

А. Г. КОТОВ

### ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОВОЛОКАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ГИСТЕРЕЗИСА

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 25 IX 1952)

Методика, изложенная в (1), оказалась весьма плодотворной для выявления влияния различных факторов на форму резонансных кривых. В упомянутой работе мы показали влияние отжига и размагничивания на высоту резонансных кривых для железа и никеля и доказали применимость искрового метода для изучения магнитного резонанса в широком диапазоне волн от 2,5 до 25 см.

В настоящей работе показано влияние температуры и гистерезиса на ход резонансных кривых, снятых той же методикой, но в условиях повышенной чувствительности. Для этого длина намагничивающей катушки была увеличена в два раза. Вместо терморпары был применен кристаллический детектор. Тщательными промерами было установлено, что отражение волн от мест спая разнородных проволок заметного влияния на кривую резонанса не оказывает. Ослабление тока при размагничивании проволоки производилось латором (регулируемый автотрансформатор). Источником колебаний служили клистроны на волны 3,2 и 8,1 см. Рабочая длина исследуемой проволоки составляла 52 см. Неоднородность поля по данным из экспериментальной кривой распределения поля для рабочей длины в 52 см не превышала нескольких процентов.

Влияние температуры. На рис. 1 показаны две резонансные кривые для никеля при температуре 25 и 80°, при натяжении 18 кг/мм<sup>2</sup> для волны 3,2 см. При температуре 80° при поле в 270 эрст. кривая

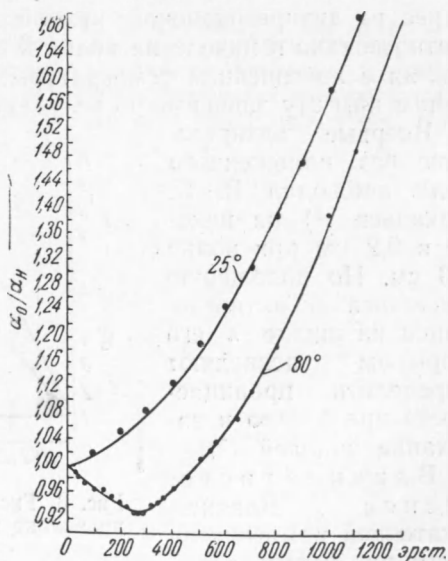


Рис. 1. Резонансная кривая в никеле с антирезонансом при натяжении 18 кг/мм<sup>2</sup>,  $\lambda = 3,2$  см, Ni 0,1 мм,  $R = 12$  ом/м,  $l = 52$  см

проходит через минимум, часто называемый «антирезонансом», в то время как та же самая проволока при температуре в  $25^\circ$  не имеет этого минимума.

Возможно, что это связано с изменением знака магнитной анизотропии никеля около  $100^\circ$ . Интересно, что без растяжения антирезонанс появляется только на волне около 1 см длины <sup>(3)</sup>, здесь же он обнаружен на волне в 3,2 см.

Наши опыты с растяжением показали, что в некоторых случаях от растяжения резонансное поле смещается на 300 эрст. В этой связи опыты Бломбержена <sup>(2)</sup> не дают полной картины зависимости от повышения температуры, ибо он не учитывал при этом происходящего вследствие нагревания растяжения исследуемого никеля, который был нанесен на медный диск (никель имеет  $\alpha = 13 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>, медь  $17 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>).

По ходу наших кривых видно, что повышение температуры вызывает не только появление антирезонанса, но и смещение резонансного максимума <sup>(2)</sup> вправо, что напоминает действие растяжения, также приводящего к уменьшению намагниченности при небольших полях (500—700 эрст.).

Из рис. 2 видно, что антирезонанс в никеле ( $\alpha_0/\alpha_H < 1$ ) вероятно, можно вызвать простым повышением температуры. Эта кривая снималась при постоянном поле 260 эрст., найденном

Рис. 2. Зависимость абсорбции от температуры в никеле при постоянном натяжении  $18 \text{ кг/мм}^2$ ,  $2\rho = 0,1 \text{ мм}$ ,  $R = 12 \text{ ом/м}$ ,  $\lambda = 3,2 \text{ см}$ . С  $75^\circ$  наступает антирезонанс ( $H = \text{const} = 260 \text{ эрст.}$ )

ранее из антирезонансной кривой, и постоянной нагрузке  $18 \text{ кг/мм}^2$ . Антирезонанс в никеле на волне в 3,2 см появляется начиная с  $75^\circ$ , возрастая с повышением температуры. К сожалению, по техническим причинам нам эту зависимость не удалось проследить выше  $125^\circ$ .

