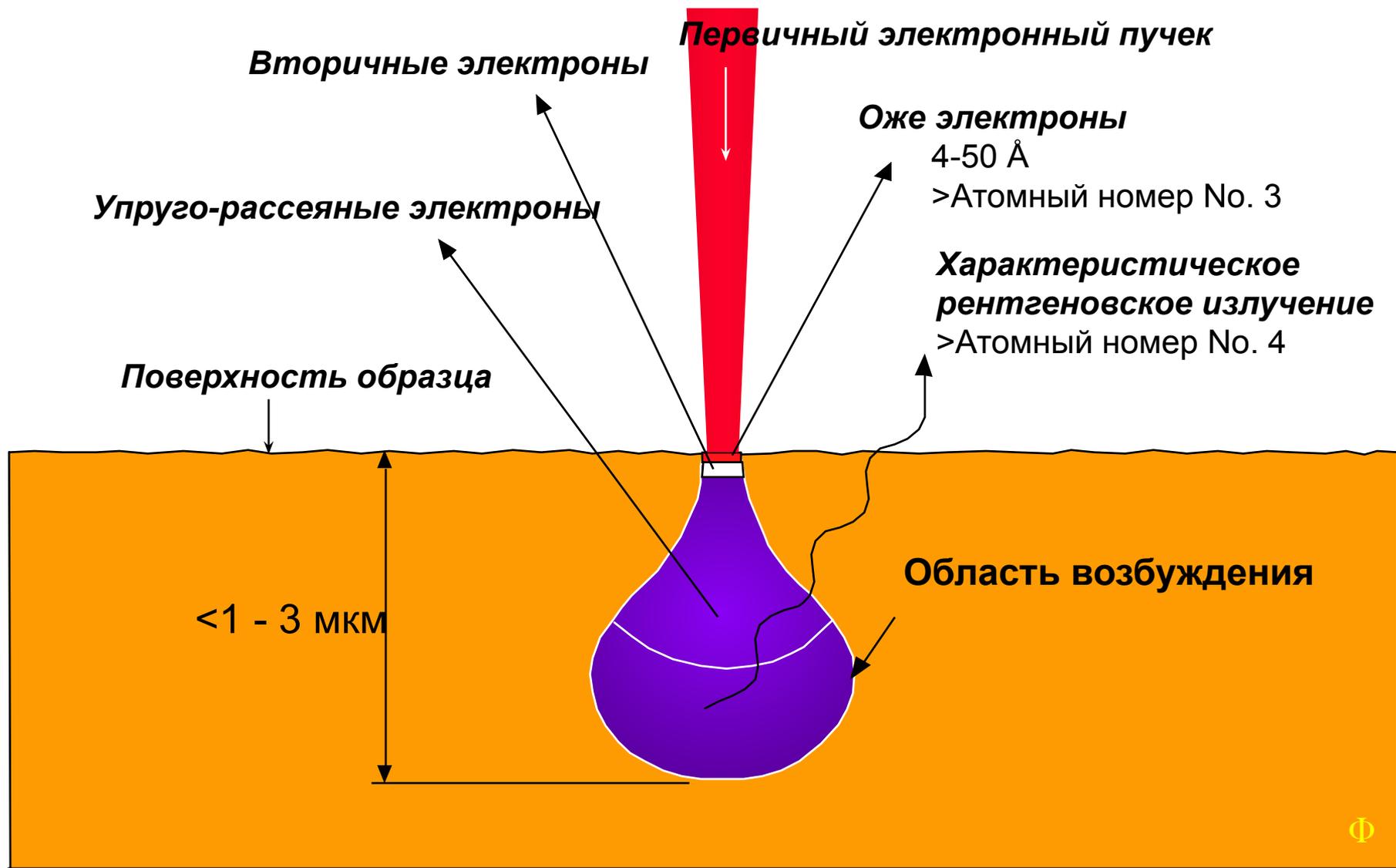


# Методы исследования поверхности и/или тонких слоев

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ОБРАЗЦА



# ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ

- ОЖЕ-ЭФФЕКТ - эмиссия электрона из атома, происходящая в результате безызлучательного перехода при наличии в атоме вакансии на внутренней электронной оболочке. Эффект обнаружен П. Оже (P. V. Auger) в 1925 г.
- ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ - область электронной спектроскопии, в основе которой лежат измерение энергии и интенсивностей токов оже-электронов, а также анализ формы линий спектров оже-электронов, эмитированных атомами, молекулами и твёрдыми телами в результате оже-эффекта.

