

遠心力の科学: 回転運動の謎を解き明かす

エイ・アール・アイ合同会社

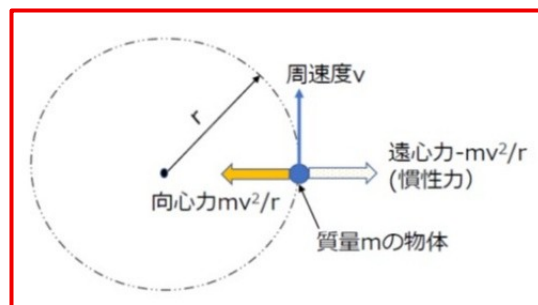
山本博明

遠心力総和零の実現 (net 検索引用、etc.)

遠心力は物理学において重要な概念であり、日常生活から高度な科学技術まで幅広い分野で観察される現象です。この力は回転運動に密接に関連し、多くの自然現象や技術的応用の基礎となっています。本記事では、遠心力の基本概念から実際の応用、そして測定方法まで詳しく解説していきます。

遠心力の基本概念

遠心力は、回転する物体に作用する見かけの力として知られています。この概念を正確に理解することは、物理学の多くの分野で重要です。



遠心力の定義

遠心力は、回転する系において物体が中心から外側に向かって押し出されるように感じる力のことを指します。この力は実際には存在せず、物体の慣性による見かけの力です。

数学的に表現すると、遠心力 $F_c = m\omega^2 r$ の式で表されます：

$$F = m \times v^2 / r = m \omega^2 r$$

ここで、 m は物体の質量、 ω は角速度、 r は回転の中心からの距離です。

遠心力と向心力の関係

遠心力を理解する上で、向心力との関係を知ることが重要です。**向心力は、物体を円運動させるために必要な中心方向に働く実在の力です。**

遠心力と向心力は大きさが等しく方向が反対の力のペアとして考えられます。しかし、重要な違いがあります：

1. 向心力は実在する力であり、物体に実際に作用します。
2. 遠心力は見かけの力であり、回転系から観測した場合にのみ感じられます。

例えば、ロープの先に石を付けて回す場合、石にはロープを通じて中心方向に向心力が働きますが、回転している石の視点から見ると外側に押し出されるような遠心力を感じます。

遠心力の数学的表現

遠心力の数学的表現は、ニュートンの運動方程式から導くことができます。円運動する物体の運動方程式は次のようになります：

$$F = m \times v^2 / r = m \omega^2 r$$

ここで、 F は向心力、 v は物体の速度、 ω は角速度、 r は回転半径です。

遠心力は、この向心力と大きさが等しく方向が逆向きの力として表現されます：

$$F_c = -m\omega^2 r$$

この式は、遠心力が質量、角速度の二乗、および回転半径に比例することを示しています。

遠心力の物理学的解釈

遠心力の解釈は、観測者の視点によって大きく異なります。慣性系と非慣性系での遠心力の理解は、物理学の重要な概念です。

慣性系における遠心力

慣性系（静止または等速直線運動している系）から観測すると、遠心力は存在しません。代わりに、物体には向心力が作用し、これによって円運動が維持されます。

例えば、**地球の周りを回る人工衛星を地上から観察する場合、衛星には地球の重力による向心力が働いており、遠心力は観測されません。**

非慣性系における遠心力

非慣性系（加速度運動している系）から観測すると、遠心力が現れます。これは、回転する系の中にいる観測者が感じる見かけの力です。

例：**メリーゴーラウンドに乗っている人は、外側に押し出されるような力（遠心力）を感じますが、これは回転する非慣性系にいたるためです。**

遠心力と重力の比較

遠心力と重力は、いくつかの点で類似していますが、本質的な違いがあります：

1. 普遍性：重力はすべての物質に普遍的に作用しますが、遠心力は回転運動に関与する物体にのみ現れます。
2. 距離依存性：重力は距離の二乗に反比例しますが、遠心力は距離に比例します。
3. 実在性：重力は実在する力ですが、遠心力は見かけの力です。

数学的に表現すると：

重力： $F_g = G \times m_1 m_2 / r^2$

遠心力： $F_c = m\omega^2 r$

ここで、 G は重力定数、 m_1 と m_2 は二つの物体の質量です。

コロンブスの卵のような画像処理技術で重力を見えるように

万有引力定数を初めて実測して地球の質量を決定したキャベンディッシュは、「ねじれ秤」を用いてそれを成功させました。他に有効な計測方法がないため、この計測方法は現在にいたるまで使われ続けています。

重力問題解決

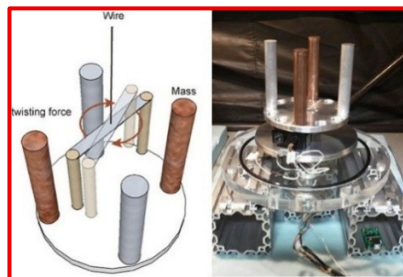
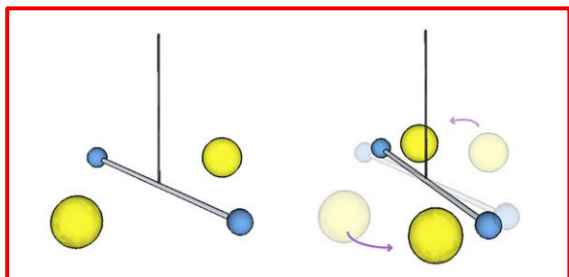
重力の確認実験

コロンブスの卵のような画像処理技術で重力を見えるように万有引力定数を初めて実測して地球の質量を決定したキャベンディッシュは「ねじれ秤」を用いて、それを成功させました。他に有効な計測方法がないため、この計測方法は現在にいたるまで使われ続けています。

私たちもこの、ねじれ秤を小型化しその動きをビデオカメラで撮影し画像処理解析を施すことで重力を検出します。ねじれ秤とは細いワイヤーに両端に物体をつけた棒をつるした装置であり、この棒にはたらく偶力に応じたねじれ角度を測ることで物体にはたらく力を測定することができます。重力実験においては、ねじれ秤の近くに重力源となる物体を設置することで、重力源からの引力によってねじれを生じさせます。ねじれ秤の動きは画像を目で見てもまったく動きが見られないいわめて微小なものですが、これを捉えるために私たちが開発した画像処理システムを用います。このシステムでは特殊な画像

