

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中外科学家发明家丛书

哥白尼



一、哥白尼以前的天文学

长夜天空，繁星点点，构成一幅光辉灿烂的图画，在人们眼前缓慢地浮动、经过长期实践，我们的祖先早就意识到，天象的种种变化，和生产活动有十分密切的关系，并且积累了丰富的天文知识。

在以农业为主的古代社会里，要搞好农业生产，必须正确地掌握四时运行的规律，精确地测定年、月的长度。而要做到这些又必须对天象进行定期的观察和记录。这样，就促使我们的祖先对天文现象进行更为深入细致的研究。

远在传说中的尧舜时代（前 2300—前 2200），我国的劳动人民就注意到每天黄昏时，在南方天空分别看到鸟、火、虚、昂等四宿的出现，以之为根据就可以确定仲春、仲夏、仲秋、仲冬这四个季节。到了殷代（公元前 18—12 世纪）已经有了日食的记录和简单的计时制度。

西方天文学发达最早的国家是巴比伦（在现今伊拉克地方）。公元前 3000 年那里的文化已经有很大的发展。他们注意要观察的是新月，一经看到新月在黄昏时出现在西方，即吹号角，报告另一个月开始。他们也不断地观察行星的运动，特别记录下它们彼此接近或和亮星接近的时劲。他们更要寻找拖着尾巴的彗星，因为古人把彗星当做是灾祸的征兆。他们也注意观测日食和月食。但他们注意观察天象，并不是由于他们的好奇心或对于科学的兴趣，而是因为他们想从天象去推测人事的吉凶。又因占星术的需要使他们大量地和精密地去观测天象，从而推动了真正天文学的发展。

巴比伦人利用月相，精密地测定了一个月的长短。他们注意到太阳、月亮和行星在天空中运行的轨迹都在一个大圆圈的附近。他们把这一带分为十二个等分，并以其附近的星座去命名。希腊人继承巴比伦人，把这一带叫黄道带，这十二等分叫做黄道十二宫。一年内太阳要经过这十二宫。巴比伦人已经发现太阳、月亮与行星在黄道带内运行的速度不是均匀的。他们将这天体在各宫内运行的速度列表记录下来，这便是最早的行星理论。

在古埃及，农业生产与尼罗河泛滥有密切关系。人们通过长期的生产实践，发现：每年当太阳和天狼星同时出现在地平线的时候，过了两个月，尼罗河水就开始泛滥。因此，古埃及人把太阳和天狼星同时升起之日定为一年之始。

公元前 8—6 世纪期间，在巴尔干半岛南部、爱琴海群岛和小亚细亚的地中海沿岸一带，一片海陆交错、山峦重叠的地方，形成了古希腊奴隶制的城邦国家。

大约在公元前 5 世纪左右，希腊城邦出现了历史上前所未有的经济繁荣，商业、手工业和航海事业都相当发达。在经济发展的同时，古希腊人还创造了高度发展的古代文化，在文学、艺术、哲学、科学很多领域内都取得了卓越的成就。希腊人首先用数学的理论去考虑天文的问题，哥白尼继承了他们的传统，并跨进了一大步，才窥破了宇宙的真象。

古希腊的唯物主义哲学和辩证法的思想也是在这个时期产生的。

早在古希腊初期，毕达哥拉斯（前 582—前 500）及其学派从探讨物质世界的本质这种自然哲学立场出发，创立了数原主义学说，即毕达哥拉斯主义。毕达哥拉斯主义认为：万物皆数，数即万物。从这种数原主义的立场出发，他们认为 10 是最完美的数，圆是最完美的形，而球则是最完美的体。根据这

种数学信仰，毕达哥拉斯学派提出了大地、天体以及整个宇宙都是圆球的假说；同时也相应地提出了天体运动都是匀速圆周运动的假说。

既然天体运动是圆周运动，那么整个宇宙必然有一个中心。在什么是宇宙的中心这一问题上，毕达哥拉斯学派发生了分歧。其中有些人提出了地球环绕中心火球运动的假说，而另外一些人则提出了地球是宇宙的中心假说。可见，在古希腊初期的毕达哥拉斯学派那里，无论是最初的日心说，还是最初的地心说，都只是从毕达哥拉斯主义出发的一种自然哲学理论。

到了古希腊的雅典时期，出现了毕达哥拉斯主义的一个杰出追随者亚里士多德（前 384—前 322）。亚里士多德在研究毕达哥拉斯学派中的最初的地心说的基础上，综合当时天文学中的一些观测资料，提出了一个较为系统的地心学说，即亚里士多德的地心体系。亚里士多德的地心体系认为：大地是一个有限的球体，即地球；天体也是一个有限的球体，即天球。地球处在天球的中心。天球本身又分为月球天层、太阳天层、金星天层、水星天层、火星天层、木星天层、恒星天层、原动力天层等不同的同心天层。天层的七层以内，每一层都居住着一个环绕地球运行的天体。第八层是不动的恒星天层；第九天层是作为天体运动动力的原动力天层；如同毕达哥拉斯学派最初所主张的那样，亚里士多德也认为有被称为“对地天层”的第十天层。可见，亚里士多德的地心体系是毕达哥拉斯学派中的地心体系的继续和发展。所不同的是，亚里士多德认为，天球与地球的组成元素是不同的：地球是由水、火、土、气等四种元素组成的；而天球则是由第五种元素，即地球上没有的神圣元素“以太”组成。这样，亚里士多德就描绘出了人类科学史上第一幅比较完整的宇宙图景，即以“水晶球”概念著称的亚里士多德的地心体系。

亚里士多德以后，古希腊数学家欧几里德（约前 330—前 275）在《几何原本》中建立起了一个系统的演绎几何学体系，为天文观测和计算提供了有力的数学工具。继欧几里德之后古希腊另一个数学家阿波罗尼（约前 260—前 200）在研究圆锥曲线的基础上，最先提出了本轮和均轮的学说。本轮和均轮学说是一种用以解释天体运动的以圆周运动为基础的几何结构。此后，阿波罗尼的这套几何结构为古希腊另一个天文学家希帕克（约前 160—前 120）所继承和发展。希帕克用一个固定的偏心圆轨道解释太阳的视运动，用另一个移动的偏心圆轨道解释月球的运动，而行星的运动则以各自的本轮-均轮系统来解释。这样，由阿波罗尼最先提出的本轮-均轮体系，就被希帕克较好地用以解释了人类所观察到的天体的视运动现象。可见，到了古希腊后期，地心体系的理论模式和几何结构，实际上已经建立起来。

公元前 30 年，古罗马取代了古希腊。进入古罗马时期之后，虽然古希腊科学已开始衰落，但在古罗马初期，尚有一些科学家能对古希腊科学进行整理和总结。正是在这一时期，作为天文学家和数学家的托勒密（约 90—168）对亚里士多德、阿波罗尼和希帕克等人的学说进行了系统的整理、加工和综合，从而建立起了一个可供制订历法作为理论基础的地心学说。这样，亚里士多德-希帕克的地心体系，也就发展为以托勒密著称的地心体系。

由于托勒密在阿波罗尼和希帕克两人的几何学基础上进行了一系列的数学论证，加之托勒密体系能较好地解释天体的视运动现象，并能为历法的制订提供一定的理论基础和数学方法，因此托勒密的地心体系逐渐为以后的天文学家所接受。

可见，亚里士多德-托勒密的地心体系在古希腊时期和古罗马初期，是以

本来的科学面目出现的。尽管在亚里士多德那里这种体系已具有一定的神学目的论因素，但它并不具有宗教神学色彩。在推动古代天文学的发展中，亚里士多德-托勒密的地心体系曾起过重要的历史作用。

亚里士多德-托勒密的地心体系与基督教神学搅在一起，那是在基督教广泛流传的中世纪的事。

早期的基督教与地心学说并没有什么联系。基督教约在公元 1 世纪产生于巴勒斯坦。当时的基督教还没有什么系统的教义，当然也没有什么系统的自然观。在当时的基督徒看来，宇宙是一个密封的大盒子：天层是盒盖，在作为盒盖的天层上居住着天使，悬挂着日月星辰；大地是盒底，圣地耶路撒冷就在盒底的中央。直到中世纪前期，当神学家奥古斯丁和伊里吉纳企图对基督教神学进行理论加工时，虽然他们尚不知道亚里士多德-托勒密的地心体系，但他们从基督教的传统的天体观出发，仍然对当时流传的大地的另一方有人居住的思想持激烈的反对态度。在他们看来，若大地的另一面有人居住，这些人势必倒立着生活。这种看法无异于给上帝开玩笑。

