

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Chiang Mai University

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

ตัวควบคุมโปรแกรมและตัวอย่างข้อมูลที่ป้อนเข้าในโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่

ก. ตัวควบคุมการทำงานของโปรแกรม ประกอบด้วย

1. ตัวควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมหลัก DC และ LC ได้แก่

MODE เป็นตัวบ่งชี้ประเภทดาวคู่ เป็นเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ -1 ถึง 6 โดยที่

MODE -1 เป็นดาวคู่เอกซ์เรย์ (X-ray Binaries)

MODE 0 เป็น Mode ที่ใกล้เคียงกับแบบจำลองของ Russell ใน Mode นี้อัตรา  
ส่วนของกำลังส่องสว่างจะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิว

MODE 1 เป็นดาวคู่แบบติดกัน เช่นดาว W Uma

MODE 2 เป็นดาวคู่แบบแยกกัน

MODE 3 เป็นดาวคู่แบบติดกัน แต่อุณหภูมิดาวดวงที่ 2 สามารถปรับค่าได้ นั่น  
คือ ดาวมีความสว่างพื้นผิวต่างกัน

MODE 4 เป็นดาวคู่แบบกึ่งติดกัน เมื่อดาวดวงที่ 1 เต็ม Inner Roche Lobe

MODE 5 เป็นดาวคู่แบบกึ่งติดกัน เมื่อดาวดวงที่ 2 เต็ม Inner Roche Lobe

MODE 6 เป็น Double Contact Binaries เมื่อดาวทั้งสองดวงเต็ม Inner Roche  
Lobe

IPB สำหรับ Mode 1-6 ถ้า IPB=0 โปรแกรมจะคำนวณค่ากำลังส่องสว่างของดาว  
ดวงที่ 2 ( $L_2$ ) จากอุณหภูมิของดาวดวงที่ 1 อุณหภูมิของดาวดวงที่ 2 กำลังส่องสว่างของดาวดวงที่  
1 และ Radiation Laws แต่ถ้า IPB=1 โปรแกรมจะใช้ค่า  $L_2$  ที่ป้อนเข้าไปกรณี Mode -1 และ 0  
กำหนด IPB=1 ไม่ได้

IFAT1, IFAT2 เป็นตัวกำหนดการแผ่พลังงานบนดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตาม  
ลำดับ ถ้า IFAT=0 เป็นการแผ่พลังงานของวัตถุดำ แต่ถ้า IFAT=1 การแผ่พลังงานจะได้รับการ  
ประมาณบรรยากาศของดาวฤกษ์

N1, N2 เป็น Grid Size ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ

VUNIT เป็นค่าความเร็วในแนวรัศมีที่ใช้ในโปรแกรม มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อวินาที  
ปกติค่า 100 km/s

MREF เป็นการกำหนดว่าจะใช้ผลของการสะท้อนจากกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Laws) หรือจากรายละเอียดอื่นๆ สำหรับดาวที่มีการหมุนแบบ Synchronous ใช้ MREF=1 ส่วนดาวที่มีการหมุนไม่เป็นแบบ Synchronous และดาวคู่แบบติดกันใช้ MREF=2

NREF เป็นจำนวนเต็มที่ใช้ในกรณีที่ MREF=2 เพื่อเป็นการกำหนดจำนวนผลของการสะท้อนเช่น NREF=1 หมายถึงมี 1 Reflection ถ้า NREF=2 หมายถึงมี 2 Reflection

IFSMV1, IFSMV2 เป็นจำนวนเต็มที่กำหนดการเคลื่อนที่ของจุดบนดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ ถ้า IFSMV=0 จุดจะไม่เคลื่อนที่ นั่นคือ Longitude มีค่าคงที่เมื่อเทียบกับศูนย์กลางของดาวทั้งสองดวง พบได้ในกรณีของจุดร้อน (Hot Spot) ที่เกิดจากธารของก๊าซ ถ้า IFSMV=1 จุดจะมีการเคลื่อนที่ไปตาม Longitude

