

4491/2-78

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



СЗ45С  
И-498

9 - 11618

В.И.Илющенко

СТАБИЛЬНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ  
ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

**1978**



Илющенко В.И.

9 - 11618

#### Стабильность параметров постоянных магнитов

Приведены данные по временной, температурной и радиационной стабильности характеристик постоянных магнитов на основе феррита бария, сплавов альнико и  $\text{SmCo}_5$ .

Параметры магнитов не изменяются в течение  $10^4$  -  $10^5$  часов. Приведены результаты измерения обратимых и необратимых температурных потерь магнитного потока. Показано, что магнитные материалы по радиационной стабильности не уступают алюминию и нержавеющей стали.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Cyushchenko V.I.

9 - 11618

#### Stability of Parameters of the Permanent Magnets

The data on time, temperature and radiation stability of parameters of permanent magnets based on the barium ferrite, alnico alloys and  $\text{SmCo}_5$  have been presented. The magnet parameters have been constant during  $10^4$  -  $10^5$  h. The results on the measurement of reversable and irreversable magnet flux losses have been given. It has been demonstrated that magnetic materials have a radiation stability alike aluminium and stainless steel ones.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработан ряд экспериментальных систем, в которых используются постоянные магниты на основе ферритов бария, сплавов и соединений кобальта с редкоземельными элементами, например  $\text{SmCo}_5$ . Для линейного ускорителя PIGMI из  $\text{SmCo}_5$  и ферритов изготовлены прототипы квадрупольных линз<sup>/1/</sup>. Анализирующий дипольный магнит с полюсами из  $\text{SmCo}_5$  обеспечивает максимальное поле  $H = 6500$  Э в зазоре 6 мм и применяется для калибровки ЯМР-магнитометра<sup>/2/</sup>. Квадрупольные линзы с полюсами из  $\text{SmCo}_5$  обеспечивают градиент  $10,4$  кЭ/см в апертуре  $0,92 \times 0,98$  см<sup>2</sup><sup>/3/</sup>. С применением постоянных магнитов на основе  $\text{SmCo}_5$  изготовлены и успешно используются в экспериментальных исследованиях  $\beta$ -спектрометры типа "апельсин"<sup>/4/</sup>.

Во всех перечисленных выше случаях постоянные магниты эффективно заменяют "теплые" электромагниты, в связи с чем возникает вопрос о стабильности характеристик постоянных магнитов.

Основным параметром постоянных магнитов является так называемое энергетическое произведение  $(BH)_{\max}$ . Монокристаллические образцы постоянных магнитов из  $\text{SmCo}_5$  имеют  $(BH)_{\max} \leq 30$  МГс·Э, поликристаллические образцы -  $(BH)_{\max} = /14-22/$  МГс·Э<sup>/5/</sup>.

Наибольшее значение при использовании постоянных магнитов в физических экспериментальных установках имеют временная, температурная и радиационная стабильность.

## 2. ВРЕМЕННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

Известно, что керамические магниты на основе феррита бария имеют нулевые потери магнитного потока ( $\Delta H_0=0$ ) в течение  $10^5$  ч<sup>6/</sup>. За этот же промежуток времени магниты на основе сплавов альнико теряют  $\Delta H_0=1\%$ .

При изготовлении постоянных магнитов из  $\text{SmCo}_5$ , как и в случае ферритов бария, применяется керамическая технология, поэтому можно предполагать, что уровень потерь магнитного потока будет таким же, как и у феррита. Измерения, выполненные на партии образцов в лабораториях фирмы BBC<sup>7/</sup>, показали, что при температуре  $100^\circ\text{C}$  в течение  $4 \times 10^3$  ч изменения магнитной индукции не наблюдается.

## 3. ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

В диапазоне температур от  $+350^\circ\text{C}$  до  $-60^\circ\text{C}$  для феррита бария наблюдались только обратимые потери. Температурный коэффициент  $\alpha = -0,2\%^\circ\text{C}^{-6/}$ .

При температуре  $350^\circ\text{C}$  сплав альнико-5 имеет необратимые потери около  $1,3\%$  и после охлаждения до  $-60^\circ\text{C}$  дополнительно  $2,5\%$ . Коэффициент обратимых потерь  $\alpha = -0,02\%^\circ\text{C}^{-6/}$ .

В температурном диапазоне от  $+85^\circ\text{C}$  до  $-35^\circ\text{C}$  коэффициент обратимых потерь  $\alpha$  для  $\text{SmCo}_5$  составляет  $-0,04\%^\circ\text{C}^{-17/}$ . Необратимые потери порядка  $2\%$  наблюдаются, начиная с температуры  $+285^\circ\text{C}$ . Следует учесть, что точка Кюри находится при температуре  $724^\circ\text{C}$ .

## 4. РАДИАЦИОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

Характеристики магнитов на основе сплавов альнико и ферритов бария не изменяются после облучения в потоке нейтронов с интегралом до  $2 \times 10^{18}$  нейтр./см<sup>2/6/</sup>. При интегральном потоке нейтронов  $3 \times 10^{19}$  нейтр./см<sup>2</sup> наблюдаются необратимые потери  $\Delta H_0=10\%$ .

Для сравнения можно указать, что, например, разбухание чистого алюминия начинается с интеграла  $10^{20}$  нейтр./см<sup>2</sup>, а потеря нержавеющей стали ковкости наблюдается при потоке  $10^{22}$  нейтр./см<sup>2/8/</sup>.

На основе приведенных данных можно сделать заключение о том, что необратимые потери в постоянных магнитах связаны с изменением кристаллической структуры и образованием пор в объеме материала, по аналогии с чистыми металлами.

Экспериментальные данные по радиационной стабильности  $\text{SmCo}_5$  в литературе отсутствуют.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность И.А.Шелаеву за постановку задачи и обсуждение затронутых в статье вопросов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Swenson D.A. e.a. In: Proc. of the X Int. Conf. High Energy Accel., Protvino, July 1977, v.1, p.295.
2. Илющенко В.И., Карпунин А.В., Куликов Ю.В. ОИЯИ, 10-10970, Дубна, 1977.
3. Илющенко В.И. и др. ОИЯИ, P9-11422, Дубна, 1978.
4. Van Klinken J. e.a. NIM, 1975, 130, p.427.
5. Дерягин А.В. УФН, 1976, 120, в. 3, с. 393.
6. Bush E.D. In: Proc. of 1976 Proton Linear Accel. Conf., Sept. 14-17, 1976, p.363.
7. BBC Druckschrift No. CH-E5.0.107.21, 1976.
8. Grand P., Goland A.N. In: Proc. of 1976 Proton Linear Accel. Conf., Sept. 14-17, 1976, p.132.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 мая 1978 года.