

Хайруллин Зуфар Хадисович инженер,
сотрудник закрытого госучреждения, РФ, г. Зеленодольск

Ганиева Зульфия Зуфаровна инженер 2
категории, РФ, г. Зеленодольск

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НОВЫХ ЧАСТИЦ. АННИГИЛЯЦИЯ.

Аннотация. В статье представлены соображения о возникновении новых частиц, основанных на концепции изложенных в статье «Энергия». В возникновении новых частиц участвует не только сами частицы, но и их кинетическая энергия.

Annotation. The article presents considerations on the emergence of new particles based on the concepts outlined in the article "Energy". The formation of new particles involves not only the particles themselves, but also their kinetic energy.

Ключевые слова: протон, антипротон, электрон, позитрон, мюон.

Keywords: proton, antiproton, electron, positron, muon.

В электровакуумной лампе, работа которой была рассмотрена в статье «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ» [1], при постепенном увеличении напряжения между катодом и анодом, то есть увеличении кинетической энергии электронов испускаемым катодом, наблюдается постепенное увеличение и энергии испускаемых на аноде квантов электромагнитного излучения. В рентгеновской трубке попадание ускоренных электронов на анод вызывает появление квантов рентгеновского излучения.

В электровакуумной лампе взаимодействие происходит между энергичным электроном и анодом, который состоит из атомов. Атомы состоят из протонов, электронов и нейтронов. В свою очередь, нейтроны состоят из протонов и электронов. Таким образом, при столкновении с анодом ускоренный электрон сталкивается с протоном или электроном различных энергий.

Взаимодействие электрона с анодом следует рассматривать, как если бы одна из частиц атомов анода также двигалась навстречу электрону. По этой причине в дальнейшем рассмотрим процесс столкновения быстрого электрона с анодом как движение частиц навстречу друг другу в ускорителе. Кинетическая энергия, приданная одной частице, при столкновении с другой частицей делится между ними поровну.

Протон и позитрон являются квантами протонной, а электрон и антипротон – квантами электронной энергии. Протон и антипротон имеют массу 938,272 МэВ, а электрон и позитрон – 0,5109989 МэВ. Столкновение в ускорителе электрона с позитроном на встречных пучках равнозначно столкновению электрона с протоном на тех же энергиях.

Рассмотрим столкновение двух частиц. На рисунке 1 показаны позитрон и электрон, движущиеся навстречу друг другу.

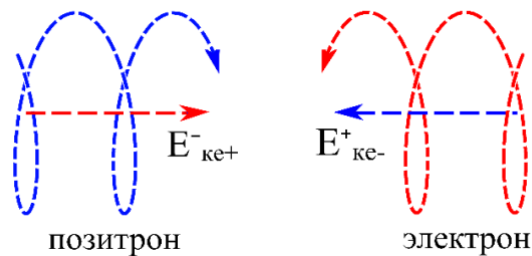


Рисунок 1. Кинетическая энергия позитрона и электрона

Кинетической энергией позитрона является электронная энергия E_{ke+}^- , на рисунке 1 она показана в виде красной стрелки в цвет электрона, а кинетической энергией электрона – протонная энергия E_{ke-}^+ , стрелка в синем цвете, как и позитрон. При движении элементарной частицы её составляющая движется по спирали вокруг предполагаемой траектории частицы. При увеличении кинетической энергии частицы скорость движения её составляющей не изменяется,

при этом увеличивается расстояние между витками траектории составляющей квантового уровня частицы, а частота практически не изменяется.

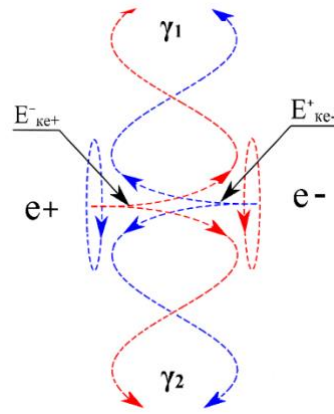


Рисунок 2. Столкновение электрона и позитрона
 $E < 1,022 \text{ МэВ}$.

