

ИЗЛУЧЕНИЕ УНРУ НА ЛИНЕЙНЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ И ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ТЭВ-НЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ИНТЕНСИВНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ПУЧКАМИ

С.М.Дарбинян, К.А.Испирян, М.К.Испирян,
А.Т.Маргарян

Вычислена интенсивность излучения Унру и обсуждена возможность его наблюдения при прохождении электронов через сильные постоянные магнитные поля и в поле плоской волны циркулярной поляризации.

1. Почти одновременно с работами Хоукинга¹ в работах²⁻⁴ было показано, что тело, движущееся с ускорением a' в своей системе мгновенного покоя (СМП), находится в бане теплового излучения с температурой $T = a'/2\pi k$ (эффект Унру), где k – постоянная Больцмана ($\hbar = c = 1$). Важность явления привела в последние годы к появлению множества работ, посвященных пониманию⁵, возможности проявления^{6,7} и экспериментального обнаружения^{8,9} эффекта. В то же время, в работе¹⁰ ставится под сомнение концепция тепловой бани Унру, что подчеркивает важность экспериментальной проверки эффекта. В частности, в работе⁹ показано, что в сильных полях кристаллических осей и плоскостей каналированные частицы испытывают большие поперечные ускорения a'_\perp в СМП и, исходя из представлений Унру, теоретически исследованы свойства излучения Унру каналированных частиц в лабораторной системе, которое возникает в результате комптоновского рассеяния планковского спектра.

Цель настоящей работы – вычислить интенсивность излучения Унру, которое образуется ТэВ-ными электронами в постоянном магнитном поле, а также в поле лазерного излучения и сравнить ее с интенсивностью излучения конкурирующих процессов.

2. Пусть электрон проходит однородное магнитное поле с начальной скоростью β , перпендикулярно полю. Тогда поперечное относительно направления движения электрона ускорение в СМП будет $a'_\perp = \gamma eH/m\beta$ ($\gamma = E/m$, m и E – масса и энергия электрона) и $kT/m = \gamma eH/2\pi m^2\beta = 3,606 \cdot 10^{-15} \gamma H$ (Гс). Исходя из планковского распределения плотности фотонов для бани Унру с данной температурой T и используя дифференциальные сечения комптоновского рассеяния в СМП, можно вычислить спектральное распределение излучения Унру в лабораторной системе. Для этого необходимо подставить значение T в формулы (2) и (3) работы⁹. Вычисленные таким образом зависимости интенсивности на единице пути $xdN/dldx$ в однородном магнитном поле, а также сопровождающего синхротронного излучения (СИ) по известным классическим и квантовым формулам от $x = \omega_2/E$ (ω_2 – энергия излученного кванта) и от H показаны на рис 1а и б. Как видно из рис. 1а, спектры излучения Унру простираются в область $x > 1$, что связано с наличием высоких частот в планковском спектре в СМП. Видно также, что интенсивность излучения Унру при $H = 5 \cdot 10^7$ Гс почти линейно пропорционально γ и начинает превосходить интенсивность СИ только при $\gamma \gtrsim 10^9$. Следовательно, можно сделать заключение, что на проектирующихся линейных коллайдерах *TLC*, *JLC* и *CLIC* (а также на *SLC*), когда создаваемые бунчами поля, через которые проходят частицы встречного пучка, намного меньше $5 \cdot 10^7$ Гс, нельзя наблюдать излучение Унру¹⁾. В настоящее время такой механизм образования излучения Унру может иметь место только в космических объектах, например, в пульсарах, в которых $H \gg 10^7$ Гс.

¹⁾ По частному сообщению профессора Р.Палмера сейчас рассматривается вариант SUPER e^+e^- -коллайдера (5 на 5 ТэВ) с такой структурой бунчей, которые создают поля $H \gtrsim 10^9$ Гс.