- Эмиссия Оже электронов является следствием взаимодействия двух электронов с образованием свободной вакансии на электронном уровне атома
- Ионизация электронных уровней атома
- Релаксация возбужденного состояния путем перехода вышележащих электронов на свободные уровни с последующей эмиссией Оже электронов или рентгеновских фотонов



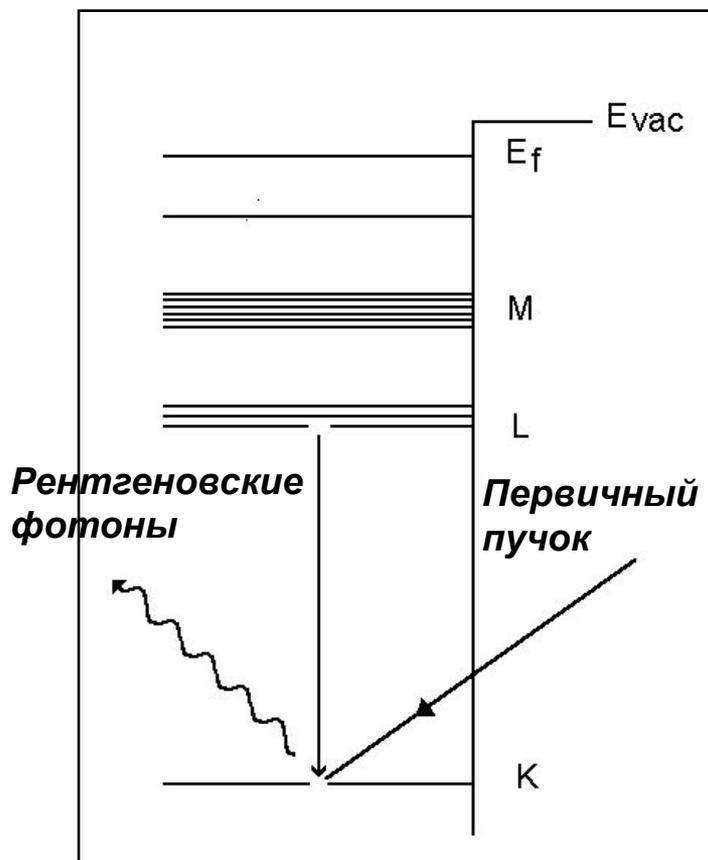
ЭЛЕКТРОННЫЙ ОЖЕ-СПЕКТРОМЕТР PHI-680  
фирмы "PHYSICAL ELECTRONICS"

# ЭЛЕКТРОННАЯ ОЖЕ СПЕКТРОСКОПИЯ (AES – Auger Electron Spectroscopy)

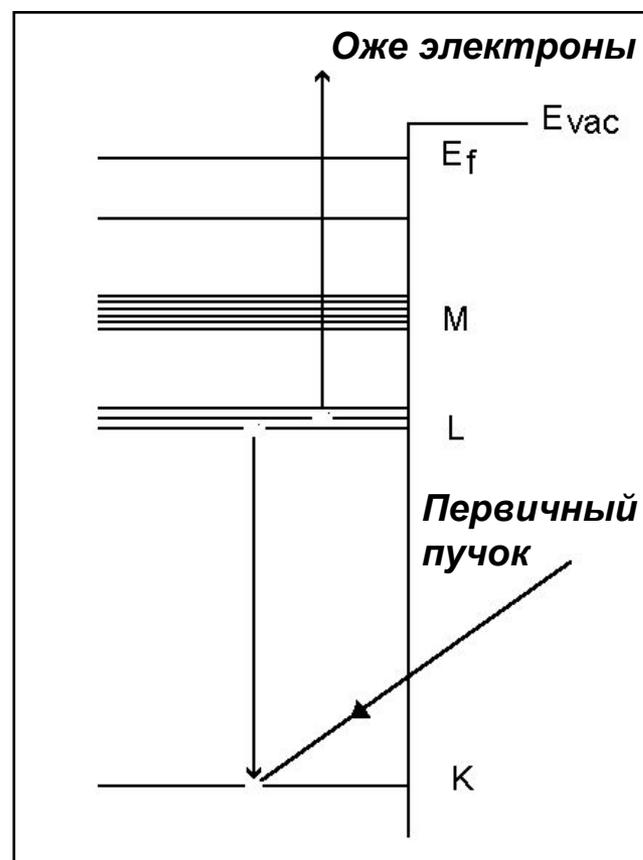
- **Электронная Оже (Auger) спектроскопия** – аналитический метод, дающий комплексную информацию о нескольких поверхностных монослоях твердых материалов
- Детектируются все элементы с атомным номером выше **He**
- Предел детектирования: ~1 - 0.1 атомного %
- Глубина анализа: поверхность - 4-50 Å
- Пространственное разрешение:  $\leq 100$  Å

