

КОРПУСКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

А.П. Саврухин E-mail: savrukhin@ya.ru

Московский государственный университет леса
141005, Мытищи-5, Московская обл., Россия

Представлена модель электрона, предполагающая сосуществование в нем полей, свойственных электромагнитному и сильному взаимодействию. Суммарная энергия этих полей равна энергии электрона, соответственно обладающего комплексным зарядом и векторной энергией. Устойчивость атома также обеспечивается уравновешенностью указанных взаимодействий, в различных степенях зависящих от размера атома. Поток фотонов может быть выделен из потока излучения атома, и, наряду с электромагнитным, существуют другие виды излучения.

Предложена формула квантования: отношения кубов масс протона и легких нейтральных мезонов образуют целочисленный ряд. Таким образом, понятие спектроскопии равно относится к атомной, ядерной и корпускулярной физике.

1. Вступление: уравниваются лишь разнородные силы

Согласно концепции Лармора–Лоренца–Пуанкаре, нужно допустить существование иных сил, помимо электромагнитных, чтобы уравновесить максвелловское напряжение между составляющими электрон субчастицами [1]. Ускоряемый деформируемый электрон подвержен постоянному отрицательному внешнему давлению, работа которого пропорциональна изменению его объема. Электромагнитная масса электрона увеличивается со скоростью, а, значит, имеет исключительно электродинамическое происхождение. Подобное действие движение оказывает и на все прочие массы электрона, определяемые иными его полями. Так понимаемая инертная масса есть коэффициент зависимости ускорения от силы и сверх этого нет никакой «действительной» или «материальной» массы, которую следует исключить, а гравитационной энергией можно пожертвовать.

Концепция допускает также существование составляющих скорости субчастиц, не обращающихся в нуль при остановке электрона, так что колебательный процесс свойственен и частице, и атому. Незатухающие колебания возможны, например, если электрон уподобить вихревому кольцу в жидкости, лишенной трения.

В дальнейшем рядом авторов конструируются модели частиц с сохранением и перестановкой субчастиц [2]. В качестве уравнивающих предлагаются магнитные [3], ядерные и гравитационные [4] поля и заряды, либо единый заряд с такими компонентами [5]. Некоторые авторы мыслят себе частицу как бегущий по кольцевой орбите комптоновского радиуса фотон, образующий светоподобный круговой ток [6].

Представленная ниже модель электрона [7] предполагает сосуществование в нем полей, свойственных электромагнитному и сильному взаимодействиям. Таким образом, здесь утверждается, что равенство противодействия действию можно распространить за пределы области механики, причем взаимодействующие силы всегда разнородны.

2. Естественный заряд: комплексная величина заряда

Аннигиляция пары электрон–позитрон или протон–анти-протон в пару фотонов обратима, то есть представляет собой не превращение, а преобразование частиц путем перестановки субчастиц. Поэтому волновые свойства частиц, определяемые видом взаимодействия субчастиц, сохраняются. Прежде всего это относится к эквивалентности энергий E_0 и длин волн λ_0 невозбужденного электрона и фотона, равно относимых к безмассовым полевым объектам. Оба они обладают импульсом P поля $P = E/c$, скоростью света c субчастиц (поступательной либо вращательной), и определяющими поля зарядами. Имея природное родство, они способны образовывать промежуточные состояния по типу позитрония или нейтрального мезона π^0 , которые, помимо прочего, могут иметь фазы, состоящие из нейтральных электронов.

Равенство энергий E_0 фотона и электрона имеет вид:

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{4\varepsilon_0 hc}{4\pi\varepsilon_0 \lambda_0 / \pi} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 \lambda_0 / \pi}, \quad (1)$$

где ε_0 , h , c , α - электрическая, планковская, электродинамическая и тонкой структуры постоянные, $q^2 = 4\varepsilon_0 hc$ - квадрат естественного заряда. Здесь $0,5\alpha = e^2 / q^2$, e - заряд электрона, а α считается отношением констант электромагнитного и сильного взаимодействий.

