



物理學史研習會 (一)

手冊

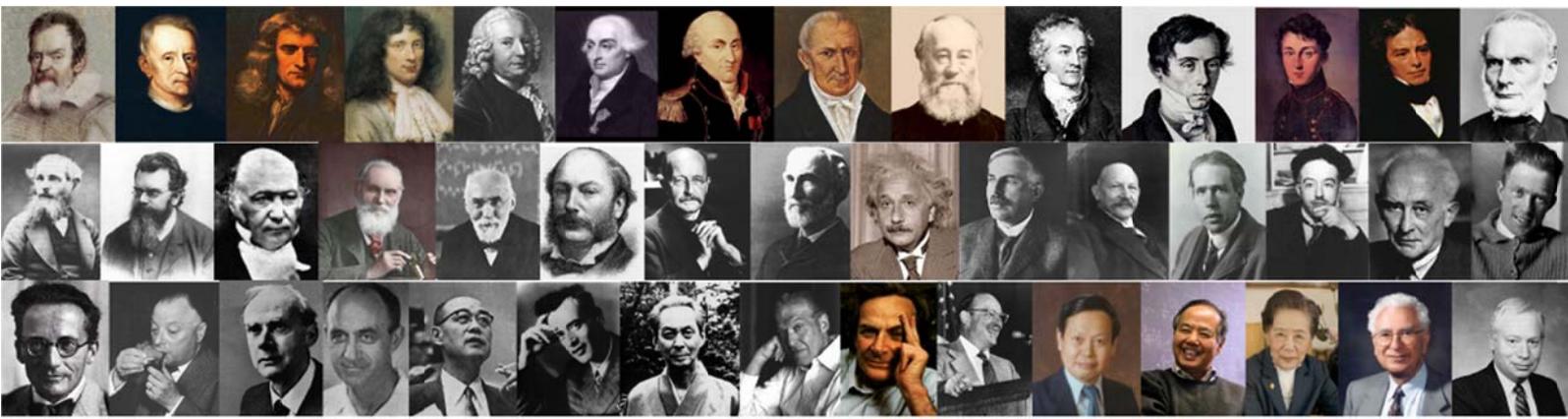
主辦：東吳大學物理學系

贊助：Friends of Soochow, USA

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

2013年9月28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，重視物理學史的教育。劉源俊教授曾多次講授物理學史。1999年3月，北京清華大學郭奕玲教授應邀來校擔任客座教授一學期，講授「物理學史專題」，受到學生們歡迎。

本學年，「東吳之友基金會」(Friends of Soochow) 資助本校理學院舉辦學術活動的經費輪到由本學系使用，本學系乃決定於2013年9月28日與10月5日，一連舉辦兩次「物理學史研習會」，希能嘉惠在校學子，並拓廣教師視野。本項活動亦獲得教育部「普通高級中學課程物理學科中心」協助辦理，於是廣邀高中物理教師參加，期能裨益高中物理教育。

本研習會原本邀請三位大陸學者來臺——北京清華大學物理學系退休教授郭奕玲、沈慧君以及北京大學物理系退休教授秦克誠。秦教授因故不克前來，乃推薦河北大學科學技術史研究所的厚宇德教授與會。研習會又邀請到幾位在臺學者共襄盛舉，包括：清華大學退休講座教授閻愛德、臺灣大學物理學系高涌泉教授以及本校物理學系劉源俊教授與任慶運副教授。

特別值得一提的是，郭奕玲教授熱情可佩，他以八二之高齡與沈教授聯袂提早來到東吳大學，除支持本研習會之外，更不辭辛勞應邀到臺灣各地高中與大學講演。他從物理學史的角度生動切入，啓迪後進對物理學的興趣，效果明顯，更爲本研習會增添許多光彩。

本研習會發佈消息後，報名踴躍，很快即額滿；相信必是一項成功的活動。如果學員們反應良好，本項活動未來或將每年陸續舉辦，成爲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

蕭先雄

謹誌

中華民國 102 年 9 月 28 日

物理學史研習會（一）

手冊

目錄

- 前言
- 物理學史研習會（一）議程
- 講師簡介
- 郭奕玲/沈慧君 諾貝爾物理學獎的分析（提綱）
- 閻愛德 波爾（綱要）
- 任慶運 英美物理教科書的回顧（摘要）
- 厚宇德 馬克斯·玻恩的科學貢獻
- 劉源俊 從牛頓到愛因斯坦



物理學史研習會（一）

時間：2013年9月28日（星期六）

地點：臺北市士林區外雙溪 東吳大學第一教學研究大樓 源流講堂

主辦：東吳大學物理學系

贊助：東吳之友基金會（Friends of Soochow, USA）

協辦：教育部普通高級中學課程物理學科中心（臺中一中）

時間	講師	講題
09:00~09:10	蕭先雄（東吳大學物理學系主任）	開幕致詞
09:10~10:40	郭奕玲（北京·清華大學物理學系退休教授） 沈慧君（北京·清華大學物理學系退休教授） 討論	諾貝爾物理學獎的 分析
10:40 ~ 11:00 茶敘		
11:00~12:30	閻愛德（清華大學理學院退休講座教授） 討論	波爾
12:30 ~ 13:30 午餐		
13:30~14:30	任慶運（東吳大學物理學系副教授） 討論	英美物理教科書的 回顧
14:30~16:00	厚宇德（河北大學科學技術史研究所教授） 討論	馬克斯·玻恩的科學 貢獻
16:00 ~ 16:20 茶敘		
16:20~17:50	劉源俊（東吳大學物理學系名譽教授） 討論	從伽利略、牛頓到愛 因斯坦

講師簡介



郭奕玲，北京清華大學物理系退休教授。

1931 年生於上海，原籍江西省南康市。

1949-1952 年在北京清華大學物理系學習，1952 年畢業後留清華大學物理教研組任教，1992 年退休。退休後的 20 餘年，一直在北京清華大學開設選修課，並在上海、江蘇、浙江、黑龍江、遼寧、山東、廣東、廣西、湖北、福建等地巡迴講學。

曾任：大慶石油學院、上海師範大學、華東地質學院、東吳大學等 10 餘所院校的兼職教授或客座教授以及《大學物理》編委、中國物理學會教學委員會委員等職務。

著有《近代物理發展中的著名實驗》、《諾貝爾物理學獎，1901—2010》、《物理學史》等 30 餘部著作。



沈慧君，北京清華大學物理系退休教授。

1935 年生於天津，原籍浙江省慈谿市。

1953 年入清華大學學習，1958 年畢業於清華大學工程物理系，後留校任教至 1995 年退休。退休後一直與清華大學物理系郭奕玲教授合作，在全國各地巡迴講學。

曾任：中國物理學會理事、北京物理學會常務理事兼副秘書長、《物理通報》編委、贛南師範學院等校兼職教授。

著有《大學物理習題討論課指導》、《經典物理中的著名實驗》、《物理學史話》、《X 射線與顯微術》、《物理學史》等 20 餘部著作。



閻愛德，清華大學物理學系退休講座教授。

1940 年生。

國立台灣大學肄業（1957-58）、美國 University of Iowa 學士（物理、數學，1961）、美國 State University of New York at Stonybrook 博士（1968，論文指導教授：楊振寧；研究專長：粒子物理）。

曾任國立清華大學物理系副教授、教授（1976-2006）、系主任（1979-1981）。退休後繼續在清華大學任教「近代物理導論」

等課。

曾任行政院同步輻射中心籌建處用戶培訓組兼任副主任（1984-1985）、主任（1985-1986），籌建處副主任（1986-1990）、計劃主持人（1986-1993）、主任（1990-1993）；中華民國物理學會理事長（1979-1981）。

曾獲中華民國物理學會特殊貢獻獎（1996）、行政院三等服務獎章（1994）、國立清華大學傑出教學獎（1987, 1995, 2002）、教育部教學特優教師獎（1988）。



厚宇德，河北大學宋史研究中心、科學技術史研究所教授、研究生導師。中國科學技術史學會理事。

1963 年生。

畢業于東北師範大學物理系，做過 23 年高校物理教師（助教、講師、副教授、教授）；後於北京科技大學獲得科學技術史博士學位。2009 年曾受紐約李氏基金資助在劍橋李約瑟所訪學。主要研究古今物理學史，撰寫過浙江省高等教育重點教材《物理文化與物理學史》，曾出版科學思想史著作《溯本探源—中國古代科學與科學思想史專題研究》及人物研究著作《玻恩研究》。發表過科學技術史類文章 70 餘篇。



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），美國 University of Maryland 博士（1992）。

曾任東吳大學物理學系主任、教務處課務組組長。

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《肇論古注匯釋》等四種。



劉源俊，東吳大學物理學系教授。

1946 年生於雲南昆明，原籍江蘇青浦。

臺灣大學理學士（1966），美國 Columbia University 大學物理學博士（1972）。

在東吳大學物理學系任教已 41 年。曾任東吳大學物理學系主任、理學院院長、教務長、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。

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。

著有《量子物理綱要》、《釋說新語》，與任慶運合編《科學經典選讀》。



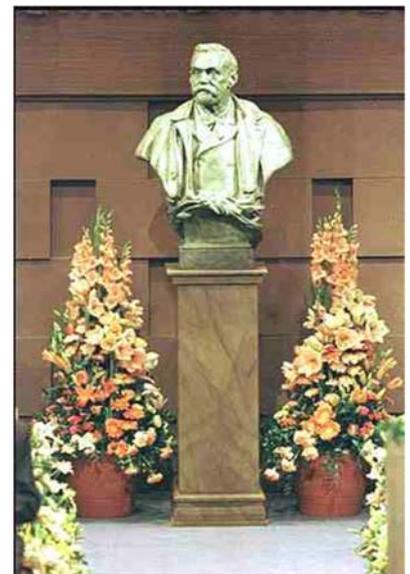
諾貝爾物理學獎的分析

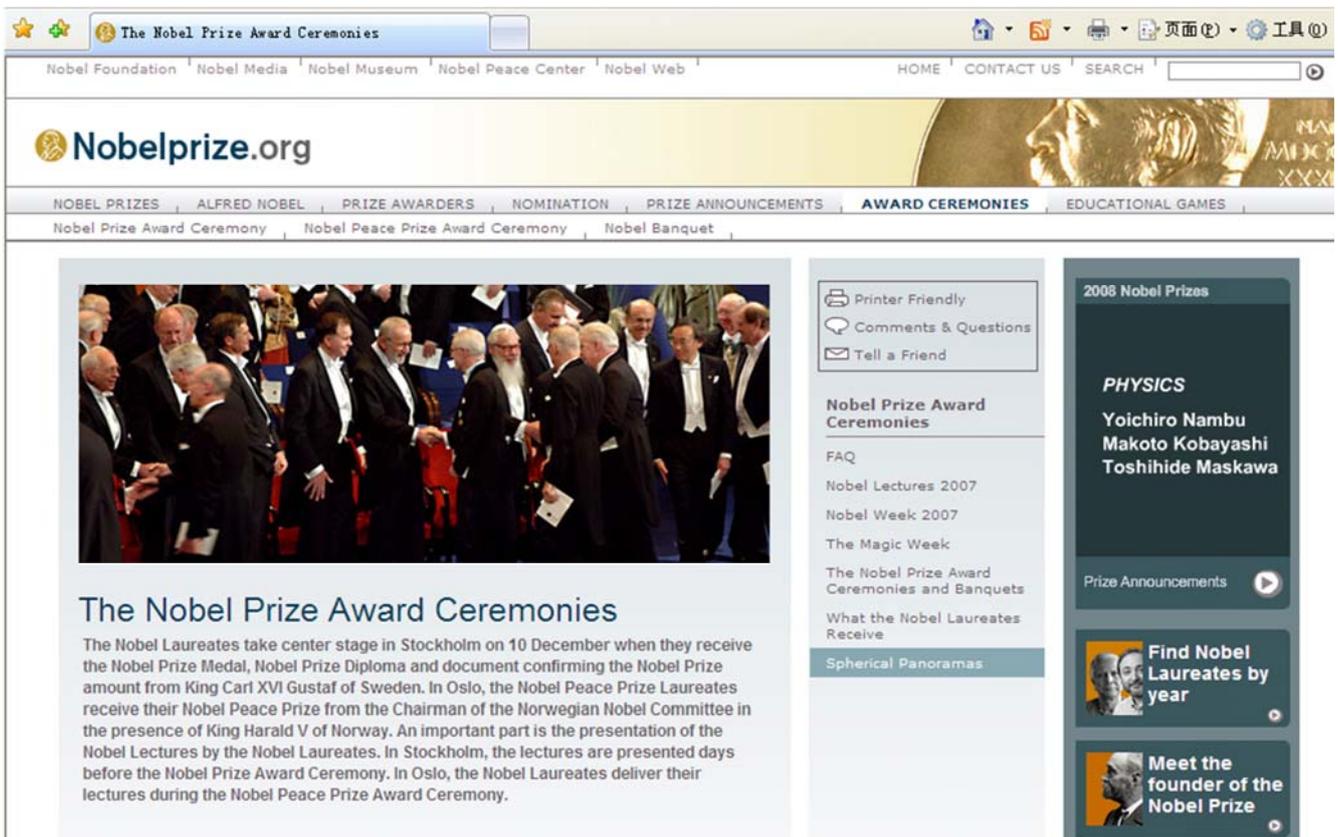
2013-9-28臺北

北京清華大學物理系
郭奕玲 沈慧君

諾貝爾物理學獎是現代物理學偉大成就的縮影

- 折射出了現代物理學發展的軌跡和趨勢
- 瞭解諾貝爾物理學獎的
 - 得獎原因
 - 具體內容
 - 以及獲獎者的
 - 生平 成長過程
 - 貢獻 取得突破的關鍵
 - 經驗 創新
- 可以得到多方面的啟示