# ЭЛЕКТРОННАЯ ОЖЕ СПЕКТРОСКОПИЯ

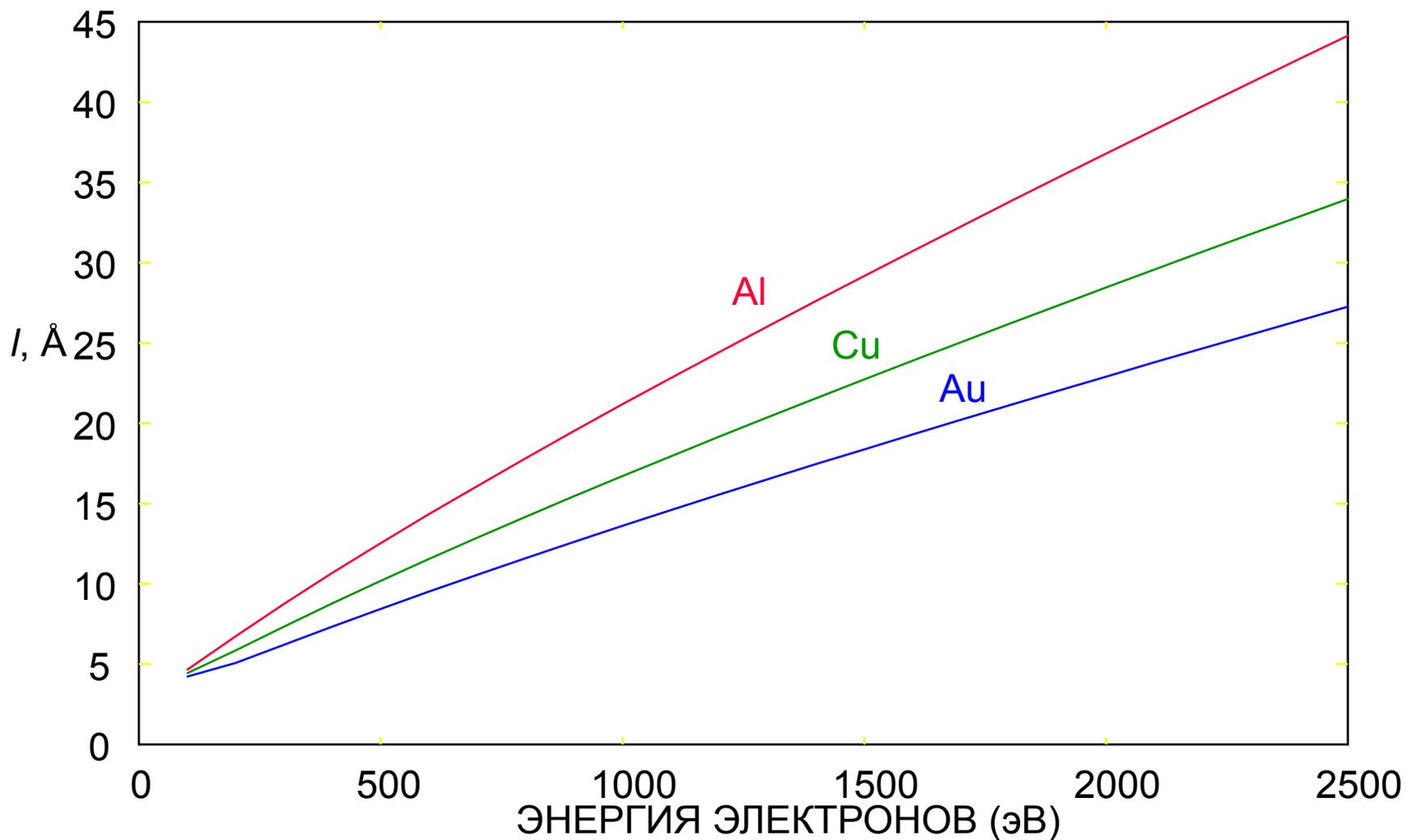
Рентгеновская  
флюоресценция



Эмиссия  
Оже электронов

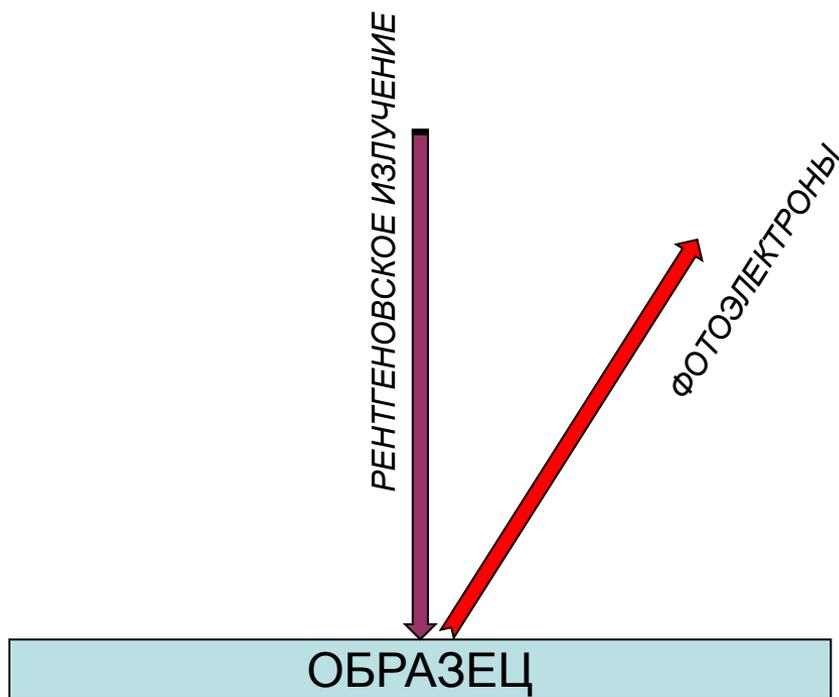


# Длина свободного пробега электронов



РФС/ЭСХА – Рентгеновская фотоэлектронная  
спектроскопия / Электронная спектроскопия для  
химического анализа

XPS/ESCA – X-ray Photoelectron Spectroscopy/Electron  
Spectroscopy for Chemical Analysis



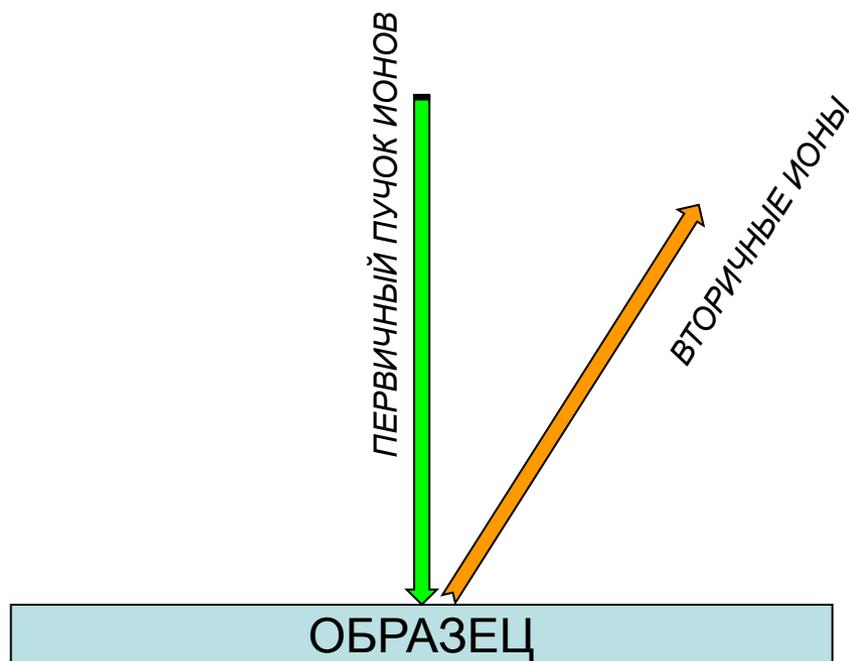