処理を施すことで位置の変化をナノメートルという非常に高い精度で測定することが可能で、私たちのもつ特許技術にもなっています。

センチメートル程度の物体による実験では、重力の強さは地球に対する場合の約 1 億分の 1 程度でしかなく、ねじれ秤に現れる変化も微小です。さらに重力に対して、電気力や磁気力、熱や空気の影響が大きいので、近距離での重力の測定をさらに難しくしています。私たちは電気シールドや非磁性の物質の利用、装置内の真空度を上げるなどの工夫をすることで抑制し、また、画像情報を活用することで不必要な振動成分を解析で除去することで重力の検出を可能にしています。



遠心力の実例と応用

遠心力は日常生活から高度な技術応用まで、様々な場面で観察され利用されています。

日常生活における遠心力の例

1. 洗濯機の脱水：洗濯物が高速回転することで、水分が外側に押し出されます。
2. カーブを曲がる車：乗客は外側に押しつけられるような感覚を覚えます。
3. 遊園地のライド：回転系のアトラクションでは、乗客は強い遠心力を体験します。

これらの例では、回転運動によって生じる見かけの力（遠心力）が体感されています。

工学における遠心力の利用

1. 遠心分離機：混合物の分離に利用され、医療、化学、食品産業で広く使用されています。

例：血液の成分分離

$F_c = m\omega^2 r$ を利用し、密度の異なる成分を分離します。血球は血漿よりも密度が高いため、より大きな遠心力を受けて外側に集まります。

2. 遠心ポンプ：液体を pumping する際に遠心力を利用します。
3. 遠心鋳造：金属の成形に使用され、均一な厚さの中空円筒形製品を作ります。

宇宙開発と遠心力

1. 人工衛星の軌道：衛星の軌道維持には、重力と遠心力のバランスが重要です。

軌道速度 v は次の式で表されます：

$$v = \sqrt{GM/r}$$

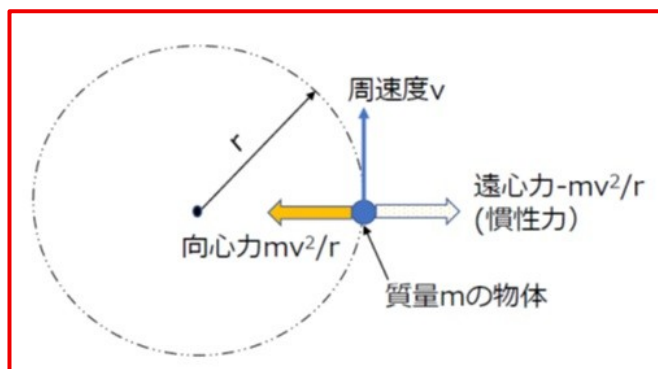
ここで、 G は重力定数、 M は地球の質量、 r は地球の中心からの距離です。

2. 宇宙ステーションの人工重力：長期宇宙滞在における微小重力の問題を解決するため、回転する宇宙ステーションで遠心力を利用した人工重力の創出が検討されています。
3. 宇宙飛行士の訓練：遠心力を利用した訓練装置で、打ち上げ時の加速度を模擬します。

遠心力の測定と計算

遠心力の正確な測定と計算は、多くの科学的・技術的応用において重要です。

遠心力の計算方法



基本的な遠心力の計算式：

$$F_c = m \omega^2 r$$

ここで、 F_c は遠心力 (N)、 m は物体の質量 (kg)、 ω は角速度 (rad/s)、 r は回転半径 (m)
角速度 ω は、回転数 n (回転/分) から次のように計算できます：

$$\omega = 2\pi n / 60$$

例題：質量 0.5 kg の物体が、半径 0.3 m の円軌道上を毎分 300 回転で回っている場合の遠心力を計算してみましょう。

1. 角速度の計算：

$$\omega = 2\pi \times 300 / 60 = 10\pi \text{ rad/s}$$

2. 遠心力の計算：

$$F_c = 0.5 \times (10\pi)^2 \times 0.3 \approx 1478\text{N}$$

遠心力の測定装置

1. 遠心力センサー：回転系に取り付けられ、遠心力を直接測定します。
2. 加速度計：回転運動中の加速度を測定し、そこから遠心力を算出します。
3. ストレインゲージ：物体の変形を測定し、遠心力を間接的に求めます。

これらの装置は、工業プロセス、研究室、宇宙開発など様々な分野で使用されています。

遠心加速度の概念

遠心加速度は、回転運動する物体が経験する見かけの加速度です。これは遠心力を質量で割ったものに等しくなります。

遠心加速度 a_c は次の式で表されます：

$$a_c = \omega^2 r$$

この概念は、回転系における物体の運動を理解する上で重要です。例えば、遠心分離機的设计では、サンプルにかかる遠心加速度を考慮する必要があります。

遠心加速度は通常、重力加速度 g (約 9.81 m/s^2) の倍数で表現されます。例えば、「1000g の遠心力」という表現は、重力加速度の 1000 倍の遠心加速度を意味します。

以上、遠心力の基本概念から実際の応用、そして測定方法まで詳しく解説しました。遠心力は物理学の基本的な概念でありながら、日常生活や先端技術の様々な場面で重要な役割を果たしています。この力の正確な理解は、多くの自然現象の説明や技術開発に不可欠です。

遠心力に関する誤解と正しい理解

遠心力は物理学において重要な概念ですが、その本質や性質について多くの誤解が存在します。ここでは、遠心力に関する一般的な誤解を解き、正しい理解を促します。

遠心力は実在する力か

遠心力が「実在する力」かどうかは、物理学における重要な議論点です。

- 誤解：遠心力は物体を外側に押し出す実在の力である。
- 正しい理解：遠心力は非慣性系で観測される見かけの力であり、実在の力ではありません。

物理学的には、遠心力は慣性力の一種です。慣性力は加速度運動する座標系から見たときに現れる見かけの力で、ニュートンの運動方程式を非慣性系で記述する際に導入される概念です。

数学的には、回転座標系での運動方程式は次のように表されます：

$$m\vec{a} = \vec{F} - m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

ここで、右辺の第二項 $-m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$ が遠心力を表しています。

