

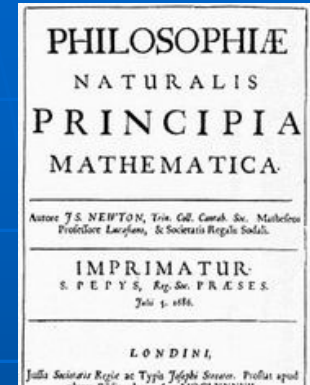
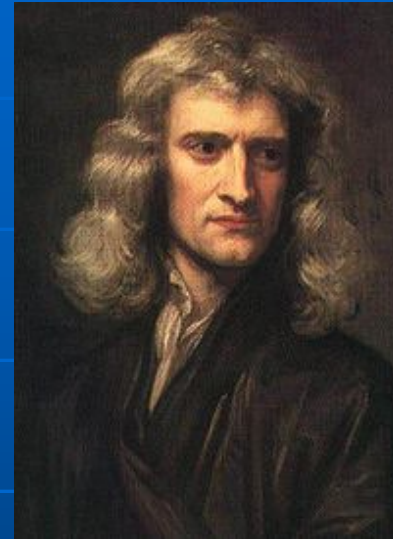
実は明るい？ブラックホール

滝沢元和(山形大学理学部)

日本大学山形高校
大学訪問模擬講義
(2024.9.11)

古典力学での重力(万有引力)

- 古典力学(ニュートン力学)では“質量”をもつ物体同士の間にはたらく“力”
- 質量を持つ物体のそばを通ると重力という力に引っ張られて曲げられる。
- 「万有引力」

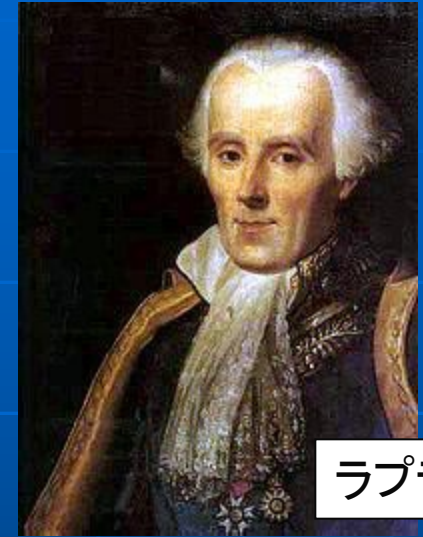


自然哲学の数学的諸原理(1687)

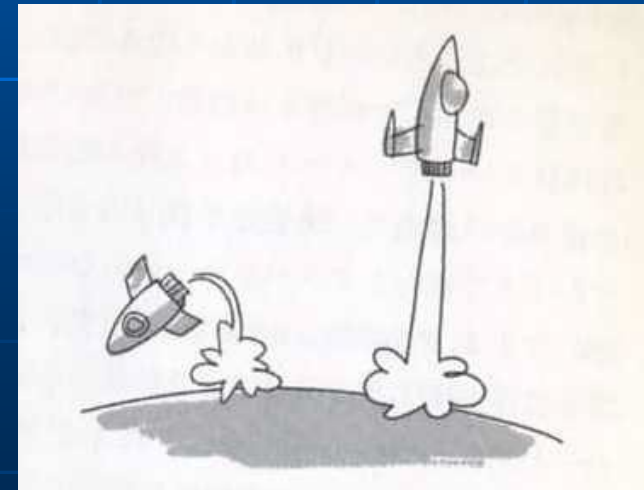


ブラックホールの古典的描像

- 十分に速ければ(約11km毎秒以上)、ロケットは地球から脱出できる。
- 天体表面での重力は、質量に比例し半径の二乗に反比例する。
 - 質量が同じならば、小さい天体ほど表面重力は強い
- 太陽を半径3kmまで(約20万分の1)縮めると、光の速さでも脱出できなくなる(ちなみに地球だと半径1cm)。
- 光でも脱出できない天体が存在しうると、18世紀末にラプラスが指摘。
- ただし現在の見方からすると間違い(光の速さはロケットと違って遅くならない。光は質量を持たないので重力の影響を受けないはず)

