



胡晓东 拍摄

古英 简历

1970年出生于新疆石河子

88.09–92.07, 南开大学物理系, 本科

92.09–95.07, 北京大学物理系, 硕士

95.10–01.08, 香港中文大学物理系, 博士

01.10–03.08, 北京大学物理学院, 博士后

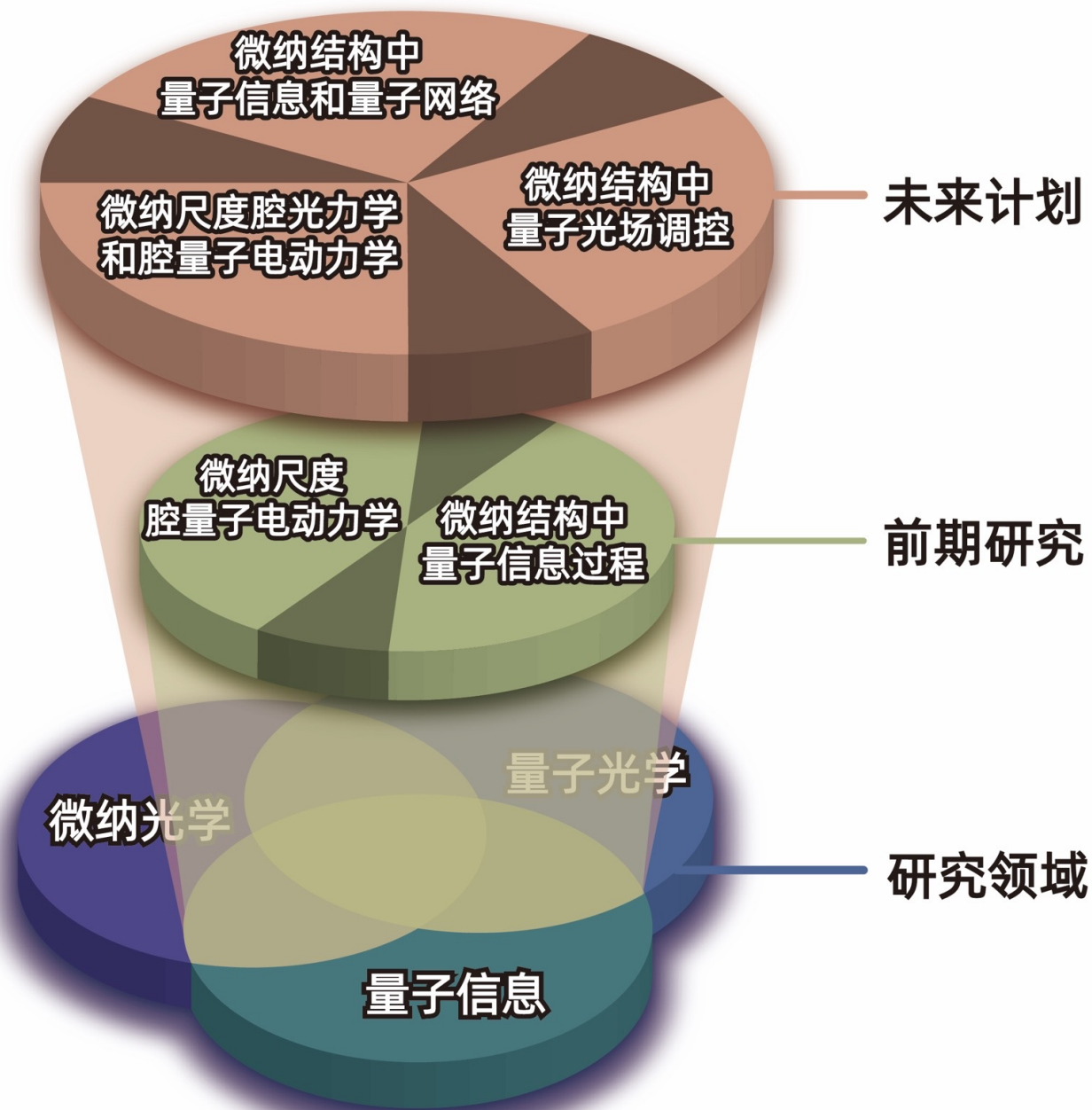
03.09–04.07, 北京大学物理学院, 讲师

04.08 –17.07, 北京大学物理学院, 副教授

17.08 –至今, 北京大学物理学院, 博雅特聘教授

2015年, 获得国家杰出青年基金

研究领域



研究概况

量子光学
微纳光学

量子微纳光子学及应用

微纳米或亚波长尺度

量子光场
调控

调控
自发辐射

可逆
相互作用

复合体系
量子干涉

量子信息
研究

场量子化

量子体系结合

其它新兴
材料

光子晶体

手性光子
材料

超材料

拓扑光子
结构

研究方向：微纳尺度量子光学与量子信息

致力于微纳光子学、量子光学和量子信息及其交叉领域的基础研究。

研究多种微纳光子结构及其组合中的光学模式，进而研究这些结构中的量子光场及其和量子体系的耦合、腔量子电动力学、量子干涉及量子信息等，揭示了微纳尺度光和量子体系相互作用的诸多新现象新效应，为芯片上量子光学和量子信息提供了新原理新思路。

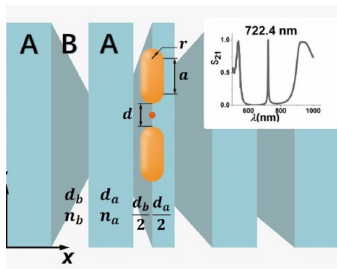
在Nature nanotechnology、PRL、Chem.、nano letters、《物理》等高水平杂志发表论文百余篇，在国内外学术界产生一定影响。



