Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 620.179.1

ТОЛЩИНА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ И АТОМНЫЙ ОБЪЕМ ЭЛЕМЕНТА

В.М. Юров, С.А. Гученко, В.Ч. Лауринас

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова
100028, Республика Казахстан, Караганда, ул. Университетская, 28
exciton@list.ru*

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.691

Аннотация. В работе рассчитана толщина поверхностного слоя атомарно чистого металла, которая оказалась равной 5–6 нм. Показано, что толщина поверхностного слоя определяется одним параметром – атомным объемом химического элемента. Получена простая связь поверхностной энергии металла с его температурой плавления. Все полученные соотношения неплохо согласуются с экспериментальными данными.
Ключевые слова: *поверхностный слой, наноструктура, поверхностная энергия, атомный объем, размерный эффект.*

1. Введение

Согласно современным представлениям [1] под поверхностной фазой понимают сверхтонкую пленку, находящуюся в равновесном состоянии с кристаллической основой, свойства, структура и состав которой отличны от объемных свойств. В 80-х годах прошлого столетия появилась рентгеновская оптика, которая позволяет исследовать тонкие приповерхностные слои различных веществ в геометрии скользящих рентгеновских лучей [2, 3].

В работах [4, 5] нами получена формула, которая описывает зависимость физического свойства твердого тела от его размера:

$$A(h) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{h}\right). \quad (1)$$

Здесь A_0 – физическое свойство массивного образца; $A(h)$ – физическое свойство малой частицы или тонкой пленки; d – размерный параметр.

Формула (1) по форме совпадает с формулой Р. Толмена [6], где $d = 2\delta$ (δ – толменовская длина, рассчитанная в работе [7]).

Для размерного параметра нами получена формула [4, 5]:

$$d = \frac{2\sigma v}{RT}. \quad (2)$$

Здесь σ – поверхностное натяжение массивного образца; v – молярный объем; R – газовая постоянная; T – температура.

2. Толщина поверхностного слоя атомарно гладких металлов

При $h < d$ формула (2) теряет физический смысл ($A(h) \rightarrow \infty$), поэтому доопределим функцию $A(h)$ в этой области так, чтобы в точке $h = 0$ функция $A(h)$ обращалась в ноль (см. рис. 1). Это условие выполняется,

когда функцию (2) перепишем в виде:

$$A(r) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{d+h}\right). \quad (3)$$

Рис. 1. Схематическое изображение поверхностного слоя.

Значения параметра d для некоторых металлов приведены в Таблице 1. Экспериментальное значение для атомарно гладких поверхностей кристаллов золота, полученное в геометрии скользящих рентгеновских лучей [2, 3], равно 2,4 нм. Это практически совпадает с Таблицей 1.

Таблица 1. Толщина поверхностного слоя (I) некоторых металлов

Me	d , нм	Me	d , нм	Me	d , нм	Me	d , нм	Me	d , нм	Me	d , нм	Me	d , нм
Li	0,7	Sr	5,8	Sn	1,4	Cd	1,3	Fe	2,2	Gd	5,3	Ac	3,5
Na	1,5	Ba	6,2	Pb	1,8	Hg	0,6	Co	2,0	Tb	5,3	Th	6,7
K	2,6	Al	1,5	Se	1,3	Cr	2,7	Ni	1,9	Dy	5,3	U	2,9
Rb	2,9	Ga	0,6	Te	2,5	Mo	4,6	Ce	3,8	Ho	5,5	Np	1,8
Cs	3,6	In	1,1	Cu	1,6	W	5,8	Pr	4,2	Er	5,5	Pu	1,9
Be	1,3	Tl	1,9	Ag	2,2	Mn	2,0	Nd	4,5	Tm	5,2	Am	4,5
Mg	2,2	Si	3,4	Au	2,3	Tc	3,6	Sm	4,4	Yb	4,6	Bk	3,6
Ca	4,9	Ge	2,8	Zn	1,1	Re	4,6	Eu	5,8	Lu	5,7	-	-

Однако, размерная зависимость физических свойств твердых тел начинается при $h \approx 10d$. Назовем её толщиной наноструктуры и обозначим (II).

