

QUANTITATIVE ANALYSIS OF C₆₀ AND C₇₀ FULLERENE SOLUTIONS BY SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

**Anikina N.S., Zaginaichenko S.Yu., Zolotarenko A.D.,
Maystrenko M.I., Sivak G.V. Schur D.V.**

Institute for Problems of Materials Science of NAS of Ukraine, lab. # 67,
3, Krzhizhanovsky str., Kiev, 03142 Ukraine

Introduction

Optimization of the technique for preparation, extraction and separation of fullerenes largely depends on the analytic provision. The absorption spectrophotometric method, being rather precise, fast and accessible method for quantitative analysis, is not widely applied mainly due to the absence of exact values of molar absorption factors (MAF) for C₆₀ and C₇₀ solutions.

According to [1-23], optical density of fullerene solutions obeys Beer's law, i.e. it shows an additive property what gives possibility to evaluate C₆₀ and C₇₀ concentrations in solutions of their mixtures by solving the systems of two linear equations:

$$\begin{cases} A_1 = \varepsilon_{60}^1 \cdot X + \varepsilon_{70}^1 \cdot Y \\ A_2 = \varepsilon_{60}^2 \cdot X + \varepsilon_{70}^2 \cdot Y \end{cases} \quad (1)$$

where A₁ and A₂ - optical densities of the solution studied for λ₁ and λ₂ waves, respectively;

ε₆₀¹ and ε₆₀² - MAF of the C₆₀ solution for λ₁ and λ₂ wave-lengths;

ε₇₀¹ and ε₇₀² - MAF of the C₇₀ solution for λ₁ and λ₂ wave-lengths;

X and Y - mole concentrations of C₆₀ and C₇₀ in the solution studied.

The comprehensive analysis of errors of photometric methods demonstrated that the highest accuracy of measurements was achieved in the solutions which absorption capability equals about 63% [2].

The concentrations of these solutions are easily determined using S-shaped plots for the dependence of intensity of the passing beam *P* on logarithm of the solution concentration *C*. The most exact measurements are performed in the range of concentrations where the equation

$$\frac{dP}{dC} = \frac{dP}{d \ln C} = 0,434 \frac{dP}{d \lg C} \quad (2)$$

takes the maximum value, i.e. in the inflection point in the S-shaped curve. The part of the points in the S-shaped curve is usually in the tangent to this curve in the inflection point. These points determine the concentration range in which accuracy of measurements of optical density is still rather high.

Experimental

Fullerenes extracted by toluene from the fullerene-containing soot have been studied. The soot was prepared by the electric arc method.

The extract was separated into C₆₀ and C₇₀ during several cycles in the chromatographic column with graphite filler of the given size.

Fullerene extraction and crystallization were carried out at room temperature in order to decrease the residual amount of toluene [3]. The crystals produced were washed with diethyl ether and kept under vacuum for 36-48 h. Then the crystals were used to prepare solutions which concentrations were calculated considering the residual amount of toluene present in crystallo-solvates.

Absorption spectra were taken in 10.01 optical cells on CF-26 spectrophotometer with the range of wave-lengths from 2 to 5 nm and with the digital output.

Fullerenes solutions were protected from the light beams.

99 absorption spectra for C₆₀, C₇₀ solutions and their mixtures have been measured and analyzed.

Results and discussion

In the work presented the molar absorption factors, ε₆₀ and ε₇₀, of pure C₆₀ and C₇₀ solutions for each wave-length have been calculated using the equation

$$\varepsilon_{60} (\varepsilon_{70}) = \frac{0.434}{C_{I.P.}} \quad (3)$$

where C_{IP} - C₆₀ (C₇₀) fullerene concentration corresponding to the inflection point in the plot *P* = *f*(lg *C*).

