

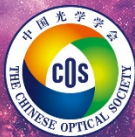


International
Day of Light

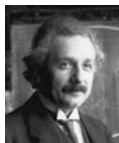
16 May

光耀世界

— 5.16国际光日



前言



在成功举办2015国际光与光基技术年（国际光年，IYL: International Year of Light and Light-Based Technologies）后，联合国教科文组织将每年的5月16日设为“国际光日”（IDL: International Day of Light），并指出：“国际光日的设立，其目的是为强调光在科学、文化、艺术和教育以及可持续发展、医药、通信、能源等多个领域的重要作用。”

“国际光日”设在每年的5月16日是为了纪念1960年5月16日美国休斯研究实验室的物理学家梅曼制造了第一台激光器。激光器在医疗保健和互联网上的应用改变了社会，得到了广泛认可，同时获得了超过20项诺贝尔奖。IDL不仅仅是庆祝激光科学的纪念日，也是为了强调光学与光子学不断改变着人们的生活，在人类社会进步中发挥越来越大的作用。

IDL的标识已经被纳入了联合国以消除贫困、保护地球、确保所有人享有和平与繁荣而设立的可持续发展目标的标识之中，



并强调IDL的中心是可持续发展应用。

《光耀世界—5.16国际光日》是在中国光学学会倡议下，由中国科学技术大学SPIE学生俱乐部多年来在科技活动周举办“走进光的世界”科普活动的基础上，组织学生编写的光学知识、光学领域诺贝尔奖获得者、宣传光基技术在各个领域应用的便携图册。旨在纪念每年5月16日国际光日，促进我国光与光技术的研究及其科学普及，弘扬光学领域诺贝尔奖获得者的奋斗和科学创新精神，普及光学知识，提高公众对光和光技术在信息、航天航空、新能源、新材料、生命科学、环境和军事等领域的应用及其推动社会进步的认识，呼吁全社会重视光和光技术，提高人民群众的科学文化素质。

这本便携图册由中国科学技术大学SPIE学生俱乐部的王梓、马凤华等同学编写，段开敏老师提供部分材料，明海教授负责前言及全文编排与审校。全文分为三个部分，分别是：光是什么、光·诺贝尔奖、光的应用。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，作者在此一并表示感谢！

光是什么？

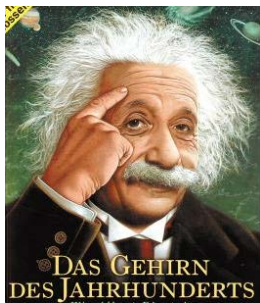
光是一种电磁波，它携带能量和信息，具有波粒二象性。

光是什么



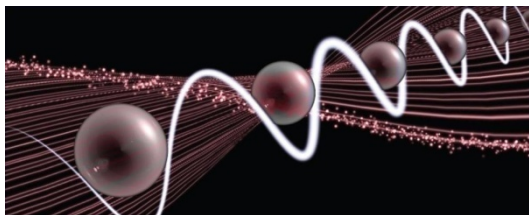
牛顿说，
光是一种
粒子

PK



惠更斯说，光
是一种波

爱因斯坦说，光具
有波粒二象性



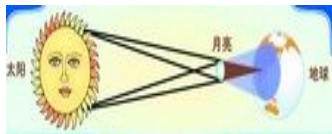
光·直线传播

光是什么

光在均匀介质中沿直线传播是光最基本的性质。



形影不离



当太阳、月球、地球三者正好排成或接近一条直线，月球挡住了射到地球上去的太阳光，月球身后的黑影正好落到地球上，这时就发生了日食现象。



由于直线传播的光被不透明的物体挡住,从而在物体的背面形成了影子。

日食是怎么形成的呢?

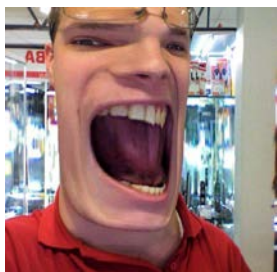


日食是光在天体中沿直线传播的典型例证。

光·反射

光的反射指光在传播到不同介质时，在分界面上改变传播方向又返回原来物质中的现象。

哈哈镜里为什么能形成滑稽可笑的像呢？



哈哈镜里的像是由凹面镜和凸面镜反射得到的，凸面镜会把像缩小，凹面镜会把镜像放大，从而达到失真的效果。

神奇的万花筒里为什么会出现一朵朵“花”呢？

万花筒里有三面玻璃镜组成一个三棱镜，在一头放上一些各色碎片，这些碎片经过三面镜子的反射，就会出现对称的图案，看上去就像一朵朵盛开的花。



光的折射指光从一种介质斜射入另一种介质时，传播方向发生改变，从而使光线在不同介质的交界处发生偏折的现象。透过界面的一束称为折射光线。在各向异性晶体中，会发生双折射（也就是能出现两条折射光线）。如果界面处有人工微结构，还可以实现负折射。



为什么叉鱼的时候要叉所看到鱼的下方才能把鱼叉住呢？因为空气和水是两种不同的介质，所以由于光的折射作用，我们看到水中的鱼的位置比实际的要浅一些。

普通平板玻璃不等厚平整会引起光线折射不均匀，使得运动物体看起来变得恍惚，给人感觉物体本身运动得比实际的更快。减速玻璃很准确地矫正了普通玻璃的不平整性，它虽然不能让外界景物的运动看起来比实际更慢，但是可以做到看起来和实际速度一致，和没有玻璃时一模一样。



神奇的减速玻璃

光·干涉

两列或几列光波在空间相遇时相互叠加，在某些区域加强，在另一些区域则削弱，形成稳定的强弱分布，称为光的干涉现象。

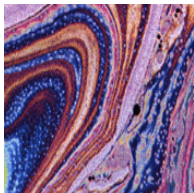


泡泡里的世界



肥皂泡之所以能呈现出五彩缤纷的颜色是因为在泡泡膜外层反射的光和内层反射的光发生干涉的缘故。

生活中还有哪些现象与光的干涉有关呢？



水面上的油膜

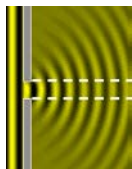


光盘的背面



高反射车窗玻璃

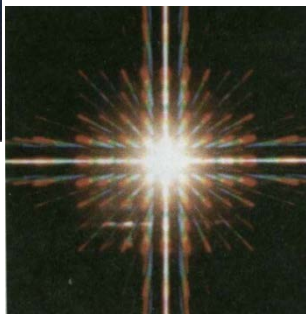
光的衍射：光在传播过程中遇到障碍物时偏离直线传播的现象。



在星星周围明亮的圆环的形成是由于望远镜镜孔形成的单孔衍射的结果。



透过一块方手帕观察白炽灯，会看到什么现象呢？我们可以看到成矩形规则排列的亮格斑，每个斑点周围还镶着彩边。这是由于白光在二维网格上发生衍射的结果。



白光通过一块编制紧密的布片发生的衍射（多孔衍射）

光·偏振



偏振：光是横波，人们将垂直于传播方向的平面内的各种振动状态称为光的偏振态。

偏振立体电影是用两个镜头从左右不同的方向同时拍摄下景物，在放映时在每架电影机前装一块偏振片，并且偏振方向相互垂直，用偏振眼镜观看电影时左右眼睛分别看到左右机映出的画面——给人以立体效果。



