

「光」で語る現代物理学

琉球大学理学部物質地球科学科
物理系

前野昌弘

それは20世紀の初めのこと、、、、

「光」に関する研究が、二つの新しい物理分野を生みました。

一つは「量子力学」

もう一つは「相対論」

どちらも、現代物理の柱と言ってもいいほどに大事な分野です。

今日は「光」を切り口に、現代物理の入り口を話したいと思います。



←このマークをクリックするとネットにつないで、ブラウザ上でアニメーションプログラムを見ることができます(Javaがインストールされている必要があります)

光は波か、粒子か？

光は
粒子だ！



ニュートン(1642-1727)イギリス

力学
微積分
万有引力の法則
色の分解

V S

光は波だ！

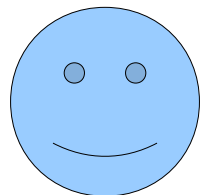


ホイヘンス(1629-1695)オランダ

土星の輪を発見
光の波動説
エーテル仮説

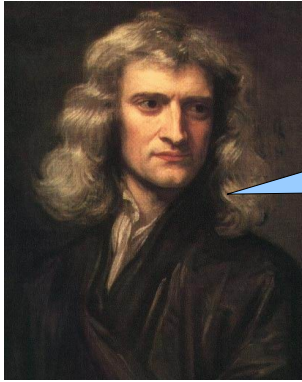
この論争に決着をつけたのは、
みんなもよく知っているあの実験です。
(それは19世紀初め。↑の二人が死んだ後でした)

