

Модовая структура излучения сверхдлинного волоконного ВКР-лазера

Mode structure of the ultra-long Raman fiber laser

Авторы: Бабин С.А., Подивилов Е.В. (ИАуЭ СО РАН); Турицын С.К. (ИАуЭ СО РАН, Aston University, UK); Mezentsev V.K., Karalekas V., Harper P., Ania-Castañón J.D. (Aston University, UK)

Authors: Babin S.A., Podivilov E.V. (IAE SB RAS); Turitsyn S.K. (IAE SB, Aston University, UK); Mezentsev V.K., Karalekas V., Harper P., Ania-Castañón J.D. (Aston University, UK)

Известно, что спектр излучения лазера состоит из «гребенки» спектральных компонент (мод), частоты которых отличаются на величину $\Delta=c/2L$, определяющуюся длиной резонатора L и скоростью света в среде c . В работе длина резонатора увеличена до рекордного значения $L=84$ км в схеме волоконного ВКР-лазера с генерацией вблизи окна прозрачности ($\sim 1,5$ мкм). Показано, что межмодовый интервал в соответствии с формулой уменьшается до предельно малых величин $\Delta\sim 1$ кГц, а число генерируемых мод достигает $N\sim 10^8$. При этом модовая структура разрешима в радиочастотном спектре только при малой мощности излучения. Ширина пика межмодовых биений, определяемая относительными флуктуациями частоты, практически не зависит от длины, составляет ~ 100 Гц на пороге генерации и растет линейно с увеличением мощности генерации (рис. 1.1, *a*). При некоторой мощности, когда ширина пика сравнивается с межмодовым интервалом, модовая структура замывается и спектр из «гребенки» превращается в «квазинепрерывный». Величина предельной мощности обратно пропорциональна длине (рис. 1.1, *b*), составляет ~ 100 мВт при $L=84$ км. Показано, что причиной замыкания является нелинейная дефазировка турбулентного характера, происходящая в результате совместного действия дисперсии и четырехволновых взаимодействий большого количества генерируемых мод.

It is known that laser radiation spectrum consists of a “comb” of spectral components (modes) with frequency difference of $\Delta=c/2L$ determined by the length of resonator (L) and speed of light in a medium (c). In the research, the resonator length is increased up to the record value of $L=84$ km in a configuration of Raman fiber laser generating nearby the transparency window ($\sim 1,5$ microns). It is proven that in accordance with the above formula, the intermode interval goes down to the minimum value of $\Delta\sim 1$ kHz, and the number of the generated modes reaches $N\sim 10^8$. Here, the mode structure in a radio-frequency spectrum is observable at a low radiation only. The width of the intermode beating peak determined by relative frequency fluctuations practically does not depend on the length, amounts ~ 100 Hz at the generation threshold and grows linearly with increasing generation power (Fig. 1.1, *a*). At some power level, when the peak width equals to the intermode interval, the mode structure is washed off and

the frequency comb converts into a “quasi-continuous” spectrum. The limit power is inversely proportional to the length (Fig. 1.1, *b*) and amounts to ~ 100 mW at $L=84$ km. It is proven that the washing is caused by nonlinear turbulent dephasing resulting from joint action of dispersion and four-wave mixing of a large number of modes generated.