但是，到了中世纪后期，当古希腊科学逐渐复兴时，亚里士多德-托勒密的地心学说也随之复兴。由于基督教无法抵御古希腊科学文化复兴的洪流，因此罗马教皇格列戈里九世在 1231 年发布诏令，责成神学家改造和吸收古希腊的哲学与科学理论，建立起新的神学理论体系。正是在这一背景下，神学家托马斯·阿奎那适应了基督教的这一需要，并因此成为新的基督教神学——正统经院哲学的主要代表人物。

由于亚里士多德-托勒密体系在亚里士多德那里已具有一定的神学目的论色彩，所以托马斯·阿奎那只要稍稍进行一些理论加工，就把亚里士多德-托勒密的地心体系改造为基督教神学的天体观。托马斯·阿奎那宣称，地球是上帝选择的宇宙中心；日、月、行星在不同的天层上环绕这个中心运转，推动日、月、行星运转的是居住在这些不同的天层上的天使；而上帝则居住在最高的原动力天层上统治着整个宇宙。运用亚里士多德-托勒密的地心体系，托马斯·阿奎那还对上帝的存在进行了论证。他证明上帝存在的第一条论证是天球的运动需要有一个原动者，这个原动者就是上帝。托马斯·阿奎那的这一论证被当时的神学家们公认为证明上帝存在的最成功的论证。由于托马斯·阿奎那对托勒密的地心体系进行了上述理论加工和改造，本来是天文学中的一种宇宙理论的亚里士多德-托勒密的地心学说，从此也就纳入基督教神学的理论体系，并因此成为基督教神学自然观的天体观的理论基石。

由于托马斯·阿奎那以亚里士多德-托勒密的地心体系为基础建立了基督教神学自然观的系统的天体观，而托马斯·阿奎那的经院哲学体系又被罗马教皇指定为教会官方的正统哲学。这样，托勒密的地心学说一方面得以以宗教为社会载体广为传播；另一方面，地心学说从此以后就成为基督教的神圣不可侵犯的宗教信条。所以对基督教来说，对地心学说的任何怀疑都意味着反叛；而对当时还处于孕育中的近代科学来说，对地心说的任何怀疑都意味着革命。正是在这种背景下，产生了近代科学的伟大先驱、波兰杰出天文学家哥白尼。

二、一个天文学家的开端

在波兰首都华沙西北约 213 公里的地方，有一座美丽的城市——托伦，这就是伟大天文学家尼古拉·哥白尼的故乡。在哥白尼生活的时代，托伦曾是一座富有的城市，商业和手工业相当发达。波兰第一大河——维斯瓦河紧贴着托伦城边流过，它把托伦同首都华沙、古都克拉科夫，以及北方的波罗的海连成一线。历史上，曾有大量粮食和其他货物从托伦沿维斯瓦河运到海港格但斯克出口。发达的航运事业使托伦迅速富裕起来。伴随经济的发展，托伦的政治地位也日益提高。

哥白尼出生之前，托伦曾长期处于十字骑士团的统治之下，于是爆发了波兰历史上长达 13 年之久的战争。战争最后以 1466 年签订托伦和约宣告结束。鉴于托伦人民作出的贡献和托伦所处的经济地位，几代波兰国王先后授予托伦一些特殊权利。

尼古拉·哥白尼于 1473 年 2 月 19 日出生在位于托伦古城圣安娜街一个殷实的商人家庭。父亲的名字也叫尼古拉，他不仅是一位能干的商人，还是古城议会的议员。母亲巴尔巴拉·瓦兹洛德是名门闺秀。所以哥白尼的童年肯定是幸福的和无忧无虑的。他在位于圣安娜街的家里度过了自己的幼年。

关于哥白尼的生活情况，至今仍有许多不解之谜。哥白尼的学生曾为他撰写过一篇传记，可惜遗失；第二篇关于哥白尼的传记是在他死后大约 200 年时追记的。所以关于哥白尼的生平情况，有许多事情已经成为永久的秘密。不少情况是经学者反复考证才得以确认的。

哥白尼祖辈的原籍是西里西亚地区尼斯河畔的一座叫哥白尼的村庄。关于哥白尼这个姓氏的来历众说纷纭。在 1422 年至 1429 年的史料中多次提到一位叫扬·哥白尼的商人，无疑他就是天文学家哥白尼的爷爷，哥白尼在克拉科夫大学读书时同爷爷有过很多接触。

哥白尼的母亲巴尔巴拉的祖籍也是西里西亚。在西里西亚的希维德尼克县有一个瓦兹洛德村，这里可能就是瓦兹洛德家族的发祥地。14 世纪时瓦兹洛德家族居住在弗罗茨瓦夫，14 世纪末叶迁移到托伦。哥白尼的外公乌卡什·瓦兹洛德曾任托伦市议员，后任市议长，是一位很有影响的人物。他坚决反对十字骑士团，亲自参加了战斗，曾任普鲁士反十字骑士团联盟的司库。可惜，哥白尼的外公在 1462 年去世了，没能看到对十字骑士团战争的胜利。正是这样一位老人通过他的举止言行教育了自己的孩子们：哥白尼的妈妈巴尔巴拉·卡塔日娜和乌卡什。乌卡什后来担任了瓦尔米亚主教，成为哥白尼的养育者和庇护人。

哥白尼的父亲——尼古拉，生于克拉科夫。1448 年时已是一位很有名望的商人。大约在 1458 年，他从克拉科夫迁居到托伦。在反抗十字骑士团的初期，他作为中介人参加了红衣主教兹比格涅夫·奥莱希尼茨基同普鲁士各界代表之间的经济谈判，讨论如何偿还波兰同十字骑士团交战期间的军事债务问题。大约在 40 岁的时候，他同巴尔巴拉·瓦兹洛德结为夫妻，他们的儿子在爱国主义、关心国家大事和热心公益事业思想的熏陶下成长起来。1483 年，哥白尼的父亲去世，身后留下 4 个孩子：10 岁的尼古拉、安杰伊、巴尔巴拉和卡塔日娜，由舅父路加斯·瓦兹洛德（1447—1512）大主教抚养。大主教是一位具有人文主义思想的进步人士。因此哥白尼从小就受到了良好的教育。舅父为了把他培养成人，先后把他送到自己主持的圣约翰学校和弗洛

克拉维克的教会学校学习。哥白尼从少年时代起就热爱天文学。中学时，在老师的指导下，制造了一具按日影以定时刻的日晷。从而培养了他对天文学的浓厚兴趣。

公元 1491 年，舅舅把 19 岁的哥白尼和哥哥安杰伊送到克拉科夫学院读书，从此开始了他持续 15 年之久的大学时代。大学生活的开始，成了哥白尼一生中的转折时刻。在克拉科夫，哥白尼有机会接触了一些以来自意大利的著名学者卡利马赫为代表的最杰出的人文主义者。

克拉科夫给 19 岁的哥白尼留下了深刻印象。克拉科夫是当时波兰的首都，也是东欧最大的贸易和文化中心，有许多国家的留学生在这里学习。由于它地处东西欧交通要冲，所以比较早地受到意大利文艺复兴的影响。因此在这座以天文学和数学闻名于全欧的古老大学里，新兴的资产阶级人文主义思想和腐朽的封建教会的经院哲学之间展开了激烈的斗争。1491 年至 1494 年，哥白尼亲身经历了人文主义者同其政敌之间，以及近代世界观、科学观、社会秩序观的代表同中世纪卫道士之间的尖锐思想斗争。哥白尼在先进的人文主义思想的熏陶下，心灵里埋下了向经院哲学挑战的种子。

克拉科夫作为科学和艺术之城，不仅吸引了不少大学生，也吸引了不少外国学者和其他各行各业的著名人物。有不少欧洲闻名的伟大人文主义者，其中最杰出的有：沃伊切赫·波鲁泽夫斯基和被称为卡利马赫的意大利人菲利波·博纳科尔西，以及康拉德·禾尔泰斯。对他影响最大的是具有进步思想的数学家和天文学家沃伊切赫·波鲁泽夫斯基教授。他唤醒了哥白尼对天文学的终生兴趣。正是这种兴趣导致哥白尼发现了地球围绕太阳旋转这一伟大真理。

