

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

3-5736



В.В. Голиков, Ж.А. Козлов, Л.К. Кулькин,  
Л.Б. Пикельнер, В.Т. Руденко, Э.И. Шарапов

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

ПАРАМЕТРЫ  
НЕЙТРОННЫХ ПУЧКОВ ИБР-30

1971

3-5736

В.В. Голиков, Ж.А. Козлов, Л.К. Кулькин,  
Л.Б. Пикельнер, В.Т. Руденко, Э.И. Шарапов

**ПАРАМЕТРЫ  
НЕЙТРОННЫХ ПУЧКОВ ИБР-30**

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

В сентябре 1969 г. в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ начаты измерения на нейтронных пучках импульсного быстрого реактора ИБР-30, созданного вместо демонтированного летом 1968 г. реактора ИБР-1. В это же время был заменен инжектор, служащий для генерирования коротких вспышек нейтронов: вместо микротрона был установлен линейный ускоритель ЛУЭ-40.

Основной целью замены реактора и инжектора было существенное увеличение выхода нейтронов, а также улучшение эксплуатационных характеристик установок.

После запуска ИБР-30 и инжектора ЛУЭ-40 была проведена серия измерений, посвященных определению таких спектрометрических характеристик системы, как спектр испускаемых нейтронов, поток тепловых и резонансных нейтронов, форма нейтронного импульса и т.д.

В данном сообщении приведены основные результаты этих измерений вместе с некоторыми другими параметрами реактора и инжектора, необходимыми для планирования и проведения экспериментов на реакторе.

## 1. Элементы конструкции ИБР-30 и режимы работы

Принципиальная схема ИБР-30 оставлена такой же, как у ИБР-1<sup>1,2</sup>, однако увеличение средней мощности потребовало конструктивной переработки всех элементов реактора. Активная зона ИБР-30 показана на рис. 1. Неподвижная зона реактора набрана из плутониевых стержней. Между кассетами неподвижной зоны вращается стальной диск, в который вмонтированы диаметрально противоположно две основные подвижные зоны

(ОПЗ №1 и №2), выполненные из урана-235 90%-ного обогащения. Импульс мощности развивается в момент совмещения любой основной подвижной зоны с неподвижной. Обычно используется частота вращения диска ОПЗ 3000 об/мин. Для снижения частоты импульсов мощности без ухудшения их параметров применяется дополнительная модуляция реактивности реактора вспомогательной подвижной зоной (ВПЗ). Она вмонтирована в стальной диск, который вращается с кратной, но значительно меньшей частотой по отношению к скорости вращения диска ОПЗ. Импульс мощности развивается только в момент одновременного совмещения центров основной и вспомогательной подвижных и неподвижной зон. Кинематика реактора построена таким образом, что в одних случаях (частоты 5 и 10 гц) импульсы мощности формируются только одной ОПЗ, в других (частоты 100 и 4 гц) — работают поочередно обе ОПЗ. При поочередной работе ОПЗ максимальная средняя мощность реактора 30 квт, при работе одной ОПЗ — 15 квт. Для получения более низкой частоты (режим редких вспышек мощности) реактивность реактора модулируется вспомогательной подвижной зоной и дополнительным подвижным отражателем, который выполнен в виде вольфрамового стержня, перемещающегося возвратно-поступательно в периферийном канале реактора. Импульс мощности развивается в момент одновременного совмещения с неподвижной зоной ВПЗ и ОПЗ и при опущенном в зону стержне редких импульсов. В режиме редких импульсов тепловыделяющие элементы испытывают мощные тепловые удары, поэтому до выполнения дополнительных исследований по их стойкости максимальная средняя мощность реактора при длительной работе на частоте 0,26 гц ограничена уровнем 10 квт, при частоте 0,21 гц — 8 квт и при частоте 0,13 гц — 5 квт. Перевод реактора из одного частотного режима в любой другой производится дистанционно и занимает несколько часов времени.

На реакторе ИБР-30 предусмотрен также режим размножения (режим импульсного бустера)<sup>3/</sup>. В качестве инжектора используется двухсекционный линейный ускоритель электронов на бегущей волне. Работа реактора и ускорителя синхронизована, а инжекция электронов на мишень, которая установлена в активной зоне реактора, производится в момент совмещения центра ОПЗ с неподвижной зоной. Для запуска измерительной аппаратуры может быть использован импульс с индукционного датчика,

формируемый задним фронтом импульса электронов ускорителя. При частоте 100 гц и коэффициенте размножения реактора 200 средняя мощность бустера ≈ 9 квт при использовании плутониевой мишени. Переход на вольфрамовую мишень снижает среднюю мощность в 2,5 + 3 раза. Возможна работа при частотах 50 гц и менее, а также при различных коэффициентах размножения реактора, но при этом соответственно изменяется длительность вспышки, средняя мощность и фон между вспышками. Выбор оптимального режима зависит от конкретных условий эксперимента.

С трех сторон активная зона реактора окружена вольфрамовым отражателем толщиной 23,5 мм. Для смягчения спектра нейтронов около зоны с зазором 5 мм от отражателя устанавливаются замедлители. В качестве замедляющей среды обычно используется вода. Температура воды повышается приблизительно на 1°С на 1 квт средней мощности реактора и достигает равновесного значения через несколько часов после его пуска. Около зоны могут устанавливаться замедлители, охлаждаемые до температуры жидкого азота. Для снижения  $\gamma$ -фона, возникающего при поглощении в вольфрамовом отражателе тепловых нейтронов из замедлителя, последний может экранироваться 10-миллиметровым слоем естественного карбида бора. Замедлители устанавливаются перед пуском реактора и дистанционно не заменяются. Вход в зал реактора производится обычно после 2 + 3-суточного отстоя для снижения наведенной  $\gamma$ -активности.

В реакторе предусмотрена возможность облучения образцов в потоке быстрых и тепловых нейтронов. Для этого в периферийной части активной зоны имеется экспериментальный канал, в который могут устанавливаться во время остановок реактора образцы диаметром до 15 мм. Кроме того, из зала ускорителя к активной зоне реактора подведены два канала диаметром 80 мм, которые оканчиваются в ≈ 1 м от замедлителя реактора. На одном из каналов имеется собственный замедлитель нейтронов. Замена образцов в этих каналах производится без снижения мощности реактора.