遠心力と遠心加速度の違い

遠心力と遠心加速度は密接に関連していますが、異なる概念です。

- 遠心力：非慣性系で感じられる見かけの力
- 遠心加速度：慣性系から見た物体の加速度の半径方向成分

遠心加速度 a_c は次の式で表されます：

$$a_c = \omega^2 r$$

ここで、 ω は角速度、 r は回転半径です。

遠心力 F_c は、この遠心加速度に質量を掛けたものとして定義されます：

$$F_c = m a_c = m \omega^2 r$$

遠心力に関する一般的な誤解

1. 誤解：遠心力は物体を外側に押し出す。
正しい理解：物体は慣性により直線運動を続けようとしませんが、向心力によって中心に引き寄せられています。
2. 誤解：遠心力は常に存在する。
正しい理解：遠心力は回転運動をしている系でのみ観察されます。
3. 誤解：遠心力と向心力は相殺する。
正しい理解：遠心力は見かけの力であり、向心力と直接相殺されるものではありません。

遠心力の歴史と発見

遠心力の概念は、物理学の発展と共に進化してきました。その歴史を理解することで、現代の遠心力理論への理解を深めることができます。

遠心力の概念の発展

1. 古代：円運動の観察（アリストテレスなど）
2. 17世紀：ガリレオ・ガリレイによる慣性の法則の発見
3. 1659年：クリスティアン・ホイヘンスによる遠心力の数学的記述
4. 1684年：アイザック・ニュートンによる万有引力と運動法則の発表
5. 18-19世紀：回転系での力学の発展（コリオリ、フーコーなど）
6. 20世紀：アインシュタインの一般相対性理論による新たな解釈

遠心力研究の主要な科学者

1. クリスティアン・ホイヘンス（1629-1695）：

- ① 遠心力の数学的記述を初めて行った
- ② 振り子時計の改良に遠心力の概念を応用
- 2. アイザック・ニュートン (1642-1726) :
 - ① 運動の法則と万有引力の法則を確立
 - ② 遠心力を含む回転系の力学を体系化
- 3. ガスパール＝ギュスターヴ・ド・コリオリ (1792-1843) :
 - ① コリオリ力の発見
 - ② 回転系における力学の発展に貢献
- 4. アルベルト・アインシュタイン (1879-1955) :
 - ① 一般相対性理論により、重力と遠心力の新たな解釈を提示

遠心力理論の現代的解釈

現代物理学では、遠心力は以下のように解釈されています：

- 1. 非慣性系の力：遠心力は非慣性系で観測される見かけの力であり、座標変換の結果として現れます。
- 2. 等価原理との関連：アインシュタインの等価原理により、遠心力と重力場の類似性が示されました。
- 3. 一般相対性理論での解釈：遠心力は時空の曲率の一部として解釈され、重力と同様に扱われます。

数学的には、一般相対性理論での遠心力は次のように表現されます：

$$F_c = -m \times \partial g_{00} / \partial r$$

ここで、 g_{00} は時空のメトリックの時間成分です。

遠心力と関連する物理概念

遠心力は他の物理概念と密接に関連しており、これらの関係を理解することで、遠心力の本質をより深く把握することができます。

角運動量と遠心力

角運動量 L は回転運動の重要な保存量であり、遠心力と密接に関連しています。

$$L = mvr = I\omega$$

ここで、 m は質量、 v は速度、 r は回転半径、 I は慣性モーメント、 ω は角速度です。

遠心力 F_c と角運動量の関係は以下のように表されます：

$$F_c = L^2 / mr^3$$

この関係は、角運動量が保存される系では、半径が小さくなるほど遠心力が大きくなることを示しています。

コリオリ力との関係

コリオリ力は、回転する座標系で運動する物体に働く見かけの力で、遠心力と共に非慣性系で観察される重要な力です。

コリオリ力 F_{cor} は次の式で表されます：

$$\vec{F}_{cor} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}$$

ここで、 ω は系の角速度ベクトル、 v は物体の速度ベクトルです。

遠心力とコリオリ力は、回転系における物体の運動を完全に記述するために必要な二つの主要な見かけの力です。

遠心力と相対性理論

アインシュタインの一般相対性理論は、遠心力に新たな解釈をもたらしました：

1. 等価原理：遠心力と重力場は局所的に区別できません。
2. 時空の曲率：遠心力は時空の曲率として解釈されます。
3. 測地線偏差：回転系での物体の相対的な運動は、測地線偏差方程式で記述されます。

特殊相対論において、 $m \frac{d^2 x_\mu}{d\tau^2} = F_\mu$ が成立します。よって一般相対論においても、ある点において局所慣性系を考え、対象となる物体に力がかかっていないなら、等価原理より $\frac{d^2 x_\mu}{d\tau^2} = 0$ が成立します。ここで、 x_μ は局所慣性系の座標です。

遠心力の教育と学習

遠心力の概念は、物理教育において重要な位置を占めています。その正確な理解は、多くの物理現象の説明に不可欠です。

遠心力の教育的アプローチ

1. 概念の段階的導入：
 - ① 初等教育：日常生活の例を用いた直感的理解
 - ② 中等教育：ニュートン力学の枠組みでの説明
 - ③ 高等教育：非慣性系と一般相対性理論での解釈
2. 視覚的教材の活用：
 - ① アニメーションや動画を用いた回転運動の可視化
 - ② シミュレーションソフトウェアによる遠心力の体験
3. 実験と観察：
 - ① 簡単な回転運動の実験（例：紐につるした物体を回す）
 - ② 遠心分離機などの実用的な装置の観察

遠心力を理解するための実験

1. 回転する円盤上の物体の運動：

円盤上に小球を置き、回転速度を変えながらその動きを観察します。
2. 水バケツ実験：

水の入ったバケツを垂直面内で回転させ、水がこぼれない条件を調べます。
3. 人工衛星モデル実験：

糸で吊るした物体を回転させ、張力（向心力）と回転速度の関係を調べます。

科学博物館と展示：

1. 多くの科学博物館で遠心力を体験できる展示が提供されています

遠心力の未来の応用と研究

遠心力の理解と応用は、科学技術の進歩と共に発展を続けています。ここでは、遠心力に関する最新の研究動向と将来の可能性について探ります。

新技術における遠心力の役割

1. ナノテクノロジー：
 - ① ナノスケールの粒子分離や精製に遠心力を利用
 - ② 例：DNA やタンパク質の分離、ナノ粒子の生成

2. 宇宙技術：

- ① 人工重力の生成（長期宇宙滞在用）
- ② 小惑星資源採掘における物質分離

3. 新エネルギー技術：

- ① 遠心力を利用した energy storage システム
- ② 例：フライホイール energy storage
フライホイールの回転エネルギー

4. 先進医療技術：

- ① 高速遠心分離による新しい診断技術
- ② 遠心力を利用した drug delivery システム

遠心力研究の最新動向

- ・ 量子力学は、原子や素粒子などの微視的な世界での物理現象を説明する理論であり、現代物理学の基盤を成す重要な分野です。

量子力学の基本概念

量子力学は、非常に小さなスケールでの物質やエネルギーの振る舞いを研究する学問です。古典物理学が扱うマクロな世界（例えば、ボールが転がる様子や水の流れ）とは異なり、量子力学では以下のような特異な現象が観察されます。

