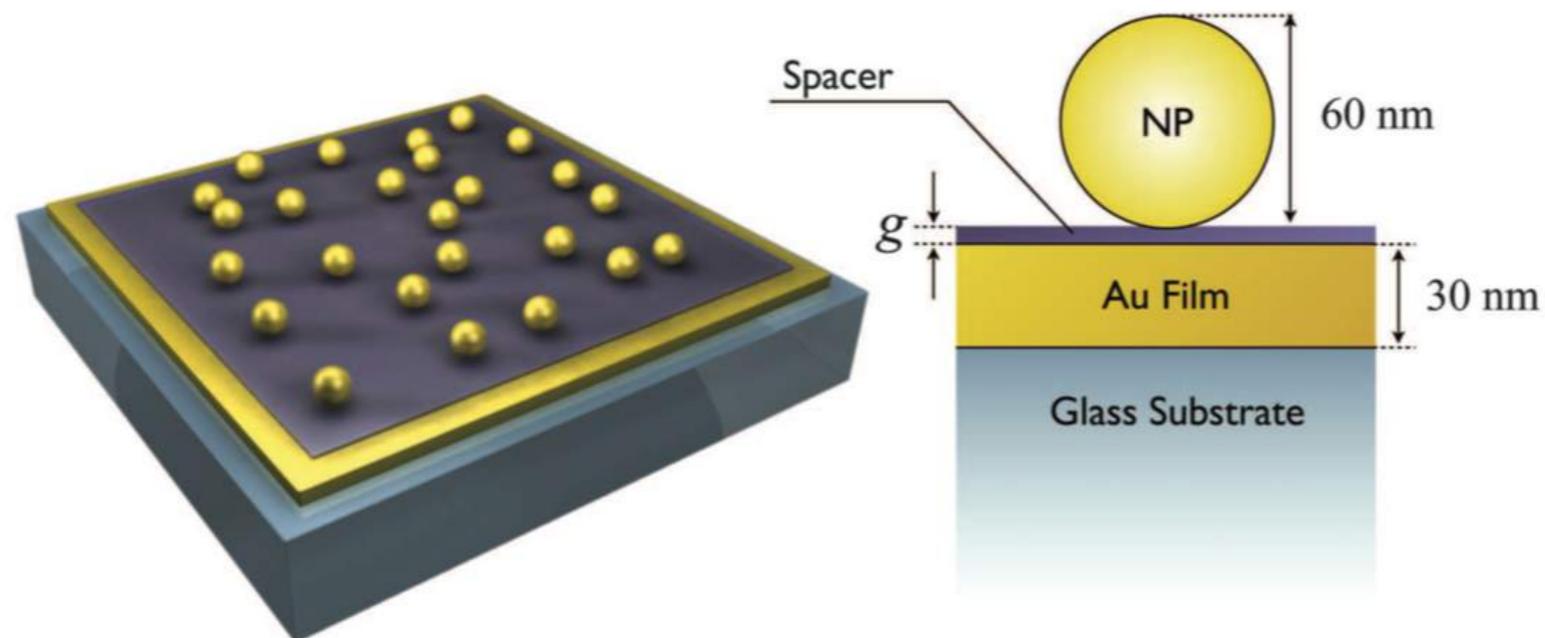


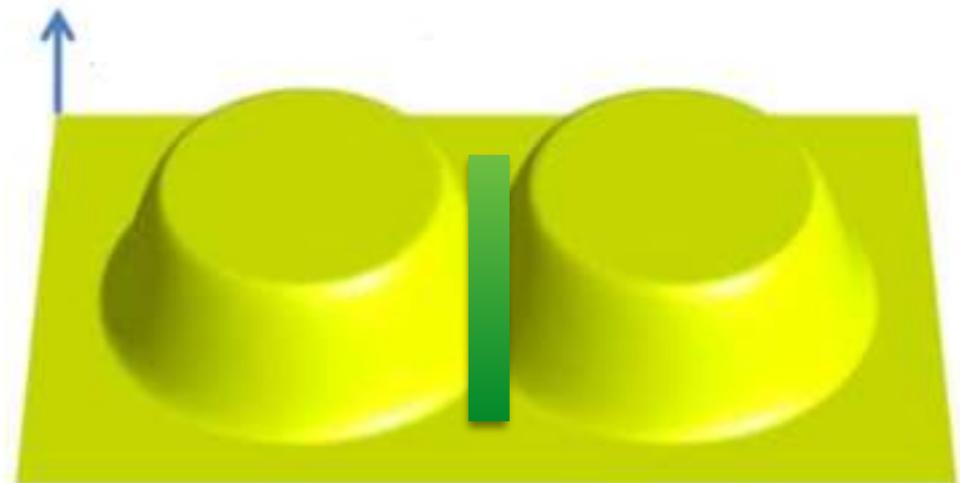
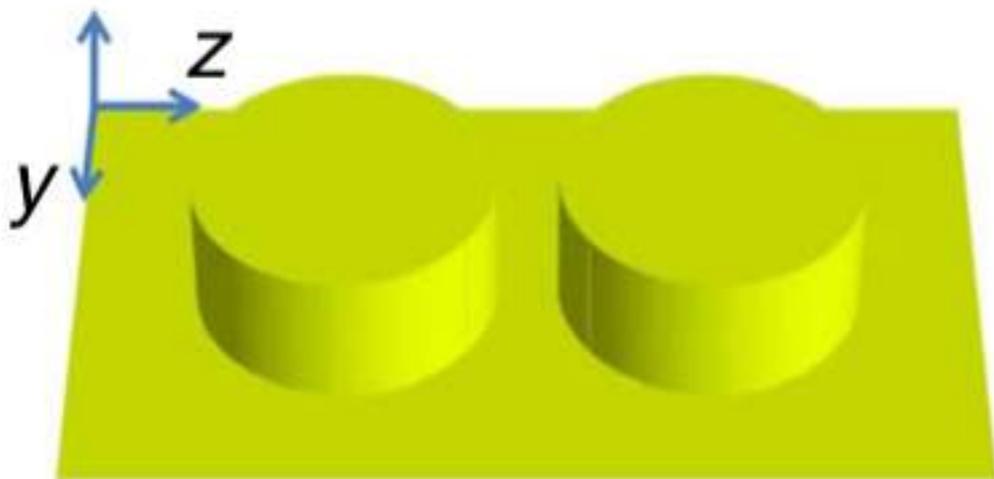
# Probing the Ultimate Limits of Plasmonic Enhancement

