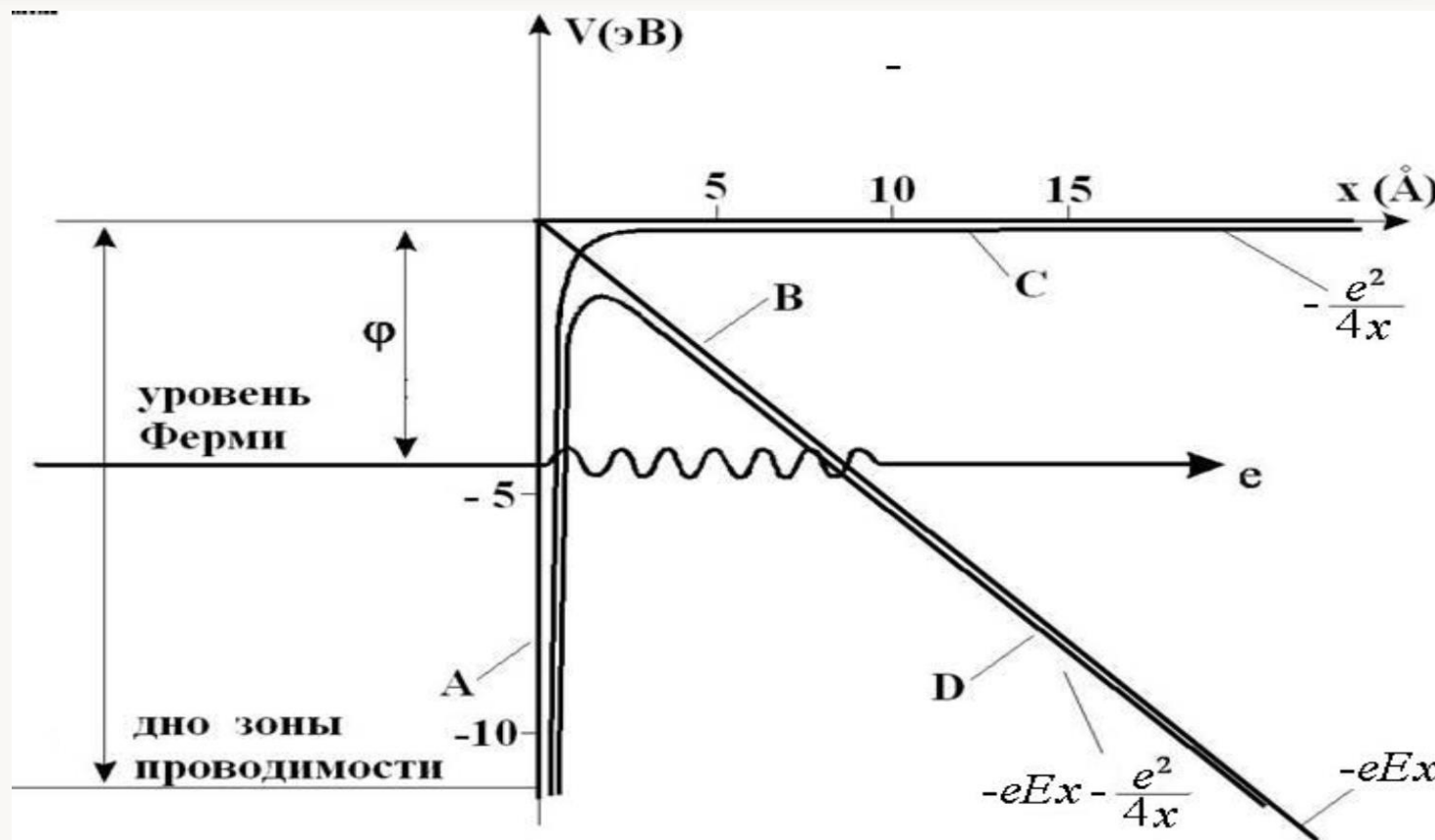




# Автокатоды на основе углеродных материалов

*Заслуженный профессор МФТИ,  
д.ф-м.н. Шешин Е.П.*





## Основная формула автоэмиссии

$$j_e = \frac{e^2}{8\pi h} \frac{E^2}{e\varphi} \exp \left\{ -\frac{8\pi\sqrt{2m_e}}{3eh} \frac{(e\varphi)^{\frac{3}{2}}}{E} \Theta(y) \right\}$$

