

УДК 538.95

Чечко В.Є.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, НДІ фізики ОНУ ім. І.І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082.

E-mail: AstandPPWT@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7402-7853>

До проблеми використання моделі ідеального розчину в молекулярній фізиці

Концепцію ідеального розчину сформульовано ще у 80-х роках XIX століття. Однозначність формулювань та визначення на її основі властивостей ідеальних сумішей викликає будь-які неоднозначності в їх тлумаченні. Проте, час від часу в літературі можна зустріти формулювання густини ідеального розчину, що суперечать загальноприйнятому визначенню. Цей невеликий огляд присвячено проблемі використання концепції ідеального розчину у дослідженнях з фізики конденсованого стану. Наведено декілька прикладів проблемних формулювань та проведено їх критичний аналіз.

Ключові слова: ідеальний розчин, густина, адитивність.

Вступ. Одним із основних методів дослідження волюметричних, теплових, реологічних та інших властивостей розчинів є порівняння експериментальних даних з відповідними властивостями ідеальних розчинів за тих же температури, тиску та складу. У літературі [1, 2, 3, 4, 5] ми знаходимо декілька ідентичних за своїм змістом визначень ідеального розчину (необхідність ретельного цитування буде пояснено нижче).

Наприклад, у [1] зазначається, що ідеальний розчин - це розчин, хімічні потенціали компонентів якого у всіх діапазонах температур T , тисків P та концентрацій визначаються як:

$$\mu_i = \mu_i^{(o)}(T, P) + RT \ln x_i$$

де $\mu_i^{(o)}(T, P)$ – хімічний потенціал компоненту i за тих же температури та тиску, що й у розчині, x_i – мольна частка компоненту i . З цієї формули випливають, серед інших, два важливих для подальшого обговорення висновки. Для густини ρ^{id} та об'єму V^{id} ідеального розчину ми маємо ([6], формули 1 та 2 у тексті публікації):

$$\rho^{id} = \sum_{i=1}^n \rho_i^{(0)} \phi_i, \quad V^{id} = \sum_{i=1}^n v_i^{(0)} x_i$$

де $\rho_i^{(0)}$, $v_i^{(0)}$, $\phi_i = \frac{x_i v_i^{(0)}}{V^{id}}$, x_i – густина, молярний об'єм, об'ємна та мольна частка компоненту i . Як наслідок з рівняння для об'єму ідеального розчину отримуємо вираз для надлишкового об'єму $V_{(id)}^E$ цього розчину:

$$V_{(id)}^E = 0. \quad (1)$$

Це рівняння є дійсним для всіх концентрацій, температур та тисків.

Автори [7] наголошують, що для ідеального розчину має місце адитивність:

- молярного об'єму по мольній частці (часто визначається як молярно-адитивна властивість);
- густини по об'ємній частці розчиненої речовини (визначається як об'ємно-адитивна властивість).

Звертається увага [8], що при визначенні надлишкових властивостей не всі термодинамічні характеристики ідеальних розчинів підпорядковуються адитивному правилу залежно від мольної частки компонентів. Автори наводять приклад критики такого підходу у численних експериментальних роботах з акустики [6, 9, 10].

У [4] наведено дещо інше визначення ідеального розчину, а також класифікацію ідеальних розчинів.

Зазначене вище визначення ідеального розчину та наслідки з нього передбачають відсутність будь-яких неоднозначностей, різночитань чи інтерпретацій. Незважаючи на це, час від часу з'являються та продовжують з'являтися публікації, де густина ідеального розчину ρ^{id} визначається як адитивна по відношенню до густин компонентів розчину. При цьому склад розчину задається мольними або масовими частками, або молярністю розчину.

1. Інтерпретації густини ідеального розчину. Наведемо декілька прикладів з означених публікацій. Деякі положення з цих публікацій будуть наведені як цитати на мові оригіналу або у перекладі.

