

科學圖書大庫

動力氣象學

譯者 嚴夢輝

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

動力氣象學

譯者 嚴夢輝

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年三月七日三版

動力氣象學

基本定價 3.10

譯者 嚴夢輝 美國空軍技術學院研究

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

譯 序

自從十七世紀培根倡導歸納演繹法以來，科學乃突飛猛進，有一日千里之勢。以方法學 (methodology) 的觀點來看，不論那一門知識，如果沒有演繹基礎或演繹基礎脆弱，縱然材料紛陳；仍不得視為科學或健全的科學。近代氣象學之所以能夠稱為科學，而且是已臻成熟的科學，並非端賴探測儀器的日新月異，蒐集資料的與日俱增，和分析方法（包括統計技術）的精益求精，乃在於具備強固的演繹基礎，於是天氣預報甚至天氣控制才有其可能。

氣象學的演繹基礎，就是挪威學派所奠立的動力氣象學。早在1945年，該派理論家之一的霍姆包 (J. Holmboe)，於其名著動力氣象學一書中開始便這樣指出：「一個最成功的預報員，必然是能夠圓滿解釋大氣物理稟性的人；反過來說，一個能夠圓滿解釋大氣物理稟性的人，也必然是最成功的預報員」。當時他所說的，還不過止於「解釋」而已。今日數值天氣預報（或稱數值法動力預報）的成功，更已步入動力氣象學直接應用的階段，證據歷歷在目，實不容絲毫置疑。所以凡是準備研究氣象學及其相關科學的學者，對於動力氣象學都應有相當深入的了解。否則，難免買櫝還珠，不識本質所在。

不幸，流體的「自由度」(degree of freedom) 太大，能量變換過程又極端複雜，勢非使用高深數學不可。由於初學者之學工具不足，每多裹足不前，望而却步。不過，為了解決氣象科學教育上的迫切問題，以最少而最淺顯的數學工具，來作相當程度的討論，也並非不可能。例如，把氣壓看成純量，不用張量來處理，固然有礙完整性 (completeness)，但仍無損一般性 (generality)。目前以中文撰述的動力氣象學，除散見於研究性的學術論文之外，還未出現適合於以上目標的著作，初學者頗感不便。本書的翻譯，就是為了適應這項需要，希望對於一般氣象從業人員、大專氣象及其相關科系的學生、高中物理和地球科學教師、環境科學工作人員以及關心該問題的一般人士，能夠有所幫助。

本書原名「理論氣象學導引」(Introduction to Theoretical Meteorology)，

因其中只有輻射三章涉及「物理氣象學」的題材，所以譯者把它改稱為「動力氣象學」，但譯文中偶然提到書名時，仍譯為「理論氣象學」，以求存真。譯者嚮學動力氣象學的講授雖達十餘年之久，惟自愧學殖淺薄，逐譯時掛一漏萬，一定難免，謹以十二萬分的誠意，歡迎博雅君子的批評和指教！

嚴夢輝

中華民國六十一年二月

於 若谷齋

原 序

氣象學的現狀，既然和基本理論的發展唇齒相依，如其真實的科學本質不致以訛傳訛，那麼純描述性的書籍便難以勝任。可是，就現有的大多數理論書籍而言，由於題材表現方式陳陳相因，已使理論氣象學蒙受「扞格難入」的不當之名。長久以來，著者認為捨棄高深的數學工具，而以適切嚴密的體裁來表達這一門學科，是有其可能的。也許用向量分析一類方法，對於學有所成的理論學者才有美感上的滿足；但是，依著者教學經驗的體會，大部分初學者每被陌生的數學語言所困惑。

因此，讀者除了對微積分有深入了解外，本書並不作數學上的苛求。雖然也會偶爾見到微分方程式，但讀者不必領悟解法，只需用代換法核驗所給的解答，使它滿足掌握的方程式即可。總而言之，著者努力而為均是在撰述理論氣象學，而不是高等數學。

反之，著者覺得最重要的，倒是要把這一學科的基礎和古典物理學緊密連繫起來，所以假定讀者已經奠定後者的良好基礎。本書多半採用演繹法，但在適當的地方，也舉示一些由觀測經驗而來的例子。因為科學既不是純演繹的，也不是純歸納的，以後在許多實例裡面，可以看到觀測乃啓示着並有力地引導着理論的發展。

