

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И МАГНИТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ.

В. К. Аркадьев.

Электромагнитная волна, проходя через какое-либо тело, обычно имеет в нем иную скорость, чем в пустоте и нередко распространяется в теле, теряя постепенно свою энергию по пути, т.е. испытывая поглощение. Скорость очень длинных волн в диэлектриках определяется их диэлектрическим коэффициентом ϵ_{∞} , который может быть определен электростатически по увеличению емкости конденсатора, и магнитной проницаемостью μ_{∞} , которая может быть измерена магнетометром. Если электромагнитная волна очень коротка, то ее электрическое и магнитное поля меняются настолько быстро, что электрические и магнитные частицы не успевают смещаться и в веществе не успевают возникать электрическая или магнитная поляризация, которые влияют на скорость волны; тогда нет трения, которое обуславливает сильную абсорпцию волн средней длины. Поэтому абсорпция коротких волн очень мала и их скорость в веществе не отличается от скорости в пустоте; таковы X-лучи, абсорпция которых ничтожна — все тела прозрачны для X-лучей, их скорость в веществе равна скорости в пустоте, показатель преломления X-лучей равен 1. Это происходит оттого, что в высокочастотных электрических полях волн X-лучей электроны и ионы не успевают заметно смещаться. Колебания X-лучей лежат по ту сторону кризиса электрических свойств вещества, в той области, где диэлектрический коэффициент равен 1.

В средней части спектра, где число колебаний электромагнитной волны совпадает или близко к числу колебаний электрических центров, мы имеем область резких изменений показателя преломления и диэлектрического коэффициента ϵ — область электрической дисперсии и область сильного поглощения лучей, область электрической абсорпции. Здесь у диэлектриков обнаруживается так называемая электропроводность поляризации, обозначаемая σ . Появление этого фактора электропроводности изолятора представляет собой весьма своеобразное явление: при определенной частоте колебаний, именно тогда, когда заложенные в веществе центры сильнее всего раскачиваются (резонируют) под действием переменного поля волны,

на диаграмме. Там же указаны лежащие в этой области собственные длины волн λ_0 элементарных магнитов и их трение θ .

В области этой полосы абсорпции магнитная проницаемость переменна. В одном случае она даже меньше 1 и равна 0,80.

По аналогии с диэлектриками, мы должны заключить, что в этой области периодов магнитные тела должны обнаружить и магнитную проводимость. Этот парадоксальный факт приводит к ряду следствий, которые позволяют о ферромагнитных телах говорить так же, как мы привыкли говорить о проводниках электричества.

Именно, при перемагничивании в переменном поле, даже если не существует гистерезиса, мы должны иметь некоторую потерю энергии и образование тепла, обусловленное вязким трением элементарных магнитов. Это приводит к закону развития в 1 куб. см магнитного тепла W_m , аналогичному закону Джауля, именно

$$W_m = \rho H^2 t,$$

что совпадает с электрическим законом Джауля ¹⁾

$$W_e = \sigma E^2 t.$$

Магнитная проводимость σ в сантиметровых герцевых волнах оказывается порядка $10^{10} - 10^{11}$ единиц. Чтобы оценить это число, представим себе, что уже в постоянном магнитном поле железо обнаруживает такую же магнитную проводимость. Ясно, что в таком случае всякий трансформатор с замкнутой магнитной цепью можно было бы питать постоянным током, и он давал бы постоянный трансформированный электрический ток ²⁾. Сечение его железа, благодаря большой магнитной проводимости магнитопровода ($\rho = 10^{11}$ CGSM) можно было бы сделать весьма ничтожным и всю железную цепь можно было бы осуществить в виде одного витка тонкой железной проволоки. Однако этому кладет предел написанный выше магнитный закон Джауля, из которого следует, что один виток тонкой проволоки не выдержал бы такой нагрузки и быстро перегорел бы вследствие громадного магнитного трения.

Предполагая, что элементарные магниты в ферромагнитном металле вращаются по тем же законам упруго-вязкого движения, которое обычно приписывается смещению электрических центров в диэлектри-

¹⁾ Здесь закон Джауля написан для 1 см³ вещества; действительно, сила тока в 1 см³ есть $i = \frac{v}{r} = \frac{E1}{r}$; сопротивление 1 см³ $r = \frac{1}{\sigma}$; тогда $W_e = i^2 r t = \sigma E^2 t$.

Аналогичный вывод относится и к магнитному закону Джауля.

²⁾ Ток был бы обусловлен постоянным электрическим полем, образующим кольца около железной проволоки с постоянным магнитным током.