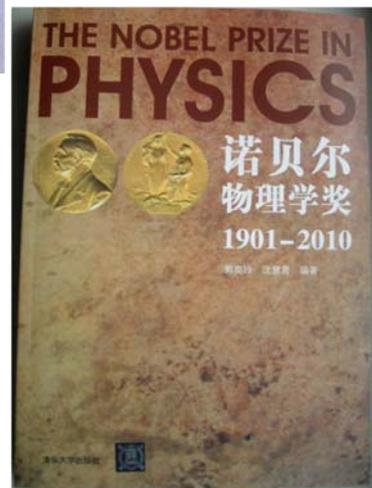
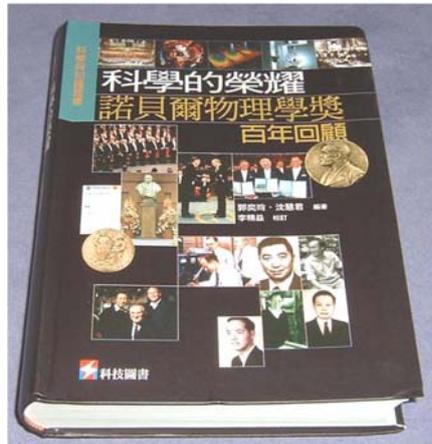
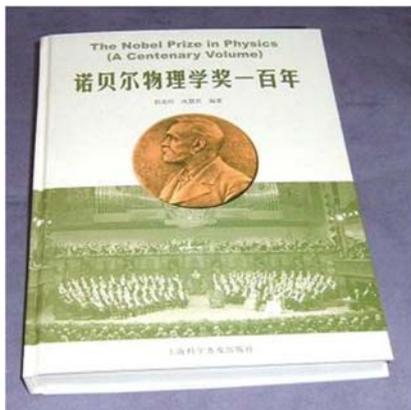




諾貝爾基金會官方網站



[點擊
打開](#)



介紹諾貝爾物理學獎的幾本書

諾貝爾物理學獎的分析

一 簡介

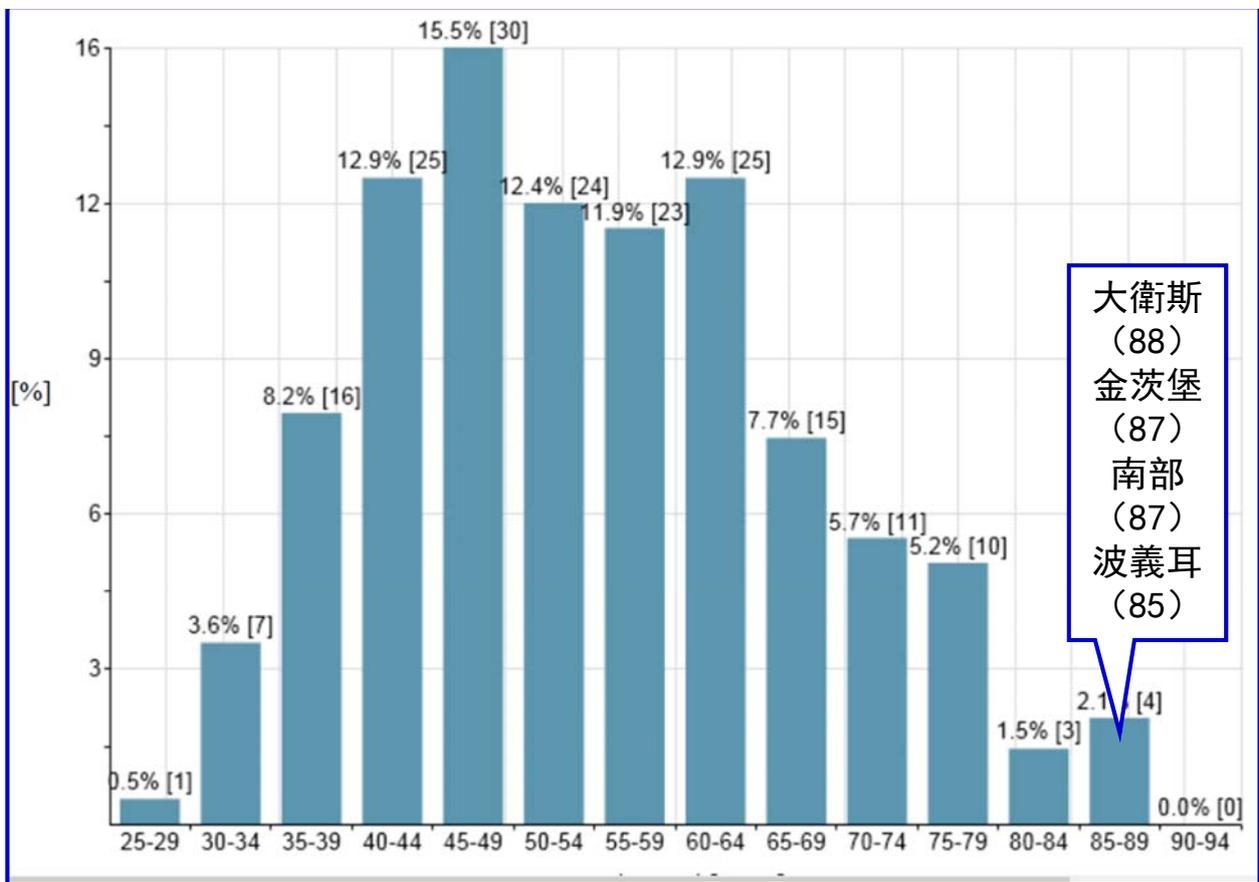
二 分析

三 啟示

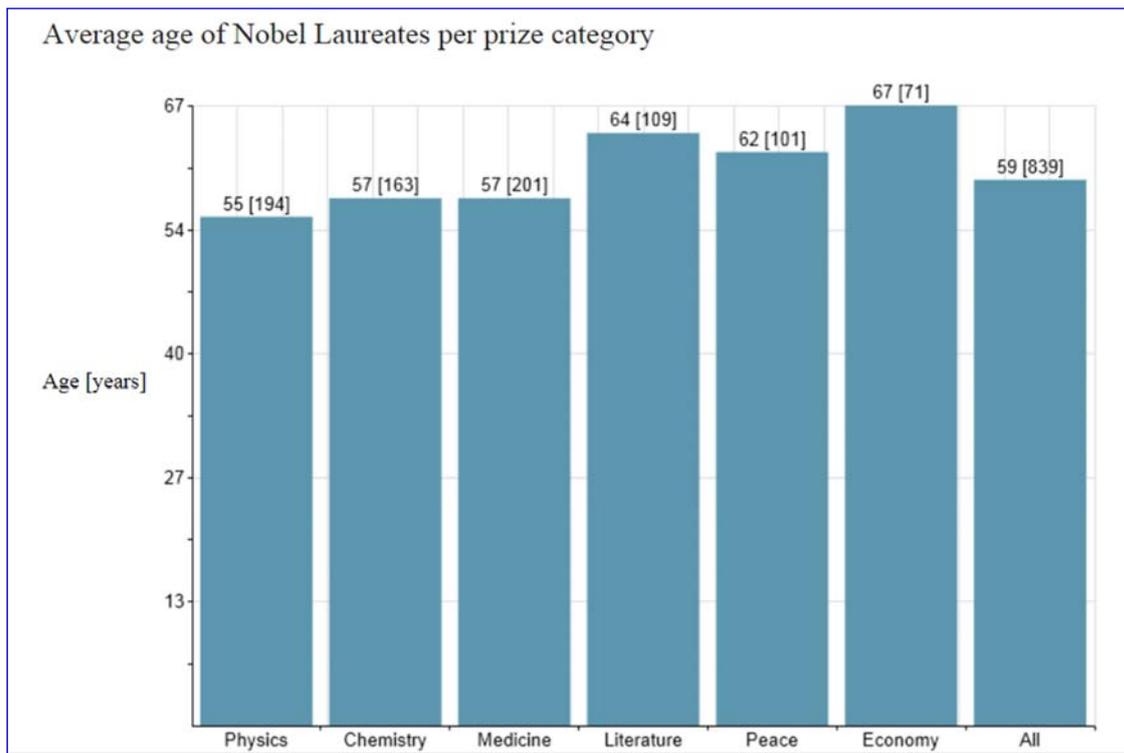
1901-2012年諾貝爾物理學獎獲得者的國籍分佈統計

美國 90	俄國 11	日本 6	中國 2	巴基斯坦 1
德國 23	荷蘭 9	丹麥 3	波蘭 1	澳大利亞 1
英國 24	瑞典 4	義大利 3	印度 1	
法國 12	瑞士 4	奧地利 2	加拿大 1	總計 194



