

宇宙奧德賽
飛向宇宙盡頭

宇宙奧德賽
飛向宇宙盡頭

王爽 著

前言

各位讀者，好久不見。

《宇宙奧德賽》系列的第三本書，一直拖到現在才出版。有必要解釋一下，此書為甚麼會如此「難產」。

一個原因是新冠。這場改變了無數人生活的世紀瘟疫，徹底打亂了我的寫作計劃。但這並不是最主要的原因。最主要的原因是，此書的寫作難度遠遠超過預期。

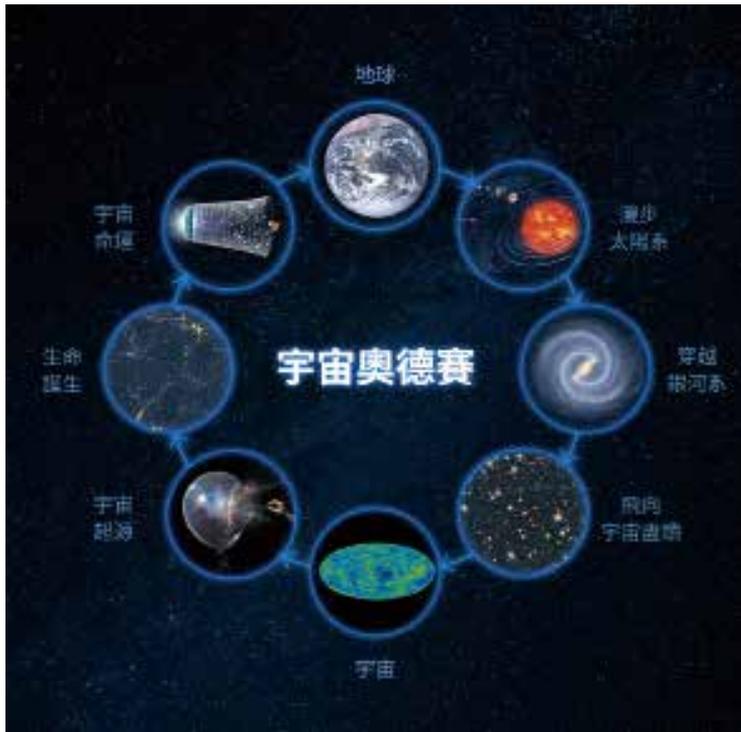
舉個例子。市面上目前已經有很多優秀的天文科普書，涉及多個不同的主題，例如行星、恆星和宇宙。但是，純粹以星系為主題的天文科普書到底有多少呢？就我目前所知，好像一本都沒有。

星系的主題之所以如此難寫，是因為它的內容特別分散和龐雜。這樣一來，就很難構造一個完整而清晰的知識體系，把所有關於星系的知識都囊括進去。所以市面上的天文科普書，提到星系時不是一筆帶過，就是簡單放一些天文美圖了事，幾乎沒有專注於星系這個主題的作品。

但是《宇宙奧德賽》系列的前半段（下頁圖），已經設計成了宇宙空間之旅，必須按從近到遠的順序，依次遊歷以太陽系為代表的行星世界、以銀河系為代表的恆星世界和銀河系以外的星系世界。所以要想完成這場環遊全宇宙的旅程，一本以星系為主題的科普書是不可或缺的。

所以這3年，我陷入了創作上的困境。一方面，確實很難用一條清晰的邏輯主線，把所有關於星系的知識都串在一起。另一方面，由於此系列前兩本書的口碑甚好（豆瓣評分分別為9.1分和9.2分），我很怕質量不高的第三本書會砸了自己的招牌。

啟發我走出這個困境的，是疫情期間開通的珠海觀光巴士。這條雙層巴士旅遊路線的特點是，以珠海市情侶路為主線，把市內最有名的旅遊景點都串在一起。至於不在這條主線的景點，就直接忽略了。



這是最喜歡的珠海旅遊路線。它給我的啟發是，只要能把握住旅遊的主線，即使只能遊覽有限的景點，一樣能獲得很好的旅行體驗。

所以在創作本書的過程中，我做了不少「減法」。不少位於河外星系中的景點（例如伽馬暴、快速射電暴和黑洞潮汐瓦解），由於無法納入宇宙空間之旅的主線，被直接忽略。正如珠海觀光巴士直接忽略了那些不在海邊的景點。

不妨把我們上次旅行飛出的銀河系，視為我們生活的中心城區。在它之上，還有 4 個更大的天體系統，分別是我們生活的城市（本星系群）、省（室女座超星系團）、國家（拉尼亞凱亞超星系團）和星球（可觀測宇宙）。本書的邏輯主線，就是按照從小到大、由近及遠的順序，依次遊覽這 4 個天體系統，進而呈現出宇宙的「俄羅斯套娃」結構。正如前面提到的，為了凸顯這條旅遊主線，我們放棄了一些非必要的景點。

