

自然科学史讲稿

下 册

中国科学院干部进修学院

一九八〇年八月

目 录

(下 册)

第十一讲	哥白尼的天文学革命	刘金沂 (163)
第十二讲	新宇宙观	刘金沂 (178)
第十三讲	新地球观	宋正海 (193)
第十四讲	文艺复兴以来生物学的重要成就	潘承湘 (209)
第十五讲	进化学说史	王敏慧 (219)
第十六讲	现代遗传学的建立和发展	李佩珊 (232)
第十七讲	分子生物学的诞生和发展	李佩珊 (245)
第十八讲	激光科学技术发展简史	张钟静 (256)
第十九讲	空间技术发展简史	张钟静 (268)
第二十讲	建筑技术	吴熙敬 (272)
第二十一讲	交通运输	吴熙敬 (283)

第十一讲

哥白尼的天文学革命

刘 金 沂

在这一讲里，主要介绍人们对天地结构的认识过程，从地心概念转变到日心概念过程中所遇到的种种困难和斗争，哥白尼和其后几位科学家对建立科学的太阳系概念所做出的贡献。总之，就是介绍人们是怎样认识太阳系的。

一、古人的天地观

自古以来，人们头顶青天，脚踏大地，天亮了，日出东方，日落西方之后黑夜来临，星辰、月亮从东方升起并逐渐西行，日复一日，年复一年。这太阳、月亮、星星、大地之间到底有什么关系？天空和大地的结构如何？诸如此类问题很早就引起了人们的思考，各个民族都产生了自己的一些独特看法。

在我国古代，最初人们产生了天高地厚的最朴素直观的概念。《诗经》一书中有一首诗，提到“谓天盖高”“谓地盖厚”，（《小雅正月》）这就是远古时代人们对天地的一种看法。后来产生了天圆地方说，主张“天圆如张盖，地方如棋局”，即认为大地是一个平直的每边八十一万里的正方形大块，天则是一个圆形的盖子，天顶的高度是八万里，四周下垂。而大地是静止不动的处于中央，日月星辰则附辍在天盖上随之旋转。

古人关于天高地广的这些数字是怎样得来的姑且不谈，关于天象个圆盖罩着大地的概念看来还是很直观的。每当我们来到广阔的田野或登上山顶、高楼，你总会感到天在远方渐渐低下与地相接，周围是一个圆形，整个天穹象个大锅倒扣在大地上，古人的“天圆如张盖”的概念异常清晰，而大地是方形的一大块，象个大棋盘的看法确实令人费解。难怪在很古的时候就有人提出了怀疑，春秋时代单居离去问孔丘的弟子曾参：“天圆而地方，诚有之乎？”曾参回答说：“如诚天圆而地方，则是四角之不掩也”。他已经感到，如果天真是个圆形的，地是方形的，那半球形的天盖与方形的大地在四个角处岂不是合不拢吗？

有另一种天地结构的盖天说，避免了天圆地方说存在的矛盾，它认为：“天不与地相接，而是象一把大伞高高地悬在大地的上方，有绳子拴住它的枢纽，周围还有八根柱子支撑着”。天地的样子就象一座圆拱形的凉亭。在诗人屈原的诗中反映了这种看法，但

屈原对此却表示怀疑，他提出了一连串的问题，请看郭老对《天问》有关部分的译文：

这天盖的伞把子，	八方有八根擎天柱，
到底插在什么地方？	指的必竟是什么山？
绳子，究竟拴在何处	东南方是海水所在，
来扯着这个帐篷？	擎天柱岂不会完蛋？

看来这种天地结构的看法也是不能令人满意的，人们仍在顽强探索。

公元前一世纪的西汉时代编成了一本书叫《周髀算经》。书中记载了一种新的盖天说，认为“天象盖笠，地法复盘，天地各中高外下”，这种盖天说在对地的认识上有了进步，认为地是倒扣着的盘子，也是一个圆拱形，这可算球形大地的先驱。对天的看法则继承了以往的盖天说。仍然是盖在地上的半球形，日月星辰都附辍在天盖上，随天盖而旋转。并且认为当太阳绕近了时，就是白天，绕到远处时就是黑夜，这是人们对昼夜形成的原始看法。

在汉代，人们形成了另一种天地结构的学说，就是浑天说。盖天说总是认为天在地上，不会没入地下，而浑天说认为天是一个球形，包围着大地，地在天之中。张衡说：“浑天如鸡子，天体圆如弹丸。地如鸡中黄孤居于内，天大而地小，天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄。天地各乘气而立，载水而浮。”“天转如毂之运也，周旋无端，其形浑浑，故曰浑天”。日月星辰随天球旋转，转到地上时就可见，转到地下时就不可见，浑天说以此来解释昼夜形成、星辰出没取得了成功，因此得到人们的相信。张衡根据浑天说制成了一架水运浑象，就是一架自动的天球仪，可以跟天象一致地旋转。北京历史博物馆和建国门古观象台上都有类似的浑象和模型。

与盖天说、浑天说同时流传的还有一种宣夜之说，这种学说认为天是无限的，星体自然飘浮在空中，各按自己的规律运行。《晋书·天文志》记道：“宣夜之书亡，惟汉秘书郎郗萌记先师相传云：天了无质，仰而瞻之，高远无极……。日月众星，自然浮生虚空之中，其行其止皆须气焉。是以七曜或逝或住，或顺或逆，伏见无常，进退不同，由于无所根系，故各异也……。”宣夜之说是一种宇宙无限思想，与实际情况较为相近，但是在中国历史上流传不广，浑天说能较好地预报天象和星辰出没，对历法计算有很大帮助，在我国历史上流传统治了一千多年，直到明末之后才为哥白尼学说所代替。盖天说历史悠久，虽然后来相信的人不多，但天圆地方的概念影响很大，至今北京的天坛是圆形的，地坛是方形的，也是这种影响的表现。总之，中国历史上的天地结构学说都是属于地心体系，是以地球为宇宙的中心而建立起来的。这一点在整个古代世界里都是共同的。

