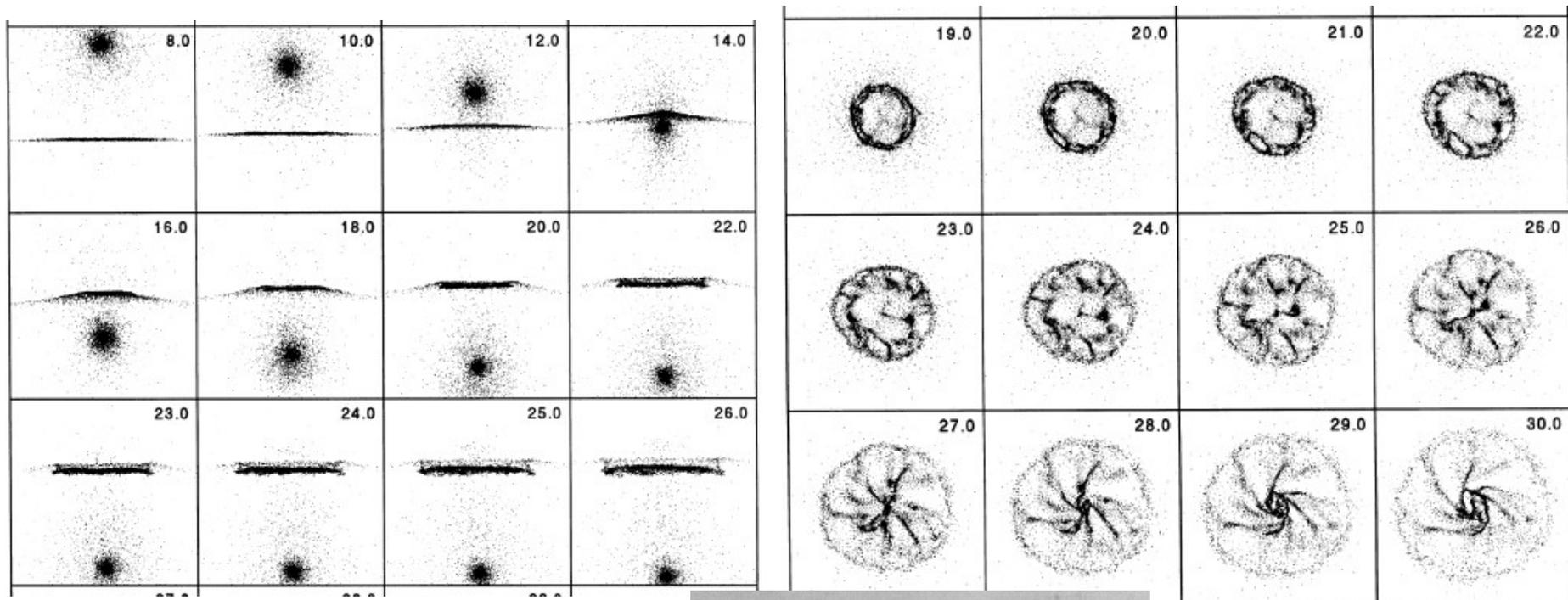


Fragmentation of ring galaxies and transformation to clumpy galaxies

Shigeki Inoue^{1,2*}, Naoki Yoshida^{3,4,5} & Lars Hernquist⁶

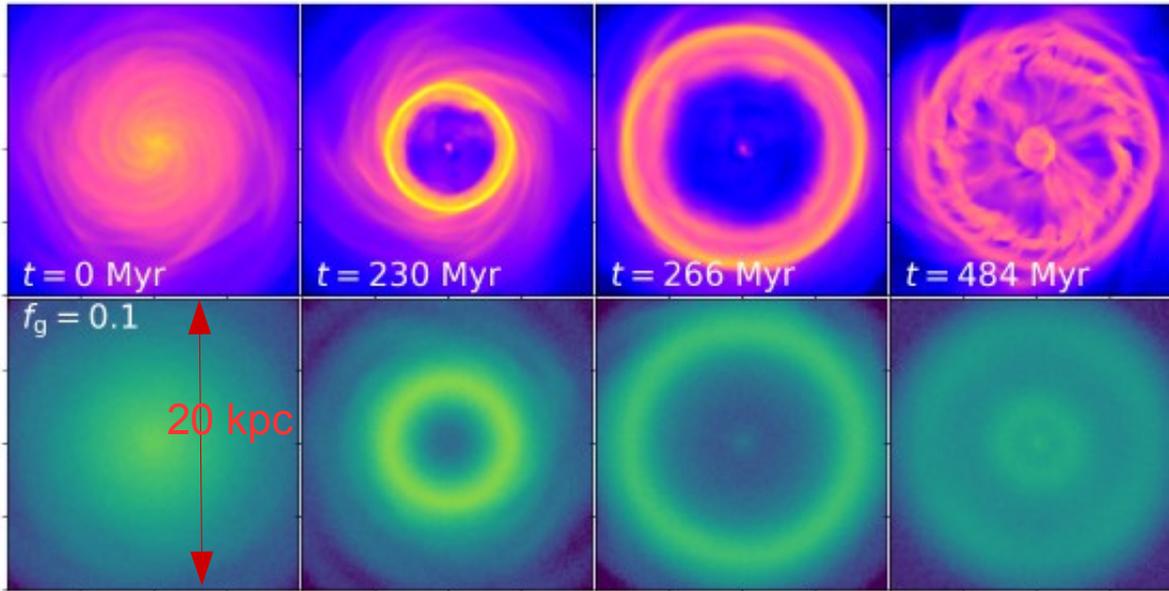
ArXiv:2103.09873