Из условий $q_1 q_2 = q^2$, $q_1 + q_2 = 0$ найдем заряды q_1 и q_2 субчастиц фотона: $q_{1,2} = \pm j q$, $j = \sqrt{-1}$. Из условий $q_3 q_4 = q^2$, $q_3 + q_4 = -e$ найдём заряды q_3 и q_4 субчастиц электрона: $q_{3,4} = -0,5e[1 \pm j(8/\alpha - 1)^{1/2}]$. Заменив в формуле (1) q^2 на $e^2/0,5\alpha$, найдем электрическую компоненту E_{0e} энергии E_0 :

$$E_{0e} = E_0 \alpha / 2. \quad (2)$$

Когда рассматривают электрон как токовый виток длиной λ_0 , образованный вращающимся со скоростью c зарядом e , то его спиновый магнитный момент находят равным боровскому магнетону [8]. Магнитная энергия E_{0m} витка будет равна:

$$E_{0m} = L i^2 / 2 = (\mu_0 \lambda_0 / 2) (e c / \lambda_0)^2 / 2 = E_0 \alpha / 2, \quad (3)$$

где L - индуктивность витка, μ_0 - магнитная постоянная, i - ток. В целом электромагнитная энергия равна $E_{0em} = E_{0e} + E_{0m} = E_0 \alpha$.

3. Компоненты энергии электрона: энергия как вектор

Распространим понятие ортогональности, введенное для компонент заряда q , на соответствующие поля, их импульсы, а также энергии. Тогда получим для абсолютных величин

$$E_0^2 = E_{0em}^2 + E_{0h}^2. \quad (4)$$

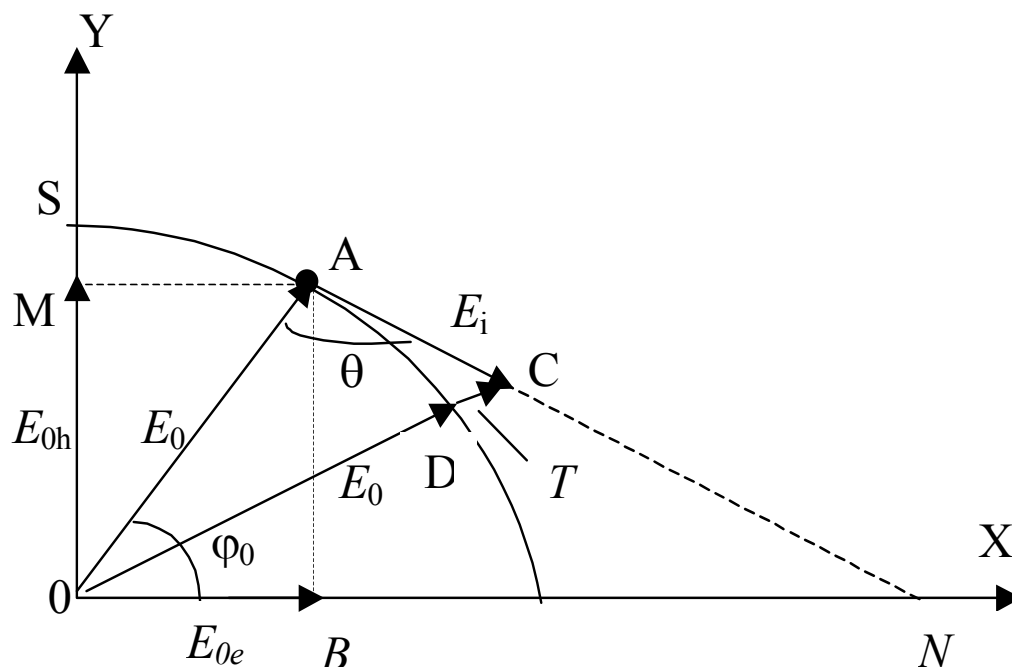
Отсюда модуль E_{0h} энергии сильного поля и аргумент φ_0 электрона будут равны:

$$E_{0h} = E_0 (1 - \alpha^2)^{1/2},$$

$$\varphi_0 = \arctg E_{0h} / E_{0em} = (\alpha^{-2} - 1)^{1/2} \approx \arctg 137. \quad (5)$$

На рис.1 в плоскости XOY энергий вектор E_0 имеет модуль $OA = E_0$, проекции $OB = E_{0em}$ и $OM = E_{0h}$, и аргумент φ_0 . Когда электрон

движется прямолинейно со скоростью v , орбитальная скорость субчастиц будет равна u , тогда как полная скорость их движения (в данном случае по



винтовой линии) всегда равна c , причем проекция траектории на плоскость, перпендикулярную к направлению движения, будет иметь вид окружности [9].