- ・ 波動と粒子の二重性: 物質や光は、粒子としての性質と波としての性質を持ち、状況によって振る舞いが変わります。例えば、電子は一度に複数の場所に存在することができることが知られています。
- ・ 不確定性原理: 量子力学では、粒子の位置と運動量を同時に正確に知ることができないという原理が存在します。これにより、微視的な世界の予測が難しくなります。
- ・ 量子の最小単位: エネルギーや光は、連続的ではなく、最小単位（量子）でやり取りされます。例えば、光の粒は「光子」と呼ばれます。

量子力学の重要性

量子力学は、現代の科学技術において不可欠な基盤を提供しています。スマートフォンやコンピューター、半導体など、私たちの日常生活で使用する多くのデバイスは、量子力学の原理に基づいて設計されています。

代表的な理論

量子力学には、シュレーディンガー方程式に基づく波動力学と、ハイゼンベルクの運動方程式に基づく行列力学という二つの主要な形式があります。これらは異なる表現を持ちながらも、数学的には等価であり、どちらも自然現象を正しく理解するための手段となります。

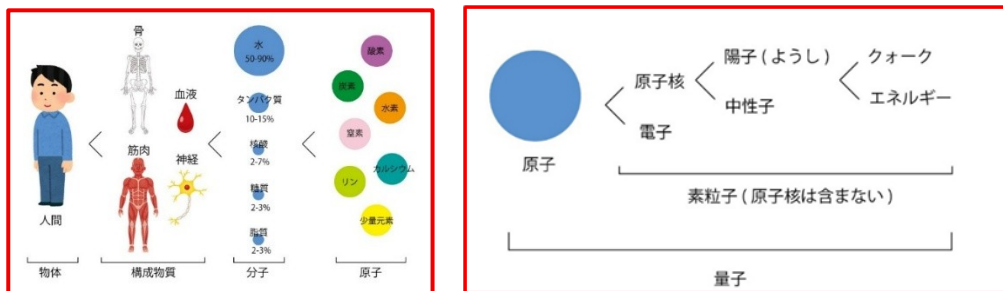
量子力学は、私たちの宇宙に対する理解を深めるための重要な理論であり、今後の科学技術の発展にも大きな影響を与えることでしょう。

初心者でもわかる量子力学の基礎と古典力学との違い -

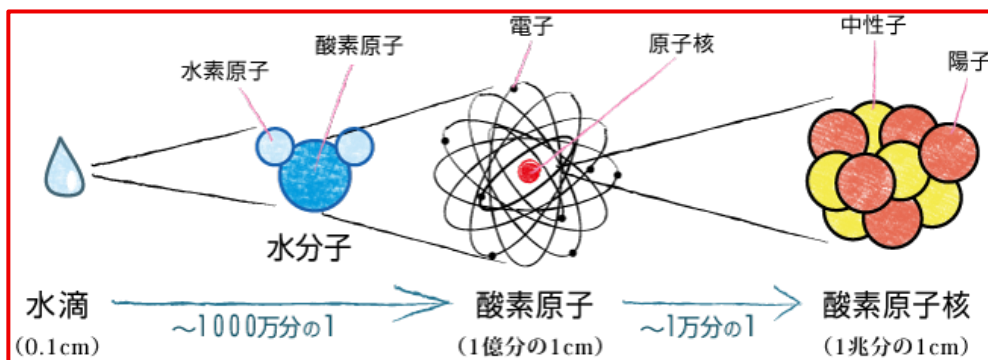
量子力学（りょうしりきがく、英: quantum mechanics）は、一般相対性理論と共に現代物理学の根幹を成す理論・分野 [1][2]。主として、分子や原子あるいはそれを構成する電子などを対象とし、その微視的な物理現象 [3] を記述する力学である。量子力学自身は前述のミクロな系における力学を記述する理論だが、…

私たちの身体や、宇宙を含むすべてのモノは、大きな順から、物体→構成物質→分子→原子へと分解できます。

下の図は人間を例に表したものです。

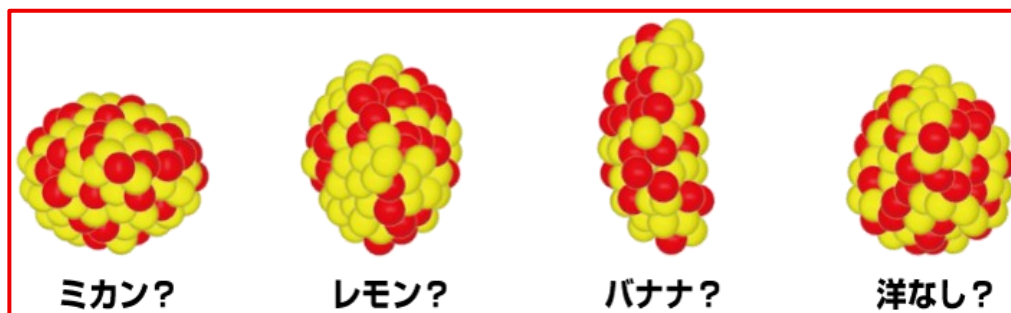


原子核の構造



上の図のように例えば水（0.1cm）の場合、水は分子のかたまりで出来ています。その分子は水素原子と酸素原子（1億分の1cm）という粒子が集まったもので出来ています。さらに原子は原子核（1兆分の1cm）とその周りを取り巻く電子から成り立っています。またさらにその原子核は陽子と中性子とよばれるもので構成されています。

これは水だけに限らず、**地球上の全ての物質**について言えます。実は私たち自身も含め、身の回りの物は全て原子核から出来ています。そして物の重さのうち 99.97%が原子核の重さなのです。（残りの 0.03%は電子の重さです。）