## 2. Форма нейтронного импульса

Форма нейтронного импульса реактора определялась по выходу быстрых нейтронов. Детектором служила ториевая камера деления, установленная вблизи активной зоны. Импульсы с нее подавались на временной анализатор. Ширина вспышки на половине высоты при частоте 100 гц получилась равной 80 мксек, а при частоте 4 гц - 70 мксек. Это различие связано с увеличением надкритичности реактора при работе на меньших частотах. На рис. 2 приведена экспериментальная кривая для частоты 4 гц. Форма вспышки вблизи максимума близка к гауссовой с указанной выше полушириной, а у основания становится заметно асимметричной: задний фронт круче переднего.

Аналогичным образом измерялась форма нейтронного импульса в бустерном режиме. На рис. 3 приведена экспериментальная кривая, полученная тем же методом при длительности импульса электронов 1,6 мксек и подкритичности реактора  $\epsilon_0 = 5 \cdot 10^{-3}$  (размножение нейтронов инжектора в 200 раз). Форма импульса здесь сложнее, чем в реакторном режиме. Как следует из теории реактора [1], передний фронт определяется длительностью электронного импульса и нарастает по закону

$$W(t) = \frac{S}{|\epsilon|} [1 - \exp(-\frac{\epsilon t}{\tau})], \quad (1)$$

где  $S$  - число нейтронов/сек, генерируемых электронным пучком в максимуме прямоугольного импульса,  $\tau$  - время жизни нейтронов в реакторе, равное  $1,5 \cdot 10^{-8}$  сек,  $t$  - время, отсчитываемое от начала электронного импульса.

Задний фронт имеет вид экспоненты

$$W(t) = W(T) \exp[-\frac{\epsilon}{\tau} (t-T)]. \quad (2)$$

Здесь  $T$  - длительность электронного импульса. Экспериментально полученная кривая по форме согласуется с теоретической.

При работе импульсного реактора и импульсного бустера имеется ряд факторов, которые приводят к флуктуациям импульсов. Флуктуации вспышек бустера определяются в основном флуктуациями электронного

пучка ускорителя и в меньшей степени колебаниями реактивности реактора. На форму импульса реактора, и прежде всего на амплитуду, наибольшее влияние оказывают флуктуации реактивности, достаточно сильно влияют и колебания источника запаздывающих нейтронов. Использование двух поочередно работающих основных подвижных зон (частоты 100 и 4 гц) приводит из-за их дисбаланса по реактивности к дополнительному различию.

На рис. 4 приведено экспериментальное распределение амплитуд импульсов мощности в реакторном режиме при частоте 4 гц, полученное с помощью ионизационной камеры, заполненной метаном. Импульсы с нее, пропорциональные числу нейтронов во вспышке, подавались на амплитудный анализатор. Видно, что распределение имеет форму двух пиков, каждый из которых соответствует определенной ОПЗ. Различие между средними амплитудами для каждой ОПЗ составляет около 25%.

## 3. Спектр нейтронов

Энергетический спектр нейтронов, выходящих из реактора, заметно отличается от спектра нейтронов деления. Это обусловлено главным образом неупругим рассеянием на ядрах горючего и конструкционных материалов зоны и упругим рассеянием в замедлителе.

Экспериментальное определение спектра нейтронов, испускаемых реактором со стандартным замедлителем 40 мм воды, проводилось двумя методами. Первый заключался в использовании пороговых детекторов для получения грубой структуры спектра во всем диапазоне энергии нейтронов. Второй - измерение с помощью борных счётчиков спектра по методу времени пролета в области энергии нейтронов ниже 100 кэв.

Применение пороговых детекторов для измерения спектра нейтронов основано на том, что можно указать такие эффективные значения сечения  $\sigma$  и порога реакции  $E$ , не зависящие от вида спектра  $\Phi(E)$ , при которых выполняется соотношение

$$\sigma_{\text{эфф.}} \int_{E_{\text{пор}}}^{\infty} \Phi(E) dE = \int_0^{\infty} \sigma(E) \Phi(E) dE. \quad (3)$$



Если имеется набор пороговых детекторов с различными значениями  $E_{\text{пор.}}$ , то измерение с таким набором позволяет получить картину спектра, усредненного по интервалам между парами соседних значений  $E_{\text{пор.}}$

Детальное рассмотрение вопросов, связанных с применением пороговых детекторов, дано в работе/4/. В ней показано, что набор, состоящий из урана-235, урана-238 в кадмии, а также урана-235, нептуния-237, урана-238 и серы-32 за фильтром  $1 \text{ г/см}^2$  бора-10, позволяет получить интегральные значения потока нейтронов в 6 интервалах энергии нейтронов.

Конструктивно набор пороговых детекторов был выполнен в виде шарового фильтра из бора, внутри которого помещены нанесенные на подложки слои урана-238, нептуния-237 и урана-235 в контакте со стеклянными пластинками, служащими детекторами осколков деления. Здесь же помещалась таблетка из серы-32, в которой по реакции  $S^{32} (n,p) P^{32}$  образовывался радиоактивный фосфор. Детекторы с ураном-235 и ураном-238 в кадмии помещались рядом с шаровым фильтром.

Облучение проводилось на базах 68,6 м (пучок №6) и 100 м (пучок №1) в течение двух часов при мощности реактора 25 квт и частоте вспышек 4 гц. Форма спектра получилась одинаковой для обоих пучков.

Результаты измерений с пороговыми детекторами приведены в таблице. В ней указаны интервалы энергии нейтронов и доля нейтронов, содержащихся в каждом интервале, в процентах от общего потока нейтронов.

Для измерения потока и спектра медленных нейтронов использовались  $BF_3$ -счётчики с обогащенным бором и известной эффективностью. Измерения проводились на базах 68,6 м (пучок №6) и 100 м (пучок №1) по времени пролета нейтронов. Нейтроноводы были вакуумированы, кроме начальных участков (10 метров). Реактор работал на мощности около 40 вт при частоте 4 имп/сек. Для измерения фона использовались резонансные фильтры из  $Ag$ ,  $Rh$  и  $Cd$ , которые позволили получить величину фона при энергии 5,2 эв; 1,3 эв и ниже 0,3 эв. Измерения на разных базах и в разных сериях приводились к постоянной мощности реактора с помощью монитора.