Если энергия столкновения электрона и позитрона меньше 1,022 МэВ, то образуются кванты электромагнитного излучения, разлетающихся в противоположные стороны (Рис. 2). Этот факт объясняется законом сохранения импульса. Так как каждый квант электромагнитного излучения состоит из равных частей протонной и электронной энергий, то кинетическая энергия сталкивающихся позитрона и электрона делится попарно на количество образующихся квантов электромагнитного излучения.

$$\text{Если } (1,022 \text{ МэВ}) > E_{ке+}^- + E_{ке-}^+,$$

$$\text{то } (e^+ + E_{ке+}^-) + (e^- + E_{ке-}^+) \rightarrow (e^+ + (E_{ке+}^- / 2 + E_{ке-}^+ / 2)_1) + (e^- + (E_{ке+}^- / 2 + E_{ке-}^+ / 2)_2) \rightarrow e^+ + \gamma_1 + e^- + \gamma_2 \quad (1)$$

где: e^+ – позитрон;

$E_{ке+}^-$ – кинетическая энергия позитрона (электронная);

e^- – электрон;

$E_{ке-}^+$ – кинетическая энергия электрона (протонная);

γ_1, γ_2 – кванты электромагнитного излучения.

Потеря скорости электрона и позитрона происходит в следствии взаимодействия их кинетических энергий друг с другом.

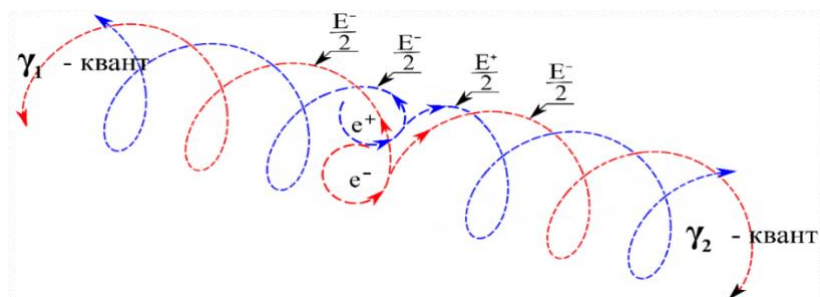


Рисунок 3. Аннигиляция позитрона и электрона.

Остановившиеся электрон и позитрон аннигилируют друг с другом, образуя два или три гамма кванта разлетающиеся в противоположные стороны (Рис. 3). При аннигиляции энергия позитрона и электрона делится на количество образовавшихся гамма квантов.

$$e^- = E^-, \quad e^+ = E^+;$$

$$E^- + E^+ = 2E^-/2 + 2E^+/2 = ((E^-/2)_1 + (E^+/2)_1) + ((E^-/2)_2 + (E^+/2)_2) = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (2)$$

Если продолжать увеличивать кинетическую энергию электронов, то спектр возникающих квантов электромагнитного излучения всё больше будет сдвигаться в коротковолновую область, более высокой частоты ν . Таким образом, рентгеновское излучение постепенно переходит в гамма излучение.