Так у [11] концентраційна поведінка густини водного розчину сахарози порівнюється з адитивною по відношенню до густин компонентів розчину. При цьому автори не використовують поняття «ідеальний розчин». Нажаль, формула, що визначає концентраційну залежність густини цього «модельного» розчину також не наводиться, але наводиться вислів: «...отклонения плотности растворов сахарозы от аддитивности...». У статті вказано, що склад розчинів визначається у мольних частках сахарози. Найбільш імовірно, густина як функція концентрації у [11] має вигляд:

$$\rho^{(id)} = \rho_1(1 - x) + \rho_2 x, \quad (2)$$

де ρ_1 , ρ_2 – відповідно, густини розчинника (вода) та розчиненої речовини (сахароза). Аналогічна формула наводиться у роботі [12].

При дослідженні фізичних властивостей водних розчинів 1-пропанолу [13] оцінка отриманих результатів виконується за допомогою формули для густини розчину, що аналогічна (2). Ця формула визначається як «наближена». Як і у [11] поняття «ідеальний розчин» не використовується.

Таку ж лінійну концентраційну залежність, але у залежності від масової частки c ,

$$\rho^{(id)} = \rho_1(1 - c) + \rho_2 c \quad (3)$$

мають на увазі автори [14] (залежність у явному вигляді не наводиться). Такий характер залежності густини обґрунтовано відсутністю міжмолекулярної взаємодії, що притаманна ідеальним розчинам. Ця теза ніяк не обґрунтовується, або літературні джерела не наводяться (на відміну від даної роботи, де ретельному цитуванню приділено особливу увагу). В якості ілюстрації у [14] наводяться графіки залежностей густин реальних (отримано експериментального) та ідеального розчинів вода-етанол (див. рис. 1).

Характер залежності для ідеального розчину (див. рис. 1) підтверджує наше припущення, що до вигляду концентраційної залежності густини, який співпадає з (2).

Аналогічний вигляд має густина ідеального розчину у [15] (формула 9 у тексті публікації). Концентрації визначаються у мольних частках розчиненої речовини.

Саме таке ж твердження як у [14] наводиться у [16] на сторінці 150: «В идеальном случае, когда между компонентами смеси отсутствует какое-либо взаимодействие, зависимость плотности от состава *должна быть линейной*». Ця теза також ніяк не пояснюється та не обговорюється. Такий саме вигляд має концентраційна залежність густини ідеального розчину у роботах [17, 18] але при цьому склад визначається за допомогою молярності розчину.

У [19] при обговоренні вигляду концентраційних залежностей густини водних розчинів гексиленгліколю стверджується, що відхилення цих залежностей від лінійних свідчить про їх не ідеальність.

Природно, зазначений погляд на концентраційну залежність густини ідеальних розчинів також відображено в учбовій літературі наприклад, [20, 21, 22] та дисертаційних роботах, наприклад [23]. Окремо слід навести приклад різноманітних не фахових інтернет-ресурсів у форматі «запитання-відповіді», наприклад [24]. В наш час, нажаль, дедалі частіше виключно вони виступають джерелом інформації.

Зрозуміло, що наведені приклади не вичерпують всього списку наявних публікацій.

Наявність подібних проблематичних публікацій вимагає розібратись у поширених помилках і відновити правильне тлумачення концепції ідеального розчину, що і буде зроблено в наступних розділах.

2. Густина ідеального розчину. По-перше звернемось до такої поширеної тези: ідеальним розчинам притаманна відсутність міжмолекулярної взаємодії. Слід підкреслити, що відсутність міжмолекулярної взаємодії не є необхідною умовою ідеальності розчину. У літературі можна зустріти умови, які характерні для ідеальних з точки зору термодинаміки розчинів (тобто ті, що підкоряються закону Рауля). У [2] на сторінці 12 «строго говоря, жидкости, образующие идеальный раствор, должны быть одинаковы по молекулярным свойствам, характеристикам межмолекулярных взаимодействий». І. Пригожин [3] наводить цю умову у формі: «Утворення ідеального розчину імовірно лише, якщо маси, розміри молекул і парціальні сили взаємодії компонентів мало відрізняються між собою».

