

# **Спектроскопия фотографий на основе серебряных пластин**

**Вожаков Всеволод  
2 курс аспирантуры  
кафедра атомной физики, физики плазмы и  
микроэлектроники**

# Дагеротипия

- Дагеротипия – первый популярный тип фотографии, изобретённый в середине XIX века.
- В основе принципа работы дагеротипов лежит светочувствительность галогенидов серебра

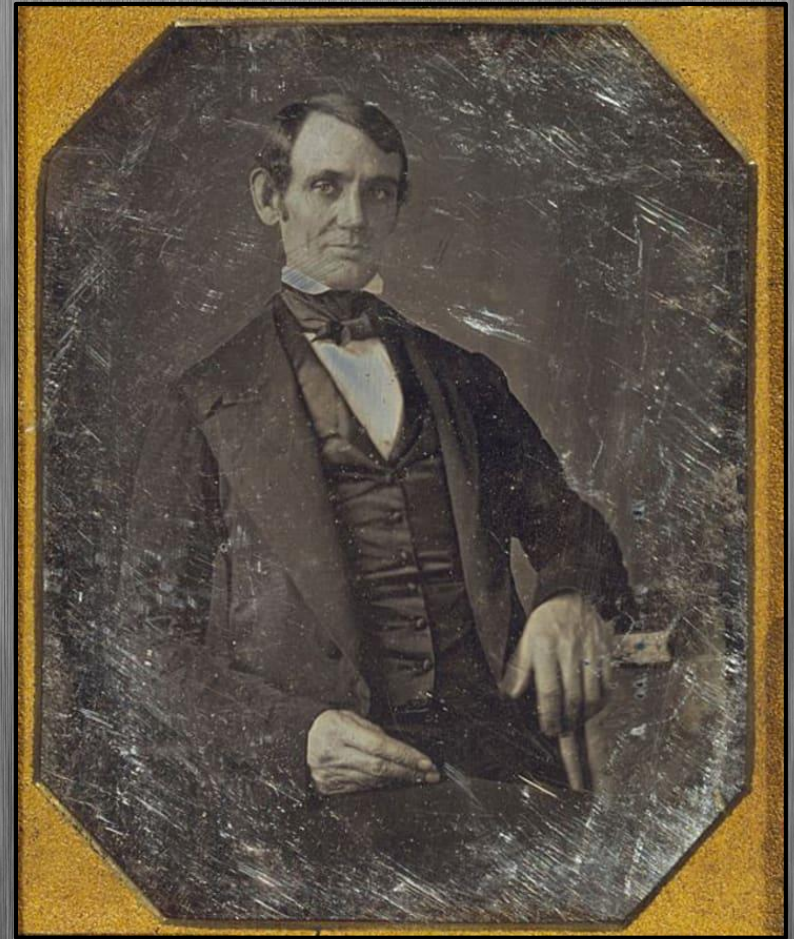


Восстановленная копия  
аппарата Луи Дагера  
(1837)

# Дагеротипия



Исаакиевский собор, 1852

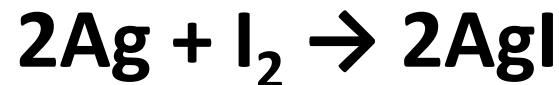


Портрет Авраама Линкольна, 1846

# Процесс получения дагеротипов

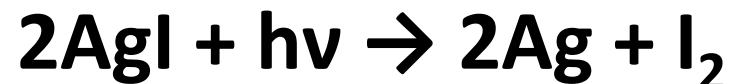
## 1. Изготовление

Фотоматериалом является серебряная пластина (с примесями меди), обработанная в парах йода



## 2. Экспонирование

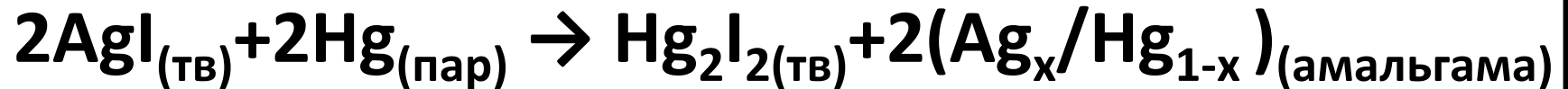
Под воздействием света йодид серебра распадается обратно на серебро и йод



# Процесс получения дагеротипов

## 3. Проявление

В результате обработки парами ртути возникает серебряная амальгама, формирующая изображение



