



物理學史研習會（十）

手冊

主辦：東吳大學物理學系教學研發中心

協辦：教育部普通高級中學課程物理學科中心

東吳大學第一教學研究大樓 源流講堂

2018 年 10 月 20 日



前言

東吳大學物理學系一向認為物理學史在人類文化發展中具有重大意義，因而重視物理學史的教育，曾經四度開授「物理學史」課。

2013 年 9 月 28 日及 10 月 5 日，本學系於東吳大學外雙溪校區接連舉辦「物理學史研習會」(一) 及 (二)；2014 年 10 月 18 日及 25 日復於東吳大學及臺中第一中學舉辦「2014 物理學史研習會」(三) 及 (四)；2015 年 10 月 24 日及 31 日於東吳大學及高雄市立高雄中學舉辦「2015 物理學史研習會」(五) 及 (六)；2016 年 10 月 22 日及 29 日又於東吳大學及高雄中學與辦「2016 物理學史研習會」(七) 及 (八)。2017 年 10 月 28 日再於東吳大學舉辦「2017 物理學史研習會」(九)。這九次研習會都因教育部「普通高級中學課程物理學科中心」參與協辦，得廣邀高中物理教師參加，裨益高中物理教育，同時增進相關學者交流，嘉惠在校學子。

今年本學系再接再厲，於 10 月 20 日在東吳大學繼續舉辦「2018 物理學史研習會(十)」，今年選定的主題為「物理學史上的重鎮與傳承」。選這個主題，是因為我們認為物理學的發展需要風氣的傳承與大師的引導；西方先進的經驗值得我們認真借鏡。

我們今年請劉源俊教授講英國劍橋大學與卡文迪西實驗室的經驗，請李精益教授講費米從義大利到美國芝加哥的經驗，請鄭宜帆博士講德國哥廷根大學的經驗。這幾處都是近代物理學的重鎮。此外，由於西歐各科學先進國科學學會的成立與物理學的發展有密切關係，我們也安排由任慶運教授講歐洲科學學會的發展。遺憾的是，原安排請中國大陸山西大學的厚宇德教授來講〈從哥廷根到哥本哈根〉，但因為海峽兩岸的交流不順暢，他不克前來。

講演的書面資料與錄影，將會是後人研習的重要參考文獻。連續六年舉辦，已使「物理學史研習會」成為東吳大學物理學系的一項特色活動。

東吳大學物理學系主任

任慶運

謹誌

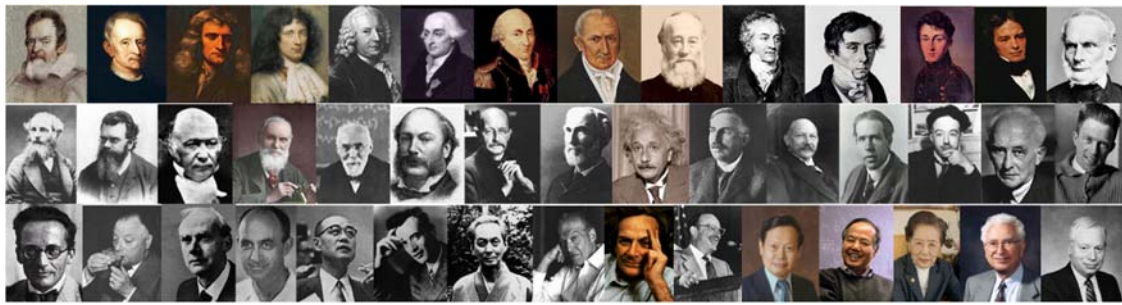
中華民國 107 年 10 月 20 日

物理學史研習會（十）

手冊

目錄

- ☐ 前言
- ☐ 物理學史研習會（十）議程
- ☐ 講師簡介
- ☐ 劉源俊 劍橋大學與卡文迪西實驗室（PPT）
- ☐ 鄭宜帆 哥廷根大學及其物理學傳承（PPT）
- ☐ 任慶運 歐洲的學會與物理學發展（PPT）
- ☐ 李精益 物理教皇—費米從羅馬到芝加哥（PPT）
- ☐ 封面圖案說明



物理學史研習會（十）

主題：物理學史上的重鎮與傳承

時間：2018 年 10 月 20 日（星期六）

地點：東吳大學 外雙溪校區 第一教研大樓 源流講堂

主辦：東吳大學物理學系教學研發中心

協辦：教育部普通高級中學課程物理學科中心

時 間	講 者	講 題
09:30~09:35	任慶運（東吳大學物理學系主任）	開幕致詞
09:35~10:50	劉源俊（東吳大學物理學系名譽教授） 討論	劍橋大學與卡文迪西實驗室
10:50~12:05	鄭宜帆（中研院物理研究所博士後研究員） 討論	哥廷根大學及其物理學傳承
12:10 ~ 13:10 午餐		
13:10~14:25	任慶運（東吳大學物理學系副教授） 討論	歐洲的學會與物理學發展
14:25~15:40	李精益（文藻外語大學通識教育中心副教授） 討論	物理教皇—費米從羅馬到芝加哥
15:40 ~ 16:00 茶敘		
16:00~17:00	綜合座談 主持：劉源俊（東吳大學物理學系名譽教授）	

講師簡介

劉源俊 東吳大學物理學系名譽教授

國立臺灣大學理學士（1966），美國哥倫比亞大學（Columbia University）物理學博士（1972）。

在東吳大學物理學系任教已 46 年。曾任東吳大學物理學系主任、理學院院長、教務長（1983~1987）、校長（1996~2004）。又曾任臺北市立教育大學校長（2006~2008）。

在美國留學期間參與發起《科學月刊》，回臺後曾擔任總編輯、社長、理事長等重要工作二十餘年。現任臺北市科學出版事業基金會董事長。

曾獲教育部「社會教育獎章」（1982）、教育部「教學特優教師獎」（1989）、中華民國物理教育學會「物理教育傑出貢獻獎」（1990, 2008, 2012）。

興趣與專長主要在物理教育、教育理念與制度、文化發展、高等教育。



鄭宜帆 中央研究院物理所博士後研究員

清華大學物理學士、中央大學物理博士。

研究專長為高能物理與超對稱。

除了物理學術研究之外，亦熱衷物理教育和科普傳播。於清華大學通識中心開設物理相關課程，並擔任科普媒體專欄作家，講述科學文明發展史、以及撰寫物理科普文章。

研究、教學之餘，也從事科普演講和中文科普書的編輯、審定工作。





任慶運 東吳大學物理學系副教授

生於 1953 年。交通大學電子物理學系畢業（1975），清華大學物理碩士（1977）、美國 University of Maryland 博士（1992）。

曾任並現任東吳大學物理系主任。

興趣與專長在理論物理、哲學、佛學、文史、經典教育。

著有《物理數學》講義，與劉源俊合編《科學經典選讀》。未竟關於佛學研究著作包括《南山律在家備覽略編學律劄記》等四種。

李精益 文藻外語大學通識教育中心副教授。

1960 年出生於臺灣桃園。台灣大學物理學士，清華大學物理碩士，美國 Uni. of Texas at Austin 物理博士。

自大學以來一直保持對科學/技術史、科學哲學及科學與人文社會學科間交互影響等課題的興趣。

近二十年來積極參與科學普及化的工作，撰寫文章及翻譯書籍；並曾審校數十本書，涵蓋題材廣泛，其中包括吳國盛著《科學的歷程》（科技圖書股份有限公司，2010 年 5 月）和郭奕玲、沈慧君著《物理學史》（五南出版社，2017 年 8 月）。

對通識教育課程有一構想，希望在人類文明演進的架構中，探討科學、技術在其中扮演的角色，它們各自的重大發展，彼此間的互動乃至科技與經濟、社會、政治諸層面的關聯等課題。



大綱

介紹劍橋大學

介紹卡文迪西實驗室

《一百多年來的劍橋物理》摘錄

結語

劍橋大學與卡文迪西實驗室

劉源俊

物理學史研習會（十）

東吳大學第一教研大樓・源流講堂

107.10.20



England



西方大學發展史

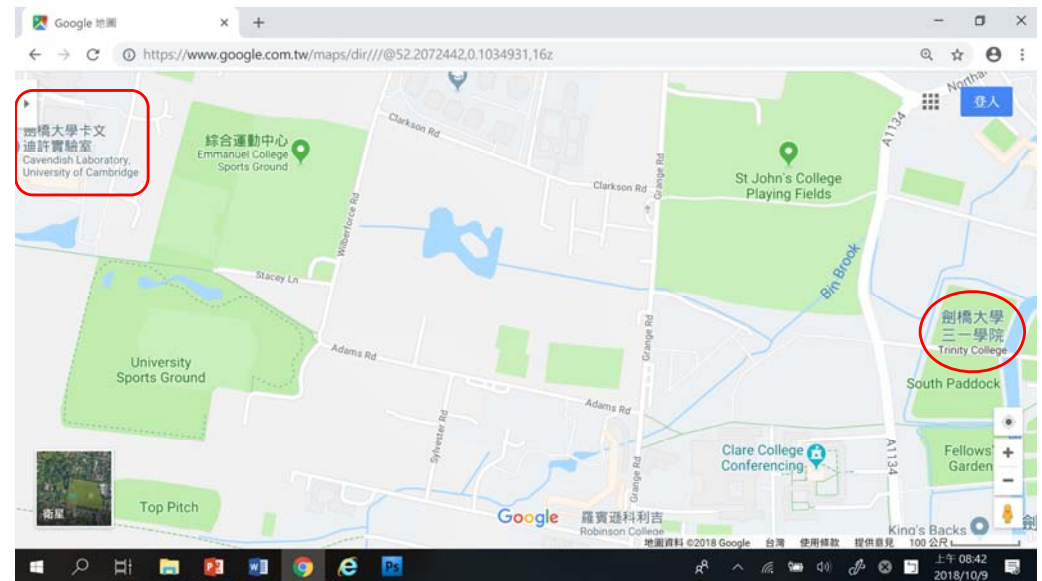
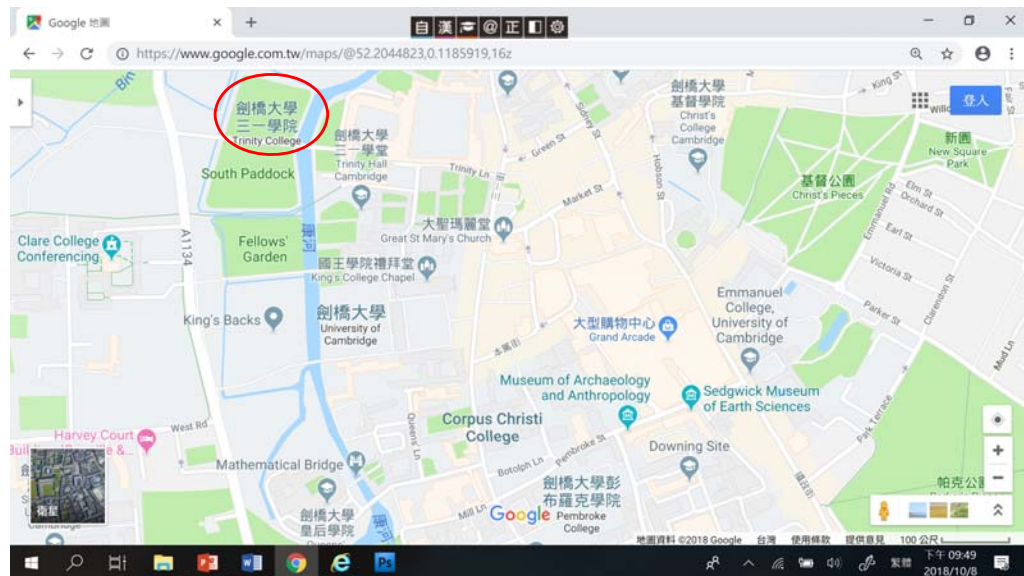
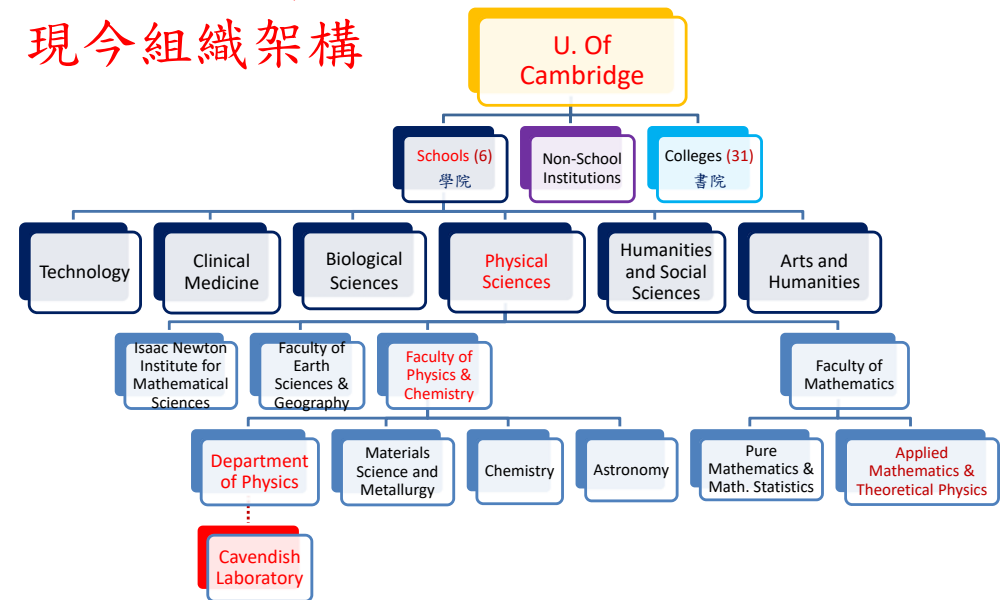
年份	名稱	所在地
1158	Università di Bologna	Italy
1160	Université de Paris	France
1167	University of Oxford	England
1209	University of Cambridge	England
1215	Università di Arezzo	Italy
1222	Università degli Studi di Padova	Italy
1224	Università degli Studi di Napoli	Italy
1290	Universidade de Lisboa	Portugal

劍橋大學

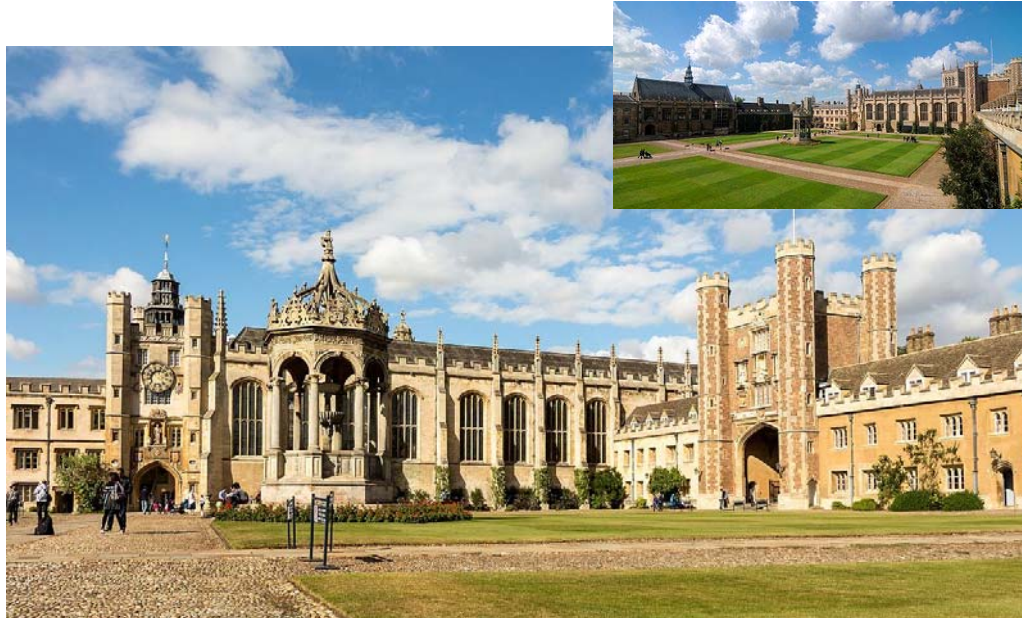
位於 Cambridge (劍橋、康橋) —— 從倫敦乘火車約一個半小時可達。

- 1209 年，受 Oxford 鎮民敵視而逃難的一群學者移居 Cambridge 鎮。
- 他們先在鎮上寄宿，逐步租下整棟房屋當作旅舍，由一位師長 (Master) 照顧學生。這是後來書院 (Colleges) 的雛形。
- 到 1226 年，學者人數多到夠成立機構了，於是選任校長 (Chancellor) 作正式代表，並開始安排正式課程請學者講授。
- 2009 年，劍橋大學隆重慶祝建校 800 年。

劍橋大學 現今組織架構



Trinity College 三一書院



King's College 國王書院

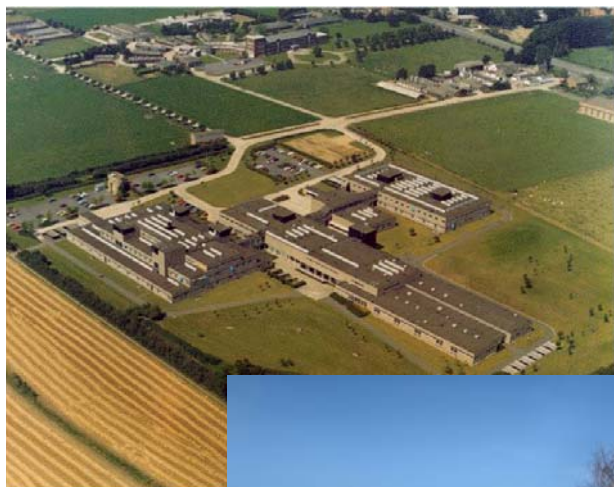


Mathematical Bridge



Bridge of Sighs





Cavendish Laboratory



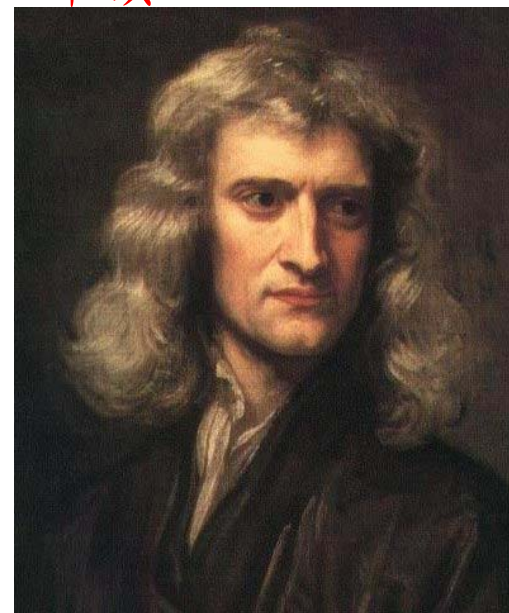
劍橋大學的 THE 世界排名

年別	名次	前七名
2019	2	Oxford, Cambridge, Stanford, MIT, Caltech, Harvard, Princeton
2018	2	Oxford, Cambridge, Caltech, MIT, Stanford, Harvard, Princeton
2016-17	4	Oxford, Caltech, Stanford, Cambridge, MIT, Harvard, Princeton
2015-16	4	Caltech, Oxford, Stanford, Cambridge, MIT, Harvard, Princeton
2014-15	5	Caltech, Harvard, Oxford, Stanford, Cambridge, MIT, Princeton
2013-14	7	Caltech, Stanford, Oxford, Harvard, MIT, Princeton, Cambridge
2012-13	7	Caltech, Stanford, Oxford, Harvard, MIT, Princeton, Cambridge
2011-12	6	Caltech, Harvard, Stanford, Oxford, Princeton, Cambridge, MIT
2010-11	6	Harvard, Caltech, MIT, Stanford, Princeton, Cambridge, Oxford

劍橋大學的輝煌學術史（一）

年份	人物	貢獻
1628	William Harvey	publishes 'On the Motion of the Heart and Blood in Animals' .
1687	Isaac Newton	publishes <i>Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica</i> , establishing the fundamental principles of modern physics.
1801	Thomas Young	finds interference of light with the 'double slits,' which leads to the wave theory of light.
1812	Charles Babbage	has his first ideas for a calculating machine.
1870	William Cavendish	endows the University's new Cavendish Laboratory for the study of experimental physics.
1871	James C. Maxwell	returns to Cambridge as the first Cavendish Professor of Physics.
1873	James C. Maxwell	publishes <i>Treatise on Electricity and Magnetism</i> and later outlines his theory of electromagnetic radiation, confirming him as the leading theoretical physicist of the century.
1897	J.J. Thomson	discovers the electron, laying the foundations for modern physics, including electronics and computer technology.

