

理論天體物理學

B. A. 阿姆巴楚米揚主編

科學出版社

理 論 天 體 物 理 學

B. A. 阿姆巴楚米揚 Э. Р. 穆斯捷里
A. Б. 謝維爾尼 В. В. 索波列夫 著

B. A. 阿姆巴楚米揚主編

戴文賽 · 席澤宗 譯

科 學 出 版 社

理論天體物理學

翻譯者 戴文賽 席澤宗

出版者 科學出版社

北京朝陽門大街117號

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 北京人民大學印刷廠

總經售 新華書店

1956年1月第一版	書號: 0378 字數: 544,000
1957年4月第二次印刷	開本: 787×1092 1/18
(京) 1,251-2,780	印張: 30 2/9 插頁: 3

定價: (11) 5.78元

內 容 提 要

本書對天體物理學的理論部分作一系統的介紹。第一章論述恆星光球輻射平衡理論,輻射轉移方程的解法,連續吸收係數,恆星連續光譜的能量分佈,和光球的結構。第二章論述恆星光譜內吸收線的形成機構,選擇吸收係數,譜線輪廓的理論,生長曲線,恆星的化學組成,光譜序的解釋,恆星的表面溫度。第三章專論太陽;分別論述光球,米粒組織,黑子,光斑,日珥,色球層,譜斑,耀斑,日冕,太陽的射電。以下三章分論行星狀星雲,新星,和光譜內有發射線的星(主要為伏爾夫-拉葉星,天鵝 P 型星和 B 型發射星。第七章論述恆星內部結構和恆星能量的來源。第八章專論行星大氣對光的散射。第九章專論星際物質。本書的四位著者(阿姆巴楚米揚,穆斯捷里,謝維爾尼,索波列夫)都是蘇聯著名的天體物理學家,對於理論天體物理學都有重要貢獻。本書介紹的研究結果,有不少是他們自己的貢獻。

編 者 序

理論天體物理學是根據物理學的規律來研究和解釋在天體裏發生的物理現象的科學。因此，理論天體物理學廣泛地使用數學工具，然而這種工具只起着輔助的作用。

理論天體物理學是一門年青的、可是發展非常迅速的科學。但是它的成就在目前已對天文學的所有部門和對物理學的許多部門有着重大的意義。在蘇聯，理論天體物理學獲得特別寬廣的發展。

第一部以俄文寫成的理論天體物理學教程在 1939 年出版，是由現在這個版本的編者寫成的。在過去的十二年裏，天文學的這個年青的部門有那麼多的成就和經過了那麼深刻的變化，因此必須放棄只把舊的教程修正一下的想法，而開始集體地寫出一本全新的書。

如果在 1939 年，理論天體物理學的基本內容是能量的輻射轉移，和在恆星大氣裏以及在星雲裏原子的激發這些問題，那麼現在除去和輻射場以及輻射平衡有關的問題以外，在存在於恆星上面和太陽上面的宏觀電磁場裏進行着的過程，開始在理論天體物理學裏佔很重要的地位。爲甚麼這些問題比輻射平衡理論問題遲得多被開始研究，那是很容易看出來的。觀測到恆星和星雲的輻射，我們直接就得到關於輻射場的資料，表爲由這些天體表面發出的輻射的強度數值。這些資料是輻射平衡理論的基礎和驗證理論的結果的材料。在研究宏觀電磁場的時候，我們處於一個更複雜的情況中，因爲關於它我們應當由它所引起的帶電質點的運動來加以判斷，而在觀測這種運動時遇到很大的阻礙，只有在使用了新的研究方法之後才克服了困難。

在西方國家裏出版的理論天體物理學文獻，用了很大的篇幅載出恆星內部結構的模型的創造和分析，這些模型有時候和實際相去很遠。這些工作大部分背離了事實，而理論天體物理學正應當以事實爲依據。我們在這本教程裏只給恆星內部結構理論留足夠的地方來說明它的一般情況。

不只在恆星內部結構的問題上，而且也在理論天體物理學的大多數其他部分裏，在資本主義國家裏形式主義的研究方法獲得廣泛的流傳，有時候成為純粹的數學練習，和實際沒有任何共同之處，和天體物理學所研究的對象的觀測結果也毫無共同之處。