3. Поверхностное натяжение и температура плавления

В работах [4, 5] нами показано, что поверхностное натяжение с большой точностью дается выражением:

$$\sigma = 0,78 \cdot 10^{-3} T_m, \quad (4)$$

где T_m – температура плавления (K) массивного образца: σ [Дж/м²].

Примерно такой же результат получен и в работе [7]. Расчеты по формуле (4) неплохо согласуются с экспериментальными значениями из работы [8].

Таблица 2. Поверхностное натяжение некоторых металлов

Металл	Температура, °C	σ , Дж/м ² [8]	σ , Дж/м ² , по формуле (4)
<i>Ag</i>	930	$1,14 \pm 0,09$	1,234
<i>Al</i>	180	$1,14 \pm 0,2$	1,070
<i>Au</i>	1040	$1,37 \pm 0,15$	1,042
<i>Cu</i>	900	$1,75 \pm 0,09$	1,356
<i>Pt</i>	1310	$2,3 \pm 0,8$	-
<i>W</i>	1750	$2,9 \pm 0,3$	2,873
<i>Zn</i>	380	0,83	0,693

Необходимо отметить, что большой объем исследований поверхностного натяжения на межфазной границе проведен учеными из Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия [9].

4. Фазовый переход в поверхностном слое

Из рис. 1 следует, что при $h=d$ в наноструктуре происходит ориентационный фазовый переход λ -типа (см. рис. 2), связанный с процессами реконструкции и релаксации поверхности [1]. По мнению [10] в наноструктурах роль температуры играет размер. При $h=d$, в частности, происходит смена закона Холла-Петча на обратный [11] и другие явления.

Рис. 2. Схематическое изображение λ – перехода.

Для описания фазовых переходов в наноструктурах предложены различные модели, среди которых можно отметить метод среднего поля Ландау, в котором используется параметр порядка [12, 13]. С

термодинамической точки зрения параметр порядка – это один из параметров термодинамической системы, которые наряду с такими параметрами, как температура T , давление P , объем V и др. описывают состояние термодинамической системы. Работы в этом направлении продолжаются.

5. Толщина поверхностного слоя и атомный объем

Если подставить (4) в (2) при $T=T_m$, то получим, что толщина поверхностного слоя (I) атомарно гладкого твердого тела равна:

$$d = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot \nu. \quad (5)$$

Для золота $\nu = 10,21$ (см³/моль) = $10,21 \cdot 10^{-6}$ (м³/моль); $d(Au) = 1,74$ нм (при $T_m = 1337$ К). Из зависимости $d_{300} = T_m / d(Au) \cdot T_{300}$ следует: $d_{300} = 1337 / 1,74 \cdot 1337 = 2,23$ нм. Это значение незначительно (3%) отличается от значения, приведенного в Таблице 1.

Рис. 3. Периодическое изменение атомного объема элементов.

Уравнение (5) показывает, что толщина поверхностного слоя (I) атомарно гладкого твердого тела определяется одним параметром – атомным (молекулярным) объемом элемента, изменяющемуся в соответствии с периодическим законом Д.И. Менделеева (см. рис. 3).

Существуют многочисленные теории поверхностного натяжения, описывающие взаимосвязь различных параметров структуры вещества и позволяющие оценить эти свойства. Наиболее простой является зависимость, отражающая взаимосвязь поверхностного натяжения с плотностью и атомной массой вещества (формула С.Н. Задумкина [14]): $\sigma = \alpha \rho / M$, где ρ – плотность, M – атомная масса, α – коэффициент,

равный $7,87 \cdot 10^{-3}$ мДж/м² и характеризующий взаимосвязь поверхностного натяжения, работы выхода и атомного радиуса; $\sigma = 444,5\varphi/R^2 - 110$ мДж/м², где φ – работа выхода электронов, R – атомный радиус (формула Л.Л. Кунина [15]).

