

активной зоны, рассчитанных по теории возмущения и численным методом при аппроксимации распределения четырьмя угловыми гармониками.

Распределение плотности потока тепловых нейтронов в отражателе показано (в произвольных единицах) на рис. 2 и 3. Как следует из рис. 2, максимальный «всплеск» потока нейтронов в отражателе достигается всюду приблизительно на расстоянии 8 см от края активной зоны, а его величина зависит от угла. При этом максимальное значение этого «всплеска» приблизительно на 13% выше его минимального значения.

Авторы глубоко признательны А. Д. Галанину за ценные советы и постоянный интерес к работе.

Поступило в Редакцию 15/XI 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Г а л а н и н. Теория ядерных реакторов на тепловых нейтронах. М., Атомиздат, 1959.
2. А. Д. Г а л а н и н. Теория гетерогенного реактора. М., Атомиздат, 1971.

Исследование диаграмм плавкости тройных систем, содержащих хлориды магния, кальция три- и тетрахлорид урана

В. Н. ДЕСЯТНИК, Ю. Т. МЕЛЬНИКОВ, С. П. РАСПОПИН, И. И. ТРИФОНОВ

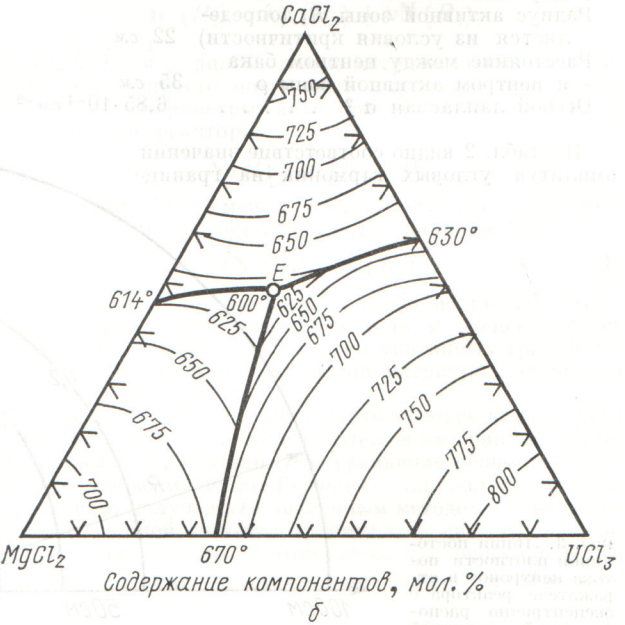
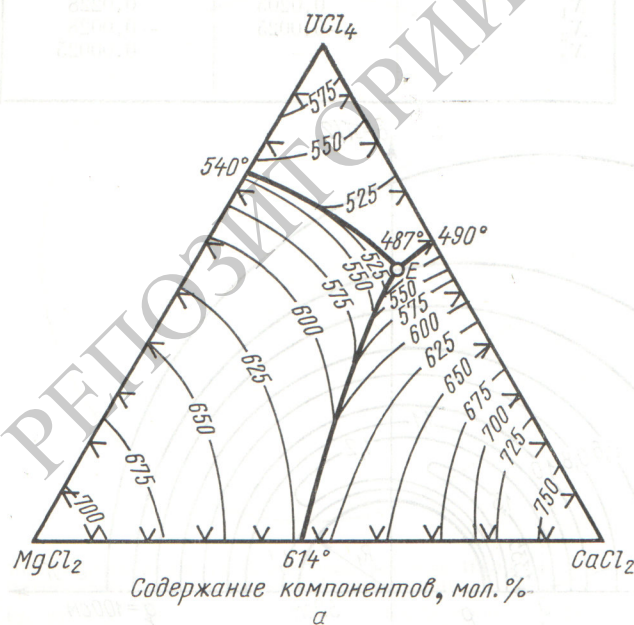
УДК 546.791.6

В настоящее время расплавленные соли, содержащие три- и тетрахлорид урана, находят применение при рафинировании и получении металлического урана электрохимическим способом [1—3]. Тем не менее поведение хлоридов урана в тройных расплавах щелочноземельных металлов изучено недостаточно. Ниже излагаются результаты исследования тройных систем, содержащих хлориды магния, кальция, три- и тетрахлорид урана.

