

ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ И
МЕТОДОВ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

APPLICATION OF NUCLEAR-PHYSICAL APPARATUS AND
METHODS IN BIOLOGY AND MEDICINE

Курсовая работа студента дневного отделения 206 группы

Диденко Алисы Романовны

Научный руководитель

Фотина Ольга Владиленовна

Корпускулярное

Электромагнитное

**Альфа-излучение
~10 МэВ**

**Бета-излучение
0,002-2,3 МэВ**

**гамма-излучение
Выше 500 кэВ**

Нейтроны

протоны

**рентгеновское
излучение
50 эВ - 500 кэВ**

| Излучение | | диапазон волн, м | Полоса частот, Гц | Энергия кванта, эВ | Природные источники, основные методы возбуждения |
|-------------------|------------------|-------------------------------------|---|---|---|
| Тип | Вид | | | | |
| ионизи- рующее | γ-излу- чение | $10^{-10} \div 10^{-15}$ и менее | $3 \cdot 10^{18} \div 3 \cdot 10^{23}$ и более | $1,24 \cdot 10^4 \div 1,24 \cdot 10^9$ и более | космические источники, вторичные кос- мические лучи, взаимодействие уско- ренных частиц с атомами, радиоактив- ный распад радионуклидов, ядерные реакции и космические процессы |
| | | рентгенов- ское | $10^{-7} \div 10^{-11}$ | $3 \cdot 10^{15} \div 3 \cdot 10^{19}$ | |

ТЕОРИЯ СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ + БЕТА-РАСПАД

Лептоны ($J = 1/2$)

| Частица | Масса, mc^2 | Время жизни | Лептонный заряд | | |
|------------|---------------|----------------------------|-----------------|---------|----------|
| | | | L_e | L_μ | L_τ |
| ν_e | < 3 эВ | стабильно | +1 | 0 | 0 |
| ν_μ | < 0,19 МэВ | стабильно | 0 | +1 | 0 |
| ν_τ | < 18 МэВ | стабильно | 0 | 0 | +1 |
| e^- | 0,511 МэВ | $> 4,2 \cdot 10^{-24}$ лет | +1 | 0 | 0 |
| μ^- | 105,66 МэВ | $2,2 \cdot 10^{-6}$ с | 0 | +1 | 0 |
| τ^- | 1777 МэВ | $2,9 \cdot 10^{-13}$ с | 0 | 0 | +1 |

Законы сохранения

| Характеристика | | Взаимодействие | | |
|--|--------------------|----------------|-------------------|--------|
| | | Сильное | Электро-магнитное | Слабое |
| <i>Аддитивные законы сохранения</i> | | | | |
| Электрический заряд | Q | + | + | + |
| Энергия | E | + | + | + |
| Импульс | \vec{P} | + | + | + |
| Момент импульса | \vec{J} | + | + | + |
| Барионный заряд | B | + | + | + |
| Лептонные заряды | $L_e L_\mu L_\tau$ | + | + | + |
| Странность (strangeness) | S | + | + | - |
| Очарование (charm) | C | + | + | - |
| Bottom | B | + | + | - |
| Топ | T | + | + | - |
| Изоспин | I | + | - | - |
| Проекция изоспина | I_3 | + | + | - |
| <i>Мультипликативные законы сохранения</i> | | | | |
| Пространственная четность | P | + | + | - |
| Зарядовая четность | C | + | + | - |
| Временная четность | T | + | + | - |
| Комбинированная четность | CP | + | + | - |
| CPT-четность | CPT | + | + | + |

$$e \bar{\nu} \nu$$

$$\text{адроны} + \nu, \\ \mu \bar{\nu} \nu, e \bar{\nu} \nu$$

Радиодиагностическая аппаратура

многоканальный коллиматор, выделяющий направление гамма-квантов;

сцинтиллятор большой площади (~ 60×45 см);

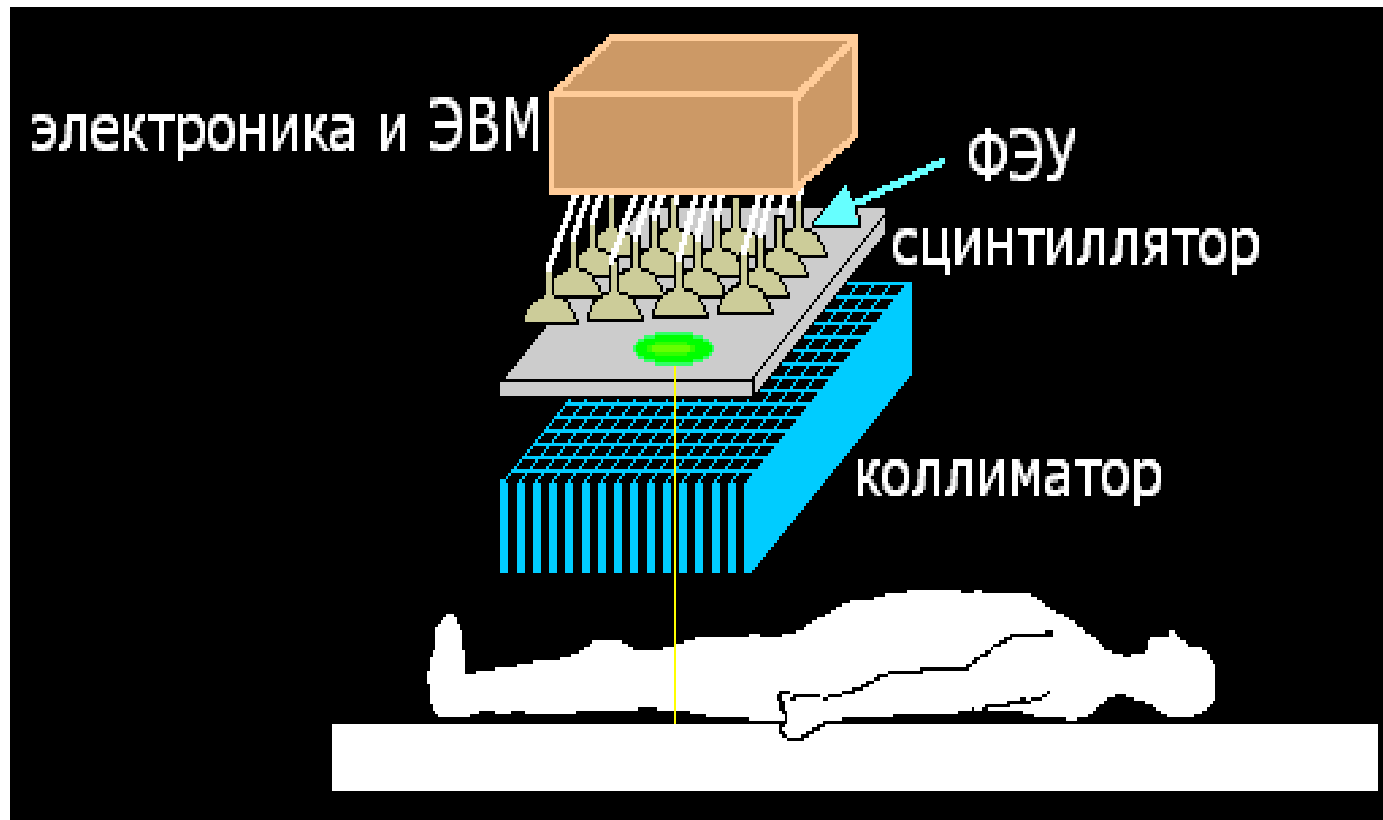
матрица из ФЭУ;