По-друге визначимо, що будь-яка властивість одного моля речовини X_{ad} є адитивною, коли вона складається з молярних властивостей X_1^0 і X_2^0 компонентів пропорційно їх мольним часткам у розчині [25] сторінка 184:

$$X_{ad} = X_1^0(1-x) + X_2^0x,$$

де x – молярна частка розчиненої речовини. Але не часто звертається увага, що це визначення стосується тільки екстенсивних властивостей розчинів [26].

До адитивних можуть бути віднесені, наприклад, такі фізичні величини [27]: молярний об'єм, коефіцієнт молярного ізобаричного розширення, молярна ізобарична теплоємність, коефіцієнт молярного ізотермічного стиснення та коефіцієнт молярного ізентропійного стиснення. Так, наприклад, за правилом адитивності [28, 29] може бути визначено надлишковий об'єм розчину:

$$V^E = V - [(1-x)v_1 + xv_2],$$

де V – експериментальне значення молярного об'єму розчину, v_1 , v_2 – значення молярних об'ємів розчинника та розчиненої речовини.

На підставі визначення густини та первісних властивостей ідеального розчину (1) не важко отримати залежності для густини ідеального розчину. У рівнянні (4) ця залежність подана як функція масової частки розчиненої речовини c , а у рівнянні (5) – як функція мольної частки x :

$$\rho^{(id)} = \frac{1}{\frac{1-c}{\rho_1} + \frac{c}{\rho_2}}, \quad (4)$$

$$\rho^{(id)} = \frac{M_1(1-x) + M_2x}{\frac{M_1(1-x)}{\rho_1} + \frac{M_2x}{\rho_2}}, \quad (5)$$

де M_1 і M_2 – молекулярні (молярні) маси розчинника і розчиненої речовини. З (4) і (5) випливає, що ні про яку лінійну залежність густини від масової або мольної частки компонентів розчину не йдеться.

На рис. 1 (залежність 3) наведена залежність густини ідеального розчину вода-етанол, що розрахована за допомогою (4) та відповідає дійсності.

З даних, що наведено на рис. 1, бачимо, що залежність для ідеального розчину (залежність 3) достатньо наближена до лінійної (залежність 2), але має від неї відхилення (не перевищує 2.5%). Звернемо увагу, що при дослідженнях, наприклад, кластеризації у розчинах ця величина має суттєве значення. Так, відносне відхилення об'єму розчину від ідеального (контракція) для розчинів вода-етанол за температури 20°C дещо перевищує 3.5%.

4. Аналіз наведених прикладів. Розглянемо більш ретельно факти, що наведені у [14, 15]. Застосуємо визначення густини ідеального розчину у вигляді

$$m = \rho^{(id)} V_\mu^{id}, \quad (6)$$

де m – маса розчину. З урахуванням залежностей молярної маси та молярного об'єму розчину, рівняння (6) набуває вигляду:

$$((1-x)M_1 + xM_2) = \rho^{(id)}((1-x)v_1 + xv_2).$$

Бачимо, що с обох боків знаку рівності в дужках знаходяться адитивні величини. Цей факт, з точки зору математики, виключає адитивність густини ідеального розчину $\rho^{(id)}$ по відношенню до мольної частки його компонентів. Такий же самий висновок можна отримати у разі завдання складу розчину масовими частками.

Цікаво, що одночасно з виразом для густини ідеального розчину у [15] наводиться формула для молярного об'єму ідеального розчину $V_\mu^{(id)} = (1-x)v_1 + xv_2$ (формула 15 у тексті публікації). Природно, що вираз для молярної маси розчину за допомогою (6) у такому випадку не співпадає з $(1-x)M_1 + xM_2$. На додаток зазначимо, що адитивна формула густини ідеального розчину призводить до відмінності від нуля надлишкового об'єму цього розчину. Факт $V_{(id)}^E \neq 0$ суперечить визначенню цієї властивості ідеального розчину (1).