答はここをクリック→

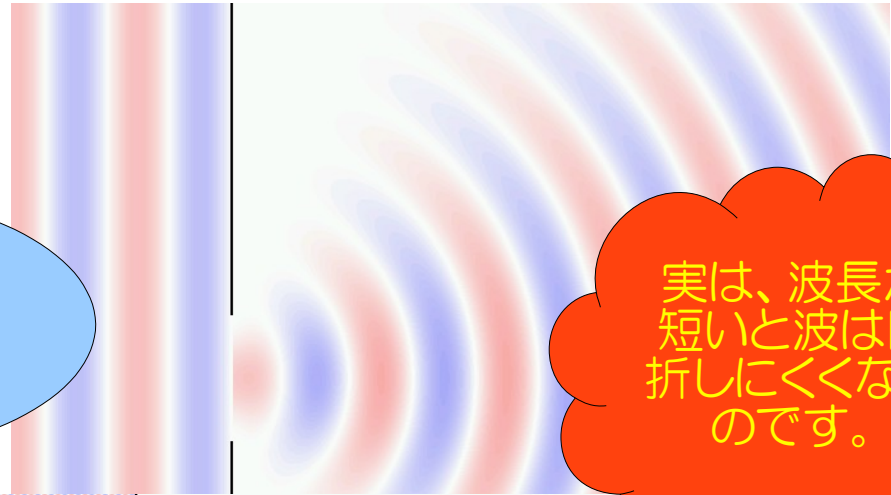


ニュートンはなぜ間違ったのか？

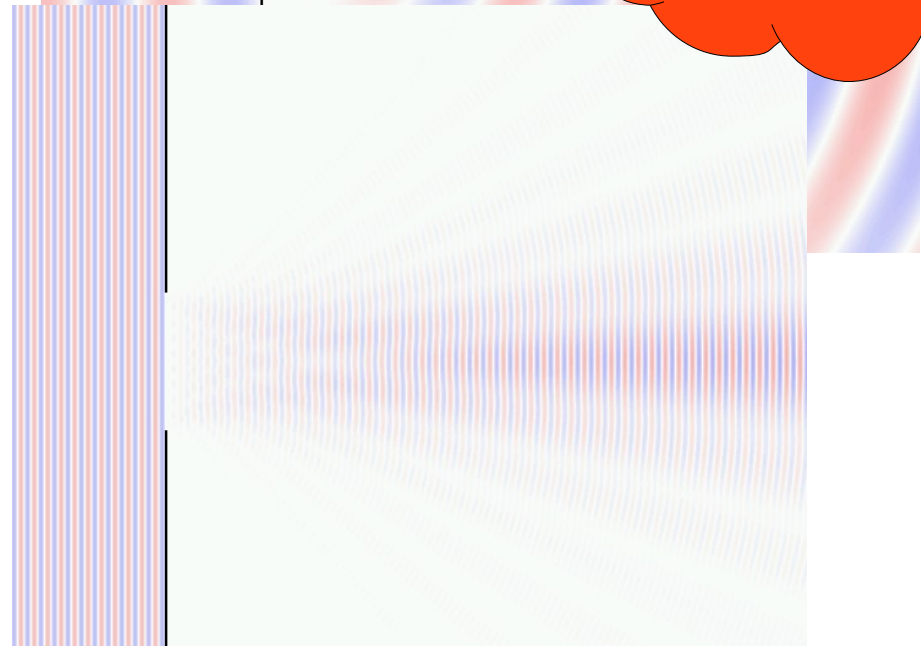
ホイヘンスの原理でわかるように、
波は広がる(回折)



光は広がらない
じゃないか！！



実は、波長が
短いと波は回
折しにくくなる
のです。



ここで、光と音の波長を調べてみると

可視光の波長は300nm～800nm。
(1nmは、10億分の1メートル)

さすがのニュートン
さんも、こんなに光
の波長が短いとは思
わなかった！！

一方、音の波長は 数cm～数メートル

だから音はよく
回折する！

実は、波長が数cm～数mの「光」も
あります。ただし、それは眼に見え
ないので、「光」とは別の名前と呼
ばれています。

「電波」です。

携帯電話の電波は波長15cmくら
い。だから回折して、建物の中
に入ってくる事ができるのです。

一般に波は、

波長が短いほど回折しにくくなり、
直進性がよくなります。

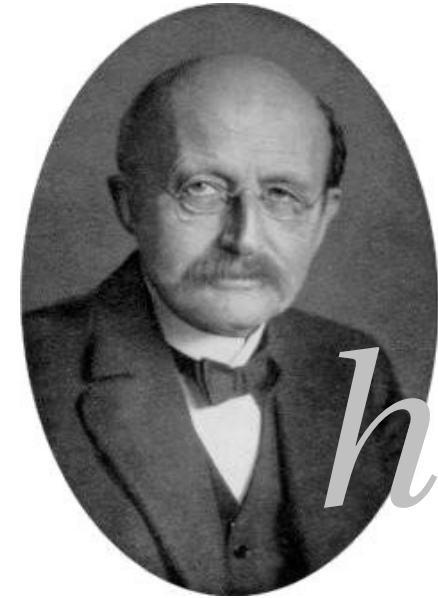
(こうもりが普通の音よりも
波長が短い**超音波**を使うのはこのため)

