

蘇聯科學專著譯叢

星 系 學

商 務 印 書 館

蘇聯科學專著譯叢



星 系 學

巴 連 那 果 著
陳 彪 譯

商 務 印 書 館

星系學內容提要

本書是蘇聯 П. П. Паренного 教授根據他自 1934 年起在莫斯科大學所作的講稿寫成的，目的是介紹星系學方面的基本觀念和方法，使學生能獨立地進修和作科學研究。內容包括關於恆星和銀河系內各種天體的分佈和運動、河外星雲的分佈和運動的知識，並從觀測的基礎上推論無限宇宙的構造及星系力學。對於決定恆星方位、距離、運動和求得恆星在空間運動規律的方法，作了詳細的敘述，而對於研究工作的結果，也有綜合的說明。這就使本書同時具有教科書和研究工作參考書的雙重優點。蘇聯天文科學正在迅速發展中，這個譯本的出版，也可以使我們對蘇聯天文學的成就、蘇聯天文學家的觀點，有進一步的認識。

本書係根據蘇聯 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 出版局 1946 年版譯出，原名 КУРС ЗВЁЗДНОЙ АСТРОНОМИИ。

蘇聯科學專著譯叢

星 系 學
陳 彪 譯

★ 版權所有 ★

商 務 印 書 館 出 版
上海河南中路二一四號

中國圖書發行公司 發行

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷
◆(56272)

1953 年 8 月初版 版面字數 354,000

印數 1—2,200 定價 ¥ 34,000

上海市書刊出版業營業許可證出〇二五號



在半人馬座的銀河

譯 序

星系學本應譯爲恆星天文學(Курс звёздной астрономии),但是因爲本書主要內容是講述恆星以及由恆星和星際物質組成的天體系統,如星團、銀河系及河外星雲和河外星雲系統的構成及運動的知識的,所以譯者覺得恆星天文學並不能包括了本書的內容,就大胆地改用了星系學的名稱。

原書是1946年出版的,距今已有七年之久。但是這並不妨礙本書之成爲一本可以在今後相當長的時期之內講述恆星系統的良好教科書。因爲原書着重在基本知識和工作方法的傳授,並不以尙未爲衆所公認的最近的結果廣事招徠。而且關於恆星系統的構造及它的運動的探究,是一個長期的工作,短短數年之間,可以肯定的結果是很少的。

本書的翻譯起源於譯者在解放初期渴求知悉蘇聯天文的成就以及蘇聯天文工作者的工作態度的熱望。翻譯的過程使這種熱望得到了良好的報酬。可以說,翻譯本書的結果增加了個人對於「學習蘇聯」這一句話的體會,堅定了學習蘇聯的信心。

由於譯者俄文程度很低,又是第一次擔任這樣長的翻譯工作,錯誤和疏忽一定很多的,希望讀者隨時指正。

在本書翻譯過程中,承羅定江同志的熱情幫助,張鈺哲、李珩、戴文賽諸先生的鼓勵,特此致謝。

陳 彪

一九五三年五月

初 版 序

星系學是天文學中研究星體宇宙構造的一部份。星系學和天體物理學（就其狹義的意義而言）一般是不很容易區分的。天體物理學研究星的內部、星體大氣和星際空間散漫物質的性質，由此供給星和瀰漫星雲的構造的推論。星系學把所有的星看成個統計的整體，來研究它們的分佈和運動，得到一些關於銀河系構造的推論。用相似的統計方法研究銀河系以外的星系，可以使我們知道大宇宙的構造（譯者註：這是指超出銀河系以外所能見到或想像到的宇宙），至少是整個宇宙中，現在我們所能觀測到的這部份。

這一課本是根據自 1934 年起在國立莫斯科大學為專攻天文的四年級學生所作的講稿寫成的，目的為使學生能獨立地在星系學方面進修和作科學研究。現在正是星系學發展得很快的時代（自 20 世紀初年開始）。專門期刊中充滿了星系學的工作，但若沒有課本系統地把這部份天文學的基本觀念和方法介紹給讀者，那他們在這方面開始研究是會感到困難的。