Table 1. Molecular absorption factors of C₆₀ and C₇₀ in toluene

λ, nm	ε ₆₀	ε ₇₀
356,3	22894	—
365,2	15630	—
372,0	11722	—
383	—	—
407	3136	14371
418,4	1054	13108
439	334	15049
472,8	607	21506
540	933	9604

Values of MAF calculated for C_{60} and C_{70} toluene solutions and corresponding wave-lengths are given in Table 1.

The values of MAF attained for C_{60} and C_{70} toluene solutions have been used to calculate individual concentrations of C_{60} and C_{70} in the solutions of their mixtures using Eq.(1) and optical parameters of absorption spectra measured in the spectral range from 340 nm to 650 nm.

Numerous calculations indicate that the most exact results are obtained in the solutions which optical densities are in the range from 0.3 to

0.7 relative unit. Table 2 shows values of optimum concentrations for solutions of the fullerene mixture and corresponding ranges of analytical wave-lengths.

Fig. 1 shows the change of optical density in the mixture solutions with changing concentrations. The thickened lines mark the sections in the spectra which are in the analytic range of wave-lengths. As seen in Fig.1, the analytical range of wave-lengths expands and shifts to the long wave region.

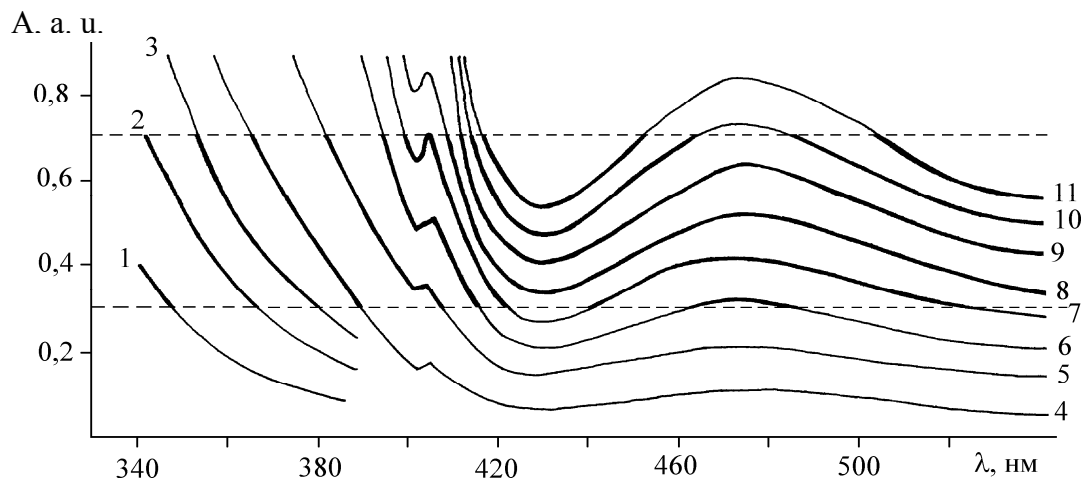


Fig.1. Spectra for solutions of C_{60} and C_{70} fullerene mixtures; concentrations of solutions 1-11 are given in Table 2.

Table 2. Optimum concentrations of fullerenes and corresponding ranges of wave-lengths

N спектра	C, г/л	Интервал аналитических длин волн, нм
1	0,0065	340 – 350
2	0,0129	340 – 370
3	0,0194	350 – 380
4	0,0324	365 – 390
5	0,0647	385 – 410
6	0,0971	395 – 416 450 – 495
7	0,1294	400 – 540
8	0,1618	410 – 550
9	0,1942	410 – 570
10	0,2265	415 – 560
11	0,2589	418 – 450 510 – 600

Conclusions

- MAF for toluene solutions of C_{60} and C_{70} fullerenes have been evaluated.
- The ranges of wave-lengths and fullerene concentrations have been determined. In these ranges one can obtain the most exact results ($\pm 1\%$) of quantitative analysis of fullerene solutions by spectrophotometric method.