光と音は、「波である」という点では同じなのに、波長の違いのせいですいぶん違う現象を
起こします。スケールが違えば物理現象が違ってくるのです。

と、ここまでは19世紀のお話

20世紀に入ると、思いもかけない形で「光は粒子だ」という説が再浮上しました！

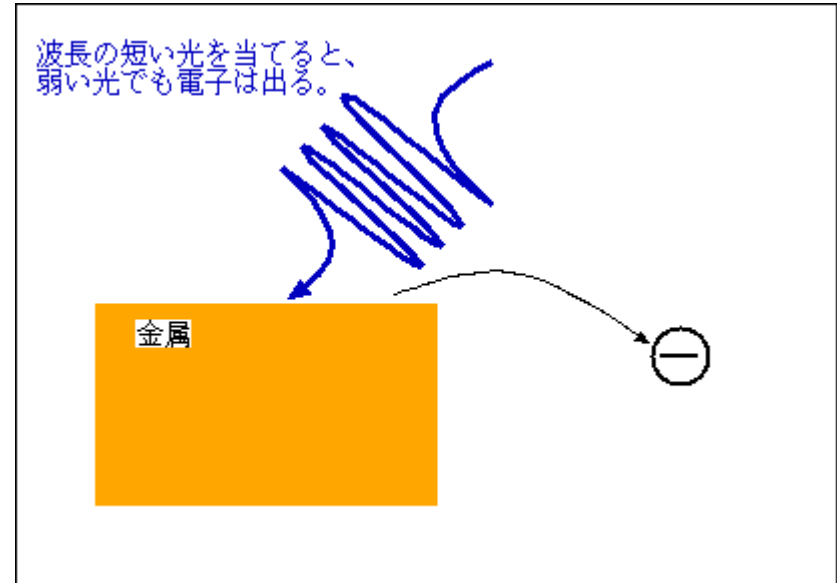
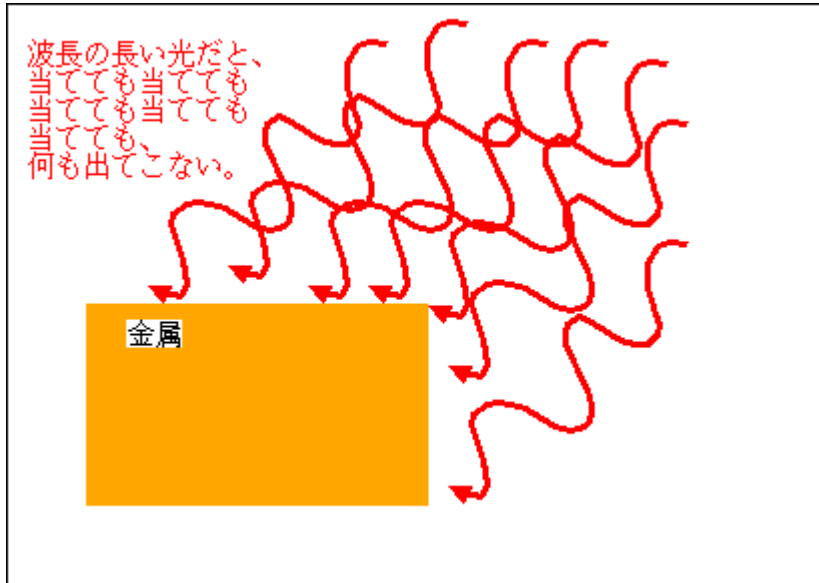
光は粒子だという証拠を発見して、現代物理の元を作ったのが私、プランクです。



プランク(1858~1947)ドイツ

学生の時、「物理なんてもう終わりだからやめとけば？」と指導教官に“指導”されたと言う。その人が20世紀の物理を開いた。

光電効果の謎

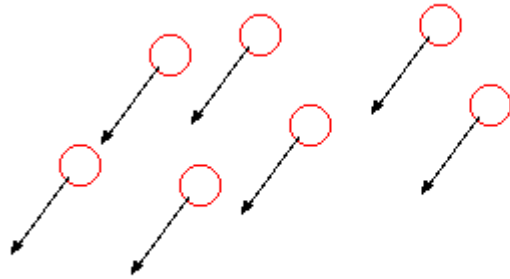


なぜ波長の短い光は特別なのか??? (謎)

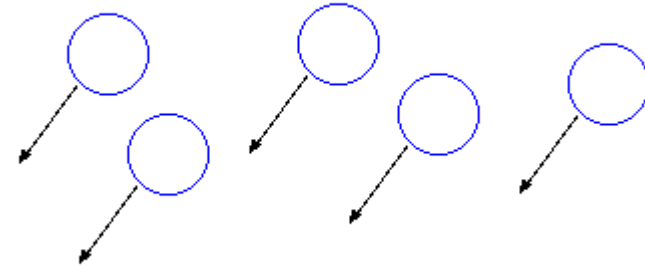
ここで、電子が飛んでいくところを見せましょう。

光量子仮説

振動数の低い（赤い）光は、一粒のエネルギーが小さい粒子



振動数の高い（青い）光は、一粒のエネルギーが大きい粒子



注意：実際の光子には大きさはありません。上の図で大きさを変えているのは、「エネルギーが大きいぞ」というイメージを表現しました。

この仮説を唱えたのは、1905年のアインシュタイン（なんと、後で出てくる相対論を作ったのと同じ年！）。

光が粒子でなかったら

光電効果だ黒体輻射だと言われても、「そんなのあまり生活に関係ないし」とか思ってませんか???

