

Black Hole Envelopes in Little Red Dots

Daisaburo Kido,¹★ Kunihiro Ioka,² Kenta Hotokezaka,¹ Kohei Inayoshi,³ and Christopher M. Irwin¹

¹ *Research Center for the Early Universe, Graduate School of Science, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo*

² *Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan*

³ *Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics, Peking University, Beijing 100871, China*

arXiv:2505.06965

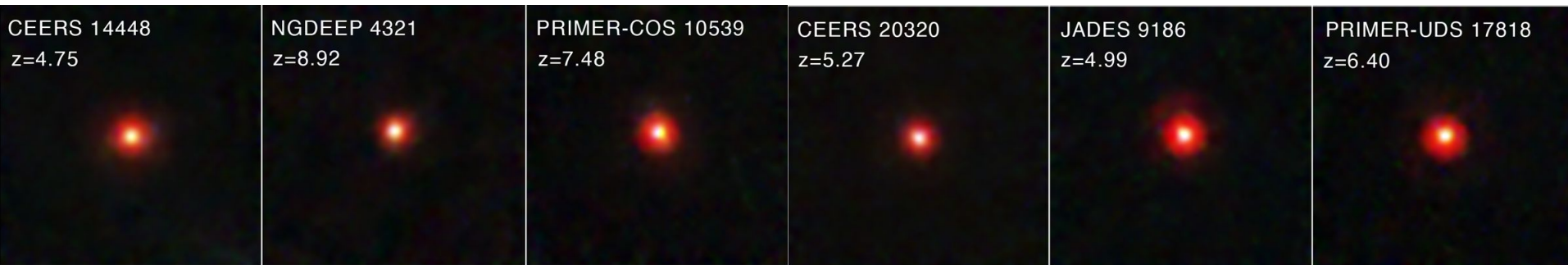
Введение

Контекст:

Little Red Dots (LRDs) – новый класс компактных красных объектов, обнаруженных JWST на $z \sim 4 - 7$.

Их спектры показывают:

- широкие линии Бальмера
- слабое рентгеновское и радиоизлучение (в отличие от типичных АЯГ)
- низкая переменность
- SED демонстрирует необычную V-образную форму: плоский синий наклон в ультрафиолете и крутой красный спад в оптике



Введение

Проблема:

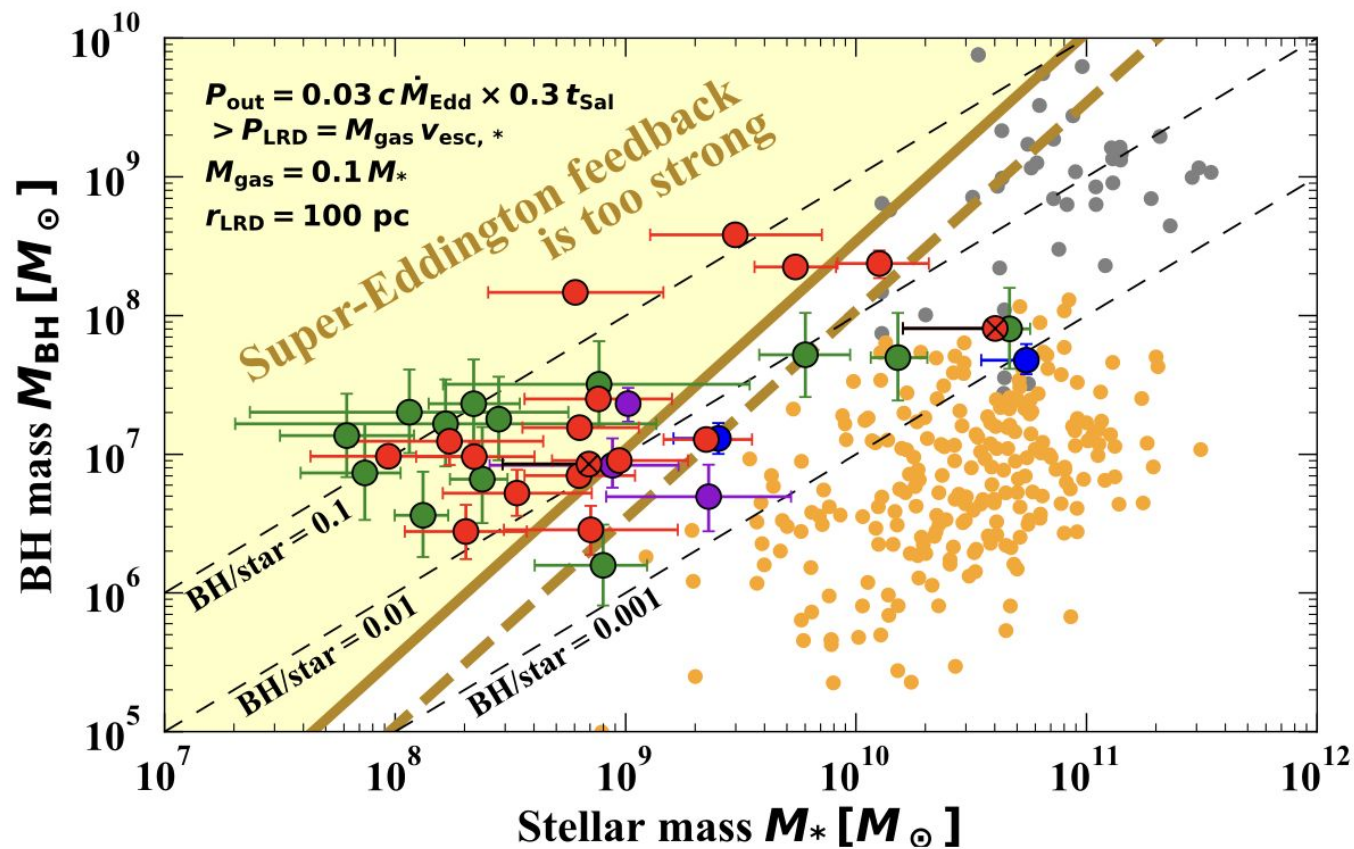
При сверхэддингтоновской аккреции ($\dot{M} \gg \dot{M}_{\text{Edd}}$) диск должен создавать мощные оттоки, которые:

- должны разрушать галактику (из-за обратной связи)
- должны генерировать рентгеновское излучение (но его нет)

Решение авторов:

Предложена модель массивной оптически толстой оболочки вокруг ЧД, которая:

- удерживает оттоки
- перерабатывает их энергию в тепловое излучение



JWST AGNs

- Kocevski+23
- Harikane+23
- Maiolino+23
- Kocevski+24

other AGNs/quasars

- Izumi+21 (z=6)
- Reines & Volonteri 15 (z=0)

Feedback model (this work)

$$M_{\text{gas}} = 0.1 M_*$$

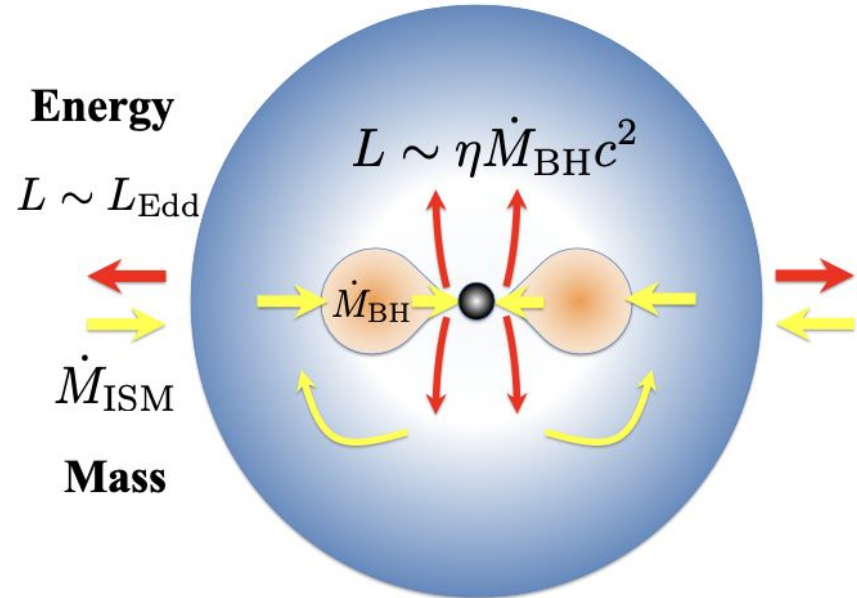
$$r_{\text{LRD}} = 100 \text{ pc}$$

$$r_{\text{AGN}} = 3 \text{ kpc}$$

Проблема обратной связи

Оценка импульса оттоков:

- Для $L \sim 10^{45}$ эрг/с и $M_{\text{BH}} \sim 10^7 M_{\odot}$ оттоки должны выдуть газ из галактики за $\lesssim 10^7$ лет.
- Наблюдаемые LRDs стабильны, значит, оттоки чем-то подавлены.



модель:
чёрная дыра в оболочке

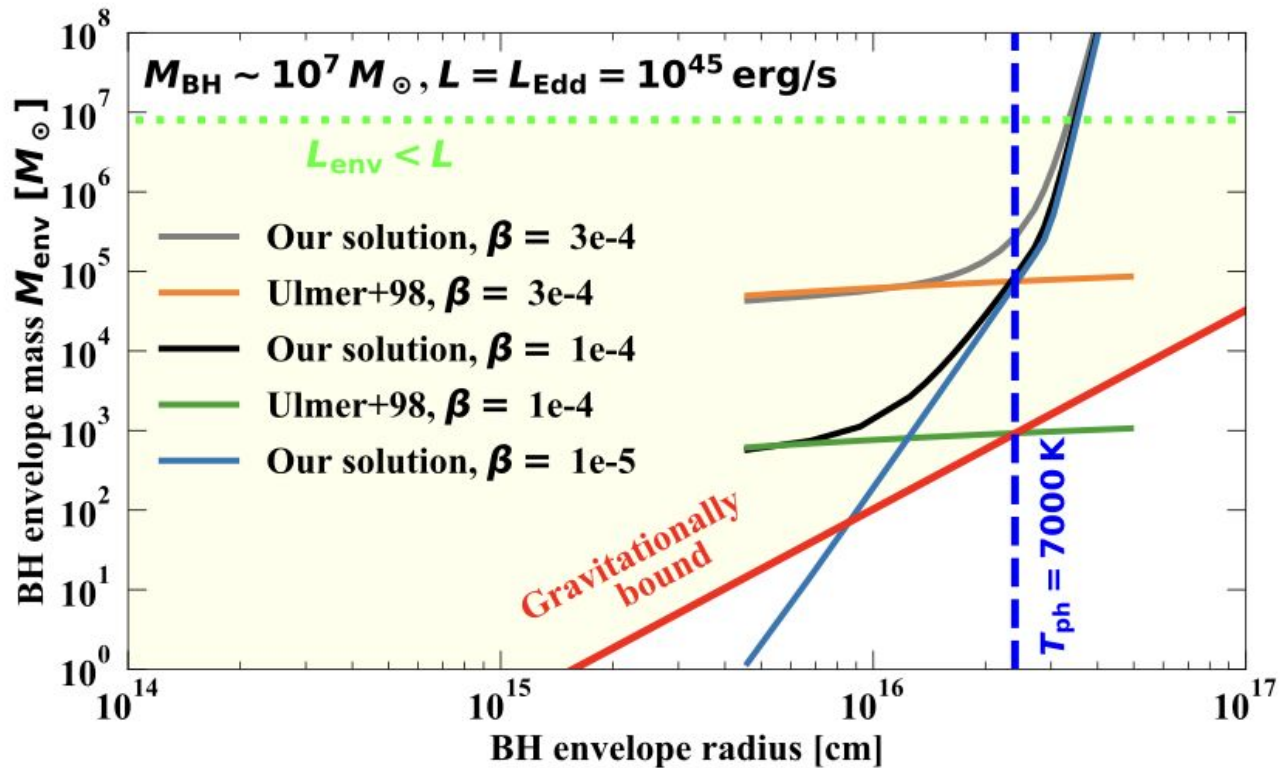
Предложенная модель: чёрная дыра в оболочке

