Observing Black Holes Spin

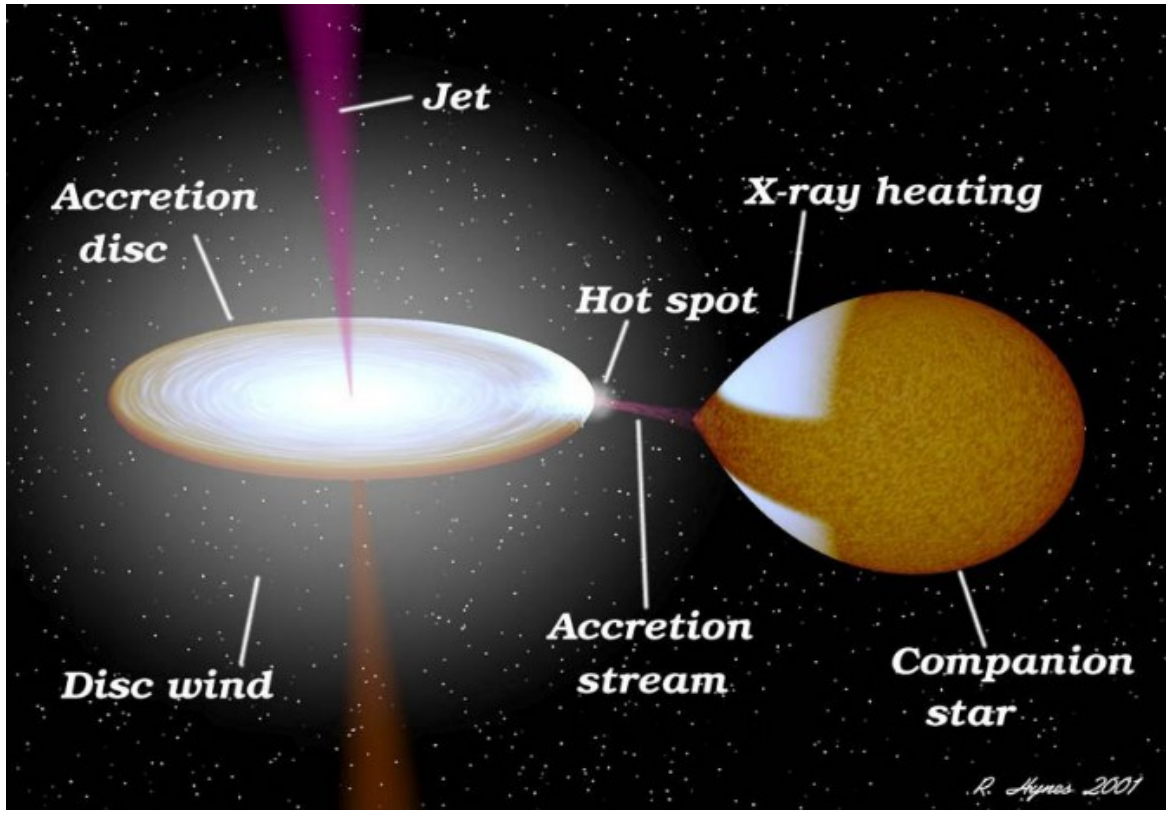
Taiki Tanaka

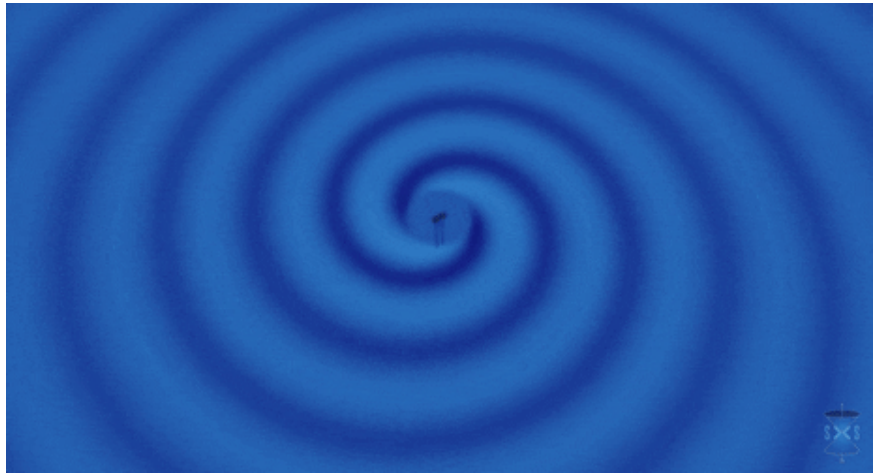
2019/7/8

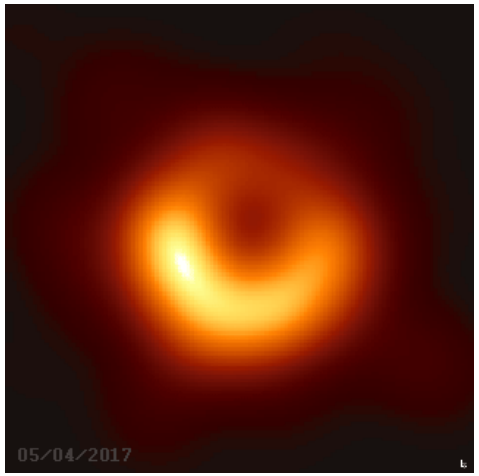
ICRR輪読

Abstract

- 現在のX線、GW、radioによるBH spinの測定とその発展について概観する







Abstract

- 活動銀河核の強力なジェットの生成については、数億年の間、銀河中心SMBHのスピンによって生成されるというのが現在の標準的な理論モデルである
