

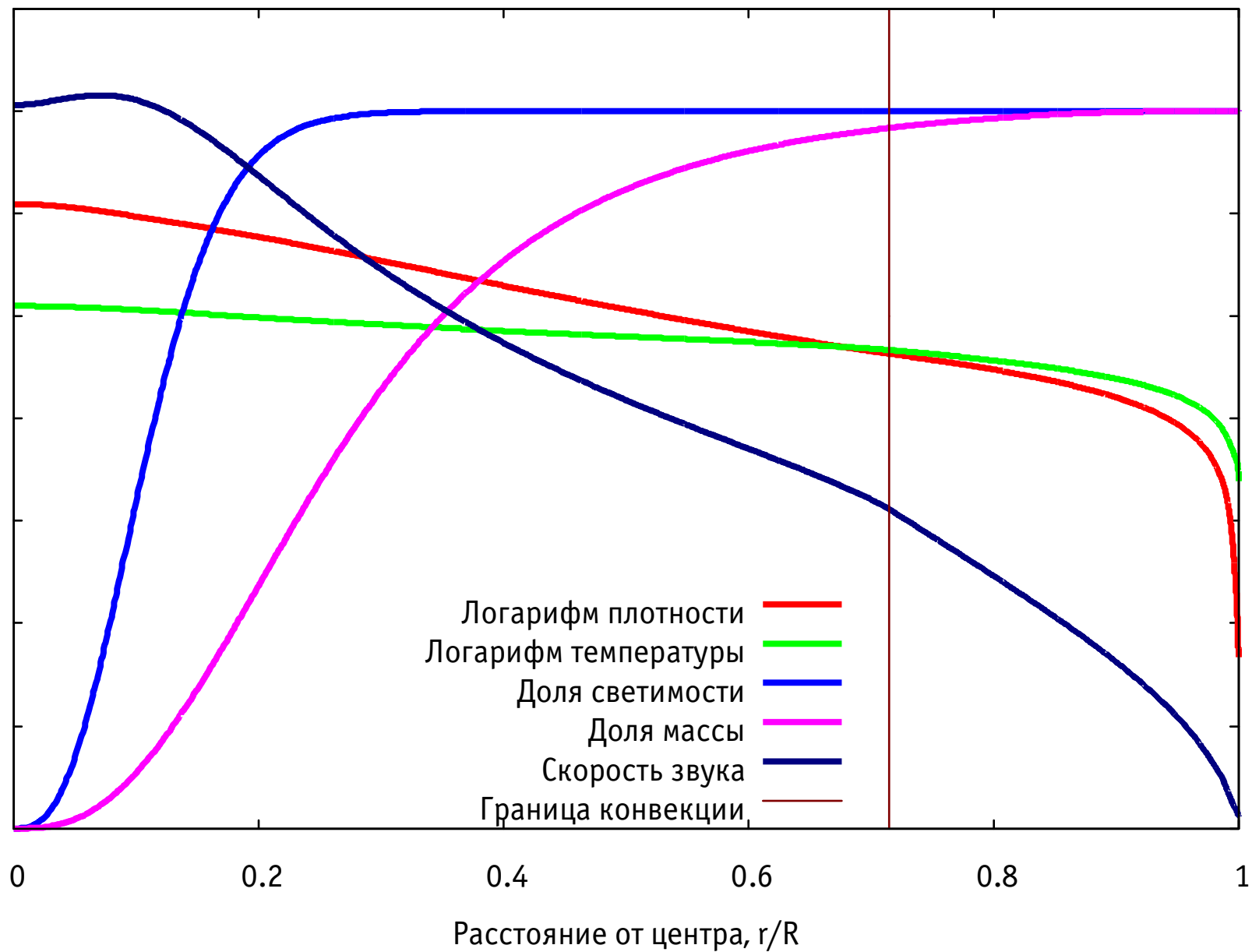
Современные проблемы теории внутреннего строения Солнца

