

教育部物理学类专业课程教学指导委员会华东地区工作委员会第6次（2020年）工作会议

大学物理实验中的课程思政

张增明

中国科学技术大学

苏州大学、南京大学

2020年8月10日

物理实验目标

通过典型案例教学：

让学生掌握物理量的测量方法、仪器使用、实验技能、数据处理；

引导学生运用物理原理解决实际问题，学习物理学研究的基本方法。

发现问题， 物理+学科， 解决问题

立足物理
加强理工

理论实验
加强联系

知识传授
能力培养

实验报告

年月日

姓名 班级

实验名称

实验目的

实验原理

(简写：给出重要公式、图表)

预习报告部分

实验仪器

测量记录

原始数据，教师签字

数据处理

误差分析、讨论、思考题

实验中的思政元素

- 科学观察
- 实事求是
- 团结协作
- 工匠精神
- 创新精神
- 爱国主义

课程思政

- 经典实验提炼：加强学生对科学思想、方法论的理解和掌握，努力钻研、刻苦学习，努力成才。
- 典型实验与我国古代科学史结合：乐音实验
- 研究性实验：引入时代背景的相关课题，加强学生的爱国主义教育，通过引入校友的科研成果，增强学生的荣誉感，提升学习动力。
- 研究性实验成果，转化为科普作品，面向社会开放，回馈社会，增加学生的社会参与感。
- 疫情中的物理实验（紧扣时代事件）

从一维到三维的单摆

- 伽利略发现了摆的等时性原理，指出摆的周期与摆长的平方根成正比，而与摆的质量和材料无关；
- 摆的等时性原理应用于时钟，将人类计时的精度提高了近100倍。
- 学会观察、思考，培养洞察力。

当摆角较小 ($\theta < 5^\circ$) 时, 单摆近似做简谐振动, 根据单摆公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 得 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$, 因此只要测出摆长 l 和周期 T 即可求出当地的重力加速度 g 。

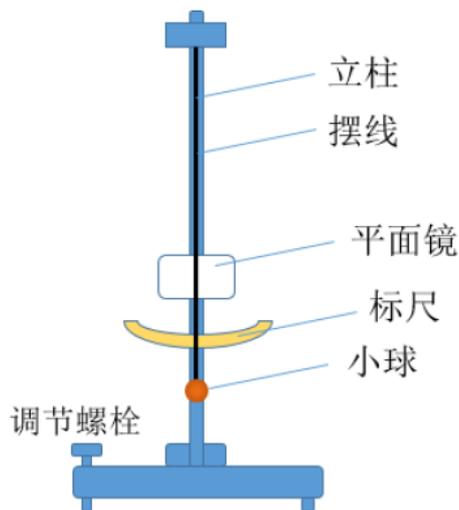
当大角度摆动时, 应考虑修正项 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)^2$

- **忽略**: 空气阻力、浮力、线的伸长

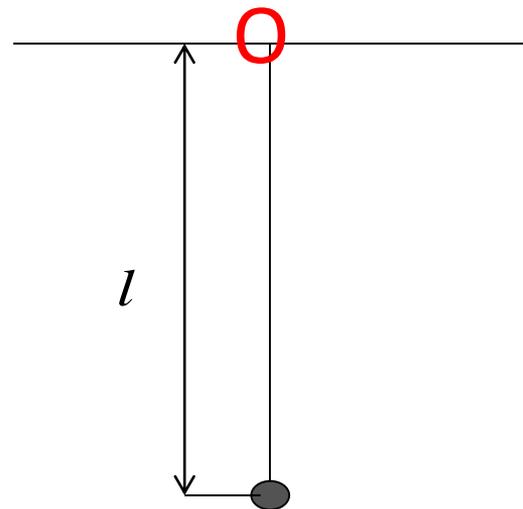
摆球：尺寸、质量

摆线：粗细、弹性

小量的忽略：相对变化量容限



无质量细线
系一质点



局部细究

► 摆球小角度摆动，分别测出摆长和周期，求 g

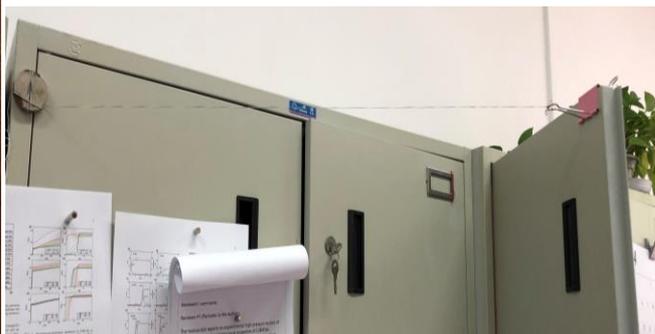


同一个单摆进行5次测量取平均值

测量次数	摆长 (mm)	30T (s)
1	769	52.53
2	770	52.53
3	767	52.56
4	768	52.54
5	769	52.54
平均值	769	52.54

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 \times 0.769}{\left(\frac{52.54}{30}\right)^2} = 9.89 \text{ m/s}^2$$

全局分析



摆起来!





$50T=98.12s$, $L=0.950m$
 $g=9.73m/s^2$



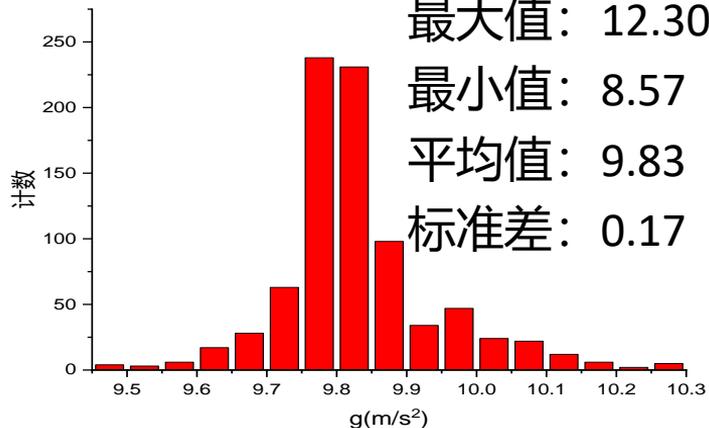
$50T=127.45s$, $L=1.625m$
 $g=9.86m/s^2$

精度提起来!



单摆测重力加速度

数据: 849个
最大值: 12.302
最小值: 8.57
平均值: 9.83
标准差: 0.17



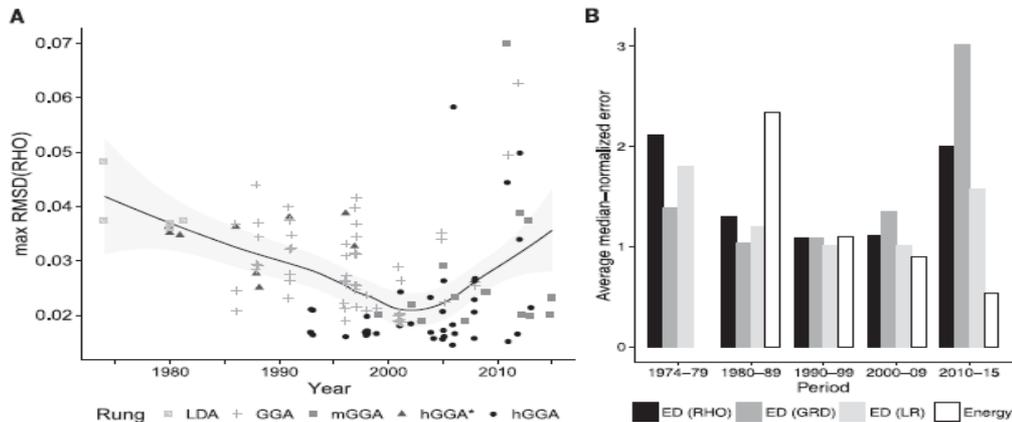
能力推广

REPORT

THEORETICAL CHEMISTRY

Density functional theory is straying from the path toward the exact functional

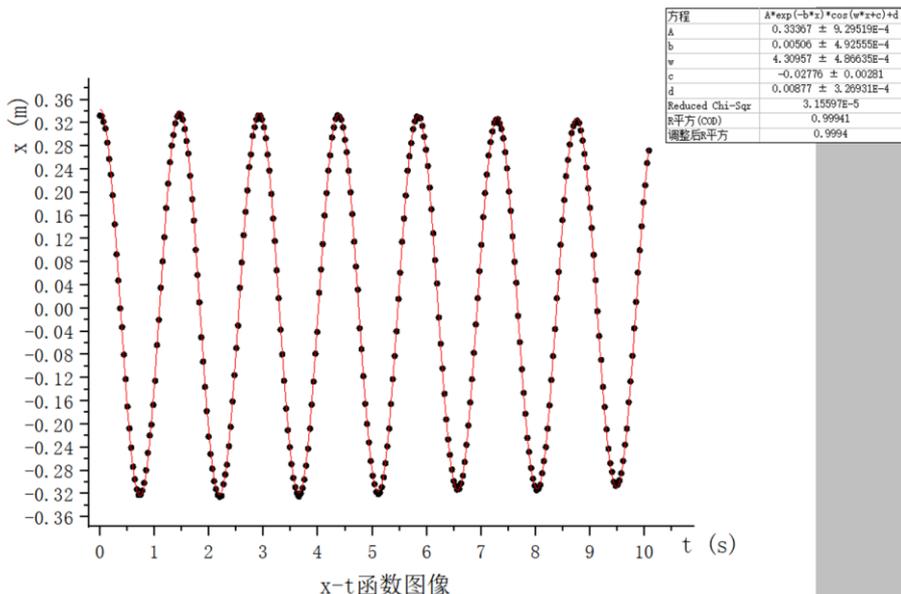
Michael G. Medvedev,^{1,2,3,*†} Ivan S. Bushmarinov,^{1,*†} Jianwei Sun,^{4,‡} John P. Perdew,^{4,5,†} Konstantin A. Lyssenko^{1,†}



Medvedev *et al.*, *Science* **355**, 49–52 (2017) 6 January 2017

误差传递与迭代放大

- 大角度摆动，用卷尺测出摆长，利用Tracker软件追踪摆球轨迹



摆长: $l = 0.518m$

摆角: $\theta = \arcsin\left(\frac{0.33231+0.32232}{2 \cdot 0.518}\right) = 0.684rad$