$j_e$  – плотность тока

$E$  – напряженность электрического поля

$m_e$  – масса электрона

$e$  – заряд электрона

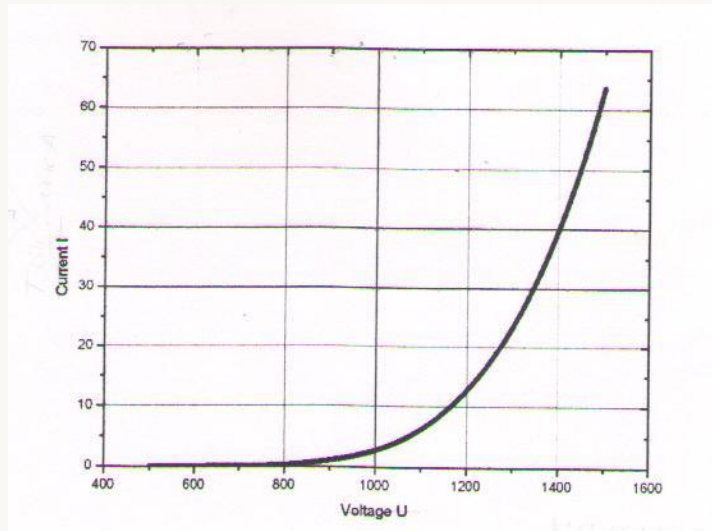
$\varphi$  – работа выхода электронов

$\Theta(y)$  – табулированная функция

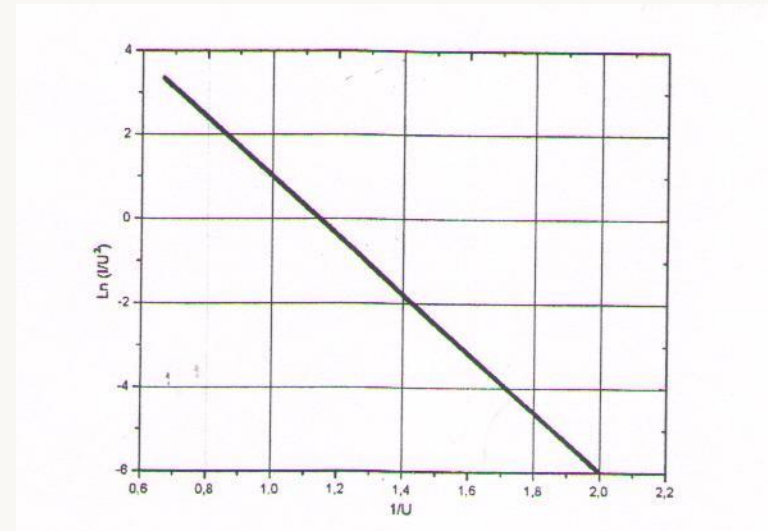
$$j_e = 1,55 \cdot 10^{-6} \frac{E^2}{e\varphi} \exp \left[ -\frac{6,85 \cdot 10^7 (e\varphi)^{\frac{3}{2}}}{E} \Theta(y) \right]$$
$$[e\varphi] = \text{эВ} \quad [E] = \frac{\text{В}}{\text{см}} \quad [j] = \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$$