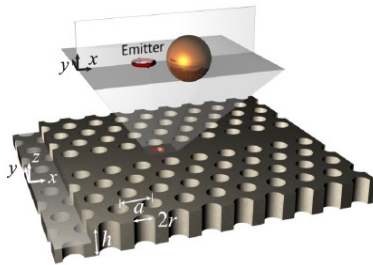
Micro/nano Scale Quantum Optics and Quantum Information 微纳尺度量子光学与量子信息

The research is aiming to fundamental study of micro/nanoscale photon-phonon-emitter interaction and is for the requirement of on-chip quantum information and scalable quantum network

CQED with Micro/nano Photonic Structures

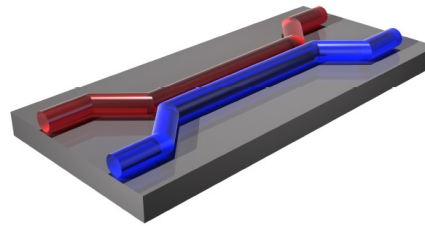


Single photon emission in hybrid topological structures

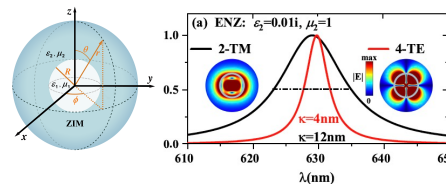


Chiral photon-emitter coupling in hybrid PC-SPP structures

Engineering Quantum States with Micro/nano Photonic Structures

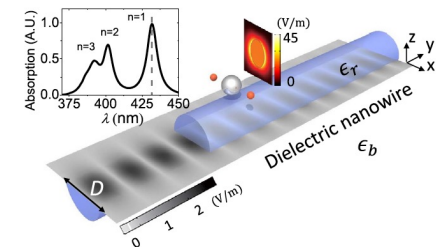


Quantum state fabrication with PT-symmetry broken structures

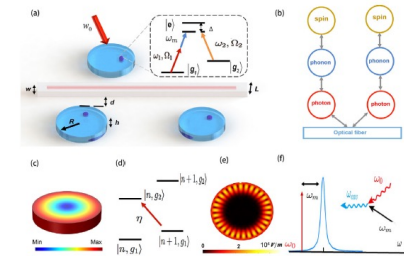


Mode degeneracy and entanglement of dielectric cavity within zero-index materials

Quantum Information Processing at Micro/nano scale



Plasmon-emitter entanglement system in evanescent wave



Seamless frequency-connection of optomechanical quantum network

量子光学

Quantum Optics

古 英 email: ygu@pku.edu.cn

Tel: 62752882 物理楼 西406

基础：量子力学，光学
电动力学，原子物理

用量子的观点（光子）看待光场
以及光和物质（光子和其它量子）相互作用

20240910

第一章 简介

一、量子光学在光学发展中的地位

1、光的特性

2、光与物质相互作用

二、量子光学的发展历程

1、量子力学的发展史（与光相关的部分）

2、激光的发明对量子光学的推进

三、量子光学后期发展

1、腔量子电动力学（CQED） 2、腔光力学 3、量子信息

4、原子光学 5、量子光子学 6、超导线路CQED

四、和量子光学相关的诺贝尔奖

五、量子光学的课程安排和参考资料

第一章 简介

一、量子光学在光学发展中的地位

1、光的特性

λ : 光波长

$\hbar$: Planck常数

几何性 —— 费马原理：光按极限光程传播

如：光沿直线传播，折射，反射

$\lambda \rightarrow 0$
 $\hbar \rightarrow 0$

费马原理是几何光学的高度概括，所有在几何光学范畴内的问题，费马原理都能解释

波动性 —— 惠更斯.菲涅尔原理

如：光波的传播，干涉，衍射，偏振等

$$\lambda \neq 0$$
$$\hbar \rightarrow 0$$

介观光学：散射体的尺寸小于
或和光波长可比拟 (问题)

电磁性 —— 经典的Maxwell方程

如：光波是电磁场

量子性 —— 光场的量子化，
薛定谔方程，算符海森堡方程

量子光学
 $\lambda \neq 0$, $\hbar \neq 0$

如：能量不可分的“粒子”，即光子 ($m=0$)
“反常”效应，即量子效应：（问题）
如相干态，压缩态，光子反聚束

为啥提到 $\hbar$ 呢？

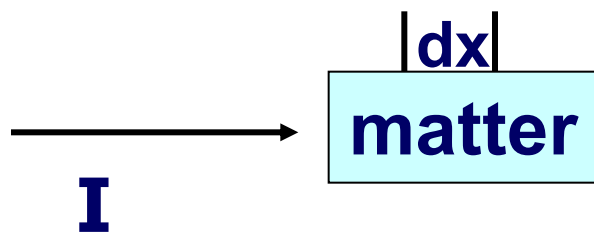
统计性 —— 统计光学

如：光场和光场间的关联
光子和光子间的关联

2、光与物质相互作用

线性光学：几何光学和波动光学

光场 Ψ_{λ} $\longrightarrow$ 物质 $\longrightarrow$ 光场 $\Psi_{\text{出}} = \mathbf{L}\Psi_{\lambda}$



$$-dI = \alpha I dx$$

α 与光强度**I**无关

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

非线性光学：物质对光场的响应是非线性的

由经典Maxwell方程和 $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_{NL}, J = \sigma E$

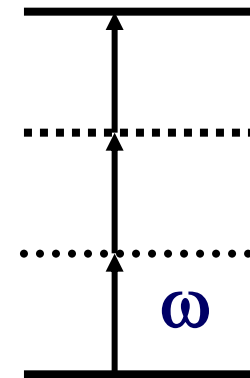
$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} + \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = -\mu \frac{\partial^2 \vec{P}_{NL}}{\partial t^2}$$

展开 $\vec{P}_{NL}$ ，微扰论下，得到非线性光学系数

$$\vec{P}_{NL} = \vec{P}^{(1)} + \vec{P}^{(2)} + \vec{P}^{(3)} + \dots$$

$$\vec{P}^{(1)} = \chi^{(1)} \vec{E}, \vec{P}^{(2)} = \chi^{(2)} \vec{E} \vec{E}, \vec{P}^{(3)} = \chi^{(3)} \vec{E} \vec{E} \vec{E}$$