C. Ciracì, R. T. Hill, J. J. Mock, Y. Urzhumov, A. I. Fernández-Domínguez, S. A. Maier, J. B. Pendry, A. Chilkoti, D. R. Smith



# 问题的提出

- 当金属颗粒靠的很近的时候，经典模型不适用
- 经典模型 (local model) : 电荷分布在金属的表面，即理想化的面电荷模型
- 新的模型 (non-local model) : 考虑电子在表面的分布，即电子之间的相互排斥 原文参考文献10

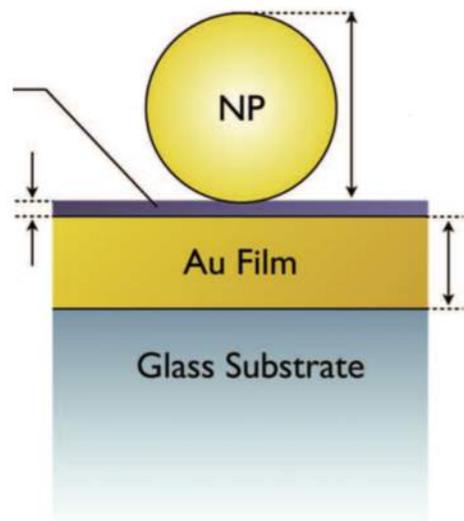


# 模型建立

- 用流体力学的模型来描述金属里面的电子集体运动
- 电子不是理想面分布的根源是泡利不相容，泡利不相容变成了流体力学方程里面的压强项进行考虑

流体力学里面的欧拉方程

$$m_e n \left[ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] + \gamma m_e n \mathbf{v} = \underbrace{en\mathbf{E}} + \underbrace{en\mathbf{v} \times \mathbf{B}} - \underbrace{\nabla p}$$



速度改变

电子碰撞的损耗

外力

电子间相互排斥

# 模型建立

$$m_e n \left[ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] + \gamma m_e n \mathbf{v} = en \mathbf{E} + en \mathbf{v} \times \mathbf{B} - \nabla p$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \nabla \times \nabla \times \mathbf{E} - k_0^2 \mathbf{E} = i\omega \mu_0 \mathbf{J}, \\ \beta^2 \nabla (\nabla \cdot \mathbf{J}) + (\omega^2 + i\gamma\omega) \mathbf{J} = i\omega \omega_p^2 \varepsilon_0 \mathbf{E}, \end{cases}$$



电子间相互排斥

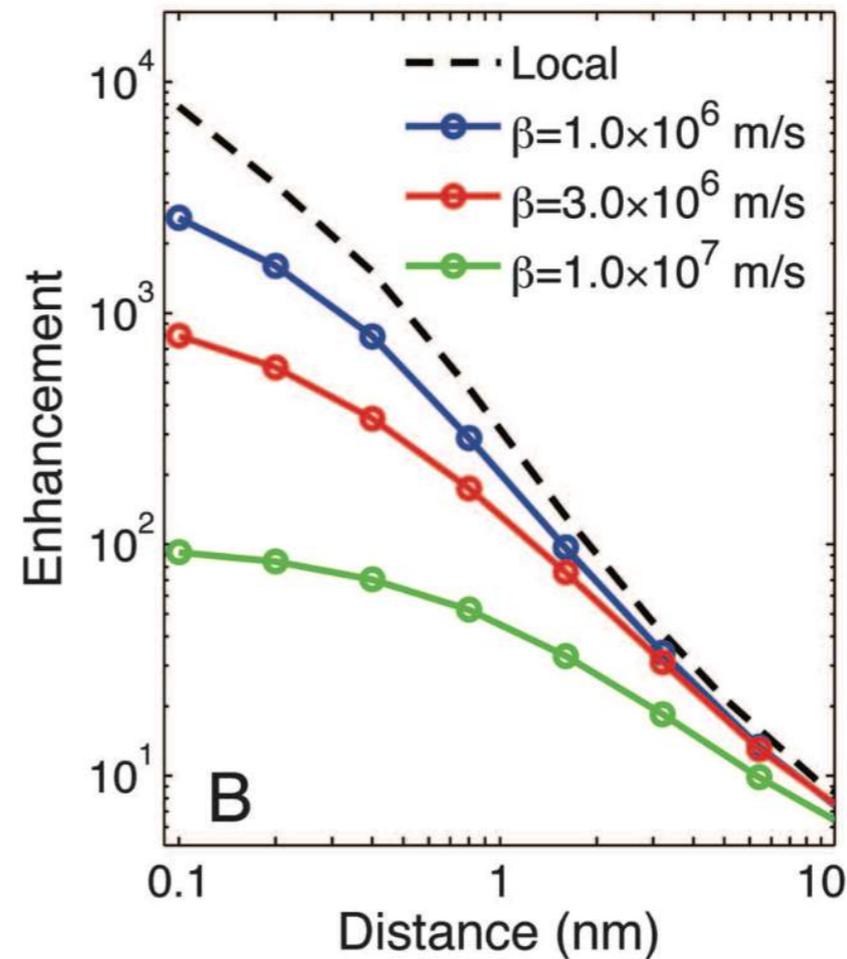
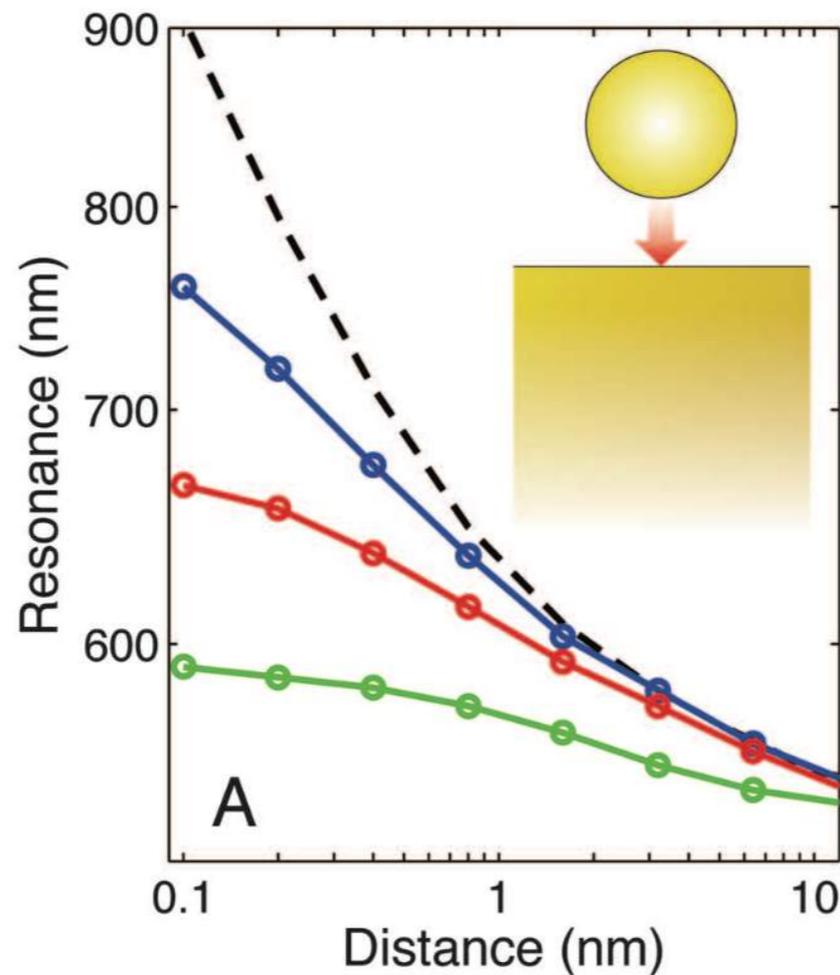
# 模型建立