Isaac Newton 牛頓 1642 ~ 1727



英格蘭人。自小愛做實驗並獨自思考；1665-6年間因瘟疫退居家鄉，從蘋果與月亮的聯想悟出重力的反平方律，又用稜鏡發現日光的光譜。

他的 *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687) 三卷是為科學史上最具有影響力的書，其中所揭櫫的運動三律及萬有重力律，可據以推論地面與天體一切運動，因而奠立所謂「古典力學」體系。他提出動量與角動量守恆的觀念。

他的光學研究，總成 *Opticks* (1704) 一書，認為光係由代表不同色彩的微粒組成，其權威致使光的波動說的發展延宕達一百多年；所提出的光以太說 (1675)，也籠罩整個十九世紀，直至 1905 年才被 Einstein 揚棄。

他為研究行星運動發展出微分學與積分學，與 Leibnitz 並列為微積分算學的創始人。

其物理方法論也影響物理學界至為深遠。

劍橋大學的輝煌學術史（二）

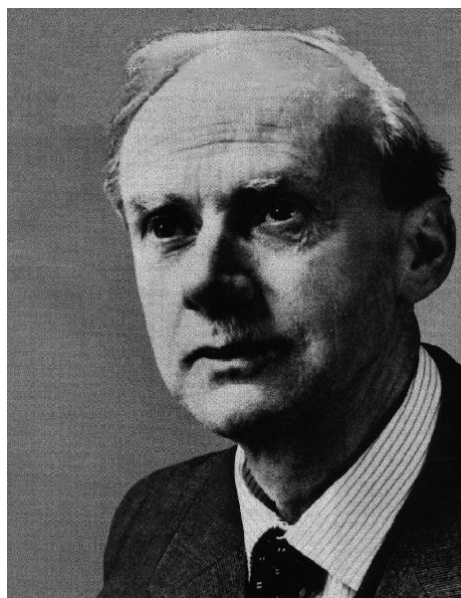
年份	人物	貢獻
1911	Bertrand Russell	publishes <i>Principles of Mathematics</i> . G.E. Moore publishes his <i>Principia Ethica</i> .
1911	Ludwig Wittgenstein	arrives in Cambridge from Vienna to study philosophy with Russell. Cambridge became the most important centre for philosophical research in the English-speaking world.
1912	Lawrence Bragg	has an idea that will lead to his discovery of the mechanism of X-ray diffraction.
1913	Russell & Whitehead	publish the influential <i>Principia Mathematica</i> .
1929	Frederick G. Hopkins	receives his Nobel prize for Physiology and Medicine for discovering vitamins, pioneering in biochemistry.
1932	John Cockcroft and Ernest Walton	split the atom for the first time.
1933	Paul Dirac	receives his Nobel prize for Physics. As one of the founding fathers of quantum theory, he also suggested the existence of antimatter, the positron being the first to be discovered.

Paul Adrien Maurice Dirac

狄拉克 1902 ~ 1984

英格蘭人。1926 年證明矩陣力學與波動力學殊途同歸；1927 年開創量子電動力學，將電磁場算符化，解決波/粒二象性問題；1928 年結合相對論與量子力學，作成漂亮的狄拉克方程，預測了反物質的正電子。1933 年與薛丁格同獲諾貝爾物理獎。

The Principles of Quantum Mechanics (1930初版，1958四版) 是量子力學的經典著作。



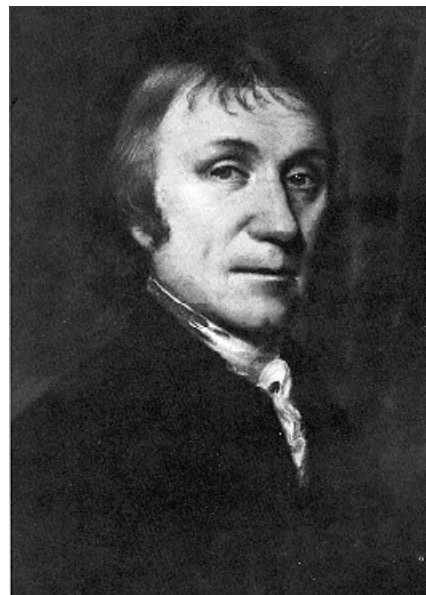
劍橋大學的輝煌學術史（三）

年份	人物	貢獻
1936	John Maynard Keynes	publishes the revolutionary <i>General Theory of Employment, Interest and Money</i> , changing the view of how economies should be managed.
1949	Maurice Wilkes	develops the EDSAC, the first stored program digital computer to work successfully.
1953	Francis Crick and James Watson	discover the structure of DNA, unlocking the secret of how coded information is contained in living cells and passed from one generation to the next - the secret of life.
1954	Joseph Needham	publishes the first volume of his <i>Science and Civilisation in China</i> , the start of a massive enterprise.
1958	Frederick Sanger	wins Nobel prize for Chemistry for determining the specific sequence of the amino acid building blocks which form the protein insulin.
1960	Charles Oatley	leads a team which develops the first scanning electron microscope, arguably the most important scientific instrument to be developed in the last 50 years.

劍橋大學的輝煌學術史（四）

年份	人物	貢獻
1962	Max Perutz	establishes and directs the Medical Research Council's Laboratory of Molecular Biology in Cambridge. He is leading in the stereo chemistry for proteins .
1968	Anthony Hewish and Jocelyn Bell	make the most exciting recent observation in astrophysics by discovering pulsating stars or 'pulsars'. Their work alters the course of modern cosmology.
1980	Frederick Sanger	becomes the first person ever to win two Nobel prizes for Chemistry, this time for discovering how to determine the information encoded in DNA - DNA sequencing.
1982	Aaron Klug	collects his Nobel prize for solving complex 3- dimensional structures including viruses and RNA molecules.
1985	Cesar Milstein	collects his Nobel prize for his work on monoclonal antibodies, the original 'magic bullets'.
1988	Stephen Hawking	publishes his book <i>A Brief History of Time</i> , one of the best selling scientific books of all time.
1996	James Mirrlees	is awarded the Nobel Prize for Economics.

Henry Cavendish 卡文迪西1731 ~ 1810



生於法國，後遷至英國。發現氫氣，而氫與氧可合成水。

做許多電學實驗，沒發表（乃後來的庫倫律、電容與介電質的關係、歐姆律等）。他在物理上最著名的貢獻是1797-8年間利用扭擺推得地球密度5.48，因而可知重力常數G。

1874年成立的英國劍橋大學Cavendish Laboratory是因他的後代親戚捐錢而命名，堪稱史上最重要的實驗室，迄今已產生30位諾貝爾獎得主。

Cavendish Laboratory

- 為紀念英國化學家與物理學家 Henry Cavendish 對科學的貢獻而建立。
- 他的後代親戚 William Cavendish (7th Duke of Devonshire) 擔任劍橋大學的校長，捐錢興建該實驗室。
- 1874年啟用，座落在劍橋市中心的 the New Museums Site。
- 1974年，實驗室遷至位於 West Cambridge 的現址。
- 其負責人稱為 Cavendish Professorship of Experimental Physics。

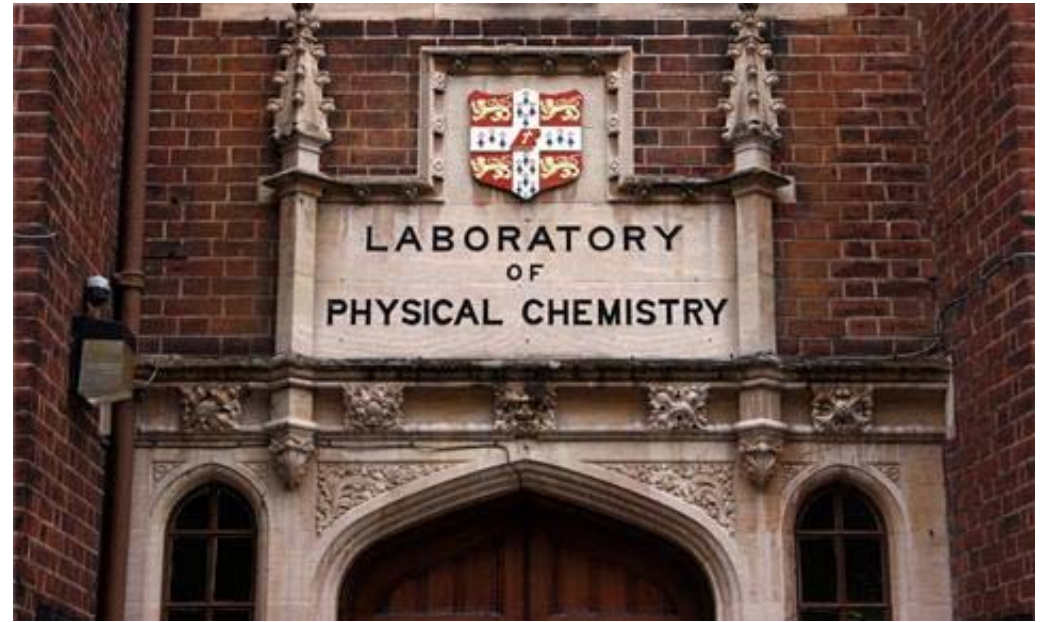


Original Cavendish Laboratory (built in 1874)





舊 Cavendish Lab 的入口處

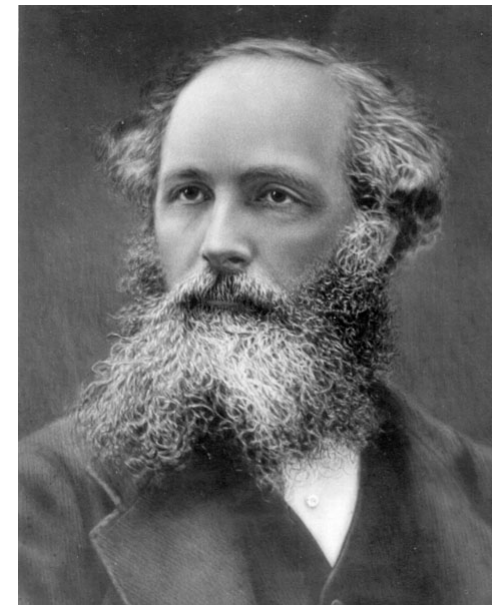


Cavendish Laboratory

- James Clerk Maxwell 設計。
- Albert Einstein: "One scientific epoch ended and another began with James Clerk Maxwell."
 pioneering work in radio
 discovery of the electron
 law of radioactivity
 discovery of atomic nucleus
 the understanding of isotopes
 the laws of X-ray crystallography
 the discovery of the proton
 artificial disintegration of nucleus
 radio astronomy
 the structure of DNA and proteins



James Clerk Maxwell
馬克斯威爾 1831 ~ 1879



蘇格蘭人。他最重要的成就是集過去關於電學、磁學理論與實驗（包括電的庫倫律、電流的安培律、磁場的高斯律、電磁感應的法拉第律等等）之大成，加上自己有關電與磁對稱的考慮，寫成論文 *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (1864)。

馬克斯威爾方程（當時寫成八條）乃把電場與磁場統合為電磁場，被認為是繼牛頓之後物理的第二次大統合。他進一步從上述方程推導出波方程，因而預測有電磁波；又因為此電磁波速度的理論值與當時所知的光速相當，乃推測光波是電磁波，都經實驗證實，影響極為深遠。

此外，他研究氣體分子動力論，發展出馬克斯威爾分布。還研究光色的三原色理論；在 1861 年做成了第一張彩色相片。1874 年迄 1879 年逝世前，擔任卡文迪西實驗室的首任負責人。

他被認為是十九世紀科學家對二十世紀物理影響最大的人，與牛頓及愛因斯坦的成就可相提並論。

歷任 Cavendish 教授

- James Clerk Maxwell (1871~1879) 8年
- Lord Rayleigh (1879~1884) 5年
- Joseph John Thomson (1884~1919) 35年
- Ernest Rutherford (1919~1937) 18年
- William Lawrence Bragg (1938~1953) 17年
- Nevill Mott (1954~1971) 17年
- Brian Pippard (1971~1984) 13年
- Sam Edwards (1984~1995) 11年
- Richard Friend (1995~) 迄今 23 年

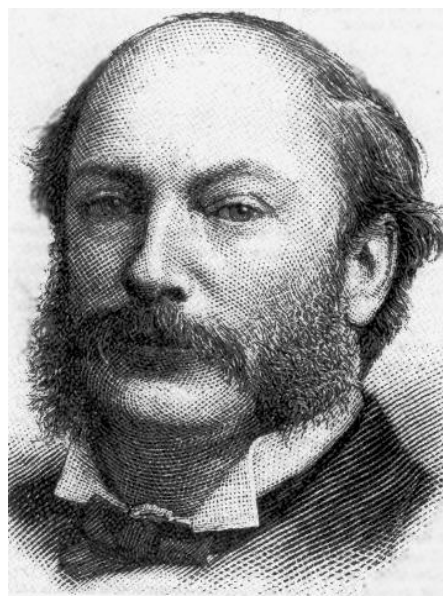
在 Pippard 教授之前，Cavendish 教授都兼任物理學系的主任，1979 後則兩者分工。

John William Strutt (Lord Rayleigh)

瑞利 1842 – 1919

英格蘭人。在理論物理有廣泛的貢獻，尤其是在波動方面。1877 年著 *The Theory of Sound* 二冊奠立聲學基礎。

因研究氣體密度且導致氦元素的發現，獲得 1904 年諾貝爾物理獎。



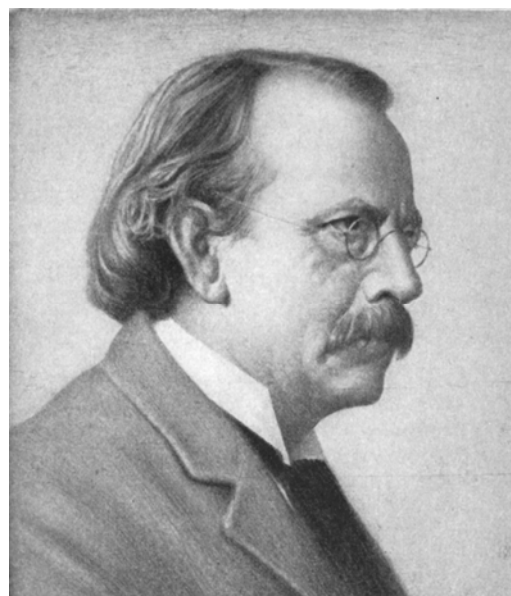
Joseph John Thomson

湯姆生 1856 ~ 1940

蘇格蘭血統，生於英格蘭。研究抽空管內的陰極射線，測定其荷質比為常數，乃於 1897 年提議陰極射線是來自原子的帶電粒子組成。公認此係電子的發現，於是打破原子不可分的成見。獲得 1906 年諾貝爾物理獎。

又從離子射線的研究發現氦有兩種同位素，接著發明質譜儀。

1884 迄 1919 年負責卡文迪西實驗室，作育英才無數。其子 G. P. Thomson 也因電子衍射實驗獲得諾貝爾獎。



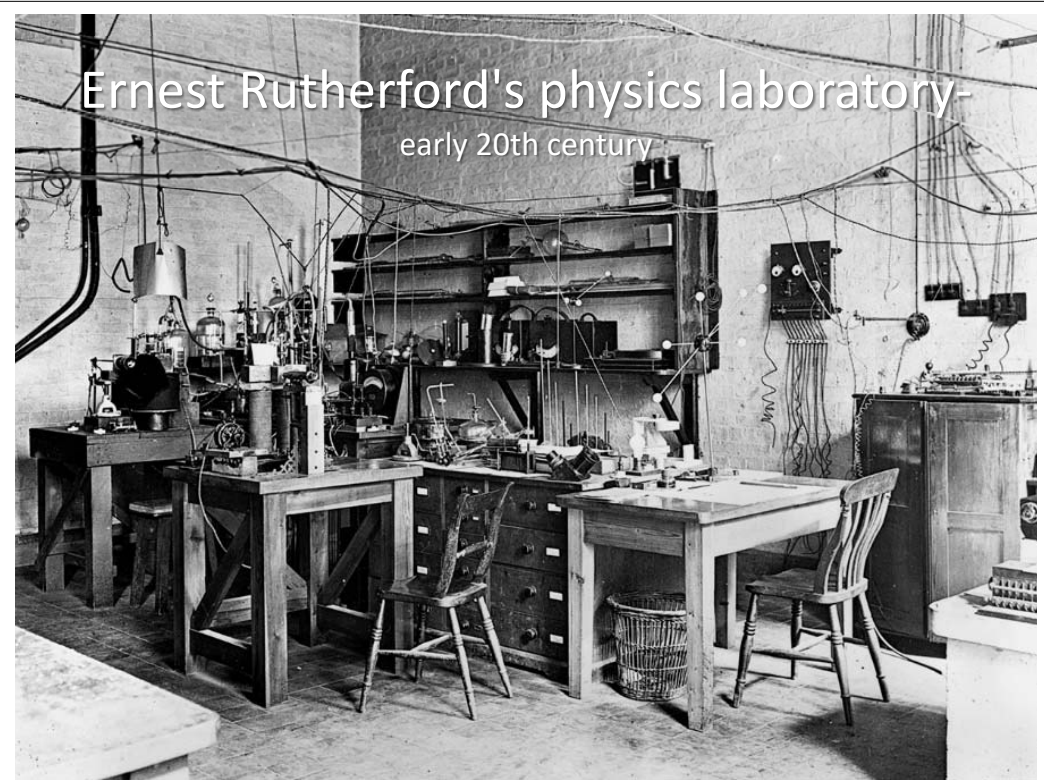
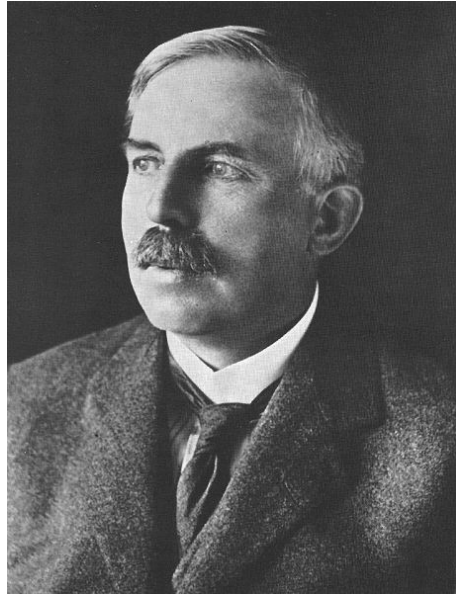
Ernest Rutherford 拉塞福 1871 ~ 1937

紐西蘭人，後遷至英國。因對放射線的研究（包括 α 、 β 、 γ 射線的本質、半衰期等）獲得 1908 年的諾貝爾化學獎。

1911 年從事著名的 α 粒子散射實驗發現原子核，乃開展原子物理的新頁。1919 年發現質子，1921 年預言中子的存在。

1919 迄 1937 年主持卡文迪西實驗室。被稱為「核物理之父」。

作育許多重要物理學家。



William Lawrence Bragg 布拉格 1890 ~ 1971

生於澳大利亞，後遷至英國。父親 W. H. Bragg 發展出 X 射線光譜儀。1912 年在劍橋大學做研究生時，導出晶體對 X 射線的反射律，於是鑽研 X 射線晶構學。

1915 年與父親同時獲得諾貝爾物理獎（時年 25 歲），這是迄今父子同時獲諾貝爾獎的唯一一例。

1938 迄 1953 年繼拉塞福負責卡文迪西實驗室，因注重 X 射線晶構學，並用於分子生物學，導致 DNA 的雙螺旋結構的發現。



位於 West Cambridge 的新址入口處



30 members of the Cavendish have won the Nobel prize

- John W. Strutt (Physics, 1904) 氣體密度與發現氫
- Joseph J. Thomson (Physics, 1906) 電荷的理論與實驗
- Ernest Rutherford (Chemistry, 1908) 放射性物質與原子科學
- Lawrence Bragg (Physics, 1915) 用 X 射線研究晶體
- Charles Barkla (Physics, 1917) 發現次級 X 輻射
- Francis Aston (Chemistry, 1922) 用質譜儀發現同位素
- Charles Wilson (Physics, 1927) 利用蒸氣凝結觀察帶電粒子
- Arthur Compton (Physics, 1927) 發現康普頓效應
- Owen Richardson (Physics, 1928) 發現里查森效應

