

UOT 541.8

A.B.İbrahimli
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
aygunibrahimli@yahoo.com

MAYELƏRDƏ SƏTHALTI TƏBƏQƏ VƏ SƏTHİ GƏRİLMƏ

Açar sözlər: maye metal, səthi gərilmə, izotermik sıxılma

Məqalədə mayələrin izotermik sıxılması ilə səthi gərilməsi arasında korrelyasiyanın mümkünlüyünə baxılır. Araşdırılan bu əlaqə maye metallara tətbiq edilir və bir neçə maye metal üçün yoxlanılır.

A.Б.Ибрагимли

ПОДПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ В ЖИДКОСТЯХ

Ключевые слова: жидкий металл, поверхностное натяжение, изотермическое сжатие

В статье рассматривается возможность корреляции между изотермическим сжатием жидкости и поверхностным натяжением. Эта связь была применена к жидким металлам и была исследована для нескольких жидких металлов.

A.B.İbrahimli

SURFACE TENSION AND UNDER THE SURFACE LAYER OF LIQUIDS

Keywords: liquid metal, surface tension, isothermal compression

The article considers the possibility of a correlation between isothermal compression of a liquid and surface tension. This relationship has been applied to liquid metals and has been investigated for several liquid metals.

Giriş

Ümumi prinsiplərə əsaslanaraq gözləmək olar ki, kondensə olunmuş maddələrin həcmi və səthi xassələri arasında müəyyən korrelyasiya olmalıdır. Buna səthdə və həcmdə yerləşən hissəciklər (atom yaxud molekullar) arasında mövcud olan qarşılıqlı təsir qüvvəsinin təbiətən, praktiki olaraq dəyişməməsi əsas verir. Hazırkı məqalədə həcm üçün xarakterik olan izotermik sıxılma ilə səthi gərilmə hadisələri arasında ehtimal edilən korrelyasiya maye metallar və maye duzlar misalında nəzərdən keçirilir.

İşin məzmunu

Qoyulan məsələni iki fərqli yanaşmadan araşdırmaq olar. Hər iki halda fərz olunur ki, sıxlıq qradienti mövcud olduqda mayenin həcminə dair nəzəriyyələr səthə də şamil edilə bilər. İkinci yanaşma maye metallar üçün səciyyəvidir və o, keçirici elektronların baxılan məsələdə rolunu müəyyənləşdirir.

Sıxlıq qradienti ilə bağlı səthi gərilmə və termik sıxılma arasında mümkün korrelyasiyanı “Kaxn-Hillard nəzəriyyəsi” adlanan nəzəriyyənin köməyi ilə araşdırıla bilər. Bu nəzəriyyənin mahiyyəti aşağıdakılardan ibarətdir.

Mayenin ϑ həcmində statistik sıxlıq fluktuasiyası ($\delta\rho$) mövcud olduqda, fluktuasiya ilə bağlı sərbəst enerjini (F_1) aşağıdakı kimi yazıla bilər [1]:

$$F_1 = C_1\vartheta \left(\frac{\delta\rho}{\rho}\right)^2 \cdot \frac{1}{\beta_T}. \quad (1)$$

Burada β_T – izotermik sıxılma əmsəlidir.

(1) ifadəsi yalnız statistik sıxlıq fluktuasiyası ilə bağlı yaranan sərbəst enerjidir. Sıxlıq qradienti öz növbəsində əlavə sərbəst enerjinin (F_2) meydana çıxmasına gətirir. (1)-ə oxşar olaraq bu enerjini

$$F_2 = C_2\vartheta \left(\frac{\delta\rho}{L}\right)^2 \quad (2)$$

kimi yazıla bilər (L -səthin, daha korrekt desək, səthaltı təbəqənin qalınlığıdır).