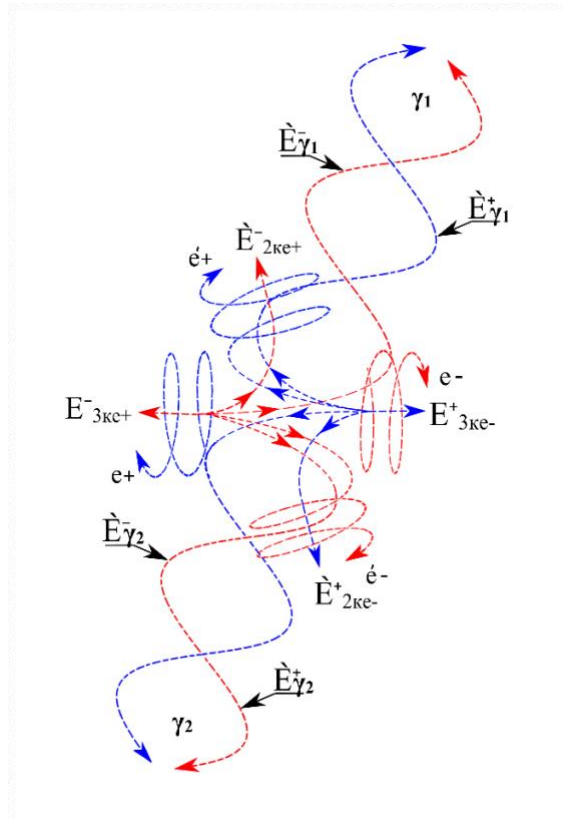


Рисунок 4. Столкновение электрона и позитрона
 $E > (1,022 \text{ МэВ})$

Если энергия бомбардирующих анод электронов более 1МэВ, то в образующемся излучении начнут возникать гамма-кванты с энергией превышающей 1МэВ (Рис. 4).

При таких энергиях возникает явление образования пар, состоящих из электрона и позитрона, разлетающихся в противоположные стороны. Когда

энергия, попадающих на анод электронов, значительно превышает 1МэВ, таких пар электрон – позитрон образуется много (Рис. 4).

Если $(1,022 \text{ МэВ}) < E_{\text{ке}^+}^- + E_{\text{ке}^-}^+$, то кинетическая энергия электрона после столкновения с позитроном распределяется по формуле:

$$E_{\text{ке}^-}^+ = E_{1\text{ке}^-}^+ + E_{2\text{ке}^-}^+ + E_{3\text{ке}^-}^+ + E_{1\gamma}^+ + E_{2\gamma}^+; \quad (3)$$

где: $E_{1\text{ке}^-}^+ = e^+ - 0,5109989 \text{ МэВ}$ – новый образовавшийся позитрон;

$E_{2\text{ке}^-}^+$ – кинетическая энергия нового образовавшегося электрона;

$E_{3\text{ке}^-}^+$ – кинетическая энергия первого электрона после столкновения;

$E_{1\gamma}^+, E_{2\gamma}^+$ – протонная составляющая квантов электромагнитного

излучения.

Кинетическая энергия позитрона после столкновения с электроном распределяется по формуле:

$$E_{\text{ке}^+}^- = E_{1\text{ке}^+}^- + E_{2\text{ке}^+}^- + E_{3\text{ке}^+}^- + E_{1\gamma}^- + E_{2\gamma}^-; \quad (4)$$

где: $E_{1\text{ке}^+}^- = e^- - 0,5109989 \text{ МэВ}$ – новый образовавшийся электрон;

$E_{2\text{ке}^+}^-$ – кинетическая энергия нового образовавшегося позитрона;

$E_{3\text{ке}^+}^-$ – кинетическая энергия первого позитрона после столкновения;

$E_{1\gamma}^-, E_{2\gamma}^-$ – электронная составляющая квантов электромагнитного

излучения.

Исходя из этого, весь процесс возникновения новых частиц выглядит следующим образом:

$$(e^+ + E_{\text{ке}^+}^-) + (e^- + E_{\text{ке}^-}^+) \rightarrow (e^+ + E_{3\text{ке}^+}^-) + (E_{1\text{ке}^-}^+ + E_{2\text{ке}^-}^+) + (e^- + E_{3\text{ке}^-}^+) + (E_{1\text{ке}^+}^- + E_{2\text{ке}^+}^-) + (E_{1\gamma}^- + E_{1\gamma}^+) + (E_{2\gamma}^- + E_{2\gamma}^+) \rightarrow (e^+ + E_{3\text{ке}^+}^-) + (e^+ + E_{2\text{ке}^+}^-) + (e^- + E_{3\text{ке}^-}^+) + (e^- + E_{2\text{ке}^-}^+) + \gamma_1 + \gamma_2. \quad (5)$$

Если кинетическая энергия позитрона и электрона превышает 1,022 МэВ, то из кинетической энергии электрона образуется позитрон e^+ , а из кинетической энергии позитрона – электрон e^- . Остаточная энергия после образования новых частиц распределяется в виде кинетической энергии между первичными e^- , e^+ , вновь возникшими частицами e^- , e^+ и квантами электромагнитного излучения.