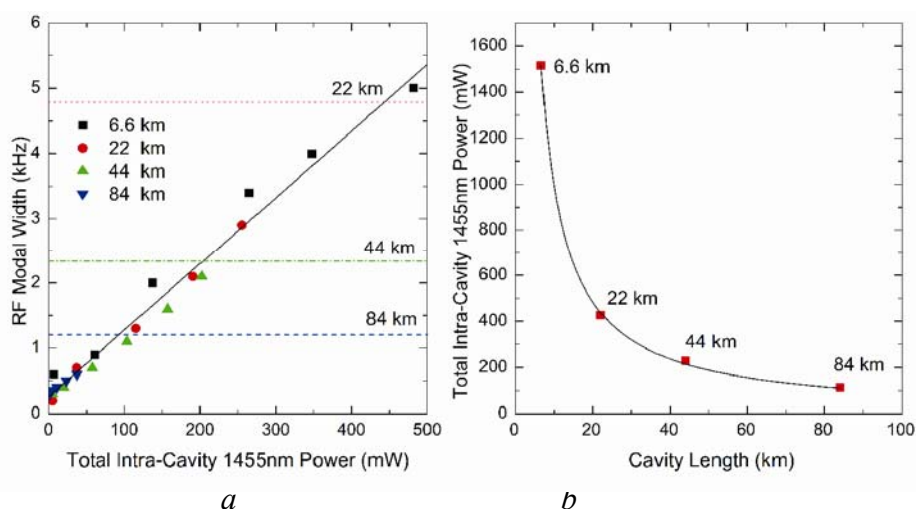


Рис. 1.1: *a*) Экспериментальные точки для ширины пиков биений в зависимости от внутриврезонаторной мощности при $L=6.6, 22, 44, 84$ км и соответствующие значения межмодового интервала – горизонтальные линии; *b*) предельная мощность, при которой модовая структура замывается. Сплошные линии иллюстрируют линейную (*a*) и гиперболическую (*b*) аппроксимации

Fig. 1.1: *a*) Experimental values for spectral width of the RF peaks as a function of the total intra-cavity power for cavity lengths of 6.6, 22, 44, 84 km and corresponding mode spacing values marked by dots; *b*) maximum power with resolved mode structure as a function of the cavity length; solid lines are linear fit (*a*) and A/x fit

Публикации: Publications:

1. Бабин С.А., Подивилов Е.В. Новые физические эффекты в сверхдлинных волоконных лазерах // Труды Российского семинара по волоконным лазерам 2007 (Новосибирск, Россия, 4–6 апреля 2007). С. 55–56.
2. Babin S.A., Karalekas V., Harper P., Podivilov E.V., Mezentssev V.K., Ania-Castañón J.D., Turitsyn S.K. Experimental demonstration of mode structure in ultra-long Raman fibre lasers // Opt. Lett., 2007, vol. 32, № 9. P. 1135–1137.
3. Karalekas V., Ania-Castañón J.D., Harper P., Babin S.A., Podivilov E.V., Turitsyn S.K. Impact of nonlinear spectral broadening in ultra-long Raman fibre lasers // Opt. Express, 2007, vol. 15 (25). P. 16690–16695.
4. Babin S.A., Karalekas V., Harper P., Podivilov E.V., Mezentssev V.K., Ania-Castañón J.D., Turitsyn S.K. Spectral broadening in ultra-long Raman fibre lasers by optical wave turbulence // CLEO 2007. Tech. Digest, paper QTuH5 (2 pages).
5. Babin S.A., Karalekas V., Harper P., Podivilov E.V., Mezentssev V.K., Ania-Castañón J.D., Turitsyn S.K. Modes with kHz scale spacing in Raman fibre lasers with ultra-long cavity // CLEO-Europe/IQEC, 2007 (Munich, Germany, June 17–22, 2007). Tech. Digest. P. CD2-1-MON (1 page).

6. Babin S.A., Karalekas V., Podivilov E.V., Mezentsev V.K., Harper P., Turitsyn S.K. Turbulent spectral broadening in ultra-long Raman fibre lasers // Там же. P. CD2-2-MON (2 pages).
7. Karalekas V., Ania-Castanon J.D., Harper P., Mezentsev V., Turitsyn S., Babin S., Podivilov E. Impact of nonlinear spectral broadening on the efficiency of ultra-long Raman fiber laser transmission links // Proc. ECOC 2007 (Berlin, Germany, September 16–20, 2007), 2007, vol. 1, paper 1.1.4. P. 67–68.