Рис.1 Компоненты энергии электрона

Умножив все члены уравнения $c^2 = u^2 + v^2$ на P^2/c^2 , получим $P^2 = P_u^2 + P_v^2$, где $P_u = P u/c$ и $P_v = P v/c$ – взаимно ортогональные проекции полного импульса $P = E/c$, а E – энергия электрона при скорости v . Из условия сохранения орбитального импульса найдем его величину P_u в случае $v = 0$:

$$u = c, \quad E = E_0, \quad P = E_0/c = P_0, \quad P_{u0} = P_0 \equiv P_u.$$

Следовательно, в общем случае

$$P = (P_0^2 + P^2 v^2 / c^2)^{1/2} = P_0 / \beta, \quad (6)$$

$$E = Pc = E_0 / \beta = [E_0^2 + (Pv)^2]^{1/2} = (E_0^2 + E_i^2)^{1/2}, \quad (7)$$

где $\beta = (1 - v^2 / c^2)^{1/2}$, $Pv = E_i = E_0 v / \beta c$ – импульсная энергия.

Скалярное равенство (7) отвечает векторной сумме $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_i$, причем

$E^2 = E_0^2 + E_i^2 + 2 E_0 E_i \cos \theta$, где θ - угол между векторами. В рассматриваемом случае $\theta = \pi/2$, и $E^2 = E_0^2 + E_i^2$.

На рис.1 $AC = E_i$, $OC = E$, $OD = E_0$, $DC = T$, $E = E_0 + T$, где T – релятивистская кинетическая энергия.

Итак, из условия сохранения орбитального импульса следует, что собственная энергия $E_0 = m_0 c^2$ электрона с массой m_0 , а отсюда и длина волны λ_0 есть инварианты.

Принимая условие сохранения заряда, следует в формуле (1) произвести замену E_0 на $E = E_0 / \beta$, а потому и λ_0 на $\lambda = \lambda_0 \beta$. Следовательно, свойство инертности заключается в том, что увеличение скорости частицы ведет к уменьшению расстояния между субчастицами, сопровождающееся ростом энергии их взаимодействия за счет работы внешних источников, а инертная масса есть коэффициент связи этой энергии частицы с ее скоростью.

4. Длины волн: дебройлевская длина волны как условие резонанса

Произведя в формуле (7) подстановки $E = hc / \lambda$, $E_0 = hc / \lambda_0$, $E_i = hc / \lambda_b$, получим $1/\lambda^2 = 1/\lambda_0^2 + 1/\lambda_b^2$ и

$$\lambda_b = \lambda \lambda_0 (\lambda_0^2 - \lambda^2)^{-1/2} = \lambda_0 \beta c / v = \lambda_r \beta = \lambda c / v, \quad (8)$$

где $\lambda_r = 2\pi\tau$, $\tau = \lambda_0 c / 2\pi v$ - радиус кручения винтовой линии, λ_b - дебройлевская длина волны.

На рис. 2 изображена развертка воображаемого цилиндра. За один период λ_0 / c собственных колебаний частицы заряд проходит путь $OB = \lambda_0$, равный длине витка, а центр электрона переместится по направлению оси OX на один шаг $AB = \lambda_0 v / c$. За $k = c / \pi v$ шагов путь электрона будет равен $CD = \lambda_0 / \pi$, $OC = \lambda k = \lambda_b / \pi$, а путь заряда $OD = k \lambda_0 = \lambda_b / \pi \beta = \lambda_r / \pi$. Величина $OC_1 = \lambda_r / \pi = OD$ есть путь распространения возмущения из точки O до точки C_1 со скоростью c за время перемещения электрона по

пути λ_0/π . Как λ есть проекция λ_0 , так и дебройлевская длина волны λ_b есть проекция длины волны кручения.

