前言：

斯科研究方向：脑科学1) 读脑：利用光学手段实时高分辨率获取脑活动信息,理解大脑的所思所想,为新一代人工智能研究提供新思路.2) 控脑：利用光学手段精准调控脑神经细胞的活动,控制大脑所思所想,为电脑与人脑直接双向交互提供精准靶点.3) 数字诊疗：利用自行研发的新技术,结合当今产业的发展,开发商业化显微设备及数字诊疗设备(包括穿戴式).|神经网络、深度学习、蒙特卡洛树都受到大脑研究成果的启发,但目前人工智能的工作模式和人脑还有巨大差别

联合国宣布2015年为光和光基技术国际年|2018年5月16日,是联合国教科文组织确定的首个“国际光日”.

1~2 光学作为一门学问的萌芽 中世纪的几何光学

3~4 文艺复兴和科学革命时期,人类视觉的空间延伸

5~6 近代光学到现代光学时期,人类视觉的时间延伸

7～8 生物医学光学成像技术,光学科技中的若干学科交叉问题

9～12 量子论和现代光学科技：光电效应,激光技术与互联网.机器视觉,从日常生活到航空航天,照明

13～14 光谱技术,光学科技中的若干学科交叉问题

15～16 历史上光基科技相关诺贝尔奖介绍

Ch**apter1古代光学**

**百家争鸣** 世界历史上“最不平常的事件”老,孔,墨,孟,管,荀,庄,列,文,韩非,商君书,吕氏春秋,孙,晏，董|原因：春秋末,社会转型,文化扩散,教育下移，商业发展,“士”阶层崛起，诸候争霸,广纳人才，频繁兼并,文人大量移民

诸子思想： 孔：仁学体系|孟：仁政理想|墨：兼爱、非攻和大同精神|老：宇宙论、社会论、人生论之间的逻辑联系|庄：心的逍遥置于一切之上的人生观|韩非：进化的历史观和与时俱进理念|吕氏春秋：天下非一人之天下也,天下人之天下也.君之所以立,出乎众也|管：外交理论与今天的软实力理论相似|曾：士弘毅，任重而道远.

西周,夫遂/阳燧取火,即青铜凹面镜.|管仲：玉石之珠用于取火称火珠,透镜聚焦|墨子：光八条|庄子：鉴有影,两鉴相鉴,则重影无穷(平面镜成像)

**古希腊(城邦海洋商业国家)时期的几何光学与古希腊文明**希腊三贤：苏格,柏拉,亚里

阿里斯托芬BC400的剧本：透明石聚焦熔化腊板上的字.

视觉三学说：柏拉、欧几发射说：眼睛向四周不定向地发散直线光|亚里相遇说：人眼和物体各发出某种东西,两者相遇产生视觉|伊壁鸩鲁进入说：物体发出影象到达人眼产生视觉

欧几里德《反射光学》镜面数学理论,特别是平面镜和凹球面镜的成像理论

托勒密 探讨了折射现象,第一个测量入射角和折射角并造关系表

柏拉学园：重几何,欧洲第一所名牌学校,一所学校,研究机构,高级智库

亚里：自由教育,不只是因为有用或必需,而是因为它是自由和高贵的.

使用思辩的方法研究, 成为西方思想史重要源头

**汉唐(前202-907)时期**

刘安《淮南万毕术》：打磨冰块做透镜|镜高悬,置水盆于下,则见四邻(潜望镜原理?)王充《论衡》：五石为器,磨光,火来.|铁器打磨对日起火《旧唐书》《唐会要》：林邑国献火珠点燃艾草

**中世纪阿拉伯几何光学与阿拉伯文明**

800肯迪：认为只有出射论可解释视觉的选择性,以及视觉的清晰度同可视物体在视野内位置变动之间的关系.肯迪的多视锥结构：明亮光线从明亮物体表面每一点发散||1015年,阿布ꞏ阿里ꞏ哈桑ꞏ伊本ꞏ海赛姆《光学之书》(又名光学宝鉴)整合了欧几-托勒-肯迪模型：光和颜色并不混入空气或其他透明物体中,证据(多光源屏蔽某一些观察)直线传播和独立传播?只要相距不远,那么物体的光和颜色的样式就会持续映在对面的物体上面.||伊本ꞏ海赛姆《论视觉》继承了盖伦(古罗马医学家,给出眼睛解剖结构)的眼睛结构：角膜-晶状体-玻璃体“眼睛是一个外在活动的接受者,光对眼睛产生了某种作用”“光具有对眼睛施以作用的本性,而眼睛有被光施加作用的能力”“所有自身明亮或被照亮的物体都从表面的每一点向各方向上散发光和颜色”

阿拉伯－伊斯兰文化||地理上多地汇交.多民族性、包容性、继承性和开创性.阿拉伯人各处访学.百年翻译运动

**宋元(960~1368)时期**

沈括梦溪笔谈：小孔成倒像 凹面镜物远，像倒>不见>正，虹乃雨中日影也

古人铸鉴,鉴大则平,鉴小则凸(成像面积大).

赵友钦《革象新书》最早的光度学概念?光的独立传播定律?受到阿拉伯光学的影响?

日食的模拟：改变光源的强度以观察像的照度变化.改变像距以观察像的照度的变化.像距相等时改变物距.改变小孔的大小和形状以观察其对像的影响

**中世纪西欧光学与大学的兴起**

最早的大学：学者自发在经济相对发达、政治相对开明的城市成立的组织

博洛尼亚大学 全世界第一所大学|牛津大学1167年 英语世界中最古老的大学|巴黎大学 原附属于巴黎圣母院,1180路易七世正式授予大学称号,1968后拆分为13所大学|萨拉曼卡大学1218年莱昂王国国王下令建立

大学逐渐成为思想文化的中心研究方法：问题辩论|养成探讨、论证、辩驳、推理的思维习惯

罗吉尔.培根根据伊本.海赛姆的光学理论做实验,研究了凸透镜的放大效果,并建议用于制作望远镜.

**Chapter2中世纪光学**

**一．达芬奇**现代学者称他“文艺复兴时期最完美的代表”.利用小孔成像制作倒影成像装置.也研究反射和折射

**二．斯涅尔定律** n1sin1=n2sin2 斯涅耳从实验中得到的|150托勒密实验得出折射角与入射角成正比|1000阿拉伯阿勒.哈增发现这一结论错误.|1611年,开普勒实验研究折射|笛卡儿没做实验，从假设出发理论上推导出这个定律|1661费马将数学方法用于推出折射定律，得到正确的结论。|惠更斯次波理论证明

**三．业余科学家费马的光学建树**

法国费马1657年提出光传播的实际路径是使光程取极值，规定了光线传播的唯一可实现的路径。进一步可证明光在均匀传播时直线传播，反射和折射定律，及傍轴条件下透镜的等光程性等。另外有光的可逆性原理。

**四．望远镜发现了新宇宙**

开普勒：1椭圆轨道2等面积扫过3半长轴a的三次方与周期T的二次方成正比。

也研究过光的折射问题，发表《折光学》，最早提出光线和光束的表示法，并阐述了近代望远镜理论，把伽里略望远镜的凹透镜目镜改成小凸透镜.开普勒也研究过人的视觉，认为人看见物体是因为物体所发出的光通过眼睛的水晶体投射在视网膜上，阐明了产生近视和远视的成因。开普勒还发现大气折射的近似定律，最先认为大气有重量，并说明月全食月亮呈红色是由于部分阳光被地球大气折射后投射到月亮上而造成的。

伽利略 1608年，荷兰学徒偶然制成了第一架望远镜。1609年7月，伽利略听闻用凸凹透镜各一片制成，开辟了天文学的新天地。出版《星际使者》。随后又发现金星盈亏与大小变化，反驳地心，支持日心。伽利略1638年“论两种新科学”，第一个发现落体加速度恒定原理。

1917胡克望远镜美国加州建成，使哈勃发现了宇宙正在膨胀的事实1930德国施密特将折射望远镜和反射望远镜的优点（折射望远镜像差小但有色差而且尺寸越大越昂贵，反射望远镜没有色差、造价低廉且反射镜可以造得很大，但存在像差）结合起来，制成了第一台折反射望远镜1990NASA哈勃太空望远镜

**五．显微镜的发明与列文虎克的观察**他就成为世界上第一个微生物世界的发现者，胡克显微镜看细胞

**六．光的色散现象及其发现**

光的色散指的是复色光分解为单色光的现象（光纤中由光源光谱成分不同波长的不同群速度所引起的光脉冲展宽的现象。色散也是对光纤的一个传播参数与波长关系的描述。）色散现象说明光在介质中的速度v=c/n（或折射率n随光的频率f而变。光的色散证明了光具有波动性。牛顿为了解释三棱镜实验中白光的分解现象，认为白光是由各种不同颜色光组成的，玻璃对各种色光的折射率不同，对光谱试图再次分光，牛顿得出结论：白光能分解成不同颜色的光，这些光已是单色的了，棱镜不能再分解它们。

