

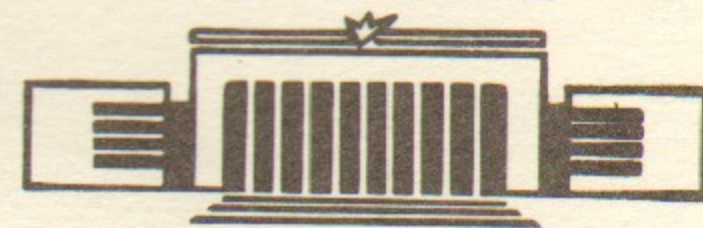
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

А.Ф.Вайсман, А.П.Воронин, О.С.Грибков,  
Б.К.Канимов, В.А.Поляков

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР  
В МОЩНЫХ ПУЧКАХ  
УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

ПРЕПРИНТ 85-87

БИБЛИОТЕКА  
Института ядерной  
физики СО АН СССР  
ИНВ. № \_\_\_\_\_



НОВОСИБИРСК

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В МОЩНЫХ ПУЧКАХ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

А.Ф.Вайсман, А.П.Воронин, О.С.Грибков, Б.К.Канимов, В.А.Поляков

В последние годы проявляется интерес к использованию мощных источников ионизирующего излучения—пучков ускоренных электронов в высокотемпературных процессах неорганической химии твердого тела. Установлено, что воздействие мощного электронного пучка на неорганическое вещество не сводится к чисто термическому, но в ряде случаев наблюдается заметная интенсификация высоко температурных процессов синтеза, разложения, массопереноса, проявляющаяся в изменении их кинетики (1,2,3,4). Подобные процессы невозможно проводить без термической активации (при любых уровнях поглощенной дозы), к ним неприменим такой основополагающий для классической радиационной химии, параметр, как радиационный выход, что позволяет отнести их к новой группе процессов—радиационно-термических (далее РТ-).

Температура — важнейшая характеристика РТ-процесса, точная и непрерывная ее фиксация — необходимое условие РТ-эксперимента. В отличие от традиционного нагревания, измерение температуры образца в мощном пучке электронов имеет определенные трудности и ограничения, практически не описанные в литературе. Рассмотрение этого вопроса и явилось целью данной работы. Все методические эксперименты проводились на промышленных электронных ускорителях ИЯФ СО АН СССР ИЛУ-6 и ЗЛВ-4 (5).

В диапазоне энергий  $1 + 10$  МэВ основная часть энергии электронов, поглощаемой в веществе, идет на возбуждение электронной подрешетки (ионизацию). В момент облучения "электронная" температура вещества несколько выше температуры атомного (ионного) остова, однако можно принять, что средней температурой облучаемого вещества является температура именно атомной подрешетки, поскольку:

а) в области температур выше  $1000^{\circ}\text{K}$  электронные возбуждения

релаксируют до теплового уровня уже за  $10^{-7} + 10^{-11}$  с, при этом выделяющаяся энергия идет на нагрев ионной подрешетки;

б) "электронная" теплоемкость пренебрежимо мала по сравнению с таковой для ионной (порядка 3%).

Калориметрический метод температурных измерений малоприменим из-за неоперативности контроля и непрерывного изменения средней теплоемкости образца в ходе термического процесса. Пирометрический метод, дающий информацию о температуре облучаемой поверхности, непригоден из-за того, что максимум тепловыделения (а, следовательно, и температур) расположен в объеме образца. В облучаемом материале всегда имеется объемное распределение температур, определяемое как характером поглощения энергии электронов в веществе, так и теплопередачей из объема (излучением и конвекцией - с верхней поверхности, теплопроводностью - с нижней поверхности на подложку и стенки держателя образца). Существуют способы "сглаживания" объемного распределения, не рассматриваемые в данной работе, однако можно утверждать, что обеспечить единую температуру во всем объеме облучаемого образца практически невозможно. Поэтому в РТ-экспериментах температуру образца целесообразно оценивать по максимуму. Температура, соответствующая максимуму объемного распределения, принимается за интегральную для всего образца и рассматривается в качестве эталонной при проведении экспериментов сравнения в обычных (нерадикационных) термических условиях. Эксперименты сравнения позволяют достаточно корректно выявить и количественно оценить величину эффекта радиационной активации высокотемпературного процесса.

В свете вышеизложенного, наиболее приемлемым оказывается термопарный метод, при котором спай микротермопары вводится непосредственно в точку расположения температурного максимума облучаемого образца, нагреваемого мощным пучком ускоренных электронов.

При обсуждении вопроса о применимости микротермопар для определения температуры РТ-эксперимента высказывается, обычно, следующее опасение: удельная теплоемкость термопары (Дж/г.К) в той или иной мере отлична от теплоемкости образца. Поскольку в РТ-эксперименте термопара нагревается электронным пучком непосредственно, то детектируемая температура горячего спаи может быть отличной от истинной температуры образца в точке

контакта, т.е.  $\Delta T^X = T_{\text{спая}} - T_{\text{обр.}} \neq 0$

Указанное опасение снимается двумя способами:

1. Количественно определяется систематическая ошибка ( $\Delta T^X$ );
2. Подбираются условия, при которых  $\Delta T^X$  пренебрежимо мало.

Отметим, что расчетным путем  $\Delta T^X$  удастся определить только для простейших "геометрий" облучаемого образца. В реальной же практике, когда на процесс теплообмена накладываются факторы: воздействие подложки, характер контакта спаи-образец и т.д., достаточно точное решение тепловой задачи расчетным путем становится практически невозможным, тем более, что для большинства неорганических полифазных порошковых смесей отсутствуют теплофизические характеристики.

Количественная оценка  $\Delta T^X$ . В момент отключения ускорителя микротермопара, введенная в точку температурного максимума образца, охлаждается до температуры вещества в точке контакта (см. рис. I, участок кривой  $T_0 - T_{\text{рел.}}$ ). Время температурной релаксации ( $\tau_{\text{рел.}}$ ) в зависимости от сечения используемой термопары (6) может меняться от I до 0,1 с (для сечений Pt - Pt + 10% Rh термопар 300 + 30 мкм). Высокотемпературный участок кривой охлаждения (не менее 300 + 500 K) аппроксимируют в виде функции  $T = T_0 \cdot e^{-\alpha \tau^n}$  и экстраполируют на  $T_0$ , определяя  $T_{\text{ист.}}$ . Чем меньше  $\tau_{\text{рел.}}$  и точнее аппроксимация, тем точнее определяется  $T_{\text{ист.}}$ . Проводя указанную калибровку для всей кривой нагревания, фиксируемой в неизотермическом эксперименте, удастся достаточно точно определить истинную кривую нагревания. Описанный метод чрезвычайно трудоемок и предусматривает высокую воспроизводимость экспериментальных условий, не позволяет оперативно корректировать температурный режим в случае самопроизвольного (пусть незначительного) изменения токо-дозного режима облучения. Метод наиболее применим для доз 20 + 40 Мрад/с, при проведении эксперимента в неизотермическом режиме.