在創作上，本書沿用了《宇宙奧德賽》系列的兩大核心理念，即「物理圖像可視化」和「知識故事相結合」。換言之，本書幾乎不用數學公式，而是靠類比的方

法來介紹最核心的物理圖像。此外，也會在介紹科學知識之餘，講述人類發現這些知識的歷史。

到目前為止，我的新浪微博已經有了 300 多萬的粉絲，而 # 宇宙奧德賽 # 話題的總閱讀量也突破了 12 億。感謝諸位網友的耐心等待。宇宙空間之旅的完結篇，讓我們一起出發吧。

目錄

引言 / 1



01 本星系群 / 3

- 1.1 倒數第一的「學渣」如何開啟中微子天文學的新時代？ / 5
- 1.2 人類如何揭開麥哲倫星流的神秘面紗？ / 14
- 1.3 誰是銀河系最近的鄰居？ / 20
- 1.4 仙女星系為甚麼能成為本星系群的霸主？ / 25
- 1.5 甚麼是本星系群的終極命運？ / 30



02 室女座超星系團 / 36

- 2.1 天上的星系有哪些類型？ / 39
- 2.2 M87 星系為甚麼會有宛如宇宙探照燈的星際噴流？ / 48
- 2.3 人類歷史上首張黑洞照片的真面目是甚麼？ / 53
- 2.4 人類如何了解星系的碰撞和併合？ / 60
- 2.5 為甚麼說室女座超星系團不是引力束縛系統？ / 67



03 拉尼亞凱亞超星系團 / 71

- 3.1 類星體是怎麼被發現的？ / 73
- 3.2 類星體的真面目是甚麼？ / 80
- 3.3 拉尼亞凱亞超星系團是一個怎樣的「國家」？ / 84
- 3.4 為甚麼說霍格天體是宇宙中最神秘的星系？ / 90
- 3.5 人類目前發現的最大天體結構是甚麼？ / 97



04 可觀測宇宙 / 105

- 4.1 人類如何發現宇宙在膨脹？ / 107
- 4.2 人類如何發現宇宙有一個起點？ / 113
- 4.3 人類如何算出宇宙的年齡？ / 118
- 4.4 人類如何知曉可觀測宇宙中到底有多少個星系？ / 121
- 4.5 這場宇宙空間之旅能看到怎樣的風景？ / 128

致謝 / 138

引言

宇宙奧德賽之旅的第三段旅程，我們將從銀河系出發，一直飛到可觀測宇宙的盡頭。^①

但是在開始這段旅程之前，我想先用類比的方式，讓你對可觀測宇宙的大小，有一個直觀的印象。

如果把太陽系當成一棟獨門獨院的「別墅」，那麼地球就是這棟「別墅」裡的一顆「玻璃珠」。

4000 億棟和太陽系差不多大小的「別墅」聚在一起，就構成了一個直徑 10 萬光年的「中心城區」。這個「中心城區」叫銀河系。

在離銀河系 250 萬光年遠的地方，還有另一個「中心城區」，叫仙女星系。這兩個「中心城區」，再加上方圓 1000 萬光年內的 50 多個矮星系，就構成了一座「城市」。這座「城市」叫本星系群。

本星系群只是一座「小城市」。在離它 5000 萬光年遠的地方還有一座擁有 2000 個星系的「大城市」，叫室女座星系團。以室女座星系團為「省會」，再加上方圓 1 億光年內的 100 多個「城市」，就構成了一個「省」。這個「省」叫室女座超星系團。

室女座超星系團的周圍還有 3 個「省」，分別是長蛇-半人馬座超星系團、孔雀-印第安超星系團和南方超星系團。這 4 個「省」像群山一樣，環繞着一個位於中心的「首都」。這個「首都」叫巨引源，與地球相距 2.2 億光年，其質量能達到太陽質量的 5×10^{16} 倍。在「首都」周圍、長度為 5 億光年的範圍內，有一個形如巨大山谷的「國家」。這個「國家」叫拉尼亞凱亞超星系團。

1 可觀測宇宙是指以地球為中心、用望遠鏡能夠看到的最大空間範圍。它僅僅是整個宇宙的一小部分。



拉尼亞凱亞超星系團並不算一個大國。它連同周邊的 4 個「國家」，組成了一個「國家聯盟」，叫作雙魚-鯨魚座超星系團複合體。這個「國家聯盟」有 10 億光年長、1.5 億光年寬。

比「國家聯盟」更大的是「大洲」，也就是所謂的星系長城。其中最著名的「大洲」包括人類最早發現的 CFA2 長城、橫跨 14 億光年的斯隆長城、橫跨 40 億光年的巨型超大類星體群，以及橫跨 100 億光年的武仙-北冕座長城。這個與地球相距 100 億光年的武仙-北冕座長城，就是人類目前發現的最大天體結構。