## 4. Фиксация

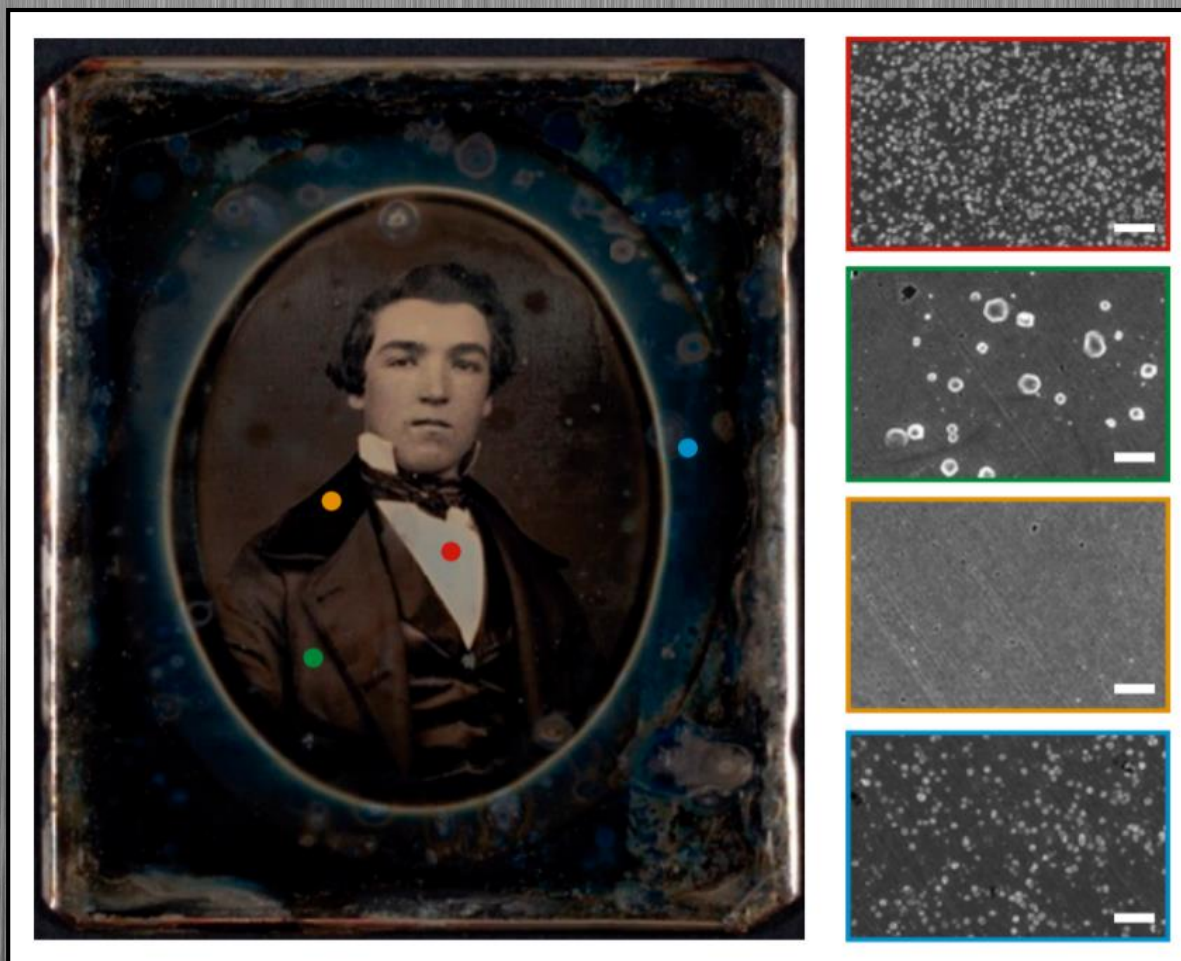
Удаление непрореагировавшего иодида серебра с незасвеченных участков снимка



# Плазмоника дагеротипов

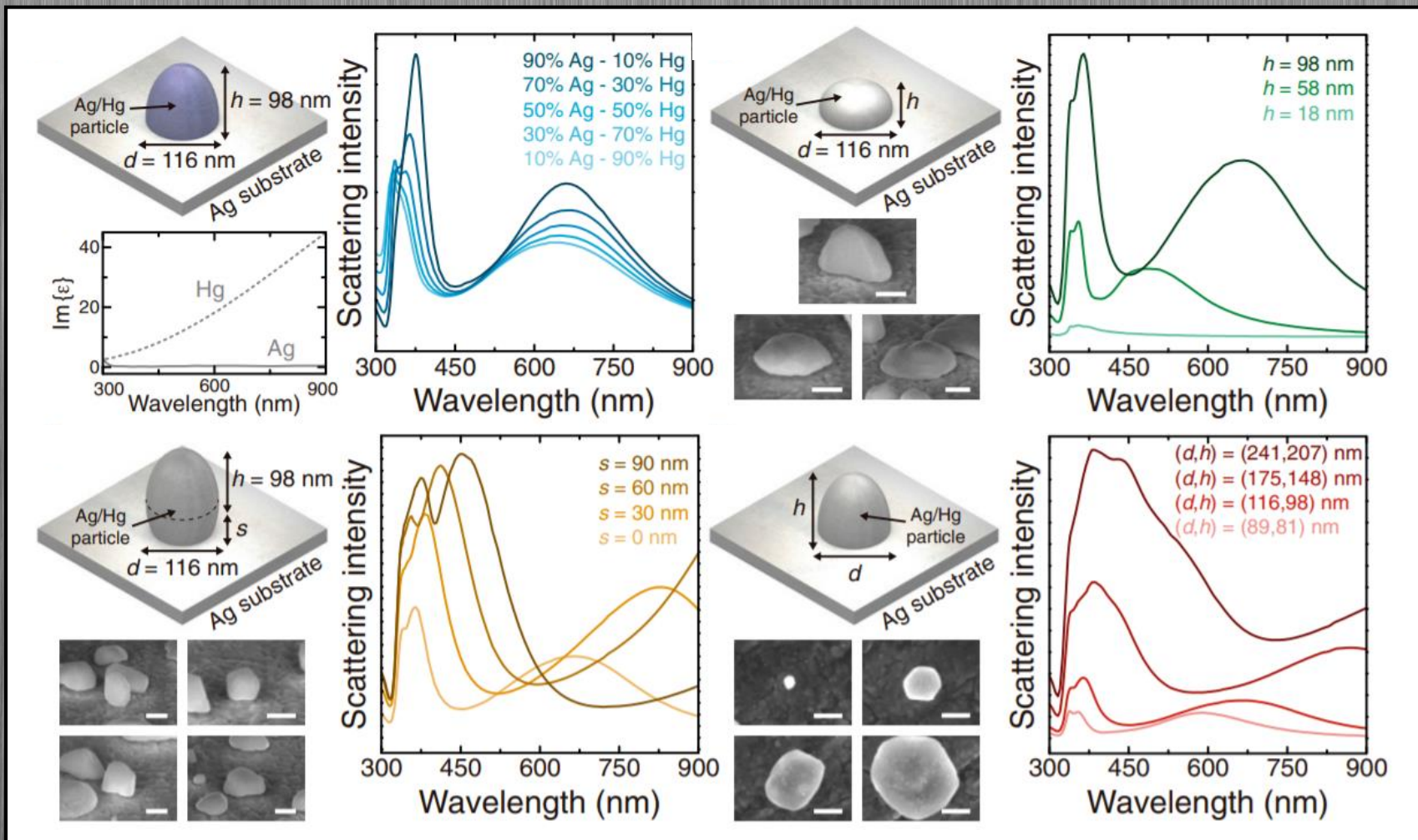
- Спектральные свойства металлического серебра и реакции фотолиза галогенидов серебра связаны с явлением резонанса локализованных поверхностных плазмонов
- Частота плазмонного резонанса зависит от геометрии наночастиц серебра
- Следовательно, плотность и размеры наночастиц серебра будут различны для участков, подверженных разному времени экспонирования