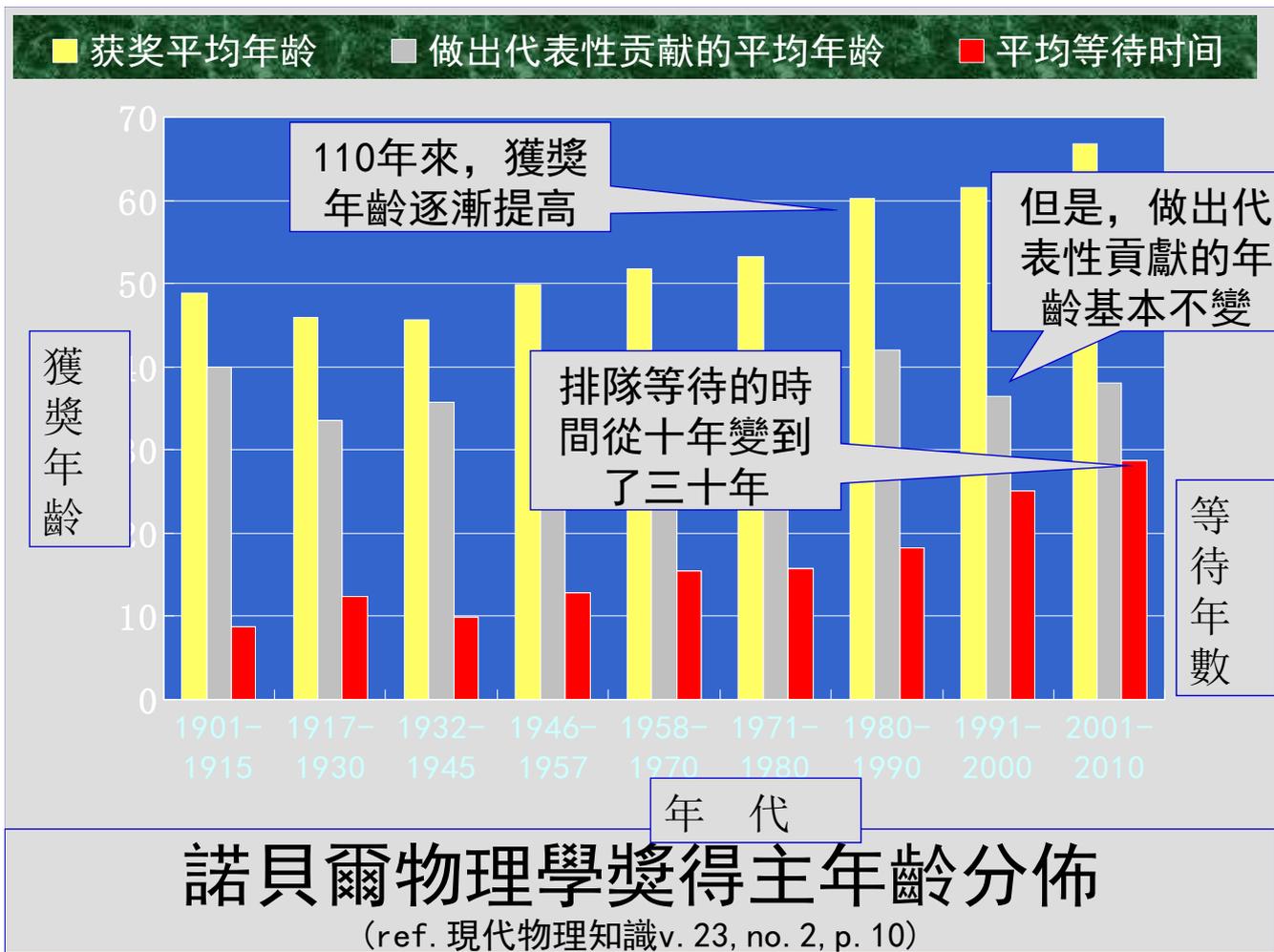


諾貝爾物理學獎得主獲獎年齡分佈

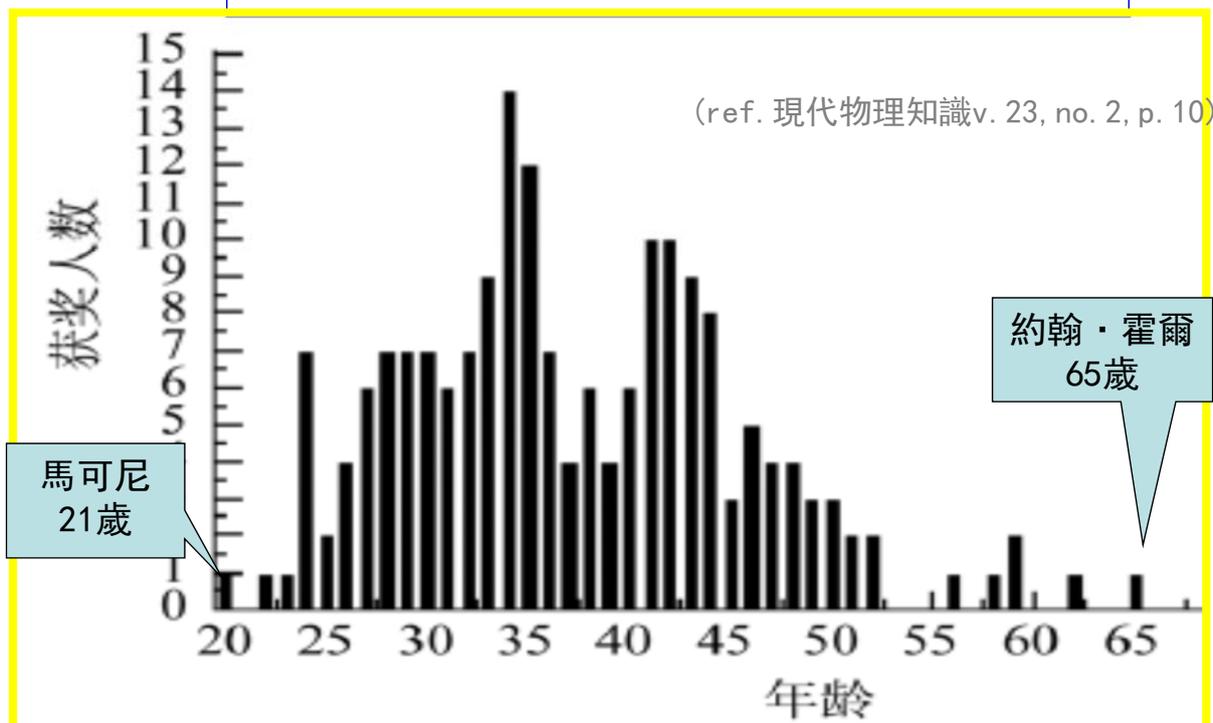


在諾貝爾獎中物理學獎得主獲獎的平均年齡最小





統計做出代表性貢獻的年齡



- 說明最具創造性的工作年齡是在25-45歲之間

以年代分

- 前45年 (以1945年第二次世界大戰結束為界)
 - 美國獲物理學獎的有8人，而英國10人，德國11人。
 - 說明物理學研究中心在歐洲，尤其是德國。
 - 柏林、慕尼黑和格丁根等大學都有理論物理研究中心，
 - 一大批諾貝爾物理學獎獲得者曾在那裡學習或工作過。
 - 英國劍橋大學的卡文迪什實驗室則是實驗物理的研究中心，
 - 很多新發現都是在這裡作出的。
- 後67年
 - 自第二次世界大戰結束至今，
 - 獲得諾貝爾物理學獎的美國人和具有美國國籍的科學家明顯增多，
 - 世界自然科學的研究中心已從歐洲轉移到了美國。

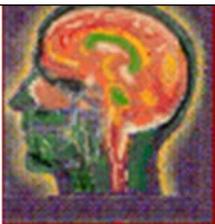
諾貝爾物理學獎獲獎專案學科分類

學科分類	次數
熱學、物性和分子物理學	7
光學	32
量子理論	26
X射線學	8
原子物理學	9
核子物理學	15
粒子物理學	49
凝聚態物理學	29
磁學	4
無線電電子學	9
波譜學	15
天體物理學	13
低溫與超導	13
新效應	12
物質微觀結構	10
新技術	26

2005
鐳射量子理論
光頻梳技術



2012
量子陷阱技術



2008
發現自發對稱性破缺機制

2007
巨磁電阻效應

2011
宇宙加速膨脹

2006
精確測量宇宙背景輻射

2010
石墨烯

2009
光纖與CCD

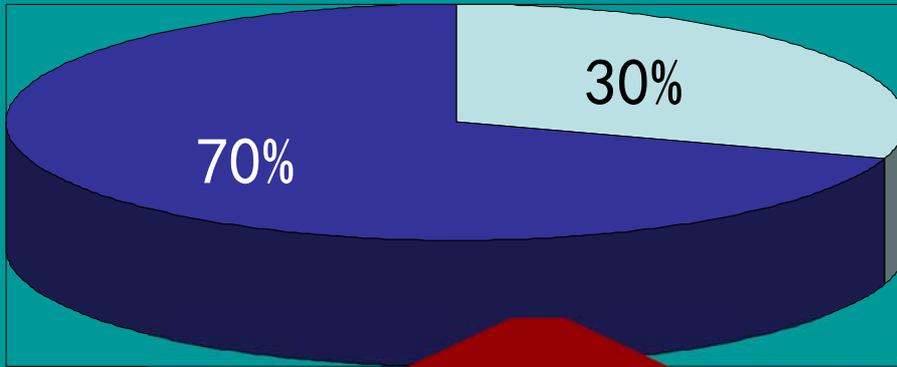
現代物理學的發展
諾貝爾物理學獎包括在內，否則不能看

實驗

理論

□ 理论

■ 实验



諾貝爾物理學獎獲得者

諾貝爾物理學獎的分析

一 簡介

二 分析

三 啟示

第二部分 分析

- 諾貝爾物理學獎得主的成功業績可以為人們提供豐富的經驗，很值得進行詳盡的分析。
- 他們都有其特殊的經歷，他們所處的時代有所不同，他們從事的學科和研究的課題也不一樣，但是有一點卻是共同的，就是他們都做出了突破性的成果，他們都有所創新。
- 這些科學精英之所以能做出突破性的成果，固然是由於他們主觀努力、治學得法、勇於進取、善於把握機遇，也和他們所處的環境和社會背景密切相關。
- 分析其內因：他們是如何創新的？他們的治學有什麼經驗？他們的成長經歷中有什麼特殊的地方？能不能找到一些共同的特點？
- 分析其外因：外界的環境對他們有什麼影響？為什麼諾貝爾物理學獎得主往往比較集中地出現在某些科研機構、高等學府和社會群體之中？有沒有什麼規律性？

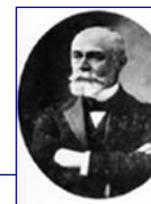
不同的經歷，共同的追求

青少年時代不尋常（邁克爾遜）
受到良好家庭教育（小湯姆生）
得到良師益友啟蒙（海森伯）
從小養成獨立思考精神（愛因斯坦）



執著追求、獻身科學（居里夫人）
認真實驗、勇於認錯（密立根）
嚴謹的作風（丁肇中）
善於依靠團隊（勞倫斯）

抓住關鍵，迎難而上（昂納斯）
艱苦卓絕、發憤圖強（李政道）
善於抓住偶然因素（貝克勒爾）
勇於提出新思想和新方法（費曼）



青少年時代不尋常、受到良好家庭教育、得到良師益友啟蒙、從小養成獨立思考精神、很早就領悟到科學的真諦、很早就立下了科學追求的遠大目標。只有這樣才能在眾多的同輩中脫穎而出。



抓住關鍵，迎難而上；艱苦卓絕、發憤圖強；善於抓住偶然因素；善於提出新思想和新方法；扎扎實實、打好基礎。這樣才能攀登科學的高峰。

以上講的是內因，下面再講外因

榜樣和楷模



養成執著追求、獻身科學的精神、認真實驗、嚴謹踏實的作風，不怕失敗、不怕犯錯誤、善於依靠團隊，才能取得優異的成果。



社會和歷史背景

- 為什麼英國劍橋大學的卡文迪什實驗室會是諾貝爾獎的搖籃？
- 為什麼貝爾實驗室會不斷湧出諾貝爾獎水準的科研成果？
- 為什麼一大批與量子理論有關的諾貝爾獎得主，正是在德國處於內外交困的20年代做出突破性成果的？
- 為什麼美國會後來居上，在第二次世界大戰以後，在諾貝爾獎的名單中竟然長期保持三分之二的份額？
- 為什麼在諾貝爾獎得主中常常出現“名師出高徒”的現象？
- 為什麼會有多次父子都得諾貝爾獎的情況？
- 為什麼很多諾貝爾獎得主是猶太血統的科學家？
- 女性獲獎比例為什麼這麼少？印度和日本為什麼能在本土得獎？
- 諾貝爾獎有什麼遺憾？

諾貝爾物理學獎的分析

- 一 簡介
- 二 分析
- 三 啟示

我們從諾貝爾物理學獎，可以學習到

- 科學家的成長經歷
- 他們發奮圖強、艱苦奮鬥
- 他們努力學習、善於繼承
- 他們的探究精神
- 他們創新和作出突破的經驗
- 這些內容是對學生進行勵志教育的極好教材

我們從諾貝爾物理學獎，還可以看到

- 現代物理學發展的脈絡
- 物理學正在向深度和廣度進軍
- 物理學是推動科學技術發展的火車頭
- 越來越多的科研成果正在等待諾貝爾獎的垂青
- 學術帶頭人在形成科學集體中起核心作用
- 諾貝爾獎的頒發對人類社會正在發揮越來越大的激勵作用，值得我們關注

波爾（綱要）

閻愛德

序言

I. 童年及青年（1885-1911）

在丹麥出生

童年

學生時代

II. 至英國留學（1911-1912）

劍橋 湯姆孫（Thomson）

曼徹斯特 盧瑟福（Rutherford）

III. 波爾的氫原子理論（1913）

巴耳末公式（Balmer formula）

波爾模型

反應

對應原理（correspondence principle）

IV. 古典量子理論（1914-1924），建立研究基地

波爾—索末菲理論

建立研究中心（1921）

波爾節（哥廷根自 1922 開始）

諾貝爾獎（1922）

在哥本哈根發現鈹（Hf-72）元素（Coster and Hevesy）

至美國訪問（1923），與洛克費勒基金會取得連繫

波爾與愛因斯坦

BKS 理論（The Bohr-Kramers-Slater theory, 1924）

V. 量子力學的發現（1924-1926）

德布羅意（de Broglie）

克喇末 (Kramers)
海森堡 (Heisenberg)
波恩 (Born)
約旦 (Jordan)

VI. 哥本哈根詮釋 (1926-1927)

1926 年哥本哈根的團隊
薛定諤之訪問
波爾與海森堡的對話
測不準原理 (海森堡, 1927 年 3 月)
並協原理 (波爾, 1927 年 9 月)
愛因斯坦與波爾的對話
1927 第五次索偉 (Solvay) 會議
1930 第六次索偉會議
EPR 論文 (The Einstein-Podolsky-Rosen paper, 1935)

VII. 1930 年, 波爾推動在物理與生物方面的實驗研究

在研究所建造加速器
迴旋加速器於 1938 年開始運轉
在研究所中鼓勵推動 Hevesy 及 Levi 發展中子激化分析及開始一個同位素示蹤的計畫
成為丹麥癌症協會之會長
五十歲時收到 600 mg 的鐳

VIII. 原子核物理 (1936-1943)

β 蛻變是原子核反應
複合原子核 (1936)
研究所的主要研究方向由原子光譜學轉向原子核反應
在 1939 年華盛頓會議中, 波爾及費米對和分裂提出報告
波爾—惠勒的核分裂理論
波爾提出由中子引發的鈾分裂是來自稀有同位素 235
波爾與海森堡於 1941 年在哥本哈根會面
離開丹麥 (1943)
首次訪問 Los Alamos (1943)

IX. 波爾及哲學

唯象尚實者 (phenomenological realist)
並協主義 (complementarism)

X. 戰後年代（1945-1962）

帶電粒子在物質裡能量的消耗（1912, 1948, 1954）

電磁場量的可測性（Rosenfeld, 1933,1950）

「開放」（“Glasnost”）的先驅者

CERN

Nordita

RISE

尾聲 人格特質

愛好家庭

責任感

對後人的激勵

至中國的訪問

On Niels Bohr

Prelude

- I. Childhood and Youth (1885- 1911)
 - “ In Denmark I was Born...”
 - Boyhood
 - Student Days
- II. Study in England (1911 – 1912)
 - Cambridge Thomson
 - Manchester Rutherford
- III. Bohr’s Theory of Hydrogen Atom (1913)
 - Balmer formula
 - Bohr’s model
 - Reaction
 - Germens of the correspondence principle
- IV. Old Quantum Theory (1914 – 1924) → Sommerfeld
 - Establish the Institute (1921)
 - Bohr Festspiele (Gottingen since 1922)
 - Nobel prize (1922)
 - Discovery of Hafnium from Copenhagen(1923, Coster & Hevesy)
 - Visit to the U.S.A.(1923) → contact with Rockefeller foundation
 - BKS theory
 - Bohr and Einstein
 - .
- V. Discovery of Quantum Mechanics (1924—1926)
 - de Brogile
 - Kramers
 - Heisenberger
 - Born (1926)
- VI The Spirit of Copenhagen (1926—1927)
 - The Copenhagen team in 1926 (Kramers, Thomas, Klein, Dirac, Heisenberg, Pauli)
 - Schrodinger’s visit
 - Prelude to complementarity: the Bohr-Heisenberg dialog
 - The uncertainty relation (1927, March)
 - Complementarity (1927, Sept.)
 - 1927 the 5th Solvay conference
 - 1930 the 6th Solvay conference