Доля нейтронов, содержащаяся в указанном энергетическом интервале, в % от общего потока нейтронов

Энергетический интервал (эв)	<0,4	0,4-400	400-0,56·10 <sup>6</sup>	0,56·10 <sup>6</sup> - -1,4·10 <sup>6</sup>	1,4·10 <sup>6</sup> - -2,8·10 <sup>6</sup>	> 2,8·10 <sup>6</sup>
Доля (%)	II	II4	29	29	II	6

В измерении по времени пролета число отсчетов  $N_i$  борного счётчика в  $i$ -ом канале временного анализатора за 1 сек можно представить в виде

$$N_i = \Pi(E_i) S [1 - e^{-n \sigma_a(E_i)}] \cdot \Delta E_i \quad (4)$$

Здесь  $\Pi(E_i)$  - поток нейтронов с энергией  $E_i$ , падающих на  $1 \text{ см}^2$  детектора за 1 сек;  $S$  - площадь счётчика в сечении, перпендикулярном пучку нейтронов;  $n$  - "толщина" газового слоя (число ядер  $^{10}\text{B}$  на  $\text{см}^2$ );  $\sigma_a(E_i)$  - сечение реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  при энергии  $E_i$ ;  $\Delta E_i$  - энергетическая ширина  $i$ -го временного канала. Величины  $E_i$  и  $\Delta E_i$  связаны со временем пролета  $t_i$  соотношениями

$$E_i = \frac{c}{t_{i1}^2}, \quad \Delta E_i = \frac{2c}{t_{i1}^3} \Delta t_i \quad (5)$$

Здесь  $c$  - константа, зависящая от пролетной базы,  $\Delta t_i$  - ширина временного канала анализатора. Соотношение (4) позволило получить спектр нейтронов  $\Pi(E)$ .

Форма спектра на обоих пучках получилась одинаковой, а интенсивность несколько выше на пучке №1 (примерно на 15%). На рис. 5 приведена энергетическая зависимость потока нейтронов  $\Pi(E)$ , усредненного по пучкам 1 и 6 и выраженного в единицах  $\text{н}/\text{см}^2 \text{ сек эв}$  при пролетном расстоянии 100 м и мощности реактора 1 квт. Поправка на ослабление в воздухе (10 м) не вводилась.

Для определения спектра нейтронов в области до 100 кэв было проведено измерение с борными счётчиками в бустерном режиме работы реактора при пролетном расстоянии 500 м. Рециклические нейтроны удалялись из пучка с помощью борного фильтра, а для определения фона использовались резонансные фильтры из кобальта, марганца и алюминия. Обработка проводилась на основании выражения (4), но были еще внесены поправки на поглощение нейтронов в борном фильтре и исключено резонансное взаимодействие нейтронов с алюминием вакуумных заглушек нейтронновода. Последнее существенно искажало форму спектра в области энергии

нейтронов выше 30 кэв из-за сильных резонансов при энергии 35 и 88 кэв. Полученная зависимость потока от энергии, приведенная, как и раньше, к мощности 1 квт и пролетному расстоянию 100 м и выраженная в единицах  $\text{н}/\text{см}^2 \text{ сек эв}$ , представлена на рис. 6. В области от 1 эв до 10 кэв поток нейтронов описывается выражением

$$\Pi(E) = \frac{2,7 \cdot 10^6}{E^{0,9} \cdot l^2} W \quad \text{н}/\text{см}^2 \text{ сек. эв}, \quad (6)$$

где  $E$  - энергия нейтронов в эв,  $l$  - пролетное расстояние в метрах,  $W$  - мощность реактора в квт. Структура в области 20-30 кэв связана с резонансом железа 28 кэв, входящего в конструкционные материалы корпуса реактора.

#### 4. Поток тепловых нейтронов на поверхности замедлителя

Распределение потока тепловых нейтронов на поверхности водяного замедлителя толщиной 40 мм было измерено при мощности реактора 500 вт методом активации тонких золотых фольг. Использованные фольги имели размер  $6 \times 6 \text{ мм}^2$  и толщину  $5 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ . Для учета вклада активации фольг эпитепловыми нейтронами рядом с каждой активируемой фольгой помещалась такая же фольга, окруженная со всех сторон слоем кадмия толщиной  $\approx 1 \text{ мм}$ . Измерения абсолютной активности образцов проводились методом счёта  $\beta$ - $\gamma$  совпадений. Значения потока тепловых нейтронов  $\Phi_0$  определялись из измеренных активностей фольг по известному соотношению [5]

$$\Phi_0 = \frac{N_\beta N_\gamma}{N_{\beta\gamma}} \cdot \frac{1}{S \cdot \Sigma_{act} d \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{293,6^0}{T}} (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2}}, \quad (7)$$

где  $N_\beta$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_{\beta\gamma}$  - разности скоростей  $\beta$ -счёта,  $\gamma$ -счёта и совпадений соответственно, даваемых фольгами без кадмия и в кадмии;  $S$  - площадь фольги;  $\Sigma_{act}$  - макроскопическое сечение активации золота тепловыми нейтронами;  $d$  - толщина фольги;  $\lambda$  - постоянная радиоактивного распада золота;  $t_1$  и  $t_2$  - время облучения и время, прошедшее от окончания облучения до измерения активности образца, соответственно;

$\frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{293,6}{T}}$  - фактор, учитывающий активацию фольг максвелловским распределением нейтронов по энергиям;  $T$  - температура максвелловского спектра ( $T = 30$  мэв).

На рис. 7 приведены схемы расположения облучаемых фольг на поверхностях замедлителей, обращенных в сторону каналов №1, №6 и экспериментального зала, а также относительное распределение потока тепловых нейтронов на поверхности замедлителя. За "1" принят поток, равный  $(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$  н/см<sup>2</sup>.сек при мощности реактора  $W = 1$  квт.

Полученные данные показывают, что поток тепловых нейтронов на поверхности замедлителя в пределах геометрических размеров зоны заметно выше, чем на краях замедлителя. Отметим, что поток тепловых нейтронов со стороны канала №1 примерно на 20% выше потока со стороны канала №6, что согласуется с данными, полученными при помощи пороговых детекторов и борных счётчиков.