本書主要是為欲窺理論氣象學門徑，或想做一番複習的人士而編寫。參考文獻的列註，只是對那些未加證明的論斷，有引據必要時為限。並提供一些指示性的材料，以便增廣讀者的認識。所以本書不擬羅列詳盡的書目。

各章之後大部分都附有習題，在使學生藉解答疑難問題以學習運用理論為原則。著者曾經煞費周章，就難易程度的等級，擷取範圍廣泛的題材。其中包括一些比較簡單的問題，應從以前推演所得的公式，求出數值的結果。還有一些問題，則必須運用學生才智加以深沉的思考。

本書搜羅的材料，比通常適於一年課程所能包括者之所以為多，是在提供教師有適當選材的餘裕。例如，討論輻射的第八、第九及第十等三章不妨全部刪除。第十七到第二十一任何一章如加以省略，都不致影響內容的連貫。

本書各部分曾蒙許多同仁的指教或批評，著者在此要謹致謝忱的，有：Werner A. Baum, Warren A. Dryden, Thomas A. Gleeson, Noel LaSeur, Julius London, Stanley L. Rosenthal，及已作古的 Leon Sherman 等諸位先生。尤其要感謝前後各年級的同學，他們曾以不同版本的油印講義，勤研勉學，使本書得能充實完成。不過，儘管蒙諸君鼎力相助，謬誤不當之處仍恐難免，當然應由著者個人完全負責。

希斯

(S. L. Hess)

目 錄

譯 序 原 序

第一章 緒論

1.1 物理基礎 , 1

1.2 理論氣象學的目標 , 3

1.3 單位與因次 , 4

1.4 地球 , 6

1.5 大氣 , 7

習題 , 8

第二章 狀態方程式

2.1 狀態變數 , 10

2.2 查理定律 , 11

2.3 波義耳定律 , 12

2.4 理想氣體狀態方程式 , 13

2.5 混合氣體 , 15

習題 , 16

第三章 熱動力學原理

3.1 功 , 17

3.2 熱 , 19

3.3 能量守恒律 , 20

3.4 理想氣體的內能與比熱容量 , 23

3.5 絕熱過程 , 25

3.6 焓與熱動力學第二律 , 26

3.7 熱動力變數綜述 , 31

習題 , 31

第四章 水汽與濕空氣的熱動力學

4.1 容壓圖上的等溫線 , 33

4.2 水質之熱的性質 , 34

4.3 濕空氣的狀態方程式 , 36

4.4 相位變化與潛熱 , 37

4.5 克勞瑟斯、克萊普倫方程式 , 39

4.6 飽和空氣的絕熱過程 , 44

4.7 濕度變數 , 49

習題 , 54

第五章 熱動力圖

- 5.1 一般認識，56
- 5.2 比能圖，58
- 5.3 溫焓圖，59
- 5.4 斜溫圖，61
- 5.5 史提維圖，64
- 5.6 熱動力圖的抉擇，64
習題，65

第六章 流體靜力平衡 66

- 6.1 流體靜力方程式，66
- 6.2 高空探測的高度計算，68
- 6.3 特殊大氣的流體靜力學，71
- 6.4 測高術，76
- 6.5 海平面氣壓的推算，78
習題，79

第七章 流體靜力穩度與對流 81

- 7.1 一般認識，81
- 7.2 乾絕熱與濕絕熱遞降率，81
- 7.3 小塊法，83
- 7.4 氣層位移時穩度的變化，88
- 7.5 薄層法，91
- 7.6 積雲中的攝入作用，94
- 7.7 氣泡論，97
習題，99

第八章 基本輻射物理學 101

- 8.1 輻射的本性，101
- 8.2 原子及分子波譜，102
- 8.3 散射，105
- 8.4 黑體輻射，107
- 8.5 輻射傳播，110
習題，112

