

ставляется целесообразным использовать источник, генерирующий пучки достаточно большого и управляемого (от  $10^2$  до  $10^5$ ) числа лазерных импульсов постоянной амплитуды и субпикосекундной длительности. Подобный лазер на основе фосфатного стекла создан в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН. Стабилизация излучения и генерация субпикосекундных импульсов постоянной амплитуды достигается за счет внешней оптоэлектронной системы отрицательной обратной связи [16]. Его схема и параметры приведены на рис. 7. Энергия одиночного импульса составляет от 0,1 до 1 мкДж. Для выхода на параметры, указанные в разделе 2, необходимо усиление в  $10^3 - 10^4$  раз, при этом полная энергия пучка достигнет 10–100 Дж, что представляется вполне реалистичным. В этом случае пучок импульсов рентгеновского излучения будет содержать  $\sim 10^{11}$  квантов, что позволит получать контрастные изображения с числом пикселей до  $10^6$  за времена  $\sim 1$  мс.

#### 4. Заключение

Таким образом, современный уровень развития лазерной и ускорительной техники позволяет поставить вопрос о разработке качественно новых средств рентгеновской диагностики, которые могут найти применение в различных областях медицины. Использование лазера вместо магнитных систем ондуляторов по существу дает возможность уменьшить энергию и размеры накопителей электронов, генерирующих рентгеновское излучение. Перспектива создания компактных лазерно-электронных рентгеновских источников привлекает внимание многих научных групп [18–21], что объясняется их неоспоримыми преимуществами как по отношению к рентгеновским трубкам, так и к синхротронам. Среди приложений основное внимание уделяется медицине, хотя возможны применения в интроскопии и системах безопасности. Важное практическое значение этих областей и растущие потребности в новом оборудовании являются хорошим стимулом развития лазерно-электронных источников рентгеновского излучения.

Авторы благодарны О.Н. Крохину, И.Г. Зубареву, А.Н. Лебедеву, И.А. Артюкову, В.И. Пантелееву, С.В. Савельеву, С.И. Федотову и В.И. Шведунову за обсуждение работы.

#### Список литературы

- Ando M, Uyama C (Eds) *Medical Applications of Synchrotron Radiation* (Tokyo: Springer-Verlag, 1998)
- Бабунашвили А М, Рабкин И Х, Иванов В А *Коронарная ангиопластика* (М.: АСВ, 1996)
- Rubinstein E et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **83** 9724 (1986)
- Dolbnya I P et al. *Phys. Medica* **VI** (3–4) 313 (1990)
- Kondratyev V I et al., in *Medical Applications of Synchrotron Radiation* (Eds M Ando, C Uyama) (Tokyo: Springer-Verlag, 1998) p. 29
- Dix W-R et al., in *Intravenous Coronary Angiography with Synchrotron Radiation: Proc. of the 15th Intern. Congress and Exhibition CARS, 2001* (Intern. Congress Series, No. 1230) (Boston: Elsevier, 2001) p. 930
- Elleau H et al. *Phys. Med. Biol.* **45** L39 (2000)
- Mori H et al. *Radiology* **201** 173 (1996)
- Krol A et al. *Proc. SPIE* **4504** 227 (2001)
- Куликов О Ф и др. *ЖЭТФ* **47** 1591 (1964)
- Huang Z, Ruth R D *Phys. Rev. Lett.* **80** 976 (1998)
- Innerhofer E et al. *Opt. Lett.* **28** 367 (2003)
- Huang Z, in *The Physics of High Brightness Beams: Proc. of the 2nd ICFA Advanced Accelerator Workshop* (Eds J Rosenzweig, L Serafini) (Singapore: World Scientific, 2000) p. 152
- Bessonov E G, in *Proc. of the 18th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Quantum Aspects of Beam Physics, Capri, Italy, Oct. 15–20, 2000* (Ed. P Chen) (Singapore: World Scientific, 2002) p. 113
- Bessonov E G, physics/0202040
- Gorbunkov M V, Vorchik D B, in *Conf. on Lasers and Electro-Optics/Europe, CLEO/Europe'96, Sept. 8–13, 1996, Hamburg, Germany*, Technical Digest, p. 282
- Васильев В Н и др. *Спектры излучения рентгеновских установок* (М.: Энергоатомиздат, 1990)
- Nakajima K, in *Advanced Accelerator Concepts: 8th Workshop, Baltimore, Maryland, July 1998* (AIP Conf. Proc., Vol. 472, Eds W Lawson, C Bellamy, D F Brosius) (Woodbury, NY: American Institute of Physics, 1999) p. 280
- Litvinenko V N, Shevchenko O A, Mikhailov S F, in *Free Electron Lasers 2001: Proc. of the 23rd Intern. Free Electron Laser Conf. and the 8th FEL Users Workshop, Darmstadt, Germany, Aug. 20–24, 2001* (Eds M Brunken, H Genz, A Richter) (Boston: Elsevier, 2002) p. II-63
- Agafonov A V et al. "Development of an advanced X-ray generator based on Compton back-scattering", A Proposal for Science for Peace Sub-Programme of NATO, Problems of Atomic Science and Technology (Ser. "Nuclear Physics Investigations", No. 1) (2001) p. 126
- Бессонов Е Г, Виноградов А В, Турьянский А Г *ПТЭ* (5) 142 (2002)
- Baghriyan M "Synchrotron Radiation and Applications", ASLSCANDLE 02-012 (2002); [http://www.candle.am/Public\\_reports/In\\_report/r\\_02\\_012.pdf](http://www.candle.am/Public_reports/In_report/r_02_012.pdf)

PACS numbers: 04.80.Nn, 98.80. – k

## Космологическая модель и образование структуры Вселенной

В.Н. Лукаш

Развитие новых методов и технологий измерений анизотропии и поляризации реликтового излучения, с одной стороны, и создание карт крупномасштабного распределения видимого вещества во Вселенной, с другой, привели к экспериментальному определению космологической модели, о котором физики и астрономы XX века могли лишь мечтать. Впервые пространственный спектр первичных космологических возмущений плотности был измерен в диапазоне масштабов от скоплений ( $\sim 10$  Мпк) до сверхскоплений ( $\sim 300$  Мпк) галактик в разные моменты своей эволюции: через 400 тыс лет после Большого Взрыва ( $E \sim 1$  эВ) в эпоху рекомбинации водорода, наблюдаемую в радиодиапазоне, и в современный период образования космологической структуры ( $E \sim 10^{-3}$  эВ, 13 млрд лет после Большого Взрыва), изучаемой по распределению галактик и их скоплений методами оптической и рентгеновской астрономии.

Сегодня можно говорить о качественном прорыве в наблюдательной космологии: мы знаем решение задачи о гравитационной неустойчивости Вселенной. Независимым образом восстановлены как начальные условия (первичное поле космологических возмущений плотности), так и значения параметров космологической модели, включая состав и количество скрытой материи (холодные частицы, барионы, массивные нейтрино) и темной энергии (плотность физического вакуума), определяющих эволюцию возмущений плотности от момента рекомбинации до наших дней.