- Dorothy Hodgkin (Chemistry, 1964) 研究青霉素及 B₁₂ 等的結構
- Brian Josephson (Physics, 1973) 預言超導電流的穿隧效應
- Martin Ryle (Physics, 1974) 開拓無線電波天文學
- Antony Hewish (Physics, 1974) 無線電波發現脈沖星
- Nevill Mott (Physics, 1977) 研究磁性及無序系統電子結構
- Philip Anderson (Physics, 1977) 同上
- Pjotr Kapitsa (Physics, 1978) 低溫物理方面的發現
- Allan Cormack (Physiology or Medicine, 1979) X 射線斷層掃描
- Mohammad Abdus Salam (Physics, 1979) 電弱作用的統合
- Aaron Klug (Chemistry, 1982) 核酸-蛋白質複合體的研究
- Norman Ramsey (Physics, 1989) 發明新方法用于氫微波激射器及原子鐘

- James Chadwick (Physics, 1935) 發現中子
- George P. Thomson (Physics, 1937) 發現電子在晶體裡的干涉
- Edward Appleton (Physics, 1947) 對大氣層物理的研究
- Lord Patrick Blackett (Physics, 1948) 改進雲霧室有新發現
- John Cockcroft (Physics, 1951) 開創人工核嬗變
- Ernest Walton (Physics, 1951) 同上
- Francis Crick (Physiology or Medicine, 1962) 發現 DNA 雙螺旋及其遺傳意義
- James Watson (Physiology or Medicine, 1962) 同上
- Max Perutz (Chemistry, 1962) 確定血紅蛋白的結構
- John Kendrew (Chemistry, 1962) 確定肌紅蛋白的結構

A Hundred Years and More of Cambridge Physics 摘錄 1974, 1980, 1995

Contents

- The First Ten Years
- J.J. and the Cavendish
- Rutherford's Laboratory
- The Cavendish in Wartime
- Sir Lawrence Bragg
- Molecular Biology
- Radio Astronomy
- Nuclear Physics in the Modern Cavendish
- The Move to West Cambridge
- Cavendish Research in West Cambridge

第一個十年

- 在19世紀下半葉之前，大不列顛島上並無物理學的教學實驗室與正規課程。
- 富有的業餘物理學家如 Joule 或 Cavendish 在自家裡有實驗室；學院科學家則在所屬書院的自己研究室工作——Newton、Young、Stokes 都是如此。
- 到19世紀中，許多人開始討論如何實際訓練各級科學家與工程師。但當時的物理學教育完全講理論，靠的是傳統的講課加上學生自讀。
- 1840年代，Glasgow 大學的 W. Thompson（後來是 Lord Kelvin）將一舊酒窖改裝成一間「物理實驗室」。25年後，Oxford 大學開始籌建 Clarendon 實驗室（1872年完成，花費£10,000）。

- 1871年3月，Maxwell 的就職演講出乎意料地只安排在普通的講堂裡，而只有學生參加。他的講演勾畫了劍橋物理的未來計畫。他說：「熟悉的筆、墨與紙這些器具不敷需要，我們需要比座位與講桌更多的空間，比黑板更寬廣的面積。」強調新實驗室將帶來的學習的革命。
- 「我們應在開始時，在講堂裡講物理學某一門課，佐以演示實驗，而最後要在實驗室裡上實驗研究的課。」新實驗室在顧教學之外也須是原創性研究的所在，這可能是最早的陳述。
- 幾天之後，當 Maxwell 開始講熱學時，他的學生高興看到，講堂裡擠滿了助教、講師、教授及大學裡的要人。
- 此後，在 Cavendish 實驗室啟用前三年，Maxwell 一邊忙於規畫與督導實驗室的建設，一邊按進度講授熱學與電磁學。他遊走各講堂提觀念，按他自己的說法，像是「杜鵑鳥在下蛋」。

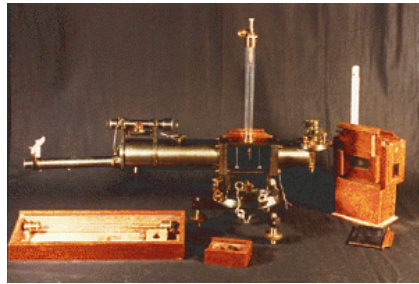
- 1869年，Cambridge 大學的一個委員會建議創設一‘Cambridge Physics Laboratory’，聘請一位特任教授，並提供教學的必要環境——包括演示員、一間講堂、一間實驗室、幾間教室，及足夠儀器的庫存。
- 然而這時期的劍橋大學財政並不寬裕，一時耽擱。一年半後，當時的校長 Cavendish 寫信認捐了一筆大錢 £6,300；他自己是 Devonshire 的第七世公爵，曾獲 Smith’s 獎，也是當年劍橋大學的算學高等生。因念及先人 Henry Cavendish，實驗室乃以 Cavendish 命名。
- 關於主持實驗室的教授，首先想到的是 Lord Kelvin，但他不肯離開 Glasgow。其次想到 Lord Rayleigh，但他要留在家鄉 Essex 私人的實驗室。失望之餘，選擇了當時還不太出名的 James Clerk Maxwell；此前六年，他孤獨地呆在蘇格蘭自己的家裡。

- 他講課本身的風評並不很好，但聽講的學生卻印象深刻。有一學生記下他的印象：「講者看事物的獨特方式賜給我們的靈光，他經常的訴諸基本，甚至他遭困時的權宜，幽默而不經意的離題，偶發的諷刺，不時引些詩文的暗喻。」「他能緊扣精要，能陳述算學理念，卻並不精通計算細節。他的物理直觀能拯救要緊的錯誤。」
- 1873年，Maxwell 關於電磁學的鉅著出現在劍橋的書店，引發了購買熱潮。此後在劍橋乃有一連串理論與實驗的探究。這時，沒人再敢懷疑 Maxwell 的科學能力了。
- Maxwell 為實驗室的規畫投入大量的心力，使之成為世上第一個專為物理學設計的實驗室。該室於1874年6月16日正式啟用。

- Maxwell 認為每一畢業生應該在一訓練測量的短期課後步入研究。但這對於當時大多數算學極為優秀卻缺乏科學測量經驗的學子而言，有相當困難。於是 Maxwell 設計出各種實驗來訓練他們。

- 他的最愛是一 Kew 型磁場計，其中有好些個尺標，需要小心去調整，還有個擺盪的磁鐵。每個人都被要求要用這一儀器去測量地球磁場。這件儀器壽命極長，到半世紀後都還有人在用。

- Maxwell 一上任，就從數學優秀生中挑選了一位演示員，他一直跟隨到 Maxwell 逝世。他的重要貢獻是創建一工作坊（後來逐漸發展為劍橋大學全校的「工程實驗室」）及 Pye 工廠。



- Maxwell 主持實驗室時沒有女生。起初他不准女性進入實驗室，後來允許女性在他回蘇格蘭度假期間使用實驗室。事實上，有一群比男生還認真的女生曾在幾星期之內修完一整年的課。直到 1882 年，Rayleigh 才終止了女性歧視。
- 沒幾年，Maxwell 的健康就逐漸衰退，但他仍然主持實驗室並講課。學生人數自第一年後就變得稀落。他在 1879 年 11 月逝世。
- Maxwell 任內最重要的成就有些難說。首先，規劃及運作的理念應歸於他。其次，當時一些重要的研究計畫都得到他的支持，例如雖然是德國的 Hertz 首先證實了他提出的電磁波，但 Hicks 在 Cavendish 的有關實驗一直在進行。後來 Lodge 作了許多研究付諸實用（無線通訊、天線等），但主要是在 1890 年代 J.J. 主持的時期。

- 繼承 Maxwell 的是 Lord Rayleigh。在相繼八位 Cavendish 教授中，Rayleigh 最不出名。
- 他對 Cavendish 的建樹很難說。首先，他的研究完全屬古典物理。其次，他關心的主要是諸如「歐姆」這些電學量的測量，雖重要但無原創性。第三，Rayleigh 主要的發現（例如惰性氣體）是他離開 Cavendish 後在自己實驗室做的。
- Rayleigh 來到 Cavendish 時就發現設備明顯不足。他設法募款 £1,500（包括自己捐助的 £500）加以充實。
- 他的另一貢獻是組織實用物理課。於是有系列成套的實驗，有說明書，演示員（助教）在旁協助解決問題。
- 學生人數漸增，但仍然少。（例如只有 16 人上 Rayleigh 的課，18 人研究熱學，14 人研究電學。）
- Rayleigh 只主持實驗室五年，自己發表了 50 論文——他後來得的諾貝爾獎與這些研究有關。無論如何，他幫 Cavendish 爭得了第一項這樣的榮譽。

J.J. 與 Cavendish

- 當 1884 年底 J.J. Thomson 被任命為 Cavendish Professor 時，他已進入實驗室四年。但在教課之餘，他進實驗室工作的時間並不多。
- 他被視為是一算學家，當時也才 28 歲；好些人著實懷疑他當實驗家的能力。這是有道理的，他有雙笨拙的手，且他未曾受過實驗室的系統訓練。因而他比其他大多數物理學家更倚賴助手，特別是貼身的 E. Everitt。
- 在 J.J. 主持時期，Cavendish 實驗室的研究明顯可分為兩段——1895 年 Röntgen 發現 X 射線前的 11 年，及後來的 25 年。前一段時期乏善可陳，後一段時期成績卓著。

- 值得注意的是，該一關鍵年正是重要行政變革的時日。1895年10月，劍橋大學的規則改變，因而大大影響了實驗室的命運。劍橋開始容許其它大學的畢業生不經考試而在劍橋就讀兩年之後獲得學士學位，只要他提出論文被判斷為「傑出而可作為原創研究的紀錄」。（當時劍橋還位頒授博士學位）
- 新措施即刻迎來了兩人：來自紐西蘭的Ernest Rutherford 及來自愛爾蘭的 J.E. Townsend（後來是牛津大學的物理學教授）。
- 發現電子及X射線導致的氣體導電後，實驗室的重點放到了相關的領域，但其它研究也未放棄。

- J.J. 當家期間，Cavendish Laboratory 運作平穩而有效率。這部分是由於他在一定財務限制下充分授權，也許更是由於該實驗室的傑出成員都與他一樣的獻身予物理學及實驗室。
- 該實驗室當年的財務情況值得一說。劍橋大學蠻窮的，只是少數書院有錢。一般教職的薪水與現金相比，差得很多。

- 一位美國學者描述對 1904—05 Cavendish 實驗室的印象：「顯然受J.J. 個性的感染，我還沒見過一實驗室裡容有如此多的獨立性與對有想法的人如此少的限制。研究生的友善與相互幫助……。」「再就是教授與學生間的關係，……。」我清楚記得在 Cavendish 學社的聚會裡，教授的理論與實驗不能免於批評。」
- 每個人面對自己的問題與儀器，不會有一群人使用同一儀器的情況。然而，每個人對他人的研究總都知道一些。部分原因是大多數人研究的是跨域的問題，必須知道他人的結果。
- J.J. 從 90 年代就創立「Cavendish 物理學社」。這一學社很特別——沒有規則也不需登記；大約每兩星期聚會一次，每次由學生或教職報告一或兩件實驗或理論的工作。報告後有討論。這在該國物理學界是首創，雖然在德國已行之有年。

Rutherford 的實驗室

- Rutherford 於 1919 年回到 Cavendish 實驗室，其後擔任十八年的 Cavendish 教授。這些年是該實驗室的「黃金年代」，也是 Rutherford 的黃金年代。他流露和藹的指導、領導氣質與知性權威，於是下屬忠誠回饋。
- Rutherford 每星期一、三、五的十二點鐘在「Maxwell」講堂正式講課三次，課名是「物質的構成」。約 40 位學生聽課，講堂半滿。雖是正式課，但風格與主題則極屬個人；它近乎歷史地，或可說是自傳式地，敘述了過去數十年來「原子」物理的發展。常有實驗展示，總是許多幻燈片、圖表、照片——實驗的紀錄——在講演中串連。他常強調「實事」，那才是重要的。

- 4.45 pm 是多數大學生的「茶敘時間」，常有小型講演。算是「課外活動」，但也會聽到 J.J. Thomson、C.T.R. Wilson、F.W. Aston 等大師的講演。這就是 1930 年代 Cavendish 的氣氛。
- Cavendish 物理學社定期在每週三下午聚會，那是知性活動的一焦點，由 Rutherford 主持。這時常邀請傑出的客卿講演，而劍橋大學的其他「算學」或天文學名人如 R.H. Fowler, P.A.M. Dirac, G.I. Taylor, Arthur Eddington 等人及他們的弟子們也會來與 Cavendish 的實驗物理學家們相會。
- 在各種聚會裡，Rutherford 總會明確表達他自己對物理問題的態度。他要求「客觀」與簡單的實在。他總會問「實事呢？」實事受到尊重，對待理論的方式則很不同，因為那是某種「意見」。他的口頭禪之一是「我們的朋友理論家會說……」——特別是對於那些邏輯推理也許不甚清楚但其成就受到肯定的理論（與理論家）。

- Rutherford 的強調簡單，人所盡知。（「我自己就是簡單的……」）簡單的想法與簡單的儀器，但有力而確定的結論；簡單而不虛飾的表觀，但明確的推論。這是 Cavendish 的品牌。
- 功能而非形式是重點。新的功能需要新形式，因而在 Rutherford 的最後十年，新東西如迴旋加速器、高電壓加速器、低溫設備加了進來——也許他並不太願意，卻也不推拖。
- 許多人提到，他在教育學生時，真正在意的是實驗結果，而非方法、技術或困難本身。
- 1937 年，Rutherford 突然與世長辭。實驗室的氣氛繼續維持了一段時間。到 1939 年，Cavendish 開始改變了。
- 緊接著就是第二次世界大戰。

Lawrence Bragg

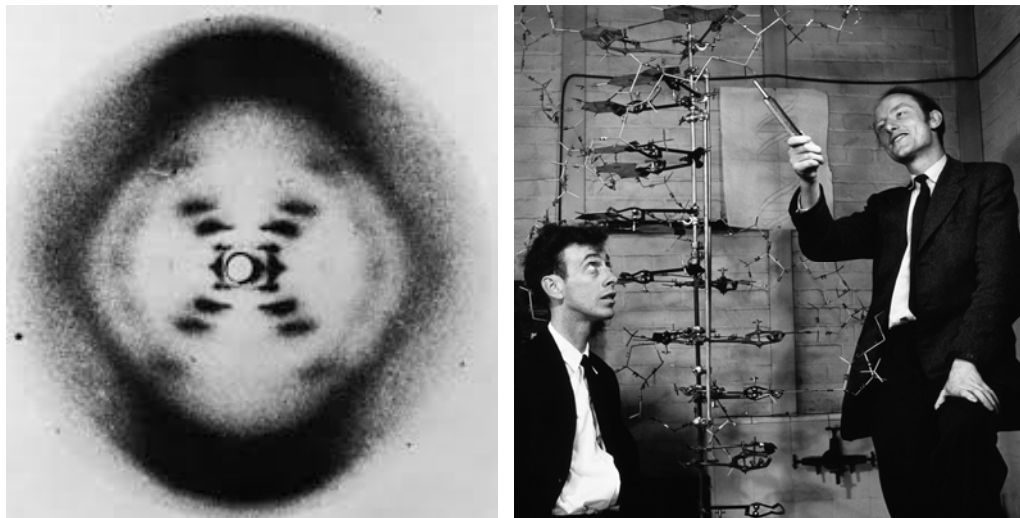
- Röntgen 發現 X 射線時，Bragg 才 5 歲。von Laue 等人於 1912 年發現晶體對 X 射線的衍射時，Bragg 還在劍橋大學攻讀學士。
- Bragg 的父親（Leeds 大學物理教授）當年春天從德國人得知衍射結果（Laue 點），與兒子討論，於是這年輕人開始研究詮釋硫化鋅晶體的 X 射線相片。幾星期後，他在劍橋學會的一次會議中提出了正確的答案——那是 X 波經不同原子層面反射後的干涉圖案。
- 這 22 歲的學生如何有如此本領？他自謙是由於「連串的運氣」，但看他論文就知，他有著穿透表觀複雜物理機制而深入簡單底層的敏銳本領。

- 接者，他發表了一連串的論文，有些與父親同掛名。
- Bragg 第一次世界大戰時從軍。戰後恢復研究，在 29 歲時接替 Rutherford 擔任 Manchester 大學的物理學教授。他研究各種晶體，發展新方法，並也開始對紅血球的結構感興趣。
- Bragg 極有結合簡單與嚴格的本事。由於熱情、生動與魅力，也由於漂亮演示，他成為當時最好的科學講者之一。他的科學論文是簡要而明白的範本。
- 後來，全世界大多數的 X 射線晶體學家傳承自他，或他父親的學生。

- Bragg 回劍橋大學接長 Cavendish 實驗室時，正逢該實驗室作為原子物理領導中心的衰敗期。原因是雙重的：當然，第二次世界大戰有影響；另外，原子物理正轉向「大科學」，而這是劍橋大學傳統與結構所不克適應的。
- Bragg 於是決定支持兩項物理學的應用，這使得後來 Cavendish 能重新領導世界。
- 這兩項領域，一是分子生物學，一是無線電天文學。
- 這兩項都與波的干涉有關，是 Bragg 的興趣所在。

- 先是，Cavendish 設了一醫學研究小組，起初只有 Kendrew 與 Perutz 兩人參與。後來這一小組逐漸發展成上百人的分子生物學實驗室。
- 由於 Bragg 的遠見，就在他離開 Cavendish 實驗室之前的 1953 年，Watson 與 Crick 解決了 DNA 的問題，另外一群人發現了肌肉收縮的機制，Perutz 解決了血紅素的相位問題。
- 數年之後，蛋白質晶構學跨出了第一步——血紅素的結構為 Perutz 及同僚們解開。

Watson 與 Crick 解開 DNA 雙螺旋之謎



- Bragg 又協助開始無線電天文學的研究。二戰時期，年輕的劍橋物理學家 Martin Ryle 研究雷達，當時就對雷達操作員報告有信號從太陽及星系來感到興趣。戰後他與研究電離層的物理學家 J.A. Ratcliffe 合作，從零件建造出第一個無線電望遠儀。
- Bragg 認識到 Ryle 早先偵測到來自外太空無線電信號的未來展望，利用干涉術為這些信號定位也勾起他對光學問題的興趣。
- 於是當數年後，Ryle 與 Ratcliffe 決定要在劍橋附近建造一大無線電望遠儀時，Bragg 熱情支持，引來 Mullard 無線電天文觀測站的捐款。
- 終於，這一投資導致類星體及脈沖星的發現，以及對宇宙最遠處無線電源的測繪。



結語

- 物理學是實驗與理論密切結合的學問。
- 好的研究機構建立在優良的傳統之上。
- 研究機構需要大師盡心、溫馨而有啟發的領導，經營良好的學術風氣。
- 研究人員需要彼此經常對話。
- 優秀的領導人需要長期在位。
- 研究機構的大方向需要適時調整，與時偕行。

請指教



哥廷根大學及其物理學傳承

2018/10/20 物理學史研習會

鄭宜帆

(中央研究院&清華大學)



哥廷根 (Göttingen)

位於德國中部的大學城。知名的哥廷根大學 (Georg-August-Universität Göttingen) 即位於此。2017年時人口有十三萬。



哥廷根大學與數學家

• 與哥廷根大學有深厚關連的知名數學家包括：

高斯 (Carl Friedrich Gauss)、希爾伯特 (David Hilbert)、
克萊因 (Felix Klein)、閔考斯基 (Hermann Minkowski)、
諾特 (Emmy Noether)、黎曼 (Bernhard Riemann)、
外爾 (Hermann Weyl)

哥廷根大學與物理學家

• 與哥廷根大學有深厚關連的知名物理學家包括：

玻恩 (Max Born)、狄拉克 (Paul Dirac)、法蘭克 (James Franck)、費米 (Enrico Fermi)、格佩特-梅耶 (Maria Goeppert-Mayer)、海森堡 (Werner Heisenberg)、馮·勞厄 (Max von Laue)、密立根 (Robert Andrews Millikan)、歐本海默 (Robert Oppenheimer)、泡利 (Wolfgang Pauli)、普朗克 (Max Planck)、泰勒 (Edward Teller)、馮·諾伊曼 (John von Neumann)

哥廷根諾貝爾獎奇蹟

- 到目前為止，有45位諾貝爾獎得主曾經在哥廷根大學就讀、研究、或教書；人稱「哥廷根諾貝爾獎奇蹟」（The Göttingen Nobel Prize Wonder）。
- 只不過，這些諾貝爾獎得主絕大多數集中在二十世紀前半。

時代背景

- 1734年，英王喬治二世兼漢諾威選帝侯（有權選舉神聖羅馬帝國皇帝的諸侯）下令在哥廷根建立大學。
- 哥廷根大學起始於1734年建立的圖書館，並於三年後正式成立大學。
- 時值歐洲啟蒙運動；啟蒙運動相信理性發展知識可以解決人類實存的基本問題；以往神學為主的知識權威逐漸轉為相信理性並勇於求知。
- 啟蒙時代標誌了社會由神權邁向科學與理性的過程。

