

КВАЗИЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ ИЗОХРОННЫЙ КОНЦЕНТРАТОР СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© Ф.Ф.Барышников

Для ряда приложений необходимо формировать и концентрировать синхротронное излучение (СИ) [1,2], испускаемое как в фиксированном направлении в малом для ультрарелятивистских электронов угле [3], так и с дуги конечного углового размера (см., например, [4,5]).

В настоящей работе для последнего случая описано семейство отражающих поверхностей, изохронно концентрирующих СИ в компактную область. Свойство изохронности позволяет повысить интенсивность и существенно уменьшить длительность воздействия в указанной области по сравнению со временем излучения. В случае оптического резонатора, описанного в [4], свойство изохронности обеспечивает когерентность взаимодействия электронного пучка и синхротронного излучения.

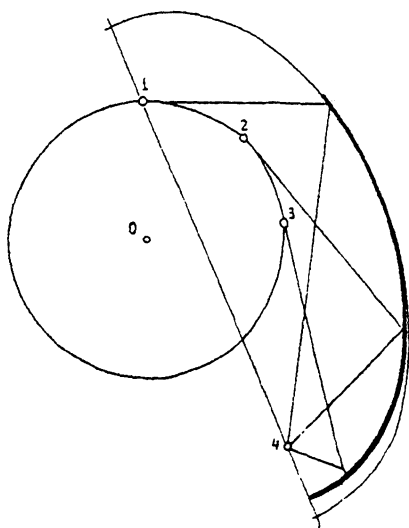
Для концентрации и формирования СИ в зависимости от решаемой практической задачи и длины волны λ используются разнообразные приемы. При этом для $\lambda \geq 100-200$ нм (см., например [6]) возможно использование оптики с многослойными диэлектрическими покрытиями, а для более коротких волн применима оптика скользящего падения. Для уменьшения аберраций в [7] предлагается использовать асферическую оптику, а в работе [8] с этой целью применялись эластичные зеркала. Для относительно длинных волн возможно использование фасетных зеркал [9], а в случае предельно коротких длин волн (рентгеновский диапазон) могут использоваться так называемые линзы Кумахова [10], представляющие из себя жгуты капилляров, проводящие излучение по принципу полного внутреннего отражения. Особенности капиллярной оптики рассмотрены в работе [11], а капиллярные концентраторы изучались в [12].

В работе [5] предложено использовать собственное синхротронное излучение для иллюминации катода ВЧ-фотоинжектора — первичного источника электронов на основе высокочастотного (ВЧ) ускорителя. ВЧ-фотоинжекторы резко повышают яркость и интенсивность элек-

тронного пучка по сравнению с обычными термоинжекторами, что может найти применение в физике лазеров на свободных электронах и ускорителей на встречных электрон-позитронных пучках (см., например, [13]). Как показано в [5], при использовании СИ в ВЧ-фотоинжекторе необходимы высокоэффективные полупроводниковые фотокатоды и, что существенно, необходимо собирать излучение с дуги значительного углового размера. При этом излучение занимает в пространстве узкий слой между двумя близкими эвольвентами (см., например, [14]). Толщина слоя определяется временем τ излучения в фиксированном направлении $\tau \approx \max(L/c, m \cdot c / (2 \cdot e \cdot H \cdot \gamma^2))$, где L — длина излучающего электронного сгустка, m, e — масса и заряд электрона, c — скорость света, γ — энергия электронов в единицах $m \cdot c^2$, H — магнитное поле. В тоже время продолжительность излучения T определяется движением электронов по рассматриваемой дуге, $T \approx \gamma \cdot m \cdot c \cdot \varphi / (e \cdot H)$, где φ — угловой размер дуги. Обычно T значительно превышает τ , что может привести к неприемлемому увеличению длительности инжектируемого электронного пучка и ухудшению эмиттенса (см., например, [15,16]). Необходима специальная оптика, позволяющая концентрировать СИ с конечной дуги на поверхность катода фотоинжектора максимально изохронно. В настоящей работе определена форма отражающей поверхности, решающая поставленную задачу.