## 2. ตัวควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมหลัก DC ได้แก่

KEEP's เป็นตัวกำหนด ว่ามีพารามิเตอร์ตัวใดบ้างที่ถูกปรับค่า ถ้า KEEP=0 จะสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ แต่ถ้า KEEP=1 จะไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้

IFDER, IFM, IFR เป็นตัวควบคุมการพิมพ์รายละเอียดของโปรแกรม กล่าวคือ IFDER ควบคุมการพิมพ์สมการของการสังเกต (Observation Equation) ทั้ง Unweighted และ Weighted เมตริกซ์ IFM ควบคุมการพิมพ์เมตริกซ์ของสมการปกติ (Normal Equations) ให้พิมพ์ผลลัพธ์ของสมการปกติ เมตริกซ์ของ Correlation Coefficient และค่าผลรวมของ เรซิดิวส์ (Residuals) IFR ควบคุมการพิมพ์ข้อมูลของรัศมี Derivatives ของรัศมีที่สัมพันธ์กับศักย์พื้นผิว (Surface Potentials) และอัตราส่วนมวล รวมทั้งพิมพ์ค่า Probable Errors ของรัศมี ถ้ากำหนดให้ค่าเหล่านี้เท่ากับ 1 โปรแกรมจะพิมพ์รายละเอียดดังกล่าว แต่ถ้ากำหนดให้เท่ากับ 0 โปรแกรมจะไม่พิมพ์รายละเอียดเหล่านี้

KSPA, NSPA, KSPB, NSPB เป็นตัวควบคุมจำนวนของจุดบนดาว ซึ่งอาจจะมีได้หลายจุด พิจารณาจุด A และจุด B ซึ่งอาจจะอยู่บนดาวดวงเดียวกัน หรือคนละดวงก็ได้ KSP เป็นการบอกว่าจุดอยู่บนดาวดวงไหน เช่น KSPA=1 หมายถึงจุด A อยู่บนดาวดวงที่ 1 หรือ KSPA=2 หมายถึง จุด A อยู่บนดาวดวงที่ 2 เป็นต้น NSP เป็นการบอกว่าจุดนั้นเป็นจุดที่เท่าไร เช่น KSPA=2 และ NSPA=3 หมายถึงจุด A คือจุดที่ 3 บนดาวดวงที่ 2 สำหรับการกำหนดจุด B ก็สามารทำได้เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น การปรับตำแหน่ง ขนาด และอุณหภูมิของจุด สามารถทำได้โดยการเซตจำนวนเต็ม 8 ตัวแรกของ KEEP's โดยที่จำนวนเต็ม 4 ตัวแรก เป็นของจุด A และ 4 ตัวหลังเป็นของจุด B

IFVC1, IFVC2 เป็นการกำหนดว่าจะใช้กราฟความเร็วของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ที่ใส่เข้าไปหรือไม่ เท่ากับ 0 หมายถึงไม่ใช่ ถ้าเท่ากับ 1 หมายถึงใช่

NLC เป็นจำนวนของกราฟแสงที่ใส่เข้าไป

KO เป็นตัวควบคุมที่มี 3 ทางเลือกที่ผู้ใช้จะสร้าง "Scratch Pad" ในโปรแกรม ถ้า KO=0 จะทำ Base Set และหยุด ถ้า KO=1 จะอ่านค่า Derivatives และ Residuals ที่เขียนเป็น Scratch Pad ในการรันก่อนหน้า โปรแกรมจะคำนวณเฉพาะ Weight และ Subset ที่ต้องการเท่านั้น ถ้า KO=2 โปรแกรมจะเขียน Derivatives และ Residuals ที่สร้างขึ้นในการรันบน Scratch Pad เพื่อใช้ในครั้งต่อไป ถ้าไม่ต้องการเปลี่ยน Content ปัจจุบันของ Scratch Pad หรือถ้าไม่มี Scratch Pad เราสามารถให้โปรแกรมดำเนินการกับหลายๆ Subsets ได้โดยการกำหนดค่า KO=2 และ KDISK=0