牛顿反射望远镜采用抛物面镜作为主镜

颜色空间或者彩色模型是坐标系统和子空间的阐述。位于系统的每种颜色都有单个点表示。RGB（红绿蓝）是依据人眼识别的颜色定义出的空间，可表示大部分颜色。但科学研究一般不采用，不方便数字化。CMY是工业印刷采用的颜色空间。RGB来源物体发光，CMY依据反射光得到的。应用打印机四色墨盒，CMY加黑色。HSV,HSI两个颜色空间都是为了更好的数字化处理颜色而提出来的。H是色调，S是饱和度，I是强度。

**七．光学现象的进一步探索**惠更斯次波，菲涅尔半波带衍射与偏振

**八．科学巨匠的争论——光的粒子说与波动说之争**

粒子说：伽森狄：物体与光也是由大量坚硬粒子组成的|牛顿：光粒子进入人的眼睛，冲击视网膜，就引起了视觉|18世纪末统治地位的依然是微粒学说。

光的波动说胡克：“光必定是一种振动。”惠更斯进一步提出光是发光体中微小粒子的振动在弥漫于宇宙空间的以太中的传播过程。

托马斯∙杨1802设计了杨氏双缝实验，证明了光的干涉现象|菲涅耳1800完善了惠更斯理论，提出了子波相干的思想，解释了光的衍射想象1808年，法国的马吕斯发现偏振现象。

在1818年法国科学院悬赏征文，菲涅尔提出：1.利用精密的实验确定光线的衍射效应2.根据实验用数学归纳推导出光线通过物体附近时的运动情况。

1819年，菲涅尔和阿拉果联名发表了《关于偏振光的相互作用》

菲涅耳理论—泊松计算——阿拉果实验找到了有利于波动说的泊松亮点。成为物理光学的缔造者，开创了光学研究的新阶段。

给微粒说以致命打击的是对光速值的精确测定

以太存在的否定和光电效应的发现，这些新的实验事实又一次要置波动说于死地．迈克尔逊和莫雷

爱因斯坦的光量子说，光是以光速c 运动的微粒流，称为光量子（光子）。

爱因斯坦把光的微粒说与波动说在新的层次上统一起来，提出了光具有波粒二象性

**Chapter3光学在医学中的应用**

**光作为信息的载体**

生物医学光学成像技术

应用：实时观察细胞分裂，囊泡运输，脑科学研究

美国“脑计划”2013年4月奥巴马宣布启动，测量大脑每个神经活动及连接，绘制大脑活动全图。进一步理解大脑的功能。欧盟“人脑计划”十年计划（2013-2023）投入超过十亿欧元。用超级计算机对人脑神经间活动进行精细建模与模拟—基于硅的大脑。中国的十三五脑计划已经开始筹划（~300亿科研经费）

1. **宽场显微镜** 衍射极限

2. **激光扫描共聚焦显微镜**

与普通光学显微镜比，具有更高的分辨率和放大倍率，并可以对观测样品进行分层扫描，实现样品的三维重建和测量分析。

应用领域：组织和细胞中荧光标记的分子和结构的检测；利用激光点扫描成像，形成所谓的“光学切片”，进而可以利用沿纵轴上移动标本进行多个光学切片的叠加形成组织或细胞中荧光标记结构的总体图像。

三维成像共焦成像能够准确控制样本中的成像深度，这种特性促使了LSCM在三维成像中的

应用。

细胞内钙离子和pH 值动态分析激光扫描共聚焦显微镜技术是测量若干种离子浓度并显示其分布的有效工具，

对焦点信息的有效辨别使在亚细胞水平显示离子分布成为可能。

活体成像共焦成像在活体成像方面取得了很大的进

展。随着共焦成像系统的光子效率的不断

提升，加上无光毒性的荧光染料的发展，

活体成像成为一种典型应用。

缺点：扫描深度一般，<80um||光漂白严重，几乎整个Z轴都受光||紫外激发紫外光对生物样品损伤大||空间分辨率受到衍射极限的限制

3. **多光子显微镜**

4. **声光成像**

光声效应是在1880年由A.G.贝尔发现的用光照射某种媒质时,由于媒质对光的吸收会使其内部的温度改变从而引起媒质内某些区域结构和体积变化;当采用脉冲光源或调制光源时,媒质温度的升降会引起媒质的体积涨缩, 因而可以向外辐射声波。这种现象称为光声效应

压电超声换能器特点：单点|中心频率~50MHz|低噪声|高灵敏度|带宽大

优势1成像深度比光学方法要深。能达到3mm以上。2对比度和分辨率比超声要高。能有效指出异常的脂肪堆积。能显示其位置、厚度、形状。

缺点1成像速度不够快。由于光源的限制。使用重复频率10Hz的商业激光器，扫描一幅横截面图需要几十秒。2探针的尺寸不够小。要在临床上应用，外径至少要小于1mm。

**光作为能量的载体**

应用：穿戴式人意念控制飞行器|人意念控制大鼠|侵入式的人意念控制机械手玩“石头、剪刀、布”

**光遗传学**研究神经环路强大工具：如记忆、情感、觉醒等机理、甚至是操控大脑

光遗传学技术是一种结合遗传学与光学的技术，在复杂如自由活动个体的生物系统中实现定点的、快速的控制某一精确定义的生物学过程的技术。通过引入光敏感蛋白的受体或通道蛋白至特定组织特定细胞中，并经特定参数的光信号控制，光遗传学技术能够关闭或激活某一类细胞的生物学功能，从而实现在细胞、环路、器官和个体等多个层面研究该细胞及其环路的生物学机制与功能性意义。

神经信号传递原理

其他方法的缺点1、电压门控通道：电极刺激|缺点：电极太粗糙，插入脑内给予电刺激会影响到插入处的许多神经元，而且电信号也很难精确地中止神经元的兴奋。2、化学门控通道、药物刺激|缺点：药物不够专一，而且反应要比神经活动慢的多

光的优势：虽然电刺激可逆，快速、定点等特征与光遗传技术没有差别，但是电刺激在刺激条件可控性、重复性、简易性方面要比光遗传学技术难得多，一个训练有素的电生理操作人员也不能保证每一次实验都能够快速寻找的目标细胞进行有效的刺激。此外，光遗传学技术能够很好的应用在自由活动的动物上，这与需要麻醉条件进行刺激的电策略相比有不可替代的优势。

选择性调控神经环路中特定神经细胞活动和功能

未来光遗传学发展趋势—无创光遗传：超微创，多目标，灵活靶向

其他无创精准神经调控技术：发展光、声、微波等技术，实现无创、多靶点、脑深部神经元的精准调控

无创光遗传学：突破光传播深度极限，发展不插光纤（无创伤）、多目标、自由靶向深部脑区光刺激技术。||声遗传学：寻找超声波响应性机械敏感离子通道，实现超声控制神经元活动。||微波和射频遗传学：开发的微波响应性遗传包装纳米颗粒技术，实现无创、远程刺激并控制深部脑区特定种类神经元。

**2. 光学生物治疗（光活化治疗和激光辅助组织工程）**

概述：光学生物治疗主要包括光活化治疗和激光辅助组织工程：前者主要利用光来激发某种外部化学材料以产生特定的物质或能量，并将这些物质或能量作用于病变部位起到治疗的作用：如光动力治疗，光热治疗；后者主要通过激光作用于组织以进行组织的造型，重建，熔接以及再生：如激光眼科治疗，激光皮肤重整。

**光动力治疗**简写为PDT，是用光（通常是激光）激发某种外部化学物质（光敏剂,也称PDT药物）产生高活性氧，进而利用高活性氧杀灭癌变细胞或组织的方法。

三大要素：光敏剂，光，氧气

关键步骤：1注射PDT药物2肿瘤组织长时间选择性吸收PDT药物3. 用光源（一般是激光）照射肿瘤组织区域4PDT药物吸收光子产生高活性氧以杀死癌细胞，并同时对周围健康细胞产生尽可能小的伤害5. PDT结束后清除体内的PDT药物以减少日光敏感度

应用：潜在的癌症治疗1早期内支气管非小细胞肺癌2其他内支气管肺部肿瘤3深部、局部、整体障碍性食道癌4其他肺部肿瘤，包括间皮瘤5皮肤癌6脑部肿瘤7直肠肿瘤8妇科肿瘤

可用于治疗的其他疾病1心血管疾病（如血栓）2慢性皮肤病（如牛皮癣）3自身免疫性疾病（如风湿性关节炎）4黄斑部变性5抗菌素（伤口复原、口腔疾病）6抗滤过性病原体（血液产品，疣）7疫苗——尤其是癌症疫苗8子宫内膜异位症