РЕНТГЕНОВСКИЙ  
ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР  
PHI-5500  
фирмы “**PERKIN ELMER**”

ВИМС – Вторичная ионная масс-спектрометрия

SIMS – Secondary Ion Mass-Spectrometry

Времяпролетный ВИМС – Времяпролетная вторичная ионная масс-спектрометрия

TOF-SIMS – Time Of Flight Secondary Ion Mass-Spectrometry

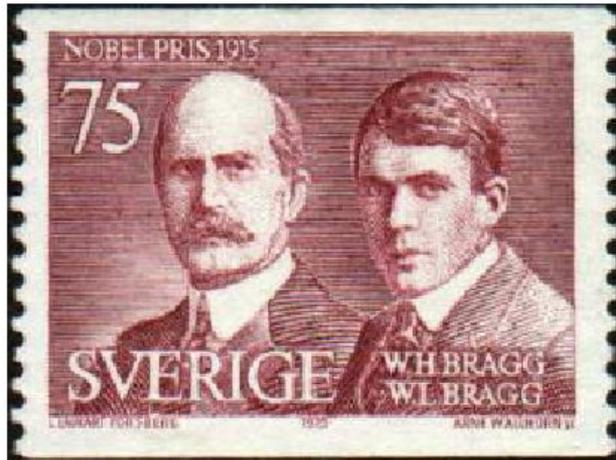


ВТОРИЧНЫЙ ИОННЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР PHI-6600 фирмы "PERKIN ELMER"

# СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

	<b>ЭОС</b>	<b>РФС (ЭСХА)</b>	<b>Динамический ВИМС</b>	<b>Времяпролетный ВИМС</b>
<b>Область применения</b>	<i>Поверхность, частицы, анализ дефектов, профилирование</i>	<i>Поверхность органических и неорганических материалов, профилирование</i>	<i>Профилирование остаточных и легирующих примесей, объемные материалы и тонкие пленки</i>	<i>Поверхность органических и неорганических материалов, химическое картирование</i>
<b>Анализируемые частицы</b>	<i>Оже электроны</i>	<i>Фотозэлектроны</i>	<i>Вторичные ионы</i>	<i>Вторичные ионы, атомы, молекулы</i>
<b>Анализируемые элементы</b>	<i>Li-U</i>	<i>Li-U <b>Валентная зона</b></i>	<i>H-U <b>ppb-ppm</b></i>	<i>H-U <b>молекулы</b></i>
<b>Пределы детектирования</b>	<i>0,1-1 ат % <b>Несколько монослоев</b></i>	<i>0,01-1 ат % <b>Несколько монослоев</b></i>	<i><b><math>10^{-12}</math>-<math>10^{16}</math> ат/см<sup>3</sup></b></i>	<i><b><math>10^{-7}</math>-<math>10^{10}</math> ат/см<sup>3</sup></b> <b>Несколько монослоев</b></i>
<b>Глубина анализа</b>	<i><b>3 нм</b> 2-20 нм (при профилировании)</i>	<i><b>1-10 нм</b> 2-20 нм (при профилировании)</i>	<i>2-30 нм</i>	<i><b>1-3 монослоя</b></i>
<b>Глубина профилирования</b>	<i>До 1 мкм</i>	<i>До 1 мкм</i>	<i><b>До 10 мкм</b></i>	<i>До 3 мкм</i>
<b>Получаемая информация</b>	<i>Элементный</i>	<i><b>Элементный и фазовый</b></i>	<i>Элементный</i>	<i><b>Элементный Молекулярный</b></i>
<b>Преимущества метода</b>	<i><b>Элементный анализ нанообъектов</b></i>	<i><b>Фазовый полуколичественн ый анализ</b></i>	<i><b>Глубинное профилирование, детектирование остаточных примесей</b></i>	<i><b>Комплексный химический и молекулярный анализ</b></i>

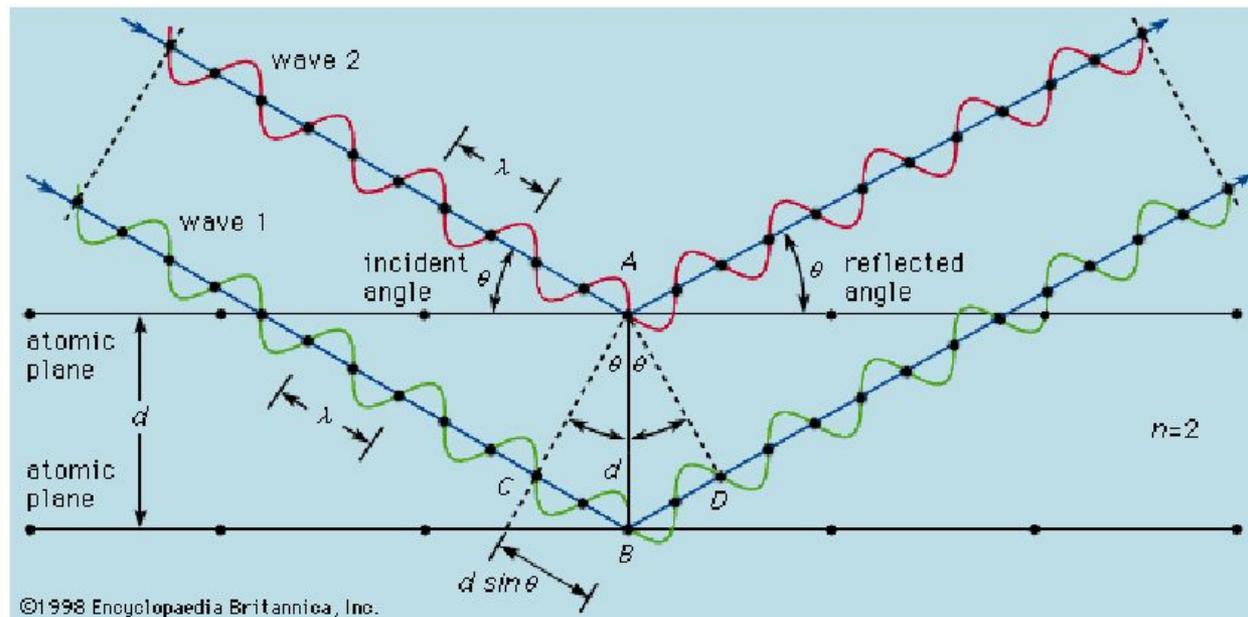
# Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке (брэгговская дифракция)



William **Bragg** (1862-1942)