第九章 太陽輻射與地面輻射 114

- 9.1 太陽輻射的本性，114
- 9.2 太陽輻射的地理與季節分佈，116
- 9.3 地面輻射，119
習題，122

第十章 地球大氣系統中輻射的應用 124

- 10.1 艾氏法的基礎，124
- 10.2 艾氏圖，126
- 10.3 雲層的輻射加熱與冷卻，130
- 10.4 大氣的紅外線輻射冷卻，131
- 10.5 從海洋極地空氣到大陸極地空氣的變換，133
- 10.6 輻射平衡與成層氣圈，134
- 10.7 年平均熱平衡，137
習題，142

第十一章 旋轉地球上的運動方程式 143

- 11.1 慣性及其相應的非慣性坐標系，143
- 11.2 旋轉坐標系中的動力方程式，144
- 11.3 萬有引力與相應的重力，148
- 11.4 氣壓梯度力，150
- 11.5 慣性運動，151
- 11.6 個別導數、局部導數及對流導數，153
- 習題，154

第十二章 各力平衡下的水平運動

155

- 12.1 平衡運動，155
- 12.2 地轉式氣流，155
- 12.3 阻力效應，158
- 12.4 梯度式氣流，159
- 12.5 地轉風值與梯度風值的比較，164
- 12.6 旋轉式氣流，166
- 12.7 不在水平面上的氣壓梯度表示法，166
- 12.8 熱風方程式，168
- 習題，174

第十三章 流體運動學

176

- 13.1 運動學與動力學，176
- 13.2 線性速度場的分解，176
- 13.3 流線、跡線與絡線，180
- 13.4 定流函數，183
- 13.5 環流及其與旋量的關係，186
- 13.6 連續方程式，189
- 13.7 掌握大氣的完全方程式組，193
- 習題，194

第十四章 氣壓變化的力學作用與影響

196

- 14.1 趨勢方程式，196
- 14.2 貝克納斯、霍姆包理論，198
- 14.3 等變壓風，201
- 習題，203

第十五章 不連續面

205

- 15.1 不連續性，205
- 15.2 鋒，206
- 15.3 地轉風場中的鋒，207
- 15.4 看成突變區的鋒，208
- 15.5 對流界，210
- 習題，211

第十六章 環流、旋量及輻散等定理

213

- 16.1 環流定理，213
- 16.2 環流定理的物理解釋，216
- 16.3 環流定理應用舉例，218
- 16.4 旋量定理，220
- 16.5 西風帶長波理論，226
- 16.6 輻散定理，229
- 習題，230

第十七章 以氣壓為獨立坐標的基本方程式 232

- 17.1 高度的氣壓代換法, 232
- 17.2 水平導數與時間導數, 232
- 17.3 運動方程式, 234
- 17.4 連續方程式, 234
- 17.5 旋量方程式與輻散方程式, 235
- 17.6 地轉風及熱風近似式, 237

第十八章 黏性與湍流 238

- 18.1 黏性基本定律, 238
- 18.2 包括黏性的運動方程式, 239
- 18.3 湍流中的平均運動方程式, 241
- 18.4 模型法與動力模擬, 243
- 18.5 混合長度理論, 246
- 18.6 最低湍流層風的垂直結構, 248
- 18.7 最低湍流層以上風的垂直結構, 251
- 18.8 其他性質的擴散, 255
- 習題 262

第十九章 能量與穩度的關係 264

- 19.1 能量方程式, 264
- 19.2 內能與位能, 266
- 19.3 阻力式的動能消散, 267
- 19.4 由位能與內能轉變而成的動能, 269
- 19.5 機械性的動能產生, 273
- 19.6 慣性穩定, 276
- 習題, 280

第二十章 數值天氣預報 281

- 20.1 引述, 281
- 20.2 呂丘松失敗的原因, 283
- 20.3 現代數值天氣預報的基礎, 284
- 20.4 旋量守恒律的數值解法, 285
- 20.5 消餘法求積分, 286
- 20.6 未來邊界值的確立, 288
- 20.7 預報步驟舉要, 289
- 20.8 結論, 289
- 習題, 291

第二十一章 一般環流 292

- 21.1 大氣運動的幅度, 292
- 21.2 東西向的平均氣流, 292
- 21.3 東西向的變動氣流, 294
- 21.4 一般環流理論的先決條件, 296
- 21.5 子午式環流範型, 298
- 21.6 實驗法, 300
- 21.7 角動量平衡, 302
- 21.8 數值實驗, 308