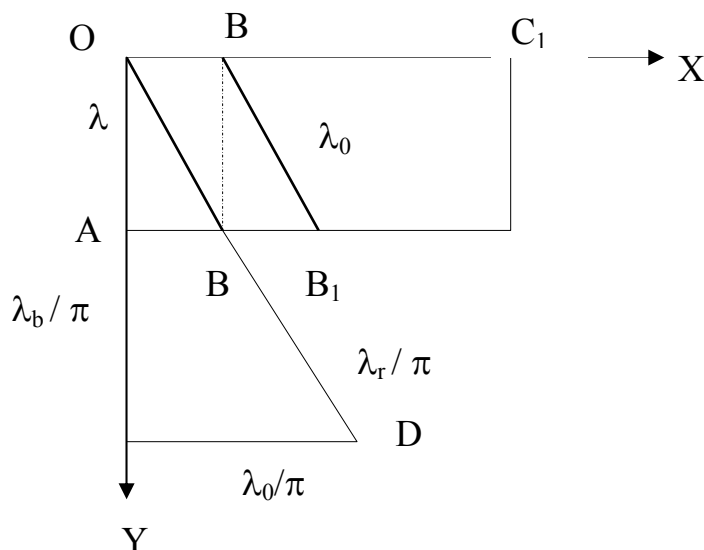


Рис.2. Развертка траектории движения электрона.

Итак, λ есть проекция траектории зарядов q_3 , q_4 , энергетическая длина волны электрона hc/E , тогда как λ_0 есть собственная, комптоновская длина волны, длина орбиты невозбужденного электрона, неизменная длина витка.

При малых энергиях резонансное взаимодействие двух частиц будет иметь место при целых $k = c/v\pi = \lambda_b/\lambda \pi = \lambda_r/\lambda_0 \pi$. У невозбужденного электрона с длиной волны λ_0 путь обмена энергией между субчастицами имеет длину λ_0/π (1). Подобно этому, длина пути обмена энергией между двумя частицами будет равна в случае резонанса величине $\lambda_r/\pi = 2\tau = \lambda_b/\pi\beta = \lambda_0 c/\pi v$. Другими словами, наименьший путь частицы равен λ_0/π , а наименьшая дистанция равна λ_r/π .

5. Атом водорода: уравнивание энергий сильного и электромагнитного взаимодействий

Рассмотрим сближение электрона и протона в замкнутой системе, когда отсутствует излучение и энергия частиц не изменяется. Когда частицы сближаются под действием кулоновского притяжения, сумма энергий их разнополярных полей уменьшается, что сопровождается равным по величине приростом энергии сильного поля. При неизменной длине вектора OA это означает его поворот в положение OS . Уменьшение доли E_{em} при росте E_{oh} ведет к уменьшению величины кулоновского притяжения и росту отталкивающей силы, то есть имеет место столкновение, сопровождающееся тормозным излучением. Энергия излучаемого фотона равна $SM = E_0 \alpha^2 / 2 = 13,6$ эВ. Когда процесс совершается при наличии внешних воздействий (например в плазме), вектор OM может совершать колебания вокруг положения равновесия и тогда возможно формирование цуга электромагнитных волн.

Рассмотрим физическую сторону явления. Расстояние начала резонанса равно $x_1 = \lambda_0 / \pi \alpha$, $\beta \approx 1$, поток индукции поля естественного заряда электрона через его поверхность равен заряду $\Phi_{\text{DQ}} = q$. Поток напряженности поля естественного заряда протона через площадь электрона равен $\Phi_{\text{EQ}} = q \cdot 4\pi (\lambda_0 / 2\pi)^2 / 4\pi \epsilon_0 x^2$.

Тогда

$$0.5 \Phi_{\text{DQ}} \cdot \Phi_{\text{EQ}} = 2 hc (\lambda_0 / 2\pi)^2 / x^2 = W_Q \lambda_0, \quad (9)$$

где $W_Q = 2 E_0 (\lambda_0 / 2\pi)^2 / x^2$ - энергия сильного взаимодействия, которая при $x = x_1$ равна $W_{Q1} = E_0 \alpha^2 / 2$, что совпадает с энергией кулоновского взаимодействия $W_{e1} = e^2 / 4\pi \epsilon_0 x_1 = E_0 \alpha^2 / 2$.

Состояние атома устойчиво, так как $W_e \sim 1/x$, а $W_Q \sim 1/x^2$, при сжатии быстрее растет расталкивание, а при растяжении - взаимное притяжение, причем диапазон устойчивости равен $13,6$ эВ на

ионизацию, и на несколько порядков выше на сжатие в квазистатическом случае.