Условия, при которых  $\Delta T^X$  пренебрежимо мало. Ниже описаны условия, при которых использование термопар в РТ-экспериментах не сказывается на достоверности температурных измерений. Рассмотрены различные варианты ввода термопар в образец, влияние мощности дозы, температуры подложки и т.д., при этом

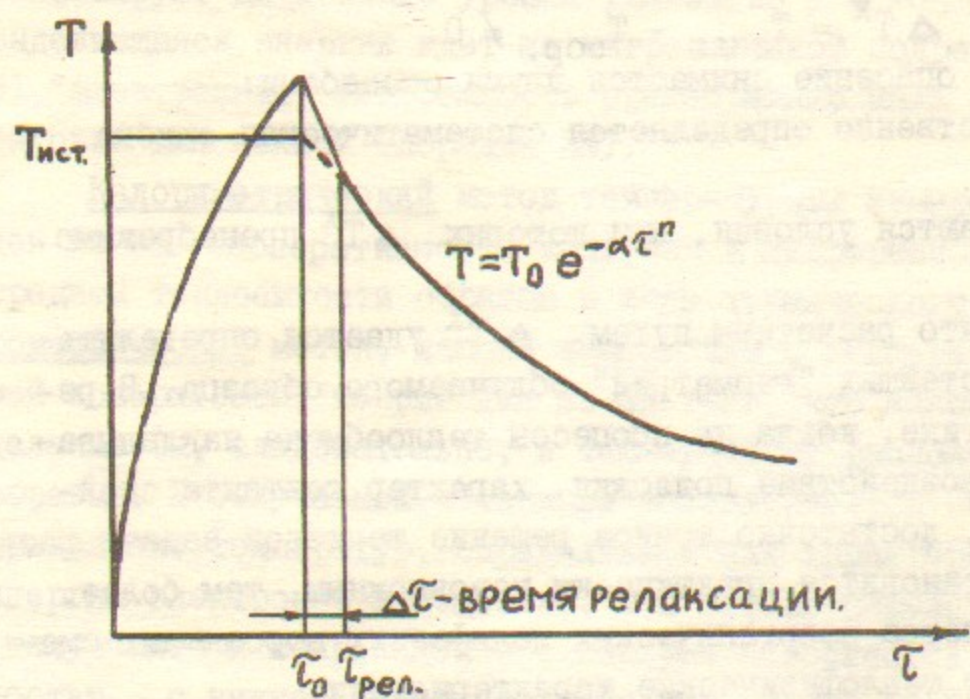


Рис.1. Метод количественной оценки  $\Delta T$ . Пояснения в тексте.

в качестве критерия достоверности температурных измерений использовали температуры плавления реперных соединений:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $853 \pm 1^\circ\text{C}$ ),  $\text{NaFeO}_2$  ( $1320 \pm 20^\circ\text{C}$ ),  $\text{CaF}_2$  ( $1380 \pm 10^\circ\text{C}$ ). Сходный подход уже описан в литературе (7). В экспериментах использовались Pt-Pt + 10% Rh термопары сечением 30+300 мкм, выбранных из-за их высокой химической инертности в области высоких температур практически ко всем неорганическим веществам (за исключением фосфор- и серосодержащих), пластичности, обеспечивающей различные способы ввода в образец, легкости приготовления достаточно чистого спая, широкого диапазона применимости ( $0-1600^\circ\text{C}$ ).

**Вариант I.** Спай термопары запрессован в цилиндрический образец в область расположения температурного максимума. Образец помещен в область поля облучения, принимаемому за изодозную (колебания плотности тока изоэнергетических электронов не превышают  $\pm 2\%$  от средней). Экспериментально рассмотренные варианты приведены на рис.2.

При включении ускорителя происходит нагревание образца, на кривой нагревания всегда наблюдается площадка, соответствующая плавлению образца (рис.3а). При температуре  $T = T_{\text{пл}} - 20^\circ\text{C}$  образец в зоне контакта с термопарой не оплавлен (данные микроскопии). При охлаждении образца (при понижении мощности облучения или же при отключении ускорителя) на кривых охла-

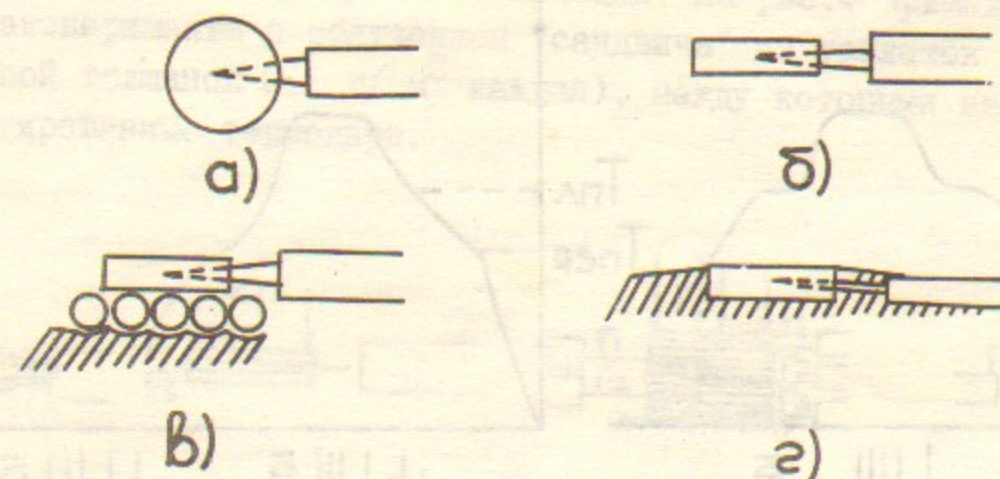


Рис.2. Расположение образца в поле облучения.

- а) вид сверху (по оси действия пучка);
- б) образец висит на термопаре;
- в) образец лежит на подложке из корундовых трубок;
- г) таблетированный образец заглублен в порошок того же в-ва.

дения также фиксируется изотермическая площадка, соответствующая кристаллизации. Во всех экспериментах, при мощностях поглощенных доз не выше 15 Мрад/с детектируемая температура плавления совпадает с истинной с точностью  $\pm 20^\circ$  для всех реперных соединений.