蘇聯在理論天體物理學方面工作的學者，在辯證唯物主義方法論的指導下，總是把自己的工作和實際聯繫起來，把數學和物理學工具當作研究天體的重要的和有力的方法來使用。

在理論天體物理學方面蘇聯學者目前在世界上居於領導地位。這本書的著者以各人自己的研究對各人所論述的理論天體物理學的那一部分作了貢獻：因此在本書裏對許多問題的論述帶有完全創始的性質，有時候和在科學文獻上面已經發表的截然不同。在研讀這本書的時候必須注意這一點。

本書第一、二、三章由穆斯特里 (Э. Р. Мустель) 寫，第四、五、六章由索波列夫 (В. В. Соболев) 寫，第七章由謝維爾尼 (А. Б. Северный) 寫，第八和第九章由阿姆巴楚米揚 (В. А. Амбарцумян) 寫。

著者表示對皮克涅爾 (С. Б. Пикельнер) 的感謝，他寫了第三章的第 18 和 22 節。

本書是為大學學生、研究生和科學工作者之用。在科學的新領域裏不可避免地會有錯誤，不過希望本書裏的錯誤不至於太多。

如果讀者給我們指出缺點和給我們批評，我們將很感激。

В. 阿姆巴楚米揚

理論天體物理學

目 錄

編者序

第一章. 恆星光球的輻射平衡理論和恆星的連續光譜

§1. 引言	(1)
§2. 輻射理論的基本概念. 轉移方程	(2)
1. 輻射在恆星光球裏的作用 (2). 2. 輻射強度和輻射流 (3).	
3. 輻射係數和吸收係數 (5). 4. 輻射轉移方程 (7).	
§3. 恆星光球的輻射平衡. 轉移方程的解	(9)
1. 輻射平衡的條件 (9). 2. 局部熱動平衡的假說 (11). 3. 轉移方程的解 (13). 4. 轉移方程的平均 (16).	
§4. 吸收係數和頻率無關的輻射平衡理論	(20)
1. 光球內溫度隨深度的分佈 (20). 2. 恆星圓面臨邊昏暗的規律 (24). 3. 恆星的連續光譜 (26).	
§5. 連續吸收係數	(29)
1. 恆星大氣的化學組成 (29). 2. 原子的激發和電離 (32).	
3. 輻射的真吸收 (37). 4. 類似氫的原子的光電吸收 (39).	
5. 受迫輻射的計算 (43). 6. 自由-自由躍遷. 最後的結果 (48).	
7. 不類似氫的原子. 負氫離子. 自由電子對輻射的散射 (50).	
§6. 吸收係數和頻率有關時恆星連續光譜的能量分佈	(53)
1. 在各種不同光譜型的恆星光球裏輻射的吸收 (53). 2. A0—B2 型恆星光球的輻射平衡 (57). 3. 理論和觀測的比較 (63).	
4. 光譜型和太陽相近的恆星 (66). 5. 其他光譜型的恆星. 有延伸光球的恆星 (68).	
§7. 恆星光球的結構	(70)