沃伊切赫是当时欧洲最著名的天文学家之一，是一位人文主义者，虽然他基本上是一位托勒密体系的信奉者，但对托勒密的地心体系的某些细节也产生过怀疑，并公开提出过某些异议。如他认为水星和月球的本轮的中心所形成的均轮应当是椭圆轨道，而不是托勒密所说的正圆轨道。在他的影响下，哥白尼开始研究托勒密的地心体系，并开始进行一些简单的天象观测。

在克拉科夫期间，哥白尼刻苦钻研天文学和数学，他曾搜集、阅读和研究了许多有关天文学和数学方面的书籍，并在书中空白处作了详细注释，保存下来的书中，还粘贴有他的演算草稿。他在学习期间还利用“三弧仪”和捕星器观测月食和天体运动。据史料记载，他的“日心说”思想就是在这个时期萌生的。

3 年以后，哥白尼在克拉科夫大学医学院毕业后回到托伦。当时，他的舅父已被罗马教皇在 1489 年任命为波兰瓦尔米亚城邦的大主教。这位大主教想为哥白尼兄弟谋求僧侣职位，但没有成功，于是他决定把哥白尼兄弟送到意大利留学。1496 年，23 岁的哥白尼和他的哥哥一道，告别祖国，翻越阿尔卑斯山，来到文艺复兴的策源地意大利。

15 世纪末的意大利，正处于后期文艺复兴运动高涨的时期。由于人文主义思潮的激荡，著名的波伦亚大学和帕多瓦大学显得沸沸扬扬，生气勃勃。因此，天文学、医学、数学等自然科学的教学在这两所大学显得比较活跃。由于意大利人哥伦布率领的西班牙船队在 1492 年发现了美洲新大陆，使得航海成为推动天文学进一步发展的动力。

哥白尼来到意大利之后，最初进入波伦亚大学学教会法。但是，当他发现他最喜爱的还是天文学和数学时，他便在学习教会法的同时兼学天文学。

为此，他结识了这所大学的著名天文学教授达·诺法拉。诺法拉是一位具有鲜明的人文主义思想倾向的天文学家。他具有丰富的天文观测经验，曾亲自实测过南欧一些城市的纬度，发现实测值与托勒密的数据有出入。他还观测过黄道倾角，发现实测值与托勒密的数据也不一致。为此，诺法拉对托勒密的地心体系大胆地提出了怀疑。

诺法拉不仅是一位具有探索精神的人文主义思想家，而且是一位坚定的毕达哥拉斯主义的信奉者。他坚信，宇宙体系决不像托勒密体系那样繁琐，不仅应当，而且可以用简单的数学关系表示出来。

诺法拉的思想倾向与科学风格给青年哥白尼以深刻的影响。

正是在诺法拉的影响下，青年哥白尼比较系统地研究了古希腊自然哲学史，研究了古希腊天文学史，并由此得知，在古希腊自然哲学和古希腊天文学中，还有各种非地心学说。例如，毕达哥拉斯学派费罗劳斯认为地球和太阳、月球一样，沿一定的倾斜轨道环绕中心火团旋转。毕达哥拉斯学派的其他一些人提出地球运动的各种假说。古希腊时期的另一个天文学家阿里斯塔克还明确地提出过最初的日心学说。正是古希腊自然哲学和天文学中的各种非地心学说、地球运转学说和最初的日心学说，给了哥白尼后来建立科学的日心说以最初的理论启迪。正如他后来在《天体运行》的序言中所说，正是那些理论使他“开始思考地球运动的问题”。

哥白尼从诺法拉那里不仅得到了古希腊天文学理论的最初启迪，而且还向诺法拉学到了一些天文观测经验。1497年3月9日夜晩，哥白尼曾与诺法拉观察过一次掩星现象。哥白尼后来在《天体运行》中引证的天象观测资料，其中有一些就是在波伦亚大学学习时的一些观测记录。

几年之后，诺法拉病逝。他当然未能看到哥白尼后来取得的天文学成就，当然也不知道他的这个波兰学生后来竟然成了近代科学的伟大先驱。但是，诺法拉对哥白尼的影响无疑是重要的。哥白尼手中后来高擎的科学起义的火炬，可以说正是诺法拉点燃的。

哥白尼留学意大利已近十年。在这十年当中，他只回过波兰一次，但旋即又返回意大利。在近十年的岁月中，他先后在意大利的几所著名大学求学和任教。继波伦亚大学之后，哥白尼进入著名的帕多瓦大学。帕多瓦大学以医学和法学的教学闻名欧洲。在帕多瓦大学，哥白尼学习法学和医学，并继续进行天文学研究。1499年，哥白尼曾一度受聘于罗马大学，主要讲授天文学。此后，哥白尼又进入斐拉拉大学，并在该校取得了法学博士学位。在取得法学博士学位之后，他又重新进入帕多瓦大学专攻医学。这次学医终于使他后来成为一个职业医生。但医学学位尚未结业，法国入侵意大利的战争爆发，意大利北部硝烟弥漫，战火遍地。哥白尼不得不终止尚未学完的医学学位的学习，于1506年回到阔别十年的祖国波兰。

意大利的十年留学生涯，是哥白尼一生的重要岁月。在这十年中，他受到了文艺复兴运动的熏陶，打下了天文学的深厚基础。特别重要的是，他在意大利受到了古希腊天文学中的日心说的最初的启迪，这将成为他的未来事业的伟大起点。

三、哥白尼的生活和工作

从意大利回来以后，到他逝世的时候为止，哥白尼一直住在埃尔门兰德，因为他舅父就在这里的弗洛恩堡大教堂担任主教。

弗洛恩堡在埃尔门兰德北部的滨海地区。城内有一个小丘，市民们的住宅都聚集在小丘的周围，丘上矗立着一座巍峨的教堂，教堂四周筑有高大的城墙，墙上还有箭楼，从这里可以眺望波罗的海的蔚蓝色的海水。僧侣们就住在这座弗洛恩堡大教堂内，而主教官邸则设在弗洛恩堡西南 64 公里的黑耳斯堡。

但哥白尼回国以后，没有立即到弗洛恩堡教堂去任职。原因是多方面的：一方面，瓦兹洛德主教已经年迈多病，很需要哥白尼留在身边，协助料理教区事务；另一方面，哥白尼自己也希望有一段充裕的时间，来整理他在意大利学习期间所搜集的大量古今资料，总结他自己的研究成果。因此，他就以主教的医生的名义，在黑耳斯堡的主教官邸里住了下来。

在跟随他舅父的六年时间内，哥白尼在参与这个教区的繁忙的事务的同时，就抓紧一切空暇时间，从事研究工作，着手将他经过多年思考分析所得到的理论书写出来。根据现有的史料，可能就在这一时期，哥白尼已经开始写作《天体运行论》一书的初稿。同时（大约在 1515 年前）他又把其中的基本观点用拉丁文写成一篇《浅说》，并把它抄赠给他的一些最亲密的朋友。在哥白尼逝世之前，《浅说》虽在一些西欧国家，特别是在意大利已经引起重视，但一直没有公开出版。

哥白尼在这篇《浅说》中以概括为几点的方式扼要地阐述了他的日心说的基本思想：

- 一、不存在一个所有天体及其轨道的中心点。
- 二、地球中心不是宇宙中心，只是重心和月球轨道的中心。
- 三、所有天体都围绕作为自己中心点的太阳运转，因此太阳位于宇宙中心附近。

四、地球到太阳的距离同天穹高度之比，就如同地球半径同地球与太阳间距之比一样渺小。地球到太阳的距离同天穹高度之比是微不足道的。这就是说，由地球绕太阳公转所造成的观察角度的变化（表面上看似是行星在移动），被称为视差位移，它同观察者与天穹，也就是观察者与各行星的距离相比，简直是太小了，所以这个变化很难被发现。

五、在天空中看到的所有运动，都是由地球自己的运动造成的。因为地球连同环绕它的自然要素（水和空气）一道每 24 小时围绕对天空来说不变的两极连线旋转一周。

六、使人感到太阳在运动的一切现象，都不是由太阳的运动产生的，而是由地球及其大气层的运动造成的。地球带着它的大气层，像其他行星一样围绕太阳旋转。由此可见，地球同时进行几种运动。