Возникает опасение, что в том случае, когда спай термопары имеет более высокую, чем вещество в зоне контакта, температуру, спай может выступать в качестве нагревателя, а фиксируемая изотермическая площадка плавления - мнимая, не отражающая температуру образца в области спая. Расчет показывает, однако, что спай термопары можно рассматривать как микронагреватель лишь при мощностях дозы выше 30 Мрад/с и существенном перепаде температур спай-вещество: более  $300^\circ$ . Экспериментальным подтверждением правомерности расчета служит тот факт, что уже за 2-3 сек. в зоне спая появляется макрозоная расплава, которую спай, как микронагреватель, обеспечить принципиально не может (при рассматриваемых мощностях дозы). Указанное выше опасение представляется, в свете вышеописанного, неправомерным.

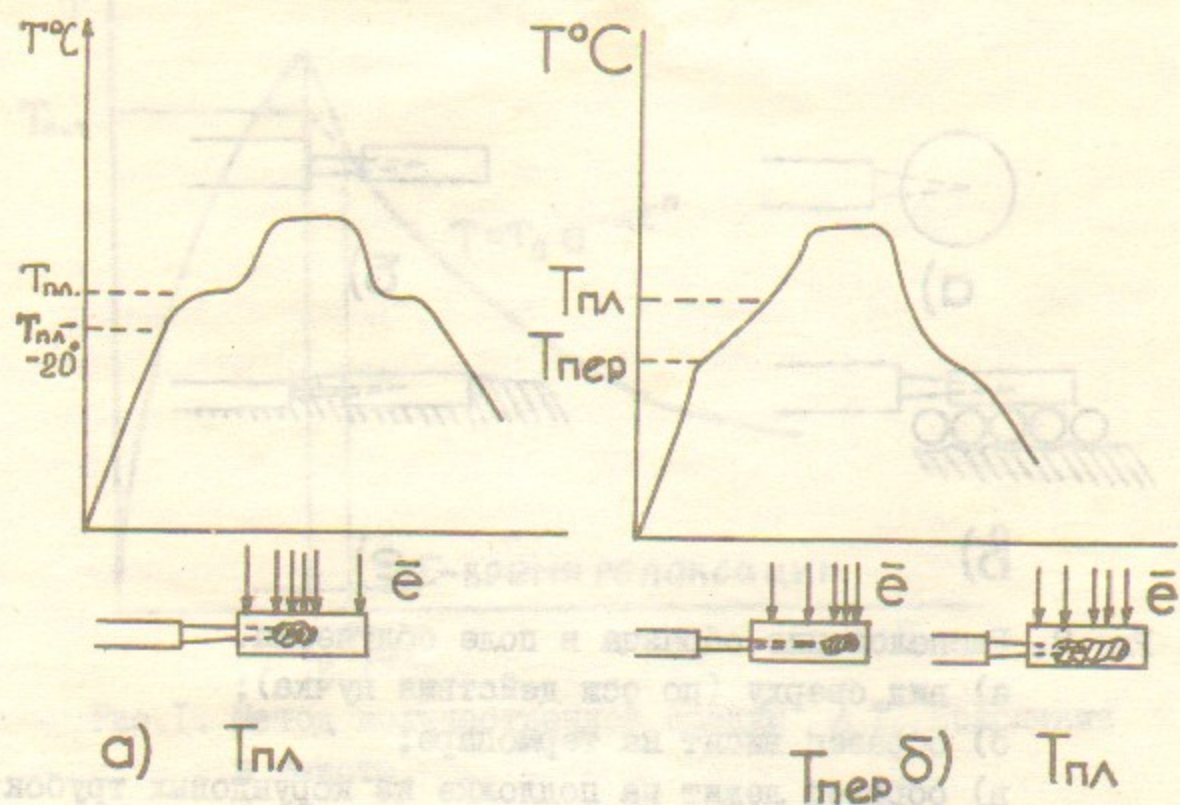


Рис.3. Результаты типичного эксперимента по определению достоверности температурных измерений термопарой с запрессованным в образец спаем. Вещество  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , массовая толщина -  $0,5 \text{ г/см}^2$ ,  $E_{\text{эл.}} = 1,6 \text{ МэВ}$ : а) типичные кривые нагревания и охлаждения при совпадении максимума распределения плотности тока с центром цилиндрического образца. Типичный вид зоны контакта при прохождении площадки плавления; б) аналогичные кривые и вид зоны оплавления в экспериментах со смещенным максимумом.

**Вариант II.** Спаи платиновой термопары сечением  $150-250 \text{ мкм}$  прокатываются в валках до толщины  $50-75 \text{ мкм}$  и вводятся между двумя таблетированными частями образца на уровень массовой толщины (2), соответствующей зоне температурного максимума. Обычно зазор между частями образца не превышает  $100 \text{ мкм}$  (при максимально возможной плоскостности прокатанного спаи), практически не нарушая целостности образца. Многократными экспериментами установлено, что уровень достоверности температурных измерений для фольгированного спаи (а также термопар сечением порядка  $30 \text{ мкм}$ ) полностью идентичен рассмотренному выше Варианту I.

Использование термопар с плоским спаем позволяет сделать некоторые выводы об осевом распределении температур в образце, и факторах, на него влияющих. На рис.4 приведена схема эксперимента с облучением "сэндвича" из таблеток  $\text{CaO}$  (массовой толщиной  $0,1 \text{ г/см}^2$  каждая), между которыми введены фольгированные термопары.

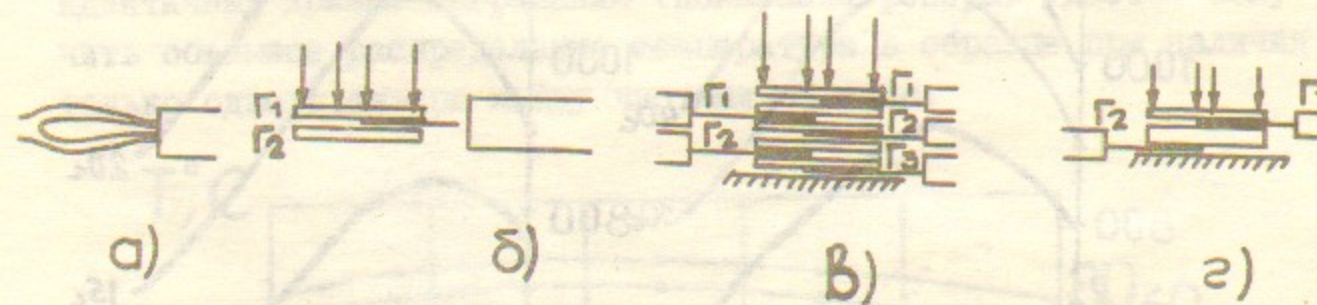


Рис.4. Схемы экспериментов с фольгированным спаем.