Легко отримати вираз густини ідеального розчину в залежності від молярності C_M [моль/кг], що впливає із визначення густини:

$$\rho^{(id)} = \frac{1000 + M_2 C_M}{\frac{1000}{\rho_1} + \frac{M_2 C_M}{\rho_2}}. \quad (7)$$

Бачимо, що ця залежність не є лінійною відносно молярності розчину. З погляду на зв'язок, наприклад, мольної частки та молярності розчину [1]:

$$x = \frac{C_M}{C_M + \frac{10^3}{M_1}}$$

легко отримати формулу (5).

Але, можна записати адитивне співвідношення густин ідеального розчину по відношенню до об'ємної частки розчиненої речовини (ω):

$$\rho^{(id)} = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2} = \rho_1 (1 - \omega) + \rho_2 \omega, \quad (8)$$

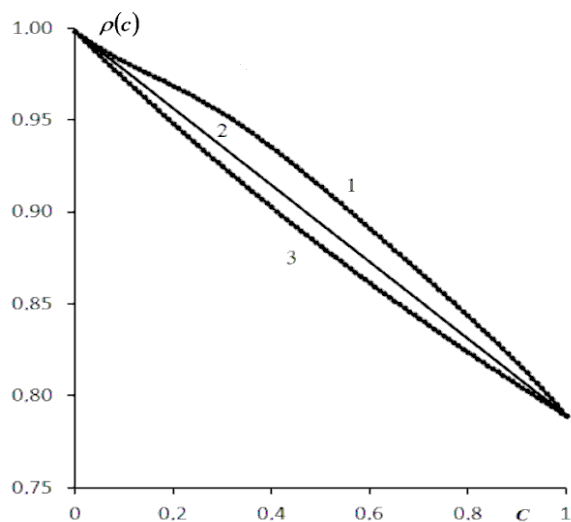


Рис. 1. Залежності густини водних розчинів етанолу як функції масової частки спирту за температури 20°C. 1 – експериментальні дані відображені точками [14, 30]; 2 – пряма лінія яка, як стверджують автори [14], відповідає густині ідеального розчину; густина ідеального, що розрахована по (4).

де $V = V_1 + V_2$ – об'єм ідеального розчину. Лише в цьому випадку порівняння залежності густини реального розчину з лінійною, що відповідає ідеальному розчину, є коректним [31].

Також можна отримати вираз для густини розчину у вигляді

$$\rho^{(id)} = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \rho_1^{(\mu)}(1-x) + \rho_2^{(\mu)}x,$$

де $\rho_i^{(\mu)} = \frac{M_i}{V_1 + V_2}$ – парціальна молярна густина i -го компоненту. Ця формула

схожа з (2), але, слід зазначити, що $\rho_i^{(\mu)}$ не є характеристикою чистого компоненту i .

Нагадаємо, що фізичні величини поділяються на два типи – екстенсивні та інтенсивні [32].

Перші залежать від кількості речовини та відповідають законам адитивності (маса, об'єм, внутрішня енергія тощо). Властивість адитивності цих параметрів очевидна. Так, наприклад, маса суміші дорівнює сумі мас компонентів. Екстенсивні властивості компонентів розчину можна характеризувати парціальними молярними величинами.

Другі - інтенсивні, не залежать від кількості речовини та при взаємодії речовин набувають рівноважного значення (температура, тиск, густина тощо). Їхня властивість неадитивності також зазвичай очевидна. Так, розділивши будь-яку ізотермічну систему на окремі частини, отримаємо однакові температури і густини у кожній з її частин.

З погляду на наявні типи фізичних величини природно звернутись до визначення фізичного змісту характерних виразів. Приймемо, що M , v , x , ω - молекулярна маса, молярний об'єм, мольна та об'ємна частки речовини у розчині. Тоді величини Mx та $v x$ - є, відповідно, маса та об'єм деякої частини моля цієї речовини (маса та об'єм - є екстенсивні величини). Але нічого не можливо сказати відносно величини ρx . Адже густина відноситься до величин, що не залежать від кількості речовини (густина моля або його будь-якої частини залишається незмінною). Проте фізичний зміст мають величини c/ρ та $\rho\omega$ - це частина питомого об'єму речовини та парціальна густина компоненти ідеального розчину.

