

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С342a

3-895

14/4-79

P1 - 12253

1810/2-79

В.П.Зрелов, Я.Ружичка

О РОЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО ОПТИЧЕСКОМУ ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

1979

P1 - 12253

В.П.Зрелов, Я.Ружичка

О РОЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО ОПТИЧЕСКОМУ ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Общественный институт
экологии и исследований
Библиотека

Зрелов В.П., Ружичка Я.

PI - 12253

О роли излучения Вавилова-Черенкова в экспериментах по оптическому переходному излучению

В работе на основе общих формул переходного излучения выполнены расчеты угловых распределений переходного излучения (ПИ), возникающего на границе вакуум-металл и направленного внутрь металла. Подробно рассмотрены такие свойства излучения Вавилова-Черенкова в поглощающей среде, как его направленность, пороговое условие и поляризация излучения. Обращается внимание на существенный вклад излучения Вавилова-Черенкова в экспериментах по оптическому переходному излучению. В частности: дается объяснение совпадению форм экспериментальных и теоретических характеристик ПИ при систематическом несовпадении уровней интенсивностей излучения; выдвигается новое объяснение появления перпендикулярной компоненты; обосновывается эмпирическое правило $W^{\parallel} - W^{\perp}$ применяемое при сравнении теории с экспериментом по оптическому ПИ; дается объяснение разных уровней фона излучения "вперед" и "назад".

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Zrelow V.P., Ružička J.

PI - 12253

The Role of Vavilov-Cherenkov Radiation in Experiments on Optical Transition Radiation

The angular distributions of transition radiation (TR) originating on the vacuum-metal boundary and directed towards metal have been calculated on the basis of TR general equations. Such properties of Vavilov-Cherenkov radiation in the absorbing medium as its directional property, polarization and radiation energy are considered in detail. Special attention is drawn to the considerable contribution of Vavilov-Cherenkov radiation to the intensity of the radiation observed in experiments on optical TR. In particular, the resemblance of theoretical and experimental curves in the case of the systematic excess of TR levels is explained. A new explanation is given to the appearance of the perpendicular component. The empiric rule $W^{\parallel} - W^{\perp}$ applied in the comparison of theory and experiment on optical TR is substantiated. Different "forward" and "backward" background levels are explained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время имеется много экспериментальных данных по исследованию оптического переходного излучения, возникающего при бомбардировке поверхностей различных металлов электронами низких и высоких энергий /см. обзорные работы^{1-4/}.

Излучение, регистрируемое в этих экспериментах, в основном хорошо описывается теорией оптического переходного излучения Гинзбурга-Франка^{5/}, однако в некоторых случаях имеются и значительные расхождения, связанные с наблюдаемым в эксперименте "избыточным" излучением. Существенные отклонения наблюдаются, например, при облучении серебряных мишеней электронами низких энергий в случае их скользящего падения^{6,7/}.

В большинстве работ для объяснения расхождений теории и эксперимента привлекается тормозное излучение^{8-11/}. Это излучение, возникающее в мишени при многократном рассеянии электронов, действительно, позволяет в значительной мере согласовать ход экспериментальных и теоретических кривых, таких, как угловые распределения интенсивности излучения, зависимость интенсивности излучения от энергии падающих частиц, от угла наклона и других характеристик, однако полного количественного согласия достигнуто еще не было^{3,12,13/}.

Предлагались и другие гипотезы для объяснения возникновения "избыточного" излучения. Так, в работе^{14/} высказывается мнение, что наличие люминесценции весьма вероятно и не исключается возможность примеси излучения какой-то неизвестной природы.

Авторы работы^{/15/} обращают внимание на влияние неровностей поверхности металла и показывают, что они приводят к повышению интенсивности наблюдаемого излучения. В работе^{/13/} проведены подробные исследования этого явления путем сравнения излучения от мишеней, поверхности которых были тщательно отполированы, и излучения от мишеней с шероховатыми поверхностями, а для объяснения повышенной интенсивности излучения в последнем случае привлекался эффект Смита-Перселла^{/16/}.

Была также сделана попытка объяснить аномально большую интенсивность излучения при скользящем падении электронов на поверхность серебра путем применения теории излучения нерегулярно движущейся заряженной частицы^{/17/}.

В настоящей работе для объяснения причины возникновения "избыточного" излучения, наблюдаемого в экспериментах по переходному излучению, предлагается эффект Вавилова-Черенкова.

2. ИЗЛУЧЕНИЕ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА В СРЕДЕ С ПОГЛОЩЕНИЕМ

1/ Проявление излучения Вавилова-Черенкова в угловых распределениях

Как впервые заметили Пафомов и Франк^{/18/}, формулы для переходного излучения /ПИ/, возникающего на границе среда /с поглощением/ - вакуум, описывают также и излучение Вавилова-Черенкова, выходящее в вакуум. Оно проявляется в виде пологого максимума в угловом распределении квантов ПИ, положение которого зависит от действительной части коэффициента преломления, а степень его размытости - от коэффициента поглощения. В работе^{/18/} не обсуждаются причины размытости этого максимума.