3D
立体
眼镜

立体
电影



偏振光在摄影中是有害的，可以使用偏振镜消除偏振光。

未
使用
偏
振
镜



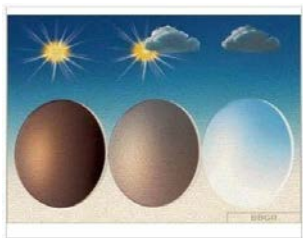
使
用
偏
振
镜

由于偏振镜滤去了白光中的一部分而让全部蓝色偏振散射光通过，使得天空的蓝色更蓝，而白云也显得较暗些。

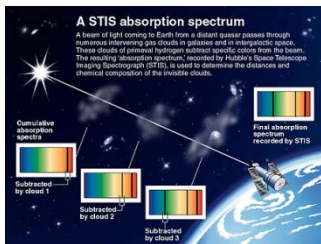
光的吸收是指原子在光照下，会吸收光子的能量由低能态跃迁到高能态的现象。



变色太阳镜：在室外时眼镜镜片中的物质吸收了紫外线后结构或成分发生转变，颜色变深；当回到暗处时发生逆反应，又恢复到完全透明的状态，能方便地在室内室外状态间转换。



吸收光谱：
不同的化学元素会吸收不同波长的光，在特定位置产生吸收线。因此吸收谱线可以用来鉴定气体或液体中所含的元素。这种方法也可以用在不可能直接去测量的恒星和其他的气体上出现的现象。



哈勃望远镜获得的吸收光谱

光·色散

光在介质中的传播速度随波长变化的现象。



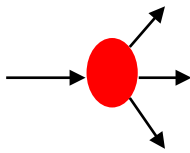
早在17世纪，伟大的物理学家牛顿就用三棱镜认识到了光的色散现象。

大雨过后天空中绚丽的彩虹是怎么形成的呢？

太阳光是一种复色光，由于大气中的水滴等微小颗粒对各种波长的光具有不同折射率，所以彩虹是阳光穿过雨滴微粒时发生了色散而形成的。



赤橙黄绿青蓝紫，谁持彩练当空舞？



光束通过光学性质不均匀的介质时，光线偏离原来的传播方向向各个方向传播的现象。

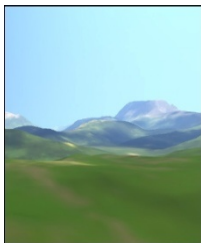
为什么天空是蓝色的呢？



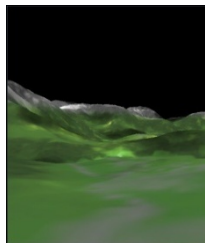
阳光进入大气时，波长较长的色光，如红光，透射力大，能透过大气射向地面；而波长短的蓝、紫光等，碰到大气分子、水滴等时，很容易发生散射现象。被散射的蓝、紫等色光布满天空，就使天空呈现出一片蔚蓝了。

如果没有了大气的散射会怎么样呢？

那我们在白天看到的天空将和晚上一样，满天星斗在黑色的背景上闪烁，唯一不同的是有一个十分明亮的太阳在黑色的背景上发出耀眼的光芒。在月球上观察到的情况就是这样。



有大气散射的天空

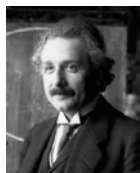


失去大气散射的天空

光·量子



普朗克于1900年提出“量子”概念，宣告“量子”时代的诞生。爱因斯坦进一步提出了光辐射的能量本身就是“量子化”的，一份能量就是能量的最小单元，后来称之为“光子”或简称“光子”。

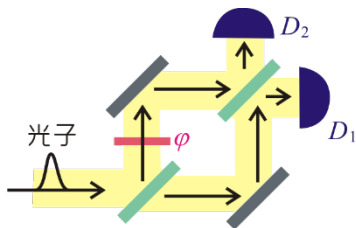
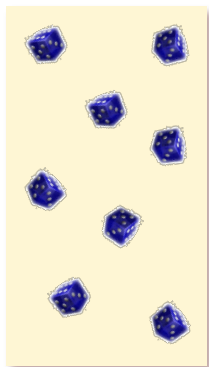


德布罗意在爱因斯坦“光子”概念的启发下提出“德布罗意物质波”假设。由此引发后继的大量研究，证实所有微观粒子都具有波动和粒子二象性。

光子的特性

光子在空间中位置不确定

光子空间运动轨迹不确定

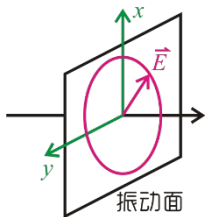


光子具有波动性 → 干涉

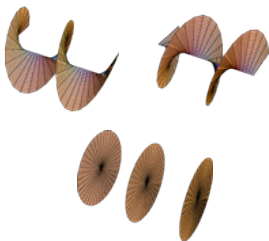
光子具有粒子性 → 只有一个 D_i 可探测到光子

光子的自由度

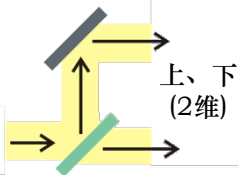
偏振(自旋角动量), 二维



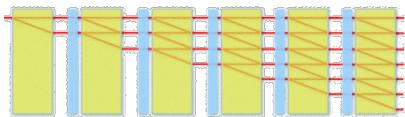
轨道角动量(无穷维)



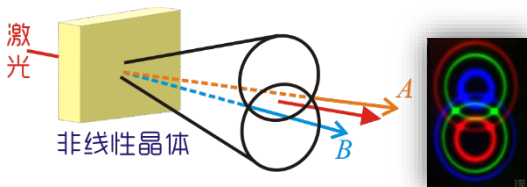
路径自由度 (2维或高维)



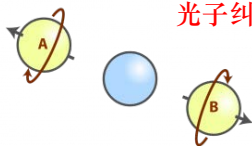
高维



双光子



光子纠缠态



A—B之间存在“幽灵般”的超距作用!

