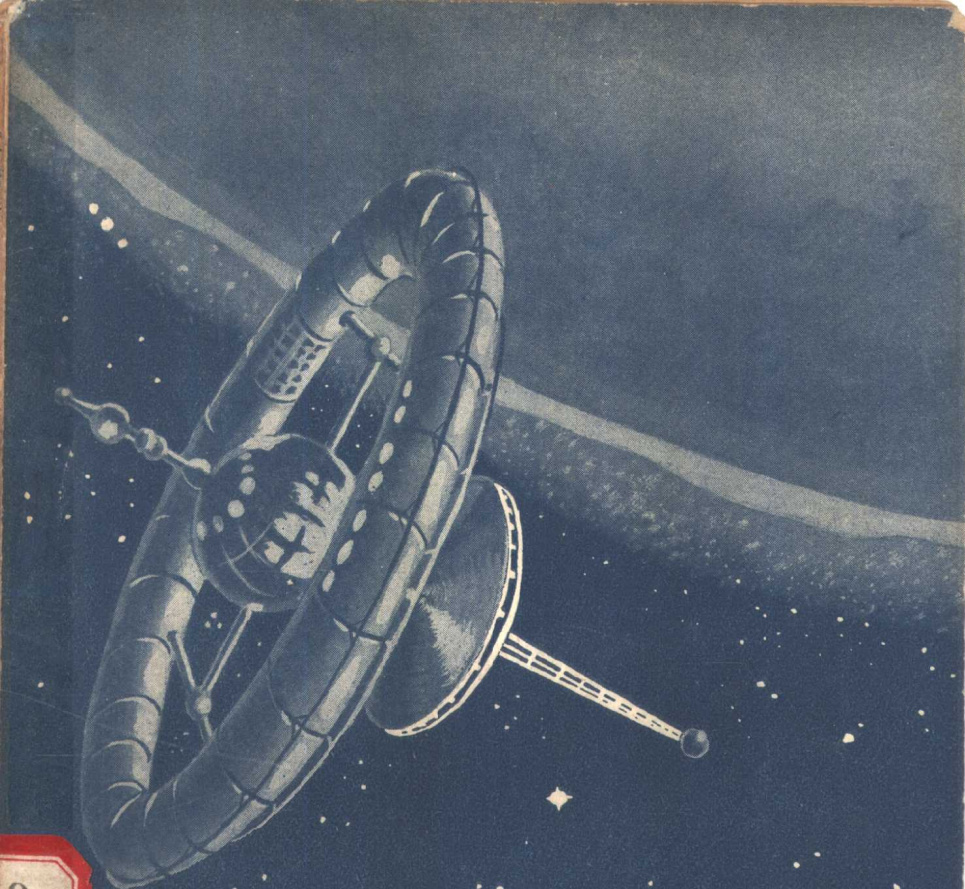




人造卫星

(苏联) 中. 齐格尔 著

科学普及出版社

人 造 衛 星

〔苏联〕Ф. 齐格尔著

滕砥平 蔣芝英譯

科学普及出版社

1957年•北京

本書提要

苏联第一批第一个人造衛星已經飞上天空，第二、第三……个帶着探测仪器、帶着活动物、甚至住上了人的人造衛星，也都將陸續飞上天去。对于这个震动全世界的新事物，大家一定会發生一系列的問題：人造衛星到底是什么东西？它为什么能繞着地球轉？它是怎样到大气世界外去的？科学家为什么要热心制造人造衛星？人造衛星上要能够住人，又能設置永久性實驗室，將是什么样子？人在人造衛星上將怎样生活？怎样工作？怎样跟地球联系？怎样进行飞入月球的准备工作？这本书就是解答这些問題的。

总号：545

人造衛星

ИСКУССТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

原 著 者：Ф. ЗИГЕЛЬ

原出版者：УЧПЕДГИЗ, 1956

譯 者：滕 砥 平 蔣 芝 英

特約編輯：鍾 建

出版者：科 学 普 及 出 版

(北京市西便門外新象街)

北京市書刊出版業營業許可證出字第081号

發行者：新 華 書

印刷者：北 京 市 印 刷 一

(北京市西便門外大街乙1号)