1. A0—B2 型恆星的光球的結構 (70).	2. 理論的結果的討論 (77).	3. 恆星圓面臨邊昏暗規律的應用 (79).
§8. 熱動平衡定律對恆星光球的應用	(80)	
1. 恆星光球內熱動平衡的偏離的初步說明 (80).	2. 恆星光球內原子和電子的速度分佈 (83).	3. 原子的光致電離 (84).
4. 原子的碰撞電離, 和光致電離的比較, 復合過程 (89).	5. 電離方程, 電子溫度 (93).	6. 克希霍夫定律的應用 (98).
第二章. 恆星光譜吸收線的形成		
§9. 恆星大氣內吸收線的形成機構	(100)	
1. 基本定義 (100).	2. 吸收線的形成機構 (101).	3. 對於相干散射的轉移方程的推導 (103).
4. 轉移方程的解 (105).	5. 把散射和真吸收的過程都考慮在內的轉移方程的推導 (108).	
§10. 對於在吸收線內的頻率的轉移方程的解	(110)	
1. 引言 (110).	2. 線內吸收係數和連續吸收係數有固定比率的大氣模型 (111).	3. 轉移方程的數字積分 (114).
4. 轉移方程對於弱線的解 (115).		
§11. 選擇吸收係數	(119)	
1. 吸收係數和躍遷係數的關係 (119).	2. 因輻射而生的阻尼 (120).	3. 原子的熱運動和湍動 (125).
4. 原子的阻尼和運動的聯合作用 (127).	5. 壓力效應 (130).	6. 因碰撞而生的譜線加寬 (131).
7. 譜線的統計加寬 (134).	8. 結束語 (136).	
§12. 輪廓初級理論的應用和生長曲線	(137)	
1. 輪廓的初級理論 (137).	2. 理論的輪廓和觀測到的輪廓的比較 (141).	3. 生長曲線的初級理論 (142).
4. 根據觀測繪出生長曲線的方法 (147).	5. 譜線的實驗室的、理論的和“太陽的”強度 (150).	6. 根據觀測繪出的生長曲線, 恆星大氣內的湍動速度 (152).
7. 激發溫度, 阻尼常數 (155).	8. 中肯的按語 (157).	
§13. 在恆星和太陽光譜內觀測到的吸收線輪廓的說明	(158)	
1. 選擇吸收係數和連續吸收係數的比率的計算 (158).	2. 理論	

對太陽吸收線的應用。壓力效應的作用(163)。3. 恆星光譜內的金屬線。因湍流而生的譜線加寬(167)。4. 恆星光譜內的巴耳末線系 (169)。5. 由巴耳末譜線定出恆星大氣內的重力加速度 (174)。6. 氫線。輪廓因鄰近譜線影響而生的畸變 (175)。7. 恆星的自轉 (177)。

§14. 由太陽圓面中心至邊緣吸收線輪廓的變化。非相干散射。中心剩餘強度 (180)

1. 吸收線輪廓由中心至邊緣的變化。聯鎖效應 (180)。2. 散射過程的非相干性 (186)。3. 吸收線的中心剩餘強度。理論和觀測的比較(190)。4. 對於太陽由熱動平衡的偏離的計算。其他光譜型的恆星(194)。

§15. 恆星的化學組成的研究方法。研究的結果 (198)

1. 生長曲線的初級理論對於研究恆星的化學組成的應用。平均電子濃度 (198)。2. 原子在激發態上的分佈 (203)。3. 研究恆星化學組成的更準確的方法。弱線 (205)。4. 研究結果 (209)。

§16. 光譜序的解釋。絕對星等效應。有效溫度標 (213)

1. 引言 (213)。2. 譜線強度隨恆星溫度上升的變化 (215)。3. 重力加速度的影響 (218)。4. 矮星和巨星的光譜的差別。絕對星等效應 (221)。5. 有效溫度標 (225)。

第三章。太陽殼層物理學

§17. 太陽光球的結構。米粒組織。對流 (232)

1. 太陽光球的結構 (232)。2. 太陽光球內的對流過程。米粒組織 (235)。

§18. 太陽大氣的電動力學 (240)

1. 引言 (240)。2. 太陽在磁場中的導電率 (241)。3. 電子和離子的相互作用 (244)。4. 太陽的電場 (248)。5. 電流的熱作用和機械作用 (250)。6. 自感應的計算 (252)。7. 磁場的傳播 (255)。

§19. 太陽黑子和光斑 (257)

1. 引言. 太陽黑子的輻射平衡 (257). 2. 黑子光譜. 溫度. 電子壓力 (259). 3. 溫度在黑子處下降的可能原因. 黑子的磁場 (264). 4. 太陽光斑. 光斑內的溫度隨深度分佈 (266). 5. 光斑的光譜 (270).

§20. 日珥 (272)

1. 日珥的分類 (272). 2. 日珥內物質的運動 (276). 3. 日珥的光譜 (278). 4. 日珥內的自吸收 (279). 5. 日珥內原子的激發 (283). 6. 原子的電離. 電子壓力 (287). 7. 日珥的運動溫度. 化學組成 (289). 8. 日珥內所觀測到的現象的可能解釋 (291).