ке, получают для проницаемости μ и магнитной проводимости ρ следующие величины:

$$(3) \mu = 1 + (\mu_\infty - 1) \frac{1 - \nu^2}{\eta^2 \nu^2 + (1 - \nu^2)^2} \text{ и } \rho = \frac{\mu_\infty - 1}{2T_0} \frac{\eta \nu^2}{\eta^2 \nu^2 + (1 - \nu^2)^2}$$

Величина коэффициента преломления и абсорции определяется из выражений ¹⁾:

$$(4) \begin{aligned} 2n^2 &= \sigma' (\sqrt{\mu^2 + \rho'^2} - \rho') = \sigma' \mu_n, \\ 2k^2 &= \sigma' (\sqrt{\mu^2 + \rho'^2} + \rho') = \sigma' \mu_k, \end{aligned}$$

где $\rho' = 2\rho T$.

Коэффициент абсорции k' , который определяет убывание амплитуды волны с расстоянием x формулой $e^{-k'x}$, есть $\frac{2\pi k}{\lambda} = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{c}} \sqrt{\frac{\mu_k}{\lambda}}$.

Представленный на рис. 2 коэффициент есть $S = \sqrt{\frac{\mu_k}{\lambda}}$. Линиями представлен теоретический ход величин μ_k и μ_n . Светлые кружки представляют измерение по поглощению волн в ферромагнитных проволоках величины μ_k . Согласно теоретических величин с опытными вполне удовлетворительно.

Из приведенных формул (2) и (4) мы видим что n и k в случае электрической и магнитной дисперсии выражается при помощи двучленов

$$\begin{aligned} \sigma_n' &= r + \alpha, & \sigma_k' &= r - \alpha, \\ \mu_k &= r + \beta', & \mu_n &= r - \beta', \end{aligned}$$

где α заменяет ε и μ , $\beta' = \sigma'$ и ρ' , а $r = \sqrt{\alpha^2 + \beta'^2}$. Исследование хода величин $r \pm \alpha$ составляет предмет теории электрической дисперсии и абсорции, в частности обычной оптической дисперсии; изучение величин $r \pm \beta'$ — предмет теории магнитной дисперсии и абсорции.

В последнее время двучлены μ_k и μ_n получили применение и в электротехнике, где при их помощи поддаются теоретическому исследованию те электромагнитные процессы, где поглощение энергии в железе обусловлено не только вязким трением при вращении элементарных магнитов, но также и другими причинами, как гистерезис и токи Фуко (Уллер, Тонкс, Трукса, Ганс).

Изучение хода в зависимости от длины волны, величин $\mu = \sqrt{\mu_n \mu_k}$, $2\rho' = \mu_k - \mu_n$ и самих μ_k и μ_n различных ферромагнитных метал-

¹⁾ Общие выражения для n и k суть:

$$2n^2 = \sqrt{(\varepsilon^2 + \sigma'^2)(\mu^2 + \rho'^2)} + \varepsilon\mu - \sigma'\rho' \text{ и } 2k^2 = \sqrt{(\varepsilon^2 + \sigma'^2)(\mu^2 + \rho'^2)} - \varepsilon\mu + \sigma'\rho'$$

Из них получаются (2) и (4) как частные случаи.

См. В. Аркадьев, Ж. Р. Ф. О. 15, 312, 1913.

лов и их соединений, т.е. пассивных магнитных спектров, составляет предмет пассивной магнитной спектроскопии. Ее отличие от старой пассивной электрической спектроскопии, не-

