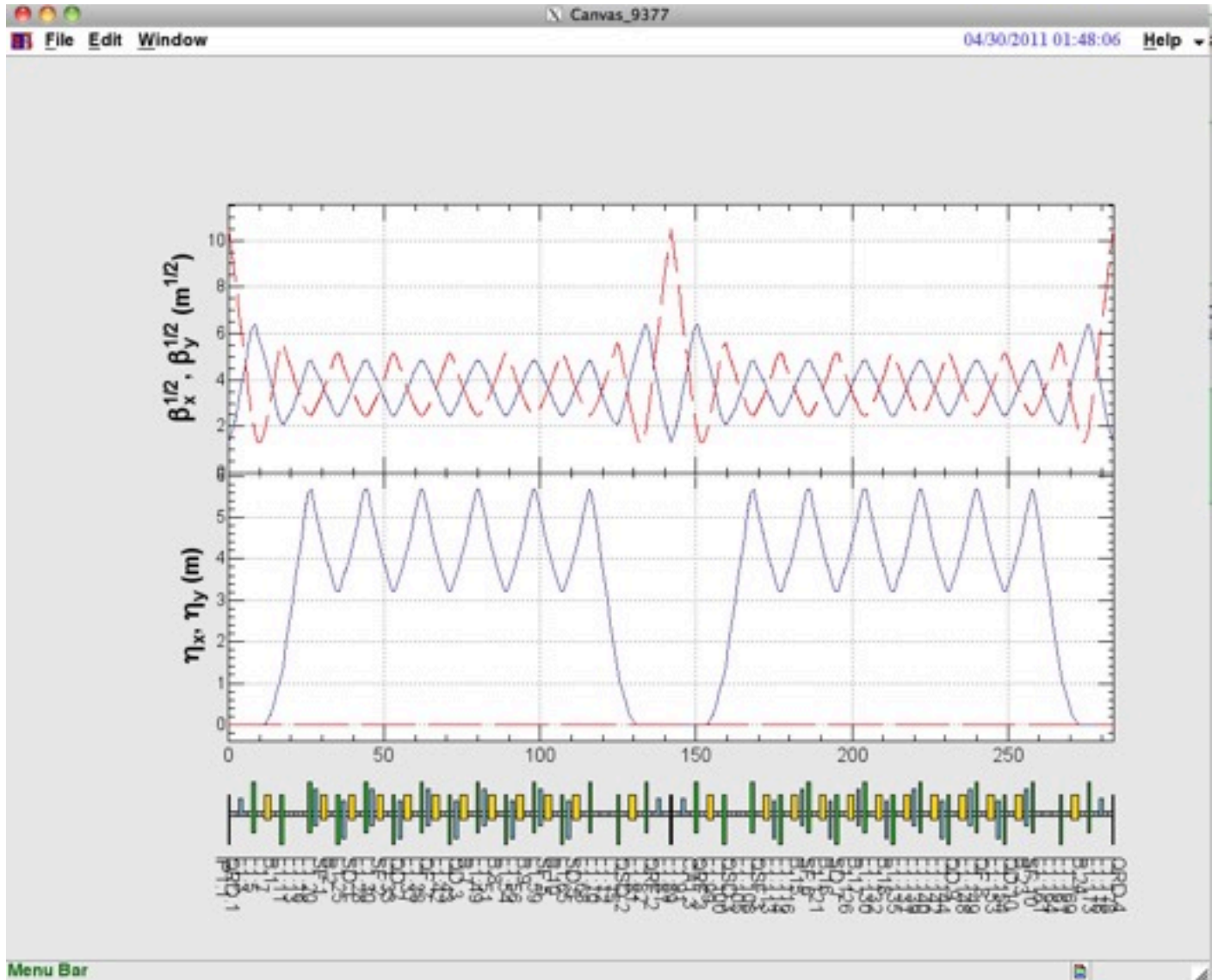


FODOcell.sadを実行し、次の図が出る所まで、"in 77"を入力し続ける。



```
end;!5
```

ここで、ようやく全周のオプティクスが完成した、各種パラメータを見てみよう。

```
In[42]:= emiout;emit;
```

Closed orbit:

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
Entrance :	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
Exit :	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

Symplectic part of the transfer matrix:

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	-.607983	1.416528	.000000	.000000	6.51E-17	7.41E-14
px/p0 :	-.445002	-.607983	.000000	.000000	-2.7E-16	1.53E-14
y :	.000000	.000000	-.749024	-72.9531	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	.006017	-.749024	.000000	.000000
z :	4.11E-14	-5.3E-14	.000000	.000000	.902210	-21.8235
dp/p0 :	1.48E-16	-3.3E-16	.000000	.000000	.008524	.902210

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.000000	.000000	.000000	.000000	-5.8E-16	9.45E-14
px/p0 :	.000000	1.000000	.000000	.000000	-1.4E-16	-4.1E-14
y :	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
z :	-4.1E-14	-9.4E-14	.000000	.000000	1.000000	.000000
dp/p0 :	1.38E-16	-5.8E-16	.000000	.000000	.000000	1.000000