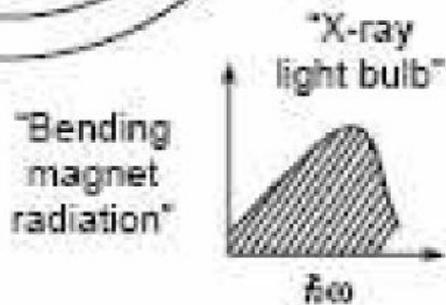
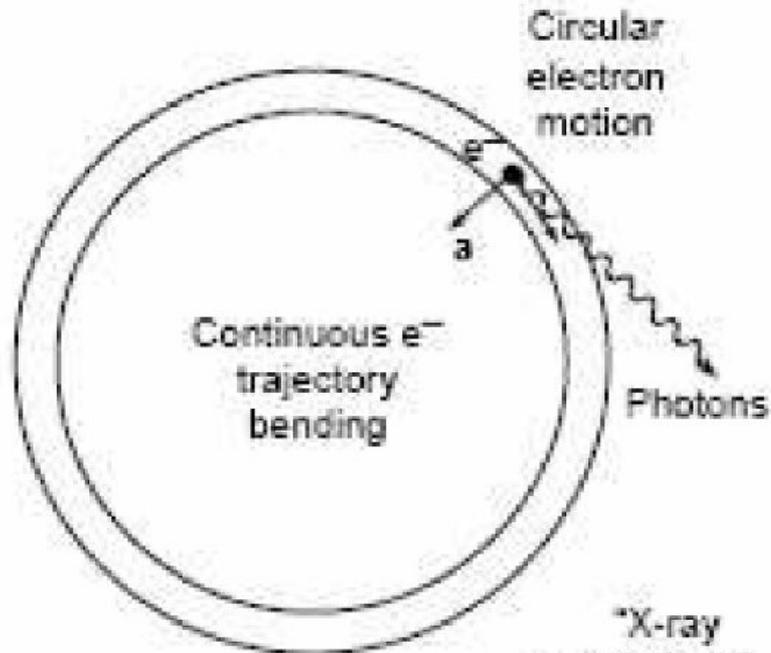
William Lawrence **Bragg** (1890-1971)