我很了解學生們在一本太缺乏數學語言的課本中所碰到的困難，因此就有意的在本書中大量地把公式的轉換和結果都寫出來。這樣他們就可以少花點時間在換算的過程上，而有更多空餘時間花在問題本質的研討上。

書中附了若干習題，大部份是我供給的，只有小部份來自他處。這些習題談不上有趣和重要，只是課本中所得到的公式的簡單應用，但也有少數公式推導的題目。每章後面絕大多數的習題都是些小研究或換

算的主要部份。作這種練習對以後在星系學方面工作會有幫助。有時我也介紹些個別本身有價值的習題（如第1章習題2；第2章習題4, 5, 10；第5章習題5及其他）。書末附有習題解答，因為我覺得沒有解答的習題是完全沒有意義的。這些解答供給了數字結果或推求公式的暗示以及所求公式的最終形式。若有學生不能獨立作習題，那他就得翻翻解答再作計算。

本書有少量初學者可略去的資料，其中最大多數以小字印出。我覺得插入這些資料是很合宜的，課本中資料應比講稿多點，使那些最感興趣的學生得以滿足他們的好奇。

在正文之後有重要參考文獻表，其中俄文佔多數，只有四分之一是他國文字，這中間以英文為最多。每章之後，有列舉和該章有關的文獻號碼，以便查閱。

莫斯科

1937 年 3 月

再 版 序

本書初版寫於 1936 年末到 1937 年初，在當時還沒有類似的書。到現在已另外有兩本書出現：一本是厚冊的（900 頁）馮·德·巴倫（E. von der Pahlen）所著“星體統計學”（Lehr buch der Stellarstatistik, 1937），這書包括許多未曾經過整理的資料；另一本是司瑪特（W. M. Smart）的“星系力學”（Stellar Dynamics, 1938），這書未準備包括所有星系學的問題，它只用運動學觀點致力討論星體的運動。這兩本書可以介紹做進一步進修的參考，不僅因為它們很可一讀，包括許多不同的問題；而在深入研究星體速度分配時（二流學說和橢圓體分配說），也應讀這兩本書。

本書二版中，第 7 章“星系力學”是重新寫過的（初版中由於這題目首次出現，在嘗試以俄文表達時不免稍嫌拙劣）。第 41、42、46、47 等討論到星系統計方程的推導、暗星雲和星光吸收的各節也重寫過（最後一節的材料發展很快，若干年後，其中許多部份又有了進展是不足為奇的）。第 22、24、34、44、45 和 53 各節根本改寫了，所有其他各節也經過不同程度的修改。在所有這些改變之中，各種批評都曾注意到，其中有根本重要性的是普爾科佛（Пулков）天文學家在 1939 年 2 月 16 日送給我的簡短意見。對所有這些意見和批評我都致以深切的謝意。

二版中刪去了雙星和變星那兩章，因為這兩個題目在一般天文課本裏，都有相當敘述（如國家印書局出版的伏倫索夫-維揚米諾夫教授著的“實用天體物理學”——Волонцов-Вельяминов: Курс практической астрофизики, 1940 —— 的第 10 和 14 兩章）。

如同初版一樣，作者對書中數據的精確性非常注意。書末又加了 4 個表：

I. 赤經赤緯 (1900.0) 和銀河坐標系統的轉換表，銀河北極方向取為 $A=12^h40^m$, $D=+28^\circ$ 。

II. 距離模數 $m-M$ 表，是秒差距表示的距離表。

III. 不同光譜型的星的絕對視星等表 (羅素圖)。

IV. 由范·理恩 (van Rhijn) 和雷登 (Luyten) 的數據所得到的照相光度函數表。

1941 年，由於完全可以了解而不屬於印書局的原因，本書出版工作停頓。當 1944 年夏，它的出版可能性成為事實時，有許多地方又重新寫過，特別注意到書中表中數據的更新。第 7 章主要因為張特拉塞卡 (Chandrasekhar) 的工作出現的影響，又第三次重寫。第 35 節全部和第 52 節一部也重寫過，有些改變，又加了習題。這樣，奉獻在讀者之前的這本書，並不是二版，而是三版了。