而眾多「大洲」又構成了一個直徑 930 億光年的「星球」。這個「星球」就是可觀測宇宙。

現在你應該對可觀測宇宙的大小有一個直觀的印象了。它是一個直徑 930 億光年、擁有成千上萬億個星系的巨大「星球」。其外觀很像一個俄羅斯套娃，由星系群（小城市）、星系團（大城市）、超星系團（省或國家）、超星系團複合體（國家聯盟）、星系長城（大洲）等各種天體結構嵌套而成。

接下來，我們將按照由近及遠、由小到大的順序，依次遊覽我們居住的「城市」（本星系群）、「省」（本超星系團）、「國家」（拉尼亞凱亞超星系團）和「星球」（可觀測宇宙）。



01

本星系群



我們所居住的「城市」，是擁有 50 多個星系的本星系群，其直徑約為 1000 萬光年，而總質量約為太陽質量的 2.5×10^{12} 倍。本星系群的形狀像一個啞鈴（圖 1.1）。也就是說，它有兩個星系密集的区域：一個是以銀河系為「中心城區」、周邊有 30 多個「小弟」的銀河系次群，另一個則是以仙女星系為「中心城區」、周邊有 10 多個「小弟」的仙女星系次群。

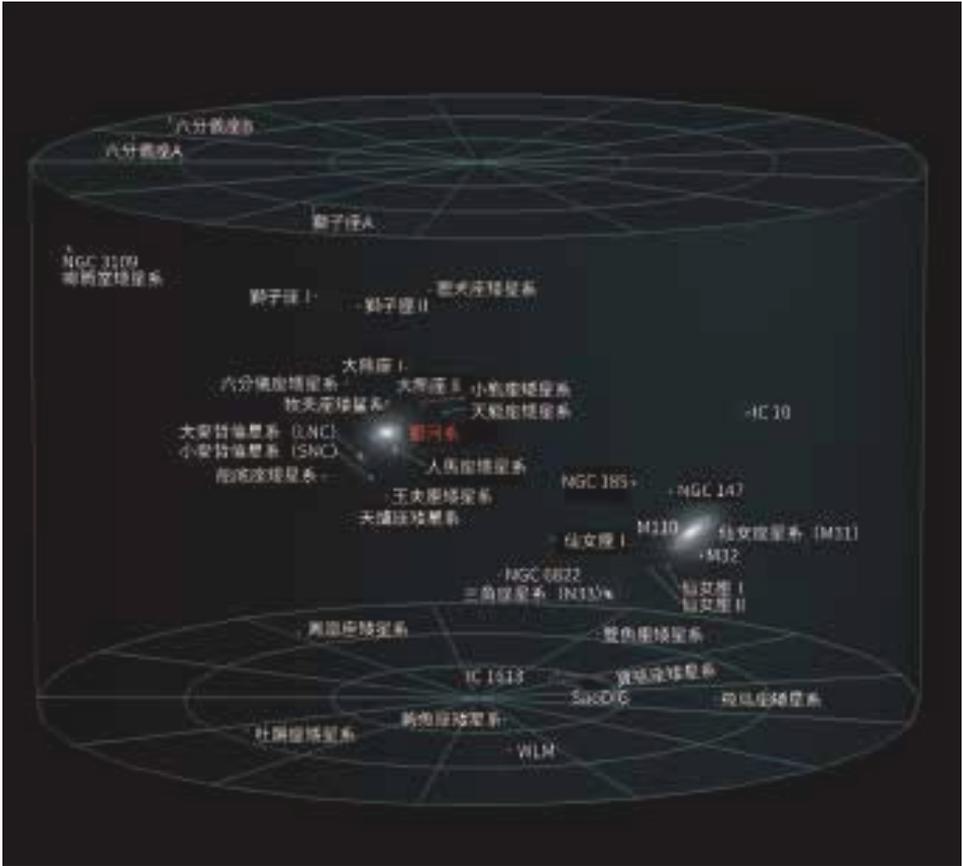


圖 1.1 本星系群

由於篇幅有限，我們不可能走遍本星系群的每一個角落。所以，接下來我們只遊覽這個「城市」中最有名的景點。

1.1 倒數第一的「學渣」如何開啟中微子天文學的新時代？

我們先來逛逛銀河系次群。之前說過，除了銀河系這個「中心城區」外，銀河系次群還擁有 30 多個「小弟」，也就是所謂的矮星系。在這些矮星系中，知名度最高的無疑是大、小麥哲倫雲（圖 1.2）。



圖 1.2 大、小麥哲倫雲

大、小麥哲倫雲是在地球南半球才能看到的兩個不規則矮星系。它們之所以有名，是因為有兩項與它們相關的科研工作，在整個天文學史上都留下了不可磨滅的印記。

其中一項科研工作，我們在之前的銀河系之旅中已經做過詳細的介紹。1908—1912 年間，美國大天文學家亨麗愛塔·勒維特通過對大、小麥哲倫雲的持續觀測，證明了造父變星是一種可以用來測量遙遠宇宙學距離的標準燭光，從而開創了一門全新的學科，即現代宇宙學。