Если продолжать увеличивать энергию электронов и позитронов во встречных пучках образуется множество пар элементарных частиц промежуточной массы между электронами и антипротонами, позитронами и протонами. При их кинетической энергии выше 320 МэВ при столкновении обнаруживаются, кроме первичных, новые электроны и позитроны, а также другие, более массивные частицы. То есть кинетическая энергия электронов и позитронов при резкой остановке (столкновении) преобразуется в более массивные элементарные частицы – мюоны μ^- , μ^+ – с массой 105,65 МэВ.

При $(320 \text{ МэВ}) < E_{\text{ке}^+}^- + E_{\text{ке}^-}^+$ кинетическая энергия электрона распределяется так:

$$E_{\text{ке}^-}^+ = E_{4\text{ке}^-}^+ + E_{5\text{ке}^-}^+ + E_{1\text{ке}^-}^+ + E_{2\text{ке}^-}^+ + E_{3\text{ке}^-}^+ + E_{1\gamma}^+ + E_{2\gamma}^+ \quad (6)$$

где: $E_{4\text{ке}^-}^+ = \mu^+ - 105,65 \text{ МэВ}$ – образовавшийся протонный мюон;

$E_{5\text{ке}^-}^+$ – кинетическая энергия образовавшегося электронного мюона.

$$E_{\text{ке}^+}^- = E_{4\text{ке}^+}^- + E_{5\text{ке}^+}^- + E_{1\text{ке}^+}^- + E_{2\text{ке}^+}^- + E_{3\text{ке}^+}^- + E_{1\gamma}^- + E_{2\gamma}^- \quad (7)$$

где: $E_{4\text{ке}^+}^- = \mu^- - 105,65 \text{ МэВ}$ – образовавшийся электронный мюон;

$E_{5\text{ке}^+}^-$ – кинетическая энергия образовавшегося протонного мюона.

Весь процесс описывается по формуле 8:

$$\begin{aligned}
& (e^+ + E_{ke+}^-) + (e^- + E_{ke-}^+) \rightarrow (e^+ + E_{3ke+}^-) + (E_{1ke+}^+ + E_{2ke+}^-) + (e^- + E_{3ke-}^+) + (E_{1ke+}^- + E_{2ke-}^+) \\
& + (E_{4ke-}^+ + E_{5ke+}^-) + (E_{4ke+}^- + E_{5ke-}^+) + (E_{1\gamma}^- + E_{1\gamma}^+) + (E_{2\gamma}^- + E_{2\gamma}^+) \rightarrow (e^+ + E_{3ke+}^-) + (e^+ + E_{2ke+}^-) + (e^- + E_{3ke-}^+) + (e^- + E_{2ke-}^+) + (\mu^+ + E_{5ke+}^-) + (\mu^- + E_{5ke-}^+) + \gamma_1 + \gamma_2.
\end{aligned} \tag{8}$$

При дальнейшем повышении энергии электронов и позитронов во встречных пучках среди продуктов столкновения появляются всё более массивные частицы.

При энергиях встречных пучков электронов и позитронов равных 1000 МэВ, т.е. суммарно 2000 МэВ, появляются протон с антипротоном, имеющими массу по 938,21 МэВ. Процесс появления протона с антипротоном описывается по формуле 8, аналогично возникновению пары электрон – позитрон.

Все нейтральные частицы являются составными и образуются из суммы составляющих их квантов протонной и электронной энергии.

