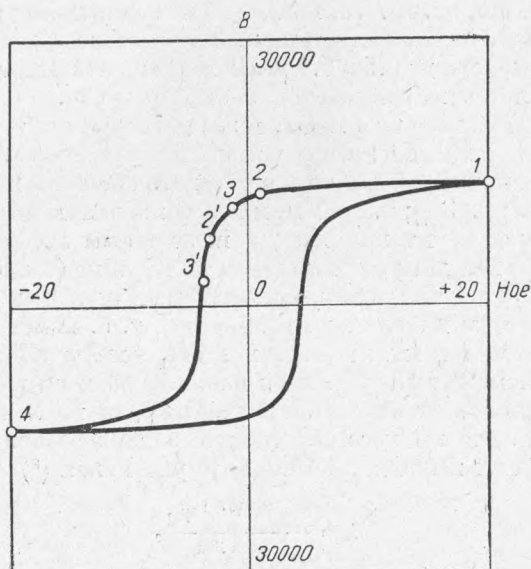


Р. В. ТЕЛЕСНИН

**О СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ ЖЕЛЕЗА НА
РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 19 VII 1938) †

В настоящей работе применялась несколько видоизмененная установка, которой автор пользовался в предыдущих работах (1-4). После многократного коммутирования тока в намагничивающей обмотке очень



Фиг. 1.

маленького, диаметром 1.25 см, тороида из исследуемого железа устанавливалось поле $H_1 = +20$ Ое (точка 1 на фиг. 1). Затем включался ток в прямолинейном проводе, проходящем по оси тороида, налагавший на поле H_1 противоположно направленное поле $-H_2$ от 0.5 до 4.8 Ое. После этого поле H_1 уменьшалось до величины $H_1 = +0.2$ Ое и таким образом осуществлялся переход из точки 1 в точку 2, 2' и т. д. в зависимости от величины поля $-H_2$ (фиг. 1). Затем приводился в действие маятник Гельмгольца, который выключал поле H_1 и присоединял к обмотке то-

роида баллистический гальванометр. Это присоединение происходило или в момент размыкания намагничивающей цепи или через точно установленный промежуток времени, от $1 \cdot 10^{-6}$ до $8 \cdot 10^{-3}$ сек. после этого замыкания. Цена деления маятника $(1.0144 \pm 0.0085) \cdot 10^{-6}$ сек. Размыкание намагничивающей цепи переводит железо из точки 2 (2' и т. д.) в точку 3 (3' и т. д.). Отброс гальванометра, присоединяемого к тороиду на время около 0.02 сек., фиксирует изменение индукции, происходящее в железе после изменения поля и присоединения гальванометра. По отбросу гальванометра, градуированного на максвеллы, вычислялось изменение индукции ΔB и затем средняя дифференциальная проницаемость $\mu_d = \frac{\Delta B}{\Delta H}$ на участке в 0.2 Ое. Эту проницаемость мы будем называть динамической дифференциальной проницаемостью $\mu_{\text{динам.}}$ в отличие от статической дифференциальной проницаемости $\mu_{\text{стат.}}$, определенной по кривой гистерезиса, снятой обычным методом коммутирования. Динамическая проницаемость меньше статической, особенно на крутой части петли, и максимум ее не совпадает с максимумом статической проницаемости, будучи смещен на 0.2—0.3 Ое в сторону более сильных полей. Это уменьшение динамической проницаемости вызывается магнитной вязкостью и оно приводит к расширению петли гистерезиса. Такое расширение петли наблюдал Лапп⁽⁵⁾ при быстрых процессах.

Отброс гальванометра приблизительно пропорционален изменению намагниченности, происходящему после включения гальванометра^(6,7). По ряду отсчетов, полученных при различных значениях времени t , протекшего между исчезновением поля H_1 и включением гальванометра, строятся кривая изменения намагниченности и по этой кривой находят времена изменения намагниченности до 0.5 и 0.1 величины ее начального изменения. Эти величины и являются мерой длительности процесса.

Поле $-H_2$ изменялось на 0.1 Ое, и это давало возможность пройти всю крутую часть петли гистерезиса небольшими участками.

Исследованию подвергались тороиды из отожженной проволоки диаметром 0.0043; 0.0097; 0.0335; 0.1360 см и такой же ленты толщиной 0.0006 см. После отжига железо изолировалось шеллачным лаком. Масса железа, сечение его и другие данные помещены в таблице (см. стр. 651).