哥廷根大學的學術自由精神

- 受到啟蒙運動精神影響，哥廷根大學在成立章程上載明，所有教師均享有完全且不受限制的講學自由；且神學院在地位上跟其他學院是相同的。
- 當時正值漢諾威（Hanover）王朝統治時期，任何可能觸犯國王或觸怒政府的言論和出版品都是被管制的。
- 儘管不乏其他領域的大師加入（如1807年的高斯和1849年的黎曼），早期的哥廷根大學以法學院最為知名。

哥廷根七君子

- 1837年，漢諾威國王恩斯特·奧古斯特一世上任，廢止了原本的憲法。哥廷根大學內共七名教授簽署了抗議聲明，包括物理學家韋伯（Wilhelm Weber，磁通量單位韋伯即以他命名）。
- 數百名學生製作了數千份拷貝，發送各地。
- 最後這七名教授被解職，部份人並被驅逐出漢諾威，史稱「哥廷根七君子」（The Göttingen Seven）。

哥廷根的衰退

- 這場運動，在初期十多年對哥廷根大學造成負面影響——尤其是在中產階級和學術圈同僚的心中。
- 一些有成就的教授不願意再去哥廷根就職，連帶也造成學生不願就學。到了1847年冬，學生人數到達歷史上的最低點——582人。

德國邁向公民社會的種子

- 七君子事件以失敗作終，但卻埋下了立憲主義和自由主義的種子，間接導致德意志1848年革命。如今，他們被認為是為德國邁向公民社會鋪路。
- 1848年革命也稱民族之春（Spring of Nations）或人民之春（Springtime of the Peoples），是1848年歐洲各國爆發的一系列武裝革命。
- 1848年革命造成了各國君主與貴族體制動盪，並間接導致了德國統一及義大利統一運動。

克萊因加入

- 七君子事件後，哥廷根沉寂了49年。要到1886年，克萊因（Felix Klein）加入哥廷根大學，一切才改觀。
- 克萊因具有開放的心胸和長遠的眼界。他對於女性和外國人就讀大學都保持開放的態度。1893年，哥廷根大學開放女性就讀後，他也成為哥廷根大學首位女性數學博士生的指導教授。
- 身為數學家，克萊因嘗試將哥廷根打造成世界級的數學研究中心。他每週舉辦數學討論會，並建立數學閱讀室和數學圖書館。

希爾伯特加入

- 1895年，在克萊因的大力支持下，希爾伯特（David Hilbert）加入哥廷根大學。1902年，克萊因延攬閔考斯基（Hermann Minkowski）；1904年，延攬龍格（Carl Runge）。
- 希爾伯特後來收外爾（Hermann Weyl）作學生，並收馮·諾伊曼（John von Neumann）當他的助理。

諾特加入

- 1915年，諾特（Emmy Noether）加入克萊因（1913年已退休）和希爾伯特的研究團隊，一起和愛因斯坦合作，以完備廣義相對論中的數學。
- 希爾伯特和克萊因都是女性受教權的支持者。因為諾特的優秀表現，希爾伯特和克萊因越來越相信諾特值得被聘為哥廷根大學教授。
- 因為希爾伯特大力支持女性受教權，所以有些人在他五十歲生日時特地開他玩笑，頒給他虛擬的女學生聯合會（Union of Women Students）終身會長榮譽。

諾特叩關大學講師

- 諾特成為哥廷根大學首位嘗試叩關大學講師的女性。
- 光是在校內，爭論就持續了數個月：反對者認為，擔任大學講師這類所有不利女性生育強壯下一代的事，都應該避免；同意最力者如希爾伯特則認為，聘用講師與否應從實際功績做評斷，而非出於政治或社會考量。
- 總算，哥廷根的數學家們達成共識，大多數教授都同意政府的說法：女性不應成為大學講師。只不過，他們加上一條但書——當該位女性的腦袋富有數學創造力時例外。

諾特叩關大學講師

- 然而，即使數學家們同意聘任埃米擔任編外講師，其他系所站出來發難了：「女性怎能當編外講師？」、「一旦成為編外講師，她就能成為教授，也能成為大學評議會的成員。女性能被允許進入評議會嗎？」
- 時值第一次世界大戰，更有人問，「當我們的士兵返回大學，發現他們必須在女人底下學習，會做何感想？」對此，希爾伯特回應：「我看不出當事人的性別構成反對聘任她的理由。畢竟，評議會並不是公共澡堂。」
- 最終，哥廷根大學將案子提到「宗教和教育部」，希望政府網開一面，允許諾特的人事案。部長拒絕了，不過提出妥協辦法：「她不能擔任教職，但是可以用希爾伯特助理的名義授課。」

史瓦西加入

- 在克萊因帶領下，哥廷根大學成功成為世界上數學研究的重鎮。另一方面，克萊因也是數學教育家，致力於數學教育的改革。
- 在物理學領域，1901年史瓦西（Karl Schwarzschild）加入哥廷根大學。此時，他還沒做出其最重大的貢獻；要到第一次世界大戰爆發後，他於1915年的軍中，即使感染天皰瘡，還是寫了三篇論文，給出廣義相對論中愛因斯坦場方程式的第一個精確解——現被稱為史瓦西解。
- 1916年史瓦西因天皰瘡過世。

普朗特加入

- 1904，普朗特（Ludwig Prandtl）接受克萊因的邀約，成為技術物理所（Institute for Technical Physics）主任。
- 普朗特原本是機器工程師，後來到漢諾威的技術學校（現為漢諾威技術大學）教流體力學。因為1904年發表了重要的流體力論文而被克萊因看上。
- 普朗特使哥廷根大學成為流體力學和空氣動力學的重鎮（再加上，第一次世界大戰期間，空氣動力學得到龐大研究經費）。

玻恩加入

- 1920年，知名物理化學家德拜（Peter Debye，1936年諾貝爾化學獎）離開哥廷根大學；哥廷根大學遂找了玻恩（Max Born）加入，接替德拜的物理所所長位置。

- 愛因斯坦曾對玻恩這麼表示：

Theoretical physics will flourish wherever you happen to be; there is no other Born to be found in Germany today.

法蘭克加入

- 玻恩進入哥廷根的同時，推薦了法蘭克（James Franck）到哥廷根帶領實驗物理第二研究所。
- 玻恩和法蘭克不僅在哥廷根的校務發展上互相搭配，還會一起討論雙方的論文。在兩位努力下，哥廷根大學逐漸成為全球近代物理的研究中心。

玻恩與希爾伯特

- 玻恩出生於1882年12月11日；1904年，玻恩到哥廷根大學唸書。
- 在上希爾伯特的第一堂數學課時，希爾伯特發現玻恩很有才能，便指派其作為抄寫員，負責寫課程筆記，讓學生可以在數學閱讀室閱讀。
- 之後希爾伯特更選玻恩擔任無給的助理。

玻恩與閔考斯基

- 玻恩的繼母Bertha和閔考斯基在柯尼斯堡（Königsberg，屬前東普魯士，今俄國境內）的舞蹈課上認識彼此。閔考斯基是柯尼斯堡大學的學生，也曾在那教書。
- 在繼母的引介下，玻恩曾被邀請去閔考斯基家吃晚餐，還跟閔考斯基一起散步。
- 閔考斯基和希爾伯特是很好的朋友；所以閔考斯基加入哥廷根有一部份也是因為希爾伯特的大力支持。

玻恩與克萊因

- 玻恩在哥廷根大學參加克萊因、龍格和普朗特合開、關於彈性的討論課，被分配做報告。雖然對議題沒興趣，他利用希爾伯特的數學技巧，寫了一篇討論彈性的文章，讓克萊因大為驚豔。
- 克萊因遂邀請玻恩針對「彈性線在平面與空間中的穩定性」撰寫文章——克萊因對這題目很熟悉，也將此主題定為當年學校頒發的論文獎主題（只要文章獲選，就能當成博士論文）。但是玻恩對這個主題沒有興趣，拒絕了克萊因，使得克萊因很不高興。
- 因為克萊因位高權重，玻恩最後還是選擇了參加競賽。在克萊因拒絕指導玻恩的狀況下，他找了龍格做指導教授，最後甚至還建造設備測試自己的理論。
- 1906年，玻恩贏得獎項，接著一個月後，以此為數學博士論文畢業。

玻恩與物理學

- 玻恩畢業後，服了一陣子兵役，便因為氣喘退役。
- 1907年，他到英國劍橋大學卡文迪西實驗室、湯姆森（J.J. Thomson，電子的發現者，1906年諾貝爾物理獎得主）底下學習物理六個月；返回德國後，又短暫服役了一陣子被退役，便回到家鄉弗次瓦夫（當時為德國帝國領地，現在屬波蘭），為物理的特許任教資格（habilitation）做準備。
- 特許任教資格需要候選人獨立撰寫一篇專業性論文，然後提交並通過學術委員會的答辯，其過程像完成博士論文。但是其學術水平必須超過博士論文所應達到的水平。
- 過程中，因為黑體輻射實驗出狀況，導致實驗室淹水，玻恩被說永不可能當個物理學家。

玻恩與狹義相對論

- 因為對早些年發表的狹義相對論感興趣，玻恩開始自己研究狹義相對論；知悉閔考斯基也在研究狹義相對論後，玻恩便跟閔考斯基有了書信往來。
- 在閔考斯基勸說下，玻恩回到哥廷根大學準備特許任教資格；兩人也一起合作狹義相對論的研究，可惜1909年閔考斯基因為闌尾炎驟然過世。
- 幾星期後，玻恩打算在哥廷根數學學會的會議上發表研究成果，卻被克萊因等人挑戰，使得玻恩的演講半途的中斷。

玻恩的離開與回歸

- 但是希爾伯特和龍格對玻恩的工作有興趣，鼓勵他重新將成果發表。
- 後來玻恩將講座整理為一篇論文：〈The Theory of Rigid Bodies in the Kinematics of the Relativity Principle〉。同年年底，他以湯姆森的原子模型為主題，得到特許任教資格。
- 1914年，第一次世界大戰爆發，玻恩在1915年加入軍隊，負責研發工作。
- 1919年，玻恩到法蘭克福大學任教，兼理論物理所所長。
- 1921年，回到哥廷根大學任教。

海森堡的量子力學論文

- 1923年，海森堡獲得博士學位後隨即來到哥廷根，並於1924年得到編外講師資格。
- 1925年，海森堡寫了論文〈Quantum-Theoretical Re-interpretation of Kinematic and Mechanical Relations〉，並給玻恩過目。

Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen.

Von **W. Heisenberg** in Göttingen.

(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

In der Arbeit soll versucht werden, Grundlagen zu gewinnen für eine quantentheoretische Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert ist.

物理量的可觀測性

- 因為德國的國力和研究實力，德語是當時主流的論文語言之一。有許多外國（如英、美）學生會去德國留學、學習德語。
- 海森堡在論文裏提出，只有實驗裏能夠觀察到的物理量才具有物理意義，才可以用理論描述其物理行為；有些人稱此為「可觀察性原則」。
- 海森堡大膽假設古典的運動概念並不適用於量子層次，所以在論文裡刻意使用躍遷機率之類的物理量，而非無法觀測的粒子運動軌道，來表述量子力學。
- 事實上，早在1919~1920年，玻恩便曾表述過跟可觀察性原則類似的概念。

矩陣的推廣

- 玻恩讀了海森堡的論文，想到可以將裡面的物理計算用矩陣來表示，便跟他的助理兼前學生約當（Pascual Jordan）共同撰寫海森堡論文的推廣。

Zur Quantenmechanik.

Von **M. Born** und **P. Jordan** in Göttingen.

(Eingegangen am 27. September 1925.)

Die kürzlich von Heisenberg gegebenen Ansätze werden (zunächst für Systeme von einem Freiheitsgrad) zu einer systematischen Theorie der Quantenmechanik entwickelt. Das mathematische Hilfsmittel ist die Matrizenrechnung. Nachdem diese kurz dargestellt ist, werden die mechanischen Bewegungsgleichungen aus einem Variationsprinzip abgeleitet und der Beweis geführt, daß auf Grund der Heisenbergschen Quantenbedingung der Energiesatz und die Bohrsche Frequenzbedingung aus den mechanischen Gleichungen folgen. Am Beispiel des anharmonischen Oszillators wird die Frage der Eindeutigkeit der Lösung und die Bedeutung der Phasen in den Partialschwingungen erörtert. Den Schluß bildet ein Versuch, die Gesetze des elektromagnetischen Feldes der neuen Theorie einzufügen.

正則對易關係

- 玻恩和約當的這篇論文裡，首度出現我們現在熟悉的正則對易關係（canonical commutation relation）：

Nach (22), (23) ist also $\dot{\mathbf{d}} = 0$ und $\mathbf{d}$ eine Diagonalmatrix. Die Diagonalglieder von $\mathbf{d}$ sind aber gerade durch die Quantenbedingung (37) festgelegt. Zusammenfassend erhalten wir unter Benutzung der durch (6) definierten Einheitsmatrix $\mathbf{1}$ die Gleichung

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i} \mathbf{1}, \quad (38)$$

- 楊振寧曾稱此方程式為「理論框架中之尖端貢獻」、「物理學的最高境界」。

玻恩的最重要貢獻

- 對玻恩來說，這也是他最重要的貢獻。

- 玻恩晚年回憶：「我絕不會忘記，當我成功把海森堡關於量子條件的觀念凝練成一個不可思議的方程式時，我所感到的激動。這一方程式是新力學的核心，而且後來發現，它暗含不確定性原理。」

現代量子力學

- 1926年，三人再發表一篇延伸論文。這三篇論文，創建了矩陣力學，也標誌了現代量子力學的完成。
- 海森堡的論文，強調了可觀測的物理量才有物理意義；玻恩和約當則利用矩陣運算，為海森堡的論點賦予嚴謹的數學基礎。

Zur Quantenmechanik. II.

Von M. Born, W. Heisenberg und P. Jordan in Göttingen.

(Eingegangen am 16. November 1925.)

Die aus Heisenbergs Ansätzen in Teil I dieser Arbeit entwickelte Quantenmechanik wird auf Systeme von beliebig vielen Freiheitsgraden ausgedehnt. Die Störungstheorie wird für nicht entartete und eine große Klasse entarteter Systeme durchgeführt und ihr Zusammenhang mit der Eigenwerttheorie Hermitescher Formen nachgewiesen. Die gewonnenen Resultate werden zur Ableitung der Sätze über Impuls und Drehimpuls und zur Ableitung von Auswahlregeln und Intensitätsformeln benutzt. Schließlich werden die Ansätze der Theorie auf die Statistik der Eigenschwingungen eines Hohlraumes angewendet.

矩陣力學和波動力學

- 另一方面，1926年稍後，曾任玻恩助理的庖立，在漢堡大學利用矩陣力學方法計算氫原子光譜，得出跟實驗和波耳氫原子模型一致的結果。
- 同年，薛丁格發表波動方程式，也計算出同樣的氫原子光譜。
- 薛丁格事後證明，矩陣力學和波動力學二者是等價的。

3. Quantisierung als Eigenwertproblem; von E. Schrödinger.

(Erste Mitteilung.)

§ 1. In dieser Mitteilung möchte ich zunächst an dem einfachsten Fall des (nichtrelativistischen und ungestörten) Wasserstoffatoms zeigen, daß die übliche Quantisierungsvorschrift sich durch eine andere Forderung ersetzen läßt, in der kein Wort von „ganzen Zahlen“ mehr vorkommt. Vielmehr ergibt sich die Ganzzahligkeit auf dieselbe natürliche Art, wie etwa die Ganzzahligkeit der Knotenzahl einer schwingenden Saite. Die neue Auffassung ist verallgemeinerungsfähig und rührt, wie ich glaube, sehr tief an das wahre Wesen der Quantenvorschriften.

Die übliche Form der letzteren knüpft an die Hamiltonsche partielle Differentialgleichung an:

$$[1] \quad H\left(q, \frac{\partial S}{\partial q}\right) = E.$$

波函數的機率詮釋

- 1926年7月，玻恩發表文章，用機率觀點詮釋波函數的意義。

$$\psi_{n\tau}^{(1)}(x, y, z; q_k) = \sum_m \iiint_{\alpha x + \beta y + \gamma z > 0} d\omega \Phi_{nm}(\alpha, \beta, \gamma) \sin k_{nm}(\alpha x + \beta y + \gamma z + \delta) \psi_m^0(q_k).$$

Das bedeutet: die Störung läßt sich im Unendlichen auffassen als Superposition von Lösungen des ungestörten Vorgangs. Berechnet man die zur Wellenlänge λ_{nm} gehörige Energie nach der oben angegebenen de Broglieschen Formel, so findet man

$$W_{nm} = h\nu_{nm}^0 + \tau,$$

- 機率與 φ 的平方成正比。

wobei ν_{nm}^0 die Frequenzen des ungestörten Atoms sind.

Will man nun dieses Resultat korpuskular umdeuten, so ist nur eine Interpretation möglich: $\Phi_{nm}(\alpha, \beta, \gamma)$ bestimmt die Wahrscheinlichkeit¹⁾ dafür, daß das aus der z -Richtung kommende Elektron in die durch α, β, γ

¹⁾ Anmerkung bei der Korrektur: Genauere Überlegung zeigt, daß die Wahrscheinlichkeit dem Quadrat der Größe Φ_{nm} proportional ist.

上帝不擲骰子

- 到了12月，愛因斯坦在給玻恩的信件中表示：

Quantum mechanics is certainly imposing. But an inner voice tells me that it is not yet the real thing. The theory says a lot, but does not really bring us any closer to the secret of the 'old one'. I, at any rate, am convinced that He is not playing at dice.