электроника, с помощью которой извлекается информация о координатах и интенсивности сцинтилляции;

ЭВМ, в котором строится сцинтиграфическое двумерное изображение исследуемого органа.

Чтобы получить информацию о направлении вылета из человеческого тела γ -квантов, происходит их коллимация в многоканальном коллиматоре.

Сцинтиллятор детектора просматривается матрицей фотоумножителей. Таким образом определяется направление прихода γ -кванта, что дает возможность реконструировать точку



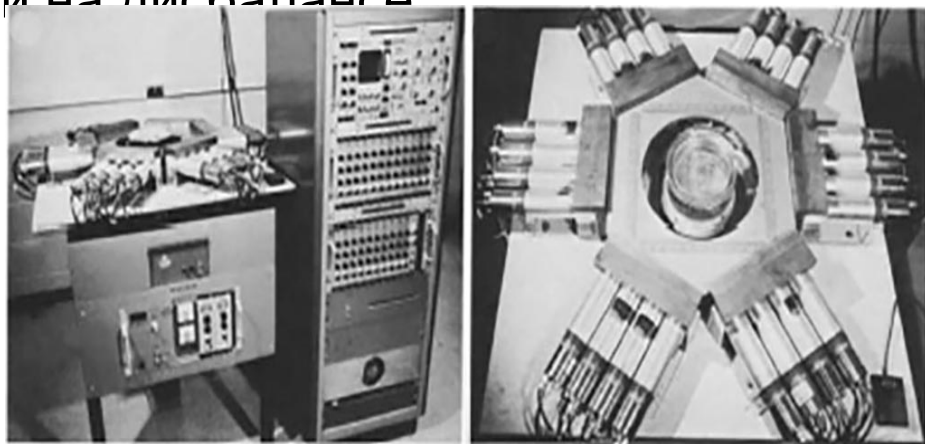


ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Методика ПЭТ-изображения является комбинацией двух изобретений, представленных к Нобелевской премии - радиоактивного индикатора и принципов томографии.

История ПЭТ началась в 1950-ых, когда появилась возможность регистрации позитрона

Первый прототип ПЭТ сканера появился в 1952 году в Массачусетском госпитале после 6 месяцев разработки конструкции. Он имел всего лишь два детектора на основе йодистого натрия расположенных друг напротив друга и позволял получать изображения, основанные как на обнаружении совпадения событий, так и на дисбалансе



На развитие технологии ПЭТ повлияли три фактора:

большинство метаболических процессов в теле происходят достаточно быстро, чтобы следить за ними с помощью короткоживущих радионуклидов;

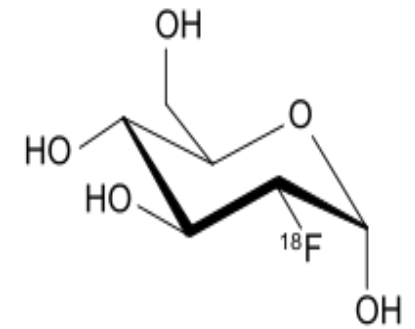
несмотря на короткое время жизни изотопов, стала возможна быстрая радиоактивная маркировка сложных молекул;

Посредством проникающих фотонов с достаточной точностью можно локализовать место аннигиляции.

РАДИОНУКЛИДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПЭТ

| Нук-лид | Период полураспада, мин | Тип распада | Ядерная реакция |
|-----------------|-------------------------|--|--|
| ^{11}C | 20,4 | β^+ | $^{14}\text{N}(p, \alpha) ^{11}\text{C}$ |
| ^{13}N | 9,96 | β^+ | $^{16}\text{O}(p, \alpha) ^{13}\text{N}$ $^{13}\text{C}(p, n) ^{13}\text{N}$ |
| ^{15}O | 2,04 | β^+ | $^{14}\text{N}(d, n) ^{15}\text{O}$ $^{15}\text{N}(p, n) ^{15}\text{O}$ $^{16}\text{O}(p, pn) ^{15}\text{O}$ |
| ^{18}F | 109,7 | β^+ (97%) захват электрона (3%) | $^{18}\text{O}(p, n) ^{18}\text{F}$ $^{20}\text{Ne}(d, \alpha) ^{18}\text{F}$ |

| Изотоп | Средняя кинетическая энергия, мэВ |
|------------------|-----------------------------------|
| ^{11}C | 0,385 |
| ^{13}N | 0,491 |
| ^{15}O | 0,735 |
| ^{18}F | 0,242 |
| ^{68}Ga | 0,783 |
| ^{82}Rb | 1,32 |



фтордезоксиглюкоза (ФДГ)
одна группа -ОН
заменена на ^{18}F

Перенос методов меченых радиоизотопами веществ к использованию на человеке при помощи ПЭТ стал возможным благодаря уникальному классу радиоизотопов, используемых в позитронно-эмиссионной томографии для меченя веществ:

❖ $^{11}_6\text{C}$, $^{13}_7\text{N}$, $^{15}_8\text{O}$ и $^{18}_9\text{F}$ (используется как замена водорода).

Они излучают фотоны, способные проходить сквозь тело и быть зарегистрированными за его пределами.

