

走る結合定数 (running coupling constant) QED

量子電磁気学(QED)の場合:

ラザフォード散乱 ($ep \rightarrow ep$) を計算すると、量子論では不確定性原理のため、図のような高次のダイアグラムが存在する。これらの中間状態の寄与をすべて足し合わせると発散する ($\Lambda \rightarrow \infty$)。1ループの効果は

$$M \approx \alpha_0^2 \left[1 - \frac{\alpha_0}{3\pi} \ln \left(\frac{\Lambda^2}{-q^2} \right) \right] (\bar{u}(k') \gamma^\mu u(k)) \frac{1}{q^2} (\bar{u}(p') \gamma_\mu u(p))$$

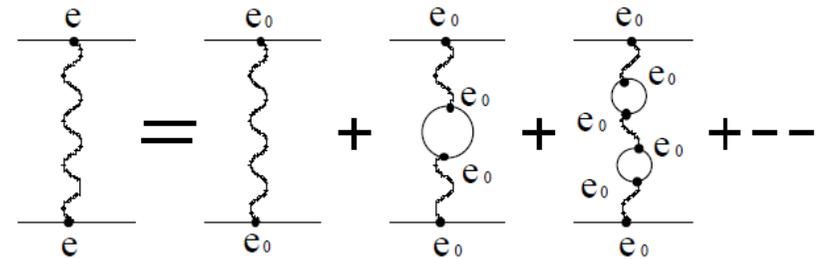
で表される。ここで $\alpha_0 = e_0^2 / 4\pi$ は裸の微細構造定数で $1/137$ である。高次の効果も入れると

$$\alpha_0 \rightarrow \alpha_0 \left[1 - \varepsilon + \varepsilon^2 - \varepsilon^3 + \dots \right] = \frac{\alpha_0}{1 + \varepsilon} = \frac{\alpha_0}{1 + \frac{\alpha_0}{3\pi} \ln \left(\frac{\Lambda^2}{-q^2} \right)}$$

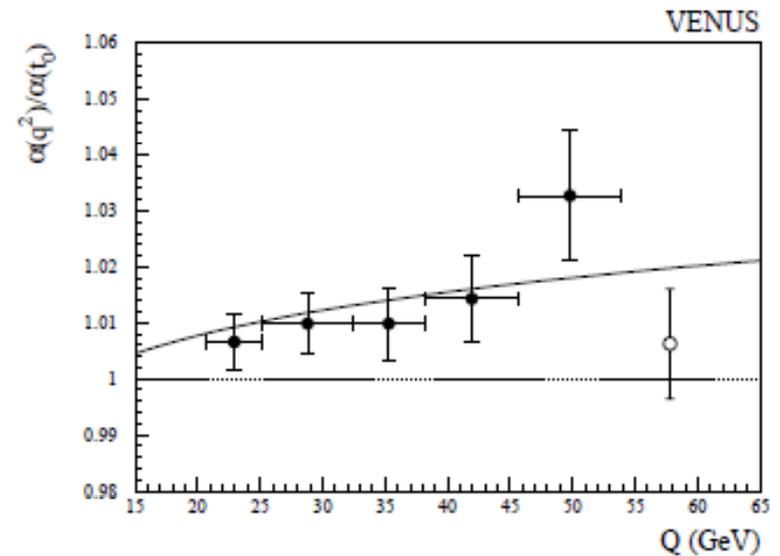
となる。 Λ を基準値 μ_0 で置き換える「くりこみ」をして

$$\alpha(q^2) = \frac{\alpha(\mu_0)}{1 - N \frac{\alpha(\mu_0)}{3\pi} \ln \left(\frac{q^2}{\mu_0^2} \right)}, \quad N = n_\ell + 3 \sum_{quark} q_{quark}^2$$

が走る結合定数である。 N はループ数に相当する。 $\mu^2 = (2m_e)^2$ とし $q^2 = m_Z^2$ では計算すると $N = 6.7$ で $1/128$ になり実験と合う。高いエネルギーほど QED は強くなる。



高次のダイアグラムによる輻射補正



トリスタン実験で測られた α の変化

(注) running するから constant (定数) と呼ぶのもおかしい。最近 は 単に coupling と呼ばれることが多い。