光子 — 原子相互作用 → 激光的诞生

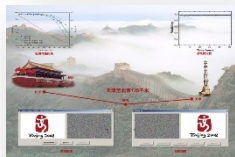


1960年，美国人梅曼(T. H. Maiman)发明了世界上第一台红宝石激光器。



1962年，He-Ne气体激光器在美国贝尔实验室研制成功。

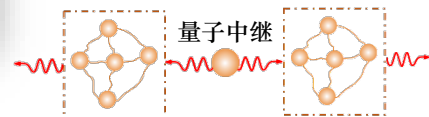
光子的魅力



2004年中科院量子信息重点实验室实现了国际上第一个城际量子密码实验，量子线路长度125公里创下了当时的世界纪录。

- 1. 量子密码
- 2. 量子纠缠网络
- 3. 量子模拟
- 4. 量子计量
- 5. 光子的量子计算(one way)

量子纠缠网络的应用



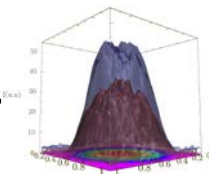
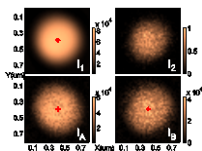
(A) 局域量子因特网+

(B) 局域网

分布量子计算

远程量子网络
可实现量子“云计算”

量子计量—突破经典理论极限及实用化



量子统计测量用于相邻
发光体测量

两点距离:8.5nm;分辨
精度:2.4nm

Phys. Rev. Lett. 110,153901
(2013).

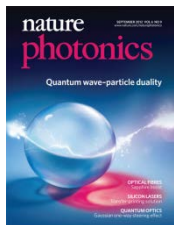
光是什么

光子是什么



光的本性之思考已在心中萦绕了50年，然而并没有使我接近答案半步，现在，似乎每个人都认为他们能回答光是什么，然而他们错了。(爱因斯坦，1951年)

2012年中科院量子信息重点实验室实现了量子惠勒延迟选择实验，观察到了光子的波动态和粒子态的叠加，挑战了玻尔的互补原理设定的传统界限。



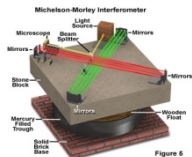
或许波动性和粒子性仅适用于经典世界，量子世界并不存在，如同“轨道”在量子力学中一开始就被抛弃那样！

或许“光子”诞生后的第二个百年中可以找到正确答案，让天堂上的爱因斯坦感到心满意足！

量子力学的第二次革命已经来临，量子战鼓已敲响！

光·速度

光有速度吗？



光速测量实验

电灯一打开房间就亮了，所以光传播没有速度

光的传播是有速度的，只不过太快了我们感觉不到而已！



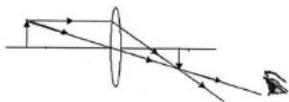
太阳光照到地球上需要8分21秒

光在真空中的速度为300000千米/秒。

打雷的时候为什么我们先看到天空中的闪电然后才听到雷声呢？



因为当云层放电时，在产生闪电的同时会伴有雷声，而光速比声速快，所以光线比雷声先到达地面。（声在空气中的速度是340米/秒）



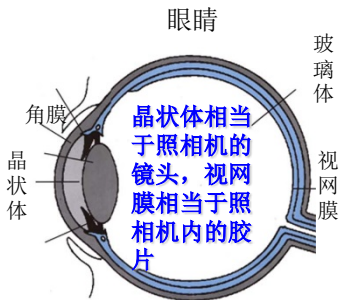
照相机



照相机上的透镜

照相机是利用透镜能成缩小实像的原理制成，来自物体的光经镜头后在胶片上形成一个缩小的实像。

近视眼看不清远处的景物是因为远处物体的像落在视网膜的前方，通过凹透镜矫正可使像重新落在视网膜上；远视眼看不清近处的物体，是因为近处物体的像落在视网膜的后面。通过凸透镜矫正。



怎样保护眼睛？

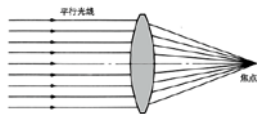
健康小
贴士



正确的看书姿势
坚持做眼睛保健操

光线要柔和充足
定期检查视力

光·宏观 望远镜

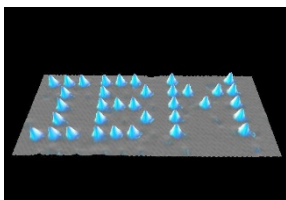


1990年，第一座放置在地球轨道上的天文台—哈勃太空望远镜成功运行。

1608年，荷兰人发明了世界上第一台望远镜，它主要是由一块凸透镜和一块凹透镜组成的，现在世界上最先进的天文望远镜可以让我们看到100亿光年以外的景象。

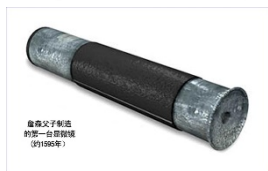


哈勃望远镜所拍摄到的宇宙深处的照片



扫描隧道显微镜下的由单个原子排列的“IBM”字样

光·微观 显微镜



世界上第一台显微镜

1595年左右世界上出现了第一台显微镜，它的放大率不过几百倍，现在最先进的显微镜已经可以把使我们清晰看到不到一纳米的微观物质。

美丽奇幻的极光



当太阳黑子、耀斑活动剧烈时发出大量强烈的带电粒子流，当到达地球外层大气时，与空气中的原子发生激烈碰撞，使原子中电子获得了大量能量。这些能量释放出来，便会产生极光。

荧光棒能发光是因为棒中的化学物质发生反应，反应后的能量传递给荧光染料，再由染料发出荧光。



五彩缤纷的荧光棒

魔球内充满了惰性气体，当手接触时内部高压电极和手之间放电，惰性气体在高电压下发光。



神奇的“光电魔球”

1901年诺贝尔物理学奖



伦琴（1845-1923），德国物理学家，因发现X射线而获奖。除此之外，在物理学许多领域中也进行过实验研究工作，如对电介质在充电的电容器中运动时的磁效应、气体的比热容、晶体的导热性、热释电和压电现象、光的偏振面在气体中的旋转、光与电的关系、物质的弹性、毛细现象等。



伦琴
Wilhelm Röntgen



X射线可用于医学、工业等领域，也可用来分析晶体结构。

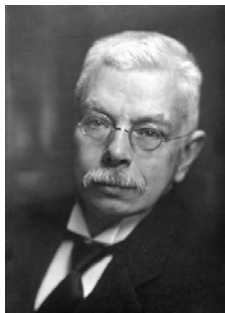
这张珍贵的X光照片显现出伦琴夫人的手骨结构，连那枚结婚金戒指的轮廓也在照片上留下了清晰的影子，是历史上第一张人体X射线图。



1902年诺贝尔物理学奖



洛伦兹
Hendrik Lorentz



塞曼
Pieter Zeeman

塞曼效应，在原子物理学和化学中的光谱分析里是指原子的光谱线在外磁场中出现分裂的现象，是1896年由荷兰物理学家彼得·塞曼发现的，随后荷兰物理学家亨德里克·洛伦兹在理论上解释了谱线分裂成3条的原因。他们共同获得1902年诺贝尔物理学奖。