Перепишем формулу С.Н. Задумкина [14] для золота:

$$\sigma(Au) = \alpha \frac{\rho}{M} = \frac{\alpha}{\nu} = \frac{7,87 \cdot 10^{-6}}{10,21 \cdot 10^{-6}} = 0,77 \text{ (мДж/м}^2\text{)}. \quad (6)$$

По нашей формуле (4) для золота:

$$\sigma(Au) = 0,78 \cdot 10^{-3} T_m = 0,78 \cdot 10^{-3} \cdot 1337 = 1,042 \text{ (мДж/м}^2\text{)}. \quad (7)$$

Различие между (6) и (7) составляет $\approx 15\%$. Уравнение (2) перепишем в виде:

$$\sigma = \frac{d \cdot R \cdot T}{2\nu}. \quad (8)$$

Уравнение (8) формально совпадает с формулой С.Н. Задумкина (6): $\sigma = \alpha/\nu$, но она дает заниженный результат и не содержит зависимости от температуры.

6. Критический размер наноструктур

Экспериментальные данные [16] и результаты моделирования методом молекулярной динамики [17] подтверждают существование критического размера нанообъекта, при котором энтальпия плавления становится равной нулю. Например, энтальпия плавления наночастиц олова, имеющих средний размер 3,2 нм, равна нулю (критический радиус равен, соответственно, 1,6 нм [16] (сравни с Таблицей 1)).

Если выполняется соотношение $h \leq d$, тогда жидкость переходит в аморфное состояние (в стекло) при любой скорости охлаждения. Поэтому авторы работы [18] пришли к заключению, что d является наименьшим возможным размером кристаллической наночастицы. В этой же работе приводится оценка величины d (см. Таблицу 3). Здесь наблюдается согласие по порядку величины (особенно для Au).

Таблица 3. Критический размер нанообъекта [18]

Металл	<i>Au</i>	<i>Cu</i>	<i>Bi</i>	<i>Pb</i>	<i>Na</i>	<i>Sn</i>
d , нм	2,55	2,26	3,26	3,10	3,38	2,98

7. Толщина поверхностного слоя и магические числа

За точкой фазового перехода при $h \leq d$, (при дальнейшем уменьшении характерного размера наноструктуры) термодинамический метод становится не применим. В этой области размеров наблюдаются новые физические свойства наноструктур, например, сказывается эффект магических чисел [19]. Электроны, помещенные в потенциальную яму при

$h \leq d$, не свободны, а взаимодействуют друг с другом. Поэтому средний потенциал, действующий на отдельный электрон, отличается от потенциала, создаваемого только положительным ядром. Учет межэлектронного взаимодействия приводит к изменению электронного спектра, однако, как и в случае атомов, энергии одночастичных состояний приближенно можно характеризовать теми же квантовыми числами, если сферичность кластера остается достаточно высокой.

В рамках модели «желе» были проведены многочисленные расчеты электронной структуры металлических кластеров, в том числе и с учетом взаимодействия между валентными электронами. Они впервые позволили объяснить факт наибольшей устойчивости кластеров щелочных металлов с магическими числами атомов, при которых энергия связи кластера возрастает. Эти магические числа, равные $N=8, 18, 20, 34, 40, 58, 68, 90, \dots$, соответствуют заполнению ядерных электронных оболочек: $1s^2, 1p^6, 1d^{10}, 2s^2, 1f^{14}, 2p^6, 1g^{18}, 2d^{10}, 1h^{22}$, где числа 1, 2, ... обозначают радиальное квантовое число nr , буквы s, p, d, f, g, h , соответствуют орбитальным числам $l=0, 1, 2, 3, 4, 5$, а числа над буквами показывают возможное число электронов в оболочке [20].