频率: $\omega = 4.31s^{-1}$

不修正: $g = l \times \omega^2 = 9.62m/s^2$

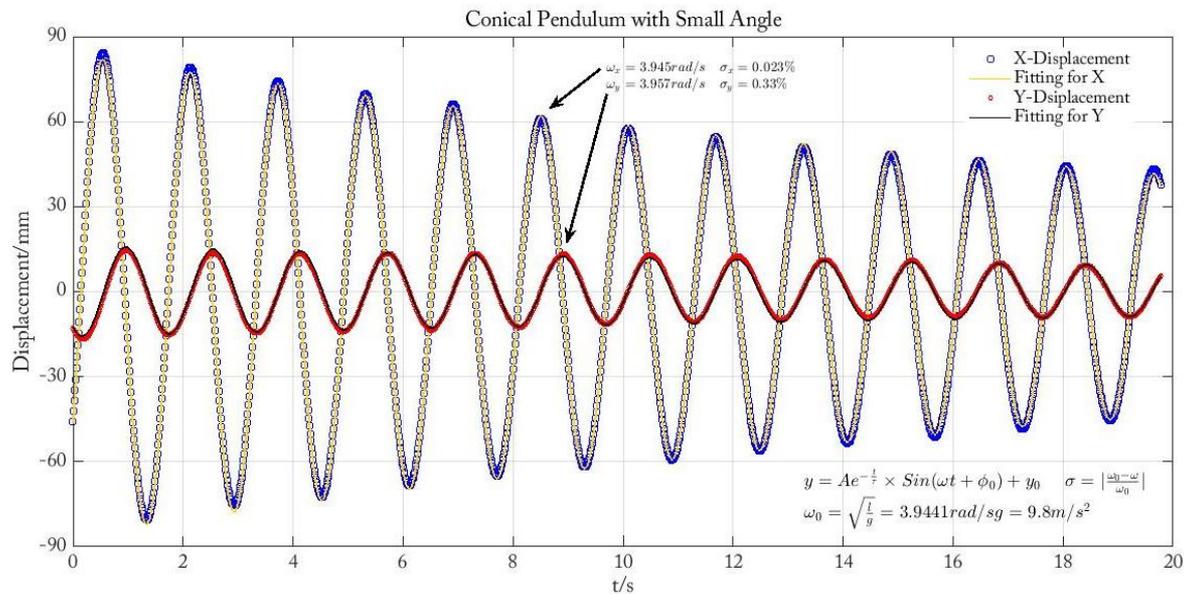
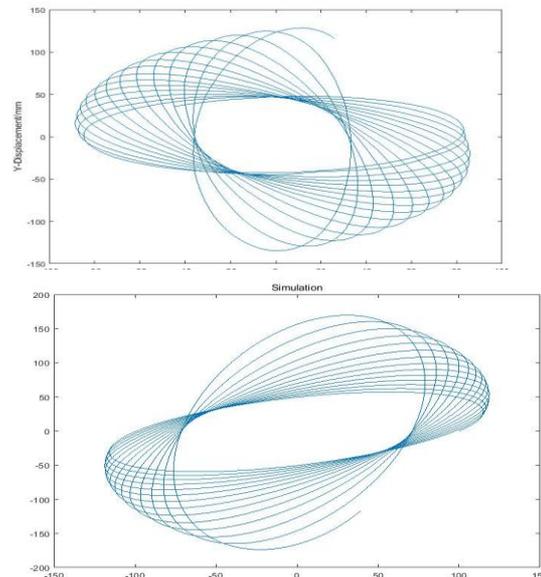
修正: $g = l \times (\omega \times (1 + 0.25 \times \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)))^2 = 9.82m/s^2$

能力推广

小角度圆锥摆实验数据

· 采用绳长 $l=65\text{cm}$ 的单摆，在 240fps 仰视拍摄条件下，由 Tracker 追踪轨迹。

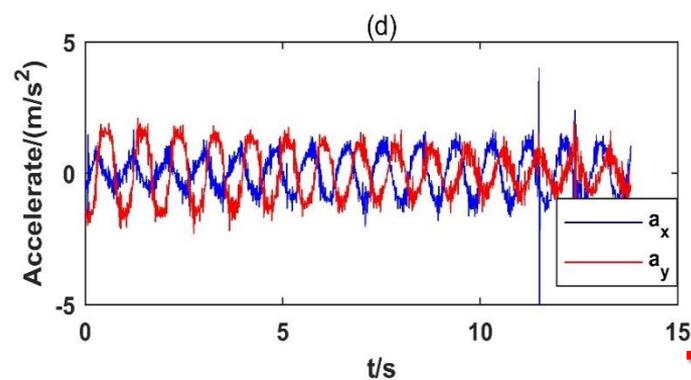
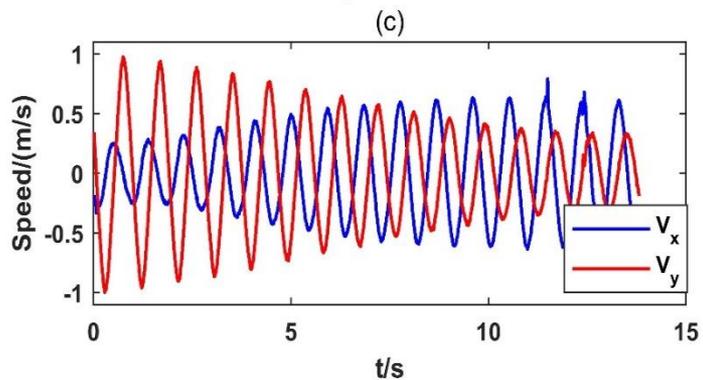
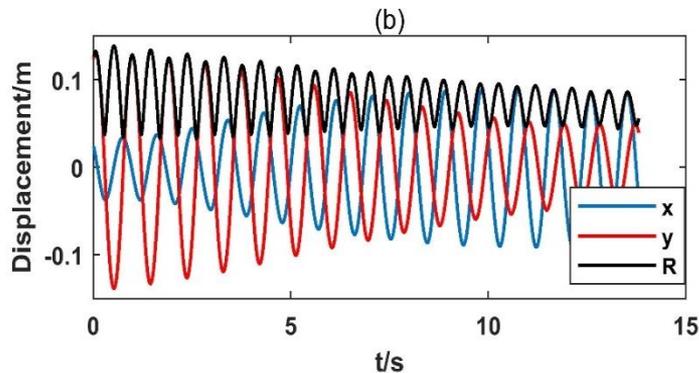
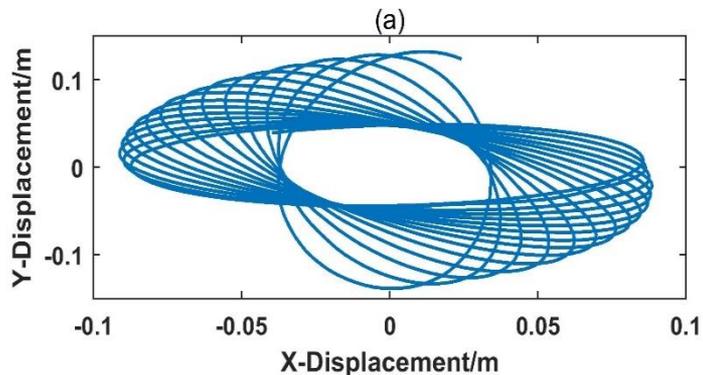
· 可以看到 XY 方向运动均可认为是简谐振动，且频率相同，相位差恒定，由起始条件决



进阶能力

大角度圆锥摆轨迹分析

为验证前述近似理论，根据轨迹计算摆球的加速度，与参数R，根据推论公式进行拟合。



高阶能力

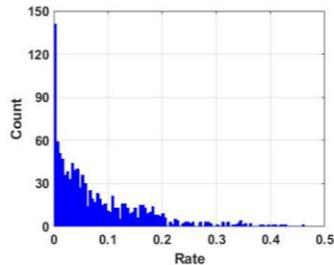
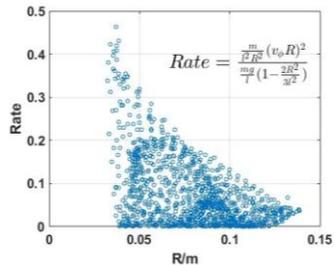
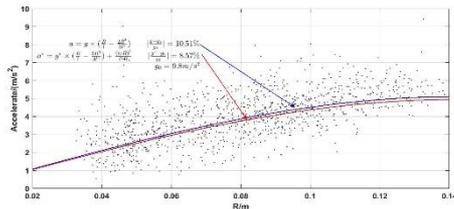
大角度圆锥摆实验误差分析

· 大角度摆动会产生更大的向心力，从而使绳子拉力增大，不牢固固定点发生振动。

· 对实验数据差分计算加速度的过程会放大数据采集中的噪声和其他误差，从而导致结果较分散。

$$\cdot m\ddot{\mathbf{R}} = -T\frac{\mathbf{R}}{l} = -\left(\frac{m}{l^2R^2}(v_\theta R)^2 + \frac{mg}{l}\left(1 - \frac{2R^2}{3l^2}\right)\right)\mathbf{R} \text{ 中,}$$
$$\frac{\frac{m}{l^2R^2}(v_\theta R)^2}{\frac{mg}{l}\left(1 - \frac{2R^2}{3l^2}\right)} \sim \frac{R^2}{l^2}\left(1 + \frac{2R^2}{3l^2}\right), \text{ 此项在角度较小的情况下相符,}$$

对于本视频，其统计结果显示前一项确实影响不大，但可以改善拟合精度。



Foucault pendulum (拓展)

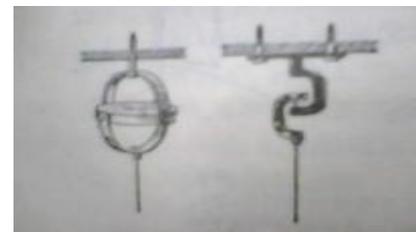
Jean Bernard Leon Foucault
to demonstrate the spin of earth

The first Foucault pendulum exhibited
to the public was in 1851, suspended a
28 Kg bob by a 67 metre wire from the
dome of the Pantheon (先哲祠) in Paris



演示出地球的自转现象

万向节



- 地球转动缓慢，需要一个比较长的摆线才能显示出轨迹的差异
- 因为空气阻力，这个系统必须拥有足够的机械能
- 悬挂摆线的地方必须允许摆线在任意方向运动

1、基本物理量的测量（长度、时间、起始点的判断、读数）

科学观察

2、基本仪器的使用（米尺、卡尺、千分计、秒表（机械、电子、声音）

能力拓展

3、数据处理：有效数字、不确定度

实事求是、科学严谨

4、设计训练：误差的传递，控制精度

辩证分析、整体与局部

5、从线性到非线性，1D、2D、3D螺旋式提升；从简单到复杂

坚持不懈、刻苦钻研

6、加深对图像、图形软件的使用（Phyphox、Tracker等）

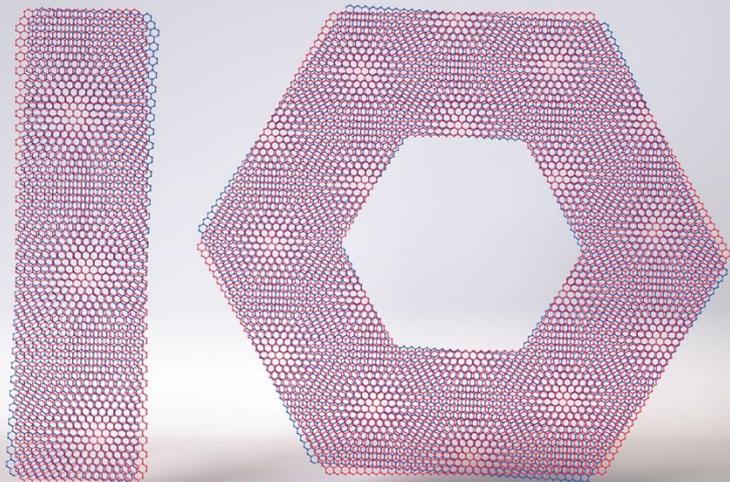
与时俱进、团结协作

研究性实验选题

- 最新前沿
- 校友贡献 (曹原10少、季珠润11少)
- 爱国荣校
- 刻苦钻研
- 创新不息
- 回馈社会

nature

THE INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE



ONE YEAR. TEN STORIES.