Исследование проводили дифференциально-термическим методом [4—5] с использованием рентгеновского анализа. Хлориды щелочноземельных металлов марки ч. д. а. готовили по известной методике [6]. Тетрахлорид урана получали из свежеприготовленной  $UO_2$  [7]. Для приготовления трихлорида урана брали ранее приготовленный тетрахлорид и восстанавливали в токе водорода по реакции  $UCl_4 + 0,5H_2 \rightarrow UCl_3 + HCl$ .

После восстановления полученный трихлорид урана вакуумировали при  $850^\circ C$  в течение 3 ч. Приготовленные таким образом исходные вещества имели следующие температуры плавления:  $MgCl$   $716 \pm 2^\circ C$ ;  $CaCl$   $780 \pm 2^\circ C$ ;  $UCl_4$   $590 \pm 2^\circ C$ ;  $UCl_3$   $835 \pm 2^\circ C$ . Эти значения хорошо согласуются с ранее опубликованными [8]. Атомное отношение хлора к урану (IV, III) для хлоридов урана соответственно равнялось 4,01 и 3,02. Полученные хлориды вследствие их высокой гигроскопичности хранились в сухой камере.

Для проведения дифференциально-термического анализа готовили навеску, которую загружали в тигель из нитрида бора, помещенный в кварцевую пробирку, плотно закрытую резиновой пробкой. Ячейку вакуумировали, заполняли очищенным аргоном, затем навеску сплавляли. Расплавы выдерживали в течение 1 ч для полной гомогенизации, после чего охлаждали со ско-



Диаграммы плавкости систем  $MgCl_2 - UCl_4 - CaCl_2$  (а) и  $MgCl_2 - UCl_3 - CaCl_2$  (б).

ростью 3—5 град/мин. Полученные термограммы расфигуровывали по известным методикам [9, 10].

На основании полученных результатов на рисунке изображены поверхности первичной кристаллизации систем  $MgCl_2 - UCl_4 - CaCl_2$  и  $MgCl_2 - UCl_3 - CaCl_2$ . Для построения поверхности ликвидуса были использованы данные о двойных системах. Система  $MgCl_2 - CaCl_2$  изучалась Менде [11] и А. И. Ивановым [12]. Изученные системы  $MgCl_2 - UCl_4$ ;  $MgCl_2 - UCl_3$  и  $CaCl_2 - UCl_4$  относятся к простым эвтектическим. Температура плавления эвтектики  $UCl_4 - 26$  мол. %  $MgCl_2$  равна  $540 \pm 2^\circ C$ , а эвтектики  $MgCl_2 - 36$  мол. %  $UCl_3$  и  $CaCl_2 - 60$  мол. %  $UCl_4 - 670 \pm 2^\circ C$  и  $490 \pm 2^\circ C$  соответственно. Система  $CaCl_2 - UCl_3$  характеризуется наличием эвтектики при 41 мол. %  $UCl_3$  с температурой плавления  $630 \pm 2^\circ C$  и двух областей твердых растворов на основе хлористого кальция и трихлорида урана.

Для построения поверхности ликвидуса в системе  $MgCl_2 - UCl_4 - CaCl_2$  изучено десять политермических разрезов, проходящих через вершину концентрационного треугольника, соответствующую составу  $CaCl_2$ , и противоположную сторону. Как видно из рисунка, а, система  $MgCl_2 - UCl_4 - CaCl_2$  простая эвтектическая. Поля кристаллизации  $MgCl_2$ ,  $UCl_4$ ,  $CaCl_2$  сходятся, образуя эвтектику  $E$  следующего состава: 9 мол. %  $MgCl_2 - 53$  мол. %  $UCl_4 - 38$  мол. %  $CaCl_2$  с температурой плавления  $487 \pm 2^\circ C$ . Рентгенограммы образцов различного состава подтвердили отсутствие новых фаз.

В системе  $MgCl_2 - UCl_3 - CaCl_2$  изучено девять политермических разрезов. Поверхность первичной кристаллизации системы  $MgCl_2 - UCl_3 - CaCl_2$  (см. рисунок, б) характеризуется наличием трех полей кристаллизации  $MgCl_2$ ,  $UCl_3$  и  $CaCl_2$ , которые сходятся, образуя эвтектику  $E$  следующего состава: 31 мол. %  $MgCl_2 - 20$  мол. %  $UCl_3$  и 49 мол. %  $CaCl_2$ .

с температурой плавления  $600 \pm 2^\circ C$ . Рентгенограммы образцов различного состава показали, что для расплавов, богатых  $UCl_3$  и  $CaCl_2$ , характерно присутствие твердого раствора, который по мере увеличения концентрации третьего компонента исчезает. Четкую границу исчезновения твердого раствора установить не удалось. Рентгенограммы образцов, богатых  $MgCl_2$ , показали присутствие исходных компонентов.