KDISK กำหนดค่า KDISK=1 เมื่อใช้ Scratch Pad หรือ KDISK=0 เมื่อไม่ใช้ Scratch Pad

ISYM เป็นตัวกำหนดคำตอบของโปรแกรม ถ้า ISYM=0 คำตอบเป็นแบบ Asymmetrical Derivatives แต่ถ้า ISYM=1 คำตอบเป็นแบบ Symmetrical Derivatives

N1L, N2L เป็น Grid Size แบบหยาบๆ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ N1 และ N2

### 3. ตัวควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมหลัก LC

PHN เป็นเฟสของการ Normalize

PHSTRT, PHSTOP เป็นเฟสแรกและเฟสสุดท้ายของผลลัพธ์ ที่โปรแกรมสร้างขึ้น อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

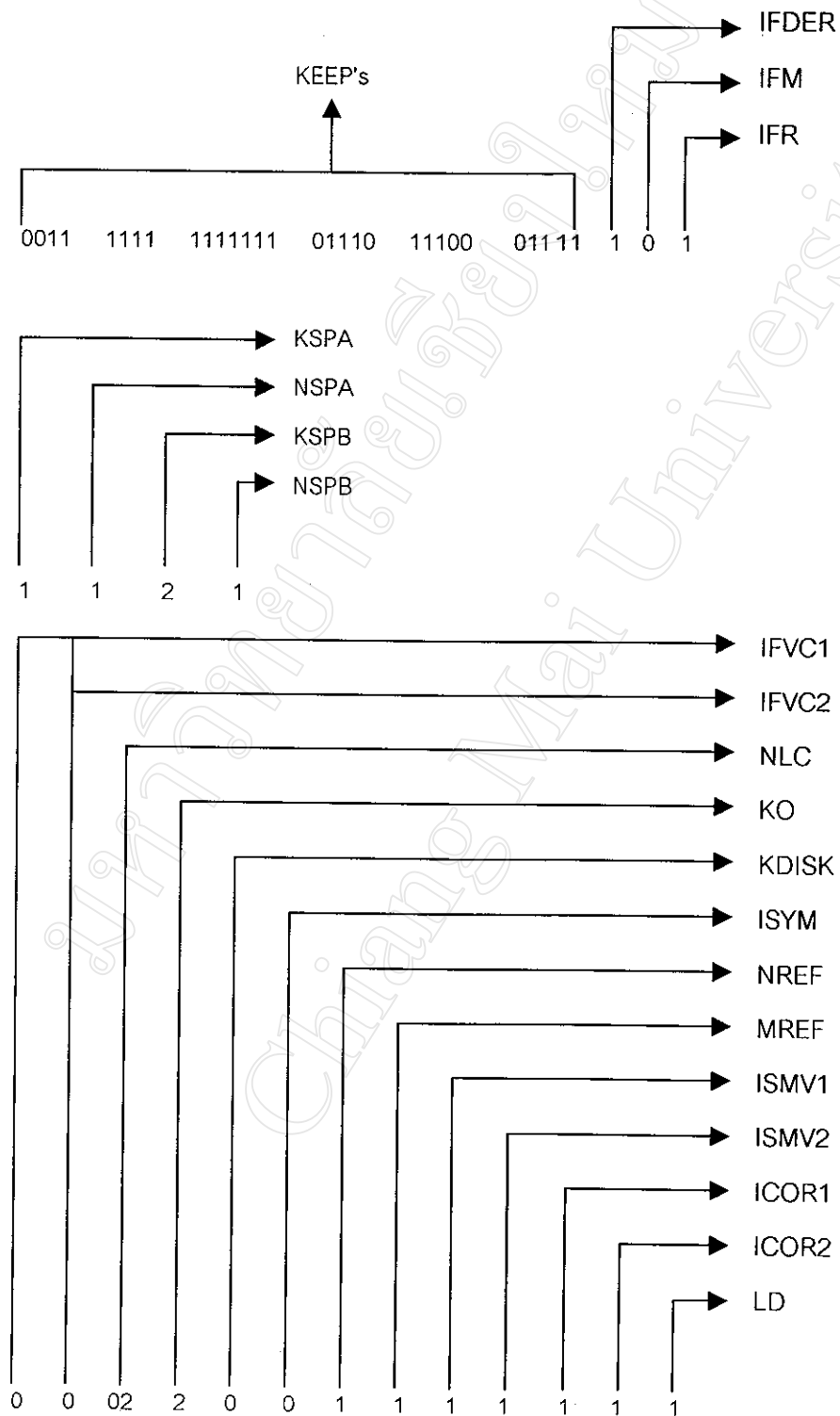
PHIN เป็นการเพิ่มของ เฟส (Phase Increment) สำหรับแต่ละจุดของผลลัพธ์ เช่น PHN=0.02 โปรแกรมจะสร้างผลลัพธ์ทุกๆ 0.02 ของเฟส โดยอยู่ในช่วง PHSTRT และ PHSTOP ที่กำหนด

