



# 中国物理学史略

戴念祖

(中国科学院自然科学史研究所)

本文将叙述中国古代物理学史发展的主要轮廓,一般地写到1900年左右。本世纪中国物理学史,待后再补。文中错误和不当之处,欢迎批评指正。

## 中国物理学史发展概况和特点

人们知道,科学理论的产生一般说晚于生产和生活的实践,正如实用的器具制造比力学理论的诞生要早,语言和音乐也比声学理论早得多一样。严格说来,在古代的历史时期,谈不上“物理学”,因为那时还没有出现今天物理学中的概念、理论、定义和定理等能系统地构成科学的东西。但是,古代人对物理现象的确有许多猜测、观察、计量和实验,这些虽然很零散,然而,从历史的和发展的观点看来,它们又是现代物理学发展的先导,而古代人对物理现象的思辨性的解释又广泛地被人们看作是近代、现代科学思想的渊源。因此,人们约定俗成地以“古代物理学”来表示物理学发展的蒙昧时期。

中国是世界文明发达最早的国家之一,物理学在中国有悠久的历史。

在原始社会时期,当人们学会用火、学会制造石器时,就在劳动实践中播下了物理学的种子。到夏、商、西周时期,进入了奴隶社会,出现了青铜时代。西周手工业极为发达,种类多,分工细,出现了掌握专门技术的“百工”。技术的发展为物理学知识的积累创造了条件,为其后总结出物理学理论打下了基础。

春秋战国时期是我国从奴隶制向封建制过渡的社会变革时期,我国完成了从青铜时代向

铁器时代的过渡。随着冶铁和铁制工具的使用、农田水利的发达、郡县建筑的兴盛以及列国兼并战争的刺激,以《墨经》和《考工记》两书为标志,中国古代物理学开始了它的形成时期。

从秦、汉开始,经过三国、晋、南北朝,到隋、唐、五代的1200年间,我国古代物理学有了较大的发展:一、制造了不少大型的复杂的机械,如指南车、记里鼓车、水运浑仪等;二、发明了许多小型器具,如被中香炉、透光镜、汉洗等;三、在如《论衡》、《淮南万毕术》、《博物志》等典籍中,记载了大量的有关物理学的经验或思辨性理论。

宋、元时期是我国古代物理学发展的鼎盛时期。在这时期,除了大型机械、大型生产工具的创制外,还写出了与物理学有关系的五本著作:《梦溪笔谈》、《武经总要》、《新仪象法要》、《营造法式》和《革象新书》。火药、指南针和活字印刷是产生于这一时期的闻名世界的三大发明。地磁偏角的发现、演示共振现象的“纸人”实验、大型的光学实验、液体比重计和表面张力演示器的发明等等,都是这个时期的伟大贡献。

明清时期,与西方近代物理学比较,我国物理学处于相对落后阶段。另一方面,又由于资本主义因素在我国几度萌芽,加上生产技术的发展,也有个别的有关物理的独创性发现;同时,随着西方传教士的来到,近代物理学知识开始在我国传播。

从1910年到1949年,可以称为我国现代物理学的草创时期。从1949年到现在,我国的现代物理学有了初步的发展。

中国物理学史具有如下一些特点:第一,

它的发展是持续的。它经历了自己的起源、发展、鼎盛和衰落时期；在本世纪，它又溶合到世界物理学的发展长河中获得新生。它既不象古希腊和古罗马的物理学，随着古希腊和古罗马的衰亡而衰亡；也不象阿拉伯的物理学，只是在光学一个领域内取得成就。第二，比起世界上同一古代时期的任何一个民族，中国古代物理学具有特别丰富的内容，在热、力、声、光、电磁和物质结构的哲学猜测方面，都有充分的发展。古代中国人的各种技术创造和发明以及对各种物理现象的记述和认识，为研究物理学发展的历史规律提供了大量材料，还有许多观察、实验和思想火花是近代物理学诞生的先导。第三、中国古代物理学思想中原子论比较薄弱，而物质性的元气学说却充分发展。由于“元气”无所不在、无处不有，因此自然界中一切远距离作用，如电磁作用、共振作用、潮汐作用等都是由“元气”作中介的。在中国古代人的思想中既没有超距作用的概念，也没有“自然界厌恶真空”的观念。