上の図のこれら是一体なんでしょう？

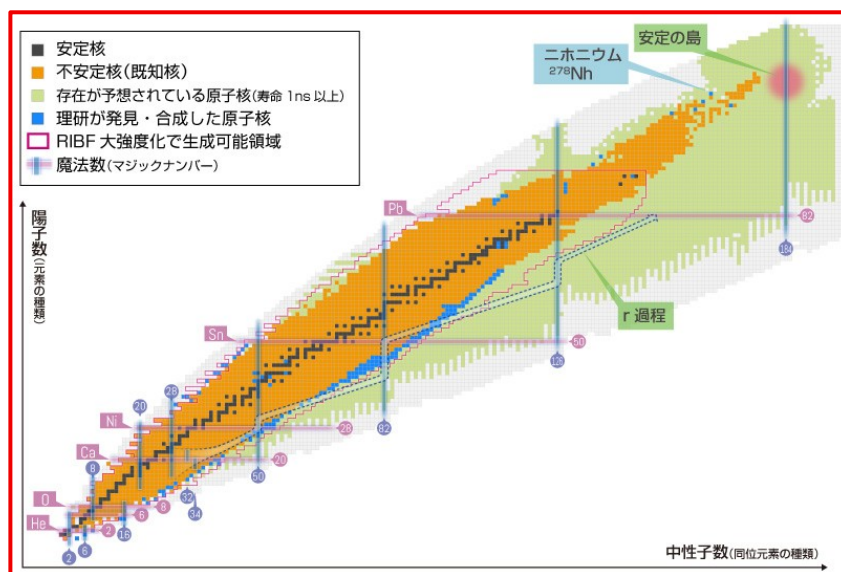
実は全て原子核です。

原子核には様々な性質があります。「形」を例にとると、球形のものだけではなく、レモン形、みかん型のものがあります。まだ見つかっていませんが、もっと極端な形…バナナ形、洋なし形…が存在する、という予想もあります。

RI ビームファクトリー(RIBF)は、こうした未知の原子核を材料にして研究する施設です。
世界は陽子と中性子で出来ている ～核図表とは

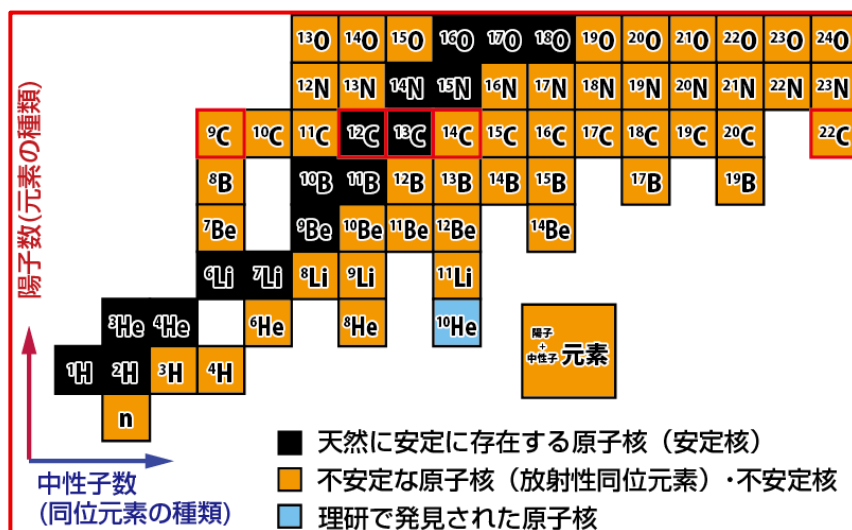
さて、その原子核は果たしてどれくらいあるのでしょうか？

100 種類？ 1000 種類？ …実はおよそ 10000 種類あると言われています。それを示したのが下の図。



小さくて少し分かりづらいかもしれませんが、マス目一つ一つが一つの原子核です。

少し拡大してみましょう。



原子核は陽子と中性子の 2 種類がくっついてできています。現在の理論によると、陽子数と中性子数の組み合わせによって**約 1 万種類の原子核**がありそうです。この莫大な数の原子核を一枚の地図で表したものが「**核図表**」です。

縦軸は陽子数（元素の種類）、横軸は中性子数（同位元素※の種類）を表しています。拡大図を見ると下から水素、ヘリウム、リチウム、ベリリウム…と馴染みのある並び順で記されているのが分かります。下から上に向かって見ていくと周期表の配列と一緒ですね。横一線は同じ元素をあらわしています（放射性同位元素）。核図表は皆さんお馴染みの周期表の詳細版といったところでしょうか。核図表を使うと、未発見のものも含めてほぼ全ての原子核を一目で見ることができます。

原子

モノを作る基本成分です。

化学的手段ではこれ以上分割できない単位です。

原子が結びついたものを分子と呼びます。

原子と元素は違う？

原子と元素は違います。

原子はモノを構成する粒です。

元素は原子の種類です。

たとえば、スイーツで説明すると、

材料である小麦粉、バター、砂糖、牛乳が原子です。

スイーツにはケーキ、タルト、パイ、クッキーなどの種類がありますが、この種類が元素です。

中性子

中性子は原子の一部で、原子の中にある原子核の中に存在する粒子です。

原子核には陽子と中性子があります。

原子核の中で反発し合う陽子を中性子が安定させています。

量子と素粒子の違い

素粒子は量子に含まれます。

素粒子とは、これ以上分解できない最小の粒の総称です。

陽子や中性子、電子も素粒子の一部です。

素粒子は現在、200 種類以上見つっています。

おおまかにモノを作る素粒子（陽子や中性子など）群と、目に見えない自然界の力を担う素粒子（光子など）群に分けられます。

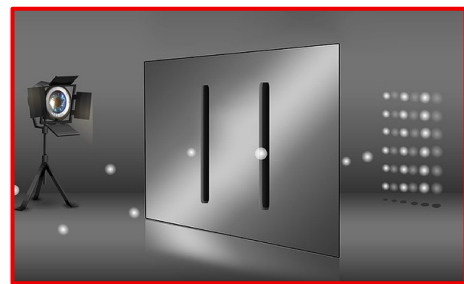
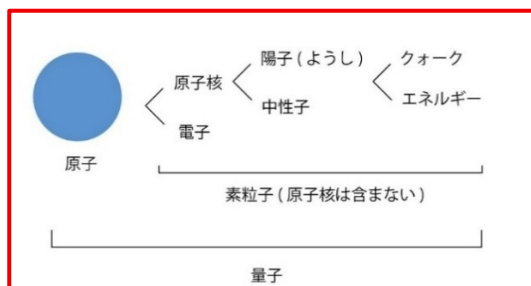
量子力学とは