Таким образом, изучены поверхности первичной кристаллизации тройных систем  $MgCl_2 - UCl_4 - CaCl_2$  и  $MgCl_2 - UCl_3 - CaCl_2$ . Установлено, что эти системы простые моноэвтектические.

Поступило в Редакцию 31/1 1972 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. L. Niedrach, A. Glamm, *Industr. and Engng Chem.*, **48**, 977 (1956).
2. P. Piper, *Patent USA* 3052611, 1962.
3. G. Ghanvin et al., *Nucl. Materials*, **11**, No. 2, 183 (1964).
4. Л. Г. Берг. Введение в термографию. М., «Наука», 1969.
5. А. Г. Ауманн, *Chimia*, **20**, 82 (1966).
6. Ю. В. Карякин. Чистые химические реактивы. М., Госхимиздат, 1947.
7. C. Kuhlman, B. Swinchart, *Industr. and Engng Chem.*, **50**, No. 12, 1774 (1958).
8. Справочник по расплавленным солям. Пер. с англ. Под ред. А. Г. Морачевского. Л., «Химия», 1971.
9. F. Paulik et al., *Talanta*, **13**, No. 10, 1405 (1966).
10. А. М. Захаров. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. М., «Металлургия», 1964.
11. O. Mende, *J. inorg. Chem.*, **72**, 162 (1911).
12. А. И. Иванов. «Докл. АН СССР», **86**, 539 (1952).

## Барьеры деления тяжелых ядер

П. Е. ВОРОТНИКОВ

Капельная модель деления тяжелых ядер, появившаяся сразу после обнаружения этого явления, предсказывала быстрое уменьшение высоты барьера деления  $B_f$  по мере роста параметра делимости ядра  $Z^2/A$  [1]. Экспериментальные данные для ядер с  $Z \geq 90$  не подтвердили этой тенденции, что привело к усложнению модели. Можно отметить два этапа усложнения: учет одночастичной структуры ядра лишь при равновесной деформации (см., например, [2]) и более подробный расчет, включающий асимметрию формы, в широкой области деформаций [3, 4]. В первом случае барьер оставался одnogорбым, во втором показано, что он состоит из двух горбов, различающихся по форме и высоте.

Экспериментально  $B_f$  проявляется в резком изломе энергетической зависимости вероятности или сечения деления. Опубликованные в последнее время данные позволяют сравнить экспериментальные и расчетные барьеры деления для ядер с  $227 \leq A \leq 253$ . На рис. 1 показаны величины  $B_f$ , полученные на основе анализа, с учетом конкурирующих процессов, сечений деления нейтронами  $\sigma_f(E_n)$  некоторых четно-четных и нечетно-четных по  $Z$  и  $N$  ядер-мишеней [5—11]. Необходимые

для перехода от  $E_n$  к энергии возбуждений  $E^*$  составных ядер экспериментальные величины энергии связи нейтрона  $B_n$  взяты из таблиц работы [12]. В тех случаях, когда  $B_n$  приведены в работе [12] с большой ошибкой, использованы результаты систематики, показывающей, что для четно-нечетных изотопов с  $A = 4n \pm 1$  величины  $B_n$  близки и изменяются примерно на  $0,5$  Мэв при переходе от одной такой пары к другой. Эта процедура дала для  $Pu^{245}$  величину  $B_n$ , равную  $5,0 \pm 0,2$  Мэв, а для  $Sm^{247}$ ,  $Sm^{249}$  и  $Cf^{253}$   $5,3 \pm 0,2$  Мэв вместо  $4,6 \pm 1,4$ ;  $5,2 \pm 1,0$ ;  $4,7 \pm 1,0$  и  $4,8 \pm 1,0$  Мэв соответственно, приведенных в работе [12].

Замечательно постоянство  $B_f$  для ядер с  $Z \geq 90$ , резко отличающееся от капельной зависимости, показанной на рис. 1 штриховой линией. Поскольку отклонение  $B_f$  от этой зависимости обычно относят за счет оболочечных эффектов, на рис. 2 те же  $B_f$  нанесены в функции числа нейтронов в ядре  $N$ . Согласно расчетам работы [4], в модели двугорбого барьера следовало ожидать в районе подоболочки  $N = 152$  местное увеличение  $B_f$  примерно на  $2$  Мэв.

УДК 539.173.4