§21. 色球層. 光斑. 色球爆發 (296)

1. 根據觀測對輻射原子隨高度的分佈的研究 (296). 2. 自吸收. 物質密度隨高度變化的規律 (301). 3. 電子濃度. 電子溫度 (304). 4. 原子的電離 (305). 5. 原子的激發機構 (308). 6. 色球層的平衡 (309). 7. 光斑物理學 (312). 8. 色球爆發 (318).

§22. 日冕和太陽的射電 (322)

1. 一般的描述和光譜 (322). 2. 電子濃度 (324). 3. 日冕線的證認 (328). 4. 日冕內原子的電離 (330). 5. 日冕的化學組成 (333). 6. 日冕和色球層的紫外輻射 (334). 7. 太陽的射電 (337).

第四章. 行星狀星雲

§23. 星雲的發光機構. 核的溫度 (341)

1. 觀測資料 (341). 2. 星雲發光的原因 (343). 3. 按氫線測定核的溫度 (346). 4. 按“氦”線測定核的溫度 (350).

§24. 星雲內物質的物理狀態 (352)

1. 禁線出現的必要條件 (352). 2. 原子在亞穩態的集聚 (354). 3. 星雲溫度的測定 (358). 4. 巴耳末譜線強度 (359). 5. 星雲內的電離 (363). 6. 星雲的質量 (366). 7. 星雲的化學組成 (368).

§25. 行星狀星雲的輻射平衡 (370)

1. L_c 輻射場 (370). 2. $L\alpha$ 輻射場 (374). 3. 星雲內的光壓力 (378). 4. 行星狀星雲起源問題 (380).

第五章. 新星

§26. 新星爆發及其解釋 (382)

1. 觀測資料 (382). 2. 爆發的解釋 (384). 3. 亮度曲線的解釋 (387). 4. 光譜的解釋 (390). 5. 1934 年武仙座新星 (392).

§27. 拋射殼層在新星發展上所起的作用 (396)

1. 殼層的質量 (396). 2. 殼層的動力學 (398). 3. 爆發時放出的能量 (402). 4. 爆發在新星發展中的作用 (403).

第六章. 有輝明譜線的恆星

§28. 發射線的形成 (406)

1. 伏爾夫-拉葉型、天鵝座 P 型和 Be 型的恆星 (406). 2. 恆星的拋射物質 (407). 3. 發射線的輪廓 (410). 4. 發射線的強度 (416).

§29. 有輝明譜線的恆星的物理學問題 (423)

1. 恆星的溫度 (423). 2. 連續光譜 (429). 3. 具有明線的晚型星 (437). 4. 星協 (439).

第七章. 恆星內部結構

§30. 基礎的知識 (443)

1. 問題的建立 (443). 2. 基本的經驗關係 (446).

§31. 恆星內部的物理情況 (449)

1. 恆星內心的溫度和密度 (449). 2. 恆星物質的吸收係數 (454). 3. 恆星能量的來源 (457).

§32. 恆星內部結構 (463)

1. 主序星的結構 (463). 2. 白矮星的結構的理論 (466).

第八章. 行星大氣內光的散射

§33. 行星大氣內輻射轉移理論 (472)

1. 行星大氣內輻射的轉移. 散射指示量 (472). 2. 不變性

原理和它的應用 (476). 3. 將理論推廣到類球面的散射指示量的情形 (482).

§34. 理論和觀測的比較 (484)

1. 行星大氣的反照率 (484). 2. 和觀測比較 (487). 3. 吸收帶 (490).

第九章. 星際物質

§35. 星際物質的塵埃部分 (492)

1. 一些基本的事實 (492). 2. 瀰漫星雲 (503). 3. 河外星雲數目的漲落 (510).

§36. 星際物質的氣體部分 (515)

1. 星際氣體 (515). 2. 星際吸收線的形成 (517). 3. 星際氣體的電離 (521). 4. $H\alpha$ 發光場 (523). 5. 巨大的氣體星雲 (524).