Səthi gərilmə ümumilikdə vahid səthə düşən ($S=1$) sərbəst səth enerjisi olduğundan aydındır ki, statistik fluktuasiya və sıxlıq qradientinin birgə təsiri ilə bağlı yaranan səthi gərilmə (1) və (2) nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_{sıx.qrad.} + \sigma_{stat.fluk.} = \frac{F_2}{S} + \frac{F_1}{S} = \\ &= C_2\vartheta \left(\frac{\delta\rho}{L}\right)^2 \frac{1}{S} + C_1\vartheta \left(\frac{\delta\rho}{\rho}\right)^2 \cdot \frac{1}{\beta_T} = C_2 \frac{\delta\rho^2}{L} + C_1 \left(\frac{\delta\rho}{\rho}\right)^2 \cdot \frac{L}{\beta_T} \end{aligned} \quad (3)$$

(3)-dən göründüyü kimi, Kaxn-Hillard nəzəriyyəsində fərz olunur ki, mayelərin səthi gərilməsi, sıxlıq qradienti və sıxlıq fluktuasiyası olmaqla iki səbəb üzündən yaranır. Səthi gərilmənin deyilən toplananları (3)-ə əsasən

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{sıx.qrad.} &= C_2L \left(\frac{\delta\rho^2}{L^2}\right) \\ \sigma_{stat.fluk.} &= C_1L \left(\frac{\delta\rho}{\rho}\right)^2 \cdot \frac{1}{\beta_T} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ifadələri ilə təyin olunur.

Səthaltı təbəqənin qalınlığını xarakterizə edən L kəmiyyətini (3) və (4)-ün cəmi kimi təyin olunan tam səthi gərilmənin L -ə görə törəməsini sıfıra bərabər etməklə, yəni minimumluq şərtindən tapa bilərik:

$$\frac{d\sigma}{dL} = C_1 \frac{(\delta\rho)^2}{\rho^2\beta_T} - C_2 \frac{(\delta\rho)^2}{L^2} \equiv 0. \quad (5)$$

(5)-dən

$$L = \rho \cdot \left(\frac{C_2}{C_1} \cdot \beta_T \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

olduğunu alırıq.

Temperaturun artması ilə mayenin sıxlığı azaldığından, (6)-dan görüldüyü kimi, səthaltı təbəqənin qalınlığı da kiçilməlidir. Fiziki baxımdan bu qəbul olunandır.

Tarazlıq halında fluktuasiya və sıxlıq qradienti hesabına yaranan sərbəst enerjilər biri-birinə bərabər olduğundan ($F_1 = F_2$)

$$\sigma \approx 2C_1L \cdot \left(\frac{\delta\rho}{\rho} \right)^2 \cdot \frac{1}{\beta_T} \quad (7)$$

alırıq. Statistik fluktuasiyanı ($\delta\rho$ -nu) mayenin həcmi sıxlığı ilə buxarın sıxlığı fərqi kimi yazmaq olar: $\delta\rho = \rho_m - \rho_b$. Üçlük nöqtəsində $\rho_m \gg \rho_b$ olduğundan $\delta\rho \approx \rho_m$ və (7)-dən

$$\sigma \approx 2C_1 \cdot \frac{L}{\beta_T} \quad (8)$$

alırıq. Nəhayət olaraq, (8)-dən

$$\beta_T \cdot \sigma \approx L \quad (9)$$

olar. (9) münasibəti ilk dəfə nəzəri olaraq Frenkel tərəfindən verilmişdir [2].

Müxtəlif növ mayələr üçün üçlük nöqtəsi ətrafında tərəfimizdən hesablanan ($\beta_T \cdot \sigma$) kəmiyyəti cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl. Maye metal və duzlar üçün ($\beta_T \cdot \sigma$) kəmiyyəti