开本：787 × 1092 1/32

印張：21 1/2

1957年10月第1版

字數：58,000

1957年10月第2次印刷

18,701—28,700

統一書号：15051·71

定价：(9) 3角5分

目 次

緒言	1
牛頓的算題及其解答	3
從理論到實踐	17
地球的第一批人造衛星	37
“空中住宅”	50
宇宙實驗室	74
向月球進攻	85
新時代的前夕	89

緒 言

我們生在一个非常的时代。我們亲眼看見人类已經掌握了原子能，又学会了怎样利用它来达成和平的目的。人类面前已經展开了一幅广大無边的远景，原子能就要在人类的日常生活中广泛应用了。

同时，同原子能沒有直接关系的其他技术部門，也正在蓬勃發展。例如在本世紀初年，几十公里以外的物件就已經像是沒有看見的可能；可是現在，电视已經很普遍，在电视台附近，屋頂上沒有安裝电视天綫的房子就很少了。

無綫电技术已經超出了地球的范围而进入我們周圍的宇宙空間。我們曾經收到过从太陽和其他天体上發出的無綫电訊号，并且解釋清楚了它們的意义。1946年利用特殊無綫电定位器發出的無綫电射束曾經到达月球，这样，人就好像已經摸到了我們这颗衛星的表面。我們又在建造强大的無綫电望远镜，来帮助我們看清那些不能用普通光学探查器来研究的东西。

人类正在战胜空間和時間。譬如說，在本世紀初年，飞机的外形还像一个書架子，飞机的航程至多不过数百米；可是在我們今天，噴气飞机的速度已經超过了每小时2,500公里！

空間的距离正在縮短。从莫斯科到海參崴，在本世紀初年需时数星期，可是現在只要数十小时就够了！在不久的將來，不着陆的环球飞行也就要变成寻常的事。

星际航行問題就要提到日程上来了。

二、三十年以前，大多数人都認為星际飞行是絕對不能實現的夢想。就是認真研究這個問題的人，也都認為最初的宇宙

飞行要到遥远的将来才能实现。

今天的情形已經跟过去大不相同了。所有各个技术部門都已有了如火如荼的發展，在噴气飞行方面，發展尤其惊人。这种情形就使我們自然而然要把星际飞行看成最近数十年內就能完全解决的技术問題，而不是什么空洞的幻想。

近年以来，一門新兴的科学——星际航行学已經逐漸形成。研究宇宙飞行理論的人已經越来越多。世界輿論对于星际航行学上的各种成就也已越来越注意。星际航行正在变成全人类的事業，世界各国人民都可以，并且應該，在这一方面进行科学上的合作。

許多国家已經組織了星际航行学会，有关星际航行各种問題的國際會議也經常召开。苏联是星际航行学的奠基人 K. Э. 齐奥尔科夫斯基的祖国，近来也对星际航行問題加以密切的注意。苏联科学院已經設立联合常設委員會来領導这一技术部門的一切工作。苏联政府已經責成科学院負責完成星际航行学上种种主要問題的科學理論研究。此外，以奇卡洛夫命名的中央航空俱樂部又設立了一个星际航行組，把一般星际航行学的愛好者組織起来。

星际航行学上一个急待研究的問題（這個問題也就是现阶段的主要問題）就是制造人造衛星。这种人造衛星，按照齐奥尔科夫斯基的想法，應該就是未来宇宙火箭的燃料基地。可是除了作为到达第一个宇宙站——月球的跳板以外，人造衛星还要担当其他种种任务。它們將被利用为特殊的宇宙實驗室，使人們可以在沒有空气的空間內进行地球上所不可能进行的各種研究。

这个偉大的技术課題是多么趣味橫生，引人入胜，这是不言而喻的。創造地球的人造衛星需要大批的各行專家（如天文

学家，工程师，医学家，生物学家）参加工作。因此同青年讀者談談当代这些重大的問題，也就是星际航行学上的問題，这是完全合乎时宜的，是十分有益的。因为在这本書的青年讀者中，一定有些人願意把自己的一生完全供獻給征服宇宙空間的偉大事業。毫無疑義，今天生活在地球上的这一代青少年中，也一定有人会有福气第一批飞上月球。而这本書，主要就是供这些青年星际航行家們閱讀的。