附錄一 (526)

附錄二 (531)

門捷列夫元素週期表 (533)

參考文獻 (534)

理論天體物理學

第一章

恆星光球的輻射平衡理論和恆星的連續光譜

§ 1. 引言

在本書第一章將要討論一些和恆星光球的物理結構有關的問題。對於最近我們的恆星——太陽——的觀測使我們確知，它的大氣可以分為許多物理特性彼此不同的層。太陽大氣的最底下和最密的部分稱為光球。光球層輻射出幾乎全部太陽射到空間裏去的光能。太陽的連續光譜基本上就是光球的輻射的光譜。

太陽光譜內的吸收線(除去強的吸收線的中心以外)，大約是在光球內形成連續光譜的那些層裏形成的。在文獻裏常把太陽殼層的內層區分為光球和反變層，這種區分帶有假定的性質。

在太陽光球之上有色球層(厚度約 15,000 千米)和日冕(如果把日冕射線也算在內，它的長度有幾個太陽的半徑)。色球層和日冕對於太陽的連續光譜的形成所起的作用，對光譜的可見區來講是微不足道的，只有在光譜的遠紫外區(在賴曼系限之外)和在長波區(包括超短射電波區域)才有顯著的貢獻。

關於色球層和冕在那些光譜型和太陽相差很多的恆星上面是否存在的問題，我們還知道得很少。光球層的存在則是每個恆星的特性，因為正是這一層決定它的亮度。至於光球層和那些產生吸收線的層的互相關係這個問題則比較複雜。一系列物理的考慮表明，對於大多數非太陽型的恆星，這些層多多少少是普遍的。

這樣，我們在本書第一章裏所要討論的一般的理論原則，不只應用於太陽，也可以應用於很多的恆星。不過在選擇對象的時候，我們將做一系列的限制。第一，我們只要研究那些亮度不隨時間變化或者變化足夠慢的恆星。第二，我們

限於研究那些光球層厚度和恆星半徑比較起來非常小的恆星。最後，我們不討論那些光譜有些特別的恆星(伏爾夫-拉葉型星、天鵝座 P 型星等等)。

現在把這些限制更詳細地討論一下。我們可以認為亮度不變的恆星的光球的狀態是固定的，不隨時間變化。當然，這個假設只是平均說來正確的。實際上，如同觀測所表示的，這些“固定”的恆星表面的個別區域，正如太陽一樣，有時候有顯著的變化(太陽黑子、光斑等等)。然而我們可以認為太陽光球層的狀態整個說來還是保持不變的。對於其他亮度固定的恆星也可以這樣說。

現在轉到第二種限制。太陽的研究表示，它的光球厚度非常小，只有 100—300 千米。和太陽的半徑(695,300 千米)比起來，這當然是非常小的數量。因此在我們的問題裏，可以把太陽的光球當做由平面平行層組成的。理論的計算表明，對於大多數其他的固定的恆星也存在這種情況。

最後，伏爾夫-拉葉型星、天鵝座 P 型星等是很特別的一類恆星；以後另外討論它們。

應當指出，我們所引出的限制只從討論裏除掉百分比極小的恆星。因此我們將要建立的理論對於大多數星體都是正確的。

恆星光球理論的主要問題如下：

1) 確立恆星和太陽光球內的溫度、壓力、密度以及其他物理性質隨深度變化的規律。

2) 解釋恆星和太陽的連續光譜的特徵。

3) 闡明在太陽和恆星的圓面上亮度(яркость)變化的規律。

這些問題中的第一個是主要的；它的解，決定其他兩個問題的解。

§ 2. 輻射理論的基本概念. 轉移方程

1. 輻射在恆星光球裏的作用 恆星光球內物質的每一個元素的物理狀態決定於這個元素和周圍介質的相互作用。使我們感興趣的主要問題是，在光球層裏能的轉移是用甚麼方式進行的。關於這個話題只要談到熱能。我們把質點熱運動的內部動能、原子的激發能和電離能(參閱後面)都包括在熱能裏頭。

在普通的恆星的光球內，其他形式的能量都是不重要的。比方說，(放出能量的)原子核過程在恆星光球裏並不起值得注意的作用。必須指出下列這些能

够在恆星光球裏產生熱能的交換的過程。

1) 熱能以傳導的方式轉移。

2) 熱能以對流的方式轉移,就是說熱量以氣團直接移動的方式轉移。

3) 熱能以輻射的方式轉移。在這種情況下,輻射本身只帶有熱的性質,也就是說,只決定於氣體的溫度(當然是各處不同的)。

多數研究表明,在恆星光球裏第一種過程不起重要作用^[1, §12]。這些研究說明,在絕大多數情形下,至少對於我們所限制的恆星,熱能的交換基本上是由熱輻射產生的;我們在以後的討論裏將要看到的確是這樣。