Підставою для «непорозуміння» у визначенні густини ідеального розчину можна також вважати не зовсім чітке авторське формулювання деяких тез.

Так у [22] підкреслюється, що багато властивостей ідеальних розчинів (наприклад, густина) адитивні: «Идеальные растворы имеют характер простых молекулярных смесей. К ним вполне подходит «физическая» теория растворов. Многие свойства этих систем (например, плотность) аддитивны. Компоненты, образующие идеальный раствор, неограниченно смешиваются между собой». У разі визначення складу розчину в об'ємних частках (8) це ствердження дійсно має місце. Але для інших способів завдання складу розчину (масова та мольна

частки (проценти), молярна концентрація) адитивність відсутня. Однак достатньо вказати, що автор [22] є хіміком і визначення концентрації розчину об'ємними частками для нього є більш природним.

Для визначення складу розчину у [33] використовується доволі рідкісна величина – молярна густина $\rho^{(\mu)}$. Ця величина визначається як кількість речовини, що виражена у молях, в одиниці об'єму цієї речовини. Природно молярна густина $\rho_i^{(\mu)}$ та «масова» густина ρ_i компоненту i пов'язані між собою:

$$\rho_i = \rho_i^{(\mu)} M_i. \quad (9)$$

Автори [33] наводять формулу (формула 5-11 у тексті публікації) оцінки густини розчину:

$$\frac{x_1}{\rho_1^{(\mu)}} + \frac{x_2}{\rho_2^{(\mu)}} + \frac{x_3}{\rho_3^{(\mu)}} + \dots = \frac{1}{\rho_s^{(\mu)}}, \quad (10)$$

де $\rho_i^{(\mu)}$ – молярна густина компоненту i . Формула (10) співпадає з формулою для густини ідеального розчину, але автори на це не вказують. Також (10) має схожість з формулою (3), де склад розчину визначається масовою часткою розчиненої речовини. Бачимо, що при визначенні складу розчину молярною густиною завдяки (9) ми також не маємо адитивності густини ідеального розчину по відношенню до мольної частки його компонентів.

У [23] представлена залежність густини ідеального розчину у вигляді аналогічному (2). Значення змінної, що визначає склад розчину визначено як: « x is the percentage of solute concentration». У тексті склад розчину визначається декількома способами: за допомогою розмірних концентрацій г/л і моль/л, а також ppt (частки на трильйон (ppt) - це визначення, яке найчастіше використовується для опису дуже малих кількостей або залишкових забруднень у питній воді). Також використовується «concentration %», але фізичний зміст такого визначення концентрації не пояснюється.

Висновки. На нашу думку, основною причиною виникнення проблем у визначенні концентраційної залежності густини ідеального розчину є повне ототожнення різних способів завдання концентрації розчинів. Це відбувається у випадку коли справедливність адитивного співвідношення густини розчину залежно від об'ємних часток компонентів вважається придатним і для інших способів визначення складу розчину (через молярні частки, масові частки та ін.) або ототожнення адитивності об'єму ідеального розчину з адитивністю концентраційної залежності його густини. На наш погляд, основна причина таких неправомірних ототожнень - це спроба інтерпретації залежності густини розчину при недостатній увазі до базового визначення цієї величини. Важливо зазначити, що наведення будь яких наближених виразів для густини ідеального розчину не має сенсу з погляду наявності строгого аналітичного виразу для цієї величини (4) і (5).

Сподіваємось, що короткий аналіз, проведений у даній роботі, сприятиме виправленню вказаних помилок і утвердженню правильної фізично обґрунтованої інтерпретації моделі ідеального розчину і пов'язаних з нею концепцій.

Подяки. Автор висловлюють щирю подяку професору Миколою Петровичу Маломужу за незмінну підтримку робіт автора. Висловлюю також подяку лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки 2020 року доктору фізико-математичних наук Олександрю Бекшаєву, за підтримку у підготовці такої досить незвичайної публікації.