而另一項研究工作，則與 1987 年 2 月 23 日的一個天文學大事件有關。那



天，在離地球 16 萬光年的大麥哲倫雲中，出現了一顆耀眼的超新星。那就是超新星 1987A（圖 1.3）。



圖 1.3 超新星 1987A

超新星 1987A，是過去 400 多年內爆發的離地球最近的超新星。它的出現，為全世界的天文學家提供了一場饕餮盛宴。到目前為止，科學家們已經發表了上萬篇關於超新星 1987A 的科研論文。其中有一篇論文，還摘下了諾貝爾物理學獎的桂冠。

這篇論文的作者是日本物理學界一位傳奇人物，名叫小柴昌俊。他傳奇故事的起點，是一個高中的澡堂。

高中時期的小柴昌俊是一個毫不出彩的男生。他曾經中考落榜，復讀一年後才考上自己心儀的學校。在高中就讀期間，由於家庭經濟條件不好，他不得不在校外兼職打工，所以學習成績一直在中下游。

1947 年，在臨近高考前的一天，住校的小柴昌俊去自己高中的澡堂洗澡。澡堂內水汽瀰漫，根本看不清身邊的人。進去沒多久，小柴昌俊就聽到有人在水汽對面議論自己。

有人問：「小柴昌俊打算報考甚麼專業？」

一個熟悉的聲音回答道：「他肯定學不了物理。」

說這話的，正是小柴昌俊的物理老師。此人向來很討厭小柴昌俊，因為小柴昌俊經常以打工為由，翹他的物理課。

聽到自己物理老師的聲音，小柴昌俊頓時豎起了耳朵。只聽此人非常不屑地說道：「雖然我不清楚他會不會選印度哲學或者德國文學，但是可以肯定他完全不是學物理的料。」

這個物理老師恐怕做夢也不會想到，就是他這不經意的一句話，改變了整個日本的科學史。

在此之前，小柴昌俊確實沒想過要學物理。因為在當時的日本，物理是最熱門也最難考的專業。一般來說，只有全校排名前 10% 的尖子生，才有機會被重點大學物理系錄取。而當時的小柴昌俊，只是一個中下游的學生。

但這個物理老師的輕蔑，還是極大地刺激了小柴昌俊的自尊心。正所謂「不蒸饅頭爭口氣」。他當時就暗下決心，一定要考上重點大學的物理系，然後狠狠地打這個看不起自己的物理老師的臉。

離開澡堂後，小柴昌俊立刻跑去找自己宿舍學習成績最好的同學，懇求他輔導自己功課。結果，只用了短短一個月的時間，小柴昌俊的學習成績就突飛猛進，最後奇跡般地考上了東京大學物理系。

但在人才濟濟的東京大學物理系，因為經濟原因被迫繼續打工的小柴昌俊，很快就現了原形。畢業時，他的學習成績排在全年級倒數第一。幸好有位叫山內恭彥的東京大學教授願意收留，小柴昌俊才成了東京大學的研究生。

搞笑的是，山內恭彥當時並不了解小柴昌俊的學習成績。所以，當他為小柴昌俊申請東京大學研究生獎學金的時候，遭到了自己同事的群嘲。沒有獎學金，小柴昌俊不得不繼續一邊打工一邊上學，這讓他感到心力交瘁。

但沒過多久，小柴昌俊就迎來了人生的轉機。

1953 年，美國羅徹斯特大學物理系想招一批優秀的外國留學生來攻讀博士學位，所以就委託日本物理學會推薦一些合適的日本學生。羅徹斯特大學會為這些留學生提供全額獎學金。

小柴昌俊很希望抓住這個出國留學的機會，但由於他的本科成績非常差，按理說，他根本就沒甚麼競爭力。

幸好，小柴昌俊有一個貴人。



之前說過，小柴昌俊利用高考前最後一個月的時間實現了逆襲，考上了最難考的東京大學物理系，這讓他的高中校長特別有面子。

所以，這個高中校長就把小柴昌俊引薦給了一個在東京從事物理學研究的熟人。他希望這個熟人將來可以提攜一下自己的學生。

申請去美國留學的時候，小柴昌俊想到了這個校長的熟人，所以他就請此人為自己寫了封推薦信。正是這份推薦信，徹底改變了小柴昌俊的命運。

因為寫這封推薦信的校長熟人，就是後來成為日本第二個諾貝爾物理學獎得主的朝永振一郎。

拿着世界級學術大佬的推薦信，小柴昌俊再次實現逆襲，得到了去羅徹斯特大學攻讀物理學博士學位的机会。

而且羅徹斯特大學的全額獎學金，讓小柴昌俊擺脫了多年來一直半工半讀的窘境。不再為錢所困的小柴昌俊，潛力終於如火山爆發。只用了短短 1 年 8 個月的時間，他就拿到了羅徹斯特大學的博士學位（一般人要想拿到美國大學博士學位，至少要花 6-7 年的時間）。這個最快拿到博士學位的紀錄，直到今天依然無人能破。