References

- Schur DV, Dubovoi AG, Anikina NS, Zaginaychenko S Yu, Dobrovolskiy VD, Pishuk VK, Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Meleshevich KA, Pomytkin AP; The production of ultrafine powders of fullerenes by the salting out method, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Alushta-Cremia-Ukraine, September, 16-22, 2001,
- Kharlamov AI, Loytchenko SV, Kirillova NV, Kaverina SN, Vasilev AD, Fomenko VV, Zolotarev AD, Kazimirov VP; Tubular and filamentous nanostructures of hexagonal silicon carbide, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine, 572-574, 2001,
- Slys IG, Berezanskaya VI, Schur DV, Zaginaychenko SYu, Rogozinskaya AA, Adejev VM, Zolotarev AD; Making the point metal coatings on the particles of hydride-forming intermetallides, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine, 404-405, 2001,
- Matysina ZA, Schur DV; Hydrogen and solid phase transformations in metals, alloys and fullerenes,

- Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, 420p (in Russian),2002,
5. Matysina ZA, Pogorelova OS, Zaginaichenko S Yu, Schur DV; The surface energy of crystalline CuZn and FeAl alloys, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 56,1,9-14, 1995, Elsevier
 6. Schur DV, Lavrenko VA, Adejev VM, Kirjakova IE; Studies of the hydride formation mechanism in metals, *International journal of hydrogen energy*, 19,3,265-268,1994, Elsevier
 7. Schur DV, Matysina ZA, Zaginaichenko S Yu; Theoretical study of interstitial atoms distribution in the bulk and at the surface of crystal. Surface segregation, *Journal of alloys and compounds*, 330,81-84,2002, Elsevier
 8. Shul'ga Yu M, Martynenko VM, Tarasov BP, Fokin VN, Rubtsov VI, Shul'ga N Yu, Krasochka GA, Chapysheva NV, Shevchenko VV, Schur DV; On the thermal decomposition of the C60D19 deuterium fullerite, *Physics of the Solid State*, 44,3,545-547,2002, Nauka/ Interperiodica
 9. Schur DV, Matysina ZA, Zaginaichenko S Yu; Study of physico-chemical processes on catalyst in the course of synthesis of carbon nanomaterials, *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on. Alushta Crimea, Ukraine, 16-22 September 2001*, 235,2002, Kluwer Academic Pub
 10. Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Fokin VN, Vasilets VN, Shul'ga N Yu, Schur DV, Yartys VA; Deuterofullerene C 60 D 24 studied by XRD, IR and XPS, *Journal of alloys and compounds*, 314,1,296-300,2001, Elsevier
 11. Tarasov BP, Fokin VN, Moravsky AP, Shul'ga Yu M, Yartys VA, Schur DV; Promotion of fullerene hydride synthesis by intermetallic compounds, *Hydrogen energy progress*, 2, 1221-1230,1998,
 12. Schur DV, Zaginaichenko S Yu, Matysina ZA, Smityukh I, Pishuk VK; Hydrogen in lanthan-nickel storage alloys, *Journal of alloys and compounds*, 330,70-75,2002, Elsevier
 13. Schur DV, Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Zaginaichenko S Yu, Matysina ZA; Research of Fullerites Hydrogen Capacity, *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on. Alushta Crimea, Ukraine, 16-22 September 2001*, 1,2002, Kluwer Academic Pub
 14. Matysina ZA, Zaginaichenko S Yu, Schur DV, Pishuk VK; Theoretical investigation of isopleths of hydrogen solubility in transition metals, *Journal of alloys and compounds*, 330,85-88,2002, Elsevier
 15. Trefilov VI, Schur DV, Pishuk VK, Zaginaichenko S Yu, Choba AV, Nagornaya NR; The solar furnaces for scientific and technological investigation, *Renewable energy*, 16,1,757-760, 1999, Elsevier
 16. Трефилов ВИ, Щур ДВ, Загинайченко СЮ; Фуллерены-основа материалов будущего, 2001, *Laboratory 67*
 17. Schur Dmitry V, Zaginaichenko Svetlana Yu, Veziroglu T Nejat, Javadov NF; The Peculiarities of Hydrogenation of Fullerene Molecules C60 and Their Transformation, *Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems*, 191-204,2013, Springer Netherlands
 18. Muratov VB, Meleshevich KA, Bolgar AS, Zolotarenko AD; Application of dynamic calorimetry method for investigation of enthalpy at hydride dissociation, *Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides"*, Ukraine, 342-343,2001,
 19. Anikina NS, Schur DV, Simanovskiy AP, Zolotarenko AD, Dubovoy AG, Ivanchenko NV; Problem on fullerene production by electric arc method, *Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides"*, Ukraine, 590-591, 2001,
 20. Pishuk VK, Schur DV, Bogolepov VA, Savenko AF, Zaginaichenko SYu, Zolotarenko AD, Mar'yanchuk IV, Prikhod'ko AB; Problem on production of highly dispersed extra pure powders, *Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides"*, Ukraine, 586-587,2001,
 21. Lavriv LV, Anikina NS, Simanovskij AP, Zolotarenko AD, Schur DV; Features of fullerene extraction with toluene, *Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides"*, Ukraine, 596,2001
 22. Schur DV, Zaginaichenko S Yu, Adejev VM, Voitovich VB, Lyashenko AA, Trefilov VI; Phase transformations in titanium hydrides, *International journal of hydrogen energy*, 21,11,1121-1124,1996, Pergamon
 23. Schur DV, Tarasov BP, Zaginaichenko S Yu, Pishuk VK, Veziroglu TN, Shul'ga Yu M, Dubovoi AG, Anikina NS, Pomytkin AP, Zolotarenko AD; The prospects for using of carbon nanomaterials as hydrogen storage systems, *International journal of hydrogen energy*, 27,10,1063-1069,2002, Pergamon