## Графики автоэлектронной эмиссии



$$\ln \frac{j}{E^2} = f\left(\frac{1}{E}\right)$$



$$J-S_{\text{э}}j$$

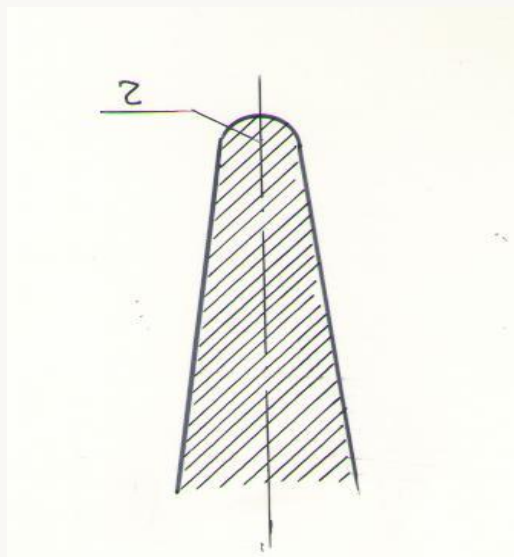
$$E=\beta U$$

$S_{\text{э}}$ -площадь эмитирующей поверхности  
 $\beta$ -форм-фактор

$$\text{tg}L=m=-\frac{6,831 \cdot 10^7 \varphi^{3/2}}{\beta}$$



## Практическое получение автоэмиссионного тока



Е-напряженность электрического поля  
V-приложенное напряжение  
r-радиус кривизны кончика острия  
k-3,5-коэффициент

$$E = \frac{V}{kr}$$

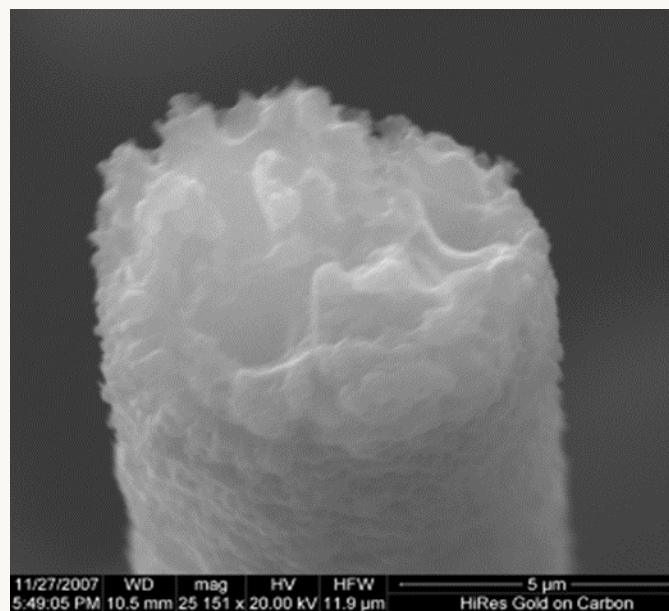
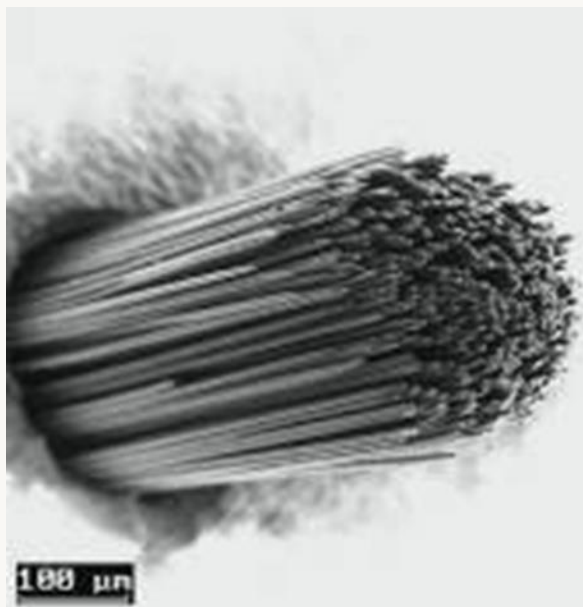


## **Преимущества автоэлектронной эмиссии, как источника свободных электронов**

- отсутствие дополнительной энергии на выход электронов из катода, например подогрева;
- высокая плотность тока;
- независимость от температуры;
- безинерционность ;
- малая чувствительность к внешней радиации;
- экспоненциально высокая крутизна вольт –амперных характеристик