В прозрачной среде излучение Вавилова-Черенкова для определенного показателя преломления /длина волны фиксирована/ - остронаправленное /"угловое" распределение - фактически δ -функция/, а размытие обусловлено только зависимостью $n(\lambda)$. Казалось бы, то же самое должно иметь место в поглощающей среде для фиксированных показателей преломле-

4

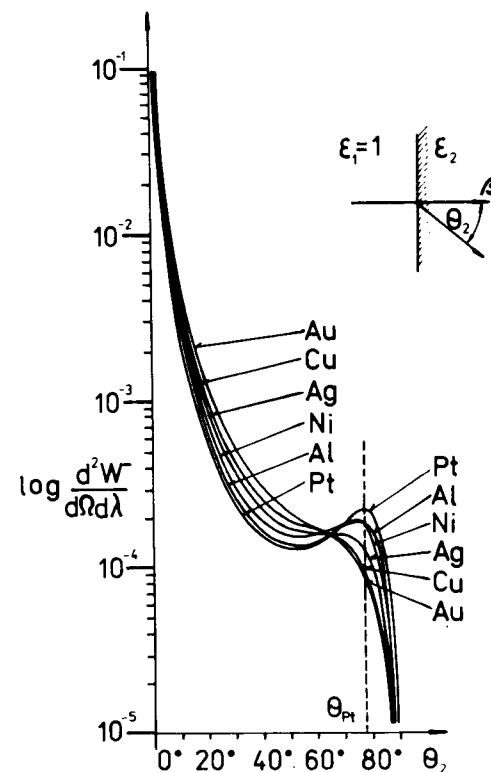


Рис. 1. Угловые распределения интенсивности ПИ "вперед" возникающего внутри металлов Au, Cu, Ag, Ni, Al, Pt на границе вакуум - металл, для длины волны $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ и $\gamma = 27,5$. Пунктирной линией показано положение угла излучения Вавилова-Черенкова, возникающего в Pt при $\gamma = 27,5$ и $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ и рассчитанного по формуле /3/.

ния (n) и поглощения (k). Однако результаты работы^{/18/} противоречат этому. По нашему мнению, этот эффект может быть или проявлением новых свойств излучения Вавилова-Черенкова в поглощающей среде /для случая поглощающей среды полной теории излучения Вавилова-Черенкова в настоящее время не существует/, или, что более вероятно, результатом интерференции переходного и черенковского излучений в зоне формирования, т.е. проявлением гибридного излучения /ГИ/^{/19/}.

5

Как было отмечено в работе^{/18/}, при больших показателях преломления излучение Вавилова-Черенкова не выйдет из среды /из-за полного внутреннего отражения/ даже при небольшом поглощении, если частица входит в среду по нормали. Однако его можно вывести, если заставить частицу пересекать границу раздела под некоторым углом Ψ .

Приведенные в работах^{/1,3,18/} угловые распределения ПИ с выделяющимся на них максимумом излучения Вавилова-Черенкова рассчитаны для произвольных коэффициентов преломления и поглощения. Поэтому интересно рассмотреть, при каких углах θ возникает излучение Вавилова-Черенкова в реальных средах с поглощением и какие углы наклона частицы Ψ к поверхности раздела необходимы, чтобы вывести его наружу, в вакуум.

На рис. 1 приведены угловые распределения интенсивности переходного излучения, возникающего внутри различных металлов и направленного "вперед", для длины волны $\lambda = 5500\text{Å}$ и лоренц-фактора $\gamma = 27,5$. Эти распределения рассчитаны по общим формулам переходного излучения, взятым из работы^{/20/} /формулы /6/ и /7/ этой работы/, для случая перпендикулярного падения частицы на границу вакуум-металл. Аналогичные распределения, но для случая переходного излучения, возникающего в среде и испущенного "назад", представлены на рис. 2. Широкий максимум на этих двух рисунках вблизи угла $\theta = 80^\circ$ соответствует излучению Вавилова-Черенкова /точнее, ГИ/. Из рис. 1 и 2 следует, что для того, чтобы вывести излучение Вавилова-Черенкова из металла в вакуум, необходимо наклонить частицу относительно нормали к границе раздела по крайней мере на угол $\Psi \approx 70^\circ - 80^\circ$.

Как теперь ясно, аналогичное проявление гибридного излучения выступает в зависимости полного числа фотонов ПИ /испущенных в вакуум/ от угла наклона частицы Ψ при прохождении ее через границу Ni-вакуум /см. рис. 3, взятый из работы^{/21/} / в области углов $\Psi \approx 80^\circ$. На кривой $W^-(\Psi)$ виден небольшой широкий максимум. Из этого рисунка видно также, что вклад такого излучения в полную интенсивность ПИ составляет при этих углах наклона заметную долю от полной интенсивности ПИ, наблюдаемой при перпендикулярном падении частицы.