Extended Twiss Parameters:

AX: -3.3E-15	BX: 1.784152	ZX: -2.7E-16	EX: 4.20E-14
PSIX: -2.8E-30		ZPX: -8.1E-17	EPX: -3.4E-15
R1: .000000	R2: .000000	AY: -4.5E-14	BY: 110.1107
		ZY: .000000	EY: .000000

R3: .000000 R4: .000000 PSIIY: .000000 ZPY: .000000 EPY: .000000
 AZ: 5.09E-14 BZ: 50.59996
 PSIZ: 6.24E-17

Units: B(X,Y,Z), E(X,Y), R2: m | PSI(X,Y,Z): radian | ZP(X,Y), R3: 1/m

Design momentum P0 = 1.0000000 GeV Revolution freq. f0 = 1055607.1 Hz
 Energy loss per turn U0 = .0115798 MV Effective voltage Vc = 4.0000000 MV
 Equilibrium position dz = 1.3085138 mm Momentum compact. alpha = .0791212
 Orbit dilation dl = .0000000 mm Effective harmonic # h = 100.00000
 Bucket height dV/P0 = .0178992

Eigen values and eigen vectors:

Real:-0.6079825-0.6079825-0.7490236-0.7490236 0.9022104 0.9022104
 Imaginary: 0.7939504-0.7939504-0.6625433 0.6625433-0.4312961 0.4312961
 Imag.tune:-0.0000000 0.0000000 -0.0000000
 Real tune: 0.3540105 -0.3847385 -0.0709718

	X	Px	Y	Py	Z	Pz
x :	1.335722	.000000	.000000	.000000	-1.9E-15	5.90E-15
px/p0 :	2.50E-15	.748659	.000000	.000000	-5.8E-16	-4.8E-16
y :	.000000	.000000	10.49336	.000000	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	4.33E-15	.095298	.000000	.000000
z :	-4.0E-14	7.20E-15	.000000	.000000	7.113365	4.44E-16
dp/p0 :	2.25E-17	1.37E-16	.000000	.000000	-7.2E-15	.140580

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
X :	.748659	.000000	.000000	.000000	1.37E-16	-7.2E-15
Px :	-2.5E-15	1.335722	.000000	.000000	-2.2E-17	-4.0E-14
Y :	.000000	.000000	.095298	.000000	.000000	.000000
Py :	.000000	.000000	-4.3E-15	10.49336	.000000	.000000
Z :	-4.8E-16	-5.9E-15	.000000	.000000	.140580	-4.4E-16
Pz :	5.78E-16	-1.9E-15	.000000	.000000	7.16E-15	7.113365

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.000000	.000000	.000000	.000000	-4.7E-16	3.41E-15
px/p0 :	.000000	1.000000	.000000	.000000	-9.3E-16	-6.2E-15
y :	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
z :	-6.2E-15	-3.4E-15	.000000	.000000	1.000000	.000000
dp/p0 :	9.32E-16	-4.7E-16	.000000	.000000	.000000	1.000000

Radiation part of the transfer matrix:

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.512E-6	-4.38E-6	.000000	.000000	-2.63E-8	-3.50E-6
px/p0 :	1.375E-6	2.246E-6	.000000	.000000	1.562E-8	4.142E-6
y :	.000000	.000000	4.261E-6	4.224E-4	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	-3.48E-8	4.413E-6	.000000	.000000
z :	1.182E-6	-1.00E-6	.000000	.000000	1.043E-6	3.116E-4
dp/p0 :	4.457E-9	-7.50E-9	.000000	.000000	-1.22E-7	-2.68E-5

	X	Px	Y	Py	Z	Pz
X :	1.512E-6	-2.45E-6	.000000	.000000	-1.40E-7	-3.69E-7
Px :	2.454E-6	2.246E-6	.000000	.000000	1.485E-7	7.777E-7
Y :	.000000	.000000	4.261E-6	3.836E-6	.000000	.000000
Py :	.000000	.000000	-3.84E-6	4.413E-6	.000000	.000000
Z :	2.219E-7	-1.05E-7	.000000	.000000	1.043E-6	6.158E-6
Pz :	4.235E-8	-4.00E-8	.000000	.000000	-6.16E-6	-2.68E-5

Damping per one revolution:

X : -3.090634E-06 Y : -5.789859E-06 Z : -1.427879E-05

Damping time (sec):

X : 0.306514 Y : 0.163617 Z : 6.634473E-02

Tune shift due to radiation:

X : 4.149567E-13 Y : -7.280354E-14 Z : 4.149452E-12

Damping partition number:

X : 0.5338 Y : 1.0000 Z : 2.4662

Beam matrix by radiation fluctuation:

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x	4.887E-12					

px/p0	-1.27E-13	1.645E-12				
y	.00000000	.00000000	.00000000			
py/p0	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000		
z	-3.91E-12	7.694E-12	.00000000	.00000000	7.342E-10	
dp/p0	5.521E-13	-6.12E-13	.00000000	.00000000	-4.65E-11	4.131E-12
	X	Px	Y	Py	Z	Pz
X	2.739E-12					
Px	-1.27E-13	2.934E-12				
Y	.00000000	.00000000	.00000000			
Py	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000		
Z	-4.12E-13	1.445E-12	.00000000	.00000000	1.451E-11	
Pz	2.940E-12	-5.82E-12	.00000000	.00000000	-4.65E-11	2.090E-10