- 加入压强项的作用就是可以看做纵向的  $\epsilon_L$  发生改变，而横向的  $\epsilon_T$  不变（这里有疑问）
  1. 变成了半经典的模型
  2. 加入之后  $\epsilon_L$  减小，场增强效应确实没有以前大
  3. 问题是，这个函数与距离  $d$  无关？？？

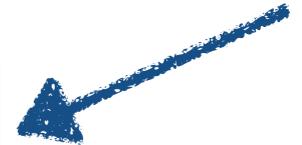
$$\epsilon_L(\mathbf{k}, \omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\gamma\omega - \beta^2|\mathbf{k}|^2} \quad \downarrow$$

# 量子效应

- 红移减缓（另外一篇文献里面有蓝移）
- 场增强减弱
- 和 $\beta$ 很相关



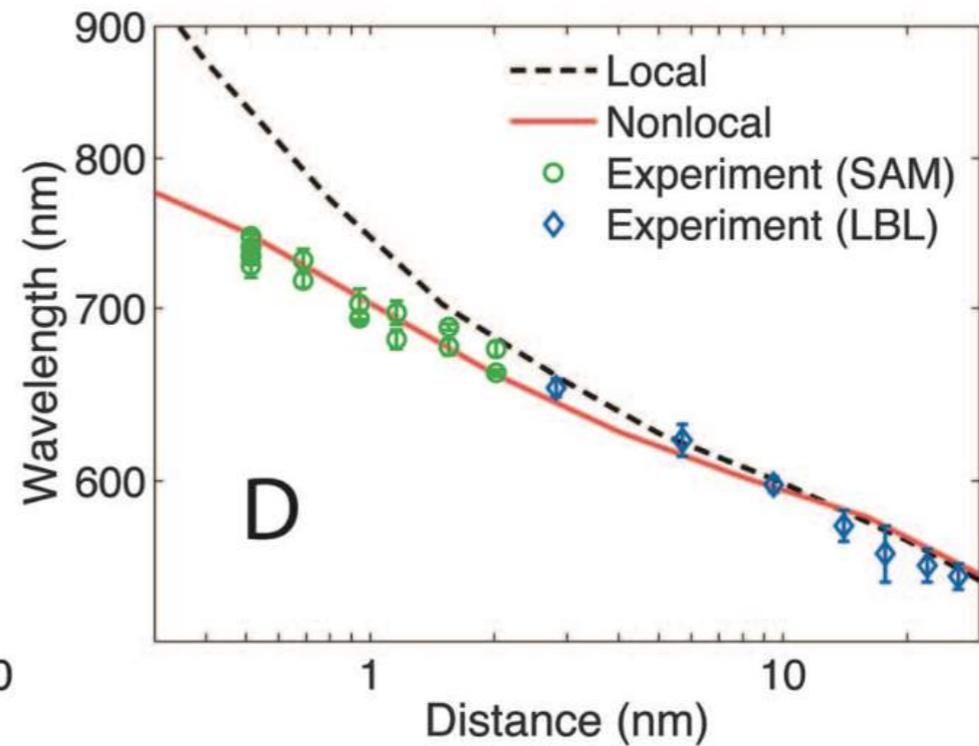
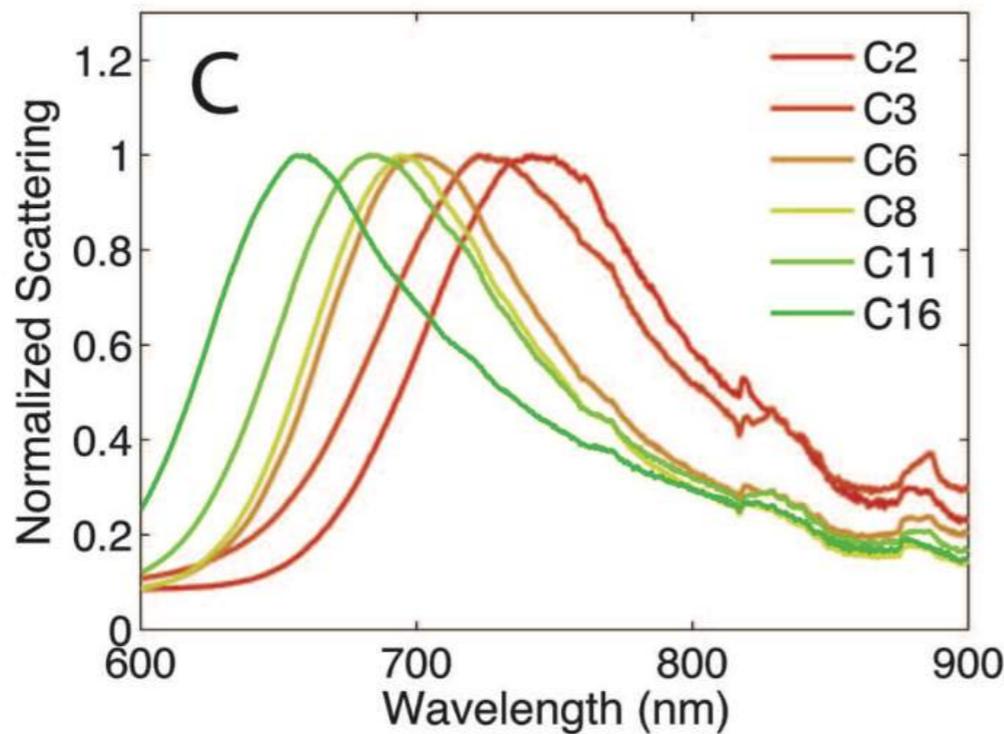
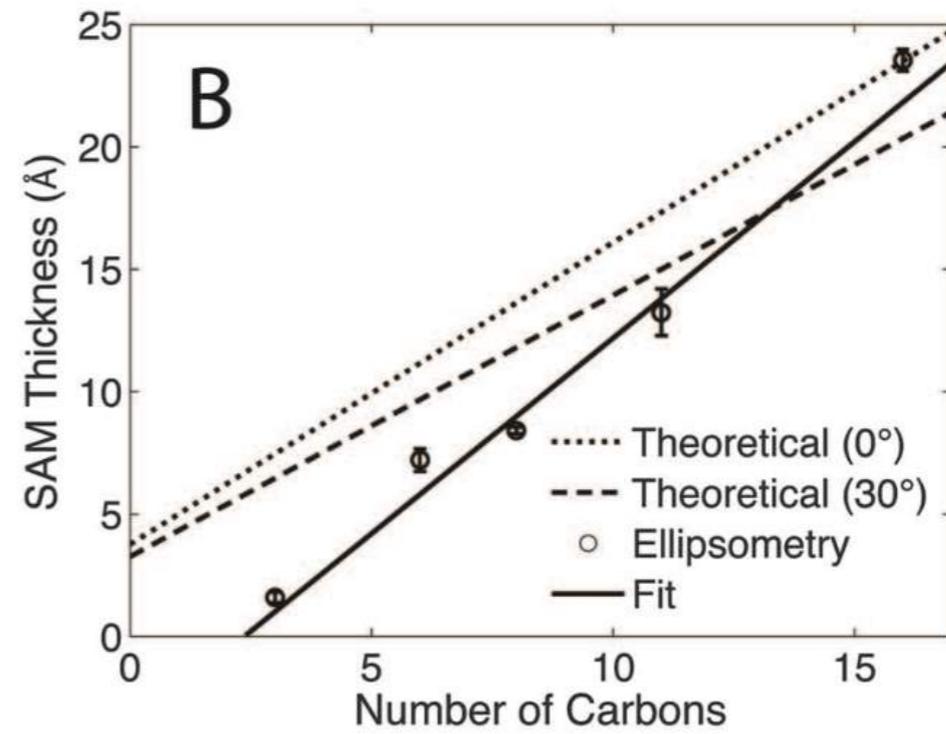
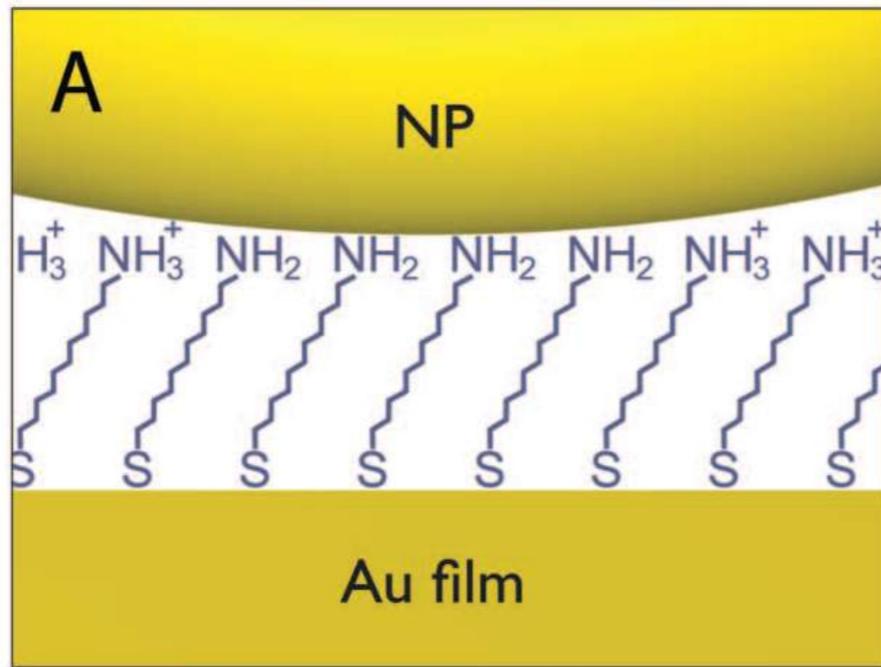
比较实际