光電効果同様に、波長の短い光(紫外線)でしか起きない

生物現象と言えば、、???

光が粒であることは、**日焼け、紫外線の殺菌効果**にも関係ある

そもそも眼が見えるのだから、「太陽の光が人間の眼の中に化学反応を起こさせるのにちょうどいい大きさのエネルギー」を粒の形で運んでくれるから！

可視光のエネルギーがちょうど化学反応が起こるのにいいエネルギーであることは、地球上のある生命現象に大きく関係している！！(なんのことだかわかるかな?)

光合成

太陽系の惑星である地球に生物が生まれたのは、太陽の光が粒子であったおかげである！

で、結局波なの粒子なの??

どうやら光さんは、

誰ともぶつかっていない間は波でいて、

壁とか金属とかにぶつくと粒子になる

という不思議で天の邪鬼な存在らしいです。

ずいぶん悩んだ当時の物理学者は、

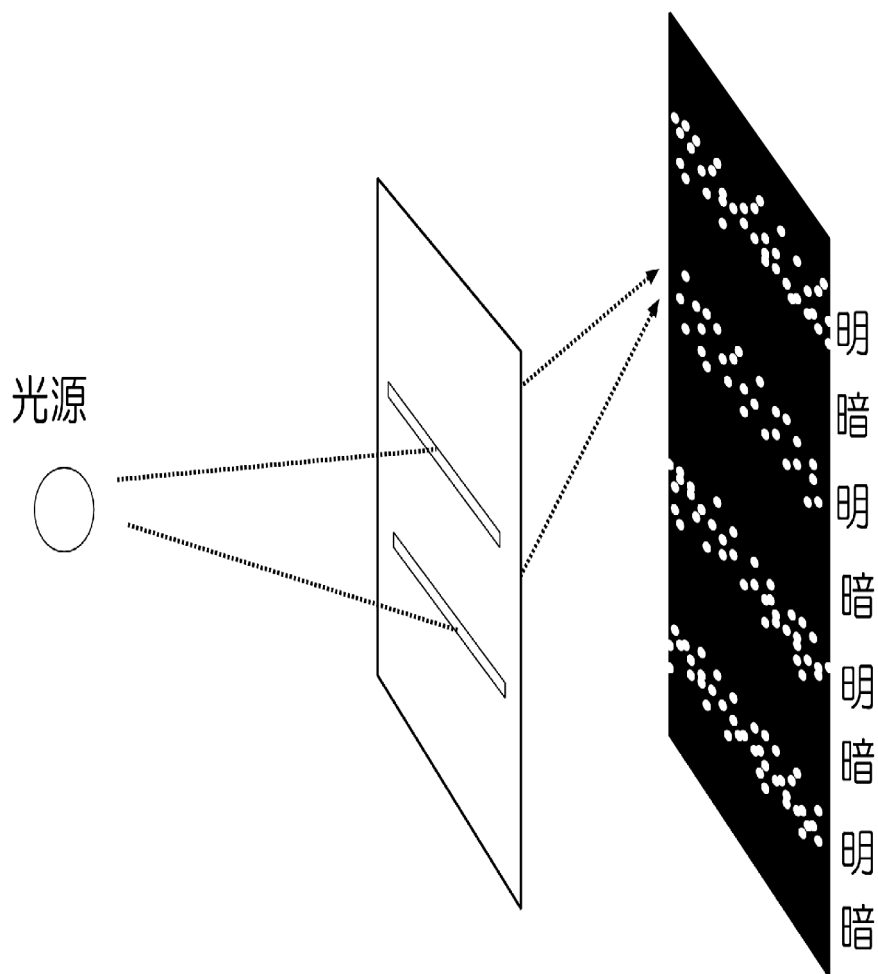
光は波ですか？
粒子ですか？

と聞かれて、...