- а) внешний вид спаи (сверху);
- б) установка спаи ( $\Gamma_1 + \Gamma_2 = \Gamma_{\text{общ.}} = 0,5 \text{ г/см}^2$ );
- в) "сэндвич" - эксперимент  $\Gamma_1 + \Gamma_2 + \dots + \Gamma_5 = 0,1 \text{ г/см}^2$ ;
- г) эксперимент с переменным соотношением  $\Gamma_1/\Gamma_2$  при  $\Gamma_{\text{общ.}} = 0,5 \text{ г/см}^2$ .

На рис.5 приведены распределения температур для трех режимов облучения (нагревания) в различные моменты времени неизотермического нагревания такого "сэндвича". Температура на внешней поверхности образца получена соответствующей экстраполяцией. Видно, что увеличение экспозиции приводит к монотонному смещению температурного максимума в сторону большей массовой толщины (к точке расчетного расположения температурного максимума ( $0,25 \text{ г/см}^2$  для данного эксперимента)). Повышение мощности дозы приводит к увеличению осевого градиента температур, достигающего при  $10 \text{ Мрад/с}$   $600^\circ\text{C}$ . Приведимые данные однозначно свидетельствуют о существенной роли осевого теплоотвода из образца на холодную подложку: прогревание подложки, чему способствует уменьшение темпа нагревания (мощности дозы) и увеличение экспозиции, приводит к уменьшению осевого теплоотвода и, соответственно, уменьшению осевого температурного градиента и симметризации распределения относительно темпера-

турного максимума.

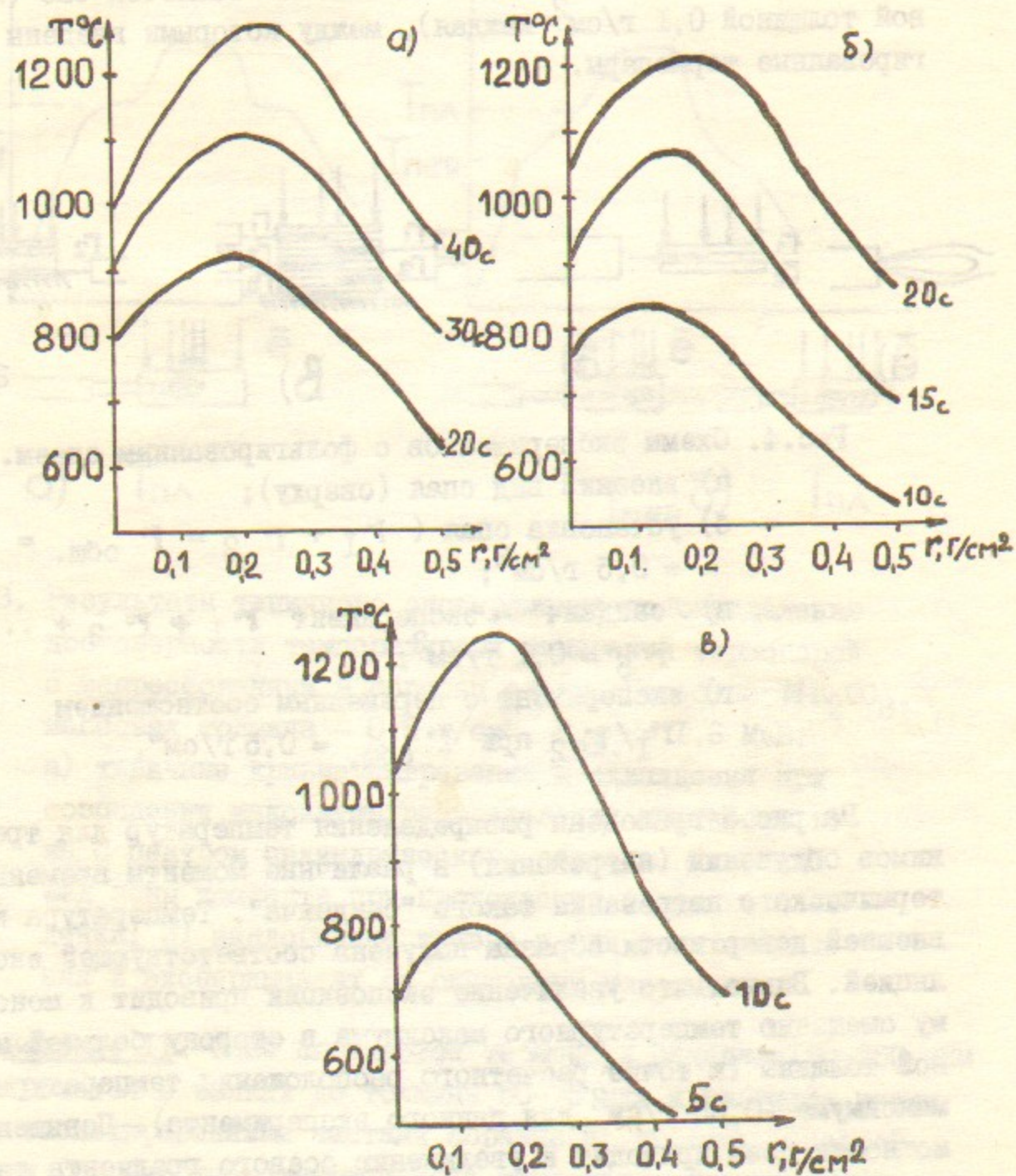


Рис.5. Распределение температур в "сэндвиче" CaO при неизотермическом нагревании: а) 2 Мрад/с; б) 6 Мрад/с; в) 10 Мрад/с.

На рис.4г приведена схема эксперимента по определению температур в образце, составленном из двух частей с перемен-

ным соотношением  $\Gamma_1/\Gamma_2$  при  $\Gamma_1 + \Gamma_2 = 0,5 \text{ г/см}^2$ . Образец нагревался пучком при мощности поглощенной дозы 6 Мрад/с, в качестве репера использовались показания термодпары, установленной между образцом и подложкой ( $\Gamma = 0,5 \text{ г/см}^2$ ). Кривые нагревания получены для дискретного набора  $\Gamma_1/\Gamma_2$ : 0,1; 0,16; 0,20; 0,25; 0,30; 0,33 и 0,40. Меняя соотношения  $\Gamma_1/\Gamma_2$  при идентичных кривых нагревания (показания репера) удается получить объемное распределение температуры в образце при наличии только одного зазора между частями образца.