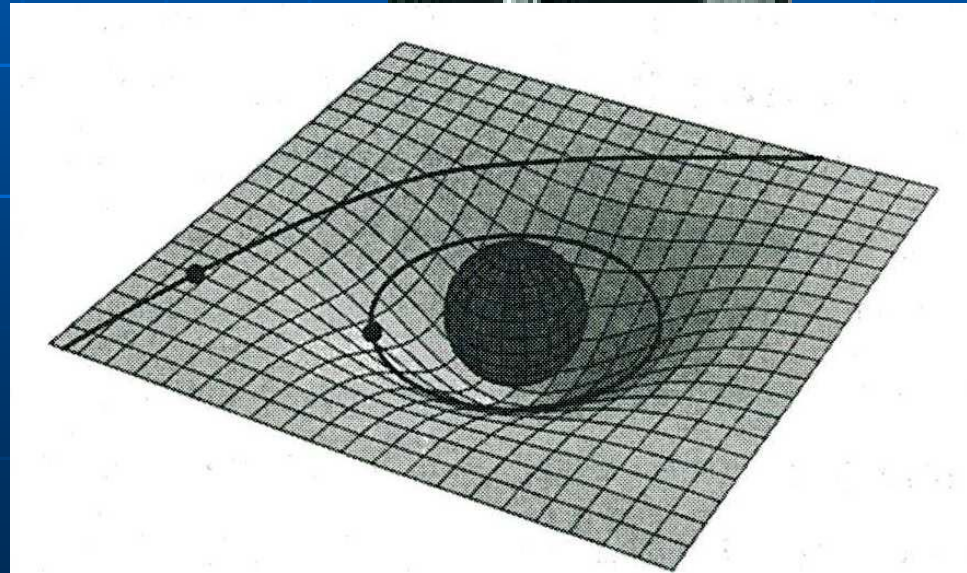
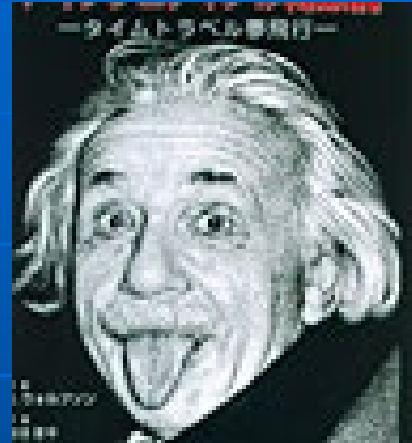


ラプラス



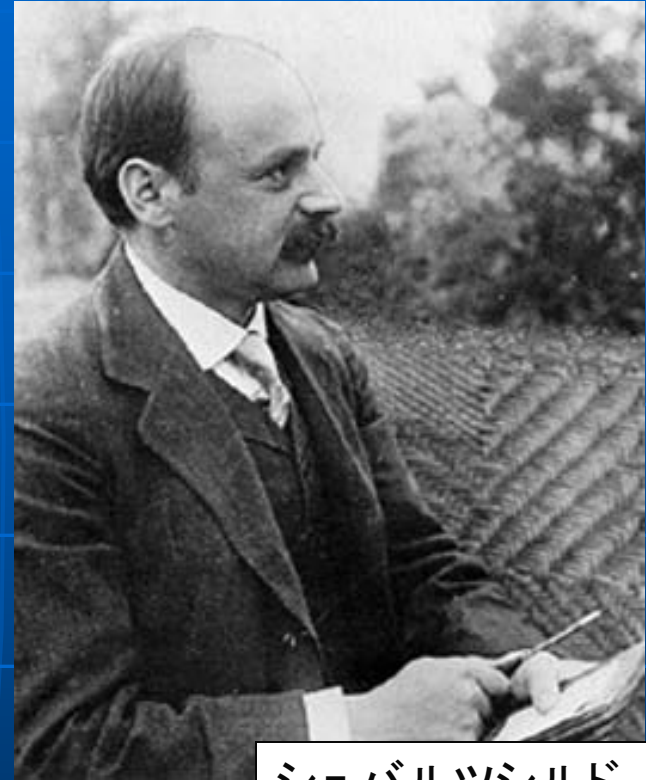
アインシュタインによる 一般相対論での重力

- 一般相対論(1915-6年)では重力は時間空間のゆがみに。
- 質量やエネルギーがあると、その周りの時間・空間(時空)がゆがむ。
- ゆがんだ時空のなかを物体はゆがみに沿って“まっすぐ”すすむ。
- あたかもなんらかの“力”によって引っ張られて曲がったかのように見える。

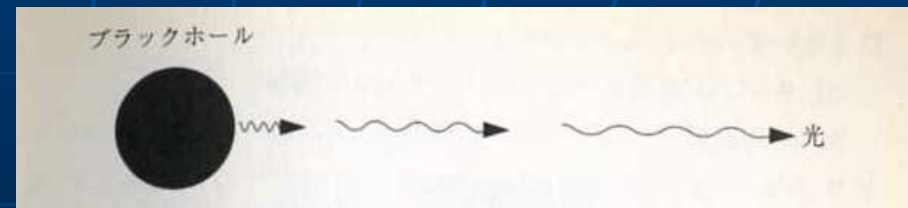


一般相対論でのブラックホール

- 実は古典力学の時と同じような結果が出てくる(シュバルツシルド解)。
- 十分に質量が大きく、空間サイズが小さな天体ならばやっぱり表面から光は出てこられない。
 - 太陽質量なら半径3km
 - 地球質量なら半径1cm
- 質量の大きな天体から出る光は(遅くはならないが)波長がのびてエネルギーが減る。
- ただし、実際の宇宙にそのようなものが存在するかどうかは??????