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТОЛУОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ФУЛЛЕРЕНОВ C₆₀ И C₇₀ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аникина Н.С.*, Загинайченко С.Ю., Золотаренко А.Д.,
Майстренко М.И., Сивак Г.В. Щур Д.В.

Институт Проблем Материаловедения НАН Украины, Лаборатория № 67,
ул. Кржижановского 3, Киев, Украина

Введение

Оптимизация технологии получения, экстракции и разделения фуллеренов в значительной степени зависят от аналитического обеспечения. Абсорбционный спектрофотометрический метод, являясь достаточно точным, быстрым и доступным методом количественного анализа, не нашел широкого применения в основном из-за отсутствия точных значений молярных коэффициентов поглощения (МКП) растворов C₆₀ и C₇₀.

Согласно литературным данным [1] оптическая плотность растворов фуллеренов подчиняется закону Бера, т.е. обладает аддитивным свойством, что дает возможность определять концентрации C₆₀ и C₇₀ в растворах их смесей путем решения системы двух линейных уравнений;

$$\begin{cases} A_1 = \varepsilon_{60}^1 \cdot X + \varepsilon_{70}^1 \cdot Y \\ A_2 = \varepsilon_{60}^2 \cdot X + \varepsilon_{70}^2 \cdot Y \end{cases} \quad (1)$$

где A₁ и A₂ - оптические плотности исследуемого раствора для волн λ₁ и λ₂ соответственно;

ε₆₀¹ и ε₆₀² - МКП раствора C₆₀ для длин волн λ₁ и λ₂;

ε₇₀¹ и ε₇₀² - МКП раствора C₇₀ для длин волн λ₁ и λ₂;

X и Y - молярные концентрации C₆₀ и C₇₀ в исследуемом растворе.

Детальный анализ ошибок фотометрических методов показал, что наибольшая точность измерений достигается в растворах, поглощающая способность которых равна примерно 63% [2].

