

Л. В. КИРЕНСКИЙ

ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОНСТАНТЫ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ*

Исследованию энергетических констант магнитной анизотропии различных ферромагнитных материалов и их температурных зависимостей посвящено в последние два десятилетия большое число работ [1—6].

Однако исследованию зависимости энергетической константы магнитной анизотропии от напряженности магнитного поля посвящено немного работ.

Первое исследование в этом направлении было предпринято Тарасовым [7], который, ограничившись полями сравнительно небольшой интенсивности (до 4 000 Ое), пришел к следующей зависимости энергетической константы магнитной анизотропии от напряженности магнитного поля:

$$K = K_0 \left(1 - \frac{a}{H} \right), \quad (1)$$

где K — энергетическая константа магнитной анизотропии в поле напряженности H , K_0 — соответственно в поле, равном бесконечности, a — некоторая константа, зависящая как от формы, так и от материала образца.

С целью проверки этого соотношения Вильямс и Бозорт [8] предприняли исследование в несколько большем интервале полей и установили, что закономерность, найденная Тарасовым, не имеет общности.

Таким образом, небольшое число работ по исследованию энергетической константы магнитной анизотропии в функции напряженности поля, а также возможный экспериментальный ответ на дискуссию по той модели, которую предложил Н. С. Акулов для расчета температурной зависимости константы анизотропии, делают чрезвычайно желательной постановку работ по исследованию зависимости константы анизотропии от магнитного поля.

Объектом исследования в настоящей работе являлся один из немногочисленных, но чрезвычайно ценных «космических подарков».

Из огромного числа упавших на землю метеоритов два метеорита — один, упавший в местечке Браунау (Чехословакия), другой, упавший около селения Богуславка близ Никольск-Уссурийска, — оказались монокристаллическими.

Тщательное исследование магнитных свойств богуславского метеорита, а также снятие с него лауэграмм было проведено в 1941 г. Н. С. Акуловым и Н. Л. Брюхатовым [9]. Исследование не оставляет сомнения в монокристаллическости метеорита. Химический состав метеорита «богуславка» — 94% Fe, 5,5% Ni, 0,5% Co.

Из куска монокристалла метеоритного железа был вырезан диск в плоскости (100), диаметром 6,66 мм и толщиной 3,70 мм. Таким образом,

* Доложено на Первой Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений в декабре 1946 г.

при исследовании плоскости (100) вторая константа анизотропии автоматически исключалась.

Исследования энергетической константы магнитной анизотропии проводились мною с помощью установки, состоящей из мощного электромагнита, между полюсами которого помещался образец, укрепленный в несколько измененном анизометре системы Н. С. Акулова. Электромагнит мог вращаться вокруг вертикальной оси, угол поворота вектора поля электромагнита регистрировался с помощью лимба a (рис. 1) с точно-

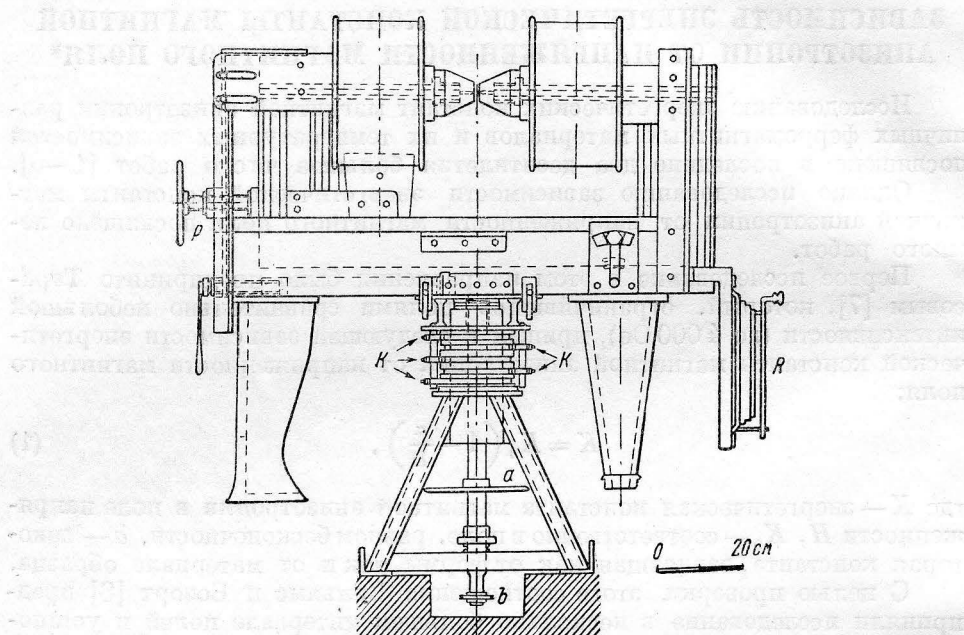


Рис. 1. Схема установки для исследования энергетической константы магнитной анизотропии: P —винт для перемещения полюсов, R —реостат для регулировки силы тока в обмотках электромагнита, K —контактные кольца для подвода питания, a —лимб, b —блок привода к фотокамере

стью до 2 минут. Питание электромагнита, а также подводка тока к нагревательным приборам производились через пять контактных колец K —два для питания электромагнита и три для питания нагревательных печей, с помощью которых можно было проводить исследование при любой температуре, вплоть до точки Кюри.