Для ряда физических задач интересно знать величину потока тепловых нейтронов не только на поверхности замедлителя, но и в щели, образованной постановкой дополнительного замедлителя на некотором расстоянии от основного водяного замедлителя. Методом активации золотых фольг внутри щели была исследована зависимость величины потока тепловых нейтронов  $\Phi$  от размеров щели. Дополнительный замедлитель из полиэтилена толщиной 100 мм сечением 200 x 200 мм<sup>2</sup> располагался на расстояниях 6, 20 и 40 мм от основного замедлителя. На рис. 8 приведены схема расположения замедлителей и коэффициент увеличения потока тепловых нейтронов  $\frac{\Phi}{\Phi_0}$  внутри щели в зависимости от ее величины по сравнению со значением потока на поверхности основного замедлителя.

Сравним результаты измерений потоков тепловых нейтронов, сделанных на поверхности замедлителя с помощью активации золотых фольг и на базах №1 и №6 борными счётчиками. Для этого следует учесть угловое распределение тепловых нейтронов у поверхности замедлителя, которое описывается выражением<sup>6/</sup>

$$f(\theta) = \frac{1}{1 + \sqrt{3}} (\cos \theta + \sqrt{3} \cos^2 \theta), \quad (8)$$

где  $\theta$  - угол между направлением пучка и нормалью к плоскости замедлителя (в изотропном случае угловая зависимость нейтронов, пересекающих единицу поверхности замедлителя, пропорциональна  $\cos \theta$ ). Формула (8) получена в предположении, что плотность нейтронов у поверхности замедлителя как функция расстояния от поверхности изменяется линейно, что верно, если средний свободный пробег нейтронов мал по сравнению с размерами водяного замедлителя.

Если  $\Pi_0$  - число нейтронов, вылетающих с 1 см<sup>2</sup> замедлителя в единицу телесного угла в направлении нормали к плоскости замедлителя ( $\theta = 0$ ), то активность фольги можно представить в виде

$$N = 2 \pi \Pi_0 \sum_{\text{act}} \int_0^{\pi/2} \frac{d}{\cos \theta} \cdot \frac{\cos \theta + \sqrt{3} \cos^2 \theta}{1 + \sqrt{3}} \sin \theta d\theta.$$

Здесь для краткости опущены некоторые факторы, указанные в (7), как несущественные для данного рассмотрения.

После интегрирования по углу  $\theta$  получим

$$N = 1,37 \cdot \pi \cdot \Pi_0 \sum_{\text{act}} d. \quad (9)$$

В выражении (9) величина  $1,37 \cdot \pi \cdot \Pi_0$  соответствует потоку  $\Phi_0$  в выражении (7). Для их сравнения необходимо подставить значение  $\Pi_0$ , определенное в измерениях с борными счётчиками.  $\Pi_0$  вычислялось путем численного интегрирования кривой потока на рис. 5 в тепловой области, умножения на  $\ell^2$  для перехода к потоку в единице телесного угла и деления на площадь замедлителя 900 см<sup>2</sup>. Далее была введена поправка на поглощение нейтронов в воздухе. В результате было получено значение  $\Pi_0 = 3,5 \cdot 10^8$  н/сек см<sup>2</sup> стерад, откуда поток тепловых нейтронов, усредненный по площади замедлителя, оказался равным  $1,5 \cdot 10^9$  нейтр/сек см<sup>2</sup> при мощности 1 квт. Эта величина разумно согласуется с результатами, полученными методом активации фольг, если учесть, что против центра зоны реактора поток максимален и, следовательно, выше среднего, а на краях - заметно ниже.



5. Нейтроны, излучаемые между вспышками реактора,  
и сателлиты

Одной из важных характеристик импульсного реактора является соотношение между энергиями, выделяемыми при вспышке  $E_B$ , и в интервале между вспышками. Последняя, в свою очередь, может быть разделена на две части: постоянную или фоновую, составляющую  $E_\phi$ , и долю, связанную с побочными импульсами реактивности (сателлитами)  $\Sigma E_o$ . Таким образом, баланс энергии реактора можно записать в виде

$$E_p = E_B + E_\phi + \Sigma E_o. \quad (10)$$

Очевидно, что число нейтронов, испускаемых на каждой стадии работы реактора, пропорционально соответствующей энергии.

Нейтроны, испускаемые между вспышками, являются запаздывающими нейтронами деления, размноженными в неподвижной зоне реактора в то время, когда ОПЗ выведена. Появление побочных импульсов мощности (сателлитов) связано с прохождением через зону реактора ОПЗ, однако при этом не развивается полный импульс мощности, так как ВПЗ находится вне зоны. На рис. 9 приведена форма одного из сателлитов, рассчитанная для реактивности  $\epsilon_o = -5 \cdot 10^{-3}$ .

Период следования сателлитов равен 10 мсек для скорости вращения диска ОПЗ  $50 \text{ сек}^{-1}$ .

Для экспериментального определения соотношения между  $E_B$  и  $E_\phi + \Sigma E_o$  и выяснения характера отдельных сателлитов было проведено измерение в реакторном режиме при работе на основной частоте 4 герца. Мощность реактора была снижена до 50 вт для устранения перегрузок аппаратуры. Борный счётчик устанавливался на пролетной базе 16 м за коллиматором с малым отверстием, и измерялись временные спектры с помощью анализатора. При этом захватывалось временное окно от старта, несколько опережавшего вспышку реактора, почти до следующего старта. Отсчёты счётчика, связанные с нейтронами вспышки, практически оканчивались через 30 мсек, и далее, вплоть до следующего старта, можно было наблюдать картину, связанную с постоянным фоном между импульсами и са-

теллитами. На рис. 10 приведен участок спектра, полученного в одной из серий измерений. По оси абсцисс отложен номер канала временного анализатора. Ширина канала 320 мсек. Круто спадающая часть спектра — это хвост низкоэнергетических нейтронов от вспышки. Видно, что в районе сотого канала он практически заканчивается, а далее видны тепловые пики, связанные с сателлитами, и небольшие пики быстрых нейтронов сателлитов.

Обращают на себя внимание два очень сильных сателлита в районе 370 — 420 каналов (12-й и 13-й сателлиты), а также заметное плавное изменение силы остальных. Такая модуляция определяется расположением вспомогательной подвижной зоны относительно активной зоны реактора в момент прохождения через зону ОПЗ.