Ядерно-физические свойства ^{18}F

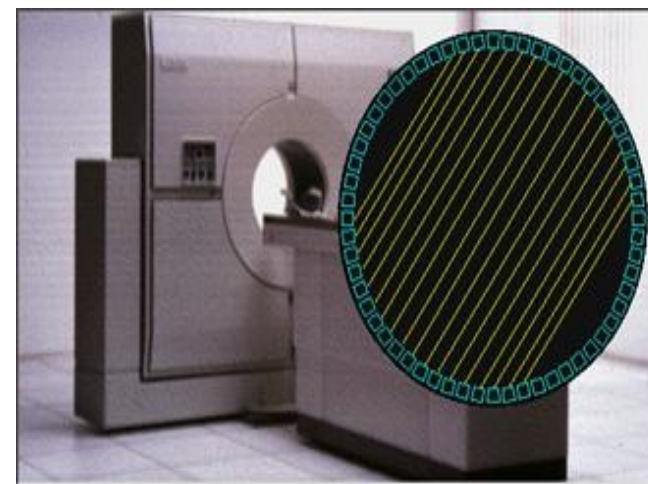
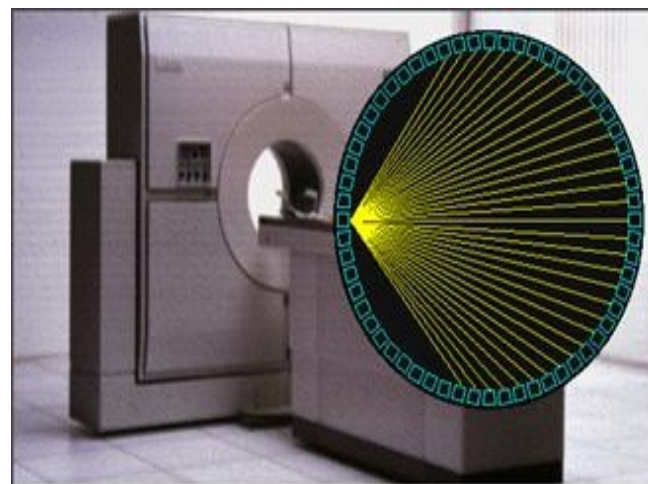
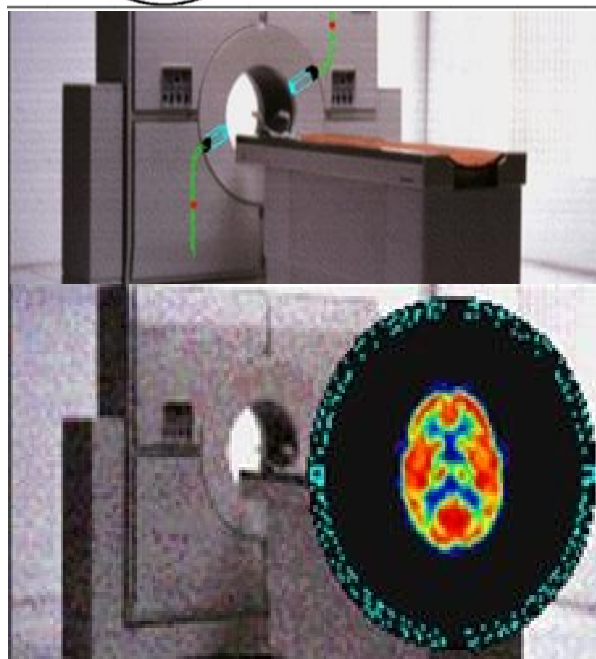
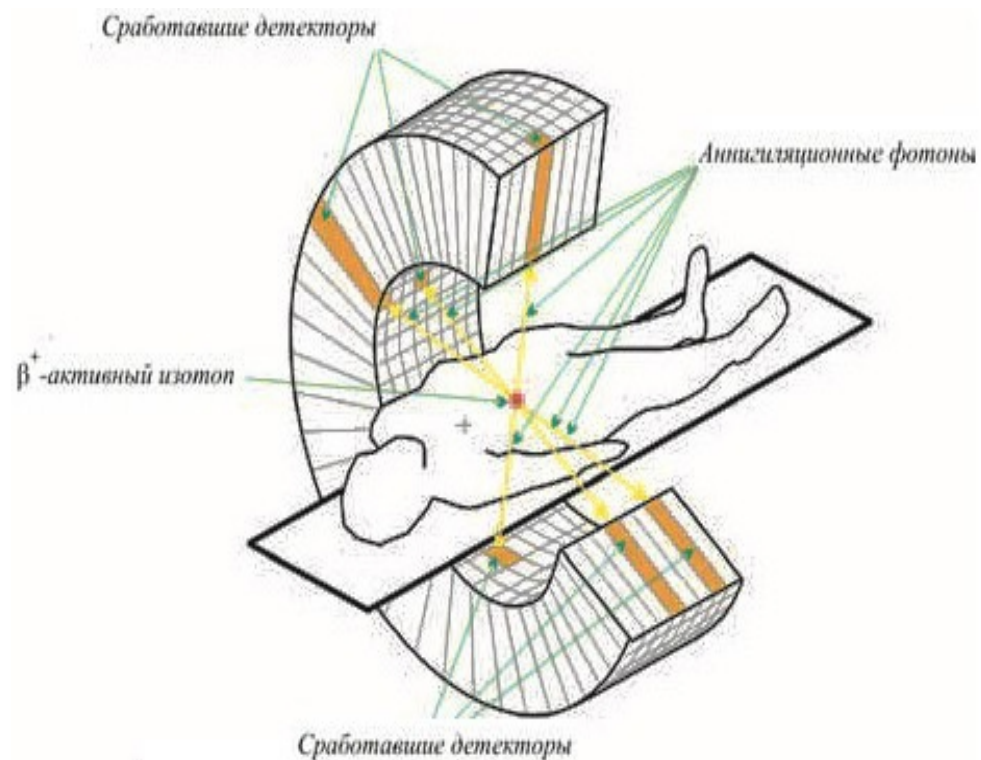
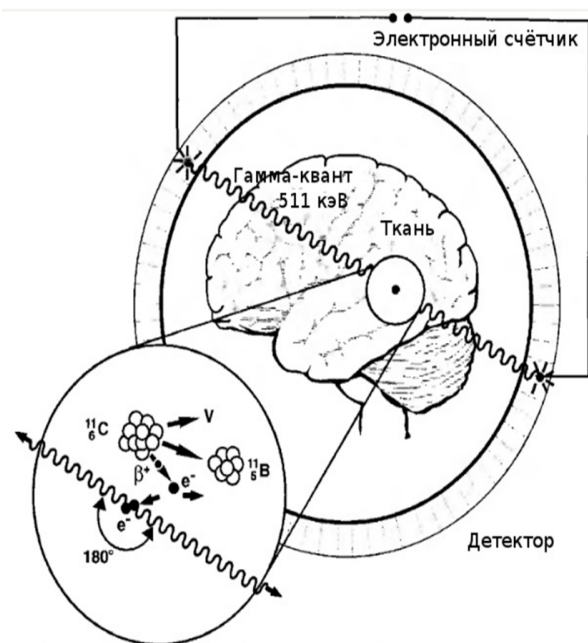
| Радио- нуклид | $T_{1/2}$ | Тип распада | Средняя энергия излучения, МэВ/(Бк·с) | | Дочерний радио- нуклид (выход) |
|------------------|-------------|----------------|---|--|---|
| | | | характери- стическое, γ - и аннигиля- ционное излучение | β -излучение, конвер- сионные электроны и электроны Оже | |
| ^{18}F | 109,77 мин. | ЗЭ, β^+ | 1,02 | $2,50 \cdot 10^{-1}$ | ^{18}O стаб. |

