ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.

Недостатки.

1. "Изотопная" ограниченность – несмотря на то, что всего наблюдалось 110 мессбауэровских переходов в 90 изотопах для 45 из 103 элементов, далеко не все изотопы "удобны" для использования. Самые удобные изотопы – ^{57}Fe и ^{119}Sn. На рисунке представлена периодическая таблица элементов с информацией о количестве публикаций результатов, полученных с использованием соответствующих мессбауэровских изотопов.

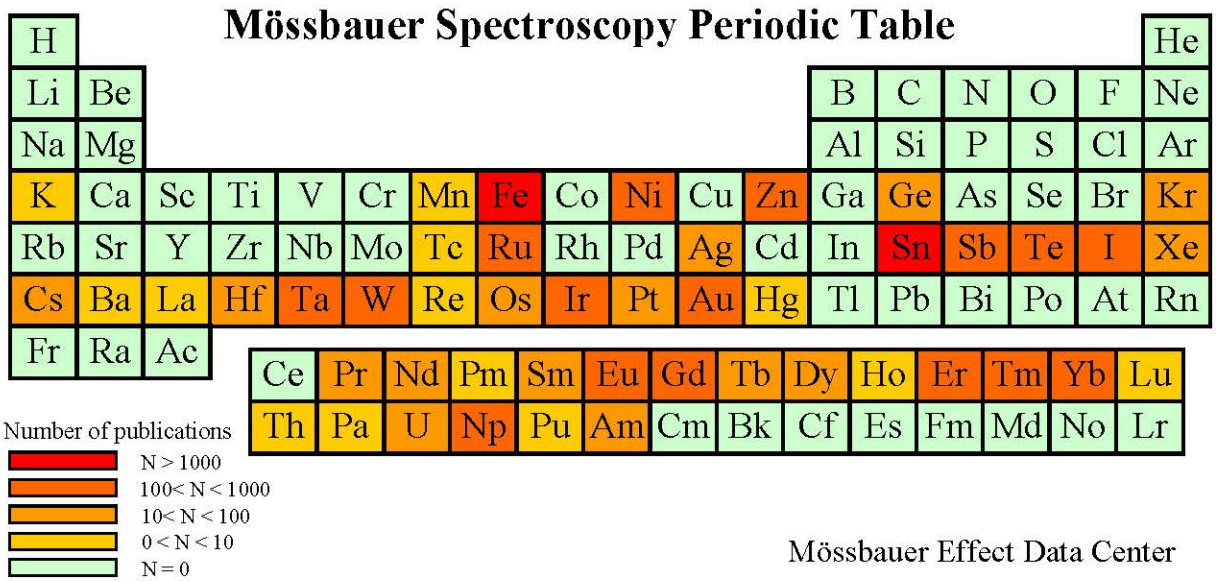

Рис. Периодическая таблица элементов с информацией о количестве публикаций результатов, полученных с использованием соответствующих мессбауэровских изотопов

2. Ограниченность по агрегатному состоянию объекта – эффект Мессбауэра наблюдается только для ядер, находящихся в веществе в твердом агрегатном состоянии.

Достоинства.

1. Рекордная разрешающая способность Γ_τ/E_γ (относительная по энергии) – характерные значения от $2\cdot10^{-12}$ для ^{151}Eu ($3\cdot10^{-13}$ для ^{57}Fe, $6\cdot10^{-13}$ для ^{161}Dy, 10^{-12} для ^{119}Sn) до $5\cdot10^{-16}$ для ^{61}Zn.

2. Разнообразие и богатство получаемой информации о:

– механизмах сверхтонких магнитных и электрических взаимодействий мессбауэровского ядра;

– атомной и магнитной микроструктуре твердого тела;
– валентном состоянии и электронной конфигурации атомов;
– химических связях и эффектах ковалентности;
– механизме обменных взаимодействий;
– динамических свойствах атомов и матрицы в целом;
– релаксационных явлениях;
– фазовом составе исследуемого объекта;
– магнитных и структурных превращениях;
– кинетике физико-химических процессов;
– неоднородности состава и стехиометрии;
– дефектности атомной и магнитной структуры.

3. Сочетание информации локального характера с данными о кооперативных явлениях: с одной стороны – зарядовая и спиновая электронные плотности, тензор градиента электрического поля в области расположения ядра, величина и направление магнитного момента атома, с другой – магнитное состояние, точка Кюри, температура Дебая, фазовый состав вещества.

