

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЗАРЯД И ЕГО СВОЙСТВА

А.П. САВРУХИН, к. т. н., доцент кафедры физики МГУЛа

Элементарные частицы как составные системы [1] образуют из дионов, кварков с электрическим и магнитным зарядами [2], либо сочетанием электрического e и гравитационного $(hc/2\pi)^{1/2}$ зарядов [3]. Другие авторы мыслят себе частицу как бегущий по кольцевой орбите фотон, образующий светоподобный круговой ток, или как сингулярное кольцо – тороидальный волновод для электромагнитной волны [4]. Приписав внутреннюю энергию частицы некоторому периодическому движению с частотой $\nu = (1/h)m_0c^2/\beta$ [5], ряд авторов строит модели, в которых составные части частицы движутся со скоростью c по комптоновской круговой орбите [6]. Подробнее обзор таких моделей дан в работе [7].

Введем понятие естественного заряда Q [8] такого, что $Q^2 = 4\epsilon_0 hc$, причем $\alpha/2 = e^2/Q^2$ есть отношение квадратов электрического и естественного зарядов (здесь ϵ_0 – электрическая постоянная, h – постоянная Планка, c – скорость света, α – постоянная тонкой структуры). Применяя соотношение для энергии фотона E_γ , частоты ν , и длины волны λ_γ , то есть $E_\gamma = h\nu = hc/\lambda_\gamma = Q^2/4\pi\epsilon_0(\lambda_\gamma/\pi)$, находим, что фотон состоит из зарядов q_1 и q_2 , где $q_1q_2 = Q^2$, $q_1 + q_2 = 0$ и $q_{1,2} = \pm jQ$.

Примером вращательного движения зарядов вида q_3 и q_4 с орбитальной скоростью c может служить электрон:

$$q_3q_4 = Q^2; q_3 + q_4 = -e \text{ и } q_3q_4 = -0,5[1 \pm j(8/\alpha - 1)^{1/2}].$$

Здесь энергия взаимодействия субчастиц определяет энергию невозбужденного электрона с массой $m_0 = E_0/c^2$:

$$E_0 = hc/\lambda_0 = Q^2/4\pi\epsilon_0(\lambda_0/\pi), \quad (1)$$

где λ_0 – длина орбиты, λ_0/π – расстояние между зарядами q_3 , q_4 .

В представленной модели с круговым током, образованным замкнутой электромагнитной волной, безмассовые заряды служат обозначением места сгущения поля. Магнитный момент такого витка в нулевом приближении равен магнетону Бора

$$\mu_e = is = (ec/\lambda_0)(\pi\lambda_0^2/4\pi^2) = ehc^2/4\pi E_0,$$

где i – ток; s – площадь витка.

Магнитная энергия витка будет равна

$$E_{0B} = Li^2/2 = (\mu_0\lambda_0/2)(ec/\lambda_0)^2/2 = E_0\alpha/2, \quad (2)$$

где L – индуктивность витка; μ_0 – магнитная постоянная.

Энергия электрического поля будет равна

$$E_{0E} = e^2/4\pi\epsilon_0(\lambda_0/\pi) = E_0\alpha/2. \quad (3)$$

В целом электромагнитная энергия равна $E_{0m} = E_{0B} + E_{0E} = E_0\alpha$.

Когда электрон движется равномерно и 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.

Умножив все члены уравнения $c^2 = u^2 + v^2$ на P^2/c^2 , получим

$$P^2 = P^2u^2/c^2 + P^2v^2/c^2,$$

где Pu/c и Pv/c – взаимно ортогональные проекции полного импульса $P = mc$, где m – масса электрона, поэтому $Pu/c = \text{const}$. Когда $v = 0$ и $u = c$, $P = P_0 = m_0c$, $Pu/c = P$, и, следовательно, $Pu/c \equiv P_0$. В общем случае