Концентрация этих растворов легко определяется из S-образных графиков зависимости интенсивности прошедшего луча "P" от логарифма концентрации раствора "C". Наиболее точные измерения получаются в той области концентраций, в которой выражение

$$\frac{dP}{dC} = \frac{dP}{d \ln C} = 0,434 \frac{dP}{d \lg C} \quad (2)$$

принимает максимальное значение, т.е. в точке перегиба S-образной кривой. Часть точек S-образной кривой обычно лежит на касательной к этой кривой в точке перегиба. Они определяют диапазон концентраций, в пределах которого точность измерения оптической плотности еще достаточно высока.

Эксперимент

Исследовались фуллерены, экстрагированные толуолом из фуллеренсодержащей сажи, полученной электродуговым методом.

Разделение экстракта на C₆₀ и C₇₀ проводили в несколько циклов на хроматографической колонке с графитовым наполнителем заданной крупности.

С целью уменьшения остаточного количества толуола в кристаллосольватах экстракцию и кристаллизацию фуллеренов проводили при комнатной температуре [3]. Полученные кристаллы после промывания диэтиловым эфиром и выдержки в течение 36-48 часов под вакуумом, использовали для приготовления растворов, концентрация которых рассчитывалась с учетом остаточного количества толуола в кристаллосольватах.

Абсорбционные спектры измеряли в 10,01 оптических ячейках на спектрофотометре СФ-26 с интервалом длин волн от 2 до 5 нм с цифровым выводом данных.

Растворы фуллеренов защищались от воздействия световых лучей.

В работе измерены и проанализированы 99 спектров поглощения растворов C₆₀, C₇₀ и их смесей.

Результаты и обсуждения

В настоящей работе молярные коэффициенты поглощения ε₆₀ и ε₇₀ чистых растворов C₆₀ и C₇₀ для каждой длины волны рассчитывали по уравнению

$$\varepsilon_{60}(\varepsilon_{70}) = \frac{0.434}{C_{0.1}} \quad (3)$$

где C_{0.1} - концентрация фуллерена C₆₀(C₇₀), соответствующая точке перегиба графика P = f(lg C).

Рассчитанные таким образом значения МКП толуольных растворов C₆₀ и C₇₀ и соответствующие им длины волн представлены в таблице 1.

Таблица 1. Молекулярные коэффициенты поглощения ϵ_{60} и ϵ_{70} в толуоле.

λ , нм	ϵ_{60}	ϵ_{70}
356,3	22894	—
365,2	15630	—
372,0	11722	—
383	—	—
407	3136	14371
418,4	1054	13108
439	334	15049
472,8	607	21506
540	933	9604

Полученные значения МКП толуольных растворов C_{60} и C_{70} использовали при расчетах индивидуальных концентраций C_{60} и C_{70} в растворах их смесей по уравнениям (1) с использованием оптических параметров

абсорбционных спектров, измеренных в спектральном интервале от 340 нм до 650 нм.

На основании многочисленных расчетов установлено, что наиболее точные результаты получаются в растворах, значения оптических плотностей которых лежат в интервале от 0,3 до 0,7 относительных единиц. В таблице 2 приведены значения оптимальных концентраций анализируемых растворов смеси фуллеренов и соответствующие им интервалы аналитических длин волн.

На рис.1 показано, как изменяется оптическая плотность растворов смесей с изменением концентраций. Утолщенными линиями отмечены участки спектров, лежащие в аналитическом интервале длин волн. Из рисунка видно, что с увеличением концентрации анализируемого раствора аналитический интервал длин волн расширяется и смещается в длинноволновую область.