4. Не воздействующий на исследуемый объект метод – в случае использования объекта исследования в качестве поглотителя эффект Мессбауэра не сказывается на физическо-химическом состоянии этого объекта и не "вмешивается" в процесс взаимодействия его с другими объектами.

5. Многообразие экспериментальных методик:

– объекты и методы регистрации: γ-кванты, электроны конверсии и рентгеновское излучение; сцинтиляционное и резонансное детектирования, резонансная фильтрация;

– источники: материнские радиоактивные изотопы, синхротронное излучение;

– геометрия опыта: излучение, поглощение, рассеяние – малоугловое и брэгговское;

– формы воздействия: температура, магнитное поле, давление, ионная имплантация, лазерное излучение.

6. Широта использования - физика твердого тела, физика магнитных явлений, микроэлектронника, химическая физика, биофизика, геология, почвоведение, медицина и даже экология.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mössbauer R.L.* Kernresonanzfluoreszenz von gammastrahlung in Ir^{191}. // Zs. Phys. 1958. Bd.151. H.2. S.124-143.
2. *Mössbauer R.L.* Kernresonanzabsorbtion von gammastrahlung in Ir^{191}. // Naturwissnschaften. 1958. Bd.45. H.22. S.538-539.
3. *Вертхейм Г.* Эффект Мессбауэра. - М.: Мир. 1966. – 172с.
4. *Шпинель В.С.* Резонанс гамма-лучей в кристаллах. - М.: Наука. 1969. - 407с.
5. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. Под ред. *В.И. Гольданского и Р. Гербера.* - М.: Мир. 1970. - 502с.
6. *Иркаев С.М., Кузьмин Р.Н., Опаленко А.А.* Ядерный гамма-резонанс. - М: Изд-во Моск. Ун-та. 1970.
7. *Литвинов В.С., Каракишев С.Д., Овчинников В.В.* Ядерная гамма-резонансная спектроскопия сплавов. - М.: "Металлургия". 1982. - 144с.
8. Advances in Mössbauer spectroscopy. - Edited by *B.V. Thosar and P.K. Lyengar.* Amsterdam-Oxford-New York. 1983. - 941p.
9. *Николаев В.И., Русаков В.С.* Мессбауэровские исследования ферритов. - М: Изд-во Моск. Ун-та. 1985. - 224с.
10. Mössbauer Spectroscopy. - Edited by *D.P.E .Dickson and F.J. Berry.* Cambridge University Press. 1986. - 274p.
11. *Русаков В.С.* Мессбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. - Алматы. ИЯФ НЯЦ РК. 2000. - 431с.
12. *Pound R.V., Rebka G.A.* // J. Phys. Rev. Lett. 1960. V.4. No.6. P.274.
13. *Эйнштейн А.* "К квантовой теории излучения". 1916.
14. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Том III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. - М.: Физ.-мат. лит. 1963. – 704с.
15. *Роуз М.* Поля мультиполей. - М.:ИЛ. 1957.
16. *Stevens J.G., Stevens V.E.* // Mossbauer Effect Data Index, covering the 1976 literature. N.Y.: Plenum Press. 1978.
17. Таблицы физических величин. Справочник под редакцией акад. *И.К. Кикоина.* - М.: Атомиздат. 1976. – 1008с.
18. *Смирнов Г.В.* О принципах и применениях ядерного резонансного рассеяния синхротронного излучения. // Известия РАН. Серия физическая. 2003. Т.67. №7. С.984-994.
19. *Malmfors R.G. Arkiv F.* Fys. 1952. 6, 49.
20. *Moon P.B.* Proc. Phys. Soc. 1951. A64, 76.
21. *Кривоглаз М.А.* 1965. Эффект Мессбауэра и его применение в физике твердого тела. В сб. Физика твердого тела под ред. С.В.Тябликова. С.7-125.
22. *Гайтлер В.* Квантовая теория излучения. – М.:ИЛ. 1956.
23. *Vargulies S., Ehrman J.* // Nucl. Instr. and Meth. 1961. V.12. P.31.
24. *Shirley D.A., Kaplan M., Axel P.* // Phys. Rev. 1961. V.123. P.816.