Для вычисления доли энергии, выделяющейся в реакторе между вспышками, было найдено полное число отсчётов в спектре, начиная с 100 канала и далее до следующего старта. К этой величине добавлялась часть, соответствующая первым 100 каналам, которую нельзя было наблюдать из-за нейтронов вспышки. Она находилась путем экстраполяции и составляла около 15% от измеренной. Полученная таким образом величина характеризовала число нейтронов, выделившихся между вспышками реактора. Полная сумма отсчётов по всему спектру давала в тех же единицах интегральный выход нейтронов. Отсюда было получено, что между вспышками выделяется 7,6% от полной энергии реактора и соответственно такая же доля нейтронов от полного выхода. Далее оказалось возможным отделить вклад сателлитов от постоянной составляющей, используя известную форму тепловых пиков. Такое разделение показало, что суммарная энергия всех сателлитов равна энергии постоянного фона между вспышками реактора. Для других частот реакторных вспышек эти соотношения меняются незначительно.

При работе реактора в бустерном режиме с инжектором максимальная реактивность  $\epsilon_o$  при прохождении ОПЗ через активную зону реактора составляет обычно  $-5 \cdot 10^{-3}$  (коэффициент размножения 200). При этом импульс мощности, связанный с размножением нейтронов от инжектора развивается на вершине сателлита, показанного на рис. 9. В связи с этим фон вблизи вспышки инжектора определяется указанной кривой, имеющей гауссовскую форму с шириной около 420 мсек.

В заключение считаем своим приятным долгом поблагодарить И.М. Франка и Ф.Л. Шапиро за интерес к работе и полезные обсуждения, И.М. Саламатина, В.А. Архипова, Б.Н. Соловьева, Л. Ласоня, Н.Т. Хотько за помощь в проведении измерений и расчётов.

### Л и т е р а т у р а

1. И.И. Бондаренко, Ю.Я. Стависский. АЭ, т. 7, вып. 5, 417 (1959).
2. Г.Е. Блохин, Д.И. Блохинцев, Ю.А. Блюмкина и др. АЭ, т. 10, вып. 5, 437 (1961).
3. В.Д. Ананьев, И.М. Матора, Г.Н. Погодаев и др. Препринт ОИЯИ, 2372, Дубна, 1965.
4. К.К. Кошаева, С.Н. Крайтор, Л.Б. Пикельнер. Препринт ОИЯИ, РЗ-5421, Дубна, 1970.
5. К. Бекурц, К. Виртц. Нейтронная физика, Атомиздат, Москва, 1968.
6. Г.А. Бете. Физика ядра, ч. II, стр. 124. Гостехиздат, 1948.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 апреля 1971 года.

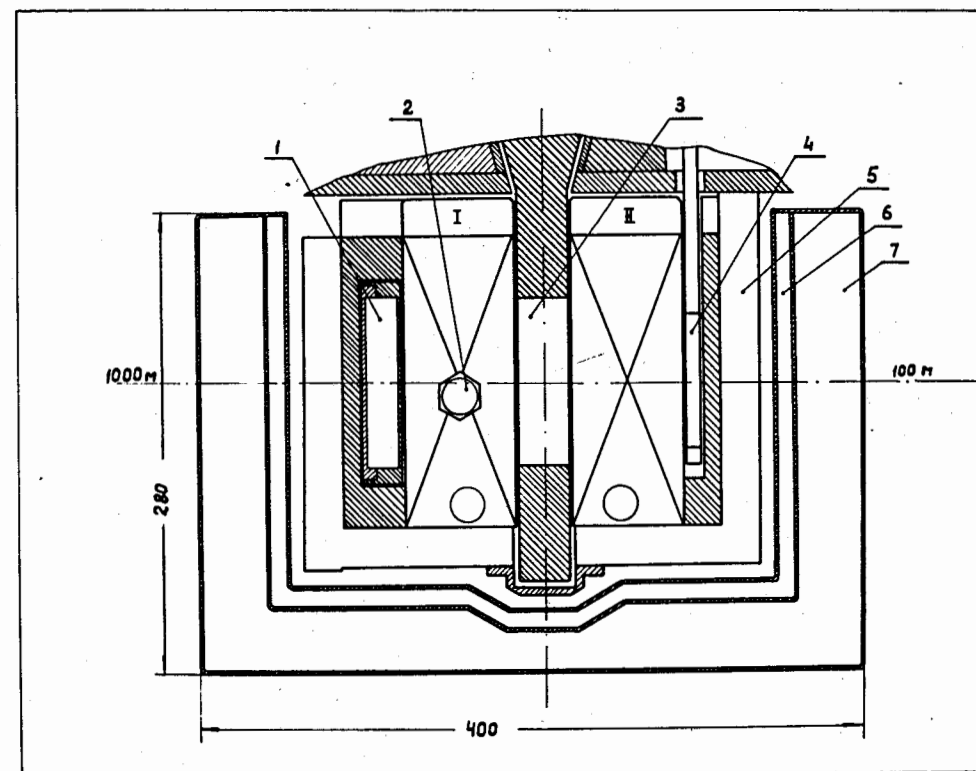


Рис. 1. Активная зона ИБР-30. I, II - кассеты неподвижной зоны, 1 - грубый регулятор, 2 - мишень линейного ускорителя электронов, 3 - основная подвижная зона, 4 - вспомогательная подвижная зона, 5 - отражатель, 6 - экран ( $B_4C$ ), 7 - замедлитель (вода).