Хорошо известно свойство эллипса изохронно собирать излучение, исходящее из одного фокуса эллипса, в другом его фокусе [14]. Будем рассматривать плоскую задачу, имея в виду, что рассматриваемая поверхность является некруговым цилиндром с образующей перпендикулярной плоскости электронной орбиты. Указанное свойство эллипса (и эллипсоида вращения) широко используется для концентрации излучения, испускаемого в фиксированном направлении (см. цитированные выше ссылки). Для излучения, исходящего из конечной дуги, можно предложить следующий геометрический метод построения искомой отражающей поверхности.

Будем считать, что электронный сгусток движется в плоскости рисунка с релятивистской скоростью $v \approx c$ ($\gamma \gg 1$) по окружности с центром в точке O . Предположим, что излучение, испускаемое на дуге 1-2-3, где 1, 3 — крайние фиксированные точки дуги, собирается в фиксированной точке 4 вне окружности. Закрепим нерастяжимую нить в точках 1 и 4, тогда при движении электронного сгустка по дуге 1-3 нить наматывается на окружность, а излом натянутой нити описывает квазиэллиптическую поверхность, один из фокусов которой неподвижен, а второй перемеща-



Геометрическая схема формирования квазиэллиптической изохронной фокусирующей поверхности. Тонкой линией показана часть эллипса с фокусами 1, 4 и эксцентриситетом, определяемым длиной нити.

ется по дуге 1-3. Для каждого направления локальный участок эллиптической поверхности фокусирует излучение в неподвижном фокусе, а свойство изохронности следует из нерастяжимости нити и условия $v \approx c$. Размер освещенной области в окрестности неподвижного фокуса примерно равен a/γ , где a — длина нити, а продолжительность импульса равна времени излучения τ в фиксированном направлении. Важно подчеркнуть, что существует множество поверхностей, обладающих описанными свойствами. По собственному усмотрению можно менять как положение фокуса 4, так и длину нити, задающую динамический эксцентриситет поверхности. Так, уменьшая длину нити, можем прийти к пределу скользящего падения, что существенно для уменьшения потерь при отражении излучения с очень короткой длиной волны.

Список литературы

- [1] Kim K.J. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1987. V. A261. N 1-2. P. 44-53.
- [2] Lapeyre G.J. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1994. V. A347. N 1-3. P. 17-30.
- [3] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория Поля. М.: Наука, 1973. 504 с.
- [4] Kapitza S.P. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1987. V. A261. N 1-2. P. 43.
- [5] Барышников Ф.Ф. Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 5. С. 46-48.
- [6] Couprie M.E., Garzella D., M. Billardon // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1995. V. A358. N 1-3. P. 382-386.

- [7] *Xiao J., Cerrina F.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1994. V. A347. N 1-3. P. 231-237.
- [8] *Bilderback D., Henderson C.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1986. V. A246. N 1-2. P. 194-197.
- [9] *Chen G.J., Guo J.Z.Y.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1994. V. A347. N 1-3. P. 238-243.
- [10] *Кумазов М.А.* // А. с. № 1322888, СССР, 1984.
- [11] *Xiao Q.F., Poturaev S.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1994. V. A347. N 1-3. P. 376-383.
- [12] *Voss K.F., Kim K.H., Stern E.A., Brown F.C., Heald S.M.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1994. V. A347. N 1-3. P. 390-396.
- [13] *Serafini L.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1994. V. A340. N 1. P. 40-51.
- [14] *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М.: Наука, 1970. 720 с.
- [15] *Fraser J.S., Sheffield R.L.* // IEEE J. QE. 1987. V. 23. N 9. P. 1489-1496.
- [16] *O'Shea P.G.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1995. V. A358. N 1-3. P. 36-39.

ГП ОКБ "Гранат"

Поступило в Редакцию
7 февраля 1996 г.