然而那些决定留在地球上从事旁的職業的人，大概也不会对人类生活中这一历史事件——人类飞出地球以外这件事——漠不关心的。因此这本書对于他們也不致沒有趣味。

本書著者將努力把這本書写得使每一个具有高中程度的人都能看懂。同时，著者將在遇有可能的地方，尽量使用簡單的計算来証实理論上的推断。我們不應該見了公式和計算就害怕，因为数学能把思想表达得十分簡單明了。此外，未来的星际航行家們还应当想到，在星际航行学上起主要作用的是物理学、数学和天文学。只有一貫喜愛精密科学的人，才有希望精通星际航行学。現在我們就来談談這門科学中的一个最有趣的問題吧。

牛頓的算題及其解答

1687年，牛頓出版了他的重要著作“自然哲学的数学原理”。他在这本書里，作了这样一个推論：

“如果在山頂上架起一尊大炮，用炮火的力量把一枚鉛制的炮彈平射出去，鉛彈在落到地面以前就会沿着曲綫飞过2英里的距离，这时（假定沒有空气阻力的話），發射炮彈的速度如果增加一倍，它飞行的距离也会差不多增加一倍；如果增加十倍，飞行的距离也会增加十倍。加大速率就可以随意加大飞

行的距离和减小彈道的曲度，因此我們可以使炮彈落到 10° 、 30° 、 90° 那么远的地方，可以使炮彈繞行全球，甚至飞入宇宙空間，直到無限远。”

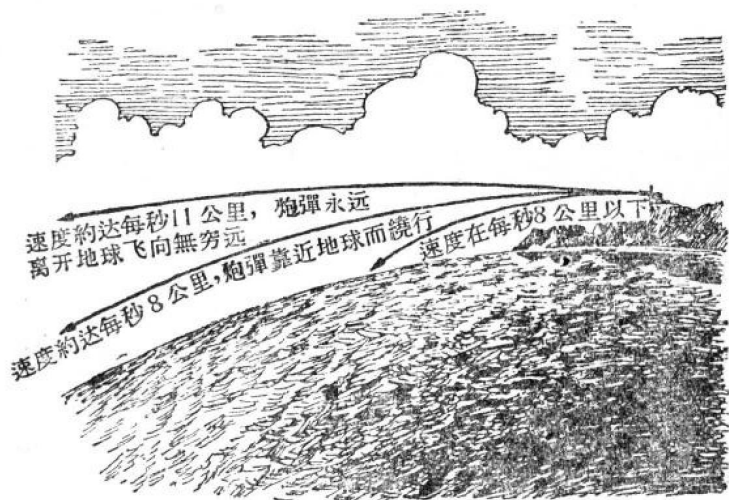


圖 1 牛頓山的算題。

讓我們把牛頓这个推論中所包含的算題仔細研究一下。这个推論的前一部分，没有什么可疑的地方。誰都知道，抛擲石块或其他物体的力量越大，石块或其他物体就飞得越远。同时我們知道，炮彈飞行的速度越大，彈道的曲度就越小，炮彈就飞得越远，因此它的彈道必然更平。

的确，無論哪位炮手也还不能把炮彈發射得这么远，使炮彈飞越經綫長度的 $1/4$ (90°)，也就是 10,000 公里。然而我們也可以相信这是做得到的——这就要看炮彈离开炮口的速度是不是够大。如果这个速度增大，炮彈飞行的距离自然也就增大了。

但一談到使炮彈環繞地球飛行一周，或照牛頓的說法讓它“繞行全球”，或者更進一步使它遠離地球而飛入宇宙空間，這就似乎很難叫人相信了。

可是我們先別忙着作結論，且給牛頓的推論找找數字的根據。

誰都知道，拋出的物體所以會落到地面，是因為地球有引力作用的緣故。地球的引力作用產生物體的重量，而物體的重量就使地球上一切物體停留在地面上而不致飛向天外。然而我們也可以這樣把一個物體拋擲出去，使它雖然沒有失掉自己的重量，仍能永不落到地球上，卻像個小小的月亮，繞着地球轉。

