

NRCN(ER)-005

INIS DOCUMENT
TRN IL7801217



הוועדה לאנרגיה אטומית, קריה למחקר גרעיני-300
ISRAEL ATOMIC ENERGY COMMISSION, NUCLEAR RESEARCH CENTRE - NEGEV

מערכת עיבוד נתונים on-line למדידות ספקטרוסקופיות

של אורניום אטומי

א' מירון, א' לוי, ג' ארז

ד' באומק, י' גורן, י' שפנצר

טבת תשל"ז - ינואר 1977

(English title and abstract included)

תקציר

מתוארת מערכת on-line למדידות ספקטרוסקופיות של אורניום אטומי. המערכת מסוגלת לשפר את היחס אות לרעש על-ידי מיצוע, וכן לבצע חישובים. פרטי התכנות ותזרימיהן נכללים.

NRCN(ER)-005

(full text in Hebrew)

ON-LINE DATA PROCESSING APPARATUS FOR SPECTROSCOPIC MEASUREMENTS OF
ATOMIC URANIUM

Eli MIRON, Lawrence A. LEVIN, Gidon EREZ, DAVID BAUMATZ, Izhack GOREN,
and Izhack SHPANCER

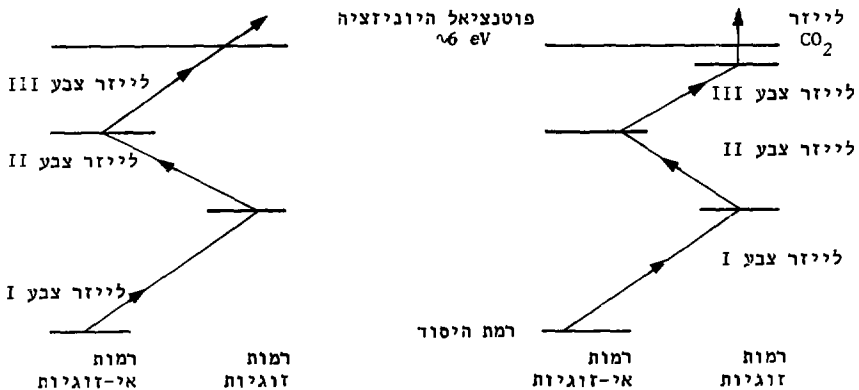
January 1977

ABSTRACT

A computer-based apparatus for on-line spectroscopic measurements of atomic uranium is described. The system is capable of enhancing the signal-to-noise ratio by averaging, and performing calculations. Computation flow charts and programs are included.

1 מבוא

הפרדה איזוטופית של אורניום אטומי בעזרת לייזרים מבוססת על עירור סלקטיבי רב-שלבי של אדי אורניום, כאשר הלייזר האחרון גורם ליינון. סכימות ההפרדה המוצעות⁽¹⁾ מתוארות בצירור 1.



צירור 1 סכימות מוצעות להפרדה איזוטופית של אורניום אטומי.

בחירת "סולם" מתאים לעירור דורשת גילוי רמות אנרגיה חרשות ומדידת תכונותיהן.

ישנם ארבעה פרמטרים שמדידתם מאפשרת בחירת סולם:

(א) מספר קוונטי כולל של התנע הזוויתי - J .

(ב) זמן חיים קרינתי.

(ג) הסחה איזוטופית.

(ד) חתך פעולה לבליעה מרמה נמוכה יותר.

המדידות הספקטרוסקופיות מנוצעות כדי לאגור מידע בנושא ההפרדה.

2 המערכת הספקטרוסקופית

שני לייזרי צבע (II, I, ראה ציור 1) מקרינים אדי אורניום המתקבלים בתנור שנכנה במיוחד למטרה זו⁽²⁾. לייזר צבע I מכוון לתדירות המתאימה למעבר מרמת היסוד לרמה זוגית באנרגיה של $eV \sim 2$. את התדירות של לייזר הצבע II משנים בריצפות בכל תחום הפעולה של הצבע Rhodamine 6G. הפלואורסצנציה שנגרמת עקב בליעת הלייזרים מפוצלת לשניים. חלק אחד מוכנס למכפילור הקולט את כל הדעיכות באזורים הכחול והירוק של הספקטרום. קבלת אות במכפילור זה פרושה גילוי רמה אי זוגית חדשה. החלק השני של הפלואורסצנציה מוכנס למונוכרומטור בעזרתו ניתן לגלות מעברים לרמות נמוכות ידועות⁽³⁾. בצודה זו ניתן לקבוע את ה-J של הרמה החדשה. תאור מפורט של המערכת נמצא בפרסום קודם⁽⁴⁾.