Впервые антирезонанс без наложенного поля наблюдал В. К. Аркадьев <sup>(3)</sup> на никеле в 0,2 мм при волне 1,3 см. По положению резонанса и антирезонанса на шкале  $\lambda$  его формулы позволяют определить проницаемость при  $\lambda = \infty$  и затухание диполей <sup>(5)</sup>.

Влияние гистерезиса.

Влияние остаточной намагниченности на форму резонансной кривой было показано ранее при искровом возбуждении волн <sup>(1)</sup>. Более слабо отражено влияние гистерезиса. Для выявления его одну кривую снимают в прямом направлении хода намагничивания проволоки, т. е. идут от слабых полей к сильным, а другую кривую снимают в обратном направлении. Обратная кривая имеет более высокий резонансный максимум и выдается несколько влево (см. рис. 3).

На рис. 4 в длинных волнах обратная кривая выдается несколько вправо. Наибольшее различие в ходе кривых наблюдается в полях около 350 эрст. при волне 3,2 см и около 600 эрст. при волне 8,1 см.

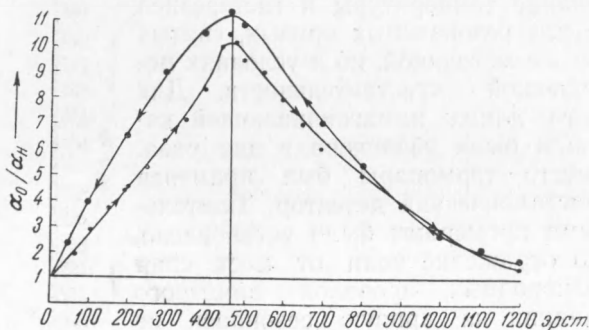
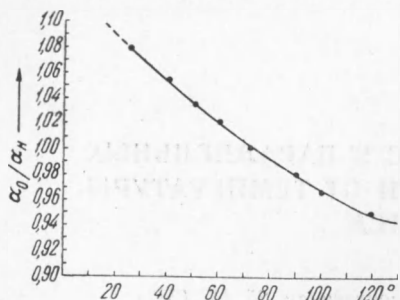


Рис. 3. Гистерезис магнитного резонанса в железной проволоке на волне 3,2 см,  $2\rho = 0,08 \text{ мм}$ ,  $R = 20,2 \text{ ом/м}$

Это, конечно, приводит к некоторому искажению формы резонансной кривой.

Нами была предпринята попытка освободиться от гистерезиса и направить резонансную кривую по безгистерезисной кривой. Для этой цели на исследуемую проволоку накладывались сразу два продольных поля — переменное и постоянное. Это привело к тому, что на резонансной кривой в слабых полях появляется более крутой подъем.

В наших опытах с длинными волнами (14—25 см) было установлено, что резонансные максимумы, наблюдающиеся в полях от 20 до сотен эрстед, весьма неопределенны, так как кривая сильно размыта и имеет пилообразное строение. Интересно, что скачки магнитной проницаемости при резонансных частотах в слабых полях предсказывал Я. Сноек (6).

Пользуюсь случаем выразить свою сердечную благодарность моему учителю В. К. Аркадьеву за предложенный метод работы и тематику исследований.

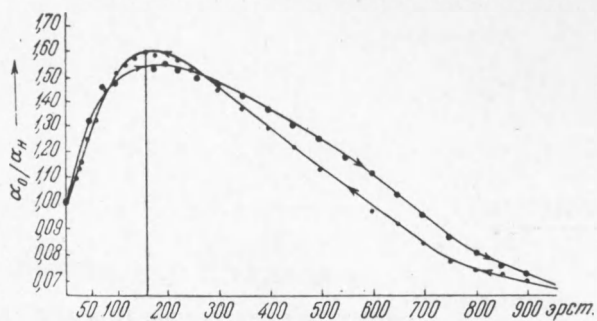


Рис. 4. Гистерезис магнитного резонанса в железной проволоке на волне 8,1 см,  $2\rho = 0,08$  мм,  $R = 20,2$  ом/м

Поступило  
23 VI 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. К. Аркадьев, А. Г. Котов, ДАН, 83, № 6, 821 (1952). <sup>2</sup> N. Bloembergen, Phys. Rev., 78, 5, 572 (1950). <sup>3</sup> В. К. Аркадьев, ЖРФХО, 44, 165 (1912). <sup>4</sup> В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, 2, 1936, стр. 276. <sup>5</sup> В. К. Аркадьев, ЖФХО, 56, 217 (1924); Магнитная спектроскопия, М., 1924. <sup>6</sup> Я. Сноек, Исследования в области ферромагнитных материалов, под ред. С. В. Вонсовского, 1949, стр. 171.