IFRAD เป็นการคำนวณการแสดงผลของโปรแกรมกล่าวคือ ถ้า IFRAD=0 โปรแกรมจะแสดงค่าเฟส แสงของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ผลรวมของแสงของดาวดวงที่ 1 ดาวดวงที่ 2 และดาวดวงที่ 3 แสงที่ถูก Normalize ระยะทางระหว่างดาวในหน่วยของ Relative Orbital Semi-major Axis โชติมาตร ความเร็วของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ขณะอยู่ใกล้ที่สุดและผลของการเกิดอุปราคา ความเร็วในแนวรัศมีของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ในหน่วยที่กำหนดใน VUNIT ถ้า IFRAD=1 โปรแกรมจะแสดงปริมาณทั้ง 11 ตัว เหมือนกรณี IFRAD=0 และจะแสดงค่า Pole, Point, Side และ Back Radii ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ด้วย

ZERO เป็นจุดศูนย์ (Zero Point) สำหรับผลของโชติมาตรที่เฟส PHN  
FACTOR เป็น Scaling Factor ของคอลัมน์ที่แสงถูก Normalize

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Chiang Mai University

ข. ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรมหลัก DC



MODE  
 ↑  
 IPB  
 IFAT1  
 IFAT2  
 N1 N2 N1L N2L PERIOD THE VUNIT  
 04 0 0 0 18 14 09 07 0.4292E00 .0000 0250.000  
 ECC ARG.PERI a/Rsun F1 F2  $V_y$  PSHIFT i g1 g2  
 .0000 090.00 0005200 01.000 01.000 0.0000 0.0000 +83.856 01.000 00.320  
 T1 T2 A1 A2  $\Omega_1$   $\Omega_2$  m2/m1 x1(BOL) x2(BOL) y1(BOL) y2(BOL)  
 0.7500 0.4690 +1.000 +0.500 02.3639 02.4329 00.25481 0.700 0.400 0.000 0.000  
 WAVE LENGTH L1 L2 x1 x2 y1 y2  $\beta$  NOISE SIGMA  
 0.5500 01.5714 00.2500 0.580 0.880 0.000 0.000 0.0000 2 0.0200  
 300. ← STOP LINE FOR STAR 1 SPOTS  
 300. ← STOP LINE FOR STAR 2 SPOTS  
 FOR LIGHT CURVE # 1