С.В.Аюков, В.А.Батурин, А.Б.Горшков

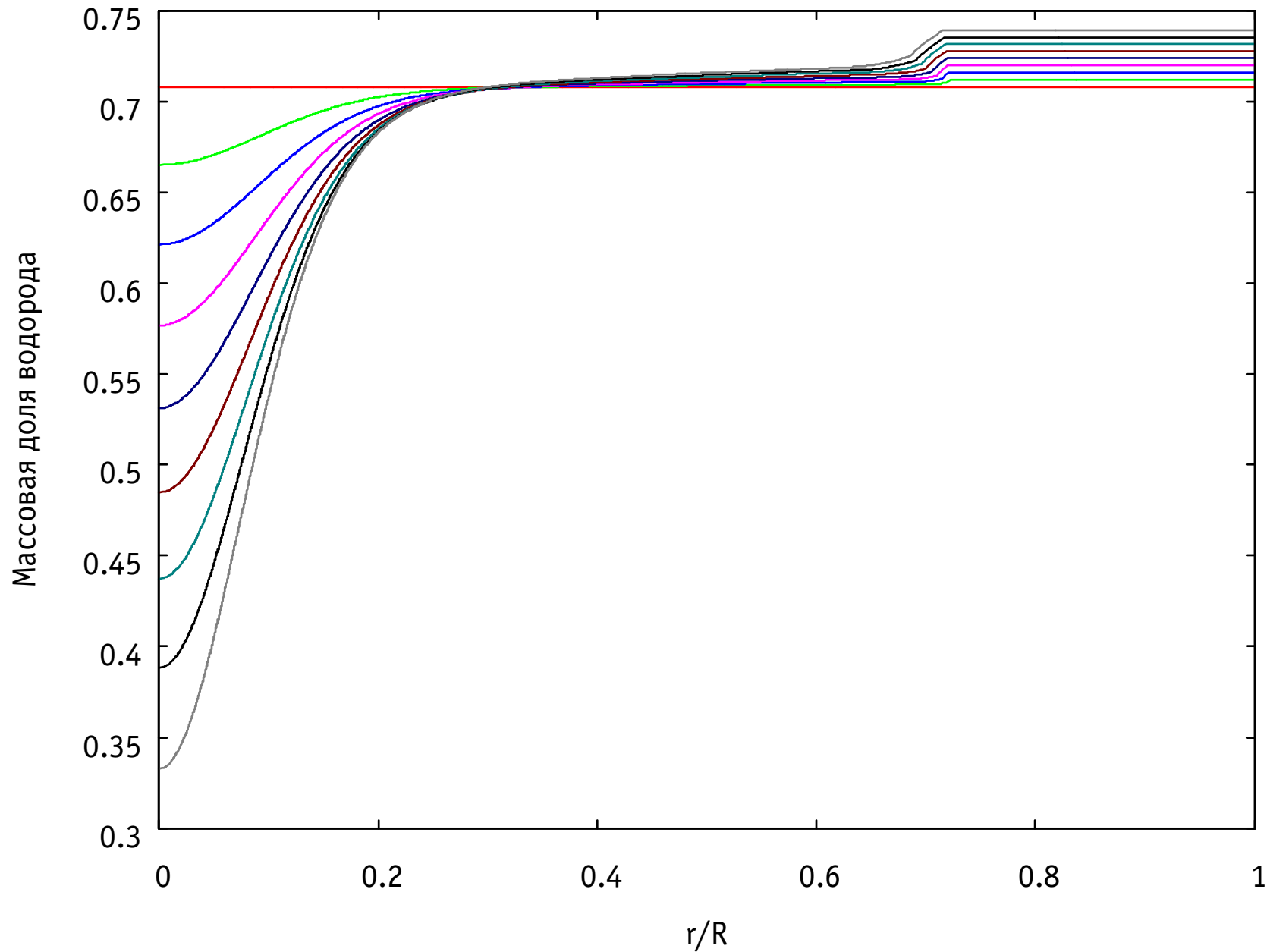
Краснопресненская лаборатория ГАИШ



Структурные переменные в модели Солнца



Эволюционные изменения: содержание водорода



Модель Солнца

Физика плазмы

Термодинамика
Непрозрачность
Ядерные
реакции

+

Уравнения строения
и эволюции

Равновесие
Сохранение
Перенос энергии
Ядерные
превращения
Диффузия элементов

+

Наблюдательные
данные

Масса
Радиус
Светимость
Возраст
Химический состав

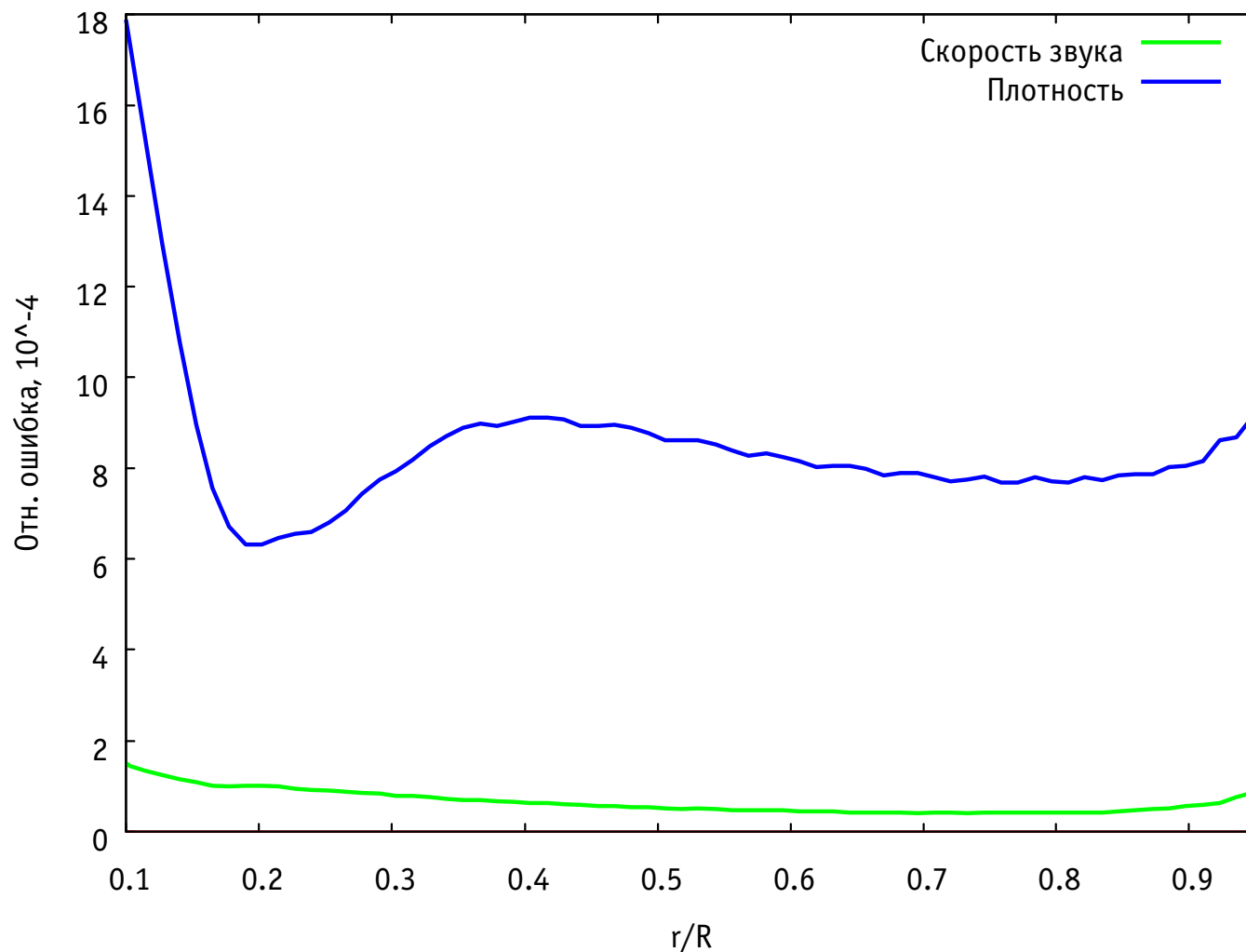
Частоты колебаний
Потоки нейтрино

Гелиосейсмические данные

1. Профиль скорости
звука
точность около 0.01% !!

2. Положение нижней
границы
конвективной зоны
 $0.7133 \pm 0.0005 R$

3. Содержание гелия
в конвективной зоне
 0.2485 ± 0.0034



S.Basu, H.M.Antia. Astrophys. J., 606, L85-88 (2004)

Роль осаждения элементов в моделировании Солнца

Гелий на Солнце из спектральных наблюдений не определяется!

до 1992 г.:

моделирование (эволюционная калибровка радиуса и светимости)