- ジェットはその銀河内のガスにエネルギーをわたし、銀河の星形成を止め、BHのガス吸着を減速させる
- のようにSMBHのスピンは銀河形成のストーリーの一部に関連している

Abstract

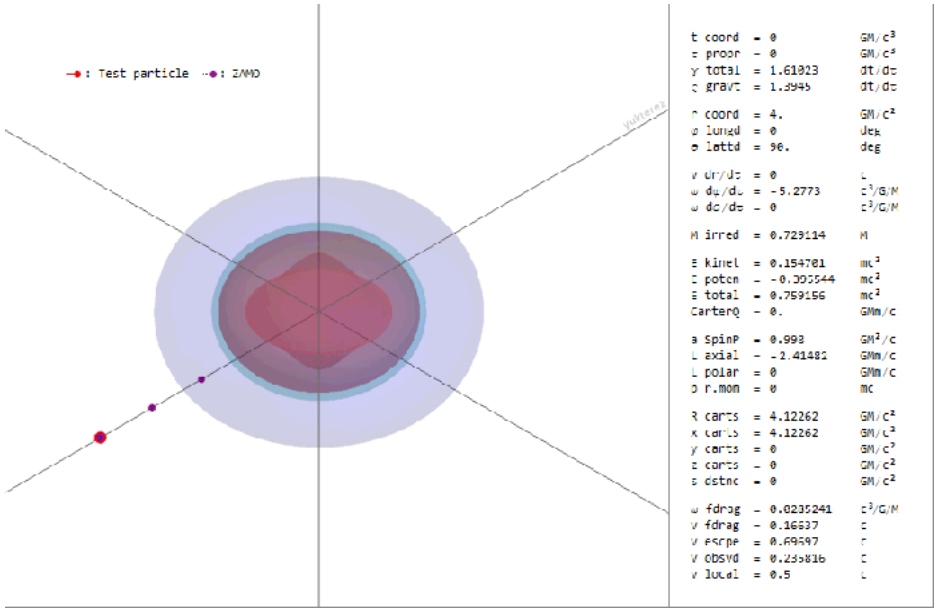
- スピンはBHの形成についての情報も持っている
- 例えば、初期宇宙でのSMBH形成についてはSMBHのスピンの速度によってシナリオが区別される
  - 円盤降着　　: spin up
  - 合体　　: 同程度質量だとup、小さいものだとdown
- これらの理由からスピンの測定方法の発展は非常に興味を持たれている