シュバルツシルド

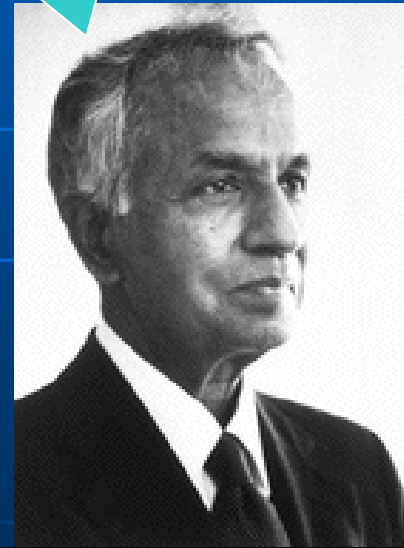


チャンドラセカールvsエディントン論争

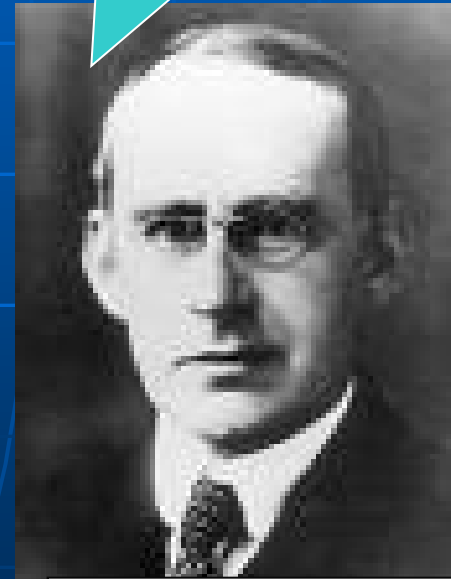
- 太陽のような恒星が燃料を使い果たすと縮んで白色矮星となる。
 - 白色矮星の質量には上限がある(太陽の約1.4倍:チャンドラセカール限界)
 - それより質量がおおきかったら???
- >
- よりコンパクトな中性子星になる
(電子と陽子がむすびついて中性子になる)

白色矮星の質量には限界がありそれを超すとど
んどんつぶれる
(ブラックホールになる)

そんな馬鹿なこ
とを防ぐ自然法
則があるはずだ



チャンドラセカール



エディントン

オッペンハイマーvsホイーラー論争

- 中性子星にも限界質量がある(太陽の2-3倍程度)。
- 質量の大きな星が死んだらばどうなるか？
----->
- ブラックホールにも中性子星にもなりうる。
- ちなみに「ブラックホール」と命名したのはホイーラー。それまではコラプサー(崩壊しつつある星)とかフローズンスター(凍結した星)と呼ばれていた。

大質量星が核燃料を使い果たすと重力崩壊する(ブラックホールになる)

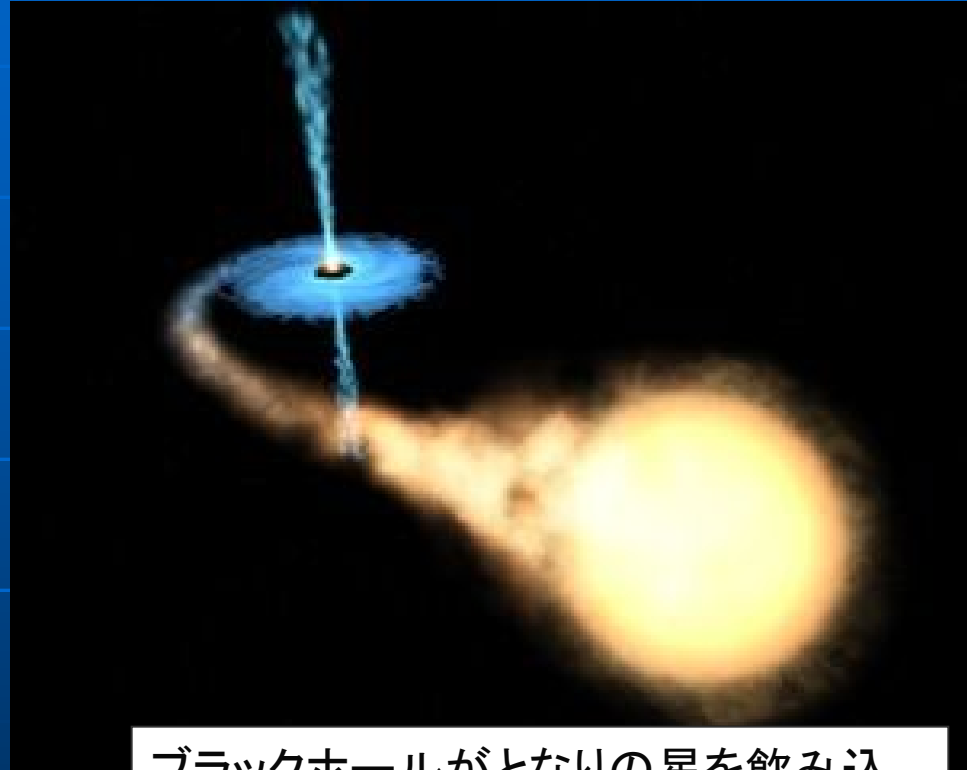
そんな馬鹿なことを防ぐ自然法則があるはずだ



図 1-5 オッペンハイマー (左) とホイーラー (右)
(写真提供: Scientific American)