在古代印度，也认为大地在宇宙的中心，它由四只大象驮着，而大象又站在庞大的乌龟背上，乌龟浮在大海里，至于大海在什么地方就没有下文了。在地的下面有孔穴，是死人居住的地狱，在地的上方有天堂，是神仙居住的极乐世界。这种天地观有浓厚的宗教色彩，它曾随着佛教传入我国，在北京雍和宫里就有这种结构的模型。

在西亚、南欧、埃及等地方，也很早就诞生了有关天地结构的学说，出现了一些有名的思想家和科学家，先后形成了爱奥尼亚学派，毕达哥拉斯学派，柏拉图学派和亚历山大学派，他们当中许多代表人物的伟大思想对天文学的发展有重要影响。例如，他们提出地是球形的，位于宇宙中心。亚里斯多德指出，月食是月球进入地影而形成。月食时月球边缘被食去的部分都是圆形的，这就是地为球形的证据。亚里斯多德还指出，人们在地球上稍微向南或向北移动观察地点，就会看出恒星在天空的方位发生很大变化。在埃及能够看到的某些南天恒星，在北方的一些国家就看不到，它们在南方天空地平线之下；而在北方一些国家看到北方有些星一直不落入地平线以下，在南方就会落下去。由此可见，地球不但是球形的，而且并不是十分大的。这些论点至今还是很浅显易懂的解释地为球形的例子。

为了解释日月行星和恒星的视运动，他们创立了以地球为中心的同心球理论，后又发展成通常所说的水晶球模型。毕达哥拉斯学派认为圆和球是美好的形状，宇宙是和谐的代表物，天体是完美无缺的，它们的形状是球形，它们的运动是匀速圆周运动；柏拉图指出，日月行星的视运动很不均匀，有快有慢，可以用匀速圆周运动的组合来解释，他设计出同心壳层模型，各天体都位在各自的壳层上，由于日月行星的距离不等，各壳层的半径都不相同。恒星在最大的一层上，它们的距离最远，这最大的一层每天绕地球旋转一周，这就是恒星的周日运动。日月行星都由许多同心球组合来描述，这些同心球转轴和速度均可任意选择。他们就是这样解释了天象的随时变化。后来，亚里斯多德将这样设想的辅助工具变成了实际存在的水晶球式的球壳，并在最外层加上一个原动力的天层，一切运动均由这个宗动天引起。

也是在古希腊文化的繁荣时期，同样迸发了另一些思想之火花，即认为大地不是宇宙的中心，而是同其它行星一道绕太阳而运行，恒星是在遥远的地方，比地球绕日的轨道大得很多，阿里斯塔恰斯就持这种观念，但他被人控告为亵渎神灵，他的看法不被人接受，恩格斯说他是“古代的哥白尼”。此外还有人提出过地球自转的概念，以此来解释天空的周日运动。这种正确的观点在当时也遭到了反对，亚里斯多德就反对这种说法，他提出如果地球在运动，就应该看到恒星的“视差位移”，即远近二个星的相互位置会因观察者的运动而变化，然而在当时人们看不到这种视差位移，所以地球是运动的观念未被接受。

古希腊的天文学家还应该提到喜帕恰斯（旧译伊巴谷）和托勒密，他们使天地结构的地心体系更加精确化了。同心球理论既很复杂，也有一些与观测事实不符合的地方，例如，它要求天体和地球间的距离保持不变，事实上金星和火星的亮度经常变化。说明它们与地球的距离并不固定，日食有时是日全食，有时是日环食，也说明太阳，月亮与地球的距离有变化。为了克服这些困难，阿波隆努斯设想出另一套几何模型，可以用匀速圆周运动组合出行星与地球的距离经常变化，这就是本轮和均轮的体系，喜帕恰斯继承了这一思想，又进一步设想出偏心圆方法，来解释太阳视运动不均匀问题，即把地球

放在稍稍偏离中心的地方。托勒密将本轮均轮说发展到了完备的程度，在他的不朽名著《天文学大成》里总结了古希腊天文学的全部成就，这本书中所叙述的地心体系一直统治欧洲天文界达1400年之久。

二、哥白尼的天文学革命

从公元476年罗马帝国灭亡到十五世纪中叶文艺复兴开始，这一千年的欧洲历史习惯上称为“中世纪”，欧洲中世纪为封建教会所统治，在基督教神学的统治下，人们对宇宙的科学讨论被禁止，因为根据圣经，宇宙是上帝在七天之内创造出来的。早期的基督教神学家德尔图良说：“在基督以后，我们不需要任何求知欲，不需要作任何研究”。在那个时候，“科学只是教会的恭顺的婢女，它不得超越宗教信仰所规定的界限，因此根本不是科学。”（《反杜林论》）

处在这样的情况下，古希腊天文学家对天地结构的一系列研究都被否定，就连大地为球形的结论也不被接受，因为基督教的经典中认为大地是平直的，如果大地为球形就会有脚对脚站着的人（对蹠人），而圣经上没有说过有对蹠人的存在。公元535年修道士利希梅写了一本《基督教的宇宙地形学》，其中写道：“我们要跟先知者约书亚同样地说，笼罩着宇宙的天具有圆穹的形状，我们要跟约瑟夫同样地说，天和地是连成一片的，而跟摩西同样地说，地的长比宽大些”。这种看法简直回到了中国最古老的盖天说。欧洲中世纪神学的统治阻碍了科学的发展，但古希腊科学著作却在北非和西亚的阿拉伯国家流传，在大马士革、巴格达等地建立起天文台和图书馆，收集研究古希腊的学术著作，包括亚里斯多德和托勒密的著作，后来这些被译成阿拉伯文的书又通过西班牙传入英、法、德等国，在十一、二世纪大量译成拉丁文在欧洲流传。古希腊人在自然科学上的光辉成就使西欧学者感到惊讶，渐渐形成了研究学习古希腊自然科学和阿拉伯著作的热潮，亚里斯多德的《物理学》、《植物学》，托勒密的《天文学大成》、《光学》，古罗马医生盖伦的解剖学著作等，对西欧产生了很大影响，对宗教神学一度也成了很大的冲击。