$$P = (P_0^2 + P^2v^2/c^2)^{1/2} = P_0/\beta; \quad (4)$$

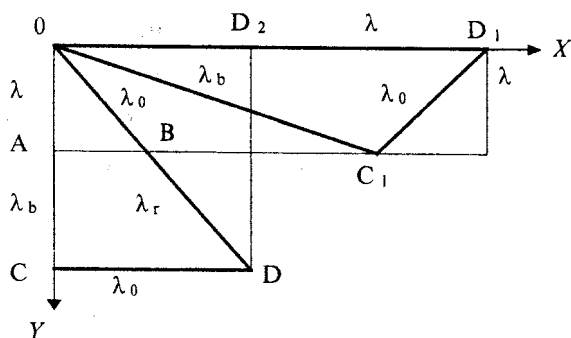


Рис. 2. Развертка траектории движения электрона радиуса $\lambda/2\pi$

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 $n = c/v$ шагов путь электрона будет равен $CD = \lambda_0$, $OC = \lambda n = \lambda_b$, а путь заряда $OD = n\lambda_0 = \lambda_b/\beta = \lambda_r$. Повернув $\triangle OCD$ в положение $\triangle OC_1D_1$ находим, что величина $OD_1 = \lambda_r = OD$ есть путь распространения возмущения из $(\cdot)O$ до $(\cdot)D_1$ со скоростью c за время перемещения электрона по пути $OD_2 = \lambda_0$. Как λ есть проекция λ_0 , так и дебройлевская длина волны λ_b есть проекция длины волны кручения $\lambda_r = 2\pi\tau$.

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 как длина орбиты невозбужденного электрона, неизменная длина витка, длина волны по отношению к орбитальному импульсу.

При малых энергиях резонансное взаимодействие двух частиц будет иметь место при целых $n = c/v = \lambda_b/\lambda = \lambda_r/\lambda_0$. 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 $\lambda_r/\pi = 2\tau = \lambda_b/\pi\beta = \lambda_0 c/\pi v$. Дру-

гими словами, наименьший путь частицы равен λ_0/π , тогда и наименьшая дистанция равна λ_r/π . В статике электрон обладает импульсом, энергией E_{0m} и соответствующей дебройлевской длиной волны, определяющей расстояние резонансного взаимодействия по электромагнитному каналу $\lambda_{0bm} = hc/E_0\alpha = \lambda_0/\alpha$.

В движении, заменив в формуле (2) c^2 на u^2 и λ_0 на λ , получим $E_B = E_0\beta\alpha/2$; а из (3) получим $E_E = E_0\alpha/2\beta$. Тогда полная энергия наружного электромагнитного поля будет равна

$$E_m = E_B + E_E = 0,5E_0\alpha(\beta + 1/\beta), \quad (10)$$

причем ее длина волны составит величину

$$\lambda_{bm} = \lambda_0/0,5\alpha(\beta + 1/\beta). \quad (11)$$

Доля энергии сильного поля в наружном поле будет равна $E_h = OH - E_m$. Из подобия треугольников OAE и AKC следует: $KC = E_i(1 - \alpha^2)^{0,5} = EH$. Тогда получим

$$E_h = OE + EH - E_m = E_{0\alpha} + E_i(1 - \alpha^2)^{0,5} - 0,5E_0\alpha(\beta + 1/\beta). \quad (12)$$

Из изложенного следует вывод: глубокий резонанс имеет место тогда, когда расстояние между частицами $x = \lambda_{bm}/\beta\pi = \lambda_{bh}/\beta\pi$, где $\lambda_{bh} = hc/E_h$, то есть условия резонанса должны одновременно выполняться и по сильному и по электромагнитному взаимодействиям.