Вращение электромагнита вызывало синхронное вращение фотокамеры с помощью блока b и стальной струны, не изображенной на рисунке.

Напряженность поля между полюсами регулировалась как изменением тока с помощью реостата R , так и путем изменения межполюсного расстояния с помощью винта P .

Температура измерялась с помощью термопары нихром константан.

С помощью анизометра измерялись величины механических моментов, действующих на образец в однородном магнитном поле. Величины, пропорциональные механическим моментам, автоматически записывались на фотопленку. Эти величины регистрировались в функции угла между направлением поля и тетрагональной осью или в функции напря-

женности магнитного поля. Регистрация в функции угла достигалась тем, что поворот магнита вызывал синхронное вращение барабана фотокамеры, при регистрации в функции напряженности магнитного поля поворот барабана производился от руки через 5° при увеличении напряженности поля на 1000 Ое. На рис. 2 показаны магнитограммы механических моментов в зависимости от угла между направлением поля и тетрагональной осью кристалла.

Как это видно из магнитограммы, при поле напряженностью 7800 Ое еще не достигнуто так называемое «насыщение», поэтому не имеет места совпадение нулей этой кривой с нулями кривой, записанной для поля в 10200 Ое. В сильных полях, в частности в поле напряженностью 10200 Ое, кривые моментов идут нормально, подчиняясь для установленной плоскости закономерности

$$M = M_0 \sin 4\varphi. \quad (2)$$

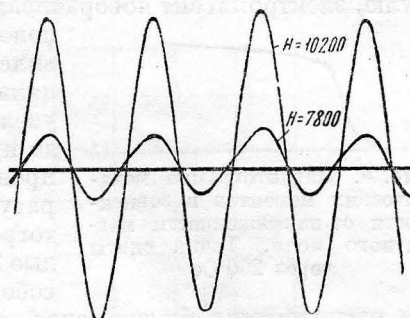


Рис. 2. Магнитограммы механических моментов в зависимости от угла между направлением поля и тетрагональной осью кристалла

Таким образом была произведена запись моментов в различных полях. Предполагалось провести исследование величины механических моментов при различных температурах и, следовательно, найти температурную зависимость константы анизотропии метеоритного железа, но оказалось, что насыщения на кривой моментов достигнуть не так легко, и, по сути дела, оно вообще не достигается. Этот факт вынудил провести более по-

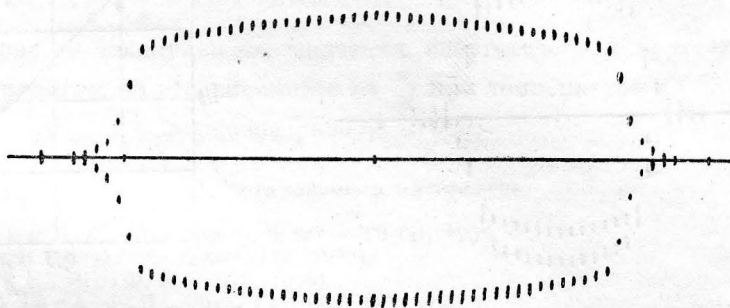


Рис. 3. Магнитограмма механических моментов в зависимости от напряженности магнитного поля; $\varphi = 22,5^\circ$ — верхняя часть магнитограммы, $\varphi = 67,5^\circ$ — нижняя часть магнитограммы. Точки сняты через 1000 Ое

дробное исследование зависимости величины механических моментов от напряженности магнитного поля.

На рис. 3 снята магнитограмма моментов в зависимости от напряженности магнитного поля при угле $22,5^\circ$ между направлением поля и тетрагональной осью. Точки на магнитограмме соответствуют полям 0, 3000, 4000, 5000 и так далее до 30000 Ое.

Как видно из магнитограммы, чувствительность установки подобрана так, чтобы на магнитограмму уложился максимальный момент, соответствующий полю в 30000 Ое. При этой чувствительности в поле, равном 3000 Ое, практически никакого отклонения нет. При поле напряженностью 10000 Ое практически достигается так называемое «насыщение». Но, как видно из магнитограммы, при дальнейшем увеличении поля рост

механических моментов не прекращается вплоть до полей напряженностью в 30 000 Ое.

После фиксации момента, соответствующего 30 000 Ое, поле снижалось до нуля, причем на магнитограмме также фиксировались величины механических моментов через каждые 1000 Ое. Затем при поле, равном нулю, электромагнит поворачивался на 45° , и, следовательно, угол между

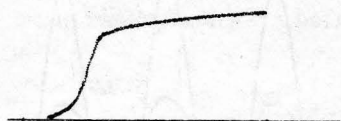


Рис. 4. Магнитограмма механических моментов в зависимости от напряженности магнитного поля. Точки сняты через 200 Ое

полем и той же тетрагональной осью становился равным $67,5^\circ$, и кривая моментов меняла знак. Далее, таким же порядком поле увеличивалось и затем вновь уменьшалось до нуля. Это проделывалось для того, чтобы проверить, насколько хорошо работает аппаратура. На рис. 4 представлена также магнитограмма моментов, но снятая через каждые 200 Ое. Магнитограмма эта представляет собой почти сплошную кривую, так как точки

расположены близко одна от другой. Эту магнитограмму можно наложить на магнитограмму, изображенную на рис. 3, и получающееся везде идеальное совпадение говорит о полной обратимости процесса и достаточно хорошей работе аппаратуры.