量子には先にも述べたように、様々な種類や法則があります。

量子には、

- 波と粒子の性質がある
- 位置がわかれば動きがわからなくなり、動きがわかると位置がわからなくなるという特徴があります。

ここにいた！と思うと動きが見えず、動きが見えるとどこにいるか見えなくなるという不確定さを持っています。



この「不確定さ」が量子の世界です。

この量子の法則を量子力学と言うのです。

古典力学と量子力学の違い

古典力学とは、量子力学が誕生する前のものを指します。

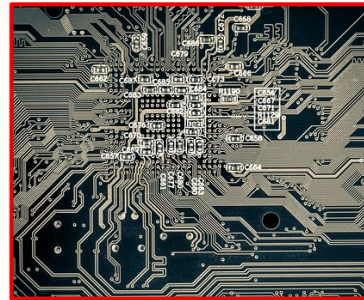
例えば、相対論的力学やアイザック・ニュートンのニュートン力学です。

古典力学は、目に見えるモノ（マクロレベル）の運動法則や、それに働く力、相互作用についての学問です。

古典力学が主流の時代から、科学技術が発展すると、それまで技術的に観測できなかった量子の動きや存在を観測できるようになりました。

すると、これまでの古典力学では説明できないことが起こったのです。

量子の動きに古典力学が通用しないことで新たな理論が必要となり、生まれたのが量子力学というわけです。



半導体は、普段は電気を通さないのに、ある条件下では電気を通すという性質があります。

量子力学は不確定性を含む理論であり、この不確定さを理解し、半導体に利用されているのです。

古典力学は、目に見えるモノ（マクロレベル）がこういう時はこうなるという確定さを持ちます。

モノの動きは予測可能であり、どこにあるか、どれくらいの速度で動いているかが明確にわかります。

それに対し量子力学は、量子（ミクロレベル）がこういう時はこうなるとは言えず、不確定さを持ちます。

すべて確率の話になり、動きや位置、速度を完全に同時に知ることはできません。

身近に存在する量子力学

どんな場所で使われているのでしょうか。

量子力学は、意外にも身近な場所に存在します。

それは、パソコンやスマートフォン、電子機器などに使われる半導体です。

わたしたちは、半導体を通して量子力学の原理を体験しているのです。

初心者でもわかる量子力学の基礎と古典力学との違い -

古典物理学が巨大な天体や日常的な運動を説明するのにに対し、量子力学は原子や分子、さらには電子や光子の動きを理解するための理論です。たとえば、あなたが今使っているスマートフォンやコンピューター、またはテレビや冷蔵庫に至るまで、多くのデバイスは量子力学の理論を応用して設計されています。量子力学を知ること、私たちの世界がどのように動いているかを深く理解でき…

1. 量子力学との融合：

- ① 回転する量子系での遠心効果の研究
- ② 例：回転するボース・アインシュタイン凝縮体の振る舞い

2. 相対論的遠心力：

- ① 極端に高速で回転する系での遠心力の振る舞い
- ② 例：中性子星やブラックホール近傍での効果

3. 複雑系における遠心効果：

- ① 乱流や非線形システムにおける遠心力の役割
- ② 例：大気や海洋の循環モデルの改良

4. マイクロ流体力学での応用：

- ① ラボオンチップデバイスにおける遠心力利用

② 例：微小液滴の操作や分離

遠心力の理解がもたらす可能性

1. 新しい物理法則の探求：

① 極限状態（超高速回転、強重力場）での遠心力の振る舞いから、新しい物理法則の手がかりを得る可能性

2. 宇宙開発の進展：

① 遠心力の精密制御による新しい宇宙推進技術の開発

② 例：太陽帆（ソーラーセイル）の高効率化

3. 環境技術への応用：

① 遠心力を利用した新しい水処理技術や廃棄物処理方法の開発

② 例：マイクロプラスチックの効率的分離

4. 生命科学での breakthrough：

① 細胞レベルでの遠心力効果の解明による新しい治療法の開発

② 例：がん細胞の特性を利用した選択的分離

遠心力の理解と応用は、物理学の基本原則から最先端の技術開発まで、幅広い分野に影響を与えています。今後の研究と技術開発により、遠心力の新たな側面が明らかになり、さらなる革新的応用が生まれることが期待されます。

日本が誇る物理学者が提唱！

超弦理論は宇宙の”大統一理論”になりえる？

超弦理論とは『この宇宙すべての物質は“ひも”でできている』とする説です。わたしたち人間の身体は多種多様な細胞によって作られていますが、それらを細かく分解していくとやがて『それ以上分解できない“なにか”』になります。その限界まで行き着いた先にあるのはたった1本のひもだということです。

奇妙に思えますが、超弦理論は現代宇宙論において最前線のアツイ理論となっています。マンガやアニメ、SFの世界でもこの理論を取り入れた『別次元の宇宙』などが登場していますね。今回はそんな『超ひも理論(超弦理論)』について書いていこうと思います。

超弦理論の歴史や理論の基礎をわかりやすく解説

それまでの宇宙論 日本人が生み出した最新弦理論

宇宙の最小単位を探る

日本人が発表した”ひも理論”

ひも理論の課題 そして”超”弦理論へ

超空間とは？

超空間の対称性

超弦理論とは？

重力問題解決へ

開いたひも 閉じたひも

おもしろい超弦理論の世界

超弦理論の課題

超弦理論の歴史や理論の基礎をわかりやすく解説



宇宙探求の歴史は紀元前にまでさかのぼります。古代ギリシャの『アリストテレス』はこの世界を『湿・乾』『温・冷』の組み合わせがあり『火・空・水・土』の4大元素によって作られると考えました。

長らくそれが定説となり、地球のまわりを太陽が回っている『天動説』は、ほんの数百年前までは”常識“だったのです。それから『ガリレオ・ガリレイ』の登場、『アルベルト・アインシュタイン』が発表した『相対性理論』などにより、人類は宇宙のナゾについてより深く探求できるようになりました。

相対性理論はこれまでの常識をひっくり返すほどの理論が記されており、とくに『科学雑学研究倶楽部』編著『決定版 相対性理論のすべてがわかる本』ではそれらが図解付きで網羅的に紹介されています。値段も手軽なため相対性理論を学ぶ上では非常に頼りになる1冊ですね。

