

Ф. ГАЛЬПЕРИН, С. ЛАРИН и А. ШИШКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВСЕСТОРОННЕГО СЖАТИЯ НА  
НАМАГНИЧЕНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ  
ЖИДКОГО АЗОТА**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 22 I 1953)

Влияние высоких давлений на магнитные свойства ферромагнетиков еще мало изучено: например, действию всестороннего сжатия на намагничение насыщения чистых металлов посвящены всего лишь две экспериментальные работы <sup>(1,2)</sup>. В последних непосредственно определяется эффект (изменение магнитного потока  $\frac{1}{\psi_0} \frac{d\psi}{dp}$  через ферромагнетик, см. формулу (2)), вызванный всесторонним сжатием. Изменение же намагничения насыщения вычисляется по формуле

$$\frac{1}{\sigma_0} \frac{d\sigma}{dp} = \frac{1}{\psi_0} \frac{d\psi}{dp} - \frac{1}{3} \chi, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  и  $\psi_0$  — соответственно, намагничение насыщения единицы массы и магнитный поток при давлении  $p_0$ , а  $\sigma$  и  $\psi$  — то же самое под давлением  $p$ ;  $\chi$  — коэффициент сжимаемости.

Из табл. 1 видно, что численные значения эффекта в обеих цитированных работах расходятся как по абсолютной величине, так и по знаку: последний согласно <sup>(1)</sup> отрицателен, а по <sup>(2)</sup> может быть отрицательным или положительным. В настоящей работе, таким образом, предстояло прежде всего уточнить вопрос о знаке эффекта.

Таблица 1

$\frac{1}{\psi_0} \frac{d\psi}{dp} \cdot 10^7 \text{ атм.}^{-1} *$	$\frac{1}{\sigma_0} \frac{d\sigma}{dp} \cdot 10^7 \text{ атм.}^{-1} **$	Условия опыта	Источник
$-4 \pm 1 < 0$	$-5,94 \pm 1$	20 °С, 1500—1900 эрст.	<sup>(1)</sup>
$0 \pm 0,5 < 0$ или $> 0$	$-1,95 \pm 0,5$	20 °С, 1300—4000 эрст.	<sup>(2)</sup>
$0,24 \pm 0,1 > 0$	$-1,70 \pm 0,1$	20 °С, 1800—2000 эрст.	Данная работа
$0,55 \pm 0,25 > 0$	$-1,39 \pm 0,25$	-196 °С, 1800—2000 эрст.	Данная работа
	$-1,49$		По формуле <sup>(4)</sup>

\* Вычислено по формуле (2).

\*\* Вычислено по формуле (1);  $\chi = 5,82 \cdot 10^{-7} \text{ атм.}^{-1}$

Далее, в <sup>(1,2)</sup> исследования велись при комнатной температуре, тогда как для исключения влияния пара-процесса и др. на искомый эффект желательно иметь низкие температуры. В данной работе эксперимент проведен как при температуре жидкого азота (-196°С),



изменением поля при колебаниях тока в  $K_n$ . Реостат  $R_{ш}$  служит для настройки компенсации. Исследуемый эффект измеряется по отклонению светового зайчика флюксметра. При медленном снятии давления, наряду с изменением магнитного потока, вызванного падением давления, наблюдается также «сползание» зайчика флюксметра, обусловленное главным образом крутильным моментом нити подвеса. Учет «сползания» зайчика производится обычной градуировкой флюксметра, но при этом поток меняется плавно, с определенной скоростью. При 20 и  $-196^\circ\text{C}$  используются разные измерительные катушки (соответственно,  $n_1 = 3960$  и  $n_2 = 6240$  витков) ввиду того, что сопротивление в цепи флюксметра должно быть малым ( $< 30$  ом) при достаточно большом количестве витков в  $K_n^*$ .

Величина исследуемого эффекта вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{\psi_0} \frac{d\psi}{dp} \approx \frac{1}{\psi_0} \frac{\Delta\psi}{\Delta p} = \frac{c_\psi}{4\pi I_s S_{обр} n} \frac{\alpha}{\Delta p}, \quad (2)$$

где  $\psi_0 = 4\pi I_s S_{обр}$  максвелл,  $n$  — число витков в  $K_n$ ,  $\alpha$  — отклонение флюксметра в делениях,  $\Delta p = p_0 - p$  (атмосфер).

Для исследуемого образца из железа  $I_s = 1690$  гаусс,  $S = 0,26$  см<sup>2</sup>. Из проведенных 22 измерений най-

дено  $\left(\frac{\alpha}{\Delta p}\right)$ ; по нему, согласно (2):

$$\left(\frac{1}{\psi_0} \frac{\Delta\psi}{\Delta p}\right) = (0,55 \pm 0,25) 10^{-7} \text{ атм}^{-1} > 0,$$

и, наконец, согласно (1):  $\frac{1}{\sigma_0} \frac{d\sigma}{dp} = (-1,39 \pm 0,25) 10^{-7} \text{ атм}^{-1}$ .