# Плазмоника дагеротипов



Результаты сканирующей электронной микроскопии различных участков дагеротипа 1850 г.

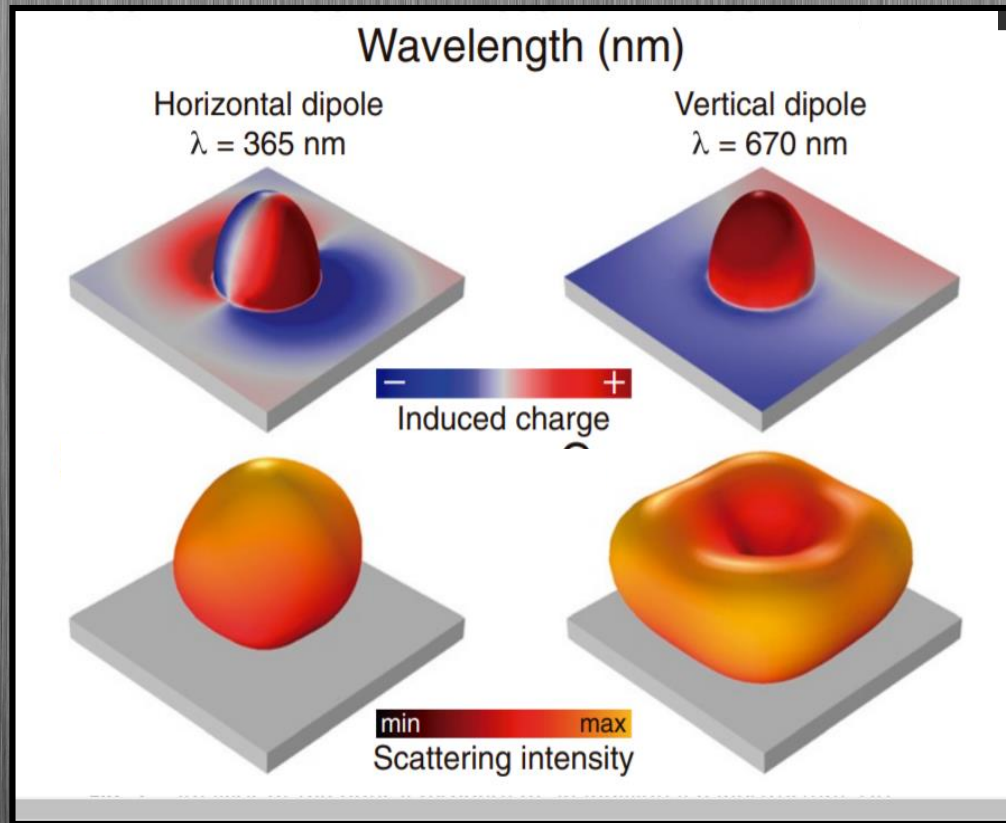
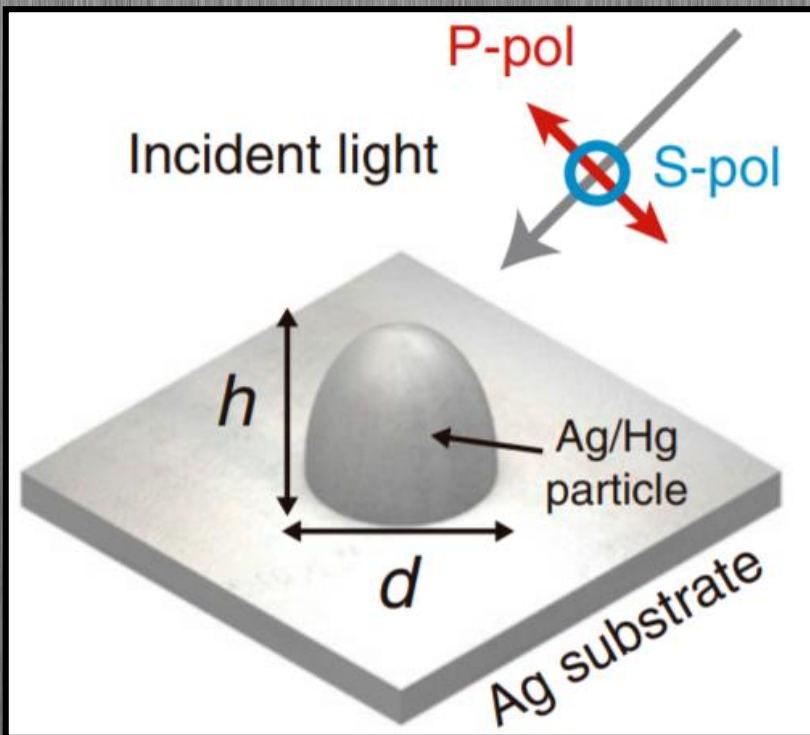
# Плазмоника дагеротипов