我願向庫里柯夫斯基 (П. Г. Куликовски) 和霍洛波夫 (П. Н. Холопов) 致深切的謝意。他們使我注意到一系列敘述錯誤的地方。

巴連那果 (П. П. Паренаго)

1944 年 11 月 4 日

國立斯騰堡 (Штернберга) 天文研究所

莫斯科大學

目 錄

譯序

初版序

再版序

緒論 星的方位、光度和光譜特性	1
-----------------------	---

§ 1 星的方位	1
§ 2 銀河坐標	1
§ 3 星的亮度	3
§ 4 星等的分類	5
§ 5 星的光譜分類	9

第一章 星的距離測定	14
------------------	----

§ 6 周年視差對坐標的影響	14
§ 7 星系學中距離的單位	19
§ 8 歷史的回顧	20
§ 9 現代決定三角視差的方法	26
§ 10 絕對星等和星的光度	37
§ 11 分光視差	39
§ 12 羅素圖	44
習題	48

第二章 星的運動	49
----------------	----

§ 13 簡短的歷史回顧	49
§ 14 決定自行的方法	51
§ 15 星的視線速度	62
§ 16 星在空間的速度和它的分量	65
§ 17 平均視差的經驗式	68
§ 18 光度函數	77
習題	79

第三章 太陽在空間的運動	81
--------------------	----

§ 19. 總論・自行的 μ 和 ν 二分量	81
§ 20 第一次由自行決定向點	83
§ 21 愛里法	85
§ 22 伯拉維法	87
§ 23 凱普泰因的工作・由自行決定向點的最好方法的總結	90
§ 24 由星的視線速度決定向點	92
§ 25 用星的空間速度決定向點	94
§ 26 K -效應・由視線速度和空間速度求太陽向點的較好結果的總結	96
§ 27 由星的運動決定視差	100
習題	104
第四章 星的運動的規律	105
§ 28 星的運動和它的光譜型的關係	105
§ 29 移動星團	105
§ 30 對星的本動是無規則的假設的批判	110
§ 31 二流理論	116
§ 32 星的速度的橢圓分配律	119
§ 33 星體運動的不對稱狀態的發現	127
§ 34 銀河自轉	135
§ 35 用加姆函數研究銀河系轉動	150
習題	153
第五章 銀河的構造	155
§ 36 歷史的回顧	155
§ 37 到一固定星等為止的星數計算	159
§ 38 西利格的研究	168
§ 39 凱普泰因的研究	173
§ 40 星體統計學的積分方程式	174
§ 41 星體統計學的積分方程式的一般形狀	179
§ 42 星體統計方程式之解	184
§ 43 區域系統和銀河塵霧	188
§ 44 星團	195
§ 45 暗星雲	209
§ 46 銀河中的吸光	216
§ 47 銀河系的構造	237