מדידת זמן החיים הקרינתי דורשת ערוך כפולס קצר יחסית לזמן החיים ורישום עצמת

הפלואורסצנציה כפונקציה של הזמן. הכעיות בביצוע מדידה זו הן:

(א) קיים רקע גבוה הנובע מפליטת גוף שחור של התנור. עובדה זו גורמת ליחס גרוע של אות

לרעש, במיוחד כאשר מודדים עצמות פלואורסצנציה נמוכות.

(ב) רזולוציה נמוכה במדידה ממסך האוסצילוסקופ (או מסרט צילום).

(ג) עצמות לייזרי הצבע משתנות ב- $\pm 25\%$ כך שיש צורך במיצוע (צילום מספר רב של אותות) כדי

לקבל תוצאות משמעותיות.

(ד) זמן המדידה (הכולל פיתוח הסרט ומדידתו)-ארוך.

כדי לפתור בעיות אלו תוכננה ונבנתה מערכת אוטומטית לעיבוד נתונים. השיטה נבחרה כהתאם

לקריטריונים הבאים:

(א) התאמה מירבית לדרישות המוצגות.

(ב) שימוש מירבי בציוד הקיים בקמ"ג, תוך הוצאה כספית מינימלית. (מחירן של מערכות

מקבילות כ-70,000\$).

(ג) חסינות לרעשים.

הפתרון המוצע מבוסס על שני מכשירים שנמצאו בקמ"ג:

(א) מחשב PDP-11 של בית המלאכה לאלקטרוניקה הממוקם כ-30 מטר מהמעבדה והיה מועסק רק חלקית.

(ב) מכשיר לעיבוד תופעות מעבר (transient recorder) מודל 8100, תוצרת Biomation.

עקרון הפעולה שלו הוא חיתוך האות לקטעים ברוחב מינימלי של 10 ננו-שניות, והפיכת

האות האנלוגי לספרתי כך שניתן להכניסו למחשב.

הציוד הנוסף שנדרש היה:

(א) interface כדי לקשר בין המכשיר לעיבוד תופעות מעבר לבין המחשב. מחיר התכנון והבנייה

היה \$36,000.

(ב) מסוף VT-55 תוצרת DEC שמחירו \$3,500.

(ג) מחיר עבודות software - \$30,000.

סכימת מלבנים של המערכת לעיבוד נתונים מצוייה בציור 2.

2.1 מערכת עיבוד-הנתונים

האותות מהמכפילור מועברים ל-transient recorder (ראה ציור 2), הם נדגמים במרווחים של 10

ננו-שניות ועוברים דיגיטציה ברזולוציה של 8 BIT. המערכת מסוגלת לטפל בהמה של סיגנל

עד 1000 מספרים של 8 BIT במרווח זמן של 10 ננו-שניות ומעלה. האינפורמציה הנאגרת במכשיר