钠D线在磁场中的分裂

1907年诺贝尔物理学奖

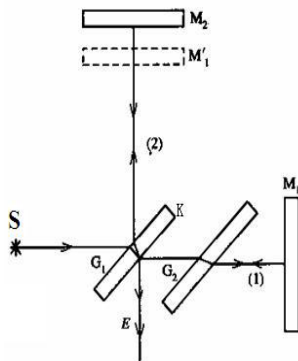


迈克尔逊（1852-1931），波兰裔美籍物理学家，因创造精密的光学仪器和用以进行光谱学度量学的研究，并精确测出光速而获奖。



迈克尔逊

Albert Michelson



迈克尔逊干涉仪原理

迈克尔逊干涉仪，是1883年美国物理学家迈克尔逊和莫雷合作，为研究“以太”漂移而设计制造出来的精密光学仪器。能够非常精确地测量微小尺度的变化。迈克尔逊的实验验证了真空中的光速不变性，是狭义相对论的有力佐证。



1908年诺贝尔物理学奖



李普曼

Gabriel Lippmann

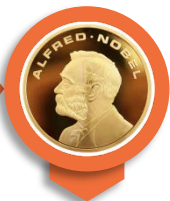
李普曼（1845-1921），法国物理学家，因发明基于干涉现象的彩色照相技术而获奖。他对干涉现象做了深入广泛的研究，彩色照相技术正是以此为基础，并发表了李普曼干涉定律。

彩色照片相比黑白照片能保存更丰富的信息，该技术已经深入到人们的日常生活。此外，李普曼首次提出“集成成像”的概念，可应用于三维成像与显示。

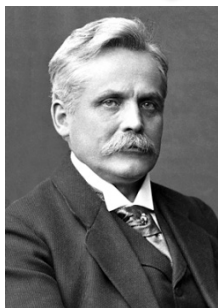
右图是李普曼利用该技术拍摄的照片。



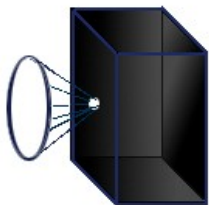
1911年诺贝尔物理学奖



维恩（1864-1928），德国物理学家，1893年，发现了维恩位移定律，并应用于黑体辐射等学术理论，揭开量子力学新篇章。1911年，他因对于热辐射等物理法则的贡献，获得诺贝尔物理学奖。



维恩
Wilhelm Wien



维恩研究了黑体辐射能量按波长的分布问题。他从热力学理论出发，在分析了实验数据之后，得到了一个半经验的公式，即维恩公式。

维恩公式为普朗克公式的出现奠定了基础。

$$E_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \exp(-C_2 / \lambda T)}$$



1914年诺贝尔物理学奖



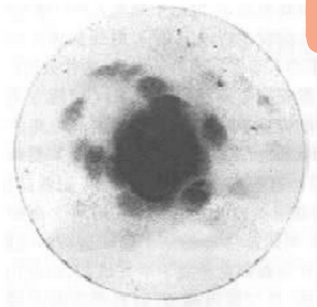
劳厄

Max von Laue

劳厄（1879-1960），德国物理学家，因发现X射线在晶体中的衍射而获奖。除此之外，他还对超导现象进行了深入的研究。

晶体的X射线衍射是固体物理学中具有里程碑意义的发现。从此，人们可以通过观察衍射花纹研究晶体的微观结构，并且对生物学、化学、材料科学的发展都起到了巨大的推动作用。

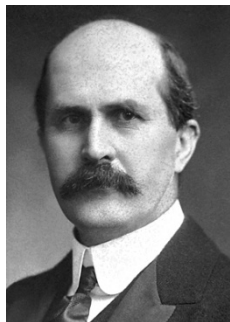
右图是劳厄得到的第一个晶体的X射线衍射图。



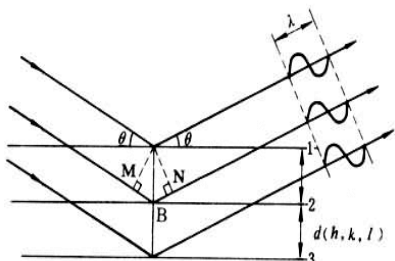
1915年诺贝尔物理学奖



劳伦斯·布拉格
William Lawrence Bragg



亨利·布拉格
William Henry Bragg

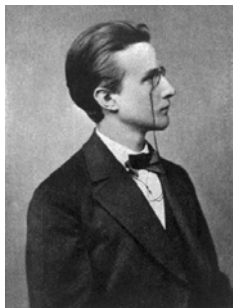


晶体结构布拉格反射示意图

通过晶体的X射线衍射花样，与晶体原子排布之间的相互转换关系，可以精确测定晶体中原子的空间分布。



1918年诺贝尔物理学奖



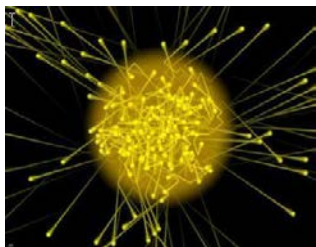
普朗克
Max Planck

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。

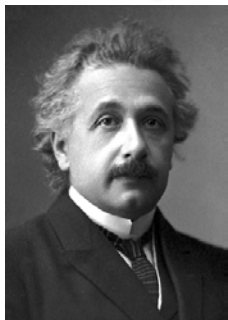


艺术家关于能量量子的创作

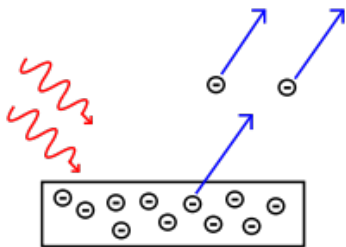
1921年诺贝尔物理学奖



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。



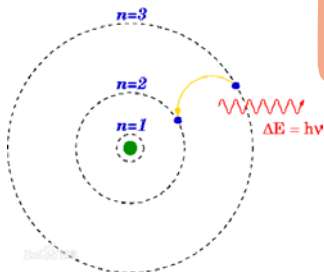
1922年诺贝尔物理学奖



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

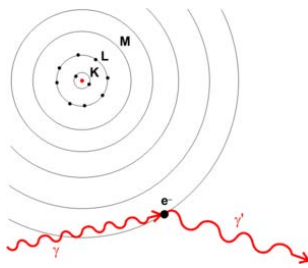
1927年诺贝尔物理学奖



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。



1930年诺贝尔物理学奖



拉曼

Chandrasekhara Raman

拉曼 (1888-1970) , 印度物理学家, 因光散射方面的研究工作和拉曼效应的发现而获奖。他是第一位获得诺贝尔物理学奖的亚洲科学家。

当光照射到物质上时会发生散射, 散射光中除了与激发光波长相同的弹性成分外, 还有比激发光的波长更长和更短的成分, 这一现象统称为拉曼效应。

拉曼光谱在材料科学领域有重要应用。



拉曼光谱仪

1932年诺贝尔物理学奖

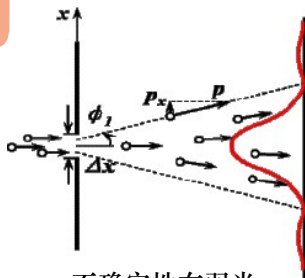


海森堡（1901-1976），德国物理学家，量子力学主要创始人之一，哥本哈根学派的代表人物，1932年，海森堡因为“创立量子力学以及由此导致的氢的同素异形体的发现”而荣获诺贝尔物理学奖。