# 实验上

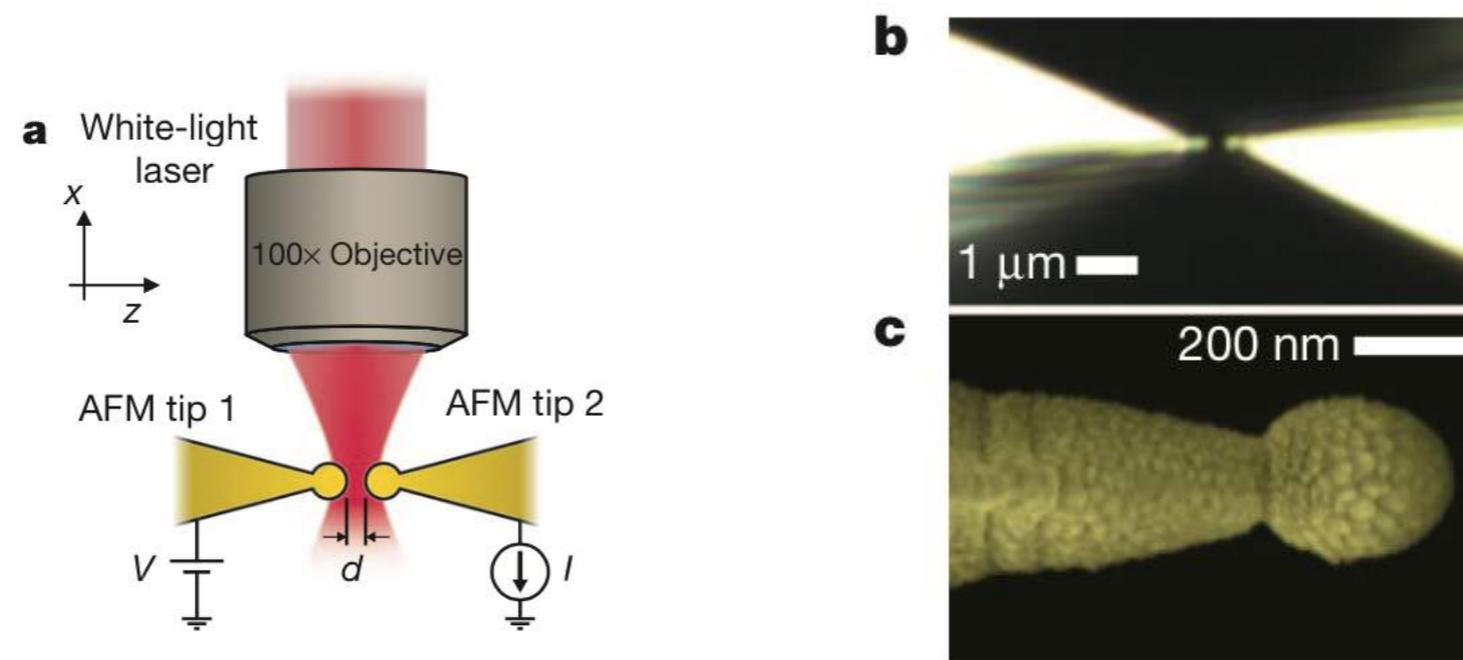
- 难点：金属间距的控制
  1. 球-球系统不好做，做球-面系统
  2. 用逐层沉积电解质（LBL）2.8-26.6nm和自组装分子（SAMs，用的烷基硫醇）0.5-2.0nm
  3. SAMs的厚度测量问题

# 实验结果



# Revealing the quantum regime in tunnelling plasmonics

Kevin J. Savage, Matthew M. Hawkeye, Rubén Esteban, Andrei G. Borisov, Javier Aizpurua & Jeremy J. Baumberg



# 问题提出

- 理论上
  - 流体力学模型没法计算隧穿，二者不等价
  - 完全的量子模型计算困难
- 实验上
  - 之前的方法只能最多达到0.5nm，这还没到量子的尺度
  - 实验测量容易把其他的东西混进来？？？

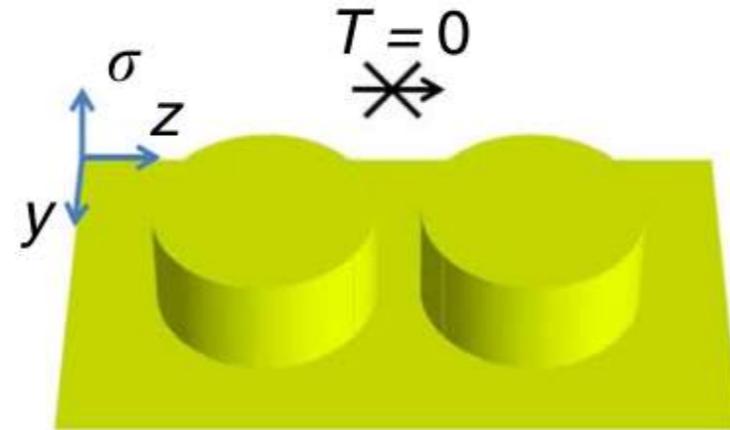
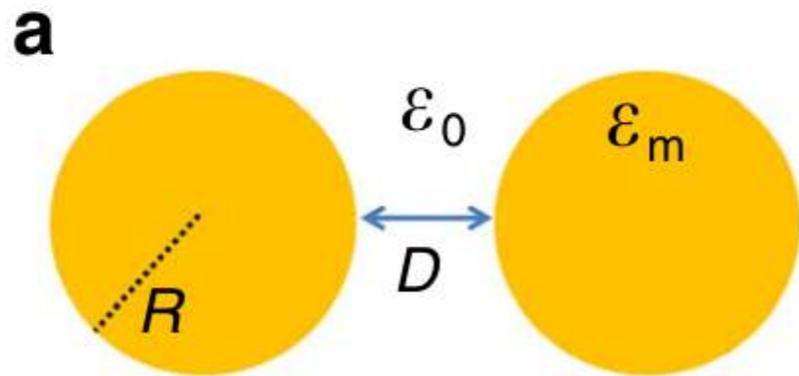
# 理论模型

