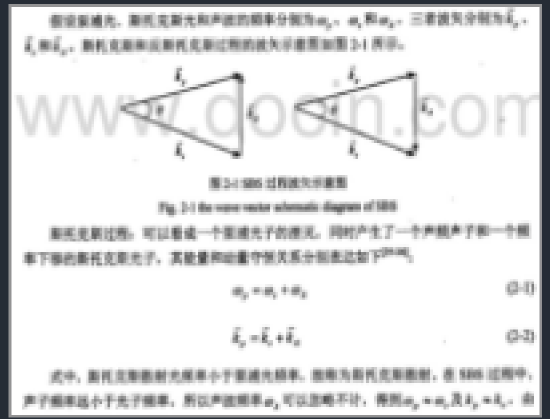
- 课后作业一
  - 作业一：已知 光纤 SiO_2 在 1.55 μm 波长 的 损耗，约为 0.2 db / km，计算 用 SiO_2 制备 的 光学微腔 Q 的 极限 是多少?
    - 假设 两面镜子 完全不损耗，只存在 腔内的介质 的 传输损耗，则根据 寿命 和 吸收系数的定义 τ 为传输 到 1/α 时，所用 的 时间
      - 即 $\tau = \frac{1}{\alpha \cdot c/n} = \frac{n}{\alpha \cdot c} = \frac{1.4628}{0.000955 \cdot 2.9979 \times 10^8} = 5.11 \times 10^{-6} s$
        - α = 0.2 dB / km = $10^{\frac{-0.2}{10}}$ = 0.955 / km = 0.000955 / m
        - n(1550nm) = 1.4628
          - (from https://zhidao.baidu.com/question/466233852.html)
      - $Q_{max} = \tau \cdot \omega = 5.11 \times 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot \frac{c}{\lambda} = 5.11 \times 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot \frac{2.99792 \times 10^8}{1.55 \times 10^{-6}} = 6.21 \times 10^9$
  - 作业二：拉比学派
    - 拉比 I.I.Rabi 的 直系 学生中，总共有 4 个 获得了诺贝尔奖
      - 在 二战 后不久，由于 磁共振效应 的 发明，拉比 获得了 1944 年 的 诺贝尔奖
        - 这 直接 导致 了 Kusch 库什 在之后 因 精密测定 电子磁矩 获得 1955 年 的 诺贝尔奖
      - 拉姆齐 Ramsey 在1989年，因其 研发了 超精密铯原子钟 和 氢 Maser 微波激射器 而获得 诺贝尔物理学奖
        - 他的研究 为 核磁共振技术（MRI） 的研发奠定了基础
      - 1995年，卡尔·威曼（Carl Wieman）和 埃里克·康奈尔（Eric Cornell）成功地 在 稀有原子气体中，实现了 1924 年 所预测 的 Bose-Einstein 凝聚 这一现象。
    - 不完全统计，拉比 Tree 的 学生中，总共有 19 个 获得了 诺贝尔奖
      - 所以 拉姆齐 Ramsey 说 "The Rabi Tree is now the Rabi Forest."，拉比 树，已经成为 拉比森林 了

- 课后作业一
  - 作业一：已知 光纤 SiO_2 在 1.55 μm 波长 的 损耗，约为 0.2 db / km，计算 用 SiO_2 制备的 光学微腔 Q 的极限 是多少？
    - 假设 两面镜子 完全不损耗，只存在 腔内的介质 的 传输损耗，则根据 寿命 和 吸收系数的定义 ❗ τ 为 传输 到 1/α 时，所用 的 时间
      - 即 $\tau = \frac{1}{\alpha \cdot c/n} = \frac{n}{\alpha \cdot c} = \frac{1.444}{4.6\times10^{-5}\cdot2.99792\times10^{8}} = 1.04\times10^{-4}s$
        - $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ / m = 0.2 dB / km = $10^{\frac{-0.2}{10}}$ = 0.955 / km
          - 根据 $\frac{P_{out}}{P_{in}} = e^{-\alpha\cdot1000m}$ = 0.955
            - 得 $\alpha = -\frac{log_e(0.955)}{1000} = 4.6\times10^{-5}m^{-1}$
        - n(1550nm) = 1.444
          - (from https://zhidao.baidu.com/question/466233852.html)