$Y \sim 0.28$

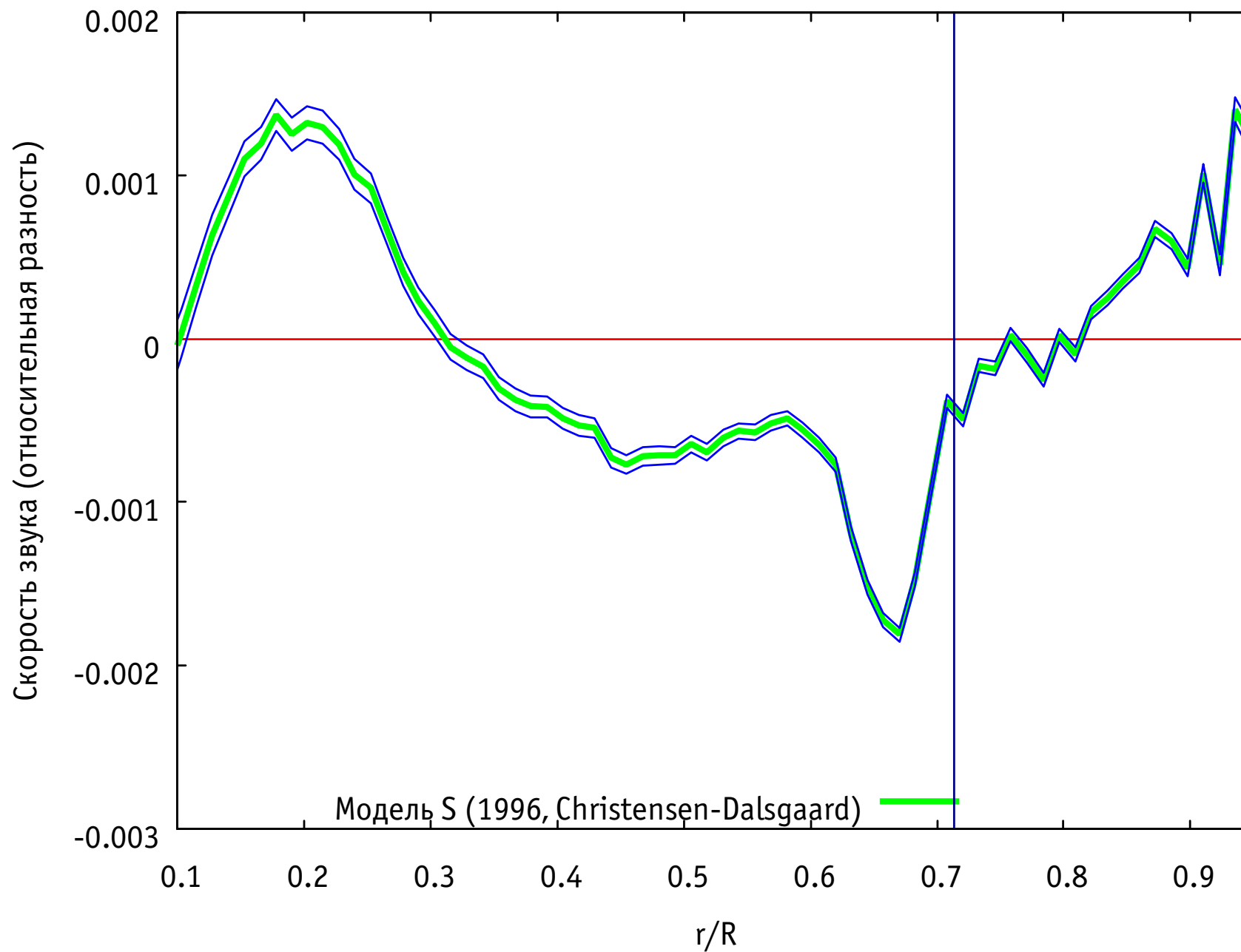
с 1992 г.:

гелиосейсмическое определение (анализ скорости звука в зоне частичной ионизации гелия)

$Y \sim 0.24-0.25$

Введение осаждения элементов в модель Солнца, величина осаждения порядка 10% от общего количества (для гелия 0.03 по массе)

Скорость звука в модели S (1996)



Содержание элементов тяжелее гелия

Элементы тяжелее гелия (C, N, O, Ne, Na, Mg, Al, ...): **тяжелые элементы**

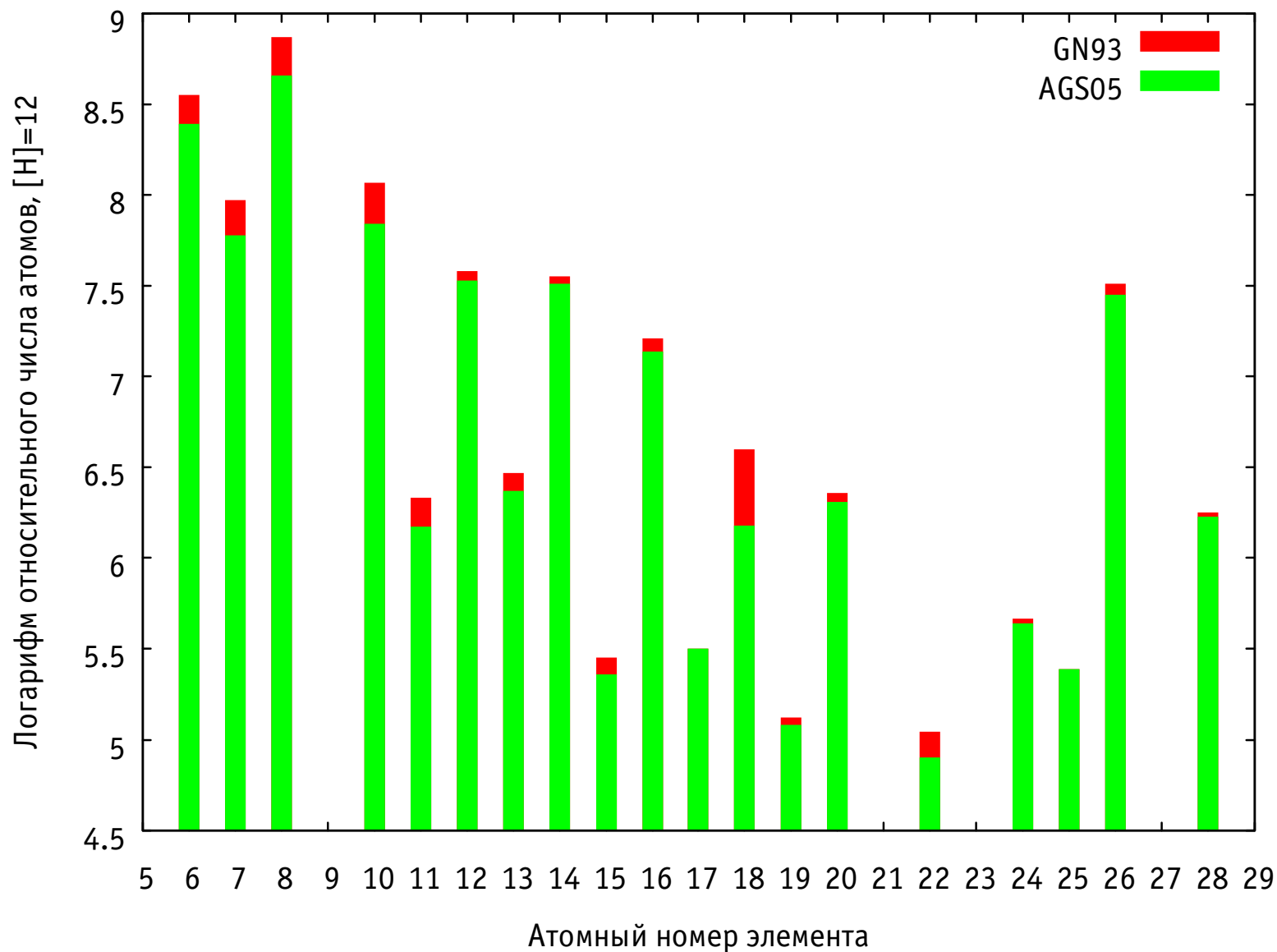
Относительные содержания тяжелых элементов: **смесь**

