

Магнитни свойства на веществата. Интензитет на магнитното поле. Диамагнетици, парамагнетици, феромагнетици

Магнитни свойства на веществата. Интензитет на магнитното поле

Според хипотезата на Ампер, в постоянните магнити протичат микротокове, които определят тяхното силно магнитно поле. Оказва се, че такива микротокове протичат във всички вещества – те са обусловени от движението на електроните в атома. Тези микротокове, подобно на токовата рамка, която разгледахме по-горе, се ориентират по определен начин във външно магнитно поле. Следователно, магнитното поле, създадено от тях може да усилва или отслабва външното поле т.е. при едно и също външно поле (например породено от проводник, по който тече ток I), магнитното поле в различните вещества ще бъде различно (ще се променя магнитната индукция на полето в даденото вещество) в зависимост от неговите магнитни свойства. За да характеризираме различните магнитни полета в различни вещества, при една и съща индукция на външното поле, въвеждаме величината интензитет на магнитното поле в даденото вещество:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}.$$

Тук μ_0 е универсална константа (подобно на ϵ_0), нарича се магнитна константа или магнитна проницаемост на вакуума и се измерва в $[\text{N/A}^2]$, а μ е безразмерна величина, характеристика на всяко вещество, и показва колко пъти се увеличава или намалява магнитното поле в даденото вещество спрямо полето във вакуум. Затова μ се нарича относителна магнитна проницаемост на даденото вещество (подобно на ϵ). За повечето вещества (т.нар. диамагнетици и парамагнетици) μ е константа близка до единица. Има обаче една група вещества, наречени феромагнетици (от тях се приготвят постоянните магнити), за които $\mu \gg 1$ и зависи силно от индукцията (интензитета) на външното магнитно поле. Ние можем да използваме величината интензитет на магнитното поле и за вакуум (за вакуума $\mu=1$) и тогава

$$\vec{H}_0 = \frac{\vec{B}}{\mu_0}.$$

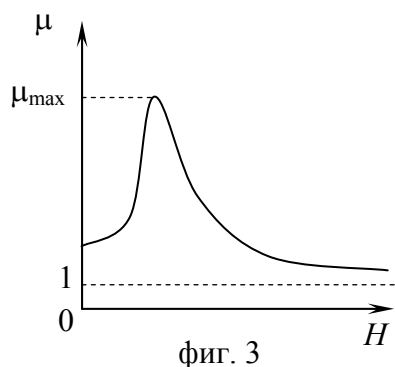
Мерната единица за интензитет на магнитно поле е $[\text{A/m}]$.

Диамагнетици, парамагнетици, феромагнетици

Ще разгледаме малко по-подробно причината за различните магнитни свойства на веществата. Както казахме по-горе, микротоковете във веществата са обусловени от движенията на електроните в атома. При това свое движение те могат да бъдат разглеждани като кръгова токова рамка (каквато разгледахме при дефинирането на магнитното поле). Видяхме, че такава рамка притежава магнитен момент, който може да се ориентира във външно магнитно поле. Собственият магнитен момент на атома е сума от магнитните моменти на отделните електрони. Оказва се, че под действие на външно магнитно поле електроните придобиват и допълнителен магнитен момент, свързан със завъртане на равнината на орбитата на електрона (т.нар. прецесия). Този допълнителен (прецесионен) момент е насочен винаги в посока, противоположна на външното поле и в резултат на това магнитното поле във веществото отслабва – т.нар. диамагнитен ефект, който се наблюдава във всички вещества. Така пълният магнитен момент на атома е сума от собствения му магнитен момент и допълнителния (прецесионен) момент. Прецесионният момент е много малък – много по-малък от собствените магнитни моменти на атомите. Тъй като този допълнителен момент е много малък, той може да оказва влияние на магнитните свойства на дадено вещество, само ако собственият момент на атомите му е равен на нула. Такива вещества наричаме диамагнетици – те нямат собствен магнитен момент и под действие на външно поле придобиват магнитен момент, противоположен на посоката на полето (сравнете с неполярните диелектрици, но при тях придобитият електричен диполен момент е в посоката на електричното поле), поради което интензитетът на магнитното поле в тях намалява ($\mu < 1$). Ако собственият магнитен момент на атомите на дадено вещество не е нула, веществото се нарича парамагнетик. Ако няма приложено външно поле, посоките на магнитните моменти на отделните атоми са ориентирани хаотично поради топлинното им движение и общият магнитен момент на такова вещество също е нула (сравнете с полярните диелектрици). Но при поставянето на парамагнетика във външно магнитно поле, то се стреми да ориентира всички собствени моменти на отделните атоми в посока на полето, поради което интензитета на полето в парамагнетика малко се увеличава ($\mu > 1$). Тъй

като и собственият момент на атомите и допълнителният (прецесионен) момент са много малки, интензитетът на полето в повечето вещества много слабо се различава от интензитета на външното поле и относителната магнитна проницаемост както за диамагнетиците така и за парамагнетиците е много близка до единица – $\mu \approx 1$ (разликата е $10^{-3} \div 10^{-6}$ за парамагнетиците и $10^{-5} \div 10^{-6}$ за диамагнетиците).

