正常生理条件下,血液呈弱碱性(pH 值为 7.4),血浆蛋白带有净负电荷;血细胞的主要成分红细胞和血小板等由于其细胞膜外侧唾液酸的存在也带有负电荷;血脂中高密度脂蛋白带负电荷,而低密度脂蛋白及极低密度脂蛋白则带正电荷。

动脉壁内膜表面的内皮细胞表面被以硫酸乙酰肝素为主的粘多糖包围着,形成一层厚约 5—100nm 的多糖萼;动脉壁内膜及中膜内也存在大量的硫酸化粘多糖。这类粘多糖由于它的硫酸基而带很强的负电荷。这使动脉壁内膜表面形成一特异的负电屏障,可以测量到无损伤的正常动脉壁内侧相对于外侧存在着 3—15mV 的负电位。动脉壁内结缔组织中大部分粘多糖与结构蛋白质共价结合,但也有一部分在正常生理条件下是可溶的,即它们可自由进入血液中成为游离粘多糖。

在正常生理 pH 值(7.4)及血脂不高的情况下,动脉壁和血液都呈净负电荷,产生静电排斥作用,使动脉血管中的血流持续畅通。

## 二、动脉粥样硬化的生物电机理

根据动脉壁与血成分的静电相互作用原理可说明脂质(主要是胆固醇)、钙和类纤维蛋白

太阳系和所居住的地球在宇宙演化中都是很年轻的,而人类在生物进化中也是很年轻的。

总之,当代物理学对于宏观、微观、介观、宇观和生观的客观世界的认识,比过去有了更为丰富和更为深入的进展,但这种认识是不会停止的,目前仍受到具有时代特征的许多主观和客观上的限制。可以相信,随着科学技术的发展和社会的进步,这些认识还会在不断增加新的内容,修正个别的缺陷和错误的历史过程中更加充实完善的。科学始终在向前发展,对客观世界的认识也永远没有止境。