Определяются по спектральному анализу и метеоритам

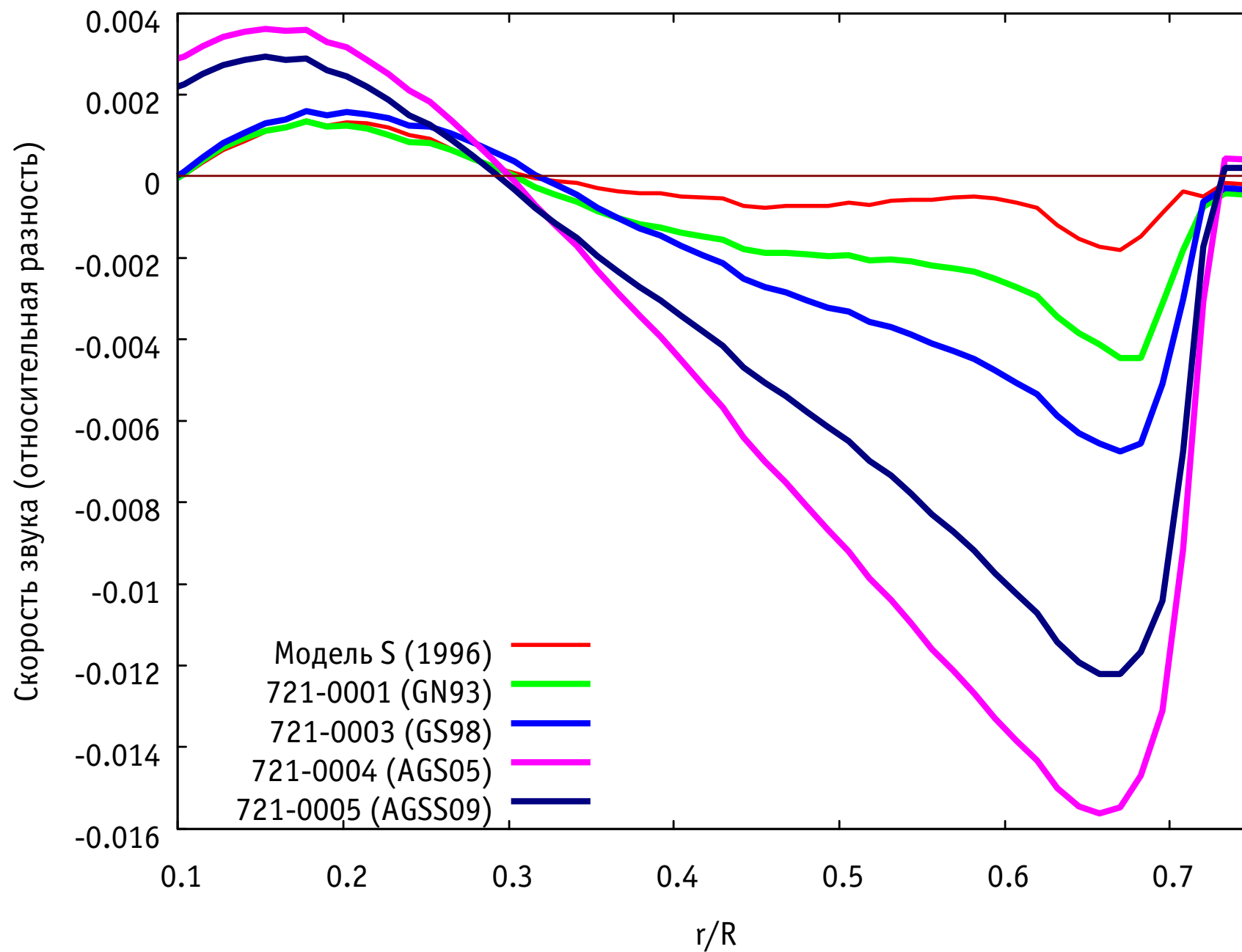
AG89	1989	Anders, E., Grevesse, N. 1989, Geochimica et Cosmochimica Acta 53, 197–214.
GN93	1993	Grevesse, N., Noels, A. 1993, in Origin and Evolution of the Elements, eds., N. Prantzos, E. Vangioni-Flam, M. Casse, Cambridge Univ. Press, p. 14–25.
GS98	1998	Grevesse, N., Sauval, A. J. 1998, Space Sci. Rev. 85, 161–174.
AGS05	2005	Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J. 2005a, in Cosmic Abundances as Records of Stellar Evolution and Nucleosynthesis, eds., T. G. Barnes, F. N. Bash, ASP Conf. Ser. 336, p. 25–38.
AGSS09	2009	Grevesse, N., Sauval, A. J., Scott, P., 2009, Ann. Rev. of Astron. and Astrophys., vol. 47, Issue 1, 481

