

南京大学·金陵中学准博士
论文集(第一期)



2012年9月

序：像鸟一样在天空飞翔

“像鸟一样在天空飞翔...”这是人类自古以来要在天空中飞翔的创新理想。为了实现这个理想，一些有志者先后做了尝试。1903年，由美国莱特兄弟将飞机试制成功，并飞上了天空。因此，莱特兄弟就是两位具有创新理想的成才者。

就这样，人类在发展的过程中，不断地提出创新的课题，而那些具有创新理想者，就一个又一个地去探索。

在看到世界新科技层出不穷的同时，一句“为什么我们的学校总是培养不出杰出人才？”曾在每一个教育工作者的灵魂深处唤起对自己的教育使命与社会责任从未有过的如此真切、如此深切、如此迫切的感受与反思。

2010年10月27日，南京大学和金陵中学联合成立的“南京大学金陵中学准博士培养站”顺利开班。这是中学与大学联手试图探索一条基础教育与高校培养有机衔接的绿色通道，积极尝试培养创新人才、拔尖人才科学途径的一次有益尝试。

作为百年老校的金陵中学培养了数以万计的优秀学子，有中国工程热物理学家、中国科学院主席团执行主席吴仲华院士，有著名经济学家吴敬琏、厉以宁大师，还有人文学者盛成、程千帆大师，金陵中学因此被社会赞誉为“英才摇篮”。近年来，在高考中金陵中学同样取得骄人成绩，为高校输送了一大批杰出的人才，尤其在创新教育上独具特色，成绩斐然：有获得英特尔国际科学工程大赛一等奖的华演，有获得国际中学生计算机奥林匹克奖牌的李申杰、章准平、林希德；有在教育部、周凯旋基金会主办，中国科协承办的《明天小小科学家》竞赛中获得一等奖的王珂、王冉...百年金中为我们教育事业做出了巨大贡献。

“准博士培养站”第一期学员由金陵中学高一年级43名优秀同学组成，这些同学综合素质全面、学习能力突出、具有创新潜质和研究精神，同时在南京大学“南京微结构国家实验室”推选了25名教育科研水平高、热衷于教育事业的优秀教师作为“准博士”们的导师，其中院士1名，教育部长江学者特聘教授7人，教授24名。2009年7月，南京市教育局开始实施“星光计划”，旨在充分发挥南京科教资源优势，实现中小学校与高校、科研院所的教育资源对接，加快培养优秀学生和创新拔尖人才。

在广袤的宇宙空间，已经有一颗以金陵中学的学生华演命名的小行星。我们希望并相信“准博士培养站”一定会让更多的优秀人才脱颖而出，像天空中闪耀的星光那样璀璨夺目。

南京大学副校长 谈哲敏

2012年4月

代序

著名的“钱学森之问”是关于我国教育事业发展的—道艰深命题，需要整个教育界乃至社会各界的共同破解。作为—名高校教师，“钱学森之问”亦引起我的深刻思考。当金陵中学邹正校长建议依托南京微结构国家实验室，建立“南京大学金陵中学准博士培养站”时，我立刻意识到邹校长这个将基础教育和高等教育贯通起来，将金陵中学的生源优势与南京大学的学术优势结合起来的想法是十分新颖和富有创意的，是培养拔尖创新人才的一次意义深远的探索，遂立即给予积极响应和大力支持。

2010年10月，“南京大学金陵中学准博士培养站”项目正式启动。金陵中学四十余名朝气蓬勃的优秀高中生，每隔—周到南京微结构国家实验室，接受包括多名中国科学院院士、长江学者特聘教授在内的南大导师们的指导。同学们表现出极高的学习兴趣，与导师自由平等地交流，和研究生们共同参与科学研究活动。在亲历了辛苦与乐趣并存的科学研究活动后，同学们对于科学的热爱被激发，探索未知领域的志向被激励。同时，金陵中学同学们谦逊有礼、聪颖勤奋、开朗活跃的品格，和敢于质疑，勇于创新，刨根问底的钻研精神，也给导师们留下深刻的印象。

本册所收录的论文充分展示了首批“南京大学金陵中学准博士培养站”的研究成果。这些成果是金陵中学的同学们在与实验室导师交流的过程中，总结自己的所听、所见、所疑，所思而独立完成的。虽然从专业角度来说，他们的论文还略显稚嫩，但同学们表现出来的出色科学观察能力和良好科学领悟能力是难能可贵和极富希望的。更重要的是，在与第一线工作的实验室导师零距离接触后，同学们对于真实的科学研究氛围和严谨求实的科学研究态度，有了更深入的了解。他们意识到追求科学精神需要付出极大的努力，需要超人的耐性和韧性，需要质疑和接受质疑的勇气。这些在潜移默化中培养起来的科学素养，将使同学们终身受益。

这些优秀的同学，今后将进入高等学府继续深造，他们将是我们的未来创新拔尖人才队伍的中坚和希望。很高兴能与金陵中学携手共建“南京大学金陵中学准博士培养站”这样一个平台，我们将为这些优秀的高中生们提供机会较早地了

解高校的教育和科研，帮助他们拓展学科视野，选择专业发展方向，更好地实现个人理想，更好地奉献社会与国家。希望同学们继续勤奋学习、学业有成，也祝愿金陵中学的教育创新取得更大的成功。

南京微结构国家实验室主任 邢定钰
2012年4月

序

2010年10月27日，“南京大学·金陵中学准博士培养站”正式启动。

一年多来，我校高一年级的43位“准博士”每周四下午到南大听课，到国家重点实验室在导师的指导下做课题、做实验实验。在此期间，学校还带领他们走出课堂，来到社会生产一线感受和实验。

当下的教育往往忽视了知识世界与学生生活世界的联系，重复机械的应试之学让许多学生的头脑成了知识的存储器，却唯独存不下自己的梦想，也读不出一份属于自己的真正的精彩。

因此，当我看到他们的论文时，心中的喜悦是毋庸置疑的。他们的文字虽显稚嫩，实验的过程也有些简单，但这些来自生活实践的思考 and 选题无疑印证了伽利略说过的一句话：“一切推理都必须从观察与实验得来”。

大学的课程、导师的指导和社会考察大大地拓展了学生的视野，激活了思维，更重要的是让他们真正懂得STEM——即Science（科学）、Technology（技术）、engineering（工程）和mathematics（数学）的要求：善于发现。

这里辑录的就是他们的发现，他们的思考，他们的推理。这些发现也让我们发现，每个学生的头脑都可以成为一把等待点燃的火把。

作为教育者的我们应该思考：我用什么去点燃它？

愿闪耀在论文里的点点智慧之光照亮我们的教育之旅。

最后，再次向以邢定钰院士为首的南大导师团队献上我的敬意和谢意！

金陵中学 邹正

2012年1月6日

目 录

1 . 从绝缘体到导体到超导体.....	
2 . 非线性光学成像.....	
3 . 光的全反射及在水中传播的规律.....	
4 . 平行光束在球形界面的反射和折射.....	
5 . 有关伊辛模型相变的研究.....	
6 . 光栅衍射实验以及光栅常数测量.....	
7 . 纳米金的合成及表征.....	
8 . 钙钛矿氧化物 BiFeO_3 掺杂系列铁磁性能研究.....	
9 . 重力加速度的测量.....	
10 . 液晶的发现、结构及其应用.....	
11 . 了解约瑟夫森结的 IV 曲线.....	
12 . 关于石墨烯应用于太阳能研究.....	
13 . 基于自旋跃迁的分子磁性器件.....	
14 . 超分子材料的形态和应用.....	
15 . 狄尔斯 - 阿尔德反应及逆狄尔斯 - 阿尔德反应.....	
16 . 吩噻嗪与溴己烷反应生成 N-己基吩噻嗪.....	
17 . 地沟油的综合利用.....	
18 . 化学基本操作中的科学.....	
19 . 南京秦淮河水质情况调查.....	
20 . 秦淮河水质研究报告.....	
21 . 氢能源的获取及利用方向.....	

从绝缘体到导体到超导体

吴瑜^{*}，钱宇娟

(金陵中学，南京)

摘要：利用几种高纯度的绝缘氧化物材料如 CuO ， Y_2O_3 ， BaCO_3 等，根据化学反应方程式称量、配比并合成了高温超导产物 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ，用光学显微镜、万用电表、低温电阻率测试等方法测试产物的结构和电阻等物理数据，对几种氧化物进行的化学反应过程、电阻率变化过程等进行讨论。预期结果：绝缘体之间可以通过颗粒接触产生化学反应得到导电性产物，并在低温下有超导电性。超导电转变温度与国际上报到的数据相当（约 90K 或零下 183°C ）。通过实验了解物理实验的过程，对导电性的了解有更明确的认识。

关键词：绝缘氧化物、高温超导体、合成、绝缘性导电、金属性导电

导电性是材料的基本属性，可以根据导电性的差别，将材料分为绝缘材料、半导体材料和导体材料。绝缘材料的电阻率很大，很难用通常的电表进行测量，在万用电表中显示断路，如空气、橡胶等。绝缘材料可以用于阻隔电流，被广泛用于变压器、输电线外层等，甚至我们的电压表也使用了电阻很大的材料来减小分流对测量电路的影响；半导体是一类导电性介于绝缘体和导体之间的材料，其最显著的特性是具有光敏、热敏、掺杂等特性，在受热、光照等条件下可以很容易改变其电阻大小，得到工业界广泛应用，如温度计、二极管、三极管、集成电路等，还是目前节能用发光二极管的主要材料，也是目前利用太阳光能发电（太阳电池）的主要材料；导体是可以传输电流的材料，通常是金属材料。上述材料的导电能力差异已经为人类很早就发现。在此基础上，1911年，荷兰科学家卡末林—昂内斯(Heike Kamerlingh-Onnes)用液氮冷却水银，当温度下降到 4.2K（零下 268.95°C ）时，发现水银的电阻完全消失^[1]，这种电阻为零的现象称为超导电性，该材料称为超导体，发生超导现象的温度称为超导临界温度。随后人们发现了很多材料都具有超导特性，甚至常温下导电性很差的材料也出现超导电性。值得一提的是，人们没有在良导体如 Cu ， Ag 等或贵金属如 Pt ， Au 中发现超导现象。图 1 是水银和 Pt 电阻随温度变化的比较，在低温下水银中出现了超导电性，而 Pt 中没有超导电性，相反其电阻为恒定或有增加的趋势。通过查找资料可以知道，这种电阻为恒定是纯净金属固有的特征，而电阻的微弱增加可能来源于金属不纯净或结构不完整的因素。

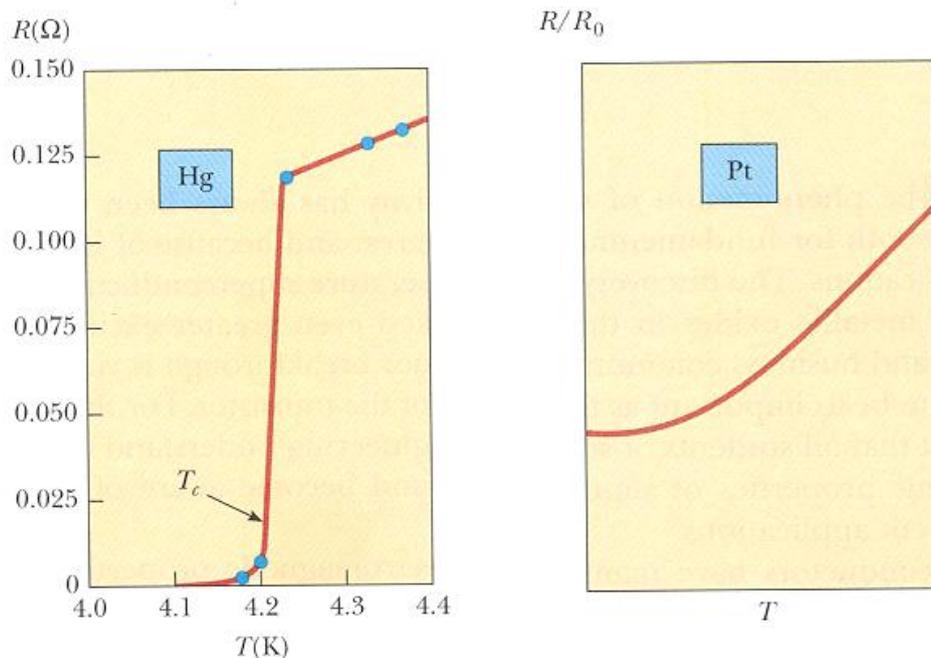


图 1， 低温下水银与 Pt 电阻随温度的变化比较。水银在低温下电阻转变为零，出现超导现象；而 Pt 在低温下电阻不为零，且有恒定或增加趋势。

但超导转变的临界温度都很低，直到 1986 年前，人们发现或合成的超导体的超导临界温度都不超过 25K（低于零下 258℃）。1986 年，两位科学家，Muller 和 Bednoze 在氧化物中发现了超导临界温度超过 35K（零下 248℃）的超导材料，打开了人们研究这类特殊超导材料的大门，掀起了全世界研究高温超导的热潮。随后几年，超导转变临界温度不断攀升，目前最好温度已达到 164K（零下 109℃），超过了液氮的冷却温度，为实际应用推进了一大步。图 2 是科学家给出的关于超导转变临界温度进展的图。

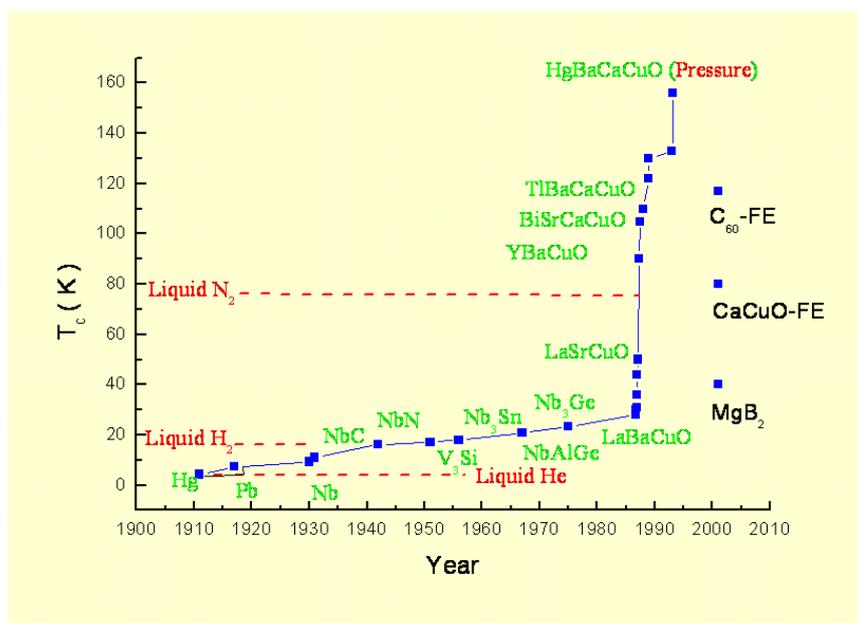


图 2, 超导临界温度提升的年代示意图。我们看到从超导的发现(1911 年)到 1986 年前, 超导临界温度的提升速度是很缓慢的, 最高转变温度是 Nb_3Ge , 仅 23.5K (零下 249.5℃)。目前超导最高转变温度是 1994 年在 HgBaCaCuO 中通过高压产生的, 164K (109℃)。

Bednoze 和 Muller 也因此获得了 Nobel 物理学奖-自然科学发现的最高奖励。人们根据超导转变临界温度的差异, 将超导体分为高温超导体和常规超导体(低温超导体)。这里的高温超导体实际上转变临界温度还是很低的, 远低于地球最冷的气温。由于超导电性材料具有零电阻的特点, 因此电流可以没有消耗地进行传输, 不仅可以节约能源, 而且可以实现人类原先不能实现的新功能器件, 因此超导电性的研究自 1911 年被发现以来一直是人类追求的目标。在高温超导中, 一个有趣的现象是几种不同的绝缘体材料经过一系列现在看来并不复杂的制备过程形成了具有导电性的导体, 并在低于一定的温度下变为超导体, 其超导转变温度比原先的金属超导体的转变温度要高很多, 有的达到了零下 170 度(最早发现的金属汞的超导转变温度为零下 269 度), 比金属材料的超导转变温度提高了 100 多度, 这为超导材料的实用化迈出了一大步。本课题即通过重复超导材料的制备和测量获得关于导电性的认识。

1 实验部分

1.1 实验准备活动

实验前先找到实验需要的原材料, 也就是几种氧化物: 高纯度 CuO (99.9%)、 BaCO_3

(99.9%)、 Y_2O_3 (99.9%)。找到称量使用的电子天平，搅拌需要的研钵（玛瑙研钵），烘烤得炉子、烧样品的炉子等，确定东西齐备后，分别根据合成的产物的化学反应的方程式进行原材料的配比进行计算各材料需要的重量。实验按照 2 克生成产品计算。氧化铜、碳酸钡、氧化钇各量的重量分别是：716.2 毫克、1183.2 毫克和 339.0 毫克。在称量前还需要在高于 $100^{\circ}C$ 的炉子内烘烤这些材料，去除其中可能的水分，使得配比准确。称量使用的是感量很小的电子天平（灵敏度 0.01 毫克），一小段头发丝都可能影响配比的平衡，因此最重要的是细致和耐心。搅拌要尽量让所有的成分都均匀分布，因此需要研磨很长时间(通常是半小时以上)，而且需要均匀使力。

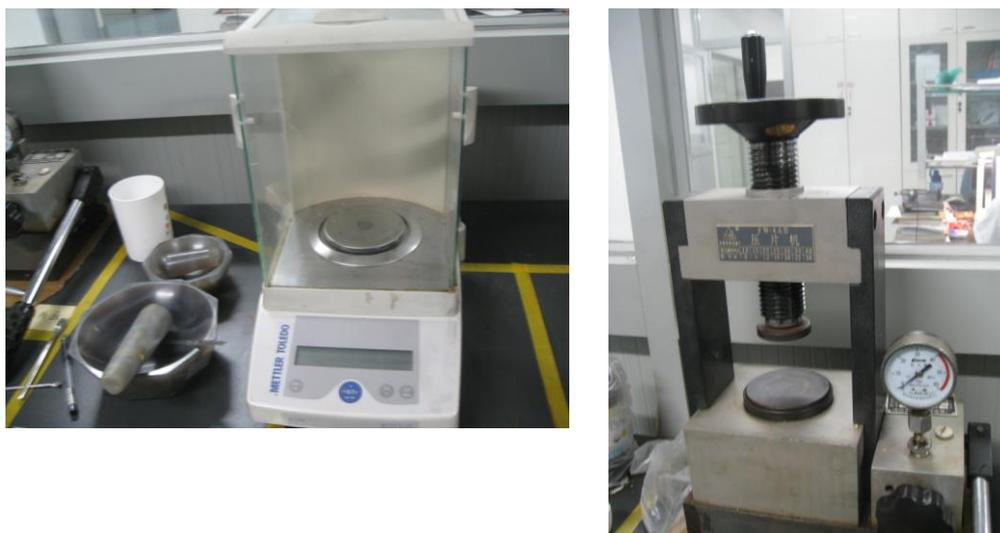


图 3 实验使用的电子天平、研磨样品的研钵、将粉末压成薄片的液压机等。

1.2 YBCO 高温超导体的合成过程

涉及的化学方程式最主要的有：



用电子天平称量各种化学物质，并混合均匀（用研钵研磨均匀，通常在研磨 30 分钟或更长时间）；然后烧结成相关产物，并进行测量。烧结过程分为以下步骤（烧结及氧气氛围使用的炉子示意图见图 4）：

- 1) 850 度烧结 12 小时（除去原材料 CO_2 ）；
- 2) 冷却烧结的混合物到室温；
- 3) 研磨烧结后的混合物（30 分钟），充分混合；
- 4) 放入炉中在 930 度下重新烧结 24 小时；
- 5) 关闭炉子电源，冷却到室温；
- 6) 再次取出粉末混合物，研磨 30 分钟；
- 7) 利用实验室压具，压成若干薄片；
- 8) 将薄片放入干锅，再送入炉中烧结 24 小时；
- 9) 烧结的薄片冷却到约 400 度，通入氧气，并在此温度和氧气氛下放置 24 小时或以上；
- 10) 关闭氧气源和电源，冷却薄片样品到室温；
- 11) 取出薄片样品，放入干燥的器皿内；
- 12) 取 CuO ， $BaCO_3$ ， Y_2O_3 各少许，分别或混合后压成薄片，用万用表测量其电阻，

确认为绝缘体；

13) 取烧结后的薄片样品，用万用表测量其电阻，确认其为导体；前后测量进行比较，可以看到其电阻的变化；

14) 在专用电阻率测量的设备上，测量电阻随温度的变化，比较烧结前的物质和烧结后的物质电阻变化规律；

15) 观察当温度降低到零下 200 度左右时的电阻的变化情况；

16) 其它测量（比如成分测定、磁学方面、光学方面等）



图 4 是样品烧结和氧气氛保温所使用的炉子

1.3 结构与物理性质表征

烧结后产品的形态通过光学显微镜（2000 倍率）进行观察，并通过 CCD 制成电子照片；实验室配置的光学显微镜有 5 个物镜镜头，放大倍数分别是 5 倍-200 倍，目镜放大倍数为 10 倍，因此最大放大倍数为 2000 倍。CCD 可以将观测到的样品表面结构输送到计算机，并拍摄成图片；合成的样品中的化学组成用能成分分析的电子探针技术分析（原理不清楚，实验室老师帮忙分析）。化学反应的化合物的最终确定使用美国 Bruker 公司的 X-射线衍射仪测定。衍射仪工作条件是：Cu 靶， K_{α} 射线源，电压 40kV，电流 40mA（原理不清楚，实验室老师操作并分析）；用万用表初步测定室温下产品及各成分的电阻；产品的导电特性通过测量薄片电阻获得，测量在液氮循环的低温冷却系统上进行（利用液氮膨胀吸热来降低样品的温度），测量使用四端点法测量（两个电流点、两个电压点，见下面示意图），恒流源，电流为 5 毫安，电压通过纳伏表测量，测量温度范围为 20K-300K。图 5 是结构测量的显微镜和 X 射线衍射仪。



图 5，实验用于测量样品结构的显微镜和 X 射线衍射仪。显微镜的最大放大倍数可以达到 2000 倍，清晰显示样品表面的细微结构；X 射线衍射仪主要用于测量原子结构（原理不清楚）。

2 结果与讨论

2.1 产品合成的化学反应过程

化学配比的 CuO ， Y_2O_3 ， BaCO_3 ，经过称量、研磨，保证各颗粒以微米尺度充分混合均匀，由于通过固体颗粒之间的相互接触发生化学反应，所以，越是混合均匀，化学反应越是充分，越容易形成我们希望的相结构（化合物产品）；涉及的中间化学反应过程可能包括：

- $\text{BaCO}_3 \leftrightarrow \text{BaO} + \text{CO}_2 \uparrow$
- $\text{BaO} + \text{CuO} = \text{BaCuO}_2$
- $\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{BaCuO}_2 = \text{Y}_2\text{BaCuO}_5$
- $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5 + 3\text{BaCuO}_2 + 2\text{CuO} + (1/2-x)\text{O}_2 = \text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

借助于 X 射线衍射分析，实验初期可以探测到各个杂质相，从而可以判别其中发生的化学反应过程。X 射线衍射和光学的衍射原理类似，但更复杂。X 射线的图谱与文献报道的一致，证明我们合成的样品为 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 单相。

从颜色判别， Y_2O_3 、 BaCO_3 是白色的， CuO 是黑色的；充分混合后，混合物呈现灰黑

色；如果在灰黑色的产物中发现微小的白点，说明混合不均匀，还需要进一步研磨，直到混合物是均匀的灰黑色为止。经过初烧后，颜色加深，这也说明已经发生了部分化学反应；经过再次研磨、煅烧，颜色进一步加深，最终产品颜色是黑色。

各个过程中的产物脆性比较大，没有金属的延展性，很像陶瓷材料（图 6 显示所生成的产品薄圆片及显微镜放大 1000 倍的表面结构）。

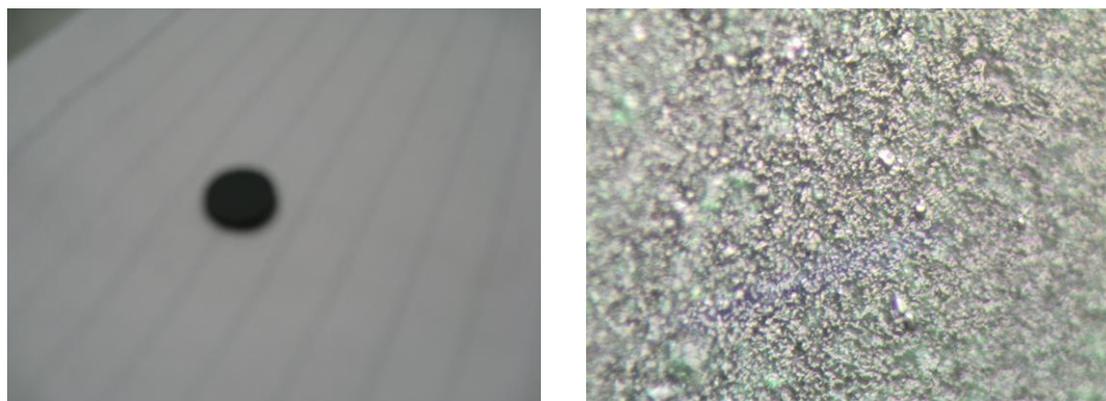


图 6 实验获得的样品形貌（左图，黑色的圆形薄片，照相机拍摄的照片）和通过 1000 倍显微镜观测到的样品的表面结构（右图）。样品表面曾细小的颗粒结构，由于没有参照物，无法实际判别颗粒的具体大小。实验室老师认为颗粒大小应该大于 10^{-6} 米（几个微米或几十个微米）

2.2 合成产物的导电性的变化

为了测定导电性，我们将原材料、各个过程中获得的产品分别压成薄片（添加粘合剂，并在低温 400 度左右煅烧），通过万用电表测量其电阻，发现在烧结前的所有原材料电阻很大，超过了万用表所能测量电阻的量程，没有获得具体的电阻值；只有在第三次烧结后，样品的电阻发生了变化，可以测到室温下的电阻值，其大小随所接触点之间的距离不同，也与电笔接触使力大小有关，通常为几十到几百欧姆。精细的电阻测量通过四端点法测量，可以抵消触笔压力不同而不同的影响，测量结果也比较稳定。万用表和四端点法的示意图见图 8。对四端点法测量的过程中保持流过样品的电流恒定不变，用电压表测量的电阻值除以恒定的电流值就可以计算两个电压端之间的电阻，即

$$R = \frac{V}{I}.$$

由于 I 不变，因此， R 与 V 成正比。当样品室温度变化时，可以得到电压表读数随温度的变化，从而得到电阻随温度的变化。图 9 是测量得到的电阻随温度的变化关系。测量时固定电流值恒定为 5 毫安，从测量的电压值可以计算得到如图所示的电阻随温度的变化。从图中可以看到，在温度大于 90K 时，电阻随温度增大而变大，老师说这是正常的金属电阻随温度的变化关系，称之为金属性导电；当温度在 85-90K 之间，电阻随温度下降突然很快地降为零，呈现超导转变过程；当温度低于 85K，电阻降为零；这时即使增加流过的电流，所测量的电压值仍然为零。在老师的指导下，我们把测量电压的两个电极交换，所测量的电压值仍然为零。这里说明在很精细的情况下，电阻为零，呈现超导现象。上述实验说明我们可

以从绝缘材料得到导体材料，并在低温下变为超导材料。

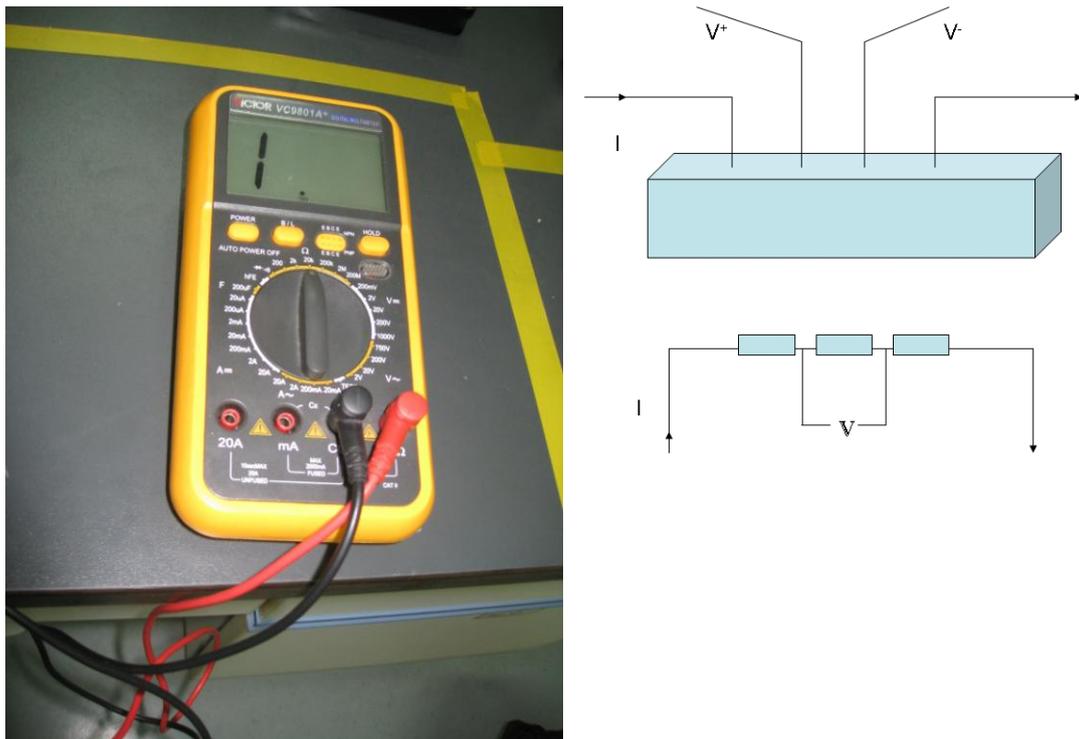


图 8，实验中使用的万用电表，及四端点法测量电阻的原理图。四端点法是一种测量电阻的很精确的方法，科学家经常使用它来测量材料的电阻或电阻率。

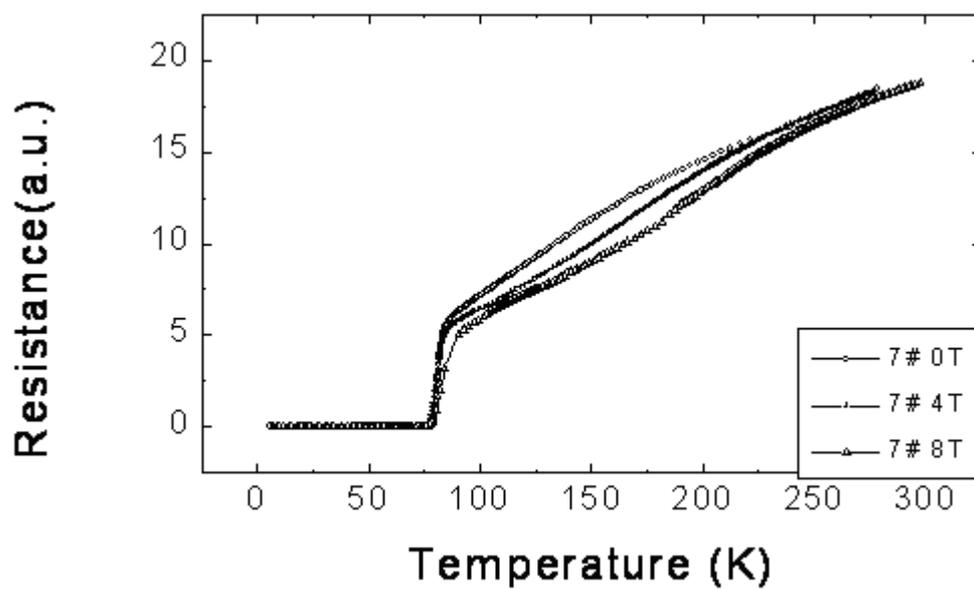


图 9 电阻随温度的变化关系。当温度大于 90K 时，电阻随温度增加而增加；当温度在 85-90K 之间时，电阻随温度降低突然下降到零；当温度低于 85K，所测得电压值为零，呈现超导现象。

3 总结

在老师的指导下，我们用几种绝缘氧化物 CuO, BaO, Y₂O₃ 通过烧结过程发生化学反应生成了一种新的化合物，称之为 YBa₂Cu₃O₇ 超导材料。产物呈黑色。通过电阻测量证明材料在 90K 以上是导体，具有金属性电导；在 85-90K 之间，电阻快速下降到零，出现超导电性，该超导电性一直维持到很低的温度。

参考文献：

1. 高温超导氧化物正常态输运性质综述，邢定钰，刘楣，物理学进展，1990 年第 4 期；
2. 高温超导氧化物的晶体结构，陈小龙、解思深，梁敬魁，科学出版社

非线性光学成像

袁璟*, 刘浏, 霍伊凡, 吉雨心

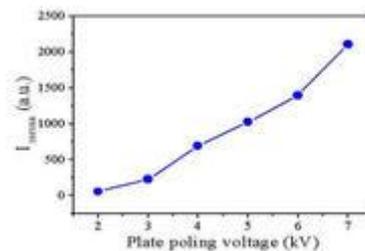
(金陵中学, 南京)

摘要: 对很强的激光, 例如当光波的电场强度可与原子内部的库仑场相比拟时, 光与介质的相互作用将产生非线性效应, 本实验利用激光通过仪器进行非线性成像, 实验的结果可用于检测、成像等方面。

关键词: 非线性光学、激光、成像

概念^[1]

非线性光学是现代光学的一个分支, 研究介质在强相干光作用下产生的非线性现象及其应用。激光问世之前, 基本上研究弱光束在介质中的传播, 确定介质光学性质的折射率或极化率是与光强无关的常量, 介质的极化强度与光波的电场强度成正比, 光波叠加时遵守线性叠加原理 (见光的独立传播原理)。



在上述条件下研究光学问题称为线性光学。对很强的激光, 例如当光波的电场强度可与原子内部的库仑场相比拟时, 光与介质的相互作用将产生非线性效应, 反映介质性质的物理量 (如极化强度等) 不仅与场强 E 的一次方有关, 而且还决定于 E 的更高幂次项, 从而导致线性光学中不明显的许多新现象。

公式^[2]

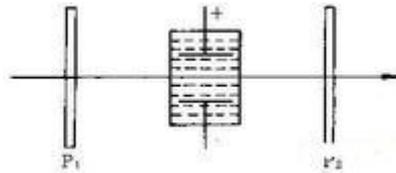
介质极化率 P 与场强的关系可写成

$$P = \alpha_1 E + \alpha_2 E^2 + \alpha_3 E^3 + \dots$$

非线性效应是 E 项及更高幂次项起作用的结果。

发展^[3]

非线性光学的早期工作可以追溯到 1906 年泡克耳斯效应的发现和 1929 年克尔效应的发现。



泡克耳斯效应

但是非线性光学发展成为今天这样一门重要学科，应该说是从激光出现后才开始的。激光的出现为人们提供了强度高和相干性好的光束。而这样的光束正是发现各种非线性光学效应所必需的(一般来说，功率密度要大于 10^{10}W/cm^2 ,但对不同介质和不同效应有着巨大差异)。

应用^[4]

从技术领域到研究领域，非线性光学的应用都是十分广泛的。

①利用各种非线性晶体做成电光开关和实现激光的调制。

②利用二次及三次谐波的产生、二阶及三阶光学和频与差频实现激光频率的转换，获得短至紫外、真空紫外，长至远红外的各种激光；同时，可通过实现红外频率的上转换来克服目前在红外接收方面的困难。

③利用光学参量振荡实现激光频率的调谐。目前，与倍频、混频技术相结合已可实现从中红外一直到真空紫外宽广范围内调谐。

④利用一些非线性光学效应中输出光束所具有的位相共轭特征，进行光学信息处理、改善成像质量和光束质量。

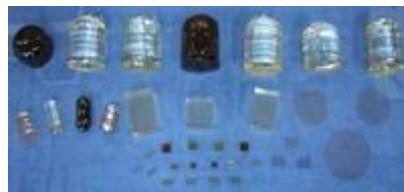
⑤利用折射率随光强变化的性质做成非线性标准具和各种双稳器件。

⑥利用各种非线性光学效应，特别是共振非线性光学效应及各种瞬态相干光学效应，研究物质的高激发态及高分辨率光谱以及物质内部能量和激发的转移过程及其他弛豫过程等。

非线性光学晶体的应用

光通信和集成光学使用的非线性光学晶体，包括准相位匹配 (QPM) 多畴结构晶体材料与元器件；

激光电视红、绿、蓝三基色光源使用的非线性光学晶体；



非线性光学晶体

应用于下一代光盘蓝光源的半导体倍频晶体(如 KN 和某些可能的 QPM 产品); 新型红外、紫外、深紫外非线性晶体的研发和生产。^[5]

非线性光学具有极大的科学技术价值, 人们在研究各种非线性光学现象的基础上, 已提供和发展了许多实际可用的新方法和新技术, 并为今后一些长远的技术应用打下了物理基础, 非线性光学对其他学科也有很大影响, 它促进了等离子体物理、声学和无线电物理学中对非线性波现象的研究, 最近又利用非线性光学效应研究固体表面, 把非线性光学和表面物理结合了起来。非线性光学与凝聚态物理、有机化学、高分子材料以及生物物理学等学科相互结合, 迅速发展起众多新交叉学科领域, 如有机高分子光子学、飞秒化学、飞秒生物学等等。非线性光学正日益显示它极其丰富的内容和极为活跃的生命力。^[6]

常见非线性光学现象^[7]

①光学整流。E₂ 项的存在将引起介质的恒定极化项, 产生恒定的极化电荷和相应的电势差, 电势差与光强成正比而与频率无关, 类似于交流电经整流管整流后得到直流电压。

②产生高次谐波。弱光进入介质后频率保持不变。强光进入介质后, 由于介质的非线性效应, 除原来的频率 ω 外, 还将出现 2ω 、 3ω 、.....等的高次谐波。1961 年美国的 P.A. 弗兰肯和他的同事们首次在实验上观察到二次谐波。他们把红宝石激光器发出的 3 千瓦红色 (6943 埃) 激光脉冲聚焦到石英晶片上, 观察到了波长为 3471.5 埃的紫外二次谐波。若把一块铌酸钡钠晶体放在 1 瓦、1.06 微米波长的激光器腔内, 可得到连续的 1 瓦二次谐波激光, 波长为 5323 埃。非线性介质的这种倍频效应在激光技术中有重要应用。

③光学混频。当两束频率为 ω_1 和 ω_2 ($\omega_1 > \omega_2$) 的激光同时射入介质时, 如果只考虑极化强度 P 的二次项, 将产生频率为 $\omega_1 + \omega_2$ 的和频项和频率为 $\omega_1 - \omega_2$ 的差频项。利用光学混频效应可制作光学参量振荡器, 这是一种可在很宽范围内调谐的类似激光器的光源, 可发射从红外到紫外的相干辐射。

④受激拉曼散射。普通光源产生的拉曼散射是自发拉曼散射, 散射光是不相干的。当入射光采用很强的激光时, 由于激光辐射与物质分子的强烈作用, 使散射过程具有受激辐射的性质, 称受激拉曼散射。所产生的拉曼散射光具有很高的相干性, 其强度也比自发拉曼散射光强得多。利用受激拉曼散射可获得多种新波长的相干辐射, 并为深入研究强光与物质相互作用的规律提供手段。

⑤自聚焦。介质在强光作用下折射率将随光强的增加而增大。激光束的强度具有高斯分布, 光强在中轴处最大, 并向外围递减, 于是激光束的轴线附近有较大的折射率, 像凸透镜一样光束将向轴线自动会聚, 直到光束达到一细丝极限 (直径约 5×10^{-6} 米), 并可在这细丝范围内产生全反射, 犹如光在光学纤维内传播一样。

⑥光致透明。弱光下介质的吸收系数 (见光的吸收) 与光强无关, 但对很强的激光, 介质的吸收系数与光强有依赖关系, 某些本来不透明的介质在强光作用下吸收系数会变为零。

研究非线性光学对激光技术、光谱学的发展以及物质结构分析等都有重要意义。非线性光学研究是各类系统中非线性现象共同规律的一门交叉科学。目前在非线性光学的研究热点包括: 研究及寻找新的非线性光学材料例如有机高分子或有机晶体

等。并研讨这些材料是否可以作为二波混合、四波混合、自发振荡和相位反转光放大器等、甚至空间光固子介质等。常用的二阶非线性光学晶体有磷酸二氢钾（KDP）、磷酸二氢铵（ADP）、磷酸二氘钾(KD*P)、铌酸钡钠等。此外还发现了许多三阶非线性光学材料。

1 实验部分

（本组的探究领域为光学，因涉及激光，过于危险，故实验由导师完成，我们负责在旁观察记录。）

1.1 实验器材

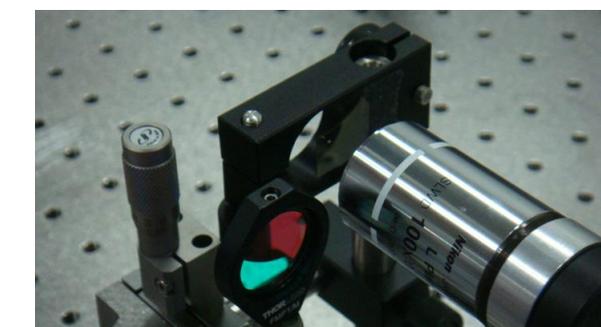
- 激光器（波长 800nm，波长可调）
- 光圈
- 分束镜
- 功率计（1.82W）
- 透镜（焦距 200mm）
- 样品
- 滤波片
- 物镜
- 相机
- 电脑



功率计



相机



透镜

1.2 器材用途

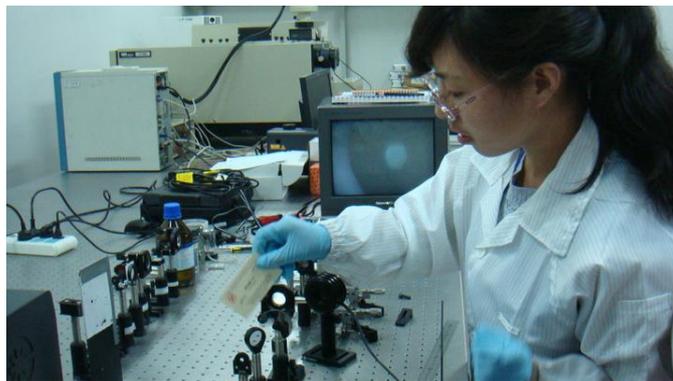
- 滤波片：去除剩余红外线、近红外光、接收蓝光
- 相机：接收光线

1.3 实验原理

激光通过仪器进行非线性成像

1.4 实验过程

激光从激光器的光孔出，通过仪器，折射到需要光路，通过样品，激光波长减半为 400nm，由红光变为蓝光，样品放在焦点上聚焦，找到最亮光斑，最后将像成在电脑上。



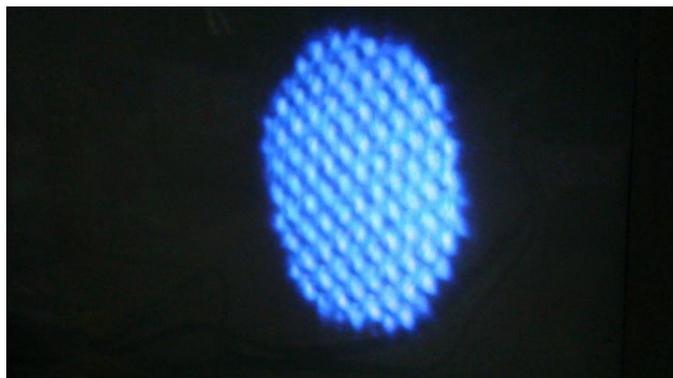
实验过程中

1.5 实验注意事项

- 激光功率强
- 可放大 1200 倍，可看到样品上的点
- 不同焦距，点与点的距离、点的形状均不相同
- 波长过大，屏幕会过于白亮

2 实验结果

所得结果可用于检测、成像



实验所得的像

Formation of image by nonlinear optics
Jing Yuan^{*}, Liu Liu, Yifan Huo, Yuxin Ji
Jinling High Middle, Nanjing

Abstract: On the strong laser, for example when the optical electric field strength and the interior atoms of the Coulomb field comparable, light and medium interaction will produce nonlinear effect, the experimental use of laser through nonlinear imaging apparatus, the experimental results can be used for detecting, imaging and other aspects.

