Probing the vicinity of Sgr A* with VLTI/GRAVITY

Frédéric Vincent¹ on behalf of GRAVITY Collaboration

¹CNRS/Observatoire de Paris/LESIA



Frédéric Vincent

(雪) (ヨ) (ヨ)

Probing Sgr A* with GRAVITY

ъ

1/22

1 Context: probing Sgr A* inner surroundings

2 GRAVITY: who, what, why?





・ 同 ト ・ ヨ ト ・ ヨ ト …

Context GRAVITY GC results



Credit: Stellarium, Bob King

ヘロト 人間 とくほとくほとう

















Slide stolen from M. Wielgus

Accretion flow follow-up \Rightarrow 10s of μ as

◆□ > ◆□ > ◆臣 > ◆臣 > ─臣 ─のへで



S2 Schwarzschild precession follow-up \Rightarrow 10s of μas

•
$$\delta \varphi = 6\pi \frac{GM}{c^2(1-e^2)} = 12.1'$$
 for S2

• On sky:
$$\delta \alpha \approx a(1-e)\delta \varphi = 50 \,\mu as$$

< □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □



Electromagnetic probes of BH surroundings

- Star (test mass): clean, but far
- Accretion: close, but astrophysics-poluted

くロト (過) (目) (日)

э



2 GRAVITY: who, what, why?





・ 同 ト ・ ヨ ト ・ ヨ ト …



◆□ > ◆□ > ◆臣 > ◆臣 > ─臣 ─のへで



Frédéric Vincent

≣) ≣ •<€



Credit: Kervella (2001)

The astronomer and the atmosphere

- Adaptive optics ⇒ planar wave front
- Piston (fast evolving)
- Need to fix it to zero! ⇒ phase reference



GRAVITY (2016+)

Courtesy M. Grould

<ロ> <四> <ヨ> <ヨ> 三日:



◆□▶ ◆□▶ ◆三▶ ◆三▶ ・三 のへで

Gravity Acq Cam Image (29.03.2017)



Frédéric Vincent Probing Sgr A* with GRAVITY



Observables / science product

- Visibility (=FT of image) sampled at projected baselines
- Science product: best-fit on-sky astrometry $(\alpha(t), \delta(t))$



Credit: GRAVITY+ white paper

< □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □

Context: probing Sgr A* inner surroundings

2 GRAVITY: who, what, why?





<四> < 回 > < 回 > < 回 > -

Context GRAVITY GC results



GRAVITY Collaboration 2018

S2: closest test mass to Sgr A*

Frédéric Vincent

Probing Sgr A* with GRAVITY

1.2.2

Context GRAVITY GC results



GRAVITY Collab. 2018a, 2019b, 2020

Redshift / Precession

•
$$z = z_{Newton} + \mathbf{f}_{R} (z_{GR} - z_{Newton})$$

 $f_{R} = 1.04 \pm 0.05 \Rightarrow \mathbf{20}\sigma \text{ grav. redshift detection}$
• $\vec{a} = -\frac{GM}{r^{3}}\vec{r} + \mathbf{f}_{SP}\frac{GM}{r^{2}} \left[\left(4\frac{GM}{r} - v^{2} \right) \frac{\vec{r}}{r} + 4\dot{r} \vec{v} \right]$
 $f_{SP} = 1.1 \pm 0.19 \Rightarrow \mathbf{5}\sigma \text{ Sch. precession detection}$

イロン イロン イヨン イヨン

æ





GRAVITY Collab. 2021 (in prep)

2021 good news

- Quite a few stars around! S29 coming closer than S2
- Increase robustness of Schwarzschild precession
- now clear on sky for S2!



GRAVITY Collab. 2018b

Orbital motion near horizon

- Location coincident with Sgr A*
- Compatible with Keplerian motion at r = 7M
- Light curve + polarization ⇒ low inclination, B poloidal

ightarrow see Paulo Garcia's talk Monday



Local position invariance test

 Frequency shift due to varying potential

$$\Delta
u /
u = (\mathbf{1} + eta) \Delta \Phi / c^2$$

•
$$|\beta_{\text{He}} - \beta_{\text{H}}| = (2.4 \pm 5.1)\%$$

 Δβ not competitive, but very high ΔΦ!



ヘロト ヘワト ヘビト ヘビト

ъ



Local position invariance test

 Frequency shift due to varying potential

$$\Delta
u /
u = (\mathbf{1} + eta) \Delta \Phi / c^2$$

•
$$|\beta_{\text{He}} - \beta_{\text{H}}| = (2.4 \pm 5.1)\%$$

Δβ not competitive, but very high ΔΦ!



ヘロト ヘワト ヘビト ヘビト

э





BH + DM scalar cloud effect on S2 orbit

- Assume $M_{\rm cloud}/M_{\rm BH} = 1\%$
- Biggest effect of cloud : Δω = 10' compared to current precision σ_ω = 2.5' → in reach

Context GRAVITY GC results



GRAVITY+ Phase A Science Case 2021

Future: GRAVITY+

- Go fainter, and closer
- Constrain the spin!

ヘロン 人間 とくほとく ほとう

æ