Возникновение антинейтрона при столкновении протона с антипротоном можно объяснить следующим образом: при столкновении часть кинетической энергии антипротона преобразуется в тяжёлый позитрон, а другая часть кинетической энергии переходит к протону, увеличивая его массу, а кинетическая энергия протона преобразуется в тяжёлый электрон, и другая часть переходит к антипротону, увеличивая его массу. Избыток масс протона с электроном, объединённых в нейтрон, и антипротона с позитроном, объединённых в антинейтрон, являются их энергией связи. Остаток кинетической энергии первичных протона и антипротона становятся кинетической энергией образовавшихся нейтрона и антинейтрона. При этом кинетическая энергия нейтрона и антинейтрона состоит из кинетических энергий составляющих их протона, антипротона, электрона, и позитрона. Выглядит это так:

$$\begin{aligned}
 & (E_p^+ + E_{kp}^-) + (E_p^- + E_{kp}^+) \rightarrow (E_{1p}^+ + E_{k1p}^- + E_{e^-}^- + E_{ke^-}^+) + (E_{\bar{1}p}^- + E_{k\bar{1}p}^+ + E_{e^+}^+ + E_{ke^+}^-) \\
 & \rightarrow (n + E_{k1p}^- + E_{ke^-}^+) + (\bar{n} + E_{k\bar{1}p}^+ + E_{ke^+}^-) \quad (9)
 \end{aligned}$$

где: $E_p^+ = p$ – протон;

$E_p^- = \bar{p}$ – антипротон;

$E_{e^+}^+ = e^+$ – позитрон в составе образовавшегося антинейтрона;

$E_{e^-}^- = e^-$ – электрон в составе образовавшегося нейтрона;

$E_{1p}^+ = p$ – протон в составе образовавшегося нейтрона;

$E_{\bar{1}p}^- = \bar{p}$ – антипротон в составе образовавшегося антинейтрона;

E_{kp}^- – кинетическая энергия протона;

$E_{k\bar{p}}^+$ – кинетическая энергия антипротона;

E_{k1p}^- – кинетическая энергия протона в составе образовавшегося нейтрона;

$E_{k\bar{1}p}^+$ – кинетическая энергия антипротона в составе антинейтрона;

$E_{ke^+}^-$ – кинетическая энергия позитрона в составе антинейтрона;

$E_{ke^-}^+$ – кинетическая энергия электрона в составе нейтрона.

Существует и другой процесс образования частиц. Превращение гамма-фотона в электрон и позитрон всегда происходит при участии других частиц. Самостоятельно гамма-фотон в вакууме никогда не распадается на электрон и позитрон.

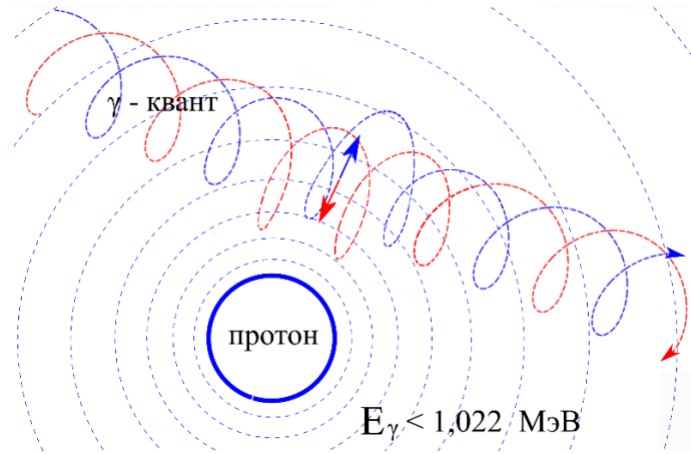


Рисунок 5. Движение кванта электромагнитного излучения с энергией $E_\gamma < 1,022 \text{ МэВ}$ мимо протона.

Минимальными известными стабильными элементарными частицами – являются электрон и позитрон, имеющие массу $0,5109989 \text{ МэВ}$.

Квант электромагнитного излучения состоит из электронной и протонной составляющих энергии. При прохождении кванта электромагнитного излучения мимо протона электронная составляющая притягивается к нему, а протонная составляющая отталкивается (Рис.5). Если энергия меньше $1,022 \text{ МэВ}$, распад квантов электромагнитного излучения невозможен, поскольку не существуют стабильные частицы с меньшей энергией.