数量级上， $\chi^{(1)} \sim 1, \chi^{(2)} \sim 10^{-4}, \chi^{(3)} \sim 10^{-8}$

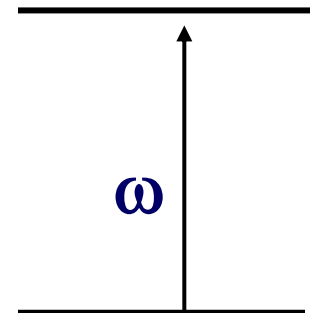


量子光学：

Hamiltonian + Schrodinger Equations

描述**微观粒子**间的相互作用
物理量由算符和波函数表达

光场是量子化的电磁场，光子



光与物质相互作用时，“理论”划分

全经典理论：光和物质均为经典

半经典理论：光是经典，介质是量子

半量子理论：光是量子，介质是经典

全量子理论：光和物质均为量子

第一章 简介

一、量子光学在光学发展中的地位

1、光的特性

2、光与物质相互作用

二、量子光学的发展历程

1、量子力学的发展史（与光相关的部分）

2、激光的发明对量子光学的推进

三、量子光学后期发展

1、腔量子电动力学（CQED） 2、腔光力学 3、量子信息

4、原子光学 5、量子光子学 6、超导线路CQED

四、和量子光学相关的诺贝尔奖

五、量子光学的课程安排和参考资料

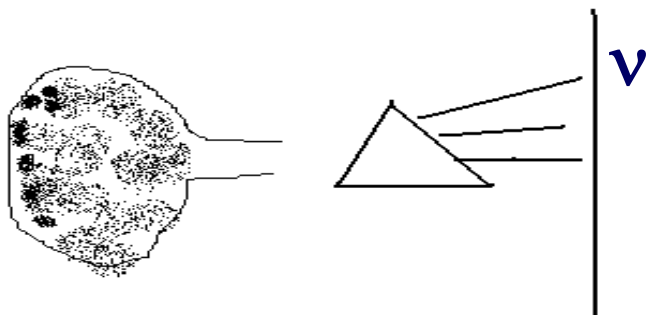
二、量子光学的发展历程

1、量子力学的发展史（与光相关的部分）

1900-1930，物理学发展的黄金时期，量子力学初建，
现代物理学的基础

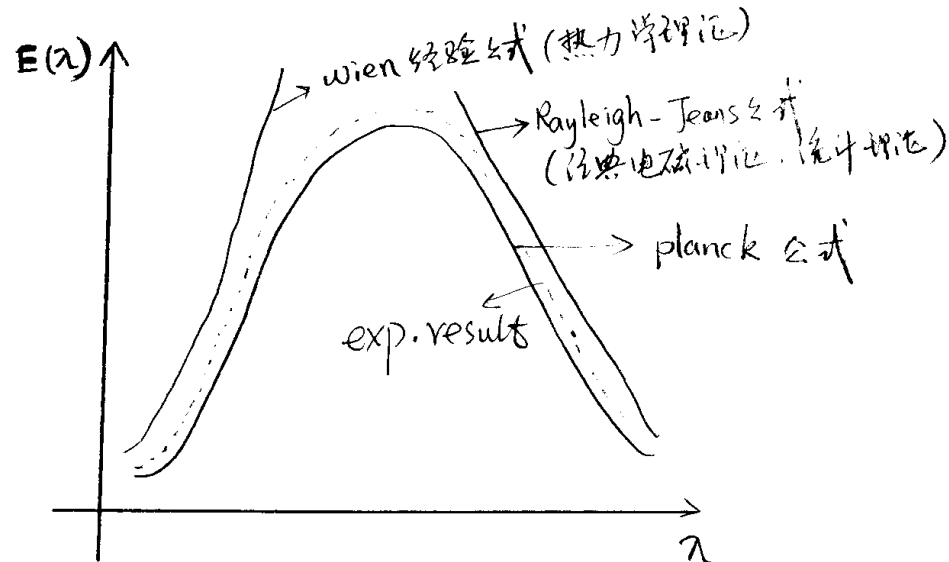
A、黑体辐射问题

黑体：任何频率的光100%被吸收



黑体辐射的实验结果

解决不了紫外发散的困难

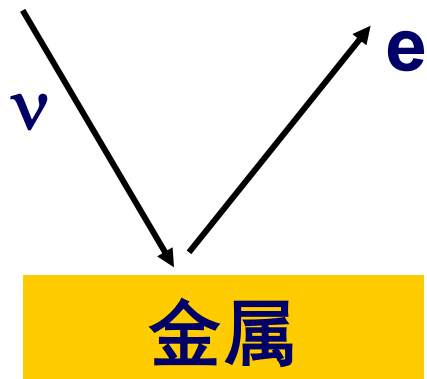


Planck公式，长波和短波都能和实验符合（1901）

quanta ：吸收和发射电磁波是以一份一份的方式进行，每一份（量子）的能量是 $\hbar\omega$

$\hbar$ ： Planck常数，架起经典和量子的桥梁

B、光电效应（1888年H.Hertz发现的）



阈值： ν_0

基本现象：

当 $\nu > \nu_0$ 时大量电子从金属表面逸出

(1) $\nu < \nu_0$, 光强再大, 无电子逸出

(2) $\nu > \nu_0$, 光强再弱, 有电子逸出

(3) e的能量与 ν 有关

Einstein: quanta $\rightarrow$ photon
(1905) light $\rightarrow$ particle

Quantum theory=用 “discrete”的观点看自然界

1901年, Max Planck → quanta

1905年, A. Einstein → photon

1913年, Bohr 解释了原子的分立谱线

1923年, Compton scattering theory $E=\hbar\omega$

1924年, DeBrogli 提出了物质的波粒二象性

1927年, Quantum mechanics 建立, 相对论

1930年, 量子电动力学 (QED) 建立, Feynman

1940---1960 World War → Radar → Enhanced signal

→ Maser → high frequency → Laser

(Light Amplification for Stimulated Emission of Radiation)

1930-1960年间,

Quantum Optics几乎没有什么进展, 原因有 (2)

(1) 经典的电磁理论Maxwell方程太过完美

(2) 光源 (热光源下, 观察不到量子现象; 激光?)