- 1935 EPR paper
- VII. Bohr Orchestrated experimental progress in Physics and in Biology in 1930's)
- Building accelerators
- Help to develop the neutron activation analysis and isotopic tracer in biology (Hevesy and Levi)
- VIII. Nuclear Physics (1936- 1943)
- Compound nucleus (1936)
- Main direction of the institute moves from atomic spectroscopy to nuclear process
- Bohr and Fermi report on fission in Washington meeting in 1939
- Bohr-Wheeler theory of fission
- Bohr proposes the uranium fission by slow neutron is due to rare isotope 235
- Bohr – Heisenberg meets in Copenhagen (1941)
- Leave Denmark and first visit to Los Alamos (1943)
- IX. Bohr and Philosophy
- Phenomenological Realists
- Complementarism
- X. Later Years (1945- 1962)
- Physics Research
- stopping and scattering power of electrically charged particles in matter (1912, 1948, 1954)
- on the measurability of electromagnetic field quantities (1933,1950)
- Pioneer of Glasnost
- CERN
- Nordita
- RISE
- The later travels

Epilog : Personality and Characters

Family man

Sense of Responsibility

Inspiration to younger generation

Visit to China

英美物理教科書的回顧

任慶運

東吳大學物理學系副教授

2013 年 9 月 28 日

近年來，中小學生甚至大學物理系學生之閱讀、思考、推理、演算之能力，一落千丈大不如前，原因甚多，數理教科書實難辭其咎。以往初中平面幾何「已知、求證、證明」之嚴謹訓練，已不復見於現今國中之教育。嘗欲蒐羅舊日數理教科書作為參照之例而不可得。偶因瀏覽《陳省身文選》，得知其數學啟蒙獲益於 Hall and Knight 之 *Algebra* 與 *Higher Algebra*，以及 Wentworth and Smith 之 *Geometry* 及 *Trigonometry* 等，并又得知遲至四五十年代，Hall and Knight 之「二氏代數」仍為前輩同事進修之書。由此偶然之因緣，並藉網路之便利，乃隨手蒐集十九世紀至二十世紀英美數理教科書。累積漸夥，頗可觀其等類、察其流變。

往昔分科不如今日之細密，如前引 Wentworth 之例，教科書作者常兼通數學與物理、理論與應用，其書統稱為 natural science，而與 natural history 對揚。本文列舉若干現今已鮮為人知而當時頗負盛名之著作，以供有志者廣續探索之資。

今日物理與數學通用之向量記號，興起於十九與二十世紀之交。於此之前，四元數 (quaternion) 由當時科學界巨擘漢米爾頓 (Sir William Rowan Hamilton) 倡議於先，其追隨者泰德 (Peter Guthrie Tait) 響應於後，而吉布斯 (Josiah Willard Gibbs) 創用向量 (vector)，以一「後生小輩」，獨排眾議，卒能於十年之間，席卷學界，泰德亦為之盡棄前說，四元數因而讓位。吉布斯於耶魯大學之講稿，由 Edwin Bidwell Wilson 編輯成書，以 *Vector Analysis* 之名刊行出版。此書敘述詳盡而說理清晰，即使今日視之，亦極有啟發，其價值不僅止於歷史舊作之緬懷。

泰德追隨漢米爾頓之「四元數」雖已成明日黃花，其與卡爾文 (Lord Kelvin, 本名 William Thomson) 合著之 *Treatise on Natural Philosophy* 兩冊共逾千頁，卷帙浩繁，而近年仍有重印本。此書雖以自然科學為名，仍以今日之古典力學為主。

晚清之際，務實求知之士崇尚西學，英美傳教士乘勢引進時尚新說，本文舉三例以概其餘：胡威立 (William Whewell) 之《重學》、侯失勒 (Sir John Frederic William Herschel) 之《談天》、莫耳登 (William James Morton) 之《通物電光》。重學即牛頓之重力理論，然傳教士固稱博學，究非專業科學家，不遑譯經典之《自然科學之數學原理》，僅介紹通俗之《重學》，與嚴復幾道之深通西學直探驪珠，相去不可以道里計。侯失勒《談天》之於哥白尼《天體運行論》亦然。西學之入中土，一過於清初之閉關自守，再過於清末之所擇不精，吾國基礎科學之落後，其所由來者漸矣。

馬克斯·玻恩（Max Born）的科學貢獻

厚宇德

河北大學宋史研究中心、科學技術史研究所

一.結緣及研究玻恩的過程大略

這一部分不是要展示我做了什麼，而是要說明我對於玻恩的了解還很有限。記不得準確的時間，但可以肯定我讀到的第一本玻恩（1882-1970）撰寫的著作是《我的一生與我的觀點》（*My Life and My Views*）。這本書由李寶恒翻譯，1979年由北京商務印書館出版。這本書很薄，中譯本只有 111 頁。

玻恩這本書裡有些話很打動我。如他說：“我從來不願意當一個專家，因而始終是半瓶醋，甚至在被認為是我自己的專業方面也是這樣。……科學的哲學背景始終比科學的特殊成果更使我感興趣。”——中譯本第 5 頁。

“科學家始終應當記住，所有經驗都是根據感覺來的。一個沉浸在他的公式裡的理論家，忘記了他想要說明的現象，就不是一個真正的科學家，真正的物理學家或化學家；而如果他鑽在書本裡，同自然界的美和多樣性疏遠起來，我就會稱他為可憐的傻瓜。”——中譯本 100 頁。

“我們必須學會順從，我們必須實行諒解，、容忍和助人的意願，而且我們必須拋棄武力威脅和運用武力。否則文明人的末日就臨近了。”——中譯本 41 頁。玻恩的這些話當年給我本人留下了非常深刻的印象，成為我其後持續關注他的起因。

但是那時在我工作的環境裡，難以找到玻恩以及關於玻恩的更多著述。為更深入瞭解玻恩，曾請中科院的工作人員幫忙，2000 年致信黃昆先生討教了關於玻恩的若干問題。2001 年在第 1 期《物理》期刊發表我自己第 1 篇關於玻恩的文章。這篇文章的頁下注表明，編輯部是 2000 年 5 月收到稿子的。

這篇文章中已表達了這樣的看法：“就對物理學的貢獻而言，玻恩同波爾、海森堡、狄拉克以及薛定諤等相比，毫無遜色之處，他是 20 世紀物理界舉足輕重的一流大師。試想，沒有玻恩的貢獻，不談其他，量子力學還剩下些什麼？”以今天我的個人認識來看，這個說法還是過於保守了。但是在當時這還是很大膽的。今天仍有很多學習和研究物理学或物理学史的人，還不认为事实如此，对玻恩仍

了解有限。

1998 年玻恩《我的一生》一書已有中譯本，但是我 2000 年寫該文時，還沒見到。

2004 年浙江科學技術出版社出版了拙著《物理文化與物理學史》一書。在量子力學史部分強調了玻恩的重要作用：“越來越多的文獻表明，玻恩在量子力學的形成過程中的作用是十分巨大的。甚至可以說量子力學是在他明確的研究方向的指導下完成的。但由於他自己的不張揚的個性以及一些複雜原因，他的貢獻隨物理界對海森堡等人作用的肯定而大大弱化了。”（P188）

二、玻恩的科學貢獻

玻恩做出科學貢獻的主要領域：

1.相對論；2.晶格動力學；3.量子力學；4.光學；5.非線性場論；6.液體理論；7.培養科學人才；8.探索科學的合理應用及科學家的責任。

1.玻恩研究相對論而獲得大學教職

玻恩 1907 年在哥廷根大學獲得博士學位。其後曾赴劍橋，欲師從湯姆遜學習實驗知識與技能。但由於語言等問題，沒有達到預期目標。返回德國後，與家鄉的母校佈雷斯勞大學物理系的同行接觸期待獲得大學任職資格，這個目標也沒有實現。但是在接觸中，有人談到了 1905 年愛因斯坦締造的狹義相對論，引起了玻恩的興趣，開始自己關注和研究這方面的問題。昔日哥廷根大學的老師閔可夫斯基瞭解到玻恩的研究後，邀他去哥廷根合作研究相對論。1908 年年末玻恩回到哥廷根開始與閔可夫斯基合作，但是 1 月 12 日閔可夫斯基即辭世。

玻恩自己繼續研究相對論的剛體定義等問題，並通過這方面的研究報告獲得了在哥廷根大學講師的任職資格。

愛因斯坦提出狹義相對論後十多年，又提出了廣義相對論，開闢了 20 世紀物理學家研究的主要方向之一。但是玻恩在這一領域幾乎沒做研究。1955 年玻恩在一次相對論會議上曾說：“廣義相對論的創立那時在我看來乃是人類思索自然中的最偉大的功績，是哲學領悟、物理直覺和數學技巧最驚人的結合，今天我還是這樣看。”因此，他決定：“絕不在這方面嘗試做任何工作。”（《我這一代的物理學》中譯本，239 頁）

1919 年在法蘭克福做教授的玻恩撰寫了名為《愛因斯坦的相對論》這本書，成為玻恩一生在這一領域的主要著述。該書第一版 1920 年出版。

2.晶格動力學研究伴隨玻恩一生

玻恩在哥廷根大學任講師之後，常與馮·卡門一起討論物理問題，有一天他們聊到了愛因斯坦關於固體比熱的文章，二人都認為有必要繼續深入研究，後來他們合作發表的論文成為了玻恩早期較有影響的文章。玻恩晚年在《我的一生與我的觀點》一書中總結這段合作時說：“固體比熱的工作為我以後的研究開闢了兩條主要路線：晶格動力學和量子理論。”研究玻恩的科學道路，他與卡門合作這段較短的經歷不可忽視。（合作因何終止？據庫朗說，是因為玻恩的妻子討厭卡門。）

1915 年玻恩出版了他的第一本著作《晶格動力學》。1954 年玻恩與黃昆合作的晶格動力學權威著作《晶格動力學理論》出版。這也是玻恩最後一本研究著作。1963 年 8 月晶格動力學國際會議在哥本哈根召開，在這次會議上，玻恩做了一個報告：《我的晶格動力學研究回憶》。在《會後補記》中他說到：“我用了很大一部分時間和精力研究的物理學分支，現在有了前所未有的興旺，我感到非常高興和欣慰。”

玻恩在晶格動力學方面的研究和取得的成就，無可爭議。

《晶格動力學理論》一書的中文新版本《重印前言》引用黃昆的話說：“玻恩是晶格動力學的奠基人和無可爭議的權威。”

諾貝爾獎獲得者尼維爾·莫特曾說：“無論怎樣考慮玻恩的工作，在我看來，他對晶體物理學的巨大貢獻（這是他獨立完成的）本身就是諾貝爾獎金水準的成就，如果沒有玻恩，這些工作恐怕還要等上 10 年或更多時間。”（莫特：馬克斯·玻恩的科學工作）

對於《晶格动力学理论》一书，同行有高度評價。該書 1954 年出版，1973 年晶格動力學專家 W.Cochran 說：“玻恩與黃昆在 1954 年出版的《晶格動力學理論》至今仍是這個學科的主要方面的權威著作。”1983 年在該書牛津新版中，有這樣的權威評論：“這本經典著作在它剛出版時，毫無疑問，是該學科的代表作；至今在許多方面，它依然如此。”這本書是學術專著，而非簡單“編輯”而成。據朱邦芬教授統計，截止 2006 年，“這本書已被 SCI 引用 6750 次，近年來平均每年約 200 次。”這些評論基本上能讓我們領悟玻恩在晶格動力學領域的地位。具體評價他在這一領域的貢獻，超越了我目前的學術能力。

這本著作不僅學術和科學意義重大，也充分體現了兩位合作者高尚的品質。玻恩在該書的《序》中說：“本書之最終形式和撰寫應基本上歸功於黃昆博士。”而黃昆在該書中譯本《本書說明》中則說：“固然我擔任了全書的寫作，並且在解決一些主要問題上進行了工作，然而玻恩教授的工作仍舊在書中保持了主導的作用，不僅玻恩的手稿確定了普遍理論的輪廓以及其中部分的具體內容，而且全書所總結的內容，包括書中新發展的理論，也主要是以玻恩教授本人以及他的學派

幾十年來在晶格理論方面的工作成果為基礎的。”二人在不同時空的表白體現了極高的科學道德品質：充分肯定合作者的重要作用。

3. 量子力學

剛才曾提到，玻恩說過：“固體比熱的工作為我以後的研究開闢了兩條主要路線：晶格動力學和量子理論。”由研究固體比熱問題進入系統的晶格動力學研究是不難理解的。固體比熱研究如何導致玻恩帶領弟子們成功建立量子力學呢？

第一次時間大戰期間，玻恩參軍在火炮試驗委員會工作。這個委員會希望發明通過炮聲確定大炮位置的方法。但是玻恩與他最早的弟子之一朗德以及馬德隆繼續悄悄從事晶格動力學研究。玻恩與朗德發現，根據玻爾-索末菲原子理論研究晶體，得出的結論與事實相差甚遠。這使玻恩懷疑“玻爾的原子模型可能是錯誤的”，“在原子尺度上我們應當正視現實——需要一種全新的力學理論。”

——（玻恩：我的晶格動力學研究回憶）

1919年玻恩成為了法蘭克福大學的物理學教授，朗德繼續追隨玻恩一起在法蘭克福大學物理系做研究工作。在這裡他發現了著名的朗德因數（Lande factor）。可以想像他們合作關於晶格動力學的研究會進一步堅定玻恩放棄玻爾理論的決心。

玻恩的傳記作者南茜·格林斯潘引用了這一時期玻恩寫給美國著名物理化學家路易斯（G.N.Lewis）的信件：“從亂七八糟中顯出一線光亮：電荷（核與電子）的運動與輻射之間的經典聯繫是錯誤的，必須予以更徹底的量子化重新描寫。”