Maye	$\sigma \cdot 10^{-5},$ $N/sm[3]$	$\beta_T \cdot 10^{-7},$ $sm^2/N[3]$	$\beta_T \cdot \sigma, \text{Å}$	Maye	$\sigma \cdot 10^5,$ $N/sm[3]$	$\beta_T \cdot 10^{-7},$ $sm^2/N[3]$	$\beta_T \cdot \sigma, \text{Å}$
Maye metallar				Maye duzlar			
Na	194	21	0,40	NaCl	116	29	0,34
K	113	40	0,45	NaBr	99	34	0,34
Rb	95	49	0,46	NaI	86	40	0,35
Cs	71	67	0,47	KCl	97	38	0,37
Cu	1280	1,45	0,19	KBr	90	44	0,39
Ag	940	1,86	0,18	KI	78	50	0,39
Pb	470	3,5	0,17				

Cədvəldən görüldüyü kimi, oxşar quruluşlu bərk maddələrin mayələrində səthaltı təbəqənin qalınlığı $(\beta_T \cdot \sigma)$ kəmiyyəti təqribən eyni tərtibli

sabit kəmiyyətdir; \bar{L} həcmə mərkəzləşmiş kubik qəfəsə malik olan qələvi metal mayeləri üçün $\sim 0,44\text{\AA}$, səthə mərkəzləşmiş qəfəsli metalların mayeləri üçün $\sim 0,18\text{\AA}$, kubik qəfəsli ion kristalları mayeləri üçün isə $\sim 0,36\text{\AA}$ -dir.

Səthaltı təbəqənin qalınlığının maddənin bərk fazada malik olduğu kristal qəfəsinin növündən qeyd olunan asılılığı çox ehtimal ki, təbəqənin kvazikristallik quruluşa malik olması və müvafiq mayenin “kristallik (yaxud quruluş) yaddaşa” malik olması ilə bağlıdır. Qeyd edək ki, son deyilənlər diffuziya hadisəsinin tədqiqindən də irəli gəlir: [4-7]-yə əsasən maye metallarda sərbəst elektronların varlığı araşdırılan əlaqəyə təsir göstərmir. Bu məsələyə nəzəri olaraq [8]-də baxılmışdır. Deyilən məsələnin mahiyyəti aşağıdakından ibarətdir. Sərbəst elektronlar nəzəriyyəsində göstərilir ki, elektron qazının sıxılma əmsalı

$$\beta_0 = \frac{3}{2} \rho_0 \varepsilon_F \quad (10)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada ρ_0 -metalın həcmində elektron qazının sabit qəbul olunan sıxlığıdır və Fermi enerjisi (ε_F) və Fermi dalğa ədədi (K_F) $\rho_0 = \frac{K_F^2}{3\pi^2}$ və $\varepsilon_F = \frac{\hbar^2 K_F^2}{2m}$ ifadələri ilə əlaqəlidir (m-elektronun kütləsidir).

Maye metalda səth enerjisi əhəmiyyətli dərəcədə səthin bilavasitə yaxınlığında elektron sıxlığının qeyri-homogen olması ilə bağlıdır. Bu qeyri-homogenlik üzündən yaranan kinetik enerji (E_k) aşağıdakı kimi təyin oluna bilər. Elektronun dalğa funksiyası ψ olarsa onun kinetik enerjisi

$$E_k = -\frac{\hbar^2}{2m} \int \psi^* \nabla^2 \psi d\vec{r} = \frac{\hbar^2}{2m} \int (\nabla \psi)^2 d\vec{r} \quad (11)$$

ifadəsi ilə verilir. Digər tərəfdən, bir elektron üçün $\psi \sim \rho^{1/2}$ -dir, yəni

$$E_k = \frac{\hbar^2}{8m} \int d\vec{r} \frac{(\nabla \rho)^2}{\rho} - \text{dir.} \quad (12)$$

Gradient çox da böyük olmadıqda (12) böyük sıxlıqlı fermi-qaz üçün də yararlıdır və bu halda yalnız inteqral qarşısındakı əmsal fərqli olur :

$$E_k = \frac{\hbar^2}{72m} \int d\vec{r} \frac{(\nabla \rho)^2}{\rho} \quad (13)$$