РФП на основе ^{18}F используются для следующих исследований:

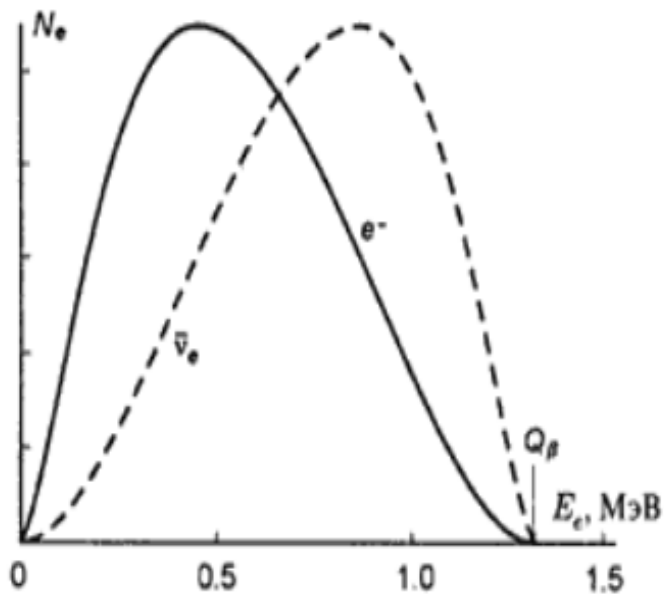
- визуализация опухолей различных локализаций;
- оценка метаболизма глюкозы в сердце, легких и головном мозге;
- локализация эпилептического очага;
- диагностика костных метастазов;
- дифференциальная диагностика — для определения степени злокачественности опухоли.

| Ядерная реакция | Облучаемое вещество | Химическая форма фтора-18 |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ | $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ | $[^{18}\text{F}]\text{фторид}$ |
| $^{20}\text{Ne}(d,\alpha)^{18}\text{F}$ | Ne (0.5-1% F_2) | $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ |
| $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ | $[^{18}\text{O}]\text{O}_2$ | $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ |

ФИЗИКА ПЭТ



Главной особенностью β -распада является то, что он обусловлен слабым взаимодействием. Бета-распад - процесс не внутриядерный, а внутринуклонный.



$$\beta^-: (A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\beta^+: (A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+ + \nu_e$$

$$e: (A, Z) + e^- \rightarrow (A, Z-1) + \nu_e$$

$$\beta^- (n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e), \quad M(A, Z) > M(A, Z+1) + m_e$$

$$\beta^+ (p \rightarrow n + e^+ + \nu_e), \quad M(A, Z) > M(A, Z-1) + m_e$$

$$e\text{-захват} (p + e^- \rightarrow n + \nu_e), \quad M(A, Z) + m_e > M(A, Z-1)$$