2、激光的发明对量子光学的推进

Laser: 有序、光子简并度高、量子特点

激光的发明是光学发展中的里程碑, 人们开始重新审视光学科中的许多问题, 量子光学是六十年代才开始发展起来

Laser theory的三个学派



半经典理论
W.Lamb
M.O.Scully
M.Surgent III

全量子理论
H.Haken
H.Walther
F.Hakke

辐射场的量子
统计理论
W.Louiswell
J.R.Glauber
D.F.Walls

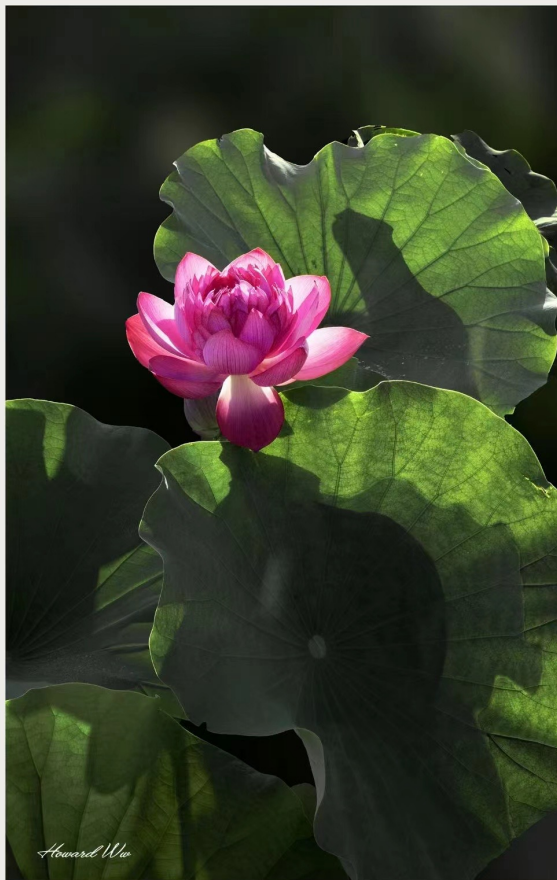
60到90年代，量子光学才真正发展起来

课程主要内容



蓮開，花見佛；蓮落，花菩提

2023.08.05



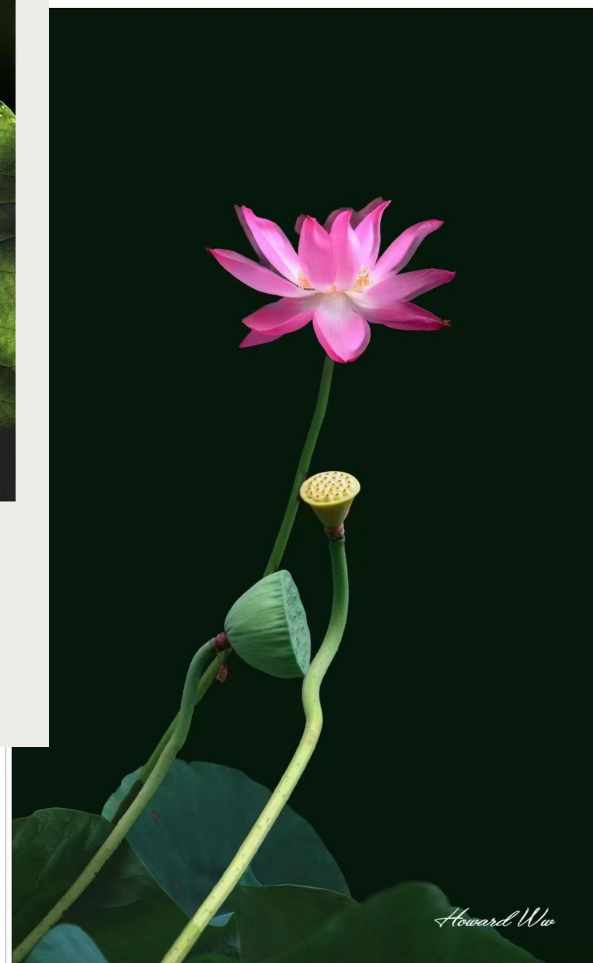
秋 (2) 荷

2023.08.28



蓮心安然 通達靜寂

2023.07.24



第一章 简介

一、量子光学在光学发展中的地位

1、光的特性

2、光与物质相互作用

二、量子光学的发展历程

1、量子力学的发展史（与光相关的部分）