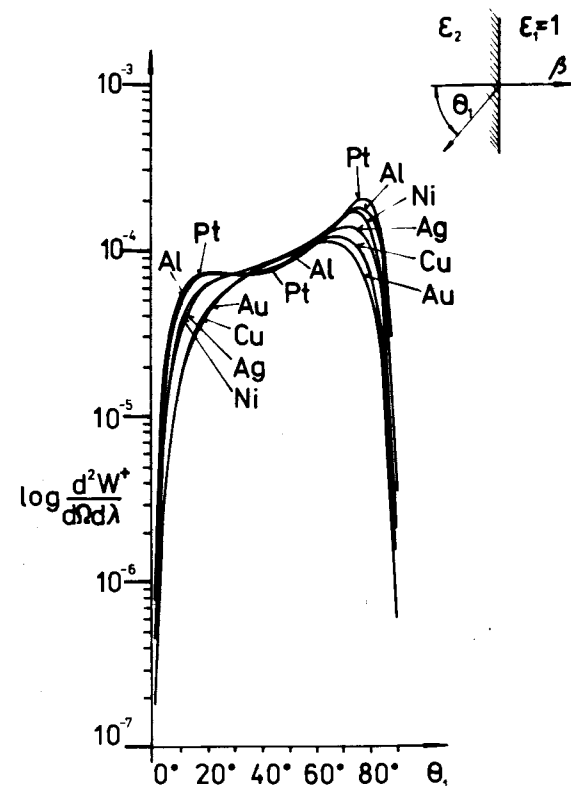


Рис. 2. То же самое, что и на рис. 1, но для случая ПИ, возникающего в среде и испущенного "назад".

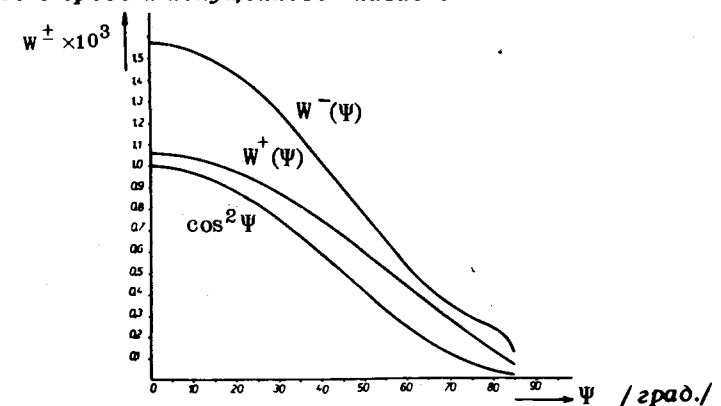


Рис. 3. Зависимость числа фотонов суммарного ПИ обеих поляризации ($W^{\parallel} + W^{\perp}$), испущенного как "вперед" - $W^-(\Psi)$, так и "назад" - $W^+(\Psi)$, от Ψ .

2/ Направленность излучения Вавилова - Черенкова

С одной стороны, направленность излучения Вавилова-Черенкова в среде с поглощением может быть определена по аналогии с обычным соотношением, вытекающим из теории Тамма-Франка

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}, \quad /1/$$

где показатель преломления n с учетом комплексности среды выражается как

$$n = \sqrt{\frac{|\operatorname{Re} \epsilon| + |\epsilon|}{2}}, \quad /2/$$

причем

$$|\epsilon| = \sqrt{|\operatorname{Re} \epsilon|^2 + |\operatorname{Im} \epsilon|^2}.$$

А с другой - направленность излучения Вавилова-Черенкова в такой среде была выведена косвенным образом путем анализа формул переходного излучения, проведенного в работе^{/19/}, в виде *

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{|\operatorname{Re} \epsilon|}}{|\epsilon| \beta}, \quad /3/$$

* Как показано в работе^{/19/}, направленность излучения Вавилова-Черенкова следует из обращения в ноль скобки $|1 - \beta^2 \epsilon \cos^2 \theta|$, содержащейся в знаменателе общих формул ПИ.

Действительно, уравнение $|1 - \beta^2 \epsilon \cos^2 \theta| = 0$ для комплексного $\epsilon = a + ib$ может быть переписано в виде

$$\beta^4 [a^2 + b^2] \cos^4 \theta - 2\beta^2 a \cos^2 \theta + 1 = 0.$$

Выделение реальной части из решения этого уравнения относительно β^2 приводит к условию

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{|\operatorname{Re} \epsilon|}}{|\epsilon| \beta}.$$

Заметим, что Будини в своей работе^{/22/} не приводит соотношения для направленности излучения в поглощающей среде, а пороговое условие принимает в обычном виде:

$$\beta > 1/\sqrt{\operatorname{Re} \epsilon}.$$

При $\operatorname{Im} \epsilon = 0$ формулы /1/ и /3/ дают одинаковый результат. Какой же зависимостью следует пользоваться при вычислениях углов излучения Вавилова-Черенкова в поглощающей среде? По нашему мнению, зависимость /3/ носит более общий характер, поскольку, как отмечено в работе^{/19/}, она неявно также содержится в формуле для интенсивности излучения Вавилова-Черенкова в поглощающей среде, полученной Будини^{/22/}.