### “物理”词义的演变

中文“物理”一词出现并不晚。约公元前二世纪成书的《淮南子·览冥训》写道：“夫燧之取火于日，慈石引铁，蟹之败漆，葵之乡（向）日，虽有明智，弗能然也。故耳目之察，不足以分物理；心意之论，不足以定是非。”这里的“物理”是泛指一切事物的道理，并非现代意义下的物理学。晋代杨泉曾著《物理论》，明清之际方以智（1611—1671）曾著《物理小识》，它们虽然冠之以“物理”，其实包括了自然科学的各门学科，甚至还包括人文科学的某些分支。

宋代理学家朱熹（1130—1200）等人，也常使用“物之至理”或“物理”一词，但这是他们的唯心主义哲学的常用词，意指先验的“理”主宰具体的“物”，“理”是先于物质存在的实体。这种观念恰和物理学的本意相反。

清代晚期，物理学包括在所谓的“格物学”之中。当时的格物学是指除了数学、天文学、医

物理

学和农学以外所有自然科学。在翻译西方近代物理学时，把物理学各科以及化学统译为“格物学”，其中力学译为“重学”。“格物”二字是我国古代“格物致知”一词的省称。因此，格物学也有称为“格致学”的。1901年，京师大学堂设有经学、医学、格致学等八个分科（相当于今天的系）。鲁迅在《呐喊·自序》中说：“在这学堂里，我才知道在这世上，还有所谓格致、算学、地理、历史、绘图和体操。”然而，“格物致知”一词，源出于《礼记·大学》：“致知在格物，格物而后知至。”

明末清初，西方近代自然科学知识开始传播到中国。1623年传教士艾儒略（Jules Aleni, 1582—1649，意大利人，1610年曾来华）撰《西学凡》一书，该书按西文 physics 把物理学音译为“费西伽”。直到1900年，日本藤田丰八把饭盛挺造编著的《物理学》译成中文，王季烈对该书进行文字润色和重编并由江南制造局刊行，这是我国第一本具有现代物理学内容和系统的称为物理学的书。

### 从远古到西周（公元前770年以前）

约在50万年前，北京猿人已将石块打制或磨制成尖状器和刮削器，这可能是人们受到天然的尖状物体的刺痛而领悟到锋刃和尖劈的作用。在距今约5—6千年期间，出现了辉煌的仰韶文化和龙山文化，相传的神农氏、黄帝、尧、舜是这个原始公社时期的几大氏族和部落。车船在这一时期的创制，表明人们开始利用除人力以外的自然力。陶、玉、石、骨、木诸器和纺织都有长足的进步，铜器可能在龙山文化时期已经出现。弓箭是这一时期初的重要发明。古籍记载，那时人们“剡木为舟，剡木为楫”，“断木为杵，掘地为臼”，“弦木为弧，剡木为矢。”<sup>1)</sup>从此开始孕育了力学知识的萌芽。

在西安半坡村仰韶文化的遗址中，发现一种陶制的提水壶。壶底尖形、壶腰大、壶口小。

1) 《易繫辭傳》。

系绳提水的两耳设在壶腰偏下一点。由于它的特殊形状,提水时会随盛水多少或偏或正。空壶在水面会倾倒,利于水进入壶中;当注入半壶多水时,它能自动正立;注入更多的水,它就会倒翻。西周时期的一种“欹器”,可能是这种尖底壶的发展,它“虚则欹,中则正,满则覆。”<sup>1)</sup>

夏、商、西周时期,各种复杂的车、船等交通运输工具的制造,用以计量时间的壶漏的发明和应用,贸易交换中必备的权衡器,杠杆、桔槔等的应用,为力学知识的积累和总结提供了前提条件。

原始社会时期人们已利用和控制了火,第一次支配了一种自然力。钻木取火的发明,在物理学史上是个重大事件。在烧陶、冶铜的生产中,人们逐渐掌握了火候,能定性判明温度的高低。在《诗经》和《周礼》等书中都记载了这个时期人们已开始收藏冰和利用冰。

从原始时期起,美的观念至少促使妇女在河池旁对水寻影、梳妆打扮。夏商时期有了“洗”一类的古代照镜器具。洗,即盛水陶盆。铜制镜子在殷商时期开始出现。这些都是光学得以产生的物质条件。据《考工记》和《周礼·秋官》记载,西周时期已有阳燧(凹面镜),用于点火。用火光作讯号也是这个时期的发明。