Keywords: nonlinear optics, laser, formation of image

参考文献:

[1]-[5]: 百度百科

[6]: 张粉英, 张勇. 《非线性光学效应及其应用》, 2003.9.11

[7]: 百度百科

3 活动总结

在准博士活动的这段期间,我们在国家级实验室里见到了许多前所未见甚至未闻的仪器与原理,在与两位导师及一些研究生的聊天中,我们不仅了解到他们研究的领域,更为重要的是,我们体会到他们严谨认真的科学精神和工作态度。

但与工作时不同,闲暇时的他们依然是风趣亲切的,我们从中了解到了大学生活的点点滴滴,也于他们交流了自己的学习方法与学习过程,从这些前辈的经验中,我们受益匪浅。

感谢准博士培养站给予我们这么一段特别的回忆与经历,它将在我们的未来之路上添上富有活力的一笔。

4 导师评价

本小组主要涉及一些非线性光学现象。

通过与南京大学的多位教授和研究生同学探讨、课后的调研以及在实验室观摩实验,几位准博士项目的同学对基本的非线性光学现象有了初步概念,知道非线性光学效应的一些常见应用,了解了一些基本光学元件(如滤波片、透镜等)在非线性光学实验中的作用。

该实验报告内容详细,从研究背景到具体实验都有一定的介绍,体现了她们对非线性光学的认识和理解。在交流过程中,几位同学虚心好学,思维活跃。虽然刚刚开始接触一些物理知识,但是针对具体的问题会提出自己的想法。希望通过这次准博士项目能激发几位同学对物理的兴趣。

光的全反射及在水中传播的规律

赵欣冉*，徐天磊

(金陵中学，南京)

摘要：利用波导的及光的全反射的原理进行水沿水柱传播的条件。经过研究水在液柱中传播的受孔径及流速的影响。二者直接改变了液柱的形状，光在反射时法线位置改变，在一定条件下实验光的波导，可以用物体挡住液柱，观察到光斑。

关键词：波导、光的全反射、临界角

1.实验原理

1.1 光由光密媒质进入光疏媒质时，要离开法线折射。当入射角 θ 增加到某种情形时，折射线延表面进行，即折射角为 90° ；该入射角 θ_c 称为临界角。若入射角大于临界角，则无折射，全部光线均反回光密媒质，此现象称为全反射。当光线由光疏媒质射到光密媒质时，因为光线靠近法线而折射，故这时不会发生全反射。公式为

$$n = \sin 90^\circ / \sin c = 1 / \sin c$$

$$\sin c = 1/n \quad (c \text{ 为临界角})$$

1.2 波导指用来引导电磁波的结构，电磁波在波导中的传播受到波导内壁的限制和反射。通过光线在液柱边缘不断发生全反射，从而实现光沿水的路径进行传播，用塑料片将水拦住后可在塑料片上形成光斑，从而实现波导

2. 实验部分（一）

2.1 实验器材：一次性塑料杯，双色手电筒，水

2.2 实验缺陷：1.光源过大，不利于观察光在水中的传播，

2.纸杯边缘并不光滑，光发生漫反射，镜上成像不清楚

3.杯中水不断减少，压强减小，水流速度减慢，弧度减小，观察时间较短。

4.光斑观察并不清楚，无法准确记录出现与消失的分界点

2.2 实验内容 变量：1.温度：感觉上有明显差异的水

实验时都可以观察到光斑

结论：无影响

2.孔径大小 形状：近圆 距盆约 50 厘米

半径	2.00mm	5.00mm	8.00mm
有无光斑	无	微弱	有

距盆约 3 厘米左右时光斑消失（应与弧度有关）

光源较大或较小时，光源都远大于水柱，大小无明显差别。

3.高度 将孔径为 8.00mm 的塑料杯举高 30 厘米

高度提高后，水流末端处光斑消失，水柱形状改变。

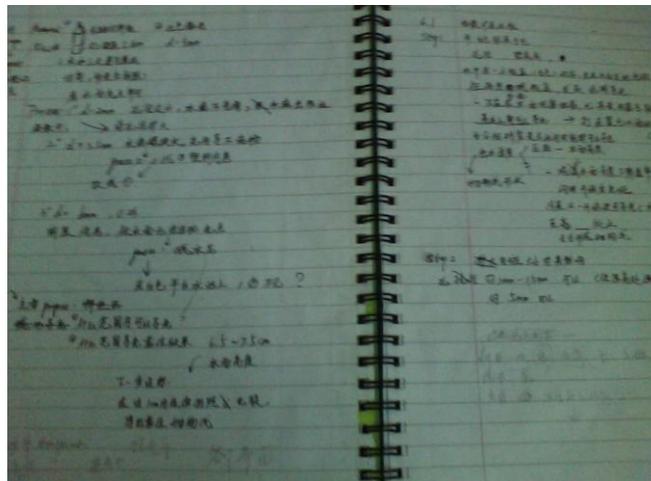
4.光源颜色 紫光及白光

不同颜色光源波长不同，折射率不同

察觉出明显差异，波长可能差别不够

2.3 实验图片





(理论记录)

3. 实验部分 (二)

3.1 实验器材: 纯净水桶, 纸盒, 激光笔, 水, 水管

3.2 实验内容: 利用纯净水桶, 在桶壁上钻洞水流下。再用自来水管持续向桶中注水使桶中液面高度保持不变, 水流趋于平稳, 在短时间内水柱可看为保持不变。

3.3 实验图片

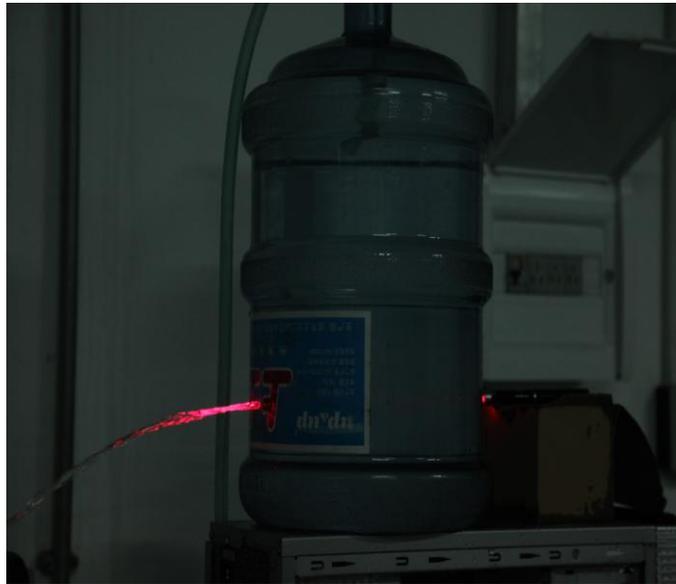
明显观察到光沿水柱传播







对比发现，当桶中液面高度不同，即水流速度及弧度不同时，光能在水中传播的最大距离不同，弧度越小，距离越近。



有光环境更为明显

4.结果与讨论

4.1 实验结论

由于需要一些精密仪器及专业知识等条件限制，并未精确推测传播距离与水流速度的关系。但由实验过程可知，要实现光在水中的波导，主要与水流的速度（弧度）有关。在实验中的现象观察得，水流速度越慢，光在水中传播的距离也越远。

5.实验心得

5.1（赵欣冉）相比于知识上的积累，我认为本次活动让我受益更多的是方法与能力方面的提高。

高一上半学期的活动中，老师主要给我们讲解了光学的入门知识，请博士生专门给我们演示原子级的实验，旁听博士生的学术报告和讨论等丰富的活动，开阔了我们的视野，让我们与尖端科学零距离接触，虽然对很多前沿理论不甚理解，但博士生的严谨求实的科学探究精神给我们留下了深刻的印象。有时为了观察金属片上皮米级的微粒，实验者需做上 50 分钟的准备和实验整理，而真正的实验还不到一刻钟。此外，他们热烈的讨论与对研究报告的质疑也让我体会到了自由的学术氛围。

简易实验也让我受益匪浅。这是我第一次独自进行结果未知的探索实验，屡屡碰壁。仅杯子的选择就几经周折。刚开始使用的杯子形状，还有表面的磨砂都给妨碍了正常观察，而我还误以为是水无法导光，幸亏有老师指导，我才及时更换了材料，这让我明白了任何一个实验细节都不容忽视。前四次实验始终无法在盆中的水面上找到确切光斑，一次偶然蓝色的瓶盖落入水中，水流喷到瓶盖上，打出亮白色的光斑，令我惊喜不已。原来手电筒的光是白色的，而盆中的水也是透明的，因此虽然光被传导至水面上，始终难以发现。这让我反省自己之前欠考虑，也深刻体会到了探究过程之艰辛。实验的各个阶段，我不仅要一个人完成，对各种现象的分析，对各种条件的猜测与验证，均提高了我的独立思考能力。由于杯子体积较小，不到 10 秒钟，水便全部流尽，观察时间太短，心想要是有一种机器能将水源源不断地送入就好了。而协助我们的博士生却轻而易举地解决了这个问题，用一根管子连接水龙头和瓶口即可。我发现问题解决并不总需要复杂的头脑，用身边的事物，简易的方法解决问题，化繁为简是成功必备的能力。

精准实验过程中我拍摄了近百张照片，孙鏊炀专门用光盘刻录，很令我感动在进行精准实验时，各种准备与测量工作总要去我大把时间，而成天进行理论研究的博士生干起来丝毫不费功夫，动手能力极强，让我深感佩服。而平时我们上的物理化学课将主要精力都花在了概念与题目上，动手能力明显不够，往后的实验课我将倍加珍惜，提高自己解决实际问题的能力，也算是全面提高自己的思考能力。还有很多感悟，就不再一一赘述。

最后，非常感谢我的导师彭茹雯和全力协助我们的孙鏊炀哥哥，是他们让我这次的学习更加充实与深刻。

5.2（徐天磊）本次活动确实给了我们一次锻炼自己动手能力的机会，丰富了我们的课余生活，在一些适合我们的实验中增长了很多在课内学不到的知识。本次准博士活动为我们提供了一个平台，能够提前了解到一些我们可能原本不会学到的知识，不曾见到的仪器。旁看精密的实验，听取研究生们的报告，虽然以我们的知识水平并不能够真正的参与进去，但一旁的听取也让我们拓宽了视野，对先进的科技知识有了一个初步的前瞻，极大地培养了我们科学的兴趣，或许这就是当初建立准博士的目的。很感谢这次活动，让我们认识了研究生的导师，认识了一些研究生，让我们的学习生活别的如此精彩。

6, 导师评价

6.1 徐天磊同学进入“南京大学*金陵中学准博士培养站”以来在我课题组进行了以下两个阶段的科技活动：

（1）比较系统地了解了物理学中非常重要的概念，如“振动与波”等；参观了包括磁控溅射实验室、纳米光子学测量的实验室等；观摩了纳米结构的制备与观测；参加我课题组的组会，并参与一些讨论。

（2）与赵欣冉同学一起探索性研究了液体波导及其性质，初步分析了影响液体波导性质的主要参量，初步研究了如何用液体波导对光的传播进行控制。其间，他巧妙地利用简单的器具完成了对比实验。徐天磊能从实验中抽象出简单的物理模型，表现出敏锐的物理直觉和较强的逻辑思维能力，很好地完成了研究计划。希望徐天磊同学在今后的学习生活中，继续刻苦钻研，做一名富有创造力的出色中学生。

6.2 赵欣冉同学进入“南京大学*金陵中学准博士培养站”以来在我课题组进行了以下两个阶段的科技活动：

（1）比较系统地了解了物理学中非常重要的概念，如“振动与波”等；参观了包括磁控溅射实验室、纳米光子学测量的实验室等；观摩了纳米结构的制备与观测；参加我课题组的组会，并参与一些讨论。

（2）与徐天磊同学一起探索性研究了液体波导及其性质，初步分析了影响液体波导性质的主要参量，初步研究了如何用液体波导对光的传播进行控制。其间，她利用生活中普通物品搭建了具有可操作性的实验装置。赵欣冉同学勤于思考，积极发问，努力探索，表现出了强烈的好奇心和学习兴趣,很好地完成了研究计划。希望赵欣冉同学在今后的学习生活中，继续保持这样的朝气，做一名富有创造力的出色中学生。

彭茹雯

南京微结构国家实验室（筹）

2011年12月27日

平行光束在球形界面的反射和折射

陈婧恬

(金陵中学, 南京)

摘要: 通过光线在球面上的反射和折射, 熟悉反射定律和折射定律, 并熟悉球面反射镜和透镜的基本性质。掌握调节光路的基本方法, 大致了解激光器 (He-Ne) 的使用。结果表明: 平行光束在球形界面的反射和折射与透镜的曲率半径、焦距、材料等有关。

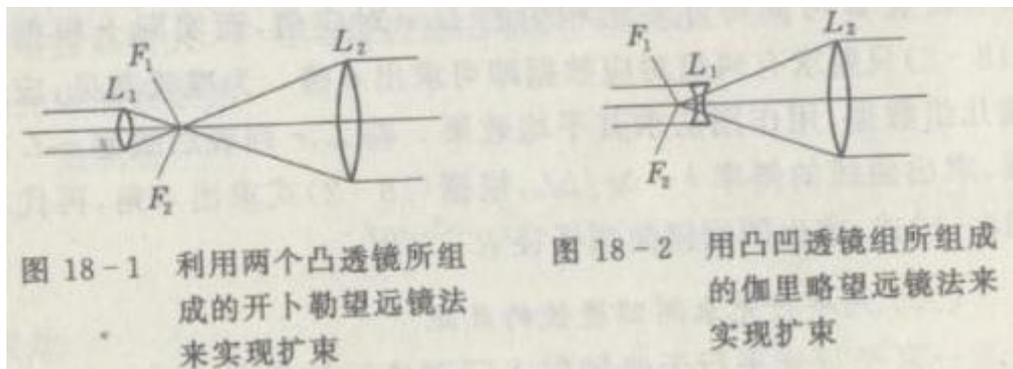
关键词: 透镜、折射率、焦距

一、原理

(一) 激光扩束

光束的外缘与中心轴线的夹角成为发散角。发散角为零的光束成为平行光束。激光器发出的光束发散角很小, 可近似的看做平行光束。但其光束直径很小, 约为 1.5mm, 常常需要扩束成有一定宽度的平行光束, 以便利用。下面介绍两种扩束方法。图 1 是用两个焦距不

同的凸透镜组成的扩束装置。短焦距的 L_1 放在前面，长焦距的 L_2 反正后面，共轴的两透镜的前、后焦点位置重合，扩束前后光束直径之比等于两透镜焦距之比。图 2 是由短焦距凹透镜和长焦距凸透镜共轴放置，并使它们的焦点重合。扩束前后光束的直径之比等于两透镜焦距绝对值之比。



(二) 用平行激光束测定球面镜的曲率半径

一束半径为 r_0 外缘为 AB 的平行光束投射到凹面镜上。如图 3 所示，若 C 点是此凹面镜的曲率中心，则光线经凹面镜反射后通过主轴上 F 点并形成一发散的光束，发散光束的特性通常用发散角来标志，由图 3 和反射定律有：

$$\sin\theta = \frac{r_0}{R} \quad (1)$$

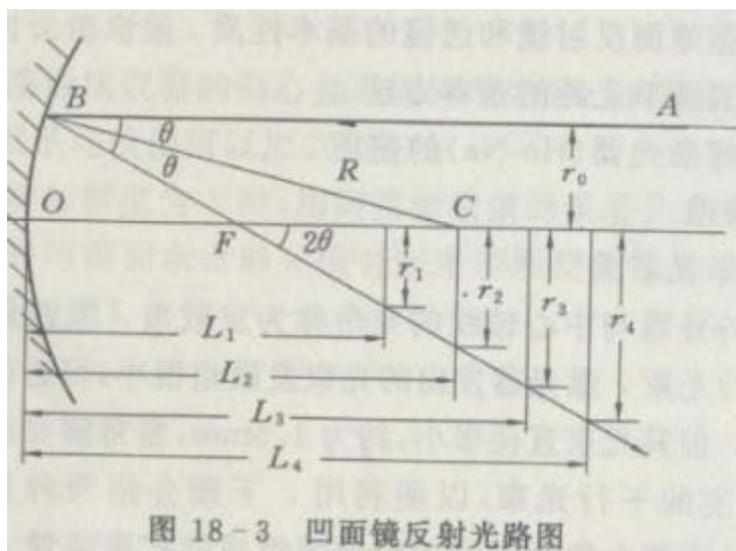


图 18-3 凹面镜反射光路图

$$\tan 2\theta = \frac{r_2 - r_1}{L_2 - L_1} = \frac{r_3 - r_2}{L_3 - L_2} = \dots = \frac{r_i - r_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} = \dots = \frac{\Delta r}{\Delta L} \quad (2)$$

其中 θ 为入射角, r_0 为入射平行光束截面半径, r_i 为反射光束在不同位置 L_i 所对应的光斑半径, R 为凹面镜的曲率半径。在图 3 上改变 L 可测得许多组对应的 L, r 对应值, 而实际上根据式 (2) 只要求有两组对应数据即可求出 θ 值。为准确起见, 应多测几组数据, 用作图

法求其平均效果。将 L, r 列表后绘制 $r-L$ 曲线, 求出曲线的斜率 $k = \frac{\Delta r}{\Delta L}$, 根据 (2) 式求出 θ

角, 再代入 (1) 式, 求出凹面镜曲率半径 R 。

(三) 用平行光束测凹透镜的焦距

一束平行光束平行于光轴射入凹透镜后被折射成发散的球面光, 如图 4。在观察者看来, 这束发散球面光与一点光源下所发出的球面光的一部分等效。这个点光源就称为凹透镜的虚焦点。此虚焦点到凹透镜光心的距离 OF 即为凹透镜的焦距 f 。

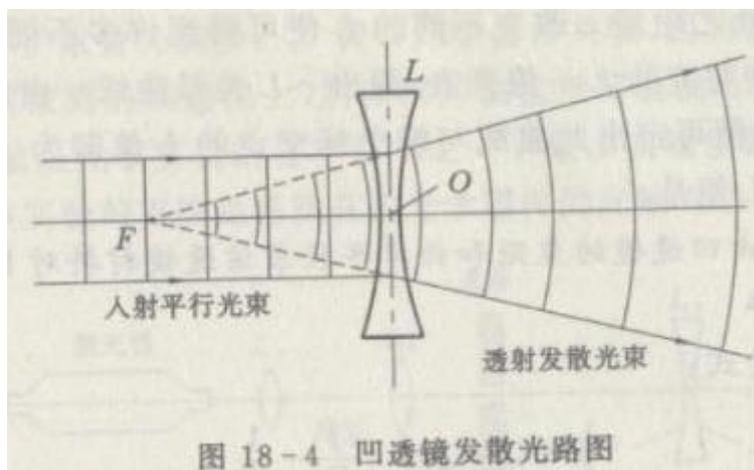


图 18-4 凹透镜发散光路图

为定量的测量 f , 将图 3 画成图 5 形式。

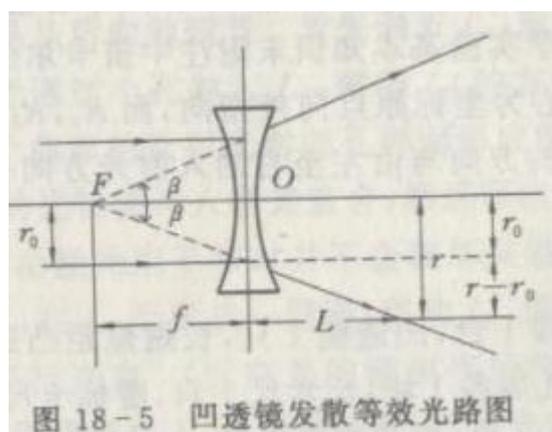


图 18-5 凹透镜发散等效光路图

由图 5 可看出用屏在不同位置上接到的光斑直径 r 将随着屏到 F 的距离增加而增大, F 与光斑边缘之连线与主轴之间有一夹角 β , β 即为光束的发散角显然有

$$\tan \beta = \frac{r_0}{f} = \frac{r - r_0}{L} \quad (3)$$

因此

$$r = r_0 \cdot \left(1 + \frac{L}{f}\right) \quad (4)$$

式中 r_0 为原入射平行光束截面半径, L 为自凹透镜中心至光斑半径为 r 处之距离。改变不同的 L 便可得许多不同的对应 r 值, 用这些对应的 L, r 值列表, 画出 $r \sim L$ 关系曲线。由曲线外推至横坐标, 便可定出此曲线与横坐标焦点的 L 值即为 f 。因为 r 为零时的 L 便是 f 。

(四) 由凹透镜的焦距和曲率半径求该透镜材料对 He-Ne 激光的折射率
根据公式:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (5) \text{ (见附录 2)}$$

可求出凹透镜对某光的折射率, f 为对于该光的焦距。 $R_1 R_2$ 分别为该凹透镜两个曲面的半径。图 5 中各量的正负号均按笛卡尔坐标法来确定。(见附录 1) f 以凹透镜光心为坐标原点向外指向, 而 $R_1 R_2$ 为由外面指向球心, 当这些量的方向与由左至右的入射光方向一致时为正量, 反之为负量。

二、仪器

氦氖激光器 1 台, 凹透镜 1 只, 长短焦距凹透镜各 1 只, 光具座 5 只, 像屏、孔屏各 1 块, 长米尺 1 只, 游标卡尺 1 只。

本实验用 He-Ne 激光器作光源, 其波长为 632.8nm。应注意按照有关激光器的使用方法, 切忌用眼睛迎视激光而造成人身损伤。

三、内容与要求

1. 调节出半径 $r_0=2.5\text{mm}$ 的平行光束

(1) 开启激光电源, 点燃后保持电流在 5mA。

(2) 调整激光器位置使其出射的激光束大体与钢桌面边沿平行, 可以用带小孔的孔屏来检查。当沿钢板表面移动孔屏时, 保持激光束始终都能从小孔中穿过射到后面像屏上。一旦调好, 就不要再碰动激光器了。

(3) 平行光束扩束, 采用图 1 所示的用两个凸透镜 $L_1 L_2$ 的方法, 扩束分为两步: ①调节光学器件共轴, 因为扩束的平行光要射到被测的凹透镜上, 所以调共轴包括凹透镜 L_3 , 见图 6。

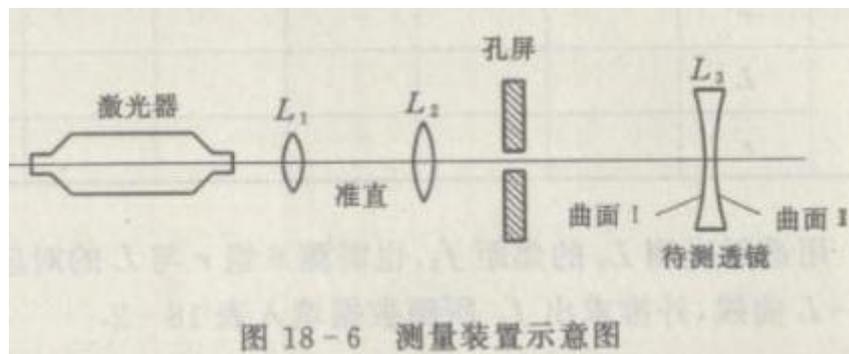


图 18-6 测量装置示意图

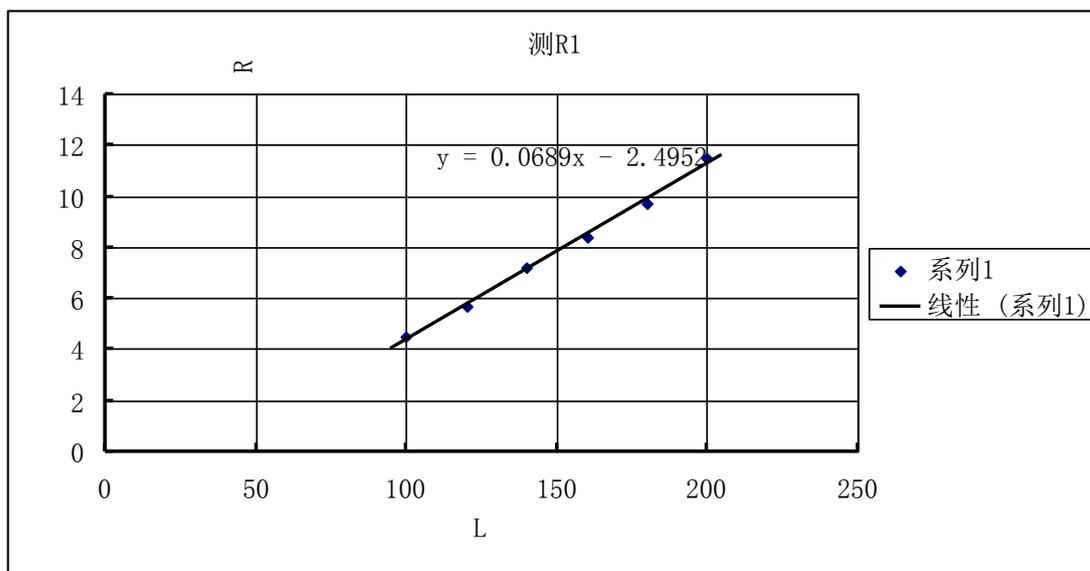
②当 $L_3 L_2 L_1$ 均调好共轴后, 在 L_3 后面放一像屏, 移动 L_2 , 使从 L_2 出射的光束为已扩粗的平行光束。(这束光的截面半径将由哪些因素决定?) 检查方法是用像屏在 L_2 后面接收光斑

若光斑直径不随像屏前后移动而变化即可。

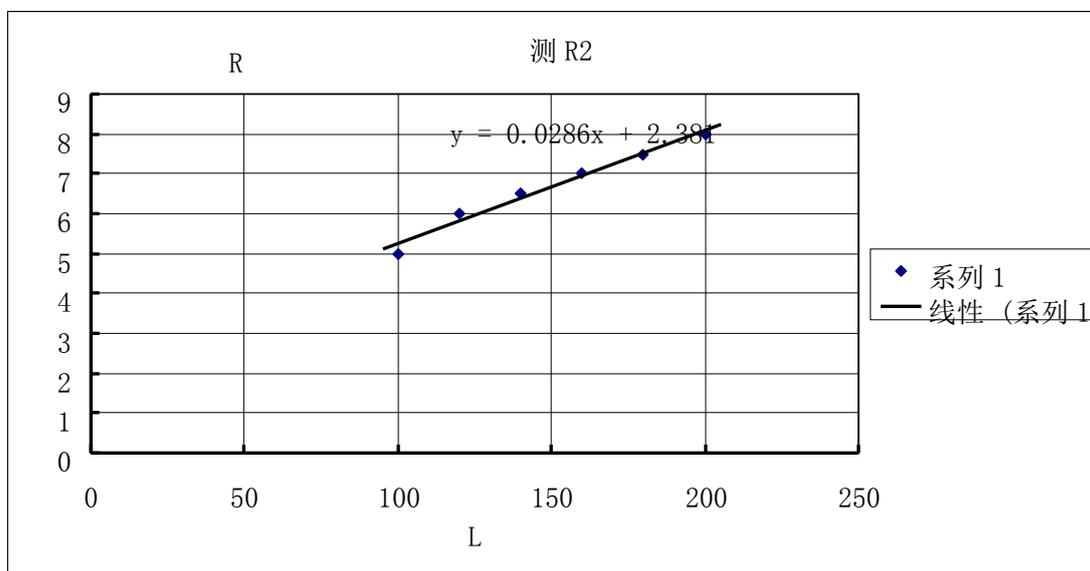
四、实验结果

1. 将 $r_0=2.5\text{mm}$ 的孔屏放在 L_2 后面，便从孔屏后面射出截面半径为 2.5mm 的平行光束。

2. 测凹透镜 L_3 的曲面 I 和曲面 II 的曲率半径 R_1 和 R_2 。先观察在孔屏上得到的凹透镜 L_3 的曲面 I 的反射光斑，测出此光斑半径 r 与屏至透镜 L_3 的距离 L ，共测 6 组对应数据。再将 L_3 旋转 180° ，用同样方法也测 6 组 r 和 L 对应数据，分别求出曲面 I 和曲面 II 的曲率半径 R_1 和 R_2 ，填表 1。



$R_1=49.4\text{mm}$

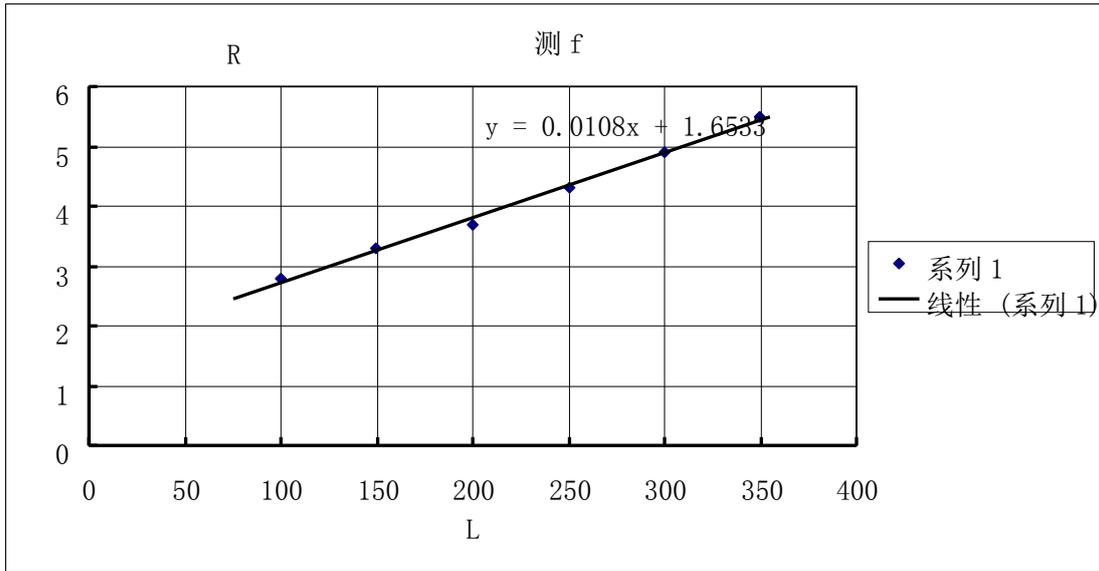


$R_2=118.9\text{mm}$

次数 名称		1	2	3	4	5	6
		R_1 / mm					
L / cm		10	12	14	16	18	20

	r/mm	4.5	5.7	7.2	8.4	9.7	11.5
R ₂ / mm	L/cm	10	12	14	16	18	20
	r/mm	5	6	6.5	7	7.5	8

3.用透射光测 L₃ 的焦距 f₃, 也需测 6 组 r 与 L 的对应数据, 绘制 r-L 曲线, 外推求出 f。所测数据填入表 2。



R₀=1.7mm
f=-153.1mm

次数 名称	1	2	3	4	5	6
L / cm	10	15	20	25	30	35
r / mm	2.8	3.3	3.7	4.3	4.9	5.5

4.用 (5) 式算出制造 L₃ 的玻璃材料对 He-Ne 激光的折射率 n。

R₁=49.4mm R₂=118.9mm f=-153.1mm

n=1.23

五、讨论思考题

1.回答公式 (5) 应用在本实验中时, 凹透镜 L₃ 的 R₁、R₂ 和 f 的正负号。

R₁、R₂ 同号为正, f 为负

2.请你在求 L₃ 焦距的图上直接找出 r₀ 的数值, 并与孔屏的数值比较出差距, 为什么会有这样的差距。

图像误差和读数误差

3.扩束时，在像屏上得到的光斑大小，如果已不随屏的前后移动而变化，则此时光斑的大小由哪些量决定？

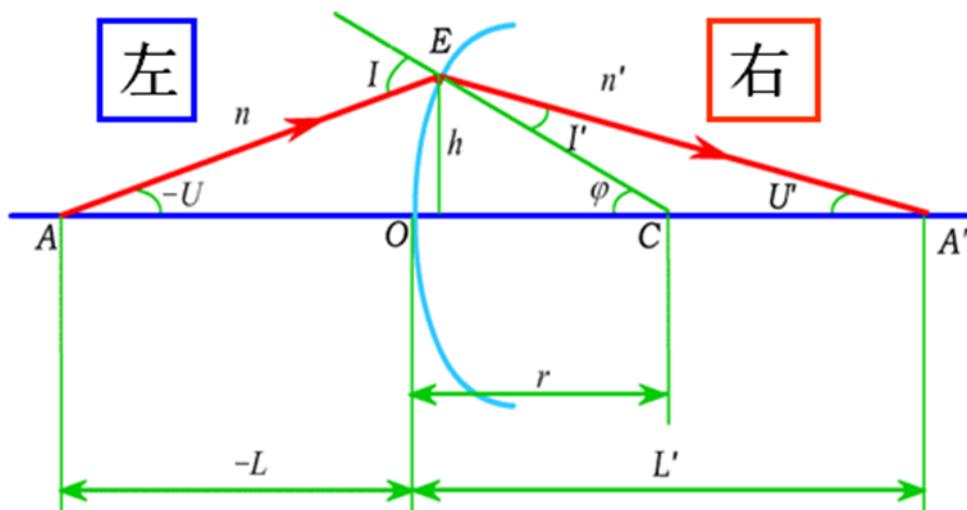
$L_1 L_2$

4.如果换一个波段的激光器，得到结果会怎样？由此理解折射率与波长之间的关系。

波长与折射率成反比

六、附录

附录 1: 笛卡尔坐标法则:



(1) 像方参量:

加撇号'与物方参量加以区别。

(2) 光线传播方向:

一般假定自左向右为正。

(3) 沿轴线段: (如物/像距)

以折射面顶点为坐标原点: 其右方者为正, 左方者为负。

(4) 垂轴线段: (如物像位置)

以主光轴为界: 其上方为正, 下方为负。

(5) 夹角: 按锐角方向旋转, 顺时针为正, 逆时针为负;