教会对此甚为恼怒，在1209年和1215年二次开会，决议禁止亚里斯多德的学说，害怕自由研究科学的气氛会产生异端。但是新思想的传播依然无法阻挡，1231年教皇格里高利九世决定采取措施，下令根据希腊原著重新修订和评注古希腊的自然科学著作。许多经院哲学家立即对亚里斯多德的著作按教义和神学教条进行注释，托马斯·阿奎那进一步把亚里斯多德、托勒密等人的著作按神学面貌进行改造，将符合教会的东西保留下来，而将其它科学道理、科学方法删去，编成《神学大全》一百章。经过阿奎那的改造，亚里斯多德-托勒密的地位才开始改变，从过去被排斥转为被奉为“权威”、“经典”，并逐渐被教会抬到“神圣”的高度。列宁对这种情况曾经说过：“僧侣主义扼杀了亚里斯多德学说中活生生的东西，而使其中僵死的东西万古不朽”。（《亚里斯多德“形而上学”一书摘要》），这里活生生的东西就是将自然界作为客观存在进行科学探索的求知精

神，自由讨论的学术空气，而僵死的东西就是上帝万能论，也包括地球居于宇宙中心不动的地心体系。阿奎那宣称，自然界是上帝创造出来的，它永远受上帝的支配；亚里士多德-托勒密的“地球中心说”和宗教教义具有同等的意义；上帝选择地球作为宇宙的中心，其它天体都围绕地球旋转；宇宙的境界是一个不动的天层，那里都是神灵的住所，上帝就在这个天层之外统治着宇宙；上帝按照自己的形象创造了人，将人放在宇宙中心的地球上，等等。这些“神圣”的教条统治着中世纪的后期文化。哥白尼所处的时代，天文界的情况就是如此。

另一方面，哥白尼的时代，社会上正在发生巨大的变革，欧洲封建社会制度已开始崩溃，资本主义正在孕育发展，一些工商业城市纷纷出现，新兴的资产阶级知识分子不满宗教神学的统治，要求个性解放，他们以希腊的古典文献为武器，同宗教神学和经院哲学进行斗争，这个以人文主义思潮为代表的资产阶级反对封建意识的文化革新运动迅速在西欧发展起来，并且从文学扩展到政治、历史、艺术和自然科学各个领域，这就是有名的文艺复兴运动。在那时，宗教改革运动也在掀起，神学教授马丁·路德创立新教，提倡信仰自由，得到了广大农民和城市贫民的响应。由于商业航海的发展，导致了美洲大陆的发现，航海事业的发展也向天文测量工作提出新的要求，哥白尼的祖国波兰也正处在封建制度崩溃、资本主义兴起的时期，这是人类历史上经历过的极重要的变革。

到十五世纪中叶，自然科学领域里的形势是，一方面由于生产实践的推动，产生了一批思想活跃、知识渊博的多才多艺的人物，另一方面是关在书斋里的学者和神学家抱住阿奎那的神学教条，即教会严密控制着人们探索自然的思想，于是自然科学和宗教神学之间的矛盾很尖锐。新兴资产阶级需要自然科学来发展生产，也需要利用自然科学同宗教神学的宇宙观作斗争。这场斗争首先从宗教宇宙观的基础地球中心说上开始了。

地球居于宇宙中心不动的说法本来就有许多地方令人难以接受，例如恒星每天转一周的现象，地心说用恒星天层每天绕一周来解释。试想，恒星的距离非常遥远当时已有所知，这个天层的半径是如此庞大，要在24小时之内绕一周，其速度是难以想象的。再有行星的视运动是那样复杂，有顺行、逆行、留、视轨迹打圈子等现象，地心说以本轮、均轮来计算，经常同观测不能符合，以致本轮均轮的数目加至七、八十个，显得如此复杂、零乱，同宗教宇宙观认为宇宙是和谐的观点自相矛盾。还有当时的历法推算也出现了困难，由于儒略历采用年长365 $\frac{1}{4}$ 天，比实际值大些。公元325年欧洲基督教国家的宗教大会上曾决议春分日必须在三月二十一日，由于采用的年长较大，到十五世纪中已相差十天，春分提前到三月十一日。改革历法的要求也在冲击着地心说。

古希腊的学者们就曾提出过太阳位于中心，地球同其它行星一样绕之旋转，而且地球本身也在自转的想法，只是因为当时社会的发展不够，人们未能接受。现在这些想法由于文艺复兴运动又在欧洲传播，哥白尼正是在这些光辉思想的启发下提出了日心地动说，他勇敢地承担了来自教会的和认识论方面的反对论者的巨大挑战。

日心地动说的基本观点是，太阳位于宇宙中心不动，地球是一个普通行星，它同其

它行星一道围绕太阳旋转，本身又不断自转；行星到太阳从近到远的次序是水星、金星、地球、火星、木星、土星；月亮是地球的卫星，它围绕地球旋转，地球又带着它绕太阳运行；恒星在远离太阳的一个天球面上静止不动。这些观点现在看起来是多么简明扼要，可在那时为了争得人们的普遍接受却经历了几百年的斗争。反对论者基本属于两个方面，其一是认识论方面，有些问题一时认识不到，其二是思想领域方面宗教神学的阻挠。是哥白尼第一次系统地阐明和论证了地动学说，并用观察事实和数学计算仔细验证了这个学说，是哥白尼以后的不少科学家和思想家，不断以新的观测事实和理论进一步证实了哥白尼的学说，英勇地跟宗教神学搏斗，甚至献身。由于他们前赴后继的努力和斗争，天文学大踏步地发展着。

伟大的波兰天文学家哥白尼和他的不朽名著《天体运行论》在天文学史上有着特殊的地位，在整个科学史上也具有划时代的意义。

哥白尼，1473年2月19日生于波兰的托伦城，幼时丧父，由舅父抚养长大。他的舅舅是弗洛恩堡大教堂的牧师，后来成为主教。他希望哥白尼将来能担任神职工作，于是从小就送他到教会学校学习。十八岁时哥白尼进入克拉科夫大学，受到数学和天文学的教育，决心献身天文学研究。1497年到意大利求学，他学习了教会法、医学、数学，尤其是天文学，他还读了许多希腊古典著作，如柏拉图、亚里斯多德等人的著作。他在这里结识了许多学者，进一步受到文艺复兴运动的影响。利用这里的天文仪器进行了许多观测，如发现南欧一些城市的纬度与托勒密测的不符，发现黄道与赤道的交角与托勒密的测量也有变化，这些天文实践，使他对托勒密的体系产生了怀疑。