	AG89	GN93	GS98	AGS05	AGSS09
Z/X	0.0274	0.0244	0.0231	0.0165	0.0181

Относительные содержания тяжелых элементов в двух смесях



Проблема low-Z



Попытки исправить ситуацию

1. Увеличение непрозрачностей:

примерно 15-20% у дна конвективной зоны, меньше в ядре

2. Увеличение скорости осаждения:

получаем низкое содержание гелия в поверхностных слоях

3. Комбинации вышеуказанных и другие эффекты (аккреция, перемешивание в лучистой зоне, проникающая конвекция):
также не получается

Неон

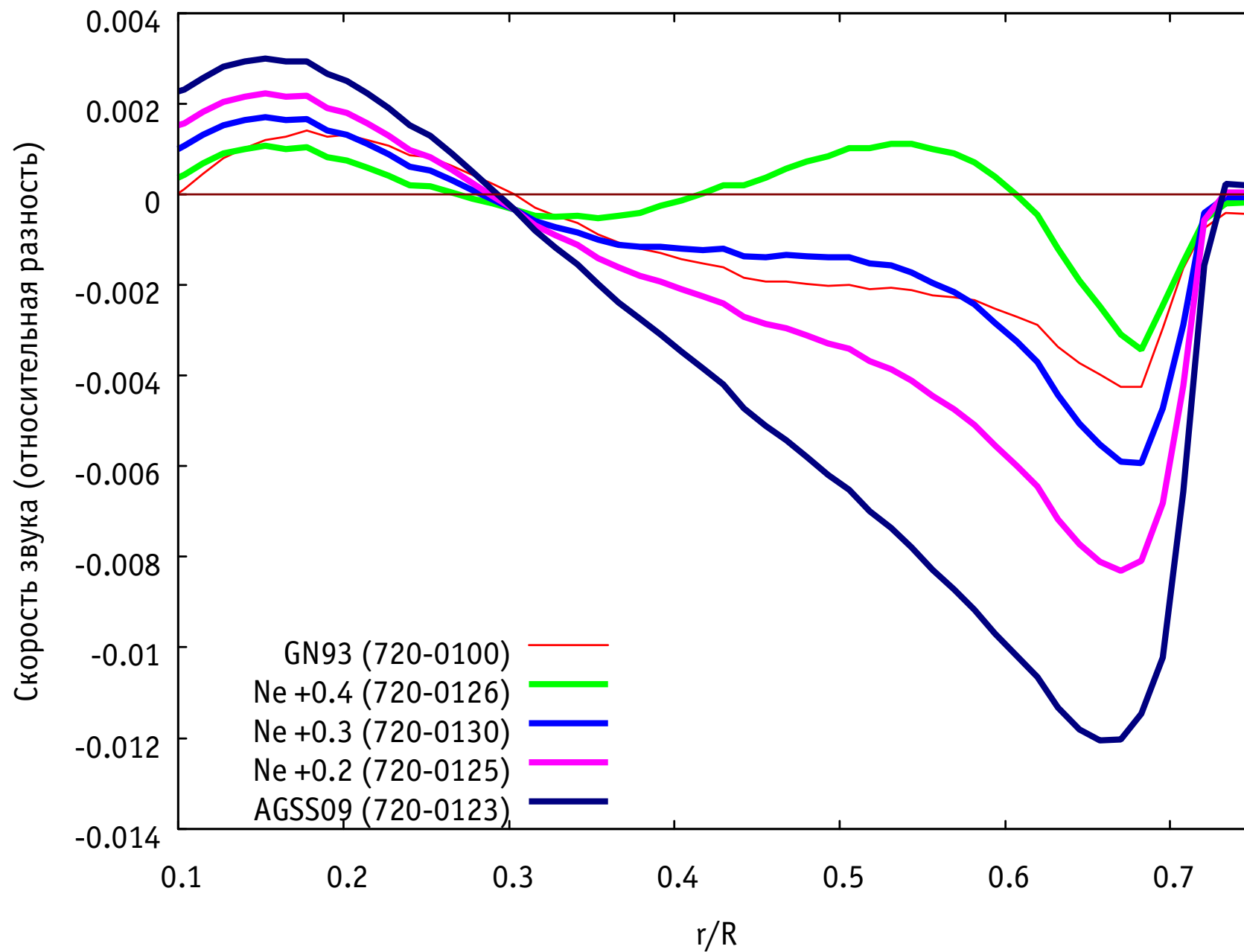
Неон и аргон определяются косвенно, по отношениям вида $[\text{Ne}/\text{O}]$ в короне