Сравним значение, полученное по (1), со значением, вычисленным по формуле для атомного магнитного момента чистых ферромагнитных металлов (3):

$$m = 2m_0 + K_1(d_1 - D) \pm K_2(d_2 - D)^*, \quad (3)$$

где  $m_0 = n_d - 2$ ;  $n_d$  — число непарных  $d$ -электронов изолированного атома. Для железа  $n_d = 4$ ,  $K_1 = 5,13$  и  $K_2 = 3,85$  магнетон/кХ;  $d_1$  и  $d_2$  — расстояния между атомом и, соответственно, ближайшими и следую-

\* Измерения проводятся в следующем порядке: 1) Через вентиль  $\delta$  в установку вводится газ из баллона до давления  $p_0 = 150$  атм.; вентиль  $17$  закрыт. 2) В цилиндр поджимки  $9$  нагнетается масло  $16$  до давления около 2000 атм. 3) Дается 10-минутная выдержка для установления температуры. 4) При включенном флюксметре включается соленоид в сеть постоянного тока. При помощи реостатов  $R$  (рис. 2) устанавливается ток для создания поля около 2000 эрст. 5) Включается  $\Phi л$ ; при помощи  $R_{ш}$  компенсируется изменение внешнего магнитного поля, обусловленное искусственным изменением тока в намагничивающем соленоиде. 6) Медленным поворотом рукоятки вентиля  $17$  плавно выпускается масло из цилиндра поджимки до давления  $p_0$ . При этом давление падает равномерно со скоростью 1000 атм/мин. При данной скорости можно пренебречь изменением температуры массивного образца. Изменение магнитного потока через образец измеряется по отклонению зайчика флюксметра.

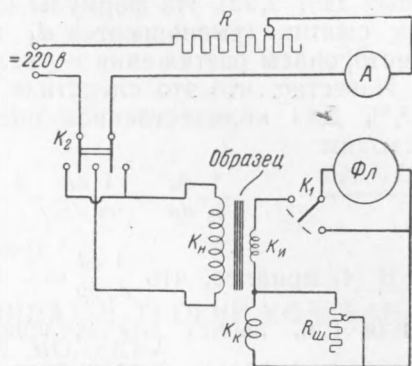


Рис. 2. Принципиальная схема электроизмерительной части установки.  $K_n$  — намагничивающая катушка (открытый соленоид с естественным воздушным охлаждением); постоянная  $K$  соленоид — 122 эрст./амп.; внутренний диаметр, длина и область однородности поля соленоида равны, соответственно, 60, 670 и 200 мм.  $K$  — измерительная катушка (длина обмотки 160 мм);  $K_k$  — компенсирующая катушка;  $R_{ш}$  — реостат, шунтирующий  $K_k$ ;  $\Phi л$  — флюксметр типа Грассо с постоянной по потоку  $c_\psi = 380 \pm 5$  максвелл/деление и допустимым внешним сопротивлением  $R_{внешн.} \leq 30$  ом. Расстояние до шкалы около 3 м

щими ближайшими соседями; для железа  $d_1 = 2,478$  кХ,  $d_2 = 2,86$  кХ.  $D$  — характерная для каждого переходного металла эмпирическая постоянная; для железа она равна  $2,73$  кХ. Отрицательный знак перед третьим членом (3) берется, если  $d_2 > D$  (как для железа). Подставив в (3) численные значения для железа, найдем, что  $m = 2,23$  магнетона (опыт дает  $2,22$ ). Из формулы (3) вытекает следствие: при всестороннем сжатии (уменьшаются  $d_1$  и  $d_2$ )  $m$  должен уменьшаться, а при всестороннем растяжении — увеличиваться.

Известно, что это следствие качественно подтверждается опытами (1, 2, 4). Для количественной оценки эффекта продифференцируем (3). Находим:

$$\frac{1}{\sigma_0} \frac{d\sigma}{dp} = \frac{1}{m} \frac{dm}{dp} = -\frac{1}{3} \chi \frac{1}{m} (K_1 d_1 - K_2 d_2). \quad (4)$$

В (4) принято, что  $\frac{1}{d_0} \frac{\partial d}{\partial p} = -1/3 \chi$ . Подставив в (4) численные значения (см. выше) для железа, найдем  $\frac{1}{\sigma_0} \frac{d\sigma}{dp} = -1,49 \cdot 10^{-7}$  атм<sup>-1</sup>, что удовлетворительно согласуется с данными настоящей работы при температуре жидкого азота (ср. 4-ю и 5-ю строки табл. 1), а с (1) сильно расходится (ср. 1-ю и 5-ю строки табл. 1).

Поступило  
21 I 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Ebert, A. Kussman, Phys. Z., 38, 437 (1937). <sup>2</sup> Ф. Гальперин, ДАН, 78, 451 (1951); П. Орешкин, Диссертация, МГУ, 1951. <sup>3</sup> Ф. Гальперин, Изв. АН СССР, сер. физ., 13, 574 (1949); ДАН, 88, № 4 (1953). <sup>4</sup> К. Белов, ЖЭТФ, 19, 346 (1949); ДАН, 61, 807 (1948).