在美國工作了幾年後，小柴昌俊於 1958 年回到了日本，任教於自己的母校。1970 年，他晉升為東京大學的教授。

到了 20 世紀 80 年代，小柴昌俊決定幹一件大事：他計劃做一個大型實驗，來尋找質子衰變。

在此先科普一下甚麼是質子衰變。

在 20 世紀初，物理學家發現原子由帶正電的原子核及帶負電的電子構成，而原子核又由帶正電的質子及不帶電的中子構成。此外，人們還發現一些不穩定的原子核會自發地變成另一種質量較輕、比較穩定的原子核，這就是所謂的原子核衰變。

後來人們意識到，幾乎所有的原子核都會衰變。換句話說，幾乎所有的原子核都有自己的壽命。一旦壽終正寢，這些原子核就會衰亡。這意味着，在宇宙中，幾乎沒有甚麼東西能永垂不朽。

但按照粒子物理的傳統觀點，還有一種不會發生衰變的原子核，那就是氫原子核，也就是質子。這是因為，原子核衰變後會變成質量更輕的原子核，而質子

本身就是質量最輕的原子核。這意味着，質子是抵禦宇宙衰亡的最後堡壘。

但這種傳統觀點，在 20 世紀下半葉受到了巨大的衝擊。

自然界存在 4 種最基本的力，分別是引力、電磁力、弱核力和強核力。在 20 世紀 60 年代，3 位物理學家（格拉肖、溫柏格、薩拉姆）發現，只要溫度足夠高，電磁力和弱核力就會變成同一種力，這就是著名的弱電統一理論。它讓格拉肖、溫柏格和薩拉姆拿到了 1979 年的諾貝爾物理學獎。

20 世紀 70 年代，格拉肖又提出了大統一理論，其核心觀點是，只要溫度足夠高，電磁力、弱核力和強核力就會變成同一種力。這個理論有一個最重要的預言：質子可以繼續衰變。

這意味着，如果能探測到質子衰變，就可以驗證格拉肖的大統一理論。這顯然是一個諾貝爾獎級的工作。

為了探測質子衰變，小柴昌俊領導的研究團隊在日本中部的一個叫神岡町（Kamioka）的山區小鎮，找到了一個位於地下 1000 米處的廢棄礦井^①。他們在這個礦井裡挖了一個深為 16 米、直徑為 15.6 米的圓柱形水池，並往裡面灌了 3000 噸的純水（圖 1.4）。最後，他們又在這個水池邊放了 1000 多個直徑 20 英吋^②的光電倍增管（圖 1.5）。



圖 1.4 實驗用圓柱形水池



圖 1.5 20 英吋光電倍增管

① 之所以選在這麼深的地下，是為了用上方的岩石層屏蔽高能宇宙線的干擾。

② 1 英吋 = 2.54 厘米。



這個於 1983 年完工的大型實驗項目，被稱為神岡核子衰變實驗 (Kamioka neutrino detection experiment, KamiokaNDE)。它的核心思想是：概率不夠，數量來湊。

大統一理論認為，質子的壽命約為 10^{31} 年，這已經遠遠超過整個宇宙的年齡。不過，KamiokaNDE 的這一池水中，大概有 10^{33} 個氫原子核（即質子）。所以在正常情況下，這一大池水中肯定有質子發生衰變。質子一旦衰變，就會產生高速運動的帶電粒子（其速度能超過光在水中的速度），進而產生所謂的切倫科夫輻射（一種藍色輝光，圖 1.6）。而只要產生了切倫科夫輻射，就逃不過那 1000 多個直徑 20 英吋的光電倍增管的「法眼」。



圖 1.6 切倫科夫輻射

值得一提的是，這種直徑 20 英吋的光電倍增管，就是 KamiokaNDE 的「撒手鐮」。在此之前，世界上最大、最先進的光電倍增管的直徑，只有區區 5 英吋。但如果使用這種 5 英吋的光電倍增管，KamiokaNDE 就無法與它最大的競爭對手，也就是美國的爾灣-密歇根-布魯克海文 (Irvine-Michigan-Brookhaven, IMB) 探測器相抗衡。因為後者更有錢，造了一個更大的水池，裡面有 7000 噸水。

所以，小柴昌俊就找到日本浜松公司，讓他們研發了一種直徑 20 英吋的光電倍增管。光電倍增管直徑放大至 4 倍，其探測敏感度就會放大至 16 倍。這讓

KamiokaNDE 一舉超越 IMB，成為全世界最先進的質子衰變探測器。此外，浜松公司也一躍成為世界光電倍增管行業的霸主。

按照小柴昌俊最初的設想，KamiokaNDE 應該可以在一年內探測到質子衰變，但最後卻是「竹籃打水一場空」。經過兩年的搜尋，小柴昌俊痛苦地意識到，他探測質子衰變的種種努力全都以失敗而告終。^①