לעיבוד תופעות מעבר מועברה לזכרון מהיר ב-interface. קצב ההעברה לזכרון הביניים הוא

של מיליון מלים בשניה. האינפורמציה המאפיינת פולס מועברת ל PDP-11 מזכרון הביניים

באמצעות ה-high speed link. קצב ההעברה הוא 100,000 מלים לשניה. ההעברה מתבצעת

על זוגות שזורים המסתיימים במצמידים אופטיים מהירים ב PDP-11. תוך כדי ההעברה מתבצע

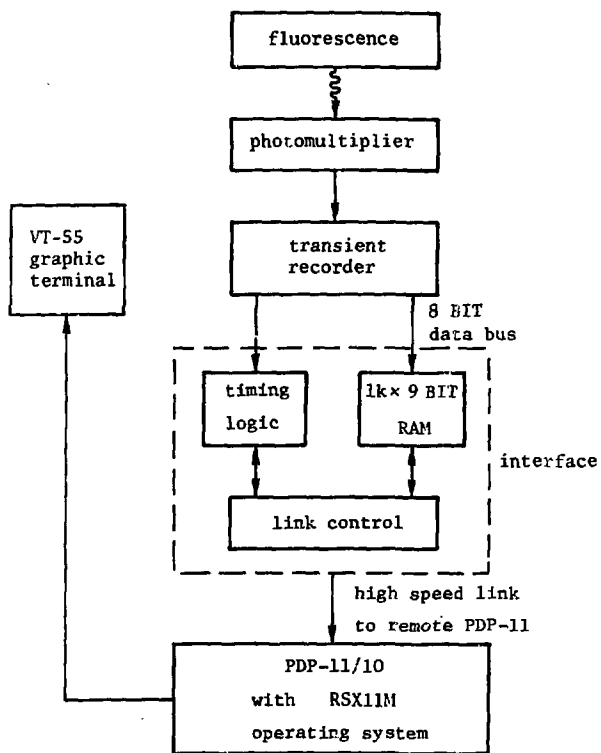
חיבור של המספרים המאפיינים את הפולס-לפולסים הקודמים. מספר הפולסים למיצוע נקבע

על ידי המפעיל ממסוף גרפי VT-55. עם גמר איסוף האותות מבוצע עיבוד על ה"אות המסונן"

(שהוא חיבור בהתאמה של N פולסים). קצב העיבוד של האותות תלוי בכמות הערוצים שהוגדרה

בכל פולס, ובכמות הפולסים הממוצעים. לרוגמה, זמן האיסוף וההעברה של 100 פולסים

בעלי 100 ערוצים הוא 15 שניות.



המערכת בכללותה תוכננה כך שהיא מופעלת כמשימה עצמאית תחת מערכת הפעלה RSX11M. מכיון שההעברה היא אסינכרונית, וכל פולס נאגר כזכרון ביניים, מסוגלת המערכת גם לבצע בקרת ניסוי בנוסף לפעולת איסוף הנתונים. צורה זו מאפשרת להקצות את המחשב למספר משימות, שאית מהן היא ספקטרוסקופיה on-line.

2.2 תכנית פיקוד ראשית

הפיקוד על הניסיון נעשה בצורת דו-שיח עם המחשב (באמצעות תכנית ELI המצוייה בנספח I.1). עם הפעלת התכנית מופיעה השאלה PULSES? - מספר הפולסים עליהם יבוצע המיצוע. עתה גמר איסוף הנתונים מופיע על המסך גרף של הסיגנל הממוצע. מספר הערוצים המוצג נקבע על ידי החשובה לשאלה CHANNELS?. אופציות ניספות לצורך ביקורת הן קבלת רשימה של כל האותות המופיעים בערוצים השונים - LIST, וכן רשימת הלוגריתמים של האותות עליהם מבוצע החשוב - LISLOG. לביצוע החישוב עצמו יש צורך להכניס ארבעה נתונים:

(א) CHANNELS - מספר הערוצים עליהם מבוצע החישוב;