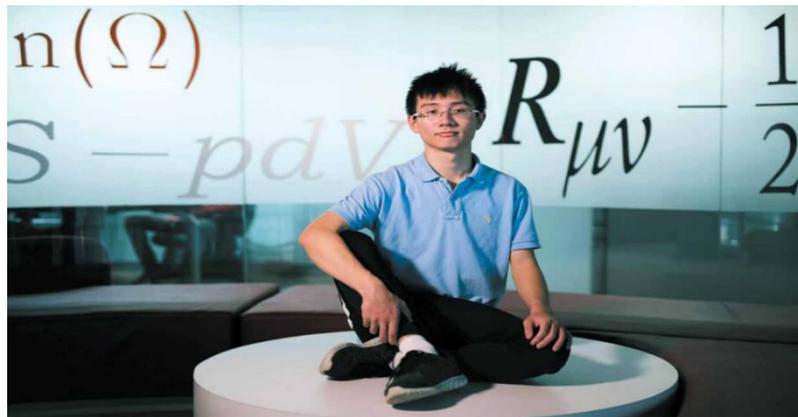
Ten people who mattered this year PAGE 325

NATURE.COM
20/27 December 2018 £10
Vol 564, No. 7736

曹原

(中国科大10少, 严济慈班毕业)

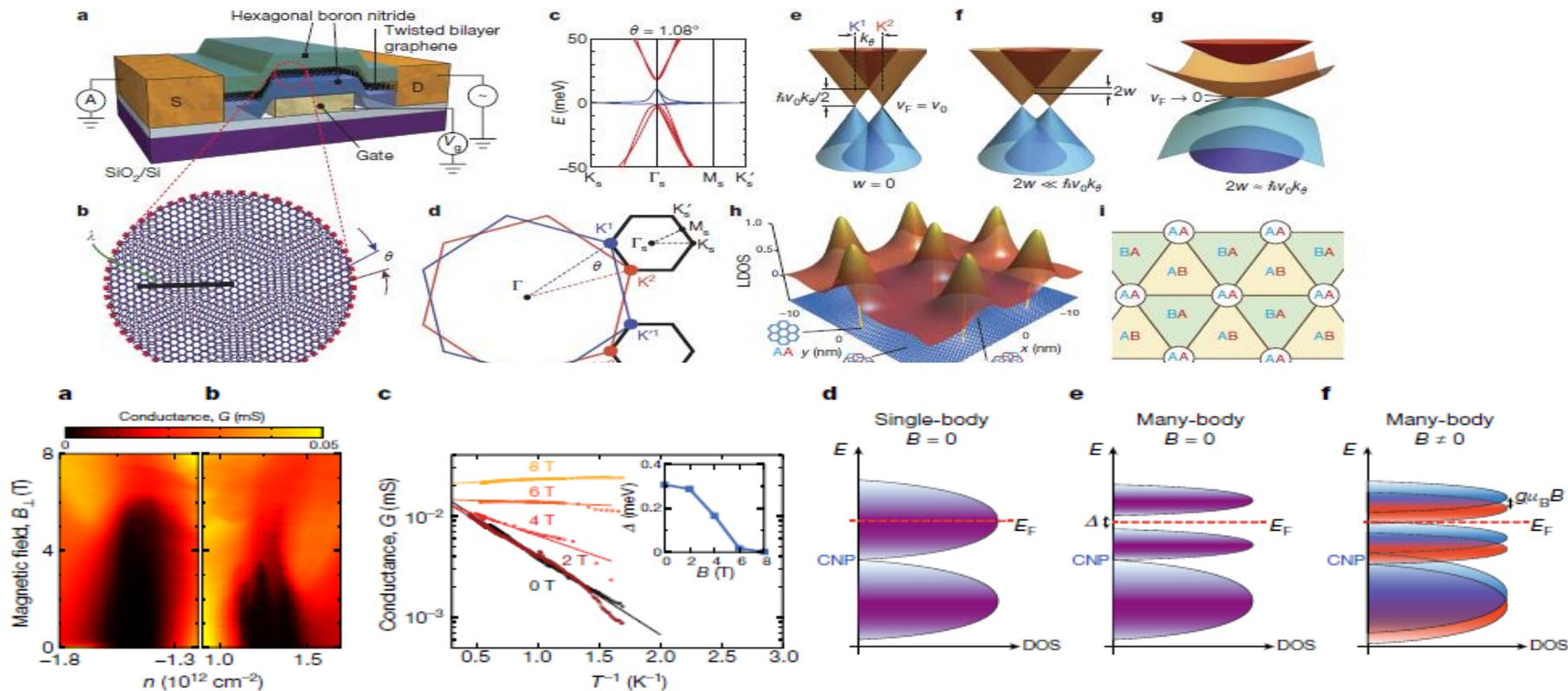
美国麻省理工学院博士生。



- 2018《自然》年度十大人物：天才少年曹原居首。
- 美国物理学会“2018年物理学十大进展”：石墨烯---超导家族的新成员。

Correlated insulator behaviour at half-filling in magic-angle graphene superlattices

Yuan Cao¹, Valla Fatemi¹, Ahmet Demir¹, Shiang Fang², Spencer L. Tomarken¹, Jason Y. Luo¹, Javier D. Sanchez-Yamagishi², Kenji Watanabe³, Takashi Taniguchi³, Efthimos Kaxiras^{2,4}, Ray C. Ashoori¹ & Pablo Jarillo-Herrero¹



不是后浪是巨浪

- 5月14日发表的光角动量文章的第一作者季珠润，13岁进入中科大少年班，博士就读于宾夕法尼亚大学Ritesh Agarwal组，今年22岁，**是Science第一作者中最年轻的女性之一**。这项研究是用 WTe_2 材料体系中，发现了旋涡光产生的轨道光致发光效应。这个开创性的**光相位电学探测方法**，无疑让我们听到了基于光子角动量的超高带宽光学通信的脚步声。

SHARE

REPORT



Photocurrent detection of the orbital angular momentum of light

Zhurun Ji¹, Wenjing Liu¹, Sergiy Krylyuk², Xiaopeng Fan^{1,3}, Zhifeng Zhang⁴, Anlian Pan³, Liang Feng^{1,4}, Albert Davydov², Ritesh Agarwal^{1,*}

¹*Department of Materials Science and Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, USA.*

²*Material Science and Engineering Division, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.*

³*Key Laboratory for Micro-Nano Physics and Technology of Hunan Province, State Key Laboratory of Chemo/Biosensing and Chemometrics, and College of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China.*

⁴*Department of Electrical and Systems Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, USA.*

*Corresponding author. Email: riteshag@seas.upenn.edu

– Hide authors and affiliations

Science 15 May 2020:
Vol. 368, Issue 6492, pp. 763-767
DOI: [10.1126/science.aba9192](https://doi.org/10.1126/science.aba9192)

Spatially dispersive circular photogalvanic effect in a Weyl semimetal

Zhurun Ji^{1,5}, Gerui Liu^{1,5}, Zachariah Addison², Wenjing Liu¹, Peng Yu³, Heng Gao⁴, Zheng Liu³, Andrew M. Rappe⁴, Charles L. Kane², Eugene J. Mele² and Ritesh Agarwal^{1*}

季珠润

(PB11000801)

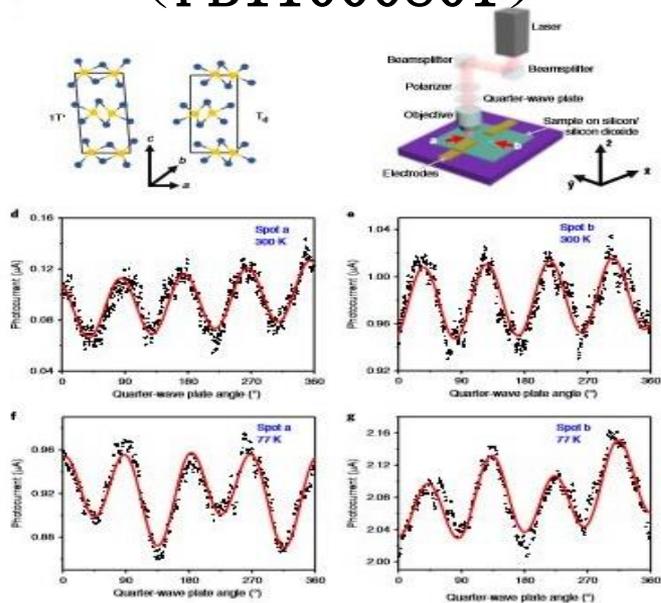


Fig. 1 | Polarization-dependent photocurrent measurements on 1T' and Td (Weyl) phases of MoTe2. a, b. Crystal structures of the 1T' (a) and Td phase of MoTe2. b. Yellow (blue) spheres represent Mo (Te) atoms, and a, b and c are the crystallographic axes. c. Schematic of the polarization-dependent photocurrent measurement set-up. In all our experiments, a Gaussian laser beam propagating along the z axis was focused by a microscope objective incident normally onto the sample (x-y plane), with the z axis parallel to the crystallographic c axis of MoTe2. d-g. Photocurrent plotted as a function of φ at two spatial locations and temperatures: spot a at 300 K (d); spot b at 300 K (e); spot a at 77 K (f); spot b at 77 K (g). Black dots are the experimental data, and red lines are the fits to equation (1).

2019年在Nature Materials发表了关于MoTe2中的圆偏光致电流效应的文章。宾夕法尼亚大学著名的拓扑物理学家尤金·梅莱 (Eugene Mele), 2019年科学突破奖获得者, 曾在采访中高度评价季珠润

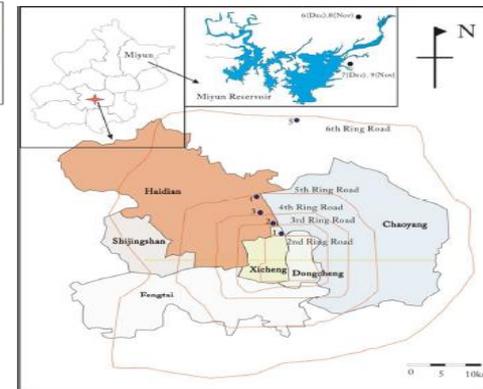
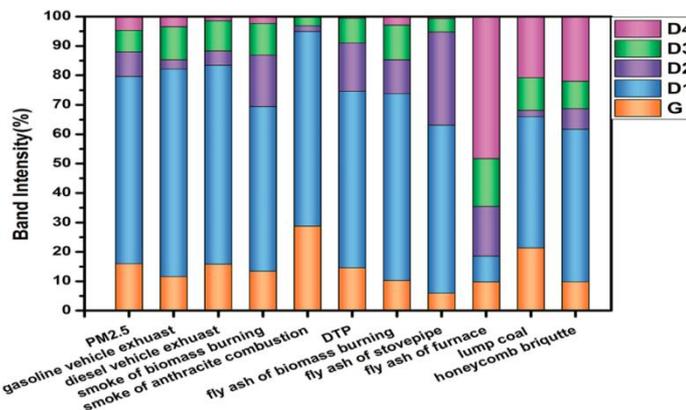
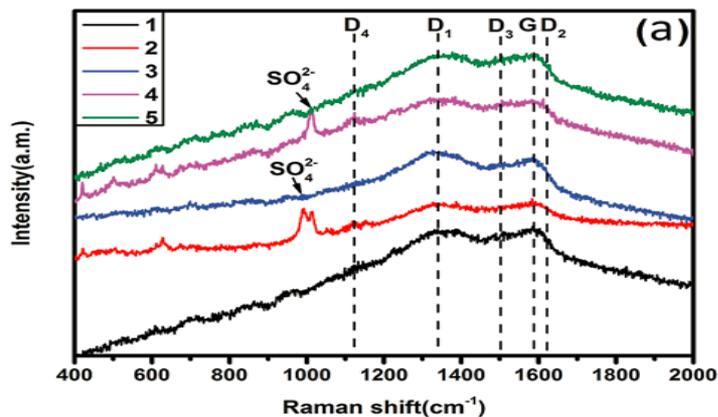
"I've rarely seen a graduate student faced with that challenge who was able not only to rise to it but to master it. She had the initiative to do something new, and she got it done."