附錄一 數字常數及換算	313
附錄二 高斯輻散定理的推證	314
英中名詞對照	317
索 引	331
記號一覽表	337

第一章 緒論

1.1 物理基礎

氣象學的理論方面，基於一項基本公設：大氣的稟性，可從物理學基本定律和概念來分析與理解。最便於大氣援用的物理學三大領域，當推熱動力學 (thermodynamics)〔輻射學 (radiation)以及流體動力學 (hydrodynamics)〕。

熱動力學是在特定能量過程或能量變換中，研究某一系統起始的和終結的平衡狀態。「系統」是指物質的選定樣品而言。由實驗得知，系統的「平衡狀態」，可因要求不同，以有限數目的若干性質如壓力、溫度、容積來做完全的闡述；這些性質就是**狀態變數** (variables of state) 或**熱動力變數** (thermodynamic variables)。下面是可參照熱動力學定律予以解答的此類問題之一例：一克由水汽所飽和的空氣，起始氣壓 1000 毫巴，溫度 0°C ，如對於環境無能量的得失，令它膨脹至氣壓為 500 毫巴時，問最終的溫度是什麼？系統既經說明，起始狀態也已規定，而能量變換的明顯過程獲知（水汽凝結與環境無能量的交換），那麼由這些資料必可確定此一系統的終結狀態。

輻射學是研究電磁波形式的能量放射問題，以及能量在空間中的播動與能量被物質吸收的情形。這類能量傳播，以光速進行且不需中間介質，和其他傳播形式（如對流及傳導）截然不同。波長是輻射的首要特性，輻射問題都可由輻射學定律及實驗測量的知識來解答，以下列問題為例：一完全輻射體（黑體）的溫度 20°C ，問在波長 8 微米至 12 微米之間，每平方厘米釋放輻射的快慢程度如何？又如穿過 1 米厚的空氣，氣溫 10°C ，氣壓 1000 毫巴，相對濕度百分之 50，那麼入射的輻射，在 8 至 12 微米之間將以什麼比率通過？因地球上的全部有效能量，事實上都是來自一個輻射體（太陽），且必須穿越大氣而到達地面，所以這類問題的重要性不喻可知。

流體動力學研究流體（液體或氣體）的運動及諸力作用於流體的關係。設空氣在地球表面作水平運動，除氣壓水平變化和地球旋轉外，不受其他各力的影響。如果此二力彼此平衡，問空氣運動的方向和速率將如何？這樣的

問題，可從流體動力學原理的研究予以解答。

把理論氣象學這一門科學所根據的基本定律和概念，先作明晰的確定，實有開宗明義之益。雖然此等概念未作氣象學的特殊應用之前，尚不能充分理解，但是先從何處着手的初步認識則頗為重要。讀者必須參閱這一容納各個概念的基礎性大綱，以便在建立高深理論時，仍然與其基礎有緊密的連繫。

熱動力學定律

由熱動力學的領域，可得三大重要的應用定律：

1. 完全氣體狀態方程式。
2. 熱動力學第一律(能量守恒)。
3. 熱動力學第二律(能量遷降)。

狀態方程式 (the equation of state) 是界定系統狀態的熱動力變數間的一項關係。將適合於理想氣體或完全氣體的簡式，引用於實際氣體(空氣)，可有充分的正確性。這一有效方程式的常用形式，是在表示已知氣體樣品的壓力、容積、溫度之間的相互關係。

熱動力學第一律 (the first law of thermodynamics) 為熱動力系統的能量守恒律，這一基本原理，雖不能作理論證明，但有其實驗證明的根據。

熱動力學第二律 (the second law of thermodynamics) 說明在熱動力過程中，熱的可能「流動」方向，也是一項基於經驗的基本原理。

輻射學定律

掌握輻射的定律有：

4. **科克荷夫定律** (Kirchhoff's law) 說明物體輻射的放射強度，與等波長入射輻射的吸收部分之關係；兩者的比率，只是物體溫度和波長的函數，亦即愈易吸收的物質，必愈易放射。所以一個完全吸收體(黑體)，也是一個完全放射體。