**АВТОКАТОДОВ**

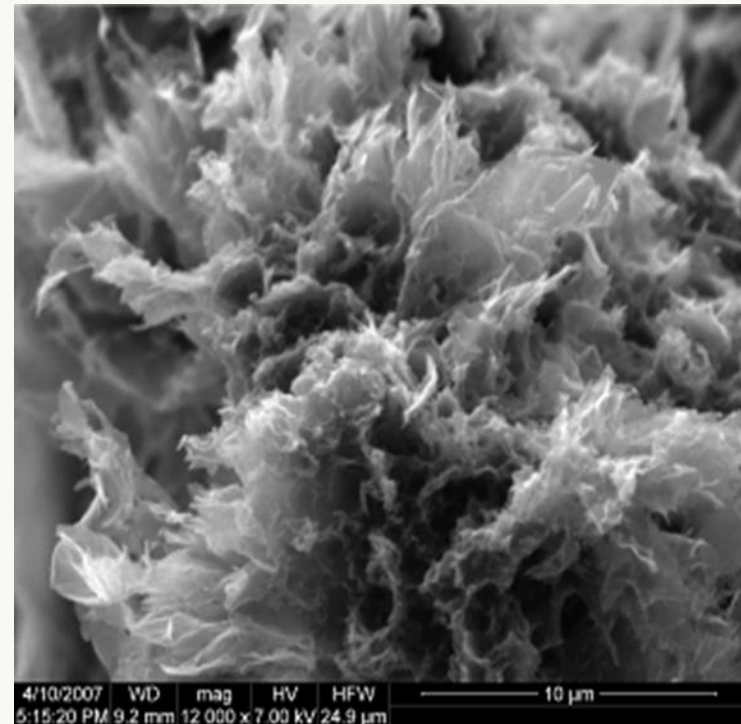
## Автокатод из углеродных волокон



Долгопрудный

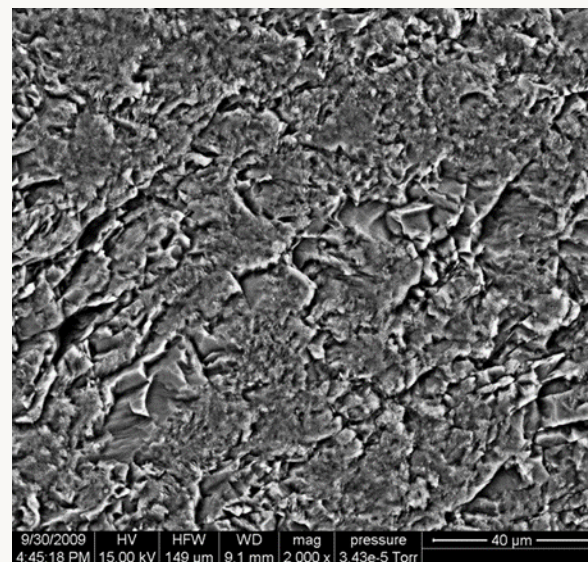
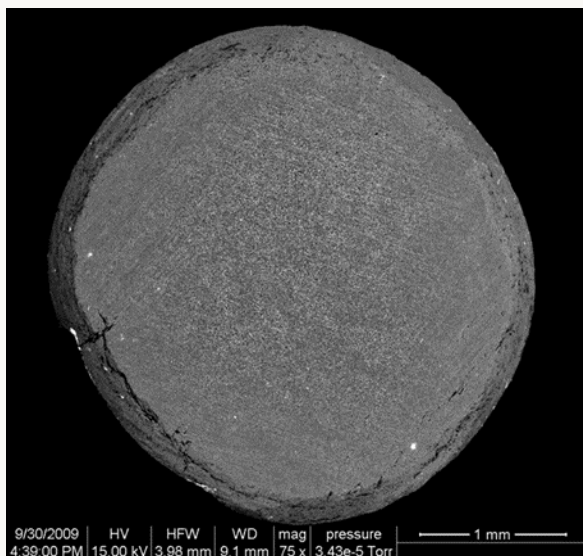