# Плазмоника дагеротипов

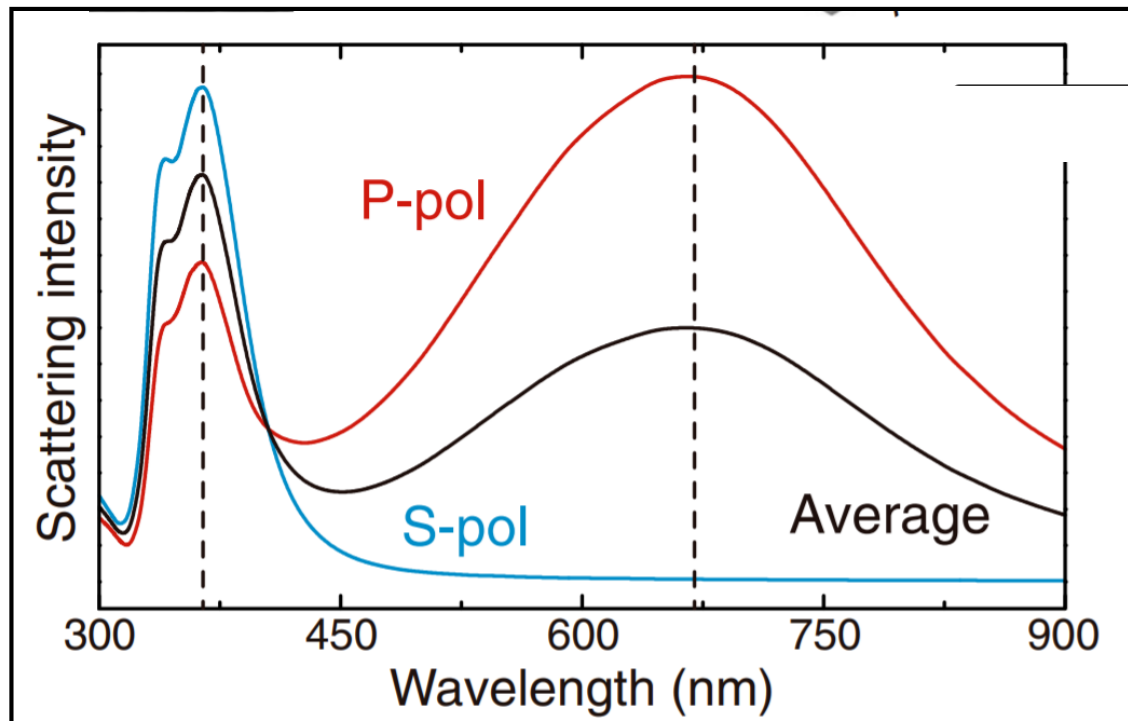
Видимая освещенность и цвет различных участков фотографии меняется при разных углах наблюдения – этот эффект зависит от геометрии наночастиц