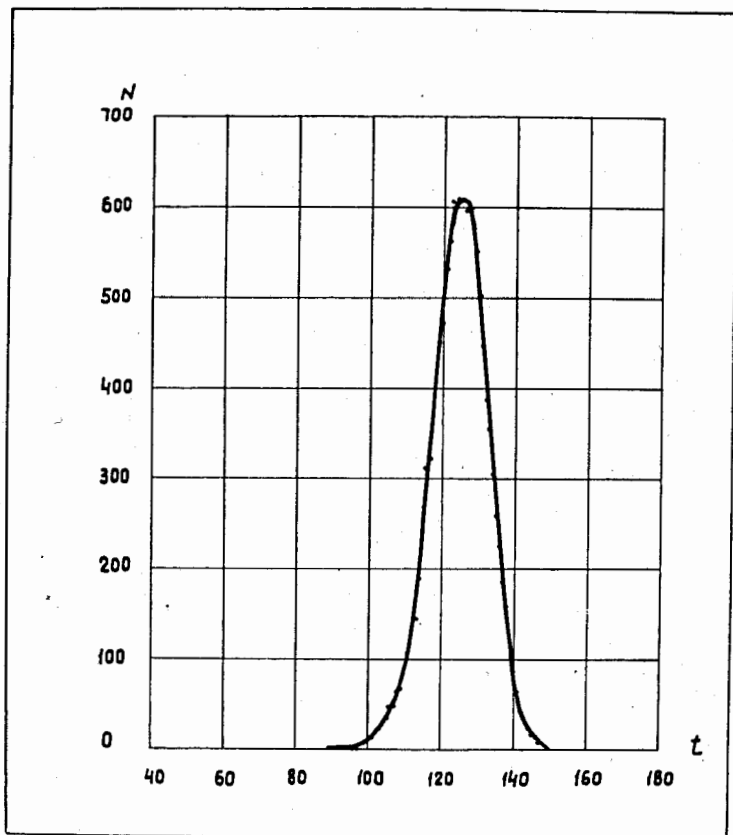


Рис. 2. Форма импульса мощности ИБР-30.  $N$  - счёт в канале анализатора,  $t$  - номер канала анализатора, ширина 4 мксек. Частота импульсов мощности 4 гц, частота вращения диска ОПЗ 50 1/сек.

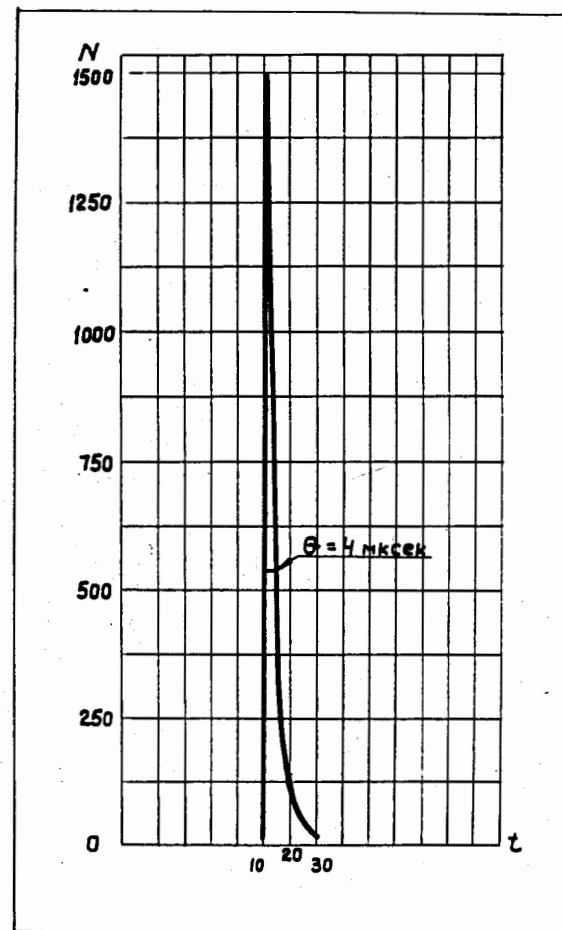


Рис. 3. Форма импульса мощности ИБР-30 в режиме размножения.  $N$  - счёт в канале анализатора,  $t$  - номер канала анализатора, ширина 1 мксек,  $\epsilon_0 = -5 \cdot 10^{-3}$ , длительность импульса электронов инжектора 1,6 мксек.

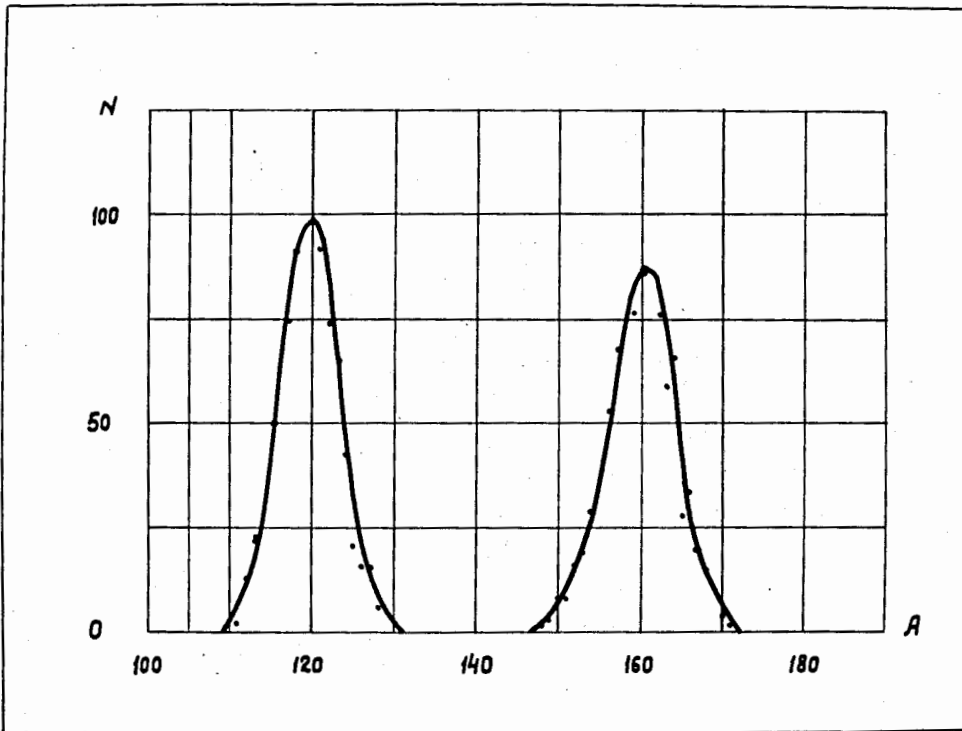


Рис. 4. Амплитудное распределение импульсов мощности ИБР-30. N - счет в канале анализатора, A - амплитуда импульса мощности. Частота импульсов 4 гц. Средняя мощность реактора 10 квт.