Интересно отметить, что, как следует из формулы /3/, угол испускания излучения Вавилова-Черенкова определяется соотношением $\frac{|\epsilon|}{\sqrt{|\operatorname{Re} \epsilon|}}$, которое может принимать большие значения либо при приближении $\operatorname{Re} \epsilon$ к нулю /для любой $\operatorname{Im} \epsilon$ /, либо при значительной величине отношения $\frac{|\operatorname{Im} \epsilon|^2}{|\operatorname{Re} \epsilon|}$. В этих

случаях пороговая скорость мала, а углы испускания излучения Вавилова-Черенкова значительные.

Наглядные представления о зависимостях углов излучения Вавилова-Черенкова, возникающего в таких металлах, как Ag, Ni, Cu, Pt, Au, Al, от лоренц-фактора γ /при разных длинах волн λ / дают кривые, рассчитанные по формуле /3/ и приведенные на рис. 4. Из этого рисунка видно, что излучение Вавилова-Черенкова возникает во всех перечисленных металлах,

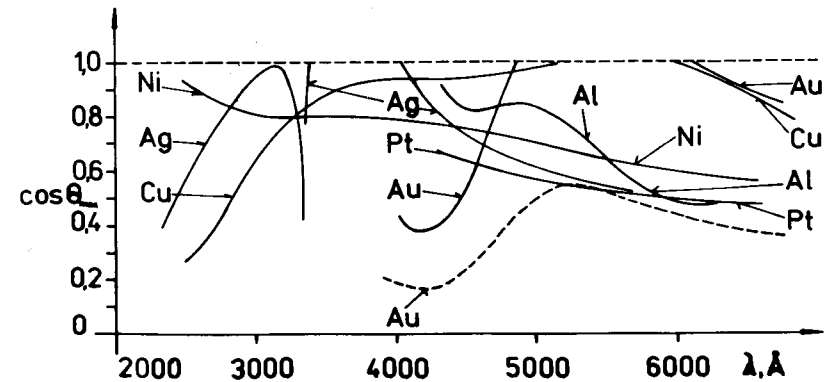


Рис. 4. Зависимости $\cos \theta = \frac{\sqrt{|\operatorname{Re} \epsilon|}}{|\epsilon| \beta}$ от длины волны λ для различных металлов / Al, Au, Cu, Ni и Pt / при $\gamma = 1,1$. Пунктирная кривая - та же зависимость для Au при $\gamma = 27,5$. Кривая для Ag - при $\gamma = 1,2$.

даже при относительно низкой энергии электронов $\gamma = 1,1$; $E_e = 50$ кэВ/и, за исключением некоторых случаев, практически во всем диапазоне видимой части спектра.

Интересно отметить, что из-за сложных зависимостей оптических характеристик металлов от λ спектр излучения Вавилова-Черенкова может иметь полосатый характер.

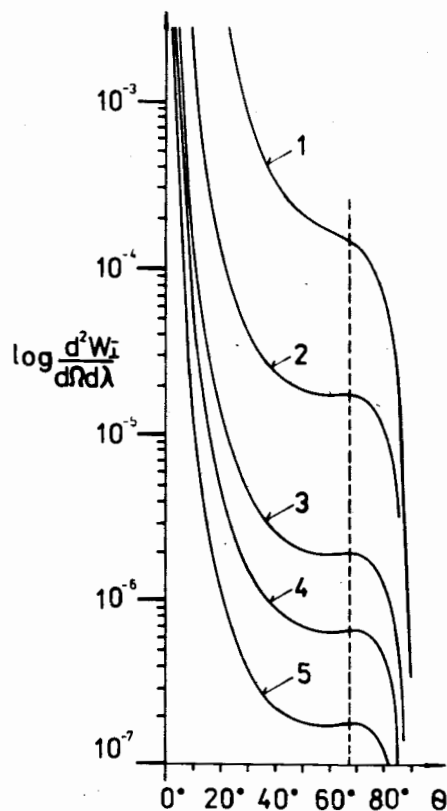


Рис. 5. Угловые распределения перпендикулярной компоненты излучения W_{\perp} , возникающего в серебре при разных углах наклона частицы Ψ / $\gamma = 27,5$ и $\lambda = 5500 \text{ \AA}$. 1 - $\Psi = 40^\circ$; 2 - $\Psi = 15^\circ$; 3 - $\Psi = 5^\circ$; 4 - $\Psi = 3^\circ$; 5 - $\Psi = 1,5^\circ$. Пунктирная линия на рисунке соответствует положению угла излучения Вавилова-Черенкова, определяемому соотношением /3/.