# Плазмоника дагеротипов

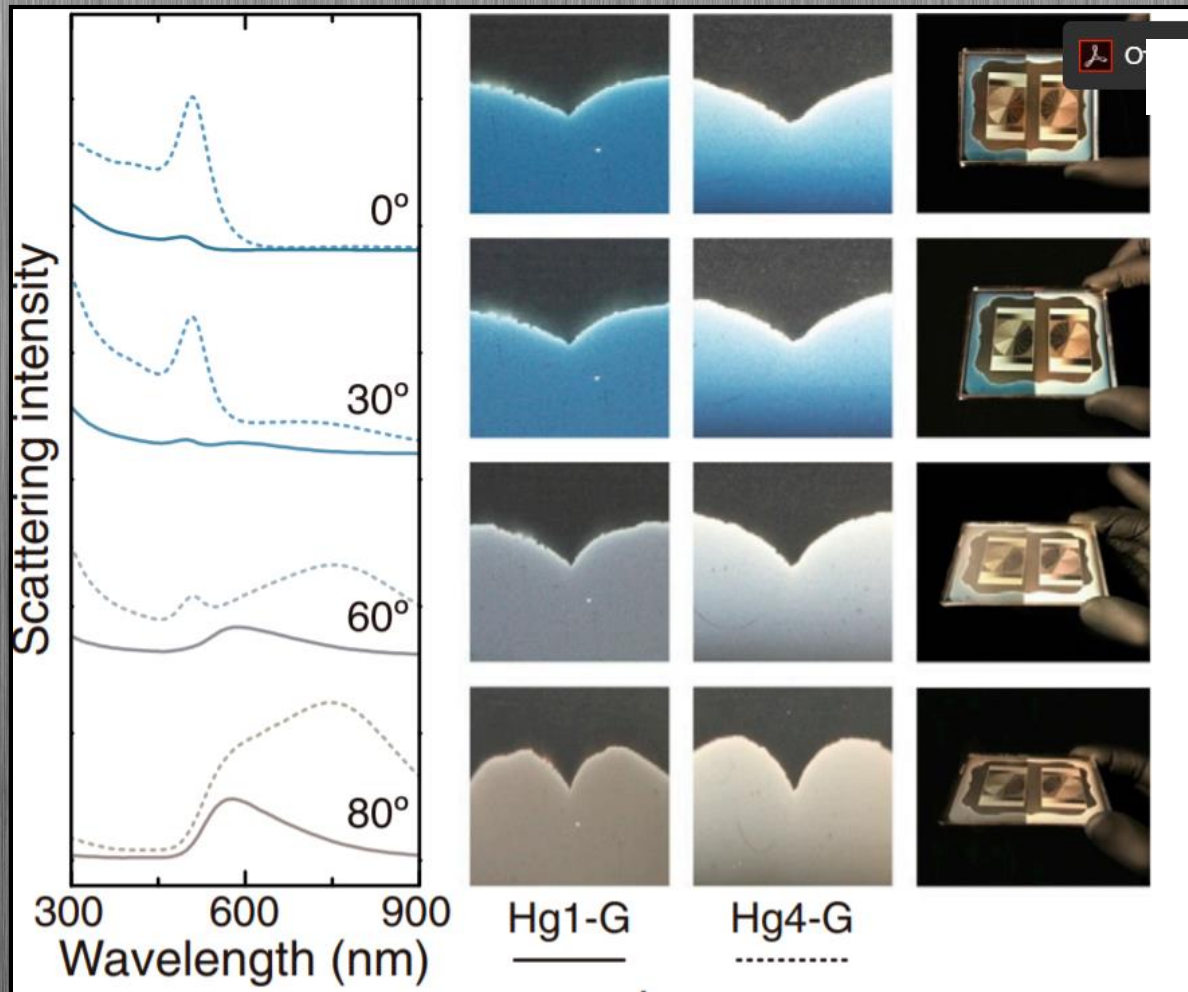
Наночастицы дагеротипов имеют две резонансные частоты – узкий синий пик (около 365 нм) и более широкий красный (около 670 нм). Наличие двух пиков обусловлено с взаимодействием света различной поляризации.

Из-за этого, фотография будет меняться при её повороте на некоторый угол относительно угла наблюдения. Первая мода смещает цвет при наблюдении под малыми углами, а вторая – смещает цвет к красному при наблюдении под большими углами.



