

# THE EFFECT OF BIG AND SUPER-BIG WATER DROPS ON THE ATTENUATION OF MILLIMETER AND SUBMILLIMETER WAVES IN CLOUDS

H. M. AJVAZYAN

Using the exact Me expressions, the effect of big and super-big water drops on the propagation of millimeter and submillimeter waves in clouds of various type has been considered taking into account the single scattering events.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 22, вып. 5, 284—286 (1987)

УДК 539.186

## ПОЛУЧЕНИЕ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ $\gamma$ -КВАНТОВ К-ИОНИЗАЦИЕЙ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ИОНОВ

К. А. ИСПИРЯН, М. К. ИСПИРЯН

Ереванский физический институт

(Поступила в редакцию 25 апреля 1986 г.)

Показано, что К-ионизацией релятивистских ионов, вызванной их столкновением с навстречу летящими лазерными фотонами или их прохождением через тонкие мишени, можно получить квазимонохроматические пучки  $\gamma$ -квантов. Вычислены угловое и спектральное распределения и произведены оценки интенсивности таких  $\gamma$ -пучков.

В настоящее время квазимонохроматические пучки рентгеновских и  $\gamma$ -квантов, получаемые с помощью электронов высоких энергий, широко применяются в различных областях науки и техники. Еще в 1973 г. в работе [1] был предложен метод получения таких пучков с помощью столкновения пучков релятивистских ионов с  $\gamma = E/M = (1-\beta^2)^{-1/2} \gg 1$  с лазерными фотонами с энергией  $\omega_1$ , где  $\hbar = c = 1$ ,  $E$ ,  $M$  и  $\beta$  — энергия, масса и скорость ионов. Суть метода [1] заключается в следующем. При лобовом столкновении в результате эффекта Доплера в системе покоя (СП) иона энергия фотона увеличивается до  $\omega_1' \approx 2\gamma\omega_1$ , и если  $\omega_1' = \omega_{ij}$ , где  $\omega_{ij}$  — энергия разрешенного перехода между двумя атомными или ядерными уровнями иона, то происходит резонансное рассеяние фотона. Из-за лоренц-преобразований из СП в лабораторную систему (ЛС) рассеянные фотоны, имеющие почти изотропное угловое распределение в СП, испускаются под малыми углами  $\theta \sim 1/\gamma$  относительно импульса ионов и их энергия  $\omega_2$  в ЛС может достигать до  $\omega_{2\max} \approx 4\gamma^2\omega_1$ . Полное сечение такого превращения пучка мягких фотонов в пучок жестких  $\gamma$ -квантов равно  $\sigma \approx (10^{-15} - 10^{-17}) \text{ см}^2$  и  $(10^{-25} - 10^{-27}) \text{ см}^2$  для  $\omega_{ij}$ , лежащих соответственно в оптической (включая ВУФ) и рентгеновской областях.

В связи с тем, что в ближайшее время будут подходящие пучки ионов [2], интерес к методу [1] растет. Так, в 1981 г. появилась работа [3], в которой рассматривалось возбуждение ядерных уровней проходящих через вещество ионов псевдофотонами ядер мишени, а в 1985 г. [4], в которой, как в [1], рассматривалось возбуждение атомных уровней ионов лазерными фотонами. Недавно [5] были вычислены поляризация, угловое и спектральное распределения рассеянных фотонов.

Настоящая работа посвящена исследованию возможностей получения  $\gamma$ -пучков  $K$ -ионизацией релятивистских ионов, вызванной или фотоэффектом летящими навстречу лазерными фотонами, или же столкновением с атомами мишени, через которую проходят ионы. В рассматриваемом случае по сравнению с резонансным рассеянием на атомных уровнях [1, 4] нет необходимости точной «настройки»  $2\gamma\omega_1 = \omega_{ij}$  и жестких требований к монохроматичности сталкивающихся пучков, а по сравнению с возбуждением ядерных уровней [1, 3] сечения больше.

Рассмотрим сначала  $K$ -ионизацию ионов при их лобовом столкновении с лазерными фотонами. В области энергий, где сечение  $K$ -ионизации велико, т. е. когда  $\omega'_1 = 2\gamma\omega_1 \geq I$  ( $I = me^4 Z^2/2$  — энергия ионизации основного уровня, равная приблизительно  $K$ -краю,  $Z$  — порядковый номер ядра иона), полное сечение фотоэффекта на  $K$ -оболочке выражается формулой Штоббе [6], которая в пределе  $\omega'_1 \rightarrow I$  дает

$$\sigma_K \approx 9,67 \cdot 10^6 \cdot \sigma_T / Z^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_T = 6,65 \cdot 10^{-25} \text{ см}^2$  — томсоновское сечение.