6. Объемный резонанс: волновой объем резонирующей полости определяет дебройлевская длина волны

Можно провести аналогию со звуковым резонатором Гельмгольца, представляющим собой шар с объемом V , снабженный трубкой длиной l_1 и сечением S_1 . В нем резонансная длина волны равна $(V l_1 / S_1)^{1/2}$.

Если $V \sim (\lambda_0 / \alpha)^3$, $l_1 \sim \lambda_{b1}$,

$S_1 \sim \lambda_0^2 / 4\pi$, то длина волны формирующегося фотона будет равна $\lambda_\gamma = 2 \lambda_0 / \alpha^2$.

Высветив энергию E_γ , система переходит в состояние с $\nu = 0$, $\lambda_b \rightarrow \infty$, поэтому малые внешние возбуждающие импульсы воспринимаются не электроном, а целиком системой с массой, равной сумме масс электрона и протона, и гасятся. Объем резонирующей полости $V \sim \lambda_{bn}^3$, причем набор λ_{bn} определяет расположение станций промежуточных резонансов значениями главного квантового числа n .

7. Пионы и мюоны: связь с энергией электрона

Как видно из рис.1, линия AC, будучи продолженной, пересекает ось OX в точке N, $ON = E_0 / \cos \varphi_0 = 70$ МэВ, что составляет половину энергии пиона. Но при больших энергиях $E_{0m} \ll E_{0e}$, поэтому $E_{0em} \cong E_0 \alpha / 2$, и $ON = 2E_0 / \alpha = 140$ МэВ, что больше массы пиона ровно на величину E_0 . При промежуточном положении величина $ON = 1.5E_0 / \alpha = 105$ МэВ, что меньше массы пиона на величину E_0 .

8. Квантование волновых объемов: целочисленные отношения для энергий элементарных частиц

Излучающий атом выше рассматривался как объемный резонатор с набором частот, существенно меньших собственных частот электрона. Это обусловлено тем, что резонирующая полость заполняется через трубку

последовательно, как следствие действия кольцевой волны, то есть скорость обмена энергией между взаимодействующими частицами ограничена скоростью c , размерами трубки и объемом полости. Раз существуют квантования (целочисленные отношения) энергий и объемов ядер атомов и фотонов, следует ожидать того же и для области промежуточных энергий, а именно масс элементарных частиц и резонансов (третья или корпускулярная спектроскопия, по Вайскопфу). В частности, ряд масс резонансов (траектории Редже) уподобляется энергетическому спектру атома водорода с целым параметром $n = 1, 2, \dots$

Известны также модели взаимодействия барионов $\bar{B}B$ и $\bar{N}N$ с целым спектром связанных и резонансных состояний ядерного типа, причем характерное для $\bar{N}N$ аннигиляции расстояние пропорционально комптоновской длине протона $\lambda_p \sim 10^{-15}$ [10]. Их распад описывается квазиклассически как постепенное расширение от начального малого объема $\sim 1/m_p^3$, то есть $\sim \lambda_p^3$. Если же образуются пионы, то объем взаимодействия $\sim 1/m_{0p}^3$ ($\sim \lambda_{0n}^3$).

Если сталкиваются предварительно ускоренные частицы, то рождаются более тяжелые фотоны (гамма-кванты) или мезоны с массой m_m , распадающиеся, например, на пару фотонов, поскольку малые λ_b позволяют достичь взаимодействия при малых расстояниях и больших энергиях, то есть рождение мезонов происходит при сильных резонансах. Так, при импульсе протона ~ 1 ГэВ/с $\lambda_b \approx \lambda_p$, имеет место сильное взаимодействие, и объем резонирующей полости определяется размером протона, то есть в области значительных энергий обе резонирующие полости сближаются настолько, что каждый нуклон становится сферическим резонатором.