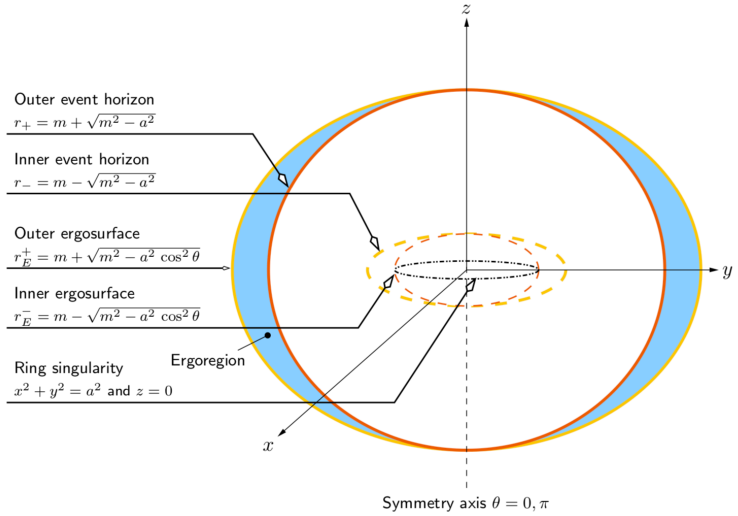
Abstract

- 過去20年間のほとんどでは、スピンの定量的な測定はX線観測に限る話であった
- GW観測の発展によりBHのスピン測定に関して全く新しい補完的な結果を得ることができるようになった
- また、EHTによる地平線の影の直接撮像という新たなブレイクスルーも起きている
- 世はまさに大BHスピン時代

What is BH spin

- 慣性系の引きずり、Lense-Thirring effect
- エルゴ領域内に入ると、光でさえも静止が不可能になる
- この領域はBHスピンのエネルギーの理解には重要な領域である
- この領域でのエネルギー抽出過程、penrose過程はBH由来の相対論的ジェットの理論モデルを与える