ブラックホールは実は明るい？

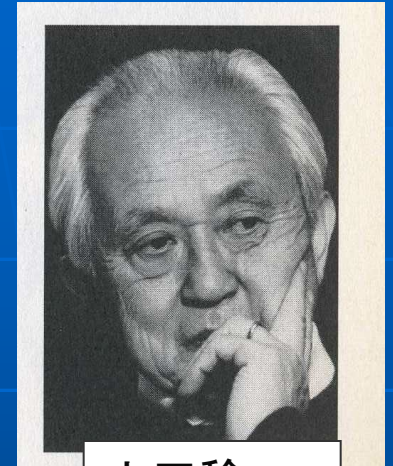
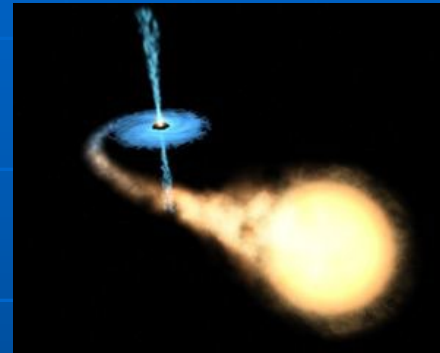
- ブラックホール自体からは光は出られないが、、、
- 周囲の物質を強力な重力で吸い込むときに周囲に円盤をつくって紫外線やX線で光り輝く。
- 重力エネルギー
---->
運動エネルギー
---->
熱エネルギー
----->
X線や紫外線に



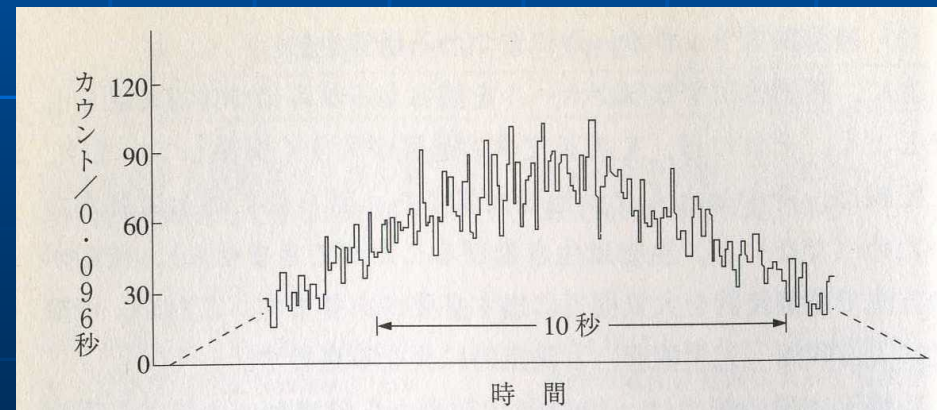
ブラックホールがとなりの星を飲み込んでいる様子(想像図)。

X線連星(恒星質量ブラックホール)

- ブラックホール(または中性子星) + 普通の星
- ブラックホールが観測の論文に初めてあらわれたのは？
- はくちょう座X-1のX線観測の論文(小田ら1971年)
- この奇妙な時間変動はブラックホールによるものでは、..