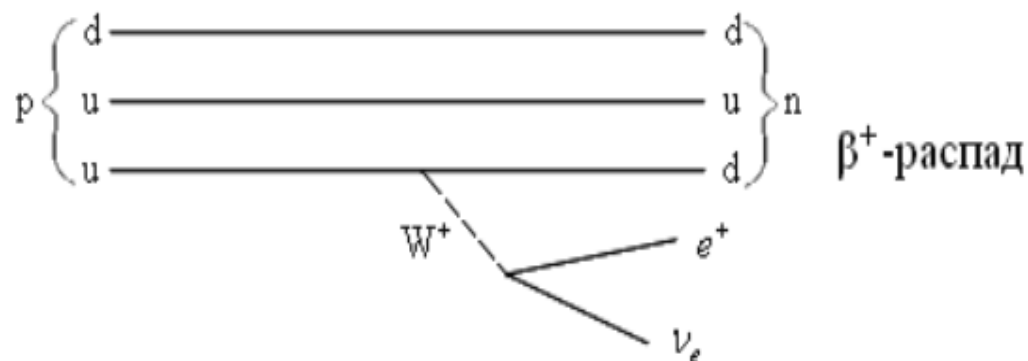
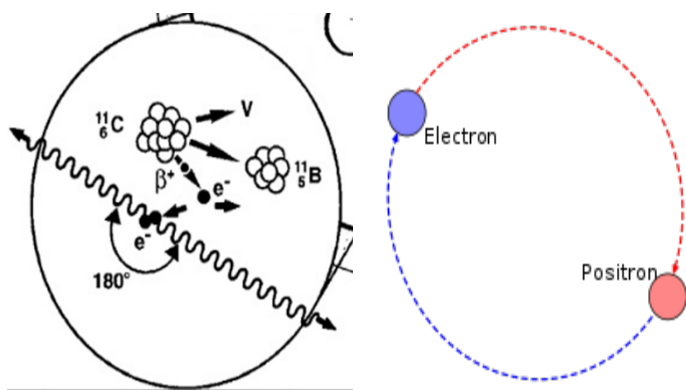
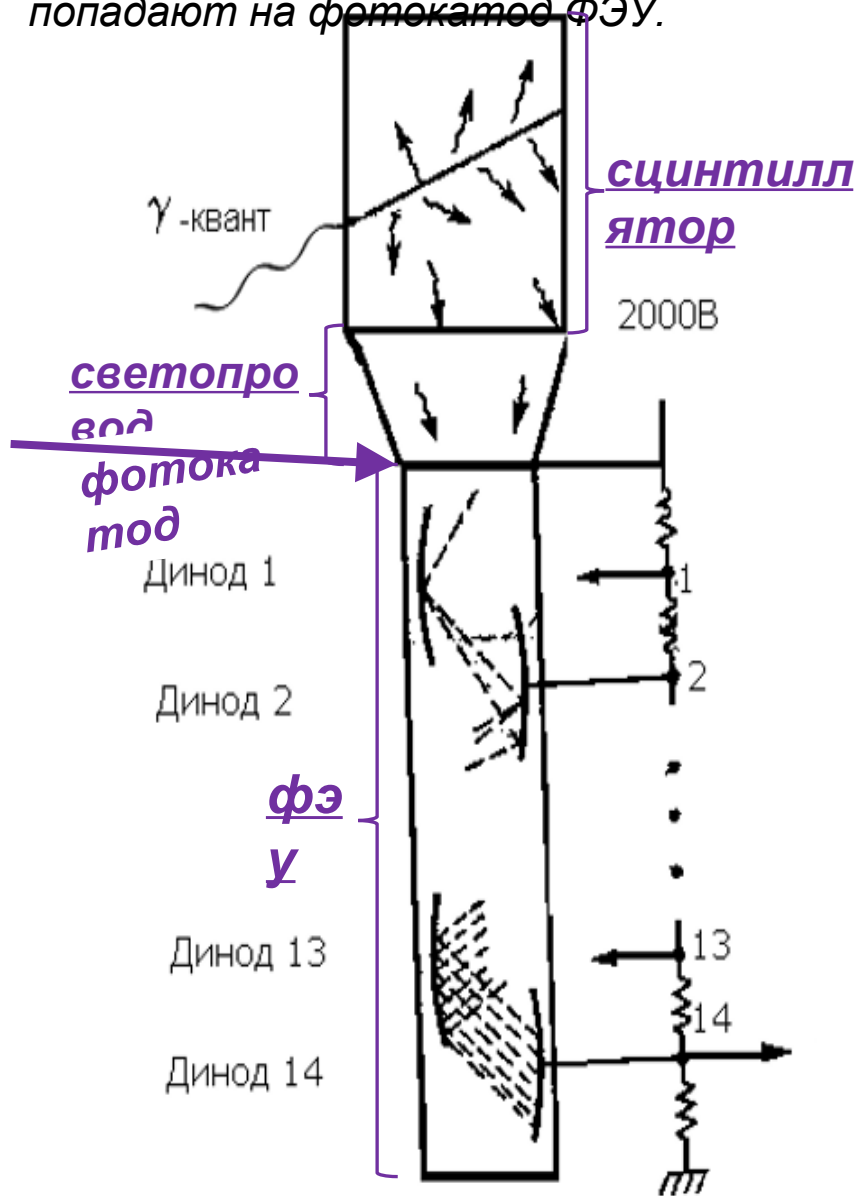
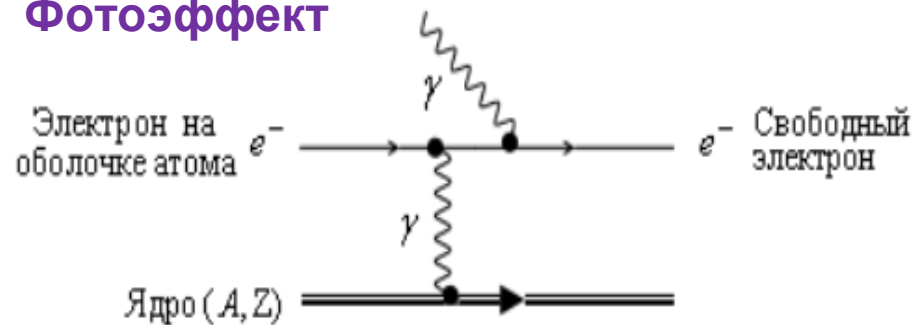


Схема устройства сцинтилляционного детектора. Частица, попадая в сцинтиллятор, порождает фотоны флуоресценции, которые по светопроводу попадают на фотокатод ФЭУ.

