

重力と無重力

上智大学・理工学部・
機能創造理工学科・大槻東巳

初めに

- 現代科学技術を支えているのは物理学
 - 特に電磁気学，熱力学，量子力学
- 高校で勉強する力学，特に重力の物理学。遊園地とかでしか使えないのか？

重力と物理法則

- 身近に体験できる，目に見えて観測できる力
- 物理の法則は普遍的 (空間，時間を超えて成り立つ)
- 10億光年先の天体が出す光も運動も，現在知られている物理法則で説明できる。

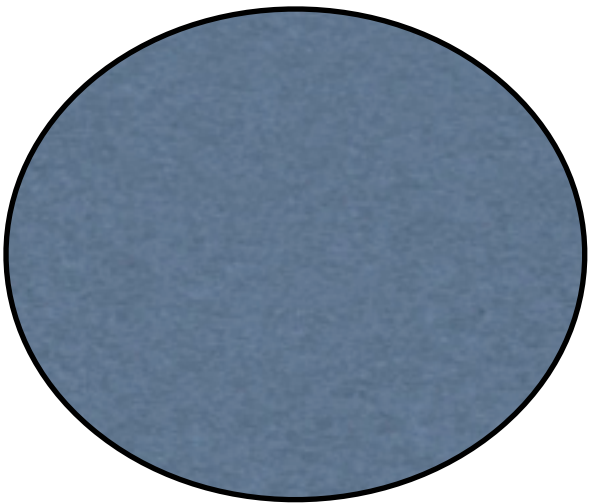
この普遍性を利用して，机に座って宇宙を理解する

重力

- ものが落下する：地球がものを引きつけているから。
- 落下速度 v は時間がたつにつれて増え
$$v = gt \quad g = 9.8\text{m/s}^2$$
となる。（空気中では空気抵抗があり、こうはならない。）

地球上以外では？

N



S

- 重力加速度は地球上ではほぼ一定。
(地球は球に近い回転楕円体，赤道方向が長い。さらに赤道方向は遠心力があるので，極の方が重力が大きい。)
- 地球の中心から離れると重力は小さくなる。

ではどう小さくなるか？

- あらゆる物体には万有引力が働く。その大きさは、二つの物体の質量を m_1 , m_2 距離を R , G を定数（万有引力定数）として

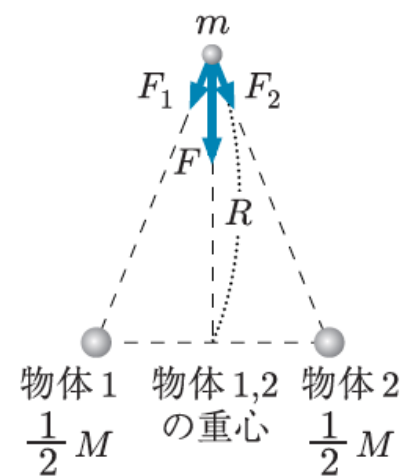
$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

実際には地球は大きい

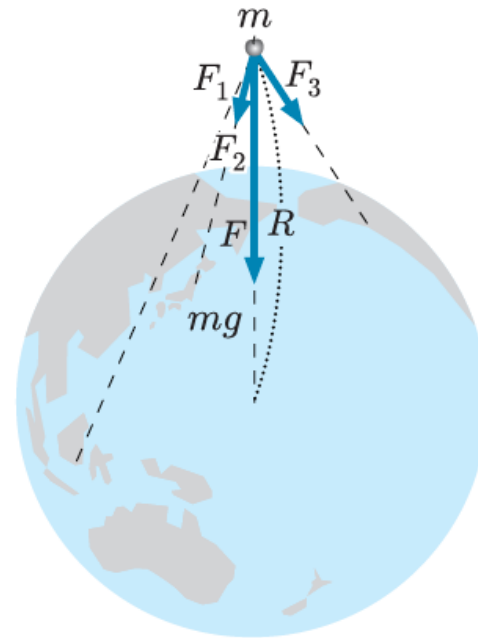
- 地球と物体の引力を考えると、地球のあらゆる部分からの引力を足しあわせなければいけない？