七、人们看到的行星向前和向后的运动，都不是行星自身的运动，而是由地球自身运动使人产生的错觉。地球运动的本身就足以解释人们在天空中观察到的各种各样的天象。

1512 年，哥白尼的舅父瓦兹洛德主教因病去世。从此，哥白尼就离开了黑耳斯堡的主教官邸，到弗洛恩堡大教堂任职。当时在这里任职的僧侣，一般生活都比较优闲，工作十分轻松，请假也十分方便。所以哥白尼有足够时

间来继续他的研究工作。因为要证实他的理论还需要作更多的观察，于是他就选择了教堂城垣西北角的一座箭楼作为他的宿舍。并且在这里建立了一座小小的天文台，利用他自己制作的仪器经常进行天文观察。他在《天体运行论》一书中所引用的 27 个观察材料，大部分都是在弗洛恩堡的时候记录下来的。尽管当时哥白尼所使用的仪器是简陋的，准确度也不够高，但是他却从来没有因此而放松进行天文观测的实践活动。

虽然哥白尼身居欧洲大陆遥远的东北部，但是他在天文学上的造诣，已经使他在大陆的“心脏”地区享有一定威望。1514 年，罗马教廷曾经邀请基督教国家的主教和大学教授去罗马讨论历法改革问题。当时，哥白尼也接到了类似的邀请信件。但是，哥白尼拒绝了这次邀请。后来，哥白尼在回忆起这件事时说：“不久之前，在利奥十世统治下，有关修订教会历法的问题在拉特兰大教堂的会议上辩论过。当时这个问题没有得到解决，就是因为没有能够把年和月的长度以及太阳和月球的运行十分精确地定下来。从那时起，遵照曾经主管历法事务的有名的桑普罗尼阿主教保罗的指示，我在从事更精确的观察。”在哥白尼的时代，改革历法已经成为一个重大的问题，古代沿用下来的儒略历，到哥白尼的时代误差已经很大，原来规定在 3 月 21 日的春分节，已经提早十天到来。于是这个问题就引起了罗马教廷的重视。但是，在哥白尼看来，在还没有把年、月的长度以及太阳和月亮的运行规律搞清楚之前，要从根本上解决历法问题是有困难的。

1516 年，教会委任他去管理远在埃尔门兰德边缘地区的两个属于教会的庄园。因此，哥白尼暂时离开弗洛恩堡，迁到阿勒河上游的阿伦斯登堡去居住。

在那些年代，曾经发生了严重的货币危机。哥白尼十分关心事态的发展。他认为这种情况是由封建制度所造成的。他曾经在 1519 年写了一本关于货币问题的小册子，指出：“政府当局从货币贬值去谋取利益，正像农人播种廉价的坏种子去节省开支一样。”他主张要对币制实行改革，应当建立一个各国之间的“货币同盟”，发行一种货币，并将以前贬值的货币回收销毁。但是，利欲熏心的封建财主们怎肯去实行这样的改革呢？因此，哥白尼的货币理论并没有取得任何效果。

1522 年，原来的主教去世，新主教尚未产生，在这青黄不接的纷乱时期，哥白尼受命担任了六个月的埃尔门兰德教区的总管。

在埃尔门兰德，一般人都把哥白尼当作是一位医生。因为，在弗洛恩堡任职期间，哥白尼经常利用空暇时间，免费为教区附近的贫苦农民医治疾病。据说人们都称他为“阿卡拉斯（古代希腊传说中的神医）第二”。到现在还保存着的哥白尼曾经用过的那些标准医书的空白处，人们还可以看到他在当时经常使用的一些药方的手迹。

哥白尼的晚年，正是宗教改革运动在全欧轰轰烈烈地展开的年代。新教很快就传到了埃尔门兰德地区。一些天主教徒纷纷改奉新教。由于阶级地位的限制，哥白尼对这场具有历史意义的革命运动，态度是十分矛盾的。他一方面通过他的好友、虔诚的旧教徒基塞，表达了他反对罗马教廷残酷迫害新教徒的做法，主张旧教徒和新教徒进行说理辩论，不应当把新教徒烧死；但是，另一方面他又主张维持旧教教义中的“有价值部分”。

随着年岁的增长，哥白尼在教堂里的职务已经逐步由新来的年轻教士接替。

新来的教士和哥白尼意见不合，新任的主教是新教徒的死敌，而哥白尼反对迫害新教徒，再由于他的新奇的天文学理论与宗教的教义相抵触，所以，他在晚年就受到了新来的主教和神父们的排挤。

尽管晚年生活十分孤独，但是哥白尼并没有放弃改造天文学理论的决心。他利用晚年的余暇，对《天体运行论》的手稿作了进一步的修改。

当时，他的《浅说》已经在欧洲的学术界引起重视。1533年，教皇的秘书在梵蒂冈花园里向教皇克利门德七世和红衣主教们讲授哥白尼的新学说。1536年，红衣主教勋保特地从罗马写信给哥白尼，希望他尽快地将他的学说的全部内容整理出版。

1539年，哥白尼接待了一位来自远方的新教徒，他就是哥白尼一生中唯一的弟子、德意志威丁堡大学的数学教授雷梯卡斯。这位年青的日耳曼学者在得知哥白尼的见解以后，专程赶到弗洛恩堡来向哥白尼求教。他在弗洛恩堡住了两年，专心研究哥白尼已经完成的手稿。雷梯卡斯曾经将《天体运行论》一书的内容写了一个概要，告诉他在威丁堡大学的老师顺内尔。他取得了哥白尼的同意以后，这个取名为《初谈》的概要，就在1540年发表出来。在这篇《初谈》中，雷梯卡斯介绍了《天体运行论》的主要论点，强调了这些论点的新颖性，并介绍了《天体运行论》第一部分前四章的内容。《初谈》成了科学生活中的一个重要事件，引起天文学家、数学家、哲学家和其他人文主义者的巨大兴趣。这本书很快就再版，这使哥白尼迅速闻名遐迩。由于友人的鼓励，加上雷梯卡斯一再敦促，哥白尼在经过30多年的犹豫不决以后，终于决定将《天体运行论》这部“藏了49年”的“大家长久期待”的著作发表出来。雷梯卡斯返回威丁堡以后不久，哥白尼就托他的好友基塞把他手稿转交给雷梯卡斯到纽伦堡去付印。

在下决心发表《天体运行论》之前，哥白尼一度是胆怯的，正如他自己所说：“我生怕我的学说新颖而不合时宜，会引起别人的轻蔑，因而几乎放弃了我的计划。”

1543年，在经过了一番周折以后，《天体运行论》终于在纽伦堡印刷完毕，公开发行了。印刷好的著作送到哥白尼手边的时候，他已经睡在临终的病床上。他的生前好友基塞在给雷梯卡斯的一封信中谈到哥白尼在临终的状况时说：“多日以前，他已经失掉了记忆和思考能力，在他过世那一天，快要断气那一小时，才看见他的印成的全部作品。”

尼古拉·哥白尼逝世的那一天是1543年7月26日。

《天体运行论》这一反对宗教宇宙观的战斗檄文，不久就在天文学和意识形态的领域里激起了巨大的反响；哥白尼敢于创新、敢于革命的反潮流精神，在历史上留下了深刻的影响。

四、划时代的巨著

在近代科学的创始人中，哥白尼所以占据一个显著的地位，完全由于他死去那一年所刊布的一本大书。这本书是人类思想史上划时代的作品。作为天才的纪念碑，这本书是可以和托勒密的《至大论》，牛顿的《原理》与达尔文的《物种起源》相媲美的。这本书是一部六卷本的科学巨著。其中第一卷是宇宙概观；第二卷是天体运行的基本规律；第三卷至第六卷则是关于地球、月球、内行星和外行星的运行规律的数学论证。而关于日心体系的基本思想，主要集中在第一卷中。哥白尼对于其不朽的巨著并没有命名。当他将手稿交给他的朋友基塞付印的时候，那上面既没有书名，也没有作者的姓名。后来编辑将这本书命名为《托伦的尼古拉·哥白尼论天体运行轨道（共六册）》，后人简称为《天体运行论》。

