問１
式の解釈は本文の説明どおり。

e=1.6x10^{-19}Cだから、$S/N=\frac{\langle I\rangle^2}{{i_{rms}}^2}=\frac{\langle I\rangle}{2e\Delta f}$ =100

より $\Delta f=\frac{\langle I\rangle}{2e[S/N]}$ =(1x10^{-12})/[2x1.6x10^{-19}x10^2]=30 kHz
同様の計算で、10nA 程度。

問 2
R=1kΩ、Δf ＝5MHz、T＝290K (kT = 1.4x10^{-23}x 290 J=4x10^{-21}J) を[4kTΔf R]$^{1/2}$に代入すると、9μVになる。

問 3
共振器を光が 1 往復する時間は、屈折率を 1 とするから、2L/cである。この周期に一回、反射損失(１－R)＝1%で光が逃げていく：共振器の光子寿命はt_c=2L/[c(1-R)] =2x1/[3x10^{8}x0.01](s)=6.7x10^{-7}s､共振器の共鳴幅（全幅）は$\Delta\nu_{1/2}=1/(2\pi t_c)$=240kHzとなる。
$\Delta\nu_{laser}=\frac{2\pi h\nu_0(\Delta\nu_{1/2})^2\mu}{P}$ から、パワーを 1mW、レーザー周波数をν_0=4.7Ｘ10^{14}Hz、μ=1 として、自然放出の揺らぎで決まる発振線幅の下限は 0.1Ｘ10^{-3}Hzと、非常に小さい。

共振器長 300μm、n=3.5 の半導体レーザーについて、共振器の共鳴幅は、両端で 30%程度の反射率だからtc=5x10^{-12}s、つまり$\Delta\nu_{1/2}$=3x10^{10}Hz程度と見積もられる。発振周波数が 3.5Ｘ10^{14}Hz、パワーが 3mW、μ=3 のとき、発振線幅は 1x10^{6}Hz程度となる。

これら２種のレーザーの線幅の差は、その光子寿命の差に由来する。半導体レーザーを外部キャビティで動作させて光子寿命を延ばせば、その線幅も小さくなるはずである。

He-Ne レーザーの場合、理論極限が小さすぎるので、実験的にこれが実現されるかどうかをテストすることが困難であるが、半導体レーザーの場合はテスト可能な範囲に入ってくる。半導体レーザーで出力パワーと線幅の関係を実験的に確かめたところ、1/P のカーブにはのるが、その絶対的な値は 1 桁から 2 桁程度大きくなる実験事実が報告された(30 年も前のこと)。その理由は、半導体レーザの中の屈折率が自然放出に伴ってゆらぐためであると考えると妥当だということになった。(自然放出が起きるとキャリヤー密度が変わり、そのため屈折率も変わる。)