**光热治疗**由于组织体在曝光时间内吸收了激光的能量并使其转化成了热。热效应过高会造成组织的损伤。热呈现指数倾入，类似趋肤效应。温度升高可产生可逆和不可逆两种组织体损伤过程：体温过高： 处于42-50摄氏度内——可逆|60度凝结|100汽化|150碳化

**激光手术**

A.激光辅助组织熔接和焊接

组织直接熔接：使用激光局部加热组织到60-80摄氏度（光热效应），使胶原质发生变性，展开其三螺旋结构，实现胶原质绑定。||激光焊接：使用一种蛋白质焊料，将其放置于要进行绑定的组织表面。激光有选择性的加热这些焊料，并缝合其周围的组织。||染料增强型激光焊接：通过添加一种染料，来增强焊料对一定波长激光的吸收，增强对焊料的加热，而不加热非目标组织。

优点：微创，减少发炎，加快治愈，不透水缝合，简单、迅速。

应用：心血管外科：主动脉结合；缝合以减少主动脉手术中的失血。||胸外科：缝合在进行肺部活组织切片检查或楔型切除后的空气泄漏处；缝合支气管座。||皮肤学：改良形貌和快速愈合的皮肤缝合。||妇科学：修复输卵管。||神经外科：熔接和修复神经末梢。||眼科学：激光辅助焊接巩膜和角膜上的切口。||泌尿学：缝合输尿管，输尿管膀胱吻合处，尿道，膀胱。

B.激光辅助组织再生研究：发现，低发光强度的可见光以及红外激光，可以促进在组织生成过程中的毛细血管生长以及形成肉芽组织。然而，这些报道还存在一些争议。众多的试验模型，以及光强度、波长、和其他一些参数的选择使得这个问题变得相当复杂，甚至有时会导致截然相反的结论。

**Chapter4近现代光学**

**1摄影术历史**

成像历史：墨子小孔成像，17世纪暗箱成像辅助作画

化学发展：1250欧洲纳斯发现银盐受热变黑1727德国舒尔茨正式公布银盐感光1820涅普斯发现一种沥青感光

1825涅普斯使用玻璃基板上涂感光沥青拍摄复制的版画牵马的孩子是世界上第一张照片，但并非实景。1826年他拍摄世界上第一张实景，通过针孔照相机内的一块沥青金属板上曝光而形成的。

达盖尔1837年发明摄影术，利用水银蒸汽对曝光的银盐涂面进行显影，曝光时间约30min，没有底片，不可复制1838/1839达盖尔拍摄的巴黎街道，曝光10分钟，世界上第一张画面上出现人的照片1839年8月19日法国政府购买达盖尔专利将之公布，这一天即为摄影术诞生日。

塔尔博特长期研制的“碘化银纸照相法”，并未公之于世。法国人宣布以后，立即将照片送往伦敦皇家学院，1839.1.25委托法拉第在伦敦皇家学院例会宣布，1.31和2.20塔尔博特本人在科学院宣读论文《关于不用画笔来得到自然画面的艺术家摄影术的若干说明》，1841批准授予专利。之后，塔尔博特将之命名为“卡罗式摄影法”

**二．光学镜头的奥秘**

光学镜头重要参数：焦距，孔径，视场

实际的光学镜头不可能理想成像，像差：引起成像质量缺陷，表现为模糊、变形||视场：能摄入的视野大小，可以用视场角2W或物体高度2y表示

相对孔径：D/f’，倒数是光圈数

要知道视场大小，就不仅要知道焦距值，还要知道图像传感器感光面的大小。数码相机图像传感器大小不一，所以常常给出另外一个焦距值，叫做

相当135相机焦距值

拉赫不变量j=nyu=const表征能以多宽的光束或者多大的孔径角对多大的范围成像。J值大，表明系统能对物体成像的范围大，成像的孔径角大，传输光能多。同时，孔径角还与光学系统分辨微细结构的能力有关。

镜片组、单反五棱镜

消色差透镜

18世纪英国霍尔首先想到了用冕牌玻璃做凸透镜，用火石玻璃做凹透镜,并且把两块透镜设计得正好能够密合在一起，复合得像一个凸透镜，既使光线聚焦,同时又在很大程度上消除了色差。1733被商家乔治.巴斯偶然发现。1757光学仪器商多朗德造出了自己的消色差透镜,并获专利。1758多朗德当选英国皇家学会会员，并被任命为国王制镜师。但是，他完全没有提霍尔的贡献。

匹兹凡摄影物镜：第一个通过计算设计的镜头

**三．摄影技术漫谈**

焦距、对准距离、光圈数和景深的关系：大景深：短焦距、对准距离远、光圈数大|小景深：长焦距、对准距离近、光圈数小

摄影用光：光强、光位、色温等|摄影构图：对称、三分、充满、留空等

**四．光学产业的百年老店 蔡司与肖特**

1846 30岁的卡尔·蔡司在德国耶拿成立小型工作室，早期产品放大镜和简单显微镜 1866阿贝以导师身份加盟。1872年蔡阿联合研制成功出了世界第一台复合式显微镜。阿提出阿贝成像原理，及用公式表达了光学镜片的色散系数。1884他们联合创办耶拿玻璃作业合作公司1886成功研制新型玻璃，证实了阿贝理论，实现了消色差物镜。1888年12月3蔡在耶拿逝世。他的儿子继承股权，又将股权出售给阿1889年阿成立卡尔·蔡司基金会。1945巴顿占领耶拿将126人送往西部(西德)，苏联红军占领耶将部分设备和科学家送往苏联，成立基辅照相机厂。1948年东德蔡司厂成立，有了东蔡和西蔡。1990德国统一，1991蔡司合并，拥有6个独立的事业部，包括显微镜、医学器材、光学眼镜、光电子设备、半导体以及工业测量仪21世纪，业务突破了26个领域，业务重点集中在4个增长市场：半导体工艺和微电子、生命科学、眼镜保护以及工业测量技术，建立了欧洲最现代化的光刻系统2001半导体技术集团公司改称为卡尔蔡司微电子有限公司2002卡尔·蔡司医疗仪器股份公司上市2004卡尔·蔡司转为股份制公司，全部股权为卡尔·蔡司基金会全资所有1969年美阿波罗飞船登月使用蔡司镜头拍出了历史性的照片

**五．麦克斯韦和他的方程组**1862-1865年发表

麦克斯韦几乎在没有任何直接实验证据而仅有间接证据的情况下建立了他的电磁场理论.库仑定律法拉弟电磁感应定律安培定律毕奥－萨伐尔定律

发展时间节点：光的直线传播定律墨子BC400光的反射定律欧几里得BC330光的折射定律斯涅耳费马原理1657年提出

麦克斯韦的三原色理论：加色法，红绿蓝，，减色法，青品黄

1861年麦克斯韦在英格兰皇家学院演示了用红绿蓝三种颜色、以不同比例混合的加色原理制作出来的第一张彩色照片由摄影师托马斯.萨顿拍摄，同时用三部加装不同颜色滤镜的放映机投射出来，验证了三原色理论。

**六．摄影：一种历史记忆**华夏摄影界三老：吴印咸、郎静山、陈复礼

**七．CCD与数码时代**CCD：电荷偶合器件1970年美国贝尔实验室发明

1963年发明CMOS技术，1967年获专利 CMOS图像传感器(比CCD早一年诞生)

2009年诺奖 英国华裔高锟 光纤通信 美国威拉德博伊尔 乔治史密斯 发明了半导体成像器件 电荷耦合器件CCD图像传感器

先拍照后对焦的光场相机 吴义仁 不仅记录光的能量分布，而且记录这些光从哪里来，从而实现先拍照后对焦。

**八．人造眼与残疾人康复**

**九．图像处理：有图未必有真相**

傅里叶分析：每一函数,无论怎样复杂,总可以表示为三角级数

**一○．影像技术与文明**

**light field光场**

人感知三维场景主要来自于几种**深度暗示**。双目视差是指真实场景在人左右眼视网膜上会成不同的图像，通过两幅图像差别感知不同物体的距离||运动视差指当观察者和物体相对运动时，不同距离的物体在视网膜上成像的移动速度不同，近处更快，远的物体几乎不动。单目聚焦是指人通过睫状肌控制眼球焦距实现物体在视网膜上清晰成像。双目辐辏是指人通过眼外肌控制两个眼球转动以使得双目的光轴汇聚于目标物体。