Так, при образовании атома водорода требуется, чтобы $\lambda_{bm} = \lambda_{bh}$ и $E_m = E_h$. Тогда из соотношений (10) и (12) следует $E_i = E_0\alpha + E_0\alpha^3/2$, где $E_0\alpha = MA = E_{0m}$, а $E_0\alpha^3/2$ равна проекции вектора LA на ось OX . Здесь E_i есть длина вектора AS . Подобно тому, как элон с вектором MA приобретает дополнительную энергию LA , так и элон с энергией OL и вектором $LS = MA$ приобретает энергию SM . Однако при деионизации до резонанса энергия электрона не изменяется и конец вектора OA только перемещается из $(\cdot)A$ в $(\cdot)S$. Поэтому вектор AS пре-

вращается в дугу AS с проекцией E_{om} на ось OX. При резонансном переходе из ()S в ()M высвобождается энергия $SM = E_0\alpha^2/2$ в виде фотона. 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 $x_1 = \lambda_0/\pi\alpha$ (7), $\beta \approx 1$, энергия магнитного взаимодействия между протоном и электроном мала: $\mu_e B_p = \mu_0 \mu_e \mu_p / 2\pi x_1^3 = 1,6 \times 10^{-7}$ эВ энергия кулоновского взаимодействия равна $W_e = e^2/4\pi\epsilon_0 x_1 = E_0\alpha^2/2$ и выражена в виде кинетической энергии T . Здесь μ_0 – магнитный момент протона; B_p – индукция магнитного поля протона в окрестности электрона. В расталкивающем растущем сильном поле электрон тормозится вплоть до полной остановки. Действительно, поток индукции поля естественного заряда электрона через его поверхность равен заряду $\Phi_{EQ} = Q4\pi(\lambda_0/2\pi)^2/4\pi\epsilon_0 x^2$. Поток напряженности поля естественного заряда протона через площадь электрона равен $\Phi_{EQ} = Q4\pi(\lambda_0/2\pi)^2/4\pi\epsilon_0 x^2$.

Тогда

$$0,5\Phi_{DQ}\Phi_{EQ} = 2hc(\lambda_0/2\pi)^2/x^2 = W_Q\lambda_0, \quad (13)$$

где $W_Q = 2E_0(\lambda_0/2\pi)^2/x^2$ – энергия сильного взаимодействия, которая при $x = x_1$ равна $W_{Q1} = E_0\alpha^2/2$.

Состояние атома устойчиво, так как $W_e = 1/x$, а $W_Q \sim 1/x^2$, при сжатии быстрее растет расталкивание, а при растяжении – взаимное притяжение, причем диапазон устойчивости равен $E_0\alpha^2/2 = 13,6$ эВ на ионизацию, и на несколько порядков выше на сжатие в квазистатическом случае. Из изложенного следует, что атомная физика должна основываться на изучении процессов, свойственных как электромагнитному, так и сильному взаимодействиям. В частности, это

касается проблемы несжимаемости жидкости, «памяти» металлов и воды, лазерного стимулирования реакций превращения элементов.

С учетом конечности массы протона величина энергии излучаемого фотона будет равна [7]:

$$E_\gamma = E_0\alpha^2 K_2 / 2K_1 n^2, \quad (14)$$

где $n = 1, 2, \dots$ – главное квантовое число; $K_1 = (1 + \alpha^2/4)/(K + \alpha^2/4)$; $K = m_{op}/m_{oe}$; m_{op} – масса протона; $K_2 = 1 + \alpha^2/4K_1 + (\alpha^2/4K_1)^2$.

Превращения частиц

На рис. 1 показан случай, когда $E_i = AN$. Из подобия $\triangle OAE$ и $\triangle OAN$ следует $ON = E_0/\alpha$. Но при больших энергиях $OE = E_0\alpha/2$, так как $E_B \ll E_E$, поэтому следует принять:

$$\begin{aligned} ON &= 2E_0/\alpha = 140,05 \text{ МэВ} \approx m_\pi + m_0 = \\ &= 139,57 + 0,511 = 140,08 \text{ МэВ}, \end{aligned}$$

где m_π – масса пиона.

Схема обратного процесса, а именно распада пиона из состояния покоя $\pi \rightarrow \mu\nu_\mu$ дана на рис. 3.