“真正的定律是量子定律，不幸的是我們（現在）還對它知之甚少。”

（Nancy Greenspan: *The End of the Certain World*, 2005）因此，很多著述上認為玻恩是在1922年哥廷根玻爾節之後才開始關注研究量子問題是不甚準確的。

1921年4月，玻恩回到了哥廷根大學。這一次他的身份是該校物理系教授。臨行前在致朋友的一封信中，玻恩表達了他主導母校物理學系之後的目標：“將哥廷根的物理學推向一個新的高度。”愛因斯坦充分信任玻恩，還在玻恩猶豫是去是留時，他寫信肯定地說：“任何地方只要有 you，理論物理學就會興盛發展，在今天的德國，找不到第二個玻恩。”（*The Born-Einstein Letters*, 3, March, 1920）

玻恩在哥廷根大學的第一個正式助手是泡利，第二個是海森伯，還有約當、許克爾、洪德、海特勒、羅森菲爾德等人。但是在哥廷根還有一位玻恩的私人助手，這就是猶太裔匈牙利人 E.布羅迪（E.Brody）。他是玻恩在哥廷根探索原子問題最早發表文章的合作者。玻恩在《我的一生與我的觀點》一書中說布羅迪在納粹集中營中死去。而在《我的一生》中說布羅迪“在布達佩斯躲過了戰爭和納粹佔領後的一切恐怖。”我們目前沒有找到關於布羅迪後來的線索。但是當時他給玻恩的印象非常好。在1921年2月12日致愛因斯坦的信中，玻恩稱布羅迪是“很聰

明的人”。在《我的一生》中玻恩甚至稱布羅迪“可能是所有這些人中最有才能的一個，他能解決複雜問題”。1922年4月30日，玻恩曾希望愛因斯坦能幫助布羅迪找到一個適合的工作，未果。

在接下來的探索建立新的原子力學的道路上，與玻恩合作的主要有泡利、許克爾、海森堡。這一時期的探索，確定了以微擾法為核心的數學工具，明確了分離化思想（体现为玻恩的对应法則）以及一些其他思想基礎，如可觀察性原則。甚至玻恩還提出了一些具體的做法的設想。這些設想被海森堡變成了理論現實。

具體而言，在建立量子力學過程中以下事件不能忽視：

（1）在帶領助手們做了大量的嘗試探索之後，1924年玻恩發表了一篇文章，題目為《關於量子力學》（*On quantum mechanics*）。這是量子力學一詞第一次出現。這篇文章內容豐富，其中最值得關注的是玻恩的一個設想，他認為將研究原子問題中的微分方程用不连续的差分方程代換，就可以完成從經典力學向量子力學的過渡。即： $\tau \frac{\partial \phi}{\partial J} = \frac{1}{h} \tau \frac{\partial \phi}{\partial n} \rightarrow \frac{1}{h} [\phi(n + \tau) - \phi(n)]$ 。

科學史家雅默（Max Jammer）對於玻恩的這一思想，給予過高度評價：“鑒於這個將經典公式翻譯成它們對應的量子對應物的處方對於矩陣力學的發現具有的重要作用，……我們將簡潔地稱其為‘玻恩對應法則’。”（Max Jammer：*The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, 193）

海森伯傳記作者大衛·C·凱西第認為，玻恩這篇文章標誌他的努力取得了十分重要的進步：“在玻恩的新量子力學中，一切事物似乎都已嚴絲合縫。雖然這還不是即將代替原子中經典力學或半經典的玻爾—索末菲量子理論的那種量子力學，但是玻恩的新法則卻是沿著那個方向邁出的一大步，而且對一年以後實際量子力學的表达來說是不可缺少的。”（海森伯傳，戈革譯，商務印書館，2002，233-234）

實際上，玻恩的思想在該文發表之前，就已經成熟並在他的學生和合作者中產生影響。如1923年10月9日海森伯在給泡利的信中，已經認識到了此前包括他自己在內的多數人，企圖依靠建立新的原子模型即可以解決問題的想法的局限，而玻恩的新思想更具有一般性：“模型觀念只是象徵意義，它們是‘分立’量子理論的經典類例。”可見，海森伯接受了玻恩的思想：“玻恩的分立化綱領形成了海森伯所說的反常塞曼效應的新的哥廷根理論的背景和基礎。”（大衛·C·凱西第·海森伯傳（上冊）[M]·戈革譯·北京：商務印書館，2002：221）

簡單地歸納玻恩對應法則的重要性，就是它將對應思想“公式化”了，成為建立矩陣力學過程中，對應原理思想最直接的體現。

(2) 量子力學的建立，除了基於對應思想，還有一個重要的思想方法，即可觀察性原則。對於可觀察性原則的起源，有多種說法。通過大量文獻考察，我得出的結論是：哥廷根學派的這一思想源自玻恩（最早 1919 年的著述），在正式發表的文章中，玻恩也早於海森堡準確表述了這一思想。

在玻恩與約當合作的早於海森堡著名的“一人文章”的文章中，玻恩明確表述了這一思想：“一條具有重大意義和富有成果的公設，即只有那些原則上可觀察和可測量的量才能進入自然的定律中。”

因此，建立量子力學的兩大思想方法在哥廷根學派內部都直接源自於學派領袖馬克斯·玻恩。

(3) 玻恩對於建立量子力學的貢獻，前期除了做思想方法上的探討，更多地是做數學上的探尋。在這一點上，他與玻爾的做法截然不同。玻爾強調不能在物理事實還不清楚的條件下去探索物理理論的數學描述。而玻恩卻不這樣看。玻恩借鑒了他很熟悉的數學家們的研究方法，他說：“我一直認為數學家比我們（物理學家）聰明。他們總是在可以對問題做出哲學歸納之前，首先去找正確的解決問題的公式。”玻恩這樣說也這樣做了。所以出現了一個結果是，當量子力學理論體系建立起來之後，對於他的理解和解釋卻繼續爭議了很久。

(4) 玻恩對於海森堡的影響不僅局限於這些大的思想方法方面，還涉及到具體做法的細節。玻恩後來回憶說：“有一個事實給我們留下了深刻印象，即我們公式中出現的‘躍遷量’總是和經典理論中振動振幅的平方相對應。因此，將‘躍遷振幅’的概念寫成公式似乎是很可能的。我們日常討論例會上討論了這個想法，海森堡經常參加這些會。我提出，這些振幅可能就是主要的量，並可以用某種符號相乘以處置之。約當肯定了我對他說過這一可能性。”

海森堡建立矩陣力學，正是以此為切入點的。因此可以說他只是將玻恩的想法更深入地付諸了實際的理論研究中。玻恩的回憶，在出版前曾複印給庫恩，庫恩請約當等人閱讀過，除了在一些日期上有人提出不同人看法外，玻恩的這些說法，沒人質疑。

(5) 關注過海森堡“一人文章”的物理界人士都清楚，海森堡的這篇文章裡，還根本沒有矩陣表述。如 1964 年 1 月 29 日在接受庫恩採訪時，拉波特就說：“我記得海森堡寫的後來被稱為矩陣力學的第一篇文章，（還）不是矩陣。”北京大學的王正行教授持有相同認識。因此，矩陣力學，嚴格意義上是玻恩以海森堡的文章為基礎帶領約當建立起來的。在這過程中，玻恩還最早猜測性發現了對易關係：

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i} 1.$$

玻恩去世後，這一公式雕刻在了他的墓碑上。

(6) 在完成了矩陣力學理論體系的建設之後，玻恩赴美講學期間與控制論創始人維納合作，將算符引入量子力學，給出了能量算符的表述形式。即證明了哈密頓算符 \hat{H} 與 $\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial t}$ 全同。

(7) 1926 年玻恩做出了著名的波函數統計解釋，用派斯的話說，為量子力學的理論體系畫上了圓滿的句號。

一般說來，歷史上物理學的重大發現都要經歷三個重要階段，即準備階段、完成階段和完善階段。具體針對量子力學的建立而言，現在有充分的證據表明，在哥廷根學派內部，準備階段的工作是按照學派領袖玻恩一個人的思路完成的。說玻恩為海森堡寫出“一人文章”準備好了數學工具、物理知識和新思想，絲毫不過分。

至於矩陣力學的完成階段，玻恩也有重要的作用。海森伯的“一人文章”還不是矩陣力學。可以說海森伯延續玻恩的研究綱領搞出了一個還不成型、自己也不認識是什麼的四不像。而玻恩慧眼識珠，在經過初步雕琢之後知道了這是矩陣運算，然後在約當的協助下完成了清晰的矩陣表述的矩陣力學，成果体现为“二人文章”。至此，矩陣力學的完成階段才告結束。

而矩陣力學完善，主要也歸功於玻恩。他帶領年輕的約當，並偶爾通過書信與海森伯聯繫，使矩陣力學理論得以系統深化，能夠原則上處理原子領域的所有問題。這主要體現為作者署名為玻恩、海森伯、約當的所謂“三人文章”。

但是截至目前除了我自己的文字之外，還未見到明確地以玻恩及其學派為核心描述量子力學建立過程的著作和文章。反而玻爾的哥本哈根學派成了量子力學的建立中心。這是不準確的。如 1934 年，拉登伯格和魏格納在文章中稱：“海森伯的思想，是在他敬愛的老師玻爾周圍圈子的激勵下，產生於哥本哈根。”

直到 20 世紀 50 年代，在一篇紀念普朗克提出量子化概念的文章中，海森伯第一次說出了事實的真相：他承認在哥廷根玻恩以及約當的工作對他的影響要超過克拉默斯的散射理論對他的影響；而且解釋說，這些影響引導他放棄電子軌道概念而採用振幅；他還承認自己當時不懂矩陣為何物；矩陣力學的最後形式的完成應該歸功於玻恩和約當。他寫道：“我負有義不容辭的責任強調玻恩和約當對於建立量子力學理論的偉大貢獻，因為這些偉大貢獻在公眾的眼裡經常得不到充分的承認。”海森伯在晚年還說過，正是玻恩要建立新量子理論的信仰鑄就的獨特的哥廷根精神，才是他獲得成功的堅實土壤。但是此前他從來未曾公開做過如此表

述說明。這是玻恩學術地位極受影響的主要原因。

1933年11月25日他在給玻恩的一封信中說：“我們三個人——您、約當和我——在哥廷根的合作，只有我一個人得到了諾貝爾獎金，這個事實使我沮喪，而不知道該怎樣給您回信。我們的共同的努力現在得到了賞識，我當然是愉快的，我很樂於回想合作的那段美好時光。我也相信，所有優秀的物理學家都瞭解您和約當對量子力學結構的貢獻有多麼偉大——儘管外人作出了錯誤的不會更改的決定。然而我自己能做的只有再一次感謝我們良好的合作，而且覺得有些慚愧。”

十幾天後，1933年12月11日，海森堡在斯德哥爾摩的演講中，提到玻爾不少於十三次，提到玻恩，卻只有兩次。提到玻爾，海森堡滿懷感激：“感謝玻爾，因為他對量子力學的概念性原理做了最清楚的分析……”提到玻恩的兩次中，一次海森堡沒有特別指出玻恩的突出作用；另外一次則語焉不詳。展望量子力學的未來，海森堡更是徹底忽視了建立量子力學過程中實際上他後來承認對他幫助最大的玻恩：“不用說，研究工作應該以德布羅意、薛定諤、玻爾、約當和狄拉克的研究為基礎。”

真相有時是無法埋沒的。玻爾研究者派斯曾說，有一位物理學晚輩曾問他：何以會認為玻爾是量子力學領袖？他為量子力學做了什麼？據已故玻爾研究專家戈革先生估計，這位質疑玻爾的後輩物理學家就是大名鼎鼎的費恩曼。

2007年美國華盛頓大學物理教授裡格登 (Rigden)曾發表一篇名為《玻爾的作用被高估》(*The overestimation of Niels Bohr*)。裡格登在文中沒有提到玻恩。但是不難想到，大家認識到玻爾在量子力學建設過程中的作用被高估了，接下來很自然地就是玻恩的作用被低估了。這也就是我這幾年在努力證實的一件事。

無論是好的一面還是壞的一面，量子力學對於20世紀以及其後和未來的人類的影響是很多學科和科學分支難以比擬的。正因為如此，清楚認識這一段量子力學發展史，對於物理學和科學技術史學者而言，都是十分重要的。這也是我們持續關注玻恩及其學派的原因。

4. 光學

玻恩1933年出版的德文著作《光學》(*Optik*)，這本書源於玻恩在哥廷根大學講授光學課的講義。1959年玻恩與沃爾夫合著的《光學原理》(*Principles of optics*)一書出版。《光學原理》一書的英文版，截止2005年出版了7個版本，前六個版本分別於1964年、1965年、1970年、1975年、1977年、1980年、1983年、1984年、1986年、1987年、1989年、1991年、1993年、1997等年重印17次。第七個版本1999年出版，並分別於2002年、2003年、2005等年重印多次。因

此該書英文版已經刊印 20 餘次。

母國光院士為《光學原理》英文第七版中譯本撰寫的序言指出：“以光的電磁波理論麥克斯韋方程為基礎的，對光的傳播、干涉、衍射以及光學系統進行系統而深入討論的《光學原理》一書，在國際上吸引著一代又一代的讀者，歷經近五十年而長盛不衰，甚至有人稱《光學原理》是學光學的‘聖經’，卻不因為它沒有涉及雷射燈現代微觀和量子光學而遜色。……新版《光學原理》為有志于攀登光學高峰的年輕人提供了一架雲梯，如果不是聖經的話；新版《光學原理》昭示人們，掌握基礎理論才是發展和創新的根本，根深葉茂，固本枝榮。”