要作到這一點，必須使物體繞着地球旋轉的向心力，等於物體的重量，說得更精確些，就是必須使物體的重量變成這種運動中的向心力。

假定物體的質量等於 m ，重力加速度等於 g ，地球的半徑等於 R ，而我們所考查的這顆人造衛星所應具有的速度用字母 v 來表示。

牛頓所設想的那尊大炮所在的山頂，它的高度比起地球的半徑來當然是非常地小，小到我們不妨認為，這顆衛星軌道的半徑差不多等於地球的半徑。作用在這顆衛星上的向心力，按照已知的公式，等於 $\frac{mv^2}{R}$ 。為了使物體的重量（它等於 m 和 g 的乘積）不致妨礙衛星的圓周運動，卻相反地變成支持運動的向心力，那就必須使 $\frac{mv^2}{R} = mg$ 。把這個方程式兩邊的 m 消掉，就變成 $v = \sqrt{gR}$ ，用這個式子就可以求出未知的速度。

剩下來的工作是把下面的數值代入這個式子： $g = 9.8$ 米/秒² 和 $R = 637.10^4$ 米。結果， $v \approx 7,900$ 米/秒 = 7.9 公里/秒。

這樣看來，要使一個物體變成地球的人造衛星，“繞行全

球”，就必須使這物體得到差不多每秒鐘 8 公里的水平速度。

在這種場合，這顆衛星雖然好像是不斷地“落”向地球，其實却是圍繞地球作圓周運動。並且這時候，作用在這顆衛星上的唯一力量，只有它的重力。

不難算出，這樣一顆衛星將在多長時間內繞行地球一周。地球赤道圈的長度是 40,076 公里，而衛星的速度是每秒鐘 8 公里，由此得出這顆衛星繞行地球的周期是 1 小時 24 分。

牛頓當時自然沒有想到他所提出的這一算題会有什么實際意義。在他看來，這只不過是從理論上說明物體在引力作用下怎樣運動的一個例証罷了。

今天的科學卻對牛頓所提出的這一算題作了不同的估價，因為人們從這個算題里看出了為地球創造人造衛星的實際可能性。

我們當然不能用牛頓所說的方法來為地球創造人造衛星：把大炮架在山頂上，然後用需要的速度把炮彈射出去。用這種方法是達不到目的的。因為，即使現代的炮手有法子用那樣高的速度來發射炮彈，可是這枚炮彈仍然不能變成地球的衛星，因為大氣的阻力將迅速阻止炮彈的飛行，強迫它落到地上。

人造衛星一定要建立在地球大氣圈之外，才沒有東西妨礙它的自由運動。在大氣圈外建立人造衛星的技术，後文再談，現在我們不妨想一想建立在大气圈外的衛星將怎樣繞着地球運動。

離地越遠，地球的引力就越弱。例如，在地球表面上，重力加速度等於 9.8 米/秒^2 ，在地面上空 3,000 公里的高處，它只等於 4.5 米/秒^2 ，而在月球那樣的遠處（離地 384,403 公里），地球引力的加速度就只有 0.27 厘米/秒^2 。必須指出，使月球圍繞地球旋轉的向心加速度，正好也是這麼大，這一點

是牛頓首先証明的。這就是說，使月球繞地球旋轉的力量，只是地球的引力。

大家知道，月球繞行地球一周，需時 27 $\frac{1}{2}$ 晝夜。如果月球離地球更近的話，這兩個天體的相互引力就會更大，於是月球就會得到更大的速度，就會在更短的時期內繞行地球一周。

牛頓的前輩，有名的德國天文學家凱普勒（1571—1630）曾經發現一條法則，說明了各行星離日的距離同它們繞日旋轉的周期的關係。這條法則說：**各行星繞日周期的平方比等於它們離日平均距離的立方比。**