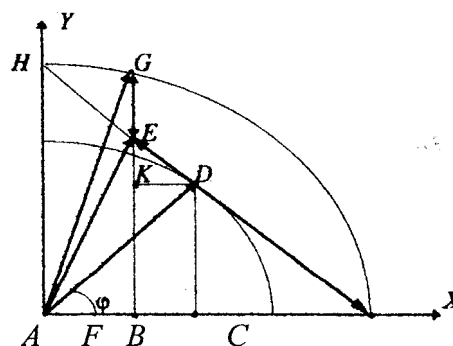


Рис. 3. Схема распада $\pi \rightarrow \mu\nu_\mu$

Здесь окружности имеют радиусы $AG = m_\pi$ и $AD = m_\mu$, где m_μ – масса мюона. При двухчастичном распаде импульсы частиц μ и ν_μ равны P , причем, как известно, $Pc = (m_\pi^2 - m_\mu^2)/2m_\pi$. Нейтрино ν_μ не имеет электрического заряда, поэтому его импульс

$GE = Pc$ направлен вертикально. После отделения нейтрино энергия мюона равна AE , и после потери мюоном импульса ED при торможении в среде, она станет равной AD , причем $EK = GE = Pc$. Из исходной системы уравнений:

$$\begin{aligned} AF^2 &= m_\pi^2 - (BD + 2Pc)^2; \\ AF &= AB - PcBD/AB; \\ AB^2 &= m_\mu^2 - BD^2, \end{aligned} \quad (15)$$

получим

$$BD^3 - 0,75BD^2(m_\pi/3 + m_\mu^2/m_\pi) - BDm_\mu^2 + m_\mu^4/m_\pi = 0, \quad (16)$$

и $BD = 68,937$ МэВ, $AB = 80,07$ МэВ, $EF = 98,929$ МэВ, $AF = 54,42$ МэВ, $AC = 139,42$ МэВ ($\approx m_\pi = 139,57$ МэВ).

Вкратце изложим особенности рассмотренных частиц.

Электрон: 1) энергии наружных и электрического и магнитного полей равны между собой $E_{0E} = E_{0B}$; 2) энергии внутреннего сильного и наружного электрического полей относятся приблизительно как квадраты естественного и электрического зарядов $E_{0h}/E_{0E} \approx 2/\alpha$; 3) элон, прообраз электрона, имеет только внутреннее сильное поле; 4) $E_{0h}/E_{0m} \approx 1/\alpha$.

Протон: 1) $E_{0Ep} \gg E_{0Bp}$; 2) $E_{0hp}/E_{0mp} \approx E_{0hp}/E_{0Ep} \approx 2/\alpha$.

Пион: 1) может иметь состояние с нулевой энергией внутреннего поля; обладая только наружным полем, может служить переносчиком поля; 2) энергия магнитного поля мала, энергия электрического поля равна энергии электрона $E_{m\pi} = E_{E\pi} = E_0$ и относится к энергии сильного наружного поля как $\alpha/2$; 3) может стать прямым преобразованием электрона и, наоборот, иметь нейтринный распад на электрон.

Мюон: 1) Имеет аргумент $\varphi = 0,71 \approx \pi/4$, это означает, что у мюона приблизительно равны энергии внутреннего и наружного сильных полей; 2) допускает прямое преоб-

разование в пион, может быть результатом распада пиона.

Аннигиляция. Реакция превращения пары электрон-позитрон в пару фотонов

$$e(q_{3,4}) + \bar{e}(\bar{q}_{3,4}) \rightarrow \gamma(q_{1,2}) + \bar{\gamma}(\bar{q}_{1,2}) \quad (17)$$

происходит следующим образом. В процессе сближения и образования позитрония внешнее электрическое поле частиц сворачивается (по схеме деионизации атома), векторы поворачиваются против часовой стрелки до вертикального положения, заряды q_3, q_4 теряют действительную часть. Если теперь достигается состояние совпадения импульсов соответствующих зарядов, осуществляется перестройка пар (перекомпоновка зарядов), а затем и разлет новых пар, причем условия резонанса выполняются по всем каналам, включая магнитное взаимодействие. Здесь собственные частоты частиц совпадают, и это есть условие, приводящее к возникновению гигантского резонанса.