3. Пусть теперь электрон проходит через электромагнитное поле плоской волны циркулярной поляризации. В этом случае движение электрона хорошо исследовано и можно показать, что в СМП $a' = 2\omega\gamma\eta\sqrt{1+\eta^2}$, где ω — частота, $\eta = e\mathcal{E}/m\omega$ (\mathcal{E} — амплитуда поля). Следовательно, $kT/m = (\gamma\omega/\pi m)\eta\sqrt{1+\eta^2}$.

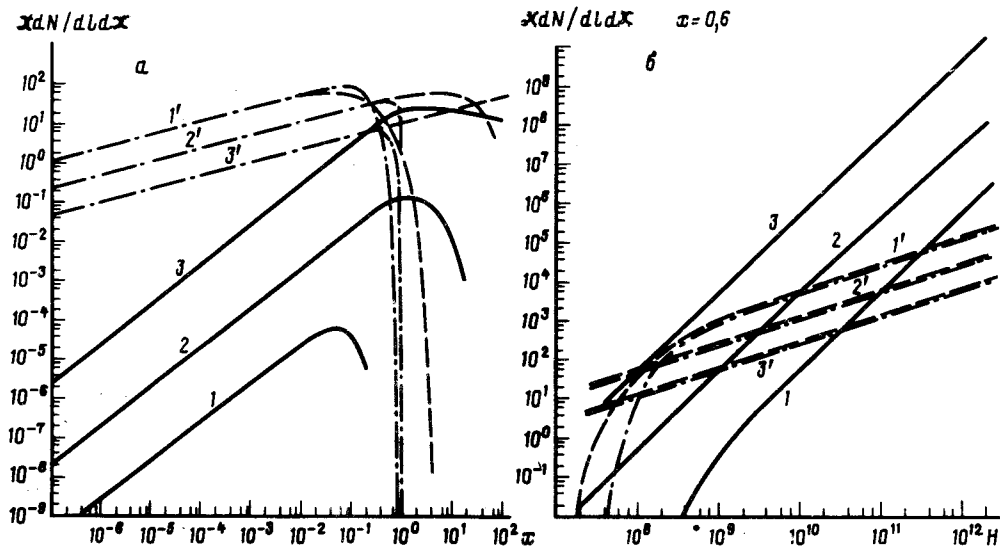


Рис. 1. Зависимость $x dN/dldx$ от x при $H = 5 \cdot 10^7$ Гс (а) и от H при $x = 0,6$ (б). Сплошные кривые — излучение Уру, пунктирные и пунктирточечные — синхротронное излучение, вычисленное по классическим и квантовым формулам при $\gamma = 10^5, 10^7$ и 10^9 (кривые 1, 1'; 2, 2'; 3, 3', соответственно)