25. *Быков Г.А., Фам Зуи Хиен.* // ЖЭТФ. 1962. Т.43. С.909.
26. *Тейлор Дж.* Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. - М.: Мир, 1985.- 272 с.
27. *Соколов Ю.А., Новиков Г.В.* Разложение на компоненты мессбауэровских спектров и рентгеновских дифрактограмм. - Препринт Ин-та эксп. минерал. АН СССР, Черноголовка, Т06577, 1983.- 40с.
28. *Evans M.J., Black P.J* The Voigt profile of Mossbauer transmission spectra.- Department of phys., Univer. of Birmingham MS. received 18th February 1970. J. Phys. C: Solid St. Phys., 1970, Vol.3, Printed in GB.
29. *David W.I.F.* Powder diffraction peak shapes. Parameterization of the pseudo-Voigt as a Voigt function. - J. Appl. Cryst., 1986.
30. *Hershkowich N., Tinu T.* // Rev. Roum. Phys. 1966. V.11. P.551.
31. *Riesenman R., Steger J., Kostiner E.* // Nucl. Instr. and Meth. 1969. V.72. P.109.
32. *Иосилевский Я.А.* Динамика отдельных атомов и эффект Мессбауэра в сложной многокомпонентной системе. Эффективная дебаевская частота. // ЖЭТФ. Т.54. Вып.3. С.927-938.
33. *Каган Ю., Иосилевский Я.А.* Эффект Мессбауэра для примесного ядра в кристалле. I. // ЖЭТФ. 1962. Т.42. С.259.
34. *Каган Ю., Иосилевский Я.А. Иосилевский Я.А.* Эффект Мессбауэра для примесного ядра в кристалле. II. // ЖЭТФ. 1963. Т.44. С.284.
35. *Русаков В.С.* Исследование динамических свойств ядер в твердом теле с помощью методов мессбауэровской спектроскопии (Fe^{57} в β-Sn, $FeSn_2$, $YFeO_3$, $DyFeO_3$, система $NiFe_{2-x}Cr_xO_4$, $Y_3Fe_5O_{12}$, $Tb_3Fe_5O_{12}$). Дисс. канд. физ.-мат. наук. М.: Физический факультет МГУ, 1975г. 160с.
36. Даутов Л.М., Ионов СюПю Изомерный сдвиг и электронное строение вещества. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т.49. №2. с.373-400.
37. Mossbauer Spectroscopy. Edited by *D.P.E.Dickson* and *F.J.Berry*. Cambridge University Press, 1986. - 274p.
38. *Баюков О.А., Савицкий А.Ф.* 1989. Эффекты ковалентности и электронные конфигурации валентных оболочек ионов в ферритах-шпинелях. Препринт Института физики им. Л.В.Киренского №568Ф. Красноярск 1989. 21 с.
39. *J.Bloquist, D.Roos, M.Sundbum.* Interpretation of the Fe^{57} isomer shift by means of Atomic Hartree-Fock calculation a number of ionic stages. // J. Chem. Phys. 1971. V.55. No.1. P.141-145.
40. *Simanek E., Wong A.V.C.* Calibration of the Fe^{57} isomer shift. // Phys. Rev. 1968. V.166. P.348-349.
41. *Menil F.* Systematic Trends of the ^{57}Fe Mossbauer isomer shifts in (FeO_n) and (FeF_n) polyhedra. // J. Phys. Chem. Solids. 1985. V.46. №7. P.763-789.
42. Reiff W.M. Mixed Oxidation States and Averaged Electronic Environments in Iron Compounds. In: Mossbauer Effect Methodology. V.8. Ed. By I.J.Gruverman, C.W.Seidel. N.Y. - L.Plenum Press, 1973, p.89-105.