流行的**三维显示的技术路线**||双视点显示最常见，包括3D电影和各种VR设备，它们通过头戴设备使左右眼分别接收相应的视差图像（优点结构简单，分辨率高，色彩丰富缺点需佩戴额外设备，容易眩晕）||集成成像显示有很多类型，这里是最为常见的柱面透镜阵列型，3D立体画和现在的裸眼立体电视都是这一形式，通过柱面透镜将液晶屏不同位置的像素成像到空间中去（优点结构简单，适合大尺寸设备缺点可视角度受限）||体三维显示通过控制发光点在时域与空域内的产生与消隐实现三维显示，可以通过激光激发或者LED阵列等（优点可视角度大缺点硬件结构复杂，只能显示透明场景）||全息显示通过干涉记录衍射复现的方式实现三维物体表面光强和相位的复原，计算全息的发展使得全息显示的显示内容更为丰富。（优点显示场景的深度感强缺点硬件结构复杂，难以实现动态，色彩还原度差）||光场显示以几何光学的方式重构高密度的定向光线并实现三维显示（优点三维效果好，可视角度大，便于集成化设计缺点硬件结构复杂，数据量巨大）

**光场显示**：（核心问题是如何实现定向光线）以高密度定向光线复原物体表面样貌的显示方式被称作光场显示。结合投影和计算机图形学技术，实现高质量动态彩色三维显示：||基于多层屏幕的层叠光场显示（通过对不同层液晶屏幕的像素透过率调制实现光线控制。）优点：可实现全视差显示缺点：信息量有限，视角范围较小，亮度较低||基于多投影的拼接光场显示（通过投影机阵列和定向散射屏实现光线控制）优点：可扩展，易于实现大场景三维显示缺点：需考虑多投影机控制、画幅校准、颜色均匀性等，只有水平视差||基于高速投影的扫描光场显示（通过高速投影机和旋转定向散射屏实现光线控制。）优点：可实现360三维显示，结构紧凑缺点：旋转机构限制场景尺寸，分辨率及颜色表现力较差，只有水平视差

**三维显示中的手势交互**

基于手持设备或佩戴标记物|基于体感交互器件|用户与三维场景之间隔着屏幕

三维显示中的视点交互

增加竖直运动视差|增加观察角度|视点检测角度范围及数量有限

2.2. 扫描光场显示原理：比如 高速投影机+旋转定向散射屏 这种形式，它就可以控制不同时刻不同像素向不同方向投射不同颜色的光线。这里给出了立体视觉的实现原理。因此这里的扫描可以从两个方面来理解，重构的光场是扫描出来的，人眼看到的场景是扫描出来的。

高速投影图像+ 旋转定向散射屏= 扫描光场显示

5.1. 视点交互：全视差光场显示

基于全景视点跟踪的全视差光场显示方法：

11-12光的应用：道路、汽车、室内、舞台的照明，液晶三维显示红外测温与热成像，空间遥感，防震减灾，宇宙起源研究，精确制导，太阳能电池，环境污染物监测

常见的光源：节能灯 发光二极管LED 激光 闪光灯 氙气 可调谐激光器

照明光源的种类：热辐射光源（通电加热 高温发光） 气体放电光源（电流通过气体发光） 半导体光源（荧光粉在电场作用下发光，p-n结）

**车灯的演变**：钨丝灯 卤钨灯与炫光 远近光控制 氙气灯 LED大灯 矩阵式LED大灯 激光大灯

LED耗电少 效率高 寿命长 安全环保

照明：道路 学校 办公 商业 舞台 （聚光灯筒灯成像灯）酒店 博物馆 城市景观

道路照明：1842电弧灯 1935高压汞灯 1965高压钠灯

城市景观照明的**光污染**：夜间室外照明产生的干扰管对人和环境造成干扰和负面影响

**阴极射线管显示器（CRT）**电子枪偏转线圈阴罩荧光粉层圆锥形玻璃壳 能发出高能电子束打在荧光粉上 彩色CTR通过红绿蓝三原色组合成彩色

**等离子体显示器（PDP）**气体放电激发荧光粉显示 主动发光平板显示器 薄 屏幕大 色彩丰富 响应速度快 视角大 体积小 重量轻 便于批量生产 缺点高分辨率困难 高驱动电压损伤集成电路

**发光二极管（LED）**电流注入型半导体发光器件 PN结结构 采用无数个小的二极管拼接 主动发光强度大 工作电压低速度快是超大屏幕唯一显示方式

**液晶显示（LCD）液晶**不通电时排列混乱 阻止光线通过（1888发现 1971制造）

透射型液晶显示屏：由屏幕背后光源照亮 在屏幕另一边观看 通过对液晶施加电压控制光的通过率实现光的调制 背光光源基本都是LED白光

**柔性显示应用**：OLED技术 低功耗 直接可视柔性面板 自发光 节能可弯曲 由邓青云博士发现

**3D显示技术**：给左右眼投射不同的画面 色差式（眼睛看到的不同影像在大脑中重叠呈现出3D立体效果） 偏光式（利用光的偏振分解原始图像） 主动快门式（图像帧一分为二形成左右两组画面 提高画面的刷新率来实现3D效果）

**优缺点**色差式：成像原理简单 成本低 色彩不佳 效果差 画面偏色容易眩晕 不适用于色盲

偏光式：2D3D可切换 效果较好 成本相对低 分辨率低 屏幕成本高 视角限制

主动快门：效果出色 清晰 Panal成本低 价格贵 亮度低 对眼睛有伤害 系统优化复杂

VR:视觉感知设备 触觉力反馈设备 光学式位置跟踪设备 三维显示 虚实结合 人机交互

经典产品Microsoft Hololens Magic Leap Oculus

空间望远镜和空间遥感技术：哈勃望远镜 钱德拉X射线望远镜 主要用于观测黑洞 超新星 宇宙尘埃等

空间遥感技术：地理测绘 资源调查 抗震减灾 气象观测 军事应用 环境监测 使用绿红红外三张光谱波段进行探测 优点：数据源丰富 多尺度目标综合调查研究 重复周期短 快速动态监测 处理技术完善 受外因影响小 航空遥感救灾 遥感卫星气象灾害预测

红外成像技术：（主动被动）夜视技术（主动红外夜视仪 热像仪）热像仪不易被发现干扰全天候观察作用距离远有较好的识别伪装能力 图像不够清晰分辨能力弱 笨重复杂成本高

制导系统的分类：自主式 遥控式 （红外线，激光）自动寻的 复合制导

第六讲量子论与现代光学时期：光谱技术

光学科技中的若干学科交叉问题

艾萨克牛顿1666年发现太阳光，并非白色

基尔霍夫和本生创立光谱化学分析法

拉曼发现拉曼广谱，1930年诺贝尔物理学奖

1几个问题

中国历史上最完整的家谱是孔子家谱，至今已有120多代

1天空为什么呈蓝色？太阳散射光在大气层内层，蓝色的成分比红色多，使天空成蔚蓝色

2为什么正午的太阳基本上呈白色？而旭日和夕阳却呈红色

3为什么云雾呈现白色？小水滴在可见光范围内产生的散射属于米氏散射，其散射光强与光波长关系不大，所以云雾成白色

散射：光在介质中传播时，部分光线偏离原来传播方向

按散射颗粒大小分类，米氏散射，颗粒大，散射强度不随波长显著变化

瑞利散射，开例小，散射强度与波长四次方成反比

米氏散射和瑞利散射均为弹性散射，不产生新的波长

4如何区分石墨和金刚石

5如何区分石墨烯和碳管

6 C4H5N的分子结构？红外光谱

7夜光珠发光的原理

8黑洞等天体研究

2光谱学发展历史

1666年牛顿 棱镜 太阳光

1665年，一场瘟疫席卷英国，为了躲避瘟疫，牛顿被迫离开剑桥大学，回到阔别十年的家乡，他将在家乡的农村度过宁静的一年，然后奇迹般地站在了那个时代的科学最前端，1666年被历史学家称为奇迹年。牛顿用三棱镜发现了太阳光并非白色的，而是多种颜色组成的复色光。

通过上述实验，牛顿为光的色彩理论奠定了基础，并使人们对颜色的解释摆脱了主观视觉印象，从而走上了与客观量度相联系的科学关联，同时，这一实验开创了光谱学研究的先端。不久，光谱分析就作为光学和物质结构研究的主要手段

1802年和1814 沃拉斯顿 夫琅禾夫 太阳黑线 钠黄线

太阳黑线18世纪初，乌拉斯顿重复牛顿实验，太阳光先经过一条一毫米左右的狭缝，然后再射入棱镜，实验中发现彩色光带上有几条很暗的黑线。1814年，夫琅禾夫也做了类似的实验，在离开狭缝7.2米的地方，放了一块玻璃棱镜，用望远镜观察棱镜之后的太阳光，发现暗线满目皆是，有700多条