- 到此為止，我們熟知的非相對論性量子力學發展成熟。

- 雖然世人常將建立量子力學功勞誤歸給波耳（Niels Bohr），或者認為波耳是量子力學的代表人物；但真正建立現代量子力學的是包括玻恩、海森堡和約當等的物理學家們。

玻恩與約當對量子力學發展的貢獻

- 雖然玻恩、海森堡、約當三人在量子力學的發展上貢獻卓著。但他們的貢獻卻沒有被等值看待。

- 1932年，海森堡獨得諾貝爾物理獎：

"for the creation of quantum mechanics, the application of which has led to the discovery of the allotropic forms of hydrogen"

- 1933年，薛丁格和狄拉克得到諾貝爾物理獎：

"for the discovery of new productive forms of atomic theory"

玻恩與約當對量子力學發展的貢獻

- 1933年，海森堡在寫給玻恩的信件中提及，對於「三人共同合作卻只有自己得獎一事」感到問心有愧；也強調玻恩和約當兩人對量子力學的貢獻，不會因為「外在的錯誤決定」而改變。

- 1954年，海森堡在公開文章中，再次強調了玻恩和約當對量子力學的貢獻，卻不被世人所知。

- 1954年，玻恩終於得到諾貝爾物理獎：

"for fundamental research in Quantum Mechanics, especially in the statistical interpretation of the wave function"

納粹德國

- 1930年代初，德國政治情勢越演越烈，納粹獲得許多年輕學生的歡迎；哥廷根大學亦充斥著右翼思想和右翼學生團體。
- 1932年，哥廷根大學的學生發起抵制猶太數學教授蘭道（Edmund Landau），以至於沒人去上蘭道的課；「亞利安學生要的是亞利安數學，而非猶太數學。」他們這麼宣稱。
- 到1933年希特勒上台後，進行「一體化運動」（Gleichschaltung），將公眾和私人的社會和政治生活一體化，使國民參與到納粹黨建立的組織中，並對非納粹組織進行打擊；批評納粹的人被壓制、恐嚇或被謀殺；教育系統則進行嚴密控制。一體化運動中，導入所謂領袖原則，強調無條件服從領袖權威。

1933大清洗

- 樹大招風，哥廷根大學成為納粹清除猶太人的首要目標，史稱1933大清洗（Great Purge of 1933）。
- 儘管玻恩和法蘭克成功在12年內將哥廷根大學打造成近代物理的世界中心；玻恩是1933大清洗中，第一波被革職的猶太教授之一；法蘭克也自行提出辭呈。
- 包括玻恩、法蘭克、泰勒（Edward Teller）、諾特，以及接替1930年退休的希爾伯特的外爾，都因此被解職或先後被迫離開。

1933大清洗

- 1934年，希爾伯特和納粹德國的「科學、教育和國家文化部」部長吃晚餐，對方問：「猶太人離開，哥廷根數學所有無受到影響呢？」希爾伯特回答：「影響？哥廷根數學所已蕩然無存了！」
- 1943年希爾伯特過世時，哥廷根大學的教員幾乎都已是新面孔——因為之前的大部分教員不是猶太人，就是跟猶太人有姻親關係。因為戰爭影響，希爾伯特的死到半年後才廣為世界所知。

歸化英國

- 被解僱後，玻恩離開德國，到英國劍橋大學就任短期職位。
- 1935年，玻恩到達印度邦加羅爾（Bangalore）就職；同年，玻恩一家的德國國籍均被納粹註銷，成為無國籍；玻恩的博士學位也被撤回。
- 最終，玻恩於1936年到愛丁堡大學任教。他在英國的德國助理Klaus Fuchs後來去了美國協助原子彈計畫，卻於1950年被指控於二次大戰期間提供曼哈頓計畫資料給俄國。
- 1939年玻恩歸化為英國籍。在英國，他也撰寫了科普書和教科書，成為經典。

玻恩晚年

- 玻恩在愛丁堡待到退休，並於1954年返回西德。
- 1970年1月5日玻恩於哥廷根過世，享年87歲。
- 伴隨玻恩的，有能斯特（Walther Nernst，提出熱力學第三定律；1920諾貝爾化學獎）、韋伯（Wilhelm Weber）、馮·勞厄（Max von Laue，1914諾貝爾物理獎）、哈恩（Otto Hahn，1944年諾貝爾化學獎）、普朗克（Max Planck，1918年諾貝爾物理獎），以及希爾伯特。

玻恩的遺產

- 玻恩培育了數不清的物理學家，其在哥廷根指導過的博士班學生有：德爾布呂克（Max Delbrück，1969年諾貝爾生理學或醫學獎）、洪德（Friedrich Hund）、格佩特-梅耶（Maria Goeppert-Mayer，1963諾貝爾物理獎）、歐本海默（J. Robert Oppenheimer，原子彈之父）
- 玻恩在哥廷根的助理有：費米（Enrico Fermi，1938年諾貝爾物理獎）、海森堡（Werner Heisenberg，1932年諾貝爾物理獎）、赫茨貝格（Gerhard Herzberg，1971年諾貝爾化學獎）、庖立（Wolfgang Pauli，1945年諾貝爾物理獎）、泰勒（Edward Teller，氫彈之父）、維格納（Eugene Wigner，1963年諾貝爾物理獎）。
- 玻恩不但有好眼光，能夠發掘傑出的人才，又虛懷若谷，不介意那些人才的光芒超越他；對於比較沒那麼優秀的晚輩，則耐心地給他們有價值但是又可做得到的工作。

玻恩的貢獻

- 玻恩是矩陣力學的創建人之一，並提出波函數的統計解釋。
- 事實上，不僅量子力學，玻恩在彈性系統的穩定性、晶格動力學、固態物理、光學等領域均有重要貢獻。
- 經典力學認為，可以根據物理系統某一特定瞬間的狀態，計算出它在所有過去和未來的狀態。玻恩對量子力學的機率詮釋，卻打破了以往決定論的思維。

玻恩的謙遜

- 玻恩晚年說：「我從來不願意成為專家，而在通常認為屬於我的研究領域，我也是一知半解。」他認為成就不決定於自己，也不僅僅屬於自己。
- 他亦曾告誡自己：「不要把自己看成像愛因斯坦、波耳、海森堡、狄拉克那樣一流的物理學家。如果現在（1961年）我的地位上升了，大家公認我是一流物理學家的話，那完全是因為我運氣好地出生在這樣的一個歷史時期：有許多最基本的成果明擺在那裡，等著人們去撿。」

二次大戰後的哥廷根

- 1945年，第二次世界大戰結束，哥廷根是西德最早重新開張的大學。
- 雖然有一些早先被開除的教授回到哥廷根，然而，大多數的教授都沒有再回到哥廷根；此時的哥廷根，已經不再像1933年以前那般具備吸引力。
- 即使哥廷根大學不再輝煌，但仍有人試著將哥廷根市打造成科學研究中心。1948年，馬克斯·普朗克學會（Max Planck Society）在普朗克和哈恩的努力下於哥廷根市成立。現今，哥廷根市有五個馬克斯·普朗克研究所，密度為全德國最高。

哥廷根宣言

- 1957年，西德政府打算發展核武計畫。18個科學家（幾乎都跟哥廷根有深厚關係）聯名發表《哥廷根宣言》（Göttingen Manifesto），包括玻恩、哈恩、海森堡、馮·勞厄和保羅（Wolfgang Pauli，1989年諾貝爾物理獎得主）。
- 宣言內容反對發展核武，強調原子能的和平用途；宗旨在警告核戰將帶給人類毀滅性災難，並敦促各國政府放棄以武力作為實現政治目的的手段，表達了科學家強烈的社會責任感。
- 德國目前自己沒有製造核武，但是有美國給予的核武。

結論

- 受啟蒙運動精神影響，哥廷根大學從創立之初，便具備強調學術自由的傳統；這份精神連帶引發了哥廷根七君子事件，且間接為德國的公民社會發展鋪路。
- 七君子事件後，哥廷根大學雖因此受到負面影響，但在克萊因的努力下，哥廷根大學逐漸邁向世界頂尖的數學研究中心。
- 普朗特、玻恩和法蘭克延續了克萊因的努力，進一步將哥廷根大學打造成自然科學（尤其是近代物理）的研究重鎮——直到納粹上台徹底毀壞了哥廷根。
- 量子力學的建立，很大一部份要歸功於哥廷根大學的海森堡、玻恩、約當。

歐洲科學學會的興起 與物理學發展

一百零五年十月廿九日
東吳大學物理學系
任慶運

1

■ 前言

■ 十七世紀歐洲科學學會之興起

- 義大利
- 英國
- 法國
- 德國 (反例)

■ 科學學社對物理學發展之貢獻

- 儀器
- 理論
- 期刊

■ 啟示與省思

前言

談傳承之前先溯源：哥白尼與伽利略

哥白尼 (Nicolaus Copernicus 1473~1543)

1496 Bologna, Padua, Ferrara (求學)

1512 Frauenburg Cathedral (任職)

伽利略 (Galileo Galilei 1564~1642)

1581 Pisa (求學)

1592 Padua (任教)

培根 (Francis Bacon 1561~1626)



培根
(Francis Bacon
1561~1626)
(*Novum Organum*) 新工具

Induction 歸納、內籀
Experimental 實驗

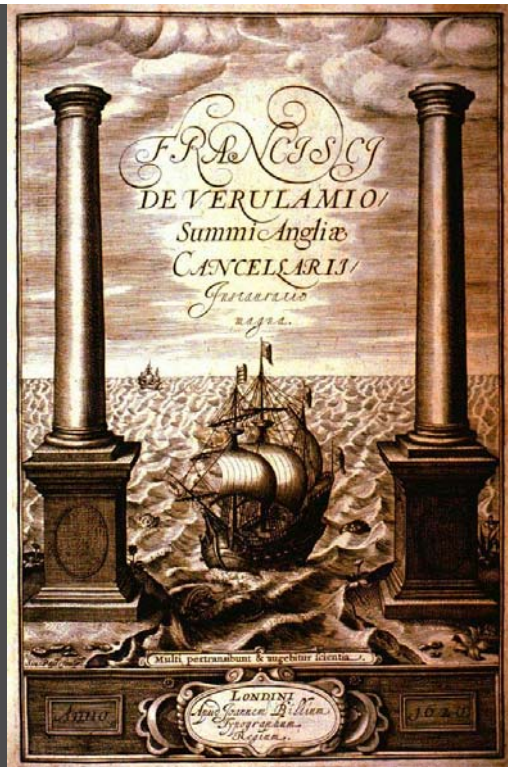
「舊」工具：
Organon, by Aristotle
亞理斯多德之理則學著作集

Deduction 演繹、外籀
Philosophical 哲思

培根之《新工具》(*Novum Organum*) 實為其 *Instauratio magna* 《》

「舊」工具：
Organon, by Aristotle
亞理斯多德之理則學著作集

圖中巨船揚帆航向何方？



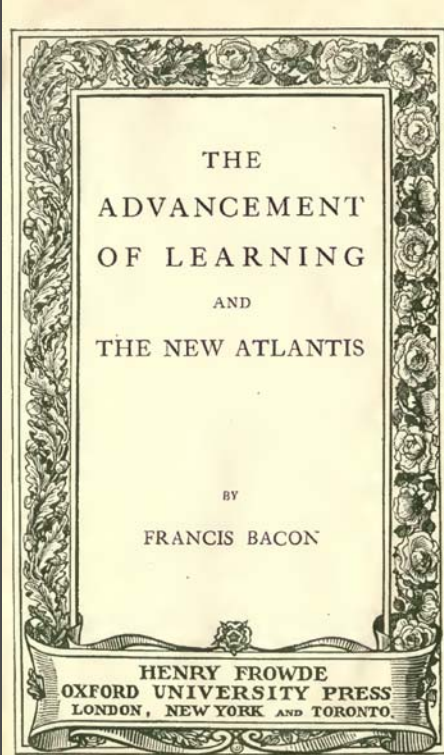
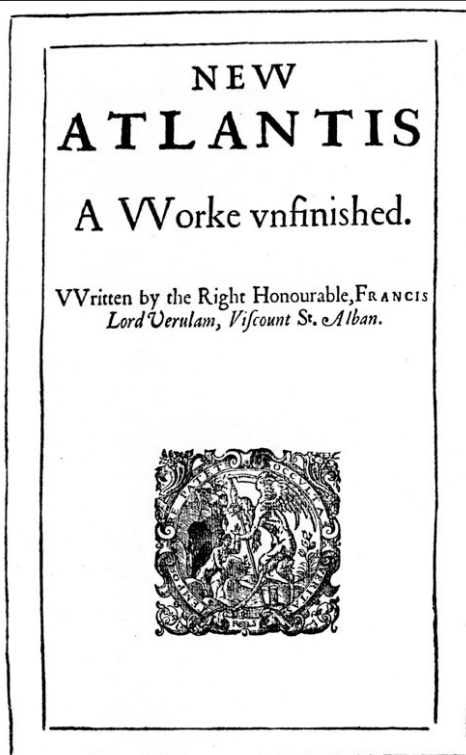
培根心目中的 New Atlantis 實為從事科學研究的社群 (society)，即後來在各國各地發展的學會。

1657 義大利

1662 英國

1666 法國

(附論反例) 1700 德國



十七世紀歐洲 科學學會之興起

義大利 Accademia del Cimento 西芒托學院

Cimento: experiment

此學會會名意義：The Academy of Experiment

此學會前身為 Accademia dei Lincei in Rome (1600~1630)

- 與伽利略關係密切
- 創會宗旨 (rules of studious life of Lynchean)

The Accademia dei Lincei is a gathering which, according to certain rules and regulations and united friendly councils, directs its labors diligently and seriously to studies as yet little cultivated. Its end is not only to acquire knowledge and wisdom for living rightly and piously, but with voice and writing to reveal them unto men.¹

- 此會會刊 *Gesta Lynceorum* 為有史以來最早 (1609) 有紀錄之學報

Accademia del cimento 西芒托學會

1657 年 (伽利略歿後 15 年) 由其高足 Torricelli 與 Viviani 創立於 Florence (佛羅倫斯，翡冷翠)。

贊助者：Medici 家族之 費迪南大公二世 (Grand Duke Ferdinand II of Tuscany) 與利奧波親王 (Prince Leopold)。

兄弟二人皆曾在伽利略門下受業。

西芒托學會成立前，二人的實驗室即已收藏當時已有的實驗設備。在此聚會論學的科學家稱之為「王府學會」(Accademia del Principe)。

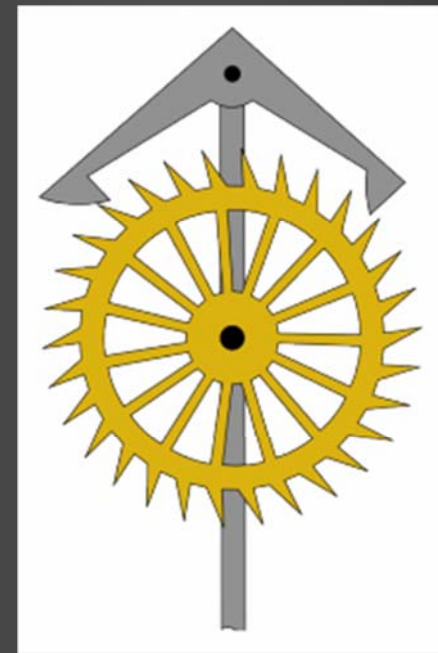
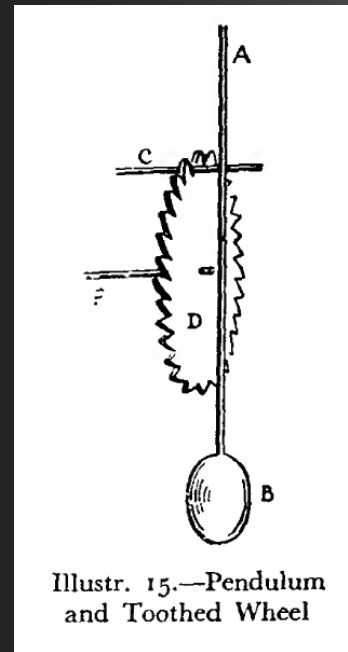
先介紹兩位創始人。

Evangelista Torricelli (1608~1647) 托里拆利



此書有英譯 (我沒有)

Vincenzo Viviani (1622~1703)



擒縱器
Escapement
一行 (唐)
蘇頌 (宋)

英國

The Royal Society of London for
Improving Natural Knowledge
皇家學會

前身

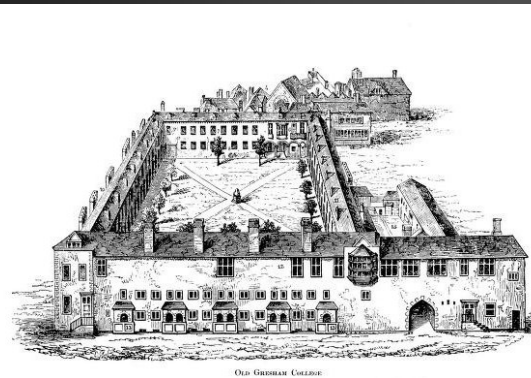
緣起：追隨培根從事實驗科學

啟始：1645 起每週聚會

興趣：數學科學、機械發明、天文思辯

規範：神學與政治以外無所不談

地點：位於倫敦之 Gresham College



分化

1649 分出牛津學會，於波義耳 (Boyle) 寓所聚會

正式成立：1662

立會宗旨：建立致力探索實驗知識之正式學會
(definite society)

獲頒「**奏定章程**」：(Royal Charter) 1662 年 7 月 15 日

正式會名：皇家學會 (Royal Society) (Royal Society of London for Improving Natural Knowledge)

建會成規：研究課題分組負責探索、定期演示報告

成立專職：1662 年 12 月 12 日 Robert Hooke (虎克) 獲得任命職稱「**總裁**」 Curator，每次會議主講並演示三四項實驗。

前身

哲學家與數學家之非正式聚會

成員

笛卡爾、巴斯卡、費馬、Gassendi、Mersenne 等

外國人如 Hobbes, Huygens, Steno 等

擬議

Charles Perrault 提議、由 Colbert 面稟路易十四

籌設正規 (運作之) 廣涉歷史、文學、科學之學會

創立 1666 年 12 月 22 日

名稱 (法蘭西科學院)

Institut de France, Académie des Sciences

法國

Académie des sciences

Institut de France

French Academy of Sciences

法國科學院

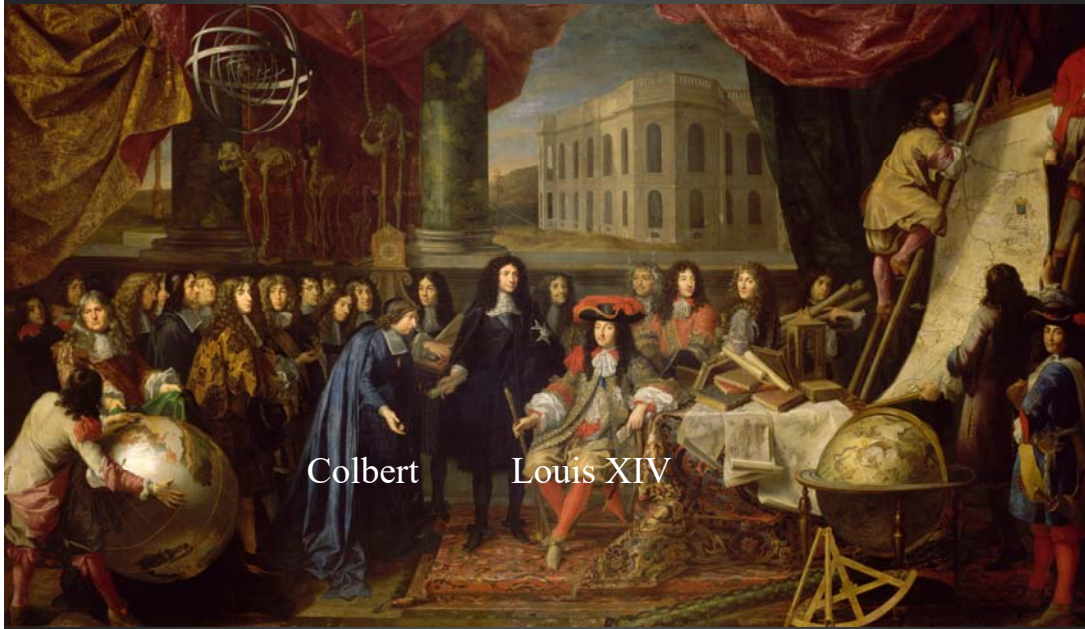
課題

僅專致力於科學研究，包括數學與物理

經費

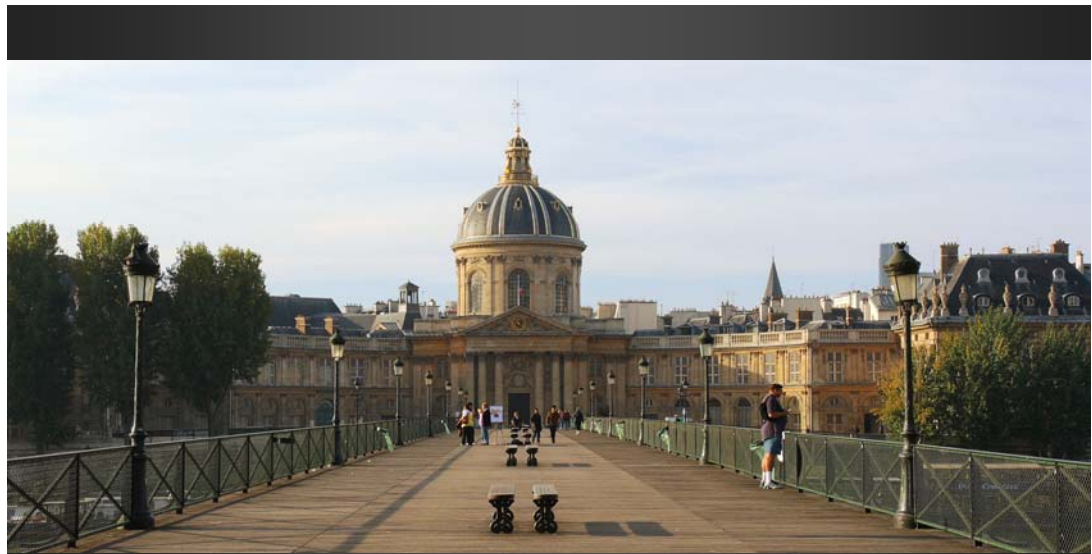
成員津貼由國王給予

研究經費獲財務資助



Colbert

Louis XIV



德國
The Berlin Academy
柏林學院

創始人：

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646~1716) (萊布尼茲)

緣起：教育理念

崇尚 objective reality versus abstract, purely verbal

主張廣習數學、物理、生物、地理、歷史

教育以德語取代拉丁文

結成人數甚少之學者社團

建立大型圖書館

創立：1700

柏林學院：以失敗告終

枳化為橘：Academy of Saint Petersburg (1724)

Russian Academy of Sciences (1917?)