小田稔



はくちょう座X-1からのX線の時間変動

銀河中心の 超巨大ブラックホール

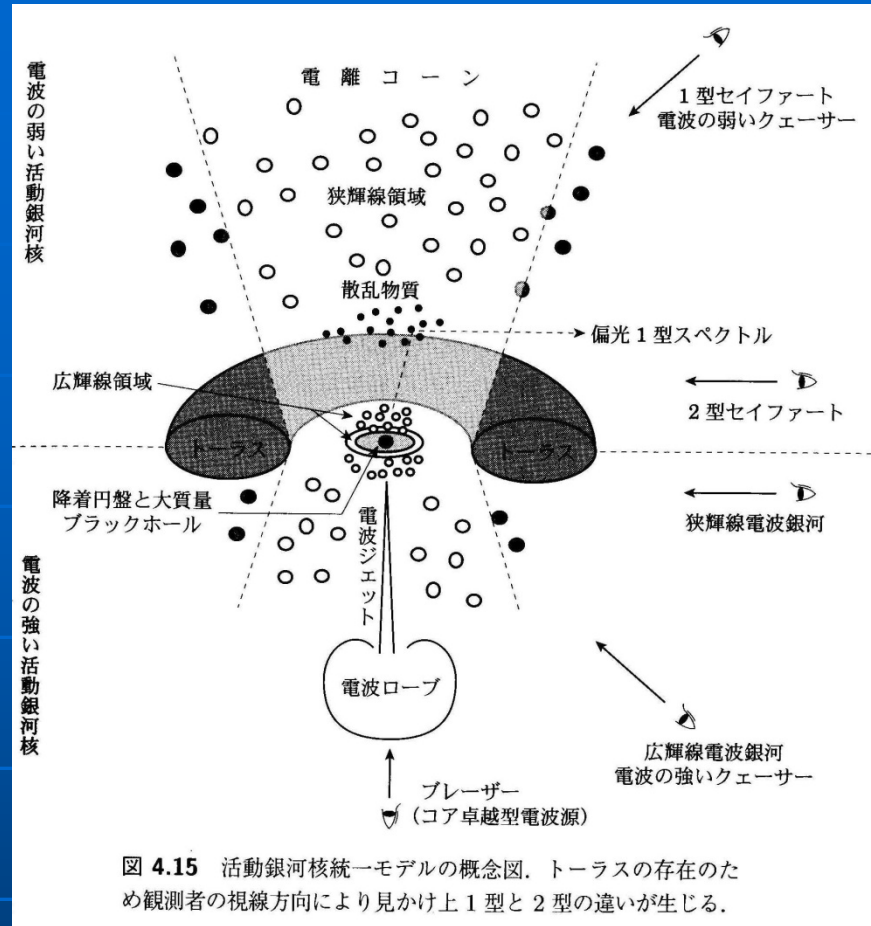
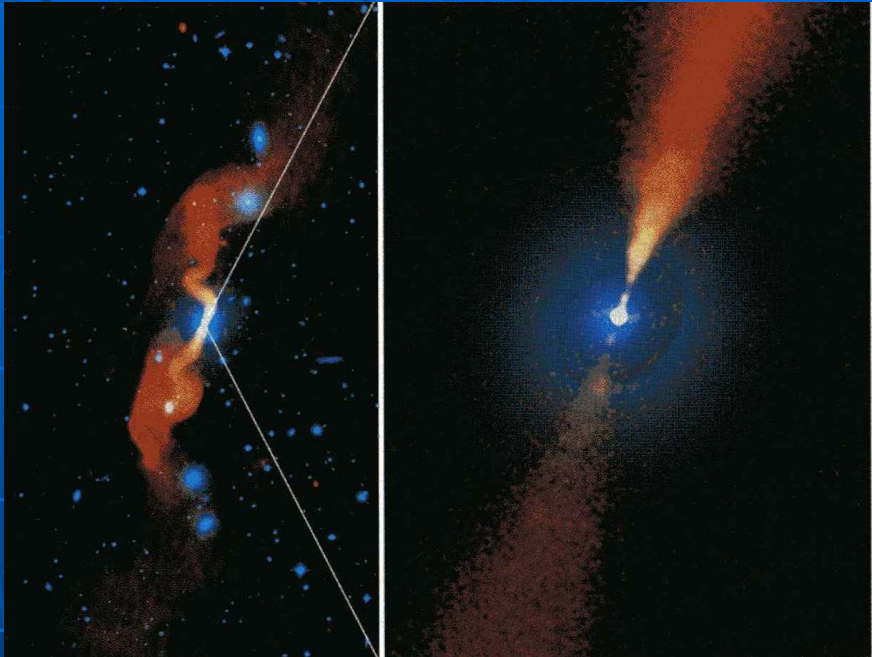
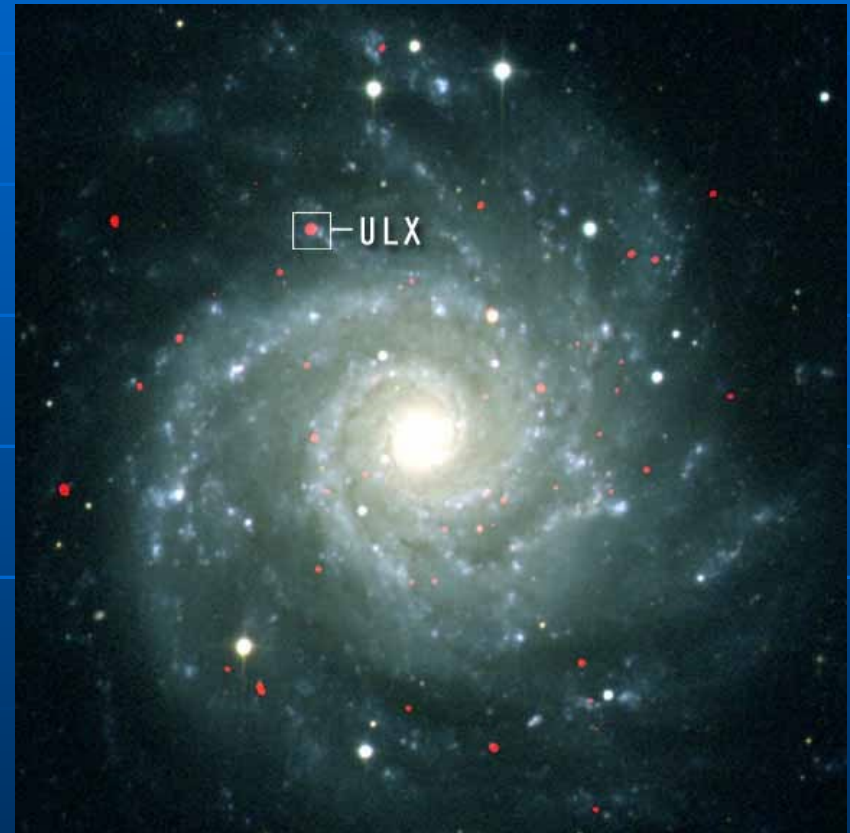