海森堡
Werner Heisenberg

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar / 2$$



不确定性在弱光衍射中的体现

海森堡于1927年提出“不确定性”，对某些成对的物理变量，虽然都可以测量，但不可能同时得出精确值，不确定原理是量子力学的基本原理之一。

海森堡的另一项贡献在于创建了矩阵力学—量子力学的一种重要表述形式，对人们认识微观世界起到了巨大的作用。



1953年诺贝尔物理学奖



泽尼克

Frederik Zernike

泽尼克 (1888-1966) , 荷兰物理学家, 因论证相衬法, 特别是发明了相衬显微镜而获奖。他制造了世界上第一台相衬显微镜。

相衬法是通过空间滤波器将物体的位相信息转换为相应的振幅信息, 从而大大提高透明物体的可分辨性, 所以从这个意义上说, 相衬法是最早的光学信息处理方法之一, 在光学的发展史上具有重要意义。



相衬显微镜

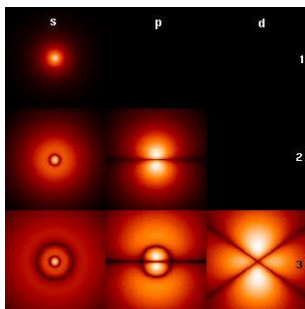
1954年诺贝尔物理学奖



玻恩 (1882-1970) ，
德国物理学家，量子力学奠
基人之一。因对量子力学
的基础性研究尤其是对波函数
的统计学诠释而获奖。



玻恩
Max Born



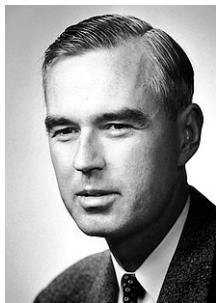
氢原子的电子分布

玻恩对波函数的物
理意义作出了统计解释，
即波函数模的二次方代
表粒子出现的几率。

波函数的统计解释，
是人类在认识量子力学
的道路上迈出的重要一
步。



1955年诺贝尔物理学奖



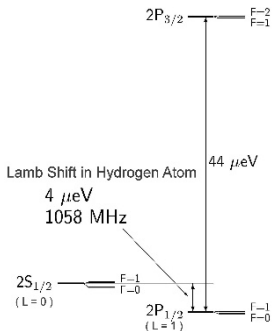
兰姆

Willis E. Lamb

兰姆 (1913-2008) ，美国物理学家，因对氢原子光谱的精确测量获奖。

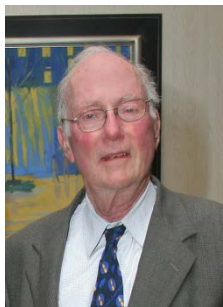
1947年，兰姆用射频波谱的方法发现氢原子的 $2S_{1/2}$ 和 $2P_{1/2}$ 能级并非完美吻合，而是具有一个很小的能量差，称为兰姆位移。

氢原子光谱中兰姆位移的发现显示了氢原子能级不完全精确符合量子力学理论计算的结果，直接促进了量子电动力学的建立。兰姆位移的测量实验也成为量子电动力学的三大实验支柱之一。



兰姆位移示意图

1964年诺贝尔物理学奖



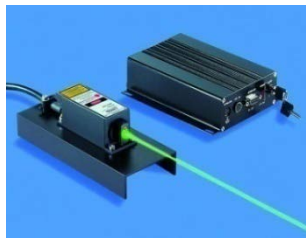
汤斯
Charles Townes
美国



巴索夫
Никола́й Ба́сов
前苏联



普罗霍洛夫
Алекса́ндр Про́хоров
前苏联



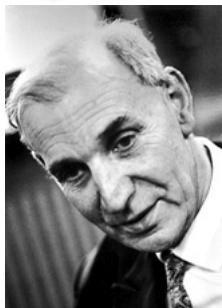
现代激光器实物照片

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。



1966年诺贝尔物理学奖

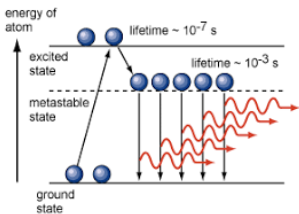


卡斯特勒
Alfred Kastler

卡斯特勒（1902-1984），法国物理学家，因发现和发展研究原子中赫兹共振的光学方法而获奖。

由于这种方法最早实现了粒子数反转，成了发明激光器的先导，所以卡斯特勒被人们誉为“激光之父”。

射频和微波波谱学频段的电磁波，其频率要比可见光小上千倍，所产生的光子能量比光频光子的能量小得多，因此可以直接测量到原子的精细能级和超精细塞曼子能级之间的共振跃迁。人们把这个频段的电磁波称为赫兹波，把微波或射频共振称为赫兹共振。



三能级结构的
粒子数反转

1971年诺贝尔物理学奖



盖伯（1900-1979），英籍匈牙利裔物理学家，因发明全息术而获奖。

1948年，盖伯为了提高电子显微镜的分辨本领提出了全息术原理。1960年第一台激光器问世后，全息技术的研究与应用获得突飞猛进的发展。



盖伯
Dennis Gabor



电影《阿凡达》对全息沙盘的艺术表现

全息术是利用光的干涉和衍射原理，将携带物体信息的光波以干涉图的形式记录下来，并在一定条件下再现，形成原物体逼真的立体像。

因为全息术能记录物体的全部信息，被认为是绝佳的真三维显示方案。此外，在干涉计量、信息存储、军事、艺术等领域，均得到应用。



1981年诺贝尔物理学奖



布罗姆伯根
Nicolaas Bloembergen



肖洛
Arthur L. Schawlow

1981年诺贝尔物理学奖的一半授予布罗姆伯根和肖洛，以表彰他们在发展激光光谱学所作的贡献。布洛姆伯根被公认为是非线性光学的奠基人。非线性光学研究介质在强相干光作用下产生的非线性现象及其应用。



强激光示意图

1986年诺贝尔化学奖



达德利·赫施巴赫

Dudley R. Herschbach
美国



李远哲

Yuan T. Lee
中国台湾

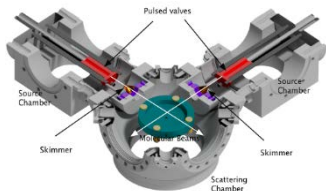


约翰·查尔斯·波拉尼

John C. Polanyi
加拿大

三人因“对研究化学基元反应的动力学过程的贡献”获奖。

其中，李远哲把交叉分子束实验方法应用于一般的化学反应，特别是研究较大分子的化学反应；利用激光激发已被加速但尚未碰撞的分子或原子，以此控制发生化学反应的类型。



交叉分子束方法



1997年诺贝尔物理学奖



菲利普斯
William Phillips
美国



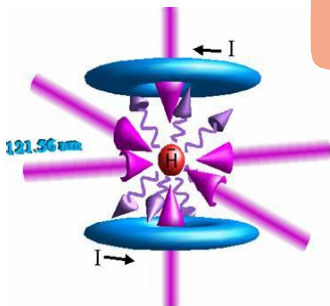
科昂-唐努德日
C Cohen-Tannoudji
法国



朱棣文
华裔美籍

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

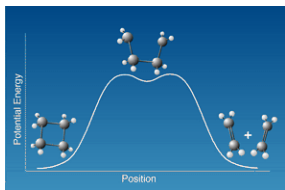
1999年诺贝尔化学奖



泽维尔（1946年-），埃及裔美籍化学家，埃及首位获诺贝尔奖的科学家，飞秒化学专家，被誉为“飞秒化学之父”。他研究的技术能将观测化学反应的时间尺度缩减至飞秒，通过摄影将化学反应中每个微细变化忠实地记录下来。