費了九牛二虎之力，在神岡町的地下礦井裡挖了個這麼大的水坑，結果卻甚麼都沒找到。小柴昌俊不得不思考怎麼才能向日本政府和納稅人交差。

小柴昌俊的答案是，不能在一棵樹上吊死。他又申請了一筆新的經費，對 KamiokaNDE 進行了全面的升級改造。這回，他的主要目標就不是探測虛無縹緲的質子衰變了，而是探測更為靠譜的太陽中微子。

在之前的太陽系之旅中，我們已經詳細介紹過太陽中微子。下面，就來簡單回顧一下太陽中微子的內容。

20 世紀 30 年代初，奧地利大物理學家泡利宣稱，存在一種全新的基本粒子。這種粒子是電中性的，而且質量非常微小、幾乎為 0，所以被人們稱為中微子。

因為不帶電，加上自身質量幾乎為 0，中微子幾乎不會與原子核發生相互作用。這意味着，中微子能像幽靈一樣，輕易地穿過幾乎所有的普通物質（例如人體和地球）。因此，就連泡利本人都曾懷疑，中微子永遠都無法被探測到。

但事實證明，即使是泡利這樣的智者也會馬失前蹄。1956 年，美國物理學家萊因斯和柯萬在核反應堆中直接找到了中微子。這也是人類首次發現中微子的存在。從那以後，中微子就成了粒子物理學界最熱門的研究課題之一。

中微子不僅能從核反應堆中產生，也可以來自於宇宙。比如說，太陽就是人類目前所知的最大的中微子工廠。理論計算表明，每秒都會有 3×10^{16} 個太陽發出的中微子穿過地球，這就是所謂的太陽中微子。

為了探測太陽中微子，20 世紀 60 年代，美國物理學家雷蒙德·戴維斯在南達科他州的一個位於地下 1500 米處的廢棄金礦中挖了一個大坑，並在坑裡放了 10 萬加侖^②的液態氯乙烯。一個太陽中微子有可能被一個 ^{37}Cl 原子核捕獲而發生

① 大多數科學家認為，看不到質子衰變的原因很可能是質子的真實壽命非常長，遠遠超過 10^{33} 年。

② 1 加侖 ≈ 3.79 升。



反應，從而變成一個 ^{37}Ar 原子核和一個電子。高速運動的電子又可以引發切倫科夫輻射。這樣一來，就可以通過探測憑空出現的切倫科夫輻射，來反推太陽中微子的存在。利用這個實驗項目，戴維斯於 1968 年首次探測到了太陽中微子。

說到這裡，你可能已經注意到了，戴維斯和小柴昌俊的實驗項目有異曲同工之妙：都是在超過 1000 米深的地下礦井中挖一個大坑，都是往坑裡放大量的液體，都是必須探測切倫科夫輻射。這意味着，只要對 KamiokaNDE 進行升級改造，它就可以探測太陽中微子。

但問題是，太陽中微子已經被戴維斯發現了。換句話說，頭啖湯已經被戴維斯喝完了。就算 KamiokaNDE 能探測到太陽中微子，也不過是拾人牙慧罷了。從一開始雄心勃勃地要探測質子衰變，到後來被迫亦步亦趨地探測太陽中微子，小柴昌俊的心裡應該是很苦澀的。

到了 1987 年初，KamiokaNDE 的升級改造工作終於完成了。由於主要探測目標變了，這個實驗的名字也改為神岡中微子實驗。此時，由於年事已高，小柴昌俊決定在一個月之後正式退休。

就在小柴昌俊即將解甲歸田之際，幸運女神再次眷顧了他。

1987 年 2 月 23 日，在大麥哲倫雲中，超新星 1987A 爆發。這次超新星爆發釋放了大量的中微子，其中有 11 個中微子被 KamiokaNDE 成功捕捉。這是人類歷史上首次探測到來自太陽系以外的中微子。而這個發現，也開啟了中微子天文學的新時代。

由於這個從天而降的意外驚喜，小柴昌俊與發現了太陽中微子的戴維斯一起，獲得了 2002 年的諾貝爾物理學獎。

關於小柴昌俊一手創立的神岡中微子實驗，我們最後再多說幾句。由於發現了超新星中微子，小柴昌俊得到了日本政府的大力支持，又在神岡町建造了一個更大的中微子探測器。這回，他們挖了一個更大的水池，並往裡面放了 50000 噸的純水，這就是超級神岡中微子實驗 (Super-KamiokaNDE，實驗裝置見圖 1.7)。