Література:

1. *Kubo R.* Thermodynamics. – Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1968. – 310p.
2. *Смирнова Н.А.* Молекулярная теория растворов. – Л: Химия, 1987. – 336p.
3. *Prigogine I.* The molecular theory of solutions. – Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1957. – 448p.
4. *Шахпаронов М.И.* Введение в молекулярную теорию растворов. – М: Гостехиздат, 1956. – 508p.
5. *Arieh Ben-Naim.* Molecular Theory of Solutions. – Oxford: Oxford University Press, 2006. – 400p.
6. *Douhéret G., Davis M.I., Reis J.C.R., Blandamer M.J.* Isentropic Compressibilities-Experimental Origin and the Quest for their Rigorous Estimation in Thermodynamically Ideal Liquid Mixtures. // *ChemPhysChem.* – 2001. – V. 2, 3. P. 148–161. [https://doi.org/10.1002/1439-7641\(20010316\)2:3<148::aid-cphc148>3.0.co;2-j](https://doi.org/10.1002/1439-7641(20010316)2:3<148::aid-cphc148>3.0.co;2-j).
7. *Balankina E.S.* The influence of the size and packing of molecules on the volume-thermal properties of solutions. // *Russian Journal of Physical Chemistry A.* – 2008. – V. 82 (7). – P. 1104-1109. <https://doi.org/10.1134/s0036024408070091>.
8. *Баланкина Е.С.* Влияние размера и упаковки молекул на термодинамические свойства смесей. // *Теплофизика высоких температур.* – 2009. – Т. 47, № 1. – С. 61–67.
9. *Zorębski E., Ernst S.* Comment on the paper of Savaroglu and Aral entitled “Densities, speed of sound, and isentropic compressibilities of the ternary mixture 2-propanol + acetone + cyclohexane and constituent binary mixtures at 298.15 and 313”. // *Fluid Phase Equilibria.* – 2005. – V. 230, 1-2. – P. 204-205. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2004.08.023>.
10. *Douhéret G., Davis M.I., Reis J.C.R.* Excess isentropic compressibilities and excess ultrasound speeds in binary and ternary liquid mixtures. // *Fluid Phase Equilibria.* – 2005. – V. 231, 2. – P. 246-249. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2004.09.011>.
11. *Гулый И.С., Климович В.М.* Модель строения растворов сахарозы. // *Журнал структурной химии.* – 1991. – Т. 32, №5. – С. 69-73.
12. *Khalil M.I., Al-Yami R.A.H., Al-Khabbas M.H.* Introducing mole fraction in the density calculations of liquid-liquid solutions. // *International Journal of Physical Sciences.* – 2013. – V. 8(1). – P. 27-30, <https://doi.org/10.5897/IJPS12.075>.
13. *Bulavin L.A., Bilous O.I., Chechko V.Y., Stula Y.M.* Physical properties of aqueous solutions of 1-propanol near its peculiar point. // *Journal of Molecular Liquids.* – 2022. – V. 368, Part A. – P. 120642. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120642>.