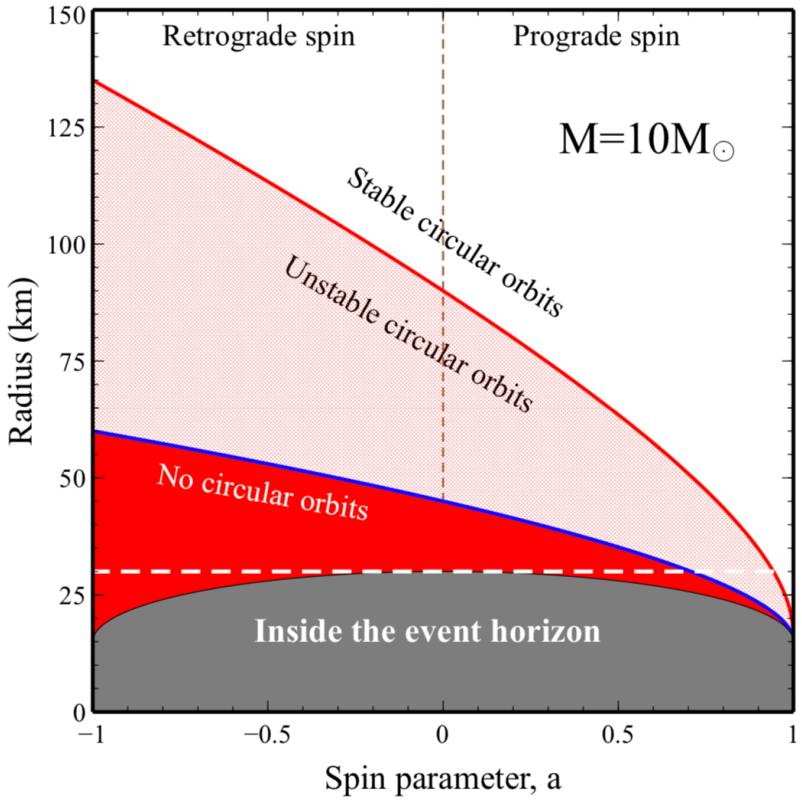


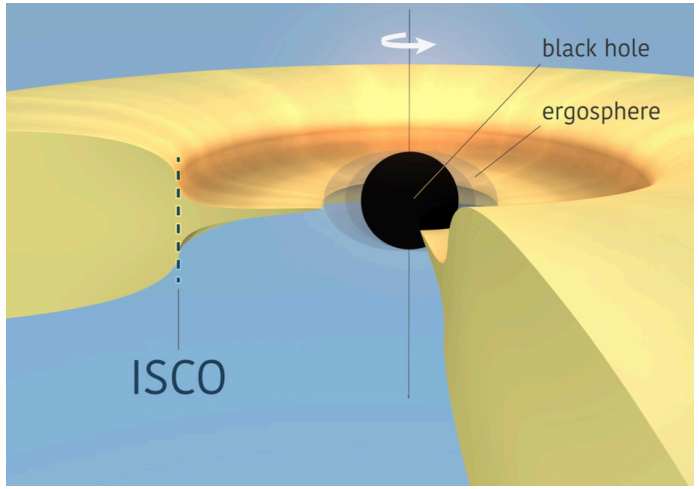
What is BH spin

- BHのkerr解は質量とspin parameter $a = \frac{cJ}{GM^2}$ にのみ依存する
- この2つの値の観測によって相対論の検証が可能である
- $|a| > 1$となると、event horizonはなくなる
- この結果は宇宙検閲官仮説によって禁じられている
- 降着によるSMBHでは$|a| > 1$となる可能性があると報告している論文もある

Accreting disks, X-rays and BH spin

- かつてスピン測定は活動銀河核内のSMBHの降着円盤かX線連星の太陽質量BHの降着円盤でしか行えなかった
- スピンによってInnermost stable circular orbit(ISCO)の半径が変わる
- ISCOより内側の円盤からX線放射を主とした電磁放射が起こる