Известно, что радиус R атомного ядра зависит от числа нуклонов A : $R = r A^{1/3}$, где $r = (1,3 \div 1,7) \cdot 10^{-15}$ м. На резонирующей полости радиуса $r \approx \lambda$

p может формироваться мезон с длиной волны $\lambda_\pi = 2\pi r = 2\pi\lambda_p (1 \div 1,31)$ и массой $m_\pi = hc/\lambda_\pi = (114 \div 149)$ МэВ, что соответствует пику в области масс π^0 , π^+ и π^- мезонов (например, в реакции $d + p \rightarrow \text{He}^3 + \pi^0$, $d + p \rightarrow \text{H}^3 + \pi^+$ [11]). Поскольку $r > \lambda_p/2\pi$, нуклон в ядре окружен сильным полем, энергия которого превышает энергию электрического поля протона $m_{0p}\alpha/2 = 3,42$ МэВ на энергию связи, равную по порядку величины ~ 1 МэВ на нуклон. Подобно тому, как объемы ядер $\sim R^3$ содержат целое число объемов $\sim r^3$, кратных комптоновским объемам протона λ_p^3 , дебройлевские объемы возбужденных протонов могут служить сферическими резонаторами для фотонов [7]. Это значит, что длины волн $\lambda_{\gamma\gamma}$ мезонов типа $\pi^0(\eta^0) \rightarrow \gamma\gamma$ будут равны $\lambda_{\gamma\gamma} = \lambda_p n^{1/3}$, а массы таких мезонов будут равны

$$M_{\gamma\gamma} = M_{0p} B^{-1/3}, \quad (10)$$

где $B = 1, 2, 3, \dots$

Ниже дана таблица рассчитанных по формуле (10) значений масс нейтральных мезонов m_m и экспериментальные массы с погрешностью Δm из работы [11].

Таблица 1

Массы легких нейтральных мезонов
с двухфотонным распадом

B	Рассчитанные массы, МэВ	массы, (33)	Экспериментальные массы, МэВ [7]	$\pm\Delta m$, МэВ	Название частицы
1	2		3	4	5
1	938,28		938,28	< 0,01	p
5	548,71		548,8	0,6	η_0
8	469,14		465	20	DEF
9	451,08		450	20	“
10	435,51		440	30	“
17	364,91		365	23	ABC
19	351,63		352	23	“
20	345,66		345	16	“
21	340,09		340	13	“
22	334,86		335	16	“
24	325,28		325	10	“
25	320,89		320	14	“
26	316,72		316	11	“
27	312,76		312	13	“
28	309,0		310	12	“
29	305,4		305	12	“
30	301,97		302	7	“
31	298,68		300	19	“
32	295,54		297	12	“
336	134,96		134,96	< 0,04	π^0

Видно, что разности рассчитанных и экспериментальных масс на порядок меньше ошибок измерения. Частицы с недостающими номерами B хотя и не указываются, но легко опознаются как пички. Например, в работе [12] помимо указанного авторами η^0 -мезона просматриваются частицы с массами 455; 470; 518 и 585 МэВ ($B = 9, 8, 6, 4$). В области малых масс аппаратура не позволяет пока различать отдельные линии, поэтому спектр пар фотонов и, следовательно, мезонов выглядит сплошным [11], особенно если учесть распад мезонов на лету. Поэтому π^0 -мезон может быть центром группы мезонов с выделенной резонансной энергетической характеристикой.

9. Результаты расчетов и интерпретация

1. Известны свыше 200 частиц, для которых выполняется обратное соотношение [7]:

$$M_x = M_{0p} B^{1/3} . \quad (11)$$

2. Положив для частицы аргумент $\varphi_0 = \pi/2$, и обозначив на рис. 1 угол $\text{CON} = \varphi$, получим: $E = E_0 + T = E_0/\beta$, $\beta = \sin\varphi = u/c$, $\cos\varphi = v/c$, $E_i/E_0 = \text{tg}\varphi$, $K = 0.5E_0 \cos^2\varphi$ – кинетическая энергия, $dE/dK = 1/\beta^3 = m_p^3/m_{0p}^3 = \lambda_{0p}^3/\lambda_p^3$ – приведенная поперечная масса.

3. В Табл.2 масс частиц в колонке 1–обозначение частицы, 2–масса в МэВ по справочнику, 3 – числа B , 4 – расчетные значения масс.

Здесь m_ν – максимальная энергия нейтрино из реакции распада нейтрона $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$. Учитывается также реакция перезарядки $p \pi^- \rightarrow n \pi^0$. В строке 5 имеется в виду реакция распада мюона $\mu \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu e^+ e^-$. Величину $m_{op} \cdot 721^{-1/3}$ следует считать массой нейтрального мюона, а величину $m_{op} \cdot 309^{-1/3}$ – нейтрального пиона.