Equilibrium beam matrix:

	X	Px	Y	Py	Z	Pz
X	4.5893E-7					
Px	1.112E-13	4.5893E-7				
Y	.00000000	.00000000	.00000000			
Py	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000		
Z	1.633E-13	5.471E-18	.00000000	.00000000	3.9141E-6	
Pz	2.538E-17	-1.86E-12	.00000000	.00000000	1.391E-12	3.9141E-6
	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x	8.1881E-7					
px/p0	1.112E-13	2.5723E-7				
y	.00000000	.00000000	.00000000			
py/p0	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000		
z	1.551E-12	2.912E-17	.00000000	.00000000	1.9805E-4	
dp/p0	4.769E-18	-1.96E-13	.00000000	.00000000	1.391E-12	7.7353E-8

Emittance X	= 4.58933E-7 m	Emittance Y	= .000000000 m
Emittance Z	= 3.91405E-6 m	Energy spread	= 2.78124E-4
Bunch Length	= 14.0730592 mm	Beam tilt	= .000000000 rad
Beam size xi	= .90487916 mm	Beam size eta	= .000000000 mm

課題 (D)

1. ここで得られたSymplectic part of the transfer matrixから、3自由度の電子の運動が、3つの独立した円上の回転で表されることが判る。ここで加速空洞の電圧を0にしたらSymplectic part of the transfer matrixの成分は何処がどのように変化するか？まず頭で考えて、回答と計算方法を述べ、その後、SAD計算により数値的に確認せよ。
2. ここで得られたシンクロトロン振動数は負であるが、正になる場合はどんな時か？
3. Energy spreadを基にしてBunch Lengthを手計算によって求めよ。ここで何故、Emittance Zを基にして計算と言わなかったか、その心理的理由を推察せよ。
4. FODOcell.sad入力ストリーム中、下記部分が意味する所を解釈せよ。

```
! ***** TOTAL RING *****
```

```
!
```

```
ncell=(nbends/2-2)/2; ! number of unitcells per half ring
```

```
!           Defining a half ring, removing the
```

```
!           first QF and IP1 markers in unitcell
```

```
hring=BeamLine[IP1,-supp,Rest[ncell*Rest[unitcell]],supp];
```

```
USE Join[hring,-hring]; ! switch to full ring
```

```
CELL;           ! now periodic condition again
```

ここで、関数Rest[]の意味については、MathematicaのHelpを参照のこと。一般に、SADホームページ記載「SAD/FFS & SADScript」で説明されていない関数の意味が、保証はされていないが、MathematicaのHelpから推察できることがある。

KEKはWolfram社とMathematicaのサイトライセンス契約を行っている。利用希望者は手続きをすれば、KEKに所属するパソコン上で、自由に使用できる。申請に際しては、<http://ccwww.kek.jp/kek/root/mathematica/news.html> から、各プラットホーム毎の説明を見る。

5. ノーマルセル水平方向の位相進行を 120° とした場合（垂直方向は 90° のまま）に、運動量分散部を設計せよ。マッチング途中で生じる困難の理由を、4極磁石強度と運動量分散関数の変化に注目し、考察せよ。そのうえで、周長を変えない条件下でLattice構造に最低限の変更を施し、マッチングを完成させよ。
6. 上に得たLatticeから全周を構築し、クロマティシティ補正、ダイナミックアパーチャサーベイを行い、水平方向 90° セルとの違いを体験せよ。

課題 (E)

1. emit 0.02;とすることで出力されるものを理解し、クロマティシティ補正前後での変化を吟味せよ。
2. クロマティシティ (色収差) 補正前後における、運動量がずれた (例えば $\pm 2\%$) ビーム粒子が従う、全周に渡っての光学関数 (β 関数と運動量分散関数) の振る舞いをSADを使って計算・比較せよ。
3. クロマティシティ (色収差) 補正の目標や補正後オプティクスを検証において、この例では水平・垂直方向のベータatronチューンのみ扱っている。加速器の目的に応じて要求ビーム性能は異なるので、色収差補正の理由や方法にも違いがあるだろう。次の各種加速器からいくつかを選び、色収差の補正方法と評価視点について調べよ。
陽子シンクロトロン、放射光源リング、電子・陽電子貯蔵型コライダー、陽子・陽子貯蔵型コライダー、電子・陽電子リニアコライダー
4. この例が示すダイナミックアパーチャサーベイの結果からは、アパーチャを制限する物理的原因の究明が難しい。正規化座標で、3個の円運動の直積で表されたビーム粒子の線形運動が、非線形力の影響によって、運動が歪んで行き、最終的にダイナミックアパーチャ限界が形成される様子を知るためには、どのようなことをすればよいか考察し、それを実装したSAD入力例を作成せよ。