石磬、陶钟、苇籥、土埙等乐器,在远古时代就有了。夏商时期,已有铜铃、皮鼓、编钟。商代人已形成绝对音高的观念,出现了半音程。西周时,《诗经》记载的乐器有29种,除大量的打击乐器外,有吹奏乐器箫、笙、管,弦乐器琴、瑟等。在周初,已出现了十二律和七声音阶。

在《尚书·洪范》中,记载了最古老的物质结构假说。那时人们猜测,万物是由金、木、水、火、土所谓“五行”物质构成的,并陈述了这五种基本物质的不同性质。相传殷周时,人们把自然界分成八个领域,即天、地、雷、火、风、泽、山、水。把天与地当作最基本的东西,天属阳、地属阴,提出了最早的一对阴阳概念。在后来发展的元气学说中,阴阳这对矛盾成了必要的物质动因。阴阳与五行结合在一起,成为“阴阳五行说”,以此解释宇宙万物及其运动。

## 春秋战国(公元前 770—前 221 年)

如果可以把上一时期称为古代物理学的萌芽时期,则春秋战国时期也可以看作是古代物理学的形成时期。墨子是这个时期的哲学家和物理学家。墨子(约前5世纪前期—前4世纪初)名翟,鲁国人,他和他的弟子组成的墨家,是春秋战国时期物理学成就最大的学派。其代表作《墨经》一书,分“经”和“经说”两部分。“经”可能是墨翟自己的作品,“经说”是其弟子或后期墨家解释“经”之作。《墨经》中记载了有关力学、声学、光学和物质结构假说等方面的知识。

《墨经》中对力作了“刑(形)之所以奋”的定义;对杠杆、轮轴和斜面作了分析,在杠杆平衡原理的探讨中,不仅考虑到力和重物的因素,而且还考虑到两端与支点距离的因素;初步阐发了应力与物重平衡的概念;讨论了浮体平衡原理。在运动学方面,对时间、空间作出了正确定义,讨论了平动、转动和滚动、以及运动和时空关系等课题。它还提出了物质不能再分的“端”的概念;墨家发现了埋在地下陶瓮具有共振效应。然而,墨家最伟大的成就还在光学方面。《墨经》中以八条文字连续地记述了光学问题。这八条光学经文依次分别为:影子生成的道理;光线与影的关系;光线直线行进实验;光反射特性;从物体与光源的相对位置确定影子的大小;平面镜反射成像现象;凹面镜的反射成像现象;凸面镜的反射成像现象。这八条,是墨家从事光学实验进行精密观察的忠实记载。其记述次序也完全符合现代几何光学的要求。它是世界古代文化史上一篇很难得的和较全面的光学著作。

《考工记》是春秋末年齐国人的著作。它是我国古代一部手工技术规范的汇集,论述了当时手工业的主要工种。其中所阐述的科学道理包括了力学、声学和热学等知识,它堪称为集我

1) 《荀子·宥坐》。

国古代物理学知识在工艺技术上应用的大成。

在《考工记》中,叙述了车轮、箭杆的均匀对称检验法(置于水中,看其各部分的浮沉状态);指出了按皮革受力和形变情况作为检验其质量好坏的方法;它最早记述了惯性现象:“马力既竭,辀犹能一取焉。”它从实践经验中对斜面受力情况作了极好的描写,如小车载重,当车上坡时,不把车辕压低,就可能把牛勒死,车上坡相当于加倍重量。即使上了坡,到下坡时,若不拉住车后,也要拉住牛后的皮带<sup>1)</sup>。

在《考工记·矢人》中细致地分析了箭的结构和它飞行轨道的关系:箭头、箭杆、箭羽要有一定的比例,才能使箭在疾风中保持一定的弹道前进。如果这三者不成比例,则矢行不正。箭头太轻会往下俯行,箭尾太轻会往上飞翔,中间过重会打转,中间过重会上扬,羽多飞行慢,羽少达不到的。