Таблица 2

Обозначение	Известная масса, МэВ	B	Расчетная масса, МэВ
P	938,272	1	938,272
π^0	134,976	336	134,963
η^0	547,45±0,19	5	548,705
π^\pm	139,5699	103·3	$139,5674 = m_{op} \cdot 309^{-1/3} + m_\nu$
μ	105,6584	103·7	$105,6586 = m_{op} \cdot 721^{-1/3} + 2m_e$
K^\pm	493,677		$m_\mu \cdot 102^{-1/3} = 493,671$
ρ	768	2	744,7

10. Заключение.

Резюме:

- Рассмотренная модель признает универсальным сильное взаимодействие; именно оно со своими компонентами определяет процессы, свойственные атомной и молекулярной физике. Можно также заключить, что понятие спектроскопии

равно относится к атомной, ядерной и корпускулярной физике;

- аннигиляция заключается в нейтрализации действительных компонент комплексных зарядов частиц;
- условие стабильности электрона состоит в уравновешенности составляющих его сильного и электромагнитного полей, этот принцип претендует на универсальность;
- это же условие относится и к атому водорода;
- излучение атома может содержать как электромагнитную, так и фотонную компоненты;
- фотоны могут быть переносчиками сильного взаимодействия, и потому управляемы сильными полями;
- подобно тому, как в атомной спектроскопии масштабом служит масса электрона, так в корпускулярной спектроскопии масштабом служит масса протона;
- возможна лазерная стимуляция коллективных атомных и ядерных процессов.

Желательна опытная проверка:

- влияния материала щели, то есть собственных наружных полей, на дифракцию;
- наличия потока фотонов в лазерном излучении и его вклада в фотоэффект;
- существования полос, интервалы между которыми равны длине волны электрона;
- состава излучения, сопровождающего разрывы материалов и фазовые переходы;
- спектра масс предсказываемых резонансов, для чего, в частности, потребуется изменить закладываемую в методику измерений гипотезу;

- аномальных явлений, проявляющихся при энергетически слабых физических воздействиях (торсионные, микролептонные и иные поля) на предмет обнаружения сильной компоненты;
- очевидной возможности преобразования веществ;
- возможности создания атомных машин, обратимо преобразующих рассмотренные здесь поля. Примером могут служить известные холодные источники света.

Литература

- [1] *Принцип относительности*. Сб. работ по специальной теории относительности, Атомиздат, Москва (1973).
- [2]. Bell A.B, Bell D.M., *Found. Phys.* **9**, (1979), p.471.
- [3] Швингер Ю., *УФН.* **103**, (1971), p. 355.
- [4] Motz L., *Nuovo Cim.* **B, 12**, (1972), p. 239.
- [5] Motz L., *Nuovo Cim.* **A, 37**, (1977), p. 13.
- [6] Alfaro J., Saavedra I., *Lett. Nuovo Cim.* **28**, (1980), p.385.
- [7] Саврухин А.П., *Исследование свойств естественного заряда*.
М.: МГУЛ, (1998);
Саврухин А.П., *О нормировании масс элементарных частиц*.
Науч.Труды. Вып.103. М.: МЛТИ, (1978), с.176-179.
- [8] Jackson J.D., *Sci. Rept.CERN*, **17**, 1 (1977).
- [9] Chacko T., *Intern. J., Theor. Phys.* **12**, 95 (1975).
- [10] Хофштадтер Р., *УФН.* **81**,1, (1963), p. 185.
Шапиро И.С., *УФН.* **125**, 4, (1978), p. 577-630.
- [11] Banaigs J. [et al], *Nuclear Physics.* **B67**, 1, (1973), p.1-36;
B105, 1, (1976), p.52; **B28**, 2, (1971), p. 509-527.
- [12] Banaigs J. [et.al], *Physical Review*, **C32**, 4, (1985), p.1448-1449.
- [13] Саврухин А.П. *ФМР.№3* (2001, с.62-67 (первоисточник)
- [14] Саврухин А.П. *Природа элементарных частиц и золотое сечение*. М., МГУЛ, 2004