Теперь методом [7] оценим сечение  $K$ -ионизации релятивистских ионов при их прохождении через тонкую мишень из атомов с порядковым номером  $Z_M$ . В СП на покоящийся ион, следовательно и на его  $K$ -электроны, падают потоки электронов и ядер атомов мишени. При значениях прицельного параметра  $b \geq R$ , где  $R$  — сумма радиусов  $K$ -оболочек иона и атома мишени, поля электронов и ядер атомов мишени частично или полностью экранируют друг друга, так что вклад области  $b \geq R$  в  $K$ -ионизацию мал. При  $b \leq R$  [8] с точностью до членов порядка  $1/\gamma m_e$ , независимо от массы и спина, сечение  $K$ -ионизации частицей с единичным зарядом равно  $\sigma \approx 1,5 \sigma_T m_e / I$ . Предполагая, как во многих моделях, что каждый электрон и ядро атомов мишени вызывают  $K$ -ионизацию иона независимо, получим

$$\sigma_K \approx 1,5 Z_M (Z_M + 1) \sigma_T m_e / I. \quad (2)$$

После  $K$ -ионизации с сечением (1) или (2) через время  $\sim \gamma\tau_0$ , где  $\tau_0 \sim 10^{-14} \text{ с}$  — время жизни, другой электрон иона заполнит вакантную  $K$ -оболочку, и ион с полным сечением  $\sigma^{\text{полн}} = C_K \sigma_K$  ( $C_K$  — выход флуоресценции) излучит характеристический квант  $K_\alpha, K_\beta, \dots$ -линий. Принимая, что в СП энергии всех линий одинаковы и равны  $\omega_2 \approx E_{K_\alpha}$ , и используя соотношение

$$\omega_2 = E_{K_\alpha} / [\gamma (1 - \beta \cos \theta)]; \quad \omega_{2\text{max}} = (1 + \beta) \gamma E_{K_\alpha}, \quad (3)$$

можно записать следующие угловое и, с учетом (3), спектральное распределения для полученных в ЛС  $\gamma$ -квантов:

$$d\sigma(\theta) = \frac{C_K \sigma_K}{2\gamma^2} \frac{\sin \theta d\theta}{(1 - \beta \cos \theta)^2}, \quad d\sigma(\omega_2) = \frac{C_K \sigma_K}{2\beta\gamma} \frac{d\omega_2}{E_{Kx}}. \quad (4)$$

При  $\theta \ll 1$  ( $\gamma \gg 1$ ) имеем

$$d\sigma(u) = C_K \sigma_K (1 + u^2)^{-2} du^2, \quad d\sigma(x) = C_K \sigma_K dx, \quad (5)$$

где  $u = \gamma\theta$ ,  $x = \omega_2/\omega_{2\max} = (1 + u^2)^{-1}$ .

При одном столкновении двух импульсов, содержащих  $\sim 10^{10}$  ионов кислорода с  $\gamma \approx 182$  и  $\sim 10^{20}$  фотонов от аргонового лазера с  $\omega_1 = 2,4$  эВ (длительность и сечения обоих импульсов —  $\sim 10^{-6}$  с и  $\sim 1$  см<sup>2</sup>, а длина объема их взаимодействия —  $\sim 10^2$  см), или же при прохождении того же импульса ионов через алюминиевую мишень толщиной  $\sim 10^{-4}$  см получается  $\sim 10^7$   $\gamma$ -квантов с  $\omega_{2\max} \approx 315$  кэВ. Как и в случаях [1, 3—5], коллиматоры с углом раствора  $\sim 1/\gamma$  обеспечат необходимую монохроматичность  $\Delta\omega_2/\omega_2 \approx (2 \div 20)\%$  пучков таких  $\gamma$ -квантов без больших потерь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ispirian K. A., Margarian A. T. Phys. Lett., 44A, 377 (1973).
2. CERN Courier, 25, 427 (1985).
3. Горячев Б. И. ЯФ, 34, 1288 (1981).
4. Басов Н. Г., Ораевский А. Н., Чичков Б. Н. ЖЭТФ, 89, 66 (1985).
5. Дарбинян С. М., Испирян К. А., Саакян Д. Б. Письма в ЖЭТФ, 44, 7 (1986).
6. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. М. Квантовая электродинамика, Изд. Наука, М., 1980.
7. Kolbenstvedt H. J. Appl. Phys., 38, 4785 (1967).
8. Дарбинян С. М., Испирян К. А. Препринт ЕрФИ-461(3)-81, Ереван, 1981; Rad. Effects, 62, 207 (1982).

#### ԳԱՄՄԱ-ՔՎԱՆՏՆԵՐԻ ՔՎԱԶԻՄՈՆՈՔՐՈՄՄԱՍԻԿ ՓՆՋԵՐԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ ԻՆՆԱՍԻՎԻՍԻԿ ԻՈՆՆԵՐԻ Կ-ԻՈՆԱՑՈՒՄՈՎ

Կ. Ա. ԻՍՊԻՐՅԱՆ, Մ. Կ. ԻՍՊԻՐՅԱՆ

Ցույց է տրված, որ ուղիղաձիգի հոսանքի Կ-իոնացումով, որն առաջանում է կամ նրանց և լազերային ֆոտոնների ճակատային ընդհարման և կամ էլ նրանց բարակ թիրախների միջով անցնելու հետևանքով, կարելի է ստանալ  $\gamma$ -քվանտների քվազիմոնոքրոմատիկ փնջեր: Հաշվված են այդպիսի  $\gamma$ -փնջերի անկյունային և սպեկտրալ բաշխումները, ինչպես նաև զնա-հատված է նրանց ինտենսիվությունը:

#### PRODUCTION OF QUASI-MONOCROMATIC BEAMS OF $\gamma$ -QUANTA BY MEANS OF K-IONIZATION OF RELATIVISTIC IONS

K. A. ISPIRYAN, M. K. ISPIRYAN

It is shown that quasi-monochromatic beams of  $\gamma$  quanta could be produced by means of K-ionization of relativistic ions at their head-on collisions with laser photons or at their passage through thin targets. Angular and spectral distributions of such  $\gamma$ -beams are calculated and some estimates of their intensity are made.