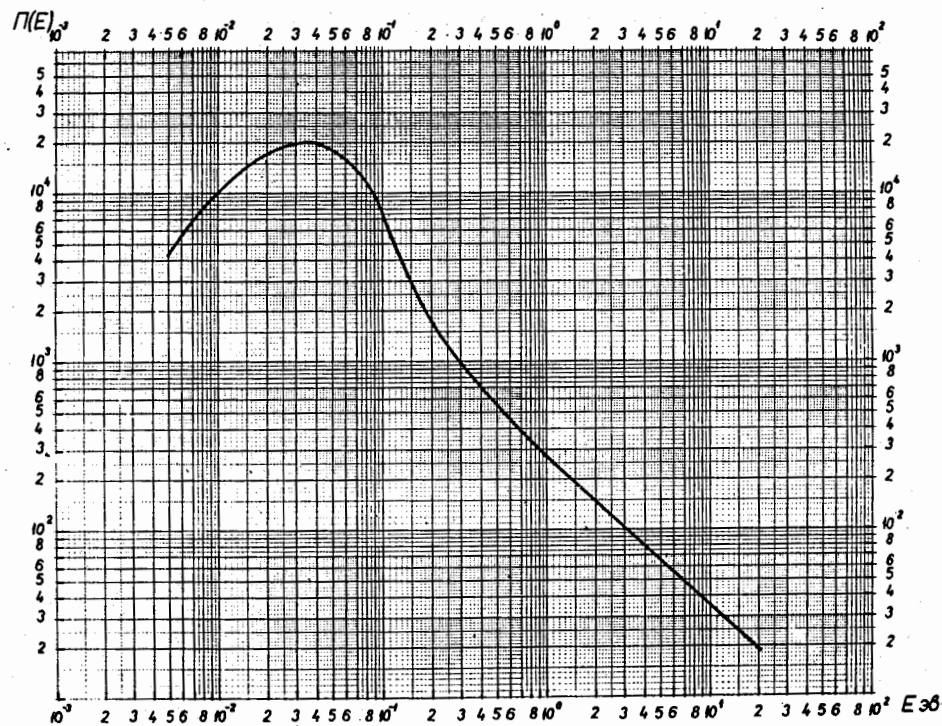


Рис. 5. Энергетическая зависимость потока нейтронов  $\Pi(E)$  н/см<sup>2</sup> сек эв на пучках 1 и 6 ИБР-30 при пролетном расстоянии 100 м и мощности реактора 1 квт. Замедлитель - 40 мм воды. Нейтронвод вакуумирован, кроме начального участка 10 м.

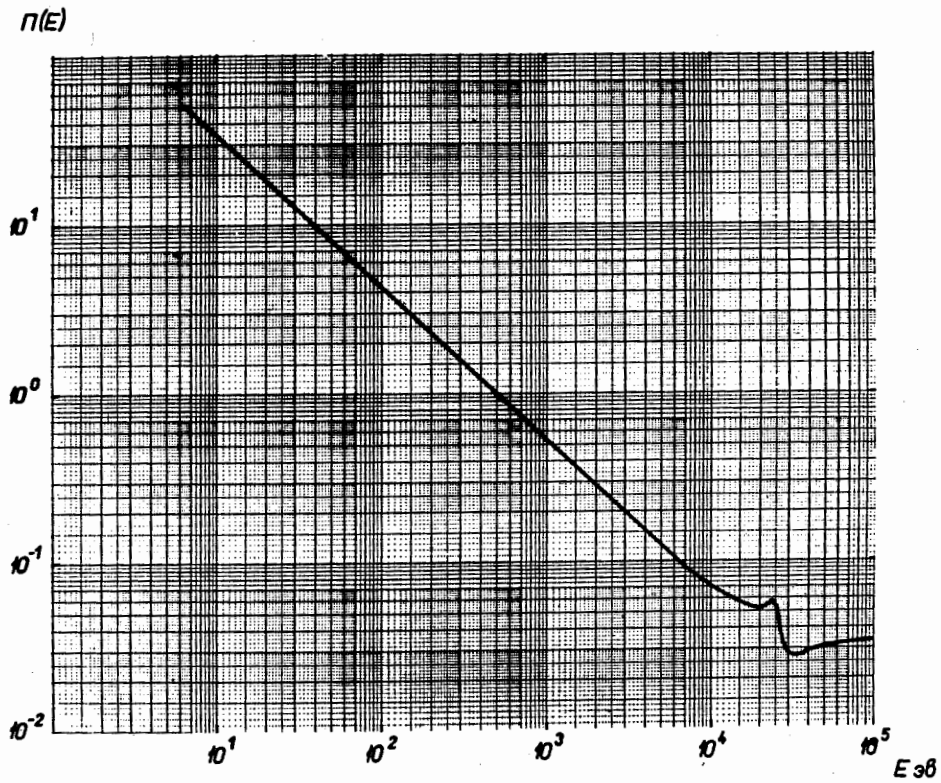


Рис. 6. Энергетическая зависимость потока нейтронов  $\Pi(E)$  н/см<sup>2</sup> сек эв при пролетном расстоянии 100 м и мощности реактора 1 квт. Замедлитель - 40 мм воды.

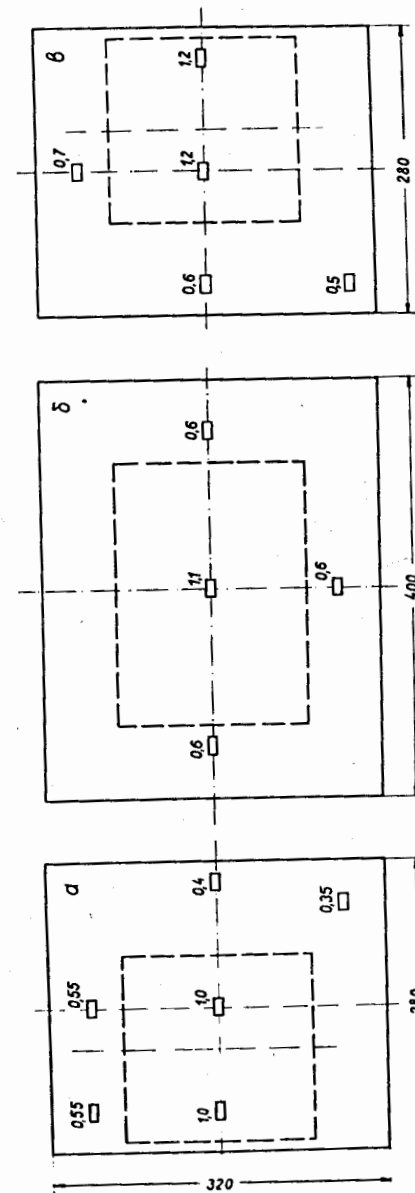


Рис. 7. Схема расположения золотых фольг и относительное распределение потока тепловых нейтронов на поверхности замедлителя: а) со стороны канала №6; б) со стороны экспериментального заа; в) со стороны канала №1. Пунктиром указан контур активной зоны реактора. За 1 принят поток  $2,5 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup> сек при мощности 1 квт.