所以我們現在把主要的注意力轉到和熱輻射有關的問題上去。首先溫習熱輻射理論的許多基本定義。

2. 輻射強度和輻射流 考慮一個在各方面都被輻射穿過的洞穴。在這個洞穴選擇一個小面積 $d\sigma$, 方向可以任意,在 P 點作它的法線 n (圖 1)。此外,在和法線成 ϑ 角的方向作一直線 L , 以做為一錐形元素的軸線,錐面所成的立體角為 $d\omega$ 。如果經過面積 $d\sigma$ 邊緣的每一點,作

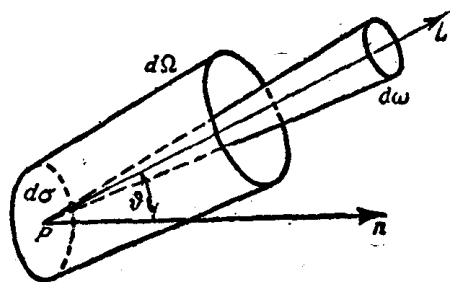


圖 1.

直線和圓錐 $d\omega$ 上面相離最近的母線平行,則得到一個和圓錐 $d\omega$ 相似的半無限截錐 $d\Omega$ 。它的和 L 垂直的截面面積,在 P 點將等於 $d\sigma \cos \vartheta$ 。

設 dE_ν 為在時間 dt 內,經過面積 $d\sigma$, 通過錐體 $d\Omega$ 內部*, 頻率在 ν 和 $\nu + d\nu$ 之間的總能量。則下列極限

$$I_\nu = \lim_{d\sigma, dt, d\omega, d\nu \rightarrow 0} \frac{dE_\nu}{d\sigma \cos \vartheta dt d\omega d\nu} \quad (2.1)$$

稱為輻射強度率,或簡稱為強度 I_ν 。在一般的情況下,這個極限是 P 點的坐標(就是位置)、方向 L 、時間 t 和頻率 ν 的函數。

$\cos \vartheta$ 在 (2.1) 中出現是這樣解釋的,我們所研究的光束不是在法線 n 的

*就是說沿那些穿過面積 $d\sigma$ 之後還全部留在 $d\Omega$ 裏面的方向。如果在面積 $d\sigma$ 的每一點繪出錐形,包含全部和 $d\omega$ 所包含的方向相平行的方向,那麼我們便得到全部這樣的射線。所以很清楚地,當 $d\sigma$ 和 $d\omega$ 很小的時候,經過 $d\sigma$ 和在 $d\Omega$ 裏面的能量和 $d\sigma d\omega$ 成正比。

方向,而是在 L 的方向; 在立體角 $d\Omega$ 內通過的能量不是由面積 $d\sigma$ 本身決定, 而是由它在和方向 L 垂直的平面上的投影所決定.

根據 (2.1) 的定義, 如果知道 I_ν , 我們可以計算能量 dE_ν :

$$dE_\nu = I_\nu d\sigma \cos \vartheta dt d\omega dv. \quad (2.2)$$

對整個光譜積分便得到 dE 和 I , 代替 (2.2) 的便有:

$$dE = I d\sigma \cos \vartheta dt d\omega. \quad (2.3)$$

(2.2) 裏的光能量只限於立體角 $d\omega$. 在各種方向通過面積 $d\sigma$ 的全部輻射能量 dE_ν^* 等於:

$$dE_\nu^* = d\sigma dt dv \int_{4\pi} I_\nu \cos \vartheta d\omega. \quad (2.4)$$