В графах 7—8 этой таблицы даны времена изменения намагниченности до 0.5 и 0.1 величины начального изменения, т. е. изменения, происходящего при одновременном выключении поля H_1 и включении гальванометра. В графах 9—12 помещены отношения наблюдавшегося времени изменения намагниченности при максимальном значении μ_d ко времени, вычисленному в предположении, что процесс обусловлен задерживающим действием токов Фуко. Это время вычислялось по формуле Релея⁽⁸⁾

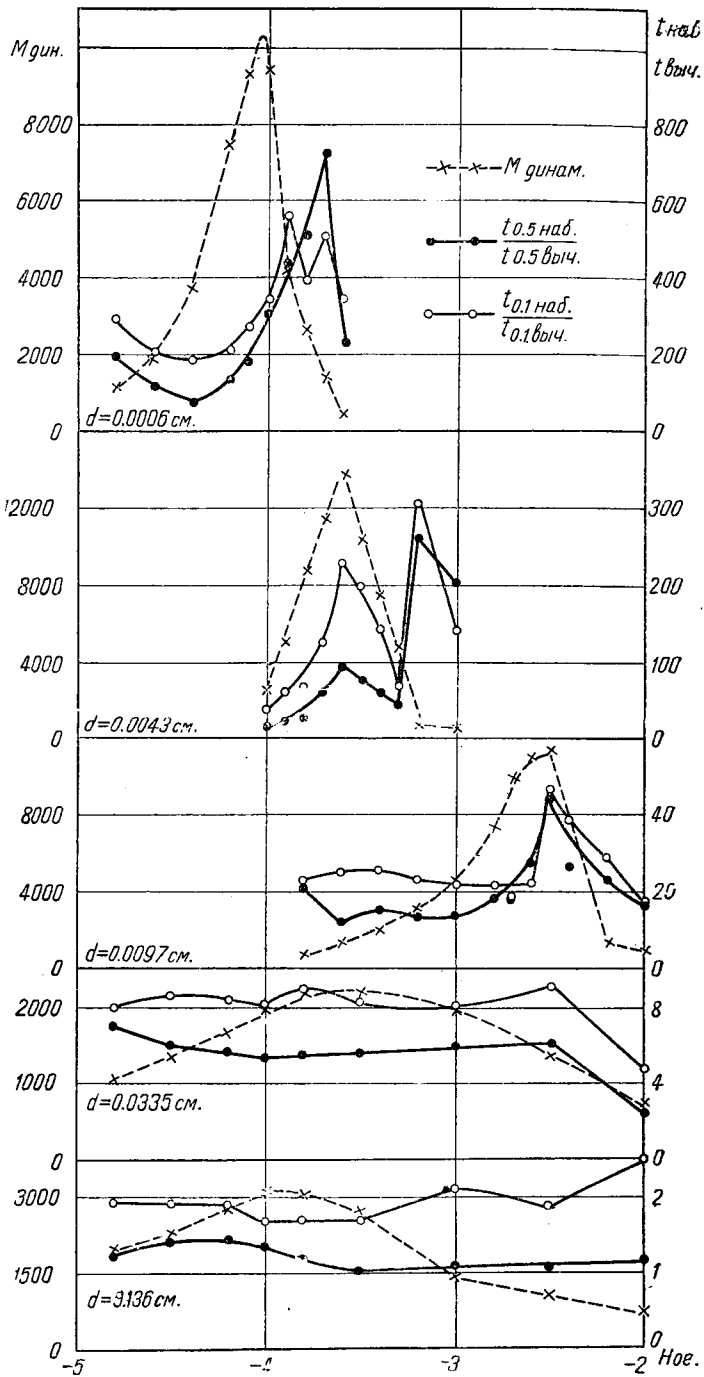
$$t = -\frac{\ln b\pi r^2 \sigma \mu_d}{1.44},$$

где b — та часть изменения намагниченности, которая происходит после момента времени t , σ — проводимость в единицах *CGSM*, μ_d — дифференциальная проницаемость и r — радиус проволоки.

Для ленты вычисление времени t производилось по данным кривой изменения намагниченности пластинки⁽⁹⁾.

Формула Релея была взята только потому, что получаемые из нее значения t — наибольшие. Теория Введенского⁽⁷⁾, несомненно более строгая и по видимому лучше соответствующая действительному ходу процесса, дает меньшие значения для времени t : для времени изменения намагниченности наполовину — вдвое меньше, а для времени изменения до 0.1 — меньше на 14%.