转向: 光轴与法线夹角: 光轴转向法线 N

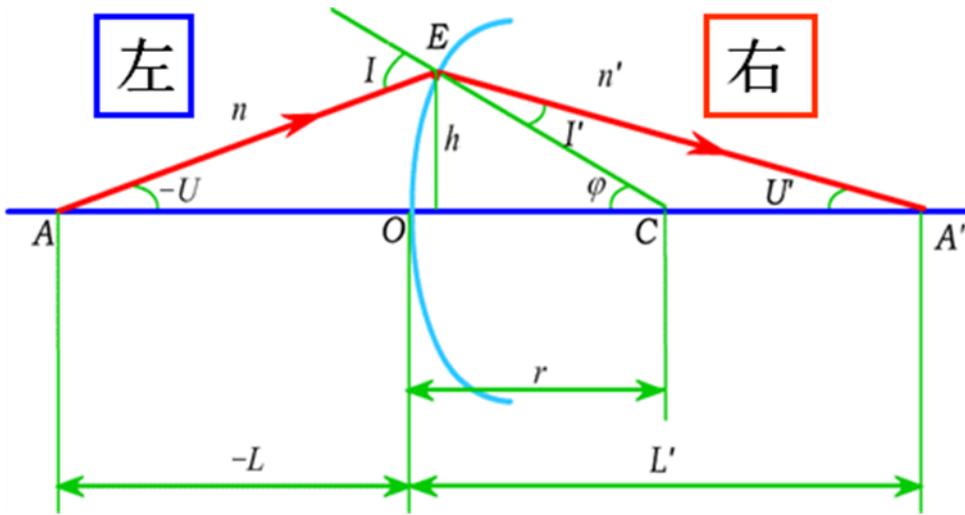
光线与法线夹角: 光线转向法线 N

光线与光轴夹角 (孔径角): 光轴转向光线

(6) 光路图中, 都用各量的绝对值表示, 即全正。凡负值的量, 在图中均加负号。

附录 2

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (5)$$



由近轴光线折射球面公式：

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \quad (6)$$

得

经过第一个球面（曲率半径 R_1 ）：

$$\frac{n}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{n-1}{R_1} \quad (7)$$

经过第二个球面：

$$\frac{1}{l'} - \frac{n}{l'} = \frac{1-n}{R_2} \quad (8)$$

透镜高斯公式：

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f} \quad (9)$$

由公式 (7)、(8)、(9) 得：

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

七、活动总结：

金陵中学与南京大学一同组织的准博士的活动给我留下了深刻的印象，让我收获颇多。作为一个高中生，可以进入到国家一流的实验室参观并且进行试验操作是一件很荣幸的事情，它让我更早的了解到世界一流的科学研究，也让我对未来有着更多的憧憬，怀抱着更大的理想。或许两周一次的课程时间并不算多，但是从每两周这几个小时的学习中，我学到了许多知识，对高端物理研究有着更多的了解。我这次活动的主题是探究一个光学实验，导师认真耐心的教导我们，从实验目的、实验方法到实验结论，都详细为我们进行了讲解。老师让自己动手组装实验器材，纠正了我们在实验中的错误，并且指导我们自己探索实验中发生的问题。这让我学会了在实际操作中，遇到问题自己进行计算、调整器材来完成实验，更是从导师身上学到了严谨、认真、专注以及对待科学事业一丝不苟的态度，我以后也会朝着这些优秀的科学工作者的目标去努力！

八、导师评价：

金陵中学陈婧恬同学积极认真参与了南京微结构国家实验室金陵中学准博士活动。在几何光学和物理光学初步知识的理论学习阶段，该同学上课认真听讲，并提了不少有价值的问题，课后认真推导，对折射率和透镜相关的知识有了一定的了解。在研究平行光束在球形界面的反射和折射的实验中，该同学在老师的指导下积极动手，细心处理数据，仔细思考存在的问题和实验改进措施，圆满完成了实验。在这个准博士活动中，我深深的感受到了金陵中学同学们的热情、认真和踏实，他们以后必将做的更好！

指导教师：王振林、杨剑

有关伊辛模型相变的研究

费欣意，何心玥

(金陵中学,南京)

摘要：采用蒙特卡罗抽样模拟方法对伊辛模型的相变过程进行了计算机模拟，建立了二维情况下的物理模型，讨论在温度为唯一变量时，电子自旋相关性质发生跳跃性变化的临界温度点。结果表明：当温度区间固定在 0.5~5 K (热力学温标) 时，在 2.4K 左右，自旋体系具有的各项物理性质，如：体系总能量、比热容、磁矩、磁化率都会发生变化，且变化前后的图象曲线是不连续的。

关键词：伊辛模型、电子自旋、相变、蒙特卡罗抽样模拟

1. 研究背景

1.1 伊辛模型概述

在铁和镍这类金属中，当温度低于居里温度时，原子的自旋自发地倾向某个方向，而产生宏观磁矩。温度高于居里温度时，自旋的取向非常紊乱，因而不产生净磁矩。伊辛模型就是模拟铁磁性物质的结构，解释这类相变现象的一种粗略的模型。^[1]

这个模型所研究的系统是由 N 个阵点排列成 n 维周期性点阵，这里 $n=1,2,3$ 。点阵的每个阵点上都赋予一个取值 $+1$ 或 -1 的自旋变数 i ，如果 $i=+1$ ，即第 N 个阵点的自旋向上；如 $i=-1$ ，即第 N 个阵点的自旋向下并且认为只是最近邻的自旋之间有相互作用。^[2]

简单来说，将电子内部结构，即电子自旋想象成一个箭头，并为了计算简便，人为规定箭头的方向只能朝上或者朝下。

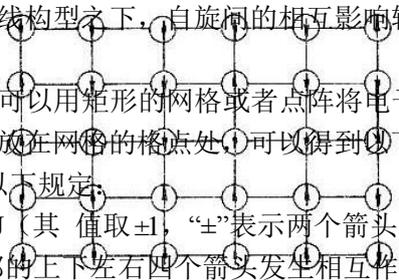
在一维情况下，可以把这些箭头想象成排列成一条直线，这也是伊辛本人最早提出的自旋构型，在这种一维的直线构型之下，自旋间的相互影响较小，在这里我们不再多作讨论。

在二维的情况下，我们可以用矩形的网格或者点阵将电子自旋的排列情况具体地描绘出来，即将上述提到的箭头放在网络的格点处，可以得到以下图象（本处以 $6*5$ 的矩形网格为例），并对该体系作出以下规定：

箭头间的相互作用为 J （其值取 ± 1 ，“ \pm ”表示两个箭头的排列是同向或反向）。

每个箭头只与其最近邻的上下左右四个箭头发生相互作用。

该体系中箭头方向的变化只与体系的温度 T 有关。



大量的研究及实验结果表明，铁磁体在由极高温冷却到低温的过程中，其物理性质会发生非常显著的变化，并且这样的变化并不是一个缓慢的、渐进的过程，而是跳跃性的、突然发生的。这样的物理性质的变化可以看作是由于物质本身的结构，或者说是组成宏观物质的微观结构——电子自旋它的排布发生变化引起的^[3]。

同时，根据热力学第二定律这一统计规律我们可知：一个孤立系统总是从熵小的状态向熵大的状态发展，而熵值较大代表着较为无序，所以自发的宏观过程总是向无序度更大的方向发展。这一既有理论也为我们对于伊辛模型的相变方向与过程，即电子自旋排步的自发变化趋向提供了理论基础。

1.2 蒙特卡罗方法概述

正如上文所说，铁磁体性质的变化是由电子自旋排布的变化引起的。所以研究伊辛模型相变的原因，就是为了研究铁磁体这类物质的物理性质发生突变的那一个温度点以及其过程。

由于二维情况下的伊辛模型的体系能量及其他物理性质的计算与一维情况相比复杂了许多，用手工计算的工作量过于庞大，所以可以采用计算机模拟的方法代替人工计算。在这里，我们采用的是比较通用简便的蒙特卡罗模拟方法。接下来会对蒙特卡罗模拟作一些简介。

蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法，又称随机抽样或统计试验方法，属于计算数学的一个分支，它是在本世纪四十年代中期为了适应当时原子能事业的发展而发展起来的。传统的经验方法由于不能逼近真实的物理过程，很难得到满意的结果，而蒙特卡罗方法由于能够真实地模拟实际物理过程，故解决问题与实际非常符合，可以得到很圆满的结果。这也是我们采用该方法的原因。

蒙特卡罗方法的基本原理及思想如下：

当所要求解的问题是某种事件出现的概率，或者是某个随机变量的期望值时，它们可以通过某种“试验”的方法，得到这种事件出现的频率，或者这个随机变数的平均值，并用它们作为问题的解。这就是蒙特卡罗方法的基本思想。蒙特卡罗方法通过抓住事物运动的几何数量和几何特征，利用数学方法来加以模拟，即进行一种数字模拟实验。它是以一个概率模型为基础，按照这个模型所描绘的过程，通过模拟实验的结果，作为问题的近似解。可以把蒙特卡罗解题归结为三个主要步骤：构造或描述概率过程；实现从已知概率分布抽样；建立各种估计量^[4]。

蒙特卡罗模拟是一种抽样化的模拟方法，通过抽取大量的样本，并在模拟过程中使用具有不确定性的随机数，使模拟结果更加接近现实情况。使用这样的方法进行相变的模拟，大大节省了人工时间，并减少了计算错误，提高了模拟效率。虽然模拟过程中不可避免的会出现一些误差，但在样本数量足够大的情况下，这些极微小的误差几乎可以忽略。

1.3 本课题在科学领域的研究进程

1925年，德国学者伊辛解出一维伊辛模型精确解。1944年，美国物理学家昂萨格获得二维伊辛模型的精确解，被视为统计物理学上的一项重大进展。然而，迄今为止，尚没有被学术界公认的三维伊辛模型精确解。

精确求解三维“伊辛模型”一直被公认为物理学领域的一大难题，也是物理学家们近一个世纪的梦想。

沈阳材料科学国家实验室博士张志东经过十多年的潜心研究，提出了对三维简单正交晶

格伊辛模型的猜想以及推定精确解的详细计算过程。

张志东先生提出：对三维物理世界的理解可能需要引入第四维的帮助。通过引入第四卷曲起来的维在 $(3 + 1)$ 维打开三维伊辛模型存在拓扑学的结具有一定的合理性,因为在低维空间的拓扑学的结可以被在高一维空间的旋转来打开。

2. 伊辛模型相变的计算机模拟

2.1 计算机模拟的大致流程

1. 给定温度 T ，给出一个随机排布的二维网格
2. 计算当前体系的能量 E
-
3. 翻转当前情况下网格中任意一个自旋的方向
4. 计算新体系的能量 E_2
5. 计算 $\Delta E (=E_2-E)$
6. 取 $[0, 1]$ 之间的随及数 a
7. 判断 a 与 $\exp(-\Delta E/kT)$ 的大小关系, k 为玻尔兹曼常数, 计算时可取 1
8. 若 $\exp(-\Delta E/kT) > a$, 则翻转成立, 输出新的自旋排布;
若 $\exp(-\Delta E/kT) < a$, 则翻转不成立, 不进行输出操作。
- (3 到 8 步为循环过程, 执行 10000 次)
9. 计算平均能量 E_3
10. 改变温度 T , 再次进行循环计算

同理, 可根据上述流程计算体系的比热容、磁化率、磁矩等多项物理性质。

在以上的流程中, 将 3 到 8 步的这一个循环叫做一个蒙特卡罗步, 在给定的一个温度 T 下, 为了保证样本数量足够大, 取到的结果较为精确, 一般执行复数个的蒙特卡罗步 (如 60000 步), 并将开始时执行的几步舍去 (如在 60000 步中, 对前 10000 步的结果不做记录)。

将计算得到的数据输出储存在文档中, 在利用作图软件绘制出性质变化的过程性图象, 可以探究发生相变的温度点。

*模拟之后使用 Origin 函数绘图软件进行图象制作

2.2 模拟过程中相关变量的控制

/structure for a 2d lattice with coordinates x and y → 定义二维数组, 表示自旋箭头坐标
struct lat_type

```
{
    int x;
    int y;    → 定义 X, Y 为整数
};
const double J=-1.0;//J is the exchange interaction constant. → 相互作用为 J
const int size=8;//lattice size → 网格的大小为 8*8
const int lsize=size-1;//array size for lattice
const int n=size*size;//number of spin points on lattice → 网格中的自旋箭头数
float T=5.0;//starting point for temperature → 体系最初的温度
const float maxT=5.0;//maximum temperature or thr starting point for temperature;
const float minT=0.5;//minimum temperature → 温度的范围为[0.5,5.0]
float change=0.1;//size of steps for temperature loop → 每次温度的变化量
int lat[size+1][size+1]; //2d lattice for spins
```

long unsigned int mcs=100000; //number of Monte Carlo steps →执行蒙特卡罗步数
int transient=10000; //number of transient steps →每步蒙特卡罗步中自旋翻转的次数
double norm=(1.0/float(mcs*n)); //normalization for averaging

3. 结果与讨论

3.1 计算机模拟数据结果

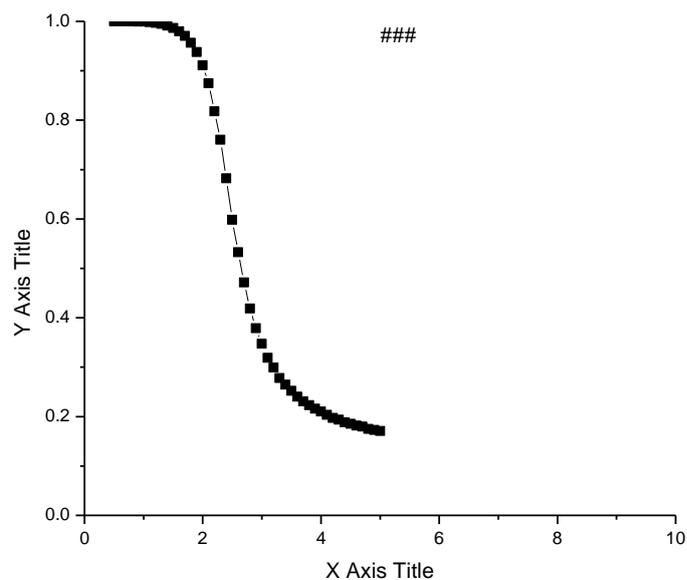
T: 热力学温度 (K) <M>: 体系的磁矩
<E>: 体系的总能量 Susc(x): 体系的磁化率
Cm: 体系的比热容 UL: 体系的累积量 (用于标记相变点)

T	<M>	<E>	Susc(x)	Cm	UL
5	0.170585	-0.429617	0.20471	0.09819	0.0601944
4.9	0.172784	-0.438201	0.213253	0.102244	0.0664981
4.8	0.174813	-0.448673	0.224775	0.107745	0.0600523
4.7	0.179398	-0.461113	0.237387	0.114965	0.0735793
4.6	0.181927 -0.471749	0.251077	0.120257	0.0699876	
4.5	0.185229	-0.483834	0.265611	0.127198	0.074188
4.4	0.188372	-0.496133	0.280406	0.135031	0.07489
4.3	0.193503	-0.510914	0.29994	0.143201	0.0856182
4.2	0.197138	-0.526414	0.317519	0.151114	0.0908161
4.1	0.203378	-0.542601	0.348968	0.164456	0.0883487
4	0.210055	-0.559283	0.374562	0.174175	0.101427
3.9	0.215998	-0.57889	0.407316	0.18775	0.104678
3.8	0.222998	-0.595704	0.436021	0.200566	0.122055
3.7	0.231048	-0.616653	0.482275	0.219743	0.119342
3.6	0.240253	-0.639466	0.525617	0.237025	0.136754
3.5	0.252113	-0.667566	0.587921	0.263577	0.147298
3.4	0.264571	-0.693294	0.647383	0.291897	0.171283
3.3	0.278072	-0.722528	0.724988	0.321621	0.187076
3.2	0.299244	-0.758443	0.828084	0.365967	0.219372
3.1	0.318648	-0.794312	0.931123	0.416747	0.245317
3	0.347565	-0.842529	1.08229	0.483748	0.28393
2.9	0.378638	-0.890926	1.2222	0.564771	0.324004
2.8	0.418981	-0.953475	1.4078	0.680525	0.366513
2.7	0.471367	-1.03161	1.59306	0.816295	0.419918
2.6	0.532728	-1.12013	1.7172	0.959121	0.473661
2.5	0.598567	-1.2159	1.75052	1.08967	0.521629
2.4	0.682066	-1.33952	1.60748	1.18892	0.569639
2.3	0.760112	-1.46002	1.25812	1.14077	0.607061
2.2	0.817872	-1.56344	1.00028	1.08117	0.627497
2.1	0.874788	-1.66709	0.577601	0.87938	0.645687
2	0.911067	-1.7442	0.343	0.725793	0.654563

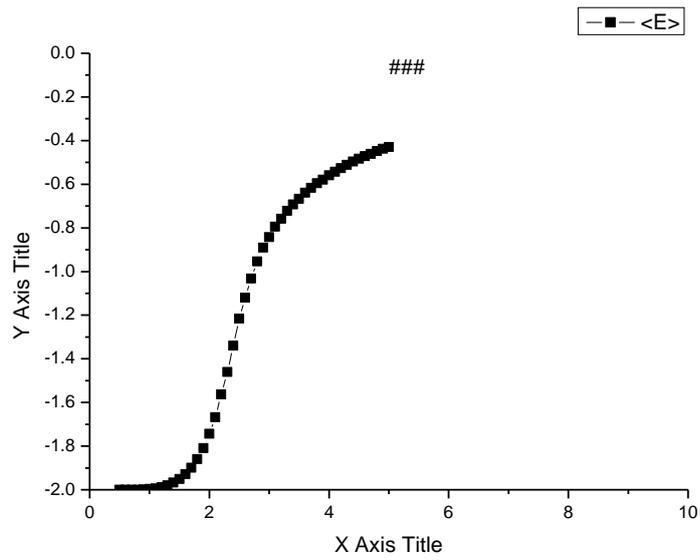
1.9	0.937639	-1.80867	0.20348	0.564228	0.659757
1.8	0.956692	-1.85953	0.118183	0.442665	0.662676
1.7	0.97037	-1.89917	0.0700117	0.34018	0.664399
1.6	0.97961	-1.92808	0.0425525	0.263486	0.665315
1.5	0.986543	-1.95128	0.0273518	0.197389	0.665857
1.4	0.991249	-1.96755	0.0169693	0.145333	0.666193
1.3	0.994775	-1.98026	0.0101213	0.10047	0.666404
1.2	0.997008	-1.98856	0.00600634	0.0679006	0.666522
1.1	0.99843	-1.99391	0.00319357	0.0415704	0.666596
1	0.999258	-1.99707	0.00157727	0.0239473	0.666635
0.900003	0.999663	-1.99867	0.000773193	0.0133162	0.666653
0.800003	0.999858	-1.99943	0.0003601	0.00709289	0.666661
0.700003	0.999933	-1.99973	0.000191559	0.00437847	0.666664
0.600003	0.999937	-1.99975	0.000209991	0.00559973	0.666664
0.500003	0.999942	-1.99977	0.000232067	0.00742609	0.666664

3.2 实验图象

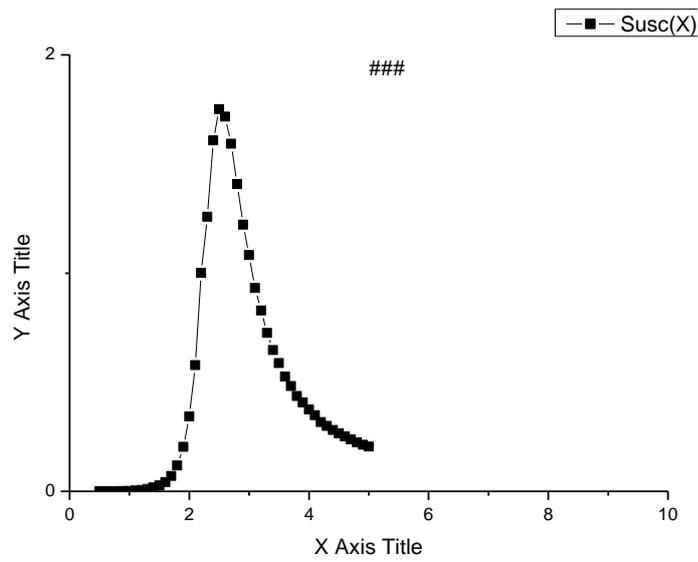
(1) 体系磁矩的变化与温度变化的关系



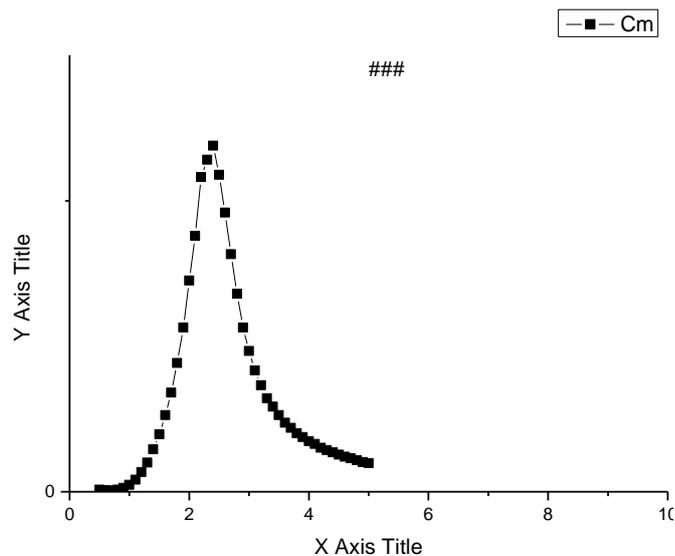
(2) 体系总能量的变化与温度变化的关系



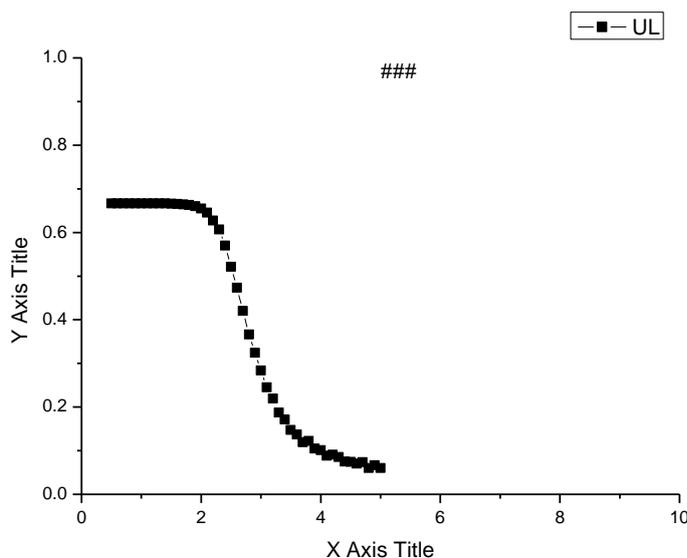
(3) 体系磁化率的变化与温度变化的关系



(4) 体系比热容的变化与温度变化的关系



(5) 体系累积量(用于标记相变点)与温度变化的关系



3.2 实验结论及分析

根据图象可知,在温度由 0.5K 逐渐升高至 5K 的过程中,体系的各项物理性质(在本实验中讨论的为体系总能量、磁矩、磁化率、比热容)都在 $T=2.4\text{K}$ 左右时发生了跳跃性、非连续性的变化,这一温度点我们可看作是模型发生相变的临界点。

3.3 伊辛模型的实际应用

在实际生活中,伊辛模型不但可以解决有关铁磁体系及其他各种金属的相关物理性质的问题,还可以进一步拓展延伸,应用于具体的实践活动。并且这种应用不仅仅局限与物理学研究,更可以扩展到城市管理等方面。

伊辛模型是一个最简单且可以提供非常丰富的物理内容的模型,它可以被用来帮助我们发现物理世界的原则。它不仅可以用来描述晶体的磁性,还可以用来描述非常广泛的现象,

如合金中的有序无序转变、液氦到超流态的转变、液体的冻结和蒸发、晶格气体、玻璃物质的性质、森林火灾、城市交通、蛋白质分子进入它们的活性形式的折叠等。^[5]

4. 结论

在二维的伊辛模型中，存在一个固定的临界温度点，当体系达到此温度时，体系的各项物理性质均会发生跳跃性的变化。

伊辛模型这样一个从低温逐渐升至高温的过程中，电子自旋由有序向无序转变，体系的熵值增大。

而自旋由有序向无序的转变是各项物理性质变化的微观基础，所以当二维伊辛模型在 $T=2.4\text{K}$ 这一临界温度点发生相变时，无论是电子自旋的排布或是体系的物理性质都会发生非连续性的突然变化。

参考文献

1. Kerson Huang, Statistical Mechanics, John Wiley & Sons, New York, London, 1963
2. Brian Hayes, The World in a Spin, American Scientist, Volume 88, Number 5; September-October, 2000; pages 384-388
3. 刘俊明 (Dr. James, Jun-Ming LIU) 自旋世界
4. 百度百科, 网络文献 <http://baike.baidu.com/view/284709.htm>
5. 张志东, 伊辛模型的研究进展简介, Chinese Journal Of Nature, Vol. 30 No. 2

THE TWO-DIMENSIONAL ISING MODEL

Fei Xinyi He Xinyue

(Jinling High School, Nanjing)

Abstract: Use Monte Carlo simulation method to simulate the Ising model phase transition process by computer. Establish two-dimensional case of physical model. Consider the temperature as the only variable to discuss the critical temperature of the electron spin correlation properties of jumping variation. The results show that when the temperature interval is fixed at $0.5 \sim 5 \text{ K}$ (thermodynamic), at around 2.4K , the spin system has various physical properties. For example, the total energy of the system, specific heat, magnetic moment, magnetic susceptibility will change and the image curve is not continuous.

Keywords: Ising model, the electron spin, phase transitions, Monte Carlo sampling simulation

活动总结

在这次的课题研究过程中，我们对伊辛模型有了初步的基础了解，拓展了一定的物理知识，也掌握了一定物理模型的模拟方法。同时，我们也感受到了科学研究严谨细致的精神以及一种求真、求实的学术氛围。

我们对伊辛模型进行的研究，是在二维平面内的研究，至于三维，那涉及到的知识过多，不是我们一朝一夕就能弄明白的，所以我们所进行的研究，虽然整体来看不算什么创新，但对于我们自己，也是一种探索与提升。

导师评语

我阅读了费欣意、何心玥两位同学撰写的“有关伊辛模型相变的研究”之准博士站小论文。我有如下评论:

- 1, 伊辛模型是统计物理领域最著名的离散点阵模型,它在自然科学和社会科学各个分支领域都有广泛的应用。而这个模型所蕴含的丰富物理内容与简明易懂使得其成为准博士站计划一个非常合适的主题。这个主题是我依据上述考虑指定的,但当时并未觉得这两位小成员能够做出什么来。今天看到这篇小论文,甚是吃惊,也很骄傲!
- 2, 两位小作者在论文中简述了伊辛模型的发展历史和蒙特卡罗方法。虽然阐述还显得稚嫩,但已经抓住了主要精髓的图像。两位作者在谢云龙同学的具体指导下,独立编制了程序和进行了模拟计算,获得了点阵磁矩、磁化率与比热对温度的依赖关系,很漂亮地给出了伊辛相变的大致图像。这是非常了不起的成绩,值得赞赏。
- 3, 在有限时间内,两位小作者能够独立完成这一工作并撰写出这篇小论文。这改变了我对准博士站的看法,从相对比较悲观变得较为乐观和支持。两位小同学多次与我和谢云龙同学讨论问题,开始了解什么是科学研究。
- 4, 当然,文章还有一些需要改进和完善的地方,在条件允许情况下还可以深入下去。但这不妨碍评定本小论文为优异论文的结果。

南京大学物理学院

刘俊明



2012-1-12

QUESTION

1. 如何保证实验模拟得出的结论具有普遍性？
2. 在实验模拟构建的二维伊辛模型中（即一定长宽的矩形点阵中）位于边界位置的自旋箭头如何处理？
3. 采取何种措施可以使模拟的精确度提高？

光栅衍射实验以及光栅常数测量

张邢帆

(金陵中学, 南京)

摘要: 衍射光栅是利用多缝衍射原理使光发生色散的光学元件, 由大量相互平行、等宽、等间距的狭缝或刻痕所组成。由于光栅具有较大的色散率和较高的分辨本领, 它已被广泛地装配在各种光谱仪器中。本实验利用光栅衍射的原理, 通过实验, 根据入射光波长计算衍射光栅狭缝距离。并展开讨论以及研究, 并研究光栅衍射的性质。

关键词: 光栅, 衍射

课题研究背景以及理论分析

1821 年夫琅禾费创制了用细金属丝做成的衍射光栅, 并且用它测量了太阳光谱暗线的波长。后来他又在贴着金箔的玻璃上用金刚石刻划平行线做成色散更大的光栅。首创直接在玻璃板上刻制光栅的是诺伯尔 (1806-1881)。现在使用的光栅有透射式和反射式两种, 多是以刻线光栅为模板, 复制在以光学玻璃为基板的薄膜上做成的, 也有用全息照相法制做的。

理论依据

光栅是一种常用的光学色散元件, 具有空间周期性, 它好象是一块由大量的等宽、等间距并相互平行的细狭缝组成的衍射屏, 色散率大, 分辨本领高。可以用来直接测定光波的波长。研究光谱线的结构和强度。标志它性质的一个重要物理量就是光栅常数 d , 它满足的方程就是光栅方程。

$$\begin{array}{ll} \text{光栅常数} & d = a + b \\ \text{光栅方程} & d \sin \theta = k \lambda \end{array}$$

式中 θ 是衍射角, λ 是所用光波的波长, k 是衍射光谱的级次。

$$k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4 \dots\dots$$

根据光栅方程, 亮条纹的位置由光栅方程决定, 如果只考虑 $k=\pm 1$ 级的情况, $\sin \theta$ 就是一个小量, 此时 $\sin \theta \approx \tan \theta$, 因此, 光栅方程可以写成

$$d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{x}{L} = \lambda$$

利用光栅方程, 如果已知光波波长, 通过测量 L 和 x , 就可以得到光栅常数 d , 反之, 如果已知光栅常数 d , 同样可以计算得到光波波长。

$$d = \frac{L}{x} \lambda \quad \lambda = \frac{x}{L} d$$

课题研究过程及方法

- 1、了解光栅衍射的一些应用知识
- 2、简单了解光栅衍射
- 3、实验，探究，创新

(一) 初次实验

器材：光学实验台，滤光板，棱镜，有机玻璃板，黑色遮光纸等

(1) 平面波由激光提供

(2) 物平面使用玻璃板和黑色遮光纸组成，组成各种不同内部形状（有横向，纵向，斜向等的重复周期的改变），从而导致变换平面上点的改变形成光栅；变换平面为玻璃板，进一步探究时仍使用黑色遮光纸遮光

(3) 变换平面上可用黑色遮光纸遮光从而改变像平面上像的变化

(4) 设计自己的几个图案再次探究

实验结果：失败。

实验失败原因分析：手工制作的玻璃板与黑色玻璃纸组成的模板上的周期过大，“光栅间隔”具有与光的波长数量级不同导致不能形成衍射。材料的准备有些问题，导致衍射实验应为材料的周期太大而没有成功。第二次准备用电脑在透明纸上打印却还是不能形成预期的效果。

(二) 再次实验

器材：光学实验台，滤光板，棱镜，制作好的光栅模具等

此次的模板不使用自己制作的模板，而是使用定制的金属模具。

光栅如下图

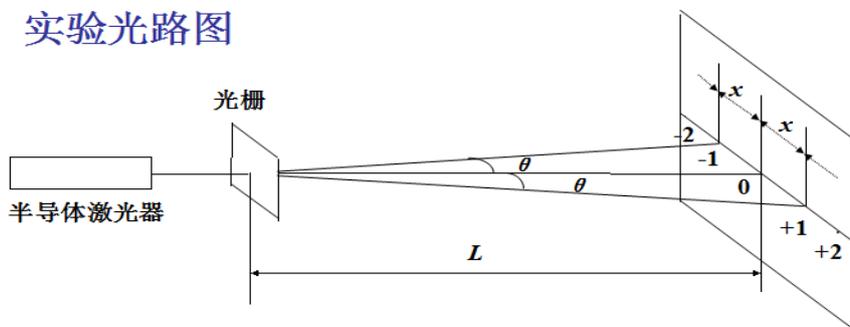


(规格：1*1=1cm²)

实验测定结果：

1. 用激光水平打在竖直放置的衍射光栅上，透过光栅在远处的光屏上形成衍射。
2. 测量衍射图案的间距。
3. 改变激光的波长，重复步骤 1,2。
4. 汇总数据，测量，计算。

实验光路图

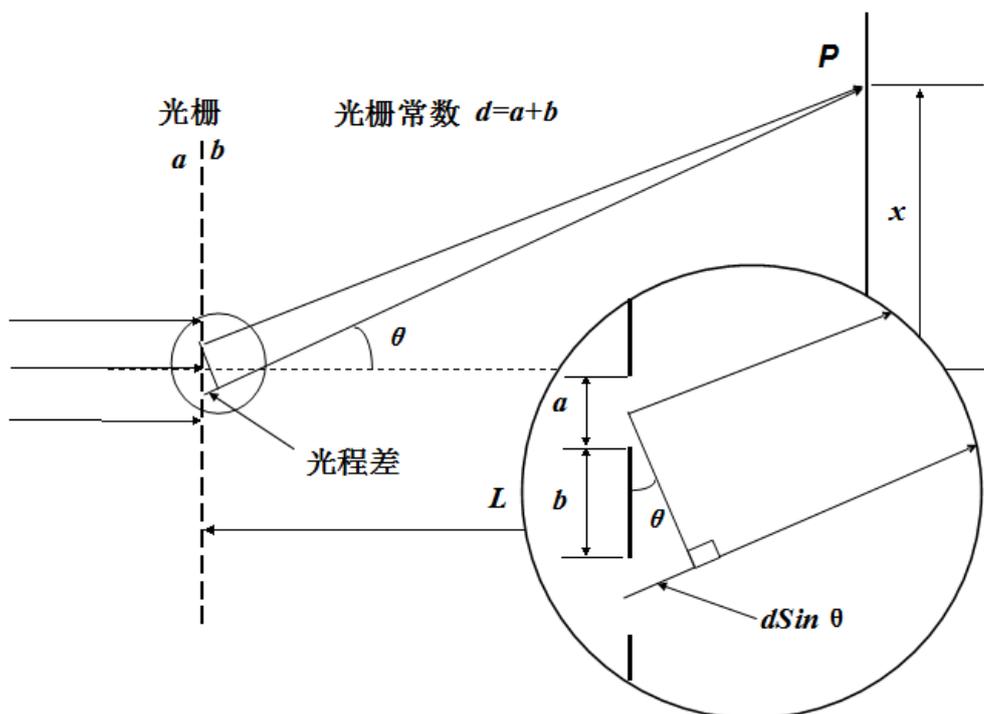


(示意图)

二、研究方法

跟随导师进行实验学习

实验原理图



实验计算

1 计算模具光栅常数:

实验数据:

λ 红光=633nm,

λ 绿光=543nm

x 绿光衍射间隔平均值=1.63cm

X 红光衍射间隔平均值=1.90cm

所用公式:

$$d = \frac{L}{x} \lambda$$

则 用绿光算出 $y = 543\text{nm} \cdot 28.00\text{cm} / 1.63\text{cm} = 9327.6\text{nm}$

用红光算出 $Y = 633\text{nm} \cdot 28.00\text{cm} / 1.90 = 9328.0\text{nm}$

由于刻度尺误差,光栅常数 d 约为 9327.8nm

误差分析:

入射平行光不垂直光栅平面而引入的误差。当入射光与光栅法线成 θ 角时,对 $Y=900\text{nm}$ 的光栅来说,相对误差可算出是很小,可见偏离角度不大时此误差可以忽略不计,主要误差来源于实验测量。

实验感悟

虽然一开始我的实验应为材料的原因失败了，但是也是一个很好的体验过程。我的材料的准备有些问题，导致衍射实验应为材料的周期太大而没有成功。第二次准备用电脑在透明纸上打印却还是不能形成预期的效果，我的实验在以后将会继续进行。实验过程虽然很简单，但是是对自己规范实验的操作，熟悉实验过程有很好的作用。第二次实验的成功在于模具的正确选择。第二次实验我更好的熟悉了透镜的傅里叶变换，并且在改变激光波长后成像大小的变化也有所分析。科学研究需要严谨的科学实验。实验需要严谨的态度以及不怕失败的精神。

准博士活动感悟

这学期我的研究性学习活动在准博士培养站由三部分组成：听导师的学生作研究报告，参观工厂，实验。下面我将分别来谈一谈这些活动的体会。

一.听导师的学生作研究报告体会

这是我一开始的活动内容。我每周周三晚上去导师哪里，他让我去的目的是让我学习大学的学习方法和作报告的方法。这些活动对我有着很深的影响。虽然同学们讲的内容我基本上不能理解，但是还是学习到了很多的方法，为以后的大学生活，尤其是实验类别的研究做出了铺垫。我去听报告的次数在这三项活动中次数是最多的，也是我印象最深刻的。每个同学都有每个同学的演讲风格，甚至连语言的选择（汉语，英语，两者兼有）。观看了他们的演讲风格，对我今后的学习也有很深的的作用。在这样的活动里，我主要学习了大学实验的一般过程，特别是对实验以及报告有着很详尽的认识。

二.参观工厂

这是一次有意义的活动。虽然就一个下午，但是是一次很深刻的，也很难得的体验。在路上邹正校长就给我们讲起了他的经历。校长说他非常关注工业方面的技术，并且举了几个例子给我们听，希望我们能够在这次参观中学到学到一些东西。我们也对这次活动十分憧憬。我们首先来到的是中国烟草公司。这个公司占地规模巨大，风景优美，上来就吸引住了我们。有专门的讲解人员给我们讲解他们的生产过程，并且有人带我们去参观了他们的公司内部的生产过程。在这里，我发现了一些十分适合生产使用的发明。比如可以改变方向的运送货物的通道，虽然只是由两个不同放置方向的轨道组成，但是却十分实用，不会引起物品掉落，打滑等现象。再比如安全按钮，虽然只是小小的塑料制品，但是和专门的运货箱配套使用，不仅不会导致散落，增加了安全性，而且方便使用，甚至加上了编号，便于管理。这家工厂还有很多这样的让我大开眼界的東西，我就不一一列举了。第二家公司是生产标准键（一种塑料制品）。虽然这家工厂规模没有第一家大，而且也没有第一家环境好，但是半机械化的生产也是一个亮点。高度的废料循环再利用也令我惊奇。

这次工厂参观十分有意思，也让我的见识更加开阔。

三.实验

虽然我的实验应为材料的原因失败了，但是也是一个很好的体验过程。我的材料的准备有些问题，导致衍射实验应为材料的周期太大而没有成功。第二次准备用电脑在透明纸上打印却还是不能形成预期的效果，我的实验在以后将会继续进行。实验过程虽然很简单，但是是对自己规范实验的操作，熟悉实验过程有很好的作用。

导师意见

张邢帆同学勤奋好学，对科学充满好奇与求知欲。在准博士培养计划期间，积极参加南京大学我负责研究小组的学术活动，认真听取研究生的学术汇报，在老师启发下能够参与一些科研讨论。能够自觉调研学习前沿科学的研究背景，掌握一些大学课程设计的光学基础知识，并对相应的应用领域有了大致的了解。认真开展了基本的光学实验，对光的衍射和干涉以及傅里叶光学变换有了直观的了解。总之，在本计划开展中，张邢帆同学表现出了很好的学习潜能和领悟力，如果今后在学习中能够进一步加强与老师的互动交流，合理的安排课程学习与课外时间活动，应该可以取得更好的成绩。

纳米金的合成及表征

林欣，蒋令仪

(金陵中学，南京)

摘要：在甲苯体系中，以十八烯胺为还原剂和稳定剂，还原氯金酸得到十八烯胺保护的金纳米粒子 (AuNPs)。通过高分辨透射电镜 (TEM) 及傅里叶变换拉曼 (FT-Raman) 对 AuNPs 的形貌及性质进行表征。TEM 图显示 OLA-AuNPs 的平均粒径为 15nm，金纳米颗粒为球型，大小均一，单分散性很好。表面增强拉曼数据说明了 OLA 通过化学键有效地吸附在金纳米的表面。

关键词：纳米金颗粒 十八烯胺 合成 表征

Abstract: Oleyl amine (OLA) capped gold nanoparticles(AuNPs) were synthesized by reducing Hydrogen Tetrachloroaurate ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) in toluene, while OLA served as both protecting and reducing agent. High-resolution transmission electron microscope (HRTEM) and FT-Raman were utilized to characterize the morphology and optical property of prepared AuNPs.

