

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



C 3496
Ц - 76

27/a-78

P16-11132

В.И.Цовбун

1008/2-78

РАСЧЕТ

СПЕКТРАЛЬНО-УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

С ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ, ПАДАЮЩИХ НА ТОЛСТУЮ

ВОЛЬФРАМОВУЮ МИШЕНЬ

1977

P16-11132

В.И.Цовбун

РАСЧЕТ

СПЕКТРАЛЬНО-УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

С ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ, ПАДАЮЩИХ НА ТОЛСТУЮ

ВОЛЬФРАМОВУЮ МИШЕНЬ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Цовбун В.И.

P16-11132

Расчет спектрально-углового распределения тормозного излучения электронов с энергией 10 МэВ, падающих на толстую вольфрамовую мишень

Программы расчетов прохождения электронно-фотонных каскадов в веществе ETRAN-16D, составленные Бергером и др. для ЭВМ IBM-360 и UNIVAC-1108, приспособлены для работы на ЭВМ CDC-6500 ОИЯИ. Рассчитаны спектрально-угловые распределения тормозного излучения, вылетающего из вольфрамовой мишени, для электронов с энергией 10 МэВ с целью использования их при решении вопросов радиационной безопасности.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Tsovboon V.I.

P16-11132

Calculation of Energy and Angular Distributions of the Bremsstrahlung of 10 MeV Electrons Bombarding a Thick Tungsten Target

A program for calculation of electron-photon cascades passing through matter ETRAN-16D, developed by Berger et al. in a version for computers IBM-360 and UNIVAC-1108, was modified to operate with the CDC-6500 computer. Calculations of energy and angular distributions of a bremsstrahlung emitted from a tungsten target have been performed for 10 MeV electrons in order to use them when considering radiation protection problems.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Комплекс программ для расчетов прохождения электронно-фотонных каскадов через вещество ETRAN-16D^{1/*}, составленных Бергером и Зельцером^{2,3/} на языке FORTRAN IV для ЭВМ IBM-360 и UNIVAC-1108, приспособлен для работы на ЭВМ CDC-6500. Ниже приводится краткая характеристика программ, которые подробно описаны в^{2-4/}. Исходные данные расчета следующие. Пучок электронов или фотонов заданного спектрального состава в заданном направлении падает на бесконечную пластину конечной толщины; диапазон энергий первичных частиц - несколько десятков кэВ - 1 ГэВ. Мишень гомогенная, практически любого состава. Рассчитываются: 1) спектрально-угловые распределения прошедшего мишень и отраженного мишенью излучения; 2) спектрально-угловые распределения тормозного и характеристического излучений, выходящих из мишени; 3) распределения энерго- и зарядовыделения в зависимости от глубины проникновения в мишень, 4) спектральные распределения потока электронов и фотонов в глубине мишени. Программа прослеживает истории фотонов прямым моделированием по методу Монте-Карло, а моделирование историй электронов основывается на схеме, в которой "розыгрыш" индивидуальных взаимодействий широко заменяется "розыгрышем" энергетических потерь и угловых отклонений по распределениям для многократного рассеяния в соответствии с различными частными теориями на достаточно малых участках пробега^{4/}.

* Часть документации размещена на магнитной ленте в виде комментариев к программам.

Исходный массив программ был перекодирован с BCD-кода IBM-360 в BCD-код CDC-6500^{/5/}. Небольшие различия в языке FORTRAN, имеющиеся у этих машин, были откорректированы. Основные проблемы были связаны с нехваткой памяти, которая ограничена 140 000 (восьмеричных) ячеек для одной задачи. Программы, подготавливающие данные для основной программы, делились на последовательно загружаемые в память блоки (OVERLAY) и на отдельные программы, связь между которыми осуществлялась через файлы на дисках (Random Access Files).

В основной программе были уменьшены размеры ряда массивов и использовалась операция EQUIVALENCE (массивы последовательно могут занимать один и тот же участок памяти) для массивов выходной информации. Производительность программы для CDC-6500 несколько уступает производительности программы в исходной версии. Она рассчитывает в одном цикле вычислений, как правило, одну из указанных четырех характеристик.