5.非線性場論

1933 年玻恩成為了劍橋大學的講師。期間他與英費爾德合作開始了非線性場論研究，創立了玻恩-英費爾德理論。2005 年美國物理學家 Jeremy Bernstein 撰文指出：“他們的方程式，是現在弦理論研究最熱門的話題。”

(*American Journal of Physics*,2005)

- 1) . Observational constraints on electromagnetic Born-Infeld cosmology , *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* , Vol.2012, 1-11
- 2) . Cosmological constraints for an Eddington-Born-Infeld field, *Phys. Rev.D-2012-Vol.86-No.4*,1-8
- 3) . Born-Infeld type modification of the gravity,*General Relativity and Quantum Cosmology*,2012-vol.3,1-8
- 4) . Born-Infeld-like f(R) gravity ,*Phys. Rev.D-2012-Vol.86-No.10*,1-10
- 5) .Born-Infeld black-body radiation, *Europhysics Letters-2011-vol.96-No.4*,1-5
- 6) . Black holes in Born-Infeld extended,*Phys. Rev. D-2011-Vol.83-No.10*,1-12
- 7) . The regular cosmic string in Born-Infeld gravity, *Journal of PhysicsConference Series*, 2011, Vol.314-No.1, 1-4
- 8) . Born-Infeldaxion-dilaton electrodynamics and electromagnetic confinement,*Physics B*, 2011, Vol.703-No.4, 530-535
- 9) . On generalized Born-Infeld electrodynamics, *Journal of Physics. A- Mathematical and Theoretical*, 2010, Vol.4, No.37,1-8
- 10) . Born-Infeld electrostatics in the complex plane, *Journal of High Energy Physics*, Vol.2010,No.12,1-20

6.液體理論研究

上個世紀 40 年代後期，玻恩開始了對於液體理論的探索。1949 年玻恩與弟子格林合作出版了一本著作：*A General Kinetic Theory of Liquids*。

書中的部分內容曾經發表於學術期刊：

- 1) .M. Born and H.S.Green: A General Kinetic Theory of Liquids(I), *The Molecular*

Distribution Functions, *Proc. R. Soc.Lond. A* 1946(188):10-18.

2) .H.S.Green: A General Kinetic Theory of Liquids(II), Equilibrium Properties, *Proc. R. Soc.Lond. A* 1947(189):103-117.

3) .M. Born and H.S.Green: A General Kinetic Theory of Liquids(III), Dynamical Properties, *Proc. R. Soc.Lond. A* 1947(190):455-474.

4) . M. Born and H.S.Green: A General Kinetic Theory of Liquids(IV), Quantum Mechanics of Fluids, *Proc. R. Soc.Lond. A* 1947(191):168-181.

5).H.S.Green: A General Kinetic Theory of Liquids(V), Liquid He II, *Proc. R. Soc.Lond. A* 1948(194):244-257.

6).A.E.Rodriguez: A General Kinetic Theory of Liquids(VI), The Equation of State,*Proc. R. Soc.Lond. A* 1949(196):73-92.

據玻恩傳記作者說，有人在提名推舉玻恩為諾貝爾獎獲得者時，提到他的研究，包括液體理論研究。

7.培養科學人才

玻恩作為一位偉大的物理學家，一生培養和影響了一大批在科學界如雷貫耳的大名鼎鼎的傑出人才，這其中有他的助手、學生和到他的身邊訪學者。他們中的一些人，今天比玻恩的名字還響亮、更為世人所熟知。

助手：斯特恩(Otto Stern,1888-1969，法蘭克福時，1943年諾貝爾物理獎得主)、泡利(Wolfgang Pauli，1900~1958，1945年諾貝爾物理獎得主)、海森堡(Werner Heisenberg，1901-1976,1932年諾貝爾物理獎得主)、約當(Pascual Jordan,1902-1980)、洪德(Friedrich Hund，1896-1997)、羅森菲爾德(Léon Rosenfeld,1904-1974)、海特勒(Walthe Heitler，1904~1981)、英費爾德(Leopold Infeld,1898 – 1968)、沃尔夫(Emil Wolf, 1922-)等人。

學生：朗德(Alfred Landé，1888–1976)、海森堡、瑪利亞•戈佩特(Maria Goeppert，1906-1972，即邁耶夫人)、奧本海默(J. Robert Oppenheimer，1904~1967)、韋斯科普夫(Victor Weisskopf，1908-2002,1961-1966歐洲核子研究委員會主任)、德爾布呂克(Ludwig Delbrück，1906–1981，1969年諾貝爾生理學或醫學獎的共同獲獎者之一)、愛爾薩瑟(Walter Elsasser，1904–1991)、福克斯(Klaus Fuchs，1911–1988)、格林(Herbert (Bert) Sydney Green，1920–1999)等等。據派斯統計玻恩僅在哥廷根做教授的12年里就培養了至少24位博士。

在哥廷根訪學受到過玻恩影響的人：費米(Enrica Fermi，1901-1954)、狄拉克(Paul Dirac，1902-1984，1933年諾貝爾物理獎得主之一)、塔姆(Igor Tamm,1885-1971，1958年諾貝爾物理獎得主之一)、馮·諾依曼(von Neumann，1903–1957)、維格納(Eugene Wigner,1902-1995，1963年諾貝爾獎得主之一)、

泰勒（Edward Teller，1908–2003，氫彈之父）、莫特（Nevill Mott，1905-1996，1977年諾貝爾物理獎得主）、赫茲伯格 Gerhard Herzberg，1904-1999,1971年諾貝爾化學獎得主）等等。

玻恩的中國弟子與合作者：

博士：彭桓武、程開甲、楊立銘；合作者：黃昆；早年在哥廷根聽過玻恩多門課並深受影響的王福山。

8. 探索科學的合理應用及科學家的責任

玻恩晚年致力於探索科學的合理性應用以及科學家應擔負起的社會責任。1954年羅素在BBC發表演講“人之禍”，與玻恩的一些想法一拍即合。玻恩致信羅素提議想召集諾貝爾獎得主發表一個宣言，推動科學技術的合理應用。另一方面玻恩又致信愛因斯坦介紹羅素的演講以及自己的想法。促成了1955年羅素-愛因斯坦宣言的誕生。在德國，玻恩還策劃了類似的哥廷根宣言與邁瑙宣言的誕生。這類活動後來演化為帕格沃什運動，而玻恩自己也曾任帕格沃什大會主席。這是玻恩晚年對於物理界、整個科學界甚至整個人類社會的另一巨大貢獻。

結語及思考

對於玻恩及其科學貢獻等等，我個人的認識還比較有限。在有限的認識當中也會意識到一些問題。比如為什麼他的科學貢獻得不到應有的承認？在我的書中我曾將其歸結為“玻恩現象”。並從20世紀上半葉物理學社會環境、玻恩自己的心理特點、玻恩的個人魅力、玻恩的家庭影響等方面分析這一現象產生的原因。仁者見仁，通過玻恩的人生與科學境遇，讓我們意識到了科學技術史研究所要揭示的現實的複雜性。值得深思和關注。

多謝各位光臨

歡迎大家指正

厚宇德聯繫方式：

hyd630418@sina.com

從牛頓到愛因斯坦

劉源俊

紀念愛因斯坦，須從牛頓談起；牛頓與愛因斯坦是物理史上的兩大巨人。怎麼說呢？英國廣播電台 (BBC) 2000 年票選「上一千年最有影響力的思想家」，結果依序是馬克斯 (Karl Marx)、愛因斯坦 (Albert Einstein)、牛頓 (Isaac Newton) 與達爾文 (Charles Darwin)。

再舉另一項網路調查為例，The Globe and Mail 1999 年票選「上一千年最有影響力的人」，結果依序是愛因斯坦 (Albert Einstein, 1879-1955)、馬丁·路德 (Martin Luther, 1483-1546)、馬克斯 (Karl Marx, 1818-1883)、莎士比亞 (William Shakespeare, 1564-1616)、牛頓 (Isaac Newton, 1642-1727)、希特勒 (Adolf Hitler, 1889-1945)、哥倫布 (Christopher Columbus, 1451-1506)、古騰堡 (Johannes Gutenberg, 1398-1468)、達爾文 (Charles Darwin, 1809-82) 與伽利略 (Galileo Galilei, 1564-1642)。

另外，the History Channel 調查「上一千年最有影響力的人」，結果類似，但排名略有不同（牛頓第二，愛因斯坦第八）。至於 Michael H. Hart 調查「歷史上最具有影響力的人」，則答案依序是：穆罕默德、牛頓、耶穌、釋迦牟尼、孔子、聖保羅 (St. Paul)、蔡倫、古騰堡、哥倫布、愛因斯坦。愛因斯坦被 2000 年 *Time* 雜誌選為「(二十)世紀之人」。

調查的對象是西方人，自然會有些偏頗。但無論如何，牛頓與愛因斯坦兩人在歷史上的地位應屬等量齊觀。

Edgar Allan Poe 在 1730 寫 *Epitaphs* (〈墓誌銘〉)：

Nature, and Nature's laws lay hid in night:
God said, Let Newton be! And all was light.

天與天理陷入黑茫：

上帝說，讓牛頓來！於是光明大放。

約二百年後，J. C. Squire 於 1926 年續寫 *Epigrams* (〈警句〉—和 Poe)：

It did not last: the Devil howling 'Ho!
Let Einstein be!' restored the status quo.

但未能持久：魔鬼吆喝著

「讓愛因斯坦來！」又恢復了原狀。

以上自屬詩人筆調下的調侃；看看無妨，不必認真。

物理簡史 1665~1915

言歸正傳。先回顧一下 1665 年到 1915 年一共二百五十年的物理簡史。為什麼在此從 1665 年開始？那年英國正遇大瘟疫，劍橋大學關門兩年，所有師生都被迫回

到家鄉去。牛頓當時 23 歲，剛從劍橋大學畢業，回到了他在 Lincolnshire 郡 Woolsthorpe 的老家。那兩年是他物理與算學生涯中最重要的日子，因為他發現日光經稜鏡有色散的現象，又深思算學，更從「蘋果與月球的聯想」推得重力的反平方律，並以之解釋了行星運動三律；都寫在筆記本裡。為什麼又說到 1915 年為止呢？那年愛因斯坦想通了「廣義相對論」，用四維時空的彎曲說明重力現象，因而超越了牛頓的萬有重力理論。

物理可大別為六大部門：力學 (mechanics)、電磁學 (electromagnetism)、溫物理 (thermal physics)、光學 (optics)、量子物理 (quantum physics)、原子核物理 (nuclear physics)。以下羅列此期間最重要的一些發展：

- 1665 年 Newton (英格蘭): inverse square law of gravitation (力)
- 1687 年 Newton (英格蘭): *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (力)
- 1690 年 Huygens (荷蘭): *Traite de la lumiaere* (光)
- 1704 年 Newton (英格蘭): *Opticks* (光)
- 1736 年 Euler (瑞士): *Mechanica* (力)
- 1738 年 Bernoulli (瑞士): kinetic theory of gases (溫)
- 1785 年 Coulomb (法蘭西): laws of electrostatics & magnetostatics (電)
- 1788 年 Lagrange (法蘭西): *Mécanique Analytique* (力)
- 1799 年 Laplace (法蘭西): *Mécanique Céleste* (力)
- 1810 年代 Fresnel (法蘭西): wave optics (光)
- 1820 年 Ampère (法蘭西): electrodynamics (電)
- 1824 年 Carnot (法蘭西): *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (溫)
- 1831 年 Faraday (英格蘭): electromagnetic induction (電)
- 1835 年 Hamilton (愛爾蘭): *On a General Method of Dynamics* (力)
- 1841 年 Joule (英格蘭): mechanical equivalent of heat (溫)
- 1850 年 Clausius (德意志): second law of thermodynamics, entropy (溫)
- 1873 年 Maxwell (蘇格蘭): *Treatise on Electricity & Magnetism* (電)
- 1877 年 Boltzmann (奧地利): statistical definition of entropy (溫)
- 1897 年 J. J. Thomson (英格蘭): electron (電)
- 1900 年 Planck (德意志): quantum of action (量子)
- 1901 年 Gibbs (美利堅): statistical thermodynamics (溫)
- 1905 年 Einstein (德意志): quantum of light (量子、光)
- 1905 年 Einstein (德意志): special theory of relativity (力)
- 1911 年 Rutherford (紐西蘭/英格蘭): atomic nucleus (核)
- 1913 年 Bohr (丹麥): atomic energy levels (量子)
- 1915 年 Einstein: (德意志): general theory of relativity (力)

關於物理的演進，從 A. Einstein and L. Infeld 所著 *The Evolution of Physics* (1938) 一書的章節名稱就可一窺梗概：首先是機械觀的興起（從伽利略到牛頓力學，到從力學解釋溫學）；其次是機械觀的沒落（包括電學、磁學到光的橫波說）；然後是場論的興起（從法拉第到馬克斯威爾，到把光當成電磁波；然後是相對論（從所有慣性系統中光速與所有物理律的不遷易，到四維時空連續體，到質與能的聯繫，然後