1506年他从意大利回到波兰，他舅父正主持着弗洛恩堡大教堂的教务，哥白尼有空进行许多天文观测和研究，1512年当他舅父去世，哥白尼继位当主教时，大概他的《天体运行论》的初稿已经写成了，他在意大利学习时期，很赞成毕达哥拉斯学派的治学精神，主张以简单的几何图形或数学关系来表达宇宙的规律，他认为宇宙的规律应该是和谐、简明的，而托勒密体系的本轮、均轮有八十多个之多，而且还有增加的趋势，这实在太复杂，太不能令人满意了。哥白尼分析了行星运动的大量资料，发现每个行星都有三个共同的周期运动，即一天一周，一年一周和相当于“岁差”的周期运动，如果将这三种周期都归结为地球的运动，则托勒密体系里的许多复杂性都能消除。根据哥白尼的日心地动学说，地球自转一周是一天，所有天体的周日运动由此而产生；地球绕太阳公转一周是一年，各天体的周年运动由此产生。行星的复杂视运动乃是地球的运动与行星本身运动的合成。哥白尼建立的新宇宙体系异常简明地说明了天空现象，揭示了太阳系的真实面貌。

接着哥白尼用了“将近四个九年”的时间去测算、校核、修订他的学说。开头他曾写过一篇简要的论文，介绍他的学说。这篇短文在友人们之间以手抄本流传，但他迟迟不肯发表其主要著作——《天体运行论》。他很了解，他的著作一经发表，必将遇到各方面的攻击，教会更要取缔他这“离经叛道”的“异端邪说”，他在严酷的形势面前犹豫了几十年，最后终于听朋友的劝告，同意将手稿全部发表，并写了一个敬献给教皇保罗三世

的序言。当时哥白尼重病在身，辗转委托一位教士到纽伦堡去安排付印，这位教士为了使该书能安全发行，又加写了一篇无署名的序言，假称书中的理论不一定代表行星在空间的真实运动，而是为了推算星历表，预告行星位置而作出的一种设计。1543年，经历了一番周折，《天体运行论》终于印刷完毕，5月24日当一本印好的书送到哥白尼病榻前，哥白尼用手抚摸着书时他已经不能吐一言，不久便与世长辞了。

《天体运行论》一书共分六卷，第一卷讲宇宙概观，是全书的精华，介绍了哥白尼学说的基本观点，论证了地球为一行星，解释了四季循环的原因。第二卷应用球面三角解释天体在地球上的视运动，第三卷讲太阳运动的计算方法，第四卷讲月亮的运动，第五、六两卷讲行星的运动，如何计算它们的经纬度变化。根据每个天体的理论都可以推算星历表，预告位置。

哥白尼在世时，他的名字和学说已在流传，但他怎么也不会知道，他的著作发表之后给科学发展带来的深远影响。《天体运行论》的发表宣告了自然科学的独立，从此科学摆脱了神学的羁绊开始大踏步前进。《天体运行论》的发表是科学与神学斗争的旗帜。它引导人们向长期桎梏科学思想的宗教唯心主义宇宙观宣战，以唯物主义的态度去研究一切客观世界。日心说的建立还标志着科学天文学的诞生，天文学开始了一场新的革命性变革。所以《天体运行论》的发表在人类认识史、思想史上都有重要意义。

应当看到，日心说是在宗教势力如此强大的欧洲提出的一种完全违背宗教意旨的新学说，因此它必然遭到多方的反对，尤其是教会的反对，在哥白尼之后，这种斗争接踵而至，且延续了三百年之久。

三、日心说的曲折发展和最后胜利

哥白尼的学说要反对久远以来人们根据直观感觉而形成的地静天动的习惯见解，要反对千百年来的亚里斯多德、托勒密的地球中心说的权威，要反对宗教势力所宣扬的上帝创造宇宙的神话，这是多么不容易的事情啊。事实上正是如此，哥白尼的学说从一提出来就遭受到各种各样的人们，包括旧教徒和新教徒，教会人士和世俗人士，有学问的和没有学问的，同时代的人和后来的人反对、嘲笑、诅咒，直至查禁、迫害。

上面提过，反对论调基本来自两个方面，一类是认识上的，有些问题一时认识不到，另一类是思想性的，主要是保守势力和教会方面的阻挠，是科学宇宙观同宗教宇宙观的斗争。

属于前一类的大致有三个问题：

第一，既然地球是运动的，人又为什么不感到地动？还是在公元前三世纪，古希腊时代就有人提出过地动的设想，当时也有人反对过。托勒密就曾提出理由反对，他说，如果地球是运动的，地球上的物体将被抛在后面，空中飞行的鸟也会落向地球运动的反面，可是我们从未见到地上的东西被抛出去，鸟儿自由的飞翔，人也感觉不到地动。哥

白尼的时代又有人提出类似的问题责难地动说，如果地在自西向东自转，24小时一周，那么当我们在墙东侧跳起后，岂不会撞到墙上去吗？为什么没有发生这件事呢？如果我们设法离开地面，眼看着地球在脚下转过，只要一小时我们就可以来到西边一千五百公里的地方，这岂不是最好旅行方法吗？

人在地上不感到地动，就类似我们坐在一条平稳开行的船上，当关上门窗以后你是不会感到动的。哥白尼用这个比喻证明这个现象。至于从地上跳下来不会落到西边去是因为惯性的作用，在开行的汽车或火车上向上扔一个东西，仍落到你手上，不会落到后面去，就是惯性的原理。后来伽利略对这个现象进行了精密的研究。地球在运动，带着地上的物体和周围的空气一同运动，使全体都具有同样的惯性速度。

第二，既然地球在空中绕太阳公转，则应该看到近处的恒星相对于远处的恒星有位置移动，称为恒星视差，亚里斯多德就曾提出这个问题反对地动说。确实，在当时这种现象没有看到，主张地动说的人一定要面对这个科学问题，哥白尼也面临了这个问题，他为了发现行星视差做了多年恒星观测，结果都失败了。哥白尼认为，恒星太遥远了，它们的视差太小，我们看不到。这个结论是正确的，但并不令人满意，直到三百年之后人们借助大型望远镜终于发现了恒星视差。