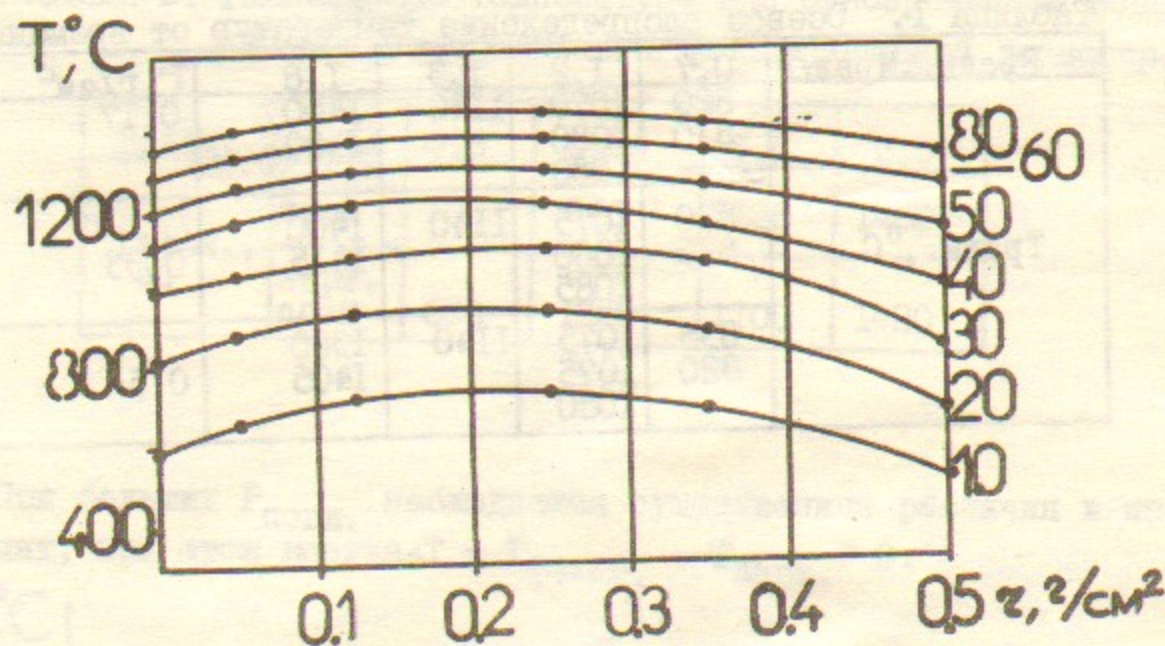


Рис.6. Распределение температур в "сэндвиче" CaO с одним зазором.  $P = 6 \text{ Мрад/с}$ .

Из данных, приведенных на рис.6, следует, что по сравнению с предыдущим экспериментом (рис.5) перепад температур при данной мощности дозы уменьшается с 420 до 130 К, а в интервале  $0,1 + 0,4 \text{ г/см}^2$  температура близка к постоянной ( $\pm 10 + 30 \text{ К}$ ). Таким образом, зазоры между частями образца, в которые вводится термодпара, носят характер "тепловых сопротивлений" - за счет меньшей теплопроводности воздуха в зазоре по сравнению с материалом образца. Уменьшение числа тепловых сопротивлений (с 4 до 1) приводит к заметному выравниванию температуры по оси действия пучка электронов и увеличению теплопотерь на прогревание подложки (что приводит к замедлению скорости нагревания).

Описанная методика может быть успешно применена для определения интегральной температуры образца в РГ-экспериментах, при этом форма распределения температур будет индивидуальна для каждого объекта в зависимости от мощности поглощенной дозы, теплофизических характеристик материала и подложки, геометрических размеров и т.д.

Рассмотренные выше данные относятся к условиям неизотермического нагревания для нестационарных условий теплопередачи. В случае изотермического процесса при достаточно больших экспозициях (10 мин.) наблюдается практически полное выравнивание осевого распределения температур (табл. I).

Таблица I. Осевое распределение температур от времени.

Рравн., Мрад/с	0,7	1,2	1,3	1,8	$\Gamma$ , г/см <sup>2</sup>
Травн., °С	820 810	1070 1080 1080	1140	1400 1400	0,17
	830 835	1075 1080 1085	1140	1400 1415	0,33
	835 820	1075 1075 1080	1140	1380 1405	0,5

**Вариант III.** Наименее трудоемкий вариант вертикального ввода термопары в облучаемый образец. По оси цилиндрического образца высверливается отверстие, соответствующее диаметру спая, на глубину, соответствующую положению температурного максимума (рис. 7). В ряде экспериментов в качестве контрольной использовалась фольгированная термопара ("сэндвич" из двух таблеток). Подложка и подсыпка использовались из того же, что и образец, материала. Как следует из табл. 2, при мощностях поглощенной дозы до 2,5 Мрад/с, заметных расхождений между показаниями вертикальной и фольгированной термопар не наблюдается (в том числе и на неизотермическом участке кривой нагревания).

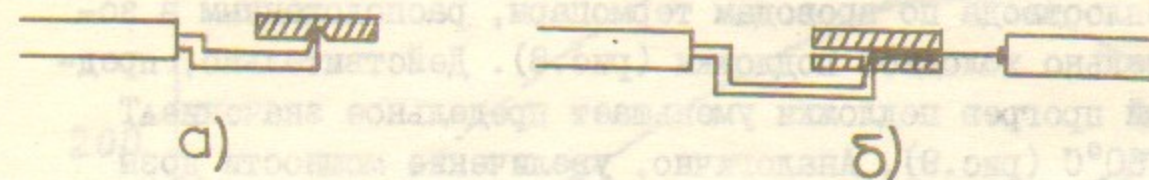


Рис. 7. а) Вертикальный ввод термопары; б) совместное измерение температуры термопарой с фольгированным спаем и вертикально введенной термопарой.

Таблица 2. Равновесные температуры при одновременном использовании вертикальной и фольгированной термопар.

Рравн., Мрад/с	0,6	0,86	1,5	2,5	
Травн., °С	фольг. спай	700	860	1120	1460
	верт. спай	680	850	1100	1420

При больших  $R_{\text{погл.}}$  наблюдаются существенные различия в показаниях, при этом всегда  $\Delta T = T_{\text{фольг.}} - T_{\text{верт.}} > 0$ .