擴展到非慣性系統，於是有等效原理、重力作用的形學描述，到場與物質的關係）；最後是量子物理。

牛頓對物理的主要貢獻有如下列：發明微分與積分；提出運動三律，提出萬有重力律；發現光的色散，解釋光的行進，提出光的微粒說；解釋月球運動與潮汐成因。著《物理的算學原理》*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* 三卷¹ (1687)，著《光學》*Opticks* 三卷 (1704)。他一統解釋了地面物體與天上星體的運動；他的權威對光學研究的歷史造成不利影響；他提出的「物理研究的規則」(Regulæ Philosophandi) 為物理研究建立典範。

愛因斯坦對物理的主要貢獻有如下列：提出光的量子說，解釋光電效應；肯定分子運動，解釋布朗運動；利用量子論解釋固體比熱；提出狹義相對論與廣義相對論，更替牛頓的力學與重力理論；提出光的刺激放射及刺激吸收說；思辯量子力學的哲學基礎；研究宇宙論，促進其發展；提出所謂 Bose-Einstein 凝態。綜而言之，他統合描述了時空、物質、重力與運動；革新了光學理論；促進量子力學的發展；革新了物理哲學；又為物理界揭櫫「統一場論」的奮鬥目標。

『我之所以看得較遠，是站在巨人的肩膀上。』²這句話首次出現在牛頓 1676 年寫給虎克的一封信上，原來有諷刺意味，現今大家則用來比喻學界巨人的承襲關係。牛頓站在哪些人的肩膀上呢？對牛頓(1642~1727) 最有影響的先賢包括：歐幾里得 (Euclid, 300 B.C.)，伽利略 (Galileo Galilei, 1564~1642)，刻普勒 (Johannes Kepler, 1571~1630) 與笛卡兒 (René Descartes, 1596~1690) 等人。對愛因斯坦最有影響的先賢包括：牛頓 (1642~1727)，馬克斯威爾 (James Clerk Maxwell, 1831~1879)，馬赫 (Ernst Mach, 1838~1916)，黎曼 (Georg F. B. Riemann, 1826~1866) 與普朗克(Max Planck, 1858~1947)。其中，都有算學家也有物理學家。

兩人三大力學理論典範的比較

「典範」(paradigm) 一詞是科學史學者孔恩 (Thomas Kuhn) 在《科學革命的結構》(*The Structure of Scientific Revolutions*)，1962) 一書中所提出的概念。其中要點：一、典範指科學社群共有的信念、價值、方法、理論等的總體。二、平常科學 (normal science) 的活動主要是典範的擴充與完善。三、科學發展史是典範的生成、完善與更替的過程。四、舊典範遇到危機才有新典範的醞釀。

以無礙下落 (free fall) 為例說明典範的更替：伽利略思考這一問題，認為係等加速度運動 ($g = \text{常數}$)，但他只問運動，不問緣由。牛頓解釋此種運動，認係緣於萬有重力。到了一百年後 (1788) 的拉格朗日 (Lagrange)，則從勢能的降低解釋之。再過約五十年 (1835) 年，哈密頓 (Hamilton) 提出「最小作用量原理」解釋之。再

¹ 作者特將 natural philosophy 譯為「物理」，而不依一般譯成「自然哲學」，因為較達意；而 nature 本意是「天地」，或「博物」，譯為「自然」是不恰當的。作者又刻意將 mathematics 譯為「算學」而不譯為「數學」，因為算學是中國古辭，且涵義較廣；mathematics 是處理「數」與「形」的算學。

² "If I have seen further it is by standing on the shoulders of giants." -- Letter to Robert Hooke (15 February 1676)

過八十年 (1915) 年，愛因斯坦更進一步，說這一運動是緣於地球質量所造成的「四維時空連續體的彎曲」。還不僅止於此，量子力學發展 (1925-6) 之後，又有新的說法。說法各異，內涵則愈見高深。

愛因斯坦對「典範的新立」的說法是與孔恩不同的。他在與 Infeld 合著《物理的演化》一書中說：『創造一新理論並不是像毀去舊穀倉後就地建造一高樓。是像登山，見得更新更廣，而發現原先出發點與其豐饒環境間意想不到的關連。出發點仍然在，也仍然看得見，祇是變得更小，成了更廣見地中的一個小部分。...』³

以下略述牛頓與愛因斯坦兩人先後建構的三大力學理論典範：

牛頓力學預設慣性系統（三維絕對空間與一維絕對時間）與歐幾里得形學 (Euclidean geometry)⁴，在其中描述慣性律（運動第一律）、伽利略不遷易性 (Galilean invariance)、力與運動的關係（運動第二律）、交互作用律（運動第三律）。更提出萬有重力的反平方律，認是一「瞬時隔空作用」(action-at-a-distance)；假設慣性質量與重力質量相等。

這一力學，體系完整，能解釋地面與天上所見的各種力學現象。然而後來卻與 1860 年代後馬克士威爾的電磁理論不相容。愛因斯坦為解決這一疑難，乃於 1905 年提出狹義相對論。

狹義相對論一開始就假設所有慣性參考系統中的自然律不遷易，真空光速 c 也不遷易；於是推論得同時性的相對性 (relativity of simultaneity)，然後導出勞倫茲變換 (Lorentz transformations) 及相對等速運動兩慣性參考系統間電磁場的變換。再導出質量與能量的關係式 $E^2 - \mathbf{p}^2 c^2 = m_0^2 c^4$ 。於是，牛頓三維空間加一維時間的描述基底改換成了四維時空的描述基底。

然而，這一體系卻與牛頓的萬有重力律不相容，因為任何信號的傳遞速度不可大於光速。於是愛因斯坦再接再厲，於 1915 年又提出廣義相對論。愛因斯坦一開始就假設真空光速 c 是一普適常數 (universal constant)，而所有自然律對任何參考系不遷易。他又從慣性質量與重力質量的相等得到啟示，因而預設等效原理 (equivalence principle)，將黎曼形學 (Riemannian geometry) 用到四維時空連續體，於是推論得重力作用是時空彎曲的效應，其彎曲情形則決定於能量—動量的分布，而物體的運動方程也一起包含在所寫下的場方程式中。他成功地整合時空、物質、重力與運動於一條四秩陣量的場方程式⁵ $\mathbf{G} = \frac{8\pi G}{c^4} \mathbf{T}$ 。

³ "...creating a new theory is not like destroying an old barn and erecting a skyscraper in its place. It is rather like climbing a mountain, gaining new and wider views, discovering unexpected connections between our starting point and its rich environment. But the point from which we started out still exists and can be seen, although it appears smaller and forms a tiny part of our broad view..."

--A. Einstein and L. Infeld *The Evolution of Physics* (1938)

⁴ 在此，將 geometry 不依明朝徐光啟音譯為「幾何」，而譯為「形學」，遠為達意；該詞自清朝中葉至民國初年都用。

⁵ field equation about fourth rank tensors

兩人物理哲學的比較

先講牛頓的物理哲學。他在《物理的算學原理》第三卷的卷首，加附了一篇〈物理研究的規則〉⁶，總結自己方法論。其中包括四項：

其一，天地事物之因，但取其是且足釋其象者。故智者謂：天地不虛費，少足則多費；天道簡，不侈言贅因。⁷

其二，同果宜歸於同因。⁸

其三，吾人實驗所及物體所顯示之非加諸其上亦非可去除之性質，當視為所有物體之通性。⁹

其四，於驗實明理之學，自現象歸納而得之諸陳述，當視為確是或近乎是，毋需顧及與其捍格之任何假說，至未來發生之其它現象當使其更加確立或成為例外。即，依據歸納法之論述當不受假說之否定。¹⁰

牛頓強調歸納法。他在《原理》第三卷末的「綜合註釋」(General Scholium) 裡曾寫道：『但迄今我未能從現象推出重力特性的原因；我是不虛構假設的。所謂假設就是不能從現象推得的，而假設，不管是玄學的或物理的，或是奧秘的，或是機械性的，在驗實明理之學裡都無地位。在這種學問裡，自現象推得陳述，再經歸納法使成通則。…運動諸律與重力律就是這麼發現的。』¹¹

他這麼排斥假設，但其實他自己卻明明作了極其基本的假設——他於《原理》第一卷開頭作了六個定義¹²後，就在「註釋」裡說明：時間、空間、位置與運動這些，一般人都熟悉，但總牽涉感官。為澄清起見，特分別絕對與相對、本然與視然、算學的與常人的。寫道：『絕對的、本然的、算學的時間自己依其本性，且與外在無涉，均勻地流著。』¹³『絕對空間依本性，且與外在無涉，總保持均勻而不動。』¹⁴

⁶ 'Rules for the Study of Natural Philosophy' 以下引文出自 Cohen & Whitman 的新譯本 (1999)

⁷ "No more causes of natural things should be admitted than are both true and sufficient to explain their phenomena. As the philosophers say: Nature does nothing in vain, and more causes are in vain when fewer suffice. For nature is simple and does not indulge in the luxury of superfluous causes." 請比較：《易·繫辭》：易簡而天下之理得也。

⁸ "...the causes assigned to natural effects of the same kind must be, so far as possible, the same."

⁹ "Those qualities of bodies that can not be intended and remitted and that belong to all bodies on which experiments can be made should be taken as qualities of all bodies universally."

¹⁰ "In experimental philosophy, propositions gathered from phenomena by induction should be considered either exactly or very nearly true, notwithstanding any contrary hypotheses, until yet other phenomena make such propositions either more exact or liable to exceptions. This rule should be followed that arguments based on induction may not be nullified by hypotheses."

¹¹ "I have not as yet been able to deduce from phenomena the reason for these properties of gravity, and I do not feign hypotheses. For whatever is not deduced from the phenomena must be called a hypothesis, and hypotheses, whether metaphysical or physical, or based on occult qualities, or mechanical, have no place in experimental philosophy. In this experimental philosophy, propositions are deduced from the phenomena and are made general by induction. The impenetrability, mobility, and impetus of bodies, and the laws of motion and of gravitation have been found by this method." --Cohen & Whitman 新英譯本 (1999)

¹² 是關於質量、動量、慣性、力、向心力。

¹³ "Absolute, true, mathematical time, in and of itself and of its own nature, without reference to anything external, flows uniformly..."

¹⁴ "Absolute space, of its own nature, without reference to anything external, always remains homogeneous

他又預設歐氏形學，用以描述這樣的時間與空間。

晚年的牛頓變得謙虛多了，在臨終前不久說道：『不知道世人如何看我，但對自己而言，我不過像是個沙灘上玩的孩童，不時顧東顧西的，於是找到了一顆較光滑的石子或較漂亮的貝殼，而‘truth’¹⁵之大海則尚未發現，茫茫在前。』¹⁶

推翻牛頓絕對時間與空間觀念的愛因斯坦則批評了牛頓的物理哲學：他在〈理論物理的方法〉(1933)文中寫道：『牛頓，這第一位包羅而有成的理論物理系統的創造者，竟還相信他系統裡的諸概念與諸律可以從經驗導來。…此體系所獲致巨大而實際的成功，讓他以及十八、九世紀的物理學家們反而昧於其根基的虛構性質。…理論物理的公設基礎不能從經驗抽繹得來，必須是放心的發明，…。』¹⁷注意，愛因斯坦強調了「發明」，而牛頓總以為是在「發現」。

至於愛因斯坦自己的物理哲學，他在好些地方強調「發明」：

『物理是在締造一合乎理則的思惟體系，它是演進的，它的基礎不能用任何歸納法自生活經驗蒸餾得到，只能經由放心的發明獲取。這一體系的正當性來自，基於感官的經驗證明其推論為有用。…』¹⁸『物理概念是人心的創造，而非，無論如何像是，唯由外在世界決定。』¹⁹『科學企圖使混亂紛雜的感官經驗符合一合乎理則的一貫思惟體系。…感官經驗是給定的研究對象。但說明它們的理論則是人造的。』²⁰

愛因斯坦不願提‘truth’。他在日本講演時，回答一位與會者的問題說：『甚至很難為‘scientific truth’這一詞賦予精確的意義。‘truth’這字的意義依情況而異，或指經驗之實，或指算學之題，或指科學之理。‘religious truth’於我，一點都講不明白。』²¹

and immovable.”