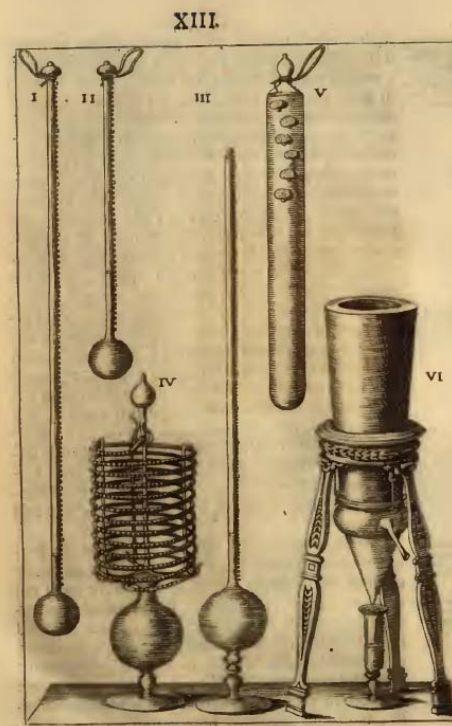
柏林學院與其他學院學會之主要差異

僅萊布尼茲一人熱心奔走，而非業餘有識之士共謀

科學學會對物理
科學之貢獻

製做儀器

原理皆甚簡單
製做頗為精巧
時當十七世紀
科學萌芽時期



Florentine Thermometer
(翡冷翠溫度計)
費迪南大公二世製

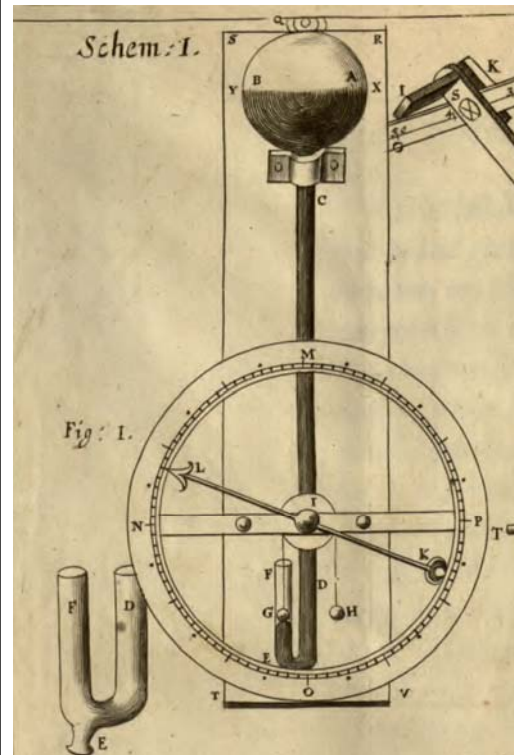
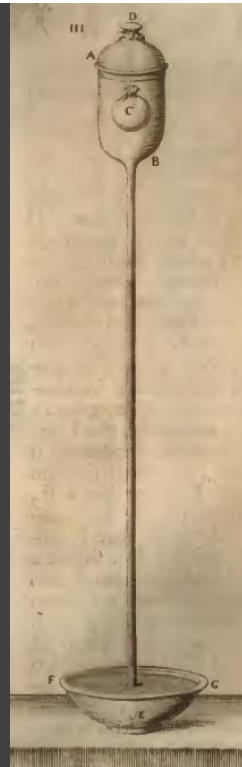
Florentine Spiral
Thermometer
(翡冷翠螺旋溫度計)

(From *Saggi di naturali
esperienze fatte
nell'Accademia del
Cimento*, 1667)



Torricelli's
Barometer
托里拆利氣壓計
horror vacui

(From *Neudrucke
von Schriften und
Karten über
Meteorologie und
Erdmagnetismus* by
Hellmann (1893)



Hooke's Wheel Barometer
輪式氣壓計
左側水銀柱面 G 的升降
帶動 (水平) 柱 I 旋轉，
即使微小變化，可由指針
KL 顯示於外圈環面
MNOP

(From *Micrographia*, by
Hooke, 1665)

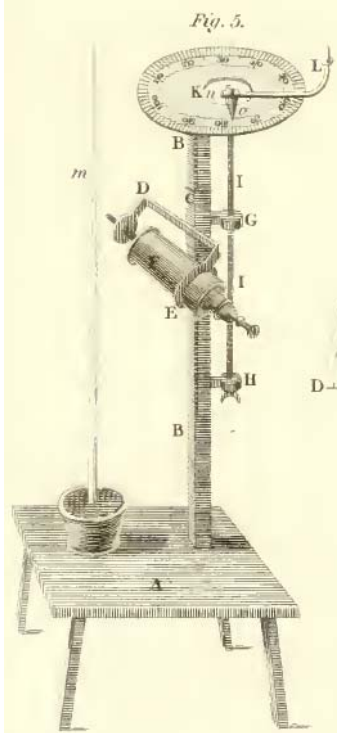
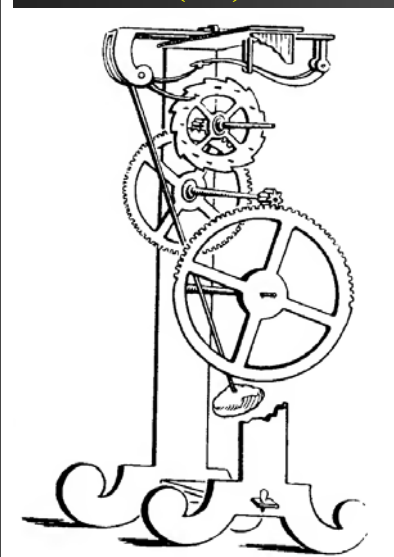


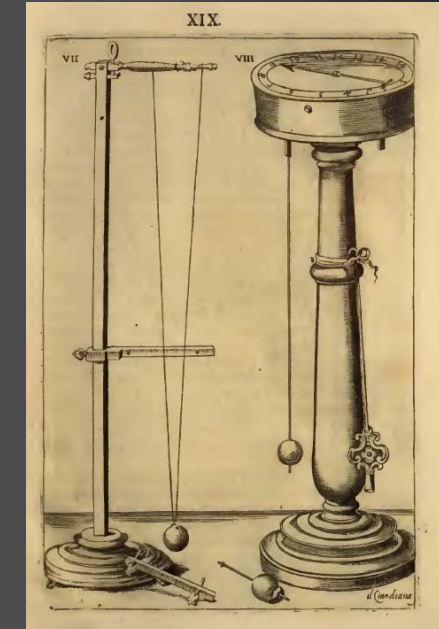
Fig. 5. A Contrivance for Measuring the Height of the Mercury in the Barometer, by a Circle on one of the Weather Plates. By Mr. Wm. Derham. N° 237, p. 45.

This circle, on one of the weather-plates, may be of any convenient diameter. Divide this into 100 parts, which are to answer the 100 parts of an inch. The index which points to these parts must be driven round by a small wheel, like the dial-wheel of a watch. This wheel must be driven round by a straight piece, like a small ruler, with teeth on one edge; every inch of which must contain just the same number of teeth as are in the dial-wheel before mentioned; so that by the thrusting up and down this toothed ruler, you may at every inch turn round the index once. About the middle of this toothed ruler a fine finger must be fixed, to point exactly to the height of the mercury. And consequently by raising or depressing this finger to the height of the mercury, you very exactly see, on the circle, the parts of an inch which the mercury rises or falls in the tube.

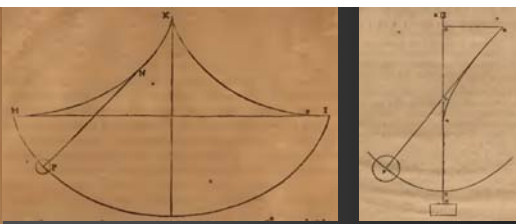
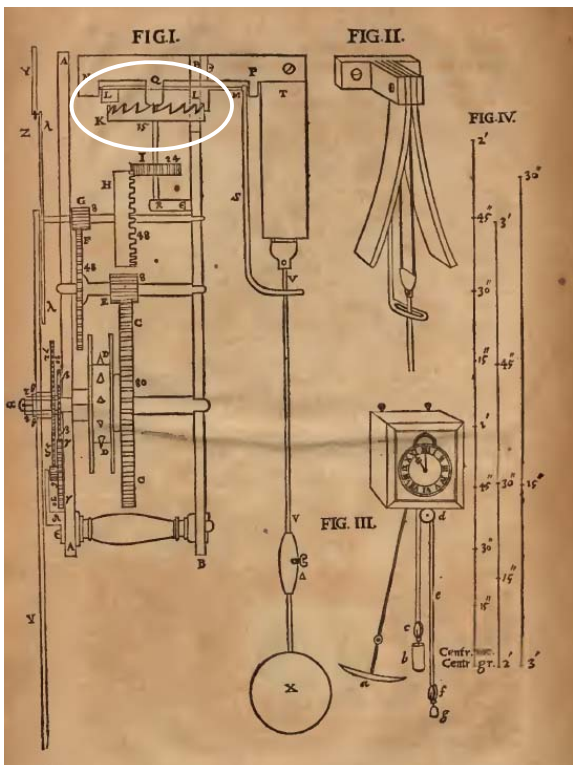
伽利略構想的擺鐘
由 Vincenzo (子) 與
Viviani (徒) 製圖



Illustr. 70.—Galilei's Pendulum Clock

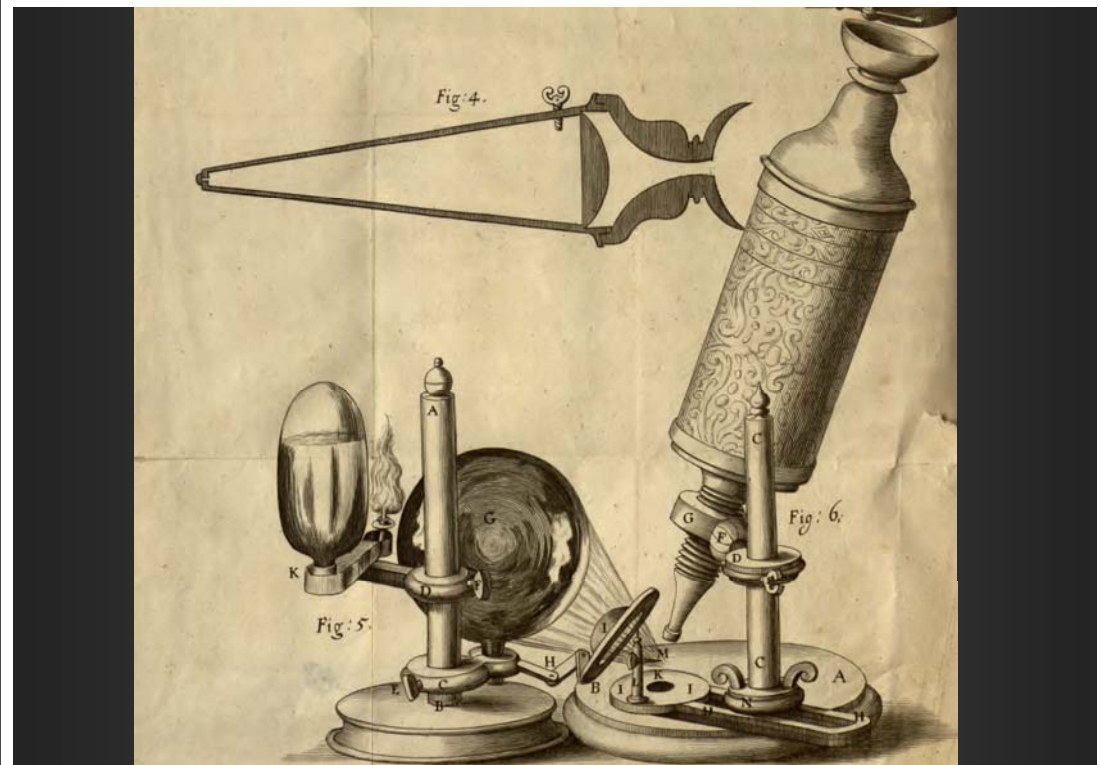


Cimento 學院發明 bifilar pendulum (雙線擺)



K: escapement 擒縱器
Fig II: cycloidal jaws

Huygen, Horologium Oscillatorium (1673)



啟示與省思

須有識之士
須眾人之力
須重視語文

The RÔLE OF SCIENTIFIC SOCIETIES IN THE SEVEN- TEENTH CENTURY · Ornstein

By **MARTHA** ORNSTEIN

正文 270 頁
論德國 37 頁

The Universities might have been expected to lead, or at least to share, in this movement for intellectual emancipation. But they did nothing of the kind. For they were controlled by the Church. Philosophy was only tolerated as the handmaid of Theology, and the University as the Cinderella of the Church. It was, indeed, highly significant of the times, that the vast majority of the pioneers of modern thought were either entirely detached from the Universities, or were but loosely associated with them. New organizations, and indeed essentially secular organizations, were necessary to foster the new spirit, and to enable it to express itself. Francis Bacon dreamed of such institutions in his *New Atlantis*. His successors, partly under the stimulus of his visions, saw his dreams come true. The scientific academies came into being in response to the new needs of the new age. It was in these societies that modern science found the opportunities and the encouragement which were denied to it at the Universities, not only in the seventeenth century, but for a long time afterwards.

A. Wolf, *History of Science, Technology and Philosophy*, Vol. 1, pp. 54~55 (1935)

物理教皇

——費米從羅馬到芝加哥

李精益

文藻外語大學通識教育中心

時間：107年10月20日

地點：東吳大學物理學系

Email：polanyi.lee@gmail.com

楊振寧對費米的評價

費米（Enrico Fermi）是20世紀所有偉大的物理學家中最受尊敬和崇拜者之一。他之所以受尊敬和崇拜，是因為他在理論物理和實驗物理兩方面的貢獻，是因為在他領導下的工作為人類發現了強大的新能源，而更重要的是因為他的個性：他永遠可靠和可信任；他永遠腳踏實地。他的能力極強，卻不濫用影響，也不嘩眾取寵，或巧語貶人。我一直認為他是一個標準的儒家君子。

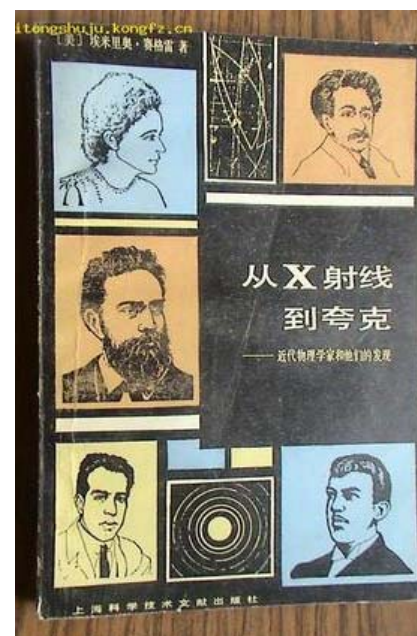
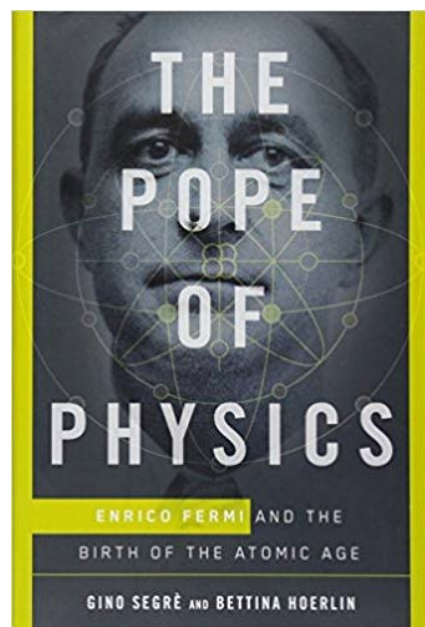
出自〈他永遠腳踏實地——紀念費米誕辰100周年〉

*The Pope of Physics:
Enrico Fermi and the
Birth of the Atomic Age*

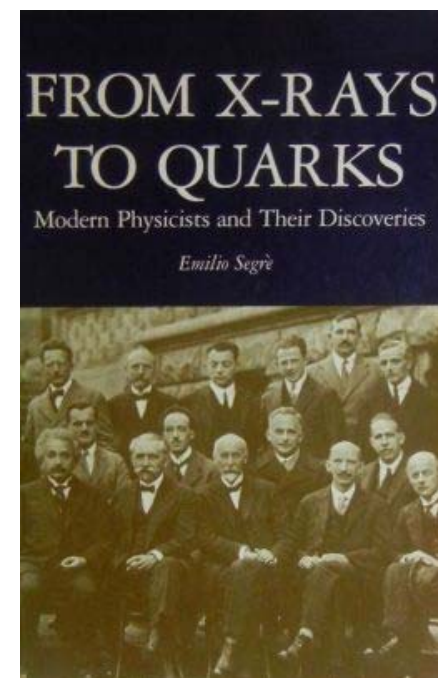
作者：Gino Segrè
Bettina Hoerlin

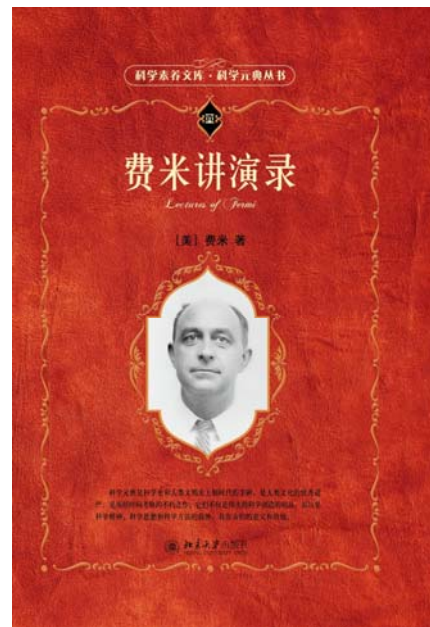
Gino Segrè 是 Emilio Segrè
的姪子

Segrè 是費米的大徒弟



作者：Emilio Segrè





費米生平概要

- 1901年 9月29日生於羅馬
- 1918年 入比薩高等師範學院學習
- 1922年 獲得博士學位
- 1923年 冬季，至哥廷根Born處工作
- 1924年 9月，至萊頓Ehrenfest處工作
- 1925年 在佛倫羅斯大學擔任臨時性教職
- 1927年 任羅馬大學理論物理學教授
- 1933年 12月，提出 β 衰變理論
- 1934年 從事中子誘發核反應實驗
- 1938年 獲諾貝爾物理學獎
- 1939年 1月2日，全家抵紐約
- 1942年 12月2日，領導實現首次人工自持續鏈式反應
- 1945年 7月，任芝加哥大學物理系教授
- 1954年 11月28日逝世



早年歲月

費米的父親是鐵路職工，母親為中學教師。



1905年與大二歲的姊姊瑪麗亞、大一歲的哥哥朱里奧（Giulio）合影



Enrico童年時與哥哥興趣相投，一起製作電動機。
1915年，朱里奧意外離世。

哥哥的去世對費米打擊很大，學習成了他排解憂傷的唯一方式。1915年底，費米在羅馬的百花廣場附近的市集裏買到了一本《數學物理要旨》（*Elementorum physicae mathematicae*），這是他在物理學方面的啟蒙教材之一。這本900餘頁的書是由耶穌會士卡拉法（Andrea Caraffa）神甫於1840年以拉丁語寫成的。卡拉法神甫是羅馬學院的教授，他在這本書裏敘述了當時已知的數學、古典力學、天文學、光學以及聲學等方面的知識。

約在同時，與哥哥的同學帕西柯（Enrico Persico）結交。

費米父親的同事阿米迪（Adolfo Amidei）具有相當豐富的技術知識，於費米14歲時首次見到他，立即發現其能力非同一般。於是將自己的數學和工程學方面的書籍借給費米，並且指導他閱讀。



1918年，費米中學畢業並參加了比薩高等師範學校的入學考試。費米被要求寫一篇關於弦振動的論文，費米交的論文題為《聲音的性質》，文中他列出了一根振動棒的偏微分方程，並用傅立葉分析解出了這個方程。這篇出自高中生之手的論文讓主考官驚歎，甚至決定面見這個才華橫溢的年輕人，並告訴費米他是一個「出類拔萃」的人。

16歲時的費米



比薩高等師範學校（Scuola Normale Superiore di Pisa，簡稱SNS）的校徽和主樓

費米一開始主修數學，後於1920年9月轉入物理系，他只有兩位同學：拉賽蒂（Franco Rasetti，1901-2001）和卡拉拉（Nello Carrara，1900-1993）。

費米就讀大學期間，幾乎沒有老師可以教他知識，因為他懂得太多。費米只有靠自學獲取知識。費米認真地研讀了法國科學家龐加萊的《渦流理論》、德國物理學家普朗克的《熱力學》、英國物理學家理查森*的《物質的電子理論》和拉塞福的《放射性物質和它們的放射性》等諸多名作，甚至還包括波耳（Niels Bohr，1885-1962）論氫原子的第一篇論文。從他選擇的書目就可以看出他超出同齡人的學術鑑別能力。

費米自學了廣義相對論、量子力學以及原子物理學的相關知識。

費米大學時期的物理學老師甚至要求費米教他理論物理學，而費米毫不客套，很快給他的老師開設了一門關於愛因斯坦相對論的課程。

*Owen Richardson，1879—1959年，1928年諾貝爾物理獎得主

費米的導師是物理學實驗室主任普錢蒂（Luigi Puccianti）允許學生隨意使用實驗室里的設備進行自己想要做的研究。在費米的提議下，同學三人研究了X射線晶體學，拍攝了一系列晶體的勞厄相。儘管費米後來以理論物理學家著稱，但這段經歷鍛鍊了他的動手能力，而且他一直認為理論與實驗工作同等重要。