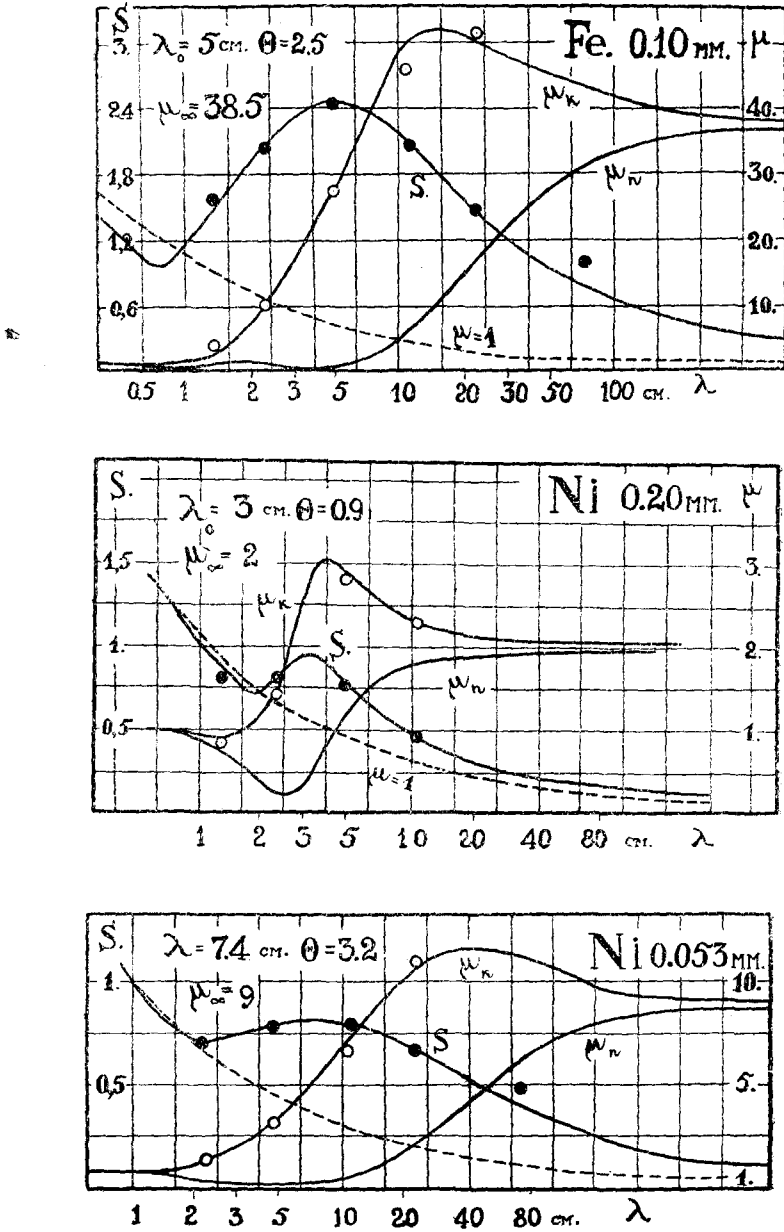


Рис. 2. Полосы магнитной абсорбции $S = \sqrt{\frac{\mu_k}{\lambda}}$ в железных и никелевых проволоках и их кажущаяся проницаемость μ_k и μ_n .

следующей ход показателя преломления, абсорпции, коэффициента отражения и т. п., заключается в том, что первая исследует влияние на вещество электрического вектора электромагнитной волны, а вторая — магнитного вектора той же волны. Мы видим, что обе эти ветви общей электромагнитной спектроскопии вполне равноправны.

Если старая спектроскопия нам раскрыла многие свойства тел и выяснила ту широкую спектральную область собственных колебаний частиц вещества, которая простирается от границы ультрафиолетовых лучей и проникает в область лучей Герца, то не менее ценных результатов мы в праве ожидать от магнитной спектроскопии, так как именно магнитные свойства вещества и особенно магнетона в настоящее время представляют много непонятного и загадочного. Зоммерфельд говорит в своей известной книге о строении атома: „Наступит день, когда поучительные результаты исследований по магнетизму нам позволят разгадать магнетон Бора, или, что то же, кванты Планка, и дадут возможность с полной ясностью нарисовать картину квантового строения вещества“.

ЛИТЕРАТУРА

(основные работы).

1. W. Arkadiew. Ueber die Reflexion elektromagnetischer Wellen an Drähten. Ann. der Phys. 45, 133, 1914. Ж. Р. Ф. О. 45, 46, 1913.
2. R. Gans. Bemerkung zu meiner Arbeit „Das Verhalten Hertz'scher Gitter“ Ann. d. Phys. 66, 427, 1921.
3. W. Arkadiew. Ueber die Absorbition elektromagnetischer Wellen an zwei parallelen Drähten. Ann. d. Phys. 58, 105, 1919. Ж. Р. Ф. О. 44, 1912.

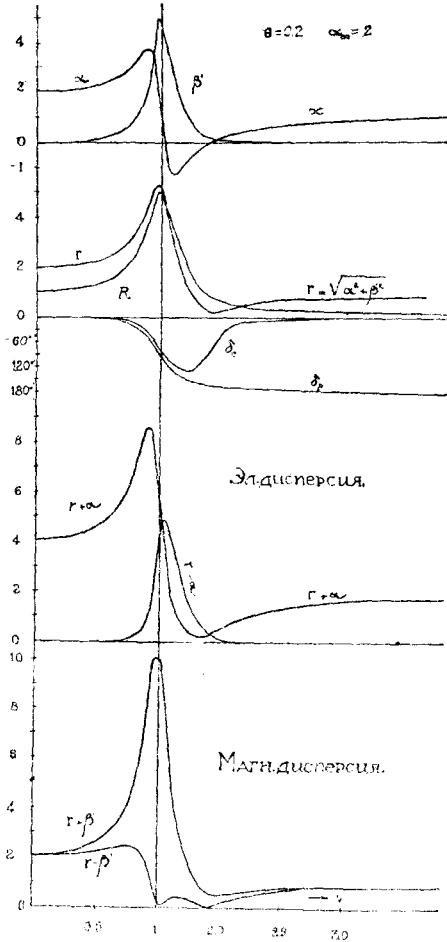


Рис. 3. R — резонанс электрических или магнитных центров; δ_p — отставание их фазы и фазы поляризации от фазы поля; δ_e — отставание фазы индукции; γ — величина $\sqrt{\alpha^2 + \beta'^2}$; коэффициент преломления n в диэлектриках определяется из ур. $2m^2 = \gamma + \alpha$, коэффициент поглощения в них из ур. $2k^2 = \gamma - \alpha$; кажущаяся проницаемость $\mu_k = \gamma + \beta'$, $\mu_n = \gamma - \beta'$.