## Автокатод из терморасширенного графита



Долгопрудный

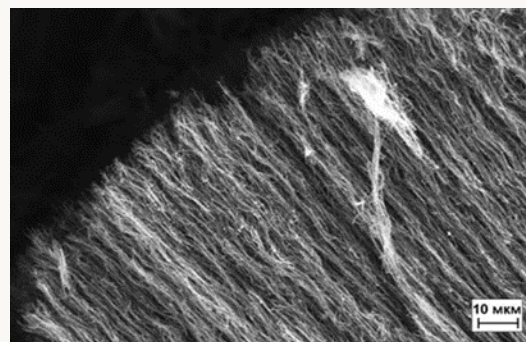
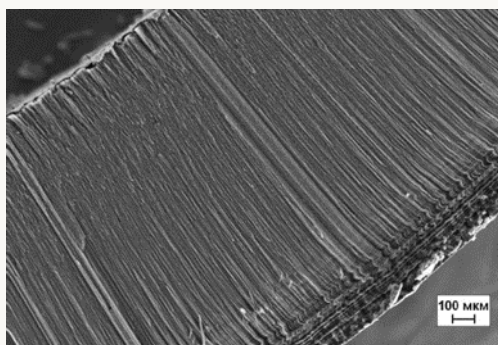
## Автокатод из фуллеренов



