

WIGGLER の設計

冨家 和石 山川 達也 東大原子核研究所

放射光の光源として電子ストレージリングを考える時、これから得られる光の波長と強度はストレージリングの構造と貯められる電子のエネルギーと強度によって限界がある。スペクトルのピーク的位置に対応する波長 λ_p は $(BE^2)^{-1}$ に比例するから若し軌道の上に強い磁場の組合せをおくことが出来ればエネルギーを上げることも更に短波長の光源と作り得る。Fig.1の様なる3つの磁石の組合せをストレージリングの直線部に入れると電子の軌道は B_1 で ψ だけ偏向して元の軌道から l ははれ、 B_2 で -2ψ だけ偏向して元の軌道に近づき、 B_3 で B_1 と同じ方向に ψ 偏向して元の軌道と一致し他に影響を与えることもなく平衡軌道はこの部分だけ変形させることが出来て、磁場の強さに応じた波長の光源になる。この磁場の組合せをWIGGLERと呼んでいる。

Fig.2にPF 2.5 GeV ストレージリングの主偏向磁石及びウグラーで得られる放射光のスペクトルを示す。ウグラーでのエネルギー損失は全偏向角 4ψ に比例する。磁場を60 KGにした時の2.5 GeVの電子のエネルギー損失をFig.3に示す。PF 2.5 GeV ストレージリングの軌道一周のエネルギー損失は0.417 MeVであることから見ても高周波加速に及ぼす影響は大きい。従って偏向角は出来るだけ小さくすることが望ましい。放射光に対する要求と高周波からの要求から磁場 B は大きく、偏向角 ψ は出来るだけ小さくしたい。従って磁石の長さ l は小さくする。磁石のgapが大きいと殆んどfringing fieldにたいし所要の磁場を得ることが困難になるのでgapは可能な限り小さくする必要がある。垂直偏向型ウグラーの場合gapは半径方向のビーム広がりをカバーする必要があるが、ビームは入射時にはドーナツ一杯($\sim \pm 40$ mm)に広がっており、減衰した後は $\sim \pm 2$ mmになる。ビームの入射時に磁石を軌道から分離しておく、減衰後軌道に入れるとすると入射時をさけて考えることが出来るからgapは ~ 10 mmで充分である。このため2つに切り離すこと出来る磁気シールドをもった超電導磁石が要求される。ウィンドフレーム型の磁気シールド

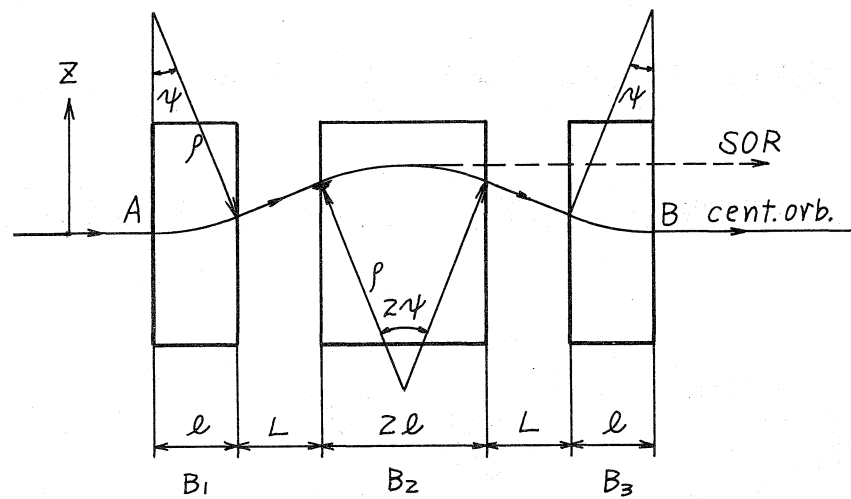


Fig.1 Schematic diagram of WIGGLER

をもった超電導コイルの磁気特性はFig.3の様になり、磁場分布については殆んど空芯磁石と同じである。磁束密度は使用する鉄材によるが、空芯に比して約2倍程度増強出来ることわかる。磁石は3組の超電導コイルを同一の磁気シールドに取り付け、直列に接続して励磁される。この様な装置を直線部に入れた時の軌道に及ぼす影響について考えるとFig.1の様になる元の