《考工记·凫氏》详细叙述了钟的制造及其音响情形。首先规定了制钟的合金比例:“六分其金而锡居一”。然后以六段文字分述:第一、指出钟体各部分名称及其位置;第二、规定钟体各部分的尺寸比例;第三、说明钟壁厚薄、钟口形状、钟甬长短对发声的影响;第四、规定钟壁厚度比例;第五、叙述整个钟的大小、长短及其音响效果;第六、规定为调音而摩铍钟壁的比例。全篇 254 个字,层次分明,逻辑严谨。这是世界上最早论述制钟技术的文章,比欧洲同样内容的论述几乎要早 1500 年。此外,该书还有关于鼓、磬的声学技术。

在《考工记》里有不少关于热学技术的记载。在其《栗氏》篇中写道:“凡铸金之状,金(铜)与锡;黑浊之气竭,黄白次之;黄白之气竭,青白次之;青白之气竭,青气次之。然后可铸也。”在熔铸过程中,金属里含有碳、钠一类杂质,不同物质有不同的汽化点,这些汽化物质的颜色就可以作为判别火候或温度高低的一个标准。同一种物质,在加热时,初成暗红色(约 550℃),温度渐高,次第成橙色、黄色、约当温度在 1000℃ 时成白色。中国古代人在烧制陶器、冶炼金属时掌握了这些以颜色判别火候的知

识。甚至在今天,广大农村的制陶和冶炼工人可以不靠温度计而用这种古老方法来确定烧炼程度。

在春秋末期成书的《管子·地数篇》、战国时期的《鬼谷子》、战国末期的《吕氏春秋》中,都曾记述了天然磁石及其吸铁现象,记载了最古老的指南器“司南”。

在《管子·地员篇》中记载了定律调音的三分损益法,即以某一律音的弦长为标准,其它各律可依标准弦长逐次乘  $2/3$  (三分损一) 或  $4/3$  (三分益一) 而得。这是物理学史中最早用数学公式总结物理现象的一个例子。在公元前三到四世纪成书的《庄子·杂篇·徐无鬼》中,最早记载了弦线的共振现象。

在这个时期关于物质结构的哲学猜测有了发展。除了墨家的论述外,《管子·水地篇》设想水是万物(无机界)和诸生(有机界)的统一本原。名家惠施(约前 370—310)的著名论断是:“至大无外,谓之大一;至小无内,谓之小一。”他的“小一”的概念说明分割物质是有限度的。但名家公孙龙(约前 320—250)提出,“一展之捶,日取其半,永世不竭”。他的说法表明物质是无限可分的。公元前四世纪的宋钘和尹文提出了宇宙万物统一于“气”的学说。此后,原子论的思想基本上停顿了,而元气学说得到了充分发展。

## 从秦汉到五代(公元前 221—公元 960)

这是我国古代物理学的发展时期。

### 热学

从汉代开始,我国发现并利用了高温燃料:煤、石油、天然气。东汉杜诗发明了鼓风机械、即水排,它对冶炼技术中的提高温度和控制温度带来了方便。

人们首先从天气变化中观察到物态的变化。东汉王充(29—97)详细地论述了“雨从地上,不从天下”,“云气出于丘山,降散为雨”(《论

1) 《考工记·辀人》

衡·说日篇;感虚篇》)的过程。他指出,“云雾,雨之徵也,夏则为露,冬则为霜,温则为雨,寒则为雪。”<sup>1)</sup>在不少史籍中还记载了冰、水和汽三态变化的生活实例,特别是北齐刘晔在其著《刘子》一书中指出“冰生于水而冷于水”的现象,当然古代人不可能发现冰水共存的二相温度点。

从汉代开始,人们利用热空气上升原理使灯笼飘在空中,用作军事信号。也有人幻想以灸火加热鸡蛋壳中,使蛋壳在疾风中飞离地面三五尺。汉代《淮南万毕术》载,盛水铜甕,在加热沸腾后密闭其口,急入井水中,发出雷鸣般响声。这可能是发热物体在急速冷却中的内破裂现象引起的。《华阳国志》载,李冰(生卒不详)在公元前250年左右开凿都江堰时,曾利用热胀冷缩原理打碎拦路巨石。唐代西部地区少数民族在盛夏时引水上屋顶,以降低室温。

晋代张华(232—300)在《博物志》中写道:“煎麻油,水气尽,无烟,不复沸则还冷,可内手搅之。得水则焰起,散卒而灭。此亦试之有验。”这个实验不仅表明油与水的不同沸点,而且表明油的逐次沸腾现象。