Долгопрудный



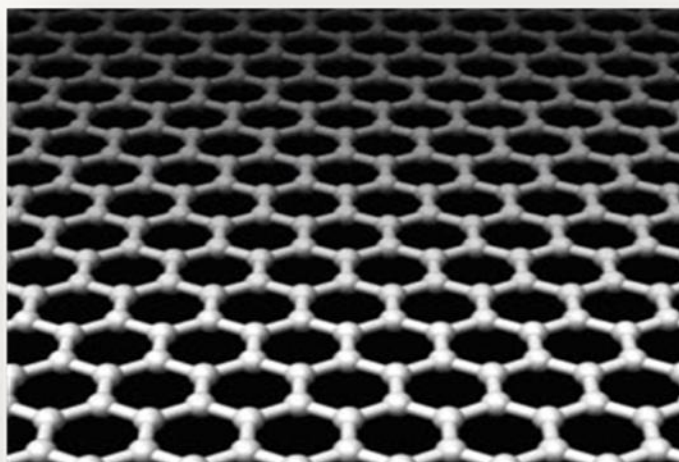
## Углеродные нанотрубки



Долгопрудный



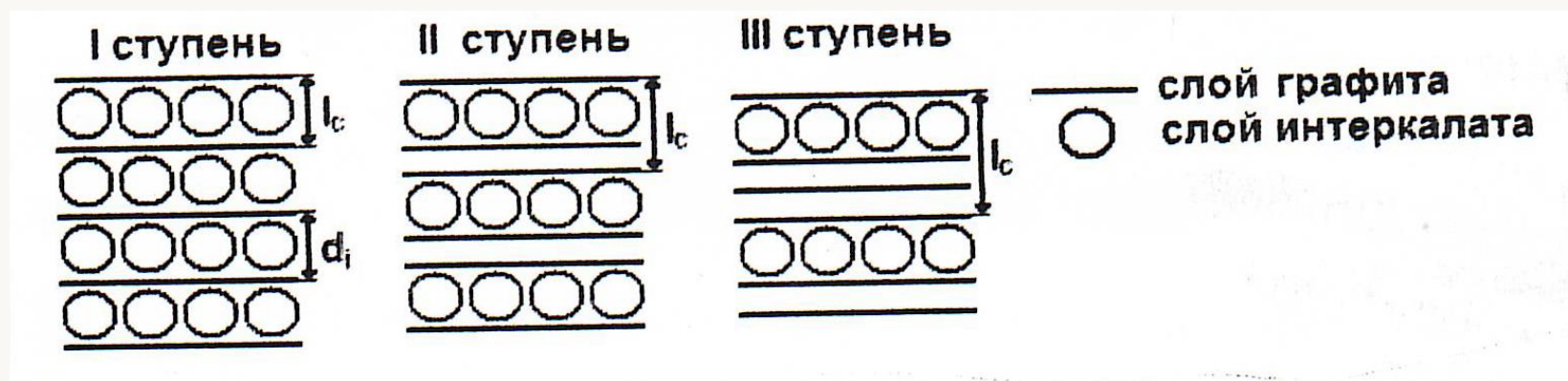
## Графен



Долгопрудный



## Интеркалированный графит



Строение интеркалированных графитов



## **Другие типы углеродных материалов, имеющих перспективу как материал для автокатодов**

- Стеклографит
- Высокопрочный графит (МПГ-6, МПГ-7)
- пирографит





## Основные преимущества автокатодов из углеродных материалов

- мгновенная готовность к работе
- широкий диапазон рабочих температур (от  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ )
- большой срок службы
- российские материалы и технология
- работоспособность в условиях высоко технического вакуума ( $10^{-6} - 10^{-7}$  мм. рт. ст.)



## Особенности автокатодов из углеродных материалов

- эмиссионная поверхность является хаотичной и многоострийной и многоуровневой
- размер микроострий сильно отличался по радиусам закруглений и высоте
- прочность микровыступов может сильно различаться в зависимости от структуры и примесей
- структура и прочность зависит прежде всего от температуры обработки углеродных материалов





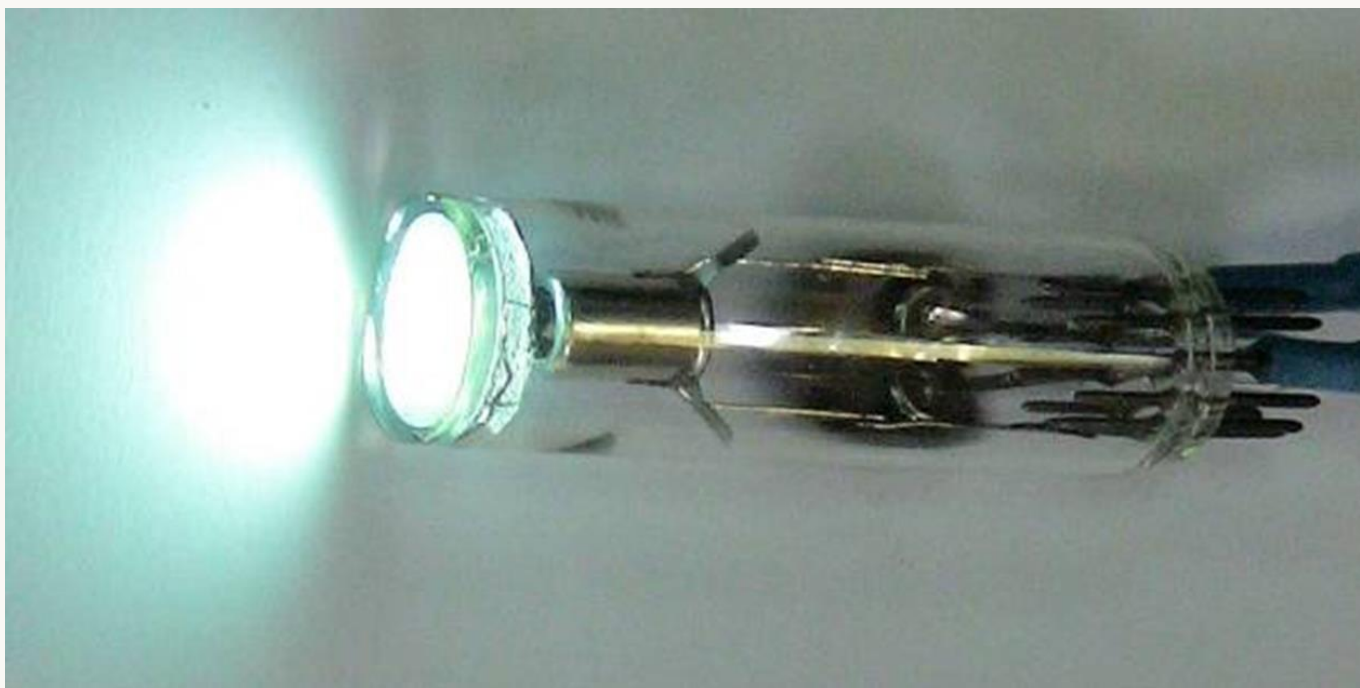
## Тренировка автокатодов из углеродных материалов