Квантование волновых объемов

Образование фотона при деионизации атома водорода подобно процессу в резонаторе Гельмгольца, представляющим собой сферу объемом V , снабженную трубкой длиной l и сечением S . Если $V \sim \lambda_b^3 \sim (\lambda_0/\alpha)^3$; $l \sim \lambda_b$; $S \sim \lambda_0^2/4\pi$, то резонансная длина волны (длина волны фотона) будет равна $\lambda_\gamma = (Vl/S)^{0,5} = 2\lambda_0/\alpha^2 = 1/R_\infty$, где R_∞ – постоянная Ридберга. Этот главный резонанс имеет место при $\lambda_{bm} = \lambda_{bh}$. Если расстояние между частицами содержит целое число n длин $x_1 = \lambda_0/\alpha\pi$, то $E_m > E_h$ и резонанс будет иметь место только по электромагнитному каналу: $\lambda_{\gamma n} = 2\lambda_0 n^2/\alpha^2$.

Так определяются энергии бальмеровских термов. В свою очередь x_1 содержит целое число n_1 диаметров электрона λ_0/π , поэтому следует ожидать частных резонансов ($\lambda_{bh} > \lambda_{bm}$) по сильному каналу с $\lambda_{\gamma n_1} = 2\lambda_0 n_1^2$ (если электрон предварительно ускорился и $n_1 < 1/\alpha$). Но и при $n_1 > 1/\alpha$ мо-

жет наблюдаться явление расщепления вырожденных уровней $2S_{1/2}$ (лэмбовский сдвиг), приводящее к появлению дополнительных линий. Иначе говоря, разность час-

тот соседних линий будет очень малой, так как $\Delta\nu \sim n_1^{-3}$, а не n^{-3} , причем $n_1 \gg n$.

Таблица

Массы легких нейтральных мезонов с двухфотонным распадом

B	Рассчитанные массы, МэВ	Экспериментальные массы, МэВ	$\pm \Delta m$, МэВ	Название частицы
1	2	3	4	5
1	938,28	938,28	< 0,01	p
2	744,71	745	5	ρ^0
3	650,57	650	3	$2\pi, 2\gamma$
4	591,08	591		2γ
5	548,71	548,8	0,6	η_0
6	516,35	510		2π
7	490,49	490	10	2γ
8	469,14	465	20	DEF
		470	17	2γ
9	451,08	450	20	DEF
10	435,51	440	30	»
11	421,89	420	17	2γ
12	409,83	408	53	2γ
13	399,04	398	20	2γ
14	389,30	389	10	2γ
15	380,45	380		μe
16	372,36	372		ABC
17	364,91	365	23	»
18	358,02	356		2π
19	351,63	352	23	ABC
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	»
33	292,52	292		2γ
34	289,63	290	24	ABC
35	286,84	286	12	»
36	284,16	284		»
38	279,09	280	28	»
40	274,35	274		»
43	267,82	268		»
336	134,96	134,96	< 0,04	π^0

Образование фотонов в реакции $pp \rightarrow \gamma\gamma$ при импульсах порядка 1 ГэВ имеет особенностями равенство масс сталкивающихся частиц и равенство энергий фотонов, причем последние могут образовывать состояния типа η^0 , ABC, DEF, π^0 .