据唐朝段成式《酉阳杂俎》卷十记载,汉高祖刘邦在公元前206年进入咸阳官时,官中有一种灯,“高七尺五寸,下作蟠螭,以口衔灯,灯燃则鳞甲皆动,炳焕若列星。”这和后来出现的普通的走马灯,都是利用燃烧加热空气,造成气流,使轻小物体(如纸马)旋转。它是近代燃气轮机的始祖。

古代人从身体感觉的温度范围来判明温度的高低。他们也探讨了热学中一些理论问题。王充讲道:“夫燠一炬火爨一镬水,终日不能热也;倚一尺冰,置庖厨中,终夜不能寒也。何则?微小之感不能动大巨也。”<sup>2)</sup>“夫近水则寒,近火则温,远之渐微。何则?气之所加,远近有差也。”<sup>3)</sup>

热是什么?南北朝成书的《关尹子》写道:“曰寒暑温凉之变,如瓦石之类,置之火则热,置之水则寒,呵之即温,吹之即凉。特因外物有去有来,而彼瓦石实无去来。”在它看来,“外物”的来去使瓦石发生热、寒、温、凉之变。十八世纪

的热学曾认为,热从高温物体向低温物体的传播是由于物体内存在热质的缘故。这种热的物质观念看来一直可以追溯到古代。北齐刘晔说:“金性苞水,木性藏火,故炼金则水出,钻木而火生。”<sup>4)</sup>他从“五行”观念解释摩擦生火的原因,认为“火”这一要素是木的固有属性之一。而十八世纪的燃素说认为,以燃烧加热物体是由于“火素”或“燃素”进入物体的缘故,但燃素说不能解释摩擦生热,而且正是在摩擦生热的问题上它遇到了极大麻烦而被推翻的。

## 力学

机械及其应用有了大发展。汉代已开始把各种简单机械(如杠杆、桔槔、辘轳)联合使用,发明了齿轮。张衡(78—139)制造了浑天仪,他采用齿轮系把浑象和表示时间的壶漏结合在一起,以流水下落的力量带动齿轮,齿轮带动浑象旋转。公元132年,张衡制造了世界上第一个地动仪,用于测定震源的方向。翻土用的犁壁、播种用的三脚楼;十倍于杵舂功效的水碓,也是汉代的发明。公元二世纪,毕岚创制“翻车”、即龙骨水车,发明了名为“渴乌”的虹吸管。晋代杜预发明了连机碓。南朝祖冲之(429—500)造水碓、水磨。北魏崔亮作水碾磨。张衡、祖冲之和三国时马钧都曾制造指南车,这是一种指向机械装置。记里鼓车和浑仪也在不同时候被许多人制造出来。公元725年,唐僧一行和梁令瓚又造水运浑仪,它既能表现日月运行规律,又能自动记时。

汉代长安巧工丁缓作“被中香炉”,“为机环转四周,而炉体常平。”<sup>5)</sup>这是世界上最早的常平支架。一种称为“洗”的金属铜盆,也叫“汉洗”,盆内铸有四条龙或四条鱼,又称为“龙洗”或“鱼洗”。以双手摩擦汉洗的双耳,盆内的水会显示出美妙的各种驻波花样。这是最古老的克拉德尼(Chladni E. L., 1756—1827)图,他在1802年以撒在振动板上的细沙使振动节线成为可

- 1) 《论衡·说日篇》
- 2) 《论衡·感虚篇》。
- 3) 《论衡·寒温篇》。
- 4) 《刘子·崇学》。
- 5) 《西京杂记》卷一。

见。而汉洗却以水使板振动节线成为可见。西汉时,还发明了一种等臂天平式验湿器,在杠杆两端分别挂上等重的炭和羽毛(铁或土),利用炭的吸水性和天平两端的重量变化,可测知大气湿度的变化。

各种有关器具的图书也应运而生:叙述各种器械的《杂器械草木赋》;叙述弓弩制造和弹道问题的《望远连弩射器法》;总结杂技百戏中重心、平衡等力学道理的《鼈鞮》;祖冲之的儿子祖暅(约公元5—6世纪初)撰《称物重率术》、《权衡经》;北齐信都芳撰《器准》,“聚浑天、欹器、地动、铜鸟、漏刻、候风诸巧事并图画为器准”,这可能是我国历史上第一部科学仪器图著。可惜这些涉及到机械制造和力学原理的书籍都已失传了。