$$n\lambda = 2d \sin(\theta)$$



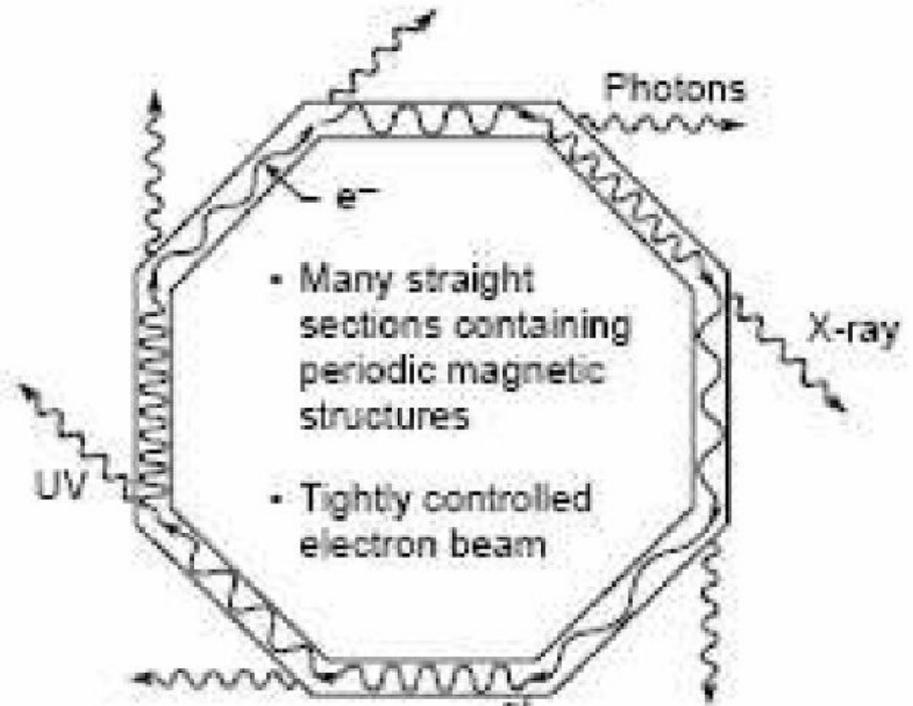
# Синхротронное излучение

Older Synchrotron Radiation Facility

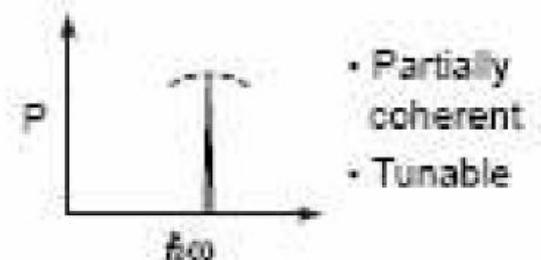


Волнообразное излучение  
Раскачка

Modern Synchrotron Radiation Facility



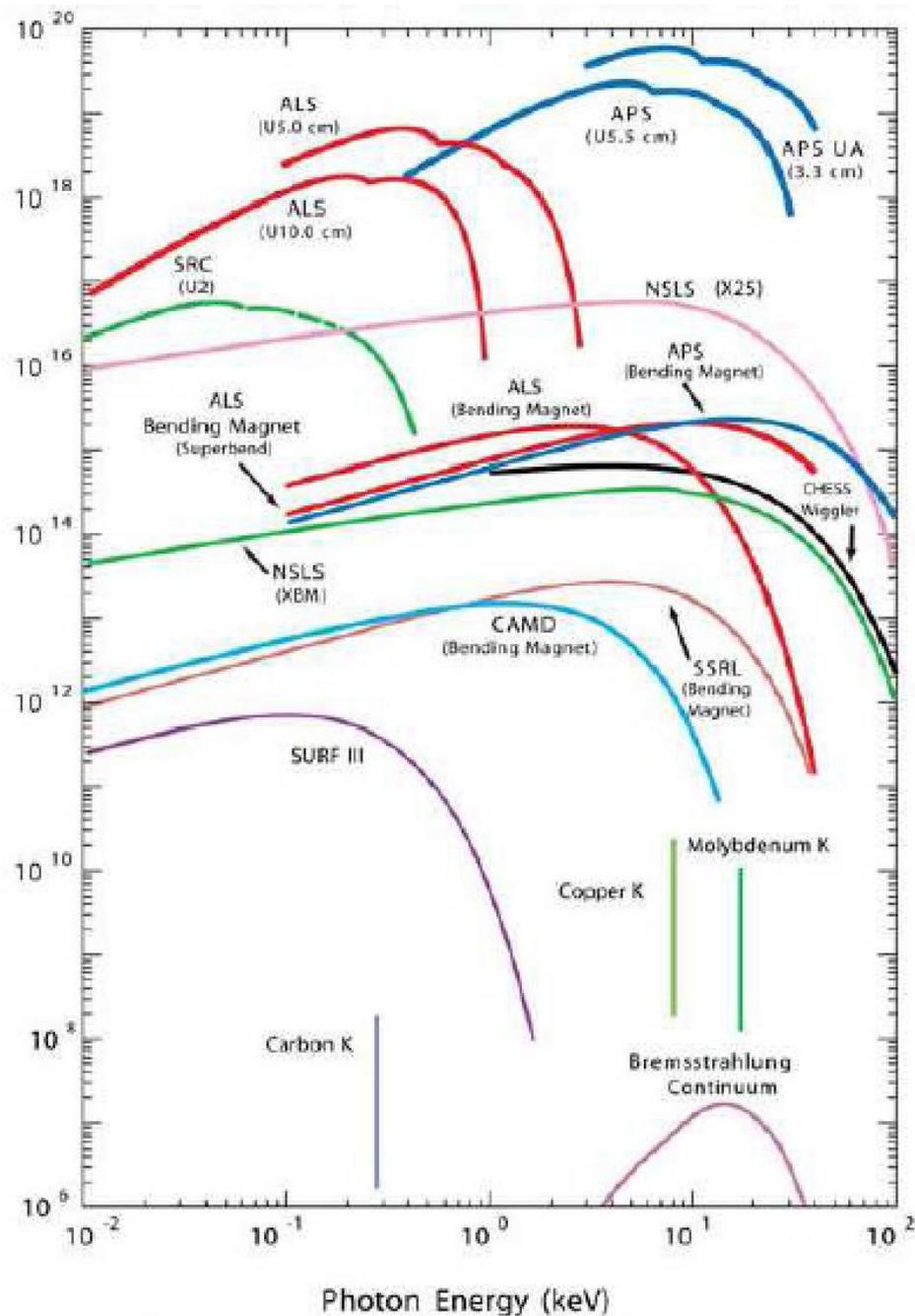
"Undulator and wiggler radiation"