習題.....	249
第六章 大宇宙.....	251
§ 48 關於河外星雲的基本知識.....	251
§ 49 河外星雲的距離、總星等和直徑.....	253
§ 50 河外星雲的根本特點.....	258
§ 51 河外星雲的視分佈.....	263
§ 52 最近對河外星雲的描述.....	267
§ 53 大宇宙的構造.....	276
習題.....	284
第七章 星系力學.....	285
§ 54 星系力學的目標.....	285
§ 55 星的互相接近.....	287
§ 56 星系的普遍理論.....	291
§ 57 運動的統計方程式.....	299
§ 58 穩定銀河系的力學.....	303
§ 59 不穩定銀河系的力學.....	316
§ 60 星體速度的橢圓分配作為銀河系旋轉的結果.....	321
§ 61 軸對稱和平面對稱的穩定星系的圓和近圓的軌道.....	324
§ 62 林德伯拉德的特性圖 ($I_1 I_2$).....	332
§ 63 特性圖 ($I_1 I_2$) 應用到不同星系的問題.....	335
§ 64 林德伯拉德關於河外星雲是旋渦形的理論.....	345
§ 65 奧果羅尼柯夫—米納的星系運動學理論.....	354
§ 66 星團力學.....	366
習題.....	381
習題解答.....	382
重要文獻.....	394
附表.....	398

星 系 學

緒 論

星的方位、光度和光譜特性

§1 星的方位 從星射來的光可分三方面研究。首先可以用赤經 α 赤緯 δ 決定它的方向，其次可以量它的光度，最後可以研究它的光譜。前者是方位天文學的工作，研究決定星在天球上的位置的方法。星系學中用 α, δ 表示的星的方向和星的距離 r 結合起來，可用以研究星在空間的分佈狀況。而由於星和太陽在空中運動引起的這三個坐標(α, δ, r)的時變率——星的赤經自行 μ_α ，赤緯自行 μ_δ ，和視線速度 V_r ——也是星系學的研究題目。

§2 銀河坐標 星系學中常用的有兩種球面坐標系統：一是赤道坐標——赤經 α ，赤緯 δ ，這都可以由觀測直接得到；另一是銀河坐標，它的基本大圓是平分銀河系被稱為銀道的大圓。銀河坐標系統是根據在一固定曆元，銀河北極的赤經 A 和赤緯 D 決定的。這一曆元已被決定為 1900.00 年。這樣就消除計算歲差的必要，使得到的銀河坐標不必每年隨黃道赤道的相互位置變化而改變（譯者註：從 1950 年開始，計算銀河坐標的曆元應取 1950.00 年，因 1950 年以後的赤道坐標都是對 1950.00 年春分點計算的）。銀河坐標不能直接量得，必須從赤道坐標換算。

圖 1 中取 P 作赤道北極， AQ 是赤道； π 作銀河北極， GL 是銀道。

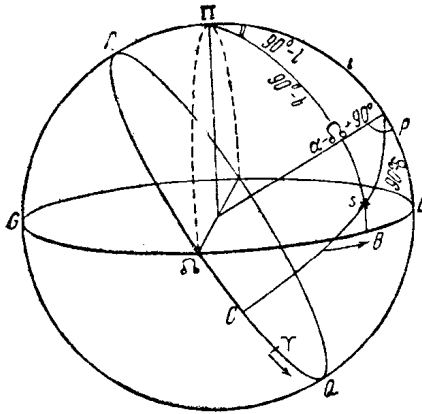


圖 1

由銀道到星點 S 在中心 O 所張角距是銀緯 b ，銀緯由 0° 到 $\pm 90^\circ$ ，和赤緯一樣。銀經 l 是從銀道上任意一點順着計算赤經一樣的方向(反時鐘方向)到 B 點在中心 O 所張的角度。現在習慣上所取零點是赤道銀道的兩個交點中銀道由赤道南面順銀經計算方向到赤道北面的那一交點，這點叫作銀道在天球