Submitted to
MNRAS Letters

Фрагментация кольца – отталкиваются от моделей Hernquist & Weil 1993:



В тех моделях
самогравитация газа
приводила к
формированию “спиц”

$f_g=0.1$

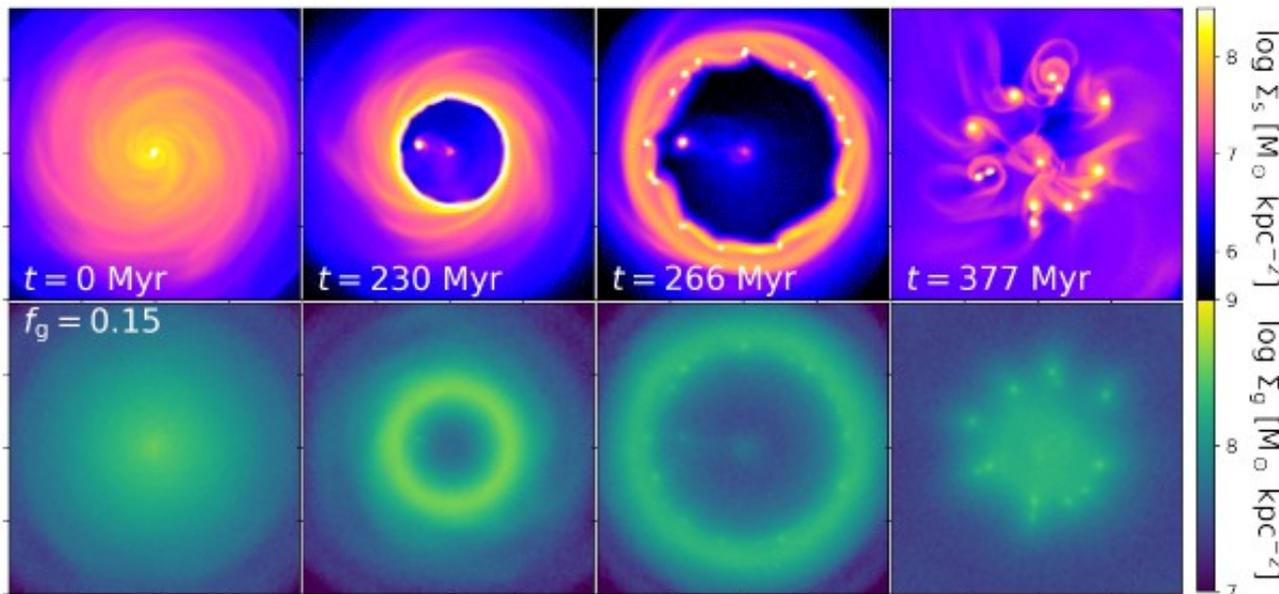


Arepo code:

to the fiducial example of Hernquist & Weil (1993) that produces a CRG closely resembling the Cartwheel galaxy. Our initial condition (ICs) assume a galaxy to have an exponential density profile with a total disc mass of $5.6 \times 10^{10} M_\odot$ and a scale radius (height) of 3.5 (0.7) kpc. The galaxy has no bulge and is embedded within a halo represented by a fixed isothermal potential with a total mass of $1.6 \times 10^{11} M_\odot$, a core radius of 3.5 kpc and a cut-off radius of 35 kpc. Unlike Hernquist & Weil (1993), the halo and a companion galaxy are represented with rigid potentials. The equation of state of the gas is isothermal, and the temperature is maintained at 10^4 K.

Диск эволюционирует до столкновения 1 Гур, чтобы прийти в динамическое равновесие

$f_g=0.15$ – формирование клампов и разрушение кольца



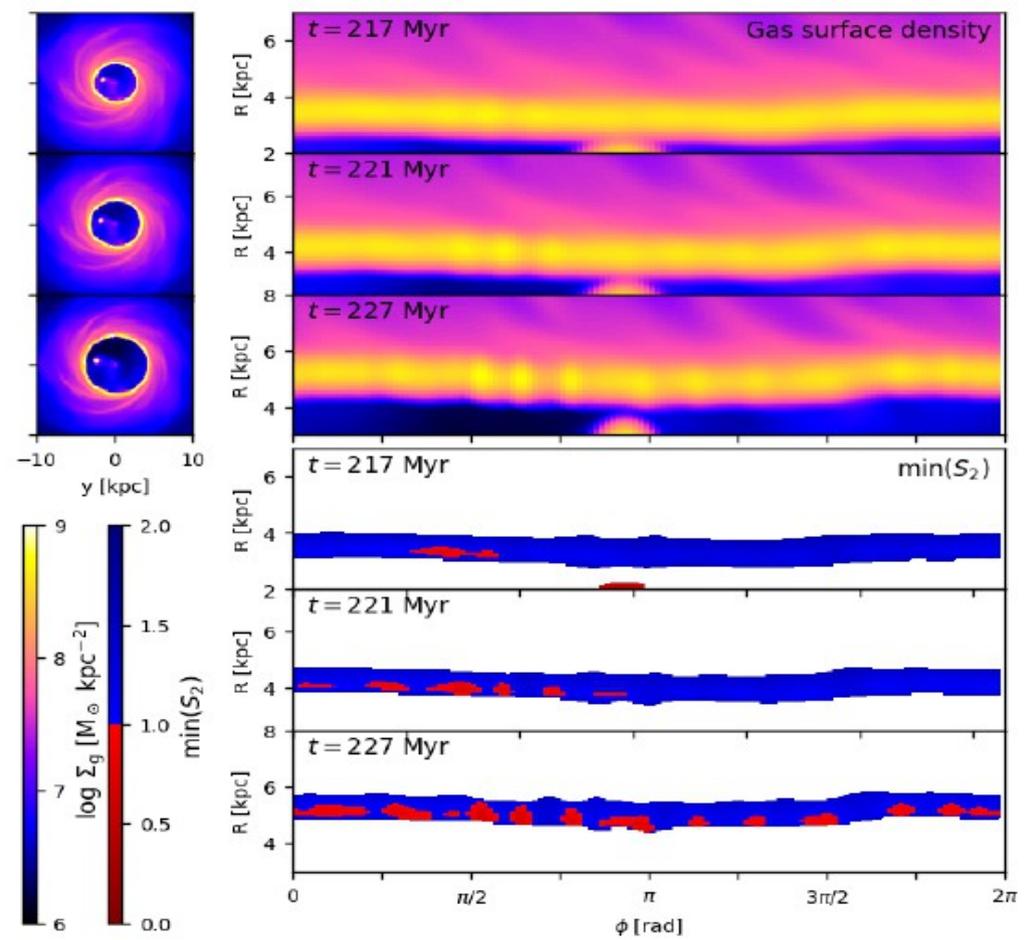
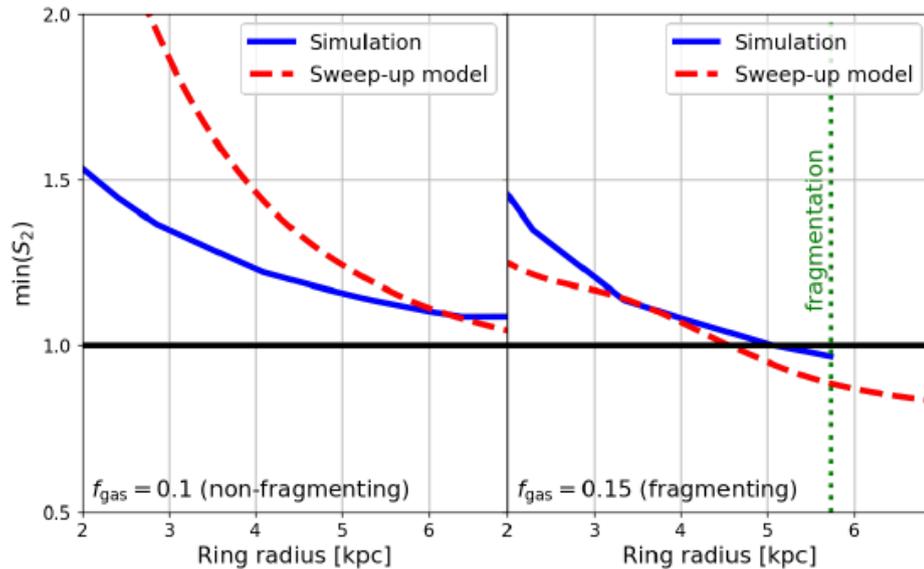
Параметр стабильности:

for a perturbation with wavenumber k is given as

$$S_2 \equiv \frac{1}{\pi G k^2} \left[\frac{\Upsilon_g f(kW_g) F(kh_g)}{\sigma_g^2 k^2 + \kappa_g^2} + \frac{\Upsilon_s f(kW_s) F(kh_s)}{\sigma_s^2 k^2 + \kappa_s^2} \right]^{-1}, \quad (1)$$

where the suffixes ‘g’ and ‘s’ denote quantities of the gas and stellar components, G is the gravitational constant, W and Υ are the half-width and the mass of the ring per unit length (line-mass), σ is the azimuthal velocity dispersion, and $f(kW) \equiv [K_0(kW)L_{-1}(kW) + K_1(kW)L_0(kW)]$ with K_i and L_i are the modified Bessel and Struve functions of order i . From Toomre (1964), the thickness correction factor is given as $F(kh) = [1 - \exp(-kh)]/(kh)$, where h is the vertical thickness. If $S_2(k) < 1$, the perturbation k is expected to grow exponentially with time and therefore be unstable. The instability

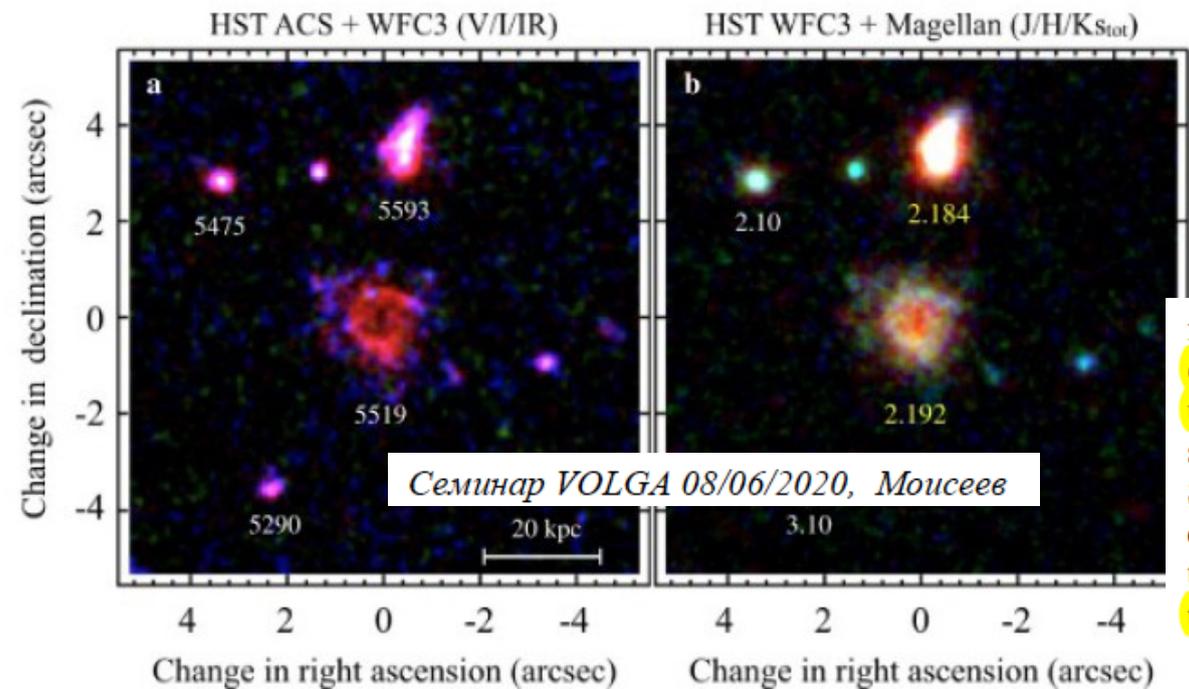
Есть согласие с простой моделью “нагребаемого кольцом газа”:



that the impact of a merger forms a ring at R , which has swept up all the gas and stars inside R . The line-mass of the ring is then

$$\Upsilon = \frac{1}{2\pi R} \int_0^R 2\pi r \Sigma_{\text{IC}} dr, \quad (3)$$

where Σ_{IC} is the surface density of the disc before the merger, i.e. the relaxed IC. This model considers the ring to be a ‘material wave’ in contrast with the density-wave theory of Lynds & Toomre (1976).



R5519 $z=2.19$ (Yaun+20, Natur):
 SFR=38 M_{\odot}/yr $\lg M^*=10.8$ $r=5$ kpc

Оценка стабильности по S_2 :

for R5519: the minimum and maximum ring models. The former (latter) model assumes the least (most) massive ring and provides the upper (lower) limit of S_2 . In the minimum ring model, we ignore the stellar component and assume that the ring has 45 per cent of the total SFR of the galaxy. The averaged SFR surface density in the ring is estimated to be $\bar{\Sigma}_{\text{SFR}} = 0.14 M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$, and this is converted to the averaged gas surface density of $\bar{\Sigma}_{\text{g}} = 9.3 \times 10^7 M_{\odot} \text{ kpc}^{-2}$ through the star formation law of Kennicutt (1998). Although the

=> minimum ring model: $\min(S_2) < 1$ for $\sigma < 27$ km/s – игнорируем звезды, кольцо 45% SFR
 Maximal ring model: $\min(S_2) < 1$ for $\sigma < 105$ km/s – есть звезды, кольцо 70% SFR

Считают, что это крайние модели, т.е. реально нестабильность к “клампированию” должна возникнуть при $\sigma = 27-105$ км/с

Оценки же дают для галактик на $z \sim 2$: $\sigma \sim 20-130$, $\langle \sigma \rangle \sim 50$ км/с
 Т.о. кольцо легко может стать прародителем “clumpy galaxy”

А это объясняет парадокс с “нехваткой” CRG на больших z , где частота столкновений галактик должна быть больше локальной.

(Впрочем, Yaun+20 указывали, что и в EAGLE нет роста числа колец с z , а нехватка больших дисков компенсирует роста числа столкновений)

В качестве заключения, спекулируют, что и по наблюдениям, и по симуляциям EAGLE объемная плотность CRG на $z=2$ – такая же маленькая, что и на $z\sim 0$ (0.01%). Что противоречит предыдущим оценкам (рост на 1-2 порядка):

We speculate that a combined effect of a rising merger rate, a decreased fraction of large spiral disks, and the lack of local-like galaxy groups at high red-shift could cause the slow CRG number density change in the past 11 Gyr

Моё впечатление: сложно такую мелочь наблюдать с Земли, особенно спекулятивны оценки $V_{rad} \gg V_{cir}$ (противоречит имеющимся данным по $z\sim 0$)
Надо ждать JWST. Но дополнительные материалы интересны. Вид известных объектов на таких z - “как есть” и с эволюцией светимости