在王充的著作中,初具动力学的思想萌芽。他写道:“是故车行于陆,船行于沟,其满而重者行迟,空而轻者行疾。”“任重,其进取疾速,难矣。”这段话指出了,在一定外力条件下,较重的物体运动较慢,其开始运动和加快运动也难。他的著作中还有许多关于力和运动的描述。

在这时期,对流体的一般性质有极好的记述,探讨并实测了一些物体的比重,知道漏刻的流水速度会随温度变化。由于虹吸管和汲水唧筒在生产上的应用,又引起了人们对大气压力和真空现象的探讨。《关尹子》写道:“瓶存二竅,以水实之,倒泻;闭一(竅)则水不下。盖(气)不升则(水)不降。井虽千仞,汲之水上,盖(气)不降则水不升。”唐代王冰在《素问》注中写道:“虚管溉满,捻上悬之,水固不泄,为无升气而(水)不能降也;空瓶小口,顿溉不入,为气不出而(水)不能入也。”

唐代一行(名张遂,638—?)和南宫说(生卒不详)等人在开元十二年(724年)分赴十一个地方测量北极高度和圭表日影长度。南宫说在河南的滑县、开封、扶沟、上蔡测量了该四地的距离。在计算影差和南北地距关系时,他们曾以北极高度(即地理纬度)差与地面距离作比较计算,结果发现南北地距251.27唐里(约129.22公里)北极高度相差一度。这数值虽然

不大准确,但却是世界上第一次子午线的实际测量。

在大量的本草药物学著作中,有许多关于矿物、金属等结晶体几何形状的描述。特别是公元前二世纪,韩婴著《韩诗外传》中,已有关于六角形雪花的观察记载。它比开普勒(Kepler, J., 1571—1630)在1611年的未完成的即兴之作——《六角形的雪》早1700多年。

特别有意义的是,在西汉时期成书的一本不知作者姓名的著作——《春秋纬·考灵曜》中,有关于伽利略相对性原理的最古老的叙述:“地恒动不止,而人不知,譬如人在大舟中,闭牖而坐,舟行(而人)不觉也。”<sup>2)</sup>至于运动的相对性,有不少文献记载。葛洪(283—363)在《抱朴子》中指出:“云游西行,而谓月之东驰。”《关尹子》还论述了关于舟和水是谁在运动的争论。晋代束皙(公元三世纪人)认为,“乘船以涉水,水去而船不徙矣”<sup>3)</sup>。

## 声学

东汉王充对声音有一段精彩描写:“人坐楼台之上,察地之蝼蚁,尚不见其体,安能闻其声。何则?蝼蚁之体细,不若人形大,声音孔气不能达也。……鱼长一尺,动于水中,振旁侧之水,不过数尺,大若不过与人同,所振荡者不过百步,而一里之外淡然澄静,离之远也。今人操行变气远近,宜与鱼等;气应而应,宜与水均。”<sup>4)</sup>前一句话说明,体小的蝼蚁,即使有声音,也只能在一定的距离内才能听见。这是说的声音和传播距离的关系。后一句话,进一步用鱼振荡水波的例子来说明这种传播距离是有限的;然后指出,人的行动(当然包括说话)使其周围的“气”发生振荡后所能传播的距离是与鱼相似的,而“气”的振荡情形又与水波相似。王充用水波比喻声波,是世界上最早对波的认识。

在这时期,乐器有很大发展。唐大中(847—860)初,调音律官郭道源(生卒不详)能以碗

1) 《论衡·扶留篇》。  
2) 《太平御览》卷36。  
3) 《晋书·束皙传》。  
4) 《论衡·变虚篇》。

内盛不同数量的水，在同一组碗碟式乐器中奏出优美的音乐。这种以加减水量来控制发声体振动频率的方法，是中国人最早发明的。有大量典籍记载了各种乐器的共振现象，晋代张华（232—300）、唐代乐律家曹绍夔（八世纪初人）还掌握了消除共振的方法。