| PH    | FLUX   | WT | PH    | FLUX   | WT | PH    | FLUX   | WT | PH    | FLUX   | WT | PH    | FLUX   | WT |
|-------|--------|----|-------|--------|----|-------|--------|----|-------|--------|----|-------|--------|----|
| .0064 | 0.0838 | 4  | .0154 | 0.0840 | 4  | .0259 | 0.0840 | 3  | .0328 | 0.0848 | 3  | .0402 | 0.0864 | 3  |
| .0452 | 0.0884 | 2  | .0502 | 0.0897 | 2  | .0556 | 0.0929 | 2  | .0603 | 0.0926 | 2  | .0646 | 0.0955 | 2  |
| .0696 | 0.0961 | 3  | .0776 | 0.1004 | 4  | .0844 | 0.1019 | 2  | .0929 | 0.1068 | 2  | .0976 | 0.1078 | 2  |
| .1017 | 0.1098 | 2  | .1058 | 0.1114 | 2  | .1098 | 0.1124 | 2  | .1139 | 0.1124 | 2  | .1179 | 0.1147 | 2  |
| .1220 | 0.1152 | 2  | .1285 | 0.1156 | 4  | .1346 | 0.1171 | 2  | .1389 | 0.1182 | 2  | .1463 | 0.1206 | 5  |
| .1541 | 0.1212 | 2  | .1583 | 0.1210 | 2  | .1644 | 0.1233 | 4  | .1760 | 0.1248 | 5  | .1872 | 0.1270 | 2  |
| .1942 | 0.1272 | 2  | .2011 | 0.1261 | 3  | .2068 | 0.1285 | 2  | .2113 | 0.1297 | 2  | .2195 | 0.1297 | 5  |
| .2288 | 0.1295 | 2  | .2346 | 0.1311 | 4  | .2399 | 0.1311 | 2  | .2452 | 0.1304 | 2  | .2501 | 0.1294 | 2  |
| .2549 | 0.1289 | 2  | .2637 | 0.1296 | 3  | .2704 | 0.1294 | 2  | .2766 | 0.1290 | 3  | .2822 | 0.1284 | 2  |
| .2867 | 0.1294 | 2  | .2922 | 0.1295 | 2  | .2976 | 0.1281 | 3  | .3039 | 0.1289 | 2  | .3084 | 0.1275 | 2  |
| .3129 | 0.1269 | 2  | .3175 | 0.1273 | 2  | .3224 | 0.1270 | 2  | .3269 | 0.1267 | 2  | .3314 | 0.1254 | 2  |
| .3358 | 0.1261 | 2  | .3399 | 0.1244 | 1  | .3477 | 0.1232 | 2  | .3522 | 0.1214 | 2  | .3565 | 0.1214 | 2  |
| .3615 | 0.1222 | 2  | .3662 | 0.1192 | 6  | .3784 | 0.1188 | 5  | .3948 | 0.1161 | 5  | .4033 | 0.1148 | 2  |
| .4102 | 0.1140 | 2  | .4142 | 0.1134 | 2  | .4201 | 0.1130 | 3  | .4241 | 0.1124 | 2  | .4346 | 0.1119 | 8  |
| .4495 | 0.1105 | 5  | .4607 | 0.1079 | 2  | .4701 | 0.1068 | 5  | .4816 | 0.1075 | 6  | .4939 | 0.1065 | 5  |
| .5059 | 0.1066 | 3  | .5158 | 0.1097 | 4  | .5223 | 0.1072 | 2  | .5288 | 0.1088 | 4  | .5351 | 0.1066 | 2  |
| .5409 | 0.1076 | 3  | .5462 | 0.1080 | 2  | .5526 | 0.1073 | 4  | .5625 | 0.1084 | 5  | .5752 | 0.1108 | 4  |
| .5847 | 0.1109 | 4  | .6075 | 0.1136 | 4  | .6162 | 0.1167 | 2  | .6309 | 0.1170 | 2  | .6583 | 0.1187 | 2  |
| .6668 | 0.1200 | 2  | .6978 | 0.1216 | 2  | .7074 | 0.1225 | 2  | .7175 | 0.1228 | 2  | .7294 | 0.1232 | 3  |
| .7408 | 0.1246 | 2  | .8075 | 0.1271 | 3  | .8272 | 0.1238 | 6  | .8394 | 0.1195 | 2  | .8444 | 0.1184 | 2  |
| .8501 | 0.1181 | 2  | .8609 | 0.1162 | 7  | .8795 | 0.1131 | 4  | .8864 | 0.1108 | 2  | .8920 | 0.1089 | 2  |
| .8999 | 0.1084 | 5  | .9085 | 0.1051 | 3  | .9182 | 0.1010 | 3  | .9262 | 0.0987 | 2  | .9301 | 0.0967 | 3  |
| .9351 | 0.0954 | 2  | .9428 | 0.0934 | 2  | .9482 | 0.0924 | 2  | .9555 | 0.0885 | 2  | .9635 | 0.0855 | 5  |
| .9708 | 0.0840 | 2  | .9765 | 0.0844 | 3  | .9845 | 0.0841 | 3  | .9936 | 0.0834 | 4  |       |        |    |