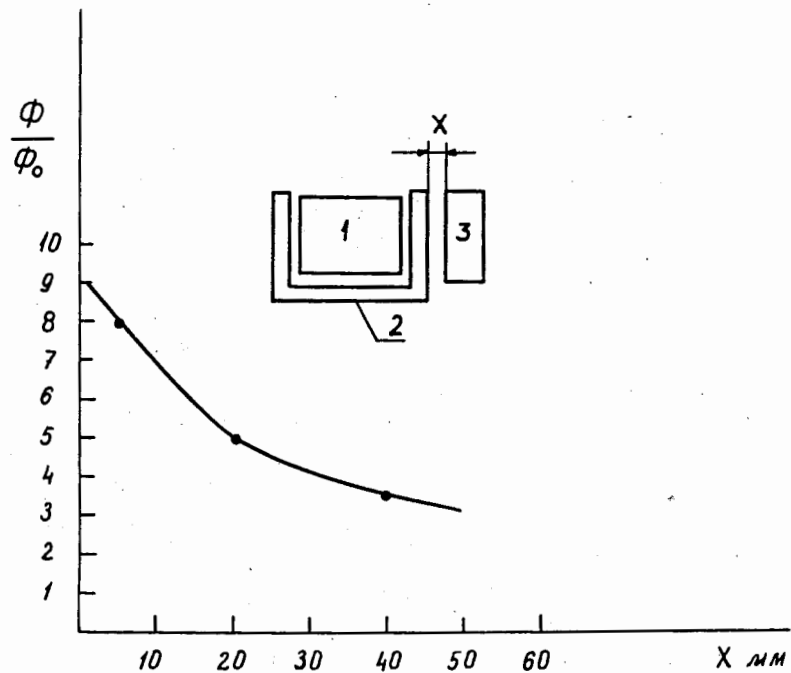


Рис. 8. Коэффициент увеличения потока тепловых нейтронов внутри щели по сравнению с потоком на поверхности основного водяного замедлителя в зависимости от ширины щели  $x$ . В верхней части рисунка показана схема расположения замедлителей. 1 - активная зона реактора; 2 - основной водяной замедлитель, 3 - дополнительный полиэтиленовый замедлитель.

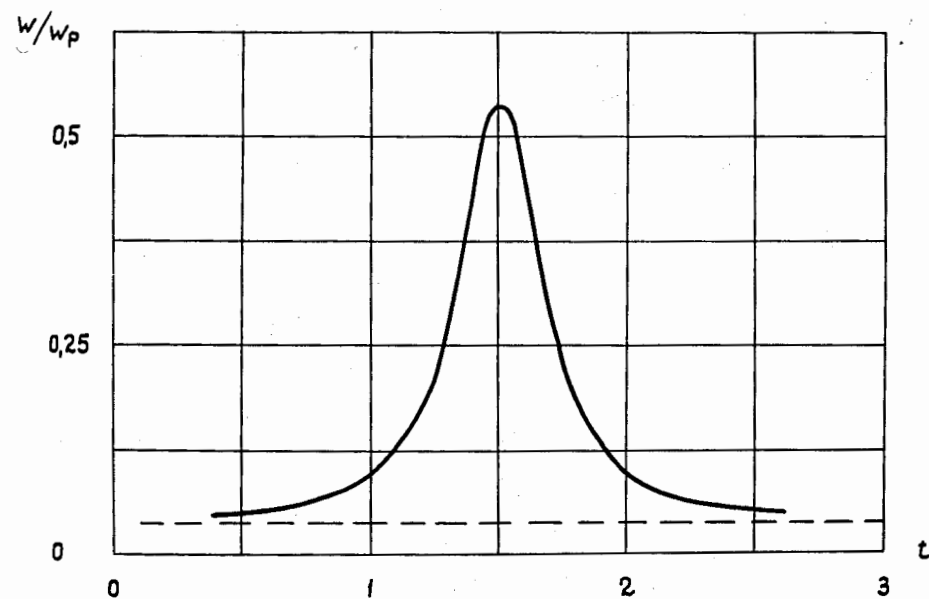


Рис. 9. Расчётная форма побочного импульса мощности (сателлита) реактора ИБР-30 при  $\epsilon_0 = -5 \cdot 10^{-3}$ .  $w/w_p$  - отношение мгновенной мощности к средней мощности реактора,  $t$  - время в мсек.



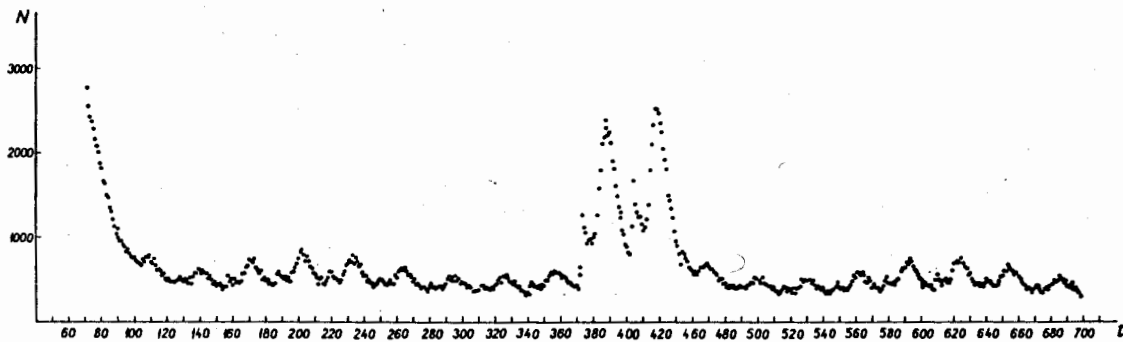


Рис. 10. Участок временного спектра, снятого с борным счётчиком на базе 18 м. Наблюдаемые пики связаны с регистрацией тепловых нейтронов спутников.  $t$  – каналы временного анализатора по 320 мксек.