這條法則不但適用於行星和太陽，而且也適用於在相互引力作用下運動着的一切天體。讓我們運用它來算一算我們所要研究的問題吧。

如果用 R 代表地球和月球中間的距離， T 代表月球繞行地球的周期，又假定地球和月球中間有一顆人造衛星，它的軌道離地心的距離是 r ，試求這顆衛星的周期 t 。

按照凱普勒的法則， $\frac{t^2}{T^2} = \frac{r^3}{R^3}$ 。由此得出， $t = T \frac{r}{R} \sqrt{\frac{r}{R}}$ 。

這樣得到的式子可以用來計算任何一個大氣圈外的衛星繞行地球的周期。下表列出了這種計算的一些結果，可供參考。表內左欄是衛星離地心的距離（ r ），中欄是衛星離地面的高度（ h ）^①，右欄是衛星周期的大約數值（ t ）。知道衛星同地心的距離（ r ）和衛星的周期（ t ），就很容易求出衛星沿着自己的軌道運動的速度。讓我們用字母 v 來表示這個未知的速度。按照圓周運動的公式，我們知道 $v = \frac{2\pi r}{t}$ 。

① 衛星離地面的距離（ h ）比離地心的距離（ r ）短，正好短一個地球的半徑。——譯者

r	h	t
6,570 公里	200 公里	1小时28分
6,927 公里	557 公里	1小时35分
8,039 公里	1,669 公里	2小时
12,740 公里	6,370 公里	4小时
19,110 公里	12,740 公里	7.3小时
42,370 公里	36,000 公里	24小时

把上表中 r 和 t 的各組数值代入这个算式，就很容易看出，衛星离地越远，它的速度就越小，而离地面高达 36,000 公里时，它的速度就只有 3.1 公里/秒。

这样看来，如果人类能够为地球建立一顆人造衛星的話，宇宙間就会增多一个天体，这个天体虽然是人工造成的，它的运动仍然会服从一切真正天体所服从的法則。

牛頓的那段推論的末尾又說，可以使物体甚至“飞入宇宙空間，直到無限远”。这句话的意思也就是說，可以給物体一种速度，使它不会落回地球上，甚至于不变成地球的衛星，而永远离开地球去作星际旅行。这可能做到嗎？

牛頓所發現的万有引力法則認為質量为 M 和 m 的兩個物体^①彼此相吸的力量同它們質量的乘积成正比，同它們之間的距离 r 的平方成反比。把这句话写成式子就是：

$$F = f \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

式中的 f 是比例系数，也就是所謂引力常数。

从这条引力法則里可以得出一条重要的推論。假定質量为

① 在这个式子里，引力的法則仅对两个均匀的圓球或尺碼比起距离来非常之小的两个物体有效（也就是仅对“物質点”有效）。

m 的物体是在一个質量为 M 的行星表面上，而这行星的半徑是 R 。那么利用高等数学就可以証明，如果要使这个物体脱离行星的表面飞到無限远，就需要对它作功，其值等于

$$f \cdot \frac{M \cdot m}{R}$$

現在讓我們回过头来研究牛頓的算題。要使那枚从牛頓幻想中的大炮里發出的炮彈能够飞入無限远的宇宙空間，就必须給它一份同上述的功数值相等的动能。

因此，如果炮彈的質量是 m ，而它的射出速度是 v ，那么 $\frac{mv^2}{2}$ ① = $f \cdot \frac{Mm}{R}$ ，由此就得出 $v^2 = \frac{2fM}{R}$ 。

很容易理解到，位置在地球上的那枚炮彈的重量，就是它被吸向地球的力量，也就是 $mg = f \cdot \frac{Mm}{R^2}$ 或 $f \frac{M}{R} = gR$ 。

把最后得出的两个式子比較一下，就可以知道未知的速度（不算空气的阻力）可以根据 $v = \sqrt{2gR}$ 这个式子来求出。因为 g 等于 9.8 米/秒²，地球的半徑 R 等于 $6,370$ 公里，所以 $v = 11.2$ 公里/秒。

由此可知，要使炮彈飞入宇宙空間作長期旅行，这并不是件簡單的事。要做到这一点，炮彈必須得到不小于 $40,000$ 公里/小时的初速！現代技术力求达到的所謂“脱离速度”，就大到这步田地。