2、激光的发明对量子光学的推进

三、量子光学后期发展

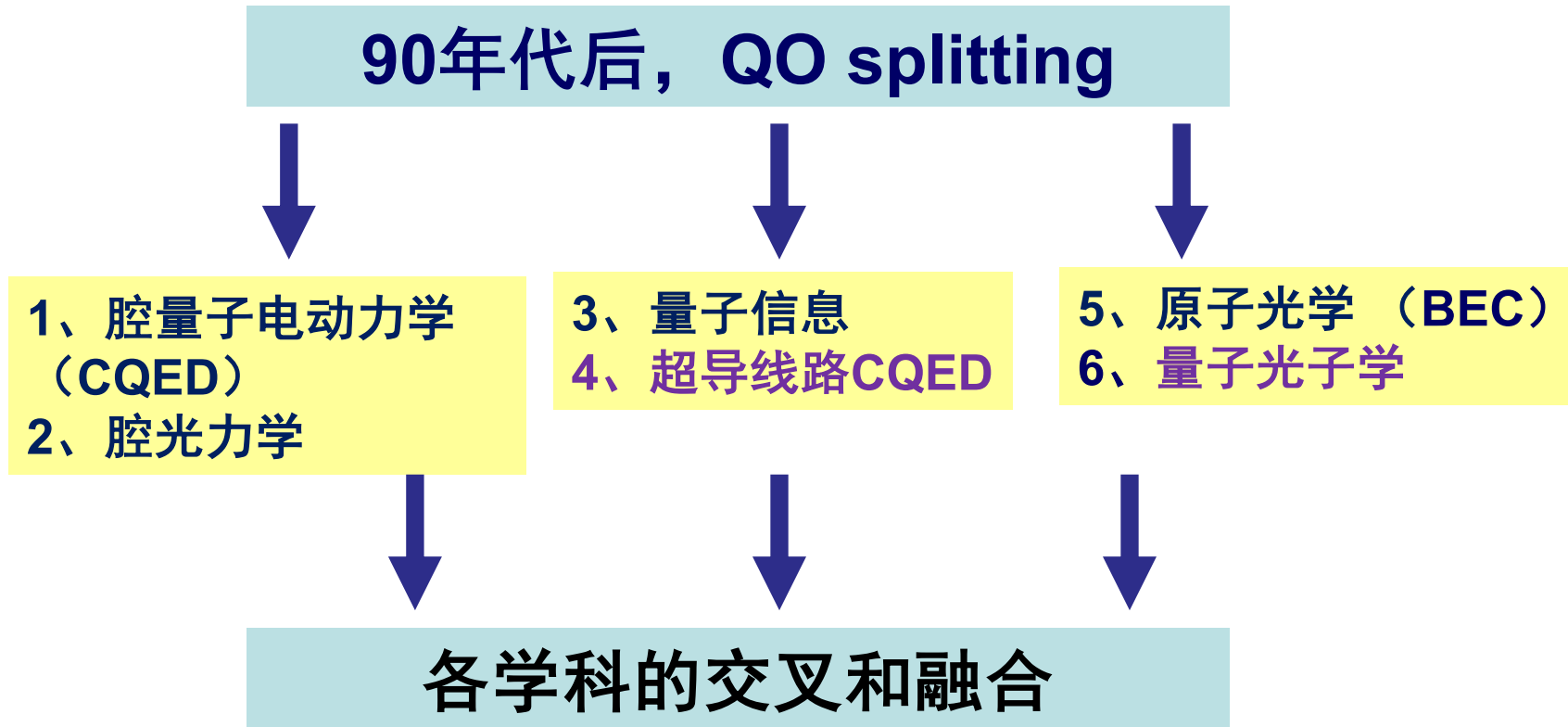
1、腔量子电动力学（CQED） 2、腔光力学 3、量子信息

4、原子光学 5、量子光子学 6、超导线路CQED

四、和量子光学相关的诺贝尔奖

五、量子光学的课程安排和参考资料

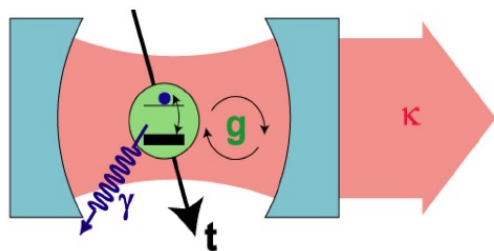
三、量子光学后期发展



未来呢？

1、腔量子电动力学 (cavity quantum electrodynamics)

CQED: 受限空间内, 单量子层次的光子和激子相互作用

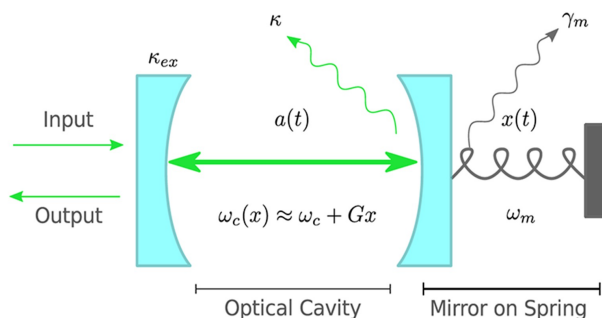


《光物理研究前沿系列》专题第五册《量子光学研究前沿》

腔量子电动力学与单原子操控

张天才, 李刚

2. 腔光力学 (Cavity Optomechanics) : 单量子层次的光子、激子和声子间相互作用



郝赫, 北大毕业论文《基于微纳光子结构的自发辐射和腔光力研究》, 2020.