泽维尔
Ahmed Zewail



环丁烷裂解实验
及其势能曲线

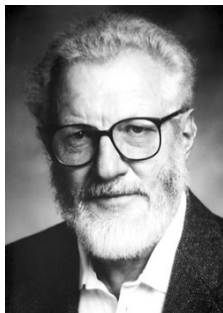
在环丁烷裂解实验中，泽维尔结合飞秒光学测得了反应的过渡态寿命为700飞秒；在NaI光解反应中，他观察到了反应的过渡态在势能面上的振荡和解离过程。这是人类第一次直接从实验上观察到过渡态的变化过程。



2000年诺贝尔物理学奖



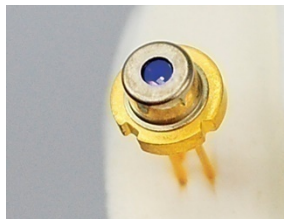
阿尔费罗夫
Жорѣс Алфѣров
俄罗斯



克勒默
Herbert Kroemer
德裔美籍

二人因将半导体异质结构发展应用于高速光电子原件中而获得诺贝尔奖。

半导体异质结构的应用大大提高了半导体元件的性能，其自身也成为发光二极管和半导体激光的基础和核心技术，促进了光电子技术的飞速发展。



半导体激光二极管

2001年诺贝尔物理学奖



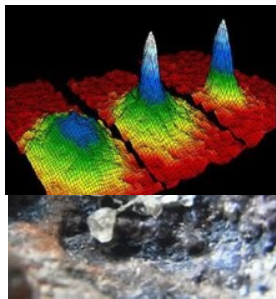
克特勒
Wolfgang Ketterle
德国



康奈尔
Eric Cornell
美国



威曼
Carl Wieman
美国



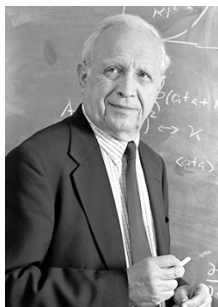
玻色-爱因斯坦凝聚态

本届诺贝尔物理学奖因循“奖励为人类福祉作出重要贡献的发明”的精神而颁出。

利用激光冷却和磁阱囚禁实现冷原子的玻色-爱因斯坦凝聚。



2005年诺贝尔物理学奖



格劳伯
Roy Glauber

罗伊·格劳伯，哈佛大学物理学教授。他因对“光学相干的量子理论”的贡献与美国科罗拉多大学的约翰·霍尔和德国慕尼黑路德维希-马克西米利安大学特奥多尔·亨施共同分享了2005年诺贝尔物理学奖。

“光学相干的量子理论”为量子光学这一当时新兴学术领域奠定了基础，如今的研究前沿—量子计算、通讯均以之为理论依据。



激光光束

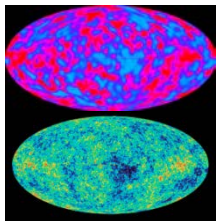
2006年诺贝尔物理学奖



约翰·马瑟
John Mather
美国



乔治·斯穆特
George Smoot
美国



COBE得到的宇宙微波背景辐射（上）
WMAP得到的宇宙微波背景辐射（下）

两人领导的研究组借助COBE卫星，首次完成对宇宙微波背景辐射各个波长黑体谱形的精确太空测量，并由此发现了期待已久的宇宙微波背景中微弱的各向异性现象。

他们开创性的工作是宇宙学步入精确科学的起点。为此后WMAP卫星更精细的测量打下了基础。



2009年诺贝尔物理学奖



高锟

高锟（1933-），华裔物理学家，英国、美国双重国籍，持有香港居民身份，因在纤维中传送光以达成光学通讯的开拓成就而获奖。被誉为“光纤通讯之父”。

光纤可作为信息传导的工具。高锟提出当玻璃纤维衰减率下降到 20dB/km 时，光纤通讯即可成功。

如今的通讯光纤衰减率已经达到 0.1dB/km ，成为如今最主要的高速、大容量有线通讯方式，构成了现代社会的“信息高速公路”。

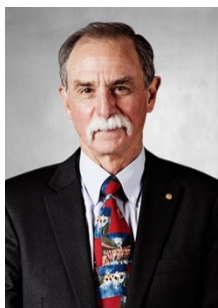


光纤与光缆

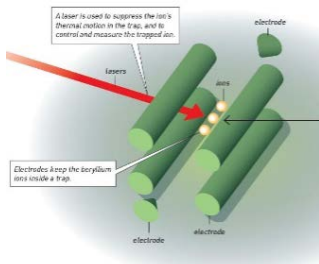
2012年诺贝尔物理学奖



塞尔日·阿罗什
Serge Haroche
法国



戴维·瓦恩兰
David Wineland
美国



瓦恩兰的离子禁锢实验

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。



2014年诺贝尔物理学奖



赤崎勇
日本



天野浩
日本



中村修二
日裔美籍

本届诺贝尔物理学奖因循“奖励为人类福祉作出重要贡献的发明”的精神而颁出。利用蓝光二极管(LED)可以通过激发荧光粉产生白光。随着白光LED的出现,灯的寿命更长,而且节能环保,是照明领域的一场革命。



蓝光LED

2014年诺贝尔化学奖



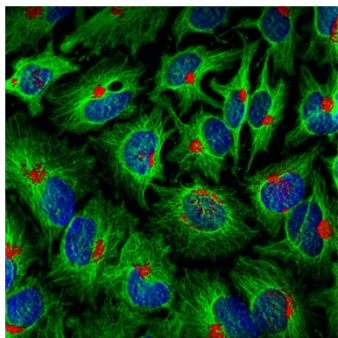
贝齐格
Eric Betzig
美国



赫尔
Stefan Hell
罗马尼亚裔德籍



莫纳
William Moerner
美国



荧光显微镜下的细胞

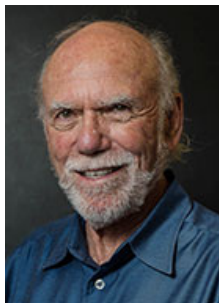
普通光学显微镜无法获得比半光波长更好的分辨率。在荧光分子的帮助下，三位获奖科学家发明了光激活定位显微技术(PALM)和受激发射损耗显微技术(STED)，巧妙地绕开了衍射极限。他们突破性的研究将光学显微镜带入了纳米尺度。