43. Sawatzky G.A., Boekema C., Woude F. van der. Covalency effects in iron compounds. // Proc. Conf. on Mossbauer Spectrometry. V. 1. Dresden: 1971. P.238-252.
44. Woude F. van der, Sawatzky G.A. Interpretation of Mossbauer spectra of ferrimagnetic spinels. // Proc. Conf. on Mossbauer Spectrometry. V. 1. Dresden: 1971. P.335-342.
45. Sawatzky G.A., Woude F. van der. Covalency effects in hyperfine interactions. // J. Phys. Colloq., 1974. V.35. P.47-60.
46. Николаев В.И., Русаков В.С., Чистякова Н.И. Свободный параметр шпинельной структуры и сдвиг мессбауэровской линии. // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. 1983. Т.24. В.1. С.74-76.
47. Nikolaev V.I., Rusakov V.S., Chistyakova N.I. Covalency Effect and the Pressure Dependence of the Mossbauer Line Shifts for Spinel-Type Ferrites. // Phys. Stat. Sol. (a). V.1985. K.139-142.
48. R.V.Parish. Mössbauer spectroscopy and the chemical bond. In "Mossbauer spectroscopy". Ed. by D.P.E.Dickson, F.J.Berry. Cambridge University Press. Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney. 1986. 274p.
49. Русаков В.С., Храмов Д.А. Проблема выбора величины квадрупольного момента ядра ^{57}Fe в мессбауэровской спектроскопии. // Изв. РАН, Серия физическая. 1992. Т.56. №7. С.201-205.
50. Martinez-Pinedo G., Schwerdtfeger P., Caurier E., Langanke K., Söhnel T. // Phys. Rev. 2001. V.87. №6. 062701. 01M030.
51. Haas H., Menninger M., Andreasen H., Damgaard S., Grann H., Pedersen F.T., Petersen J.W., Weyer G. EFG sign for Sn in Zn, Cd and Sb. // Hyp. Inter. 1983. №15-16. P.215-218.
52. Sternheimer R.M. // Phys. Rev. 1963. V.130. P.1423.
53. Freeman A.J., Watson R.E. // Phys. Rev. 1963. V.131. P.2566.
54. Ray S.N., Das T.P. // Phys. Rev. 1977. V.B16. P.4794.
55. V.R.Marathe and A.Trautwein. Calculation of Charge Density? Electric Field Gradient and Internal Magnetic Field at the Nuclear Site Using Molecular Orbital Cluster Theory. // In "Advances in Mössbauer spectroscopy". Edited by B.V.Thosar and P.K.Lyengar. Amsterdam-Oxford-New York, 1983. P.398-454.
56. И.П.Суздалев. "Гамма-резонансная спектроскопия белков и модельных соединений". -М.: Наука, 1988. - 263с.
57. P.Raghavan, E.N.Kaufmann, R.S.Raghavan, E.J.Ansaldo, R.A.Naumann. Sign and Magnitude of the Quadrupole Interaction of ^{111}Cd in Noncubic Metals: Universal Correlation of Ionic and Electronic Field Gradients. // Phys. Rev. B. 1976. V.13. №7. P.2835-2847.
58. Fermi. E. // Z. F. Phys. 1930. V.60. P.320.
59. Watson R.E., Freeman A.J. // Phys. Rev. 1961. V.123, P.2027.

60. Тейлор К. Интерметаллические соединения редкоземельных металлов. – М.: Изд-во "Мир". 1974. - 221с.
61. Николаев В.И., Русаков В.С., Коренчук А.Ф., Лысенко С.А. О вкладе электронов проводимости в эффективное поле на ядрах железа в соединениях типа RFe_2. // Деп. ВИНИТИ. №5119-82. 1982. 30с.
62. Onodera H., Fujita A., Yamamoto H., Sagawa M., Hirosawa S. Mössbauer study of the intermetallic compound $Nd_2Fe_{14}B$. Interpretation of complex spectrum. // J. Magn. and Magn. Mater. 1987. V.68. P.6-14.
63. Русаков В.С., Селина А.Ю., Чистякова Н.И. Повышение разрешения в мессбауэровской спектроскопии: линейные методы обработки. // Препринт физического факультета МГУ. 1998. №8. 27с.
64. Русаков В.С. Восстановление функций распределения сверхтонких параметров мессбауэровских спектров локально неоднородных систем. // Известия РАН. Серия физическая. 1999. Т.63. №7. С.1389-1396.
65. Stone A.J. Improvement of Resolution of Mossbauer and Other Spectra by Fourier Transform Techinques. // Chem. Phys. Lett. 1970. V.6. N.4. P.331-335.
66. Dibar Ure M.C., Flinn P.A. A Technique for the Removal of the "Blackness" Distortion of Mossbauer Spectra. // In " Mössbauer Effect Methodology". New York. Plenum Press. 1971. V.7. P.245-262.
67. Nagy D.L., Kulcsar K. Resolution of Mössbauer Spectroscopy. // Proc. Int. Conf. Mössbauer Spectrometry. Dresden. 1971. V.2. P.618-624.
68. Vincze I. Fourier Evaluation of Broad Mössbauer Spectra. // Nucl. Instr. Methods. 1982. V.199. P.247 -262.
69. Kaptas D. and Vincze I. Evaluation of the Iron Hyperfine Field Distribution in Amorphous $Fe_{90}Zr_{10}$. // Hyp. Int. 1990. V.55. P.987 -992.
70. Nagy D.L., Rohlich U. An Overview on Model-Inependent Data Reduction Methods in Mössbauer Spectroscopy.// Hyp. Int. 1991. V.66. P.105-126.
71. Nagy D.L., Rohlich U. On the Equivalence of the Afanas'ev-Tsymbal Method and the Fourier Technique of Mössbauer Line Sharpening. // Proc. XXVI Zacopane School Physics. Zakopane. 1991. P.118-128.
72. Тихонов А.Н. О регуляризации некорректно поставленных задач. // ДАН СССР. 1963. Т.153. н 1. С.49-52.
73. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1979.
74. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. М.: Наука. 1983.
75. Николаев В.И., Пытьев Ю.П., Русаков В.С. Свешников А.Г., Терентьев Е.Н. Новый принцип организации комплекса "спектрометр-ЭВМ" в мессбауэровской спектроскопии. // ДАН СССР. 1981. Т.260. С.848-852.
76. Nikolaev V.I., Rusakov V.S., Fedina G.Yu. Quality diagram for Spectrometer + Computer System system (The discrepancy method in Mössbauer spec-