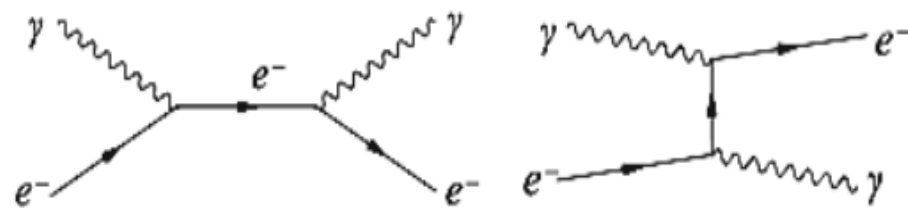


Механизмы процесса поглощения энергии гамма-излучения

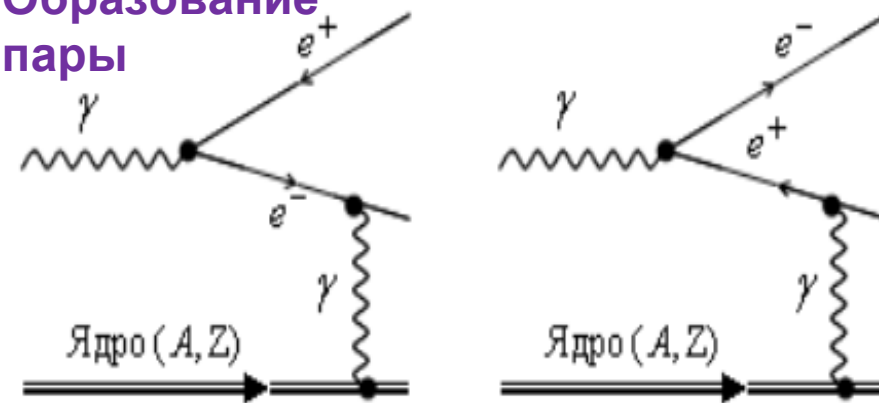
Фотоэффект

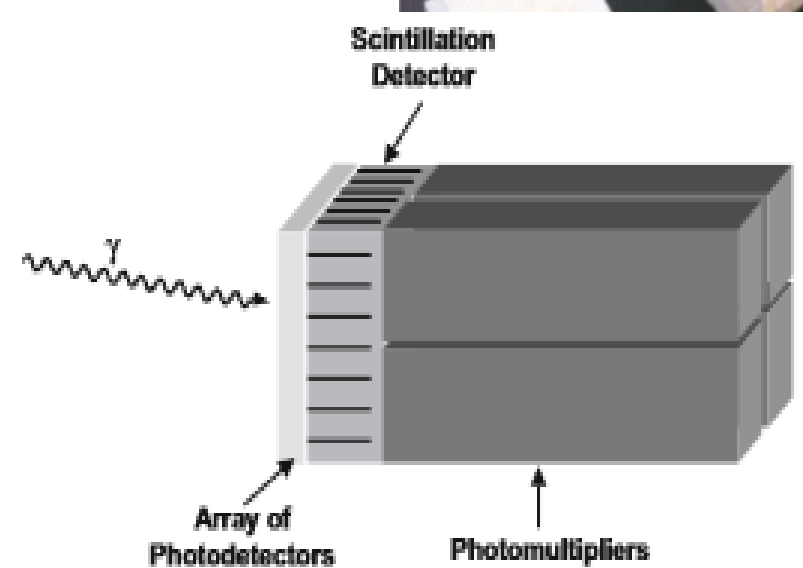
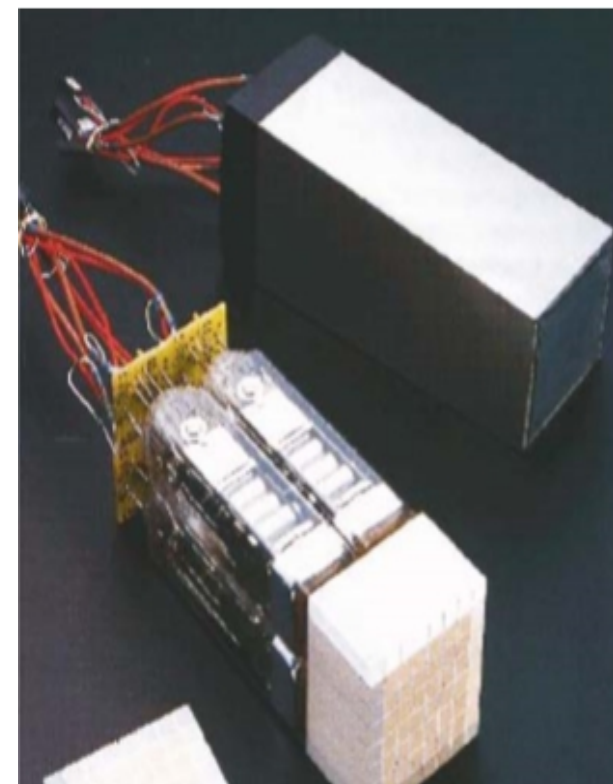
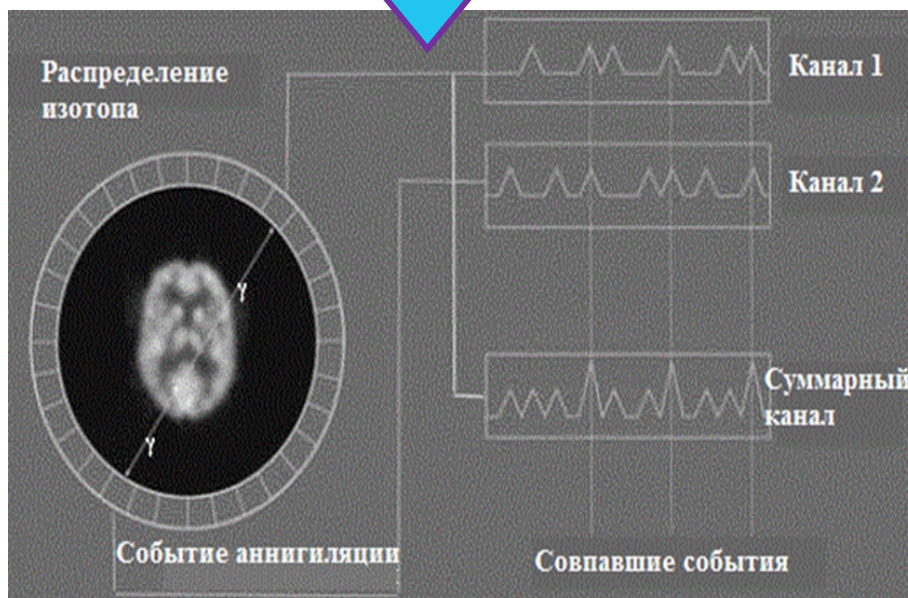
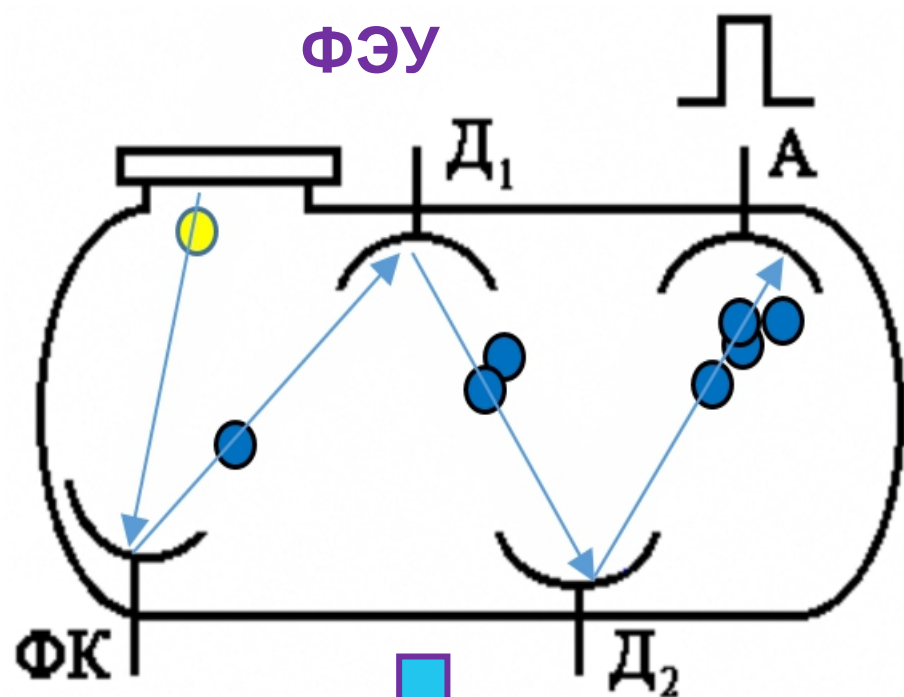


Комптон-эффект



Образование пары





Возможные события

Точность ПЭТ определяется:

- точностью доставки изотопных индикаторов
- пробегом позитрона до аннигиляции
- рассеянием гамма-квантов
- ошибочным детектированием гамма-квантов в результате одновременной аннигиляции нескольких позитронов
- размерами детектора
- движениями обследуемого

| Изотоп | Длина пробега (мм) |
|-----------------|--------------------|
| ^{11}C | 4,1 |
| ^{13}N | 5,4 |
| ^{15}O | 8,2 |
| ^{18}F | 2,4 |