# Плазмоника дагеротипов

Спектры  
рассеяния при  
наблюдении  
картины под  
разными  
углами



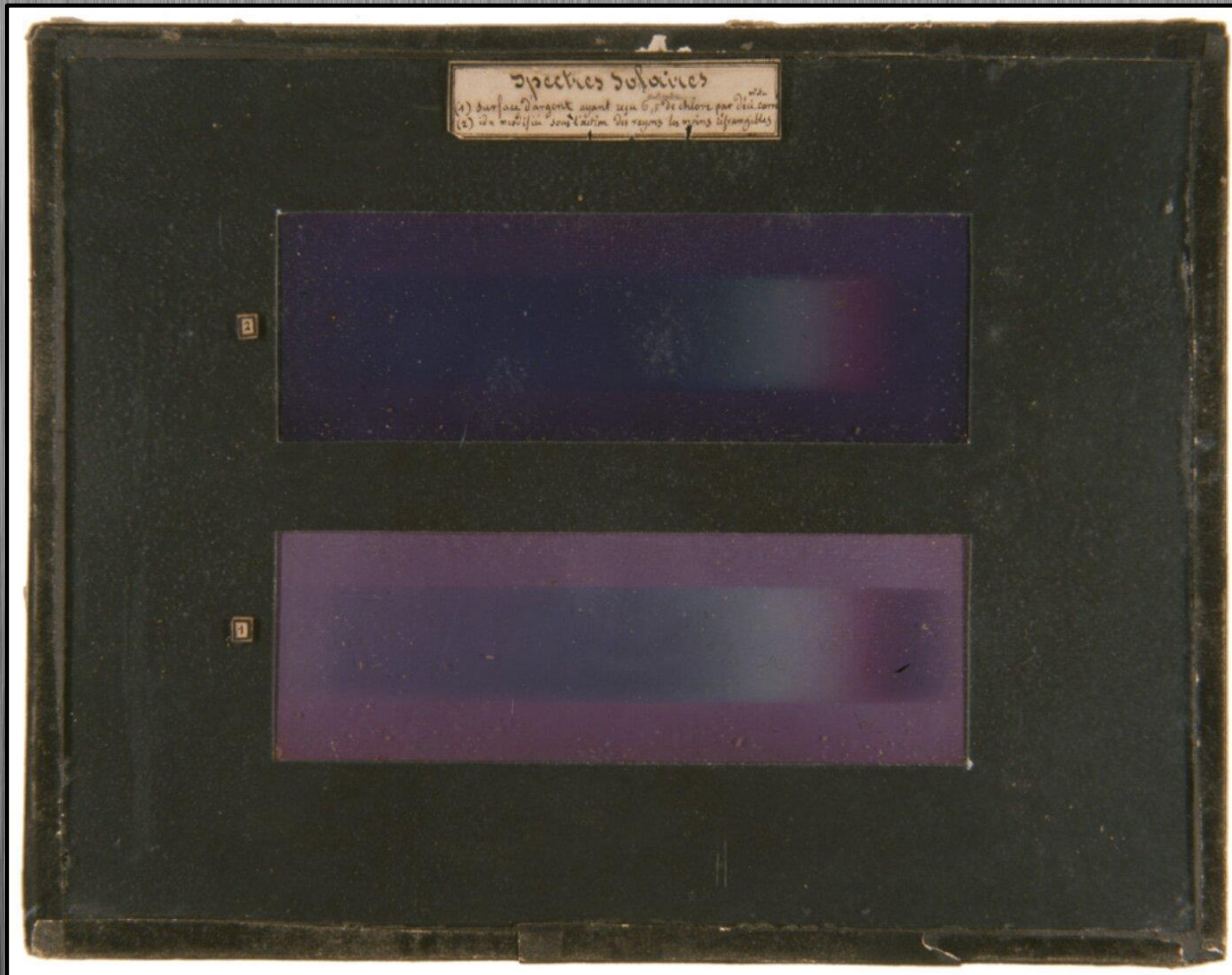
# Цветные фотографии Эдмона Беккереля

В 1848 году Эдмон Беккерель представил цветные фотографии солнечных спектров – первую попытку создать цветную фотографию на основе серебряных пластин. Физика процессов создания этих фотографий оспаривалась вплоть до 2020 года



Антуан Эдмон Беккерель  
(1820-1891)

# Цветные фотографии Эдмона Беккереля



Солнечные спектры Беккереля (1848)

# Цветные фотографии Эдмона Беккереля

Воспроизведение цветной фотографии по методике Беккереля двумя способами нанесения фоточувствительного слоя (хлорводорода): электрохимическим и иммерсивным (погружением в раствор)

$\lambda_{\text{exposition}}$ (nm)	402	444	473	502	550	584	633	677
Immersion-sensitized								
Electrochemically sensitized								

# Теории возникновения цвета

## 1. Интерференционная теория

Появление цветов на пластине – результат интерференции света на образующихся регулярных структурах (выдвинута самим Беккерелем)

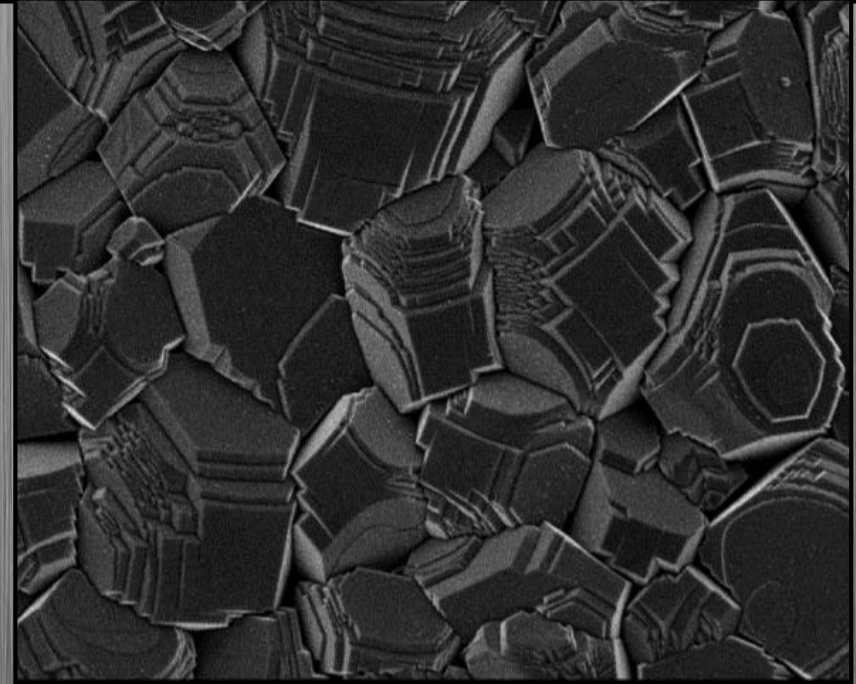
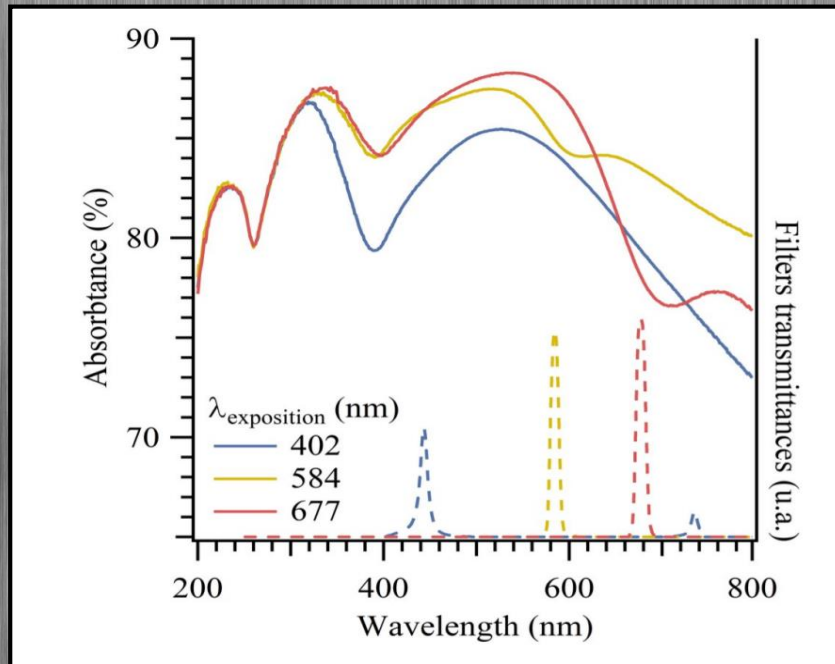
## 2. Пигментная теория