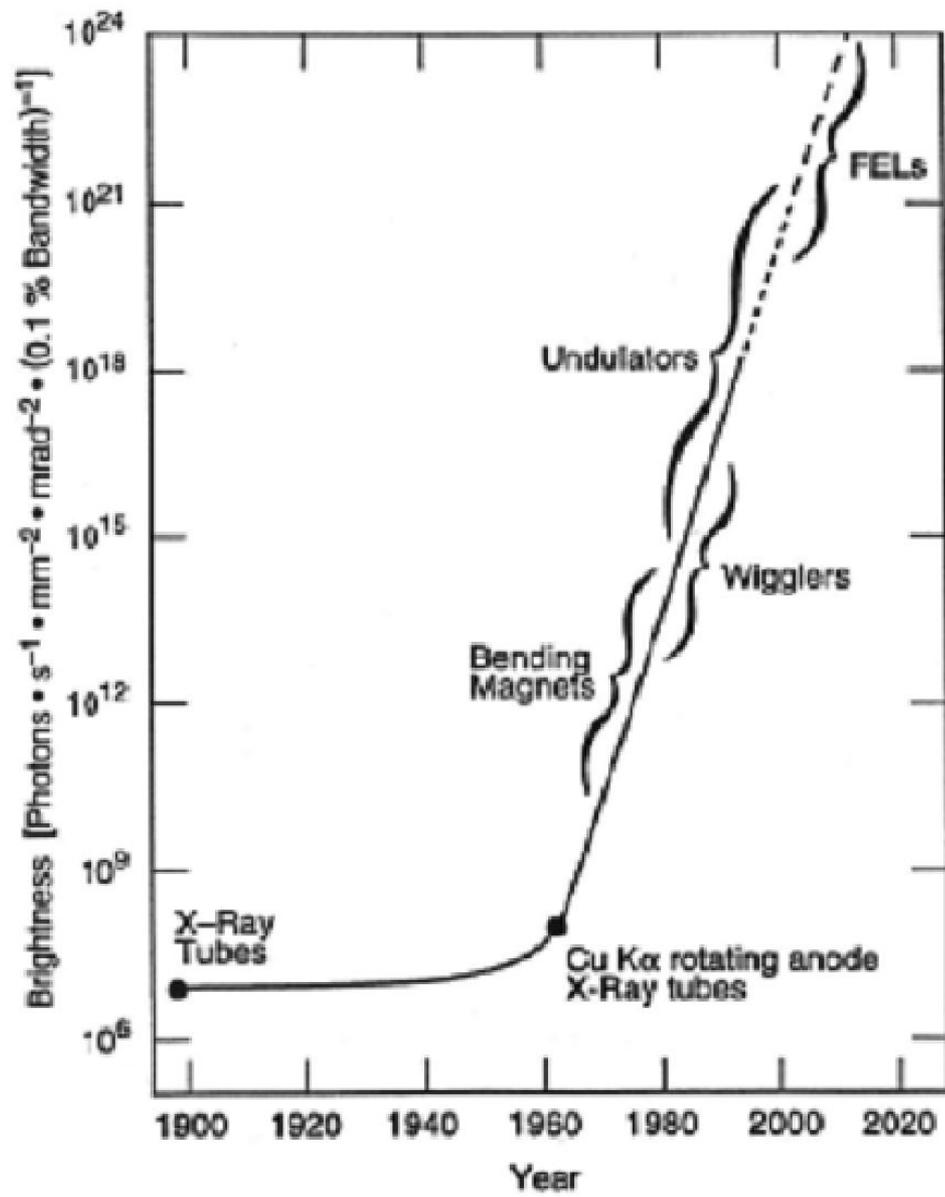


# Спектральная яркость синхр. излучения

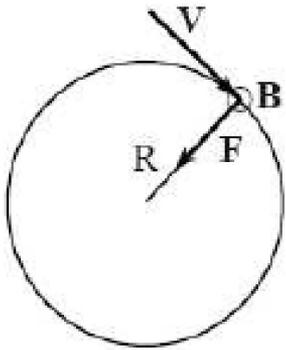
- Спектральная яркость – функция количества фотонов, излученных
  - в единицу времени
  - в единичном телесном угле
  - на единицу площади поверхности
  - в единичной полосе частот вокруг заданной.
- $0.1\%BW$  – ширина полосы  $10^{-3} \omega$  вокруг частоты  $\omega$

Осевая спектр. яркость, фотон/с/мм<sup>2</sup>/мрад<sup>2</sup>/0.1%BW

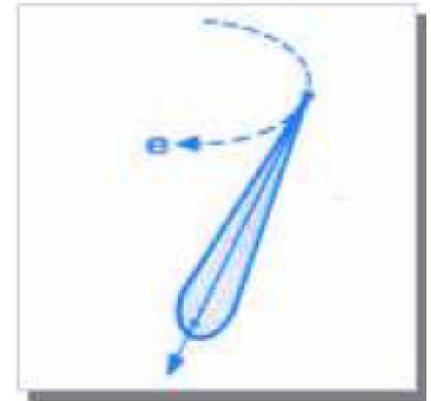
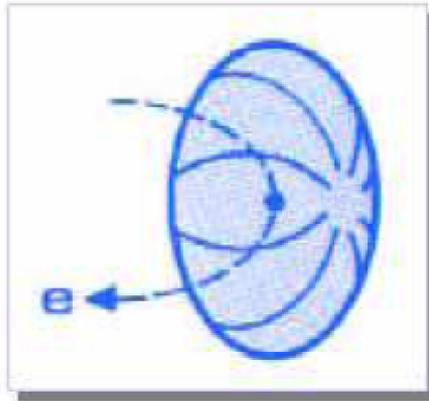




# Возникновение и направленность синхротронного излучения



$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



$$R = \frac{\gamma m v}{e B} \approx \frac{\gamma m c}{e B}$$

**$v \ll c$**

**$v \approx c$**