Keywords: gold nanoparticles OLA synthesis characterization

纳米金是指直径在 1—100nm 范围内的金粒子，制备方法主要采用还原剂，如柠檬酸钠，硼氢化钠，制备过程中通过控制条件，用量，可得到单分散性的金颗粒。纳米金颗粒具有 2 点比较重要的性质，1.颗粒随直径的变化呈现各种颜色 2.与—SH 等集团具有强大的亲和力，这些特性使其具有特殊的生物化学及医学方面的应用，本文将对纳米金的合成方法介绍，对其表征，并对其参考文献的呈现。

1.背景

金是一种极为稳定而且具有抗氧化功能的材料。当金材料的尺寸缩小到纳米级别时，它的大小将远小于光的波长，某些光波会被金纳米粒子 (AuNPs) 吸收。金纳米粒子可以在水溶液或者有机溶液中以金胶的形式存在，它在 510nm~550nm^[1]可见光谱范围内有一吸收峰，吸收波长随金纳米粒子的直径增大而增大。当粒径从小到大时，AuNPs 在溶液中的颜色依

次呈现出紫黑色、酒红色、深红色等变化。除了颜色之外，金纳米粒子的熔点、硬度等性质都与黄金有了很大的不同

近年来，金纳米粒子因其具有很多宏观粒子所不具备的小尺寸效应、表面效应、光学效应以及特殊的生物亲和效应，已经广泛地应用于电子、半导体、触媒、染料、医药等领域^[2-11]。金胶的性质主要取决于金纳米粒子的粒径和表面性质。因此，合成粒径在 1-100nm 之间，具有特殊表面性能的金纳米颗粒一直是科学家们研究的重点。

从金纳米粒子的尺寸分布、单分散性以及几何形状等多方面考虑，人们已经发展了多种多样的颗粒制备技术，获得了越来越多的金纳米材料。金纳米粒子的合成方法一般可以分为化学合成法和物理合成法。自 1857 年, Faraday 发现在水溶液中可以将 $AuCl_4^-$ 还原成金胶起，水相法合成金纳米颗粒的研究时间最长，研究也最为深入。Frens 法是最早用来制备金纳米颗粒的简单而有效的方法。在此反应体系中，金纳米颗粒的形成主要遵循成核与核生长机制。通过调节反应温度、反应物（氯金酸、还原剂和稳定剂）浓度可以控制金晶粒的成核和生长速度，从而有效调节最终产物的尺寸分布。经过几十年来的改进，水相法合成金纳米颗粒已经形成了一个成熟的体系，是最普遍的合成金纳米颗粒的方法。1994 年, Brust 等人^[13]报道了用 $NaBH_4$ 作还原剂，在有机溶剂中制备金纳米颗粒的两相合成法，开辟了金纳米合成的新领域。在此反应体系中, Brust 用带有巯基的分子 RSH 作为稳定剂(有的文献中称为 ligand, 意为配体)，被还原的金很容易和巯基结合。通过 Brust-Schiffirin 两相法合成的金纳米颗粒具有很窄的尺寸分布，运用 Brust-Schiffirin 两相法能得到单分散性很高的金纳米颗粒。除了化学合成方法外，金纳米颗粒还可以通过物理方法来制备。光辐照法是合成金纳米颗粒的一种简单而有效的方法，包括紫外光辐照法^[14]和近红外光辐照法^[15]。然而，通过光辐照法合成的金纳米颗粒粒径大小不一，不具有单分散性。超声法^[16,17]也是一种较为常见的合成金纳米的物理方法，此外，还有激光光解法和热解法。

1.1 柠檬酸还原法

此方法是由 Frens 在 1973 年创立的，制备程序很简单，胶体金的颗粒大小较一致，广为采用。该法一般先将 0.01% 的 $HAuCl_4$ 溶液加热至沸腾，迅速加入一定量 1% 柠檬酸三钠水溶液，开始有些蓝色，然后浅蓝、蓝色，再加热出现红色，煮沸 7~10min 出现透明的橙红色

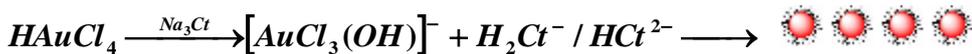


图 1 柠檬酸还原法的反应示意图， 表示金纳米颗粒

随后, Frens^[12]改进了 Turkevich 的方法，并且发现可以通过改变 $Na_3Ct/HAuCl_4$ 的比例来制备不同大小尺寸的金纳米颗粒（16—147nm）。

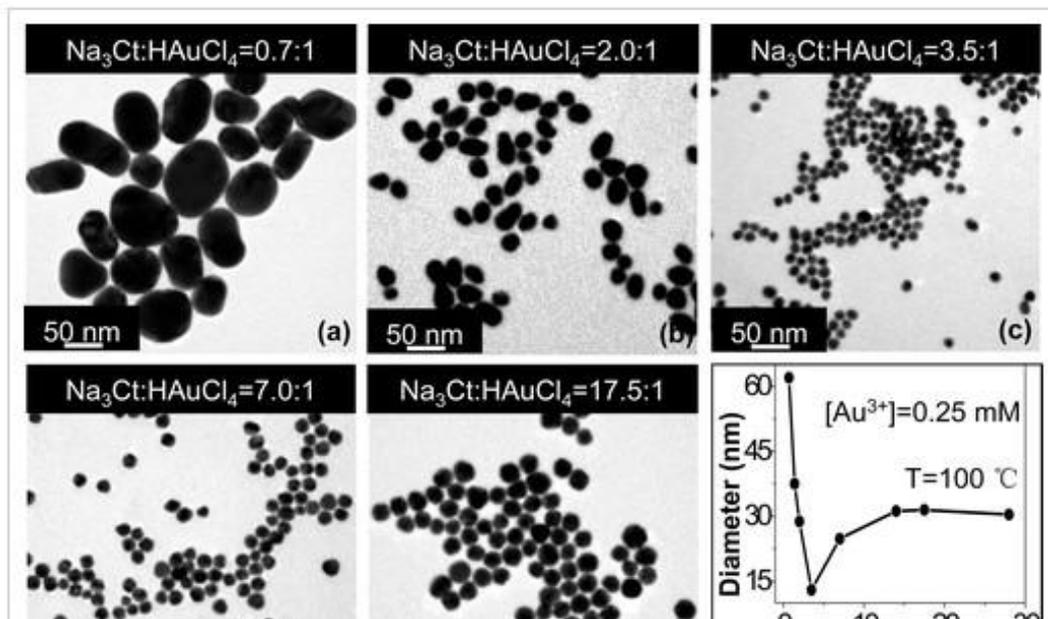


图 2 不同 $\text{Na}_3\text{Ct}/\text{HAuCl}_4$ 比例下制备的金纳米颗粒的 TEM 照片 2.Brust-Schiffirin 两相合成法

1.2Brust-Schiffirin 两相合成法

1994 年, Brust 和 Schiffirin 等人首先报道了一种合成硫醇保护的纳米颗粒的简单而有效的方法。在 Brust-Schiffirin 两相合成体系中, 利用四丁基溴化铵 (TOAB) 作为相转移剂, 将水相中的 AuCl^- 转移到溶有十二硫醇的有机相中, 再加入 NaBH_4 , 将 Au^{III} 还原为金纳米颗粒。利用 Brust-Schiffirin 两相合成法制得的金纳米颗粒, 其粒径一般在 1~6nm。

Brust-Schiffirin 两相合成法的反应方程示如下所示,

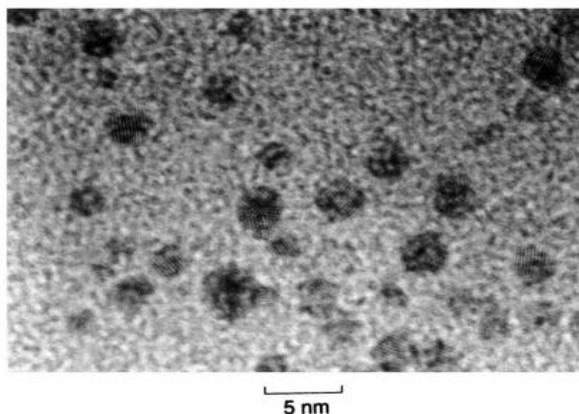
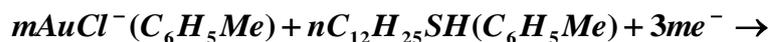
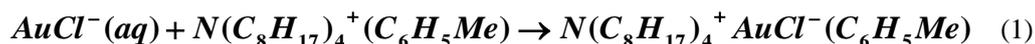


图 3 Brust-Schiffirin 两相法制备的金纳米颗粒的 TEM 图

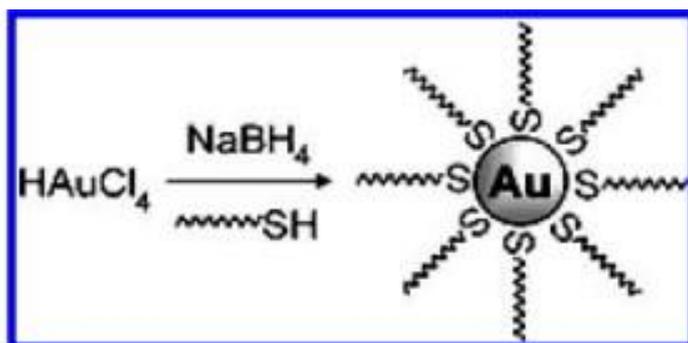


图 4 Brust-Schiffrin 两相法制备硫醇保护的纳米金的示意图^[18]

Brust-Schiffrin 两相合成法简单易行，反应温和，在室温下就可以进行。用 Brust-Schiffrin 两相合成法产率高，得到的金纳米具有较小的尺寸（1~6nm）和较窄的尺寸分布。由于巯基和金之间有较强的相互作用力，硫醇保护的纳米金稳定性极好，不仅能洗涤、纯化、干燥，还能以固体形式在空气中长时间保存，还能重新溶解在甲苯、氯仿等有机溶剂中。1995 年，Brust 合成了由具有特殊功能的硫醇保护的纳米金颗粒^[19]。利用 Brust-Schiffrin 两相法可以将一些含巯基的特殊分子或化合物键和到金纳米颗粒上，制备功能材料，如生物传感器、DNA 探针等。

在有机相中合成金纳米粒子的经典方法是 Brust 等人于 1994-1995 年提出的两相法，而事实上，这种方法确实能够将不同的巯基化合物和二硫化物组装到金纳米粒子的表面，但是，这种方法得到的纳米粒子的直径一般都小于 5 nm，而且不能得到大量的纳米粒子，因此迫切需要在油相中一次性合成更大量的克级的粒径稍大的金纳米粒子。

2. 实验

2.1 试剂

十八烯胺 (oleylamine, OLA): 70%, Aldrich 公司。

氯金酸 ($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$): 99.9%+, 上海久岳化学有限公司。

甲苯 (toluene): 分析纯, 南京化学试剂厂, 使用前蒸馏。

甲醇 (methanol): 分析纯, 杭州化学试剂公司, 使用前蒸馏。

2.2 制备过程

十八烯胺包裹的金纳米粒子的合成是在 Osterloh 等人的工作基础上进行的^[27]。具体实验过程如下：将 50 mg (0.15 mmol) 氯金酸，1.0 g (3.7 mmol) 十八烯胺和 1 mL 甲苯混合，然后迅速注射到已沸腾回流的含 1.7 g (6.4 mmol) 十八烯胺的 49 mL 甲苯溶液中，反应 3 小时。在反应体系中加入 100 mL 甲醇，用于使反应产物沉淀出来。所得沉淀物，离心分离，并用甲醇洗涤三次，以去除未反应的原料和副产物。最终产物在真空下干燥得到黑色固体，而此黑色固体能够重新分散于有机溶剂。

2.3 表征

2.3.1 TEM 表征

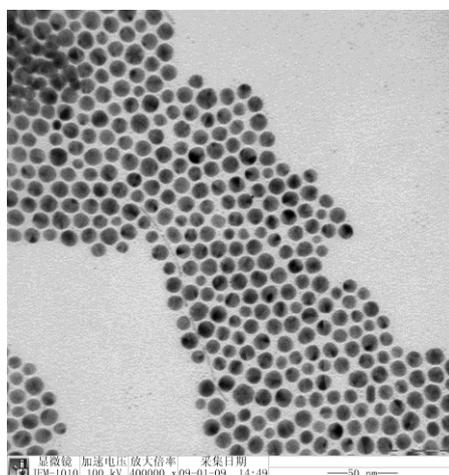


图 5. 十八烯胺和甲苯体系合成的金纳米粒子的 TEM 照片。

在反应结束之后，未加甲醇沉降产物之前，将原始反应溶液滴加在铜网上进行了 TEM 表征，TEM 照片显示 OLA-AuNPs 的平均粒径为 15nm，金纳米颗粒为球型，大小均一，单分散性很好。这说明了 OLA 是一个很好的稳定剂，OLA 包覆的 AuNPs 具有相当好的稳定性。

2.3.2 拉曼光谱表征

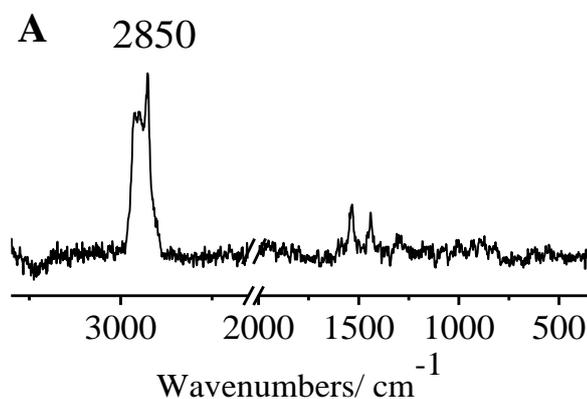


图 6. 十八烯胺 OLA 保护的纳米金粒子拉曼图

SERS 现象，即在某些金属表面，被吸附物种的拉曼散射信号能被异常的增强，可达 $10^4 \sim 10^6$ 倍。1974 年，Fleischmann 等首次观察到电化学体系中 Ag 电极上吸附吡啶分子的高质量的表面拉曼谱图，他们将其归因于电极粗糙化所引起的表面积的大幅度增加。1977 年，Jeanmaire 和 Van Duyne 等证明，粗糙电极的表面积只增加了几倍到十几倍，而实际观察到的表面增强因子高达 10^6 ，揭示了这里存在着一种新的从未被人们所认识的拉曼散射的巨大增强效应，即表面增强拉曼散射（SERS）。对照 OLA-AuNPs 的 Raman 谱图和 OLA 的标准拉曼谱图，我们可以看出 OLA 配体确实接在了金纳米粒子的表面上。2850 cm^{-1} 处特征峰时 OLA 烷烃链存在的标志。

3. 结论

通过比较柠檬酸还原法，Brust-Schiffrin 两相合成法，并对不同方法制得的纳米金胶体金的粒径大小，分散度，稳定性极形貌进行表征，最终运用了十八烯胺还原法合成了 15nm OLA 保护的纳米金，其具有较好的分散性，制作方法相对简单实用。本文对纳米金的合成以及表征，其在生活中的应用也赋予了其合成的意义。

参考文献

- [1]. Khlebtsov, N.G., Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from Extinction Spectra. *Analytical Chemistry*, 2008. 80(17): 6620-6625.
- [2]. Wuelfing, W.P. and R.W. Murray, *J. Phys. Chem. B*, 2002. 106: 3139.
- [3]. Krasteva, N., et al., *Nano Lett.*, 2002. 2(null): p. 551.
- [4]. Kim, Y.J., R.C. Johnson and J.T. Hupp, *Nano Lett.*, 2001. 1: 165.
- [5]. Mirkin, C.A., *Inorg. Chem.*, 2000. 39: 2258.
- [6]. Klein, D.L., et al., *Appl. Phys. Lett.*, 1996. 68: 2574.
- [7]. Sato, T., et al., *J. Appl. Phys.*, 1997. 82: 696.
- [8]. Musick, M.D., et al., *J. Chem. Mater.*, 2000. 12: 2869.
- [9]. Wuelfing, W.P., et al., *Chem. Mater.*, 2001. 13: 87.
- [10]. Bamwenda, G.R., et al., *Catal. Lett.*, 1997. 44: 83.
- [11]. Pietron, J.J., R.M. Stroud and D.R. Rolison, *Nano Lett.*, 2002. 2: 545.
- [12]. Frens, G., *Nature*, 1973. 241: 20.
- [13]. Brust, M., et al., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1994: 801.
- [14]. Zhou, Y., et al., A Novel Ultraviolet Irradiation Technique for Shape-Controlled Synthesis of Gold Nanoparticles at Room Temperature. *Chemistry of Materials*, 1999. 11(9): 2310-2312.
- [15]. Niidome, Y., et al., *Chem. Lett.*, 2000: 310.
- [16]. Reed, J.A., et al., *Ultrason. Sonochem.*, 2003. 10: 285.
- [17]. Okitsu, K., et al., *Langmuir*, 2001. 17: 7717.
- [18]. Sun, L., R.M. Crooks and V. Chechik, *Chem. Commun.*, 2001: 359.
- [19]. Brust, M., et al., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1995: 1655.

总结:

通过这次活动,我们接触到了前沿的科研实验器材和课题,在实验室中的体验让人感到欣喜和向往,在实验操作过程中观察到变化的一刻更是如此。导师和学姐给了我们很大的帮助。没有他们的指导就没有这篇文章的完成。这次活动也是我们对科学的神奇之处最具体和深刻的一次感知。

评语:

蒋令仪和林欣同学实验过程中展现了较强的创新能力和动手能力。实验设计周密,详尽;实验操作认真细致;对实验结果总结全面,深入。思维敏捷,善于发现问题,同时也能有效的解决科研中遇到的困难,在科研上有很大的潜力。

钙钛矿氧化物 BiFeO_3 掺杂系列铁磁性能研究

李兴云，周如彦

(金陵中学，南京)

摘要：利用高纯度 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3, \text{Fe}_2(\text{NO}_3)_3$, 柠檬酸，氢氟酸，稀硝酸通过溶胶凝胶的方法合成 $\text{BiFeO}_{3-x}\text{F}_x$ 。利用 VSM 测量室温下生成样品的磁滞回线。VSM 测量结果表明随掺杂量增加磁滞回线的面积增加。因而对于 BiFeO_3 的 F 掺杂，有效的提高了 BiFeO_3 的铁磁性。

对于原子排列很有序的晶体而言，其中的每个原子都有磁矩。这个磁矩为原子核运动以及电子运动产生磁矩的矢量和。这些原子磁矩并不是孤立的，而是和周围原子环境磁矩有关系的。对于我们要研究的 BiFeO_3 晶体，其磁矩分布结构为螺旋结构，螺旋周期为 62nm 左右，单个螺旋周期内总磁矩为 0。如图 1 所示。

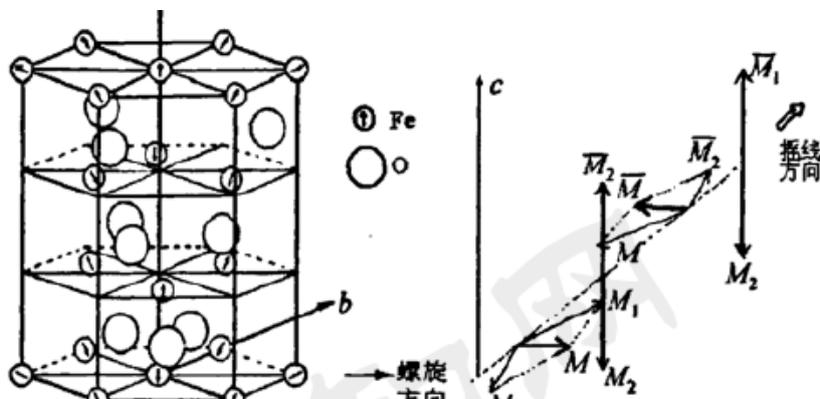


图 1 BiFeO₃ 的磁性螺旋结构

在室温下，BiFeO₃ 磁矩排列为有序的螺旋结构，并且所有磁矩抵消对外显示无磁性，因此 BiFeO₃ 室温下为反铁磁。

BiFeO₃ 本身是反铁磁的，但是通过掺杂却可以使得 BiFeO₃ 成为铁磁性的，这个从磁滞回线就可以看出来。

关键词：多铁性，BiFeO₃，介电性能

KEY WORDS: Ferromagnetism; BiFeO₃; dielectric function

BRIEF: The aim of our study is ①to use high-pureness Bi(NO₃)₃、Fe₂(NO₃)₃、citric acid、HF、HNO₃ to compose BiFeO₃-xFx by means of collosol & gel. ②to use VSM to measure the hysteresis loop of generated samples at room temperature. The result tells us that the area of the hysteresis loop increases with doping increased. So we can figure out that the ferromagnetism of BiFeO₃ improves a lot because of the F-doping of BiFeO₃.

For the crystals whose atoms are arranged orderly, each of the atom has magnetic area moments. That includes nuclear motion and electron motion which generate magnetic moment. These nuclear magnetic moments are not isolated, but related to the magnetic moments around.

As for the crystal we want to study ——BiFeO₃, the distribution structure of its magnetic moments is helix. And the arrangement is very organized. So it shows no magnetic at room

temperature.

BiFeO_3 itself is antiferromagnetic, but the ferromagnetism of BiFeO_3 improves a lot because of the F-doping of BiFeO_3 .

知识储备

众所周知运动的电子可产生磁场，而原子由原子核和电子组成，电子围绕原子核运动，同时电子本身还跟地球似的自旋，因此原子中存在磁场。为了更加方便的描述磁场，磁矩就出现了。对于磁偶极子，磁矩为电流、回路面积与垂直回路平面的单位矢量(其方向对应于回路转向)三者之积；对于某一区域内的物质，磁矩为包含在该区域内所有基本磁偶极子磁矩的矢量和。磁矩的方向即根据右手螺旋定则判断出的线圈内磁场方向，即 N 极方向。

为了更好的理解反铁磁和铁磁，介绍下磁滞回线。大家知道，对铁施加磁场，铁就有了磁性，但是当把磁场去掉之后，铁的磁性仍然能够保持，此时原本没有磁性的铁变成了类似于磁铁的磁体。其实这就是磁滞现象。当对铁加磁场后，铁内就被激发了，自身也产生了磁场，但是当外加磁场去掉后，铁产生的磁场并不会立马消失而是保留一段时间，我们称之为磁滞现象。磁滞回线就是为了更好的描述这种现象。磁滞回线就是测量晶体被激发的磁场强度 M 与外加磁场强度 H 间关系的曲线。有磁滞回线说明物质有铁磁性。铁磁性产生是由于晶体中存在净磁矩产生的，即物质总磁矩不为 0。

4 实验部分

1.1 实验准备活动

实验前先找到实验需要的原材料：高纯度 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ (99.9%)、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ (99.9%)，柠檬酸，氢氟酸，浓硝酸。找到称量使用的电子天平，搅拌需要的研钵（玛瑙研钵），烘烤得炉子、烧样品的炉子等，确定东西齐备后，分别根据合成的产物的化学反应的方程式进行原材料的配比进行计算各材料需要的重量。按照计算结果称量所需原材料量，称量使用的是感量很小的电子天平（灵敏度 0.01 毫克），一小段头发丝都可能影响配比的平衡，因此最重要的是细致和耐心。称量之后将浓硝酸稀释三倍，取适量稀硝酸溶解称量得到的各种原料。搅拌，使得原料溶解均匀。搅拌要尽量让所有的成分都均匀分布。





图 2 实验使用的电子天平、研磨样品的研钵、将粉末压成薄片的液压机等

1.2 BiFeO_{3-x}F_x 的合成过程

涉及的化学方程式最主要的有：



用电子天平称量各种化学物质，并用稀硝酸溶解并混合均匀；混合均匀后放入烘箱，90 摄氏度烘干到成固体状。将这些固体状同喜放入研钵仔细研磨半个小时以上，研磨时要用力。将研磨好的物质放入气氛炉中烧结，烧结温度设置为 780 摄氏度 10 个小时，烧结完毕取出样品，研磨半小时，用压片机压片，然后跟刚才一样放入气氛炉烧结，同样在 780℃ 烧结 10 个小时。烧结成相关产物，并进行测量。烧结过程分为以下步骤（烧结及氧气氛保温使用的炉子示意图见图 3）：

- 1) 780 度烧结 10 小时；
- 2) 冷却烧结的混合物到室温；
- 3) 研磨烧结后的混合物（30 分钟），充分混合；
- 4) 利用实验室压具，压成若干薄片；
- 5) 将薄片放入干锅，再送入炉中 780℃ 烧结 10 小时；
- 6) 取烧结后的薄片样品；
- 7) 其它测量（比如成分测定、磁学方面、光学方面等）。



图 3 样品烧结和氧气氛保温所使用的炉子

合成的样品中的化学组成用能成分分析的电子探针技术分析（原理不清楚，实验室老师帮忙分析）。化学反应的化合物的最终确定使用美国 Bruker 公司的 X-射线衍射仪测定。衍射仪工作条件是：Cu 靶， $K\alpha$ 射线源，电压 40kV，电流 40mA（原理不清楚，实验室老师操作并分析）。

1.3 结构与物理性质表征

合成的样品中的化学组成用能成分分析的电子探针技术分析（原理不清楚，实验室老师帮忙分析）。化学反应的化合物的最终确定使用美国 Bruker 公司的 X-射线衍射仪测定。衍射仪工作条件是：Cu 靶， $K\alpha$ 射线源，电压 40kV，电流 40mA（原理不清楚，实验室老师操作并分析）。确定生成样品为所需要的组分和结构。



图 4 实验用于测量样品结构的 X 射线衍射仪

5 结果与讨论

对我们生成的样品，我们利用 VSM 进行了室温下的磁滞回线测量，测量结果如图 5 所示

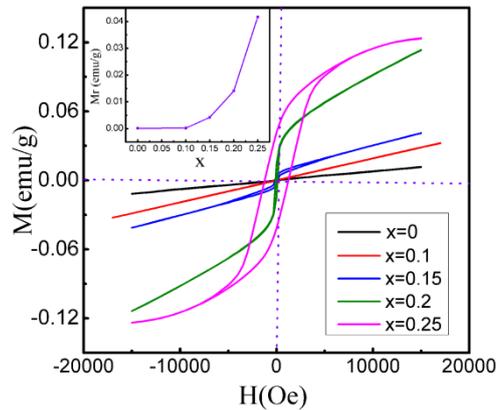


图 5 $\text{BiFeO}_{3-x}\text{F}_x$ 系列样品的磁滞回线

从图中我们可以看到随着 x 增大， $\text{BiFeO}_{3-x}\text{F}_x$ 磁滞回线变大， $H=0$ 时的剩磁 M 也增大。这说明我们的掺杂成功的将 BiFeO_3 变成了铁磁性的，而且掺杂越多，铁磁性越强。产生这种现象的原因我们分析为， F 的掺入破坏了晶体本身的磁矩螺旋结构的，使得晶体产生净磁矩，因而有了铁磁性。现在我们的知识水平还不够，无法进行更深入的解释，只能进行用这个唯像的理论来解释。

总结

在老师的指导下，我们成功的合成了 $\text{BiFeO}_{3-x}\text{F}_x$ 晶体，测量得出 F 的掺入使得晶体产生了从反铁磁性到铁磁性的变化，掺杂量越高，铁磁性增强的越多。这证明我们的实验是成功的，达到我们的预期目的。

致谢

本工作的完成首先要感谢南京微结构国家实验室提供的便利条件，无偿提供给我们实验器材、试剂、测量仪器；也要感谢吴小山教授以及他的学生们给我们的悉心指导，耐心的向我们介绍实验仪器的原理、使用方法，教会了我们更多知识、开阔了我们的眼界，让我们感受到物理的魅力。最后，感谢我们全组组员的共同努力。

参考文献

1. 《BiFeO₃ 多铁性陶瓷材料的 sol-gel 制备与表征》徐加焕，博士论文。

活动小结

我们很幸运能被选入准博士培养站，得到这个难得的锻炼机会。高一时我们每两周就会去一次南大，到实验室看看导师的学生们当下在做什么，导师便也给我们介绍一些基础知识。高二时确定了明确的课题，在导师和他学生的共同帮助下我们致力于这个课题付出了很多努力。从中我们感受到了科学的魅力、实验的魅力，享受了独立思考研究的快乐，也亲自参与了高端实验，接触到很多从未接触过的知识。这个活动是一次难得的体验，我们很幸运能有南大和金中提供的这些帮助，圆满完成了这次活动。在今后的学习生活中，我们会牢记在这里学到的知识，牢记自己思考自己动手的重要性，向更远的方向迈进。

重力加速度的测量

刘晓天

(金陵中学, 南京)

摘要: 重力加速度,也叫自由落体加速度,是指地球表面附近的物体,在仅受重力作用时具有的加速度,用 g 表示。重力加速度 g 的精确测量在理论、科研、生产和军事上都有着极其重大的意义。本文就高中物理内容范围内的自由落体和单摆两种方法对重力加速度 g 进行测量并分析比较。

关键字: 重力加速度 自由落体 单摆

一、引言

古希腊哲学家亚里士多德是一位知识渊博的伟大学者,他研究了物体下落现象时认为:物体下落的快慢是由它们所受的重力决定的,物体越重,下落的越快。在其后两千多年的时间里,人们一直信奉他的这种看法。

直到十七世纪,物理学家伽利略首先通过观察发现了亚里士多德这个观点的内部矛盾,并大胆预言,物体下落的快慢与其质量无关。这一结论在伽利略著名的比萨斜塔实验中得到了证明了。

后来,伟大的物理学家牛顿通过万有引力定律揭示了宇宙中的普遍规律:凡物体都有吸引力;质量越大,吸引力也越大;间距越大,吸引力就越小。由此可知,在地球上的物体受到地球的引力,即我们所说的重力,与物体的质量成简单正比关系 $G=mg$ 。于是,其关系系数,重力加速度 g 被引入。

地球表面附近的物体,在仅受重力作用时具有的加速度叫做重力加速度,也叫自由落体加速度,用 g 表示。

重力加速度是物理学中一个十分重要的物理量,在地面的不同地区,重力加速度 g 数值不同,它是由物体所在地区纬度、海拔等因素决定的。准确地确定它的值,无论从理论、科研、生产还是军事上都有着极其重大的意义。

测量重力加速度的方法有很多,但每种方法在实验条件,仪器精密度及周围环境的影响下各有优劣。本文将就高中物理内容范围内,对自由落体和单摆两种测量重力加速度的方法做比较,分析其各自特点。

二、实验步骤及方法

(一)、自由落体法测重力加速度

1.实验原理

依牛顿第二运动定律: $F=ma=mg$

及万有引力定律: $F = GMm/R^2 = mg$

所以: $g = GM/R^2$

将资料

G =万有引力常量= 6.67259×10^{-11} ($m^3 kg \cdot s^{-2}$)

M =地球质量= 5.976×10^{24} (kg)

R =地球平均半径= 6.38×10^6 (m) 代入

所以: $g = GM/R^2 = 9.8$ (m/s^2)

2. 实验步骤

(1) 通过计算得知物体做自由落体前四秒内位移比为 1:4:9:16

$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 又因自由落体: $V_0 = 0$ $a = g$

所以 $S = \frac{1}{2} g t^2$ 而 $g = 2s/t^2$

(2) 取一细线下端绑上重物, 分别自二楼及三楼上方放下, 测量细线长度并记录楼高。

(3) 从上述高度自由落下一重物, 并用秒表测量下落时间

(4) 利用上式 $g = 2s/t^2$ 计算重力加速度 g 值

(5) 改用光电计时器测量下落高度及时间, 计算重力加速度。

(二)、单摆法测重力加速度

1. 实验原理

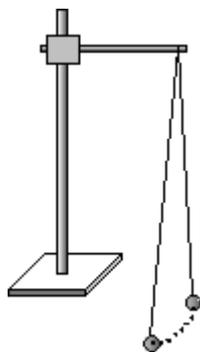
当单摆摆角很小 (小于 5°) 时, 可看作简谐运动。

其固有周期为 $T = 2\pi \sqrt{l/g}$, 由公式可得 $g = 4\pi^2 l / T^2$ 。

故只要测定摆长 l 和单摆的周期 T , 即可算出重力加速度 g 。

2. 实验步骤

(1) 将细线的一端穿过铁球上的小孔并打结固定好, 线的另一端固定在铁架台上, 做成一个单摆。



(2) 用毫米刻度的米尺测定单摆的摆长 l (摆线静挂时从悬挂点到球心的距离)。

(3) 让单摆摆动 (摆角小于 5°), 测定 n (30—50) 次全振动的时间 t , 用公式 $T = t/n$ 求出单摆的平均周期 T ;

(4) 用公式 $g = 4\pi^2 l / T^2$ 算出重力加速度 g 。

二、实验数据及分析

(一)、自由落体法测重力加速度实验数据

A. 秒表计时器 g 值 (单位: m/s^2)

	2F-1	2F-2	2F-3	2F-4	2F-5	3F-1	3F-2	3F-3	3F-4	3F-5
S 楼高(m)	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
T 时间(s)	1.07	1.08	1.06	1.10	1.07	1.47	1.40	1.48	1.42	1.49
实验 g 值	8.21	8.06	8.37	7.77	8.21	7.59	8.34	7.49	8.13	7.39
理论 g 值	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
误差(P%)	16.3%	17.7%	14.6%	20.7%	16.3%	22.6%	14.9%	23.6%	17.0%	24.6%
平均误差	17.1%					20.5%				

(1) 二楼的实验误差平均为 17.1%，三楼的实验平均误差为 20.5%。有增加的趋势。

(2) 实验的误差过大，主要原因是楼层高度不够，下落时间过短，不易测量。

B. 光电计时器 g 值(单位: m/s^2)

高度(cm)	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	140cm	160cm
t-1(s)	0.1866	0.2731	0.3313	0.3868	0.4370	0.4792	0.5172	0.5527
t-2(s)	0.1966	0.2763	0.3324	0.3969	0.4372	0.4805	0.5147	0.5535
t-3(s)	0.1982	0.2757	0.3323	0.3968	0.4376	0.4798	0.5149	0.5486
t-4(s)	0.1996	0.2766	0.3320	0.3867	0.4372	0.4798	0.5177	0.5537
t-5(s)	0.1988	0.2770	0.3322	0.3864	0.4373	0.4810	0.5134	0.5539
平均时间	0.1960	0.2764	0.3320	0.3867	0.4372	0.4801	0.5156	0.5525
实验值	10.41	10.47	10.89	10.69	10.46	10.41	10.53	10.48
理论值	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
误差(P%)	6.22%	6.83%	11.12%	9.08%	6.73%	6.22%	7.45%	6.94%
平均误差	7.57%							

可见改用更先进的计时器后误差明显减小。

(二)、单摆法测重力加速度实验数据

项次	□ □ 摆 (长)	m(质量)	θ (摆 角)	次数 (次)	时间(sec)	T(周期)s	g(m/s^2)	理论 值	误差 P%	平均
1	100cm	20g	5°	50	104.29	2.086	9.07	9.8	7.45%	4.73%
2	100cm	20g	5°	100	208.48	2.085	9.08	9.8	7.35%	
3	100cm	20g	5°	150	310.36	2.069	9.22	9.8	5.91%	
4	100cm	20g	5°	200	407.42	2.037	9.51	9.8	2.96%	

5	100cm	20g	5°	250	501.72	2.007	9.80	9.8	0.00%	
---	-------	-----	----	-----	--------	-------	------	-----	-------	--

通过以上数据可以看出，通过增加摆动次数可以有效减小摆动周期的测量误差，从而提高重力加速度 G 值的精确度。

四、结论

重力加速度，也叫自由落体加速度，是指地球表面附近的物体，在仅受重力作用时具有的加速度，用 g 表示。重力加速度 g 的精确测量在理论、科研、生产和军事上都有着极其重大的意义。本文就高中物理内容范围内的自由落体和单摆两种方法对重力加速度 g 进行测量并分析比较。得出以下结论：

在简单的环境条件下，利用自由落体的方法测量重力加速度 g ，物体下落距离过短，下落时间的测量误差较大。通过利用更先进的计时设备可以有效减小误差，提高重力加速度 g 的测量精确度。

利用单摆法测量重力加速度，实验仪器简单，方法易行。比自由落体法更适合中学生测量重力加速度。其中单摆的摆锤质量，摆动次数，摆动角度（有效范围内）皆不影响摆动周期，藉此可得理想的重力加速度。在实际测量时，通过增加摆锤重量和摆动次数的测量可有效减小摆动周期的测量误差，从而提高重力加速度 g 的精确度。

参考文献

维基百科：重力加速度——<http://zh.wikipedia.org/>;

《重力加速度测量实验的改进》——《物理教学》2008年12期

《单摆法测定重力加速度》——《物理教学》2007年04期

液晶的发现、结构及其应用

曹宇堃

(金陵中学, 南京)

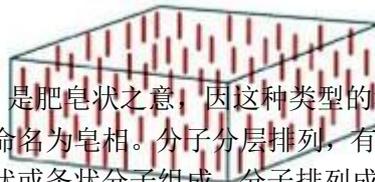
摘要: 本文简单地描述液晶的可能构型、液晶的物理、化学特点和性质, 以及液晶在液晶电视、液晶显示器上的应用与发展前景。

关键词: 液晶 构型

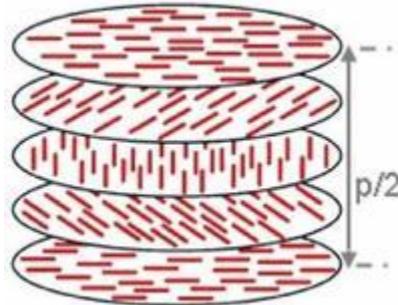
发现液晶的历史: 1888年, 奥地利一位名为莱尼茨尔的科学家, 合成了一种奇怪的有机化合物, 它有两个熔点。把它的固态晶体加热到 145°C 时, 便熔成液体, 只不过是浑浊的, 而一切纯净物质熔化时却是透明的。如果继续加热到 175°C 时, 它似乎再次熔化, 变成清澈透明的液体。后来, 德国物理学家列曼把处于“中间地带”的浑浊液体叫做液晶。液晶自被发现后, 人们并不知道它有何用途, 直到 1968 年, 人们才把它作为电子工业上的材料。直到如今, 液晶产品基本走近了千家万户, 液晶发展空间巨大。因此, 作为高中生, 我觉得了解液晶是十分有意义的。

液晶的分类: 从成分和出现液晶相的物理条件来看, 液晶可以分为热致液晶和溶致液晶两大类。把某些有机物加热溶解, 由于加热破坏结晶晶格而形成的液晶称为热致液晶, 就是如前面所说由于温度变化而出现的液晶相。把某些有机物放在一定的溶剂中, 由于溶剂破坏结晶晶格而形成的液晶称为溶致液晶, 它是由于溶液浓度发生变化而出现的液晶相, 最常见的有肥皂水等。目前用于显示的液晶材料基本上都是热致液晶, 而生物系统中则存在大量溶致液晶。目前发现的液晶物质已有近万种。构成液晶物质的分子, 大体上呈细长棒状或扁平片状, 并且在每种液晶相中形成特殊排列。

由杆形分子形成的液晶, 其液晶相共有三大类: 近晶相 (Smectic liquid crystals)、向列相 (Nematic liquid crystals) 和胆甾相 (Cholesteric liquid crystals)。