第三，行星运动之谜，托勒密遇到的最大困难就是行星运动，本轮、均轮、偏心圆搞得很复杂，还是与观测符合得不好。新学说也必须对行星视运动作出解释，哥白尼解释得很简单自然。例如，水星和金星的运动老是在太阳左右徘徊，不会远离太阳，水星总不超过 28° ，金星总不超过 48° ，哥白尼认为，这就是水星和金星轨道在地球内的证据，水星轨道在地球上的张角是 28° ，金星为 48° ，这种解释非常成功。再如外行星的运动，哥白尼发现外行星亮度变化很大，冲时总是亮度最大而且逆行，这就说明地球不是它们的运动中心。

哥白尼将地球赶出了宇宙中心，代之以太阳，行星均在太阳的周围运动。但是太阳为什么能主宰行星的运动？行星的运动为什么会呈现出这样的规律，只有从理论上作出说明，日心说才有坚实的理论基础。哥白尼之后的不少科学家正是在这一条路上继续奋斗的。

至于另一类的斗争更显得异常尖锐与严酷。教会以查禁与迫害的手段对付哥白尼学说，凡是宣传哥白尼学说的人都要受到宗教裁判所的审讯、监禁，甚至处死。意大利著名思想家布鲁诺就是为之宣传哥白尼学说献出了宝贵的生命。乔尔丹诺·布鲁诺原是天主教会的信徒和多米尼加教派的修道士，他摆脱了宗教教义学的束缚，大胆宣传哥白尼学说，而且他更进一步认为太阳也不是宇宙中心，它是千万个普通恒星之一。不仅太阳旁边有行星，在其它恒星周围也有行星，甚至也是可居住的世界，在宇宙中有无数这样的可住星球。布鲁诺的思想离开宗教教义实在太远了，他必然受到宗教裁判所的追捕，1576年他逃离意大利，到瑞士、法国、英国、德国等地流浪，所到之处都宣传哥白尼学说和他那自由奔放的思想，1584年他在伦敦出版了两本著作，其一是《论无限宇宙和世界》，

指出宇宙是无限的，恒星不是嵌在天球上的金钉，而是远近不同分布的太阳。1592年他被骗回意大利，立即在威尼斯由宗教裁判所逮捕，审讯长达八年之久，布鲁诺决不屈服，最后在1600年2月17日被烧死在罗马百花广场。1889年在百花广场建立了他的铜象，纪念这位为科学进步而献身的伟人。

为哥白尼学说的传播人们付出了鲜血的代价，宗教势力的阻挠一度使哥白尼学说的前景笼罩上阴影。日心说和地心说的斗争在继续着。就在哥白尼的《天体运行论》发表后三年，在丹麦出生了一位贵族子弟，他就是后来成为著名天文观测家的第谷。第谷是一位迷醉于天文实测的大师，而且自制了精密的天文仪器。1572年11月11日，他看到了仙后座超新星的爆发，连续坚持了十几个月的实测，认为此星十分遥远。后人称此星为第谷超新星。1576年在丹麦国王的资助下他在汶岛建立宏大的天文台，坚持对行星、恒星进行了二十多年观测，精度在四角分以下。1597年第谷的保护人去世，他被迫离开汶岛，跑到布拉格，在那里他认识了青年天文学家克普勒，1601年10月24日去世，临终前，他将平生积累的大量观测资料全部遗赠克普勒。

第谷是一位辛勤的观测家，其实测精度在当时世界上是第一位的，他力图发现恒星的视差，编制一个有一千个恒星的精确星表，但一直未能如愿。他没有发现任何恒星有视差，他发现行星确实是绕太阳运行，于是他在日心说和地心说之间犹豫不决，他提出了一种介乎哥白尼和托勒密两体系之间的第谷体系，认为地球在中心静止不动，行星绕太阳运行，而太阳则率诸行星绕地球运动。这是一个折衷体系，在欧洲没有流行，但在十七世纪传入我国却被接受采用了一、二百年。第谷的体系对哥白尼学说并未起十分重要的作用，但他的珍贵观测资料经过克普勒的整理研究却为哥白尼学说的理论化提供了基础，发挥了很大的作用，我们在后面将要详细提到。

第谷体系的出现是日心说与地心说斗争的产物。科学要发展，实践是基础。在当时的情况下，没有新的实验结果为日心说作证，日心说要站稳脚跟并取得进展看来是困难的。第谷就是因为没有看到恒星视差而不相信哥白尼学说。哥白尼学说正等待着新的事实为它提供证据，伽利略和天文望远镜正是在这个关键时刻登上历史舞台的。

伽利略是意大利物理学家和天文学家，近代实验科学的奠基人之一。他对天文学的贡献是提供了用望远镜观测宇宙的方法，在人们认识宇宙的进程中开创了新纪元。

伽利略1564年生于意大利比萨，比萨斜塔的名字同他的名字往往被同时提起，据说他曾在塔上做过著名的落体实验，证明了落体速度与其质量无关，推翻了几千年来流行的传统观念。年青的时候他做了一些物理学、力学研究，成为比萨大学的教授。1600年他开始对天文学作出贡献。这一年他听说荷兰人发明了望远镜，马上自己动手也做了一架，他用来指向天空，立即得到了许多新发现。他看到许多肉眼看不见的星星，银河也是由数不清的小星组成；他看见了月亮表面凹凸不平；看见金星也象月亮有圆缺变化；看到木星周围有四个小星围绕木星旋转；看到太阳上有黑子，并根据黑子移动推算太阳有28天的自转周期；看见土星周围象长了两个耳朵……等等。这一系列新发现轰动了当时的欧

洲，因为这些事实都与《圣经》及亚里斯多德以来的传统观念相违背，而给哥白尼学说以有力的支持。伽利略将自己的新发现写成两本小册子，《星际使者》和《关于太阳黑子的书信》，在这两本书中都力主哥白尼的日心说，以观测事实推动了哥白尼学说的传播。