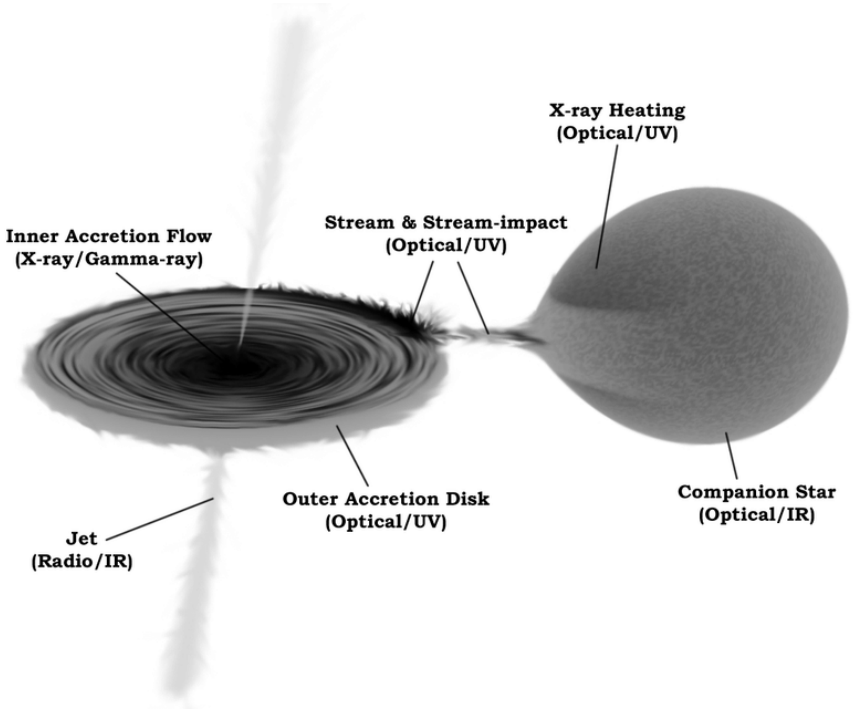


Accreting disks, X-rays and BH spin

- スピンはX線の重力赤方偏移によって測られる

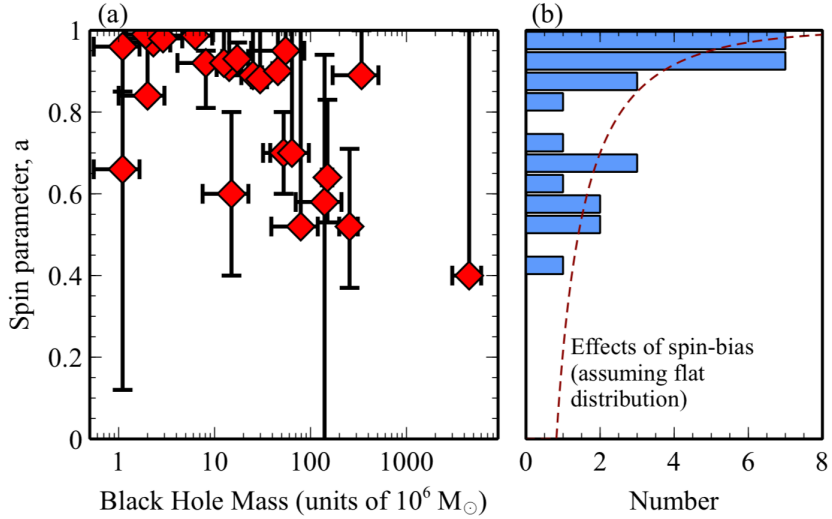
$$\lambda_{\mathrm{emit}} = \sqrt{-g_{tt}}\lambda_{\mathrm{obs}}$$

- X線は降着円盤由来の電子陽電子ペアにより励起された降着円盤の表面より放射される



Accreting disks, X-rays and BH spin

- SMBHのほとんどはスピンの値が大きいものが観測されている
- これは単にエネルギーが大きいものばかり観測されている可能性もある
- 太陽質量BHではこの偏りは存在しない
- スピン決定にはBHの質量も距離も必要ない