一般人以为哥白尼是天文学的一位革命家，其理论是新奇的，推断是独创的。可是如果你仔细阅读《天体运行论》，一定会惊异地看见他书中含有很多亚里士多德的思想。例如他和古人一样相信天体在圆形轨道上以均匀速度围绕一个固定中心运行。哥白尼就根据这个不大合事实的“规律”，去证明地球在运动。他说：行星的视运动不是均匀的，就表明我们立足的地球不是固定在行星的圆形轨道的中心的。

那么地球是不是在运动？如果它在运动，我们怎样会知道呢？哥白尼说：“如果我们假设地球有某种运动，我们就须观察地球以外的东西，看它们是不是有一个共同方向的运动，这运动便反映我们从它们面前经过时，和我们的运动方向相反的运动。”所以要发现地球是否运动的唯一办法便是在地球之外去寻找天体，看它们是否有一种共同的运动。这种运动的一个显著例子便是天球由东向西一日一周的运动，这运动造成日月星辰的东升西落现象，哥白尼说：“这不是天球在运动，而是地球由西向东在旋转。”

哥白尼又将这个原则应用到比较复杂的情况上去。从周围物体的视运动去发现观测者所在处的真运动，有一个很大的困难便是被观测的物体很可能也有它们自己的运动。由于行星也有自己的运动，所以问题就不容易解决。于是哥白尼选择恒星作背景去研究太阳在天空运行的视轨道。古人以为太阳围绕固定的中心——地球，在一圆形的轨道上运动；但是我们也可以假设地球围绕固定的中心——太阳，在一圆形的轨道上运动。那么我们应该假设行星具有什么样的真运动才使地球的运动反映在那上面，去造成我们对行星所观测到的现象呢？这问题虽然不容易解决，但是答案却很简单。假设地球围绕中心的太阳在圆形轨道上运动，那么每个行星也围绕同一中心，各在其圆形轨道上运动。于是地球和行星的轨道都是以太阳为公共中心的圆周。哥白尼得到这个十分简单的结论之时，他从毕达哥拉斯学习得来的数学的直觉告诉他，这是真正的事实。他才断定：“太阳居住在中央。在这光辉灿烂的庙堂里，除了那个普照环宇的重要地位之外，还有更合适的地方去安置这个伟大的发光体吗？……所以太阳坐在它的宝座上，控制着诸大行星，使它们环绕它而运行。”

哥白尼在《天体运行论》中真实地揭示了地球在宇宙中的地位及其运动规律。要论证太阳是宇宙的中心，关键在于揭示地球在宇宙中的真实地位及其运动规律。这是因为，只有在揭示地球在宇宙中的真实地位和论证地球运动规律的基础上，才能科学地说明太阳和行星的视运动现象，即以地球的运

动来证实太阳是宇宙的中心。为此，哥白尼指出，地球绝非宇宙的中心，而只不过是一颗普通的行星。它与其它行星一样，在自己的轨道上环绕太阳运转。因此，只能把地球看成一颗行星。为此，哥白尼不仅揭示了地球在宇宙中的真实地位，而且具体地论证了地球本身的运动规律。哥白尼指出，地球本身同时进行着三种运动：第一种运动是地球本身环绕地轴的周日自转运动。由于地球自转是一种从西向东的旋转运动，所以太阳和整个宇宙背景表现为从东向西的旋转运动。第二种运动是地球以太阳为中心的周年公转运动。第三种运动则是地轴本身的回转运动。正是在揭示地球的运动规律的基础上，哥白尼才得以对日心体系进行科学的论证。

哥白尼还真实地揭示了月球的位置。哥白尼指出，月球并不是一颗行星，而只不过是地球的一颗卫星。他说：“地球还有一个侍从——月亮。”

在《天体运行论》中，哥白尼科学地揭示各种天体的序列，建立起了一个完整的以太阳为中心的新的宇宙体系。

哥白尼的体系主要是假设地球与行星都在同心圆周上围绕太阳运行。水星在最内的圆周上，土星在最外的圆周上。月亮围绕地球运行，同时更被地球带着，围绕太阳运行。恒星则在距离太阳很遥远的空间里。至于恒星的分布，固定在一个球面上呢，抑或散布在无限的空间里，哥白尼还无法回答这个问题。这样简单的行星理论还不能详细说明由观测得来的事实，因为行星的运动遵循的是一些复杂的定律，而不是以均匀速度在圆周轨道上运动。这些定律在哥白尼死后 60 多年才被人发现。哥白尼为适合观测数据而调整他的理论真是煞费苦心。为了使理论去牵就观测，他还使用了托勒密的均轮、本轮和偏心圆等几何图案。所以哥白尼的太阳居于宇宙中心的理论（这是有永久价值与发展前途的思想）和哥白尼的体系（为解释行星的运动而作出的巧妙设计）须得分别看待。哥白尼的理论是正确的，哥白尼的体系很快就为开普勒所推翻了。

在研究了天体运行规律之后，哥白尼在第三卷中研究了地球的各种运动。在比较精确的理论中，他认为地球的轨道是一个太阳略为偏离其中心的圆。哥白尼对地球运动的说明的一个重要特点，是他解释了二分点的岁差。约在公元前 150 年发现这种现象的罗得岛的希帕克把它归因于恒星球围绕黄道轴缓慢转动。哥白尼对这种岁差提出的近代解释是，地球赤道平面的变动引起地球的轴在空中画一个锥形。这里，为了使他的理论与某些古代和中世纪的观察相一致，他又没有必要地使他的理论复杂化。

在对地球运动的研究之后，下一卷专门论述了月球理论。月球同地球的关系不受哥白尼发动的观点变革的影响，而且他对托勒密已经知道的月球运动在黄经上的不均衡性也没有作什么补充。但是，他表示这些不均衡性的方法比《至大论》更令人满意。按照托勒密的理论，月球的角直径有时候应该是它在其他时候的二倍；哥白尼发现一种表示月球黄经运动的方法，它和托勒密一样正确，但是它没有大大夸大月轮视尺寸的微小变动。然而，哥白尼仅略作改动就采纳了托勒密大大低估了的太阳到地球的距离即仅约为地球半径的 1200 倍。天文学一直抱住这个谬误，直到 17 世纪下半期，由于应用望远镜进行精确的天文测量，才有可能作准确的测定。

《天体运行论》的最后两卷分别论述行星的黄经和黄纬运动。哥白尼在行星不处于平冲时对它作一次观察，把实际观察到的该行星从地球轨道中心看来的位置同该行星位置相比较，然后求出这两个位置之差。根据这些数据，

哥白尼能够按照地球轨道半径求得行星偏心圆的半径。他得到的结果与现代的“平均距离”相当接近。

在解释所观察到的行星对黄道面的偏离——它们的黄纬运动时，哥白尼假设几个轨道平面的交角有周期性的变动。开普勒后来认识到，这种做法是使行星的运动以地球轨道中心而不是正确地以太阳为参照这种基本错误的必然结果。哥白尼对内行星黄纬的处理尤为复杂。而且所用的方法几乎完全因袭了托勒密的《至大论》。

哥白尼的目标是编制数值的行星表。其精度不下于任何根据地心假说编制的星表。他根据《天体运行论》中提出的理论所编制的星表，使得能够很容易地计算出太阳、月球和行星在任何给定时刻的位置。成为该书基本特点的这些星表，事实上是对当时通用的那些星表的改进，这种情况间接地促进了天文学家们接受这个新学说。但是，由于这些星表所根据的只是最低量的、粗略而又往往不可靠的观察（它们包容在一个误以为符合于虚幻的物理定律的理论之中），所以它们的精确度必定要减损。几年以后，哥白尼的学生重新仔细考查了这些数据，使之略有改进。然而，在这种新的宇宙论能产生与之相称的星表之前，还必须有待于帝谷·布拉赫所做的那些精密而又有系统的观察，以及开普勒的坚韧而喜欢冒险的天才。

五、日心学说的发展

哥白尼的日心学说的杰出的科学成就和特有的革命锋芒，点燃了近代科学革命的火炬。就这个意义来说，哥白尼的日心说的成就是无疑是主要的，它不愧为近代科学史上诞生的第一个具有重大影响的科学体系。但是，哥白尼的日心学说也有实验基础和数理基础不够完善的历史局限。尽管如此，日心学说在问世之初还是产生了强烈的社会反响，并得以比较迅速地传播。