Smectic 由希腊语而来，是肥皂状之意，因这种类型的液晶在浓肥皂水溶液中，都显示特有的偏光显微镜像，因而命名为皂相。分子分层排列，有同一方向，比较接近晶体，故译近晶相。近晶相液晶是由棒状或条状分子组成，分子排列成层，层内分子长轴相互平行，其方向可以垂直于层面，或与层面成倾斜排列。因分子排列整齐，其规整性接近晶体，具有二维有序性。分子质心位置在层内无序，可以自由平移，从而有流动性，但粘滞系数很大。分子可以前后、左右滑动，但不能在上下层之间移动。因为它的高度有序性，近晶相经常出现在较低温度范围内。

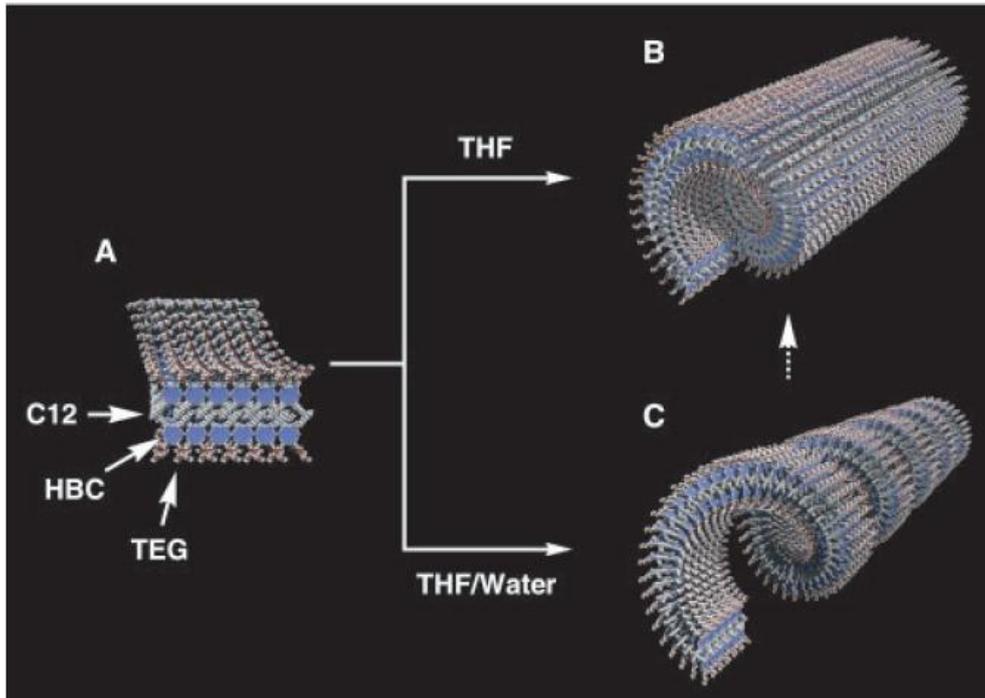


Nematic 也是由希腊语而来，是丝状之意，因这种液晶的薄层在偏光显微镜下观察时，呈现丝状型结构，故称之为丝相。分子位置杂乱，但方向大致一致，故译向列相。

胆甾相中分子平行排列在平面内。但相邻平面中分子的取向方向稍有变化，沿平面的法线方向作螺旋状变动。取向方向经历 360° 变化的距离称作螺距。

由于首先在胆甾醇的酯和卤化物的液晶中观察到，故得其名。

另外，还有盘状液晶。盘状液晶是一类独特的具有显著的电导和光电导性能的、能够通过自组装形成纳米微结构的材料。在 1977 年，印度科学家 Chandrasekhar 在对均六苯酯的研究中首次发现的盘状，经过 30 年的发展，大约有 14 类约 2000 多种盘状液晶材料被合成出来，如葱醌、乙炔苯、萘并萘、卟啉、酞菁、苯并菲、六苯并冠等及其衍生物。盘状液晶分子通常包括两个基本组成部分：刚性的具有平面或近平面的芳香族内核和外面围绕着的 6-8 条柔性脂肪侧链。这样的盘状分子在液晶相可以发生自发的自组装，通过苯环之间的 π - π 键的作用形成取向有序的向列相或位置有序的柱状相和层状相。



液晶的性质：

液晶高分子作为一种特殊的高分子材料，自然具有与一般高分子材料不同的性质。液晶具有液体的流动性和固体的有序性，对外界刺激如光、机械压力、温度、电磁场及化学环境的变化具有较高的灵敏性。高分子液晶制品具有高强度、高模量，尺寸稳定性、阻燃性、绝缘性好，耐高温、耐辐射、耐化学药品腐蚀、线膨胀率低，并具有良好的加工流动性等优异性能。

1、高弹性。

液晶对外场作用较为敏感，即使不大的电磁力、切变力、表面吸附等都能使液晶产生较大形变。液晶可独立存在展曲、扭曲、弯曲三种弹性形变。

2、粘滞性与流变性。

液晶存在取向有序性，这将影响流体力学行为。而液晶高分子还具有的高分子的粘滞特性，这与分子长度密切相关。一般液晶高分子为多畴状态，畴的大小在几微米之内，故在宏观上液晶高分子是各向同性的，其许多物理性质如力学性能等，表观上也是多向同性的。

溶致型液晶高分子溶液在各向同性相时，粘度随浓度增大而增大。进入液晶相后，粘滞系数突然降低。分子量越大，进入液晶相浓度也越低，最大粘滞系数升高。

体系进入液晶相后，指向矢受切变流的影响而沿它的流动方向取向，从而迅速降低了粘滞系数。当切变流动停止一段时间后，样品会逐渐弛豫回原来的多畴状态。如果在此之前就使液晶高分子降温或溶剂移走成为固态，仍可获得相当好的宏观取向，即各向异性固体。

3、其他性质。

胆甾相液晶具有螺旋结构。因此有特殊的光学性质，如选择反射、圆二色性、强烈的旋光性及其色散、电光和磁光效应等。

液晶中常见的光学效应

向列相液晶中的双折射

2. 向列相液晶的各向异性使得在其中的平行于指向矢偏振的光以一个折射率传播，垂直于指向矢偏振的光以另外一个折射率传播。所以向列相液晶在光学上是（单轴）双折射的。
3. $n_{//}$ 相当于单轴晶体的 n_e ，而 n_{\perp} 相当于单轴晶体的 n_o

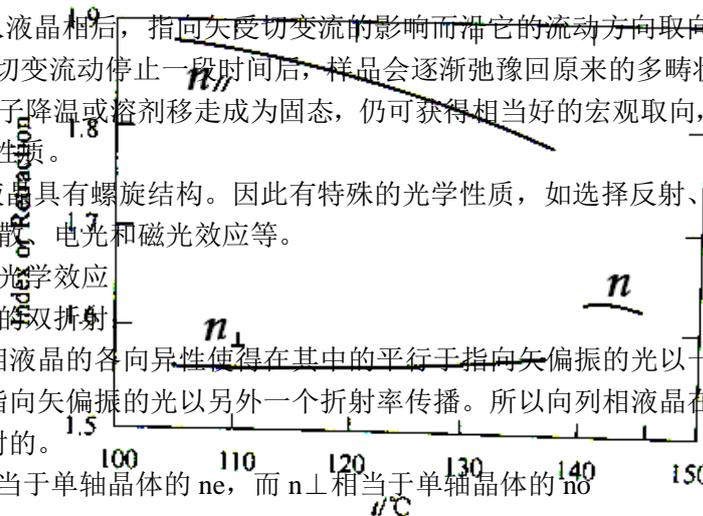


图 6.1 一种典型的向列相液晶的折射率

一种典型的向列相液晶的折射率， $n_{//}$ 和 n_{\perp} 是如何随温度和时间变化的

- (1) 因为液晶具有双折射，所以在液晶中沿不同方向偏振的光会以不同的速度传播，因此进入液晶的光的两个垂直分量随着通过液晶传播其相位差会越来越大。
- (2) 当液晶被置于正交偏振器之间时，就可以很清晰地看出向列相液晶的双折射现象。
- (3) 正交偏振器：由两个偏振片构成，且两个偏振片的偏振轴垂直
- (4) 通常不会有光从正交偏振器出射，因为从第一个偏振器出射的光完全被第二个偏振器所吸收。
- (5) 在正交偏振器之间插入各向同性物质不会改变这种情况。但是如果在两个正交偏振器之间放入液晶层，液晶的指向矢和正交偏振器偏振轴之间成一个不为 0 或者 90 度的角度
- (6) 通过液晶后沿着指向矢偏振和垂直于指向矢偏振的两束偏振光分量有了相位差，一般说来是呈椭圆偏振光出射，因此会有光透过第二个偏振器
- (7) 因此，会有光从第二个偏振器中出射，在正交偏振器之间插入向列相液晶一般

来说将使视场变亮。

(8) 特别的情况：即使将液晶插入两偏振器之间，仍呈暗态，如果入射在向列相液晶上的偏振光具有平行于或垂直于指向矢的偏振方向，则所有的光在液晶中都沿着这一个方向偏振。不需要考虑与此方向成 90 度的光，因为只有一个偏振存在，它以同一种速度穿过液晶，沿同样的振动方向出射，就被第二个偏振器消光

(9) 显微镜下的液晶照片是把样品直接放在正交偏振器之间得到的，在样品中的不同处指向矢通常指向不同的方向，在指向矢取向与偏振器的轴成平行或者垂直的区域是暗的，而指向矢与偏振器的轴成一个非 0 度或 90 度的区域则是亮的

(10) 审视这些在偏振光显微镜下得到的照片，发现有很多地方亮度会发生突然变化，表明指向矢的方向在此处也是突然改变的，这些线被称为向错。表示这些地方的指向矢实际上是不确定的，因为在一个极小的区域内它指向很多不同的地方，这些向错就对应缺陷。

显示原理，液晶的应用与发展前景

利用液晶的基本性质实现显示。自然光经过一偏振片后“过滤”为线性偏振光，由于液晶分子在盒子中的扭曲螺距远比可见光波长大多，所以当沿取向膜表面的液晶分子排列方向一致或正交的线性偏振光入射后，其偏光方向在经过整个液晶层后会扭曲 90° 由另一侧射出，正交偏振片起到透光的作用；如果在液晶盒上施加一定值的电压，液晶长轴开始沿电场方向倾斜，当电压达到约 2 倍阈值电压后，除电极表面的液晶分子外，所有液晶盒内两电极之间的液晶分子都变成沿电场方向的再排列，这时 90° 旋光的功能消失，在正交片偏振片间失去了旋光作用，使器件不能透光。如果使用平行偏振片则相反。

正是这样利用给液晶盒通电或断电的办法使光改变其透—遮住状态，从而实现显示。上下偏振片为正交或平行方向时显示表现为常白或常黑模式。

利用液晶分子的双折射性以及长形分子能够沿与电场方向相互平行的方向整齐排列这一性质。我们可以制作多种液晶设备。最常用的液晶显示，也可能是迄今为至研究得最广泛、最完善的显示装置就是用扭曲层列相 (TN) 液晶材料制作的。这种显示装置由以下部分组成：两块有透明传导镀膜的玻璃。可精确控制间隙的微调距模板，两块偏振片以及适当的液晶材料，用这些元件制作液晶显示装置并不困难。

扭曲层列相液晶显示装置的工作原理很容易理解。根据光学原理，由顶偏振片出射的偏振光完全被底偏振片吸收，结果没有光亮出现 (见图 1a)。若在两块传导玻璃片之间置入层列相液晶 (见图 1b) 材料，并分别在两块玻璃片上各贴上一块取向相互垂直的偏振片，玻璃片的表面经特殊聚合物处理，并用棉纱对之沿偏振片方向抛光。抛光使得液晶分子 (图中用卷烟似的圆棒表示) 的长形轴取向与偏振光平行 (如图 1b) 所示。由于顶板上的分子取向为长形轴左右取向，底板上分子的取向为长形轴前后取向，因此，层列相液晶要发生 90° 的旋转，故这种显示装置叫做扭曲层列相液晶显示装置，非偏振光穿过顶部的偏振片后，变成与该偏振片上的层列相液晶方向相同的偏振光，通过液晶夹层后，又变成了旋转了 90° 的线性偏振光。换句话说，当它到达底部偏振片时，偏振方向旋转了 90°，因此，显示装置透亮。

此处值得一提的是，能使偏振光发生旋转的并非只有液晶，有些其他物质也有这种性能，例如：糖溶液由于其分子的不对称性，也能使偏振光偏振方向改变，但是其本质有所不同，液晶的这种性能是由于其长形分子相互取向的结果，尽管糖溶液 (以及其他物质) 和液晶都能使偏振光通过它们后方向发生变比，但发生这种变化的机理在本质上不同。

现在探讨扭曲液晶显示装置加上电场后的情景（如图 1c 所示），加上电场后，分子沿与电场平行的方向整齐排列，结果破坏了 90° 扭曲。光通过扭曲液晶层后，偏振光的偏振方向并没有发生任何变化，因此，被底部偏振片吸收。这与图 2(a) 中没有液晶介质时的情景一样。如果移去电场，分子变回起初那种扭曲状态，显示装置再次变得透亮。

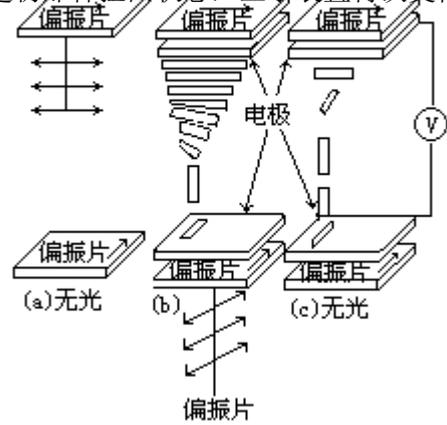
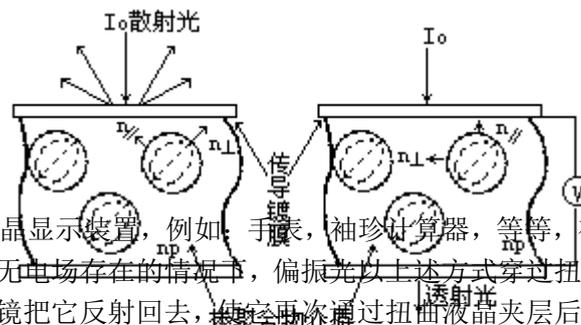


图1 扭曲层列相液晶显示装置原理



对于大多数的液晶显示装置，例如：手表，袖珍计算器，等等，在底偏振片的后面加上一块反光镜即可。在无电场存在的情况下，偏振光以以上述方式穿过扭曲液晶夹层。当光由底偏振片出射后，反射镜把它反射回去，使它再次通过扭曲液晶夹层后再由顶偏振片出射。这时，显示装置呈亮银色，加上电场后光由顶偏振片出射的透射光。不受整齐排列的液晶分子的影响，因此完全被底偏振片吸收。液晶显示装置原理。玻璃板上事先配备好组成阿拉伯数字的小段形电极，这样，如果给适当的字段加上电压，数字就显示出来。

一种崭新的液晶技术——掺聚合物液晶显示 (PDLC) 装置正在诞生之中, 其工作原理就是电控光散射这一独特原理。也就是说, 显示装置透亮程度可以通过电控制使之呈乳白色、不发亮态及透亮态。PDLC 显示装置由两块传导玻璃中间夹上掺聚合物的液晶构成。液晶呈被固态聚合物包围的微滴。若借用折射率参量进行讨论, 我们必须考虑三个主要值: n_p (聚合物折射率), n_{\parallel} (与长形液晶分子平行的折射率), 以及 n_{\perp} (与长形液晶分子垂直的折射率)。乍一看, 由于增加了聚合物, 问题可能变得复杂化, 但 PDLC 显示装置的工作原理 (见图 2) 相当简单。

如图 2(a)所示, 若无电场存在, 全部液晶微滴随机取向。投射到 PDLC 上的非偏振光通常和与偏振方向平行、垂直或两者之间任意夹角的微滴相互作用。因此, 光通过扭曲层后, 其折射率改变。结果光被大多数的微滴散射, 故显示装置呈乳白色。

如图 2 (b) 所示, 若有电场存在, PDLC 呈透亮态, 这时, 液晶微滴沿平行于电场的方向整齐排列, 非偏振光通过时, 要受 n_{\perp} 的作用。若 n_p 与 n_{\perp} 相匹配时, 发生在微滴边缘的散射最小, 这时显示装置呈透亮态, 若移去电场, 微滴返回随机取向。显示装置也返回到起初的乳白色状态。

PDLC 显示装置的主要优点是, 不需要偏振片, 成本低, 而且容易制造, 另一个优点是可以与各种灵活透明电极一起使用。可以预言, 在不久的将来, PDLC 显示装置将会商业化, 与用户见面, 将用于大型办公楼的太阳能控制, 汽车上的阳顶, 私密性强的窗户, 也可能用于大型广告牌。

参考文献

1. 《软物质与硬科学》, 德热纳、巴杜;
2. 《液晶——自然界中的奇妙物相》彼得 J 柯林斯
3. 《超分子液晶》 晏华

导师评价

曹宇堃同学所完成的文章“液晶的发现、结构及其应用”涉及内容为一类重要的液晶物质, 目前已具有十分重要和广泛的应用背景。他的文章对液晶的构型、液晶的物理化学性质、液晶显示器的应用与前景做了很好的论述。文章写作思路清楚, 结论正确, 已充分反映出他阅读了比较多相关参考文献以及有好的物理基础。已具备独立的阅读材料和写作能力。成绩为优秀。

南京大学 马余强
2012 年元月

了解约瑟夫森结的 IV 曲线

卢姗姗

(金陵中学, 南京)

摘要: 了解了低温实验的基本方法和技巧。阅读了关于量子信息和量子计算的科普文献,对超导量子比特原理和特性有所了解。在此基础上,参加和协助了超导量子比特的测量工作。测量了单个超导约瑟夫森结的 IV 曲线,跳变电流等重要参数。并通过理论实验对比得出临界电流和有效温度。

关键词: 低温实验, 超导量子, 约瑟夫森结

研究背景: 本文主要对约瑟夫森结做出初步了解,开阔视野。研究方法主要为观察法与文献资料法。

约瑟夫森结的电压-电流特性: 当约瑟夫森结两端的电流,超过它的临界电流后,它就会转换到有电压的状态同时释放一个磁通量子。一个约瑟夫森结的临界电流是由它的面积所决定的,面积越大,临界电流值就越高。约瑟夫森效应主要表现为:直流约瑟夫森效应 结两端的电压 $V=0$ 时,结中可存在超导电流,它是由超导体中的库珀对的隧道效应引起的。只要该超导电流小于某一临界电流 I_c ,就始终保持此零电压现象, I_c 称为约瑟夫森临界电流。 I_c 对外磁场十分敏感,甚至地磁场可明显地影响 I_c 。沿结平面加恒定外磁场时,结中的隧道电流密度在结平面的法线方向上产生不均匀的空间分布。改变外磁场时,通过结的超导电流 I_s 随外磁场的增加而周期性地变化,描出与光学中的夫琅和费单缝衍射分布曲线相似的曲线,称为超导隧结的量子衍射现象。

自 1911 年荷兰科学家昂纳斯 (H. K. Onnes) 发现汞的超导现象以来,人们对超导进行了大量开拓性的研究,使超导理论^[1]日趋成熟,与此同时,超导技术也在各个领域得到深入

而广泛的应用^[2]。约瑟夫森效应的发现开拓了超导量子干涉仪 (SQUID) 在弱电方面的应用。人们在对约瑟夫森效应进行研究的过程中发明了各种超导器件及应用电路^[3]，促使超导技术应用的新领域——超导电子学逐渐发展起来。在其中，因具有各种独特性（量子干涉、特殊的 I-V 特性和高度的非线性等），约瑟夫森结得到广泛的研究和应用，并成为超导电子器件的核心部件。实际使用中的约瑟夫森结总处于某一电路之中，因此，利用等效电路理论来研究和分析约瑟夫森结的物理行为是一种很有效的方法。在各模型中，其物理行为均可用微分方程来描述，但这些方程大多不易直接求解析解，因而发展了很多间接解法^{[4]、[5]}。其中，利用电路模拟（RCSJ 模型和 RSJ 模型等等），如图 1、图 2 所示，并用数值计算来研究约瑟夫森结的方法最直接，简易。

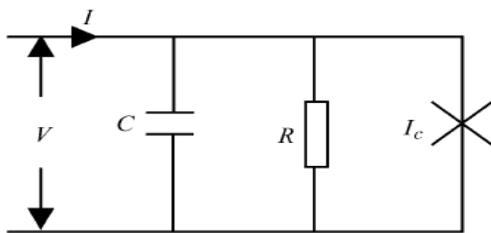


图1: RCSJ 模型等效电路
Resistively Capacitance Shunted Junction
Matlab 模拟结果及分析

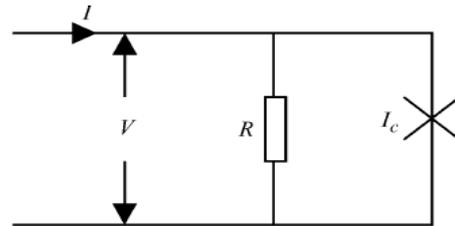


图2: RSJ 模型等效电路
Resistively Shunted Junction

a. 约瑟夫森结的直流 I-V 特性

由 (2) 式可知约瑟夫森结平均电压为：

$$U = \frac{\hbar}{2e} \omega_c \langle d\phi / d\tau \rangle \quad (5)$$

因此，计算机模拟约瑟夫森结伏安特性时可用 $i_d - \langle d\phi / dt \rangle$ 曲线代替 I-V 特性曲线。

计算时用函数 mean() 近似地计算电压平均值，可以得到比较精确的结果，绘出的 I-V 特性曲线如图 3、图 4 所示。

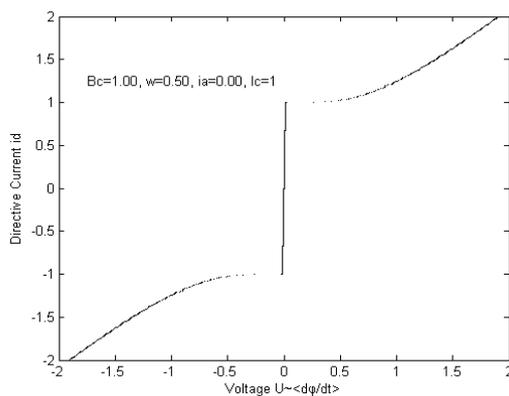


图3: 约瑟夫森结直流 I-V 特性曲线
Josephson Junction DC I-V characteristic curve

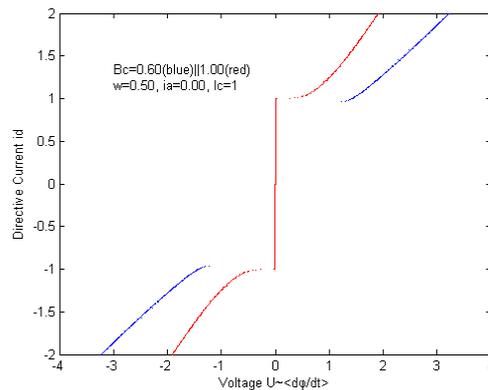


图4: 约瑟夫森结直流 I-V 特性曲线
Josephson Junction DC I-V characteristic curve

分析：从图中可以看出，约瑟夫森结注入直流电流后 ($I_c = 1$)，当电流 $I_d < I_c$ 时， $U=0$ ，此为约瑟夫森结的超导态电流；当 $I_d = I_c$ 时是最大临界电流；当 $I_d > I_c$ 时， $U \neq 0$ ，

此时约瑟夫森结中的电流由正常态电流和超导电流组成。电容的存在并没有改变约瑟夫森结的性质，但会使得电压产生滞后，且随着电容的增大，滞后现象会增强，如图 4 所示。

b. 约瑟夫森结的交流 I-V 特性

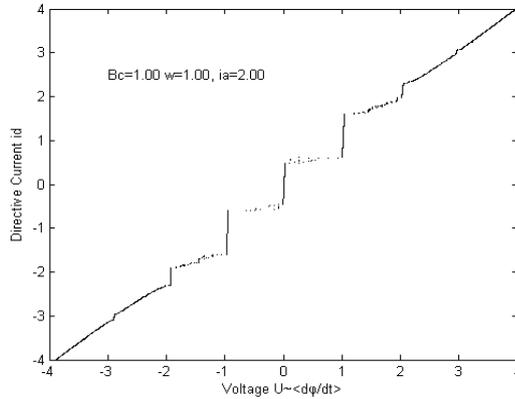


图5: 约瑟夫森结交流 I-V 特性曲线
Josephson Junction AC I-V characteristic curve

当同时向约瑟夫森结注入直流电流 i_d 和交流电流 i_a ，交流 I-V 特性曲线上出现台阶现象，如图 5 所示。

数学计算的结果证明了这些台阶出现在：

$$U_n = \frac{n\hbar}{2e} f \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

对于无量纲化的结果来说，交流台阶出现在：

$$\left\langle \frac{d\phi}{d\tau} \right\rangle_n = n\omega \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

c. 约瑟夫森结的高度非线性特性

从上述无量纲化过程中，可以知道归一化电压 u 的表达式为：

$$u = \frac{d\phi}{d\tau} = V \sqrt{\frac{2eC}{\hbar I_c}} \quad (8)$$

因此，画分岔图、相图和庞加莱截面时纵轴就是归一化电压 u 。下面给出了通过 Matlab 模拟计算得到的非线性混沌现象的分岔图、相图、庞加莱截面及功率谱，也给出了一些简要的分析方法。

i. 通向混沌的道路

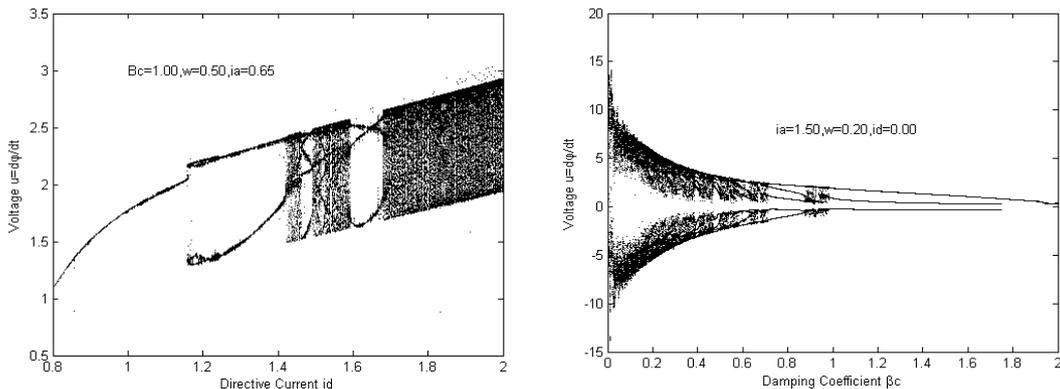


图6: 系统 u 随参数 i_d 的分岔图

图7: 系统 u 随参数 β_c 的分岔图

岔图

The bifurcation diagram of U with the parameter i_d
the parameter β_c

The bifurcation diagram of U with

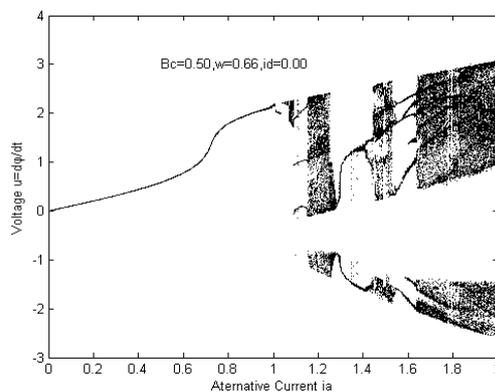
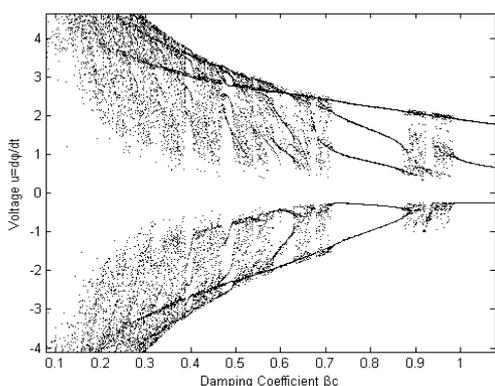


图8: 系统 u 随参数 β_c 的分岔图

图9: 系统 u 随参数 i_a 的分岔图

The bifurcation diagram of U with the parameter β_c
the parameter i_a

The bifurcation diagram of U with

通向混沌的道路有很多种^[12], 如倍周期分岔、阵发性方式、茹厄勒——塔肯斯道路等。它们是具有普适性的, 很多动力学系统随着参数的改变会以倍周期分岔或阵发性的方式进入混沌状态, 在混沌区中, 由于阵发性的作用, 又会出现一些具有周期性的窗口。如图 6, 图 7, 图 8, 图 9 所示, 它们分别是约瑟夫森结电压 u 随参数 i_d 、 β_c 、 i_a 的分岔图。我们先简要分析图 6 和图 7, 然后在 ii 中用相图、时序图、庞加莱截面和功率谱着重分析图 9。

图 6 是以 i_d 为控制参数($0.8 < i_d < 2.0$), 其他参数为($\beta_c=1, \omega=0.5, i_a=0.65$)时, 得到的 u 随 i_d 变化的分岔图。当 $0.8 < i_d < 1.15$ 时, 系统处于 1 周期状态; 当 i_d 等于 1.15 时, 系统进入 2 周期状态, 接着是 4 周期状态、6 周期状态、4 周期状态; 当 $1.24 < i_d < 1.43$ 时, 系统又处于 2 周期状态; 当 $1.43 < i_d < 1.6$ 时, 系统处于内部有周期窗口的混沌状态; 当 $1.6 < i_d < 1.68$ 时, 系统是 3 周期状态; 当 $1.68 < i_d < 2.0$ 时, 系统处于混沌状态, 且内部有周期窗口出现。从图 6 我们看到了不完全级联的过程, 即随直流电流的增加, 系统由 1 周期解(单周期的运动)进入到 2, 4, 6 周期解(多周期的运动), 然后返回到 4, 2 周期解, 之后才进入混沌状态, 而没有直接进入混沌, 这称为不完全级联; 在选择参数范围内, 系统随 i_d 的

增加以阵发方式进入混沌状态，且内部有周期窗口。

图7, 图8(局部放大图)是以 β_c 为控制参数($0 < \beta_c < 1.5$), 固定其他参数($i_d = 0, \omega = 0.2, i_a = 1.50$)时, 得到的 u 随 β_c 变化的分岔图。从图中很容易看出: 随着参数 β_c 的减小, 周期运动状态和混沌状态会不断交替出现, 且混沌区中含有较狭窄的周期窗口, 最后完全进入混沌状态; 陆续出现周期1, 周期3, 周期5, 周期7, ... 的周期状态区, 且周期状态区域逐渐变窄, 直到消失; 在选择的参数范围内, 系统随 β_c 的减小以阵发性方式进入混沌状态; 随着参数 β_c 的减小, 系统由周期状态进入到混沌状态的过程是级联过程。

ii. 混沌现象的分析

图9是约瑟夫森结电压 u 随参数 i_a 的分岔图 ($0 < i_a < 2$)。由图中可以看出, 它与前面两种情况不同, 该条件下系统是通过倍周期分岔到混沌状态, 再由阵发性方式到达周期状态的。由于单用一种方法对混沌进行研究时, 在一些情况下并不能达到很好的效果。比如相轨道很密时不易分出是几个周期; 画庞加莱截面时两点靠得太近而误以为是单周期, 等等。因此, 我们用四种方法相互比较对混沌进行研究, 分别是相图、庞加莱截面、功率谱和时序图。

周期状态区、混沌状态区和周期窗口在分岔图中显而易见, 在此就不列举了。我们截取有代表性的几个值进行研究, 得到如下图像。

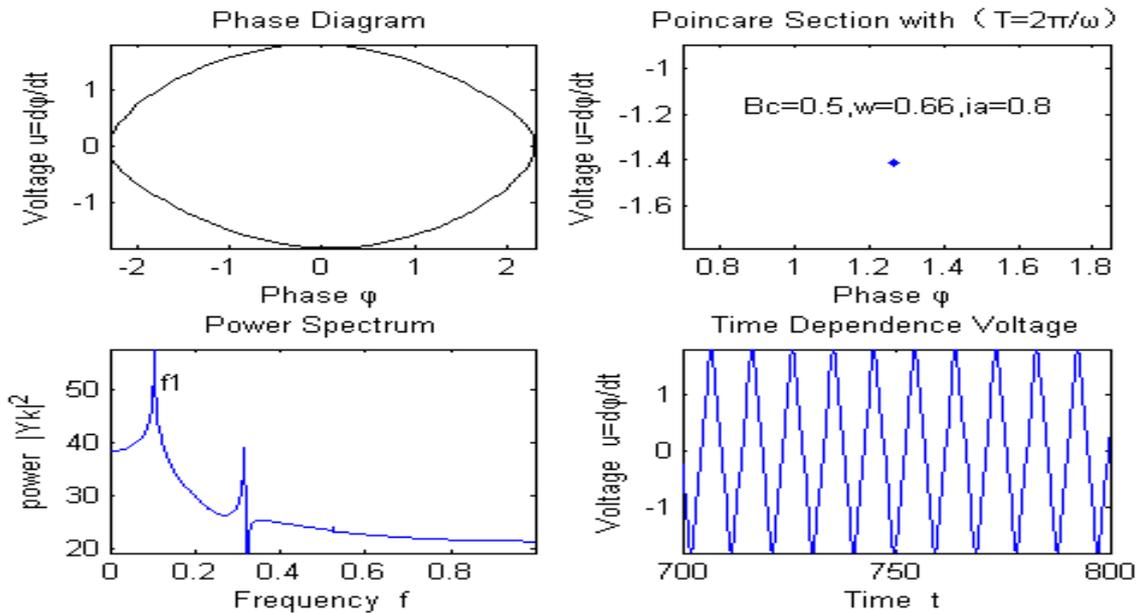


图10: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=0.8$)
Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=0.8$)

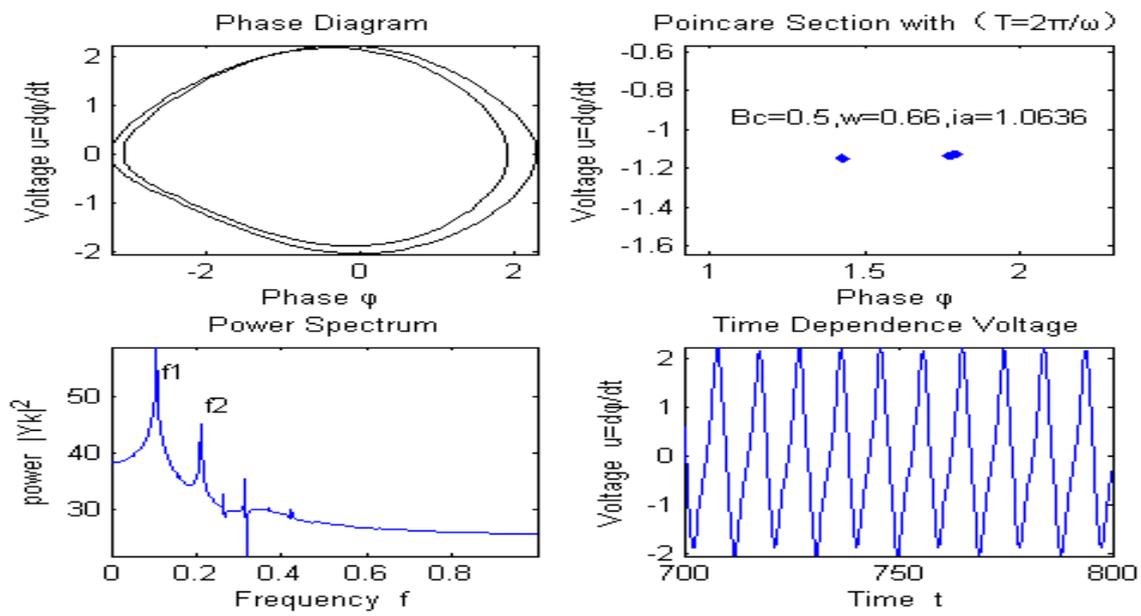


图11: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.0636$)
Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.0636$)

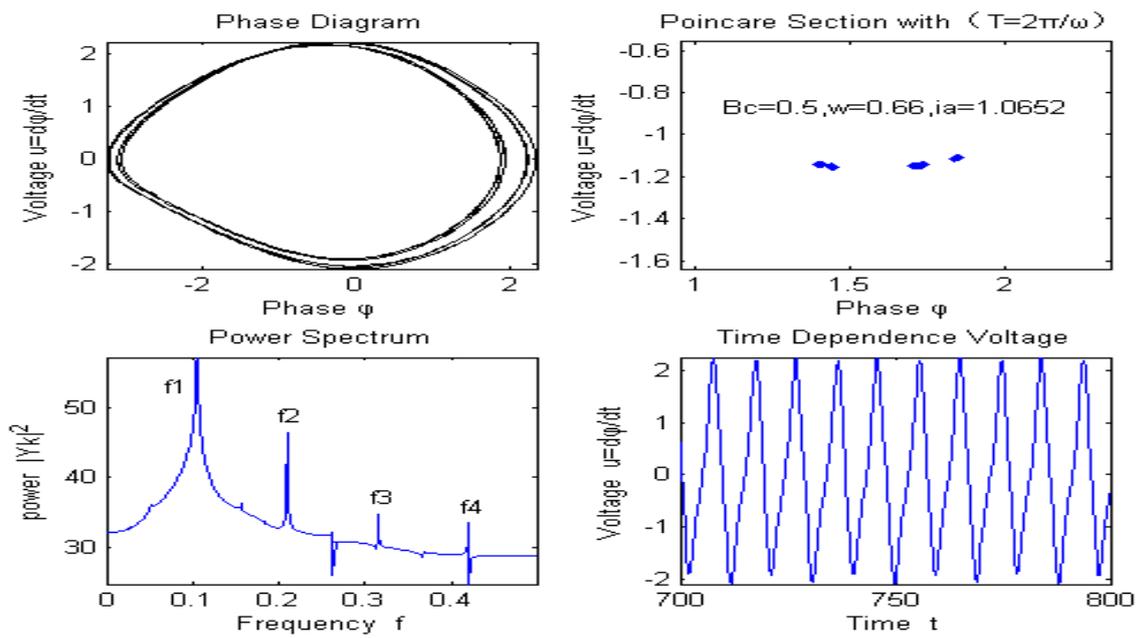


图12: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.0652$)
Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.0652$)

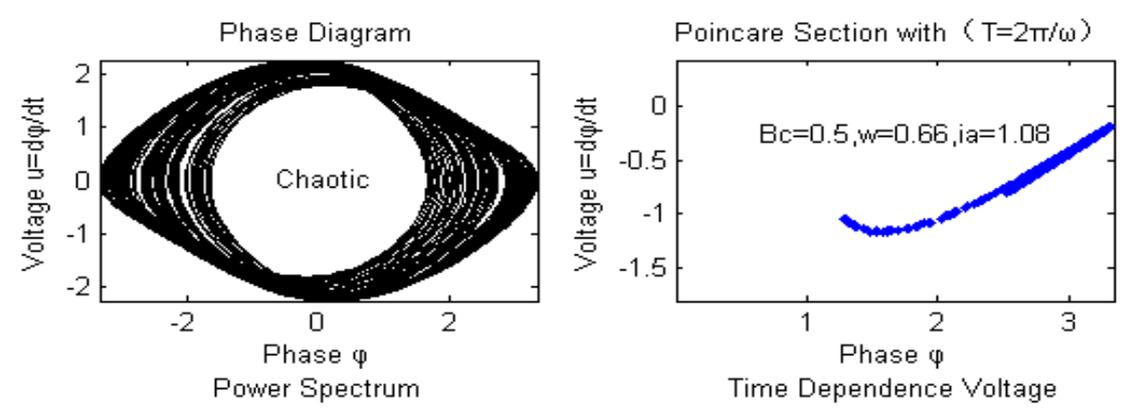


图13: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.08$)
Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.08$)