1920年，費米通過了預備性課程，開始準備他的博士論文。1921-1922年，費米發表了幾篇關於相對論的論文。

理論物理學當時在義大利並不是一門獨立學科，因而物理系的學生當時只能提交有關實驗物理學的學位論文。1922年7月，費米向比薩高師提交了他的學位論文《機率論的一條定理及它的一些應用》，獲得了博士學位。論文內容是彎曲晶體的X射線繞射以及由此方法獲得的影像。

由上可知，費米對理論與實驗均擅長！

首度輝煌

過渡期

羅馬大學教授

家庭生活

提出 β 衰變理論

進行中子誘發核反應實驗

獲得諾貝爾物理獎

Rome Conference On
Nuclear Physics (Oct. 1931)

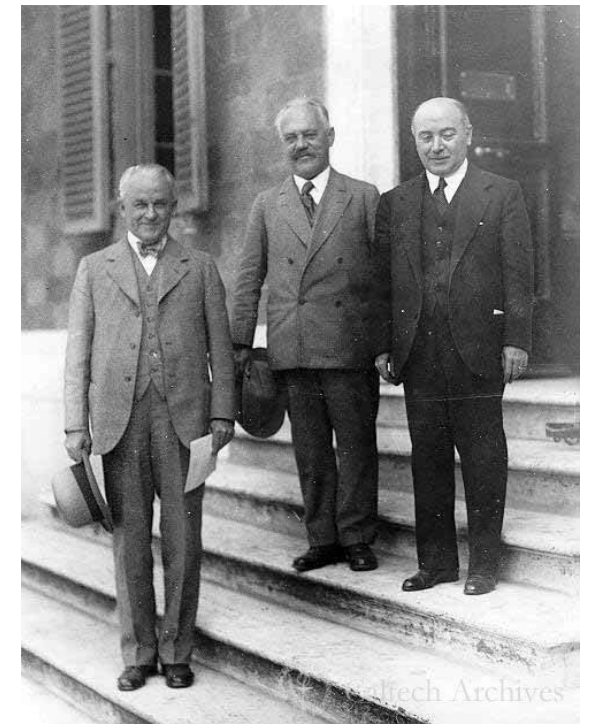


千里馬與伯樂

費米能展長才與柯賓諾
(Orso Mario Corbino, 1876-1937) 的賞識與
大力提拔有關

柯賓諾懷抱著復興義大利物理學的梦想，他一眼就認準了費米是實現他梦想的希望。因此，他不遺餘力地鼓勵、保護和當助費米。

柯賓諾先送費米至德國和荷蘭進修，後來更力助他成為羅馬大學理論物理學教授。

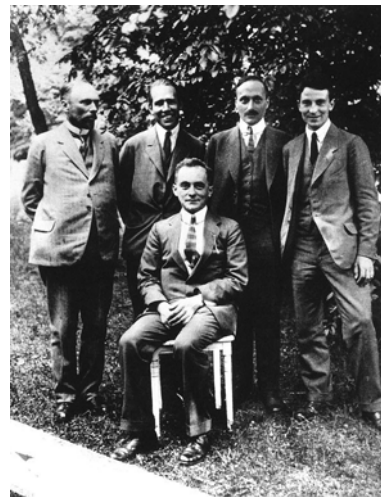


1924年9月至12月，費米在萊頓進修，這次他交上了好運，埃倫菲斯特 (Paul Ehrenfest, 1880-1933) 很賞識他並給予極大的鼓勵。在那裡，費米遇見洛倫茲和愛因斯坦，並與 Goudsmit 和 Tinbergen 為摯友。



1924年攝於萊頓，
左起：Gerard Dieke、
Sem Goudsmit、
Jan Tinbergen、
埃倫菲斯特、Ralph
Kronig、費米

1923年，費米獲得義大利教育部的自然科學博士後獎學金，赴哥廷根跟隨玻恩學習量子論，並認識了Heisenberg和Jordan。這次訪學總體上並不很成功，因為費米仍然保持著離群的習性，他沒能成為玻恩身邊的紅人。但是[與對待波耳的態度不同]，後來費米曾多次推薦玻恩為諾貝爾物理獎候選人，他也是玻恩1954年獲獎年為玻恩提名的人之一。



1924年，費米回到義大利，並在佛羅倫斯大學教授數學。

費米自1925年1月起在佛羅倫斯大學教授數學物理及理論力學直到1926年末。在那裡，他與拉賽蒂一起進行了一系列實驗，研究磁場對於水銀蒸氣的效應。他還參與了羅馬大學（Sapienza University of Rome，簡稱Sapienza或University of Rome）的討論班，並做了一些有關量子力學及固體物理的演講。

費米的第一項不朽的理論工作

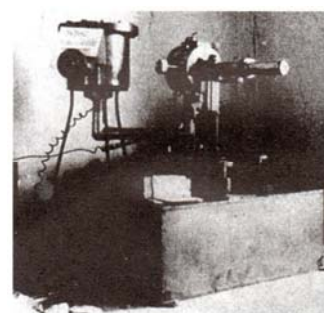
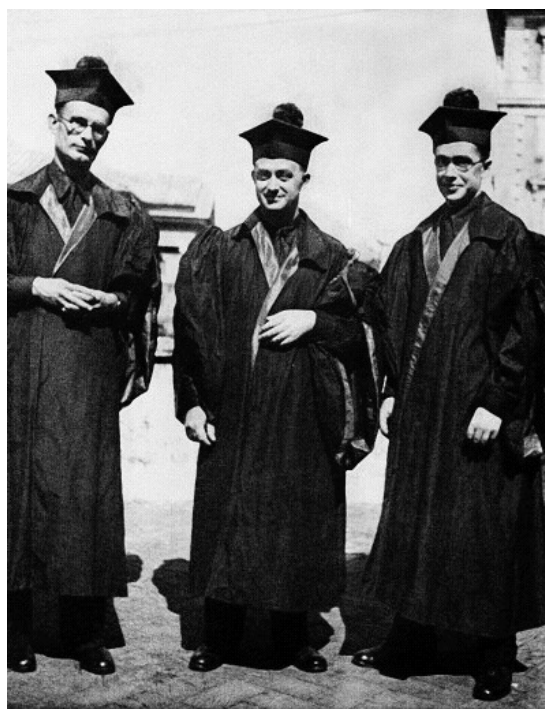
1925年，Pauli提出不相容原理，費米將之用於研究理想氣體，由此導出了費米分佈、費米球、費米液體、費米子等等概念。按照費米研究風格的特點，在做出了這個理論方面的貢獻以後，接著他就把此理論用到重原子的結構，導出了現在通稱的湯瑪斯－費米方法（Thomas-Fermi method）。對於這個方法中的微分方程，費米用一個小而原始的計算尺求出了其數值解。此項計算也許花了他一個星期。

費米喜歡用計算器。不論是小的還是大的計算器他都喜歡用。

出任羅馬大學教授

1925年秋，費米申請薩丁尼亞Cagliari大學的物理教授席位，不幸落敗。之後，柯賓諾想方設法為羅馬大學爭取到一個理論物理教授席位，這是義大利首度設立此項職位。費米順利於1926年底被認任命為羅馬大學理論物理學教授。

1927年初，拉賽蒂亦來到羅馬大學，成為柯賓諾的助手。費米和拉賽蒂很快聚集起一批學生，按時間先後有：塞格雷（Emilio Segrè, 1905-1989）、馬約拉納（Ettore Majorana, 1906-1938失蹤）、阿瑪爾迪（Edoardo Amaldi, 1908-1989）等，由此形成了羅馬學派，費米被推崇為該學派的「教皇」，拉賽蒂則成了「紅衣主教」。



「羅馬大學的標誌」：用來測量放射性的電離室。它簡單而精確，羅馬學派的成員無論到哪儿都會做一個類似的儀器。

著學位袍的紅衣主教、教皇和塞格雷（約1935年）



費米的學生後來被稱作「帕尼斯貝爾納路上的少年」（Via Panisperna boys），這個綽號來源於羅馬大學物理研究所所在的街名。

費米和學生攝於1934年夏
左起: Oscar D'Agostino、塞格雷、阿瑪爾迪、拉賽蒂、費米



1928年7月19日，費米與勞拉·卡彭（Laura Capon，1907-1977）舉行婚禮。勞拉具猶太血統，父親為海軍上將，曾在羅馬大學學習自然科學。費米夫婦育有一女 Nella（1931-1995）和一子 Giulio（1936-1997）。

到了1930年代初，很多年輕的物理學家被羅馬正在上升的聲譽所吸引，或者被德國的政治狀態所威脅，開始來到羅馬，其中有：貝特（Hans Bethe，1906-2005）、F. 布洛赫（Felix Bloch，1905-1983）、派爾斯（Rudolf Peierls，1907-1995）、F. 倫敦（Fritz，1900-1954）、泰勒（Edward Teller，1908-2003）等。



（左起）貝特、F. 布洛赫、派爾斯

費米在羅馬大學時的第一項主要理論貢獻是在量子電動力學方面，他成功地排除了縱向場，得到了庫倫相互作用。費米在芝加哥的學生們都知道他對這個工作極為自豪。這一工作又是極有費米風格的：他看穿了複雜的形式場論，看到了其基本內含——諧振子的集合，進而化問題為一個簡單的薛定諤式方程。這項工作1929年4月他第一次在巴黎提出。1950年代後期，烏倫貝克（George Uhlenbeck，1900-1988）曾告訴楊振寧，在費米的這項工作以前，沒有人真正瞭解量子電動力學。這個工作使得費米成為世界上少數幾個頂尖的場論物理學家之一。

在理論物理上的顛峰之作

1933年10月22至29日第七屆索爾維會議在布魯塞爾召開。會後費米在微中子假設的基礎上建構β衰變理論，並於年底發表。他認為這是在理論物理中最重要的貢獻。



當費米向《自然》期刊投遞相關論文時，其編輯拒絕刊載這些論文。他給出的理由是在這些論文中的相關理論假設「與現實物理圖像相去甚遠，不能引起讀者的興趣。」¹因而費米不得不先將這些理論發表在義大利語及德語的文獻中。

關於 β 衰變理論的重要性，1970年代的一天，楊振寧和維格納（Eugene Wigner, 1902-1995）曾有過下面一段談話。

楊振寧：你認為費米在理論物理中最重要的貢獻是什麼？

維格納： β 衰變理論。

楊振寧：怎麼會呢？它已被更基本的概念所取代。當然，他的 β 衰變理論是很重要的貢獻，它支配了整個領域四十多年。它把當時無法瞭解的部分置之一旁，而專注於當時能計算的部分。結果是美妙的，並且和實驗結果相符。可是它不是永恆的。相反，費米分佈才是永恆的。

維格納：不然，不然，你不瞭解它在當時的影響。馮紐曼和我以及其他曾經對 β 衰變探討過很長時間，我們就是不知道在原子核中怎麼會產生一個電子出來。

楊振寧：不是費米用了二次量子化的 ψ 後大家才知道怎麼做的嗎？

維格納：是的。

楊振寧：可是是你和約爾丹（P. Jordan）首先發明二次量子化的 ψ 。

維格納：對的，對的，可是我們從來沒有想到過它能用在現實的物理理論裡。

進行中子誘發核反應實驗

1934年1月，居禮夫人的女兒伊倫娜·約里奧-居禮和其丈夫發現用具有天然放射性的 α 粒子轟擊鋁等輕元素時，發現了人工放射性（後獲得1935年的諾貝爾化學獎）。



Irène 和 Frédéric
Joliot-Curie
攝於實驗室

費米知悉後極為震驚，並立即想到用中子作「砲彈」。

費米和他的研究夥伴們立即進行實驗，按照元素週期表的順序，一個一個用中子去轟擊這些元素，從氟開始，奇蹟出現了，其後的元素被一個個啟用，不到兩個月的時間，他們獲得了三十幾種新的放射同位素。

發現了「超鈾元素」？

10月，費米小組發現慢中子的作用。

中子通過水或石墨後，速率減慢，被原子核俘獲的機率大增。



Ida Noddack (1896-1978) 曾提出
鈾核分裂的可能性，惜未以實驗證實。

羅馬學派崩解

1935年，爆發衣索匹亞戰爭，次年爆發西班牙內戰，有識之士清楚看到，歐洲局勢及將陷入一場動亂。大約在此時，由於種種原因，羅馬小組自行解散了。Bruno Pontecorvo於1934年加入巴黎的約里奧小組（1950年赴蘇聯）；塞格雷1936年轉任西西里的Palermo大學物理教授，再於1938年赴美；馬約拉納於1938年失蹤；拉賽蒂擔心和厭惡這一局勢，1939年去了美國；而費米和阿瑪爾迪仍留在羅馬。此外，1937年柯賓諾意外去世。這種越來越惡化的局勢更進一步迫使羅馬小組徹底解散。

到了1938年12月，連「教皇」也離開羅馬！

1938年的義大利已經開始了反猶太運動。儘管費米不熱衷政治，但因妻子是猶太人，他的家庭已經受到了騷擾。費米開始尋求離開義大利的機會。秋天，波耳告訴費米說，他最有希望獲得該年的諾貝爾物理獎。11月10日，費米獲頒諾貝爾物理獎。於是費米夫婦決定，趁著前往瑞典斯德哥爾摩領取諾貝爾獎之際，逃離義大利，移民美國。12月6日，費米一家離開羅馬。在出席頒獎典禮後，先至哥本哈根，再於12月24日啟程赴美。



1942年1月2日，費米一家抵達紐約。

參與曼哈頓計畫前後

費米抵達美過後，立即出任哥倫比亞大學物理系教授。

1938年12月，哈恩（Otto Hahn，1879-1968）和施特拉斯曼（Fritz Strassmann，1902-1980）發現核分裂現象。此一消息由波耳帶至美國。哥倫比亞大學的科學家決定核對鈾原子在中子轟擊下所發生核分裂。1939年1月25日，在卜平實驗室的地下室，費米所參與的研究團隊進行了美國國內首次核分裂實驗。期間，弗雷德里克·約里奧-居禮等法國科學家發現鈾原子被中子轟擊時放出的中子較其吸收的多。這意味著鏈式反應在理論上是可能的。費米和安德森（Herbert L. Anderson，1914-1988）在數週後也發現了相同現象。

之後，為了確認這結果的正確性，費米及安德森又利用齊拉德（Leo Szilard，1898-1964）得到的200公斤的鈾氧化物進行了更大規模的裂變實驗。費米和齊拉德合作設計出一種預期能夠進行自持續核反應的實驗裝置——核反應爐。費米基於他此前有關中子的研究，表示可以利用石墨作為減速劑。這樣做可以減小中子的俘獲率，從理論上或許可以實現自持續的鏈式反應。齊拉德基於這一點提出了一個可行的設計：在石墨磚堆中穿插置入鈾氧化物。這些創想在後來的實驗裝置裏都有所體現。齊拉德、安德森及費米之後聯合發表了論文《鈾中中子的產生及吸收》（*Neutron Production and Absorption in Uranium*）工作習慣與個性上的差異，費米與齊拉德的合作並不愉快。

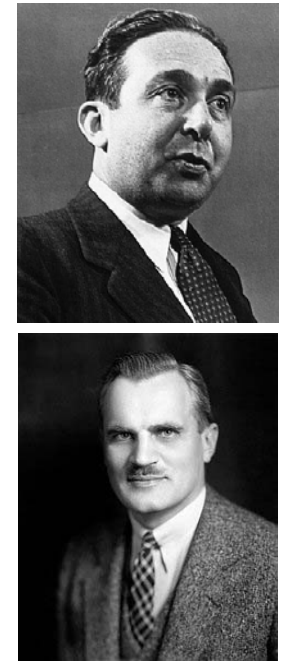
費米是最早提醒軍方領導人核能的潛在影響的人士之一。他曾於1939年3月18日在美國海軍部做了相關主題的講座。他的提醒並沒有獲得重視，但海軍還是同意向哥倫比亞大學劃撥1500美元進行進一步的研究。同年8月2日，齊拉德、維格納及泰勒向羅斯福總統遞交了著名的愛因斯坦-齊拉德信，提醒當局納粹德國發展核武器的可能性。羅斯福就此決定成立**鈾委員會**來統籌相關研究。這一委員會後來成為科學研發辦公室的一號部門——**S-1委員會**。S-1委員會向費米提供大量資金購買石墨。他在卜平實驗室的7層建成了石墨磚堆。到1941年8月，他又擁有6噸的鈾氧化物及30噸石墨。費米利用它們建成了一個規模更為巨大的鈾-石墨堆。

領導實現首次人工自持續鏈式反應

1941年12月18日，在美國對日宣戰後，S-1委員會的成員再度聚首，共同面對更為緊迫的工作。委員會投入大量精力來支持濃縮鈾的生產。但委員會成員**阿瑟·康普頓**（Arthur Compton, 1892-1962）認為其可以由鈾*取代。這種核原料到1944年末可以通過反應爐批量生產。他決定集中力量在芝加哥大學進行鈾相關研究。費米不得不離開哥倫比亞大學，與他的研究團隊一起參與在芝加哥新成立的冶金實驗室。

*1940年12月14日，鈾首度被製造、獨立分離出。

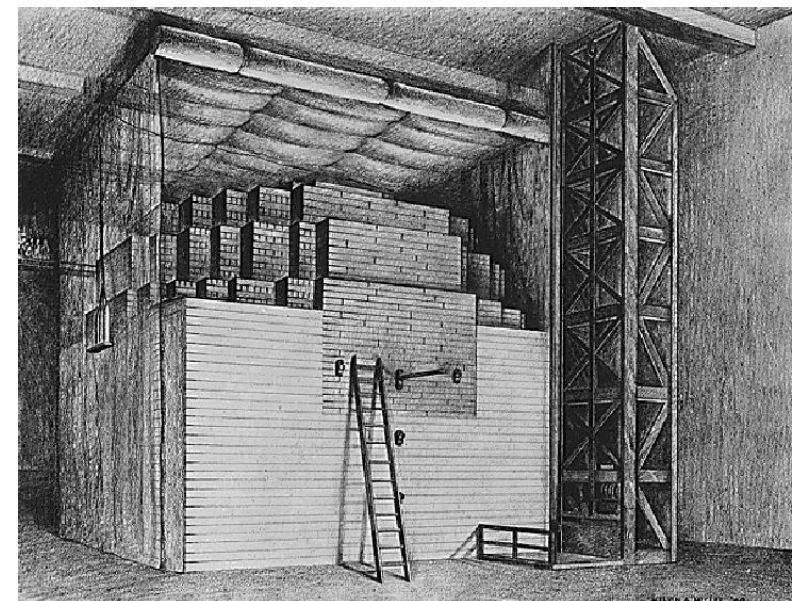
（上）齊拉德
（下）康普頓



由於當時人們還不知道自持續核反應的可能導致的後果，所以在位於市中心的芝加哥大學校內建造核反應爐並不可行。康普頓決定在離芝加哥32公里的阿岡森林保護區擇地建造反應爐。但這項工程由於勞資糾紛擱淺。費米接著試圖說服康普頓在芝加哥大學的斯塔格球場（Stagg Field）

看台下的壁球（squash）場中建造反應爐。**芝加哥1號堆**（Chicago Pile-1, CP-1）在1942年11月6日正式開工，並在同年12月2日進行了**臨界試驗**。反應爐起初被設計為球形，但最終工程只進行至反應爐恰好能進行臨界試驗時即中止。

這項工程是人類能源探索史上的一座里程碑。建設的每一步都經過費米的精心的籌劃以及仔細的計算。



畫家筆下的芝加哥1號堆

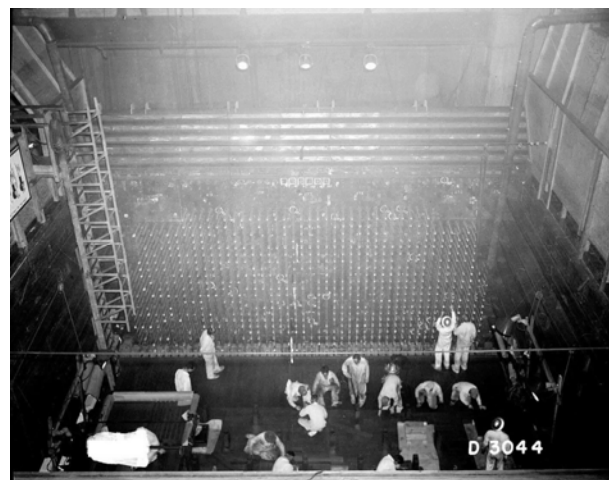


1942年12月2日，科學家聚集在芝加哥大學足球場下，目睹了核反應爐產生的首個受控自持鏈式核反應。

為了能使研究不影響到公眾健康，反應爐遷到了阿岡（Argonne）。在那裡，費米領導了一系列核反應實驗。反應爐中產生的大量自由中子令這些實驗非常順利。實驗室所研究的問題也從物理學及工程學領域延伸到了生物醫療領域。位於阿岡的實驗室最初僅僅是芝加哥大學的分支機構，但到了1944年5月，實驗室成為了獨立的研究機構。