在律学方面，汉代京房（前 77—前 37）把一个音阶分为 53 律；三世纪时钱乐之（生卒不详）、六世纪时沈重（生卒不详）把一个音阶分为 360 律。晋代荀勖（？—289）制造了十二支发音精确的笛管（现在的洞箫），并第一次计算了管口校正数。特别是，南北朝何承天（370—447）作了大胆创新，他把古代音差（用三分损益法从宫音计算到少宫音所产生的误差）的长度平均分为十二份，然后累加到十二律管上。这样就从长度上解决了还相为宫的问题。虽然他不是按频率来分配古代音差数，但他的思想是发明十二平均律的先导。

## 光学

制造各种镜子是这时期光学的主要特点。凹面镜阳燧被普遍用于取火。《淮南子·说林训》中初步探讨了阳燧焦点问题。除阳燧外，人们还发现其它许多能聚焦光线的物体。汉代高诱在《淮南子》注中举出一种无缘金属杯可以取火；王充在《论衡·率性篇》中列举了两种可以当作阳燧的取火器：“阳燧取火于天。……消炼五石，铸以为器，磨砺生光，仰以向日，则火来至。此真取火之道也。今妄以刀剑之钩月，摩试朗白，仰以向日，亦得火焉。”有人认为，“消炼五石”可能是玻璃。张华曾列举圆形冰决和透明珠可以取火，这是凸透镜取火法。

至少在汉初，人们已知道平面镜的组合。南唐人对此描述道：“以一镜照形，以余镜照影，镜镜相照，影影相传。”<sup>1)</sup> 汉代人还制造了最古老的开管式潜望镜：“取大镜高悬，盛水盆于其下，则见四邻矣。”<sup>2)</sup> 公元十世纪，南唐谭峭（生卒不详）在其《化书》中描述了四种透镜：“小人常有四镜：一名圭，一名珠，一名砥，一名孟。圭视者大，珠视者小，砥视者正，孟视者倒。”圭是双凹、发散透镜；珠是双凸、会聚透镜；砥是平

凹、发散透镜；孟是平凸、会聚透镜。可见，当时人们已实验性地掌握了各种透镜的成像事实。

“透光镜”是汉代开始产生的。当一束光线射到金属镜面时，镜背花纹被清楚地反射在屏上。于是古代人就称它为“透光镜”。这种奥妙历来为国内外所注意。日本和西欧等国分别称它为“魔镜”、“不等曲率镜”。至于它的制作工艺将在下文叙述。

对虹、色散现象的记述和实验是这时期光学上的一大成就。汉代蔡邕在《月令章句》中对虹形成条件作了记述：“虹见有青赤之色，常依阴云，而昼见于日冲，无云不见，太阴也不见。见辄与日相互率，以日西，见于东方。”孔颖达（574—648）在《礼记注疏》中写道：“若云薄漏日，日照雨滴则虹生。”八世纪中期，唐代张志和（生卒不详）在《玄真子》书中记述了人造虹的简单实验：“背日喷水成虹霓之状。”唐大中（874—860）末，长安儿童作人造虹实验，“叠布蘸水，向日张之”，并把它称为“掬晕”<sup>3)</sup>。此外，晋代葛洪（283—363）在《抱朴子·内篇卷十一》中记述了五种云母，在阳光下可以看到各种色光。这是薄膜干涉现象的记述。张华曾记载孔雀毛和一种产于交州南部的虫在阳光下有变化多端的衍射色彩。唐武后（684—705）时，“安乐公主使尚方合百鸟毛织二裙，正视为一色，傍视为一色，日中为一色，影中为一色。”<sup>4)</sup>

张衡对月光及月食现象作了正确的解释。他说：“月光生于日之所照，魄生于日之所蔽。当日则光盈，就日则光尽。当日之冲，光常不合者，蔽于地也，是谓闾虚。”<sup>5)</sup>

《列子·汤问篇》记载了“小儿辩日”的有趣故事。两个儿童争论太阳究竟在早晨还是在中午距地面近。对于这个复杂的光学问题，晋代束皙（三世纪人）认为它和人的视幻觉有关，姜岌（四世纪下半叶到五世纪初）还考虑到“游气”的影响。有人认为，这里的“游气”应是大气吸收