実際には地球は大きい

- 地球と物体の引力を考えるととき、地球のあらゆる部分からの引力を足しあわせなければいけない？



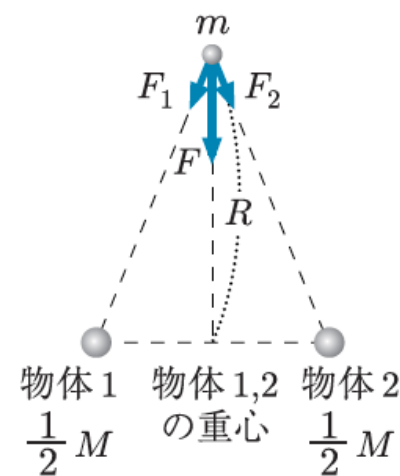
$$F = F_1 + F_2$$
$$F \sim G \frac{mM}{R^2}$$



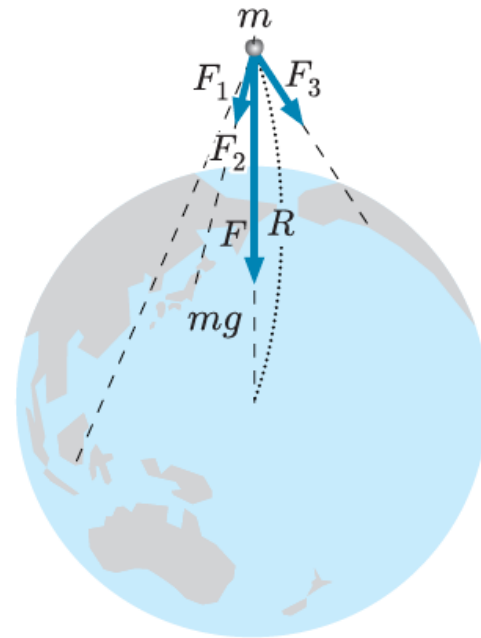
$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$
$$F = mg = G \frac{mM}{R^2}$$

実際には地球は大きい

- 地球と物体の引力を考えるとき、地球のあらゆる部分からの引力を足しあわせなければいけない？



$$F = F_1 + F_2$$
$$F \sim G \frac{mM}{R^2}$$



$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$
$$F = mg = G \frac{mM}{R^2}$$