牛頓当时的交通工具只有輕便馬車和驛站馬車。至于高速度，只能向天体世界中去寻找。因此，牛頓才用純天文学的观点来研究他那有名的算題的解答法。

① $\frac{mv^2}{2}$ 所表示的就是物体的动能。——譯者

他不但求出了炮弹脱离地球的速度，又算出了在这场合炮弹会沿着一条怎样的曲线飞行。这里不打算引证牛顿的算法，因为要求出牛顿算题中那枚炮弹的一切可能的弹道，必须运用高等数学。这里只能把最后得到的结果提出来说一说。

原来，那枚由牛顿大炮平射出去的、速度为每秒 11.2 公里的炮弹，会沿着一条抛物线向前运动。大家知道，抛物线和圆不同，它是一种不闭合的曲线，它的两个分支彼此渐渐分开，延伸到无限远。牛顿算题中的那些抛物线都以那尊幻想中的大炮所在的地点为顶点，而炮弹就沿着抛物线的一个分支前进。

读者自然会发生一个问题：如果炮弹的速度大于“圆周速度”（每秒 8 公里），而小于“抛物线速度”（每秒 11.2 公里），那时候弹道会是什么样子呢？

牛顿证明，在这种场合，炮弹就会变成地球的人造卫星。不过它绕行地球的轨道不是圆形的，是椭圆形的（图 2）。

炮弹离开炮口时的速度越大，那么它的轨道所取的椭圆形也就越扁、越大。图 2 中那个椭圆是一颗速度在每秒 8 公里到 11 公里之间的卫星所取的轨道。速度越接近抛物线速度，椭圆形轨道就变得越扁、越大，结果在牛顿炮附近看它时，就很难看出它跟抛物线有什么区别。最后，速度如果到达了“脱离速度”，卫星就不再取椭圆形轨道绕行地球，而要永远离开地球，循着一条抛物线，去作星际旅行。

再让我们想一想炮弹的速度超过每秒 11.2 公里时，情形会怎样。牛顿曾经给我们证明过，这时物体将不再回到地球上，但是它也不会循着抛物线前进，却要循着双曲线的一股前进。炮弹的速度越大，它的双曲线轨道就越直，越接近于直线，越接近于经过牛顿山顶的一条地球表面的切线。自然，炮

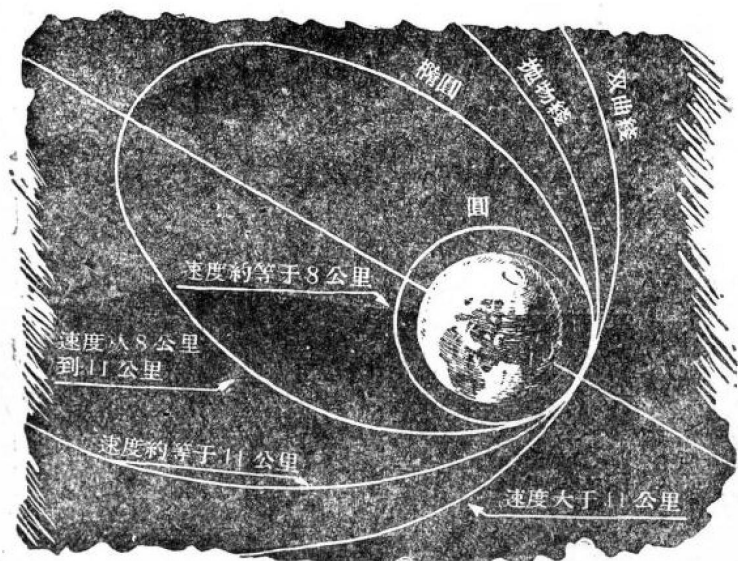


圖 2 物体的速度及其彈道形狀間的关系。

彈決不能循着切綫前进，因为要做到这一点，它的速度必須無限大，而这在实际上是办不到的。

現在可以作个总结：

牛頓炮的炮彈可以有种种不同的彈道。如果炮彈的速度小于圓周速度(每秒8公里)，它就会沿着一条在短距离中形似拋物綫的弧綫落回地面。速度到达每秒8公里时，炮彈就变成地球的人造衛星，循着圓形軌道繞行地球。也可以建立一种橢圓形軌道的衛星，只要它的水平初速是在每秒7.8公里到11.2公里之間就行。最后，要作星际飞行就得使物体具有至少每秒11.2公里的速度。物体具有这种速度时，它就会沿着拋物綫軌道或沿着双曲綫軌道中的一股而运动。