1) 《化书》卷一。

2) 《意林》卷六引自《淮南万毕术》。

3) 苏鹗，《杜阳杂编》卷下。

4) 《新唐书·五行志》。

5) 《灵宪》。

和消光现象。

在这时期诞生了雏形的幻灯或活动影片。公元前二世纪，汉武帝刘彻因思念已故李夫人，方士齐少翁(生卒不详)曾用幻灯为武帝重现李夫人容貌。据《汉书卷九十七》载，齐少翁“夜张灯烛，设帷帐，……遥望见好女如李夫人之貌，还幄坐而步。又不能就视，上愈益相思悲感。”其实，早在战国时期可能有一种最原始的幻灯，据《韩非子·外储说》写道：有人在豆荚内膜上作精细图画，然后把它放在阳光照射的墙板洞上，则屋内墙壁上龙蛇车马历历可见。

### 电和磁

王充对古老的指南针“司南”的形状、用法和指向作了记述。磁的吸引和排斥现象已被人们广泛地注意到。“磁石拒菴”<sup>1)</sup>正是对排斥现象的描述。王充和郭璞(276—364)都曾以物质元气说来解释静电和磁的吸引现象。古代人对磁石在防盗、防刺、作战和医疗上的应用作了许多幻想。1660年吉尔伯特(Gilbert, W. 1540—1603)《论磁》问世时，英国人还相信用大蒜摩擦磁石可去磁，用山羊血涂抹后又复磁的说法，最早出自中国的《淮南万毕术》和《淮南子》等书的记载。

在汉代，人们发现了琥珀和玳瑁的静电吸引现象。三国时吴国的虞翻幼年时曾听说：“虎魄不取腐芥，磁石不受曲针。”<sup>2)</sup>即腐烂的芥草由于其含水造成的导电性，致使它不被带静电的琥珀所吸引；一些比较柔软的金属，如金、铜等不被磁石吸引。张华曾发现用梳子梳理头发和解脱丝绸毛料衣服时的起电现象，他看到静电闪光、听到放电声。陶宏景(452—536)发现，当用布和琥珀摩擦时，琥珀的静电吸引力明显增大。唐朝段成式(生卒不详)发现用手与活猫摩擦时的静电火花。

## 宋、元 (960—1368)

宋、元时期是中国古代物理学的鼎盛时期。

### 热学

曾公亮(998—1078)在其著《武经总要》中记载了世界上最早的三种火药配方。在发明火药

的基础上，出现了各种火药武器。以火药喷射推进的火箭至少在十三世纪初期已经发明，并在战争中实际使用。当火药和火箭技术传到欧洲后，对欧洲的社会和科学技术产生了巨大影响。

宋代的陶谷(生活于十世纪)在《清异录》中第一次记载了火柴的制作方法：“夜中有急，苦于作灯之缓，有智者批杉条，染硫磺，置之待用。一与火遇得焰，穗然既神之，呼‘引光奴’。今遂有货者，另名‘火寸’。”它的另一些名称又谓“发烛”或“焯儿”。它的发明时间可能还要早。从钻木取火到钢燧碰撞发火，到药料火柴发火(火柴的摩擦生火是较后的事)是热学技术的进步。

宋代人还发明了一种省油灯，在“灯盏一端作小竅，注清冷水于其中”，避免油被灯火加热而急速蒸发，从而达到“省油几半”的目的<sup>3)</sup>。

元末陶宗仪(生于14世纪)曾作过热胀冷缩实验。他把带孔竅的物体加热后，把另一个物体塞入孔洞，从而使这两个物体如“辘轳旋转，无分毫缝罅。”他明确讲到这是前一个物体“煮之胖胀”的缘故<sup>4)</sup>。

人们发现许多物质的自然现象，如石灰、石油、油涓纸、麦糖、马矢粪等。

在长期煮水泡茶的生活实践中，人们还发现了水的递次沸腾现象。在水未沸腾时，无气泡出现，称之为“盲眼”，水初开时水泡象“蟹眼”，然后象“鱼眼”，最后气泡象珍珠般跳跃起舞<sup>5)</sup>。用上述不同热度的水泡茶会有很不相同的效果，水“未熟则沫浮，过熟则茶沉。”<sup>6)</sup>

(未完，待续)

1) 《淮南万毕术》。

2) 《三国志·吴书》。

3) 宋朝陆游《老学庵笔记》。

4) 《南村辍耕录》卷二十三。

5) 苏轼《东坡志林》。

6) 蔡襄《茶录》上篇。