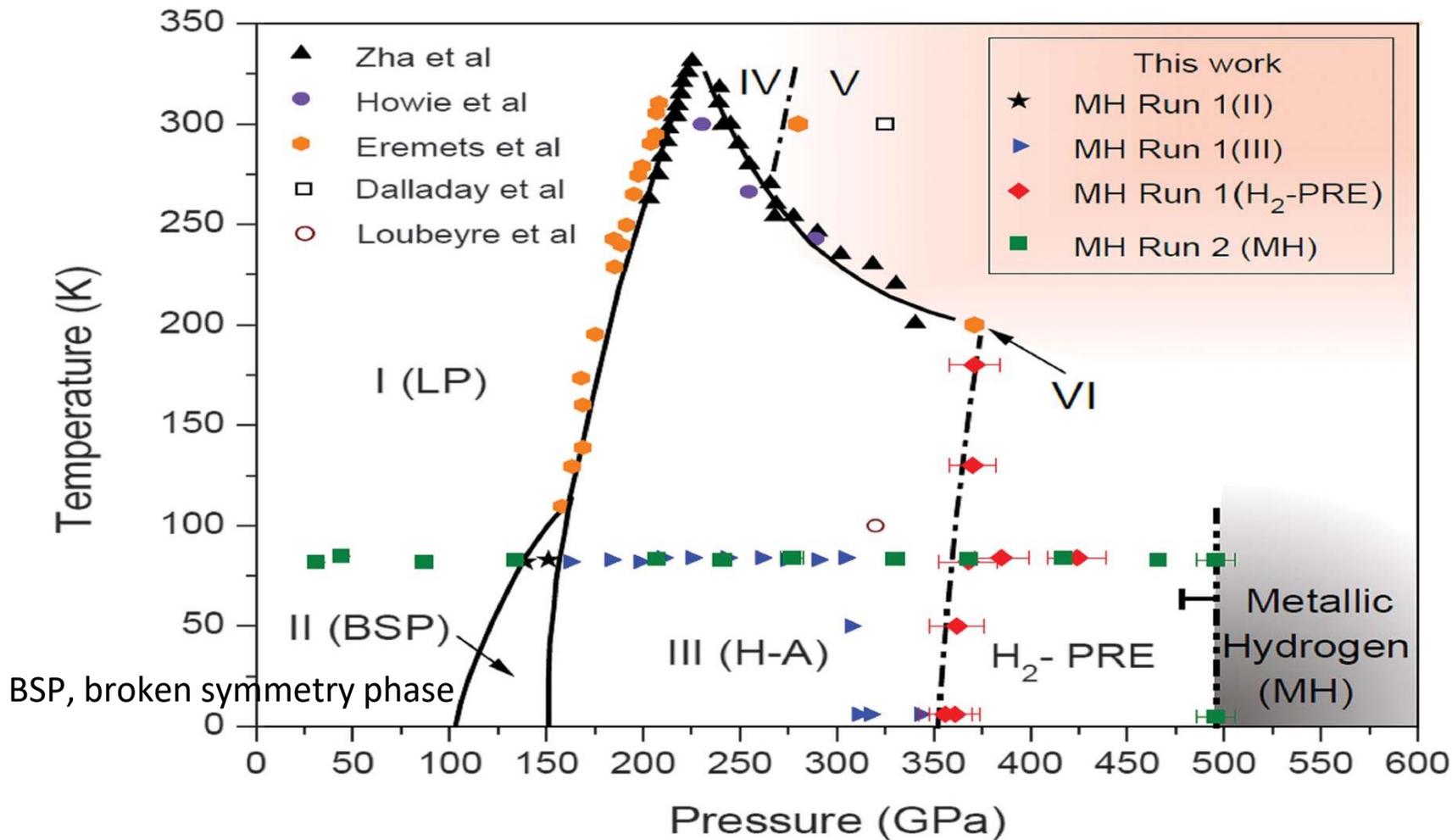


Cite this: *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2015, 17, 552

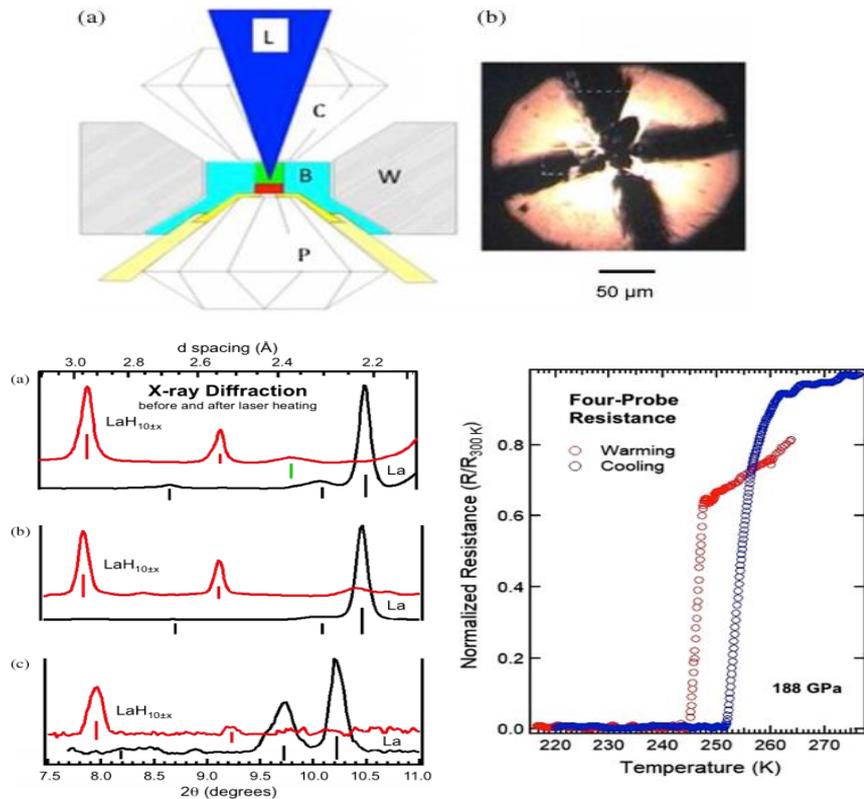
Characterization of fine particulate matter in ambient air by combining TEM and multiple spectroscopic techniques – NMR, FTIR and Raman spectroscopy†

Zhurun Ji,^a Rucheng Dai^b and Zengming Zhang^{*b}

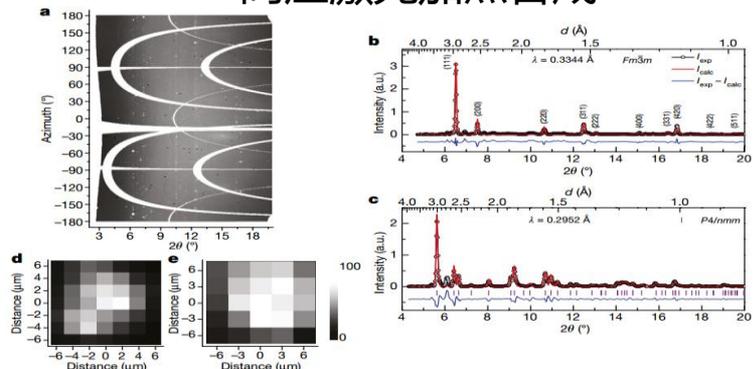




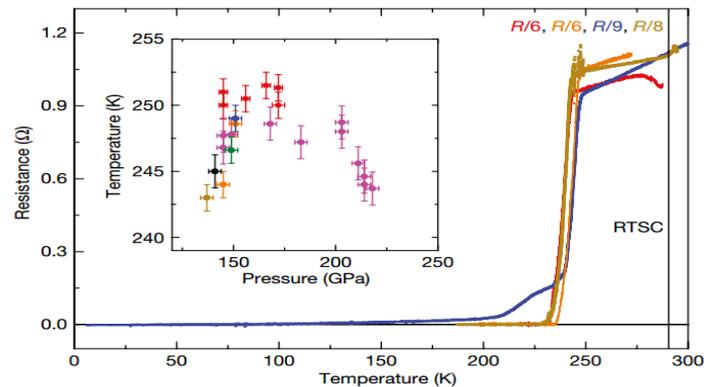
Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures



高压激光加热合成



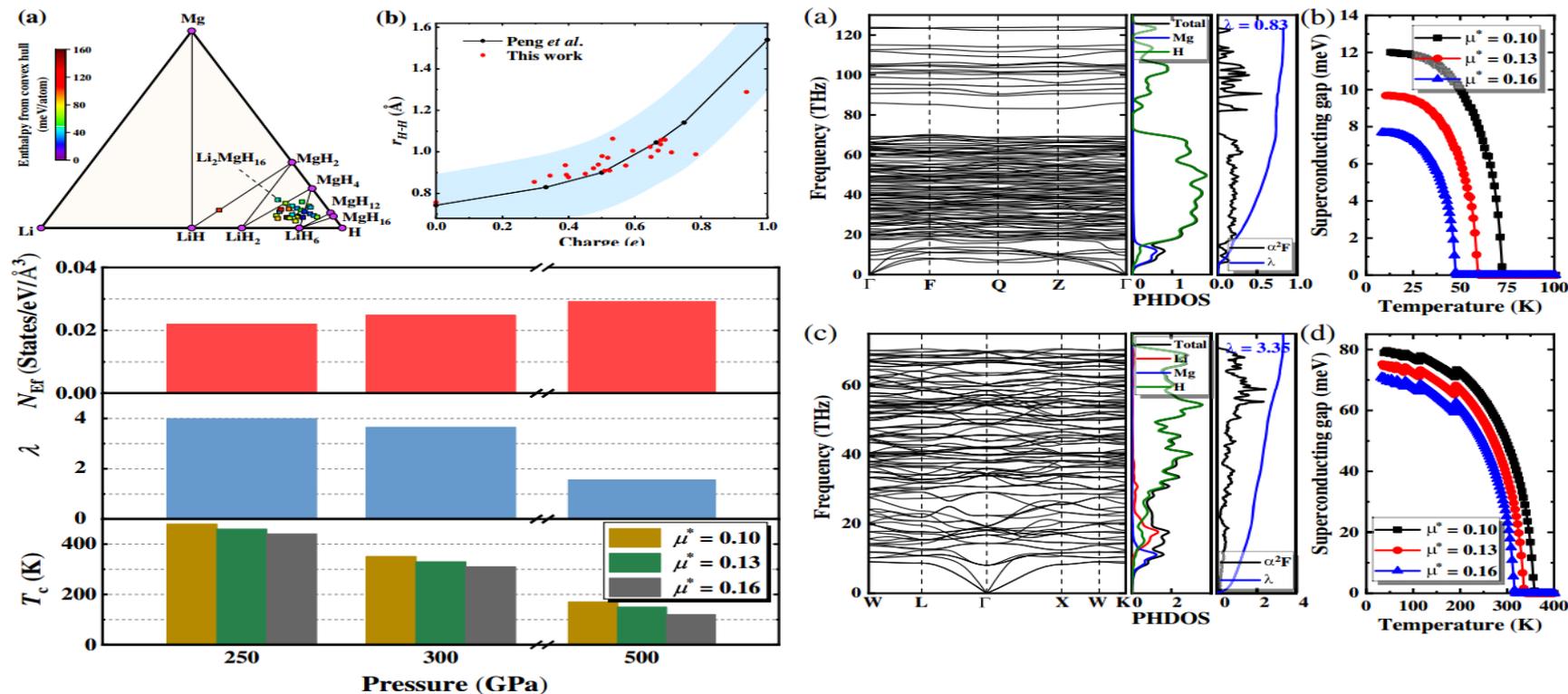
高压250K超导



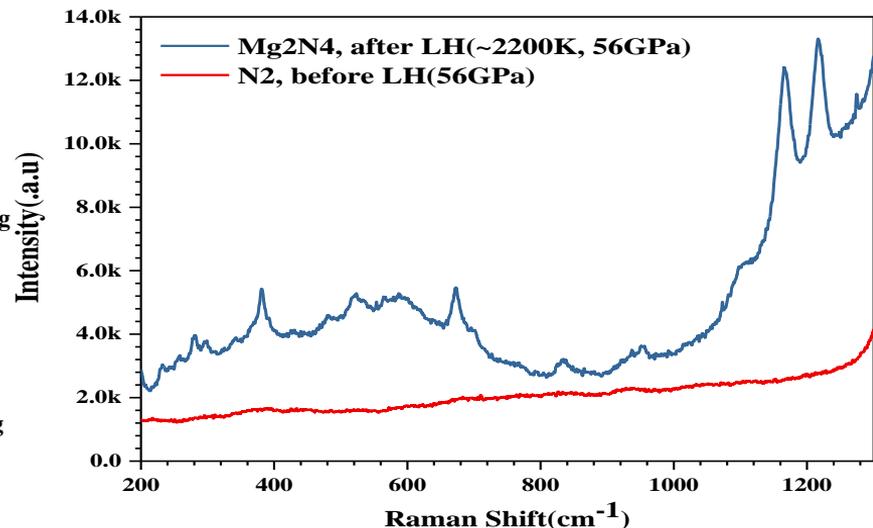
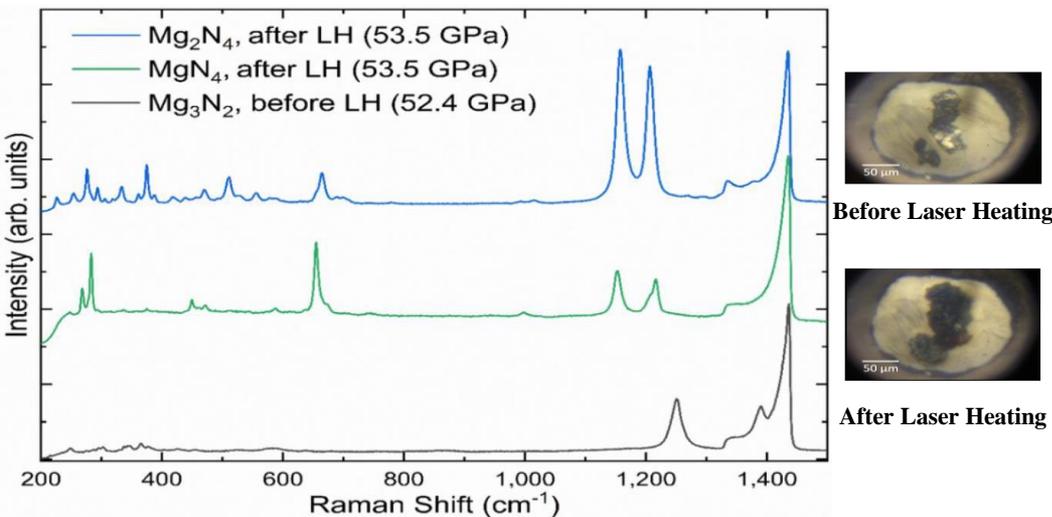
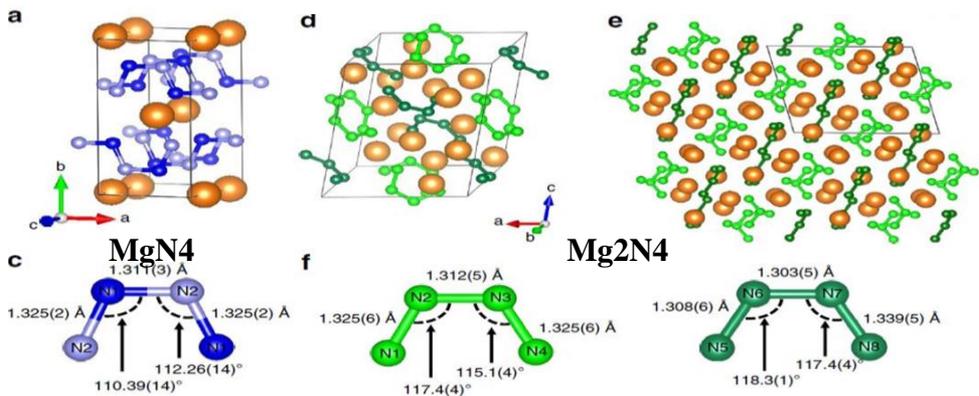
Somayazulu M., et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2019, 122, 027001.

Drozdov, A.P. et al. *Nature*, 2019, 569, 528.

Route to a Superconducting Phase above Room Temperature in Electron-Doped Hydride Compounds under High Pressure



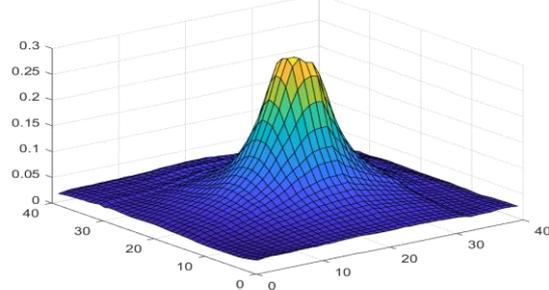
通过CALYPSO结构预测软件，预测 $\text{Li}_2\text{MgH}_{16}$ 在250GPa下473K (200°C) 超导。



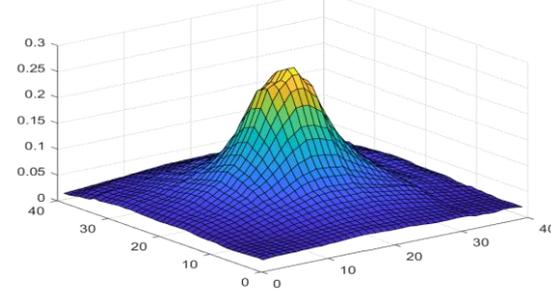
近场声全息技术 (公众开放)



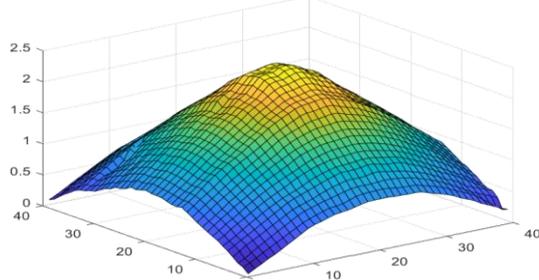
实际测量声压 $z_H=0.03\text{m}$



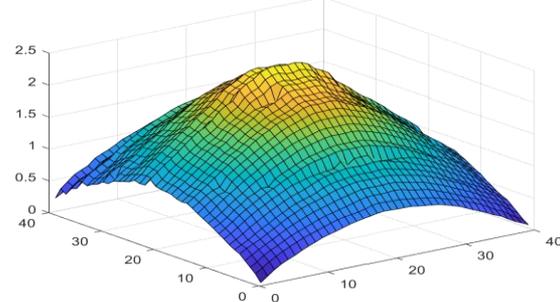
实际测量声压 $z_H=0.065\text{m}$



实际测量相位 $z_H=0.03\text{m}$



实际测量相位 $z_H=0.065\text{m}$



**2020年全国高等学校
大学物理实验课程育
人教学标准研讨会**

2020.04.25

第一阶段 大会报告 主持人：福建师范大学 黄志高教授

姓名	职称	工作单位	报告题目	时间
张增明	教授	中国科学技术大学	集中与分散的大学物理实验育人课程	15 min
熊永红	教授	华中科技大学	春风化雨润物无声	15 min
潘小青	教授	江西理工大学	物理实验课程中的科学品格教育	15 min

第二阶段 大会报告 主持人：大连理工大学 李雪春教授

姓名	职称	工作单位	报告题目	时间
李金环	教授	东北师范大学	物理实验教学课程育人的思考与实践	15 min
苏卫锋	副教授	复旦大学	实验教学中的“非实验”教育	15 min
魏 凌	副教授	河南大学	实验课程思政教学与科研融合的思考与探索	15 min
肖利霞	博士	文华学院	民办院校物理系列课程思政的实践与探索	15 min

第三阶段 大会报告 主持人：浙江大学 厉位阳教授

姓名	职称	工作单位	报告题目	时间
马宁生	教授	同济大学	大学物理实验教学育人的方法和途径	15 min
张映辉	教授	大连海事大学	结合“迈克耳孙干涉实验”讲授现象与本质的辩证关系	15 min
乐永康	教授	复旦大学	我对实验课程育人的理解 ——从电视剧《共产党人 刘少奇》谈起	15min

第四阶段 会议讨论：实验思政的形式与内容

主持人：中山大学 赵福利教授

经典实验提炼

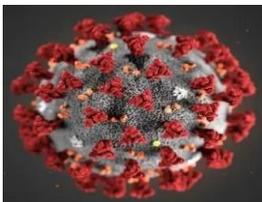
- **诺贝尔奖经典物理实验虚拟仿真实验（课程思政）**

- 采用VR、AR技术，让学生重温科学巨匠的经典实验，解刨和构建实验仪器，了解实验装置的设计原理，领悟科学家的科学思维方法，提出问题、分析问题和解决问题的思路。 **培养学生的科学思维方法、科学素质和科学实验综合能力。**

疫情中的大学物理实验

1、病毒研究

直径100nm量级



新冠疫情中的物理实验

传统光学显微镜



$$d = \frac{\lambda}{2N \cdot A}$$

生物应用中的光学超分辨:

STED (Stimulated Emission Depletion)

STORM

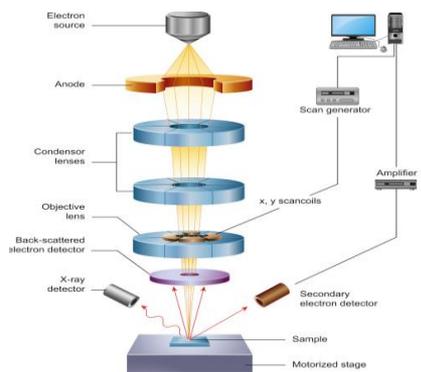
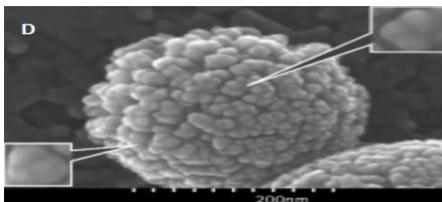
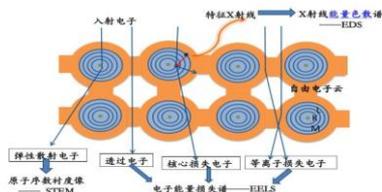
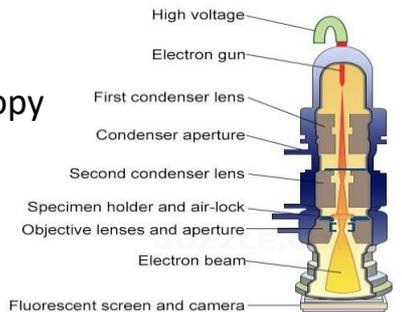
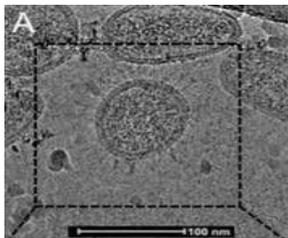
(stochastic optical reconstruction microscopy)

分辨率可达10nm受荧光分子限制, 结构信息有限.