3/ Поляризация излучения Вавилова-Черенкова в сильно поглощающей среде

Формулы ПИ позволяют получить некоторые указания на необычный характер поляризации излучения Вавилова-Черенкова в таких средах. Известно, что при наклонном падении частицы в ПИ появляется компонента излучения с перпендикулярной поляризацией. На рис. 5 представлены угловые распределения перпендикулярной компоненты переходного излучения, возникающего в серебре при разных углах наклона частицы относительно границы раздела вакуум - Ag. Эти распределения рассчитаны в плоскости, перпендикулярной к плоскости падения, для частицы с $\gamma = 27,5$ и для $\lambda = 5500 \text{ \AA}$.

Из рисунка видно, что широкий максимум в области углов $\theta = 70^\circ$, соответствующий излучению Вавилова-Черенкова /точнее, ГИ/, просматривается на всех кривых 1-5 /пунктирная линия на этом рисунке соответствует положению угла излучения Вавилова-Черенкова в Ag, определяемому соотношением /3// вплоть до $\Psi = 1,5^\circ$. Причем, несмотря на сильное ослабление полной интенсивности с уменьшением Ψ , максимум черенковского излучения с перпендикулярной компонентой поляризации просматривается даже более отчетливо. Это может свидетельствовать о том, что излучение Вавилова-Черенкова в поглощающей среде имеет иную поляризацию, чем в прозрачной среде, т.е., возможно, оно обладает отличной от нуля перпендикулярной компонентой поляризации.

3. О ВКЛАДЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

1/ К вопросу о систематическом превышении наблюдаемых интенсивностей излучения над расчетными при совпадении форм спектров и угловых распределений

Из сказанного в разделе 2 следует, что в интервале энергий, в котором проводятся эксперименты по оптическому переходному излучению, кроме ПИ, тормозного излучения и люминесценции

ции /привлекаемых обычно для объяснения наблюдаемого светового излучения/ внутри металлов, использованных в качестве мишеней, возникает и излучение Вавилова-Черенкова.

Это излучение, испускаемое заряженной частицей под большими углами относительно направления ее движения, выйдет из металла в вакуум лишь тогда, когда угол его падения на границу раздела будет близок к нулю. Такие условия возникают либо в случае, когда пучок электронов направляется под большими углами к поверхности раздела, либо в случае многократного рассеяния частиц при любых углах входа частицы в среду. Кроме того, эти условия автоматически выполняются при наличии неровностей на поверхности раздела /последнее особенно важно в случае наклонного падения частиц/.

Определим диапазон углов вблизи нормали к поверхности раздела в случае, когда излучение Вавилова-Черенкова выходит наружу. Для различных углов наклона частиц Ψ угол падения θ_i черенковского излучения /испускаемого в плоскости падения/ на поверхность раздела относительно нормали к этой поверхности $\theta_i = \theta_{ch} \pm \Psi$.

С учетом закона преломления угол выхода излучения в вакуум θ_r определяется выражением

$$\theta_r = \arcsin(n \sin(\theta_{ch} \pm \Psi)), \quad /4/$$

где $n = 1 / \beta \cos \theta_{ch}$.

Для разных Ψ и $\gamma = 1,05$ функция $\theta_i = \theta_{ch} - \Psi$, определяемая /4/, приведена на рис. 6. Из этого рисунка видно: во-первых, с увеличением угла Ψ область углов выводимого излучения Вавилова-Черенкова сильно сужается; во-вторых, излучение /что естественно/ может выйти под любым углом, от $+90^\circ$ до -90° . Последнее обстоятельство приводит к "размазыванию" выводимых наружу максимумов гибридного излучения, представленных на рис. 1 и 2.

Таким образом, излучение Вавилова-Черенкова, выходящее из металлов, может вносить вклад в общую интенсивность излучения, наблюдаемого в опытах по ПИ, в виде изотропного фона. Это, в конечном итоге, приводит к систематическому превышению регистрируемых интенсивностей излучения при совпадении форм различных экспериментальных и теоретических