      - Q_{max} = τ · ω = $1.04\times10^{-4}\cdot2\pi\cdot\frac{c}{\lambda} = 1.04\times10^{-4}\cdot2\pi\cdot\frac{2.99792\times10^{8}}{1.55\times10^{-6}} = 1.27\times10^{11}$
  - 作业二：拉比学派
    - 拉比 I.I.Rabi 的 直系 学生中，总共有 4 个 获得了诺贝尔奖
      - 在 二战 后不久，由于 磁共振效应 的 发明，拉比 获得了 1944 年 的 诺贝尔奖
        - 这 直接 导致 了 Kusch 库什 在之后 因 精密测定 电子磁矩 获得 1955 年 的 诺贝尔奖
      - 拉姆齐 Ramsey 在1989年，因其 研发了 超精密铯原子钟 和 氢 Maser 微波激射器 而获得 诺贝尔物理学奖
        - 他的研究 为 核磁共振技术（MRI） 的研发奠定了基础
      - 1995年，卡尔·威曼（Carl Wieman）和 埃里克·康奈尔（Eric Cornell）成功地 在稀有原子气体中，实现了 1924 年 所预测 的 Bose-Einstein 凝聚 这一现象。
    - 不完全统计，拉比 Tree 的 学生中，总共有 19 个 获得了 诺贝尔奖
      - 所以 拉姆齐 Ramsey 说 "The Rabi Tree is now the Rabi Forest."，拉比 树，已经成为 拉比森林 了

- 作业三
  - 1. 推导在 FP 和 WGM 谐振腔 内 单个光子 产生的力 分别为 $F = \frac{\hbar\omega}{L}$ 、 $F = \frac{\hbar\omega}{R}$
    - 据 德布罗意 关系，光子动量 ❗ $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} = \frac{\hbar\omega}{c}$
      - 对于 FP 腔，光打到 某面镜子 并反射 后
        - 光子动量 改变量 $\Delta p = \frac{2\cdot\hbar\omega}{c}$
        - 光子撞 同一个壁 的 周期 $\Delta t = \frac{2\cdot L}{c}$
          - 光子撞了 一次镜壁后，需要 在 FP 腔里，来回走一圈，即 2·L 的 光程，才能 第二次 撞同一个镜壁
        - 所以同一个镜面，因单光子动量改变，在单光子寿命时间内，受到的持续的 光压力的大小 为： $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\frac{2\hbar\omega}{c}}{\frac{2L}{c}} = \frac{\hbar\omega}{L}$
      - 对于 WGM 腔，在驻波条件下，认为光子 转一周 回到 原位置，则 光子的路径 是 正多边形
        - 则 考虑腔壁中 某一固定的、被光子 碰撞的位置
          - 假设 光子在撞壁 前，所处的 多边形 的 某条边，其作为 圆腔壁 的 某条弦，所对应的 弦心角 为 $\Delta\theta$
            - 该位置的 腔壁，对单光子 的单次反射，对应的 光子动量改变量 为 $\Delta p = \frac{2\cdot\hbar\omega}{c}\cdot\cos(\frac{\pi-\Delta\theta}{2}) = \frac{2\cdot\hbar\omega}{c}\cdot\sin(\frac{\Delta\theta}{2})$
            - 每次反射（碰撞）与下次反射（碰撞）间，光子传播的时长为： $\Delta t = \frac{R\cdot 2}{c}\cdot\sin(\frac{\Delta\theta}{2})$
              - 该次全反射 所对应的 光子所走光程为 $R\cdot 2\cdot\sin(\frac{\Delta\theta}{2})$
            - 该壁点处的 光力 $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\frac{2\cdot\hbar\omega}{c}\cdot\sin(\frac{\Delta\theta}{2})}{\frac{R\cdot 2}{c}\cdot\sin(\frac{\Delta\theta}{2})} = \frac{\hbar\omega}{R}$