图13: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, ia=1.08$)
 Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, ia=1.08$)

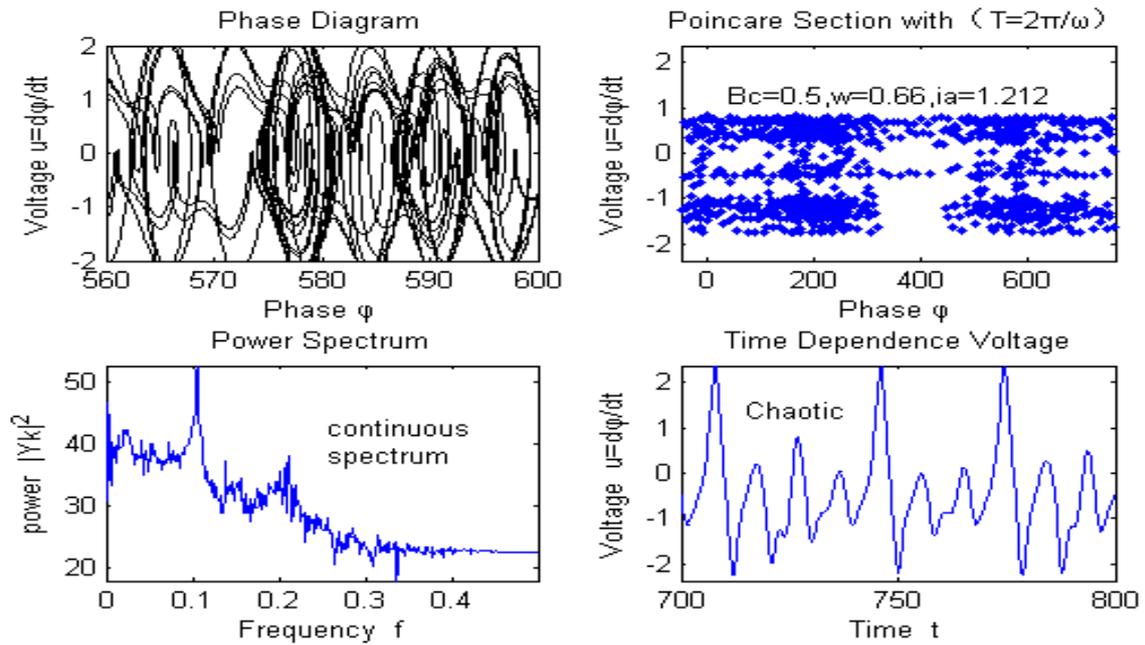


图14: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, ia=1.212$)
 Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, ia=1.212$)

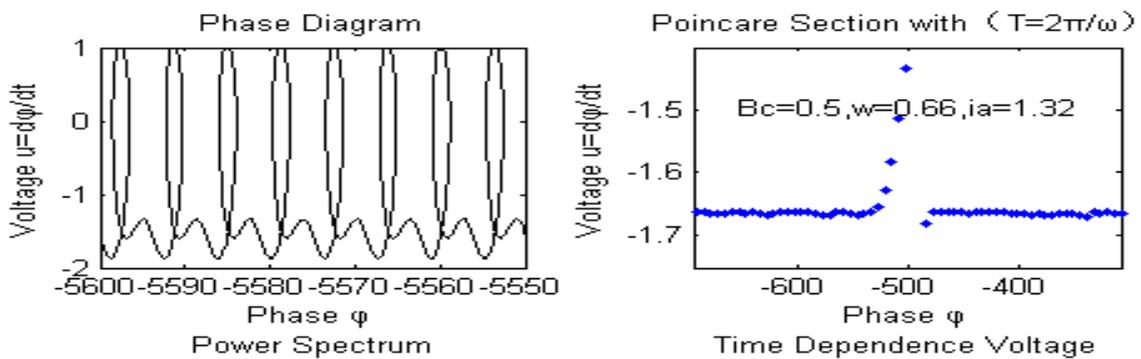


图 15: 系统相图 ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.32$)

Phase Diagram of The System ($B_c=0.5, w=0.66, i_a=1.32$)

分析: 从分岔图中可以看到, $i_a < 1$ 时系统处于单周期状态, 在 $i_a = 1$ 附近因阵发性而进入二周期, 然后因倍周期分岔进入混沌状态, 图 10~13 是取这一过程中的几个特殊点绘制的分析图像。可以看出图 10、图 11、图 12 分别表示单周期、二周期和四周期, 图 13 则表示系统进入混沌状态。图 13 与图 14 比较, 前者的庞加莱截面还是清晰的线, 而后者则是分片密集的点阵; 前者功率谱有局部出现噪声背景 (连续谱), 而后者都是连续谱。这是因为 $i_a = 1.08$ 时, 倍周期分岔还在进行中, 还有一点规律可循, 而 $i_a = 1.212$ 时, 系统已经完全进入混沌状态。图 15 表明 $i_a = 1.32$ 时, 系统又由阵发性进入周期状态, 然后再次进入混沌状态, 其间有微小扰动 (从时序图中看出)。

(来源江苏科技大学数理学院约瑟夫森结 I-V 特性及非线性数值模拟)

观察法: 参加和协助了超导量子比特的测量工作。测量了单个超导约瑟夫森结的 IV 曲线, 跳变电流等重要参数。并通过理论实验对比得出临界电流和有效温度。
直流约瑟夫森效应 当直流电流通过超导隧道结时, 只要电流值低于某一临界电流 I_c , 则与一块超导体相似, 结上不存在任何电压, 即流过结的是超导电流。但一旦超过临界电流值, 结上即出现一个有限的电压, 结的性状过渡到正常电子的隧道特性。图 1 给出了典型的 I-V 特性曲线。这种超导隧道结能够承载直流超导电流的现象, 称为直流约瑟夫森效应。对于典型的结, 临界电流一般在几十微安到几十毫安之间。

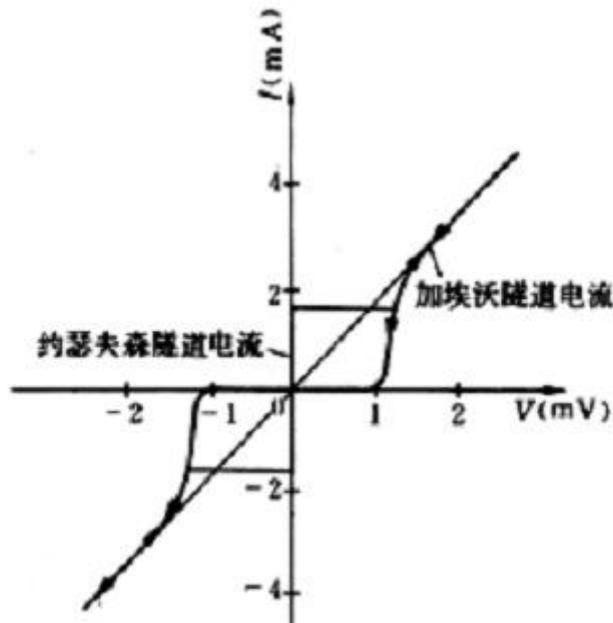


图1 Sn-SnO_x-Sn 结构的电流和电压关系

超导隧道结的临界电流对于外加磁场十分敏感。I_c 不是外加磁场的单调函数，而是随着外加磁场的增高，呈现如图 2 所示的周期性变化，类似于光学中的夫琅和费衍射图样。相邻两最小值之间的磁场间隔 H₀ 与结面积的乘积正好等于一个磁通量子，即 $\phi_0 = h/2e = 2.07 \times 10^{-15}$ 韦伯。

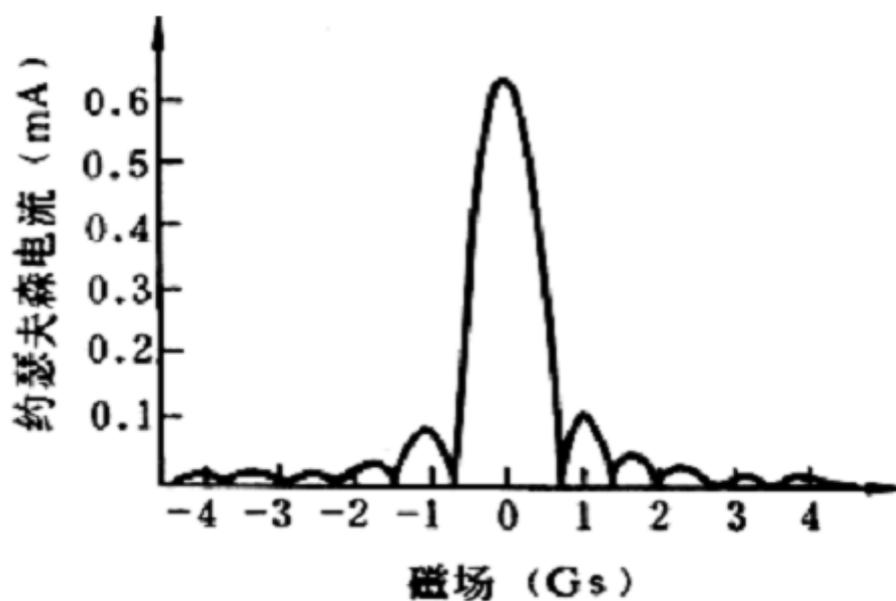


图2 Sn-SnO_x-Sn 结的约瑟夫森电流和磁场的关系

交流约瑟夫森效应 如果在超导结的结区两端加上一直流电压 V (当然，这时电流大于临界电流)，在结区就出现高频的超导正弦波电流，其频率与所施加的直流电压成正比，有如下关系式

$$h\omega / 2\pi = 2e/V \quad \text{或} \quad \nu = (2e/h)V$$

比例常数 $2e/h = 483.6 \times 10^6 \text{ Hz}/\mu\text{V}$ 。这时，结区以同样的频率 (若所加电压是几微伏，则在微

波区域；若为几毫伏，则在远红外波段）向外辐射电磁波。超导隧道结这种能在直流电压作用下，产生超导交流电流，从而能辐射电磁波的特性，称为交流约瑟夫森效应。

如果用频率为 ω 的微波辐照约瑟夫森结，当结的约瑟夫森频率 ν 等于 ω 的 n 次倍频，即

$$n\nu \sim 2eVn/h \quad (n=0,1,2,\dots)$$

时，外加微波和结辐射的电磁波发生共振，则在 $I-V$ 特性上可以测到恒压电流，随着 $n=0,1,2,\dots$ ，在 $I-V$ 特性上出现阶梯效应，如图3所示。有人以10GHz的输入频率已观察阶梯数高于500。呈现约瑟夫森效应的结构，通常称为约瑟夫森结、超导结或弱连接超导体。

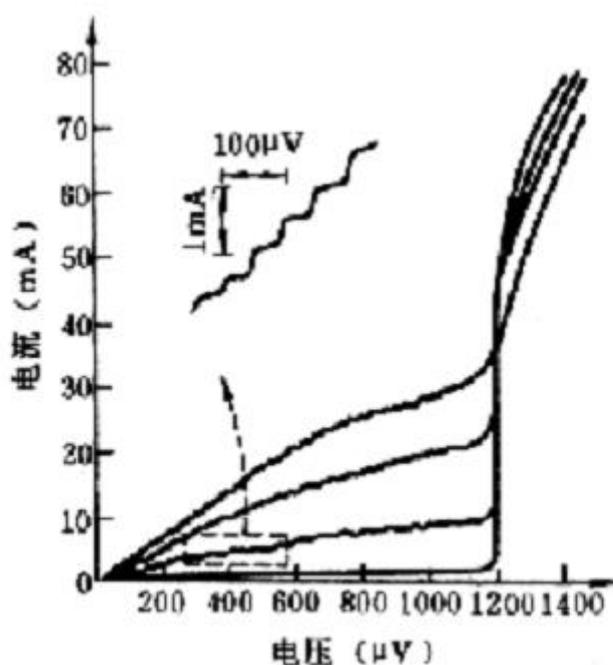


图3 Sn-SnOx-Sn结的直流常电压-电流阶梯

(来源:百度搜索——约瑟夫森效应的原理与应用)

活动总结：普及了我关于超导的认识，超导计算使计算机有更快的运算速度，将所学与生活实际结合，科技发展使实验变得更加精确，实验更加方便。我观察了实验室一些大型实验器材，惊叹于它们使实验更加方便的同时，也对设计这些实验器材的科技十分发达。增进了我学习物理的兴趣。同时也使我对与时俱进的物理发展有了较浅层面的了解，理论要和实际相结合需将理论学好，不能厌烦于理论的枯燥，否则也无法进行实验。对于高中的物理学习

增加一份坚定。

导师评价：首先参观了实验室，了解了低温制冷设备原理。包括可以达到 10 毫开尔文（约零下 273 摄氏度）的稀释制冷机、300 毫开的氦 3 制冷机、4.2 开的氦 4 恒温器等。了解了低温实验的基本方法和技巧。

阅读了关于量子信息和量子计算的科普文献，对超导量子比特原理和特性有所了解。在此基础上，参加和协助了超导量子比特的测量工作。测量了单个超导约瑟夫森结的 IV 曲线，跳变电流等重要参数。并通过理论实验对比得出临界电流和有效温度。

通过这些活动，了解了前沿科学的研究方法和手段，培养了创新思维，为今后进一步从事科学研究、开展创新工作打下了基础。

参考文献：百度搜索——约瑟夫森效应的原理与应用

江苏科技大学数理学院约瑟夫森结 I-V 特性及非线性数值模拟

百度百科约瑟夫森结

关于石墨烯应用于太阳能研究

陆安然

(金陵中学，南京)

摘要：制备石墨烯并且对石墨烯的相关性质进行物理和化学等多方面的研究，理想目标是将研究成果应用于太阳能。主要实验是针对前人实验的再现以及拓展。目前的研究结果：石墨烯上沉积钴团簇，因为钴具有磁性，我们想要研究钴团簇对石墨烯输运性质的影响；因为石墨烯的电子具有弱局域性，我们希望研究石墨烯电子在磁性散射的情况下输运性质的变化。

关键词：石墨烯 太阳能 制备 光刻

石墨烯（Graphene）是一种由碳原子以 sp^2 杂化轨道组成六角型呈蜂巢晶格的平面薄膜，只有一个碳原子厚度的二维材料[1]。石墨烯一直被认为是假设性的结构，无法单独稳定存在^[1]，直至 2004 年，英国曼彻斯特大学物理学家安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫，成功地在实验中从石墨中分离出石墨烯，而证实它可以单独存在，

两人也因“在二维石墨烯材料的开创性实验”为由，共同获得 2010 年诺贝尔物理学奖^[2]。

石墨烯是已知材料中最薄的一种，牢固坚硬；在室温下传递电子的速度比已知导体都要快。我们希望能开发它在太阳能方面的前景，能以它独特的优点取代硅进行太阳能的转化传递和应用。

1 实验部分

1.1 制备石墨烯

实验目的：找到石墨烯

实验步骤：1.将石墨粘在胶带上，反复对折，直到石墨被粘成碎片。

2.将粘好的胶带放在显微镜下观察，寻找石墨烯。

要求：石墨烯越薄越好。

注：寻找石墨烯本来应该用 Raman 光谱来判断的，但由于老师们的经验丰富，不需要通过 Raman 光谱来判断。所以省去了这一步骤。

1.2 光刻

一般的光刻工艺要经历硅片表面清洗烘干、涂底、旋涂光刻胶、软烘、对准曝光、后烘、显影、硬烘、刻蚀、检测等工序。

1、硅片清洗烘干方法：湿法清洗+去离子水冲洗+脱水烘焙（热板 150~2500C,1~2 分钟，氮气保护）

2、涂底

方法：

a、气相成底膜的热板涂底。HMDS 蒸气淀积，200~2500C,30 秒钟；优点：涂底均匀、避免颗粒污染；

b、旋转涂底。缺点：颗粒污染、涂底不均匀、HMDS 用量大。

3、旋转涂胶

方法：a、静态涂胶。硅片静止时，滴胶、加速旋转、甩胶、挥发溶剂

b、动态。低速旋转、滴胶、加速旋转（3000rpm）、甩胶、挥发溶剂。

决定光刻胶涂胶厚度的关键参数：光刻胶的黏度，黏度越低，光刻胶的厚度越薄；旋转速度，速度越快，厚度越薄；

影响光刻胶厚度均运性的参数：旋转加速度，加速越快越均匀；与旋转加速的时间点有关。

一般旋涂光刻胶的厚度与曝光的光源波长有关（因为不同级别的曝光波长对应不同的光刻胶种类和分辨率）：

I-line 最厚，约 0.7~3 μm ；KrF 的厚度约 0.4~0.9 μm ；ArF 的厚度约 0.2~0.5 μm 。

4、软烘

方法：真空热板，85~120 $^{\circ}\text{C}$,30~60 秒；

目的：除去溶剂（4~7%）；增强黏附性；释放光刻胶膜内的应力；防止光刻胶玷污设备；边缘光刻胶的去除。光刻胶涂覆后，在硅片边缘的正反面都会有光刻胶的堆积。边缘的光刻胶一般涂布不均匀，不能得到很好的图形，而且容易发生剥离（Peeling）而影响其它部分的图形。所以需要去除。

方法：a、化学的方法。软烘后，用 PGMEA 或 EGMEA 去边溶剂，喷出少量在正反面边缘出，并小心控制不要到达光刻胶有效区域；b、光学方法。即硅片边缘曝光。在完成图形的曝光后，用激光曝光硅片边缘，然后在显影或特殊溶剂中溶解

5、对准并曝光

对准方法:

- a、预对准, 通过硅片上的 notch 或者 flat 进行激光自动对准;
- b、通过对准标志, 位于切割槽上。另外层间对准, 即套刻精度, 保证图形与硅片上已经存在的图形之间的对准。

曝光方法:

- a、接触式曝光 (Contact Printing)。掩膜板直接与光刻胶层接触。曝光出来的图形与掩膜板上的图形分辨率相当, 设备简单。缺点: 光刻胶污染掩膜板; 掩膜板的磨损, 寿命很低 (只能使用 5~25 次); 1970 前使用, 分辨率 $0.5\mu\text{m}$ 。
- b、接近式曝光 (Proximity Printing)。掩膜板与光刻胶层的略微分开, 大约为 $10\sim 50\mu\text{m}$ 。可以避免与光刻胶直接接触而引起的掩膜板损伤。但是同时引入了衍射效应, 降低了分辨率。1970 后适用, 但是其最大分辨率仅为 $2\sim 4\mu\text{m}$ 。
- c、投影式曝光 (Projection Printing)。在掩膜板与光刻胶之间使用透镜聚集光实现曝光。一般掩膜板的尺寸会以需要转移图形的 4 倍制作。优点: 提高了分辨率; 掩膜板的制作更加容易; 掩膜板上的缺陷影响减小。

6、后烘

方法: 热板, $110\sim 1300\text{C}$, 1 分钟。

7、显影

显影中的常见问题: a、显影不完全。表面还残留有光刻胶。显影液不足造成; b、显影不够。显影的侧壁不垂直, 由显影时间不足造成; c、过度显影。靠近表面的光刻胶被显影液过度溶解, 形成台阶。显影时间太长。

8、硬烘方法

热板, $100\sim 1300\text{C}$ (略高于玻璃化温度 T_g), $1\sim 2$ 分钟。

2 结果与讨论

2.1 制备石墨烯

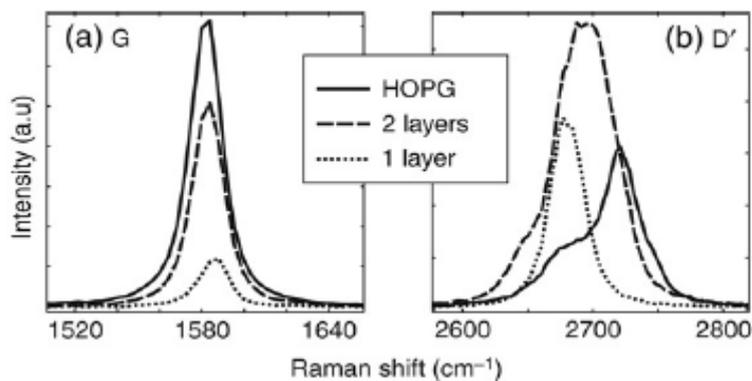
实验结果: 以失败告终。

实验总结: 这个实验具有一定的偶然性, 需要一定的运气。就算是导师, 为了寻找到一块好的石墨烯、薄的石墨烯, 也常常需要在显微镜下看上好几个小时, 甚至几天几个月。因为研究时间较短, 只寻找出了较为厚的石墨烯。因为厚度的原因对后续实验的帮助并不是很大。在对石墨烯性质的电压电极测试中多使用研究生提供的石墨烯样本。



图一: 显微镜下的石墨烯

Fig.1: Graphene under the microscope

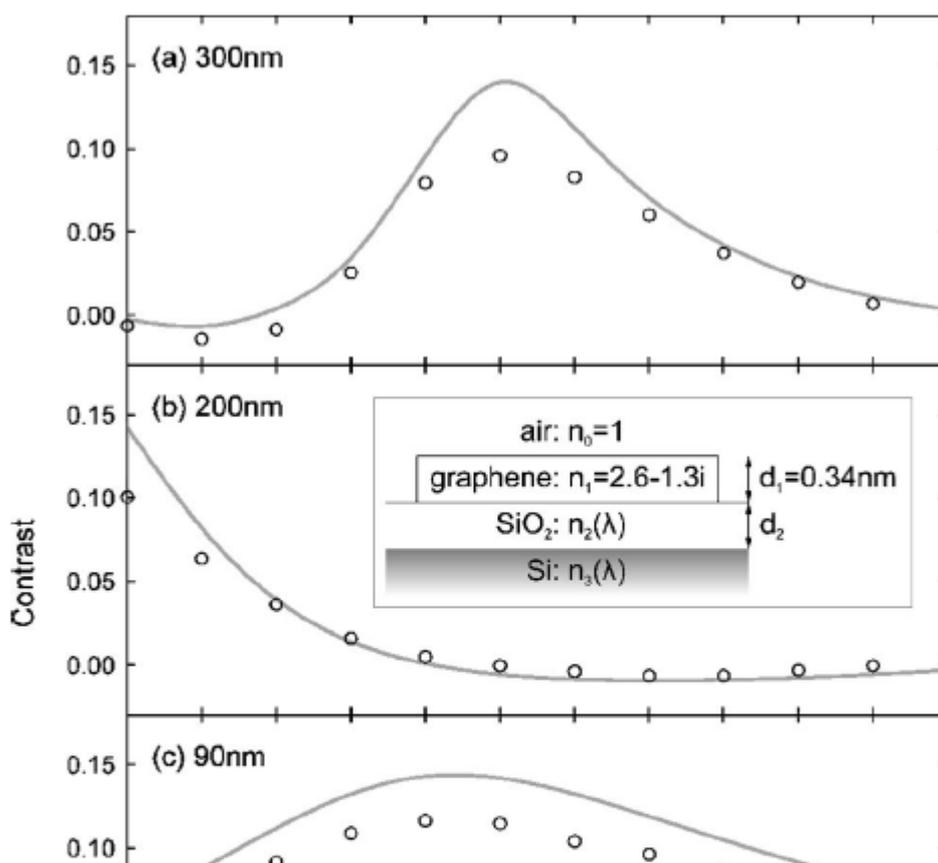


图二：拉曼光谱[3]

Fig.2: Raman spectra of the (a) G line and the (b) D0 line for HOPG (solid), double-layer (dashed) and single-layer (dotted) graphene. Peak amplitudes are scaled for clarity.

2.2 光刻

涂底使得表面具有疏水性，增强基底表面与光刻胶的黏附性。后烘减少了驻波效应并且激发化学增强光刻胶的 PAG 产生的酸与光刻胶上的保护基团发生反应，移除基团使之能溶解于显影液。最终给石墨烯压上电极，并且使用了一些器械成功观察到石墨烯的性质图像。



图三：石墨性质与硅性质对比[4]

Fig.3: Contrast as a function of wavelength for three different thicknesses of SiO₂. Circles are the experimental data; curves the calculations. Inset: the geometry used in our analysis.

3 结论

石墨烯的制备中，经验和实践反映出颜色越浅的石墨烯拥有的厚度越薄，也越容易观察出它的相关性质。由于初次实验遇到了许多困难，旨在掌握实验的手法、步骤，了解实验的过程。科学研究需要付出长时间的努力，并非一朝一夕一次实验就能得出结论的话，以后有时间的话将反复试验。

在光刻过程中，由于初次实验，烘烤不足，减弱光刻胶的强度（抗刻蚀能力和离子注入中的阻挡能力）；降低针孔填充能力导致降低了基底的黏附能力。在后来的一段时间，又重新进行了实验，在为石墨烯样本进行真空软烘时由于标准设置不得当，得到的图形并不完美。

虽然进行到目前为止，许多实验已经能够顺利的进行并且对实验步骤较为熟练，但是在对太阳能应用研究的过程中，实验仍停留在初步阶段，希望能够继续完善实验过程，通过与硅片的对比中获得一些突破。

The study of the application of grapheme in solar energy

Anran Lu

Jinling High School, Nanjing

Abstract: For the purpose of the future application in solar energy, the experiment group prepared the grapheme and used physical and chemical methods to study grapheme's relevance idiosyncrasy. We hope to improve these experiments on the base of the derived results from the predecessors. Present results reveal that the following steps are studying the cluster of Co's influence on the grapheme's transport properties because of Co's magnetism and magnetic scattering's influence on the changes of grapheme electron transport properties.

Keywords: grapheme, solar energy, preparation, photolithography

参考文献

[1]石墨烯何以结缘诺贝尔奖——《计算机世界》2010年41期

[2]神奇的石墨烯——《百科知识》2010年20期

[3] Raman imaging of grapheme——Accepted 19 January 2007 by A. Geim

[4] A. H. Castro Neto, F. Guinea, and N. M. R. Peres, Phys. World 19, 33-2007

活动总结

首先，目前的研究，涉及到的知识范围比较广，主要更侧重于应用。仅凭我在学校所学习的课本知识，是不能够完全体会到的。所以本人将在以后的研究性学习中不断实践、摸索。

其次，文献主要是以英文为主，有较多的专业术语，翻译起来困难较大。现在我仅能依靠图片和数据分析来了解石墨烯。

最后，如果想认真做好一份科学研究，是需要付出极大的努力与辛苦的。先不用说文献中那些科学家们在研究的过程中经历了成千上万次失败才有了后来的成绩，就算是我们做的这些小实验，也常常会遭遇到失败。比如说我们坐在显微镜下看好几个钟头，也不一定可以找到自己满意的石墨烯。这些实验并不像书中的那些物理、化学实验一样，在没有做之前就已经知道了结果，实验只是为了掌握操作技能。我们现在所做的实验，每一步都是全新的探索，在做之前，根本无法预测这次实验会否成功。同时研究石墨烯涉及到的药品有的具有一定的危险性，这才更考验了我们的能力。从这些失败中，可以总结经验教训，完善自己的实验过程，以便获得更好的实验结果。

导师评价：

根据南京大学的高中生走进实验室的计划，安排金陵中学陆安然同学到唐仲英楼物理国家重点实验室王广厚院士的纳米团簇组学习，这一年来她每个星期四下午都会我们团簇实验室来做实验。她做的课题是石墨烯的量子输运性质的研究，首先学会了用手撕法制备石墨烯，并用 Raman 光谱法判断单层石墨烯，接着学会了用 lift-off 光刻工艺给石墨烯压上电极，利用磁控溅射法镀上一层金膜，做成石墨烯四电极样品，并对石墨烯的输运性质进行了初步测量。

该生学习态度积极，善于思考并提出问题，动手能力强，在实验室学会了基本的实验操作，培养了良好的实验习惯，受到了实验室众位老师及学长的一致好评！

导师：王广厚 指导老师：韩俊号

基于自旋跃迁的分子磁性器件

伍芳羽，徐佳迪

(金陵中学，南京)

摘要：本课题用已有的含 Fe 自旋交叉配合物作为原料制备薄膜，然后用膜对外磁场的响应探索基于分子基磁性的动力器件。通过热诱导磁体的磁性变化实现温度控制磁变为动力，进而发展到用光能控制分子的磁性变化，实现太阳能转化为动能，甚至电能等。若研究成功，即可以太阳能来驱动一些大型机械工作，避免对化石能源的过度消耗。从而通过开发

太阳能这种新能源，来应对当前面临的能源危机问题，造福人类社会。

关键词：分子磁、太阳能、温度、配合物

在含有亚铁离子 Fe^{2+} 的配合物中，当配体场和电子成对能相当的时候，配体场的作用可以在一定温度范围内使亚铁离子 Fe^{2+} 以低自旋或高自旋两种状态存在，通常低温显示低自旋而高温时受热扰动成对电子吸收能量跃迁为高自旋，而后者因自旋电子数的增多使物质对外界磁场有较低自旋时有更大的吸引力，如果调整高低自旋间不停地变化就可以利用这个吸引力形成机械能，从而完成热能和机械能的转换。在这些配合物中，有相当一部分对光是敏感的，而且在光照作用下可以产生同样的高低自旋转换，所以同样的方法可以使光能转换为机械能，从而实现利用太阳光天然能源的目的。

spin-crossover film^[1]中介绍了制作基于自旋跃迁的分子磁性器件的基本理念，及一些研究成果。但所选取的物质对温度不够敏感，且其 Loop 图线稍嫌平缓，成品效果不够好。本课题整体思路是将 Nafion^[2]（一种聚四氟乙烯的阳离子交换膜）放在 Na_2SO_4 溶液中溶解，在 Fe^{3+} 中先镀一层 Fe，洗净后再在 $\text{Mn}(\text{CN})_2$ 溶液中镀一层 CN^- ，再次洗净，循环重复上述步骤，直至制成膜。

1 实验部分

1.1 测试 Nafion membrane 的阳离子配位能力

实验步骤

1. 准备 CuSO_4 水溶液 10mL，浓度为 0.1 mol / L。
2. 剪 1×1cm 的 Nafion membrane，在 1 溶液中浸泡 1 小时。
3. 取出 Nafion membrane 用蒸馏水冲洗，如果 Cu^{2+} 离子的颜色不退去，说明 Nafion membrane 可以配位到 Cu^{2+} 离子上。
4. 重复上述实验，但将 Cu^{2+} 离子改为 Mn^{2+} 离子。离子浓度同文献。即：第一层为 Mn^{2+} 离子，第二层为 $\text{Rb}^+ + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ ，然后重复实验制备多层膜。

附注：Nafion membrane 规格 0.05mm thick 15×15cm

实验记录

2011 年 10 月 20 日 17:12 开始浸泡。

1.2 辅助实验：制备 CuSO_4 晶体

实验步骤

1. 查找 CuSO_4 的溶解度： CuSO_4 在水中的溶解度是 55 克。
2. 称量 115g CuSO_4 。
3. 分几次加入烧杯中：

第一次	35g
第二次	25g
第三次	20g
第四次	20g
第五次	15g
4. 量取 200mL 水：用 100mL 规格的量筒分两次量取。
5. 将水沿烧杯内壁倒入烧杯中，并注入约 15ml 乙醇。
6. 取一枚大小适当的磁针放入烧杯中，将烧杯放在磁力搅拌器上，开启搅拌器，自动进行搅拌。

7. 用滤纸将溶液转移到另一个烧杯中。
8. 用保鲜膜裹住烧杯，扎孔，上面放个滤纸并用橡皮筋包扎好。
9. 将封口的烧杯至于一阴凉、稳定处，等待晶体生长。

附注：

- ① 注入乙醇能使晶体更好看。
- ② 滤纸能够控制蒸发水的速率，同时防止灰尘进入烧杯。
- ③ 9 中稳定的要求为放置地点无振动。

2 结果与讨论

Nafion 配位能力实验

2.1 实验现象

- ① Nafion membrane 浸泡后，分离出两层膜。
- ② 浓度为 0.1 mol/L 的 CuSO_4 水溶液颜色过浅，实验现象不明显。因而，加大浓度至 0.5 mol/L。
- ③ 浸泡一个小时候，即在 2011 年 10 月 20 日 18:12 时，Nafion membrane 上颜色不明显，与实验预想不符。

2.2 猜测原因

- ① 浸泡时间过短
- ② Cu^{2+} 离子溶液浓度较低

2.3 改进方法

将装有浸泡 Nafion membrane 的 Cu^{2+} 离子溶液的烧杯封膜，放入暗箱中长时间浸泡。

辅助实验

2.1 实验现象

- ① CuSO_4 溶液很清澈
- ② 过滤过程中，滤纸被撑破了
- ③ 晶体易向烧杯壁上扩散，结晶较小且较零散，不成形

2.2 实验新问题

晶体为什么会爬向烧杯壁，且不断爬高？

2.3 猜测原因

- ① 蒸发速率过快
- ② 温度较高
- ③ 烧杯壁的亲、疏水性的影响

2.4 改进方法

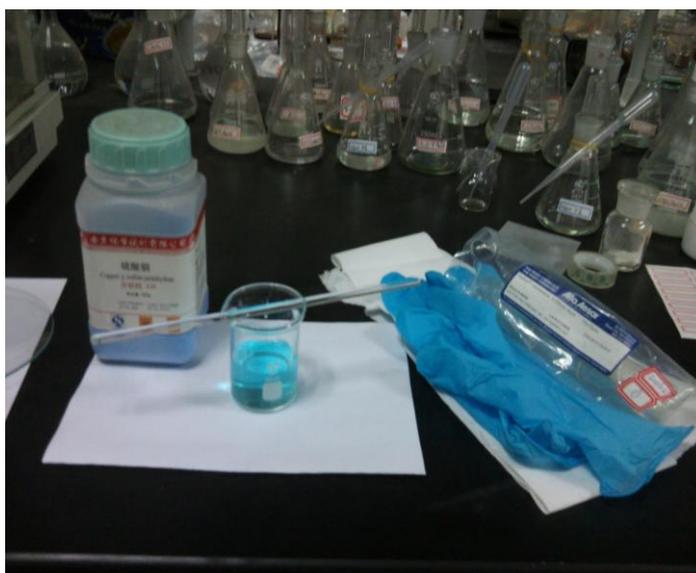
- ① 在适宜的恒温环境下进行实验
- ② 选择不同的烧杯进行实验

3 实验图片



称量仪器

器材准备



实验准备

4 结论

1. Nafion membrane 的阳离子配位能力不如预期
2. 因分子磁性器件的研究是一个科学性实验，我们只参与了其中的小部分课题，以学习较严格的实验操作，培养基本的实验习惯为预期成果，故不能提供完整的分子磁性器件的研究结论。

参考文献

1. A facile route for the preparation of nanoparticles of the spin-crossover complex $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})](\text{BF}_4)$ in xerogel transparent composite films†
Christophe Faulmann,^{*a,b} Joe Chahine,^{a,b} Isabelle Malfant,^{a,b} Dominique de Caro,^{a,b} Benoît Cormary,^{a,b} and Lydie Valade,^{a,b}
Received 15th November 2010, Accepted 4th January 2011
2. Nafion–Carbon Nanocomposite Membranes Prepared Using Hydrothermal Carbonization for Proton-Exchange-Membrane Fuel Cells
Zhanli Chai, Cheng Wang, * Hongjie Zhang, Cara M. Doherty, Bradley P. Ladewig, Anita J. Hill, and Huanting Wang *
Adv. Funct. Mater. 2010, 20, 4394–4399

导师评价

伍芳羽和徐佳笛同学在我课题组学习期间多方面表现很突出，主要包括：

1. 兴趣：两位同学在没有中学课程安排的时候积极要求来本课题组从事实验活动，如果有课程冲突则调整到周末来做实验，他们都表现出对科研极大的热心和浓厚的兴趣，这是成为一个合格的科研工作者的一个最基本的素质。
2. 文献检索：利用南京大学的科研平台，他们都能很快掌握几个重要的文献检索方法，在很短的时间内完成交给的文献检索作业，特别是通过阅读文献能对所给课题方向充分的了解，并能很好抓住课题的主要研究目的，写出相关的心得。
3. 科研实验：在本实验室，他们已经从事一些小的但很重要的科研实验，比如单晶的培养、具有自旋交叉磁性质的薄膜的制备等。

期望：希望能安排好科研和学习的关系，在南京大学的科研对目前的学习肯定有辅助作用，但不能因为对科研的兴趣而耽误目前的学业，同时，如果有多余的时间，鼓励来实验室参加更多的科研活动。

导师：宋友

超分子材料的形态和应用

唐辰

(金陵中学，南京)

摘要：本文简单阐述超分子的形态结构以及一些转化和机理，并描述了超分子材料的发展概况，展望超分子材料的发展前景及其开发应用潜力。

关键词：超分子

“超分子”兴起于 20 世纪 80 年代后期，这一概念的提出来源于三位诺贝尔化学奖的得主——莱恩、佩德森、克拉姆。超分子材料是通过分子间力使两种或两种以上化学物种缔合在一起而形成的高度复杂的组织化整体。以前分子化学研究的是分子个体，超分子化学则是研究分子群体。分子通过分子间的相互作用形成具有有序结构的聚集体，往往表现出单个分子或低级分子聚集体所不具有的特征与功能。因此，研究多种分子间弱相互作用的协同性、方向性和选择性，分子识别和分子聚集体的构筑，分子聚集体中的能量传递、物质传输和化学转换等对于解释一些新的科学现象、并提出新的理论具有重要意义。

1 材料的形成

虽然超分子已部分超越了传统化学范围，但超分子的概念仍属于分子范畴。超分子源于分子，高于分子，它的有序性高级结构，包含了更丰富的结构信息。分子与超分子之间存在着千丝万缕的联系，但也有区别。小分子是单个独立体，超分子是由若干个分子的有序集合体，集合体是由分子间力维系。它的形成原因可归咎于以下两点。

1. 能量的降低因素。分子聚集在一起，依靠分子间的相互作用可以使体系的能量降低，常见的因素有：

(1) 静电作用包括盐键，即带电基团键的作用，

如正负离子： $R-NH_3^+ \dots -OOC-R$;



正负基团：离子—偶极子、



偶极子—偶极子作用等。



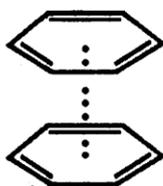
.....