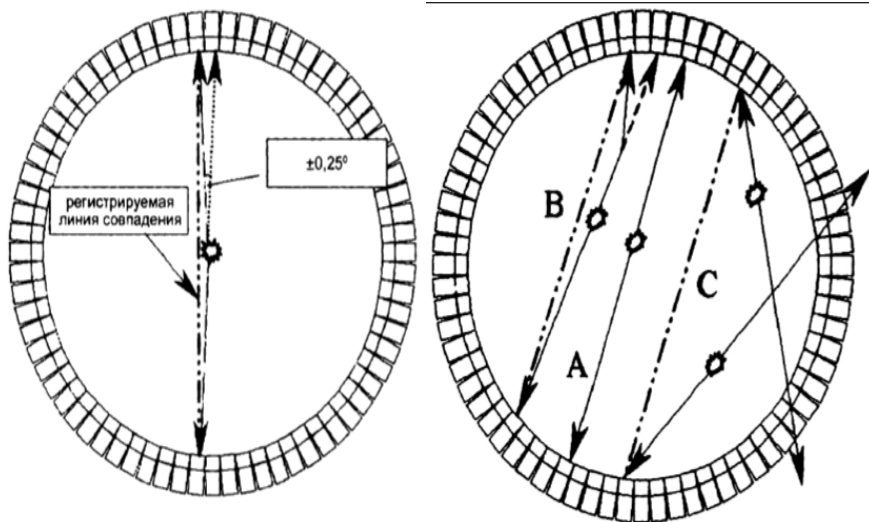


Рис. 5. Эффект неколлинеарности разлета фотонов, приводящий к ошибочной регистрации линии совпадения, без точки аннигиляции

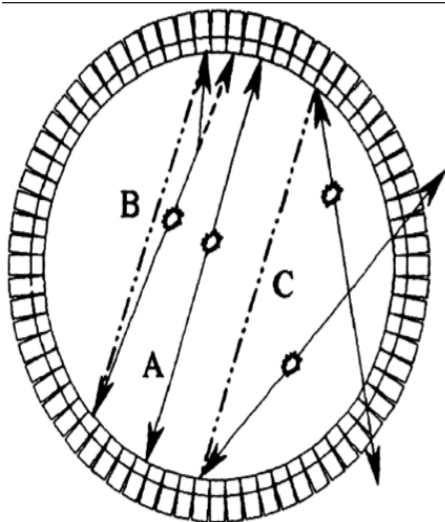
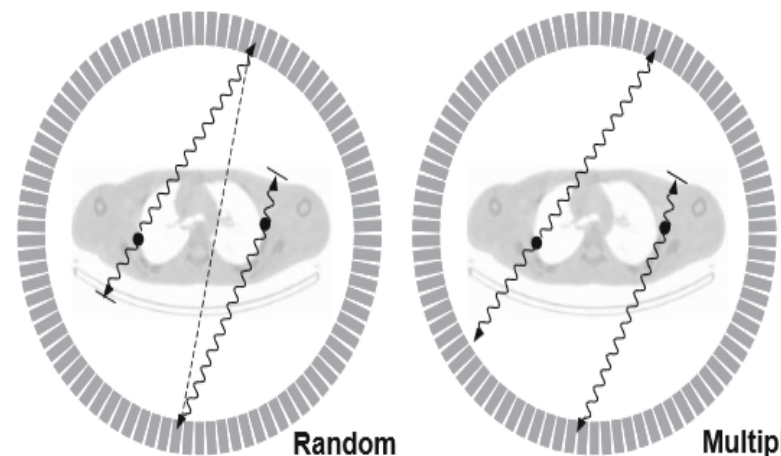
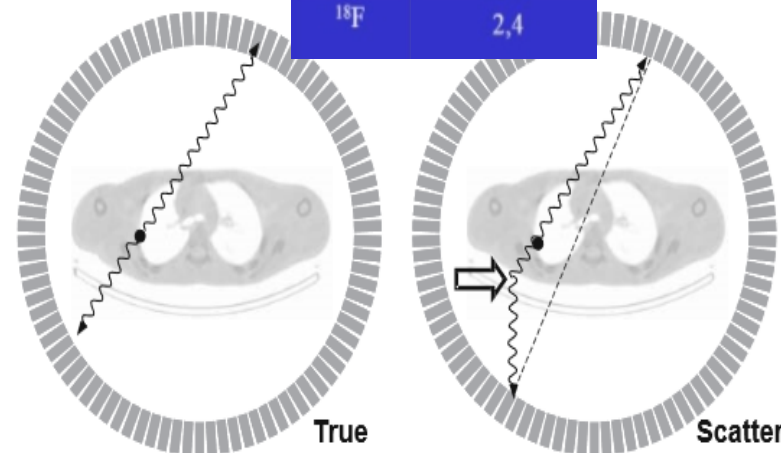
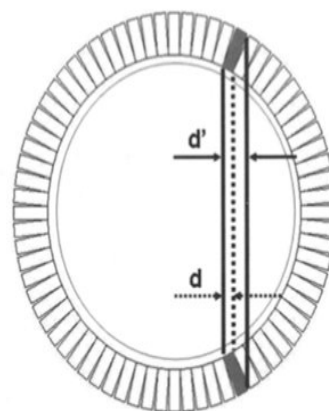




Рис. 3. Графическое представление истинных совпадений (A), рассеянного излучения (B) и случайных совпадений (C)



Random

Multiple

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПЭТ

1.  Системы ПЭТ универсальны, они используют все типы выше перечисленных позитронных излучателей.
2. Вследствие малой вводимой активности, лучевое облучение пациента чрезвычайно мало и не затрагивает нормальные процессы обмена.
3. Изображения, получаемые в ПЭТ, чаще всего представлены в соответствии с цветной шкалой, что делает результаты исследования более наглядными для диагностики.
4. Конструкция современных ПЭТ сканеров позволяет проводить исследования внутренних органов, что важно для раннего обнаружения злокачественных  изменений.
5. В ряде случаев ПЭТ может дать ложные результаты, если химический баланс пациента нарушен.
6. Возможности использования ПЭТ ограничиваются необходимостью размещения их вблизи циклотрона.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЭТ В

МЕДИЦИНЕ
В ряде медицинских областей необходимость наблюдения процессов в динамике побуждает делать выбор основного инструмента в пользу ПЭТ:

Около 80% клинических ПЭТ исследований проводится в области онкологии, они позволяют дифференцировать злокачественные и доброкачественные образования, определять степень распространения опухолей с чувствительностью, близкой к 100%.

Исследования всего тела, занимающие 60-70 минут, позволяют определить метастазы любой локализации. ПЭТ не имеет альтернативы при ранней (через 1-2 недели) оценке результатов химиотерапии.