中心に集中していると
考えればよい。

重力加速度と万有引力定数の関係

- 力=質量 × 速度の変化（加速度） $F = mg$
- 一方、万有引力から $F = G \frac{mM}{R^2}$
- よって、

$$mg = G \frac{mM}{R^2} \Rightarrow g = \frac{GM}{R^2}$$

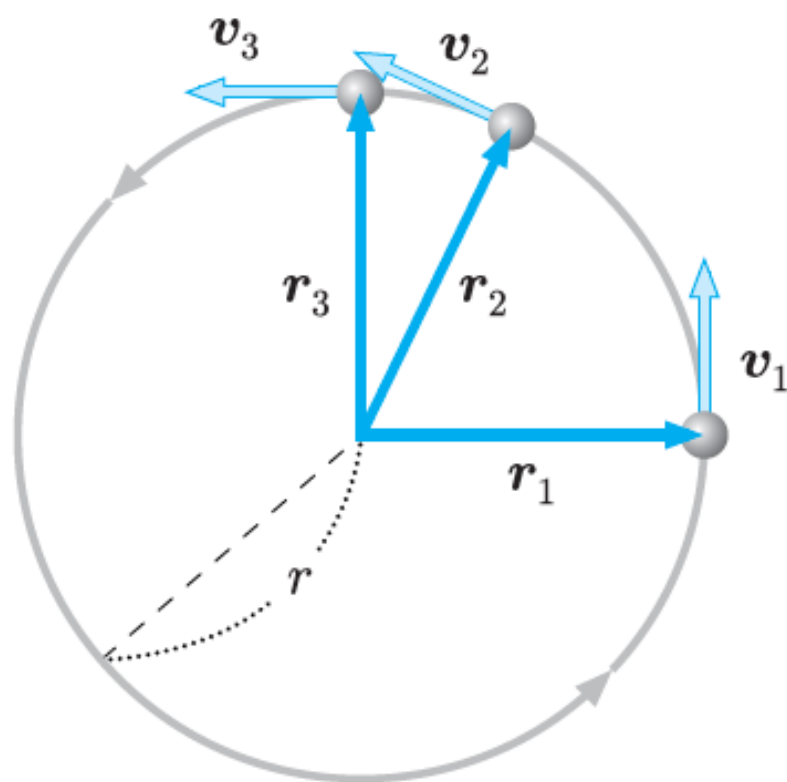
g , G を決めれば地球の重さがわかる

遠心力

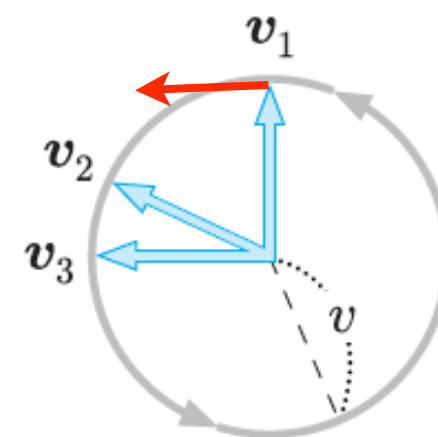


- 回転運動をしていると遠心力が働く
- スペースシャトルで無重力になるのは、地球からの重力と遠心力がつり合っているから。
- では遠心力の大きさは？

遠心力（遠心加速度）の大きさ



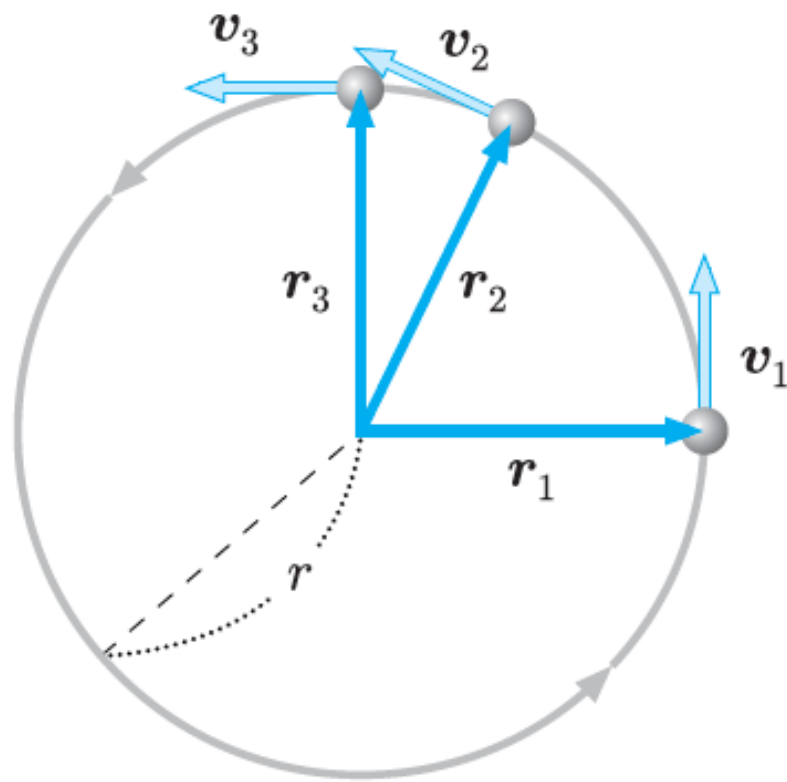
$$v = |\mathbf{v}_1| = |\mathbf{v}_2| = |\mathbf{v}_3|$$



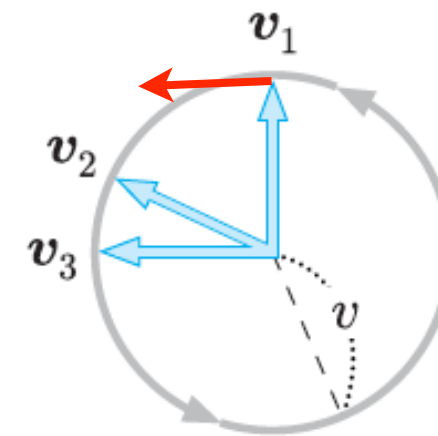
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi v}{\alpha}$$