Программа ETRAN-16D в версии для CDC-6500 была использована для расчетов спектрально-угловых распределений тормозного излучения, выходящего из вольфрамовой мишени, которая бомбардируется электронами с энергией 10 МэВ. В обзоре^{/6/} данных, характеризующих электронные ускорители как источники излучения с точки зрения радиационной безопасности, угловые распределения мощности дозы для энергии 10 МэВ представлены до 60° (по спектрально-угловым распределениям тормозного излучения из работ^{/4,7,8/}). Целью настоящих расчетов является расширение имеющейся информации за счет данных для больших углов.

При выборе входных данных для программы ETRAN-16D использовался опыт расчетов^{/4/}. Вычисления производились для нормального падения тонкого пучка электронов на мишень из вольфрама толщиной 0,5 среднего пробега электронов. Для энергии электронов 10 МэВ средний пробег в вольфраме равен 6,2 г/см². Эта толщина мишени близка к оптимальной по отношению к выходу тормозного излучения^{/4/}. "Разыгрывалось" 3000 историй

первичных электронов, и они прослеживались до энергии 0,1 МэВ. Процесс рождения тормозных фотонов "разыгрывался" с весовыми факторами, при которых на один первичный электрон рождалось около 30 фотонов. В остальном способ вычислений соответствовал описанному в^{/4/}. Для увеличения статистической достоверности расчетов спектральных распределений производились дополнительные вычисления с энергией обрезания 1 и 5 МэВ. Статистическая точность полученных результатов была не хуже 10%. Расчет всей задачи занимал 50 минут времени центрального процессора CDC-6500.

На рис. 1а приведено угловое распределение энергии тормозного излучения, нормированное на один падающий электрон. Разбиение углов, в пределах которых усреднялась энергия, было выбрано следующим: 0-1°, 1-3°, 3-5°, 5-7°, 7-10°, 10-15°, 15-20° и далее через 10°. На рис. 1б представлено соответствующее распределение мощности поглощенной дозы тормозного излучения в воздухе, приведенное к расстоянию 1 м от мишени и току электронов 1 мА.

Переход от спектрально-угловых распределений тормозного излучения к распределению мощности дозы осуществлялся в соответствии с выражением

$$P(\theta) = k \cdot \int_0^{E_0} N(E, \theta) E \cdot \mu_{ав}(E) dE, \quad (1)$$

где $N(E, \theta)$ - спектр фотонов под углом θ ; $\mu_{ав}(E)$ - коэффициент ослабления для поглощения энергии фотонов в воздухе^{/9/}; k - коэффициент пропорциональности.

Формула (1) справедлива при установлении электронного равновесия в воздушной среде, что для рассматриваемых условий выполняется на расстояниях более 8 м от мишени. Провал на графиках угловых распределений в районе 90° связан с идеализацией мишени. Однако он близок к реальной зависимости мощности дозы от угла, когда мишень имеет большие поперечные размеры^{/10/}. Увеличение толщины мишени приводит к некоторому уменьшению энергии тормозного излучения, вылетающего в направлении движения пучка электронов, за счет поглощения излучения в мишени. С ростом толщины мишени

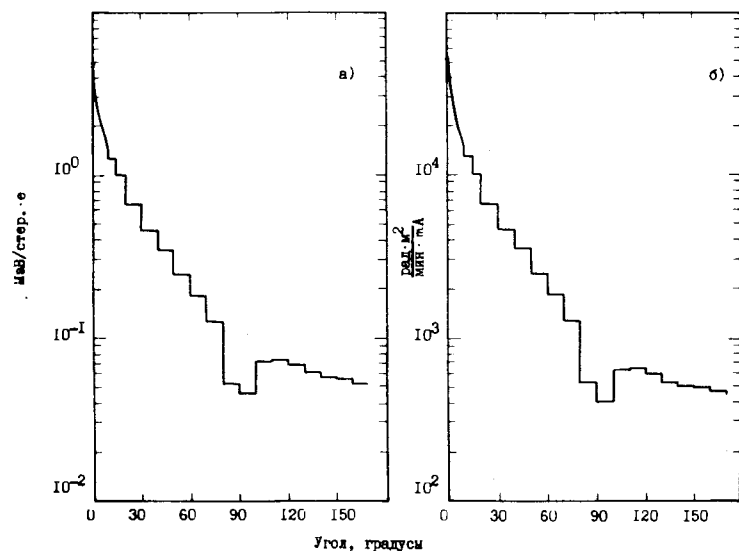


Рис. 1. а) Угловое распределение энергии тормозного излучения, вылетающего из вольфрамовой мишени толщиной $3,1 \text{ г/см}^2$ при бомбардировке ее электронами с энергией 10 МэВ . Нормировано на один падающий электрон. б) Соответствующее угловое распределение мощности поглощенной дозы в воздухе, приведенное к расстоянию от мишени 1 м и току электронов один миллиампер.