Содержание Ne (логарифм численного содержания, принимая $[\text{H}]=12$)

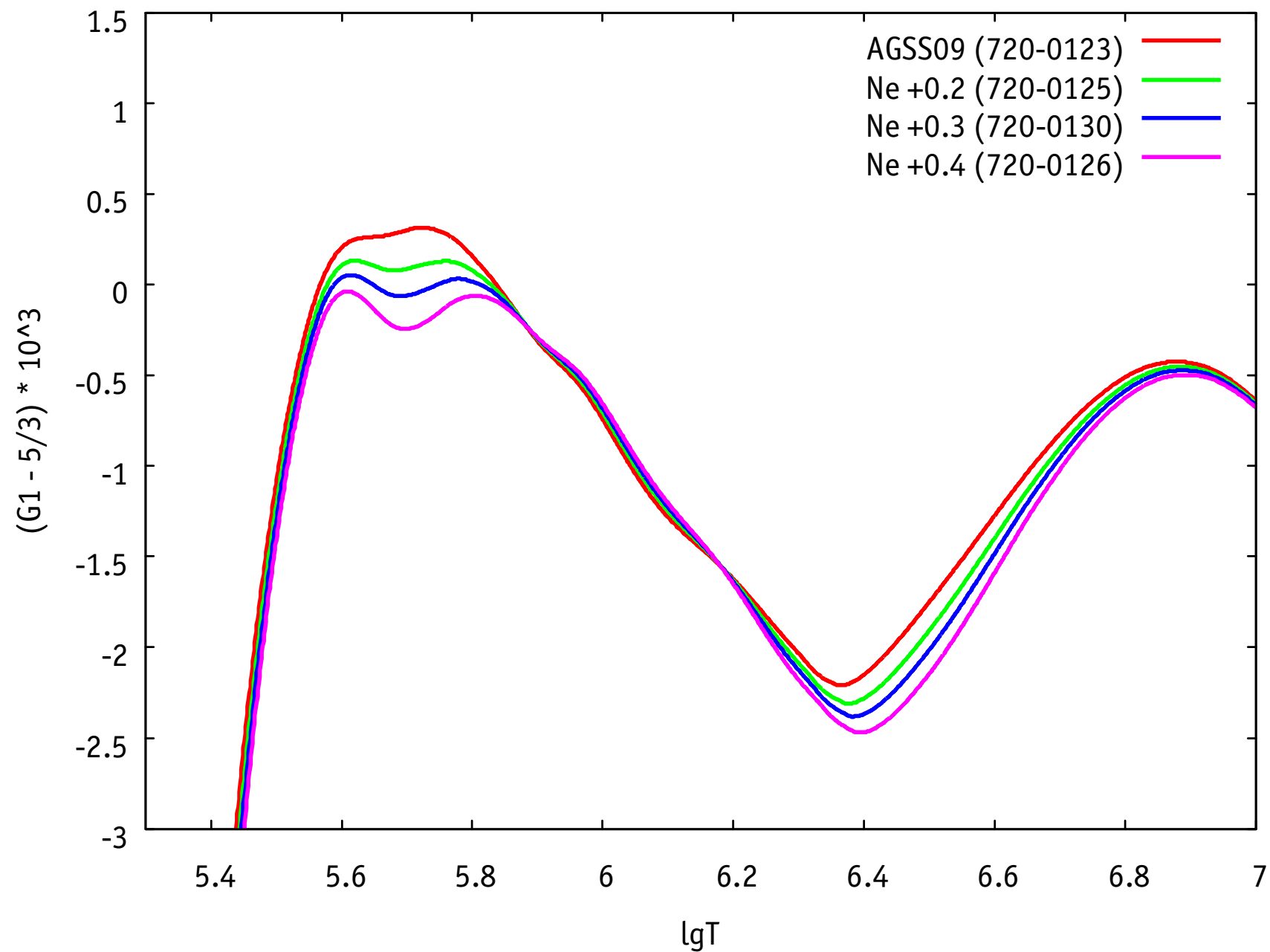
AG89	8.09
GN93	8.07
GS98	8.08
AGS05	7.84
AGSS09	7.93

J.N.Bahcall, S.Basu, A.M.Serenelli (ApJ 2005, **631**, 1281) : 8.29 ?