5. **蒲朗克定律** (Planck's law) 說明黑體釋放輻射能的快慢，與黑體溫度及輻射波長有關。依這一定律，可以推演**維恩位移律** (Wien's displacement law)，就是放射最大能量的波長，和絕對溫度的倒數有關。也可推演**斯泰藩-鮑茲曼二氏定律** (Stefan-Boltzmann law)，就是所有波長的總放射率，和絕對溫度的四次方有關。

6. **比爾定律** (Beer's law) 當單色輻射束透過一段短小距離時，入射輻射的某一部分即被吸收。比爾定律說明被吸收的部分，和介質密度及所經

距離成正比；比例常數就是介質的吸收係數。

7. **輻射傳播方程式** 當輻射經過吸收介質時，便有一部分被吸收，但介質通常以適合於科克荷夫定律及蒲朗克定律的另一波長，重新放射能量。於是，這種能量複雜傳播的結果，可由輻射傳播方程式來描述。

流體動力學定律

在流體動力學中，要利用的是：

8. **牛頓萬有引力定律** (Newton's law of universal gravitation) 通常假定在大氣範圍以內，自地心起，重力隨距離的變化小至可以忽略，此定律於是概括成這樣的敘述：由重力所生的加速度接近常數。

9. **各力平衡的概念** 因在諸應力中，系統都有趨向應力平衡狀態的共同趨勢（雖然並非不變），所以這一概念屢加應用。由平衡狀態的研究，可用簡單形式作廣泛的探討。

牛頓運動三律

10. 物體除受不平衡的各力作用外，運動者以等速運動，靜止者仍然靜止。此定律描述物體慣性的觀測性質，從而推演出質量的概念。

11. 物體隨時間的動量變率，等於作用於該物體的所有諸力的向量和： $d(m\mathbf{V})/dt = \Sigma \mathbf{F}$ ，其中 m 是物體的質量， $\mathbf{V}$ 是速度， t 是時間， $\mathbf{F}$ 代表諸力，黑體字母表示向量。這一關係將作為大氣動力學的基本定律。

12. 任何作用(力)必有一相等且相反的作用(力)。只要考慮到兩種介質之間的相互作用時，牛頓運動第三律就很關重要；例如大氣某一部分對另一部分的影響，或大氣與地球間的相互作用。

13. **質量守恒律** (the law of conservation of mass) 是用以推演流體稟性的一項基本約束（連續方程式），成為掌握大氣的簡括方程式組中的一個方程式。

14. **牛頓黏性定律** (Newton's law of viscosity) 是有關應力與速度切變 (the shear of velocity) 的經驗性敘述：一層運動的黏性流體施於鄰近各層的應力，其速度切變與應力互相正交。這是黏性的基本事實，也是黏性係數定義的淵源。

1.2 理論氣象學的目標

理論氣象學的終極目標，是要把上述各定律和概念，作成可以引用於大

氣的形式，再以歸結的敘述，應用在有關大氣的種種情況之中。此項應用具有雙重目的：第一，對大氣的各種過程和事象增進了解；第二，對大氣的稟性作定量預報。由於現階段理論知識的殘缺不全，這些目的還不能說已經達到合乎氣象資訊使用者的要求。不過，可以鉤畫出這一領域的輪廓，展示理論和實際極為統一的一些部分結果。所要努力的，是把那些在求解上發生困難的關鍵，剖析它們的特性，使現行實用方法所依據的演繹材料，得以充實其背景。

1.3 單位與因次

所有數量的單位，除非另有說明，一律使用厘米、克、秒(c.g.s.制)。不過讀者應該留意，若干氣象學家則採用米、噸、秒制（一公噸 = 10^3 公斤），甚至英制長度單位——呎——在某些氣象作業上也被廣泛使用。這些單位之外，必須加上溫度單位，本書以攝氏度數 * 或絕對度數來表示。