近场显微镜: NSOM

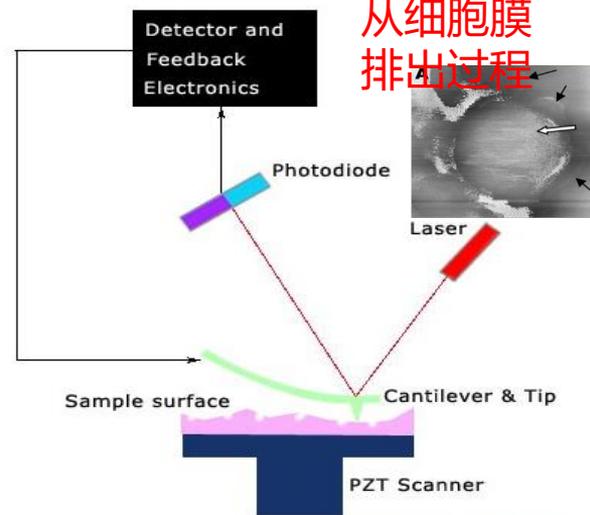
cryo-electron microscopy

TEM+低温
=冷冻电镜



SEM 扫描电镜观察SARS病毒

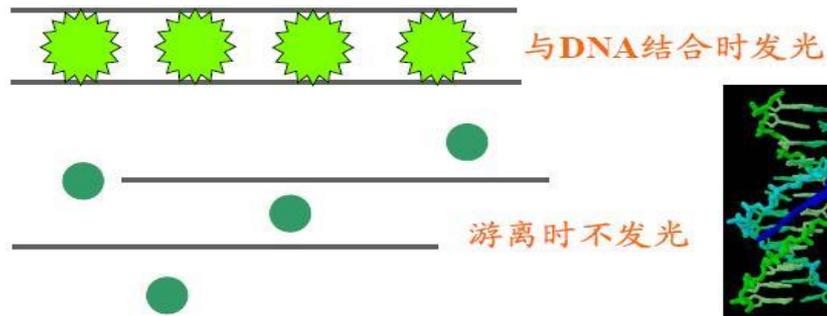
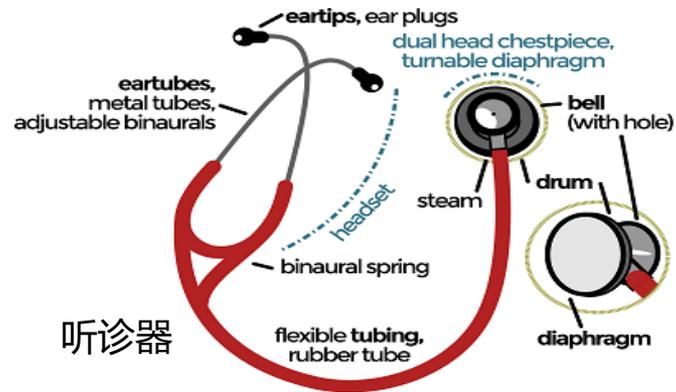
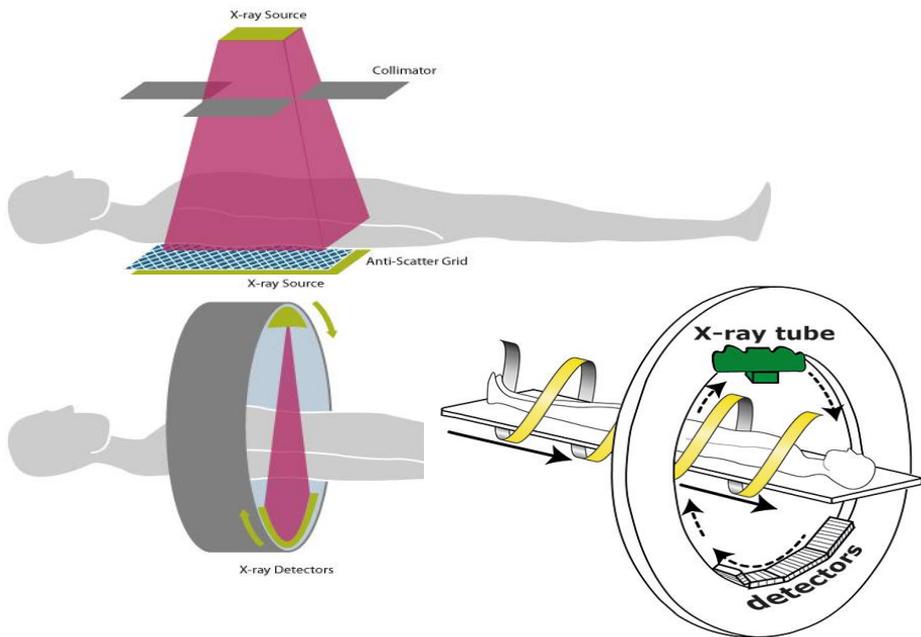
Sars病毒
从细胞膜
排出过程



2、诊断



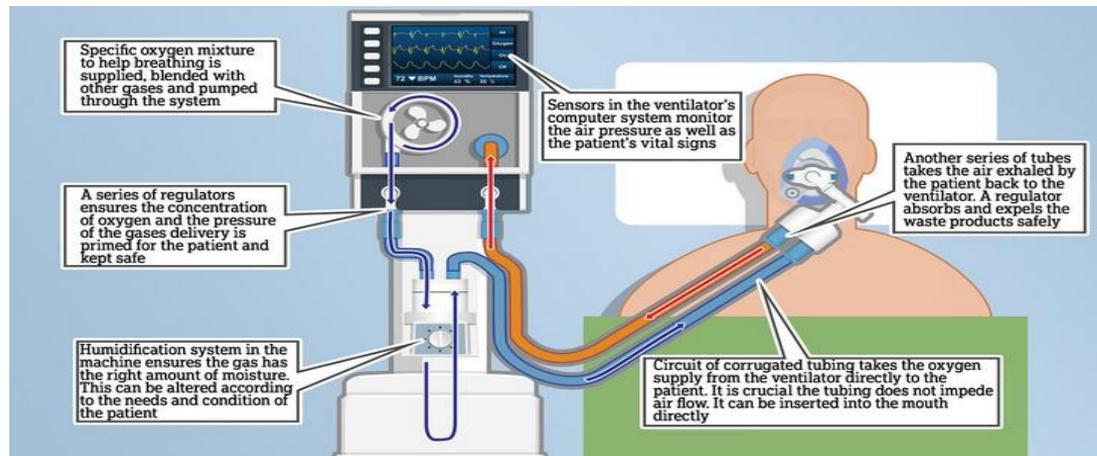
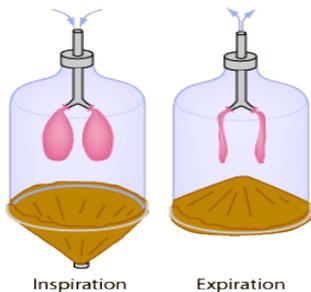
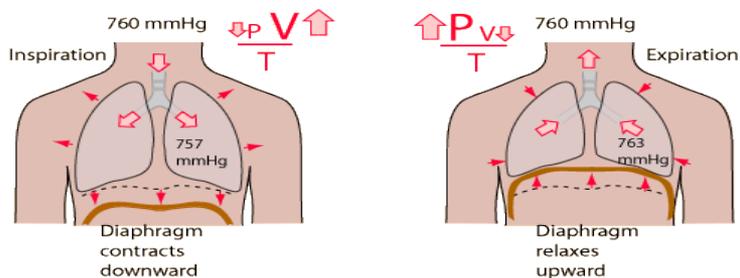
Fig. 2. Representative chest radiographic (A) and CT images (B, C) of COVID-19 pneumonia manifesting as confluent pure ground-glass opacities on CT.



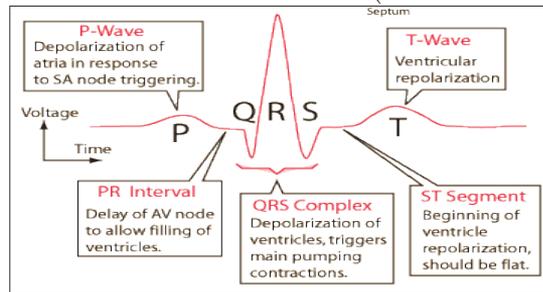
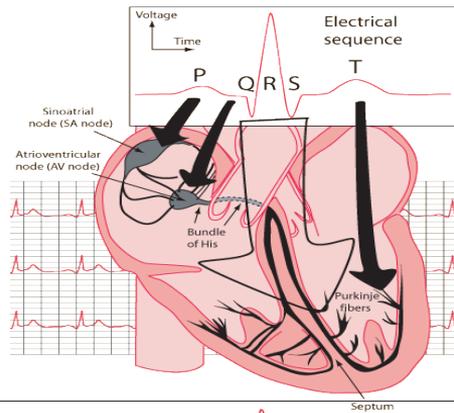
荧光PCR检测技术

3、治疗

呼吸机

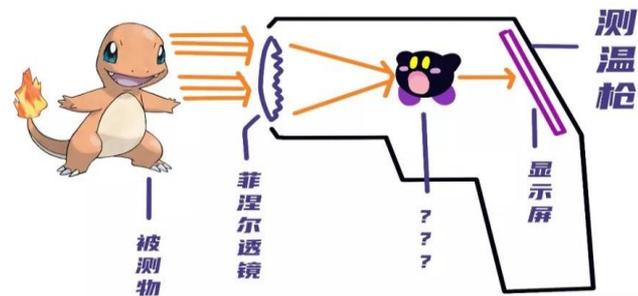
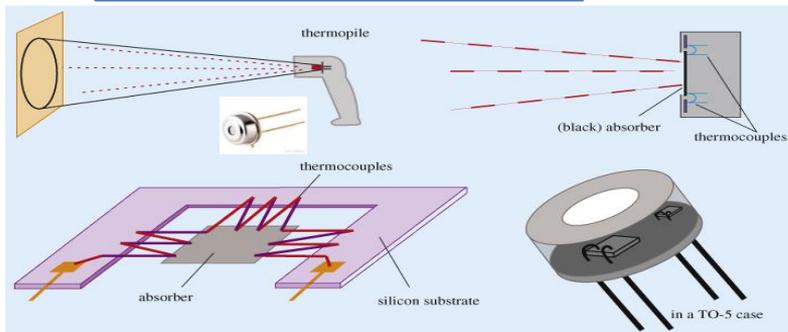