¹⁵ 作者不願譯為「真理」，因為其語意不明。參見下文愛因斯坦的態度。

¹⁶ “I know not what I may appear to the world, but to myself I seem to have been only like a boy playing on the sea-shore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me.” -- D. Brewster *Memoirs of Newton (1855)*

¹⁷ “Newton, the first creator of a comprehensive, workable system of theoretical physics, still believed that the basic concepts and laws of his system could be derived from experience.... the tremendous practical success of his doctrines may well prevented him and the physicists of the eighteenth and the nineteenth centuries from recognizing the fictitious character of the foundations of the system....the axiomatic basis of theoretical physics cannot be extracted from experience but must be freely invented...” --*On the Method of Theoretical Physics (1933)*

¹⁸ “Physics constitutes a logical system of thought which is in a state of evolution, and whose basis cannot be obtained through distillation by any inductive method from the experiences lived through, but which can only be attained by free invention. The justification of the system rests in the proof of usefulness of the resulting theorems on the basis of sense experiences... .” -- *Physics and Reality(1936)*

¹⁹ “Physical concepts are free creations of the human mind, and not, however it may seem, uniquely determined by the external world.” -- *The Evolution of Physics (1938)*

²⁰ “Science is the attempt to make the chaotic diversity of the sense-experience correspond to a logically uniform system of thought.... The sense-experiences are the given subject matter. But the theory that shall interpret them is man-made.” -- *The Fundaments of Theoretical Physics (1940)*

²¹ “It is difficult even to attach a precise meaning to the term ‘scientific truth.’ Thus the meaning of the

愛因斯坦重視「易簡」，他寫道：『科學的目的，一方面是盡量完備地了解與感官經驗整體的關係，而另一方面，是用最少的基本概念與關係來達到此一目的。』²²

綜而言之，牛頓與愛因斯坦的物理哲學有相同處：兩人都重視思惟的「約而達」(economy of thought)，兩人都以算學為綱²³，都肯定有客觀物理實在 (objective physical reality)，都肯定因果性 (causality)，為世界作命定之描述 (deterministic description)。愛因斯坦比牛頓更會用想像實驗 (thought experiments) 的推理法 (源自伽利略)，而愛因斯坦更用操作型定義的理念 (operational definition of basic concepts，源自馬赫 Ernst Mach) 更超越牛頓²⁴。

然而，相對於牛頓晚年的謙遜，愛因斯坦則顯得自信 (甚至可說「狂妄」) 得多，他說：『...我們尋找整個物理基礎的意義就在此。篤信此一目標可達成，一向是研究者熱衷投入的主要源頭。』²⁵愛因斯坦的「執信」，從 1926 年他給波恩 (Max Born) 的信中就更可清楚看出，他寫道：『你信一個玩骰子的上帝，我信一個客觀存在世界裡的完備規律與秩序，而我以大膽揣想的方式，嘗試去捕捉它。』²⁶他既認為物理理論是人造的，何以又篤信一個「客觀世界的實在」，而一心想要揣摩「上帝的心」呢？他其實是有矛盾的。

無怪乎，後來長江後浪推前浪，愛因斯坦在量子力學的詮釋上落敗了。至今約已有百年歷史的諸種物理實驗，清楚顯示，微觀世界裡的活動在本質上是隨機的。

兩人的其他比較

牛頓與愛因斯坦兩人生平都遇到一些關鍵事件，影響到他們的發見與成名。前面說過，1865 年，牛頓剛從康橋大學畢業，英國遭逢大瘟疫，於是康橋大學關校，牛頓回到家鄉。他自述，那是一生中發明的黃金年代，也是對算學與物理用心最多的時期。一般傳說牛頓當年坐在蘋果樹下，因蘋果落下而獲得靈感。這一故事的源頭來自 William Stukeley——一位古物收藏家所寫的《牛頓生平的回憶》(*Memoirs of Newton's Life*, 1752)；他寫說：『1726 年 4 月 15 日 (案：牛頓當時 84 歲，逝世前一

word 'truth' varies according to whether we deal with a fact of experience, a mathematical proposition, or a scientific theory. 'religious truth' conveys nothing clear to me at all." -- *On Scientific Truth* (1929) — *Answer to a Japanese scholar*

²² "The aim of science is, on the one hand, a comprehension, as complete as possible, of the connection between the sense experiences in their totality, and, on the other hand, the accomplishment of this aim by the use of a minimum of primary concepts and relations." -- *Physics and Reality*(1936)

²³ Einstein: "...nature is the realization of the simplest conceivable mathematical ideas." -- *On the method of theoretical physics* (1934)

²⁴ 後起之秀的海森堡就是用愛因斯坦的這一方法發展出愛因斯坦所不喜歡的量子力學。見 W. Heisenberg: *Physics and Beyond* (1971)；其中引述 Einstein 說 "It is the theory that decides what we can observe." (『象決定於理。』)

²⁵ "...This is what we mean by the search for a foundation of the whole of physics. The confident belief that this ultimate goal may be reached is the chief source of the passionate devotion which has always animated the researcher." -- *The Fundamentals of Theoretical Physics* (1940)

²⁶ "You believe in a God who plays dice, and I in complete law and order in a world which objectively exists, and which I, in a wildly speculative way, am trying to capture...."

年)我拜訪牛頓爵士……他說正處於與先前想到重力觀念同樣的狀態。當他正在冥想時，一顆蘋果突然下落。』這一故事本不可考，牛頓當時其實是從「蘋果與月球的聯想」悟得重力的反平方律。

愛因斯坦是如何得到觀念的突破呢？他 1922 年在京都大學講演「我如何創造了相對論」時，自述 1905 年的某日，『一位朋友（案：Besso）偶然幫助了我……我們討論了這一問題的每一面相……。突然我了解到問題的關鍵……時間概念的分析就是解答。時間不能絕對地定義。……。』到了 1907 年的某日，『……我坐在伯恩專利局的椅子上。突然來了一個想法：如果一個人無礙下落，他不會感到自己的重量。……此一簡單的想像實驗……引致重力理論。我繼續思考：下落的人是在加速……於是決定擴展相對論到加速的參考系。』

牛頓原本無意發表他的發見的，是一個重要的天象促成。1682 年 8 月 31 日，天文學家哈雷所預測的彗星如期接近地球（週期 76 年），大家對該彗星的橢圓軌道都感到好奇。許多人（包括虎克、哈雷與雷恩 Wren）都曾想到重力的反平方律，但無人能說明反平方律與橢圓軌道的關係。哈雷於是在 1684 年請教牛頓，卻驚訝地發現他早已解決了這一問題。於是催促他發表出來，終於促成 1687 年牛頓三卷曠世鉅著的出版。牛頓於是聲名大噪。

至於愛因斯坦的成名，則與另一天象有關。1916 年他發表廣義相對論的當時，據說全世界只有「兩個半人」懂得。該理論的一個預測是光行經太陽時會偏折。1919 年 5 月 29 日逢有日全蝕，天文學家愛丁頓於是率領觀測團到西非去觀測，結果支持了愛氏的預測。愛因斯坦登時譽滿全球。

兩人關於以太²⁷的隔時代對話，在此頗值一提。牛頓為光的傳播提出以太介質，其性質²⁸：能穿透所有天然物的孔隙；能受光粒子激發生波；比空氣細微；其密度的變化是重力的原因；彈性大但不會干擾天體的運行。牛頓關於以太的這一揣想，足足影響光學一百多年——不只法國人弗瑞乃 (Fresnel) 關於光波的理論建基於「以太說」上，連馬克斯威爾的電磁波也是再以太中行進的。

但愛因斯坦 1905 年 6 月在 *On the Electrodynamics of Moving Bodies* 這篇論文裡，開頭引語就明確指出『引入光以太將是多餘的……』看出意思了嗎？前述牛頓在〈物理研究的規則〉的其一，不是說『天道寧簡，不好多餘之因。』嗎？愛因斯坦坦釜底抽薪的結果是，許多根據絕對空間理念而伴隨的疑難都迎刃而解！

最後談一談兩人對同行的態度。牛頓的性情孤僻是出了名的。他與大他七歲的虎克 Robert Hooke (1635~1703)之間有很深的「瑜亮情結」。前引牛頓 1676 年致虎克信（「站在巨人肩膀上」）中諷刺他（虎克長得矮小）固見一端，他的《光學》一書一定要等到虎克死後才出版²⁹，相傳就是為避免因不引用虎克而遭受攻擊³⁰，於是

²⁷ aether 的中譯。該詞的德文作 äther，現代英文則簡寫為 ether。

²⁸ 見 *Queries* 19-24, *Opticks* 1704

²⁹ 《光學》出版於 1704 年，虎克逝世於 1703 年。

³⁰ 關於這點，Gamow 在 *The Great Physicists From Galileo to Einstein* (1961) 書中指出，1692 年牛頓

落人話柄。甚至相傳虎克在皇家科學會 (Royal Society) 的畫像都在牛頓任皇家科學會會長期間失蹤。

愛因斯坦在聽說牛頓曾寫信給虎克，聲明不肯承認他的任何成就時，評論道：『哎！這是狂妄。許多科學家有之。你知道，想到伽利略不肯承認刻普勒的成就，就使我傷心。』³¹

牛頓與虎克的爭論包括光學及重力反平方律的發見等，絕非「君子之爭」。而愛因斯坦與波爾 (Niels Bohr, 1885~1962) 關於量子力學的詮釋的辯論 (1927~1935) 則是二十世紀物理學界的佳話。在這一辯論裡，愛因斯坦雖敗³²猶榮——由於他的深思與挑戰，乃引致物理學界對物理的本質獲有徹底的認識。

牛頓與愛因斯坦的天道

牛頓與愛因斯坦都出身於西方傳統，自然逃脫不了有神論的陰影。牛頓的背景是「修士」，當年一進入康橋大學就學拿的是工讀金，承諾終身事奉「上帝」，也終身不娶，因而神學是他費心研究的題材之一。但他信奉的是所謂「天然神學」，在《原理》的註釋裡，他寫著：

『祂永恆而無限，萬能又萬知；…祂無所不在，不祇是如在，而是實在。…在祂裡所有事物寄託而運行；但…物體的運動於上帝無傷；物體不受無所不在的上帝的阻力。大家都認為至高的上帝必須存在；也因此祂永遠在、到處在。…祂全無身體與身形，…我們認識祂只因其高明的造物，與終極因，…從事物的現象談論祂，是屬物理的範疇。』³³

其實，從上引文可見，所謂「上帝」並無明確定義，而牛頓所假想的絕對時間、絕對空間及其間充斥的「以太」，相當程度地等同於他所信仰的上帝。稱之為上帝，或還不如稱之為「天道」。

愛因斯坦的宗教背景是猶太教，但他信仰的上帝也是無形的。他說：『我不信人格的上帝，從不否認此點，也曾講清楚。如果說我的內裡有所謂宗教信仰，那是對迄今科學所顯露的世界結構的無盡崇拜。』³⁴愛因斯坦所篤信的「物理實在」(physical

自己不小心引起書齋的火災，燒掉了許多文件，其中包括二十年來從事光學研究的記載。這也可能是該書延後出版的原因。

³¹ 見 *Einstein—A Centennial Volume* A P French ed. (1979)

³² 愛因斯坦自己並未承認落敗；他只承認量子力學的一致性，但不相信它的完備性。

³³ “He is eternal and infinite, omnipotent and omniscient;... He is omnipresent not *virtually* only, but also *substantially*.... In him are all things contained and moved; yet... God suffers nothing from the motion of the bodies; bodies find no resistance from the omnipresence of God. It is allowed by all that Supreme God exists necessarily; and by the same necessity he exists always and everywhere. ... He is utterly void of all body and bodily figure,... We know him only by his most wise and excellent contrivances of things, and final causes; ... to discourse of whom from the appearances of things, does belong to natural philosophy.”

³⁴ “I do not believe in a personal God and I have never denied this but have expressed it clearly. If anything is in me which can be called religious then it is the unbounded admiration for the structure of the world so far our science can reveal it.” --- *Letter 1954*

reality)——包括四維時空連續體，以及據以建構的定命性的諸物理律，或許就是他所謂的「上帝」，也就是「天道」。這一天道是如何的呢？他有根深柢固的信念，說：『上帝不擲骰子。』³⁵，意思是『天道非無常。』又說：『上帝微妙，但不陰險。』³⁶，意思無非『天道微而不危。』³⁷

牛頓與愛因斯坦的這一天道觀，到了 1920 年代後期，受到以波爾為首的量子力學新一代物理學家的嚴重挑戰，甚而推翻³⁸。新的物理觀³⁹是如何的呢？天道常而無常，人與天地參⁴⁰。

建議參考書目

關於物理史與物理哲學

- Newton, Isaac: *The Principia –a New Translation*, by I. B. Cohen and Anne Whitman, Univ. of California Press (1999)
- Cohen, I. Bernard: *The Birth of a New Physics*, Norton 1985
- Einstein, Albert & Infeld, Leopold: *The Evolution of Physics*, Simon & Schuster 1938
- Jeans, James: *The Growth of Physical Science*, Macmillan 1947
- D'Abro, A.: *The Rise of the New Physics* Vol. I & II, Dover 1951
- Gerald Holton: *Thematic Origins of Scientific Thought*, Harvard U. 1988
- Segrè, Emilio: *From Falling Bodies to Radio Waves*, Freeman 1984
- Segrè, Emilio: *From X-rays to Quarks*, Freeman 1980
- Einstein, Albert: *Out of My Later Years*, 1956
- Einstein, Albert: *Ideas and Opinions*, Dell 1973

關於牛頓

- Westfall, Richard S.: *Never at Rest—A Biography of Isaac Newton*, Cambridge 1980; *The Life of Issac Newton*, Cambridge 1993
- Fauvel, John et. al., ed.: *Let Newton Be!*, Oxford U. 1988

關於愛因斯坦

- French, A. P., ed.: *Einstein—A Centenary Volume*, Harvard U. 1979
- Pais, Abraham: *'Subtle is the Lord...'*, Oxford U. 1982

2005 年 9 月 21 日講於國立交通大學「2005 愛因斯坦在交大紀念課」

³⁵ “Gott würfelt nicht. (God does not cast dice.)” --- Letter to Max Born 1926

³⁶ “Raffiniert ist der Herr Gott, aber boshaft ist er nicht. (God is subtle, but he is not malicious.)”這句話是他 1921 年針對一項關於廣義相對論的實驗而說的。

³⁷ 參見《尚書·大禹謨》：『人心惟危，道心惟微。』

³⁸ 波爾在某次對話裡說：“Einstein, stop telling God what to do with his dice!” (『愛因斯坦，不要再教上帝擲骰子了！』)

³⁹ *The Physicist's Conception of Nature* 是 Mehra 編輯的一本書的書名，該書輯錄 1972 年月 18-25 日在義大利國際理論物理中心舉行「二十世紀物理觀的發展學術研討會」的論文。

⁴⁰ 「與天地參」語出《中庸》，「參」是「三」之意，指「人合天地而為三」；換言之，人對天地而言不祇是觀者，是「觀參者」(observer-participant)。