$$\therefore \alpha = \frac{v^2}{r}$$

遠心力（遠心加速度）の大きさ



$$v = |\mathbf{v}_1| = |\mathbf{v}_2| = |\mathbf{v}_3|$$



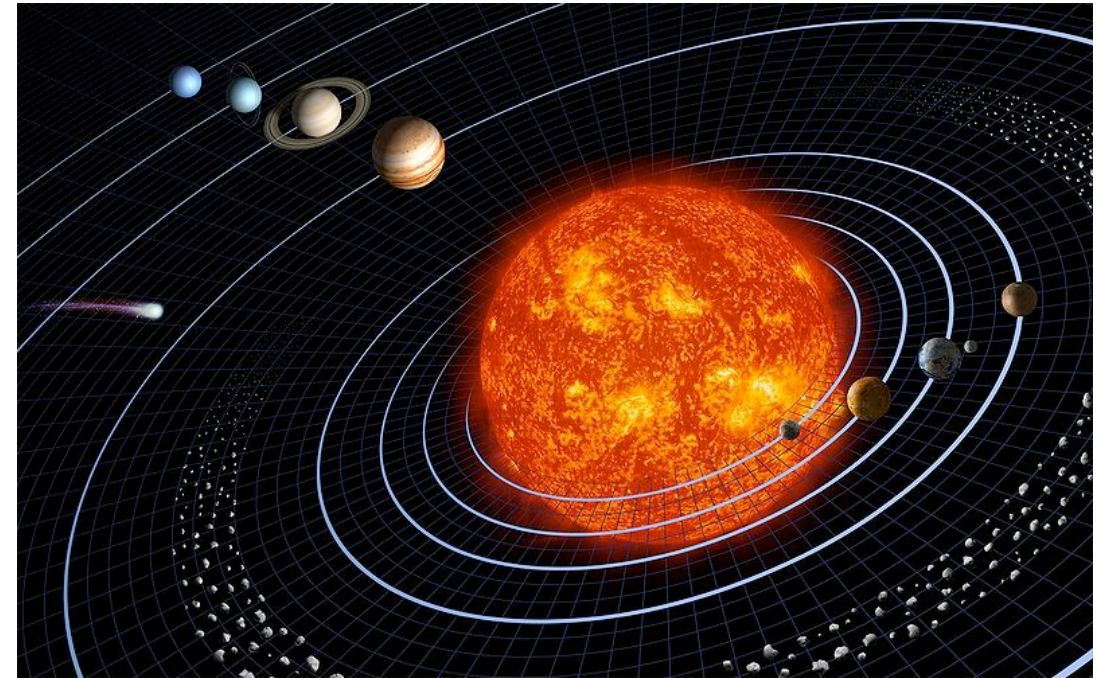
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi v}{\alpha}$$