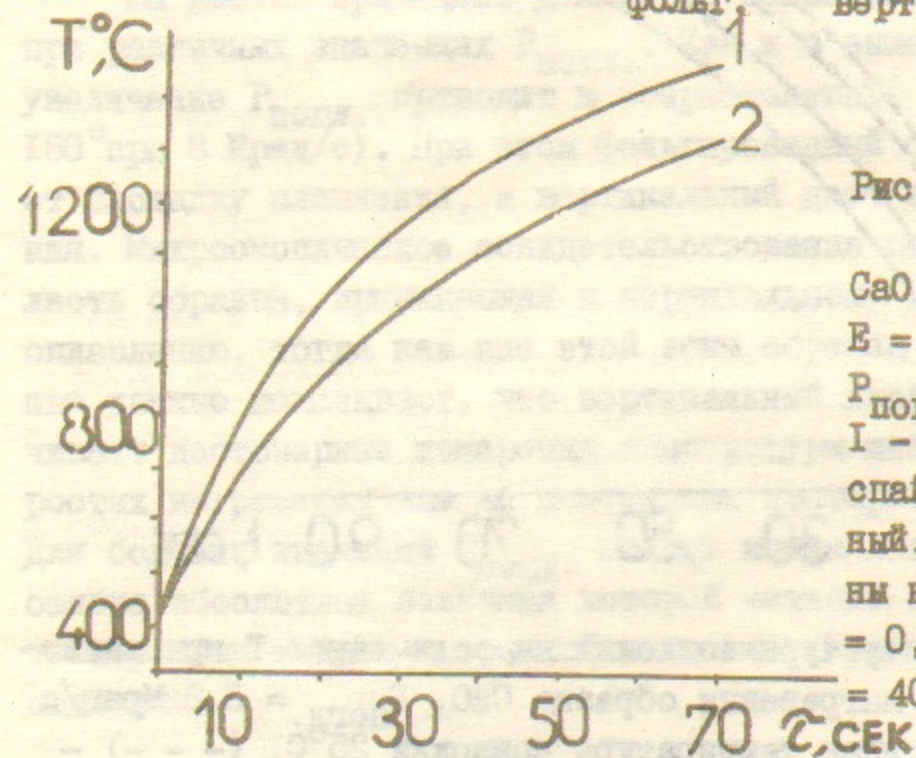


Рис. 8. Кривые нагревания образца CaO ( $\Gamma = 0,5$  г/см<sup>2</sup>;  $E = 1,5$  МэВ;  $R_{\text{погл.}} = 4,5$  Мрад/с. 1 - фольгированный спай, 2 - вертикальный. Термопары введены на глубину  $\Gamma = 0,25$  г/см<sup>2</sup>  $T_{\text{подл.}} = 400^\circ\text{C}$ .

Расхождения связаны с занижением показаний вертикального спая за счет теплоотвода по проводам термопары, расположенным в зоне сравнительно холодной подложки (рис.8). Действительно, предварительный прогрев подложки уменьшает предельное значение  $\Delta T$  со 120 до 60°C (рис.9). Аналогично, увеличение мощности дозы в процессе неизотермического нагревания сопровождается возрастанием  $\Delta T$  (рис.10). Повышение скорости нагревания приводит к возрастанию осевого перепада температур и, следовательно, к возрастанию теплоотвода по проводам вертикальной термопары. Как видно из рис.10, в процессе неизотермического нагревания прогрев подложки приводит к уменьшению  $\Delta T$  (увеличение экспозиции). При отключении пучка происходит выравнивание температур,  $\Delta T \rightarrow 0$  (тем более резко, чем больше абсолютное значение  $T$ ), при дальнейшем остывании  $\Delta T$  меняет знак (более глубоко расположенные зоны остывают медленнее).

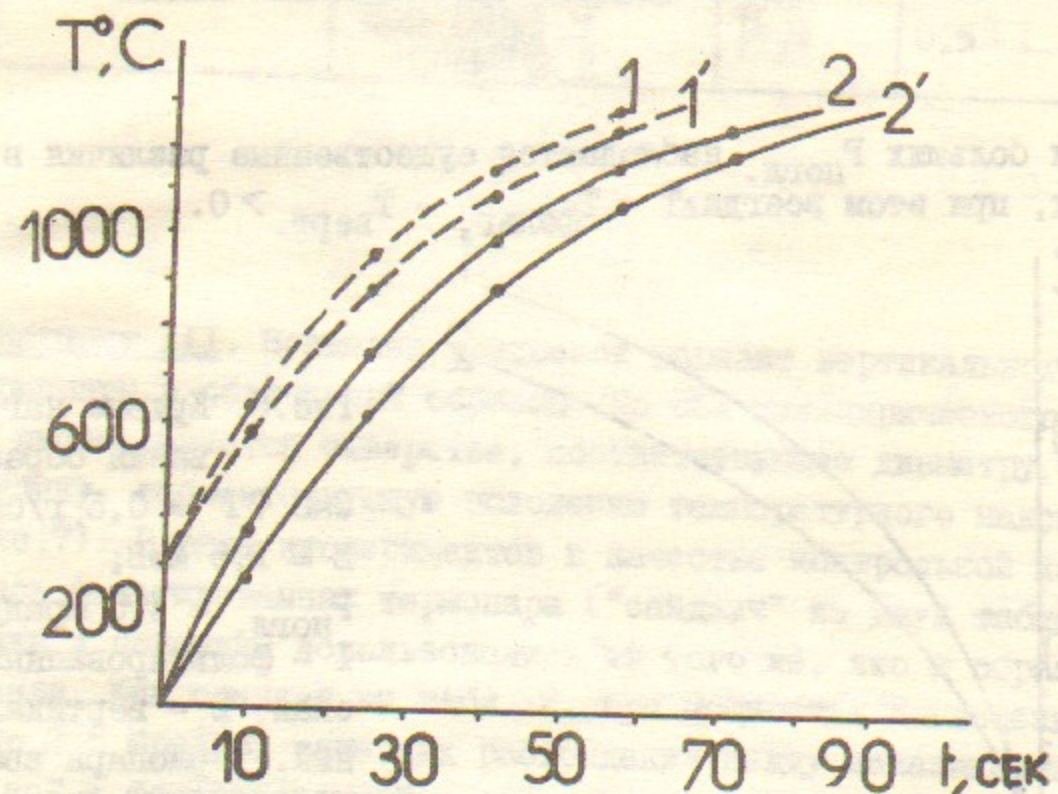


Рис.9. Влияние температуры подложки на величину  $\Delta T$  при неизотермическом нагревании образца  $\text{CaO}$ .  $R_{\text{подл.}} = 3,2 \text{ Мрад/с}$  (—) — исходная температура подложки 25°C, (---) — 300°C. Прочие характеристики аналогично рис.8.