月水金は波で、
火木土は粒子だ!

と答えたそうです。

日曜日はお休みです。教会に行って神の
教えを乞います。

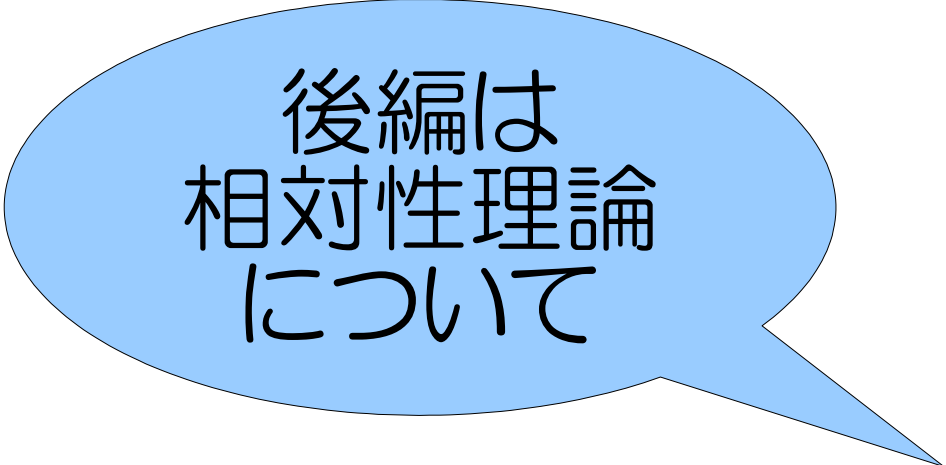


この後の物理学はどう進んだか

なんと、粒子だとばかり思っていた電子や陽子なども、「波」の性質を持つことがわかってきました。

ニュートンさんが「直進するから光は粒子」と間違えたのと同じように、20世紀最初までの物理学者は「電子は直進するから粒子」と思いこんでいたのです。ところが実は、電子は、光よりももっともっと波長の短い波の性質も持っていたのでした。。。。。

というところまで話すとどんどん長くなるので、ここで「粒子か波か？（量子力学）」のお話はいったん終了。



後編は
相対性理論
について

特殊相対性理論前夜の状況

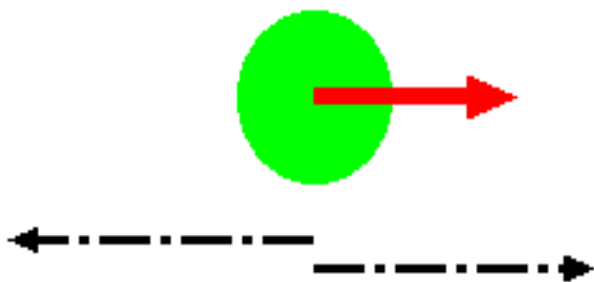
エーテル(光の媒質)は存在するのか？

波なんだから媒質ぐらいあるだろう？

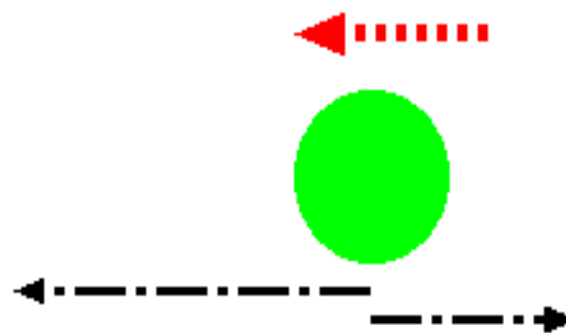
だとすると、地球はエーテルに対して運動していないの???