但是，许多人在宗教势力的威吓面前不肯承认伽利略的新发现，他们不肯承认与《圣经》和亚里斯多德著作相违背的新思想、新事物。帕多瓦大学的一些逍遥学派的教授们甚至不愿去看看伽利略的望远镜，还有人说这些是伽利略用巫术咒出来的。1610年8月19日，伽利略给克普勒的信中气愤地说：“对于这些人来说，真理不用到自然中寻找，而是从古人著作中获得。”罗马教皇对伽氏的发现也非常惧怕，他们在1616年把《天体运行论》列为禁书，并且警告伽利略必须放弃哥白尼学说，不得为它宣传、辩护，否则将要受监禁处分。

从1616年到1623的七年是伽利略沉默的七年，他虽然在语言上暂时沉默了，但他的思考和研究更深刻了。1623年老教皇保罗五世死去，新教皇被认为是一个尊重科学的人，而且是伽利略的老朋友。于是伽利略重新热情地开始了天文学的研究，1624年开始写作《关于哥白尼和托勒密两大世界体系的对话》，这本书以三个人谈话的形式讲述哥白尼体系的正确和托勒密体系的错误，三人之一是伽氏化身，之二是伽氏的朋友，之三是坚持亚里斯多德观念的人。对话共进行了四天，第一天以1572和1604两年出现的超新星以及太阳黑子的产生和消失等现象，批判“天地不变”和“天地之间有根本区别”的经院哲学观念；第二天利用他的力学研究成果如惯性定律、自由落体、力的合成、摆动、相对性原理等论证地球的自转；第三天分析行星的运动，论证太阳是宇宙的中心；第四天讲潮汐。书写成后伽利略将它寄给教会，由于他的名望和与教皇的关系，经过辗转审查同意出版，1632年终于问世了。

伽利略错误地估计了新教皇的本质，他曾请求新教皇放弃对哥白尼学说的禁令和对他的警告，又大胆地写出了他的著作。正在他的著作出版后不久，他的一切幻想破灭了。他得到了宗教裁判所的传票，要他立即到罗马受审。连续的审讯进行了四个月之久，1633年6月22日，宗教裁判所宣布了对伽利略的判决——终身监禁。《对话》一书禁止流行，理由就是因为不顾警告宣传了哥白尼学说这个教会认为的异端邪说。受审后的伽利略被同意居住在佛罗伦萨郊区，实际是软禁着，但他仍在坚持研究。回到早年从事过的力学研究，并用三个人的对话形式写了一部力学著作《关于两门新科学的谈话和数学的证明》，1634年写成后由他的学生偷运出意大利，1638年终于在荷兰莱顿出版。这本书收集了他在力学上的研究成果，对物理学的发展起了巨大的作用。晚年伽利略双目失明，1642年1月8日去世。

克普勒与伽利略是同时代人，伽利略对日心说的贡献在于他为新学说提供了新的观测事实，而克普勒的贡献是在第谷观测资料的基础上总结了行星运动的三大定律。克普勒一生贫困多病，视力又不好，虽然如此，他还是做了不少天文观测，如对1604年超新星的观测他坚持了十七个月之久，后来被称为克普勒超新星。他对天文学有浓厚的兴

趣，尤其对宇宙的和谐非常热心，1596年他写了一本书，叫《宇宙的神秘》，书中以球的内接和外切正多面体等几何图形来描述太阳系诸行星的轨道半径，纯粹是些数学游戏，受唯心主义的影响较大，但当他结识了第谷，并得到了第谷珍贵资料以后，马上抛弃了这一套神秘的数学游戏，认真地对这些资料进行整理研究。第谷的资料中有关火星的观测占了很大部分，克普勒首先研究火星的运动。一开始他按传统的观点，认为行星均作匀速圆周运动，但反复推算，无论用哥白尼体系，还是按托勒密体系或第谷体系，总跟观测资料不符。虽然黄经方向的误差最大只有八角分，他仍然坚持这不是第谷的观测误差。于是他开始想到匀速圆周运动可能不对，改用卵形线轨道再计算，还是不对，最后他选择了椭圆。设行星运行轨道为椭圆，太阳位于其一焦点上，结果很满意，与观测资料完全符合，这就是行星运动第一定律的发现。这一定律，打破了一千多年来圆周轨道的传统观念，把哥白尼学说向前推进了一大步。用克普勒本人的话来说：“就凭这八角分的差异，引起了天文学的全部革新！”接着他又发现，火星到太阳的距离和运动速度时时变化，但有一个规律就是远离太阳时运动慢，近太阳时速度快，经过多次计算他终于发现，在单位时间里向径扫过的面积总相等，这就是行星运动的第二定律。第二定律将托勒密体系的几十个本轮均轮全部取消，为行星运动不均匀性作出了科学的解释。这两条定律刊布于1609年出版的《新天文学》一书中，同书还指出，这两条定律也适用于其它行星绕太阳以及月亮绕地球的运动。这一年正是伽利略制造天文望远镜打开了星空奥秘的一年。

克普勒对此并不满意，他总感到太阳系作为一个宇宙系统是有机体的整体，各行星之间应该有一统一的规律可循，他想到早年研究的各行星到太阳距离的几何关系，在轨道半径与周期之间进行各种计算，经过十年努力，终于发现了有趣的关系，行星轨道半长轴的立方等于恒星周期的平方，这就是他要求的行星运动第三定律，1619年发表在《宇宙和谐论》中。

行星运动三定律的发现给哥白尼学说的理论化铺平了道路，并成为经典天文学（天体力学）的基石。克普勒还领悟到可能有一种神秘的力量在主宰行星的运动，这统一的力量来自太阳，而且随距离的增加而减少。几十年之后这一点导致了牛顿万有引力定律的发现，使哥白尼学说建立在稳固的力学基础之上，但是克普勒的著作深奥玄虚，有许多星占学成分，还有许多音乐之谱夹在中间，掺着一些神秘色彩，因而他的大部分著作不被人们注意，连他的三定律也没有引起伽利略的兴趣。