8. Заключение

Физика поверхностного слоя атомарно гладких металлов содержит еще много моментов, характерных для междисциплинарных направлений. Здесь нужно отметить простоту полученных соотношений, отражающих фундаментальные закономерности. То, что простые соотношения характерны для функционирования природы, подчеркнуто в книге Г. Хакена [21].

Работа выполнена по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан (проекты №0118PK000063, №Ф.0780).

Библиографический список

1. **Оура, К.** Введение в физику поверхности. / К. Оура, В.Г.Лифшиц, А.А. Саранин и др. – М.: Наука, 2006. – 490 с.
2. **Андреев, А.В.** Рентгеновская оптика поверхности / А.В. Андреев // Успехи физических наук. – 1985. – Т. 145. – Вып. 1. – С. 113-136.
3. **Guo, J.** X-Rays in nanoscience: Spectroscopy, spectromicroscopy, and scattering techniques / J. Guo. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. – 263 p.
4. **Юров, В.М.** Поверхностное натяжение твердых тел / В.М. Юров // Вестник Карагандинского Университета. Серия Физика. – 2007. – № 1 (45). – С. 23-29.
5. **Yurov, V.M.** Superfacial tension of pure metals / V.M. Yurov // Eurasian Physical Technical Journal. – 2011. – V. 8. – № 1 (15). – P. 10-14.
6. **Tolman, R.C.** The effect of droplet size on surface tension / R.C. Tolman // Journal of

Chemical Physics. – 1949. – V. 17. – I. 3. – P. 333-337

7. **Рехвиашвили, С.Ш.** К расчету постоянной Толмена / С.Ш. Рехвиашвили, Е.В. Кишტიкова, Р.Ю. Кармокова, А.М. Кармоков // Письма в журнал технической физики. – 2007. – Т. 33. – Вып. 2. – С. 1-7.

8. **Ролдугин, В.И.** Физикохимия поверхности / В.И. Ролдугин. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 564 с.

9. **Шебзухов, З.А.** Размерная зависимость поверхностного натяжения и поверхностной энергии металлических наночастиц на границах жидкость-пар и твердое-жидкость: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.15: защищена 17.02.2015 / Шебзухов Заур Азмет-Гериевич. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2015. – 193 с.

10. **Сергеев, Г.Б.** Нанохимия / Г.Б. Сергеев. – М.: МГУ, 2007. – 336 с.

11. **Юров, В.М.** Некоторые вопросы физики прочности металлических наноструктур / В.М. Юров, В.Ч. Лауринас, С.А. Гученко // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2013. – Вып. 5. – С. 408-412.

12. **Chernyshev, A.P.** Melting of surface layers of nanoparticles: Landau model / A.P. Chernyshev // Materials Chemistry and Physics. – 2008. – V. 112. – I. 1. – P. 226-229.

13. **Чернышев, А.П.** Термоактивируемые физические процессы с размерными эффектами в твердом теле: дис. ... докт. физ.-мат. наук: 01.04.07: защищена 13.05.2015 / Чернышев Альфред Петрович. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2014. – 304 с.

14. **Задумкин, С.Н.** Приближенный расчет поверхностного натяжения металлов / С.Н. Задумкин // Доклады АН СССР. – 1957. – Т. 112. – № 3. – С. 453-456.

15. **Кунин, Л.Л.** Поверхностные явления в металлах / Л.Л. Кунин. – М.: Металлургия, 1955. – 304 с.

16. **Lai, S.L.** Size-dependent melting properties of small tin particles: nanocalorimetric measurements / S.L. Lai, J.Y. Guo, V. Petrova, G. Ramanath, L.H. Allen // Physical Review Letters. – 1996. – V. 77. – № 1. – P. 99-102.