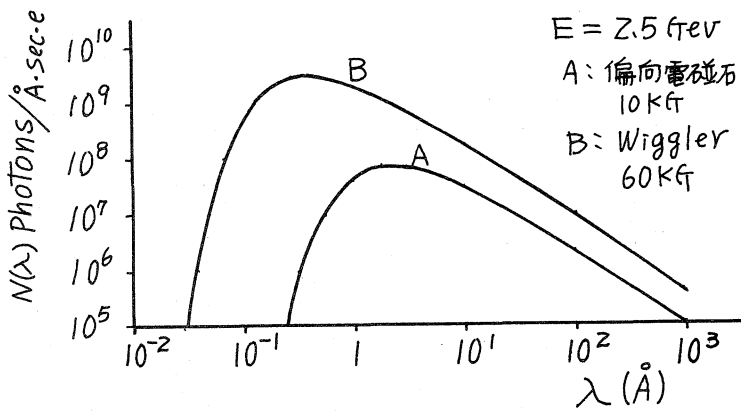


Fig. 2 スペクトル分布

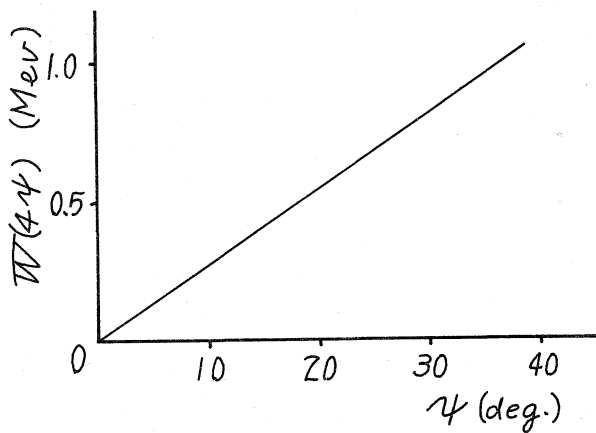


Fig. 3 WIGGLER内のエネルギー損失

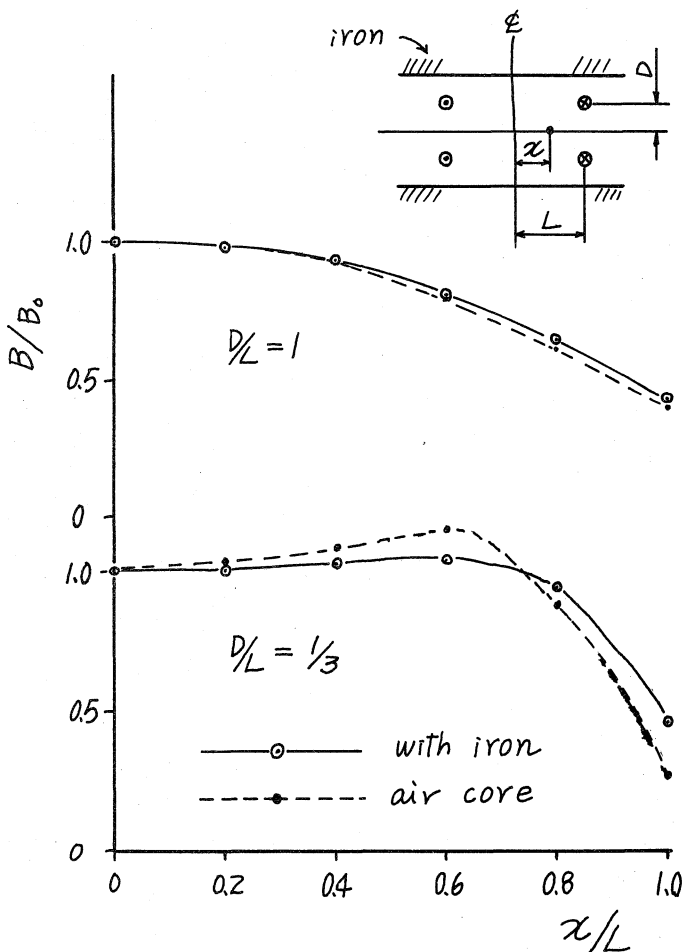


Fig. 4 ウィンドフレーム型磁気シールドをもつT=超電導コイルによる磁場分布

平衡軌道に直角で平行な端面をもつT=磁石の構成の場合、この系を電子が通過する時の Transfer Matrix Γ は垂直、半径方向については

$$\Gamma_z = \begin{pmatrix} 1 & \frac{4L}{\cos \psi} + \frac{2L}{\cos^3 \psi} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\approx \begin{pmatrix} 1 & L_0 + (2L+3L)\psi^2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Gamma_r = \begin{pmatrix} 1 & \frac{4L\psi}{\sin \psi} + \frac{2L}{\cos \psi} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\approx \begin{pmatrix} 1 & L_0 + (\frac{2}{3}L+L)\psi^2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

で与えられる。これは両方向に對して free space の形であり、軌道の長さが少し長くあることを示す。計算の結果 $\psi = 4^\circ$ の時ベータatron振動数のずれ $\Delta \nu$ は 5×10^{-5} 程度であり充分小さく Radiation damping 等に対する影響も小さい。

参考文献

1. A "WAVE LENGTH SHIFTER" FOR THE UNIVERSITY OF WISCONSIN ELECTRON W.S. Trzeciak, IEEE Nucl. Sci. NS-18 No.3 213
2. "TANTALUS-1: A DEDICATED STORAGE RING SYNCHROTRON RADIATION SOURCE" E.M. ROWE & F.E. MILLS Part. Acc. Vol.4 No.4 211
3. "SYNCHROTRON RADIATION AT THE CAMBRIDGE ELECTRON ACCELERATOR" Herman Winick IEEE Nucl. Sci. NS-20 No.3 984