$$\therefore \alpha = \frac{v^2}{r}$$

遠心力は 質量 × 速さの2乗 / 回転半径

遠心力と重力が釣り合ってる例

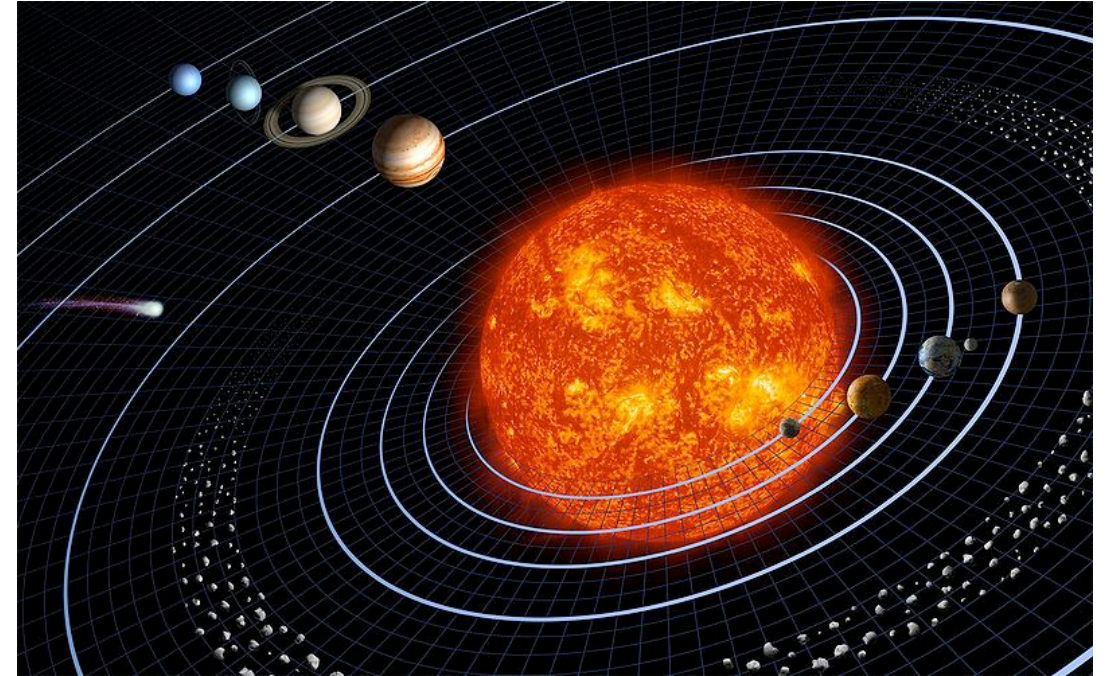
- 太陽の周りの惑星
- 惑星の周りの衛星
- 人工衛星



<http://ja.wikipedia.org/wiki/太陽系>

遠心力と重力が釣り合ってる例

- 太陽の周りの惑星
- 惑星の周りの衛星
- 人工衛星



<http://ja.wikipedia.org/wiki/太陽系>

月

万有引力は宇宙にも到達するか？

- 月が落ちてこないことを例にとる

- 月の遠心加速度 = $\frac{v^2}{R} = \left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 \times \frac{1}{R}$

T は28日, R は 38万キロメートル, 代入すると $2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

- 地球からの万有引力は

$$g \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = g \times \left(\frac{6400\text{km}}{380000\text{km}}\right)^2 = 2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

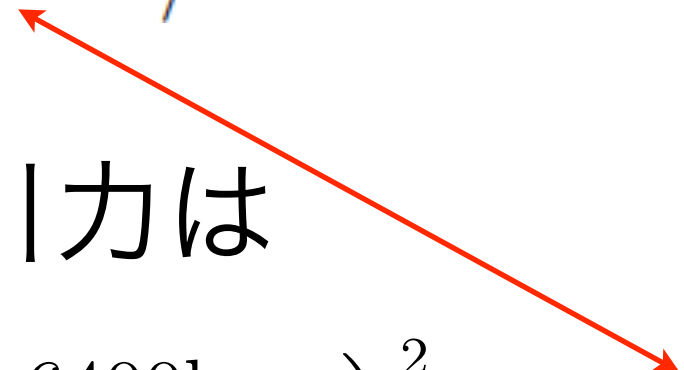
万有引力は宇宙にも到達するか？

- 月が落ちてこないことを例にとる

- 月の遠心加速度 = $\frac{v^2}{R} = \left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 \times \frac{1}{R}$

T は28日, R は 38万キロメートル, 代入すると $2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

- 地球からの万有引力は

$$g \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = g \times \left(\frac{6400\text{km}}{380000\text{km}}\right)^2 = 2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$


万有引力は宇宙にも到達するか？

- 月が落ちてこないことを例にとる

- 月の遠心加速度 = $\frac{v^2}{R} = \left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 \times \frac{1}{R}$

T は28日, R は 38万キロメートル, 代入すると $2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

- 地球からの万有引力は 一致する

$$g \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = g \times \left(\frac{6400\text{km}}{380000\text{km}}\right)^2 = 2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