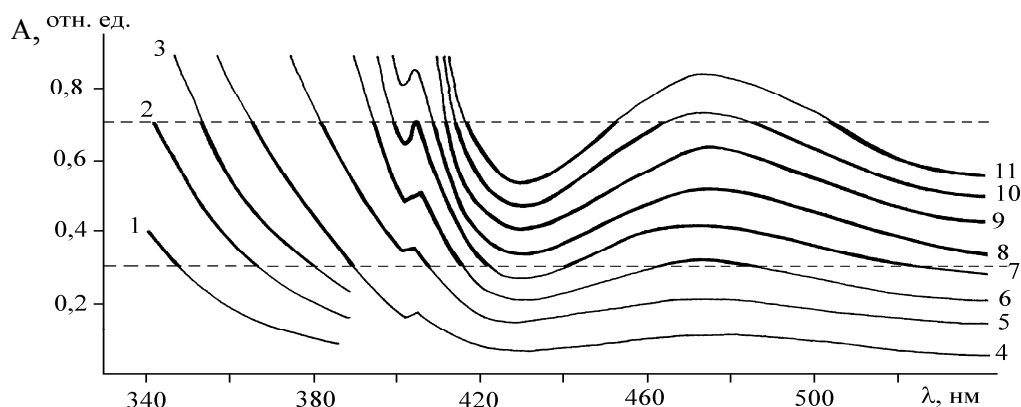


Рис. 1. Спектры растворов смесей фуллеренов C_{60} и C_{70} ; значения концентраций растворов 1-11 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные концентрации фуллеренов и соответствующие им интервалы длин волн.

N спектра	C, г/л	Интервал аналитических длин волн, нм
1	0,0065	340 – 350
2	0,0129	340 – 370
3	0,0194	350 – 380
4	0,0324	365 – 390
5	0,0647	385 – 410
6	0,0971	395 – 416 450 – 495
7	0,1294	400 – 540
8	0,1618	410 – 550
9	0,1942	410 – 570
10	0,2265	415 – 560
11	0,2589	418 – 450 510 – 600

Выводы

1. Определены МКП толуольных растворов фуллеренов C_{60} и C_{70} .
2. Определены интервалы длин волн и концентраций фуллеренов, в пределах которых можно получить наиболее точные ($\pm 1\%$) результаты количественного анализа растворов фуллеренов спектрофотометрическим методом.

Литература

1. Schur DV, Dubovoi AG, Anikina NS, Zaginaichenko S Yu, Dobovol'skij VD, Pishuk VK, Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Meleshevich KA, Pomytkin AP; The production of ultrafine powders of fullerites by the salting out method, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Alushta-Cremia-Ukraine, September, 16-22, 2001,
2. Kharlamov AI, Loytchenko SV, Kirillova NV, Kaverina SN, Vasilev AD, Fomenko VV, Zolotarenko AD, Kazimirov VP; Tubular and filamentous nanostructures of hexagonal silicon