3、量子信息

物理、数学、计算机、信息科学等的交叉学科

量子信息的物理实现（和量子光学联系的部分）

量子光源：单光子源、纠缠光源

信息传递：单光子、连续变量（相干态、压缩态）

信息存储：量子光场和量子体系相互作用（量子相干）

操控量子态：量子门、量子功能（量子光场）

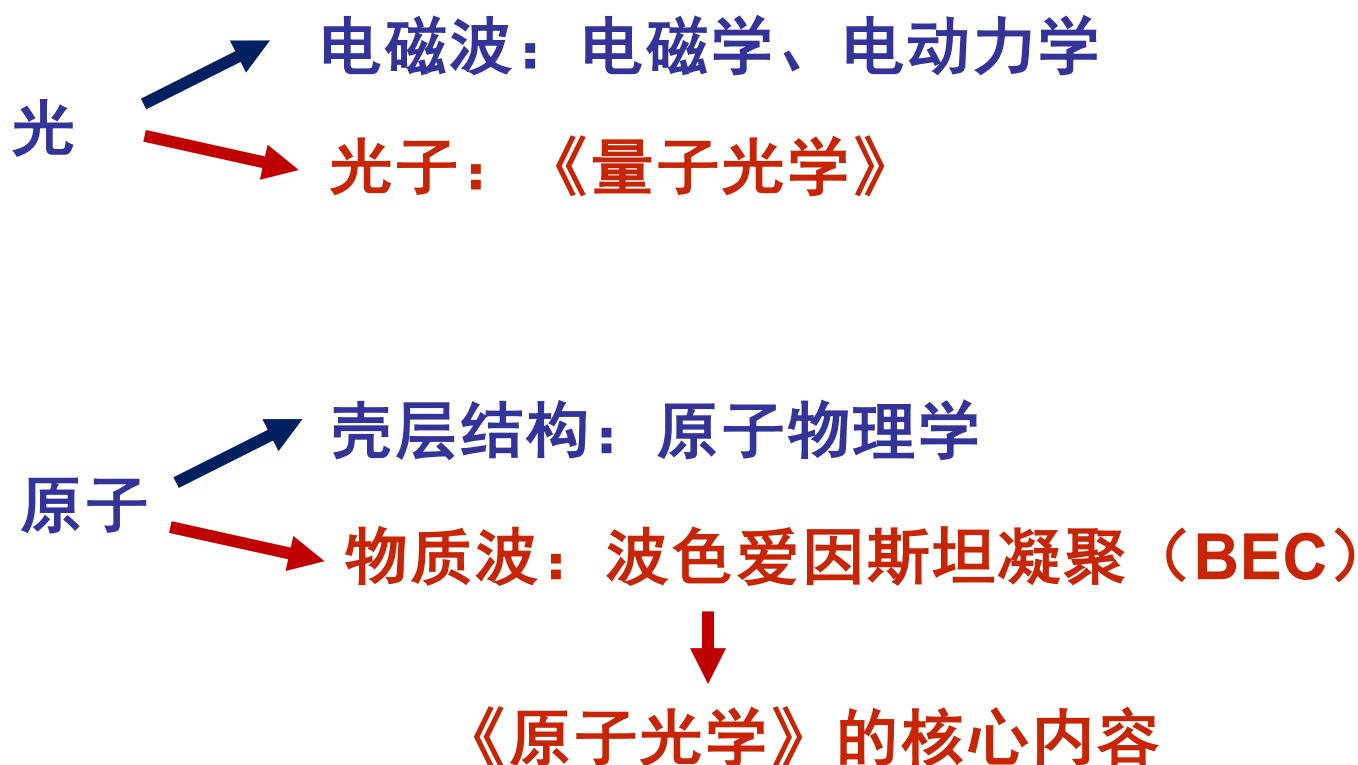
量子网络：基于量子光场的量子线路

4、超导线路CQED

目前最被看好的量子信息物理实现体系

5、原子光学

波粒二象性



6、量子光子学（量子微纳光子学）

通俗的说就是，量子技术或量子光学原理用于光子材料或结构中，发现传统量子体系所没有的性质或效应

光子材料或结构：

如：超材料、零折射率材料、金属材料

光学微腔、光子晶体、微纳光纤

微纳金属和介质颗粒、拓扑结构

低维材料（石墨烯、碳纳米管、黑磷等）

硅基材料、量子点、金刚石结构等

第一章 简介

一、量子光学在光学发展中的地位

1、光的特性

2、光与物质相互作用

二、量子光学的发展历程

1、量子力学的发展史（与光相关的部分）

2、激光的发明对量子光学的推进

三、量子光学后期发展

1、腔量子电动力学（CQED） 2、腔光力学 3、量子信息

4、原子光学 5、量子光子学 6、超导线路CQED

四、和量子光学相关的诺贝尔奖

五、量子光学的课程安排和参考资料

四、和量子光学相关的诺贝尔奖



这本便携图册由中国科学技术大学SPIE学生俱乐部的王书路、王梓、邓征标等同学收集材料编写，明海教授负责前言及全文审校。全文分为三个部份，分别是：光是什么、光·诺贝尔奖、光基技术。由于时间仓促，不足之处还请批评指正。

编写过程中，郭光灿院士、龚旗煌院士和李焱教授给予了指导，李景镇教授提供了部分材料，许立新、张永生、张斗国、姚培军老师帮助修改部分文字，作者在此一并表示感谢！

主要涉及（点清楚）：
光的量子性
光子和其它量子相互作用
量子光学前沿

本节素材部分取自以上资料



1918年诺贝尔物理学奖



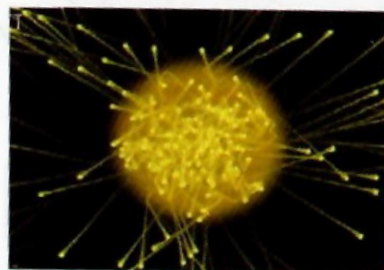
普朗克
Max Planck

普朗克（1858-1947），德国物理学家，量子力学重要创始人，因提出能量量子理论而获奖。

他解决黑体辐射问题并提出普朗克公式，正是在此期间他提出了能量量子理论，对物理学的进展做出了重要贡献。

“能量的传递是不连续的，在吸收和发射的过程中必须一份一份地进行。”

量子力学作为现代物理学两大支柱之一，导致了计算机、激光等技术的产生，从而引发了新一轮的科技革命。



艺术家关于能量量子的创作

(二)

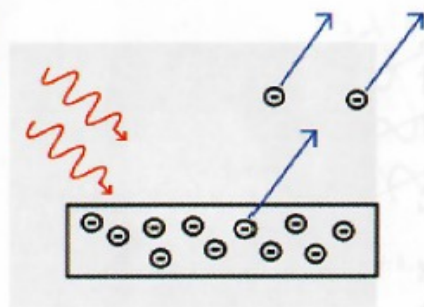
1921年诺贝尔物理学奖



爱因斯坦 (1879-1955)，
德裔美籍物理学家，现代物理学奠基人之一。因阐明了光电效应原理而获奖。爱因斯坦创立了相对论，在量子力学领域也有重大贡献。



爱因斯坦
Albert Einstein



光电效应

光电效应是在高于某特定频率的电磁波照射下，某些物质内部的电子会被光子激发出来而形成光电流。

利用光电效应可制作各类光电探测器，用于各个领域的信号检测。

(三)