それまでの宇宙論 日本人が生み出した最新弦理論

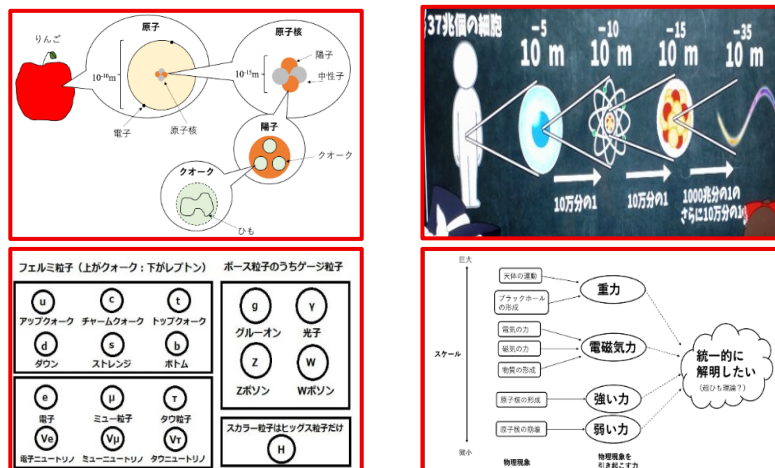
最新科学研究により観測技術は大幅に精密化され、今では複数のパラボラアンテナを結合させひとつの望遠鏡とする電波干渉計をつくりさらに遠くを観ることができます。複数の国と協力し地球規模でアンテナを広げた『超長基線電波干渉計』では、ある例では 20 マイクロ秒角の解像度を実現しました。

すこしわかりにくいので、ちょっとわかりやすく解説してみましょう。これ、人間の視力で例えると 300 万です。

実際にその視力を手に入れた場合、アナタは夜空を見上げ月面に置かれているゴルフボールを発見することができます——想像もできませんね。地球レベルの大きさの『目』をもつと、このように常識をぶち壊すレベルのことも可能になります。

精密に観測できるということは、それらの情報をもとにあらゆる理論構築を組み立てることができるということ。現在、世界最小の単位とされる『素粒子』をもとめて多くの物理学者、量子力学者が奮闘しています。素粒子論などはその最たる理論ですね。

宇宙の最小単位を探る



超弦理論に深く関わることなので、素粒子論についてはこちらでもカンタンに説明します。素粒子とは『それ以上分解できない最小単位』のことで、それらの物質は『波・粒』ふたつの性質を併せ持ち、物質を形作る『フェルミ粒子』、その他『ボース粒子』が存在し、それらが相互に関係して宇宙を形成しています。

上記の『クォーク』がわたしたち物質(原子)を生み出し、図右の『光子(フォトン)』などが、それらの間に働く力を媒介し相互作用を生み出しています。

アインシュタインが発表した『相対性理論』は重力、上記の『量子論』はそのほかの力(電磁気力・強い力・弱い力)をうまく説明することができましたが、これらの力をすべて説明できる『大統一理論』にはまだ1歩届かず「これが宇宙の真理だ！」と説明できる理論には至りませんでした。

とくに『重力』に関してはこれらふたつの理論を合わせてもまだ説明しきれない部分が多く、それらをまとめて説明できる新たな理論が必要だったのです。

日本人が発表した“ひも理論”

1970 年、日本出身の物理学者『南部陽一郎』らによって『ひも理論(弦理論)』が発表されました。いったいどういった理論なのでしょう？

従来の素粒子論は『素粒子は大きさをもたない“点”』と考えられてきました。しかしひも理論では『たった1種類の、とんでもなく小さい“ひも”が振動し、その“振動パターン”によって様々な素粒子に見える』と考えたのです。

例えばギターの弦をはじいた時を考えてみてください。そうすると弦が振動し、その振動パターンによって様々な種類の『音』が生まれます。それと同じように、宇宙に存在する極小のひもが振動するパターンによって、素粒子の種類に変化が生じるのです。

ひも理論の課題 そして“超”弦理論へ

当時のひも理論は『ボース粒子』をうまく説明できましたが、フェルミ粒子は『ある座標にフェルミ粒子がある = 他のフェルミ粒子は存在できない』という性質のため計算結果がおかしくなり、発表当時はあまり評価されず他の素粒子論の影に埋もれてしまいます。

しかし、後に『ジョン・シュワルツ(John・H・Schwarz)』はじめ複数の学者らによって『超空間』の説が提唱されると、弦理論でフェルミ粒子も説明できることがわかり、さらに日本人の物理学者『米谷民明』が「超ひも理論を使えば、重力を量子論で説明できるかもしれない」と発見し、ここに『“超”弦理論』が誕生したのです。

超空間とは？



たとえば、直線上の『点』の位置は1つの数字で表現できます。いわゆる座標ですね。面のどこかを表現するなら(x, y)と表現し、3次元なら(x, y, z)です。これが“普通”ですね。ですが超空間ではこの“普通”が破れます。

つまり同じ座標に複数の“モノ”が存在しても OK なのです！ ——そんな空間ありえないだろうと言いたくなりますよね。ただ素粒子の世界はわたしたちの常識をかんたんにぶち破ってくれます。

超空間では『かけると答えが“0”になる数』という概念(グラスマン数)が登場します。これをうまく

利用するとフェルミ粒子用の計算ができ、グラスマン数を超空間の座標に取り入れ、**ひもがその次元まで振動できるようにしたことで矛盾なく素粒子を説明できるようになりました。**

- ・ボース粒子

- ある状態をいくらでも共有できる = 何度でも掛け算可能
いくらでも掛け合わせられる”普通“の掛け算

- ・フェルミ粒子

- 1つの状態を共有できない = 1度掛け算したらそこまで
1度掛け合わせたら0になる”グラスマン数“での掛け算

超空間の対称性



超空間では見方を変えても性質が変わらない理論(対称性)を発展させた『超“対称性”』の概念も登場しています。

対称性の例としてわかりやすいのは単色のボールでしょう。どのような角度から見ても、その見え方は同じ『単色のボール』です。見る角度を回転させても同じに見えるので『回転対称性』があると表現します。

超空間で回転対称性をもつなら、つまり“超“回転対称性をもっていると言えます。超空間はふつうの数とグラスマン数の座標がありますので、対称性をもつにはどちらの座標にも変換できる概念である必要があります。そして、どちらの座標においても対称性をもつモノであると証明できれば、つまり超空間を用いた超弦理論が理論的に正しいというお墨付きが得られやすくなります。

この理論を要約すると『同じ空間に“複数の座標“があり、弦はそれらの間を自由に振動している』と言えるでしょう。まさに“超“空間ですね。

超弦理論とは？

超弦理論は南部陽一郎氏が手掛けた『弦理論』について、上記の理論を交え世の中に存在する素粒子すべてに対応できる形に発展した理論になります。よって、弦理論と同じように超弦理論は『たった1本の“ひも“の振動パターンによって作られている』という理論になりますね。