最先敏锐地觉察到哥白尼日心学说的理论局限的是哲学家和天文学家布鲁诺（1548—1600）。布鲁诺在积极地宣传哥白尼的日心学说的同时，以他的宇宙理论修正了哥白尼的日心学说中的“太阳是宇宙的中心”和“恒星天层是宇宙的边缘”等理论谬误，从而对哥白尼的日心学说作出了重要的发展。

1584年，布鲁诺写成了《论无限、宇宙和世界》、《论原因、本原和统一》等重要的自然哲学著作。在这些著作中，布鲁诺以他的宇宙论发展了哥白尼的日心说。

哥白尼的日心说认为，太阳是整个宇宙的中心。但布鲁诺的宇宙论认为，太阳并不是整个宇宙的中心，而只不过是太阳系的中心。布鲁诺认为，太阳与其他恒星一样，只不过是宇宙中的一颗普通的恒星。它与其他恒星并没有什么不同之处。反之，其他千千万万颗恒星，也是它们各自所在的那个星系的太阳。至于地球，它只不过是太阳系的一颗普通行星。对于整个宇宙来说，它不过是宇宙中的一粒微小的尘埃。布鲁诺还由此推测，地球绝不是宇宙中唯一有人居住的星球，在别的星系之中，也一定有与地球一样有人居住的星球。这样，布鲁诺就从根本上否定了哥白尼提出的太阳是宇宙的中心的思想。布鲁诺还进一步推断，不仅太阳不是宇宙的中心，而且整个宇宙根本就没有中心。这就是布鲁诺在修正哥白尼的太阳是宇宙的中心这一思想的基础上提出的宇宙无中心论。

哥白尼的日心说认为恒星天层是宇宙的边缘。因此，哥白尼的日心体系与托勒密的地心体系一样，实质上还是一种有限论的宇宙体系。而布鲁诺的宇宙论认为，既然宇宙没有中心，那么它也就没有边缘。而一个没有中心和没有边缘的宇宙，必然是一个无限的宇宙，这就是布鲁诺的宇宙无限论。

由于布鲁诺的宇宙理论的建立，不仅克服了哥白尼的日心说的理论局限，从而对日心说作出重大发展；而且开了近代天文学的宇宙论之端，从宇宙学方面为近代天文学的发展提供了一个最初的无限宇宙模型。

布鲁诺的宇宙论及其革命意义已经超越了他的时代，他的宇宙论在当时甚至连接受哥白尼的日心学说的天文学家也难以接受，在宗教中更引起了震惊。1600年初，罗马教廷将布鲁诺处以火刑。

由于哥白尼的日心学说存在着实验基础不够完备和数理基础不够完善这两个基本方面的局限，所以自哥白尼之后，天文学革命出现了两种新趋势：其一，观测天文学迅速发展。丹麦天文学家帝谷便是这种新趋势的代表人物。其二，数理天文学迅速发展。德国天文学家开普勒便是这种新趋势的代表人物。

哥白尼的日心学说发表以后，第一个在观测天文学方面作出重要贡献的，是丹麦天文学家、天文观测大师帝谷·布拉赫（1546—1601）。帝谷在天文观测上所取得的成就是无与伦比的。近代早期天文学上的最重要的观测工作，差不多都是由帝谷进行的。

帝谷的天文观测是比较精密的。为了进行精密的观测，他发明和改革了不少天文观测仪器。利用这些观测仪器，他的天文观测精确度达到了当时肉眼观测能达到的最高水平。由于观测精确度极高，帝谷因此发现了月球运动的“二均差”现象。帝谷所编制的恒星表至今仍有重要价值，他在20余年时间内积累起来的行星运动史料，后来成为开普勒发现行星运动定律的直接实验基础。

虽然帝谷的天文学兴趣主要在天文观测方面，但是他对于作为天文学基础的宇宙体系同样感兴趣。在多年的观测实践与研究中，帝谷对日心体系和地心体系都不尽满意。在神学与科学、地心体系与日心体系的矛盾夹击之下，帝谷逐渐构思出了一个介于两大宇宙体系之间的折衷体系。1582年，帝谷明确提出了他的这个新的宇宙体系。帝谷说：“按照古人的说法和《圣经》的启示，我认为只能把地球安置在世界中心。但我不赞成托勒密的那种主张。我想，只有太阳、月亮以及包含全部恒星的第八重天才以地球为中心而运行，五颗行星则绕太阳运行。太阳处在它们的轨道中心，它们像陪伴君王那样绕太阳作周年运动。”这就是帝谷提出的行星绕着太阳转而太阳、月亮绕着地球转的一个折衷的宇宙体系。这一太阳和地球的双重中心体系实质上不过是托勒密的地心体系的翻版，吸收了哥白尼日心体系的某些理论而已。

帝谷在初步提出他的宇宙体系之后，就力图以天文观测来证实他的体系，但最终也未能如愿。

帝谷体系如果出现在哥白尼之前，对于托勒密体系而言，它还具有一定的进步意义。但是，在哥白尼的日心体系已经问世之后，帝谷的折衷体系就只能是一种历史的倒退了。帝谷的天文观测成就是令人惊叹的，但他的理论失足却是令人遗憾的。在近代天文学史上，他虽然是当之无愧的以观测见长的杰出的实验天文学家，但在数理天文学方面，他却只是一个平庸的理论天文学家。帝谷在宇宙体系的理论探索中看来是失足了，倒退了，但就一定的意义说来，帝谷体系确实又是日心学说由哥白尼体系向开普勒体系发展过程中的一个必然的转化环节，一个必经的阶段。

帝谷在布拉格致力于天文学研究时，获得了一位他十分赏识的助手，这就是德国的年青天文学家开普勒（1571—1630）。

和哥白尼一样，开普勒也受到当时在欧洲复兴的毕达哥拉斯的思想的影响，力图追求宇宙的数的和谐。

1596年，开普勒发表了他的第一部天文学论著《神秘的宇宙》。在这一著作中，他提出了一个以五个等边立体的外接圆球的套件来说明行星之间的数学关系的几何模型。在这个几何模型中，开普勒认为，行星的距离与它所在的天层的天球壳的半径相关，而这些天球壳又与五个等边立体套件内接和外切。这个模型没有也不可能真正揭示出行星轨道之间的数的关系，但却集中表现了作为一个毕达哥拉斯主义者的开普勒的科学思想、科学方法和科学追求。

1604年，开普勒发现了蛇天星座的超新星。这是当时发现的银河系的第三颗超新星。由于开普勒历来具有浓厚的数理天文学兴趣，因此他逐渐把他的研究重点从观测天文学转到数理天文学方面，试图建立一种新的宇宙的数的和谐体系。开普勒本人既不相信托勒密的地心体系，也不相信帝谷的折衷体系，而是坚持哥白尼的日心体系，坚持采用哥白尼的日心体系来作为数据分析的理论基础。

开普勒的第一个工作是企图将火星的观测数据，归纳为它的运动规律。开始他是以旧有的几何技巧表示行星的运动，后来他从许多物理的根据去研究太阳怎样使行星维持在轨道上运行。经过多年的研究，1609年，开普勒出版了一本题为《新天文学》的论著。在这一论著中，开普勒论述了他所发现的行星运行的第一定律和第二定律。

行星运动第一定律是：每一行星都沿一椭圆轨道环绕太阳运行，而太阳则处于椭圆的一个焦点上。由于第一定律主要是描述行星环绕太阳的运行轨道，因此行星运动第一定律也称为行星运动的轨道定律。

行星运动的第二定律是：从太阳到行星所联接的直线在同等时间内扫过同等的面积。行星运动第二定律是揭示行星的线速度不均匀的规律的，也称为行星运动的面积定律。

发现行星的两个定律之后，开普勒并未就此止步。十年之后，开普勒于1619年在其所著的《世界的和谐》这一新论著中，公布了他发现的行星运动的第三定律：行星公转周期的平方等于它的对日平均距离的立方。第三定律给计算行星运动的轨道和公转周期带来了极大的方便。更重要的是，第三定律揭示了行星向径与公转周期之间的内在联系。因此，第三定律也称为行星运动的周期定律。

行星运动三定律的发现，是对哥白尼日心学说的重大发展，因为行星运动三定律不仅初步克服了哥白尼学说的历史局限，而且把哥白尼的日心学说建立在更为完善的数理基础之上。这样，日心学说就从哥白尼体系发展到开普勒体系这样一个新的发展阶段。

