

Магнитная восприимчивость жидкостей

Н.М.Яковенко, Н.Ю.Колесник, канд. техн. наук, В.М.Беляева

Харьковская национальная академия городского хозяйства

61002 Украина, г. Харьков, ул. Революции, 12

Сущность магнетохимии заключается в применении результатов изучения магнитных свойств вещества для решения химических проблем. Многие из этих проблем в той или иной степени связаны с вопросами строения молекул.

Последнее тем более необходимо, поскольку все измерения проводятся на нестандартном оборудовании. Оба имеющихся магнетометра (Фарадея и Гуи) были изготовлены профессором В.П.Курбатовым и инженером Б.Д.Высоцким в лаборатории магнетохимии кафедры физической и коллоидной химии РГУ.

Магнитную восприимчивость можно рассматривать как количественную меру отклика вещества на приложенное внешнее магнитное поле. Магнитное поле в вакууме характеризуется напряжённостью поля H . В образце, помещённом в магнитное поле, индуцируется собственное магнитное поле, совпадающее или не совпадающее по направлению с внешним полем. Поэтому эффективное магнитное поле внутри образца, называемое магнитной индукцией B , отличается от магнитного поля в вакууме и связано с ним соотношением (1):

$$B = H + 4\pi I \quad (1)$$

где I - интенсивность намагничивания или магнитный момент единицы объёма.

Из уравнения (1) следует, что B и H имеют одинаковую размерность, однако для того, чтобы подчеркнуть разницу между магнитным полем в вакууме и в реально среде, в системе SGSM единицу измерения H называют эрстедом (э), а единицу измерения B и I - гауссом (Гс).

Объёмная магнитная восприимчивость безразмерна; в магнетохимии вместо неё используется удельная магнитная восприимчивость χ_g , размерность которой обратна размерности плотности ($\text{см}^3/\text{г}$). Объёмная и удельная магнитные восприимчивости связаны между собой уравнением (2):

$$\chi_g = \frac{\chi_v}{\rho} \quad (2)$$

где ρ - плотность вещества.

Молярную магнитную восприимчивость χ_M , имеющую размерность $\text{см}^3/\text{моль}$, находят по формуле (3):

$$\chi_M = \frac{\chi_v M}{\rho} = \chi_g M \quad (3)$$

где M - молярная масса вещества.

Выражение для молярной магнитной восприимчивости напоминает уравнение для молярной поляризации (метод дипольных моментов) и также включает две составляющие (4):

$$\chi_M = \chi_d + \chi_p \quad (4)$$

где χ_d - молярная диамагнитная восприимчивость (аналог деформационной поляризации);

χ_p - молярная парамагнитная восприимчивость (аналог ориентационной поляризации).

Если в магнитном поле находится вещество, молекулы которого не имеют неспаренных электронов, ($\mu_0 = 0$), то, в соответствие с уравнениями (4), единственным членом, дающим вклад в магнитную восприимчивость, является χ_d . В этом случае вещество является *диамагнитным*: оно менее проницаемо для магнитных силовых линий, чем вакуум, и в неоднородном магнитном поле на него действует сила, по направлению противоположная градиенту напряжённости магнитного поля. Иначе говоря, образец *выталкивается* из магнитного поля.

Если же молекулы помещённого в магнитное поле вещества содержат неспаренные электроны (свободные радикалы ионы переходным или редкоземельных элементов и т.п.), т.е. обладают отличным от нуля магнитным моментом, то положительная составляющая χ_p , превосходящая по абсолютной величине (не менее чем на порядок) отрицательную χ_d , делает магнитную восприимчивость χ_M положительной. В таком случае говорят, что вещество парамагнитно. Оно более проницаемо для магнитных силовых линий, и в нём индуцированное магнитное поле и внешнее поле совпадают по направлению. Образец вещества *втягивается* в магнитное поле.

Эта сила связана с удельной магнитной восприимчивостью χ_g , массой m образца, помещённого в неоднородное магнитное поле с напряжённостью H и градиентом напряжённости $\frac{dH}{dZ}$ уравнением (5):

$$F = \chi_g m H \frac{dH}{dZ} \quad (5)$$

Если образец имеет достаточно малый линейный размер, так что на всём его протяжении выполняется условие $\frac{dH}{dZ} = const$, то можно с помощью чувствительных весов измерить силу F в направлении оси Z и рассчитать магнитную восприимчивость по формуле. Такой способ измерения χ_g получил название метода Фарадея.

Метод определения магнитной восприимчивости, основанный на использовании формулы

$$F = \chi_g m \frac{H^2}{2L} \quad (6),$$

получил название метода Гуи. Если измерения производятся в среде с заметной магнитной восприимчивостью χ_0 , то необходимо учитывать и восприимчивость среды. Тогда уравнение (6) преобразуется в формулу (7):

$$F = (\chi_g - \chi_0) m \frac{H^2}{2L} \quad (7)$$

Методы Фарадея и Гуи имеют многочисленные модификации; принципиальные схемы методов показаны на рис. 1.

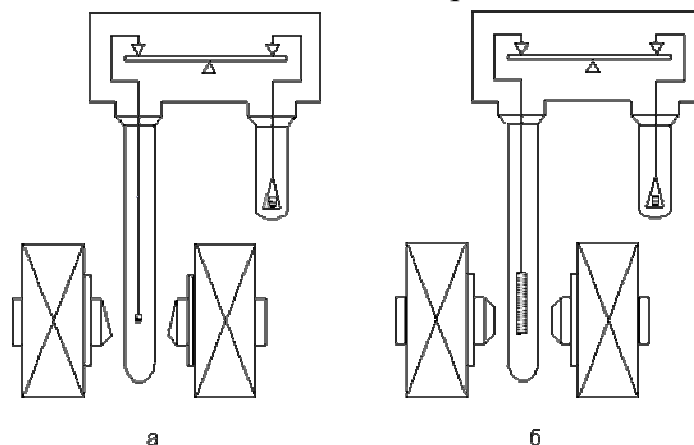


Рис. 1 - Принципиальная схема весов Фарадея (а) и Гуи (б)

Магнитная восприимчивость аддитивна. Поэтому восприимчивость раствора $\chi_{1,2}$ может быть выражена через восприимчивость растворителя χ_1 , растворённого вещества χ_2 и массовую долю растворителя f по формуле (8):

$$\chi_{1,2} = f_1\chi_1 + f_2\chi_2 \quad (8)$$

$$f_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (9)$$

$$f_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (10)$$

где m_1 - масса растворителя;

m_2 - масса растворённого вещества;

f_1 - массовая доля растворителя;

f_2 - массовая доля растворённого вещества.

Измерив, как описано выше, на установке Гуи магнитную восприимчивость растворителя χ_1 и раствора $\chi_{1,2}$, по формуле (10) рассчитывают магнитную восприимчивость растворённого вещества χ_2 , определив предварительно по формуле (9) его массовую долю в растворе.