図 4.15 活動銀河核統一モデルの概念図。トラスの存在のため観測者の視線方向により見かけ上 1 型と 2 型の違いが生じる。

- 一部の銀河では、中心が異常に明るかったり、噴水のように物質を吹き出していたりするものがある。
- 中心に太陽の1-10億倍の重さを持った巨大ブラックホールがあり、そこに周りの物が吸い込まれるときに様々な激しい現象が起きると考えられている。
- 実はほとんどの銀河の中心には超巨大ブラックホールがあり、周りから物が降ってくるかどうかで、明るいかそうでないかの違いを生じているらしい。
- シミュレーションのムービーもご覧ください。

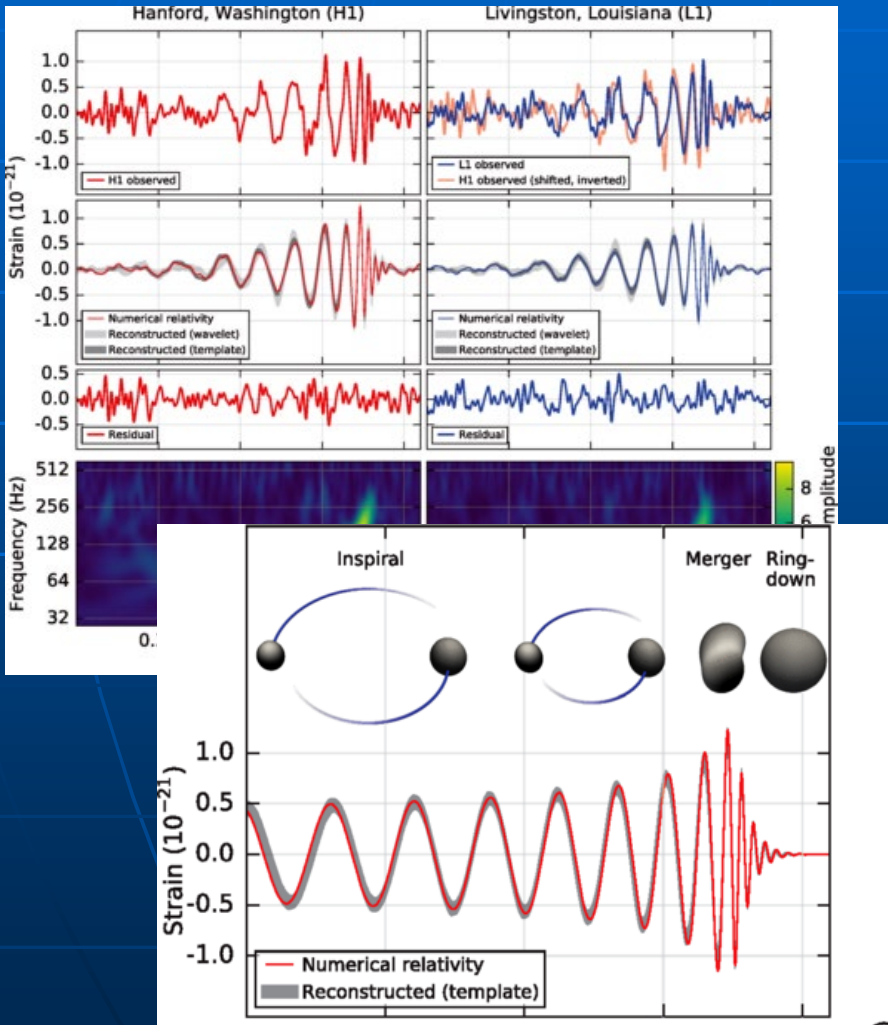
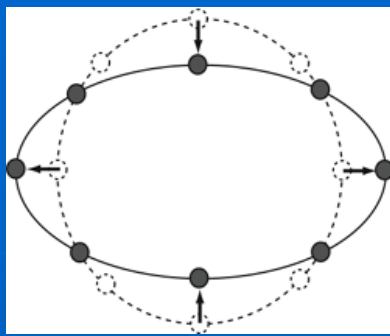
中間質量ブラックホール？

- X線連星と似た性質をもっているが非常に明るい。
- 星形成の盛んな銀河の中心から離れたところに見つかる(ただし銀河系では見つかっていない)
- 有力な解釈が中間質量ブラックホール(太陽の数10ー千倍くらい)。
- 恒星質量ブラックホールから銀河中心の超巨大ブラックホールをむすぶものかもしれない。
- 重力波源として新たな注目も