LIGHT

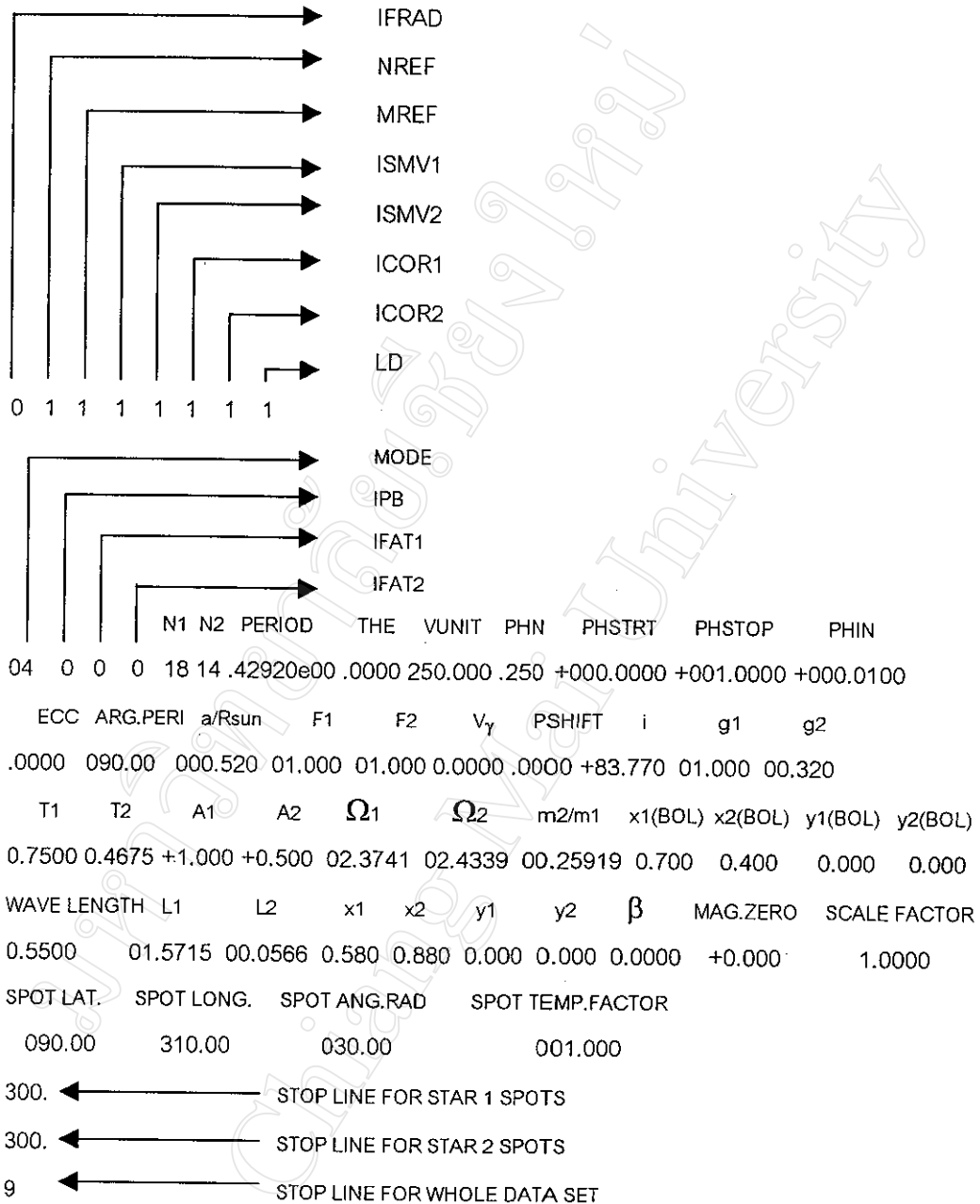
CURVE # 1

14.  STOP LINE

2  STOP LINE FOR WHOLE DATA SET



ค. ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรมหลัก LC



## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ผ1 ค่า Inner Potential ( $\Omega_{in}$ ) และ Outer Potential ( $\Omega_{out}$ )