Физический смысл тренировки автокатаода из углеродных материалов состоит в создании на поверхности автокатаода максимального количества равномерно распределенных по его поверхности эмиссионных центров, дающих примерно одинаковый вклад в общий эмиссионный ток, т.е. создание развитой эмиттирующей поверхности.

Вполне естественно, что в результате формовки изменяется структура рабочей поверхности углеродных материалов



**Пример лабораторного образца  
катодолюминесцентной лампы,  
разработанной в МФТИ**



Долгопрудный



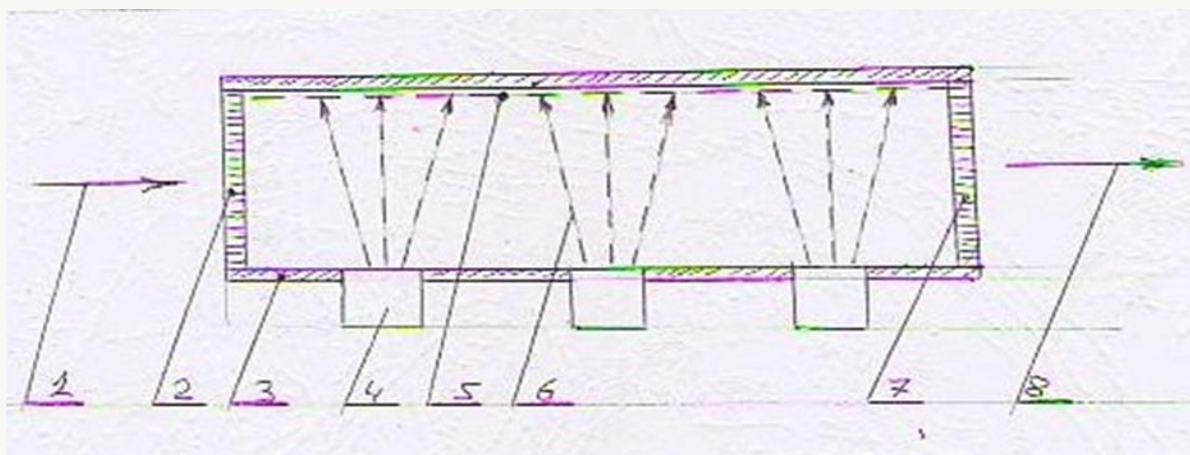
## Прототип лампы со встроенным источником питания