1943年11月4日，當位於橡樹嶺（Oak Ridge）國家實驗室的使用氣冷的X-10石墨反應爐（X-10 Graphite Reactor）進行臨界試驗時，費米事必躬親以防出現事故。技工很早就把他叫醒，以便他能監視全程。X-10反應爐投入實際運行是鈾相關研究的一座里程碑。它提供了反應爐設計方面的大量數據。杜邦公司的相關人員也由此學到了反應爐的建造技術。它還生產了首批反應爐合成鈾。

1944年7月，費米正式成為美國公民。同年9月，費米向漢福德B反應爐（Hanford B Reactor）插入了第一個鈾燃料芯塊。這個反應爐是為了生產大量的合成鈾而設計建造的。它是由費米的研究團隊設計，而後由杜邦公司建造的，規模比X-10反應爐的更為巨大，並採用水冷。



建造中的B反應爐

1944年中，歐本海默說服費米加入他在洛沙拉摩斯（Los Alamos）領導執行的Y計劃。這一年的9月，費米被委任為實驗室的副主任，負責核物理及理論物理相關事宜。他還負責管理F部。F部下轄4個分支部門：F-1負責研製泰勒設計的「超級」核彈；F-2負責維護「熱水鍋爐」反應爐；F-3由Egon Bretscher負責進行實驗；F-4由安德森負責進行裂變相關研究。

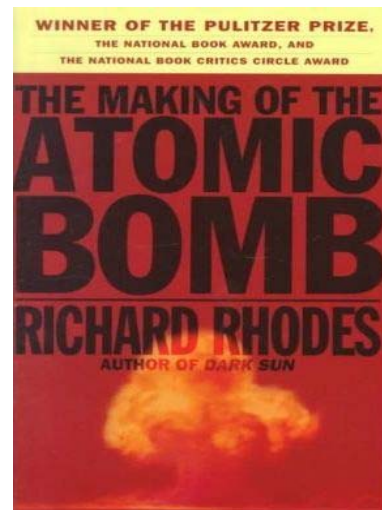
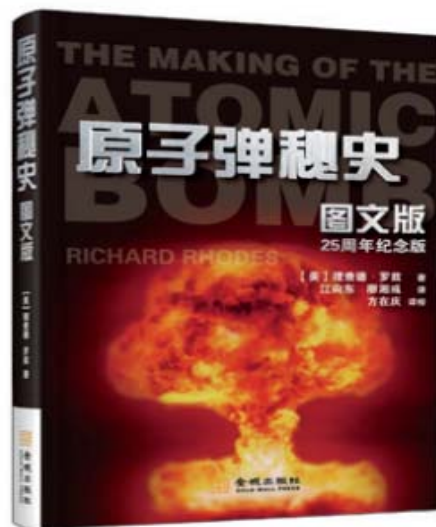
1945年7月16日，費米參與了三位一體核試（Trinity test），並通過觀察爆炸產生的衝擊波能將紙片吹多遠估算了試驗核彈的當量。他的估算結果為10千噸TNT，與實際當量18.6千噸在同一數量級。費米與歐本海默、康普頓以及勞倫斯（Ernest Lawrence, 1901-1958）一道向臨時委員會（Interim Committee）提供有關原子彈轟炸目標的建議。他們一致認同可以在未經預先警告的情況下轟炸工業目標。



(左起) 波耳、歐本海默、費曼、費米攝於洛沙拉摩斯



部分參與「三位一體」實驗的人員與第一顆試驗原子彈合影



楊振寧2018年9月22日的發言：

我没有看到过一本，用中文写的，中学生、大学生和一般知识分子能看懂的，通俗地介绍原子弹在世界各个国家发展过程的书，我觉得这是一个历史上非常重要的事情，可是没有这样的书。

再度輝煌—創立芝加哥學派

二戰末期，芝加哥大學開始轉移核子研究焦點，從戰爭轉為和平用途。1945年7月1日，費米被聘為芝加哥大學的教授。當時芝大計畫季曆三個新的研究所：低溫物理、金屬研究、核研究。**費米不想指導核研究所**，而將此事委託給好友 **S. K. Allison**，從而將自己從繁瑣的事務管理中解脫出來。於是**他在事業上再造輝煌—創立了興旺的芝加哥學派**。

同年12月31日，費米一家從洛沙拉摩斯回到了芝加哥。1946年7月1日，冶金實驗室被升格為阿岡國家實驗室。這是自曼哈頓計劃中衍生出來的第一個美國國家實驗室。

由於阿岡距芝加哥很近，費米可以同時在兩地工作。在阿岡，他與 Leona Woods Marshall (1919-1986) 一起研究 **中子散射**。他還幫助瑪麗亞·梅耶 (Maria Goeppert Mayer, 1906-1972) 深入理解 **自旋-軌域耦合效應**，使梅耶完成 **核殼層模型**。



費米與瑪麗亞·梅耶



Leona Woods Marshall

1947年1月1日，曼哈頓計劃正式被 **美國原子能委員會** (United States Atomic Energy Commission, AEC) 取代。費米在由歐本海默領導的原子能委員會一般顧問委員會中擔任顧問。他每年還會在洛沙拉摩斯度過數週。在那裡，他與 Nicholas Metropolis (1915-1999) 聯合進行一些研究，並與 **馮紐曼** (John von Neumann, 1903-1957) 一起研究 **瑞利-泰勒不穩定性** (Rayleigh-Taylor instability)。

The Monte Carlo method:

Invented in the late 40's by John von Neumann, Stanislaw Ulam and Nicholas Metropolis (who gave it its name), and independently by Enrico Fermi



N. Metropolis

S. Ulam

J. von Neumann

E. Fermi

由 Alfredo Ferrari 製作

1949年8月29日，蘇聯首顆原子彈試爆成功。**費米與拉比**向原子能委員會提交了一篇措辭較為激烈的報告，**從道德層面以及技術層面上強烈反對發展氫彈**。但費米還是成為了洛沙拉摩斯氫彈研究團隊的顧問。他與 **烏拉姆** (Stanisław Ulam, 1909-1984) 合作計算得出泰勒模型中

所需的氘的數量儘管大到驚人，但仍不能保證核融合能夠持續遞移。1954年，費米出席了歐本海默安全聽證會 (Oppenheimer security hearing) 為歐本海默作證。但歐本海默的安全許可最終仍被剝奪了。



Ernest Lawrence, Enrico Fermi and I. I. Rabi at Bandelier, ca 1945.

費米在芝加哥大學物理系又培養了一批優秀的物理學家。他指導的博士生有：張伯倫 (Owen Chamberlain, 1920-2006)、傑弗里·丘 (Geoffrey Chew, 1924-)、弗里德曼 (Jerome Isaac Friedman, 1930-)、戈爾德伯格 (Marvin Goldberger)、李政道、羅森菲爾德 (Arthur Rosenfeld, 1926-2017)、崔曼 (Sam Treiman) 以及 Mildred Dresselhaus (1930-2017) 等人。他還是施泰因貝格爾 (Jack Steinberger, 1921-) 碩士指導教授。

其中曾獲得諾貝爾物理獎的有：

1957年：**李政道** [與**楊振寧**]

1959年：**張伯倫** [與**塞格雷**]

1988年：施泰因貝格爾 [與 Lederman 和 Melvin Schwartz]

1990年：弗里德曼 [與 Kendall 和 Richard Taylor]

張伯倫



弗里德曼



崔曼

丘



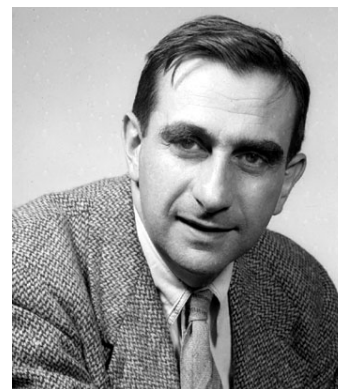
施泰因貝格爾



Mildred Dresselhaus

楊振寧與費米的「師生關係」

楊振寧在物理上受到費米很大的啟發，費米也非常賞識楊振寧，但楊振寧的博士論文指導教授是泰勒。

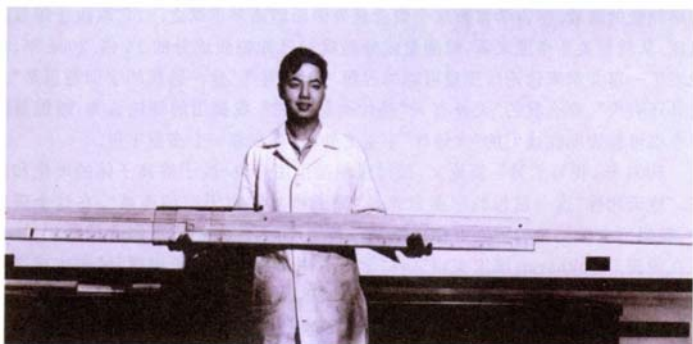


泰勒 (Edward Teller)



1949年攝於費城

李政道的回憶：在那時，費米主要是做實驗。當他錄取我為他的學生時，我是他唯一的理論學生。當我首次提出請求時，他說他不想帶任何理論學生的。因為當時他沒有在理論方面做工作，他正在建造粒子回旋加速器。他正在測量中子—電子相互作用，等等。之後，他說，好啊，他收下了我。這個學生有點挑剔。



費米指導李政道研究白矮星時，為計算需要，幫助他制作了一個長6英尺的計算尺。

費米於此時期在粒子物理學上作出一些重要貢獻，其中包括他對於 π 介子以及 μ 子的研究。他首次預測了 π 介子-核子共振。他在這些研究中主要採用統計方法，因為他知道在理論不甚精確時不必求得精確解。1949年，費米與楊振寧聯名發表論文，提出 π 介子可能是一種複合粒子。這個猜想1956年被坂田昌一發展為坂田模型。最終坂田模型又被夸克模型取代。在這一模型中， π 介子是由夸克組成的。這一模型最終完善了費米模型，並驗證了他的方法的正確性。1952年，費米發現了第一個強子共振—同位旋四重態。

費米還曾做過宇宙射線的相關研究。他認為宇宙射線是由在星際空間中受磁場作用加速的物質粒子產生的。但這與泰勒的看法相左。費米還曾研究過旋渦星系的旋臂中的磁場^[1]。他還曾提出有關地外文明的「費米悖論」。

巨星殞落

1954年下半年，費米被診斷出罹患胃癌。當他的同事去醫院看望他時，費米正在測量他靜脈輸液管裡液體的流速，數著液體的滴數，用秒錶為它們計時。

楊振寧的回憶

1954年11月28日，費米在芝加哥的家中去世，享年53歲。他被葬在橡樹林公墓（Oak Woods Cemetery）。



費米的墓碑

Victor Weisskopf 曾說：「（費米）總是能規避複雜、繁瑣的過程並找到最為簡潔、直接的方法。」費米解決物理問題的能力很大程度上是因為他的本性驅使他規避完美主義，而去追求實際結果。他厭惡煩雜的理論。儘管掌握高超的數學技巧，但在能用更為簡單的方法處理問題時他都不會去使用這些技巧。他以能快速得到較為準確的答案著稱。這種快速得出近似解的方法被人們稱作「費米方法」，受到廣泛效法。

為物理而活的一生

人格特質

費米的個人生活貫徹著「簡單」二字。他極富活力，喜愛運動。而他好勝的天性也在這些方面有所體現。他的網球打法非常兇狠。在登山時，他也常常擔當嚮導。同行者有時會把他叫作「仁慈的獨裁者」。我記得有一次在山頂上，費米起身對我們說：「現在是差兩分兩點，我們兩點時下山。」沒有人敢說不。這樣的領導能力與自信讓他成為物理學界無謬誤的「教皇」。...他的領導才能甚至可能會讓與他共事的人失去獨立工作的能力。我記得有一次在他家舉行的聚會上，我太太剛要切麵包，費米走過來說他有新的切麵包的方法，然後順手從我太太的手中拿過來刀，切起麵包來。他總是相信他的方法更為優越。但沒有人因此感覺受到冒犯。人們反而對費米這個人非常著迷。他很少對物理學之外的東西能感興趣。有一次在聽我彈泰勒的鋼琴時，他坦承地說只對那些簡單的歌曲感興趣。

維格納晚年在自傳中寫道：「費米是我認識過的最偉大的人物之一....費米的 β 衰變理論深深地啟迪了我。在1930年代中期，物理學上的大多數進展好像都或者來自英國劍橋大學的查兒克的實驗室，或者來自羅馬的費米實驗室。...費米起初是作為一名理論家工作的，但現在他卻差不多總是待在實驗室內。...是查兒克在1932年首次發現了中子。但費米的隊伍做出了進一步的發現：可以把中子減慢，以引起一個原子發生人工嬗變。...我們試圖去幫助他，但費米憑著他的魄力和技藝指引著工作的進行，並不需要多少幫助。他不是一個優柔寡斷的人。在物理學的那個國際小圈子裡，費米的名字獲得了最高的尊敬。因此，如果他需要大量的石墨，就會有人很快送給他。他不需要給他的助手們下命令。他們都自然而然地吸取他的建議。費米最驚人的品格，同時表現在他的科學工作和他的人際關係這兩方面。...他不花多少時間去揣摩他的同事和朋友們；但他很難得對他們判斷失誤。費米不僅能力很強，而且和藹可親。並且，儘管名望很高，他從不裝腔作勢。」

楊振寧在〈他永遠腳踏實地——紀念費米誕辰100周年〉後記中寫道：

人們常說，在所有20世紀物理學家當中費米是獨一無二的，在理論和實驗上都做過一流的貢獻。我要指出在另一方面他也是獨特的：他從來沒有有意識或無意識地試圖將他的聲望和影響力，膨脹到現實或他真實的自己的範圍之外。為了強調這一點我選了莎士比亞的第94首十四行詩中的八行來介紹費米。....

力能加害而不屑，最顯能為而不為；
能動他人己如石，堅定冷靜不為移；
如彼允宜得天厚，自然豐賜不浪擲；
如彼誠彼美顏后，他人糜耗為美役。

...相反的，歐本海默和泰勒都享有而且追求權力和影響力。我相信這是他們之間的衝突，和他們很不相同的悲劇性生命的主要原因。

當我在上述這篇文章中寫到費米時說：

他永遠腳踏實地。他的能力極強，卻不濫用影響，也不嘩眾取寵，或巧語貶人。我一直認為他是一個標準的儒家君子。

我認為這樣的人品在今天的美國是不多見的。美國社會似乎將它的傑出人士推向相反的方向。歐本海默、泰勒、費曼、孔恩（T. Kuhn），各有自己的一套取悅觀眾、標榜自己的方法。

美國的科學在突飛猛進，成功的美國科學家們常常是極端進取而鋒芒畢露的。難道這兩件事是相關的嗎？

教學研究特色

費米在教學方面成績斐然。他以注重細節、講求簡潔、備課認真*著稱於世。物理學家威特伯格對費米的教學風格有過生動的描述：「費米講課層次分明而有邏輯性，學生很容易跟上他的思路；他努力減少複雜的證明以及影響主題的技節問題；他知道什麼是重要的，什麼是應該忽略的，他簡短的論證往往充滿說服力；他上課不用課本，也不帶講義，他指定的課後作業通常是物理問題的應用，強調分析能力，往往要求多種解答。」

費米非常重視編寫教材。1928年，他編寫的教材《原子物理學引論》（*Introduzione alla fisica atomica*）出版，為當時的義大利的大學生提供了當時最新的相關知識。他的講義後來都被改編為教科書。

*楊振寧回憶費米時舉的例子

楊振寧對費米的回憶

眾所周知，費米的講課非常明白易懂。他的特點是：每個專題都從頭講起，舉簡單的例子並且盡可能避免「形式主義」。（他常常開玩笑說，複雜的形式主義留給「主教們」去弄吧！）他推理簡明，給人的印象是得來全不費工夫。但這種印象是錯誤的，他的簡明是精心準備，反覆推敲，權衡各種不同描述方式的利弊之後才得到的。費米習慣於每週對很少的幾個研究生作一兩次非正式的、沒有什麼準備的講演。大家聚集在他的辦公室，然後由他或某個學生提出一個專門的課題。接著費米就查閱他那些做了詳細索引的筆記本，找出關於該專題的筆記，隨後給我們講解。.....這些討論維持在初級水準，費米總是強調論題的本質與實用，所採取的方法通常不是分析性的，而是直觀的和幾何的。

這麼多年來，費米一直就物理學的各個不同科目做著詳細的筆記，從純理論物理到純實驗物理，從三體問題的最佳座標這樣簡單的問題到廣義相對論如此深奧的題目，這一事實本身對我們所有人就是重要的一課。我們懂得了，這就是物理學；我們懂得了，物理學不應該是專家的學科，物理應該從平地壘起，一塊磚一塊磚地砌，一層一層地加高；我們懂得了，抽象化應該在仔細的基礎工作之後，而絕不是在它之前。

除了正式和非正式課程以外，費米還將他的午餐時間幾乎全部獻給了研究生（起碼在1950年之前是這樣）。午餐時進行的談話很自然地涉及各種題材。我們發現，費米有幾分保守，喜歡獨立思考。我們注意到，他討厭任何形式的做作。關於我們的研究工作，他有時會給一些概括性的忠告。

李政道對費米的回憶

我在1947年成為費米的博士研究生。...這是我第一次直接（一對一）與費米較長接觸。他非常有耐心。...在那時，費米主要是做實驗。當他錄取我為他的學生時，我是他唯一的理論學生。...他要我讀文獻，然後給他上課。所以，我們每星期會面一次，一起度過一個下午。...他是一位極卓越的老師，當時（1948年），費米早已被公認為物理泰斗，而我僅是由中國來美國不久的青年學生。可是費米老師不惜時間和精力，引導我，教育我。

費米，他是特殊的，他具有極強的將抽象的事情具體化的理論分析能力，而且他又能設計和執行極有效的實驗證明。可以簡而言之說，他擁有極不平凡的天才，能將不同的，極難瞭解的自然現象都演變成清晰化、明朗化的能力。費米是一位極偉大的理論和實驗物理巨人，他也是一位很善教導很能引人深入的超級老師。

綜合評論

事必躬親對細節孜孜以求

理論與實驗並重

親自動手製作儀器和參與實驗

鍾情於物理教學，在培養下一代物理學家的過程中給他帶來巨大的愉快和享受。

永遠站在物理學進展的前沿

對於費米來說，物理學才是高於一切的。

費米就是為物理學而生的！



費米發明的一種可以用來研究中子輸運的模擬裝置FERMIAC



感想
與
討論

封面圖案說明

封面圖案由四十四位重要物理學家的圖片或相片依成就的大致先後順序組圖而成，他們是：

第一列：Galileo **Galilei**, Robert **Hooke**, Isaac **Newton**, Christiaan **Huygens**, Daniel **Bernoulli**, Joseph-Louis **Lagrange**, Charles-Augustin **de Coulomb**, Alessandro **Volta**, James Prescott **Joule**, Thomas **Young**, Augustin-Jean **Fresnel**, Nicolas Léonard Sadi **Carnot**, Michael **Faraday**, Rudolf Julius Emanuel **Clausius**.

第二列：James Clerk **Maxwell**, Ludwig Eduard **Boltzmann**, William Rowan **Hamilton**, William Thomson (Lord **Kelvin**), Hendrik Antoon **Lorentz**, John William Strutt (Lord **Rayleigh**), Max **Planck**, Josiah Willard **Gibbs**, Albert **Einstein**, Ernest **Rutherford**, Heike Kamerlingh **Onnes**, Niels **Bohr**, Louis **de Broglie**, Max **Born**, Werner **Heisenberg**.

第三列：Erwin **Schrödinger**, Wolfgang **Pauli**, Paul **Dirac**, Enrico **Fermi**, 湯川秀樹 (**Hideki Yukawa**), Lev **Landau**, 朝永振一郎 (**Sin-Itiro Tomonaga**), Julian **Schwinger**, Richard **Feynman**, John **Bardeen**, 楊振寧 (**Chen Ning Yang**), 李政道 (**Tsung Dao Lee**), 吳健雄 (**Chien Shiung Wu**), Murray **Gell-Mann**, Steven **Weinberg**.