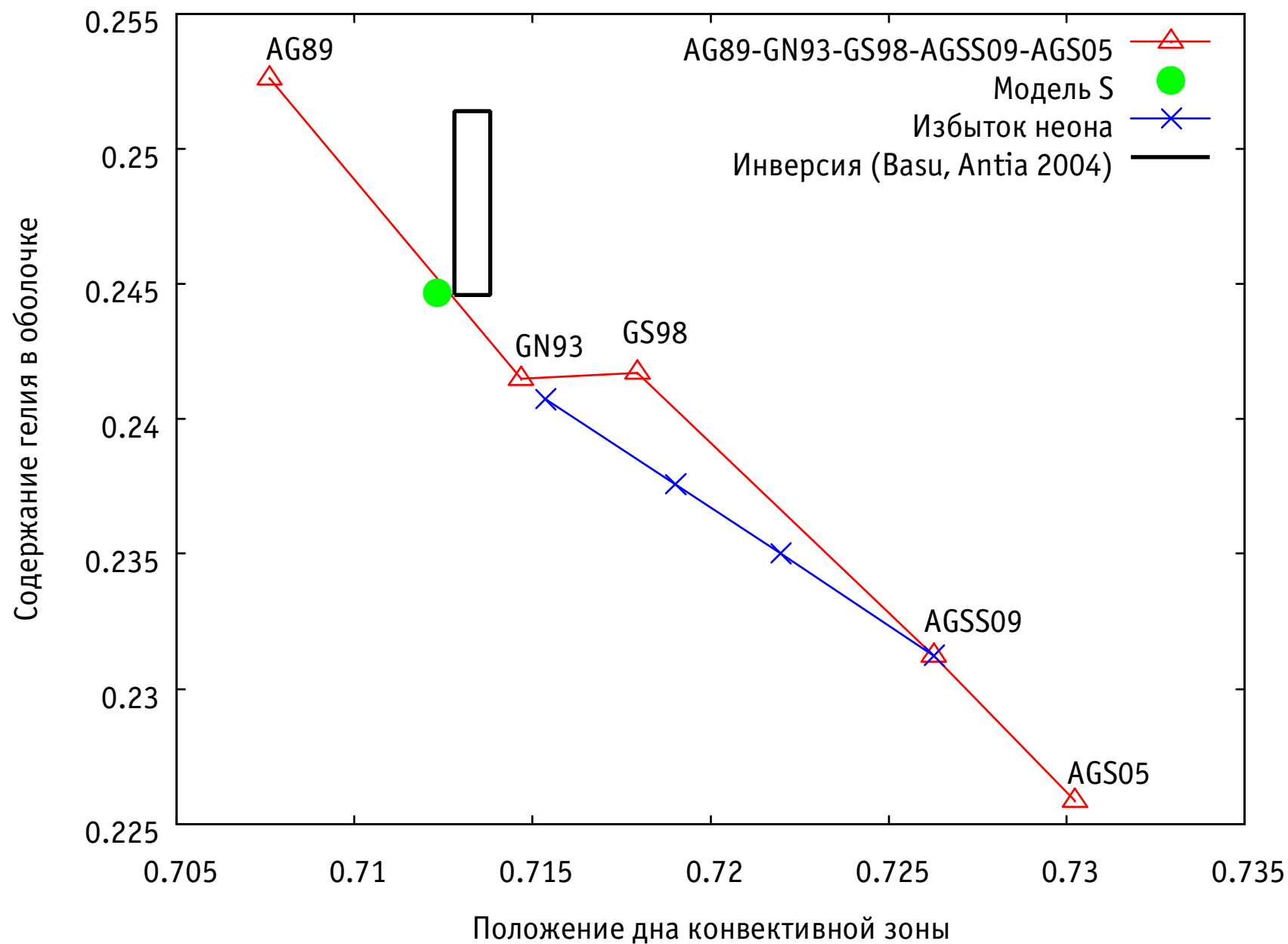
Модели с разным содержанием неона



Адиабатический показатель Γ_1 и неон



Содержание гелия и глубина конвективной зоны



Заключение

Новые данные о химическом составе верны?

- в наших представлениях о физике Солнца есть существенные неточности;
- есть процессы, о которых мы не знаем или которые не учитываем;