2017年诺贝尔物理学奖



雷纳·韦斯
Rainer Weiss
美国



巴里·巴里什
Barry C. Barish
美国

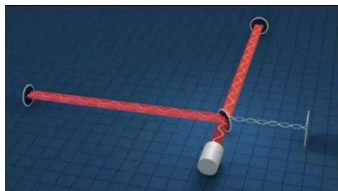


基普·索恩
Kip S. Thorne
美国

三人因“对LIGO探测器和引力波观测的绝对性贡献”获奖。

LIGO是利用激光干涉仪为原理的探测器，光探测主要是指干涉检测。LIGO是把引力波扫

过导致的长度变化，转变为激光干涉结果的光强变化，也能通过测量两束相干红外激光的干涉光强，判断激光臂长的极微弱变化。



LIGO测量应力波原理

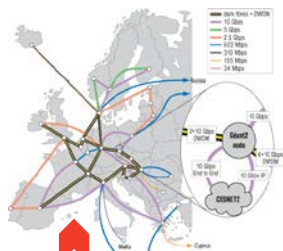
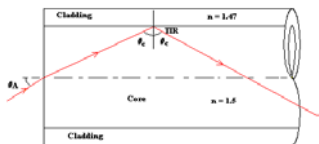
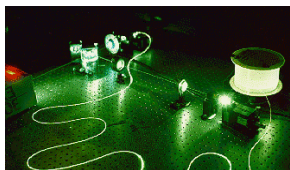
诺贝尔奖是代表人类科学最高成就的奖项，众多光领域的科学家成为诺贝尔奖获得者。那么光学和光基技术究竟给我们的生活带来多大的影响呢？



现代人类的生活中有许多发明，从视力矫正眼镜，X光骨骼检查，到高清电视、DVD、手机和互联网，再到对地环境观测卫星等等。人们在享受这些发明所带来的便利时或许没有意识到，它们都与光和光学的应用有关，而且这一领域拥有非常广阔的发展前景，就连科学家都难以预测光电技术将来会把人类带入怎样的境界。



► 光纤通讯



欧洲的主要光缆网络

◀ 光在光纤中的传播

光纤通讯，是指利用光纤内全反射效应传递信息的方式，光经过调制后便能携带信息。光纤通讯具有传输容量大、保密性好、抗干扰能力强等优点，现在已经成为当今最主要的有线通讯方式，并带动红外光源、光放大、光探测、密集波分复用等一系列技术的发展。

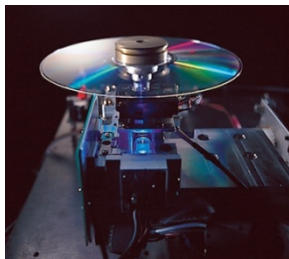
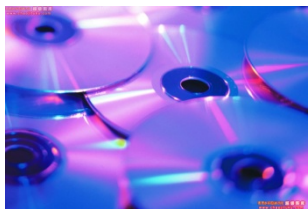
► 光量子通讯



2016年8月16日，由中国自主研发的世界首颗量子科学实验卫星在酒泉圆满发射成功。“墨子号”的成功发射在建立量子通信网络方面有巨大的价值，它的任务是星地高速量子密钥分发实验，进行广域量子密钥实验，以发展量子通信技术，构建广域乃至全球范围内绝对安全的量子通信网络体系。

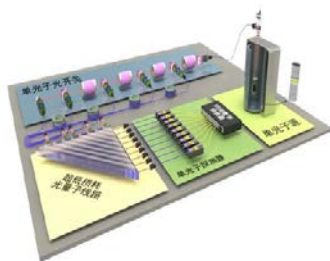
光·存储/计算

使用激光在光盘上刻录的存储方式已经普及，新一代光盘存储使用短波长的蓝光，大大提高存储容量。



激光全息存储将信息记录在介质的体积内，而且利用不同角度的光线可以在同样的区域内记录多个信息图像，它有可能取代磁存储和光学存储技术，成为下一代的高容量数据存储技术。

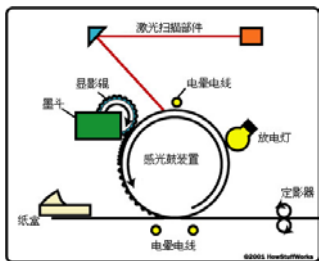
2017年5月3日，中国科学院在上海召开新闻发布会，宣布由中国科大主导研制的，世界首台超越早期经典计算机的玻色采样光量子计算机在我国诞生。量子计算机是指利用量子相干叠加原理，理论上具有超快的并行计算和模拟能力的计算机。



基于单光子的量子计算原型机结构

光·输入

光学输入设备如激光打印机、扫描仪、条码扫描器、光电鼠标、数码相机等，已经融入人们的生活中



激光打印机的基本组件
扫描仪 (scanner)，
是利用光电技术和数字处理技术，以扫描方式将图形或图像信息转换为数字信号的装置。



激光打印机的原理是利用激光扫描成像技术，快速调制硒鼓上的电荷分布形成电荷图案，以电荷图案的形式“绘制”出了要打印的字母和图像，具有高速度、高精度和低打印成本的优点。



激光扫码器：激光照射在条形码上，黑色部分会吸收，白色部分会反射，反射的激光被条形码调制，收集后可以通过译码得到所要的信息。

光·传感

光纤传感，是指外界信号按照其变化规律使光纤中传输的光波的物理特征参量，如强度（功率）、波长、频率、相位和偏振态等发生变化，测量光参量的变化即“感知”外界信号的变化。使用光纤传感可以方便地实现大范围实时的检测效果。



光的应用

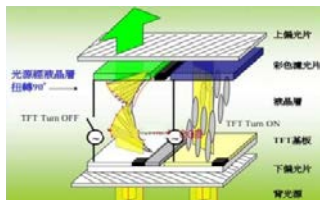
物联网

以互联网为载体，让所有普通物理对象实现互联共通。利用光学传感器搭建的物联网系统可以实现对复杂的机器、设备、人员的集中管理和监控。物联网传感器产品已率先应用在上海浦东国际机场防入侵系统中。系统铺设了3万多个传感节点，覆盖了地面、栅栏和低空探测，可以防止人员的翻越、偷渡、恐怖袭击等攻击性入侵。



光·显示

液晶显示：利用液晶的双折射性质，对入射的偏振光进行偏转，配合上偏振片及加载不同的驱动电压，可以改变每个像素点出射光的强度。从手机到电视，液晶显示已经成为显示主流技术。