赤道上的升交點，圖中以 Ω 表示，於是星點 S 的銀經就是 ΩB 。 Ω 點的赤經 $\gamma Q A \Omega$ (也以 Ω 表示)和銀道與赤道的夾角 i 完全決定了銀河坐標系統。已知 Ω 和 i 就等於知道了銀河北極 π 的赤經 A 和赤緯 D ，它們有這樣的關係：

$$\Omega - A = 90^\circ, \quad D + i = 90^\circ.$$

下面是把星的赤道坐標轉換成銀河坐標的推算公式。

在球面三角形 πPS (圖 1) 中應用球面三角公式，得

$$\left. \begin{aligned} \sin b &= \sin \delta \cos i - \cos \delta \sin i \sin(\alpha - \Omega), \\ \sin l \cos b &= \sin \delta \sin i + \cos \delta \cos i \sin(\alpha - \Omega), \\ \cos l \cos b &= \cos \delta \cos(\alpha - \Omega), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin \delta &= \sin b \cos i + \cos b \sin i \sin l, \\ -\sin(\alpha - \Omega) \cos \delta &= \sin b \sin i - \cos b \cos i \sin l, \\ \cos(\alpha - \Omega) \cos \delta &= \cos b \cos l. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(1) 式可由已知 α, δ 換算為 l, b ; (2) 式是反過來的應用。

這兩組公式在應用時可以變成對數形式。不過一般都已製備了換

算表應用。其中比較好的要算奧爾生(J. Ohlsson)的“倫德(Lund)天文臺赤道坐標和銀河坐標換算表”(倫德天文臺年報1932年第3號)^①。在這表中, $i=62^\circ$, $Q=280^\circ$, 即 $A=190^\circ$, $D=28^\circ$ ^②。應用這些數字知道, 銀道升交點在天鷹座, 銀河北極在后髮座, 銀河南極在玉夫座。因為銀極位置決定的準確度最高也不過 $0.^\circ 1$, 所以表中換算的精確度也不高過 $0.^\circ 1$ 。

爲了 l, b 的計算方便起見, 可用下式代替(1)式:

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} l &= 0.46947 \operatorname{tg}(\alpha + 80^\circ) + 0.88295 \operatorname{tg} \delta \sec(\alpha + 80^\circ), \\ \sin b &= -0.88295 \cos \delta \sin(\alpha + 80^\circ) + 0.46947 \sin \delta.\end{aligned}$$

§3 星的亮度 兩千年來, 星的亮度都用「星等」表示。星等和星的大小並無關係。早在希巴克斯(Hipparchus)和以後的托勒玫(Ptolemy)就已把肉眼能夠看到的星分成6等, 最弱的星是6等星。這種分法一直沿用至今。

以後就證實了凡星等差相同的星, 它們的亮度比就一樣, 因此知道按星等差排列的星, 它們的亮度成一幾何數列。這種視覺的特性是維別爾(Вебер)的心理生理學定律的特殊情形。根據這定律, 由任何刺激所產生感覺上的變化, 是和刺激因子的相對變化成比例的。這定律在光感方面的應用曾經佛克納(Fechner)詳細研究過, 因此叫作維別爾——佛克納定律。

令 dm 爲人對星光感覺的變化, 星的亮度和變化各爲 E 和 dE 。維別爾——佛克納定律就可寫成 $dm = -cdE/E$, 其中 c 爲一常數, 負號是因為亮度減小時表示星等的數字是增加的。積分上式可得 $m = -c$

① 該表的縮型列在書末(表1)。

② 根據所有有高度集中銀河平面傾向的天體, 所作最精確的銀河北極決定是范·杜德爾在1942年得到的, $A=191^\circ.0 \pm 0^\circ.3$; $D=+27^\circ.5 \pm 0^\circ.2(1900.0)$ 。

$\ln E + C$, C 是另一常數。對另一星也可以得到相似的式子 $m_0 = -c \ln E_0 + C$ 。兩式相減得：

$$m_0 - m = c \ln \frac{E}{E_0},$$

或是

$$\frac{E}{E_0} = e^{(m_0 - m)/c} = (e^{\frac{1}{c}})^{m_0 - m} = \rho^{m_0 - m}.$$

取 $m_0 - m = 1, 2, 3, 4, \dots$, 可得 $E/E_0 = \rho, \rho^2, \rho^3, \rho^4, \dots$ 。這關係可以這樣說：當光度以幾何級數變化時，光感（星等）則以算術級數變化。