14. *Шильцев В.Д., Шильцева Е.В.* Менделеев и водка: синергия науки и мифа. // Наука из первых рук. – 2019. – Т. 83, №3. – С. 80-95.
15. *Krishna T.S., Nain A.K., Chentilnath S., Punyaseshudu D., Munibhadrayya B.* Densities, ultrasonic speeds, refractive indices, excess and partial molar properties of binary mixtures of imidazolium based ionic liquid with pyrrolidin-2-one at temperatures from 298.15 L to 323.15 K. // *Journal of Chemical Thermodynamics*. – 2016. -V. 101. – P. 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2016.05.021>.
16. *Ничуговский Г.Ф.* Определение влажности химических веществ. – Ленинград: Химия, 1977. – 198с.
17. *Костарев К.Г., Торохова С.В.* Контракция водных растворов спиртов, солей, кислот и оснований. // *Вестник Пермского университета. Физика*. – 2022. №, 1. – С. 1-15. <https://doi.org/10.17072/1994-3598-2022-1-05-15>.
18. *Денисова М., Костарев К., Торохова С.* Эволюция систем жидкостей с неравновесным распределением компонент. // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. – 2022, №1. – С. 6-12. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.1.1>.
19. *Красноперова А.П., Ткаченко В.В., Юхно Г.Д., Ляпунова А.Н., Безуглая Е.П.* Объемные свойства системы вода - гексиленгликоль. // *Вісник Харківського національного університету*. – 2010. – № 932. – Хімія. Вип. 19 (42). – С. 86-92.
20. *Волобуев М.Н.* Общие свойства растворов, Харьков, 2017. URL:] [http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Учебные пособия/Волобуев МН/Общая химия для факультета КН/05 Общие свойства растворов/05 Общие свойства растворов.pdf](http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Учебные_пособия/Волобуев_МН/Общая_химия_для_факультета_КН/05_Общие_свойства_растворов/05_Общие_свойства_растворов.pdf). [Цитовано: 11 02 2024].
21. *Волобуєв М.М., Корогодська А.М.* Загальна хімія: авторський лекційний курс. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021.
22. *Кульман А.Г.* Физическая и коллоидная химия. – М: Пищепромиздат, 1963. – 504с.
23. *Cotter G.* A Study of the Change in the Temperature of Maximum Density of Water and Aqueous Solutions as a function of Pressure. A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy. Maynooth County Kildare: Department of Experimental Physics National University of Ireland, September 23, 2010.
24. Is the density of a mixture ever just the sum of the densities of each species in the mixture?. URL: <https://chemistry.stackexchange.com/questions/158857/is-the-density-of-a-mixture-ever-just-the-sum-of-the-densities-of-each-species-i>. [Цитовано: 11 02 2024].
25. *Стромберг А.Г., Семченко Д.П.* Физическая химия. – М: Высшая школа, 2001. – 527с.
26. *Thakur S.K., Chauhan S.* A study of acoustical behaviour of drug colimax in aqueous mixture of methanol at 25 °C. // *Advances in Applied Science Research*. – 2011. – V. 2 (2). – P. 208-217.
27. *Cristino A.F., Nobre L.C.S., Bioucas F.E.B., Santos Â.F.S., de Castro C.A.N., Lampreia I.M.S.* Volumetric and sound speed study of aqueous 1-butanol liquid mixtures at different temperatures. // *Journal of Chemical Thermodynamics*. – 2019. – V. 134. – P. 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2019.03.006>.

28. *Walas S.M.* Phase Equilibria in Chemical Engineering. – Butterworth-Heinemann, 1985. – 671p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-04304-6>.
29. *Кириллин В.А., Шейндлин А.Е.* Термодинамика растворов. – М.-Л.: Гос. энерго. издат., 1956. – 272с.
30. Таблицы для определения содержания этилового спирта в водноспиртовых растворах. – М.: Изд-во стандартов, 1972.
31. *Kurtz S.S., Wikingsson A.E., Camin D.L., Thompson A.R.* Refractive Index and Density of Acetone-Water Solutions. // Journal of Chemical & Engineering Data. – 1965. – V. 10 (4). – P. 330-334. <https://doi.org/10.1021/jc60027a009>.
32. *Prigogine I., Defay R.* Chemical Thermodynamics. – New York: Longmans Green, 1954. – 543p.
33. *Kantzas A., Bryan J., Taheri S.* Fundamentals of Fluid Flow in Porous Media. URL: <https://perminc.com/resources/fundamentals-of-fluid-flow-in-porous-media/>. [Цитовано: 11 02 2024].

Chechko V.E.

To the problem of using the ideal solution model in molecular physics

SUMMARY

The concept of an ideal solution was formulated back in the 80s of the 19th century. The unambiguity of its formulations and the determination on their basis of the properties of ideal mixtures eliminates any ambiguity in their interpretation. But sometimes in the literature you can find a formulation of the density of an ideal solution that contradicts the generally accepted definition. This short review is devoted to the problem of using the concept of an ideal solution in research in condensed matter physics. Several examples of problematic formulations are given and their critical analysis is carried out.

Key words: *ideal solution, density, additivity.*