Долгопрудный



## Система дезинфекции на основе УФ на лампах с автокатадами из углеродных материалов

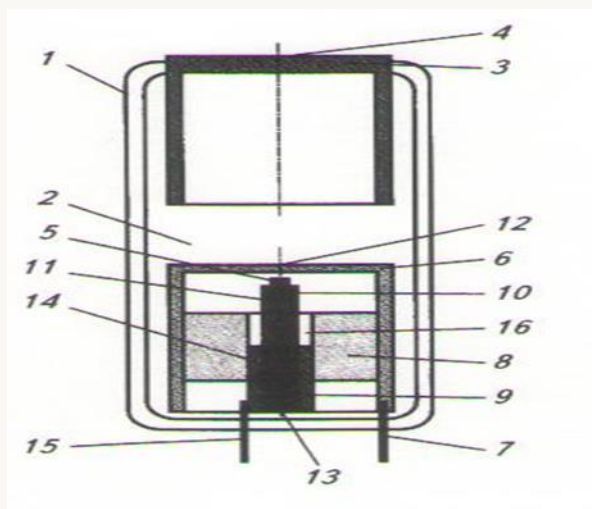


### Схема проточного рециркулятора

1. Входной поток воздуха
2. Входной воздушный фильтр
3. Корпус
4. УФ лампы с автокатадами
5. Слой диоксида титана
6. Поток УФ излучения
7. Выходной воздушный фильтр
8. Очищенный воздух



## Миниатюрная рентгеновская трубка с прострельным анодом и автокатодом из углеродных волокон

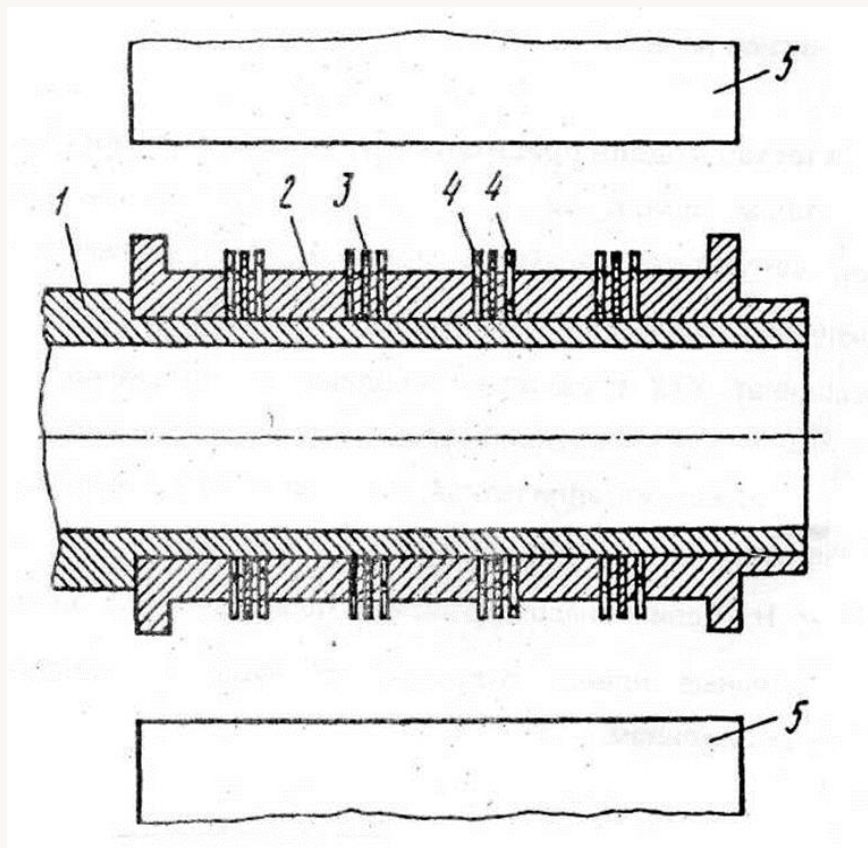


- 1-стеклянная колба;
- 2-автоэлектронная пушка;
- 3-анод;
- 4-окно;
- 5-автокатод;
- 6-модулятор;
- 7,15-электрические выводы;
- 8-диэлектрическая шайба;
- 9-контактный узел автокатада;
- 10-пучок углеродных волокон;
- 11-оболочка пучка волокон;
- 12-отверстие в модуляторе;
- 13-электропроводящая паста;
- 14-металлическая оболочка;
- 16-защитная полость.



Вид рабочего прототипа рентгеновской  
трубки с автокатодом

Долгопрудный



1 – Направляющий керн;

2 – Вторично-электронный  
эмиттер;

3 – Автоэлектронный катод;

4 – Диэлектрические пленки;

5 – Цилиндрический анод.



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