1849年，佛科 钠黄线和太阳黑线的关系

1853年，艾斯特朗 氢原子最强谱线

1859年，基尔霍夫和本生 第一台光谱仪 铯和铷 实用光谱学

第一台光谱仪，实用光谱学是基尔霍夫与本生在19世纪60年代发展起来的

1860年5月10日，本生和基尔霍夫用他们创立的光谱分析法，在迪克海姆矿泉水中发现了新元素铯，1861年2月23日，他们分析云母矿时，又发现了新元素铷

1885年，巴尔末经验公式 预测氢原子谱线

1889年，里德堡 经验公式 碱金属原子

1895年和1902年，塞曼和洛伦斯 谱线分裂 磁场 诺贝尔奖

1913年，波尔 氢原子谱线解释

1919年，斯塔克 谱线分裂 电场 诺贝尔奖

1925年 乌伦贝克和古兹密特 电子自旋假说

对光谱的完美解释是量子力学，普朗克，海森堡，薛定谔，狄拉克，海森堡，薛定谔

理论的完善使人们逐渐转移到光谱以及性能改善上

20世纪四五十年代开始广泛应用

新技术带来新的光谱探测技术，计算机与激光

电子自旋（精细结构）

核自旋（超精细结构）

塞曼效应：磁场中分裂，1902年诺贝尔奖

斯塔克效应，1919年诺贝尔奖

氢原子模型，1922年诺贝尔奖

1981年诺贝尔物理学奖的一半授予布隆姆贝根（Nicolaas Bloembergen，1920—）和肖洛（ArthurL.Schawlow，1921—），以表彰他们在发展激光光谱学所作的贡献；另一半授予凯·西格班（Kai M.Siegbahn，1918—），以表彰他在高分辨率电子能谱学所作的贡献。

布洛姆伯根是非线性光学理论的奠基人，为非线性光学奠定了理论基础：1物质对光波长的非线性响应极其描述方法，2光波之间以及光波与物质激发之间相互作用的理论3光通过界面时的非线性反射和折射理论

他把各种非线性光学效应应用于原子，分子和固体光谱学的研究，逐渐形成了激光光谱学的一个新研究领域，即非线性光学的光谱学方法

在非线性光学的研究中，他建立了许多非线性光学的光谱学方法，其中最重要的是四波混频法，大大扩展了激光波长的范围，使适用于光谱学研究的激光波段从紫外区，可见光区一直覆盖到近远红外区

肖洛是研究微波激射器和激光器的先驱之一，20世纪50年代中期，肖洛与汤斯共同研究微波激射问题，当汤思提出受激辐射放大原理时，肖若第一个提出运用没有侧壁的开放式法布里博罗腔作为振荡器的设想

1960年，他和汤司研制出第一台激光器，从此，激光成为探测原子和分子特性的有效工具，20世纪70年代以后，他和他所领导的科研小组又致力于激光光谱学的研究，利用非线性光学现象首先创造出饱和吸收光谱，双光子光谱等方法，为发展高分辨率激光光谱方法做出了贡献

1978年，肖洛还用他自己发明的偏振光谱法研究氢原子光谱，精确测得物理学基本常数，里德堡常数为109737cm

1999年度诺贝尔化学奖获得者艾哈迈德·泽维尔，开创了“飞秒（10-15s）化学”的新领域，使用激光光谱技术观测化学反应时分子中原子的运动成为可能，

3相关诺贝尔物理学奖

1902年，洛伦兹，塞曼 荷兰 磁场引起谱线分裂

1907年 迈克尔逊 美国 发明光学干涉仪并利用其进行光谱学和基本度量学研究

1918年，普朗克对量子论的贡献

1919年，斯塔克 电场引起谱线分裂

1921年，爱因斯坦，德国 对数学物理的成就，特别是光电效应定律

1922年，波尔 原子结构及原子辐射

1930年，拉曼 光散射及拉曼效应，

1932年，海森堡量子力学

1933年薛定谔狄拉克 波动力学狄拉克方程

1945年，泡利 奥地利 泡利不相容原理，

1955年，拉姆，库什发明了微波技术，进而研究氢原子的精细结构，用射频束技术精确测定出电子磁矩，创新了核理论

1964汤斯 巴索夫 普罗霍洛夫 微波激射器，激光器，

1966年，卡斯特勒 发明并发展用于研究原子内光，磁共振的双共振方法

1981年，西格巴恩 布洛姆伯根，肖洛 高分辨率测量仪器，对光电子和氢元素的定量分析，非线性光学，激光光谱学，高分辨率的激光光谱仪

1989年，拉姆齐，德默尔特，保尔发明分离震荡场方法及其在原子钟的应用，发展原子精确光谱学和发展原子和开发离子陷阱技术

1997年，朱棣文，菲利普斯，塔努基 激光冷却原子，

2001年，科特勒，康奈尔，维曼 玻色爱因斯坦冷却态

2005年，克劳博，霍尔，汉施 光学相干的量子理论 激光精密光学

2006年马瑟，斯密特 发现了黑体形态和宇宙微波背景辐射的扰动现象

1971年赫茨伯格 对分子的电子构造和几何形状，特别是自由基的研究 分子光谱

1999年泽维尔 用飞秒激光光谱对化学反应中间过程的研究，

2008下村修 钱永健 发现并发展绿色荧光蛋白，

2014年，超分辨显微 非线性光谱技术用于显微

4基本概念

光谱学通过物质与不同频率或波长的电磁波之间的相互作用来研究其性质的一种方法

在光的作用下，并不是直接观察到微利微观粒子这个躯体，而是观察到他的灵魂及关于微观粒子相互作用得到的光谱，她随光的频率与微观粒子而变化

光谱：频率有小到大的顺序排列的电磁辐射强度图案，它反映了一个物理系统的能级结构状况

光谱中的有用信息：强度，位置，宽度

5光谱测量方式及分类

光谱测量包括激发和探测两个过程

通过根据测量方法，可分为吸收光谱和发射光谱

吸收光谱：样品仅仅减弱入射光的强度并不产生新的波长

发射光谱：入射光激发导致发光，出射光向不同方向散射，会产生新的波长

光谱的形成机理光谱与物质内不同运动的关系

能带理论解释紫外可见吸收，红外吸收，荧光与磷光，拉曼散射，瑞利散射

拉曼散射量子物理解释，入射光子，散射光子和准粒子如声子构成一个体系，散射过程，消灭一个入射光子，产生一个散射光子与一个准粒子

拉曼散射现象在实验上是1928年首先由印度科学家拉曼发现的，拉曼在研究液体和晶体内的散射时发现，散射时发现散射光除了有与入射光频率相同的瑞丽散射线外，还有左右对称的其他频率

从理论上几个有意义的事实，从理论上论证，实验结果类似康普顿效应后，才下决心改进实验，最终得以修成正果，是在不能再简单的实验装置上获得的，经过近七年努力，在60多种液体中观察，发表了一系列论文，1930年获得诺贝尔物理学奖

红外光谱解析的一般步骤，在获得分子式后，红外光谱解析可按如下步骤进行

1计算不饱和度，

2确定碳链骨架由高波数到低波数区：CH伸缩振动》不饱和碳碳伸缩震动》ch面外弯曲振动

3确定其他官能团区

第**12**讲 量子论与现代光学时期：光谱技术**2**

光学科技中的若干学科交叉问题

艾萨克牛顿（1643~1727）：于1666年发现太阳光并非白色

基尔霍夫（1824~1887）、本生（1811~1899）：创立光谱化学分析法

拉曼（1888—1970）：发现raman光谱，1930年获诺贝尔物理学奖

思考：光谱可以用在哪些领域，应用目的是什么？

环境

1. 吸收谱测量
2. LIDAR测量（light detection and ranging） 激光探测与测距
3. 光谱实时监测环境污染

能源

·在1964年，苏联天文学家尼古拉·卡尔达舍夫设想了外星文明的等级，通过掌握不同能量控制技术进行文明等级的划分

·光谱与太阳能：紫外可见光谱应用 光谱覆盖分析，判断物质能带

医疗

·荧光蛋白：广泛应用的活体报告蛋白

·癌症组织的判别（raman光谱）

·超分辨显微：非线性光谱学

·拉曼光谱鉴定地沟油

司法

1. 医疗纠纷

·病历记录 不同日期的蓝黑墨水记录的拉曼光谱 不一样

1. 毒品检测（中国毒品形势严重，吸毒人员超过千万）

毒品检测——raman光谱

1. 合同纠纷

Raman光谱在司法文书鉴定方面的应用

·不同品牌圆珠笔墨迹的拉曼光谱是不一样的

·不同年份的红色印章印迹的拉曼光谱也是不一样的

材料

·碳同素异形体的判别（金刚石和石墨的光谱就是不同的）

·光纤通信波段的选择

·红外光谱分析CH2OO结构

·荧光光谱进行纳米材料研究

光谱仪器举例

光谱仪器：按波长或频率记录光强分布的光学仪器

两个功能：

1. 色散——将光按波长分解开来
2. 光强探测——测得所需波长的光能

光谱仪器的名称：

1. 分光镜 spectroscope
2. 摄谱仪 spectrograph
3. 分光光度计 spectrophotometer
4. 单色仪 monochrometer