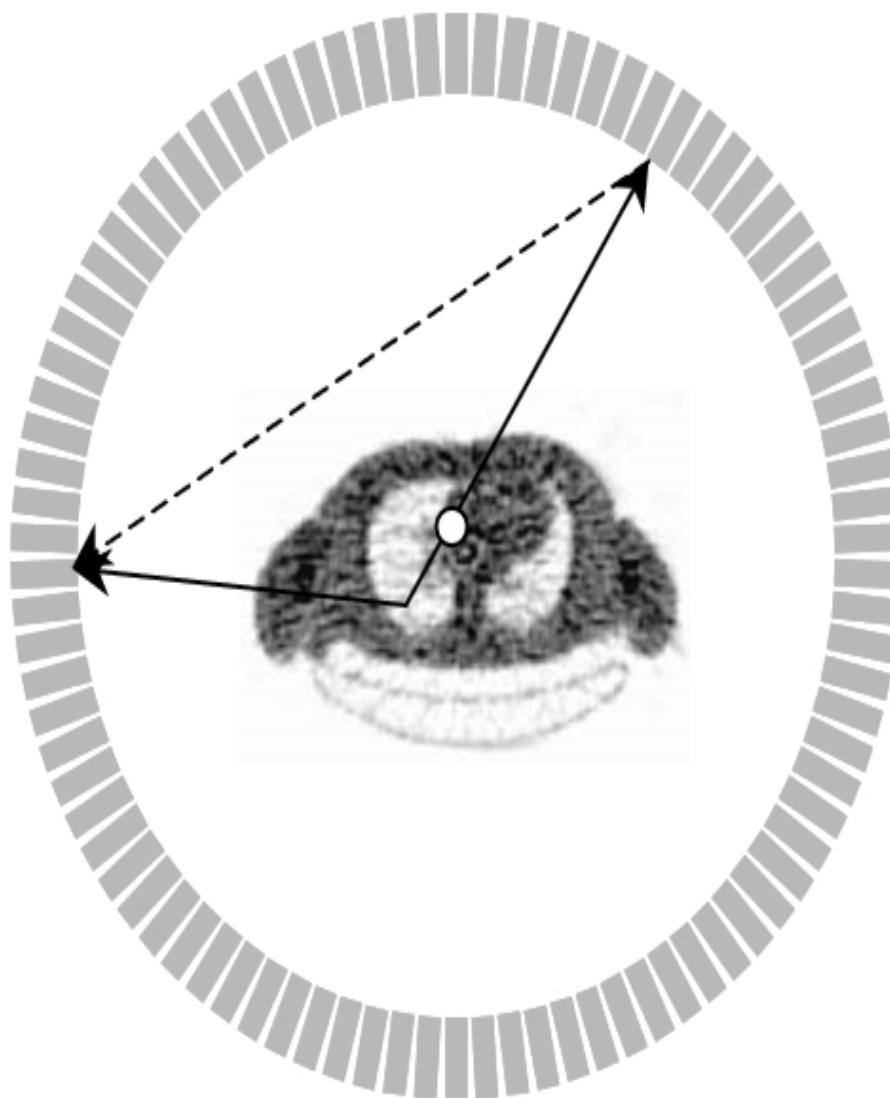
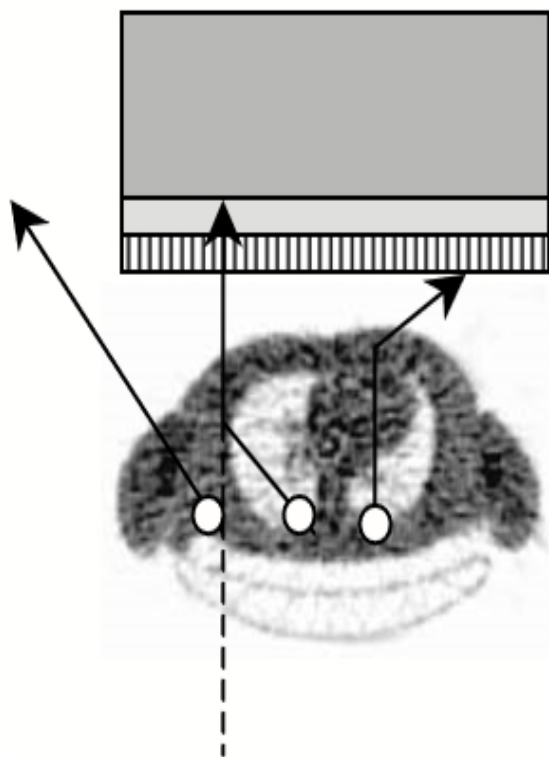
В кардиологии ПЭТ позволяет получать информацию о кровоснабжении миокарда, скорости метаболических процессов, оценить признаки болезни коронарной артерии, контролировать эффективность лечения.

В неврологии ПЭТ используется для обнаружения неврологических болезней, включая эпилепсию, опухоли, дифференциации психических заболеваний.

Также ПЭТ используется при изучение механизмов мозга, лежащих в основе жизнедеятельности человека: для исследования мозговой организации внимания, эмоций, мышления, творчества, общего интеллекта, способности ориентироваться.

В ряде научных центров с помощью ПЭТ проводят исследования лекарств, их распределение и действие на организм.

СРАВНЕНИЕ КТ / ПЭТ



○ Origin of emission

← Photon path

----- Ascribed line of response

Dale L. Bailey, David W. Townsend, Peter E Valk and Michael N. Maisey «Positron emission tomography» 2005г

А.В. Хмелев, С.В. Ширяев, В.А. Костьшев «ПОЗИТРОННАЯ ЭМИССИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ» 2004г

«Современные виды томографии» М.Я. Марусина, А.О. Казначеева. 2006г

«ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ, ОБЛАСТИ СОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ, АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЗИТРОННОЙ ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ» Е. Д. Мокин, А. Н. Волобуев. 2001г

<http://profbeckman.narod.ru/MED5.htm>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm02.htm>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/radioactivity/ract03.htm>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/isotopes/Fluorine.pdf>

<https://medic.studio/patologicheskaya-fiziologiya/metodyi-polucheniya-ftora-69154.html>

http://nuclphys.sinp.msu.ru/p/zad_03.pdf

ЛИТЕРАТУРА

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/006.htm>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/antimatter/ant07.htm>

http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuc_techn/med/tom.htm

<http://neuronovosti.ru/pet/>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e065.htm>

http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiation/rad_5.htm

<http://helpiks.org/3-59113.html>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/a15.htm>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/detectors/gammadet/index.html>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e038.htm>

http://nuclphys.sinp.msu.ru/p/zad_08.pdf

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Positronium>