Если энергия кванта электромагнитного излучения равна $1,022 \text{ МэВ}$, то

$$E_\gamma = (1,022 \text{ МэВ}) \rightarrow e^+ + e^-.$$

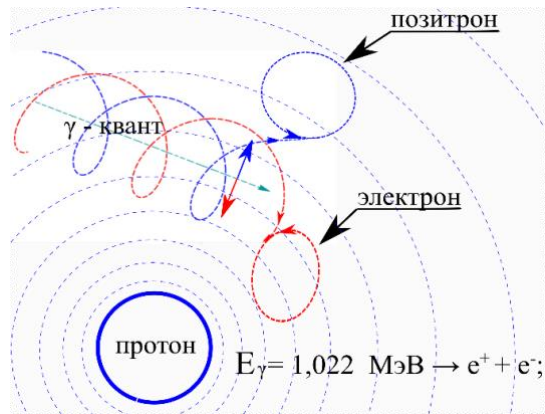


Рисунок 7. Движение кванта электромагнитного излучения с энергией $\gamma > 1,022$ МэВ мимо протона.

При прохождении кванта электромагнитного излучения равным 1,022 МэВ мимо частицы электронная составляющая притягивается к протону, а протонная составляющая отталкивается (Рис.6). При этом происходит разрыв гамма кванта на две части. Электронная составляющая с энергией 0,5109989 МэВ превращается в электрон, а протонная составляющая с такой же энергией превращается в позитрон.

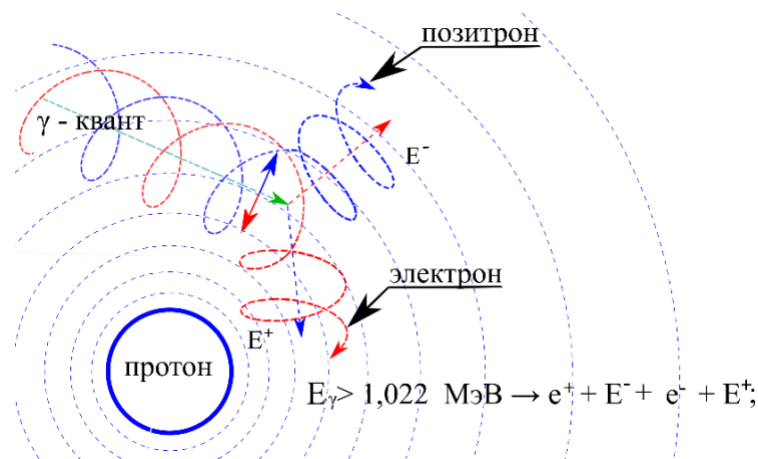


Рисунок 6. Движение кванта электромагнитного излучения с энергией $\gamma > 1,022$ МэВ мимо протона.

Образовавшиеся позитрон и электрон при отсутствии у них кинетической энергии не могут удалиться друг от друга и тут же аннигилируют с образованием двух или трёх квантов электромагнитного излучения, как показано на рисунке 3.

Если энергия кванта электромагнитного излучения больше 1,022 МэВ (Рис. 7), то при прохождении мимо частицы электронная составляющая притягивается к протону, а протонная составляющая отталкивается. При этом происходит разрыв гамма кванта на две части. Электронная составляющая с энергией 0,5109989 МэВ превращается в электрон, а протонная составляющая с такой же энергией превращается в позитрон. Оставшийся остаток энергии гамма-фотона становится кинетической энергией: протонная – электрона, а электронная – протона. Это можно представить формулой 10:

$$\gamma > (1,022 \text{ МэВ}) \rightarrow e^+ + E_{ке-} + e^- + E_{ке+}. \quad (10)$$

Список литературы:

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ / З.Х. Хайруллин, З.З. Ганиева // Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования: сб. ст. по материалам ХСVIII Международной научно-практической конференции «Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования». – № 7(74). – М., Изд. «Интернаука», 2025.
2. Крейчи В. Мир глазами современной физики: Перевод с чешского. Под редакцией и с предисловием Ю.Г. Рудого, - М.: Мир. 1984. – 311 с., ил.
3. Хайруллин З.Х. Энергия / З.Х. Хайруллин // Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования: сб. ст. по материалам ХХIX Международной научно-практической конференции

«Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования». – № 11(20). – М., Изд. «Интернаука», 2019.