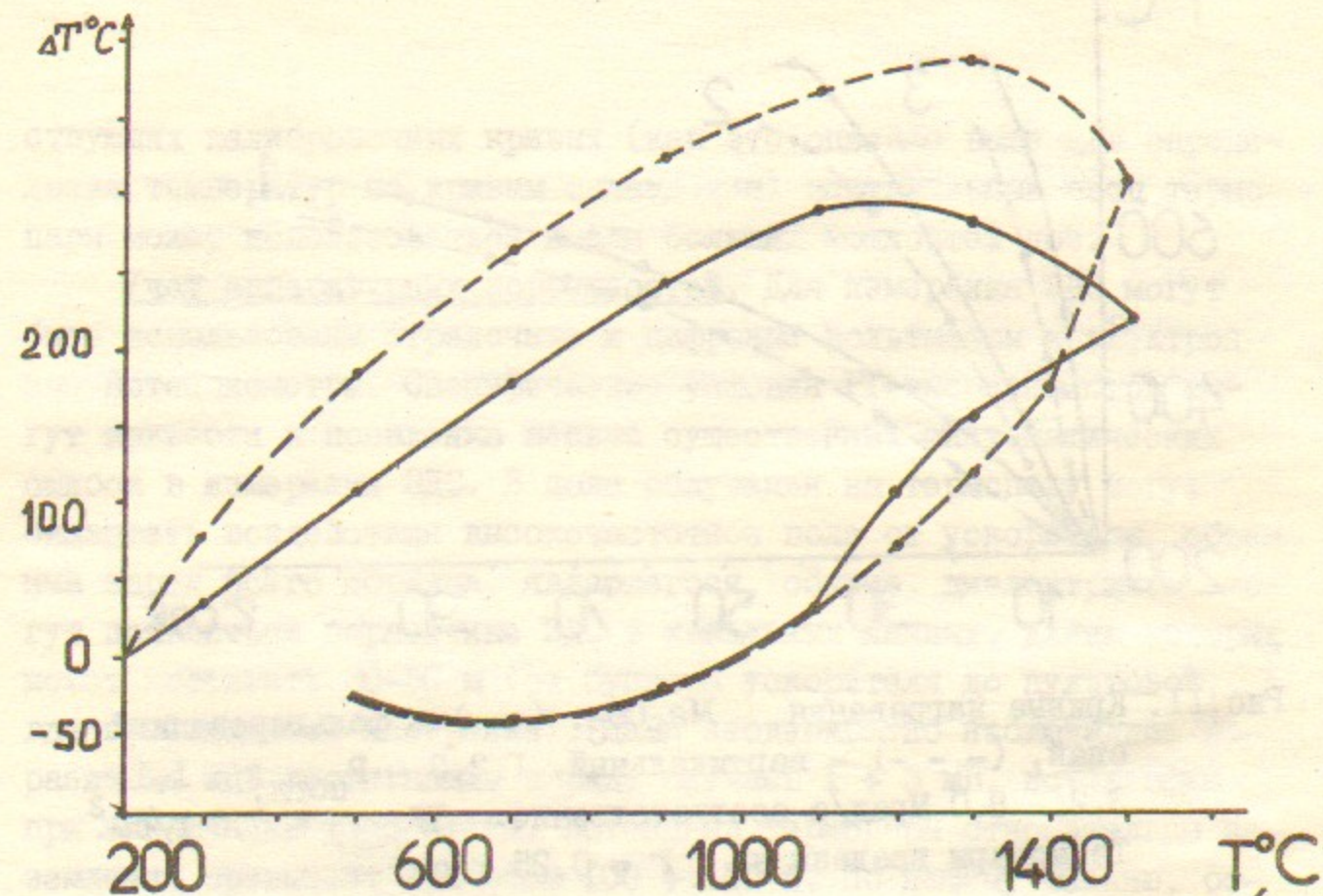


Рис.10. Влияние мощности дозы  $P$  на величину  $\Delta T = T_{\text{фольг.}} - T_{\text{верт.}}$ .  $\bar{P}_2/\bar{P} = 1,57$ . (---) —  $P_2$ , (—) —  $P_1$ . Все характеристики — аналогично рис.8,9.

На рис.11 приведены данные по нагреванию образцов  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при различных значениях  $R_{\text{подл.}}$ . Как и в вышеописанных случаях, увеличение  $R_{\text{подл.}}$  приводит к возрастанию  $\Delta T$  (50° при 1,1 и 150° при 8 Мрад/с). При этом фольгированный спай четко фиксирует площадку плавления, а вертикальный дает заниженные показания. Микроскопическое освидетельствование показывает, что область образца, примыкающая к вертикальному спая, не подвергается оплавлению, тогда как вне этой зоны образец оплавлен. Приведенные данные показывают, что вертикальный ввод термопары обеспечивает достоверные измерения температуры лишь при малых скоростях нагревания или же длительных изотермических экспозициях. Для больших значений  $R_{\text{подл.}}$  всегда имеет место систематическая ошибка абсолютная величина которой зависит от мощности дозы, температуры подложки, теплофизических характеристик образца и подложки.



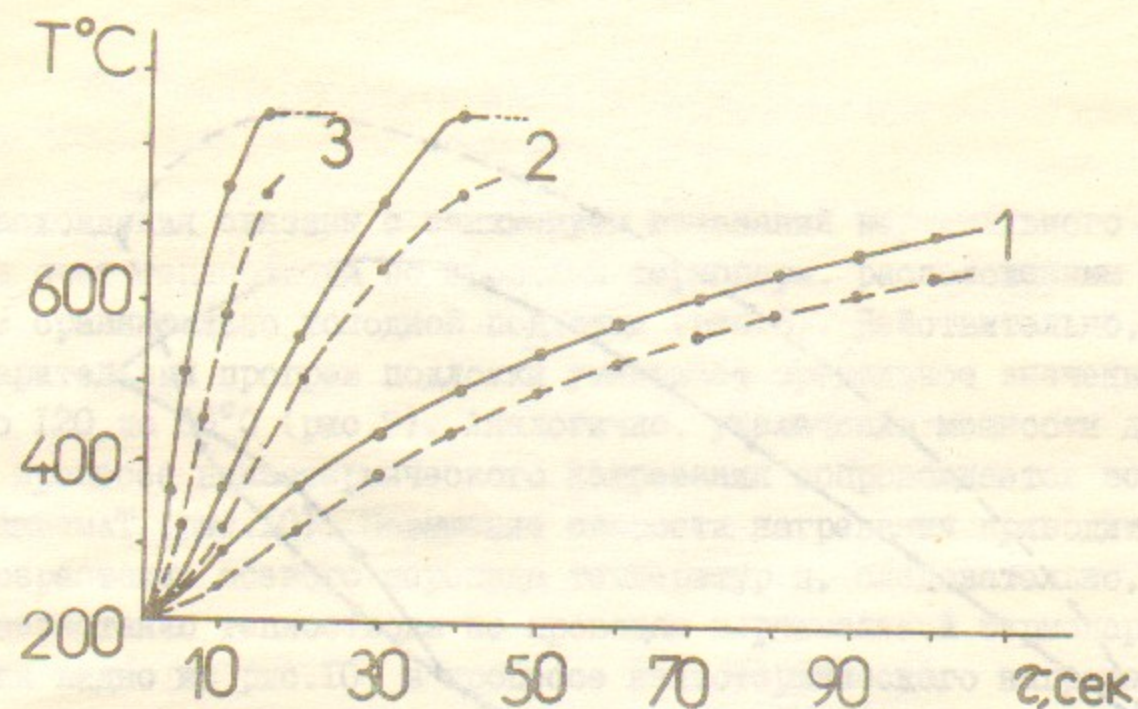


Рис.11. Кривые нагревания  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . (—) — фольгированный спай, (---) — вертикальный. 1, 2, 3 —  $R_{\text{погл.}} = 1, 1; 3, 2; 8, 0$  Мрад/с соответственно.  $R_{\text{общ.}}^* = 0, 5$  г/см<sup>2</sup>. Термопары введены на  $R = 0, 25$  г/см<sup>2</sup>.