單位和因次的審慎注意，會顯著提高計算的精確性，且易於作方程式的核驗。上述各單位的選擇，實含有隱藏的意義，那就是所有討論到的數量（例如力、功及比熱容量等等的多寡），都可用長度、質量、時間和溫度的單位表示它們。這些基本因次，分別以字母 L, M, T, θ 來代表；所有純數，例如角、三角函數或對數，不論什麼情形都沒有因次，僅僅是一些數字的乘數而已。在本書中，凡是初見的導出量，後面一律附以因次，用四個基本因次的組合寫在括方裡面，如：力 $[MLT^{-2}]$ ，功 $[ML^2T^{-2}]$ ，比熱容量 $[L^2T^{-2}\theta^{-1}]$ 。

有時，讀者對於導數及積分的因次算法會感到困難。一個函數關於某一變數的導數，乃是函數增量與變數增量二者比率的極限；所以導數的因次，就是函數的因次除以變數的因次。以 dW/dt 為例， W 是功， t 是時間，導數的因次為 $ML^2T^{-2}/T = ML^2T^{-3}$ ，即功率的因次。

一個函數關於某一變數的積分，乃是函數與變數增量之積的總和極限；所以積分的因次，就是函數的因次乘以變數的因次。例如：設 c 為比熱容量， T 為溫度，則 $\int cdT$ 具有因次 $(L^2T^{-2}\theta^{-1})\theta = L^2T^{-2}$ ，即比能 (specific energy) 的因次。

從因次概念而獲致的最大優點，是在方程式的形式核驗上，有立竿見影的效用。任何物理方程式，不但代表某些數量間的關係，而且也代表因次間

*攝氏度數和百分度數完全相同。在科學工作上，經國際協議用「攝氏」代替慣常的「百分」標示，以紀念首創 $0-100$ 溫度標度的攝爾瑟斯 (Anders Celsius)。

的相等關係。例如牛頓運動第二律規定一力的大小等於動量變率的多寡，相應的因次方程式是 $MLT^{-1} = (MLT^{-1})/T$ ，顯然是一個正確的等式。假如牛頓定律所做的假設錯誤，規定一力的大小等於速度變率的多寡，那麼相應的因次方程式必為 $MLT^{-2} = (LT^{-1})/T$ ，顯然是不真確的。因此，用方程式兩邊因次的核對方法，可使錯誤立刻顯現，而能節省讀者很多徒勞的精力。但是，縱然因次已經核對，方程式也並不見得正確，因為無因次的因子可能被忽略，或方程式中二個誤差在因次上可能正好消去。不過，因次核對仍然會排除大部分的各類誤差。

雖然不準備在這裡討論因次分析的廣泛問題，但是讀者應該明瞭，利用這個强有力的工具，對於一些懸而未決的問題，可能推演出其中部分的關係*。

度量壓力的單位，種類繁多，頗不一致。壓力 $[ML^{-1}T^{-2}]$ 是正交於某一表面的單位面積之力，在 c. g. s. 制中，它的單位是每平方厘米達因：1 達因/厘米² = 1 克·厘米·秒⁻²/厘米²。因海平面大氣壓力約 10^6 達因/厘米²，這個單位太小，使用不便，所以下了一個叫做巴(bar)的定義：

$$1 \text{ 巴} = 10^6 \text{ 達因/厘米}^2$$

但這一單位用起來又太大，於是實用上乃取一巴的千分之一，就是毫巴(millibar)：

$$1 \text{ 毫巴 (mb)} = 10^3 \text{ 達因/厘米}^2 = 10^{-3} \text{ 巴}$$

在米、噸、秒制中，壓力單位是一巴的百分之一，或稱厘巴(centibar)。

由於測量大氣壓力常藉水銀氣壓表，所以用汞柱高度單位表示測報氣壓，屢見不鮮，最常用的單位是吋及毫米。因水銀密度約 13.60 克/厘米³，而標準重力加速度為 980.6 厘米·秒⁻²，於是

$$1 \text{ 吋汞柱高} = 33.86 \text{ 毫巴}$$

$$1 \text{ 毫米汞柱高} = 1.333 \text{ 毫巴}$$

氣壓測報，有時用標準海平面大氣壓力或一大氣壓的若干分之幾來表示；一大氣壓為 1013.25 毫巴，或 760.000 毫米汞柱高，或 29.9213 吋汞

*參閱 P.W. Bridgeman 編著的 *Dimensional Analysis*，New Haven, Yale Univ. Press, 1931.