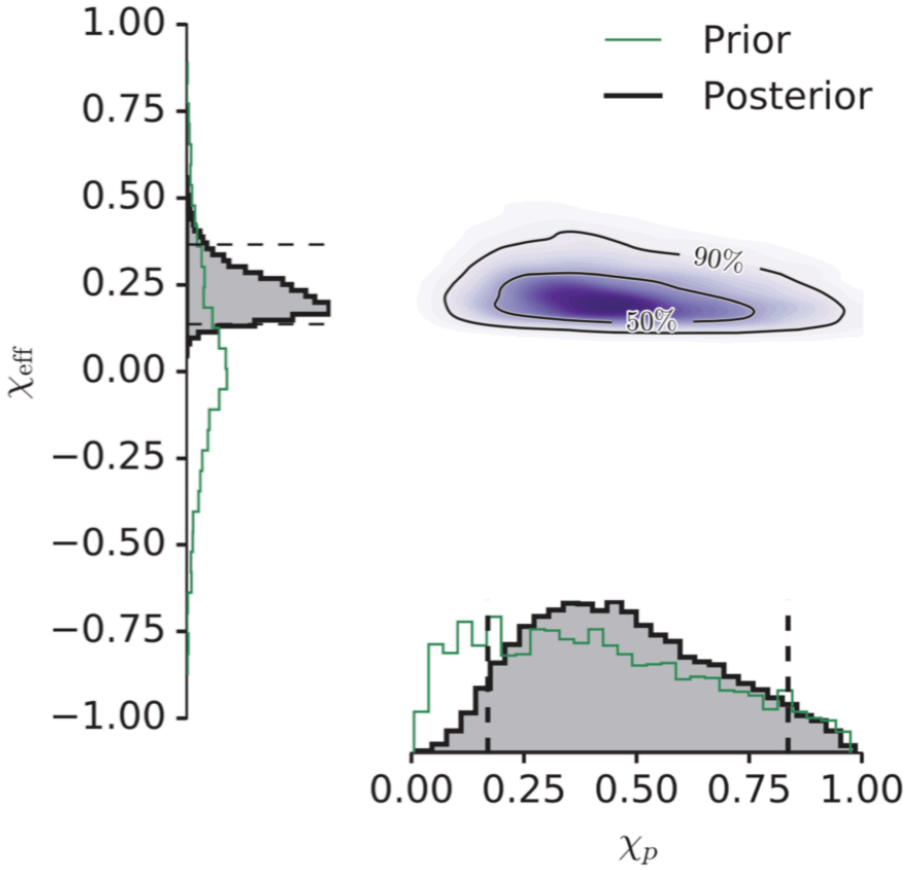


Accreting disks, X-rays and BH spin

- もう一つのスピン測定方法としてBHの温度を測る方法がある
- スピンが大きいほどBHの温度は高い傾向にある
- この方法では他にBHの質量、降着円盤の軌道傾斜角、BHまでの距離が必要になる
- この方法は特にX線連星中の太陽質量BHに対して有効である
- 理由は放射X線が低エネルギーで銀河中のガスを通り抜けやすいからである

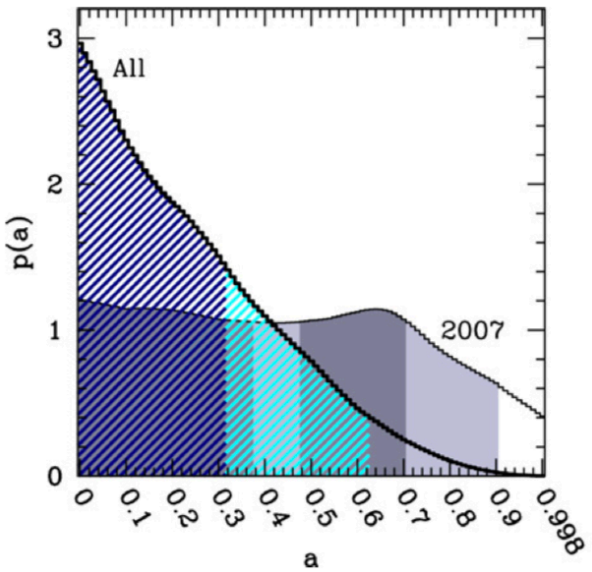
GW astronomy and BH spin

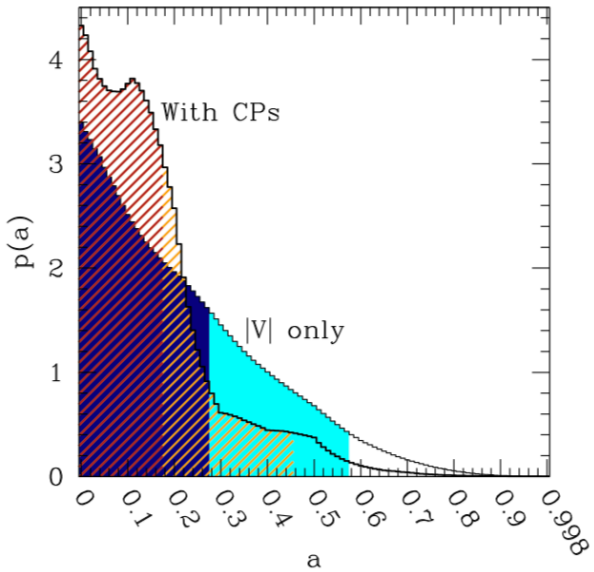
- 合体のInspiral期からspinの情報を得る
- ただし、この論文ではGW150914とGW151226しかデータが乗っていないため、我々にとっては情報が古い
- 現在は太陽質量BHの合体のみ
- LISAでSMBHの合体



The spin of the Galactic Centre BH

- 射手座A*のSMBHの直接撮像がEvent Horizon Telescope(EHT)によってなされた
- Diskの輝きの非対称性がスピンの強さに結びついている
- 今回の観測ではスピンが小さいことが予想されているが値のモデル依存が大きい





The spin of the Galactic Centre BH

- また、event horizonの数百倍ぐらい周囲の星の観察により慣性系の引きずりの観測によるスピン同定の可能性も示唆されている(GRAVITY at VLTI)
- 射手座A*にあると期待されるSMBHの周りのS2と呼ばれるとても明るい星が今後2,3年間SMBHの周りから離れるため周囲星観測のチャンスである