4. В. Аркадьев. Ферромагнитные свойства как функция длины волны. *Ж. Р. Ф. О.* **45**, 312, 1913.
5. W. Arkadiew. Das Verschwinden der ferromagnetischen Eigenschaften bei den kürzesten elektrischen Wellen. *Phys. Zs.* **14**, 561, 1913.
6. W. Arkadiew. Eine Theorie der elektromagnetischen Feldes in ferromagnetischen Metallen. *Phys. Zs.* **14**, 928, 1913. *Ж. Р. Ф. О.*
7. В. Аркадьев. Теория намагничения тела в постоянном и переменном полях и ее приложения к практическим вопросам электротехники. *Телеграфия и телефония без проводов.* 7 вып. 1920 г. стр. 135.
8. В. Аркадьев. Современные задачи изучения намагничения тела и вещества в постоянном и переменном полях. „Физика“ — *Журн. Московск. Физич. Общества имени Лебедева*, стр. 320. 1922.
9. Richard Gans und Ramon G. Loyarte. Die Permeabilität des Nickels für schnelle elektrische Schwingungen. *Ann. d. Phys.* **64**, 209, 1921.
10. Richard Gans. Die Permeabilität des Nickels für kurze Hertz'sche Wellen und die Messungen von Arkadiew. *Ann. d. Phys.* **64**, 250, 1921.
11. W. Arkadiew. Die Theorie des elektromagnetischen Feldes in ferromagnetischen Metallen und die Berechnungen von R. Gans. *Ann. d. Phys.* **65**, 643, 1921.
12. R. Gans. Bemerkungen zu der Arbeit „Die Permeabilität des Nickels für schnelle elektrische Schwingungen von Richard Gans und Ramon G. Loyarte und die Priorität Arkadiew, *Ann. d. Phys.* **66**, 429, 1921.
13. W. Arkadiew. Erklärungen zu der Arbeit von R. Gans „Magnetische Permeabilität des Nickels für schnelle elektrische Schwingungen und die Messungen von Arkadiew“. *Ann. d. Phys.* **66**, 130, 1921.
14. Б. А. Введенский. О скорости намагничивания железа. *Науч. Изв. Гос. Изд.* стр. 320. 1922.
15. B. Wwedensky. Ueber die Wirbelströme bei spontaner Aenderung der Magnetisierung. *Ann. der Phys.* **64**, 609, 1921.
16. B. Wwedensky. Magnetische Viskosität in sehr dünnen Eisendrähten. *Ann. der Phys.* **66**, S. 110. 1921.
17. W. Kartschagin. Ueber die selektive Absorption elektrischer Wellen an Eisendrähten und über die magnetische Permeabilität des Eisens. *Ann. d. Phys.* **67**, 325, 1922.
18. Введенский и К. Теодорчик. О начальной проницаемости железа в полях радиочастот. *Телеграфия и телефония без проводов.* № 13. стр. 248, 1922 г.
19. B. Wwedensky und K. Theodortschik, Ueber die Abhängigkeit der Permeabilität der Eisendrähte von Frequenz im Wellenlängenbereich von 54 bis 705 m. *Ann. d. Phys.* **68**, 463, 1922.
20. W. Arkadiew. Das Spektrum der magnetischen Permeabilität in dem Bereiche der Wellenlängen zwischen 1 cm. und 1 km. *Phys. Zs.* **22**, 511, 1921.
21. В. Аркадьев. О процессе возбуждения искрой быстрых электрических колебаний и об абсолютном измерении их амплитуды. „Физика“.
22. В. Аркадьев. Зависимость проницаемости железа и никеля от силы и периода переменного магнитного поля очень медленных и очень быстрых электрических колебаний. „Физика“.
23. В. Аркадьев. Новые пути в изучении молекулярного мира, „Наука и Техника“ № 2—3, стр. 20, 1922. Отд. изд. „Молекулярный мир и его изучение“. Москва, 1924.
24. L. Page. Magnetisation in Weak Fields as a Function of Frequency. *Phys. Rev.*, **21** 456, 1923.
25. В. Аркадьев. Магнитная спектроскопия. Изд. НТО ВСНХ. Вып. 4. Москва. 1924.