17. **Гафнер, С.Л.** Моделирование процессов структурообразования нанокластеров меди в рамках потенциала сильной связи / С.Л. Гафнер, Л.В. Редель, Ю.Я. Гафнер // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2009. – Т. 135. – Вып. 5. – С. 899-916.

18. **Zhang, Z.** Glass transition thermodynamics of organic nanoparticles / Z. Zhang, M. Zhao, Q. Jiang // Physica B: Condensed Matter. – 2001. – V. 293. – I. 3-4. – P. 232-236.

19. **Лахно, В.Д.** Кластеры в физике, химии, биологии / В.Д. Лахно. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 256 с.

20. **Напольский, К.С.** Кластеры и наноструктуры / К.С. Напольский, А.В. Лукашин, А.А. Елисеев. – М.: МГУ, 2007. – 60 с.

21. **Хакен, Г.** Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен; пер. с англ. – Изд. 3-е, испр. и знач. доп. – М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2014. – 320 с.

References:

1. **Oura, K.** Vvedenie v fiziku poverkhnosti. / K. Oura, V.G. Leefshite, A.A. Sarahnin etc. – М.: Nauka, 2006. – 490 p.

2. **Andreev, A.V.** Rentgenovskaia optika poverkhnosti / A.V. Andreev // Uspehi fizicheskikh nauk. – 1985. – V. 145. – I. 1. – P. 113-136.

3. **Guo, J.** X-Rays in nanoscience: Spectroscopy, spectromicroscopy, and scattering

- techniques / J. Guo. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. – 263 p.
4. **Iurov, V.M.** Poverkhnostnoe natiiazhenie tverdykh tel / V.M. Iurov // Vestnyk Karagandinskogo Universiteta. Seriya Fizika. – 2007. – no. 1 (45). – P. 23-29.
5. **Yurov, V.M.** Superficial tension of pure metals / V.M. Yurov // Eurasian Physical Technical Journal. – 2011. – V. 8. – № 1 (15). – P. 10-14.
6. **Tolman, R.C.** The effect of droplet size on surface tension / R.C. Tolman // Journal of Chemical Physics. – 1949. – V. 17. – I. 3. – P. 333-337
7. **Rekhviashvili, S.Sh.** K raschetu postoiannoï Tolmena / S.Sh. Rekhviashvili, E.V. Kishtikova, R.Iu. Karmokova, A.M. Karmokov // Pisma v zhurnal tekhnicheskoi fiziki. – 2007. – P. 33. – I. 2. – P. 1-7.
8. **Roldugin, V.I.** Fizikohimiiia poverkhnosti / V.I. Roldugin. – Dolgoprudnyi: Izdatelskii dom «Intellect», 2011. – 564 p.
9. **Shebzuhov, Z.A.** Razmernaia zavisimost poverkhnostnogo natiiazheniia i poverkhnostnoi energii metallicheskih nanochastice na granitcakh zhidkost-par i tverdoe-zhidkost: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk: 01.04.15: zashchishchena 17.02.2015 / Shebzuhov Zaur Azmet-Gerievich. – Nalchik: Kabardino-Balkarskii gosudarstvennyi universitet im. Kh.M. Berbekova, 2015. – 193 p.
10. **Sergeev, G.B.** Nanohimiiia / G.B. Sergeev. – M.: MGU, 2007. – 336 p.
11. **Iurov, V.M.** Nekotorye voprosy fiziki prochnosti metallicheskih nanostruktur / V.M. Iurov, V.Ch. Laurinas, S.A. Guchenko // Fiziko-himicheskie aspekty izucheniia clasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – 2013. – I. 5. – P. 408-412.
12. **Chernyshev, A.P.** Melting of surface layers of nanoparticles: Landau model / A.P. Chernyshev // Materials Chemistry and Physics. – 2008. – V. 112. – I. 1. – P. 226-229.
13. **Chernyshev, A.P.** Termoaktiviruemye fizicheskie protsessy s razmernymi effektami v tverdom tele: dis. ... dokt. fiz.-mat. nauk: 01.04.07: zashchishchena 13.05.2015 / Chernyshev Alfred Petrovich. – Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova, 2014. – 304 p.
14. **Zadumkin, S.N.** Priblizhennyi raschet poverkhnostnogo natiiazheniia metallov / S.N. Zadumkin // Doklady AN SSSR. – 1957. – V. 112. – no. 3. – P. 453-456.
15. Kunin, L.L. Poverkhnostnye yavleniia v metallakh / L.L. Kunin. – M.: Metallurgiiia, 1955. – 304 p.
16. **Lai, S.L.** Size-dependent melting properties of small tin particles: nanocalorimetric measurements / S.L. Lai, J.Y. Guo, V. Petrova, G. Ramanath, L.H. Allen // Physical Review Letters. – 1996. – V. 77. – No. 1. – P. 99-102.
17. **Gafner, S.L.** Modelirovanie protsessov strukturoobrazovaniia nanoclusterov medi v ramkakh potentciiala silnoi sviazi / S.L. Gafner, L.V. Redel, Iu.Ia. Gafner // Zhurnal eksperimentalnoi i teoreticheskoi fiziki. – 2009. – V. 135. – I. 5. – P. 899-916.
18. **Zhang, Z.** Glass transition thermodynamics of organic nanoparticles / Z. Zhang, M. Zhao, Q. Jiang // Physica B: Condensed Matter. – 2001. – V. 293. – I. 3-4. – P. 232-236.
19. **Lakhno, V.D.** Clastery v fizike, himii, biologii / V.D. Lakhno. – Izhevsk: NITC «Reguliarnaia i haoticheskaiia dinamika», 2001. – 256 p.
20. **Napolskii, K.S.** Clastery i nanostruktury / K.S. Napolskii, A.V. Lukashin, A.A. Eliseev. – M.: MGU, 2007. – 60 p.
21. **Haken, G.** Informatciiia i samoorganizatciiia: Makroskopicheskii podhod k slozhnym sistemam / G. Haken; per. s angl. – Izd. 3-e, ispr. i znach. dop. – M.: URSS: LENAND, 2014. – 320 p.