Чтобы разрешить это противоречие, авторы предлагают:

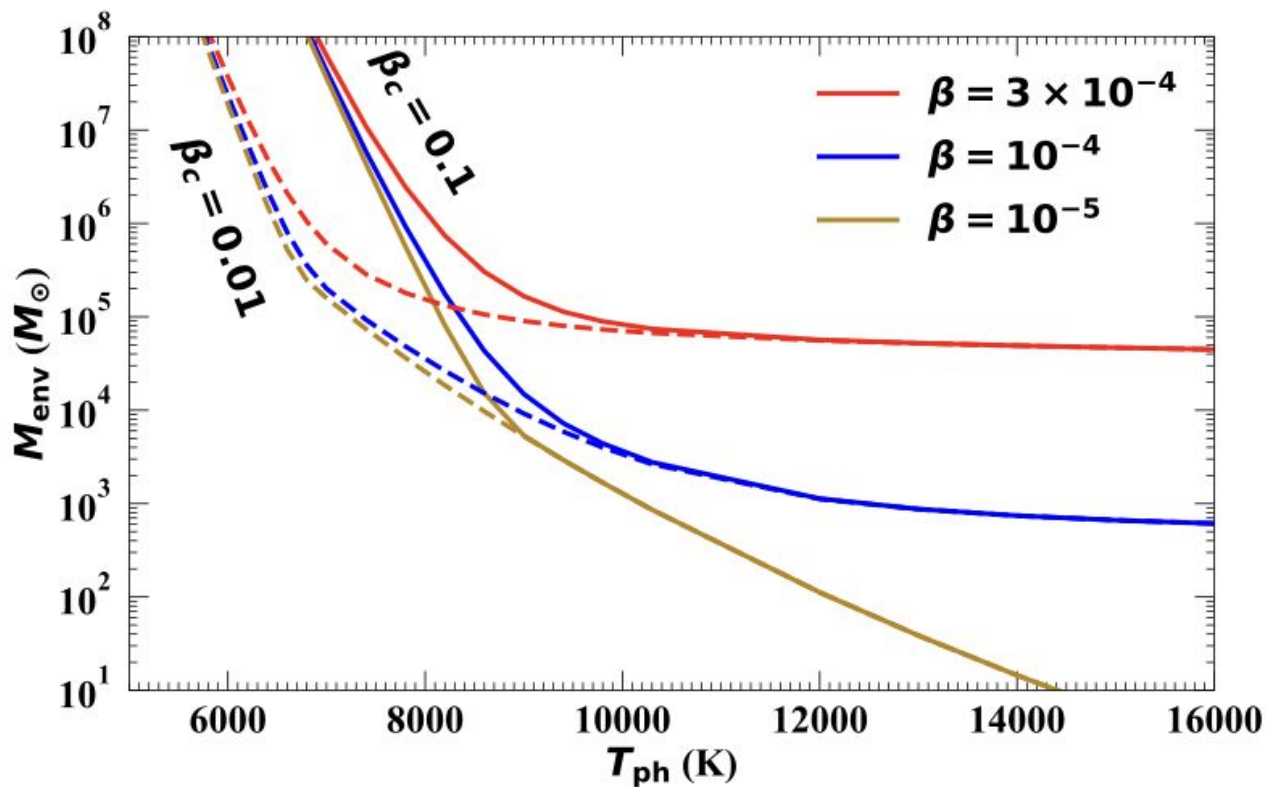
чёрная дыра окружена массивной, оптически толстой оболочкой, которая:

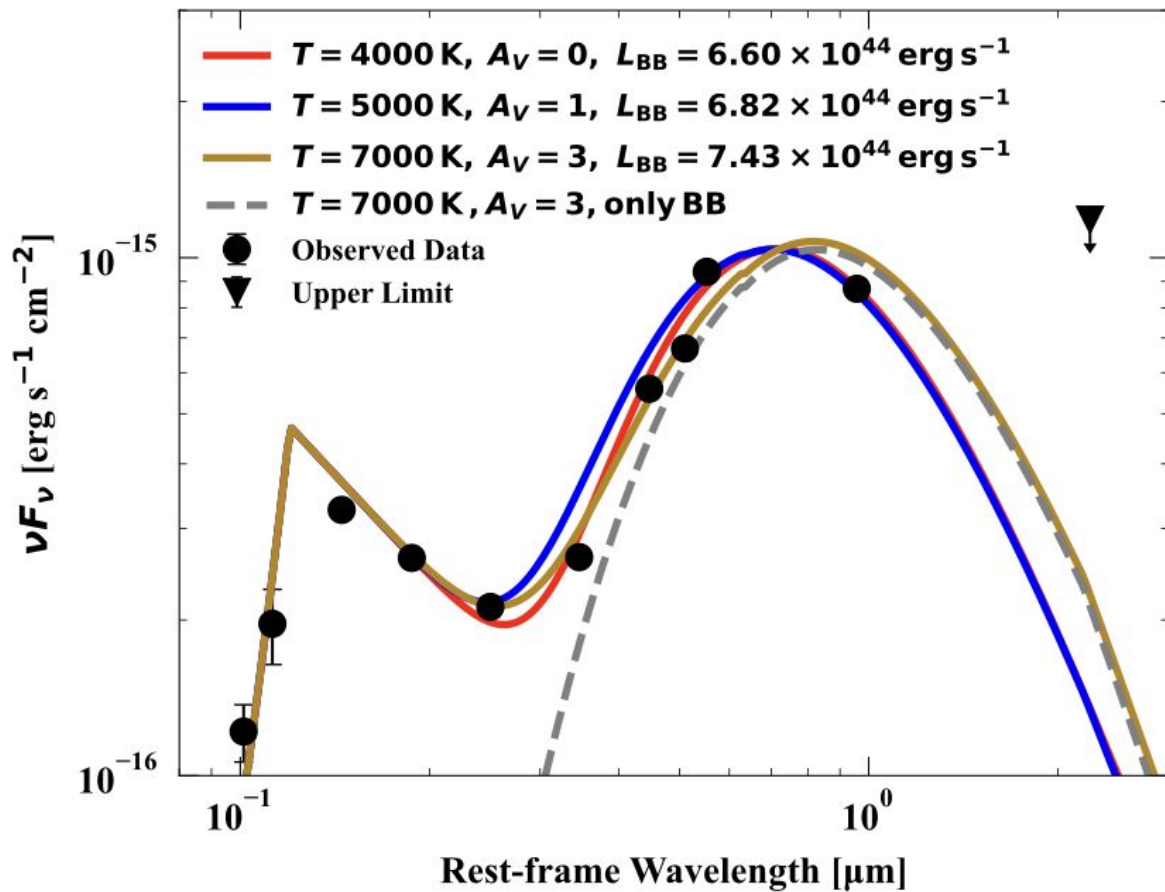
- гравитационно удерживает outflow,
- перерабатывает его энергию и излучает как чёрное тело с $T_{\text{ph}} \sim 5000\text{--}7000\text{ K}$,
- экранирует рентген и радио.

Диапазон допустимых масс и радиусов оболочки



Температура фотосферы и масса оболочки





Эволюция и устойчивость оболочки

- Пока приток вещества $\dot{M}_{\text{ISM}} \geq \dot{M}_{\text{Edd}} \rightarrow$ оболочка стабильно существует.
- Как только приток снижается, ЧД продолжает поглощать массу, оболочка истощается и исчезает.

То есть при $\dot{M}_{\text{ISM}} < \dot{M}_{\text{Edd}}$ оболочка разрушается $\rightarrow$ LRD превращается в обычный AGN.

- Это даёт естественное объяснение временной природы LRD.

Заключение и перспективы

Модель оболочки:

- решает проблему избыточной обратной связи
- объясняет спектральные свойства и подавленную переменность LRD
- допускает быстрый рост SMBH в ранней Вселенной (даже при $z \sim 7$)
- является обоснованной аналогией квазизвезды, но в режиме AGN

Открытые вопросы:

- Что создаёт ионизирующее UV-излучение?
- Что формирует широкие линии?
- Как влияет вращение и асимметрия оболочки?