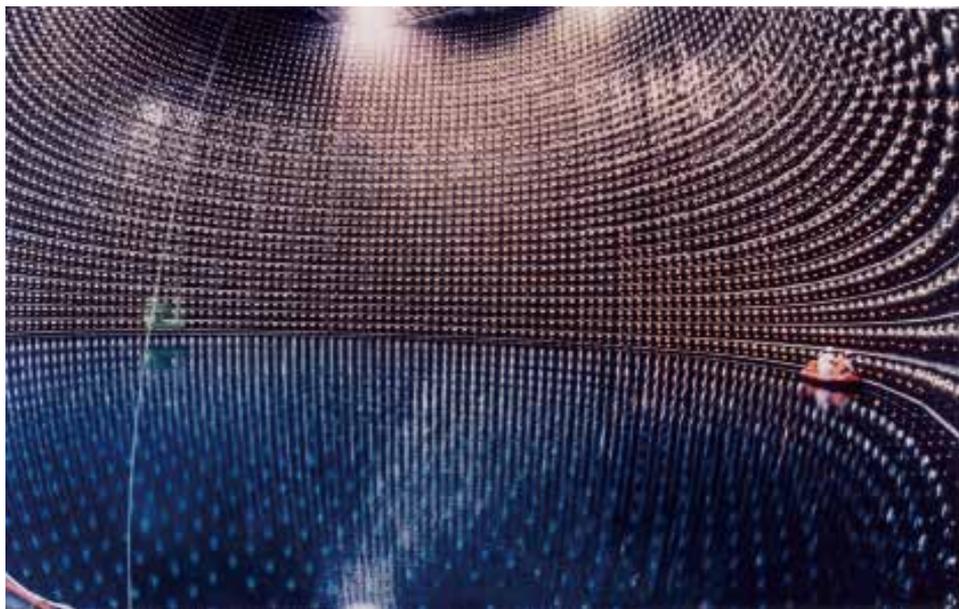


圖 1.7 超級神岡中微子實驗

Super-KamiokaNDE 後來又做出了一個重大發現，即大氣中微子（高能宇宙射線轟擊地球大氣層後產生的中微子）。這讓小柴昌俊的高徒、東京大學教授梶田隆章於 2015 年榮獲諾貝爾物理學獎。

我們已經講完了日本物理學家小柴昌俊的傳奇故事。在幸運女神的眷顧下，他先後三次逆襲，最終成為日本物理學界的一方霸主。更重要的是，通過觀測大麥哲倫雲中的超新星 1987A，他成功開啟了中微子天文學的新時代。

縱觀人類科學史，運氣確實經常扮演一個極為關鍵的角色。有的時候，天上的確會掉餡餅，但只有極少數人能提前做好接住這些餡餅的準備。



1.2 人類如何揭開麥哲倫星流的神秘面紗？

我們已經介紹了兩個與大、小麥哲倫雲有關並且改變了整個天文學史的重大發現：標準燭光和超新星中微子。接下來，我們就來看看大、小麥哲倫雲本身。

大、小麥哲倫雲是在地球南半球才能看到的兩個矮星系（圖 1.8）。大麥哲倫雲與地球相距 16 萬光年，其總質量約為太陽質量的 170 億倍；而小麥哲倫雲與地球相距 20 萬光年，其總質量約為太陽質量的 24 億倍。



圖 1.8 大、小麥哲倫雲

20 世紀下半葉，天文學家們發現了一個與大、小麥哲倫雲有關的、堪稱波瀾壯闊的天文現象，那就是麥哲倫星流（圖 1.9）。

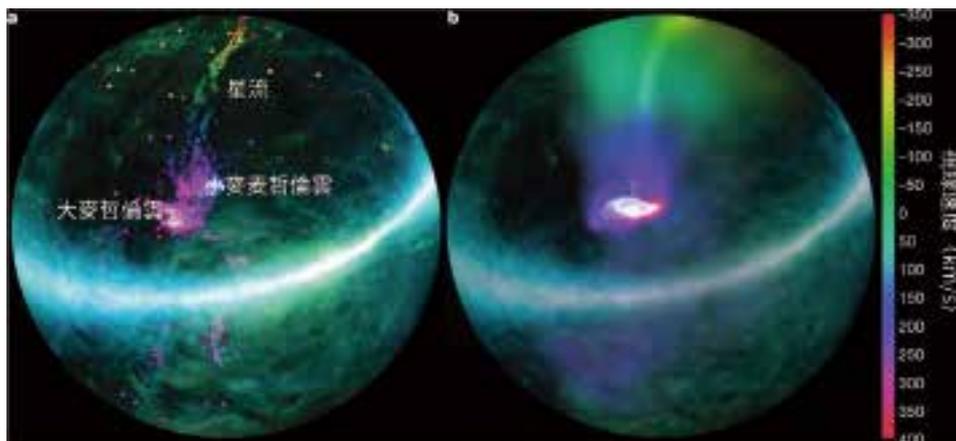


圖 1.9 麥哲倫星流

麥哲倫星流的發現，得從 20 世紀中葉的一股天文學熱潮，即 21 厘米氫線說起。

早在 19 世紀，人類就發現，氫原子能夠發出圖 1.10 所示的幾種可見光，這就是氫元素的發射線。



圖 1.10 氫元素的發射線

1944 年，荷蘭天文學家范德胡斯特指出，除了圖 1.10 展示的這幾種可見光外，氫原子還可以發出一種特殊的電磁波。這種電磁波處於無線電波的波段，波長為 21 厘米，所以被稱為 21 厘米氫線。為甚麼以前的人沒發現 21 厘米氫線呢？因為它產生的概率小到匪夷所思的地步：在 1000 萬年的時間裡，一個氫原子發出 21 厘米氫線的次數大概只有 1 次。