何がわかったか？



<http://4d2u.nao.ac.jp/>

何がわかったか？

- 地上の落下の法則は月への引力の法則でもある。よって空間に関して普遍。
- 宇宙を観測しても確かに万有引力で運動が説明できる。
- 遠くの宇宙は過去の宇宙：



<http://4d2u.nao.ac.jp/>

何がわかったか？

- 地上の落下の法則は月への引力の法則でもある。よって空間に関して普遍。
- 宇宙を観測しても確かに万有引力で運動が説明できる。
- 遠くの宇宙は過去の宇宙：



<http://4d2u.nao.ac.jp/>

物理法則は時間と空間を超えて成り立つ。

万有引力が正しいとすると？

- 回転している銀河系の密度 ρ は一定と仮定

- 半径 r 内の質量

$$M(r) = \frac{4\pi r^3 \rho}{3}$$

- これによる重力加速度

$$G \frac{M(r)}{r^2} = G \frac{4\pi r \rho}{3}$$

- 遠心加速度とのつり合い

$$G \frac{4\pi r \rho}{3} = r\omega^2$$

- よって角速度（回転角の速度）は一定

観測結果も角速度一定

つまり宇宙は密度一定

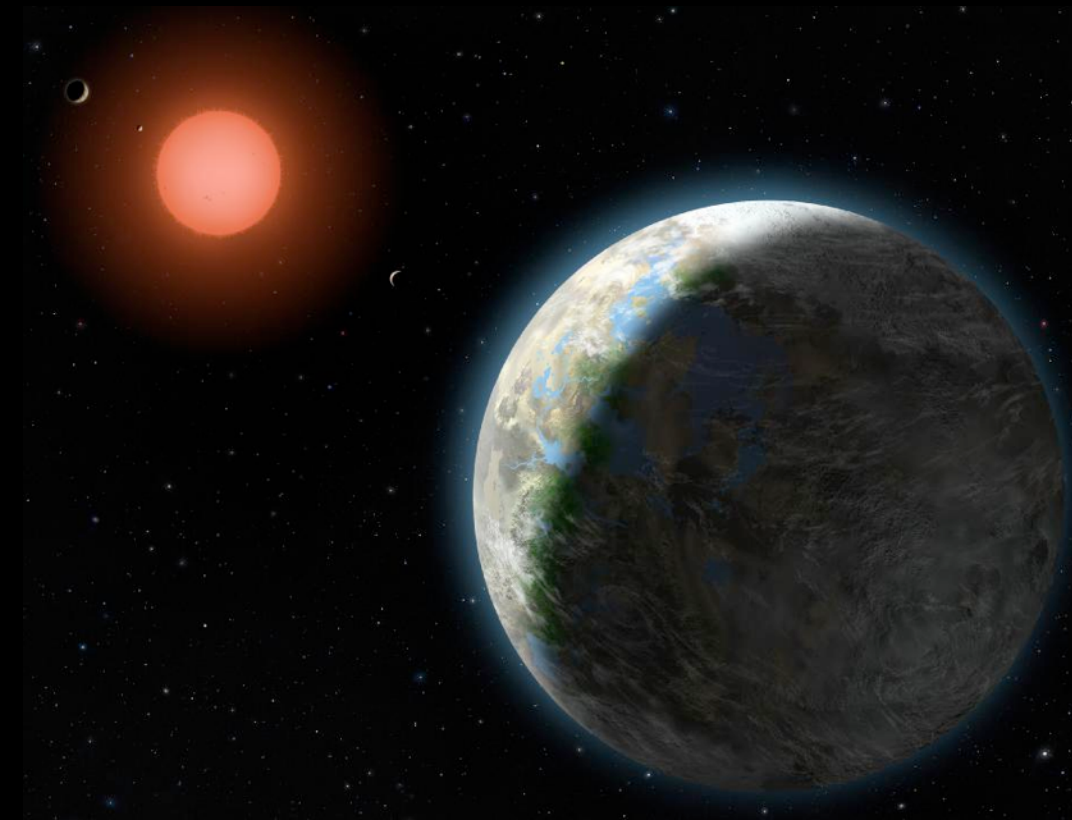
- しかし銀河は中心ほど恒星が多く，内側ほど質量が大きいように見える（地球も内部が密度が大きいと同じ。）
- しかも回転速度から見積もった密度は，恒星の密度から求めた値よりもはるかに大きい
- よって見えない未知の物質が大量に存在している

見えない物質の候補

- 惑星, ちりなど発光しない物質
 - これらは恒星の数万から数百万分の1で, 大量の見えない物質を説明できない
- ダークマターの存在が明らかに。存在はわかったけど, それが何かはわからない

最近(先週)の話題

- 20光年先の恒星 Gliese 581 (太陽の重さの1/3の赤色矮星) を観測。そのわずかな動きから、惑星の存在が明らかに。
- 重さは地球の3から4倍程度。
- 水蒸気でも氷でもなく水が存在。
- 重力が大気をとどめる程度。
- 初めての”生命が住めそうな惑星”



http://www.nasa.gov/topics/universe/features/Gliese_581.html

応用

- 資源の探査
 - 表面は既に開発され尽くし，地下を探す必要がある。
 - 地球は一種の金属で電波が通らない
- 重力の変化を利用
 - たとえば石油があるかないかが，地面をほらないでも分かる。

まとめ

- 物体の落下（りんごが木から落ちることなど）から，宇宙の動きまでわかる
- 物理法則は，時間，空間を超えて成立
- 重力以外に，電磁気力，核力，弱い相互作用が知られている。すべて普遍的。
- 机や実験室で学んだことがそのまま宇宙やミクロの世界にも適用できる。

大学の授業を勉強したい人, opencourseware

<http://www.erp.sophia.ac.jp/Projects/ocw/>