Область применения рассмотренных вариантов. Фольгированная термопара может быть применена практически для всех РТ-процессов за исключением: а) в образце содержатся вещества, вступающие в химическое взаимодействие с материалом термопары; б) в процессе эксперимента в образце появляется некоторое количество расплава (при охлаждении образца спай заливает и не может быть использован в дальнейшем). "Запрессованный" спай целесообразно использовать в тех случаях, когда прессование образца нежелательно или невозможно. В качестве держателя образца используется полый керамический цилиндр из материала, химически инертного по отношению к материалу образца в рассматриваемом интервале температур и близкими теплофизическими характеристиками. Сначала в цилиндр засыпается навеска массовой толщиной  $R_2$ , поверхность выравнивается, через прорезь в стенке цилиндра вводится термопара, затем в цилиндр засыпается вторая часть навески массовой толщиной  $R_1$ .  $R_1 + R_2 = R_{\text{общ.}}^*$ , выбираемой в зависимости от энергии электронов. Термопара введена в точку расположения температурного максимума ( $R_1$ ). Вертикальный ввод термопары допустим в экспериментах, требующих длительной изотермической экспозиции при условии, что неизотермическая стадия процесса незначительна. При наличии соответ-

ствующих калибровочных кривых (как это описано выше для определения температур по кривым охлаждения) вертикальный ввод термопары может использоваться и для больших мощностей доз.

Учет аппаратурных погрешностей. Для измерения ЭДС могут быть использованы стрелочные и цифровые вольтметры и электронные потенциометры. Специфические условия РТ-экспериментов могут привести к появлению весьма существенных систематических ошибок в измерении ЭДС. В поле облучения на термопару могут оказывать воздействия высокочастотное поле от ускорителя, объемный заряд всего образца, являющегося, обычно, диэлектриком. Могут появляться паразитные ЭДС в кабельных линиях, длина которых может достигать 30–50 м (от бункера ускорителя до пультной, где производятся измерения). Нами неоднократно наблюдались паразитные ЭДС достигающие в ряде случаев  $1 + 3$  мВ, исчезающие при выключении ускорителя. Потенциал термопары относительно заземления превышает при этом  $100 + 150$  В. По нашему мнению, основную роль в создании паразитных ЭДС играет электрический заряд, накапливаемой в объеме образца в момент облучения.

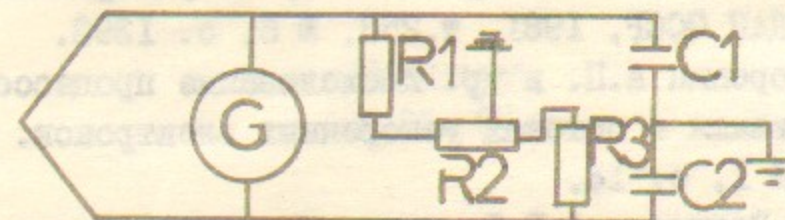


Рис.12. Схема RC-цепочки, вводимой в цепь измерений для устранения паразитных ЭДС.  $R_1 = R_3 = 10$  кОм,  $R_2 = 1$  кОм,  $C_1 = C_2 = 5$  мкФ.

Суммарные сопротивления кабельных линий термопарной цепи обычно неравны ( $\Delta R = R^+ - R^- \neq 0$ ), также как и их емкости ( $C^+ \neq C^-$ ). Если на спаях термопары присутствует инжектированный электрический заряд, то на входе измерительного прибора появляется паразитная ЭДС того или иного знака. Для устранения такого эффекта рекомендуется RC-цепочка, неоднократно использованная нами в РТ-экспериментах (рис.12). Если в форопытах, предшествующих РТ-эксперименту, фиксируется паразитная ЭДС (в момент отключения ускорителя — резкий скачок показаний), то,

меняя положение реохорда на резисторе  $R_2$ , добиваются устранения наводки. Отметим, что паразитные ЭДС могут появляться и исчезать в рамках одной серии экспериментов, что связано с недостаточной воспроизводимостью условий стекания объемного заряда (условия установки образца), поэтому контроль за паразитными ЭДС и их устранение - необходимое условие РТ - экспериментов.

#### Л и т е р а т у р а:

1. Абрамсон И.Г., Вайсман А.Ф. и др. Исследование высокотемпературных радиационно-термических процессов в мощных потоках ускоренных электронов. - Тр. 3-го Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве /26-28 июля 1979 г.) - Л.: НИИЭФА им. Ефремова, 1980, с.37.
2. Воронин А.П., Нероков В.А. и др. Радиационно-термический эффект при спекании оксида европия в пучке ускоренных электронов. - ДАН СССР, 1981, т.258, № 6, с. 1393.
3. Егоров Г.Б., Воронин А.П. и др. Исследование процессов клинкерообразования в потоках ускоренных электронов. - Цемент, 1982, № 1, с. 14.
4. Абрамсон И.Г., Волконский Б.В. и др. Получение портландцементного клинкера в пучке ускоренных электронов. - ДАН СССР, №1976, т.230, № 6, стр. 1395.
5. Ауслендер В.Л., Салимов Р.А. и др. Мощные электронные ускорители и радиационная технология. - Вестник АН СССР, 1981, № 6, с.12.
6. Горяев А.Н., Малков Я.В., Эдгард Н.Н. Точность контактных методов измерения температуры. М., Изд. Стандартов, 1976.
7. Bianchi M., Maretti K. Behaviour of thermocouple under irradiation. - *Energia Nucleare (Ita1)*, 1964, v.11, p426

А.Ф.Вайсман, А.П.Воронин, О.С.Грибков,  
Б.К.Канимов, В.А.Поляков

#### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В МОЩНЫХ ПУЧКАХ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Препринт  
№ 85-87

Работа поступила - 23 апреля 1985 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов  
Подписано к печати 12.07-1985 г. МН 05826  
Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.1,4 печ.л., 1,1 учетно-изд.л.  
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 87.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90