  - 2. 计算 腔长分别为 $1\ \mu\mathrm{m}$ 、 $100\ \mu\mathrm{m}$ 、 $1\ \mathrm{mm}$ 时，单个光子 产生的 光力大小
    - 据 $n\cdot L = m\cdot\lambda$
      - 得 $\nu = \frac{m\cdot c}{n\cdot L}$
        - 即 $\hbar\omega = h\frac{m\cdot c}{n\cdot L}$
          - 则 $F = \frac{\hbar\omega}{L} = h\frac{m\cdot c}{n\cdot L^2}$
            - 又 $m \geq 1$
              - 则 $F \geq h\frac{c}{n\cdot L^2}$
              - 即 单个光子 对腔产生的力，至少是 $F \geq 6.62607015\times 10^{-34}\cdot\frac{2.99792\times 10^{8}}{n\cdot L^2} = \frac{1.99\times 10^{-25}}{n\cdot L^2}$
    - 取 $n = 1$ ；且 对于 FP 腔 ❗ 和 WGM 腔 ❗，都认为 L = 上述尺寸
      - 对于 $L = 1\ \mu\mathrm{m}$
        - 光力 $F \geq 0.2\ \mathrm{pN}$
      - 对于 $L = 100\ \mu\mathrm{m}$
        - 光力 $F \geq 2.0\times 10^{-5}\ \mathrm{pN}$
      - 对于 $L = 1\ \mathrm{mm}$
        - 光力 $F \geq 2.0\times 10^{-7}\ \mathrm{pN}$

- 作业五：为什么光纤中一般只能存在反向受激布里渊散射？
  - 对于散射，哪怕是这里所讨论 的，声子作为 散射中心 的 非弹性散射
    - 一般而言，光 在 被声子 散射 前后 频移变化量也是很小的
      - 所以 光 在 被声子 散射 前后，频率变化量 or 能量变化量 对光波本身的 高频率 可以忽略不计
      - 并且 因此，光波 的 波矢改变量 相对于 短波长、大波矢 的 光波矢，也可以忽略不计
        - 因此有 $\omega_p \approx \omega_s$ 、 $k_p \approx k_s$ ，那么 stokes、反 stokes 过程 中，动量守恒 所构成 的 波矢三角形 近似 等腰三角形，如图所示：
        - 
          - 因此有 $k_A \approx 2 \cdot k_p \cdot sin\frac{\theta}{2}$
            - 而光纤中 θ 只能取 0 或 π
              - 但若取 0 则等价于 正常传播、没发生 散射、没产生声子
              - 所以 取 π，以至于 $k_A \approx 2 \cdot k_p$ ，以至于 $\omega_A \approx 2 \cdot k_p \cdot v_A$
                - 因此 光纤中一般只能存在反向受激布拉格散射
                  - 对于 stokes 过程
                    - 能量守恒与动量守恒过程为： $\omega_p = \omega_s + \omega_A$ 、 $k_p = k_s + k_A$
                      - 于是有 $\omega_s = \omega_p - \omega_A = \omega_p - 2 \cdot k_p \cdot v_A$
                      - 频移量约为 $\Delta\omega = \omega_s - \omega_p = -2 \cdot k_p \cdot v_A$
                  - 对于反 stokes 过程
                    - 能量守恒方程变为 $\omega_p + \omega_A = \omega_s$
                      - 频移量为 $\Delta\omega = \omega_s - \omega_p = 2 \cdot k_p \cdot v_A$