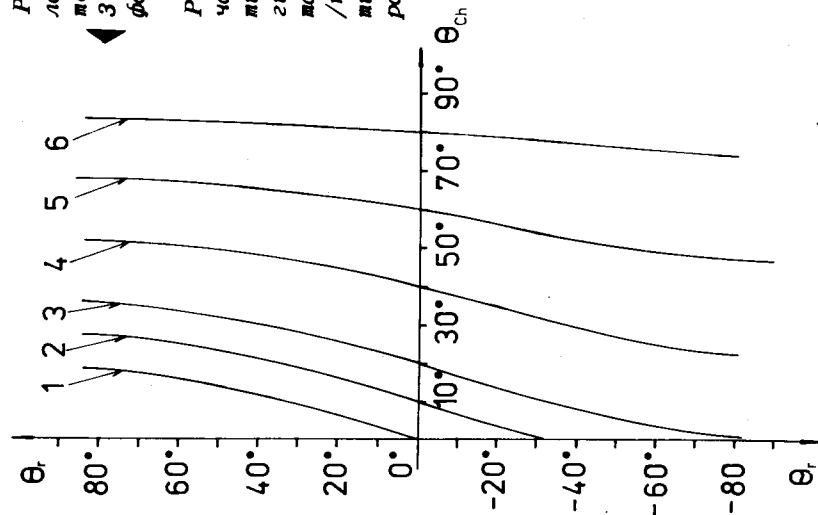
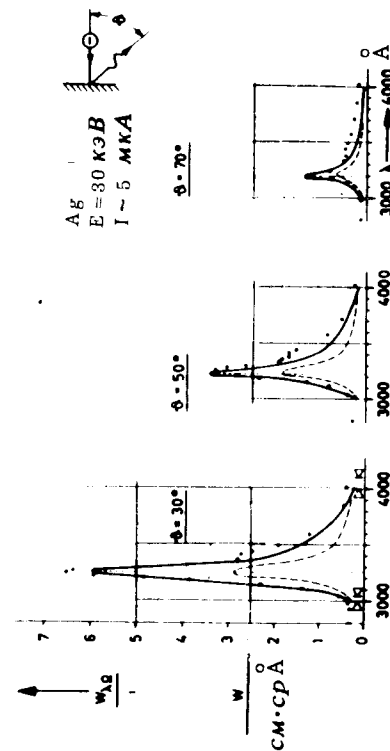


Рис. 6. θ_i - углы выхода излучения Вавилова-Черенкова из металла в вакуум в зависимости от Ψ - угла наклона частицы относительно нормали к поверхности раздела: 1 - $\Psi = 0^\circ$; 2 - $\Psi = 10^\circ$; 3 - $\Psi = 20^\circ$; 4 - $\Psi = 40^\circ$; 5 - $\Psi = 60^\circ$; 6 - $\Psi = 80^\circ$. Лоренц-фактор частицы $\gamma = 1,05$.

Рис. 7. Спектр излучения, наблюдаемого в работе /6/ /той его части, которая обратно пропорциональна энергии падающих частиц/ в случае перпендикулярного падения электронов с энергией 30 кэВ на толстую мишень из серебра: ● - экспериментальные данные работы /6/; --- - теоретические данные /теория "Ritchie"/, увеличенные в 5 раз /сплошная и пунктирные кривые соответствуют оптическим константам серебра, взятым из разных источников/.



кривых. Так, авторы работы ^{/6/} отмечают, что в случае перпендикулярного падения электронов с энергией 30 кэВ на поверхность толстой мишени из серебра спектры той части излучения, которая обратно пропорциональна энергии падающих частиц и которая, как они считают, является тормозным излучением, по своей форме совпадают со спектрами, вычисленными в рамках теории тормозного излучения, однако по абсолютному значению экспериментальные данные для интенсивности приблизительно в пять раз больше теоретических значений /см. рис. 7/. Такое же расхождение теории и эксперимента эти авторы находят и в случае мишеней из никеля /см. рис. 8/.

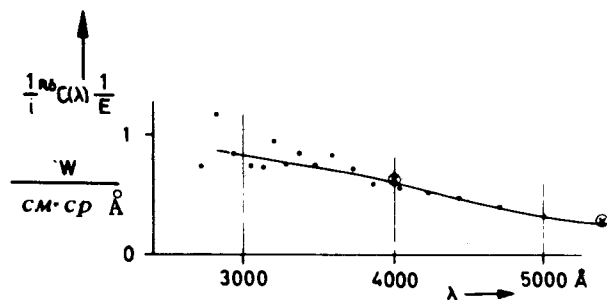


Рис. 8. То же, что и на рис. 7, но для мишени из Ni ^{/6/}.

В другой работе ^{/23/} при определении абсолютного выхода излучения из алюминия и серебра в зависимости от толщины мишеней при их облучении электронами с энергией 40 и 50 кэВ отмечается в основном согласие с предсказаниями теории Ритчи, основанной на теории Гинзбурга-Франка ^{/5/} /см. рис. 9 и 10/. Однако, как это следует из замечания авторов, сделанного при корректуре статьи ^{/23/} после проведения дополнительной калибровки фотоумножителя и спектрометра с помощью щелевого вольфрамового источника света выявилось, что согласие теории и эксперимента не такое хорошее, как это следует из рис. 9 и 10. Экспериментальные значения интенсивностей оказались заниженными в 1,7 раза.