$$\sigma(d) = \frac{4\pi m e^2}{h^3} d \int_0^{E_F} T(E) dE$$

$$\sigma(d) = \frac{3q e^2}{4\pi h} \exp(-2qd),$$

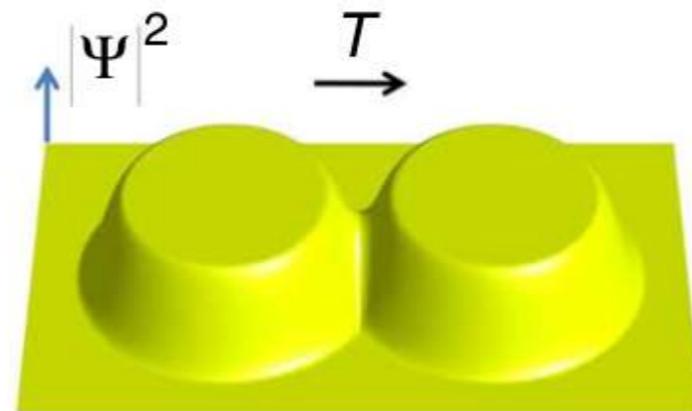
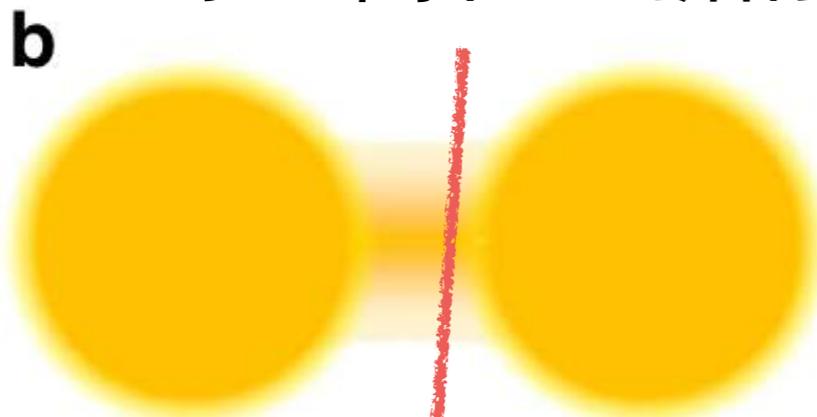
$$d = \frac{1}{2q} \ln \left[ \frac{3q \lambda \alpha}{2\pi} \right]$$

CEM



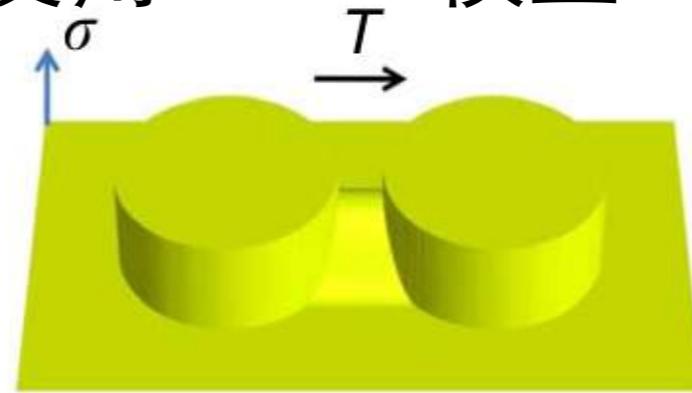
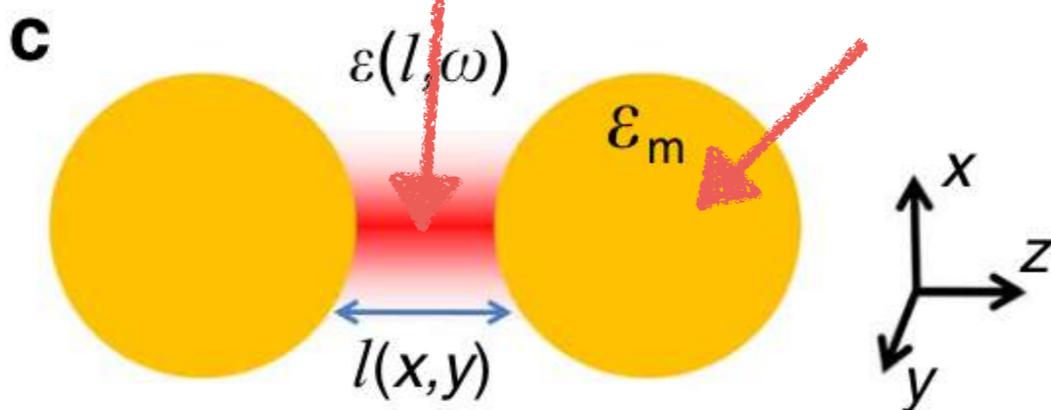
球之间构造新的“介质”