| M2/M1       | $\Omega_{in}$ | $\Omega_{out}$ |
|-------------|---------------|----------------|
| 1.000000000 | 3.750000000   | 3.206796224    |
| 0.980000000 | 3.717427212   | 3.183237150    |
| 0.960000000 | 3.684705854   | 3.159586189    |
| 0.940000000 | 3.651831267   | 3.135839538    |
| 0.920000000 | 3.618798544   | 3.111993172    |
| 0.900000000 | 3.585602516   | 3.088042825    |
| 0.880000000 | 3.552237732   | 3.063983967    |
| 0.860000000 | 3.518698436   | 3.039811788    |
| 0.840000000 | 3.484978541   | 3.015521168    |
| 0.820000000 | 3.451071604   | 2.991106657    |
| 0.800000000 | 3.416970798   | 2.966562443    |
| 0.780000000 | 3.382668875   | 2.941882319    |
| 0.760000000 | 3.348158129   | 2.917059647    |
| 0.740000000 | 3.313430359   | 2.892087319    |
| 0.720000000 | 3.278476818   | 2.866957711    |
| 0.700000000 | 3.243288166   | 2.841662630    |
| 0.680000000 | 3.207854407   | 2.816193261    |
| 0.660000000 | 3.172164825   | 2.790540099    |
| 0.640000000 | 3.136207910   | 2.764692873    |
| 0.620000000 | 3.099971271   | 2.738640466    |
| 0.600000000 | 3.063441542   | 2.712370819    |
| 0.580000000 | 3.026604264   | 2.685870815    |
| 0.560000000 | 2.989443765   | 2.659126157    |
| 0.540000000 | 2.951943004   | 2.632121217    |
| 0.520000000 | 2.914083401   | 2.604838865    |
| 0.500000000 | 2.875844632   | 2.577260268    |
| 0.480000000 | 2.837204395   | 2.549364652    |
| 0.460000000 | 2.798138121   | 2.521129017    |
| 0.440000000 | 2.758618643   | 2.492527809    |

|             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| 0.420000000 | 2.718615789 | 2.463532508 |
| 0.400000000 | 2.678095892 | 2.434111146 |
| 0.380000000 | 2.637021193 | 2.404227706 |
| 0.360000000 | 2.595349104 | 2.373841388 |
| 0.340000000 | 2.553031290 | 2.342905688 |
| 0.320000000 | 2.510012513 | 2.311367246 |
| 0.300000000 | 2.466229153 | 2.279164364 |
| 0.280000000 | 2.421607296 | 2.246225094 |
| 0.260000000 | 2.376060213 | 2.212464715 |
| 0.240000000 | 2.329484983 | 2.177782351 |
| 0.220000000 | 2.281757855 | 2.142056331 |
| 0.200000000 | 2.232727744 | 2.105137677 |
| 0.180000000 | 2.182206821 | 2.066840678 |
| 0.160000000 | 2.129956412 | 2.026928779 |
| 0.140000000 | 2.075664992 | 1.985092547 |
| 0.120000000 | 2.018911966 | 1.940913410 |
| 0.100000000 | 1.959103960 | 1.893799885 |
| 0.080000000 | 1.895352386 | 1.842865032 |
| 0.060000000 | 1.826207032 | 1.786659835 |
| 0.040000000 | 1.748955239 | 1.722471929 |
| 0.020000000 | 1.657024498 | 1.643727003 |

---

**ประวัติผู้เขียน**

|                  |                                                                                                                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ             | นายภูษิสส์ ดันวานิชกุล                                                                                                                                                                      |
| วัน เดือน ปีเกิด | 29 เมษายน 2519                                                                                                                                                                              |
| ประวัติการศึกษา  | สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล<br>สกลนคร ปีการศึกษา 2536<br>สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2540 |