静止しているエーテルの中で地球が動くのなら

地球上ではエーテルの風が吹くはず。



光の速さはどちらも同じ



速い光 (追い風)

遅い光 (向かい風)

この差を測定したい!! (マイケルソンとモーレー)

マイケルソン・モーレーの実験は否定的結果に終わった。



- 1881 (マイケルソン) 120センチの干渉計
- 1887 (モーレーも加えて) 反射により11メートルの干渉計
- 1904 丘の上の実験(モーレー&ミラー)
- 1921 ウィルソン天文台で(ミラー)

こんなにがんばったのに、否定的結果だなんて……



どんな実験だったのか、アニメで解説！

ローレンツ短縮は、一見マイケルソン・モーレーの実験を説明しているかに見えたが、、、それだけではだめなのだ！！

実験のアニメーションをもう一度見てみよう。実験装置が動いている時と動いていない時で、ある物理現象が「一方では同時に起こっているけど、もう一方では違う時刻に起こっている」のである！！

同時の相対性

ウラシマ効果 (相対論的効果による時間のずれ)



なぜ光速不変だと時間が遅れるのかを示すアニメーション

相対「論」などと言うので「まだ実証されていないのかな？」と勘違いする人もいます。しかし、相対論的効果は実証済なのです！

私が相対論を発表した1905年に、こんな機械があったなら、誰も相対論を疑ったりしなかったらなあ。。

現代の科学技術は、アインシュタインの時代よりもずっとずっと、「時間」の本質に迫っているのです！

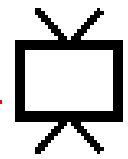
科学技術の進歩により、アインシュタインが相対性理論を作ったことにはとてもできなかった、精密な測定が、「日常使われる機械」の中にもつかわれるようになりました。



日常生活にも関係する！？ 時間のずれ

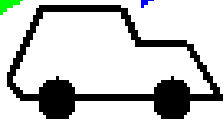
高いところにある分、
20億分の1だけ時間が速い

運動している分、
100億分の1だけ、
時間が遅い



この差を打ち消す分だけ、人工衛星
の時計はあらかじめ遅らせてある。

これで、カーナビと衛星の
時計が同期する



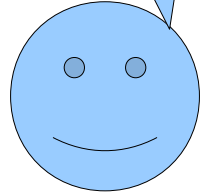
カーナビの原理を
アニメーションで解説

20億分の1のずれとは1年でやっと0.016秒程度しかずれない。
時間のずれやゆがみは、普通に生活している人間にはわからない。
しかし、カーナビにとっては大事なのだ！！(光は1秒に30万キロも走る)

16歳のアインシュタインが考えたこと

光速で走る人が電磁波を見たら
何が見えるのか？

光速で走る
人のアニメ



止まっている電磁波は電磁気の法則を満たさない。

「光が一定の速度で進む」も物理法則の一部？

この疑問をアインシュタインは10年考え続けたことになる。いったん答が見つかり、計算して論文を書くには5週間しかかからなかった。

「物理法則は等速直線運動しながら観測しても変化しない」
というのが

「**相対性原理**」。

「**光が一定速度**」というのはその原理の一部

↑これだけの仮定から、ローレンツ短縮もウラシマ効果も同時の相対性もでてくる。

それだけではなく、有名な $E = mc^2$ という公式も出てくる。

まとめ：光と現代物理学

- 20世紀の始めに、光について深く考えたことから、「量子力学」と「相対論」が生まれました。
- 量子力学も相対論も、「我々と関係ない世界のお話」ではありません。我々の存在そのものと深くかかわっています。
- 光はとても不思議です。。。。。
- 今日話した相対論と量子力学の研究が進んでいった先に、素粒子理論などの現代物理(南部・小林・益川のノーベル賞)があります。

おしまい

大学で物理を勉強すれば、
もっともっと現代物理に近づく
ことができます。

興味のある人は是非来てね。

一緒に勉強しましょう！