Както казахме по-горе, съществува и една група вещества наречени феромагнетици, които притежават собствено магнитно поле, дори и без наличие на външно магнитно поле. Тяхната структура е такава, че в големи части от веществото, наречени домени, собствените магнитни моменти на атомите са ориентирани в една посока. Тези моменти са и доста по-големи отколкото собствените магнитни моменти на атомите на парамагнитните вещества, тъй като основният принос в тях е не орбиталният, а собственият (спинов) магнитен момент на електроните. Основните различия между феромагнетиците и парамагнетиците са две: зависимостта на относителната магнитна проницаемост μ от приложеното външно магнитно поле (фиг. 3) и нелинейната и нееднозначна зависимост на магнитната индукция B в тях от интензитета H на външното магнитното поле (т.нар. хистерезис, фиг. 4).

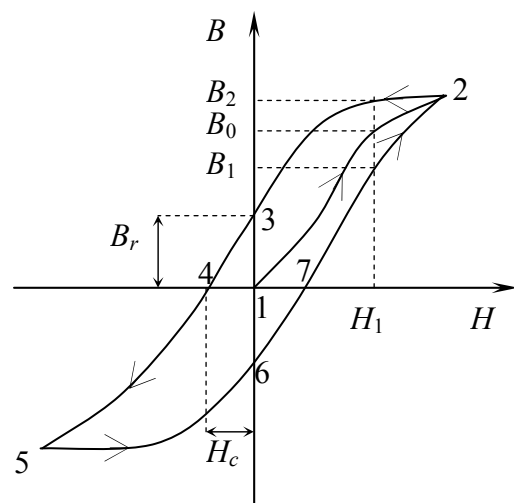


фиг. 3

На фиг. 3 е показана зависимостта на μ от интензитета H на приложеното външно магнитно поле. Вижда се, че при определена стойност на H , μ достига до максималната си стойност μ_{\max} , след което намалява и при много силни полета асимптотично клони към единица. Ходът на кривата се обяснява с преориентацията на домовете по посока на външното поле. След пълната преориентация на домовете (достигане до μ_{\max}), собственото магнитно поле не може повече да расте и внася все по-малък принос към общото вътрешно поле (което е сума от външното и собственото). Когато интензитетът на външното поле многократно превишава този на собственото, можем на пренебрегнем интензитета на създаденото собствено поле т.е. на практика $\mu \approx 1$. Величината μ_{\max} е една

от основните характеристики на феромагнетика. Стойността ѝ за желязото е около 5×10^3 , а за някои сплави достига $10^5 - 10^6$.

Другата характерна особеност на феромагнитните вещества – хистерезисната крива на зависимостта на B от H – е показана на фиг. 4. Виждаме, че зависимостта е нелинейна (тъй като μ е функция на H) и нееднозначна – на една и съща стойност на H отговарят различни стойности на B . При увеличаване на интензитета на външното поле (1–2), магнитната индукция B в образеца започва да расте, отначало нелинейно, а след определена стойност на H – линейно. При намаляване на интензитета H обаче, кривата не следва същия ход, а лежи по-високо (2–3). Когато външното поле намалее до 0 (т. 3), магнитната индукция във феромагнетика е различна от 0 – това е т.нар. остатъчна индукция B_r . За да се размагнити изцяло образеца, трябва да приложим външно поле в обратна посока (3–4). Стойността на интензитета на външното поле, при което индукцията в образеца става 0 се нарича коерцетивна сила H_c .



фиг. 4

Ако продължим да увеличаваме полето в същата посока, ще стигнем до т. 5, която е симетрична на т. 2 спрямо началото на координатната система. Ако сега започнем пак да променяме интензитета H на външното поле в обратен ред, кривата на изменение на B ще бъде 5–6–7–2. Виждаме, че при една и съща стойност на H (напр. H_1) може да имаме различни стойности на B в зависимост от предходното състояние на образеца – ако увеличаваме H ще получим напр. стойности B_0 или B_1 , а ако измерим B при намаляване на H ще получим B_2 . Феромагнетиците с голяма остатъчна индукция (широка хистерезисна крива) се наричат магнитно твърди и се използват напр. за изготвяне на постоянни магнити, а тези с тясна хистерезисна крива наричаме магнитно меки и могат да се използват за сърцевини на трансформатори или генератори.