увеличение отраженной энергии в диапазоне углов $90\text{--}180^\circ$ незначительно и для мишени толщиной 3 средних пробега электрона составляет около 10% по сравнению с соответствующим значением для мишени толщиной $0,5$ среднего пробега. Это указывает на возможность использования приведенной информации для углов $90\text{--}180^\circ$, потому что отраженная энергия при этом близка к максимально реализуемой.

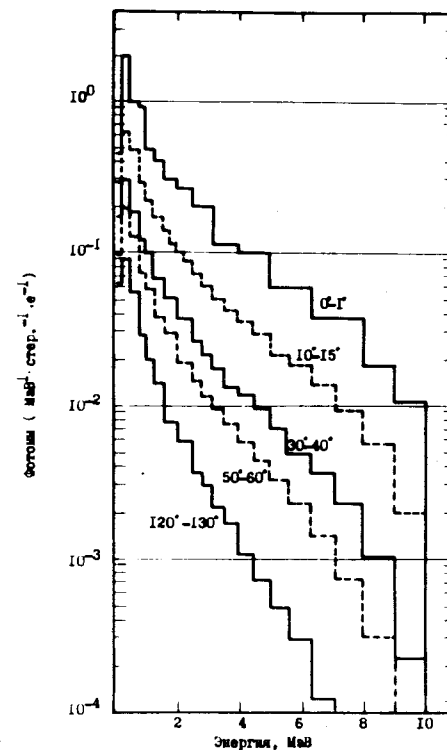


Рис. 2. Спектры тормозных фотонов, вылетающих в различных направлениях из вольфрамовой мишени толщиной $3,1 \text{ г/см}^2$ при бомбардировке ее электронами с энергией 10 МэВ . Нормировано на один падающий электрон.

Спектры тормозного излучения под разными углами представлены на рис. 2. Из графиков видно, что наиболее "жесткий" спектр тормозного излучения находится в районе 0° .

Приведенные значения согласуются со спектрами тормозных фотонов, испускаемых под углами 0° и 12° , которые получены в ¹⁴ для мишени несколько большей толщины ($5,8 \text{ г/см}^2$). Дополнительные проверки, выполненные

для воспроизведения опубликованных данных /2-4/, показали работоспособность версии ETRAN-16D для CDC-6500. Настоящие расчеты с помощью ETRAN-16D дополняют информацию /6/ о спектрально-угловых распределениях тормозного излучения для энергий электронов 10 МэВ, необходимую при проектировании биологической защиты электронных ускорителей и решения ряда вопросов радиационной безопасности.

В заключение автор выражает глубокую благодарность миссис Б.Мацкевич и миссис Г.Хенриксон из Информационного центра по радиационной защите Окриджской национальной лаборатории США за предоставление магнитной ленты с программой ETRAN-16D и документации к ней. Автор также благодарен А.Д.Рогову за помощь в перекодировке программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. RSIC Computer Code Collection, CCC-107/ETRAN, Oak Ridge.
2. Berger M.J., Seltzer S.M. NBS Report 9836, 1968.
3. Berger M.J., Seltzer S.M. NBS Report 9837, 1968.
4. Berger M.J., Seltzer S.M. Phys.Rev.C., 1970, 2(2):621-631.
5. Fortran Extended Version 4 Reference Manual, Control Data Corporation Publication No.60497800, 1977.
6. Цовбун В.И. ОИЯИ, 16-7104, Дубна, 1973.
7. Starfelt N., Koch H.W., Phys.Rev., 1956, 102, 1598.
8. Jupiter C.P., Hatcher C.R., Hansen N.E. Bull.Am.Phys.Soc., 1964, 9, 338.
9. Сторм Э., Израэль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения. Справочник. Атомиздат, М., 1973.
10. McCall R.C. e.a. In: Proceedings of the Second International Conference on Accelerator Dosimetry and Experience, CONF-691101, Stanford University, California, p.684-691, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1977 года.