

特殊相対性理論での光のドップラー効果

観測者が光速に近い速さで星に近づくと、星の色が変わって見える。
観測者の速度によってどのような変化をするかを計算した。

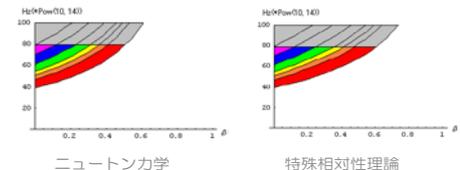
(兵庫真広)

特殊相対性理論

・アインシュタインは電磁気学とニュートン力学の間に生じた矛盾を解決しようとして特殊相対性理論を考えた。

・光速不変の原理、特殊相対性原理を考えると、ニュートン力学的な時間や空間の概念が、光速に近い運動状態では修正が必要であることが分かった。

ロケットの速度による色の見える範囲の変化



尚、灰色の部分は紫外線を示している。

ドップラー効果

救急車が近づいて来るとき、音が高くなって聞こえるが、逆に遠ざかっていくにつれて音が低くなって聞こえる。このような物体の相対速度で生じる波の振動数変化の現象の事。

ニュートン力学では発生源の周波数 f_0 として、観測する周波数 f_N は、

$$f_N = f_0 \left(\frac{c-v}{c-u} \right) \text{ となる。 (} c \text{ は波速) (} v \text{ は発生源の速度) (} u \text{ は観測者の速度)}$$

一方、特殊相対性理論では、同様に周波数 f_{SR} は、

$$f_{SR} = f_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \text{ となる。 (} \beta = \frac{v}{c} \text{)}$$

結論

・特殊相対性理論での変化では、各色はより光速に近い速さでないと紫外線にならない。

・ニュートン力学では逆に速度が遅くてもすぐに紫外線に変わって見えなくなってしまう。

→ニュートン力学では光速の約50%、特殊相対性理論では約60%以上で全ての色は紫外線により見えなくなる。

結果は、特殊相対性理論の方が正しい事を考えると、ニュートン力学でのドップラー効果の式は、速度を過大評価していることになる。

光のドップラー効果1

光は波であり、周波数によって色が変わる。人間の目に見える光は可視光線と呼ばれる。



スターボー現象

さらに見かけの角度方向によって相対速度に違いが生じ(横ドップラー効果)、虹色に見えるようになると考えられる。

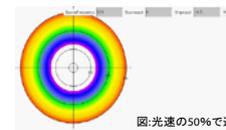


図:光速の50%で運動するとき

2006年度 江本賢泰 卒論より

光のドップラー効果2

光源や観測者との相対的な速度によって、ドップラー効果により光の周波数が変わり、赤方偏移や青方偏移が起こる。

以下では、高速で飛び回るロケットの観測者が星に近づくと、星の色が別の色になって見える。可視光線範囲内で色がどのように変化するかということを考える。

今後の課題

・スターボー(横ドップラー効果)
観測者の視線に対して、光源までの間に角度が生じる場合のドップラー効果。

・光行差
空を見上げた時に見える複数の星に向かって光速に近い速さで進むと、その複数の星が一点に集中していくように見える。

卒論ではこの二つの現象を可視化する。