(2) 氢键包括常规氢键 $X-H \dots Y$ ($X, Y = O, F, N, C, Cl$); 也包括非常规氢键，如 $X-H \dots \pi$, $X-H \dots M$, $X-H \dots H-Y$ 等。

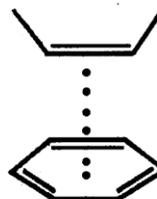
(3) $M-L$ 配键

金属原子和配位体形成的共价配键为主

(4) $\pi \dots \pi$ 堆叠效应。它既可以按面对面的形式，也可以按边对面对的形式。



面对面堆叠



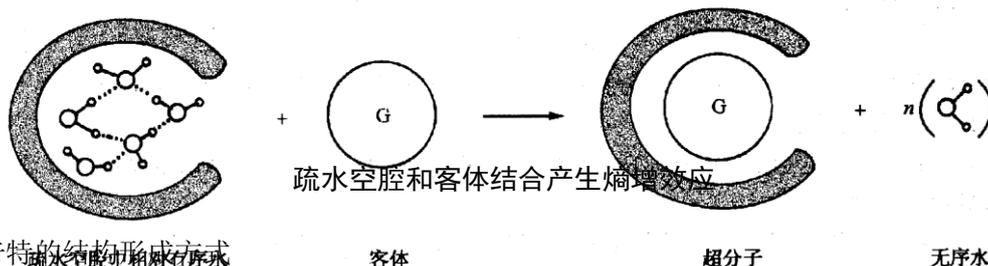
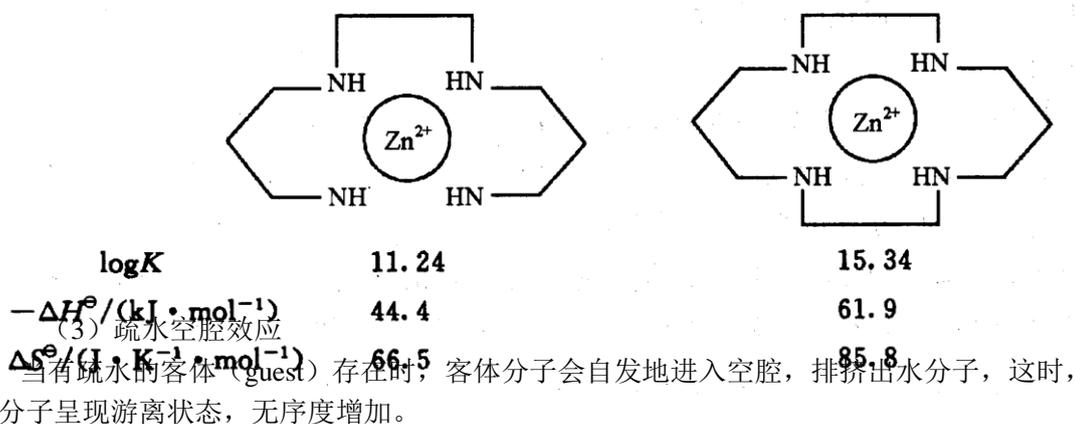
边对面堆叠

(5) 诱导偶极子—诱导偶极子作用。即色散力：范德华力

(6) 疏水效应溶液中疏水基团或油滴的相互聚集，将增加溶液中水分子间的氢键数量，使体系能量降低。

2. 熵增加因素。

- (1) 螯合效应 $M(H_2O)_6 + L \rightarrow ML + 6H_2O$
 (2) 大环效应

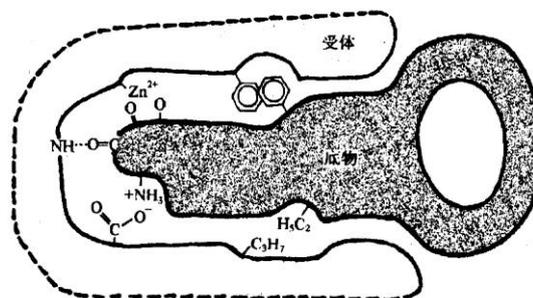


2 奇特的结构形成方式

(1) 自组装

生命体的精密组织需要有特异性的分子识别能力, 配体和受体间的特异选择性是一种在生命系统中具有重要地位的分子识别体系。识别是对识别对象所提供信息的接收、鉴别、处理和判断的过程。人们把生物体系中一些识别过程(酶与底物、抗体与抗原以及细胞之间的识别)比喻为“钥匙”机制。一把钥匙开一把锁的说法很形象地表现出上述过程的高度专一性。但是钥匙之间的机械性匹配无法表达上述识别过程所具有的“智能化”特点。如人对人的识别, 并不要求同时提供被识别一方的所有信息, 有时通过朦胧的背影或只言片语或说话的声调就能作出准确判断, 酶与底物、抗菌素体与抗菌素原之间的识别过程也存在着这种“智能化”的特征。分子是无生命无意识的, 通过分子识别结合成超分子情形就大为不同, 能够体现智能化的特点, 这是超分子整体功能的神奇性所在。没有分子识别就没有今天超分子化学光辉的一页。化学信息影响着分子识别, 化学信息来自分子的组成与结构以及相互作用的动态过程。分子识别是底物根据受体的化学信息调节自身的相应结构形态来适应受体, 底物作出调整也必然反作用于受体, 受体也随之作出相应的调整与变化, 彼此相互诱导, 是一个配合默契的双向选择过程。一个分子可以从另一个分子的几何形状和大小来识别, 也可以根据氢键的形成条件和静电力等化学因素来识别。分子识别是由给定的受体和底物在结合与选择时发生能量变化和空间因素提供的信息所规定。底物和受体之间识别的过程要求非共价键的分子间作用力的相互配合, 使得彼此在空间因素和电子因素都能达到近乎完美的程度。

所以分子识别被定义为：一个底物和一个受体分子有着共同的特殊功能，彼此同时进行结合和选择的过程。分子识别是配对物之间在几何上和相互作用上的互补性，发展为几何上的“锁和钥匙”关系以及能量上双重互补性。分子识别过程是一个双方互动，彼此逐渐变化来满足对方达到完美结合的过程。通过分子受体的设计，一些识别过程已得到深入研究。例如金属正离子对穴状化合物的球形识别、大环穴状配体对有关底物的四面体识别，以及关于中性分子的结合识别等。



锁和钥匙原理示意图

(2) 自组织

自组织通常指许多相同的分子，由于分子间力的协同作用而自动组织起来，形成有一定结构但数目可以多少不等的多分子聚集体。单分子层、膜、囊泡、胶束、液晶等都是很好的例子，在人工合成时，常采用形成 LB 膜的方法，自组织成单分子层或多层膜。这里要着重指出的是，将上节的组装体与这种分子聚集体结合起来，形成操纵光子、电子或离子的功能是构造分子器件的有效途径。

(3) 自复制

超分子的自复制作用就相当于 DNA 的自复制。对于后者，首先是 DNA 双螺旋的两瓣拆开，两根母瓣即形成模板，它们的复制原理是一样的。

3 应用前景

在整个宇宙进化史上，化学进化是一个不可或缺的进化链中的一环，而且它还承担着从无生命进化向有生命进化的过渡。在有机人工合成诞生之前，人们一直认为生命体有着与无生命体无法通航的特殊的活力因素。这种特殊的活力因素与宗教神秘主义联系在一起，曾一度阻碍了化学家涉足有机化学领域。但是当 1828 年维勒人工合成尿素之后，宣告了生命活力论的破产。自此，化学家以前所未有的热情涌入有机化学研究，使有机化学在短短几年中成为化学领域的成熟学科。有机化学的产生促使化学家从化学的分子层次上试图对地球上生命诞生的奥秘给予解释。经过研究，化学家发现生命体内没有特征的作用力、没有特殊的原子及人工无法合成的分子。尽管如此，化学家却一直无法解释无生命的化学分子如何过渡到具有生命特征的生物功能分子，因为，化学家虽然在实验室里合成出大量有机分子和生命体中的高分子，但是不能使所有合成的分子带上生命体内的分子才具有的生物活性，如自组织、自催化、能转载、加工信息的功能特性。在超分子出现之前，化学家曾构建了各种方式试图对这一现象给予合理的解释，但是都不尽如人意。例如，奥巴林的团聚体假说、贝尔纳的类蛋白的微球体理论、埃仑司弗特的生命之池理论以及日本的汇上不二夫的海之颗粒理论和美国劳利斯等提出的金属泥土理论，这些假说和理论试图从不同的角度解释化学进化的“瓶颈”问题，但是收效甚微。这些理论之所以不能有效地解释化学进化如何过渡到生物进化，其原因就在于在化学家的思维观念中，一直将化学进化看作是一种结构进化，而生物进化过程则表现出功能进化的特征。

超分子化学的出现为化学进化过渡到生物进化提供了一条可行的途径，正如前文所指，

超分子所具有的自组织、复杂性已经显示出它具备了生物体所要求的基本功能特征：自组织、识别、匹配等。这样，化学就在超分子层次同生物学建立了一种互通信息的桥梁，二者之间的密切联系具有了可以操作的现实基础。一方面，化学家能借用普通的化学分子构造出向生物体的目的性过渡的超分子；另一方面，生物进化也通过对超分子的研究反观化学进化的进程。通过化学家对生物体的详细考察，化学能够在精细的分子水平和方式上对物体的功能的发挥提供详细解释。如此，化学与生物学越走越近，并在某种程度上可能融为密不可分的体系。

同时，化学从生物学那里接受了挑战。在超分子化学中，对分子信息和功能的强调使得原本只有生物学才有的研究对象拓展到化学层次上，化学分子由此成为生命组织的逻辑分子，依靠这种逻辑分子，生物体能够进行秩序化、规则化的组织，遁自然产生的规律进化和发展。

参 考 文 献

2. 《奇妙的软物质：材料物理与化学》，闻建勋；
3. 《分子智能化猜想——超分子化学与化学信息论》，宋心琦、周福添；
4. 《软物质与硬科学》，德热纳、巴杜；

导师评价

唐辰同学所完成的文章“超分子材料的形态和应用”清楚地描述了软物质中一类重要体系超分子的形态结构，进一步阐述了这类物质的重要机理。文中已充分反映出他阅读了有关超分子的很多参考文献以及有好的物理基础，并对超分子材料已有好的认识。文章写作思路清楚，结论正确，已具备独立的阅读材料和写作能力。成绩为优秀。

南京大学 马余强
2012年元月

狄尔斯—阿尔德反应及逆狄尔斯—阿尔德反应

糜蕾*，张泰艺

(金陵中学，南京)

摘要：狄尔斯-阿尔德反应又叫 Diels-Alder 反应、双烯加成反应，狄尔斯-阿尔德反应是一种有机反应（具体而言是一种环加成反应），共轭双烯与取代烯烃（一般称为亲双烯体）反应生成取代环己烯。即使新形成的环之中的一些原子不是碳原子，这个反应也可以继续进行。一些狄尔斯-阿尔德反应是可逆的，这样的环分解反应叫做逆狄尔斯-阿尔德反应或逆 Diels-Alder 反应。

关键词：狄尔斯-阿尔德反应，逆狄尔斯-阿尔德反应

狄尔斯-阿尔德反应是 1928 年由德国化学家奥托·迪尔斯(Otto Paul Hermann Diels)和他的学生库尔特·阿尔德(Kurt Alder)发现的，他们因此获得 1950 年的诺贝尔化学奖。

这是一个一步完成的协同反应。没有中间体存在，只有过渡态。一般条件下是双烯的最高含电子轨道(HOMO)与亲双烯体的最低空轨道(LUMO)相互作用成键。由于是不涉及离子的协同反应，故普通的酸碱对反应没有影响。但是路易斯酸可以通过络合作用影响最低空轨道的能级，所以能催化该反应。

由于该反应一次生成两个碳碳键和最多四个相邻的手性中心，所以在合成中很受重视。如果一个合成设计上使用了狄尔斯-阿尔德反应，则可以大大减少反应步骤，提高了合成的效率。

一些狄尔斯-阿尔德反应也是可逆的。

本实验是为了检验 DA 反应的特征。

6 实验部分

1.1 反应原理：

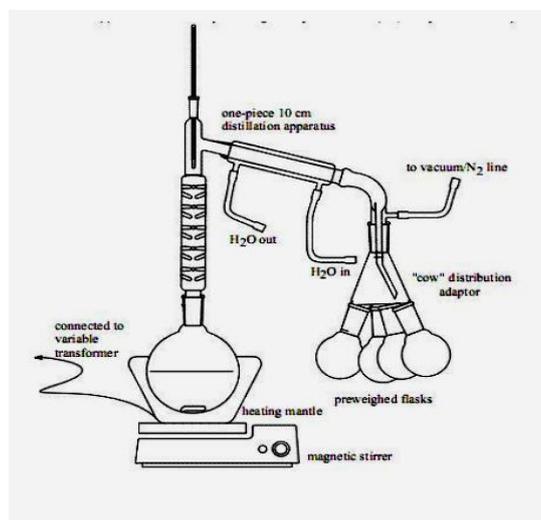
1.2 实验过程:

Diels-Alder 反应

1. 将纯的化合物 H-1(50mg,)置于 schlenk 瓶中,利用标准的 Schlenk 技术,在 Ar 保护下加入溶剂甲苯 15mL,溶液呈红黄色,在油浴(硅油,沸点高,不挥发)中加热 10h,控温 100°C。
2. 将试剂瓶置于旋转蒸发仪中,设置温度为 32°C,蒸发溶剂。
3. 用少量溶剂(CH₂Cl₂)溶解,将溶液转移到硅胶板上,用薄层色谱法分离产物。
4. 用砂芯漏斗,淋洗剂(乙醚)除去硅胶,收集产物。
5. 定量分析:产物为 H-2,收率(20mg,40%)
6. 再将纯的化合物 H-1(10mg,)置于 schlenk 瓶中,利用标准的 Schlenk 技术,在 Ar 保护下加入溶剂甲苯,在油浴中加热 7h,控温 80°C。
7. 重复上述步骤,未得到 H-2。
80°C时,反应不能发生。

注:

1.

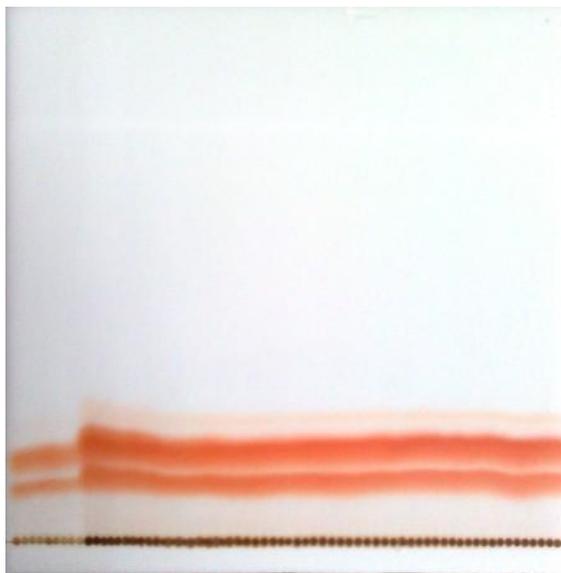


Schlenk 技术装置图

2. 旋转蒸发仪：减压蒸馏，降低溶剂沸点，以较低温度使溶剂蒸发，防止反应物在高温时分解。
3. 薄层色谱法是将适当粒度的吸附剂作为固定相涂布在平板上形成薄层，然后用溶剂（15mL 石油醚和 5mL CH_2Cl_2 ）展开，各组分在滤纸的不同位置以斑点形式显现，根据滤纸上斑点位置及大小进行定性和定量分析。

7 结果与讨论

2.1 Diels-Alder 反应实验结果



上层红色带为原料 H-1(55%) ,下层红色带为产物 H-2(40%)

2.2 计算结果:

2.3 结论

加热 H-1 有约 40% 的 H-2 转化，加热 H-2 也有约 30% 的 H-1 转化这说明 H-2 在更具有热力学的稳定性，所以始终在高温下保持相当大的比例。

2.4 逆 Diels-Alder 反应及其相关应用

(注：由于时间问题，此部分未进行研究，故资料来自于百度文库：我对狄尔斯-阿尔德反应及其逆反应的认识和想法 <http://wenku.baidu.com/view/1b23537001f69e3143329423.html>)

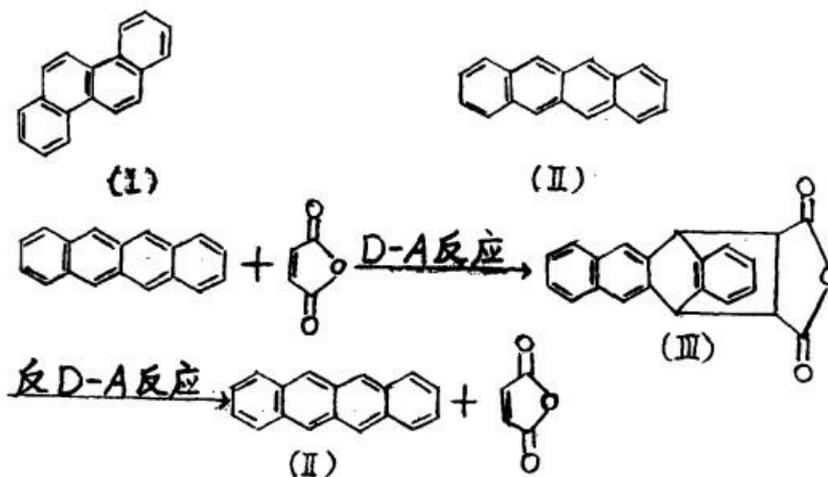
狄尔斯-阿尔德反应是一个可逆反应，特别的在温度高时，其逆反应更容易发生，根据其正反应的定义，其逆反应的定义是：有加成无裂解成双烯组分和亲双烯组分的反应。

狄尔斯-阿尔德反应的逆反应的应用。这个反应有以下用处：

1. 用于有机化合物的分离

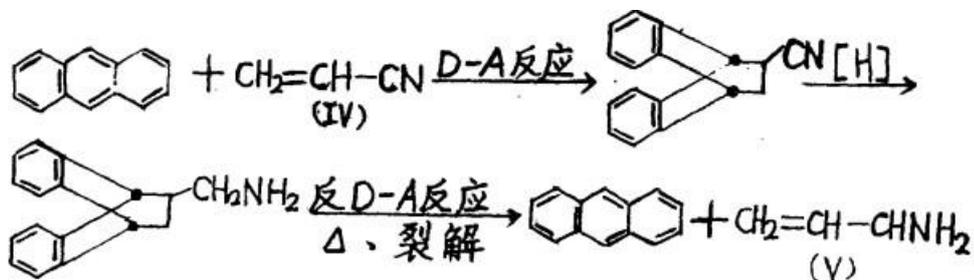
对于有些多环芳烃化合物，可利用狄尔斯-阿尔德反应的逆反应进行分离和纯化。例如：

该反应可除去化合物 I 中混有的化合物 II



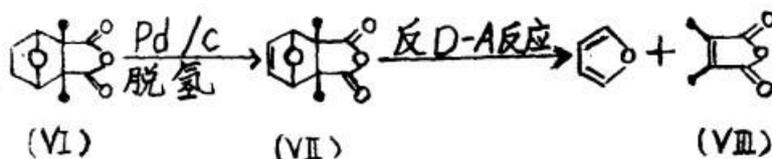
2. 用于有机反应基团的维护

利用狄尔斯-阿尔德反应的逆反应可以很好的保护烯键。例如化合物 **IV** 中制备化合物 **V**：



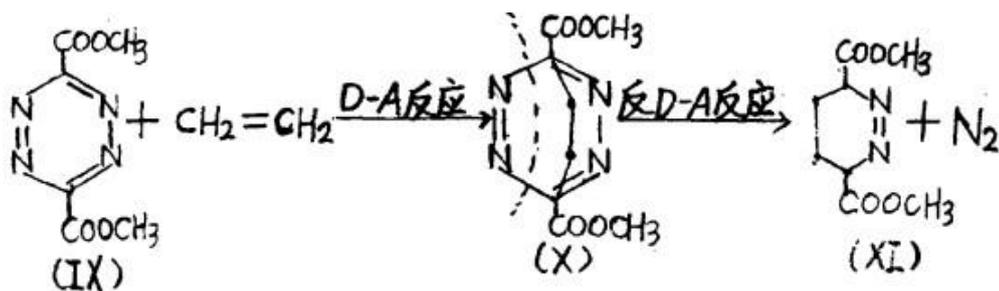
3. 用于某些化合物的鉴定

利用狄尔斯-阿尔德反应的逆反应，例如：通过以下反应可以推知反应物的结构。



4. 可用于特殊化合物的合成

利用狄尔斯-阿尔德反应的逆反应可以合成一些用一般方法较难合成的有机物。例如：从化合物 **IX** 合成化合物 **XI**



Diels-Alder reaction and Inverse Diels-Alder reaction

Author Lei Mi , TaiYi Zhang

Jinling High Middle School , Nanjing

Abstract : Diels-Alder reaction Inverse Diels-Alder reaction

4 参考文献

百度百科

维基百科

百度文库 我对狄尔斯-阿尔德反应及其逆反应认识及想法

<http://wenku.baidu.com/view/1b23537001f69e3143329423.html>

李建章, 反狄尔斯-阿尔德反应在基础有机化学中的应用。1996.2 (36)。

5 指导老师评语

关于南京大学微结构国家实验室—金陵中学准博士工作站 燕红课题组工作纪实与总结

尊敬的金陵中学领导及老师们:

我是南京大学微结构国家实验室配位化学国家重点实验室的燕红, 专业是金属有机化学。一年前南京大学微结构国家实验室—金陵中学准博士工作站启动时, 我接受了两位高一女同学张泰艺和糜蕾。考虑到第一次做这样的事, 也无固定的模式要求曾样去做, 我思考了自己的做法。由于她们刚刚进入高中, 下一个目标是考好的大学, 我个人认为让她们了解大学是啥样子, 老师学生都做些什么, 我们的研究基地的研究生们做些什么是这一活动重要的内容。关于南京大学及南京大学微结构国家实验室已对全体学生集中讲解, 因此我首先带领她们参观了国家实验室化学部分的先进仪器实验室, 让其知道化学是一门实验科学, 离不开尖端仪器, 讲解了一些重要仪器的功能, 然后参观了几个典型课题组的实验室, 让其知道不同研究课题实验室的装配及研究生们的科研生活、习惯等。接下来的大多数时间是和我课题组研究生们面对面的交流, 目的是让其了解他(她)们的化学经历, 化学研究的酸甜苦辣, 成功与收获, 未来的发展与梦想。后来的少量时间他们参与了具体的博士生科研工作。前前后后近一年的时间, 每两周约 1.5 小时交流见闻, 我想她们对南京大学微结构国家实验室, 对化学的学习与科研应有了一定的认识。就我个人接受这个任务, 参与这一活动来说, 这样的活动还是让学生受益的, 具体更有效的形式可以继续探索, 再商讨。

燕红 2012, 1,5

6 活动总结

在准博士工作站的工作中, 我们都受益匪浅。这一年多以来的学习与交流, 使我们两人都对于化学这一科目有了较为具体与深入的了解, 也对科研工作有了一定的认识。相信经过这次的活动, 我们都成长。此外, 在与研究生的交流与合作中, 我们也对他们的学术精神深深感动, 相信这对我们未来的学习与生活也会有潜移默化的影响。最后, 感谢南京大学的燕红老师以及研究生们, 我们也会一直保持着对学术研究的热忱, 继续进步。

吩噻嗪与溴己烷反应生成 N-己基吩噻嗪

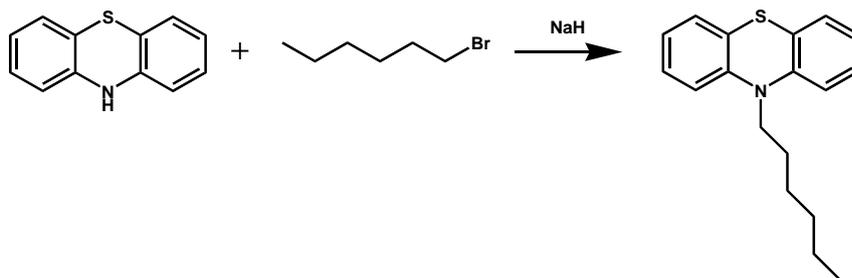
张贝妮，孙逸尘

(金陵中学，南京)

摘要：利用吩噻嗪与溴己烷反应生成 N-己基吩噻嗪，常温下反应 3 小时，溶剂为 DMF，NaH 提供氢负离子以提高产率。

关键词：溶剂 (DMF)、吩噻嗪类

反应方程式：



吩噻嗪为黄色或灰绿色粉末或小叶状晶体，易氧化变色。熔点为 180-185℃，沸点为 371℃，闪点为 177 摄氏度，溶于苯、乙醚、热醋酸，微溶于乙醇和矿物油，不溶于石油醚、氯仿，不溶于水。用于有机合成中作为阻聚剂、杀虫剂、染料等。吩噻嗪类药适用于治疗急、慢性精神分裂症、躁狂症、反应性精神病及其他重症精神病的对症治疗，可控制兴奋、攻击、幻想、妄想、思维联想障碍等。吸入、摄入或经皮吸收后对身体有害。对眼睛、皮肤、粘膜和上呼吸道有刺激作用。可引起惊厥。

溴己烷无色或淡黄色液体，有刺激性气味，有毒性。

NaH 用作缩合剂、烷化剂及还原剂。NaH 不是碱，只能说他与水反应后的产物显碱性，它不能提供孤对电子，和 SO_3 不是酸的道理一样氢化钠 NaH 也是一种强还原剂，常用于有机合成中。氢化钠虽可借助金属钠在高温下与氢气直接反应来制备，但反应不完全，产率低。取而代之的是将金属钠分散在矿物油中进行氢化合成的方法。油液分散状 NaH 虽有在制备、储存和运输中较安全之长，但却有含量不高（含氢化钠 50%）、使用不便之短，在一些有机反应中需要用大量反应溶剂洗涤以除去 NaH 里的矿物油。1982 年，我国化学家利用金属还原氢化的方法，以惰性盐 NaCl 为固体分散剂，对熔融金属钠直接氢化合成固体 NaH，结果得到了 NaH 含量可高达 80% 以上的白色粉末状固体。钠的转化率也高达 98% 以上。所得 NaH+NaCl 的混合物可直接用于合成氢化铝钠 NaAlH_4 。该方法与油液分散 NaH 方法相比，设备简单，操作安全方便，大大地降低了生产成本。

二甲基甲酰胺（DMF）是一种透明液体，能和水及大部分有机溶剂互溶。它是化学反应的常用溶剂。纯二甲基甲酰胺是没有气味的，但工业级或变质的二甲基甲酰胺则有鱼腥味，因其含有二甲基胺的不纯物。名称来源是由于它是甲酰胺（甲酸的酰胺）的二甲基取代物，而二个甲基都位于 N（氮）原子上。二甲基甲酰胺是高沸点的极性（亲水性）非质子性溶剂，能促进 $\text{S}_{\text{N}}2$ 反应机构的进行。二甲基甲酰胺是利用蚁酸和二甲基胺制造的。二甲基甲酰胺在强碱如氢氧化钠或强酸如盐酸或硫酸的存在下是不稳定的（尤其在高温下），并水解为蚁酸与二甲基胺。

1 实验部分

吩噻嗪的制备

二苯胺与硫反应催化剂存在下加热可制得吩噻嗪。

吩噻嗪与溴己烷反应生成 N-己基吩噻嗪。

2 结果与讨论

2.1 NaH 的使用

NaH 可提供氢负离子，提高反应速率。

2.2 反应的类型

该反应为亲核取代。该反应适合在高极性稍有质子性溶剂中进行，高极性有助于利

用本身极性带有的部分负电稳定碳阳离子，稍有质子性溶剂提供质子与较强亲核剂（通常是被脱离的）化合有助于反应平衡往产物移动。

化学基本操作中的科学

李锦舒、李文瀚、蒋琪

（金陵中学，南京）

摘要：本文介绍分析天平、磁力搅拌器、pH 计的使用方法以及减压过滤、旋转蒸发操作的要领。

关键词：仪器使用

化学是一门实验的科学，因此实验在化学研究中占有重要的地位。作为高中学生，我们在金陵中学与南京大学微结构实验室（筹建）共同开展的准博士培养活动中主要学习了以下几种实验操作技术。

1. 仪器洗涤

很多化学试验都要求仪器要干净，有的实验甚至要求仪器要干燥。我们在不明白实验机理的时候着实帮不上什么忙，但洗洗仪器，例如试管，帮正规实验组减少些负担还算是不在话下的，我们也乐得一试。他们的流理台也让我们有点小惊讶，上面还配了一个专滴蒸馏水的灰色龙头。方形池子被盆占着，里面泡得满满的都是或大或小的试管和量筒，玻璃层叠，甚至掩住了盆底的花色。他们对试管要求较高，与我们平时在实验室用试管刷捣两下灌点水完全不同，而是沾了洗衣粉一丝不苟的擦洗管壁，毕后还要用带喷口的瓶子里灌着的蒸馏水刷一下内壁，单就严谨而言与平日相比上了几个台阶。

2. 分析天平的使用

第一次去南大微结构实验室，曹老师就教我们如何正确称量实验试剂的质量。

在微结构实验室，称量固体实验物品，主要用的是分析天平，如下图所示。分析天平属于实验室用精密仪器，须按照一定步骤及操作规范进行操作。以下是曹老师在进行示范操作时向我们讲解的操作步骤：



- (1) 取一张大约 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$ 的正方形小纸片，将其折叠成如上图所示的形状。（注：纸片四边不宜折得太死，否则倾倒时会有残余）
- (2) 将分析天平右侧拉门拉开，把纸片放在天平的托盘上，关上拉门，待示数稳定时间超过 5 秒后，按下中间的清零按钮，将示数归零。
- (3) 再将右侧拉门拉开，拧开试剂瓶，用擦拭过的药匙，根据具体要称的质量，挖取适量试剂（宜少不宜多），将试剂倒在纸片中央。根据上一次添加试剂后增重情况进行第二次、第三次……添加。等到示数显示接近所需称量质量时，此时要注意，量取少许试剂，将药匙伸入天平内，另一头靠在拉门边上，轻轻敲击末端，利用震动，使药品一点点倒入纸片中央，等到示数离所称质量还剩大约 0.0020g 时停止添加试剂（因为分析天平示数显示会有一定延时）。过一会儿，示数大约稳定，并与标准值相差 $+0.0003\text{g}$ 时，即可盖上试剂瓶。
（注：在称量易潮解试剂时一定要快速称量，尽量防止原试剂瓶中和纸片中的试剂潮解。有一次我在称量一种有机物时就因为称量不够快导致潮解，最终致使实验失败，第二次才成功）
- (4) 如果示数显示所称试剂过量，应用药匙慢慢将一小部分试剂取出，切记：不能把药品撒在托盘上，这样会使示数变化且不好清除，可能会前功尽弃。
- (5) 用手把纸片小心取出，不能有试剂撒落。将试剂转移到容器时，要将纸片倾斜，用药匙

轻轻敲击背面，让药品沿突出部分缓缓落入容器中，万万不可操之过急。

至此，整个称量过程便宣告结束。看似是一个简单易会的操作，但它却是大学生大一化学实验的入门操作，真正熟练且规范地操作的人并不多。我印象最深的一次称量是称取硫酸铜粉末（如下图所示），好像是要称取 0.2857g，我只称了两次就称到了 0.2856g。这是我称得最快的一次。



3. 磁力搅拌器的使用

在实验中经常用到磁力搅拌器，它可以代替手摇，促进样品的溶解以及加速化学反应等。下图是磁力搅拌器的照片。开动机器后，搅拌子发生旋转，加速了药品的溶解。在这个操作中要注意两个问题：首先要根据反应容器的尺寸选择大小合适的磁子，其次就是选择合适的搅拌速度。



关于溶液 pH 值的测量及实验细节

4. pH 计的使用

曹老师曾带我们做过调 pH 的实验。时隔近一年，记得不太清晰。他大略介绍了名字和用法，做了示范。我们看着他一排标好了数值以零点一为梯度差的试管彼此面面相觑。南大配置的测 pH 的仪器很是灵敏，一只电笔在溶液里一沾，旁边的显示器上就有精确到小数点后两位的数值显示。曹老师捏着小试管一滴一滴往试液里滴氢氧化钠以配得 pH 为 5 的试液，仅一滴便让那敏感的机器数值陡增。终究单是配 pH 竟花去了近 20 分钟的时间。我们都讶异而略感无奈，想起那句“一粒沙里一个世界”，仅通过这一个实验便足以让我们看见它整个背后的化学世界的博大与精密。

5. 减压过滤操作的学习

在化学实验中，减压过滤是一种重要的固体与液体分离手段。减压过滤装置如下图所示。

只需在漏斗上里垫一层滤纸，然后在支管口接上皮管，接通抽气机，再向容器中加入溶剂打开抽气开关，溶液就很快流下去，留下固体物质。曹老师提醒我们特别要注意一样事情，就是滤纸要覆盖满漏斗，否则部分固体沿着滤纸边缘被冲下，混入滤液。



6. 旋转蒸发操作的学习

这几次去微结构实验室中，曹老师主要教我们怎样使用旋转蒸发器。旋转蒸发器主要由旋转马达、蒸发管、真空系统、流体加热锅、冷凝管、收集瓶等组成（如下图所示）。以下是我对旋转蒸发器的介绍。



- (1) 高低调节:手动升降，转动机柱上面手轮，顺转为上升，逆转为下降。电动升降，手触上升键主机上升，手触下降键主机下降。
- (2) 冷凝器上有两个外接头是接冷却水用的，一头接进水，另一头接出水，一般接自来水，冷凝水温度越低效果越好。上端口装抽真空接头，接真空泵皮管抽真空用的。
- (3) 开机前先将调速旋钮左旋到最小，按下电源开关指示灯亮，然后慢慢往右旋至所需要的转速，一般大蒸发瓶用中，低速，粘度大的溶液用较低转速。溶液量一般不超过 50%为适宜。

(4) 使用时, 应先减压, 再开动电机转动蒸馏烧瓶, 结束时, 因先停电动机, 再通大气, 以防蒸馏烧瓶在转动中脱落。

旋转蒸发仪具有以下优点: (1)不用手动来控制它的运动, 旋转蒸馏可以达到更好的效果。(2)让烧瓶旋转蒸馏可以使液体挥发的更快减小蒸馏时间。(3)更加安全。另外, 使用旋转蒸发仪要注意以下几点: (1)各接头,接口是否密封。(2)密封圈,密封面是否有效。(3)主轴与密封圈之间真空脂是否涂好。(4)真空泵及其皮管是否漏气。(5)玻璃件是否有裂缝,碎裂,损坏的现象。

除了学习以上几种实验操作技术, 在上个学期的一次活动中, 我们测定了老师的课题组合成的一种有机化合物的紫外-可见光谱。测定前首先将药品磨碎, 用的是一种类似于研钵的仪器, 然后将钵放入一台从瑞士进口的价值 56 万元的高端仪器中, 接着将数据导入电脑的一个分析软件中, 即可得到紫外-可见光谱图。由于软件界面是全英文的, 所以我没太看懂, 这也告诉我们学好英语对于学习理科也是有很大帮助的。

通过这一年多来的准博士活动, 我认为自己在各个化学基本操作问题上有了一个更加深刻的体会和认识。另外, 我了解了大学实验室是怎么一个样子, 知道了做实验的基本流程, 因此开阔了我的眼界, 让我对化学有了更加深刻的热爱。“准博士”活动也让我对大学生活充满了向往和期待, 为此我将不懈努力。最后希望金中——南大“准博士”活动越办越好

总结:

在金中——南大“准博士”活动中, 李锦舒、李文瀚、以及蒋琪同学来到我们实验室参加了一些化学实验方面的训练。尽管时间比较有限, 他们还是学习并掌握了一些实验操作技术, 包括仪器洗涤、分析天平的使用、磁力搅拌器的使用、pH 计使用、减压过滤、旋转蒸发等。这一活动可以培养学生的研究兴趣, 开阔了他们的视野, 因此四位同学表现出更高的学习兴趣, 也更加努力学习去实现自己的大学梦。在这一活动中, 我发现四位同学做事都很认真, 能仔细观察实验现象, 并且不断提出一些新问题。基于以上优点, 我想李锦舒、李文瀚, 以及蒋琪同学在将来都能考入一个很好的大学, 在哪里发现自己的兴趣与理想, 成长为国家的栋梁。

曹登科

南京大学化学化工学院

地沟油的综合利用

陈翔宇*, 黄一聪, 杨眉剑

(金陵中学, 南京)

摘要: 通过对地沟油的初步分离与除杂, 初步学会辨别地沟油的简易方法, 试图用红外光谱

判断其杂质组成情况，效果不甚理想。通过对地沟油的皂化反应，研究地沟油的二次利用。
关键词：地沟油 危害

1. 课题研究的背景

“目前我国每年返回餐桌的地沟油有 200 万~300 万吨。而中国人 1 年的动、植物油消费总量大约是 2250 万吨——也就是说，按照比例，你吃 10 顿饭，可能有 1 顿碰上的就是地沟油。”——武汉大学何东平教授估计。随着人们生活水平的提高，食品卫生安全成了人们日益关注的问题，而地沟油时人们健康的大敌，尤其是对人们的肠胃健康，有着巨大的危害。我们研究地沟油，探究地沟油的成分与除杂，试图让人们认识地沟油，远离地沟油的危害。同时，也将进一步探寻地沟油的安全利用前景。^[1]

2. 课题研究的意义

- 了解地沟油的色态味等物理性质，学会辨别地沟油。
- 探究地沟油的成分，了解对人们健康的危害。
- 通过对地沟油的初步分离与除杂，了解社会上的无良商贩如何加工地沟油，如何让其回流到我们的餐桌上。从而避免地沟油的回流
- 通过对地沟油各组分的分析，以及以往的利用方法，探寻地沟油的安全利用方法，发挥地沟油的潜在利用价值，做到废物的二次利用。

3. 课题界定

地沟油

地沟油，又称“泔水油”，香港称之为坑渠油，来源之一：餐店洗碗后油脂进入排水坑渠；来源之二：为了防止高温烹调产生 油气污染大气，环保普遍要求餐饮店铺安装油气分离设备，油气凝结后也排入沟渠。^[2]

生产方法

不法之徒从餐厨垃圾坑渠内捞取状似稀糊油膏状物，经过滤、沉淀、加热蒸发分离为成品，一部分流入食用油市场变身成为清亮的“食用油”，非法生产一吨油成本仅 300 元。不法商人会以每公斤 3 元卖给食肆，相对普通食油每公斤 9 元，食肆使用坑渠油可省成本。^[2]

4、理论依据

地沟油的初步鉴别

- 1、看透明度。地沟油透明度较低，且油中含有杂质，而纯净的食用油呈透明装。
- 2、闻气味。每种油都有各自的气味。微微加热油样，发热时仔细闻气味。有异味的油，说明质量油问题。
- 3、听燃烧时的声音。正常的使用油燃烧时无声响，而燃烧时发出“吱吱”声音的，水分超标，是不合格产品；燃烧时发出“噼啪”爆炸声的，则表明水分严重超标。
- 4、利用金属离子浓度和电导率之间的关系，可通过检测电导率判断油样重的金属离子含量。一般地沟油的电导率时合格食用油的 5 至 7 倍。

红外光谱鉴定

- 根据不同物质对红外光反射出的不同波长，来判断出地沟油中的物质

皂化反应

- 高级脂肪酸与强碱反应

5、实验过程

地沟油的初步除杂与探究

实验概述：2010 年中国专家估计，这种食用油占全中国市场十分之一，中国人一年就用了 300 万吨坑渠油。掺有地沟油的食用油外观与普通食用油无异，并无明显异嗅，常用的检验方法无法鉴别。

二〇一〇年九月十三号——第一次实验

实验目的：通过简易的实验设备，对地沟油进行初步的除杂、成分探究以及通过色、态、味的对比分辨地沟油。

实验材料：地沟油（来源食堂）、纱布、漏斗、烧杯、试管、玻璃棒、酒精灯、石棉网、活性炭。

实验步骤：

1、将纱布放入塑料大漏斗（自制），过滤地沟油，使不溶性杂质分离(讨论：对于滤纸 纱布的选用)