ちなみに、この理論が真実だとするとわたしたちは『**10次元**』の世界に存在することになります。

超重要な事なので何度でも繰り返しますが、従来の素粒子論では『素粒子は大きさのない“点”』でした。しかし、これを前提として計算すると**計算結果に無限大が出てしまう問題があり、それをクリアするための計算式を『重力』に関する問題では使えない事実がありました。**

しかし、素粒子の正体を『ひも』という確かな大きさをもったものとして考えると問題を回避できます。**重力を説明するために、超弦理論ではひもを『閉じた・開いた』の2種類が存在すると考えています。**ざっくりばらん言い方をすれば『輪ゴムと切れた輪ゴム』みたいなものです。

開いたひも 閉じたひも

開いたひもが振動すると、物質を構成する『フェルミ粒子』と重力以外の『ボース粒子』が作られます。それに対して、閉じたひもは重力相互作用を媒介する『重力子』を作ります。

輪ゴムが『重力子』、切れた輪ゴムが『その他すべて』ということですね。重力は宇宙に存在する他

の力(電磁気力・強い力・弱い力)と比較して圧倒的に弱いというナゾが存在します。たとえば、小さな磁石を地面に落ちている鉄に近づけるだけで地面を離れてくっつきますよね？ これはつまり『地球レベルの重力に小石ほどの大きさでしかない磁石の電磁気力が勝った』ことにほかなりません。

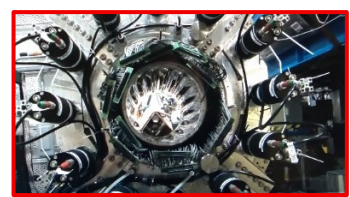
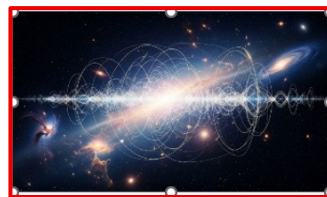
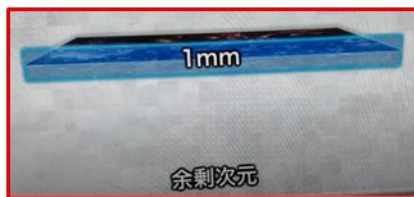
それほどに弱い重力のナゾは、この超弦理論を使うと『重力を司る“ひも”が他の次元へ逃げているから力が弱い』という形で説明できるようになります。SF 作品などでよく利用される『パラレルワールド』アイデアは、この超弦理論が元になっているものもあります。

宇宙に存在する“4つの力”については

おもしろい超弦理論の世界

余剰次元の発見

現世の3次元+1次元の4次元世界発見の為に電子の漏れ確認実験機



超弦理論にはわたしたちの想像力をかきたてるような面白い話がたくさんあります。上記でも挙げた『10次元』は、近年様々な超弦理論をまとめあげた『M理論』によれば『11次元』必要になり、それらの次元をコンパクト化する『カラビ・ヤウ多様体』、ひもが膜にくっついた状態を考える『Dブレーン理論』、さらにDブレーン理論を発展させ、この宇宙以外にも宇宙が存在する『ブレーンワールド』など、創作活動をする方にとって魅力的な理論がたくさん詰め込まれています。

超弦理論の課題

超弦理論、理論自体は矛盾なくできていますが、それらの観測に関してはまだまだ進んでおらず、理論を裏付けるような実験結果は充分に得られていないのが現状です。もし発見されればダークマターや素粒子に関する様々な課題が進歩しそうですが、残念ながら2023年の現在においても超対称性の証拠となる粒子は見つかっていません。

実証できない『机上の空論』だということでこれらの理論を懐疑的に見る科学者も多く、実際に観測できるかが今後の課題のようですね。これらの課題をクリアすれば、いずれ超弦理論に関して始めてノーベル物理学賞を受賞する方も表れるかもしれません。

[総括]

以上の事から、回転部は消耗部との一般常識は、量子レベルでの遠心力総和零になる仕組みが必要な事が判る。しかし、その様な仕組みは材料斑が有るため絶対不可能で、実現不可な事は判明している。

ただし、各種弾性体含む剛性体で量子レベルでの遠心力総和とアンバランスを許容出来、尚且つ最大負荷変動も許容可能な重心回転提供が可能であれば、回転部は消耗部と言う一般常識は覆り、消耗しない無負荷・無消耗回転部が実現。即ち回転停止時と同じ環境が提供可能に成り、消耗しない回転部の完成である。

あらゆる物理計算式に当てはめても、「遠心力総和零の発想」あらゆる剛性体回転センター（重心）から各種アンバランス量子位置までの距離が零との考えと同等なので、重心回転可能と言うことは、遠心力総和が零と同じ環境である無負荷・無消耗回転が実現した事になり、世界初の事である。

その事を実現可能にしたのが「自動ランサー「零芯」」である。

遠心力総和零の重心回転実現する事で、物理、量子、理論においても説明不可な現象「自動 balancer「零芯」を、回転部装着稼働する事で「**回転部品位向上**」有りえないこの事の解明により、超紐理論の先が見えてくる！ **回転部は消耗部との世界常識が覆る！！**

原子は原子核（+電位の陽子と±電位の中性子）の周りを－電位の電子がバランスを調整し回っている。しかし各種回転体は各種斑が存在するため遠心力総和零には成らない、結果振動発生原子核結合が不安定になる。

その不安定な状態を安定するのが中性子の役目で、尚且つ電位や振動による原子核の不安定状態を押さえ制御するため、不安定隙間を埋めるために中性子（**未確認紐量子**）が原子核の不安定結合を制御補助し、**高密度の安定状態を実現する。**

しかし、**回転部は遠心力総和が零でない為**時間と共に高密度結合が電位やアンバランス振動により徐々に解かれ、結合環境が悪化偏摩耗劣化し回転部調整、新品交換が必要になる、この事が世界常識、**回転部は消耗部との認識である。**

しかし「遠心力総和零」が可能であれば、原子核結合が（剛性体量子結合）が強固になり、一旦重心回転を遂行した回転部は剛性体強度以上の力をかけなければ、**過去の加工実績による結果からも推定可能で、**回転停止状態と同じ無負荷状態で消耗不可の回転部「**遠心力総和零**」の理想回転重心回転の実現である、この理論を回転部に如何に応用するかが今後の課題でありテーマでもある。

理想回転（重心回転）回転部 実現装置

自動 balancer「零芯」断面図