重力波

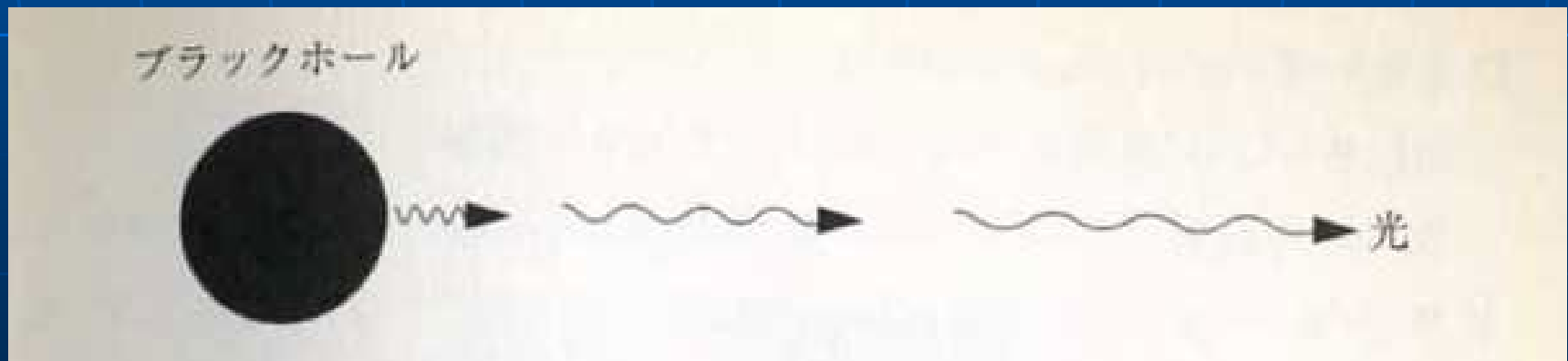
- 強い重力場が激しく時間変動すると、時空の変動が波となって伝播。
 - 超新星爆発
 - 中性子星の衝突合体
 - ブラックホールの衝突合体
- 2015年9月にLIGO(米国)で初検出。30太陽質量程度のブラックホールの衝突合体
- 重力理論(一般相対論)の実験的検証という側面も
- 鏡の間をレーザー光を反射させて、その距離の時間変化で検出する実験などが日、米、欧で継続中。



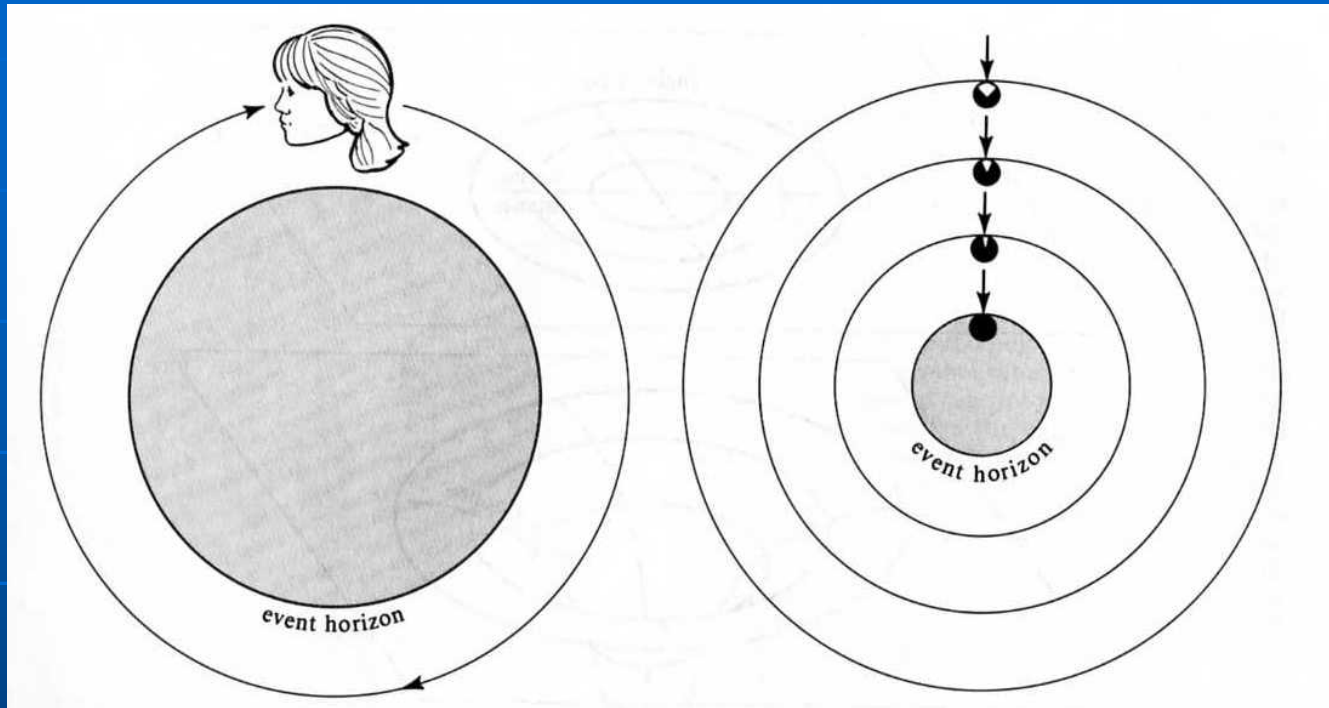
- 重力波の観測が難しかったのはなぜか？
 - 非常にわずかな距離の変化(割合にして 10^{-21} 以下)を測定しなければならないため。
 - 地球と太陽の間の距離が水素原子の大きさぐらい変化するのに相当。