研究天体由于相互引力作用而产生的运动的科学，叫作天

体力学。牛頓就是天体力学的創始人。他圓滿地解决了天体力学上一个重要而又極其簡單的算題，所謂“二物体算題”。

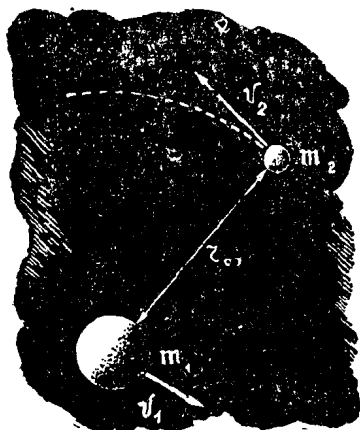


圖 3 二物体算題。

假定有兩個天体，已知其質量為 m_1 和 m_2 。這兩個物体互相吸引，最初它們中間的距離等於 r （圖 3）。這時候，每一物体的速度都可以用一條大小和方向已知的矢量來表示（矢量 V_1 和 V_2 ）。“二物体算題”就是要從上述已知數出發，算出兩物体在過去和未來任何一瞬間的位置。

這個算題已經由牛頓解决了。他証明，如果把一个物体看成不動的，那麼第二物体對第一物体來說，只能沿着我們前面講過的幾種曲綫（橢圓、拋物綫或雙曲綫）中的一種而運動。至於第二物体的軌道究竟是哪一種曲綫，那就要看這個“二物体算題”的已知數是什麼。不难看出，天体力学中的這個最簡單的算題跟牛頓算題有許多地方相似。兩個算題都講到有兩個互相吸引的物体，都提出了些“已知項目”，算題的具体答案就由這些“已知項目”來決定。

然而二物体算題比“牛頓算題”更具有一般性。在牛頓算題中，第二物体的初速永遠有着同一方向（水平方向）。在“二物体算題”中，初速的大小、方向、甚至二物体間的距離，都是沒有一定的。

以後我們就會講到，人造衛星可以建立在不同的高度上。它們的質量和它們的初速也將各不相同。所以，要計算地球的

人造衛星的軌道，就不但要運用“牛頓算題”的解答，還要運用二物體算題的一些公式。

如果我們認為對人造衛星起作用的只有地球的引力，而其他天體的引力可以不計，那末，這衛星的軌道就只能是圓形或橢圓形的。但事實上衛星的運動往往要複雜得多。

我們的天然衛星——月球，質量很大，離地球又很近，它對人造衛星的作用就不容忽略。只有那些在比較不高的地方（離地面几百公里處）繞行地球的人造衛星，才不至於受到月球的顯著影響。

至於離地球更遠的衛星，月球的引力就會使它們的軌道大大複雜化。

這裡的算題已經不是二物體算題而是三物體算題了，因為在這裡互相作用的有地球、月球和衛星三個物體。假定人造衛星的位置是在地球和月球中間某處，又假定在開始的某一瞬間，這三個物體相互間的距离以及它們的質量和初速都是已知數。我們的任務，就是要確定這三個互相吸引的物體中的每一個將怎樣運行，特別是我們所關心的那顆人造衛星將怎樣運行。

三物體算題的一般情況（就是當三個物體的質量都沒有一定的時候），也是極其複雜的，這個問題直到今天都還沒有得到真正的解答。雖然在本世紀初年，芬蘭一位數學家松德曼曾經推出了一些公式，用這些公式就可以根據已知數據來確定所有三個物體的位置，但是松德曼的那些公式極其繁雜，根本不能用來進行任何實際計算。

三物體算題中只有某些特殊情況可以比較簡單地解決。一種這樣的情況已經由有名的法國數學家蘭格倫日在十八世紀末年推算出來了。它的內容如下。