取上述數列中 m 等和 n 等的兩顆星，把它們的公式相除，得

$$\frac{E_m}{E_n} = \rho^{n-m} \quad (3)$$

根據普森 (Pogson, 1856 年) 的建議，一般取星等的標準都爲了使 (3) 式中 ρ 的常用對數是 0.4。實際上，在不同的老星表中， $\lg \rho$ 僅近於 0.4 而不恰好是 0.4。如斯騰赫爾 (Штейнхейль) 星表中 $\lg \rho = 0.45$ ，吳爾夫 (Wolf) 星表中 $\lg \rho = 0.37$ ，有名的波恩 (Bonner Durchmusterung; BD) 星表中 $\lg \rho = 0.39$ (由 5 等星到 9 等星的平均數)。

取 $\lg \rho = 0.4$ ，則得

$$n - m = 2.5 \lg \frac{E_m}{E_n}, \quad (4)$$

若把零等星 ($n=0$) 的亮度作爲單位亮度 ($E_n=1$)，則

$$m = -2.5 \lg E_m \quad (5)$$

(4) 式是用來把星的光度比換算成星等差的。必須記住，1:100 的光度比相當於 5 星等差，相差 1 星等的星的光度比是 2.5119，對數是 0.4。

(5) 式可以用來求雙星亮度之和。如組成雙星半人馬座 α 的兩個星，它們星等是 $0^m.33$ 和 $1^m.70$ 。肉眼看上去只是一顆星，現在要求它的總星

等。這兩個星的亮度，用(5)式求出是 0.738 和 0.209，所以總亮度是 0.947，再從(5)式就可得到相當的總星等是 $0^m.06$ 。

在星系學中，星等是星的最重要的一種數字。應用普森法則($\lg \rho = 0.4$)，可把星等的觀念伸展到非常明亮和非常暗淡的星。如在葉克士(Yerkes)天文臺的 100 厘米折光望遠鏡中能看到的最暗的星達到 17 等。用威爾遜山(Mt. Wilson)天文臺的 250 厘米反光望遠鏡照相，可以得到 21 等的暗星(露光 4 小時)。非常明亮的天體的星等便加以負號。如織女星是 $+0^m.1$ ，老人星是 $-0^m.9$ ，天狼星是 $-1^m.6$ ，金星最亮時是 $-4^m.4$ ，上下弦的月是 $-9^m.0$ ，望月是 $-12^m.6$ ，太陽是 $-26^m.8$ 。

§4 星等的分類 前面講的只是肉眼所能觀測到的星的輻射。但若光源溫度不同，輻射能在波長方面的分佈也有不同。把星體輻射作為完全黑體的輻射時，在它光譜上能量的分佈就可用普朗克(Planck)公式表示：

$$E_{\lambda} d\lambda = c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} d\lambda, \quad (6)$$

其中 c_1, c_2 是常數。星的總輻射量可由積分(6)式得到，積分範圍包括所有波長，即 λ 從 $0 \rightarrow \infty$ 。但這仍然不能代表星的亮度，因為星的輻射受有地球大氣和光學儀器的選擇吸收(隨波長而不同的吸收)。又由於肉眼對不同波長輻射的感應程度不同，所以不同波長的輻射被肉眼吸收的程度也不同。一般除肉眼而外，其他感光工具如照相底片，光電儀器等也可用來觀測。這些感光工具對各種輻射的感應就和肉眼不同。為了特殊目的，有時還用濾光板調節到達感光工具的輻射的顏色。若令 p_{λ} 為地球大氣對波長 λ 的透明度， q_{λ} 是儀器各部份的透明度， r_{λ} 是所用濾光板的透明度， ε_{λ} 是眼睛或任何感光儀器的靈敏度，則應用一定儀器所得亮度可以