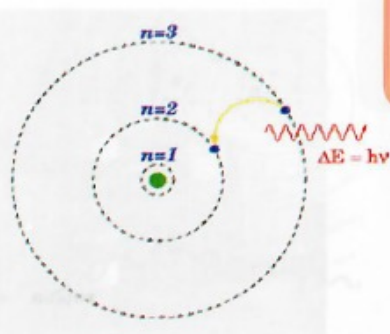
1922年诺贝尔物理学奖



玻尔
Niels Bohr

玻尔 (1885-1962)，
丹麦物理学家，因引入量
子化条件，提出了玻尔模
型来解释氢原子光谱而获
奖。

玻尔的原子理论给出这样的原子图像：电子在一些特定的可能轨道上绕核作圆周运动，离核愈远能量愈高；当电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时原子发射或吸收能量，辐射的频率和能量之间关系由 $E=h\nu$ 给出。玻尔的理论成功地说明了原子的稳定性和氢原子光谱线规律。



玻尔模型

光
诺
贝
尔
奖

(四)

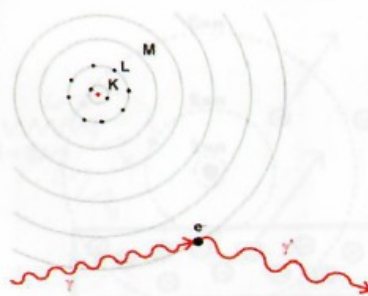
1927年诺贝尔物理学奖



阿瑟·霍利·康普顿 (1892—1962)，美国物理学家，由于发现“康普顿效应”荣获1927年诺贝尔物理学奖



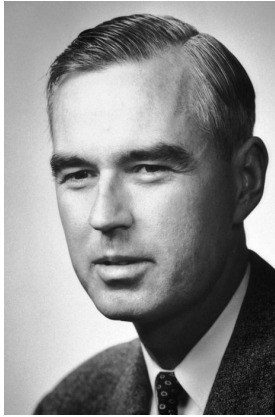
康普顿
Arthur Compton



康普顿散射

康普顿散射，或称康普顿效应，是指当X射线或伽马射线的光子跟物质相互作用，因失去能量而导致波长变长的现象。这一实验说服了当时很多物理学家相信，光在某种情况下表现出粒子性，光束类似一串粒子流，而该粒子流的能量与光频率成正比。

(五) The Nobel Prize in Physics 1955



Willis Eugene Lamb

Born: 1913

Died: 2008

Prize motivation: *"for his discoveries concerning the fine structure of the hydrogen spectrum."*

“According to Niels Bohr’s atomic model, a photon is emitted when an electron descends to a lower energy level. This results in a spectrum with lines corresponding to the different energy levels of different atoms. It appeared that the lines were divided into several lines close to one another, which Paul Dirac tried to explain in a theory. However, in 1947 Willis Lamb used **precise measurements** to establish what became known as the *Lamb shift*: what ought to have been a single energy level in the hydrogen atom according to Paul Dirac’s theory actually was two nearby levels with a small difference in energy”

以上资料来自网站: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>

(六)

光诺贝尔奖

1964年诺贝尔物理学奖



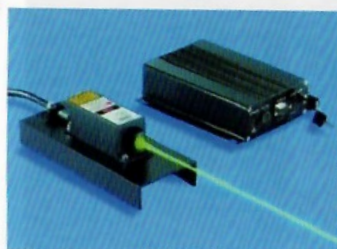
汤斯
Charles Townes
美国



巴索夫
Николай Басов
前苏联



普罗霍洛夫
Александр Прохоров
前苏联



现代激光器实物照片

在量子电子学领域的研究工作导致了激光器的诞生。

激光的出现是革命性的，使人类拥有了亮度、单色性、方向性俱佳的相干光源。时至今日，激光已在光存储、通讯、医疗、加工、测量等领域得到广泛应用。

(七)



1997年诺贝尔物理学奖



菲利普斯
William Phillips
美国



科昂-唐努德日
C. Cohen-Tannoudji
法国

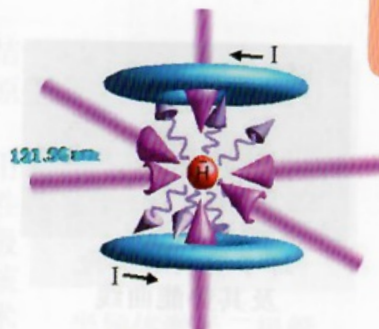


朱棣文
华裔美籍

光
诺
贝
尔
奖

三人因“发明了用激光冷却和俘获原子的方法”获奖。

该方法利用激光和原子的相互作用减速原子运动以获得超低温原子。低温的进一步突破提高了光谱分析的精度，更重要的是使“玻色-爱因斯坦凝聚”得以被观察到。

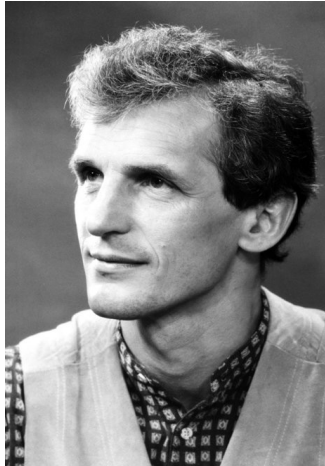


激光冷却原子原理

(八) The Nobel Prize in Physics 2001



Eric Cornell



**Wolfgang
Ketterle**

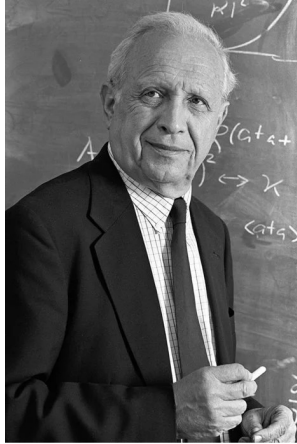


Carl E. Wieman

"for the achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, and for early fundamental studies of the properties of the condensates."