**THICKNESS OF THE SURFACE LAYER, SURFACE ENERGY AND ATOMIC
VOLUME OF THE ELEMENT**

V.M. Yurov, S.A. Guchenko, V.Ch. Laurinas

Karaganda State University after E.A. Buketov

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.691

Abstract: The thickness of the surface layer of an atomically pure metal, which turned out to be equal to 5–6 nm, was calculated in this work. It is shown that the thickness of the surface layer is determined by one parameter – the atomic volume of a chemical element. A simple relationship between the surface energy of a metal and its melting point is obtained. All the relationships obtained are in good agreement with the experimental data.

Keywords: *surface layer, nanostructure, surface energy, atomic volume, size effect.*

Юров Виктор Михайлович – к.ф.-м.н., доцент, директор научно-исследовательского центра «Ионно-плазменных технологий и современного приборостроения» Карагандинского государственного университета имени Е.А. Букетова

Лауринас Витаутас Чесловасович – к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физики и нанотехнологий» Карагандинского государственного университета имени Е.А. Букетова

Гученко Сергей Алексеевич – аспирант кафедры «Физики и нанотехнологий» Карагандинского государственного университета имени Е.А. Букетова

Viktor M. Yurov – Ph. D., Docent, Director of the Research Center «Ion-plasma Technologies and Modern Instrument-making», Karaganda State University named after E.A. Buketov

Vytautas Ch. Laurinas – Ph. D., Professor of the Department «Physics and Nanotechnologies», Karaganda State University named after E.A. Buketov

Sergey A. Guchenko – postgraduate student of the Department «Physics and Nanotechnology», Karaganda State University named after E.A. Buketov