Пусть на рис. 1 $OA = E_{0p}$, $AC = P_1c$, $OC = E_p$, $DC = T_1$, $MA = E_{0p} \alpha/2$, $OH = MA + KC = E_{0p} \alpha/2 + P_1c \cos(0,5\pi - \varphi_0)$. Через $(\cdot)D$ проведем вертикаль C_1F_1 и найдем $P_2c = AC_1$. Из того, что $E_p/OH = E_{0p}/OF_1$, получим $OF_1 = OH/(1 + T_1/E_{0p})$. Тогда

$$\begin{aligned} P_2c &= (OF_1 - MA)/\cos(0,5\pi - \varphi_0) = \\ &= OH/\cos(0,5\pi - \varphi_0)(1 + T_1/E_{0p}) - \\ &- E_{0p} \alpha/2 \cos(0,5\pi - \varphi_0) = P_1c/(1 + T_1/E_{0p}) - \\ &- \alpha T_1/2(1 + T_1/E_{0p})\cos(0,5\pi - \varphi_0). \end{aligned}$$

Отсюда $(P_2c)^{-2} = (P_1c)^{-2} + E_{0p}^{-2}$, $\lambda_{b2}^2 = \lambda_{b1}^2 + \lambda_0^2$, и начиная отсчет с $P_1c \gg E_{0p}$ и $\lambda_{b1} \ll \lambda_0$, получим $\lambda_{bn}^2 = n_2 \lambda_0^2$, и $\lambda_\gamma = n_2 \lambda_0$. Это означает, что кроме квантований по диаметру электрона, должно наблюдаться квантование по шагу h : $\lambda_b \sim n^{0,5} \lambda_0$. Но опытный спектр энергий пар фотонов еще более плотный. Поэтому было сделано предположение [8] о том, что 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 : $R = rA^{1/3}$, где $r = 1,3 - 1,7 \times 10^{-15}$ м. На резонирующей полости радиуса $r \approx \lambda_{0p}$ может формироваться мезон с длиной волны $\lambda_\pi = 2\pi r = 2\pi \lambda_{0p}$ (1-1,31) и массой $m_\pi = \hbar c/\lambda_\pi = (114-149)$ МэВ, что соответствует пику в области масс π^0 , π^+ и π^- мезонов (например, в реакции

$d + p \rightarrow \text{He}^3 + \pi^0$, $d + p \rightarrow \text{He}^3 + \pi^+$ [9]). Поскольку $r > \lambda_{0p}/2\pi$, 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_{0p}^3 , дебройлевские объемы возбужденных протонов могут служить сферическими резонаторами для фотонов. Это значит, что длины волн λ_γ мезонов типа $\pi^0(\eta^0) \rightarrow \gamma\gamma$ будут равны $\lambda_\gamma = \lambda_{0p} B^{1/3}$, а массы таких мезонов будут равны

$$m_\gamma = m_{0p} B^{-1/3}, \quad (18)$$

где $B = 1, 2, 3, \dots$

Литература

1. Heisenberg W. // Phys. Today. – 1976. – V. 29. – № 3. – p. 32.
2. Гейзенберг В. УФН. – 1977. – Т. 121. – № 4. – С. 658–668.
3. Schwinger J. // Science. – 1969. – V. 165. – № 3895. – P. 757–761.
4. Швингер Ю. УФН. – 1971. – Т. 103. – № 2. – С. 355.
5. Motz L. // Nuovo Cim. – 1977. – V. A37. – № 1. – P. 13–20.
6. Иваненко Д.Д., Буринский А.Я. Известия вузов. Физика. – 1978. – № 7. – С. 113–119.
7. Бройль де Л. УФН. – 1977. – Т. 122. – № 4. – С. 562–570.
8. Broglie de Louis // Phil. Mag. and J. Sci. – 1924. – V. 47 (278). – P. 446–458.
9. Chacko T. // Intern. J. Theor. Phys. – 1974. – V. 11. – № 1. – P. 1–4; 1975. – V. 12. – № 2. – P. 95–102.
10. Саврухин А.П. Исследование свойств естественного заряда // Монография. – М.: МГУЛ, 1998. – 51 с.
11. Саврухин А.П. О нормировании масс элементарных частиц // Научн. тр. / МЛТИ. – 1978. – Вып. 103. – С. 176–179.
12. Banaigs J. [et. al.] // Nuclear Phys. Rev. Lett. – 1977. – V. 355A. – P. 481–492.