Все приведенные выше магнитограммы соответствуют комнатной температуре. При температуре жидкого кислорода, как и следовало

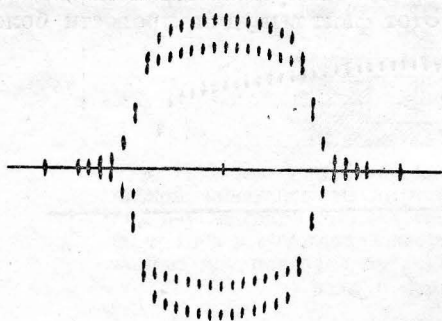


Рис. 5. Магнитограммы механических моментов в зависимости от напряженности магнитного поля при $t=20^\circ\text{C}$ и $t=-183^\circ\text{C}$

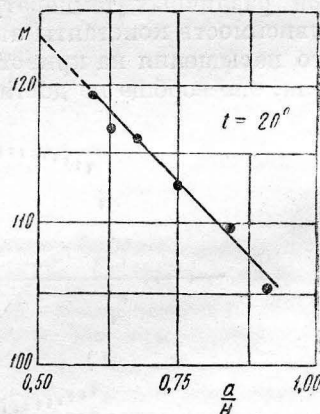


Рис. 6. Зависимость механических моментов от напряженности поля при $t=20^\circ\text{C}$

ожидать, величина момента возрастает. На рис. 5 представлены магнитограммы моментов в функции поля, снятые при комнатной температуре и температуре жидкого кислорода. Здесь, вследствие значительного расстояния между полюсами магнита, пришлось ограничиться максимальной напряженностью в 16 000 Ое.

К сожалению, с цитированными выше работами Тарасова [7] и Вильямса и Бозорта [8] мне удалось ознакомиться лишь в Москве летом 1946 г., когда сообщаемый мною экспериментальный материал был уже получен. Обработка результатов измерений показала, что вплоть до полей напряженностью в 30 000 Ое закономерность, найденная Тарасовым,

$$K = K_0 \left(1 - \frac{a}{H}\right),$$

повидимому, имеет место. Следует отметить, что из работ Тарасова это не вполне очевидно, если учесть, что он ограничивался полями порядка 4000 Ое.

На рис. 6 и 7 представлены величины механических моментов в произвольных единицах в зависимости от $\frac{a}{H}$ для температур 20 и -183°C (обработка магнитограммы рис. 5).

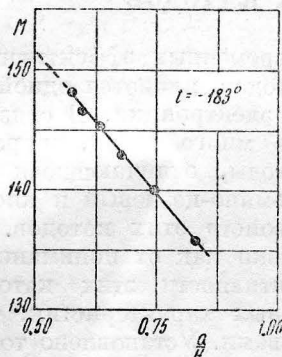


Рис. 7. То же, что на рис. 6, но при $t = -183^\circ\text{C}$

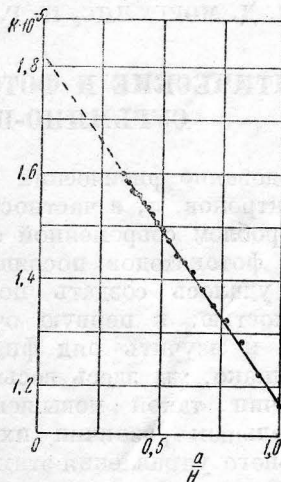


Рис. 8. Зависимость энергетической константы магнитной анизотропии от напряженности магнитного поля при $t = 20^\circ\text{C}$

На рис. 8 представлены значения энергетической константы магнитной анизотропии в зависимости от $\frac{a}{H}$ при температуре 20°C . Во всех случаях величина a положена равной 10 000.

Цитированная литература

1. Акулов Н. С., Ферромагнетизм. — ГТТИ, 1939.
2. Piety R., Phys. Rev., **50**, 1173 (1936).
3. Титов Е., ЖЭТФ, **6**, 7, 675 (1936).
4. Van Vleck J. H., Phys. Rev., **52**, 1173 (1937).
5. Киренский Л., ЖЭТФ, **7**, 7, 879 (1937).
6. Брюхатов Н. Л. и Киренский Л. В., ЖЭТФ, **8**, 2, 198 (1938).
7. Tarasov L. P., Phys. Rev., **56**, 1224 (1939).
8. Borth R. M. and Williams H. J., Phys. Rev., **59**, 827 (1941).
9. Акулов Н. С. и Брюхатов Н. Д., статья в Сборнике: «Метеоритика», вып. 1.