以上资料来自网站: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>

(九) The Nobel Prize in Physics 2005



Roy J. Glauber

Born: 1 September 1925

Died: 26 December 2018

Prize motivation: “for his contribution to the quantum theory of optical coherence”

“According to quantum physics, which was developed at the beginning of the 20th century, light and other electromagnetic radiation appear in the form of quanta, packets with fixed energies, which can be described as both waves and as particles, photons. *However, no real in-depth theory of light based on quantum theory existed before Roy Glauber established the foundation for quantum optics in 1963. This required the development of the laser.* Its concentrated and coherent light gave rise to more quantum physical phenomena than regular light.”

以上资料来自网站: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>



2012年诺贝尔物理学奖

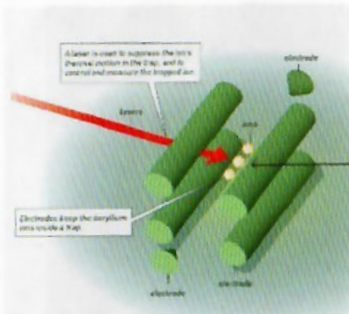


塞尔日·阿罗什
Serge Haroche
法国



戴维·瓦恩兰
David Wineland
美国

二人提出了突破性的实验方法，能够测量和操控非常脆弱的量子态而不破坏它们的量子力学性质。这将允许我们建造超高精度的离子钟，同时也迈出了建立新型超快量子计算机的第一步。



瓦恩兰的离子禁钢实验

光
诺
贝
尔
奖

(+)

- The Nobel Prize in Physics 2012 was awarded jointly to Serge Haroche and David J. Wineland "for ground-breaking experimental methods that enable measuring and manipulation of individual quantum systems."

(十一) The Nobel Prize in Physics 2022



© Nobel Prize Outreach.
Photo: Stefan Bladh
Alain Aspect



© Nobel Prize Outreach.
Photo: Stefan Bladh
John F. Clauser



© Nobel Prize Outreach.
Photo: Stefan Bladh
Anton Zeilinger

"for experiments with entangled photons, establishing the violation of Bell inequalities and pioneering quantum information science"

These and other experiments confirm that quantum mechanics is correct and pave the way for quantum computers, quantum networks and quantum encrypted communication.

以上资料来自网站：<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>

第一章 简介

一、量子光学在光学发展中的地位

- 1、光的特性
- 2、光与物质相互作用

二、量子光学的发展历程

- 1、量子力学的发展史（与光相关的部分）
- 2、激光的发明对量子光学的推进

三、量子光学后期发展

- 1、腔量子电动力学（CQED）
- 2、腔光力学
- 3、量子信息
- 4、原子光学
- 5、量子光子学
- 6、超导线路CQED

四、和量子光学相关的诺贝尔奖

五、量子光学的课程安排和参考资料

五、量子光学的课程安排和参考书

“可见光”： 10^{13} --- 10^{18} Hz，真正可见 10^{14} Hz

低端要求光子有足够能量，热激发忽略；

高端要求光子给电子能量后,电子速度 $<c/10$,非相对论

A. 高等量子力学基础（简介）

第二章 粒子数表象

第三章 角动量理论

B.光的量子性

第四章 电磁场的量子化

第五章 相干态和压缩态

第六章 P-表示、Q-表示和Wigner 函数

第七章 光子和光子间的干涉测量

C. 光子和量子体系相互作用

第八章 二能级原子的半经典处理

第九章 二能级原子的全量子处理

第十章 相干布局囚禁和电磁感应透明

D. 量子光学前沿部分（简介）

第十一章 腔量子电动力学和腔光力学

第十二章 量子信息简介

第十三章 原子光学简介

前沿讲座（1～3次）

主要参考资料：

- 1) 曾谨言, 《量子力学》卷II, 科学出版社, 2000。
- 2) Marlan O. Scully and M. Suhail Zubairy, 《Quantum Optics》, Cambridge University Press 1997。
- 3) Pierre Meystre and Murray Sargent III, 《Elements of Quantum Optics》, 4th Edition, Springer 2007.
- 4) D. F. Walls and G. J. Milburn, 《Quantum Optics》, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994。
- 5) Girish S. Agarwal, 《Quantum Optics》, Cambridge University Press 2013.
- 6) 郭光灿, 《量子光学》书, 2022年。
- 7) Christopher C. Gerry and Peter L. Knight, 《Introductory Quantum Optics》, 景俊 译 《量子光学导论》。
- 8) 张天才, 李刚, 《腔量子电动力学与单原子操控》, 来自《光物理研究前沿系列》专题第五册《量子光学研究前沿》
- 9) 《量子光学和原子光学》张卫平, 04清华春季学期笔记
- 10) R. Loudon著, 于良等译, 《光的量子理论》, 高等教育出版社 1992。
- 11) Ulf Leonhardt, 《Measuring the quantum state of light》, Cambridge University Press 1997。
- 12) 若干文献资料

课程要求及考试：

学习量子力学中粒子数表象、角动量等和光学密切相关基础知识的相关知识；了解量子光学的基本发展历史、基本原理和方法、及**研究前沿**；知道重要推导的思路，脉络及物理内涵；开始量子光学、量子信息及相关问题的**研究**时，知道从**哪儿**开始，**怎么**开始。

要求：课上和课后推导，每次上课需要准备白纸或Pad

考试：平时30%+期中40%+期末30%=100%
70分及格，闭卷笔试

公式并不可怕，可怕的是公式**背后的物理**

本学期课件是为了讲解而存在