В работе Арутюняна и др. ^{/11/} тоже отмечается, что при сравнении эксперимента с теорией абсолютная величина интенсивности наблюдаемого излучения превышает расчетное зна-

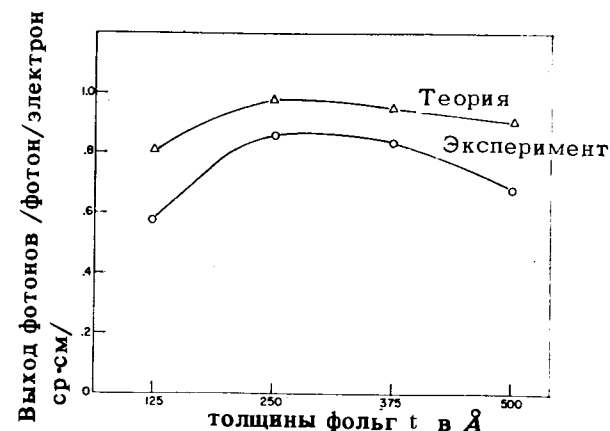


Рис. 9. Экспериментальный выход фотонов в зависимости от толщины фольги для Al /E = 40 кэВ, λ = 3500 Å; θ = 30°/ в сравнении с теорией переходного излучения.

чение в 1,5 раза при совпадении хода экспериментальных и теоретических кривых. Такое отклонение, как считают авторы, связано с некоторой неопределенностью в эффективности их детектирующей системы. В дальнейшем они приводят экспериментальные данные, уменьшенными в 1,5 раза.

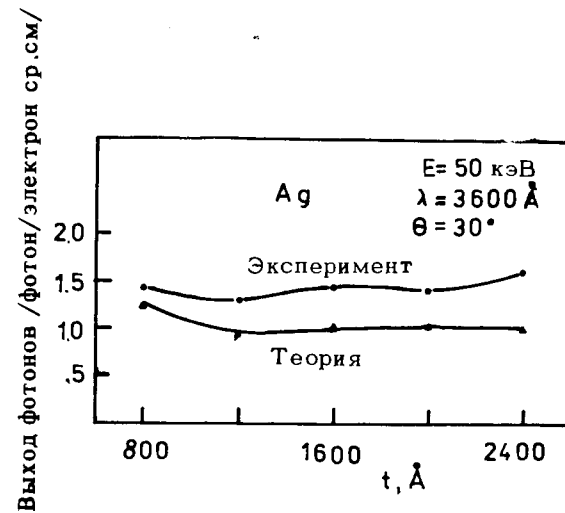


Рис. 10. То же, что и на рис. 9, но для фольги из серебра.

2/ Вклад излучения Вавилова-Черенкова в поляризацию

Наличие излучения с перпендикулярной поляризацией в экспериментах по ПИ при нормальном падении частиц на границу раздела объясняется обычно примесью оптического тормозного излучения. Однако теория тормозного излучения предсказывает значительно меньшую интенсивность этой компоненты излучения, чем это наблюдается в эксперименте. Например, в работе^{/12/} приведены результаты измерений характеристик переходного излучения, возникающего при облучении электронами с энергиями 297, 423, 632 кэВ и 1,1 МэВ тонких пленок из золота, серебра и меди. Как отмечают в заключении авторы этой работы, экспериментальные интенсивности для перпендикулярной компоненты излучения превышают теоретические на один-два порядка.

Причиной появления излучения с перпендикулярной поляризацией в экспериментах по ПИ, кроме прочего, может являться и излучение Вавилова-Черенкова от многократно рассеянных частиц. Действительно, частица, испытавшая рассеяние в направлении плоскости, перпендикулярной плоскости наблюдения, например, на угол, равный углу излучения Вавилова-Черенкова, дает излучение, регистрируемое в плоскости наблюдения только с перпендикулярной поляризацией. Детально для случая прозрачной среды этот эффект рассчитан в работе^{/24/}.

Кроме этого, как показан в разделе 2, пункт 3, настоящей работы, поперечная составляющая поляризации ПИ может появляться и по физическим причинам, связанным с возникновением перпендикулярной компоненты излучения Вавилова-Черенкова в поглощающей среде.

3/ Процедура вычитания $W^{\parallel} - W^{\perp}$

Интересна еще одна особенность излучения, замеченная в экспериментах по ПИ. Имеется в виду тот факт, что разность экспериментальных интенсивностей $W^{\parallel} - W^{\perp}$ лучше согласуется с величиной W^{\parallel} , предсказываемой теорией переходного из-

лучения, чем зависимости отдельных компонент. Такая процедура вычитания часто используется при обработке экспериментальных данных по ПИ.

Для объяснения вышесказанного в работе^{/25/} была высказана гипотеза о том, что длинноволновое тормозное излучение является неполяризованным. В этом случае его вклад в параллельную компоненту W^{\parallel} и в перпендикулярную компоненту W^{\perp} , наблюдаемую в эксперименте, должен быть одинаков. Поэтому, если считать, что перпендикулярная компонента возникает в основном за счет тормозного излучения, то только параллельную компоненту ПИ можно получить вычитанием W^{\perp} из наблюдаемых величин.