光谱仪器的基本组成

1. 光源——提供待测光谱范围内的光辐射
2. 色散系统——核心部件，将复色光分解为单色光
3. 探测器——检测光谱范围内光辐射
4. 计算机——已成为现代光谱仪器不可缺少的一部分

紫外可见光谱仪

基本组成：光源→色散系统→样品池→探测器→显示及记录系统

傅立叶变换干涉仪

· 不直接将不同波长的光分解到空间的不同位置

· 先记录光强干涉序列，然后对干涉序列进行傅立叶变换得到光谱

光谱与技术文明

· 光谱是一种不断发展的技术，对人类认识微观和宏观世界发挥了重要的作用，对哲学的发展有重要的推进作用

· 光谱和艺术、能源、环境、通信、材料和司法等密切相关

**背景介绍**

**片上集成超分辨显微**

**光纤集成多功能传感**

**实验室研究条件**

**显微技术与显微镜直接推动了生物医学的发展**

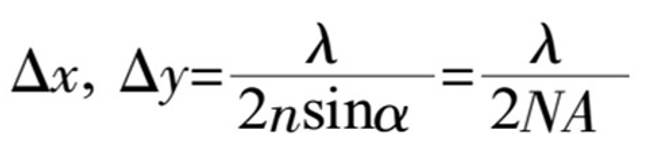
**Leeuwenhoek 1632-1723 荷兰人，率先使用放大透镜观察细菌和原生动物，将微生物命名为“Dierken”，拉丁文，意为细小活泼的物体。**

**Robert Hooke 1635-1703 英国人，用显微镜首次观察到软木片中死亡植物细胞的细胞壁，形似教士们所住的单人房间，遂以指单人房间的cell一词将所见结构命名为cell。**

**光学成像的辨率的理论极限是由光的衍射决定的**

**艾里斑与瑞利判据 瑞利判据：当一个艾里斑的边缘与另一个艾里斑的重心正好重合时，此时对应的两个物点正好能被人眼或光学仪器所分辨。**

**坚不可摧的Abbe衍射极限**



**基于这个公式，对于可见光波段（波长400-700nm）以水为介质的成像，由于水的折射率为1.33，而sinθ最大值是1，则其分辨率极限约为150nm。**

**当然，θ角无法达到90°，实际上水镜的数值孔径（NA）一般在1左右。所以通常可以定义成像分辨约为光的波长的一半（200nm左右）。**

**给出了一大限制**

**200nm的分辨率对于可见光下的生物医学研究远远不够：很多亚细胞结构和细胞器的尺度都是几百nm到几μm；细胞本身是高度拥挤的，200nm的空间上挤满了各种分子**

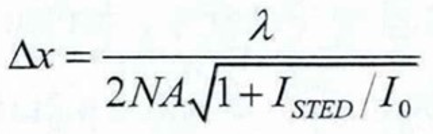
**提出了两个努力方向**

**缩短波长：深紫外显微镜、X射线显微镜、电子显微镜——短波长电磁波能量大，容易损伤细胞，难以活体观察；可见光的直观性和丰富的功能成像**

**提高系统的NA：油镜、固态浸没透镜——大折射率材料有较大的色散和光吸收，成像质量低**

**荧光标记技术：打破远场光学衍射极限的一个希望**

**受激发射损耗显微镜（stimulated emission depletion，STED）**

**Stefan Hell的想法：激发光斑点扩散函数周围套上一个环形点扩散函数，以“擦除”激发光斑的外围，从而使得激发光斑“变小” 核心在于“擦除”**

**基于单分子定位的超分辨显微镜**

**单分子定位的原理：单分子信号可以通过高斯拟合的方法进行精确定位**

**采用高灵敏度的DDC/sCMOS记录下稀疏的单分子信号，通过图像识别算法分割出每个单分子，再通过拟合算法精确定位出每个单分子的位置，最终重构出超分辨图像**

**激活——定位——漂白（核心在于定位）**

**繁星汇银河，时间换空间**

**2014年诺贝尔化学奖**

**美国霍华德·休斯医学研究所的Eric Betzig——PALM**

**德国马普生物物理化学研究所的Stefan Hell——STED**

**美国斯坦福大学的William Moerner——第一个观察到单分子并对单分子性质进行详细测量**

**标记型超分辨显微系统**

**STED需要高强度激光和特殊的荧光标记物产生光漂白，使用范围受限。**

**PALM、SOTRM需要10^4~10^5帧合成一幅图片（2~12小时），无法快速成像。**

**无标记超分辨显微**

**电路分析+一串英文**

**子单元动态+一串英文**

**倏逝波——打破远场光学衍射极限的希望**

**与一般的传导波相比，倏逝波仅仅存在于分界面上，其幅值随着其与分界面相垂直深度的增大而呈指数形式衰减**

**倏逝波的波数大于同频率的传导波，因此可以携带更多的高频信息**

**近场扫描显微镜（NSOM）：在近场实现样品的照明、激发、探测，从而打破衍射极限的显微技术**

**仅存在于近场，无法在远场直接获取**

**非标记超分辨显微研究现状**

**非标记超分辨显微成像面临的问题：**

**1、超透镜Hyper Lens**

**视场小，＜10μm²**

**窄谱成像，距离近**

**畸变严重**

**2、微球成像**

**视场小，＜10μm²**

**分辨率有限**

**畸变严重**

**3、结构光成像 分辨率仅为1/4 视场由物镜决定**

**非标记超分辨显微窄视场科学问题**

**常规照明+一串英文 非标记超分辨显微的挑战 宽光谱+一串英文 信号增强+一串英文 宽场+一串英文 基于微纳发光器件的无标记超分辨显微 微纳发光器件+一串英文**

**芯片化集成化的超分辨显微**

**片上集成超分辨显微镜**

**研制具有自主知识产权的芯片化模块化的下一代高分辨光学显微镜，结合光子学基础研究和精密光学仪器应用研究的优势。**

**成果为我国新型高端显微镜研制提供新理论、新方法和关键器件，促进现有光学仪器的技术创新和转型发展，为我省和我国的经济转型和科技进步做出贡献。**

**移频机理**

**关于移频原理的一串英文**

**无源微纳光纤移频**

**基于近场光源的超分辨成像+一维成像+一串英文**

**发光提供宽视场照明**

**理论传播距离更大 放射源+被动波导+一串英文**

**一维结构成像**

**薄膜的作用**

**高折射率，高分辨率，高对比度+一串英文**

**直线照明引起图像不完整**

**环形照明实现二维成像**

**纳米线光源与二维薄膜波导结合产生倏逝波放射**

**远场超分辨成像的空间移频**

**最佳直径与视场+一串英文**

**对蓝光DVD的观测+一串英文**

**对集成电路密集刻线的观测**

**基于微纳材料非标记超分辨显微的对比**

910

超大统一四大皆空超弦理论 超膜

色：对称破缺

弱相互作用u，强相互作用su，电相互作用su，引力sl

威廉汤姆生（开尔文爵士） 成就：创立开尔文文标，提出宇宙趋向能量耗散。

两朵乌云：物理大厦已经落成，所剩只是一些修饰工作。同时，他在展望20世纪物理学前景时说：“动力理论肯定了热和光是运动的两种方式，现在，它的美丽而晴朗的天空却被两朵乌云笼罩了，”“第一朵乌云出现在光的波动理论上，”“第二朵乌云出现在关于能量均分的麦克斯韦-玻尔兹曼理论上。威廉.汤姆生在1900年4月曾发表过题为《19世纪热和光的动力学理论上空的乌云》的文章。他所说的第一朵乌云，主要是指迈克尔逊-莫雷实验结果和以太漂移说相矛盾；他所说的第二朵乌云，主要是指热学中的能量均分定则在气体比热以及热辐射能谱的理论解释中得出与实验不等的结果，其中尤以黑体辐射理论出现的“紫外灾难”最为突出。

第一朵乌云:迈克耳逊一莫雷实验与“以太”说矛盾“以太( Ether):光、电、磁的共同载体，传播介质。恰如声音依靠空气作为媒介传播、水波依靠水作为媒介传播0“以太是一种刚性的粒子，十分地坚硬，比最硬的物质金刚石还要硬上不知多少倍。同时又是如此稀薄，以致物质在穿过它们时几乎完全不受机械波的传播需要媒介到任何阻力

为了观测“以太风”是否存在，1887年，迈克耳逊与莫雷合作，在克利夫兰进行了一个著名的实验:“ 迈克耳逊一莫雷实验”。

迈克尔逊因此获得1907nobel physics

第二朵乌云:黑体辐射与“紫外灾难”