QM

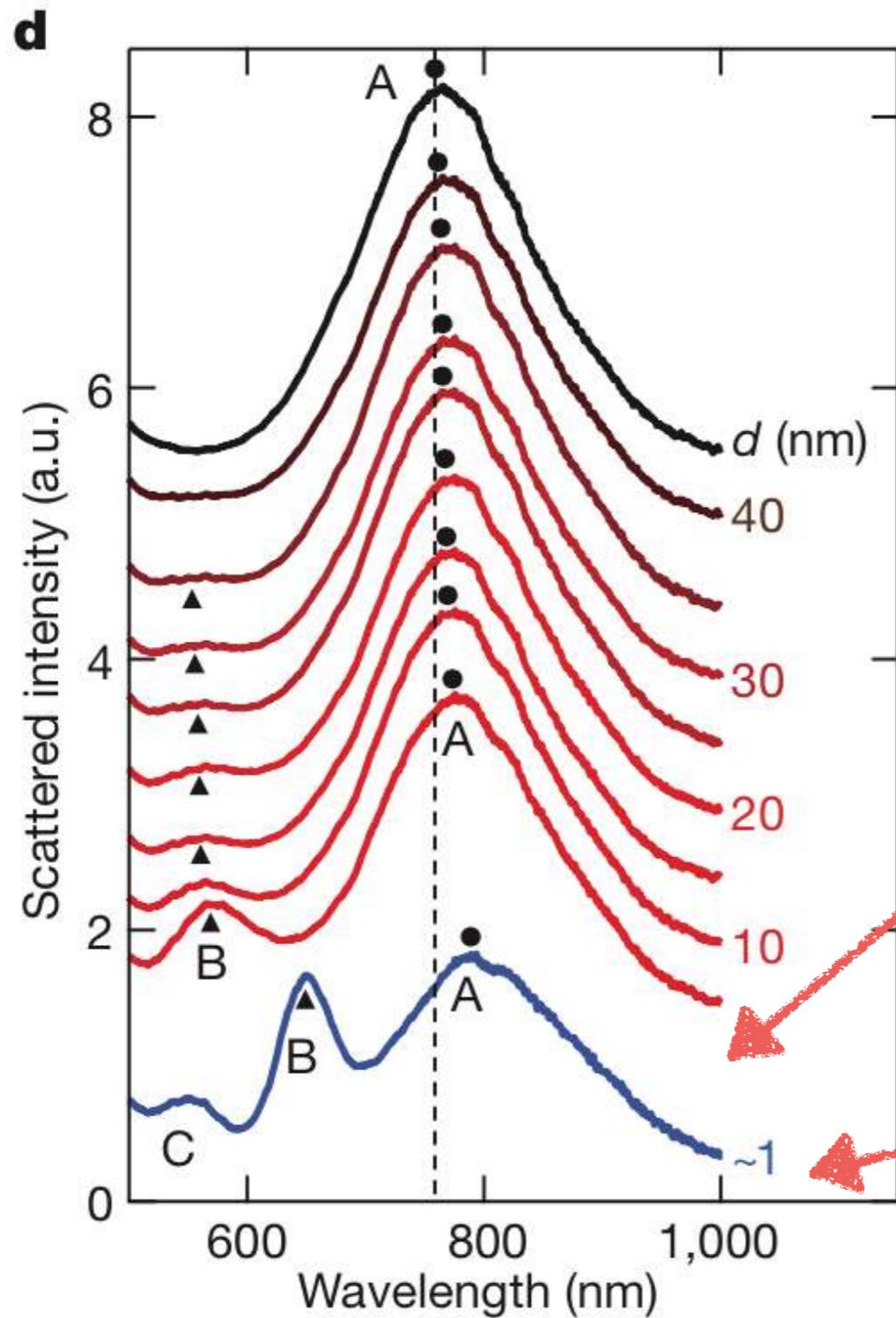


球内部还是使用Drude模型

QCM



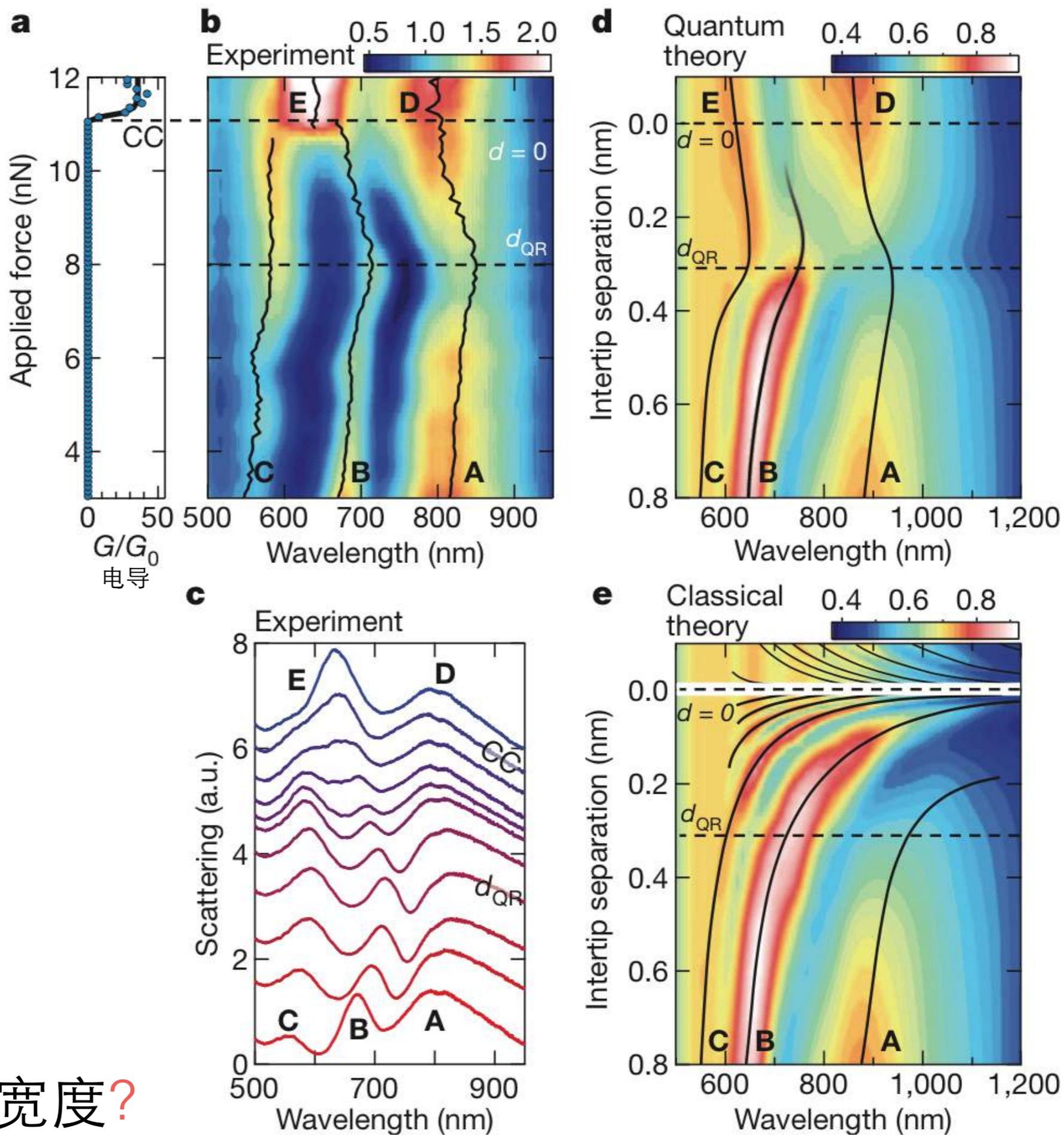
# 实验过程



尖端吸引，突然靠近  
但是未导通

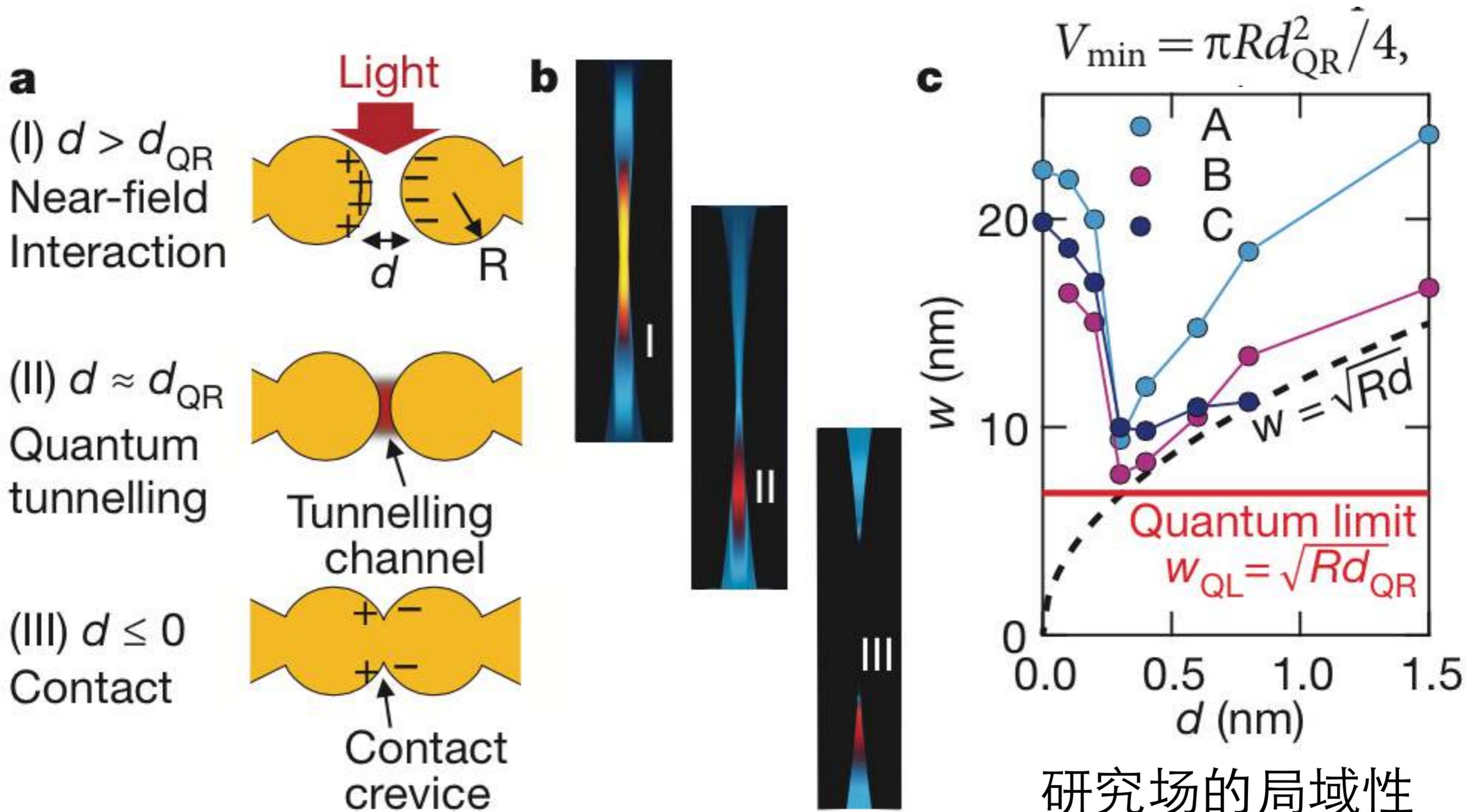
下面研究这一段 < 1nm

# 实验过程



移动、强度、宽度？

# 实验过程



研究场的局域性

# 两个模型的对比

- 都是半经典的模型
- 前面的一个研究也尝试过利用电子隧穿来研究，但是没有用非局域化考虑和实验符合的好，他们认为在某些情况下是非局域化主导；后面一篇提到前一篇文章的工作，他们认为前一篇文章工作没有做到量子尺度，隧穿现象不能用流体力学的那个模型代替
- 前者考虑电子的非局域化，后者考虑电子的隧穿
- 前一个研究的尺度  $>0.5\text{nm}$ ，电子的非局域化主导  
后一个研究的尺度  $<0.1\text{nm}$ ，电子隧穿主导

# 思考

- 实验上实现准确控制间距控制
- 在SPP体系中实现一些量子效应