现象:由于食物残渣少，油无明显变化。

2、将步骤一的油倒入烧杯中，直接倒入活性炭粉末加热，油变黑（由于活性炭颗粒小，油的黄色变淡）

失败环节：大部分倒入烧杯，直接倒入活性炭粉末加热。

导致油外观上发黑。

3、将步骤一中的油倒入放有滤纸的漏斗，过滤。过滤很长时间之后，油颜色明显变清。



地沟油



用纱布过滤



用滤纸过滤后的油样，明显变清

实验总结：

失败原因：将活性炭直接加入到烧杯中与油样共热，导致活性炭无法去除。而且使用全部油样，实验失败；

地沟油相对家用食用油颜色更深，不像食用油有淡淡地香味而是有股较重的油脂味；滤纸过滤后的地沟油从颜色上很难与食用油区分。

二〇一〇年九月二十日——第二次实验

实验目的：继续利用竹炭尝试对地沟油的脱色，将油样煮沸观察最终产物。

实验材料：地沟油（来源食堂）、纱布、烧杯、试管、蒸发皿、玻璃棒、酒精灯、竹炭、石棉网、铁架台。

实验步骤：

1、将纱布放入塑料大漏斗（自制），过滤地沟油，使不溶性杂质分离
现象 固体（菜饭）大量分离，地沟油 明显变清。

2、再次过滤少量油,约 10ml，将滤出的油倒入蒸发皿中，用酒精灯加热蒸发。
加热半分钟，地沟油开始有大量气泡冒出，有明显沸腾声音，颜色变淡。
持续加热，有油溅出，声音逐渐变大。

加热约五分钟，蒸发皿底部有黑色液体杂质残留，上层为颜色变淡的地沟油。

3、将剩余的步骤 1 中的由全部再次过滤，将滤出的油倒入 600ml 大烧杯中，将用纱布包好的竹炭放入其中，垫在石棉网上用酒精灯加热。

由于液体较多，加热了 15 分钟再有明显气泡冒出，加热至 20 分钟时，烧杯中的地沟油在平稳沸腾。

观察时发现上层的油变多，变清，但由于竹炭，颜色泛灰黑。

4、加热时，将步骤 2 中蒸发后的油中，将上层较清澈的油倒入放有滤纸的漏斗中过滤。将剩余部分倒入试管，在正在加热的油中加热。

试管中油没有明显沸腾的反应，断定大烧杯中的油，任然是水在沸腾，即油尚未完全沸腾。

5、将试管从烧杯中取出，擦净外壁，在酒精灯上加热。半分钟不到，油开始沸腾，向外涌，有水蒸气产生。下层黑色物质增多，附着在内壁上，其中大量聚在底部。有油焦味产生。

加热 3 分钟后，声音逐渐消失。黑色物质无法被清除。（假设：黑色成分为碳。）

6、烧杯中的油，由于竹炭仍透过纱布的缝隙，油仍然发黑。

地沟油（泔水）



利用蒸发皿煮沸



油样煮沸后明显分层，将上层清液倒入试管中



加入纱布包好的竹炭一同煮沸



将试管直接在酒精灯上加热



剩下黑色固体



趁热过滤



实验总结:

- 1、将蒸发皿中油样加热有气泡产生并有暴沸声音，因为地沟油中含有大量的水，到达 100 摄氏度左右时，水沸腾。联系平时生活中烧菜时的情况，所谓油“炸开了”，有明显暴沸声；
- 2、加热过的油样明显分层，上层液颜色变淡，与食用油相似。下层为深褐色絮状物，为地沟油中色素与其他杂质的沉淀物。
- 3、用竹炭脱色效果不佳，可改进为沸石，便于脱色与固液分离。
- 4、将油样直接在试管中加热至有大量黑色固体附着在试管内壁上，推测为含碳大分子有机化合物。
- 5、用蒸发皿与试管加热过程中有明显刺鼻气味，但是鉴于生活中不可能将油如此加热，不便于利用这一特点进行区分地沟油与普通食用油。
- 6、对于地沟油中成分的具体探究仍需进一步进行。

利用地沟油制造肥皂报告

实验目的：利用地沟油与食用油制作肥皂，从而研究地沟油的利用方法和与食用油的区别。

实验材料：地沟油（来源餐馆）、固体氢氧化钠、磁力加热搅拌器、培养皿、分液漏斗。

实验步骤：

1、称量 NaOH 固体 2.7g，加入 10ml 蒸馏水，用磁力加热搅拌器边搅拌边加热至 75 摄氏度。NaOH 溶液 2、取地沟油 25ml 进行加热至 75 摄氏度。



3、将 NaOH 热溶液和地沟油样品倒入烧杯中，用磁力加热搅拌器加热搅拌。加热过程中现产生小气泡，后有刺鼻气味。油样分层，表面漂浮固体杂质。



混合液加热

4、由于混合液加热有大量固体杂质，因此利用漏斗进行简易的分离。

5、将混合液倒入蒸发皿中，倒扣一个更大的蒸发皿保存。

6、用食用油重复上述实验。混合加热后明显分层。



用食用油做的实验



对比，保存

对油样成份的检测：红外光谱

1.器材：红外光谱仪，KBr 粉末，压片机，研钵，油样，一次性滴管

2.实验油样：油样一（used oil）--炒菜后用油（已过滤）

油样二（new oil）--未使用的同种油

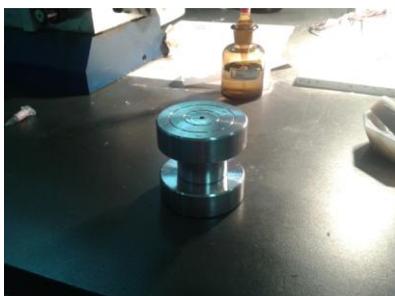
3.实验步骤：

(1) 清洗研钵

(2)取出已备好的 KBr 粉末，放入研钵中再研细，至颗粒均匀



(3) 将研好的 KBr 粉末加入模具中，尽量使粉末平铺，模具中央滴入约半滴油样一



(4) 加入压片机，将模具中 KBr 与油滴压片

(5) 将模具加入红外光谱分析仪中，生成图像

(6) 油样二重复以上步骤

4.实验结果：两种油样光谱图像非常相似。

由此判定此次实验不成功

5.原因分析：采油时间于早上 9:30，非用餐高峰期之后，油样不足以成为标准的泔水，杂质过少与纯油差别较小。

6.后期规划：取用晚饭后泔水，再次实验；获取用炸鸡后、烧烤后的油样

[参考文献]

1. 南方都市报

2. 维基百科——地沟油

http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E6%B2%9F%E6%B2%B9#cite_note-2

南京秦淮河水质情况调查

钱思雨*，杨淑慈，张漫林，李昊飞

(金陵中学，南京)

摘要：对南京市城区秦淮河的各河段水质进行抽样调查，用滴定法和紫外光谱仪等测定其成分，并结合历年的官方数据得出进一步的结论。结果表明：秦淮河的水质在近年来有了很大改观，但各河段的水质差距较大，部分河段的情况仍不容乐观，有待进一步改进。

关键词：秦淮河、水质研究、紫外光谱、络合滴定、COD、BOD

Abstract: Via the investigation of each river section of Nanjing Qinhuai river, use titration and uv spectrometer determine the composition, and with some data from the official further conclusion. The results show that: the Qinhuai river's water quality in recent years had the very big change, but the quality of the water of of each river section has big gaps, part of the river is still not optimistic and in need of further improved.

Keywords: Qinhuai river, water quality research, ultraviolet spectrum, complexometric titration, COD, BOD

研究背景：

水体中的污染物，根据它们的性质，可以概括为下列几类：

1. 病原体污染：生活污水、医院污水、畜禽饲养场污水等，常含有病原体，如病毒、病菌和寄生虫。
2. 需氧性污染物：生活用水，造纸和食品工业污水中，含有蛋白质、油脂、碳水化合物、木质素等有机物。
3. 植物营养污染物：造纸、皮革、食品、炼油、合成洗涤剂工业污水和生活污水以及施用磷肥、氮肥的农田水，含有氮、磷、钾等营养物。
4. 石油污染物：多发生在海洋中，主要来自油船的事故泄露、海底采油、油船压舱水以及陆上炼油厂和生化工厂的废水。
5. 剧毒污染物：主要是重金属、氰化物、氟化物和难分解的有机污染物。

水体污染对人类的生产生活造成了巨大负面影响。在十一假期间，借助南大实验室的帮助，我们小组重点选取了秦淮河作为研究对象，研究调查南京市河流的水质情况。

1 实验部分

1.1 调查时间：

2011年10月5日

8:00—16:00

1.2 调查目的：

针对南京秦淮河的水质情况进行抽样、调查、分析，借助南大实验室的器材进行各项实验，通过对各水样的pH值，浑浊度，色度，电导率，硬度以及各成分比重等的测量，得出其水质现状，并且结合有关以往南京水质的资料得出具有现实意义的结论。

1.3 测水取样:

取样地点	取样时间	取样深度
江宁区河定桥附近河段	8:45	水下 80cm
中和桥附近河段	9:32	水下 80 cm
中华门附近河段	10:55	水下 80 cm
汉中门大桥附近河段	11:37	水下 80 cm
定淮门大桥附近河段	2:10	水下 80 cm
三岔河口附近河段	3:27	水下 80 cm

1.4 取样器材: 无菌瓶 6 只, 15×150 (mm) 试管 6 只, 空白标签 6 只, 水银温度计 (KYBH-0-50-+), 精密 PH 试纸, 简易取水器。

监测器材:

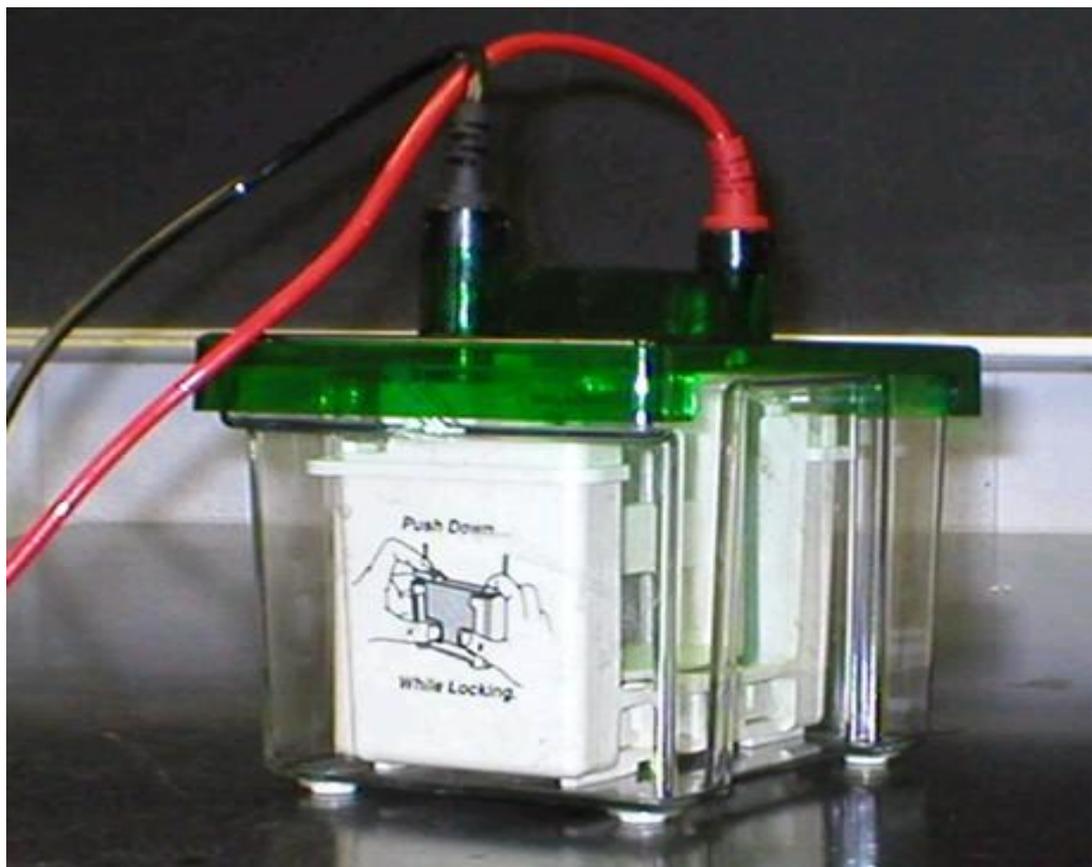
洛氏硬度计



紫外光谱仪



SDS-PAGE 电泳



观察取样:

装水样的玻璃瓶（连同瓶盖）均先用铬酸洗液或肥皂水洗去油污或尘垢，再用清水洗净，用

蒸馏水洗两遍，最后用纳米级过滤水清洗一次。

装水样前用所采水样冲洗 2~3 次。

采取水样时，用取水器在距水面 80cm 左右处取出水样，使水样缓缓流入瓶中，不能产生潺潺水声，不能让草根、砂、土等杂物进入瓶中。

监测水温，进行记录。

水样装瓶时留 10~20ml 空间，以免因温度变化而涨开瓶盖。

塞好瓶盖检查无漏水现象。

送至实验室进行研究。

监测过程：

试管取样，用笔型 pH 计测出 pH 值。

取少量样品，用水质硬度仪直接测出硬度值。

试管取样，滴定法测出硫酸盐含量。

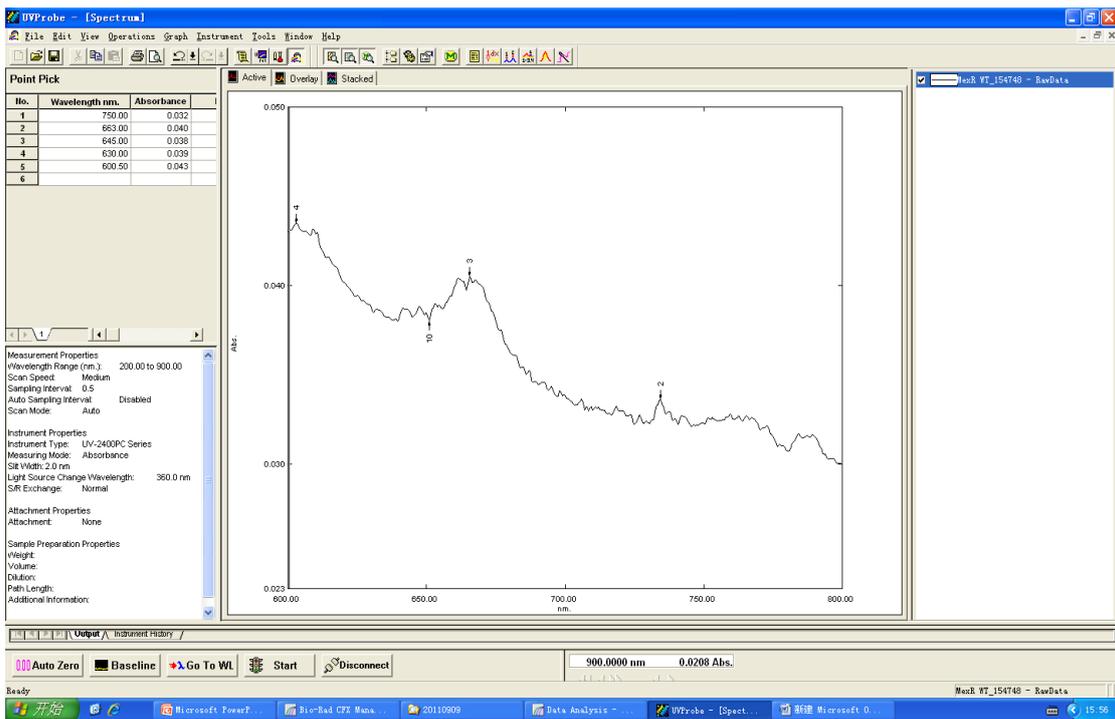
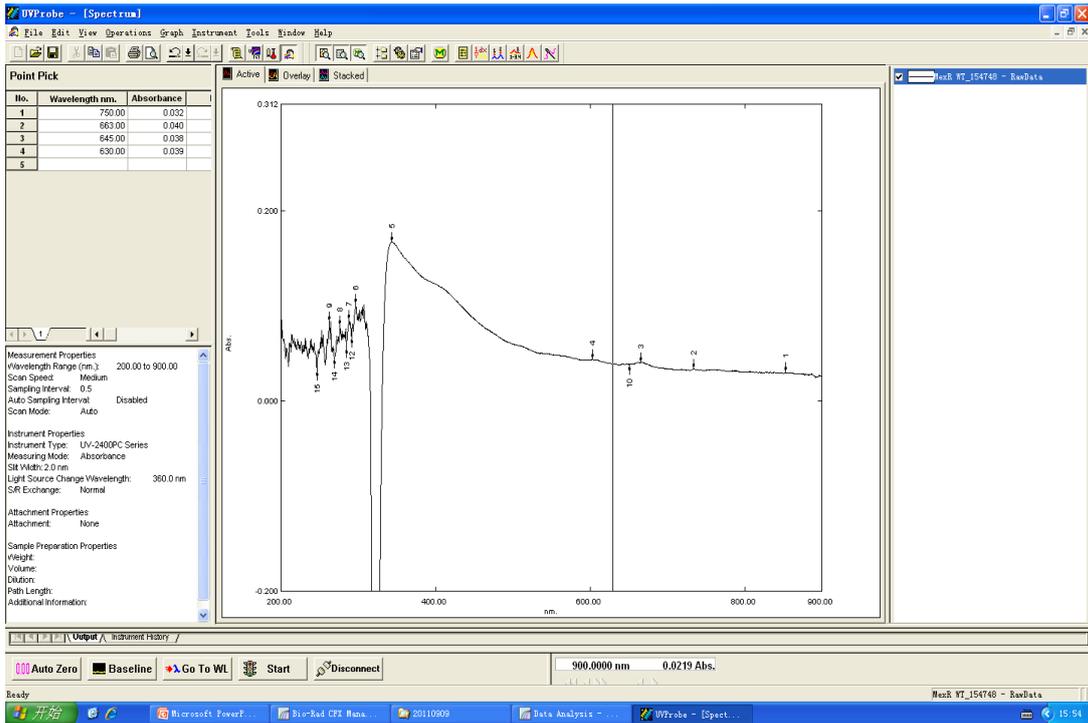
紫外光谱仪对水样进行检测。

用微升枪取水样，放于菌落培养皿中，培养观测菌落。

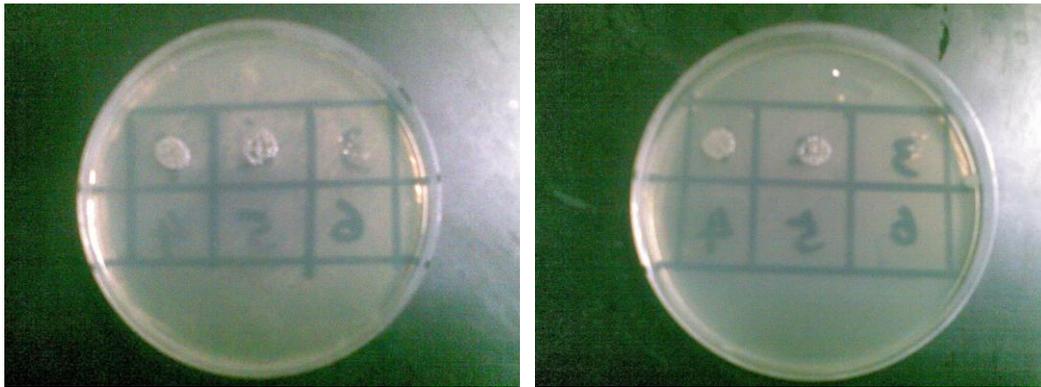
样本结果：

取样地点	江宁河定桥	中和桥	中华门	汉中门大桥	定淮门大桥	三岔河口
表面观测	清澈	较清澈	较清澈	黄褐色	棕黄色	黄褐色
pH	7.59	7.9	7.24	7.02	7.13	7.36
有无异味	无	无	无	有	有	有
总硬度	32.4mg/L	32.6mg/L	31.9mg/L	34.5mg/L	32.6mg/L	32.8mg/L
重金属离子	少量	少量	少量	Cu ²⁺ 超标	Hg ⁺ 超标	Hg ⁺ 超标
硫酸盐	无	无	无	硫化铵	硫化氢	硫化氢

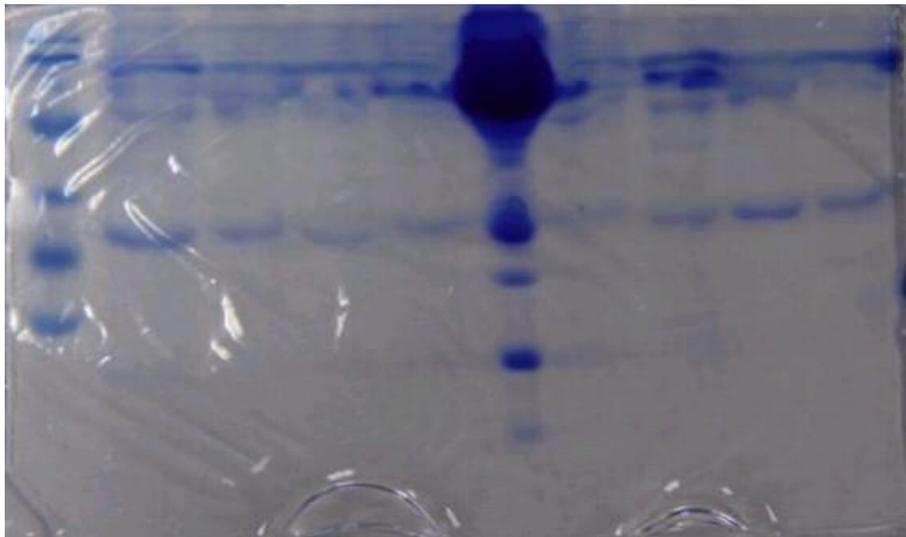
紫外光谱：



培养皿:



蛋白质条带:



2 结果与讨论

2.1 数据分析:

我们在南大教授的指导下分析紫外光谱。研究吸收光谱曲线，根据经验规则计算最大吸收波长 λ_{\max} ，再与实测值进行比较，由此确定水中有机物的结构。

在培养基上对水体中的细菌进行培养，并对大肠杆菌菌落进行重点研究。取样菌，破菌，用 SDS-PAGE 电泳研究蛋白质条带，进一步地了解细菌体的组分。

2.2 问卷调查:

关于秦淮河周边居民对秦淮河水受污染情况认知的调查问卷
您好:

我们是金陵中学的学生。在实地踏勘，了解秦淮河水现状的同时，希望针对秦淮河周边居民做一个对秦淮河水污染情况认知的调查问卷，以便于更好的分析秦淮河水的现状。

为确保我们的调查具有真实性，请您如实填写。

请填写您的基本信息： 性别：_____ 年龄：_____ 工作：_____

1、请问您之前有没有接受过有关秦淮河水质的调查问卷？（ ）

A、接受过 3 次以上 B、接受过 1 ~ 2 次 C、没有

2、请问您知道您平时的生活用水的水源在哪里吗？（ ）

A、知道_____ (请填写秦淮河/非秦淮河) B、不知道

- 3、请问您平时主动关注秦淮河水的污染及其治理情况吗？（ ）
 A、常常 B、偶尔 C、不关注
- 4、请问您是通过什么途径了解到有关秦淮河各方面情况的信息的？（ ）（可多选）
 A、网络 B、电视 C、书籍 D、报纸、杂志
 E、亲身观察，亲友间口耳相传 F、某些环保组织或者个人的义务宣传
 G、完全不了解 H、其他_____
- 6、请问您认为秦淮河水的污染最主要来自哪个方面？（ ）
 A、工业污水 B、农业污水 C、居民生活废水、固体垃圾
 D、蓝藻等外来生物的入侵 E、其他_____
- 7、请问您觉得秦淮河水污染给您的生活带来的影响的最显著一面？（ ）
 A、饮水质量下降，毒害健康。
 B、水质变差在颜色、气味上都有很显著的表现，影响居住环境
 C、由于水资源的紧缺造成了经济困扰和纠纷。
 D、其他_____
- 8、请问您认为您所在的秦淮河地区水污染最主要是哪个环节的工作力度不足？（ ）
 A、企业的环保观念 B、环保部门的监督、管理力度
 C、市民的素质 D、其他_____
- 9、请问在日常生活中，如果您看见了向水中乱扔垃圾的行为，您会怎么办？（ ）
 A、非常气愤，严厉地指责其不文明行为 B、捡起垃圾，婉转说教
 C、无所谓地走过。 D、自己也会这么做，因为没有地方扔垃圾。
 E、其他_____
- 10、请问您觉得作为一个普通的居民能够做到什么？（ ）（可多选）
 A、日常家庭生活中要做到节约用水，合理重复使用生活用水
 B、保护好其他水源，不向水流中排放各种有污染性的脏水，不乱扔垃圾
 C、积极宣传环保知识，监督别人的不文明行为
 D、其他_____
- 11、请问您对高中生深入实际发现问题、解决问题的现象持什么态度？（ ）
 A、持完全赞成的态度。 B、持中立态度。 C、持反对态度，不安全。
- 12、请写出您对改善秦淮河水质的建议。

衷心的感谢您愿意配合我们完成这个调查问卷！

（以上调查问卷受众为沿秦淮河的小区居民）

政府建议：

南京市政府应适度开发旅游效益，规范游人行为。
 加强水质的监管，重点针对排污性企业。
 规范渔农业生产，减少对河流生态的压力。
 对受污染河段限制渔猎活动，加强治理维护

市民建议：

加强环保意识，节约用水。
 宣传如何防治水污染的知识，全民爱护水资源。
 留心身边的可能造成污染的企业，提出减排建议

生活中尽量少使用会导致水体富营养化的清洁用品

2.3 调查结论:

通过对秦淮河现状的采样调查, 并比对各项指标, 我们得出结论: 南京秦淮河目前的状况与过去几年相比有了一定的好转, 各项污染指标都有所下降, 尤其是亚硝酸盐和硝酸盐, 细菌污染这几项, 都已经达到了国家对清洁水质的标准要求。

但是, 在有了这些可喜结论的同时, 我们也看到了许多问题任然存在。例如, 硫酸盐, 和重金属污染依旧存在, 有的甚至已经超过许多或是达到了污染水平。

参考文献和信息来源:

1 www.h2o-china.com/

2 www.wikipedia.org/

3 《环境监测管理与技术》2011年10月刊

4 《江南时报》(2005年06月05日第六版)

杨琨* 赵方婧

(金陵中学, 南京)

摘要: 利用传统的测量秦淮河水中的化学成分(溶解氧 DO、高锰酸盐指数 I_{Mn} 、氨氮 NH_3-N)

以判别秦淮河水质的方法, 判断秦淮河水质的改善情况, 以此来熟悉基本的实验操作和实

验流程, 并培养设计和实行实验的能力。结果表明: 秦淮河水质有待提高。

关键词: 秦淮河水质, 溶解氧, 高锰酸盐指数, 氨氮

南京政府在近几年出于十运会的举办、文明城市的申报和青奥会的申办成功, 加大了整治秦淮河污水的力度。本次实验将就其中三项指标进行测定。为了避免实验操作的失误对仪器造成损伤, DO、 I_{Mn} 和 NH_3-N 的测定尽可能采用了滴定法等传统且对器材依赖较少的方法, 以此强化了学生的实验能力。

实验部分:

1.1 水质采样

(1) 采样仪器

蒸馏水洗净并烘干的广口瓶

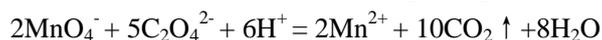
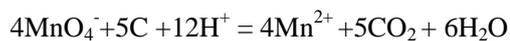
(2) 采样方法

涉水采样, 在不同河段分别采集水样, 用广口瓶沉入水中, 待注满水后, 再提出水面。

1.2 水质的检验及其原理

(1) 水中溶解氧 DO 的测定: 水样中加入硫酸锰和碱性碘化钾, 水中溶解氧将低价锰氧化成高价锰, 生成四价锰的氢氧化物棕色沉淀。加酸后, 氢氧化物沉淀溶解, 并与碘离子反应而释放出游离碘。以淀粉为指示剂, 用硫代硫酸钠标准溶液滴定释放出的碘, 据滴定溶液消耗量计算溶解氧含量。

(2) 高锰酸盐指数的测定: 水样加入硫酸使呈酸性后, 加入一定量的高锰酸钾溶液, 并在沸水浴中加热反应一定的时间。剩余的高锰酸钾, 用草酸钠溶液还原并加入过量, 再用高锰酸钾溶液回滴过量的草酸钠, 通过计算求出高锰酸钾指数数值。



注: 因为水样中的高锰酸盐指数较大(超过了 $5mg/L$), 所以在测定前进行了稀释。

(3) 氨氮 NH_3-N 的测定: 蒸馏—酸滴定法。因为水样中氨氮含量较小, 所以取 100ml 水样进行测定。蒸馏样品后, 用硫酸滴定加入混合指示剂(400mg 甲基红、50mg 亚甲基蓝与 250ml 95% 的乙醇配制而成) 的吸收液。记录硫酸用量为 A, 再记录空白实验中硫酸用量为 B。

$$NH_3-N(mg/L) = \frac{B) \times M \times 14 \times 1000}{V_2}$$

1.3 实验结果

(1) 水中溶解氧 DO 的测定：水样中溶解氧的含量约为 3.56mg/L.

查阅资料可知，DO 的含量与 1999 年的数据（3.59mg/L）较为接近，低于 1999 年以后各年的含量，但基本高于 1999 年以前的含量。

(2) 高锰酸盐指数的测定：水样中高锰酸盐指数约为 10.12mg/L

(3) 氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的测定：水样中的氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量约为 15.13mg/L

（由于实验误差，数据可能会与实际值有所偏差）

(4) 结论

在所选取的河段范围内，溶解氧的含量有所较过去下降，而其它两项指标则仍然居高不下。说明秦淮河水质仍然不尽人意，政府应加大投入整治秦淮河。

参考文献：

《南京市内秦淮河环境综合整治中水质变化趋势回顾》 作者：魏玉香，周宁晖，方孝华

《 $\text{NH}_3\text{-N}$ 测定操作规程》 作者：宜兴鹏威水处理设备有限公司环保工程部

致谢：

感谢南京大学配位化学研究所芦昌盛老师的指导

感谢南京大学配位化学研究所提供的实验药品和仪器

感谢金陵中学高二（13）李昊飞提供的论文格式

导师评语：

通过对秦淮河水质的调查，两位同学掌握了基本的研究思路，并在导师的帮助下得到了实验的结果。在试验和撰写论文的过程当中，虽然出现了一些不恰当的，甚至是错误的操作，结果依然令人满意。希望两位同学再接再厉。

氢能源的获取及利用方向

钱思雨*，王圣阳

(金陵中学，南京)

摘要：在能源紧张与环境问题突出的今天，氢气作为清洁能源，它的开发和利用成为了人们关注的焦点。我们在南大教授的指导下，进入南大实验室，学习并了解了氢能源的获取及应用。研究的对象为太阳能电池，氢燃料电池和氢能源小车，目的是寻找能源利用的新方向，获得环境与生活的双效益。

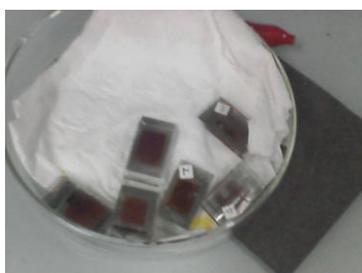
关键词：太阳能电池 氢燃料电池 氢能源小车 能源 效率

在南大准博士班的活动中，我们在于涛教授的指导下，参观并了解了光分解水，氢燃料电池的工作装置，工作原理以及它的环保意义。

我们在高中的物理化学学习中，对燃料电池有着初步的了解。要想将物质蕴含的化学能转化为人类可利用的热能，最原始的就是需要通过燃烧的方式。而燃烧的能量转化效率十分的低，不能将能源完全利用，且会破坏环境。而氢氧燃料电池两个电极所用的原料：氢气和氧气，在电池中的燃烧效率提高至 60%左右。氢气与氧气燃烧生成水，对环境完全没有污染，这启示着我们，是否可以通过一些方法获得氢气和氧气而没有污染又节约能源。新能源的开发与新材料的利用一直是一个备受关注的热点课题，于涛教授所负责的科目恰巧属于这一项目。此前，以氢气为能源的燃料电池汽车被列入国家“863”计划，科技部投入 1.2 亿元支持氢氧燃料电池汽车的相关开发。在本次准博士实验班活动中，我们很有幸的拜访了国家实验室有关新材料开发的产场所，其中最吸引我们眼球的就是南京大学所研制出的这台氢能源小车。

在南大的实验室中，我们看到了光分解水的装置，这项实验还在努力地进行中，要利用太阳光来分解水获得氢燃料电池的原料，还需在技术上突破。

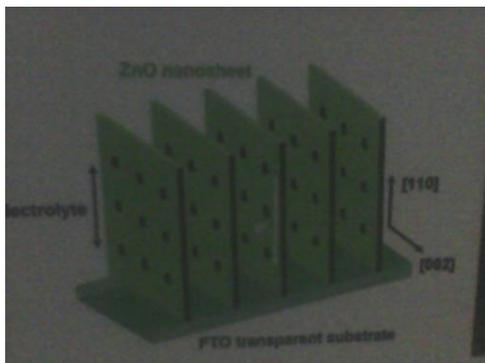
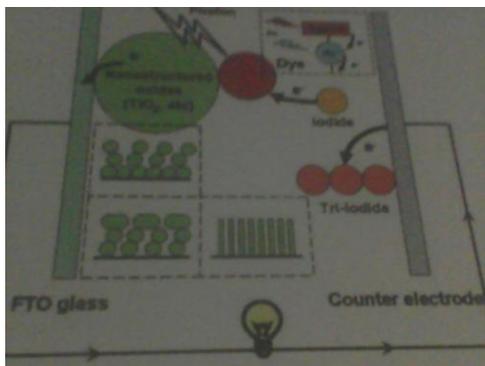
太阳能电池：“如果把太阳能先转化为电能，则光解水制氢就可以通过电化学过程来实现。绿色植物的光合作用就是通过叶绿素来吸收太阳光，把光能转化为电能再借助电子转移过程将水分解。”我们在南大的实验室中看到了 SiO_2 （二氧化硅）电池和钛电池。目前，因为钛电池的发电效率更高，逐渐被推广，而二氧化硅电池渐渐淡出。



南大实验室中的太阳能钛电池。

氢燃料电池：“干电池、蓄电池是一种储能装置，是把电能贮存起来，需要时再释放出来；而氢燃料电池严格的说是一种发电装置，像发电厂一样，把化学能直接转化为电能。另外，氢燃料电池的电极用特制多孔性材料制成，这是氢燃料电池的一项关键技术，它不仅要为气体和电解质提供较大的接触面，还要对电池的化学反应起催化作用。”

南大的光分解水装置及新型电池装置：



氢燃料电池演示器工作原理：

在燃料电池中，化学能不需要通过燃料过程即可直接转换为电能。氢气和氧气从外部供入，反应生成水，产生电流和热量。可使用纯氧或空气。

具体介绍：

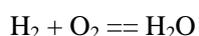
膜电极单元是 PEM 燃料电池的核心部分。

所供入的氢气发生氧化。在电极催化剂（如铂）的作用下，氢气分解成两个质子和电子。 H^+ 离子通过质子传导膜移动到阴极一侧。如果阴极配有外部电路，电子流向阴极，生成电流。供到阴极的氧气减少，与氢质子化合生成水。

向阳极所供氢气发生氧化。在电极（例如铂）的催化作用下，氢气分解为质子和电子。

H⁺离子通过质子传导膜向阴极一侧移动。如果提供一个至阴极的电路，电子会流向阴极，形成电流。向阴极所供氧气减少，与质子发生反应生成水。¹

化学方程式 $\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$



通过研究学习，我们发现太阳能电池十分具有现实意义，它的一次次研究突破，预示着未来能源利用的走向。而氢燃料电池的使用，为日后的高能效用电奠定基础。在这个项目中，我们应用高中的知识理解并学习了两种电池的原理，相互作用，装置及应用的意义。

下面介绍氢燃料电池的应用——氢能源汽车

氢能源汽车的开发

早在 2010 年南京大学便随着时代潮流加入绿色大学联盟，推动绿色教育、进行绿色研究、开展绿色服务、建设绿色校园种种活动开展。而这台氢能源小车，便是那时候所研制出来的。将可持续发展和环境保护思想融入到小车中，造福人、服务人。

清洁能源研究是南京大学绿色研究硕果中的一个代表。停在唐仲英楼地下车库的这辆小车，便是清洁能源研究的一个大项目。小车比起一般的轿车体积小了很多，质量非常的轻。外表蓝白相间，车内是双人座位。透过甲板，可以看到一个比煤气罐略窄的罐子，用来装氢燃料，罐子所连接着一个将氢转换为点的设备，氢气与蓄电池反应产生电流作为动力，是汽车运行。这是南京大学环境材料与再生能源研究中心历时五年多的时间成功研发的氢能源电动车，该车行驶非常平稳，动力异常强劲，基本上不发出噪音，且没有尾气，实现零排放，是首辆具有南大自主创新知识产权的氢能源车，也是江苏省首辆氢能源微型车。

这辆第三代新能源小车是氢氧燃料电池和电混合动力系统，虽然效率不算很高，但相比以往的新能源小车有了大幅度的提高。在国际油价飞速上涨的今天，能源短缺问题日益严重，我们需要追寻新能源来代替化石能源，而氢能源必将成为一大热点。将来，这种燃料电池和蓄电池混合电源的配置的新型方式也是未来氢动力汽车的主要发展方向，相信未来会有更多更好的氢动力汽车问世。

目前氢气小车也存在着很多安全问题，氢气是易燃物，直接利用会严重威胁氢气小车以及驾驶员的安全。所以现在所使用的氢能源小车不是以氢气为动力，而是经由汽车内的燃料电池与氢气反应产生电流作为动力，这样使用效率大大降低。所以直接利用氢气和提高效率是一个重点。

于教授给我们的《南京大学报》上写道：“2014 年青奥会(YOG)将会在南京举行，南京大学研发团队正在和有关部门进行接洽，希望届时在南京举办的青奥会能使用上南京人自己研发的氢能源微型汽车。除此之外，南京大学研究组目前正在开发利用液体燃料的燃料电池，也有望在 2012 年研制出样机，届时液体燃料可以瞬间添加，并能回收再利用。”由此可见，氢能源的开发前景相当巨大。

现在，这辆氢能源汽车在南京大学内不断向着学生们展示出科技所带来的美好，以及绿色生活的时代主题。一直以来，南京大学通过各种方式节能减排，厉行节约，积极创建绿色和谐校园。

我想，我们所参加的准博士实验班活动的目的不仅仅是去学习知识，感受科学，更重要的是了解科学的理念，把自己的知识与当今科技发展相结合。就像这辆氢气能源小车一样，我们所学过的知识能使我们更深入的了解它，改进它。同时，我们也发现了科技发展的目的——去造福人类，去服务人类。

参考文献：

“准博士班报告”评语

尊敬的金陵中学领导、老师，您好，

我于2010年10月27日受聘担任“南京大学-金陵中学准博士培养站”导师，具体负责钱思雨、王圣阳两位同学的项目指导和培养工作。

近日，我收到两位同学共同完成的“准博士班报告”，该报告详细回顾了一年多来他们在准博士班参加的活动(包括两位同学到南京大学我负责的太阳能电池实验室的讨论、参观活动以及金陵中学组织的课外科学活动等)，特别是很好地总结了他们在活动中的所听、所见、所疑，所思。是一份非常好的总结报告。

在与钱思雨、王圣阳两位同学活动的一年多时间里，除了给他们指导与帮助外，也使我有机会更好地了解目前省重点高中同学的学习、思想等情况，对我的启发和促进也很大。这些优秀的同学，今后要进入高等学府继续深造，给他们提供机会比较早地了解大学的专业、师资等情况，对他们扩大知识面、正确选择适合自己的发展方向，更好地为社会、为国家努力学习是非常重要的。

希望钱思雨、王圣阳两位同学继续努力学习、刻苦锻炼、学业有成，也祝金陵中学的各项活动不断取得更大的成功。

附件：“南京大学-金陵中学准博士培养站”活动相关照片



于涛

南京大学物理学院教授