Хотя есть и прямые указания на то, что одним только тормозным излучением невозможно объяснить перпендикулярную компоненту экспериментально наблюдаемого излучения /см., например, работу^{/12/}/, разные теории тормозного излучения, как отмечено в работе^{/12/}, не дают достаточных оснований считать это излучение неполяризованным.

При учете вклада излучения Вавилова-Черенкова процедура вычитания получает обоснование. Действительно, многократное рассеяние частиц происходит равновероятно на любой азимутальный угол, и поэтому вклад излучения Вавилова-Черенкова от них как в перпендикулярную составляющую ПИ, так и в ее параллельную компоненту должен быть одинаков.

4/ О разнице уровней фона при наблюдении ПИ, испускаемого "вперед" и "назад"

В работе^{/26/} было замечено, что экспериментальные кривые имеют более высокий фон при наблюдении излучения на передней стороне мишени /т.е. со стороны вылета электронов/, чем при наблюдении со стороны влета электронов. По мнению авторов, эту особенность фона невозможно объяснить направленностью вперед тормозного излучения, поскольку, как показывают их расчеты, в условиях данного эксперимента вкладом тормозного излучения можно пренебречь.

Однако, как следует из вышесказанного, в этом эксперименте /как и в других ему подобных/ следует учитывать также излучение Вавилова-Черенкова от многократно рассеянных час-

тиц. Преимущественное рассеяние электронов вперед в условиях эксперимента^{/26/} будет приводить к повышенному выходу излучения Вавилова-Черенкова через переднюю грань, способствуя этим увеличению фона при измерениях переходного излучения "вперед".

За полезные обсуждения ряда вопросов, затронутых в настоящей работе, авторы благодарны А.П.Кобзеву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Франк И.М. Препринт ФИАН, А-64, Москва, 1965.
2. Тер-Микаелян М.А. Влияние среды на электромагнитные процессы. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1969.
3. Пафомов В.Е. Труды ФИАН /Ядерная физика и взаимодействие частиц с веществом/, 1969, 44, с.28.
4. Кобзев А.П., Ружковски Е. *Acta Universitatis Lodzianae, Zeszyty naukowe Uniwersytetu Lodzkiego, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, Seria II, zeszyt 12*, s.15-33, 1977.
5. Гинзбург В.Л., Франк И.М. *ЖЭТФ*, 1946, 16, с.15.
6. Voersch H. et al. *Zs. Phys.*, 1965, 187, p.97.
7. Von Blanckenhagen P. et al. *Phys. Lett.*, 1964, 11, p.296.
8. Cram L.C., Arakawa E.T. *Phys. Rev.*, 1967, 153, p.455.
9. Ashley J.S. *Phys. Rev.*, 1967, 160, p.313.
10. Jones G.E. et al. *Phys. Rev.*, 1966, 147, p.515.
11. Арутюнян Ф.Р. и др. *ЖЭТФ*, 1966, 51, с.760.
12. Dinardo R.P., Golland A.N. *Phys. Rev. B.*, 1971, v.4, No. 6, p.1700.
13. Арутюнян Ф.Р. и др. *ЖЭТФ*, 1973, 65, с.1772.
14. Франк И.М. ОИЯИ, Р4-4980, Дубна, 1970;
Acta Physica Polonica, 1970, A38, p.655.
15. Dobberstein P., Sauerbrey G. *Phys. Lett.*, 1970, 31A, p.328.
16. Smith S.J., Purcell E.M. *Phys. Rev.*, 1953, 92, p.1069.
17. Геворгян Л.А., Корхмазян Н.А. Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1977, с.434.
18. Пафомов В.Е., Франк И.М. Препринт ФИАН, А-76, Москва, 1965.
19. Зрелов В.П., Ружичка Я. ОИЯИ, Р1-11764, Дубна, 1978.
20. Zrelou V.P., Ružička J. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1978, v.151, p.395-403;
Зрелов В.П., Ружичка Я. ОИЯИ, Р1-10915, Дубна, 1977.

21. Zrelou V.P., Pavlovič P., Ružička J. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1975, 130, p.513-525;
Зрелов В.П., Павлович П., Ружичка Я. ОИЯИ, Р1-7956, Дубна, 1974.
22. Budini P. *Nuovo Cimento*, 1953, 10, p.236.
23. Frank A.L. et al. *Phys. Rev.*, 1962, 126, p.1947.
24. Кобзев А.П., Пафомов В.Е., Франк И.М. ОИЯИ, Р14-11688, Дубна, 1978.
25. Arakawa E.T. et al. *Phys. Rev.*, 1963, 131, p.719.
26. Herikhoff R.J. et al. *Phys. Rev.*, 1965, 137, A1433.