Зависимость спектральных параметров от длины волны происходит из-за воздействия света на примеси меди в пластинах

## 3. Плазмонная теория

Распределение наночастиц по размеру соответствует спектральному, наличие цвета появляется из-за неравномерного распределения величины плазмонного резонанса

# Интерференционная теория



Ультрафиолетовая спектроскопия показала, что наличие цветов – результат поглощения, а не интерференции

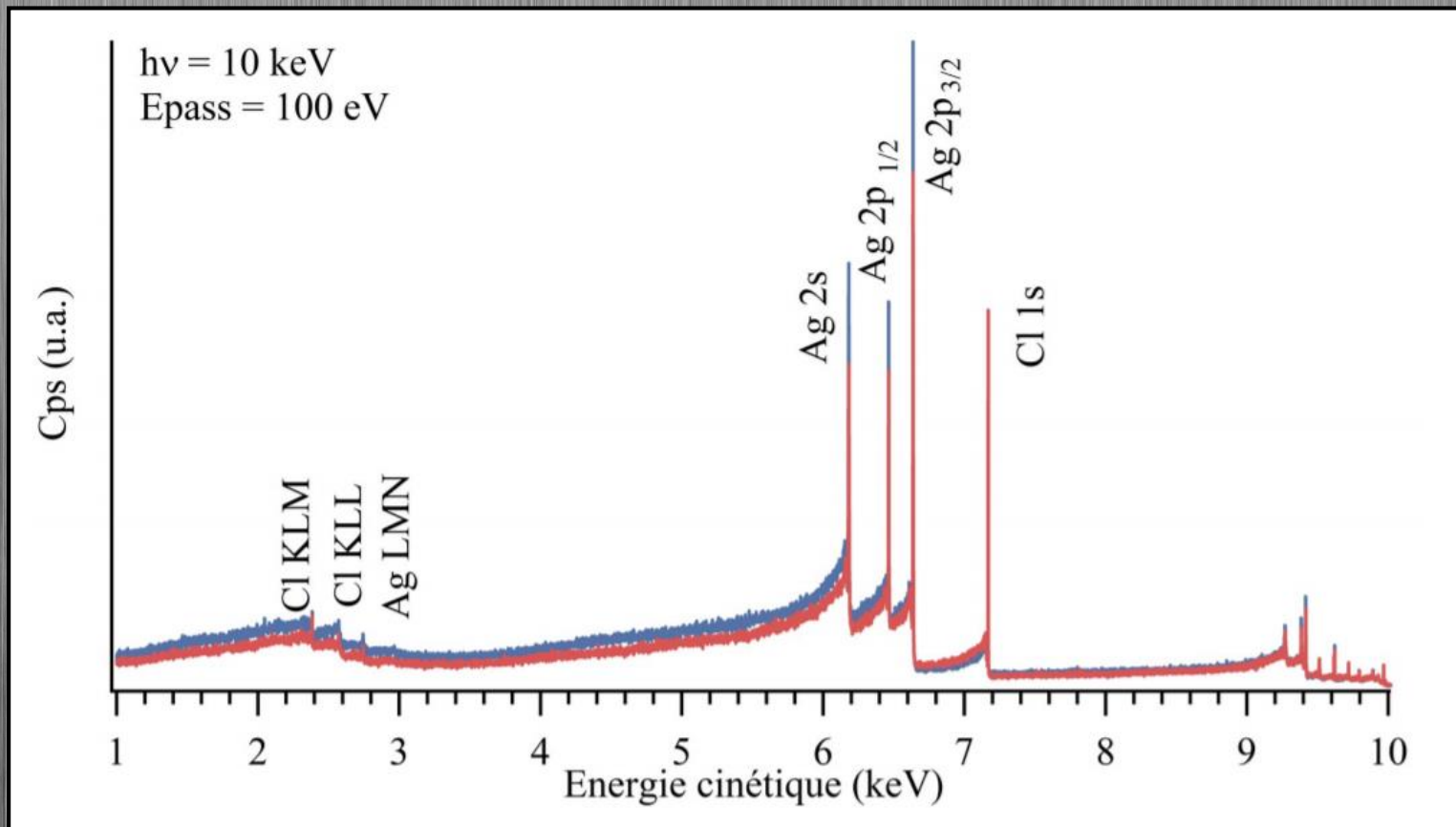
Электронная микроскопия не показала наличия повторяющейся структуры