黑体(black-body):能吸收一切外来辐射，而无反射19世纪，由于冶金以及照明设备制造等的需要，人们急需找到黑体辐射

“紫外灾难”:经验公式说明w(能量密度)在v(频率)趋向于无穷大时趋向于无穷大这与实验数据相违背

普朗克提出量子化假设，或1918nobel physics

光电效应

1887年，赫兹在做证实麦克斯韦的电磁理论的火花放电实验时，偶然发现了光电效应。赫兹用两套放电电极做实验，一套产生振荡，发出电磁波；另一套作为接收器。他意外发现，如果接收电磁波的电极受到紫外线的照射，火花放电就变得容易产生。赫兹的论文《紫外线对放电的影响》发表后，引起物理学界广泛的注意

1905年，爱因斯坦发表论文《关于光的产生和转化的一个试探性观点》，对于光电效应给出另外一种解释。他将光束描述为一群离散的量子，现称为光子，而不是连续性波动。

爱因斯坦1921年获诺贝尔物理学奖

德布罗意

法国理论物理学家，波动力学的创始人，物质波理论的创立者，量子力学的奠基人之一

埃尔温·薛定谔(Erwin Schrödinger, 1887年8月12日——1961年1月4日)，男，著名的奥地利理论物理学家，量子力学的重要奠基人之一，同时在固体比热、统计热力学、原子光谱等方面享有成就。1933年因薛定谔方程获诺贝尔物理学奖。

德布罗意波（物质波）λ=h/p （h：普朗克常量；p：动量。 λ：波长）物质在空间中某点某时刻可能出现的几率，其中概率的大小受波动规律的支配

意义：发现了电子、质子等微观粒子的波动性以后，对微观世界的认识统一起来了。不仅原来认为是电磁波的光具有粒子性，而且原来认为是粒子的电子、质子等也具有波动性。

1937年，戴维孙和G·P·汤姆孙也由于发现晶体对电子的衍射作用而获得了诺贝尔物理学奖。

1929年，德布罗意获诺贝尔物理学奖

薛定谔的猫：1935提出，旨在论证怪异的量子力学

将一只猫关在装有少量镭和氰化物的密闭容器里。镭的衰变存在几率，如果镭发生衰变，会触发机关打碎装有氰化物的瓶子，猫就会死；如果镭不发生衰变，猫就存活。根据量子力学理论，由于放射性的镭处于衰变和没有衰变两种状态的叠加，猫就理应处于死猫和活猫的叠加状态——外部观测者观测时，物质以粒子形式表现后才能确定

量子论特点：不确定性（某时粒子的位置）、不连续性（粒子状态跳跃性）

量子力学与光学

新技术：光电效应与光电探测器；新型光源：激光、led

外光电效应：当金属表面在特定的光辐照作用下，金属会吸收光子并发射电子，发射出来的电子叫做光电子。光的波长需小于某一临界值（相等于光的频率高于某一临界值）时方能发射电子，其临界值即极限频率和极限波长。临界值取决于金属材料，而发射电子的能量取决于光的波长而非光的强度

外光电：像增强器、微光夜视仪

光伏效应：太阳光照在半导体p-n结上，形成新的空穴-电子对，在p-n结电场的作用下，空穴由n区流向p区，电子由p区流向n区，接通电路后就形成电流。这就是光电效应太阳能电池的工作原理。

光电池 光电二极管 光电三极管

光电导效应，又称为光电效应、光敏效应，是光照变化引起半导体材料电导变化的现象。即光电导效应是光照射到某些物体上后，引起其电性能变化的一类光致电改变现象的总称。

光电池 pin apd psd 光电二极管 光电三极管 光电探测器

光与物质的相互作用，实质上是组成物质的微观粒子吸收或辐射光子，同时改变自身运动状况的表现。

激光

原理：

微观粒子都具有特定的一套能级（通常这些能级是分立的）。任一时刻粒子只能处在与某一能级相对应的状态（或者简单地表述为处在某一个能级上）。与光子相互作用时，粒子从一个能级跃迁到另一个能级，并相应地吸收或辐射光子。光子的能量值为此两能级的能量差△E，频率为ν=△E/h（h为普朗克常量）。

1.受激吸收（简称吸收）

处于较低能级的粒子在受到外界的激发（即与其他的粒子发生了有能量交换的相互作用，如与光子发生非弹

性碰撞），吸收了能量时，跃迁到与此能量相对应的较高能级。这种跃迁称为受激吸收。

2.自发辐射

粒子受到激发而进入的激发态，不是粒子的稳定状态，如存在着可以接纳粒子的较低能级，即使没有外界作用，粒子也有一定的概率，自发地从高能级激发态（E2）向低能级基态（E1）跃迁，同时辐射出能量为（E2-E1）的光子，光子频率 ν=（E2-E1）/h。这种辐射过程称为自发辐射。众多原子以自发辐射发出的光，不具有相位、偏振态、传播方向上的一致，是物理上所说的非相干光。

3.受激辐射、激光

1917年，爱因斯坦从理论上指出：除自发辐射外，处于高能级E2上的粒子还可以另一方式跃迁到较低能级。他指出当频率为 ν=（E2-E1）/h的光子入射时，也会引发粒子以一定的概率，迅速地从能级E2跃迁到能级E1，同时辐射一个与外来光子频率、相位、偏振态以及传播方向都相同的光子，这个过程称为受激辐射。

可以设想，如果大量原子处在高能级E2上，当有一个频率 ν=（E2-E1）/h的光子入射，从而激励E2上的原子产生受激辐射，得到两个特征完全相同的光子，这两个光子再激励E2能级上原子，又使其产生受激辐射，可得到四个特征相同的光子，这意味着原来的光信号被放大了。这种在受激辐射过程中产生并被放大的光就是激光。

光电集成芯片 激光光盘 激光医学 治疗近视对角膜表面进行精密加工，控制折光率

激光测距、雷达、制导、通信、武器

光波带宽50thz

微波100ghz

激光精密光学干涉检测

测量引力波干涉仪

测量位移干涉仪

长度传递干涉仪

测气体干涉仪

外差干涉测长系统

光纤陀螺测角系统

干涉仪可以做什么？面形测量 半导体器件 化学机械抛光过程测量薄膜

5.人工智能在光谱，成像和其他光学领域有何用处？

1.深度学习的光学芯片

MIT教授马林·索尔贾希克和同事开发出光学神经网络系统的重要部件——全新可编程纳米光学处理器，这些光学处理器能在几乎零能耗的情况下执行人工智能中的复杂运算。索尔贾希克解释道，普通眼镜片就能通过光波执行“傅里叶变换”这样的复杂运算，可编程纳米光学处理器采用了同样的原理，其包含多个激光束组成的波导矩阵，这些光波能相互作用，形成干涉模式，从而执行特定的目标运算。研究小组通过测试证明，与CPU等电子芯片相比，这种光学芯片执行人工智能算法速度更快，且消耗能量不到传统芯片能耗的千分之一。他们还用可编程纳米光学处理器构建了一个神经网络初级系统，该系统能识别出4个元音字母的发音，准确率达到77%。他们的最终目标是，将可编程纳米光学处理器交叉铺成多层结构，构建光学网络神经系统，模拟人脑中神经元执行复杂的“深度学习”运算。索尔贾希克表示，新光学处理器还能用于数据传输中的信号处理，更快速实现光学信号与数字信号间的转换。未来，在大数据中心、安全系统、自动驾驶或无人机等所有低能耗应用中，基于新光学处理器的复杂光学神经网络将占据重要席位。

2. 用于天体光谱分析

随着新一代巡天观测、时域观测等天文项目的推进，当前的天文数据以“雪崩”之势增长，由此导致了天文数据自动挖掘方法研究的必要性和迫切性。国际上，近年来大规模图像巡天和大样本光谱巡天方面已经取得了长足的进展，特别是一系列光谱巡天计划的成功实施，使人们获得了空前丰富的恒星光谱资料，推动了天文学各个分支的蓬勃发展。恒星光谱，无论是连续谱还是线谱，差异极大。恒星光谱主要取决于恒星的物理性质和化学组成。因此，恒星光谱类型的差异反映了恒星性质的差异。采用不同的分类标准，将得到不同的分类系统。