- carbide, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine, 572-574,2001,
- Slys IG, Berezanskaya VI, Schur DV, Zaginaychenko SYu, Rogozinskaya AA, Adejev VM, Zolotarenko AD; Making the point metal coatings on the particles of hydride-forming intermetallides, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine,404-405,2001,
 - Matysina ZA, Schur DV; Hydrogen and solid phase transformations in metals, alloys and fullerenes, Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, 420p (in Russian),2002,
 - Matysina ZA, Pogorelova OS, Zaginaichenko S Yu, Schur DV; The surface energy of crystalline CuZn and FeAl alloys,Journal of Physics and Chemistry of Solids,56,1,9-14, 1995,Elsevier
 - Schur DV, Lavrenko VA, Adejev VM, Kirjakova IE; Studies of the hydride formation mechanism in metals,International journal of hydrogen energy,19,3,265-268,1994,Elsevier
 - Schur DV, Matysina ZA, Zaginaichenko S Yu; Theoretical study of interstitial atoms distribution in the bulk and at the surface of crystal. Surface segregation,Journal of alloys and compounds,330,81-84,2002,Elsevier
 - Shul'ga Yu M, Martynenko VM, Tarasov BP, Fokin VN, Rubtsov VI, Shul'ga N Yu, Krasochka GA, Chapysheva NV, Shevchenko VV, Schur DV; On the thermal decomposition of the C60D19 deuterium fullerite,Physics of the Solid State,44,3,545-547,2002, Nauka/ Interperiodica
 - Schur DV, Matysina ZA, Zaginaichenko S Yu; Study of physico-chemical processes on catalyst in the course of synthesis of carbon nanomaterials,Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on. Alushta Crimea, Ukraine, 16-22 September 2001,235,2002,Kluwer Academic Pub
 - Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Fokin VN, Vasilets VN, Shul'ga N Yu, Schur DV, Yartys VA; Deuterofullerene C 60 D 24 studied by XRD, IR and XPS,Journal of alloys and compounds, 314,1,296-300,2001,Elsevier
 - Tarasov BP, Fokin VN, Moravsky AP, Shul'ga Yu M, Yartys VA, Schur DV; Promotion of fullerene hydride synthesis by intermetallic compounds, Hydrogen energy progress, 2, 1221-1230,1998,
 - Schur DV, Zaginaichenko S Yu, Matysina ZA, Smityukh I, Pishuk VK; Hydrogen in lanthan-nickel storage alloys,Journal of alloys and compounds,330,70-75,2002,Elsevier
 - Schur DV, Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Zaginaichenko S Yu, Matysina ZA; Research of Fullerites Hydrogen Capacity,Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on. Alushta Crimea, Ukraine, 16-22 September 2001,1,2002, Kluwer Academic Pub
 - Matysina ZA, Zaginaichenko S Yu, Schur DV, Pishuk VK; Theoretical investigation of isopleths of hydrogen solubility in transition metals,Journal of alloys and compounds, 330,85-88,2002,Elsevier
 - Trefilov VI, Schur DV, Pishuk VK, Zaginaichenko S Yu, Choba AV, Nagornaya NR; The solar furnaces for scientific and technological investigation, Renewable energy, 16,1,757-760, 1999, Elsevier
 - Трефилов ВИ, Щур ДВ, Загинайченко СЮ; Фуллерены-основа материалов будущего, 2001, Laboratory 67
 - Schur Dmitry V, Zaginaichenko Svetlana Yu, Veziroglu T Nejat, Javadov NF; The Peculiarities of Hydrogenation of Fullerene Molecules C60 and Their Transformation, Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems,191-204,2013, Springer Netherlands
 - Muratov VB, Meleshevich KA, Bolgar AS, Zolotarenko AD; Application of dynamic calorimetry method for investigation of enthalpy at hydride dissociation,Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine,342-343,2001,
 - Anikina NS, Schur DV, Simanovskiy AP, Zolotarenko AD, Dubovoy AG, Ivanchenko NV; Problem on fullerene production by electric arc method, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine,590-591, 2001,
 - Pishuk VK, Schur DV, Bogolepov VA, Savenko AF, Zaginaichenko SYu, Zolotarenko AD, Mar'yanchuk IV, Prikhod'ko AB; Problem on production of highly dispersed extra pure powders, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine,586-587,2001,
 - Lavriv LV, Anikina NS, Simanovskij AP, Zolotarenko AD, Schur DV; Features of fullerene extraction with toluene, Proceedings of VII International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", Ukraine,596,2001
 - Schur DV, Zaginaichenko S Yu, Adejev VM, Voitovich VB, Lyashenko AA, Trefilov VI; Phase transformations in titanium hydrides, International journal of hydrogen energy, 21,11,1121-1124,1996, Pergamon
 - Schur DV, Tarasov BP, Zaginaichenko S Yu, Pishuk VK, Veziroglu TN, Shul'ga Yu M, Dubovoi AG, Anikina NS, Pomytkin AP, Zolotarenko AD; The prospects for using of carbon nanomaterials as hydrogen storage systems,International journal of hydrogen energy,27,10,1063-1069,2002,Pergamon