克普勒后来继续宣传哥白尼体系，1621年出版了《哥白尼天文学概要》，这使他受到宗教裁判所的迫害，到处不得安身，他的书被列为禁书，他所有被搜走的书籍都付之一炬，1626年之后他到处流浪，想找个避难之处，也不可能。1630年他有几个月得不到薪俸，经济困难，不得不亲自前往雷根斯堡索取，到达那里几天就在贫病交困中去世。

哥白尼学说经过伽利略、克普勒等人的工作已经得到了很大发展，取得了越来越多人的信任，但是行星运动为什么会有这样的规律，行星在什么力的作用下运动，这些问

题一直吸引着人们的思考。对这个问题作出完满解答的是英国著名科学家牛顿。

牛顿在科学史上是一位划时代的人物。他在数学、物理、天文等方面，都有杰出贡献，这里我们只简单介绍他的天文学工作。有一则故事谈牛顿小时候坐在苹果树下，看见苹果掉地，因而努力思考，发现了万有引力定律。万有引力定律是说，任何物体之间都有吸引力，其引力大小与物体的质量成正比，而跟它们的距离平方成反比。牛顿在想，苹果是掉下来了，月亮为什么不掉下来呢？

一切按圆轨道而运行的物体，只要离心加速度与向心加速度相平衡，它们就会维持圆周运动不变。月亮在轨道上运动的离心加速度可以这样来计算：

$$\text{离心加速度} = \frac{V^2}{R} = \left(\frac{2\pi R}{T} \right)^2 / R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

其中，V是月球轨道速度，R是月地距离，平均值为384000公里，T是月球绕地球转一周的时间，平均为27.32天，代入以后得

$$\frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4 \times 3.14^2 \times 384000 \times 10^5}{(27.32 \times 86400)^2} = 0.273 \text{ (厘米/秒}^2\text{)}$$

月亮在轨道上所受向心加速度来自何处呢？地球给予月亮距离处物体的加速度可以这样来计算：

$$\frac{981}{x} = \frac{R^2}{r^2}$$

这里981厘米/秒²是地面上的重力加速度，R为月地距离，r是地球半径。

$$X = \frac{981}{\left(\frac{R}{r}\right)^2} = \frac{981}{(60.27)^2} = 0.273 \text{ (厘米/秒}^2\text{)}$$

地球吸引月亮的向心加速度同月亮的离心加速度正好相等，可见，维持月亮在绕地球轨道上运动的向心加速度正是来自地球。利用同样的方法可以证明行星在轨道上运动是因为太阳吸引力的作用。

牛顿的贡献远不止此。他利用莱布尼兹和他创立的微积分方法推导出，在万有引力作用下的物体将如何运动，大家都知道 $F = ma$ 的著名公式，即质量 m 的物体在受到 F 的力作用下将获得 a 的运动加速度，现在是质量为 m 的行星在太阳给予的吸引力作用下将如何运动，按牛顿定律，可以列出方程式，在直角坐标系里就是 X, Y, Z 三个分量的方程，在极坐标里就是 r, θ 两个分量的方程，解这些方程就能决定行星的运动。结果是，行星在太阳的引力下将在一个平面内运动，在轨道平面内的轨道是一个二次曲线（椭圆、抛物线、双曲线，这就包含了克普勒第一定律），行星向径在单位时间内扫过的面积为常数（克普勒第二定律），牛顿还修正了克普勒第三定律，得出 $a^3/T^2 (M+m) = \text{常}$

数, a 是轨道半长轴, T 是运动周期, m 和 M 分别是行星和太阳的质量, 因为 m 远小于 M , 克普勒第三定律仍是一个近似公式。

由于牛顿的杰出贡献, 天体力学理论建立起来。恩格斯说: “牛顿由于发明了万有引力定律而创立了科学的天文学, 进行光的分解而创立了科学的光学, 创立了二项式定理和无限理论而创立了科学的数学, 认识了力的本性而创立了科学的力学。”(《英国状况》) 他以数理计算描绘了整个太阳系的运动图景, 把太阳系各天体的运动奠基在稳固的力学基础上, 从而使哥白尼的日心说得到了严格的科学论证, 走上了胜利的阶段。但是牛顿在考察太阳系的运动时也遇到了一个问题, 即行星运动的切线力从何而来? 按牛顿的观点, 宇宙万物的运动只要一旦开始, 就按它所揭示的规律永远运动下去, 有条不紊, 而这个“一旦开始”只有求助于上帝的第一次推动。恩格斯在论述这一段时期自然科学的发展时说, “哥白尼在这一时期的开端给神学写了挑战书, 牛顿却以关于神的第一次推动的假设结束了这个时期。”(《自然辩证法》)

到牛顿为止, 我们可以说日心说已经取得了决定性的胜利, 人们从繁星点点中把太阳系的观念建立起来, 又从理论上建立了行星运动的规律。但是有一个古老的问题尚未有结论, 这就是恒星视差始终未能看到, 虽然哥白尼学说从理论上已得到证明, 这一点仍然使人们感到欠缺。哥白尼也曾说过, 因为恒星非常遥远, 恒星视差不易看到, 他希望将来能发现这一点。一百多年过去了, 望远镜也已出现, 还是令人失望, 许多天文学家都在设法力图发现恒星的视差, 1725—1726 年间格林威治天文台第三任台长布拉德雷将望远镜指向天龙座 γ 星, 希望在相隔半年的两个时间发现它的视差位移, 经过认真测量, 这颗星的位置相对于更暗的星确有一种位移, 但仔细分析后发现这种位移的方向跟视差位移的方向并不一致, 正好相差九十度。他又将望远镜指向其它恒星, 发现位移也是相同的, 这说明这种位移与恒星距离无关, 因而这决不是恒星视差。那么这种方向与视差不同, 又与恒星的距离无关的位移是什么呢? 经研究认为是光行差。