d , см	S_1 , см ² (всего железа)	S_2 , см ² (одной пров.)	P_r	$r_{стат.}$ максим.	$r_{динам.}$ максим.	Наблюденные		Вычисленные				
						$t_{0.5 \cdot 10^6 \text{ сек.}}$ максим.	$t_{0.1 \cdot 10^6 \text{ сек.}}$ максим.	по $r_{стат.}$		по $r_{динам.}$		$\frac{t_{0.1 \text{ набл.}}}{r_{динам.}} \cdot d^2$
								$t_{0.5 \text{ набл.}}$	$t_{0.5 \text{ выч.}}$	$t_{0.1 \text{ набл.}}$	$t_{0.1 \text{ выч.}}$	
0.0006	0.00327	—	0.1	18 400	9 460	290	2 410	188	313	207	344	0.707
0.0043	0.00310	14.5×10^{-6}	0.1	41 600	13 800	645	5 200	55	133	96	231	0.0204
0.0097	0.01035	73.8×10^{-6}	0.32	31 400	11 300	1 155	4 220	5.22	19	12.8	46.8	0.00396
0.0335	0.0085	880×10^{-6}	0.26	6 600	2 185	356	1 930	2.08	3.86	5.47	8.95	0.000787
0.1360	0.0145	$14 500 \times 10^{-6}$	0.445	7 500	2 750	1 840	7 440	0.66	0.8	1.365	1.67	0.000146



Фиг. 2.

В графах 9—10 $t_{\text{вычисл.}}$ вычислялось по значениям статической проницаемости $\mu_{\text{стат.}}$, а в графах 11—12—по динамической проницаемости $\mu_{\text{динам.}}$. В графе 13 помещены значения величины $\frac{t_{0.1 \text{ набл.}}}{\mu_{\text{динам.}} d^2}$, которые в случае процесса, вызванного токами Фуко, должны быть постоянными. Огромная разница между значениями этой величины для толстых и тонких проволок ясно показывает, что наблюдавшаяся большая длительность процессов изменения намагниченности в тонких проволоках вызвана не токами Фуко.

Из данных таблицы видно, что в толстом железе (0.136 см) длительность процесса изменения намагниченности может быть в значительной части отнесена за счет действия токов Фуко, развитие которых определяется динамической проницаемостью. Если же принять, что действие токов Фуко определяется статической проницаемостью, то вычисленные времена t (графы 9—10 таблицы) будут больше наблюдаемых, что конечно невозможно. Последнее и приводит к заключению, что действие токов Фуко определяется динамической проницаемостью.

Для всех остальных проволок и ленты, в особенности для самых тонких, наблюдаемое время изменения намагниченности во много раз (до 732!) больше вычисленного, что указывает на невозможность объяснить наблюдаемую длительность процесса действием токов Фуко. Очевидно, что медленное течение процесса здесь вызывается магнитной вязкостью. На фиг. 2 даны кривые динамической проницаемости и отношения $\frac{t_{\text{набл.}}}{t_{\text{вычисл.}}}$.

Максимум этого отношения на большинстве кривых совпадает с максимумом проницаемости и максимумом длительности процесса изменения намагниченности. Это показывает, что магнитная вязкость так же, как и токи Фуко, зависит от μ_d , но для вязкости зависимость более сложная. Этот вывод хорошо согласуется с результатами, полученными Кюлевейном⁽¹⁰⁾ с пермаллоем и А. В. Миткевич⁽¹¹⁾ с железной проволокой.

Чтобы убедиться в том, что на длительность процесса не влияют индукционные токи в прямолинейном проводе, ток в котором создает поле $-H_2$, рядом с этим проводом вводился еще один, замкнутый на очень малое сопротивление. При величине этого сопротивления, равной 0.1 ома, никакой разницы в длительности процесса обнаружить не удалось. Лишь при сопротивлении порядка 0.01 ома длительность процесса при изменении поля на $\Delta H = 0.4$ Ое возросла на 10%. Сопротивление самой цепи было от 0.5 до 4 ом.

Физическая лаборатория
2-го Медицинского института.
Москва.

Поступило
29 VII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Р. В. Телеснин, ЖЭТФ, 7, вып. 1, 117 (1937). ² Р. В. Телеснин, Сборн. ОН А. Н. «Проблемы эл.-техн. металла», стр. 97 (1938). ³ Р. В. Телеснин, Сборн. ОН А. Н. «Практические проблемы электромагнетизма» (в печати). ⁴ Р. В. Телеснин, там же. ⁵ Ch. Larr, Ann. d. Phys., (10), 8, 278 (1927). ⁶ B. Wwedensky, Ann. d. Phys., 66, 110 (1921). ⁷ Б. Введенский, Научные известия, сборн. 3, стр. 156 (1922). ⁸ Lord Rayleigh, Report of the Brit. Ass., 52, 442 (1882). ⁹ В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, ч. 2, стр. 87 (1936). ¹⁰ Н. Kühlewein, Phys. ZS., 32, 472 (1931). ¹¹ А. В. Миткевич, ДАН, I, № 9, 531 (1934); III, № 2, 96 (1934); III, № 6, 426 (1934); IV, № 5, 209 (1935).