但到了星系的層次，情況就大不相同了。由於星系中包含着大量的氫原子，即使概率不夠，也可以用數量來湊。聚沙成塔，星系中的氫原子發出 21 厘米氫線，就成了一種必然。

用 21 厘米氫線來研究星系，有兩個巨大的優勢：①星系中包含的 70% 以上



的物質都是氫元素，所以只要弄清楚氫元素的分佈，就可以畫出整個星系的「骨架」；② 21 厘米氫線是一種無線電波，其穿透力極強，不會受到各種星際氣體和塵埃的干擾。

我們在之前的銀河系之旅中講過，在 20 世紀 50 年代，荷蘭著名天文學家奧爾特通過對南北半球夜空中的 21 厘米氫線的觀測，首次畫出了銀河系內氫元素的分佈圖。正是基於這張氫元素分佈圖，人類才得以確定，銀河系是一個形如風車的渦旋星系。這讓關於 21 厘米氫線的研究成了一股 20 世紀中葉的天文學熱潮。

1965 年，一個叫迪特爾的天文學家在用射電望遠鏡觀測南半球夜空的時候，看到了一種讓他感到困惑的東西：在銀河系南極附近用可見光甚麼都看不到的地方，存在着一些由中性氫原子構成的雲團。這些雲團的運動速度非常快，遠遠超過本星系群裡的其他天體。所以，它們被稱為高速雲。

此後 5 年，天文學家們又在南半球夜空的其他天區，陸陸續續地發現了更多的高速雲。這些高速雲的分佈範圍非常廣，在南半球的夜空中可謂無處不在。

最初，人們對這些詭異的高速雲感到一頭霧水，但隨着天文觀測技術的快速發展，情況很快就有了變化。

1972 年，一些天文學家測量了這些高速雲與地球之間的距離。他們驚訝地發現，這些分佈甚廣、頗為神秘的高速雲，與地球的距離相差無幾。這讓天文學家們開始懷疑，這些分佈甚廣的高速雲其實是連在一起的。

如果這些高速雲真的都連在一起，那麼它們肯定會有一個源頭。最早找到源頭的人，是一個叫馬修森的天文學家。1974 年，他利用一個位於澳大利亞新南威爾士州的射電望遠鏡持續追蹤這些高速雲的起源，結果一路追到了大、小麥哲倫雲。最後呈現在他眼前的，是一條延綿 50 萬光年、幾乎覆蓋了整個南天球的「大河」（圖 1.11 中的粉色區域）。這條由中性氫原子構成的「大河」，就是麥哲倫星流。

此後數十年的天文觀測，讓人們對這條名為麥哲倫星流的「大河」有了更多的了解。這條大河由兩條支流交匯而成，一條來自大麥哲倫雲，另一條來自小麥哲倫雲。它的最大流速能達到 450 千米 / 秒，而它的總質量能達到太陽質量的 2.7 億倍。研究表明，這條大河已經奔流了大概 25 億年。



圖 1.11 麥哲倫星流

那麼問題來了：這條延綿 50 萬光年、已經奔流了 25 億年的大河，到底是如何起源的呢？

目前，關於麥哲倫星流到底如何起源的最主流的理論，是所謂的潮汐模型。要想講清楚這個潮汐模型，需要先介紹一個天文學概念：潮汐瓦解。

甚麼是潮汐瓦解？這得從潮汐力講起。圖 1.12 就展示了潮汐力的基本原理。眾所周知，任意兩個物體之間都存在引力，而且引力的大小與這兩個物體間距離的平方成反比。所以月球對地球表面施加的引力，在不同的地方會有不同的大小。在離月球最近的月下點，月球的引力最大；而在離月球最遠的對跖點，月球的引力最小。這種由受力物體自身大小而導致的引力差異，就是潮汐力。

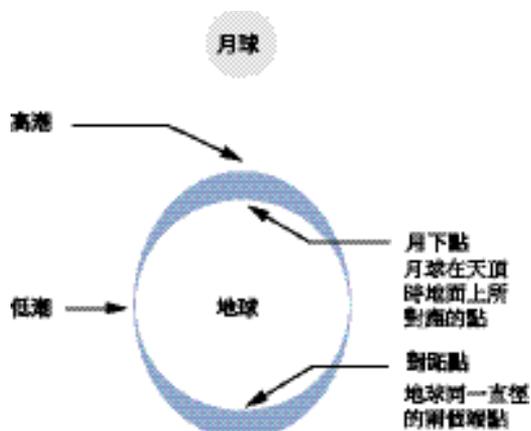


圖 1.12 潮汐力基本原理