当开普勒宣布发现行星运动第一定律和第二定律，从而奠定日心学说的数理基础时，在意大利，近代实验科学的伟大奠基者、开普勒的朋友伽利略（1564—1642）也以天文望远镜的发明为日心学说的确立和发展作出了重大贡献。如果说，开普勒对日心学说的重大贡献在于为日心学说奠定了实在的数理基础的话，那末伽利略对日心学说的主要贡献在于为日心学说奠定了直接的实验基础。

哥白尼的理论开始所以遭到很多的反对，主要原因是那时的人对物体为什么运动有一种错谬的看法。直到17世纪人们对于力学才有比较正确的看法。伽利略使力学成为一种近代的科学。伽利略澄清了哥白尼理论在力学上的障碍之外，并从另外两个方面去推进了它。首先，他用那时新发明的望远镜去观察天体，发现一些现象，对于解决新旧两种宇宙观的纷争，起了很大的作用；其次，他在科学与宗教的战争里，表现为无比英勇的战士。

1608年，荷兰德尔堡的眼镜制造商汉斯·利波尔塞根据一次偶然的发现，发明了第一架望远镜。1609年5月伽利略听说这一消息时，立即意识到望远镜将对观测天文学具有重大科学价值。于是，他立即对光学原理和磨镜技术进行了实验研究，于当年试制成功了第一台可放大30倍的天文望远镜。第一台天文望远镜就这样发明了。

1601年伽利略开始用望远镜去观察天体，并在当年发表的《星际的信使》和《论太阳的黑子》等论著中，报道了他的一系列重大的天文发现。在伽利略的天文望远镜中，人们第一次见到了前所未有的天体奇观。而伽利略的这一系列的杰出天文发现，特别是木星的卫星、金星的位相这些杰出的天文发现，第一次为哥白尼的日心学说提供了直接的实验证据，而哥白尼的日心学说也因此第一次在实验观察中得到证实。

哥白尼快要死去的时候，凡是主张不合教会思想的人就会受到迫害。不过那时还仅限于宗教思想，一位有名的牺牲者，便是布鲁诺。到了伽利略的年代，这种不容异己的迫害越来越严重，推广到有关科学的思想，于是伽利略便成了第二个受迫害者，教廷禁止伽利略继续研究哥白尼的学说，不准他再为日心体系辩护。

伽利略虽然表面上表示服罪，但他在实际上并未放弃哥白尼的日心学说，悄悄开始他的主要天文学著作《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》的写作。《对话》于1632年在佛罗伦萨出版。《对话》是一部巧妙地论证日心体系的科学巨著，是继哥白尼的《天体运行论》和开普勒的《新天文学》之后的又一天文学杰作。同时也是继哥白尼的日心体系和开普勒的行星定律之后对基督教神学的又一次沉重打击。

《对话》一书由萨尔维阿蒂、沙格列陀和辛普利邱三人在四天内的对话组成：

第一天，通过三人的对话，批判基督教神学的天体观，特别是批判基督教神学历来认为天体与地球根本不同的谬论；同时论证地球是与其他行星一样的一颗运动中的行星。

第二天，通过三人的对话，批判托勒密的地心学说中的地球静止不动的谬论，论证地球的周日运动，即地球自身的绕轴自转运动。

第三天，通过三人的对话，批判托勒密体系的地球中心论；同时论证太阳系的中心是太阳，而不是地球；并进而论证地球与其他行星一样的绕日公转运动，即地球的周年运动。

第四天，通过三人的对话，讨论潮汐问题。

伽利略的《对话》也有其严重的理论局限。这种理论局限集中地表现为《对话》缺乏像开普勒体系那样严密的数理基础。由于伽利略本人是比开普勒更道地的毕达哥拉斯主义者，他不仅信守宇宙中存在着数的和谐这些基本合理的思想原则，而且笃信天体运动是匀速圆周运动这样狭隘的思想信条。所以，在数理基础方面，伽利略仍然与哥白尼一样，坚持认为天体运动是匀速圆周运动，而对开普勒早已提出的行星运动是椭圆轨道上的变速运动的理论置之不理。

1632年《对话》出版之后，立刻遭到耶稣会教士的攻击，控诉他向检查人隐瞒了他从前受到的不再宣传哥白尼学说的警告，而以欺骗教皇的方式取得他的书的刊印权。1633年6月22日，伽利略以缺席被判终身监禁。由于伽利略对力学的改造，在望远镜里的发现和对教士们所作的斗争，当其倒下的时候，他已经将哥白尼的学说推进到最后的胜利，这是他没有想到的；因为1642年当伽利略在囚牢里死去之时，在英国诞生了牛顿。

当开普勒想用力学的原理去说明行星为什么在轨道上运行的时候，他认为必定有一种力量在推动它。伽利略发现了力学基本原理以后，他感觉这种力量是太阳拖着行星的。牛顿根据这个线索终于引导他获得行星运动的正确解释，为人承认以至今日。牛顿的行星运动理论是以哥白尼的理论为基础的。牛顿的理论不只应用于行星的运动，而且推广到一切天体。因牛顿的理论范围广大，而且无往而不胜，所以很快就被人们接受，哥白尼的理论亦因而得到人们的承认。

牛顿潜心研究了开普勒的行星运动定律，他是了解这些定律的深切意义的第一个人，他从这些定律得到他所需要的资料。他寻找着引力随距离变化

的规律。他计算出地球施于月亮的引力就是使月亮在其轨道上运行的力量，而且不需要有其他的力量。牛顿更进一步证明太阳也施同性质的力量于行星上，使它们在各自的轨道上运行。开普勒凭经验寻得行星的轨道是椭圆。牛顿根据他的引力定律，用数学推出这个结果。

牛顿在行星运动的问题上工作了 20 年，最后写成了一本千古不朽的巨著：《自然哲学的数学原理》。这本书奠定了近代力学的基础。它表明哥白尼的行星系统是一个伟大的机构，可以从牛顿首先理会到的力学定律得到解释。在这种天体的机构下，彗星的神秘的飘荡运动也被证明为受着同样的定律的支配。

经过多年的研究之后，牛顿终于将使苹果落地的力量，维持月亮在轨道上运行的力量和一切天体互相吸引的力量都统一为一种力量，而且还证明这些力量产生于物质所共有的一种性质，因而才使宇宙里每一个质点和另外的质点互相吸引。这引力的强度和所讨论的两个质点的质量及其间的距离有一个确定的关系。这关系叫做万有引力定律，牛顿根据它说明了有关天体的许多现象。牛顿以后的天文学家沿着他所开辟的道路，解释了很多他没有察出现象，并形成一种由数学去研究天体运动的天体力学。

哥白尼的学说便这样得到全面的胜利，经过的过程并不是由于巧妙的推理，或者证明地球运动的新发现，而只是被包括在牛顿关于物质世界的理论之内。牛顿的成功摧毁了日心说的一切障碍。

亚里士多德认为土、水、火、风是地上的四种物质，都循直线方向而运动，天上的物质只有“以太”，循圆周方向而旋转。牛顿的自然体系根本打消了天上地下的区别，一切物质同为一种力学所支配。19 世纪里由天体物理的研究，说明构成一切天体的物质和地上的物质并无本质之不同。所以从哥白尼开始的思想革命，经过了几百年，终于表明物质宇宙是一个统一的整体，没有任何一部分具有特殊的地位与性质。宇宙到处运行着相同的规律，一切事件都在因果关系里不断地演变。

六、哥白尼学说在我国

我国古人对于天地的看法有一个叫做盖天说的，主张“天圆如张盖，地方如棋局”。现今处在平原地区的人很容易把地看作是一个圆盘，上面覆盖着一个蓝色的大碗。可是距今 2000 多年以前，已经有人设想地应该是球形的，以配合完全围绕着地的天球。例如我国古代对于天地的另一种理解，名叫浑天说的，便主张“天之形状似鸟卵，天包地外，犹卵之裹黄。”

我国古人最早认为地球悬挂于浑天的空中，静而不动，日月星辰则在地球外面昼夜不停地旋转。但从西汉以至南宋，即从公元前 2 世纪以至公元后 13 世纪，对于地动的思想显然有过片面的看法。据《春秋纬书》“元命苞”说：“天左旋，地右动”，又“运斗枢”说：“地动则见于天象”。这就是说我国古人从星辰左旋，而悟到天球左旋，更由天的左旋而想到地的右转。又据《尚书纬书》“考灵曜”记载，可以知道当时已经直觉到地球还有围绕一个中心的运行。据那章书上说：“地有四游，冬至地上壮而西三万里，夏至地下南而东三万里，……地常动不止，譬如人在舟中坐，舟行而人不觉。”可惜我国古人没有从这些由直觉悟到的思想出发，像哥白尼那样，根据实际观测去建立太阳系的理论，因而我国的天文学没有像西欧那样发展下去。