目前最通用的恒星分类法主要依据恒星的温度由高至低排序（质量、半径和亮度皆与太阳比较），它将恒星的光谱分成七大类，每类再细分为若干小类。大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜是 最大的天文光谱观察项目之一，恒星光谱数据的一个重要特点就是超高维 (维度高达 5201)。这样复杂的数据一般的科学计算软件是没有办法进行分析的。这一点就可以通过人工智能中的深度学习来解决。深度学习或阶层学习是[机器学习](https://baike.baidu.com/item/%E6%9C%BA%E5%99%A8%E5%AD%A6%E4%B9%A0/217599)的技术和研究领域之一，因此深度学习具有[表征学习](https://baike.baidu.com/item/%E8%A1%A8%E5%BE%81%E5%AD%A6%E4%B9%A0/2140515)能力[3-4]  ，可以实现[端到端](https://baike.baidu.com/item/%E7%AB%AF%E5%88%B0%E7%AB%AF/8851783)的[监督学习](https://baike.baidu.com/item/%E7%9B%91%E7%9D%A3%E5%AD%A6%E4%B9%A0/9820109)和[非监督学习](https://baike.baidu.com/item/%E9%9D%9E%E7%9B%91%E7%9D%A3%E5%AD%A6%E4%B9%A0/16588789)[5-6]  。此外，深度学习也可参与构建[强化学习](https://baike.baidu.com/item/%E5%BC%BA%E5%8C%96%E5%AD%A6%E4%B9%A0/2971075)系统，形成[深度强化学习](https://baike.baidu.com/item/%E6%B7%B1%E5%BA%A6%E5%BC%BA%E5%8C%96%E5%AD%A6%E4%B9%A0/22743894)[7-8]  。在应用方面，深度学习被用于对复杂结构和大样本的高维数据进行学习，已经在[计算机视觉](https://baike.baidu.com/item/%E8%AE%A1%E7%AE%97%E6%9C%BA%E8%A7%86%E8%A7%89/2803351)、[自然语言处理](https://baike.baidu.com/item/%E8%87%AA%E7%84%B6%E8%AF%AD%E8%A8%80%E5%A4%84%E7%90%86/365730)、[生物信息学](https://baike.baidu.com/item/%E7%94%9F%E7%89%A9%E4%BF%A1%E6%81%AF%E5%AD%A6/207195)、[自动控制](https://baike.baidu.com/item/%E8%87%AA%E5%8A%A8%E6%8E%A7%E5%88%B6/5337539)等，且在[人像识别](https://baike.baidu.com/item/%E4%BA%BA%E5%83%8F%E8%AF%86%E5%88%AB/1705333)、[机器翻译](https://baike.baidu.com/item/%E6%9C%BA%E5%99%A8%E7%BF%BB%E8%AF%91/411793)、自动驾驶等现实问题中取得了成功，我相信这项技术也可以用在天体光谱的分析中。

选做题1：设计一个光谱测量污染物的系统，并说明基本原理和适用范围。

基本设想：傅立叶变换红外光谱技术——光谱测量空气污染系统

通过测量大气中污染物和污染源污染物的性质和含量，对控制大气污染做出努力。通过光谱分析得到足够精度的数据，再从数据入手进行整治。

使用傅里叶光谱分析等监测技术，达到一个能比较及时、准确、全面地反映环境质量动态和污染源动态变化的效果。

适用范围：大气等（在保证精度的前提下）

如：反恐和应急监测，如突发性化学污染事件，爆炸物检测； 实时远距离监测气体扩散···

基本原理：

由于大气中大多数的微量、痕量气体都是红外活性气体，在2~30μm波段范围内具有吸收和发射红外特征光谱的能力，这个波段称为中红外区或指纹区，对于光谱测量非常有利，因而FT-IR在大气环境监测中有一定程度应用的领域。

主动检测：主动检测技术中，光谱仪的光学镜头接收来自到红外光源发射的红外辐射。因此，辐射的红外线在开放或密闭的空气中传播，光程由红外源和光谱仪之间的距离和方位决定。光谱仪接收到的红外辐射后，经由干涉仪的调制被红外探测器检测，再由光谱仪的电子学部件和相应数据处理模块完成干涉图的转换和存储，并通过傅里叶变换，将干涉图转换成红外光谱。如果光路中存在红外活性分子，就可以在其红外光谱上表现出较强的吸收线形。从透过率谱线可以定性判断组分的种类，并完成相应的定量分析。主动式检测技术可以提供较低的检测下限，因此在所需探测下限较低的情况下，一般采用该技术。

被动遥测：被动遥测技术在光学结构上和主动式检测系统有些类似，唯一的不同之处在于前者所探测的红外辐射来自于周围环境，而非后者的主动红外光源。这样便带来了高移动性和可快速操作（人工系统）的优势。遥感距离也增加到数公里，操控也很简便。

通常，被动FT-IR光谱的检测下限要低于主动式设备，随着背景和目标组分温差的减少，其探测下限随之上升。在辐射温差较小的情况下，被动FT-IR的遥测能力受到限制。研究表明，有效温差为1K时，被动式FT-IR光谱仪的灵敏度比主动式低1000倍。

2想象一款未来的疾病诊断仪器，具有多种智能诊断功能，具体说说有哪些功能，可以通过哪些技术来实现？

体外诊断新宠儿：微流控芯片。微流控芯片具有液体流动可控、消耗试样和试剂极少、分析速度成十倍上百倍地提高等特点,它可以在几分钟甚至更短的时间内进行上百个样品的同时分析,并且可以在线实现样品的预处理及分析全过程。近年来，各种新技术、新方法的兴起和融合，促进了体外诊断（IVD）仪器、试剂的开发应用和更新换代。根据威尼研究所的研究，中国体外诊断市场快速发展，预计将在未来的10~15年内超过美国，成为世界上最大的体外诊断市场。而根据工信部发布的2015国内体外诊断（IVD）产业现状蓝皮书数据，2014年IVD市场占到国内医疗器械市场的16%（440亿元），IVD行业已成为整个医械市场的重要增长极，中国医药工业信息中心更预测2019年IVD市场规模将达到723亿元。那么，在这样一个宏大的市场上，微流控芯片技术如何脱颖而出引领一个新潮流呢？其实，在上世纪80年代纳米技术革命中，微流控芯片还只是其中的一个小分支，90年代末，在研究芯片衬底的材料科学和微通道的流体移动技术得到发展后，微流控技术也取得了较大的进步，终于在体外诊断运用方面找到突破口，重新出现在大众视野，并最终成功实现商业化。

微流控芯片能把化学和生物等领域中所涉及的样品制备、反应、分离、检测等一系列基本操作单元整合到一个微米尺寸的芯片上，同时，微通道形成的网络，能够贯穿整个系统，具有便携、低能耗、易于制作、易于掌握等优点，易于满足生命科学对生物样品进行低剂量、更高效、高灵敏、快速分离分析的需求。由于它在生物、化学、医学等领域的巨大潜力，已经发展成为一个生物、化学、医学、电子、材料、机械等学科交叉的崭新研究领域。

3.说说光电集成技术的发展，说明其发展的关键节点和技术瓶颈

光电集成是指把光器件和电器件集成为有某种光电功能的模块或组件。用分立器件的管心集成在一起的称为“光电混合集成模块”，在技术上已比较成熟(用光和电的元器件集成在同一块半导体基片上的，称为“单片集成模块”，它是光电集成的发展方向。用于集成的光器件可以是激光器、发光二极管、光检测器、光放大器、光调制器、光开关、光耦合器和光波分复用器件等。用于集成的电器件可以是驱动电路、控制电路和放大电路等电路。光电集成在光纤通信系统中可构成光发送机、光接收机、光中继器和光波分复用器等组件。采用光电集成具有提高系统可靠性、提髙调制速率、降低噪声以及减小寄生电感和电容的影响等优点。

8.傅里叶光谱变换仪与其他光谱测量方法的主要区别是什么？这种方法给了你怎样的启发？

傅立叶变换光谱仪简而言之就是通过对迈克尔逊干涉仪的条纹进行数学模拟处理分析，从而获得相应的结果。

我们知道，复色光由大量波长的单色光组成，而所有单色光的方程是由三角函数通过函数变换组合而成，那么我们所得到的光强度也应当都是三角函数的组成。而数学中的傅立叶变换就是用三角函数将整个任意的周期函数剥离出来，通过类似于数学分析中的傅里叶变换的数学手段，我们可以将不同的色光从光谱中分割出来。

相比于传统的光谱分析，与第一类相比首先一个特点是采用了波动光学里的干涉来进行分光，使用了迈克尔逊干涉仪，相比于简单的双缝干涉，其相位差更易调节，区分不同的波长光线与几何分光法有所不同，增加了灵活度与仪器灵敏度。其次，相比于许多干涉分光后的观察方法，其采用了傅利叶变换，在数学模式上使用傅利叶变换作为数学工具对光谱学的量化测量，有了一个更高精度的解释，理论上是可以完全把光谱给计算出来。

我从中得到的启示是我们要综合各个学科的知识，将各个学科的知识融会贯通，在研究一个问题时，将其他学科的知识为我所用。就比如傅里叶变换原本是分析学中的定理，但在光谱分析中也找到了用武之地，这种光谱变换仪将会引发光谱分析的重大变革。