Xüsusi halda, Z oxu müstəvi səthə perpendikulyar yönəldikdə,

$$\vec{\nabla} \rho(\vec{r}) = \frac{d\rho}{d\vec{r}} \approx \frac{\rho_0}{L} \quad (14)$$

yazmaq olar (L-səthaltı təbəqənin qalınlığıdır). (5)-i nəzərə aldıqda (14)-dən

$$E_k = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\rho_0^2}{L^2} \cdot \frac{SL}{\rho_0} \quad (15)$$

alırıq. (15)-də S-səthin sahəsidir. Nəhayət olaraq (6)-dan,

$$\sigma \approx \frac{\hbar^2}{72m} \cdot \frac{\rho_0}{L} \quad (16)$$

alarıq. (1) və (6) ifadələrindən isə

$$K_0 \cdot \sigma \approx \frac{\hbar^2}{72m} \cdot \frac{\rho_0}{L} \cdot \frac{3}{2\rho_0 \cdot \varepsilon_F} \quad (17)$$

olar.

Səthin qalınlıq meyarı bilavasitə Fermi səviyyəsində yerləşən elektronun de-Broyl dalğasının uzunluğu ilə bağlı olan π/K_F kəmiyyəti olduğundan aydındır ki, $L \sim \varepsilon_F^{-\frac{1}{2}}$ –dir. Onda (17)-dən

$$K_T \cdot \sigma \sim L, K_0 \cdot \sigma \approx \frac{\hbar^2}{72m} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{E_F^{\frac{1}{2}}} \sim L \quad (18)$$

alarıq. Qeyd edək ki, (18) yuxarıda qeyri-metallik mayələr üçün aldığımız (9) ifadəsinin bənzəridir.

Hazırkı məqalədə göstərir ki, həcmi və səthi xassələr arasında əlaqə baxımından maye metallar digər mayələrə bənzərdir. Bunun səbəbi maye metalın səthaltı təbəqəsində elektron sıxlığının demək olar ki, atom sıxlığı qədər olmasıdır.

Göründüyü kimi, sərbəst elektronlar maye metalda səthaltı təbəqənin qalınlığına təsir göstərmir. Bu bir qədər anlaşılmazdır, belə ki, səthaltı təbəqədə elektron sıxlığının qradienti mövcuddur və o, prinsipcə səthi gərilməyə öz əlavəsini verməlidir. Lakin yük elektroneytrallığı və ekranlaşma ion və elektron sıxlıqları qradientinin biri-birinə bərabər olmasına gətirir.

Nəticə olaraq deyə bilərik ki, səthaltı təbəqənin qalınlığı maddənin bərk fazada malik olduğu kristal qəfəsinin növündən asılıdır. Qeyd olunan asılılıq, çox ehtimal ki, təbəqənin kvazikristallik quruluşa malik olması və müvafiq mayenin “kristallik (yaxud quruluş) yaddaşa” malik olması ilə bağlıdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Awe O.E., Olawole O. Correlation between bulk and surface properties in Cd–X (X = Hg, Mg) liquid alloys // Journal of Non-Crystalline Solids, 2012, v. 358, issues 12–13, pp. 1491-1496
2. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. Сборник избранных трудов. Т.3, М.-Л.: Изд. АН СССР, 1959, 458 с.
3. Кикоин И.К. Таблицы физических величин. М.: Атомиздат, 1976, 1008 с.
4. Marc N.H., Parrinelo M. Collective Effects in Solids and Liquids. Bristol: Hilger, 1982, 274 p.

5. *Maeda K., Takeuchi S.* Inhomogeneities in a model amorphouse metal spatial correlation of atomic level // J-Phys. 1982, v.F12, pp.2767-2781
6. *Mills R.* Self-diffusion in normal and heavy water in the range 1-45.deg. // J. Phys. Chem., 1973, 77, pp. 685-688
7. *Thevari S.P., Dingra G., Silation P., Sood J.* Microdynamics of a mono atomic liquid metal // J. Non.-Cryst. Solids. 2009, v.355, №50-51, pp. 2522-2527
8. *Moro R.M.* Statistical Mechanical Theorics Transport Prozesses, London, 1967, 418 p.