troscopy). // In "Applications of the Mossbauer effect". New York. Gordon and Breach. 1985. V.2. P.727-732.
77. Соколов С.Н., Силин И.Н. Нахождение минимумов функционалов методом линеаризации. // Препринт ОИЯИ. 1961. №Д-810. 19с.
78. Силин И.Н. Стандартная программа для решения задач методом наименьших квадратов. // Препринт ОИЯИ. 1967. №11-3362.
79. Tereshina I.S, Gachynsky P., Rusakov V.S., Drulis H., Nikitin S.A., Suski W., Tristan N.V., Palewski T. Magnetic anisotropy and Mössbauer effect studies of $YFe_{11}Ti$ and $YFe_{11}TiH$. J. Phys.: Condens. Matter, v.13, №35, p.8161-8170 (2001).
80. Kadyrzhanov K.K., Rusakov V.S., Turkebaev T.E. Phase Transformation Studies in Implantation Induced Iron–Metalloid Systems Studied by Mössbauer Spectroscopy. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 2000. V.170 (1-2). P.85-97.
81. Русаков В.С., Илюшин А.С., Виноградова А.С., Никанорова И.А., Черепанов В.М. Атомное распределение и сверхтонкие взаимодействия ядер ^{119}Sn и ^{57}Fe в сплавах системы $Mn_{19.3-x}Sn_{0.7}Fe_x$. // Металлы. РАН. 1999. №1. С.91-97.
82. Бычков А.М., Русаков В.С., Мешалкин С.С. Экспериментальное определение температуры перехода низкий санидин - микроклин. // Геохимия. 1993. №12. С.1683-1696.
83. Винтайкин Б.Е., Горьков В.П., Кузьмин Р.Н., Медведева Н.С., Опаленко А.А., Ройг Нуньес Х.Х. Практика эффекта Мессбауэра. Под общей ред. Р.Н.Кузьмина. М.: Изд-во МГУ. 1987. - 160с.
84. Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессбауэровская гамма-оптика. М.: Изд-во МГУ. 1982. - 228с.
85. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления. - М.: Мир. 1973. 119с.
86. Вонсовский С.В. Магнетизм. - М.: Изд-во "Наука". 1971. 1032с.
87. Смарт Дж. Эффективное поле в теории магнетизма. - М.: Мир. 1968. 271с.
88. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. - М.: Мир. 1972.
89. Барре Х.А. Кинетика геторогенных процессов. - М.: Мир. 1976.
90. Русаков В.С., Ягова О.Е, Кузьмина Н.А., Бычков А.М. Мессбауэровские исследования процесса низкотемпературной гидротермальной кристаллизации акмита $NaFeSi_2O_6$. // Геохимия. 1999. №4. С.404-409.
91. Храмов Д.А., Ованесян Н.С., Русаков В.С., Глазкова М.А., Урусов В.С. Магнитные поля на ядрах диамагнитных атомов олова в спиновом стекле Fe_2TiO_5. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т.55. В.11. С.642-645.