明朝末期（17）世纪中叶）耶稣会传教士利马窦等人来华传教，他们只宣传托勒密和帝谷的学说，因为当时旧教徒还把哥白尼的学说当作邪说。徐光启等人编的《崇祯历书》，虽然屡次提到哥白尼，但只应用了他的计算方法，并没有介绍日心说，而且主张“地体不动”。乾隆七年（1742 年）清政府编《历象考成》后篇，虽然已经用了开普勒的椭圆定律，但是椭圆焦点上摆的不是太阳，仍是地球。乾隆二三十年间蒋友仁翻译《地球图说》，才对哥白尼学说作了较详细的介绍，但只看作是一种学说，而且他自己也没有应用。即使这样一个介绍也引起一些封建学者的反对。阮元在《畴人传》里“蒋友仁传”之后批评说：“上下易位，动静倒置，离经叛道，不可为训。”真正举起哥白尼的旗帜的还是李善兰，他在《谈天》中，对阮元进行了批判。他说：“议者未尝精心考察，而拘牵经义，妄生议论，甚无谓也。古今谈天者莫善于子與氏苟求其故之一语，西土盖善求其故者也。……哥白尼求其故，则知地球与五星皆绕日。……刻白尔（即开普勒）求其故，则知五星与日之道，其行法面积与时恒有比例。然俱仅知其当然，而不知其所以然，奈端（即牛顿）求其故，则以为皆重学之理也。……余与伟烈君所译《谈天》一书，皆主地动及椭圆立说，此二者之故不明，则此书不能读。”自此以后哥白尼的学说才逐渐为我国人所认识。

七、哥白尼学说的评价与影响

哥白尼的理论像一个有生命的物体那样，在继续不断地生长和发展。哥白尼的初期信徒，虽然在建立太阳中心的宇宙观上作出了贡献，可是每一个人都将哥白尼原来的图案作了一些修改，他们给近代天文学保留下来的太阳系的面貌，和哥白尼的原始形式只有稀微的相似而已。哥白尼和他同时代的人认为宇宙是一个包括万物的球。争论之点只是太阳抑或地球位置在这个球的中心。哥白尼将太阳放在这个特殊位置，而使行星围绕它运行，轨道还是偏心圆和本轮的综合结构。但是哥白尼死后 30 年，人们开始提出空间向各方无限伸展，而且并没有所谓中心的问题。再过一代，偏心圆和本轮的思想被打消掉，而只保留了天体的正圆运动。大约在哥白尼死后一个世纪，一整套新的运动定律被人提出，同时可以应用于地上和天上的物体。天与地的区别很快也被消除了。起初人们把太阳及其行星系当做是唯一无二的结构。但是在 17 世纪里人们开始觉察恒星都是太阳，也许它们都各有自己的行星系，在空间里自由运行，因而我们的太阳也成了一颗运动的星。

这一切进展都在打消早期天文学家采取一个天体作为固定的标记。到了 18 世纪，地球或太阳孰静孰动的老问题便不能用以前那样简单的概念去解说了。因此 19 世纪里，许多人想用巧妙的光学试验去证明地球在运动，并测其对空间本身运动的速度。这问题可以比喻为一位坐在车厢里的乘客想知道他所乘的火车是不是在运动和运动的速度。地球上的科学家所处的位置很像车厢里的乘客。他想测量地球对于空间本身的运行速度，但总归于失败。这种失败是必然的，因为这位科学家想寻找本来不存在的东西。空间并没有固定的标记，只有游荡的天体像邻近铁轨上运行的火车那样。所以我们不能测量地球在空间运行的方向与速度。这不是因为我们的智慧不够，而是因为这个问题没有意义，我们只能说地球和一切天体都像火车那样在作相对运动。如果把一个天体作为固定，这仅仅是为便利研究特殊问题而作的一种选择。这样看来，哥白尼以太阳为固定中心，以研究行星的运动，也是一种选择。在这个观点下，我们可以进一步对哥白尼的理论加以评价。

首先我们应该提出衡量科学理论所应采取的标准。我们认为至少有两个标准：第一，一个好的理论应当能够将许多孤立和貌似没有意义的事件，综合在一个可以理解的系统里，使我们看出这些事件之间的关系。其次，一个好的理论应当能够提出一系列的探索问题，从而推动许多有成果的研究；在这些研究里可能导出新的发现并推翻旧的理论，且说明新发现的和已知的事件或现象之间的关系。因为没有一种理论可以看作是最后的真理，所以每个理论只可当作是促进研究，使其接近真理的一种工具或阶段而已。现在我们就用这两个标准去衡量哥白尼的理论。

由于哥白尼选择了太阳作为定标的中心，便容易说明那时的一些困难问题，例如行星的奇特的视运动。以后的天文学家采取了类似的观点，还能够解释许多哥白尼时代所不知道的事件。而且从太阳是行星轨道的中心的观念出发，更导出许多新发现，例如开普勒的定律，伽利略的力学原理，而牛顿凭借这些定律与原理，才将天空行星的运动和地面物体的运动联系起来，作为一个伟大的综合。从这个观点去看过去四百年的发展，我们可以肯定地推崇哥白尼的理论，并赞扬其不朽的功绩。

哥白尼学说对于近代天文学和物理学所起的创始作用已经叙述于前，现

在略谈它对于宗教和政治各方面所产生的影响。

日月星辰绕地运行的现象被解释为地球的绕轴自转和绕日公转两种运动，在我们今天的意识里已经成为“家喻户晓”非常明白的事。可是关于宇宙的理论，以日心说代地心说，实在具有很大的革命意义。现在先谈在宗教上的影响。当中世纪地心说盛行的时候，人类的世界观很狭窄而偏颇。他们把地当作是平坦的，下面是净土和地狱，高出月亮的远方是“天堂”。星球都叫做“天体”，和人所居住的地大有区别。一切天体都围绕地作为它的从属而运行。“上帝”远居高天，创造一切，各人的祸福也为他所注定。整个宇宙为地，即是为地而存在。中世纪的这种人类中心的宇宙观，表现在但丁所著的《神曲》，它里面所写的三部曲（地狱、净土和天堂）不只是诗人想象的描绘，实在是根据当时人民信仰中的意识形态，换句话说，即当时人心的叙述。

但是如果采取哥白尼的学说，这些偏颇、浅薄的思想便当摒弃。地球既然不是宇宙的中心，而成为行星中的一体，那么宇宙全体自然不因地球而存在。各人的命运为上帝所注定，自然也是不通的见解。地狱与净土在这新的天文学里，实在没有存在的余地，因为“地下”两字并没有一定的方向，全汇聚到地心。“天”这个字成了空间的别名。既然“天”都没有了，还有什么“堂”呢？所以天堂地狱实在是“乌有之谈”，不过代表人们思想中的两种境界。“上帝”因此也不能看作是远处高天的“至尊”，而不过是人们意识中的一种幻想罢了。这便是哥白尼学说对于“神学”的影响，逐渐渗透在欧洲人脑子里的教训。

因为天尊地卑的宇宙观，中世纪人的思想都是二元的。在修持上有来世与今生，在管理上有宗教与政治，在人群有僧侣与世俗，在出身有高贵与卑贱。但是按照哥白尼的学说，天与地既无尊卑之分，那么社会上也不应有高低之别。近代宗教、政治以及社会的一切民主、平等的趋势，虽然有其客观的社会经济因素，但哥白尼学说在思想上有其首创的影响。总之，哥白尼学说不但改造了几千年人类固有的宇宙观，而且从根本上动摇了中世纪宗教和政治上的思想基础，从此人们不再甘心忍受现世实际的痛苦，追求来世渺茫的幸福，而任人不任天，靠己不靠神了。哥白尼学说和哥伦布发现新大陆，同是文艺复兴时代惊天动地的大事，此后欧洲的科学与文化改变了一个面貌，这一线曙光可说是从哥白尼学说首先发出的。