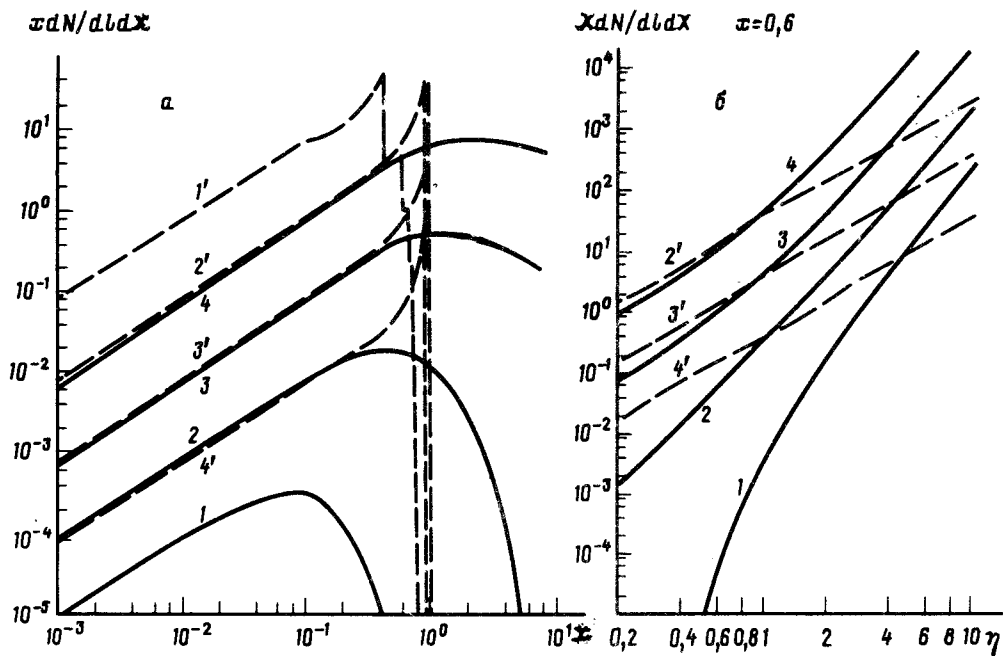


Рис. 2. Зависимость $x dN/dldx$ от x при $\omega = 1,18$ эВ, $\eta = 0,4$ (а) и от η при $x = 0,6$ (б). Сплошные кривые — излучение Уру, пунктирные — излучение в поле лазерного пучка при $\gamma = 10^5, 10^6, 10^7$ и 10^8 (кривые 1, 1'; 2, 2'; 3, 3' и 4, 4', соответственно)

Вычисленные зависимости $xdN/dldx$ излучения Унру, а также сопровождающего излучения электрона в волне ¹¹ от x и от η показаны на рис. 2а и б. На рис. 2а кривая 1' вычислена по формулам для излучения электрона в поле интенсивного лазерного пучка ¹¹ до пятой гармоники, а кривые 2', 3' и 4' рис. 2а и б – по простым формулам обратного комптоновского рассеяния (чтобы не загромождать рисунок). Как следует из рис. 2а уже при достигнутых ¹² значениях $\eta = 0,4$ интенсивность излучения Унру при $x \lesssim 0,4$ равняется и превосходит интенсивность конкурирующего фона при $\gamma \gtrsim 10^7$, то есть при энергиях SSC.

Таким образом, несмотря на то, что нами не учтен ряд факторов (например, конечность области взаимодействия), тем не менее вышеприведенные результаты показывают, что развитие лазерной и ускорительной техники позволит в ближайшем будущем, наряду с нелинейными эффектами квантовой электродинамики ¹³, исследовать эффект Унру, если теоретические представления ²⁻⁴ верны. Наличие области $x > 1$ в спектрах, возможно, указывает на то, что эти представления требуют дальнейших теоретических ¹⁰ и экспериментальных, как предлагается в этой работе, исследований.

Авторы выражают благодарность профессору А.Ц.Аматуни, а также Г.В.Григоряну, А.А.Кочаряну и Ц.А.Аматуни за многократные обсуждения и критические замечания.

Литература

1. *Hawking S.W.* Nature, 1974, **248**, 30; *Comm. Math.*, , 1975, **43**, 199.
2. *Fulling S.A.* Phys. Rev. D, 1973, **7**, 2850.
3. *Davies P.C.W.* J. Phys. A, 1975, **8**, 609.
4. *Unruh W.G.* Phys. Rev. D, 1976, **14**, 870.
5. *Kolbenstvedt H.* Phys. Rev. D, 1988, **38**, 1118.
6. *Bell J.S., Leinaas J.M.* Nucl. Phys. B, 1983, **212**, 131.
7. *Barshay S., Troost W.* Phys. Lett. B, 1978, **73**, 437.
8. *Yablonovitch E.* Phys. Rev. Lett., 1989, **62**, 1742.
9. *Darbinian S.M. et al.* Preprint YERPHI-1188 (65)-89, Yerevan Physics Institute, 1989.
10. *Нукишов А.И., Рутус В.И.* ЖЭТФ, 1988, **94**, 31.
11. *Нарожный Н.Б. и др.* ЖЭТФ, 1964, **47**, 931.
12. *Maine P. et al.* IEEE. Quantum Electronics, 1988, **24**, 398.
13. *McDonald K.T.* Preprint DO/ER/3072-38, 1986.

Поступила в редакцию
19 декабря 1989 г.

Ереванский физический институт