心电图



居家实验

4、预防-测温



正人体体温在36 ~ 37°C时放射的红外线
波长为9 ~ 13 μm

智能红外体温筛查
报警系统

等离子体杀毒



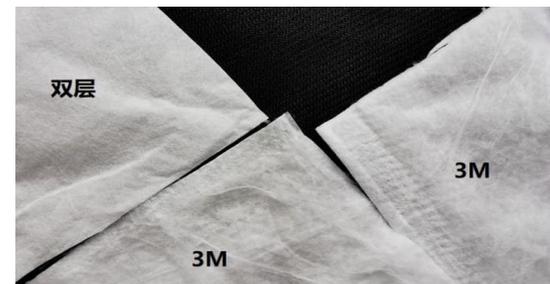
4、预防-口罩



4 LAYER OF PROTECTION



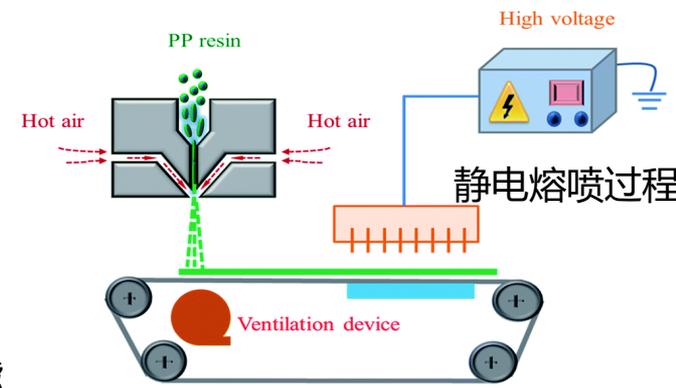
聚丙烯熔喷无纺布：超细纤维的随机分布提供了纤维间更大的表面积，使产品过滤效率高



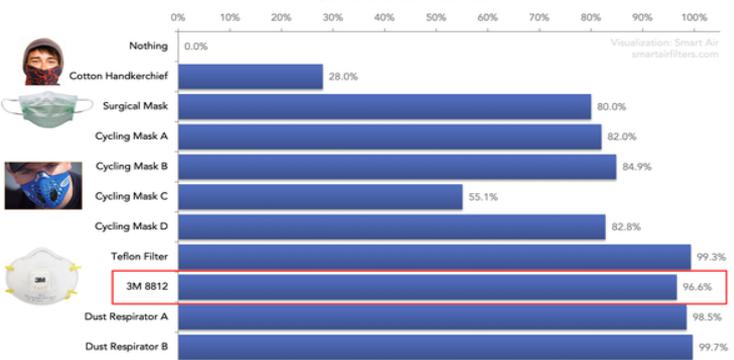
3 Layers Structure



300nm直径颗粒过滤

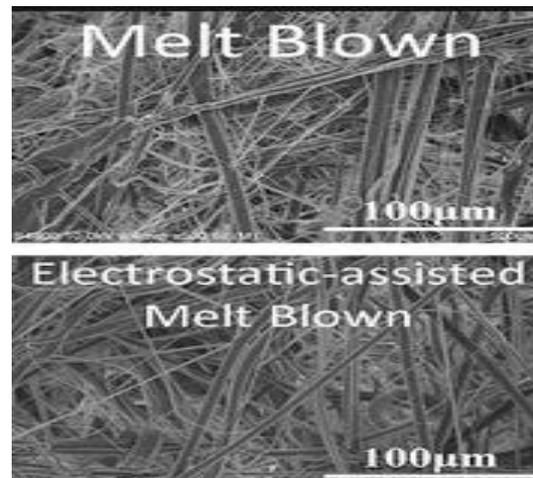
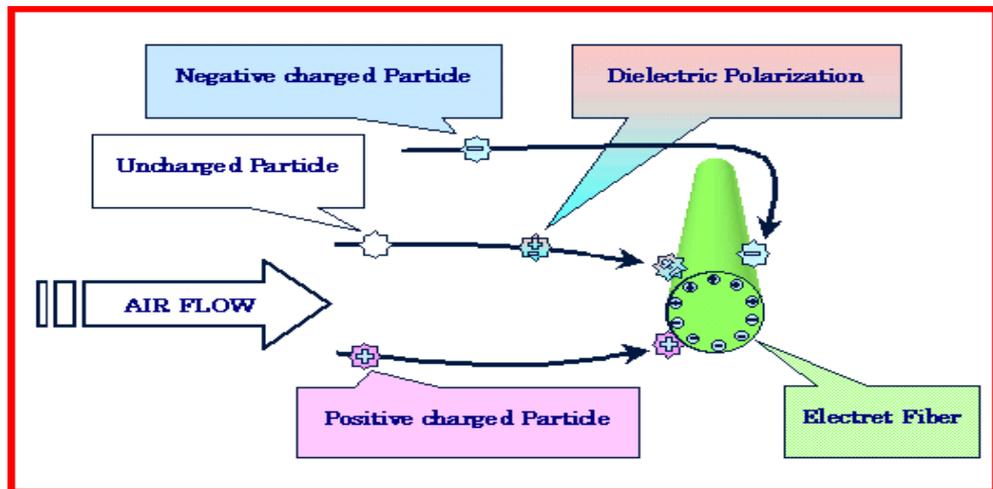
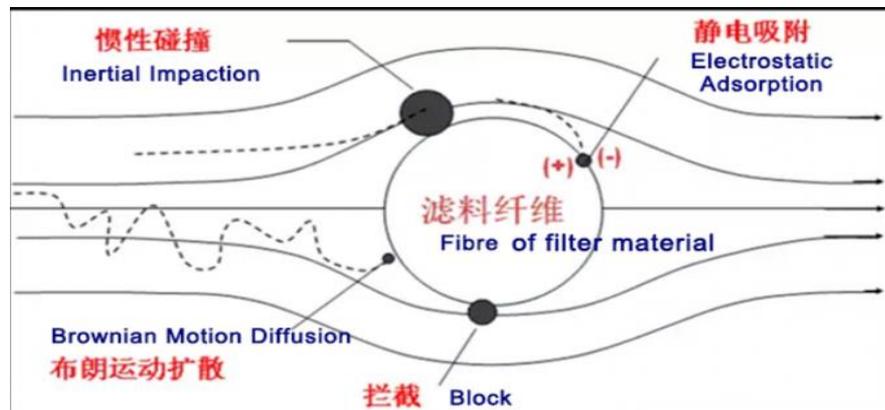
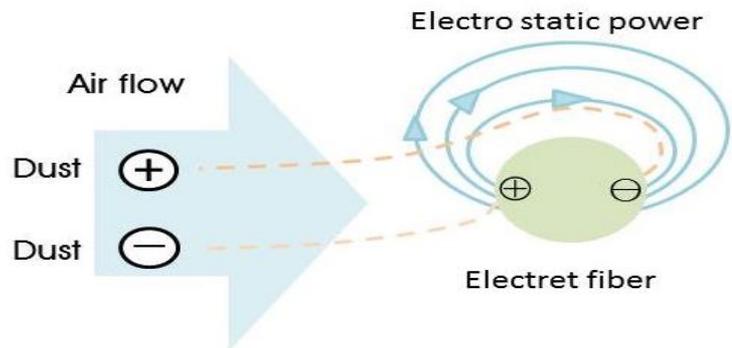


% Particles Blocked

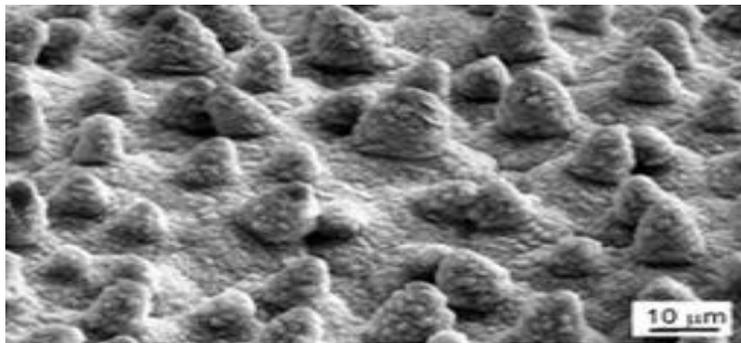


Langrish, Jeremy P., et al. "Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask." (2009).

疫情预防-口罩



4、预防-口罩疏水性



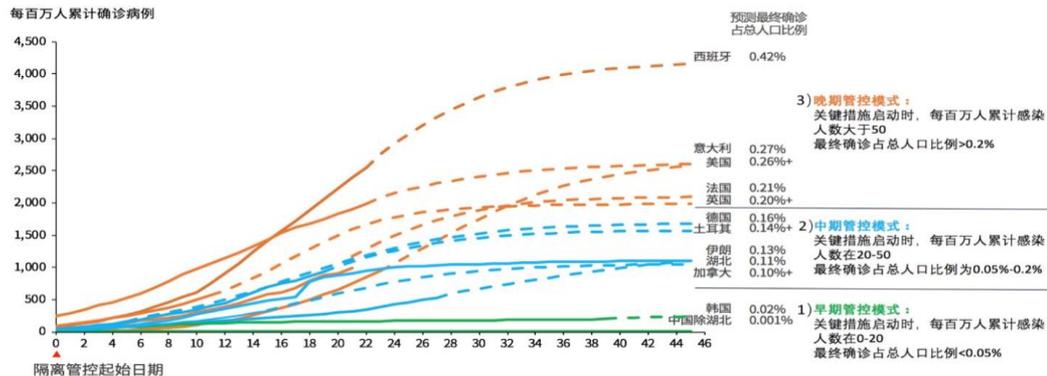
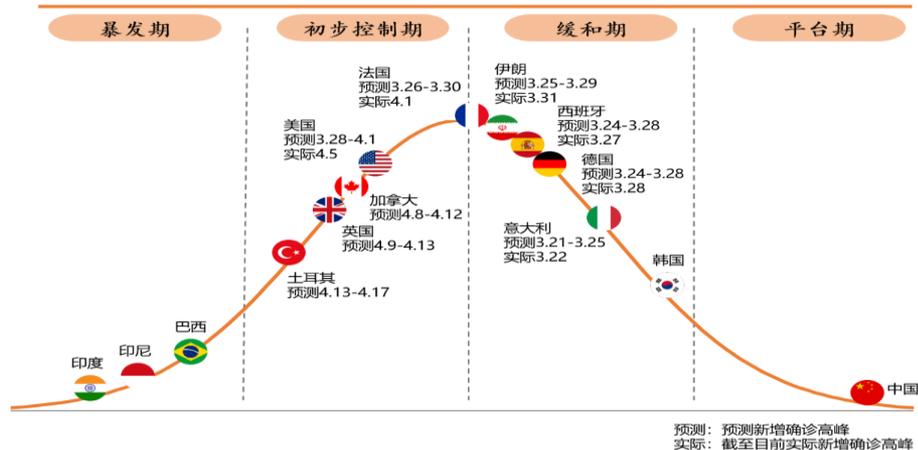
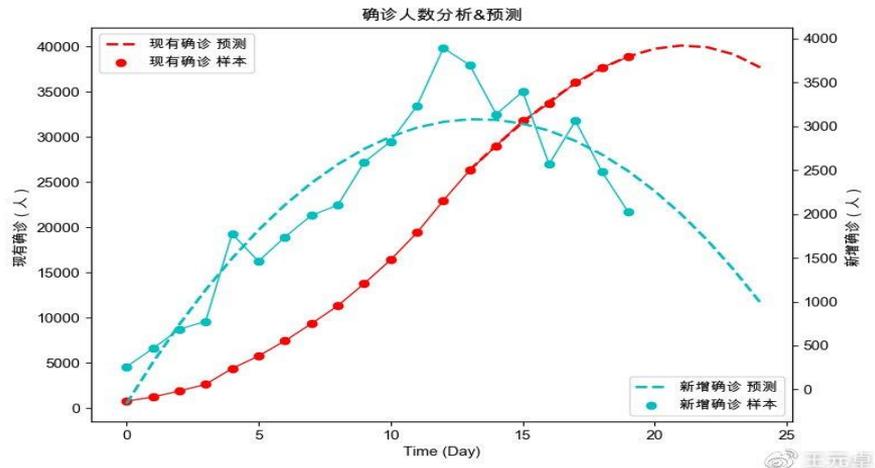
居家实验