ブラックホールでの時空のゆがみ(1)

- ブラックホールのそばでは時間の進み方が遅くなる。
- 時間の遅いところから、速いところへ光がくると波長(周波数)が変わる。
- 表面では時間が止まる(frozen star:凍結した星)



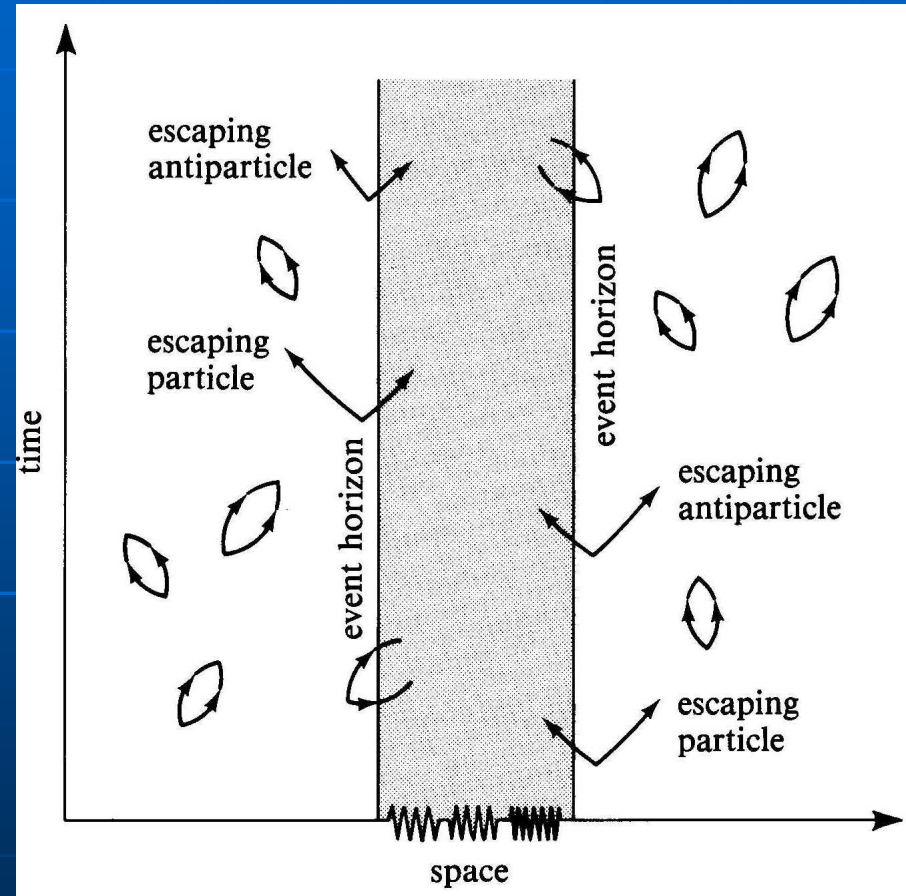
ブラックホールでの時空のゆがみ(2)



- ゆがんだ空間の中を光がゆがみに沿って“まっすぐ”すすむ
- 結果として曲がって進むように見える
- ブラックホールの周りをまわったりすることも(自分の後頭部が見える!!!)
- ムービーもどうぞ

ブラックホールの蒸発

- 量子力学(ミクロの世界の物理学)をかかえると、実はブラックホールは輝いて蒸発する。
- 空間では常に物質と反物質のペアが生まれては消えている。
- ブラックホールの表面付近で生まれたペアのうち片方だけが吸い込まれると、もう片方が外にでてくる。
- ただし非常にわずかな効果なので、現実の天体では無視できる程度。



地球上でブラックホールが作れる???

- 非常にミクロな世界では重力の法則が異なっている可能性がある(よりブラックホールがよりできやすい)。
- 最先端の加速器実験で、重イオンどうしを衝突させると、ひょっとするとブラックホールができるかも??????
- かりにできてもすぐに蒸発してしまう(地球が飲み込まれるようなことはなさそう)。



大型ハドロン衝突型加速器
(スイス、フランス国境)



まとめ

- ブラックホールは単なる理論上の存在ではなく、実際に宇宙に存在し観測されている。
- ブラックホール自体からは光は出られないが、周囲の物質を強力な重力で吸い込むときに円盤をつくって紫外線やX線で光り輝く。
- ブラックホール周囲では時空のゆがみによって奇妙な現象が起きる。
- ミクロの世界の物理学を考慮すると、ブラックホールが蒸発したり、あるいは地球上の実験でできる可能性もある。