光行差的道理很简单, 因为星光以每秒30万公里的速度到达地球, 而地球绕日的速度是每秒30公里, 我们在地球上看到星光乃是两种运动的合成。可以推算这种位移约 $20''$, 方向为地球运动的相反方向, 而视差位移的方向是地球在绕日轨道上位置与太阳相反的方向, 两者正相差九十度。布拉德雷虽然没有发现恒星视差, 却意外地发现了光行差, 这也可以证明地球确实在围绕太阳运动。恒星视差的发现又在一百多年之后, 1835 年, 德国贝塞耳测得天鹅座 61 星视差是 $0''.35$, 俄国斯特鲁维测织女星视差为 $0''.25$, 英国亨德森测得半人马 α 星视差为 $0''.76$, 这是人们第一批得到的恒星视差值, 他们都小于 $1''$, 只有技术发展到能测知 $1''$ 以下的角度时恒星视差的发现才成为可能。许多事实已证明哥白尼学说的正确, 教会已无法禁止人们相信哥白尼学说, 才在 1835 年取消了对《天体运行论》的禁令。

最后我们还要介绍哥白尼学说的另一重大成就, 这就是海王星的发现。为了说明这一点, 还得从头讲起。在哥白尼之前, 人们早就在天空中认出五大行星, 哥白尼将地球

归入行星之列，最外的是土星。在土星之外有没有行星呢？人们并没有想过。1772年德国柏林天文台台长波德宣布了数年前一位中学教师提丢斯的发现，他在给学生讲述各行星到太阳的距离时发现了一个有趣的规律：

后一数数是前一数的二倍 0.3 0.6 1.2 2.4 4.8 9.6 19.2……

每一数都加上0.4, 0.4 0.7 1.0 1.6 2.8 5.2 10.0 19.6……

这正好是行星到太阳的距离。水星、金星、地球、火星 ？ 木星、土星，这个有趣的规律中间却空了一位，难道这里的行星还没有发现吗？1781年天文学家威廉·赫歇耳偶然发现了天王星，它到太阳的距离是19天文单位，正符合土星下一个数，这下波德的规律引起轰动，德国甚至组织了寻找2.8距离处行星的委员会。过了二十年，1801年元旦晚，意大利的皮亚齐在这里发现了一个小行星，命名为谷神星，2.8处也填满了，天文学界高兴异常，认为太阳系的问题已解决得差不多了。可是好景不长，又过了20年，法国人布瓦德在编算行星星历表时发现了天王星的运动老是“出轨”，理论计算值同观测值总是不符，针对这种情况，有人提出可能还存在另一个行星，影响了天王星的运动。此时有两个年青的天文学家就开始用计算的办法推算这个未知行星的位置，英国的亚当斯在1845年秋得到了结果，但未能受到重视去认真搜寻，1846年9月法国的勒维烈也得到了结果，他通知柏林天文台的伽勒，1846年9月23日在预报的位置上果然发现了新的行星，就是海王星。海王星是在笔尖上发现的行星，它证明了人们从实践中总结出来的天体力学理论是完全正确的，它反过来指导实践使海王星的发现取得完满的成功，恩格斯高度赞扬海王星发现的认识论意义：“哥白尼的太阳系学说有三百年之久一直是一种假说，这个假说尽管有百分之九十九、百分之九十九点九、百分之九十九点九九的可靠性，但毕竟是一种假说。而当勒维烈从这个太阳系学说所提供的数据，不仅推算出一定存在一个尚未知道的行星，而且还推算出这个行星在太空中的位置的时候，当后来伽勒确实发现了这个行星的时候，哥白尼学说就被证实了”。（《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》）

哥白尼学说经过三百年的曲折发展和斗争终于取得了最后胜利，很快就越过洲界，传播到全世界。在中国，哥白尼学说也有一个曲折传播的过程。早在十七世纪三十年代，从西方来到中国的耶稣会传教士已将哥白尼的《天体运行论》带到中国，北京图书馆藏有该书的第二版（1566年）和第三版（1617年），在明末1634年编译的《崇祯历书》中已大量翻译了《天体运行论》的章节，但由于传教士的隐瞒、曲解，哥白尼的太阳系学说未能介绍过来。1650年左右，有一位波兰传教士穆尼阁曾同中国学者谈论过地动说，但具体情况已无法得知。在一个相当长的时间里，在我国流传着第谷体系，这是因为按行星绕太阳之理论来计算五星运动与观测符合得很好，而传教士们又不敢承认哥白尼学说，因此第谷体系在我国这样的特殊情况下获得了传播。牛顿的万有引力定律公布之后，在欧洲日心学说已日益深入人心，表演哥白尼太阳系的仪器已在英国出现，还有两个这样的仪器传到了北京，现在还珍藏在北京故宫博物院里。但是这两个仪器当时藏于

深宫，没有起到传播日心说的作用。乾嘉时代，考据古代经典的风气大盛，思想界循古守旧的倾向占统治地位，虽然有一些新知识传入我国，也没有起到应有的作用，在清代前期的一、二百年中哥白尼学说在我国未能得到广泛流传。直到1859年，李善兰与英国传教士伟烈亚力合译了一本天文学名著《谈天》，形势才开始改变。该书由英国著名天文学家约翰·赫歇耳编著，全面介绍了近代天文学的全貌和最新发现，包括恒星视差、光行差、天王星、小行星、海王星的发现等等。李善兰在序言里还特别讲到日心体系和椭圆定律等是客观存在，批判了攻击哥白尼学说的论调。此后，又出版了一些通俗的天文、地理书籍。十九世纪末年，哥白尼学说终于在我国流传开来，取得了胜利。

综上所述，人们在认识太阳系的过程中经历了千百年的实践和理论思维。从直观的天圆地方，浑天如鸡子等概念到在繁星点点间区别出太阳系天体；再从地心结构转变到日心体系，许多科学家作出了巨大贡献，但每一位科学巨人也不都完全正确，他们只是在某些方面向前推进了，而他们能前进一步，也是站在前人的基础之上，牛顿说：“如果说我能比别人看得远一些，那是因为我站在巨人的肩膀上。”

人们认识到了太阳系，建立起科学的太阳系概念，但它只是认识到宇宙空间极其微小的一个角落，打个比喻来说，如果将太阳比着绿豆大小的圆球，地球离开它1米远，按这样的比例，水星距40厘米，金星70厘米，火星1.5米，木星5.2米，土星9.5米，天王星19米，海王星30米，冥王星39.4米，而距离太阳最近的一个恒星，半人马座比邻星将在270公里之外。对于遥远的恒星世界，以及更加遥远的星系世界，在下一讲里将介绍对它们的认识过程和认识方法。