(喷壶中为酒精)

	Wenzel	Cassie	Transition	Lotus
示意图				
典型生物				
微米级放大				
纳米级放大				

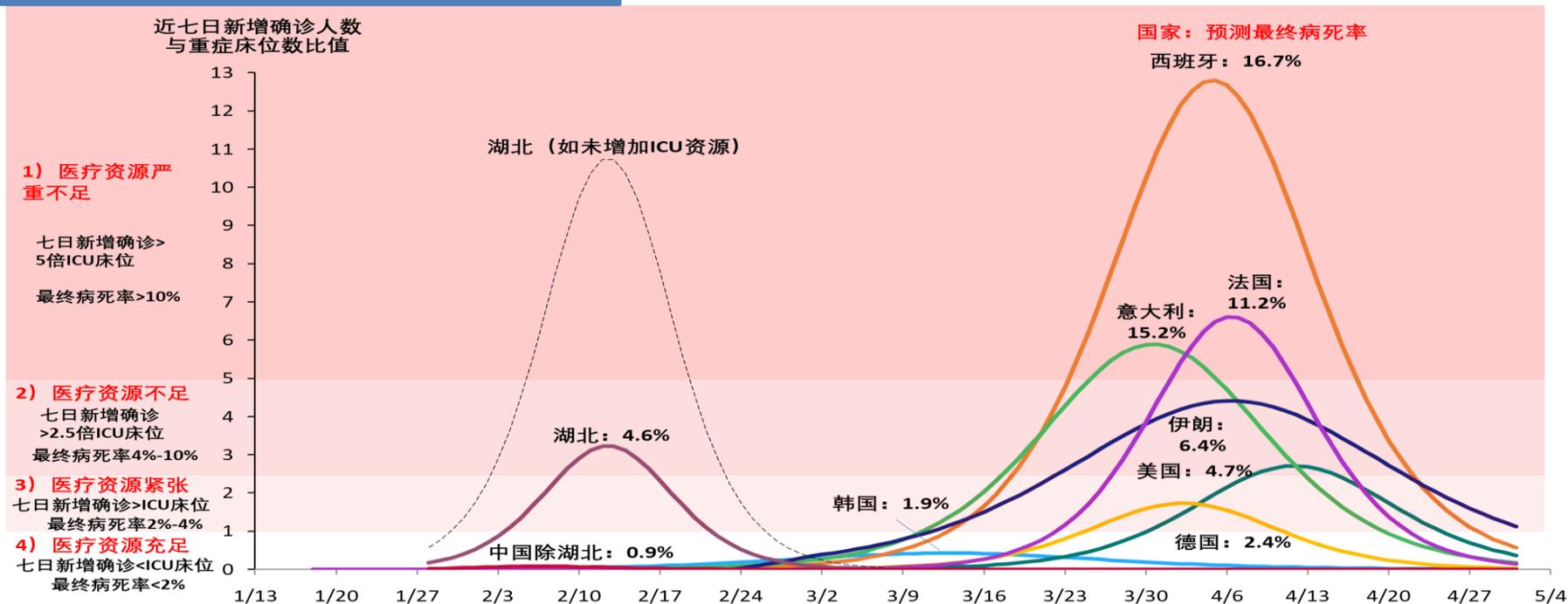
知乎 @等风来急

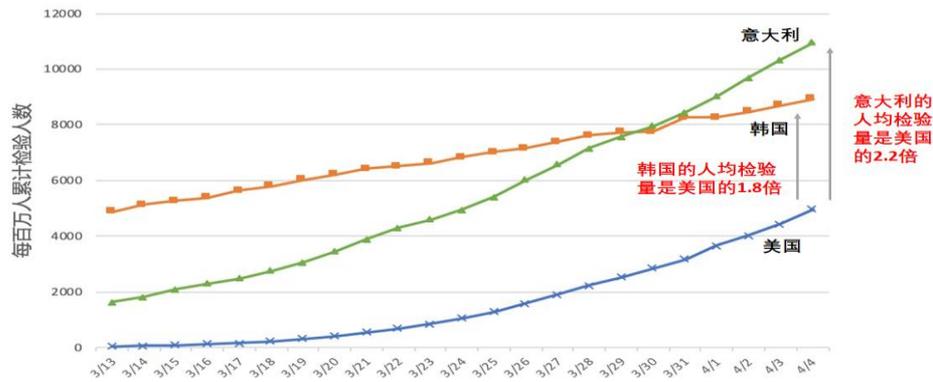
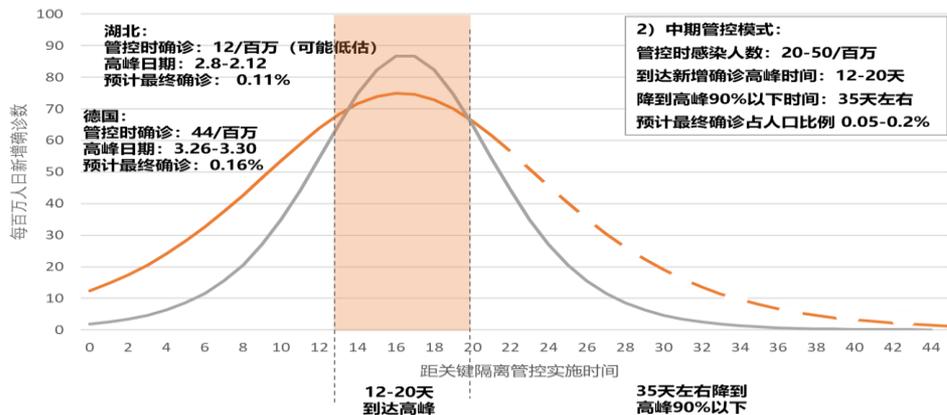
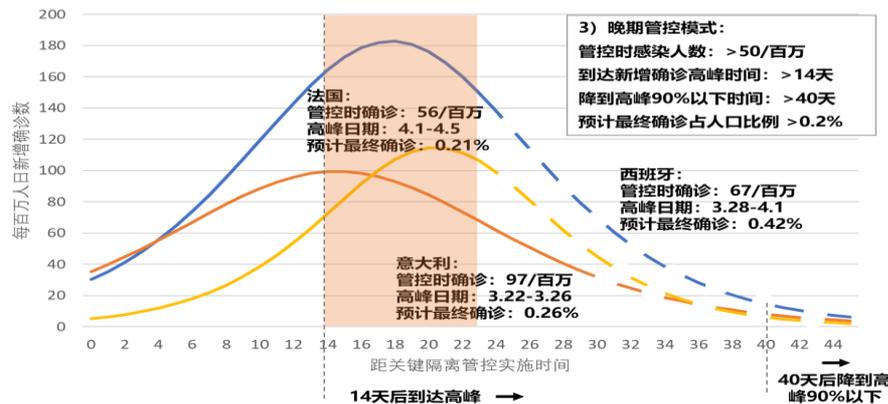
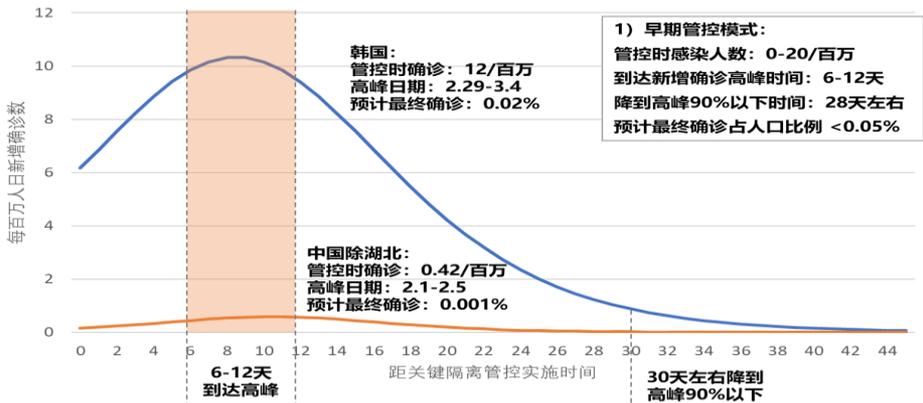
5、预测



来源：凤凰网商业4.8
 预测：4月15日:200万确诊
 WHO北京17日8时：2034802

5、预测







《光学实验》课程中的思政图谱

实验内容	讲解内容	作用	思政内容
绪论	动手能力、分析能力 进位法则	素质培养 科学性	科学精神 理论上的严谨性
迈克耳逊实验	测量光速	理论与实验不同	科学精神
X光实验	伦琴发现X射线	不少科学家已发现过类似伦琴所见到的异常现象	工匠精神
显微镜实验	小孔成像原理望远镜介绍	《墨经》中的光学：墨子和他的学生做了世界上最早的“小孔成像”实验，并对实验结果做出了精辟的见解。	爱国主义
太阳能应用实验	太阳能的发展与应用	天眼 节能环保 照明、节能环保	科学发展观
LED实验	光谱特性、照明系统	“国家半导体照明工程”中国2013年成为世界最大的太阳能发电市场，年均复合增长率为21.96%。	科学发展观
光谱实验	光纤传输	经过高锟的不懈努力，制造出世界上第一根用石英玻璃制成的光导纤维，使得科学界震惊不已。	民族精神
设计与讨论	考试	设计方案	创新精神
.....



课程思政应具有亲和力和针对性，找准切合点，进行针对性的思政教育，才能易于被学生接受，才能真正实现**传授知识**和**价值引领**的有机结合，让思政教育的目的有机的结合到知识传授之中。

1. 教师要把握好每个实验的重点内容。

一些实验是理论上的建树—氢原子光谱中的波尔理论（讲故事）…

一些实验是实验方法的突破—弗兰克·赫兹实验（讲故事）…

一些实验是实验仪器的调节—迈克尔逊干涉仪（讲故事）；分光计实验…

……

2. 教师要激发学生的好奇心。

正像爱因斯坦说的那样：“我没有特别的天赋，只有强烈的好奇心。”
介绍实验技术的实际应用—全息技术；光学检测…

3. 教师要引导学生提问题。

鼓励学生提问题，对**任何问题**都要耐心解答。

目标

- 反复研讨、形成共识
- 物理实验思政标准库
- 因校组合、因材施教
- 集中与分散、择优授课
- 教材：加强实验中的思政元素

谢谢！