**Теория  
опровергнута**

Victor de Seauve, Marie-Angélique Languille, et al. arXiv:2001.07441



# Пигментная теория

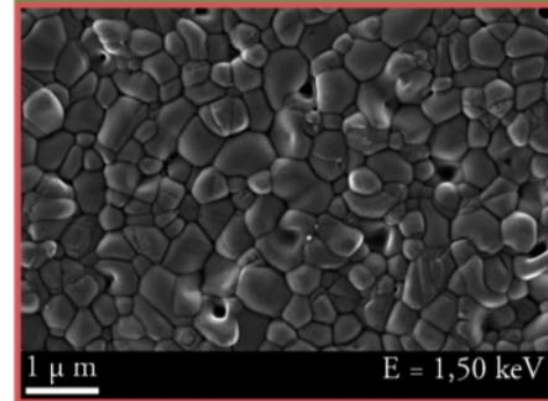
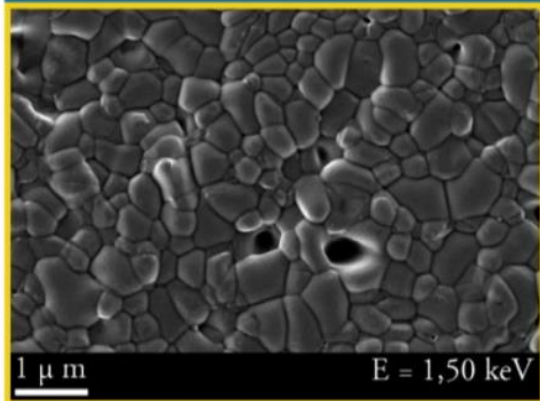
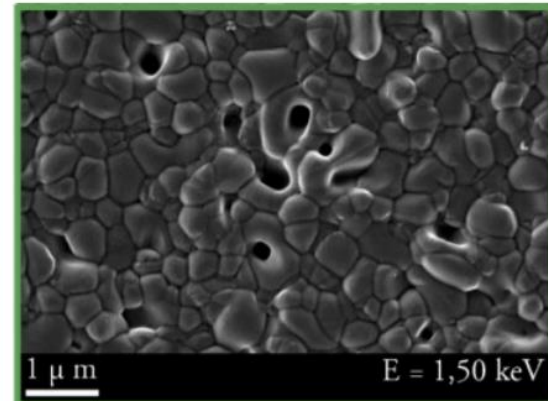
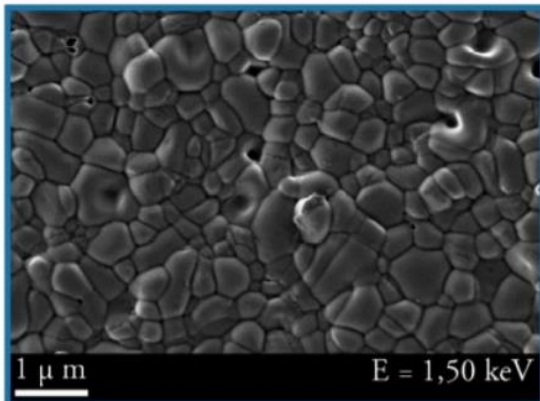


Теория  
опровергнута

НАХРЕС-спектроскопия не показала наличия меди в образцах Беккереля

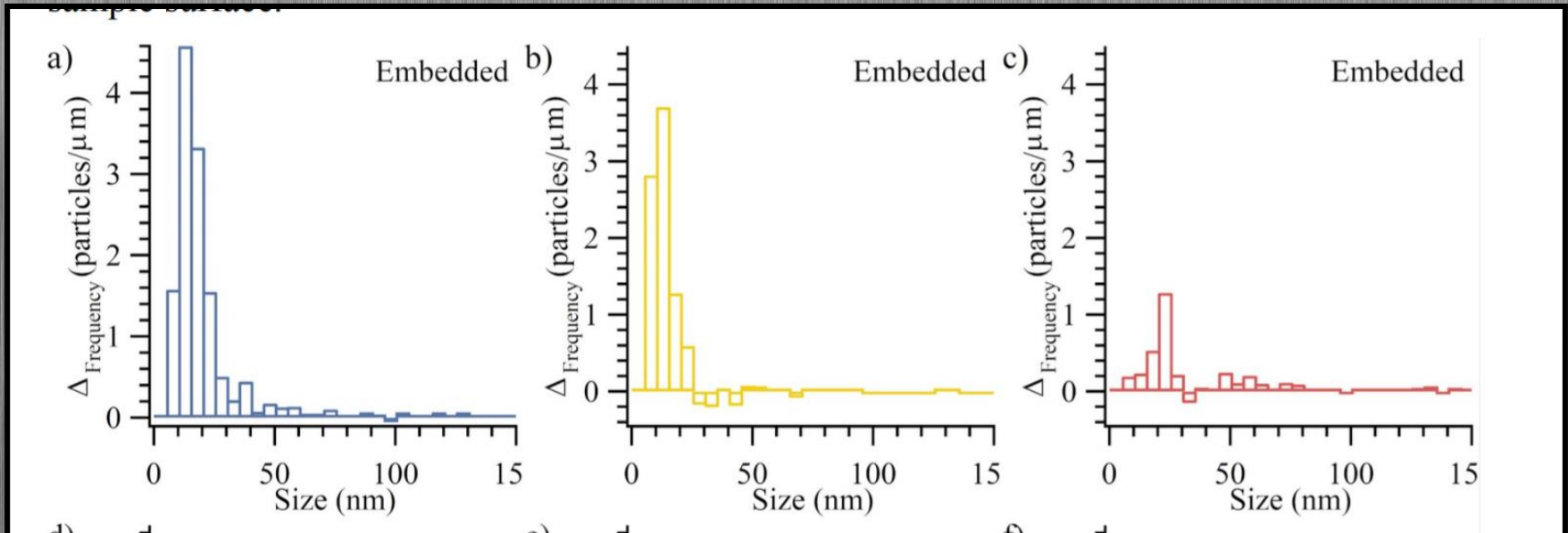
Victor de Seauve, Marie-Angélique Languille, et al. arXiv:2001.05250

# Плазмонная теория



Исследование размеров наночастиц в частях фотографии различного цвета

# Плазмонная теория



Количество частиц определённого размера в областях фотографии различных цветов

**Теория подтверждается**

# Выводы

- Физические принципы работы технологий, использовавшихся ещё в 19 веке получили объяснение только сейчас, с развитием спектроскопии
- Оптическая теория металлов может предложить объяснения на основе теории плазмонов и тем самым дать начало новой технологии – плазмонной печати

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**