激光显示：利用激光作为光源，与传统光源显示技术相比，色彩鲜明，亮度高，光源寿命长，容易实现大屏幕显示。



三基色LD激光投影机（中国科大研制）
显示画面（右图）比普通投影画面（左图）
色彩鲜明，亮度高。

光·照明

LED—即发光二极管，是一种半导体固体发光器件。

利用电流通过半导体时电子空穴的复合的电致发光效应发光。



LED具有效率高、寿命长、不易破损、反应速度快、可靠性高等传统光源不及的优点。



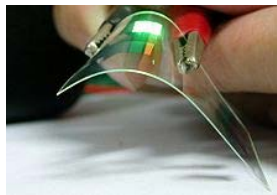
LED应用于道路桥梁等照明



LED是现代设施农业照明的理想光源，成就了农业半导体照明，赋予了农业照明更多内涵，真正意义上实现了光环境的智能化按需调控。

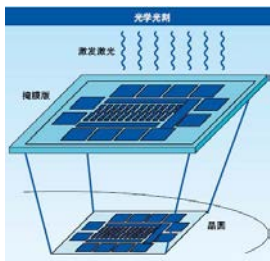
利用LED农业照明的植物工厂

采用有机化合物半导体的OLED能够制造出柔软透明的发光面，在显示器上有广泛应用。



OLED柔性光源

光刻技术是指在光照作用下，借助光致抗蚀剂（又名光刻胶）将掩膜版上的图形转移到基片上的技术，是制造芯片的工具。



光刻原理

光刻机

3D激光打印

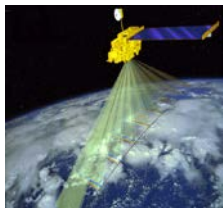
选择性激光烧结是金属3D打印中的常用技术。其采用激光有选择地分层烧结固体粉末，并使烧结成型的固化层层层叠加生成所需形状的零件。依靠这种技术能够生成所需的复杂零件并且无需模具辅助，在设计领域有广泛应用。



激光金属3D打印

光·航天航空

对地观测卫星包括地球资源卫星、军事侦察卫星、海洋卫星和测地卫星等。



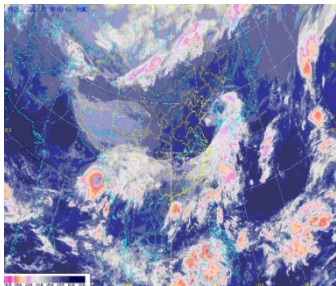
对地观测卫星



“中国天眼”

500米口径球面射电望远镜被誉为“中国天眼”，自2016年9月25日落成启用以来，共发现51颗脉冲星候选体，其中有11颗已被确认为新脉冲星。

红外遥感是应用红外摄影机、红外扫描仪探测远距离的地面物体反射/辐射红外特性差异的信息，以确定其性质、状态和变化规律的遥感技术。



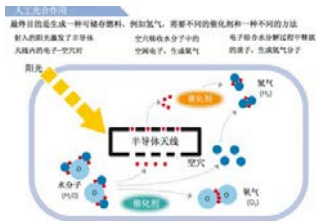
红外遥感图



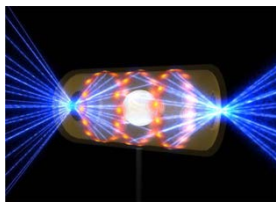
光伏技术太阳能电池板

光伏技术是指可直接将太阳的光能转换为电能的技术，用此技术制作的光伏电池使用方便、环保。

人工光合作用是模拟自然界的光合作用过程,设计制备人工光催化体系,以极高的效率吸收太阳能并转化成清洁的氢能源。



激光核聚变



可控核聚变是未来获取大量清洁能源的重要方式,而激光核聚变是用激光来实现核聚变所需要的高温高压环境。美国国家点火装置 (NIF) 意图使用激光达成极大高温高压施加于一小粒氢燃料球上启动核聚变反应。

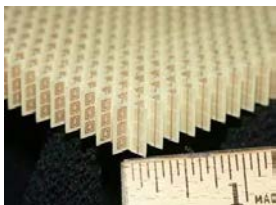
光·新材料



负折射率超材料

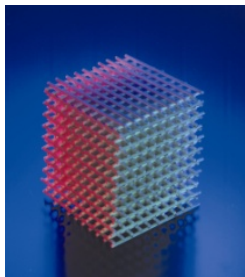


隐形外衣



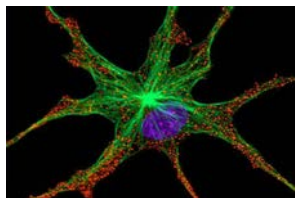
具备人工微结构的
“超材料”

你知道什么是“超材料”（Metamaterial）吗？目前所说的超材料、超表面，是一种人造材料，能以全新的方式对光进行折射和操控，进而创造多种不寻常的光学效果，例如负折射、相位全相片、超级透镜等，甚至是科幻小说里的隐形斗篷。



光子晶体

光子晶体是一种独特的人工微结构材料，具有波长选择性，可以有选择地使某个波段的光通过而阻止其它波段。可应用于低阈值的激光器、具有色散补偿作用的光子晶体光纤、以及高效率的发光二极管等。



共焦显微镜下
荧光标记的神经元



飞秒激光是一种以脉冲形式运转的激光，其脉冲持续时间只有几个飞秒。在医学领域中，飞秒激光可作为超精密外科手术刀，目前已经成功地应用于眼科领域。



血管显像仪针对血红蛋白对红外光吸收能力强的特性设计而成，能够实时的显示出静脉的粗细、走向和布局，用于帮助医护人员寻找静脉。

在病人的大脑中植入激光来从内部加热可杀死肿瘤。它可阻止血液中的有害物质进入大脑，而击破这道屏障有利于医生杀死大脑内部的癌细胞。

光·环境科学

车载大气环境监测激光雷达系统可以快速实时简便探测大气中多种污染物空间分布，具有移动性能好、探测灵敏度高、探测范围大和距离分辨率高等优越性，将在环境安全评估、预报、预警、执法和研究等中发挥非常重要的作用。



大气环境激光雷达监测系统



激光水质监测

通过研究分析污染水折射光线的特性，水面上的传感器可以测量各种污染物，包括硝酸盐、氯化物、磷酸盐等。

汽车尾气激光遥测：在道路一边的机器发射激光，通过采集从道路对面安放的角反射镜反射回来的激光，通过测量机动车尾气对激光吸收的强度就能够定量分析机动车排放的一氧化碳、氮氧化物和颗粒物烟度值等多个参数。省去了汽车进入监测站的时间

激光武器能够满足现代战争中高精度打击的要求，激光光束携带高能量，具有良好的方向性，是很有前途的武器。

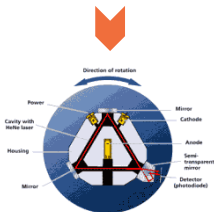


激光武器毁伤目标

激光制导武器：利用激光指示目标，提高命中率



光纤陀螺：利用多普勒效应精确测量转速，应用于飞行器、舰船的导航、定位。



自由空间光通讯：

在自由空间中通过互相向对方发射和接受脉冲激光信号来进行通讯。战场上环境瞬息万变，还可能面临电磁干扰，使用自由空间光通信可以迅速建立不受干扰的可靠通讯通道。