因為當 $\vartheta > \frac{\pi}{2}$ 時, 因子 $\cos \vartheta$ 是負的, 所以 dE_ν^* 事實上就是在時間 dt 內在頻率間隔 dv 內通過面積 $d\sigma$ 向外面的能量和通過同一面積向裏面的能量的差額. 每單位時間每單位截面積和每單位頻率間隔的這種差額稱為輻射流 πH_ν (爲了以後計算方便起見才引入 π 這個數量). 以 $d\sigma dt dv$ 除 dE_ν^* 便得到輻射流 πH_ν . 因此,

$$\pi H_\nu = \int_{4\pi} I_\nu \cos \vartheta d\omega. \quad (2.5)$$

顯然地, 積分起來的總輻射流 πH 等於:

$$\pi H = \pi \int_0^\infty H_\nu dv = \int_0^\infty \int_{4\pi} I_\nu \cos \vartheta d\omega dv. \quad (2.6)$$

它有能量的量綱, 以 1 平方厘米和 1 秒計算. 在一般的情況下, 輻射流 πH 和 πH 是面積在空間裏的坐標和方向的函數.

現在來推出立體角 $d\omega$ 的式子. 爲要這樣做, 最方便的是利用球面坐標系, 取恆星大氣裏某一給定的點爲原點, 極軸的方向沿着恆星的半徑. 因為根據定義, 立體角 $d\omega$ 的數值等於以所給的點 P 爲中心以單位長度爲半徑的球面上在對應的方向的面積, 所以我們有:

$$d\omega = d\psi \sin \vartheta d\vartheta. \quad (2.7)$$

然而對於在本章內所分析的問題, 可以認爲光球層的物理狀態只和它的深度有關, 也就是說只跟它和恆星中心的距離有關. 在這種情況下由於對稱性, 輻

射強度不應當和方位角 ψ 有關。因此，我們可以馬上把立體角的公式 (2.7) 對全部 ψ 角積分起來。得到：

$$d\omega = 2\pi \sin \vartheta d\vartheta. \quad (2.8)$$

用這種符號，在恆星上的一個給定點，沿半徑方向通過和半徑垂直的單位面積的輻射流的式子可以由 (2.5) 改爲：

$$\pi H_v = 2\pi \int_0^\pi I_v(\vartheta) \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta. \quad (2.9)$$

(2.6) 式也作相應的改變。

在那些我們以後常要注意到的特殊情形下，輻射流的物理意義是這樣的。如果我們的單位面積的位置是如圖 2 所表示的，就是說它的平面和半徑垂直，那麼輻射流就是由下面經過面積 $\left(0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{2}\right)$ 的能量比由上面經過面積 $\left(\frac{\pi}{2} \leq \vartheta \leq \pi\right)$ 的能量所多出來的能量。

我們要注意到輻射流和輻射強度的最主要的差別之一：在“真空”的空間裏（沒有輻射的吸收），光線在它傳播的路程上強度一直是固定的。比方說，落在我們地球大氣外邊緣的太陽輻射的強度和直接落在它（指太陽）的表面的輻射強度相同（行星際空間的吸收可以忽略）。反之，太陽輻射流當遠離太陽（恆星）時和離開太陽（恆星）中心的距離的平方成反比。

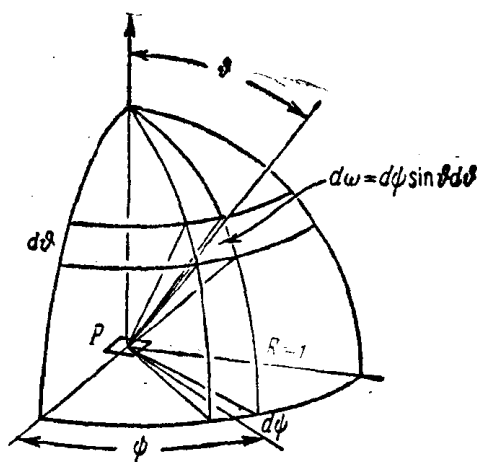


圖 2.

3. 輻射係數和吸收係數 現在轉到

下面的問題。設質量元素 dm 朝各方向輻射出熱能。則在時間 dt 內在由 ν 到 $\nu + d\nu$ 的頻率區間內，由這個元素在立體角 $d\omega$ 內輻射出能量

$$j_\nu dm d\omega dt d\nu. \quad (2.10)$$

比例係數 j_ν 稱爲輻射係數。由 (2.10) 的定義，係數 j_ν 就是單位質量的物質在單位時間內、在單位的頻率區間內、在單位立體角內所輻射的能量。

質量元素 dm 在時間 dt 內的全部能量輸出額是：