(ב) LEAD - החלק שבא לפני הפולס, והממוצע על חלק זה הוא הרקע ואתו מחסרים

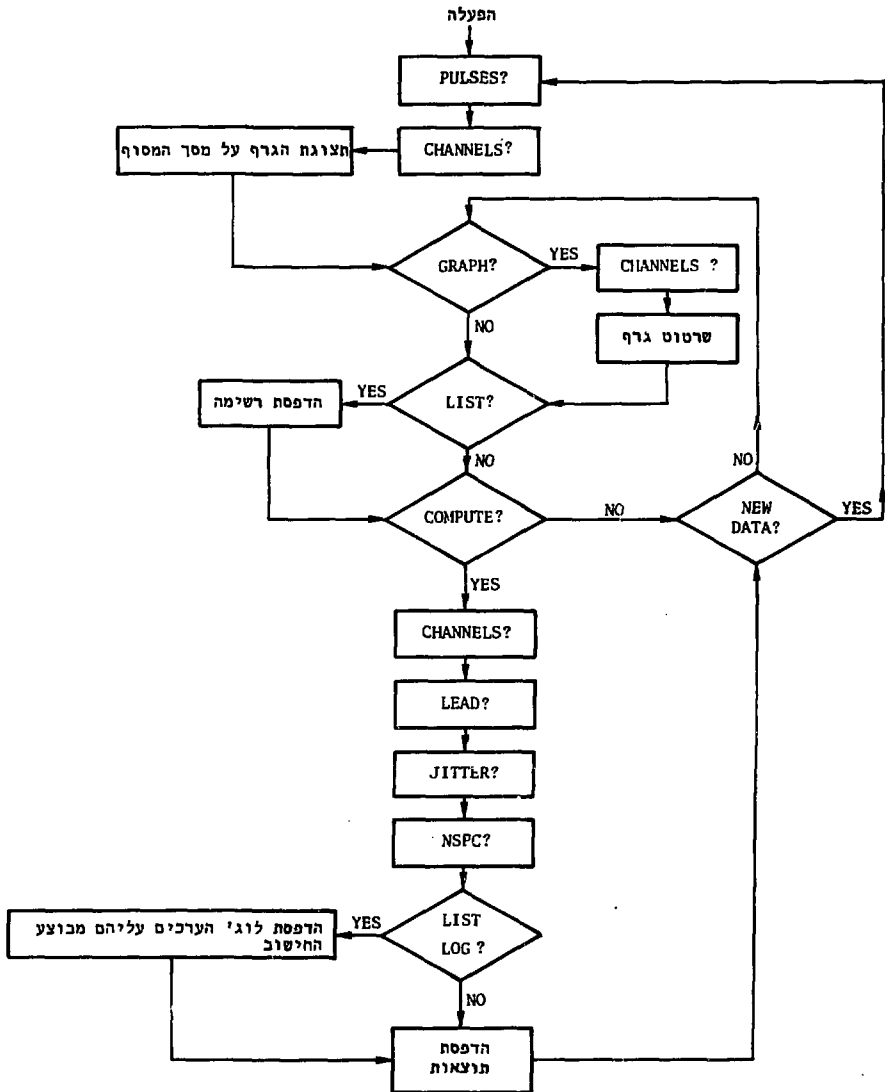
משאר הערוצים;

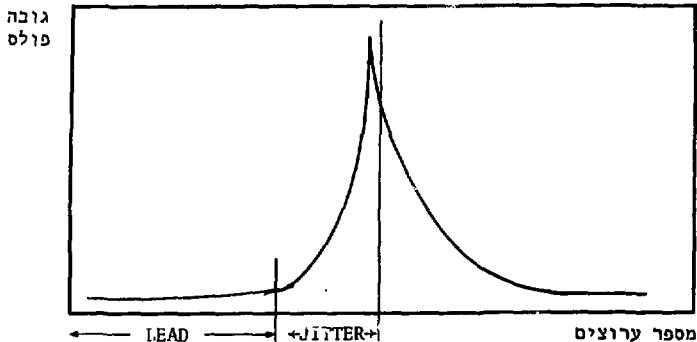
(ג) JITTER - הערוצים הכוללים את העליה של הפולס; חלק זה לא נכלל בחשוב;

(ד) NSPC - רוחב ערוץ בנוו-שניות (nsec per channel).

תזרים תכנית הפיקוד הראשית מופיע בצירור 3. תאור חלוקת הערוצים לצירור החישוב

מופיע בצירור 4.





ציר 4 תאור סכימטי של חלוקת הערוצים בסיגנל הממוצע (לצורך החישוב).

3 עקרון חישוב זמן החיים

חישוב זמן החיים מבוסס על התאמת התוצאות הנסיוניות לנוסחה $Be^{-t/\tau}$ המתארת את עצמת הפלואורסצנציה כפונקציה של הזמן. τ -זמן החיים, B-אמפליטודה.

נגדיר i (או k) - מספר הערוץ ב-transient recorder כאשר הערוץ הראשון הוא LEAD+JITTER+1.

$$e^{-t_i/\tau} = f_i ; y_i - \text{הערר הנסיוני}$$

$$R = \sum_i (Bf_i - y_i)^2 ; R - \text{פונקצית התאמה לריבועים מינימליים}$$

בשלב הראשון נמצא את האמפליטודה האופטימלית - B^* , האופיינית לכל זמן חיים.

$$\frac{\partial R}{\partial B} = 2 \sum_i (B^* f_i - y_i) f_i = 0 \implies B^* \sum_i f_i^2 - \sum_i y_i f_i = 0$$

$$B^* = \frac{\sum_i y_i f_i}{\sum_i f_i^2}$$

ראוי

$$R = R(B^*(\tau), \tau)$$

נגדיר פונקציה G

$$G = \frac{1}{2} \frac{dR}{d\tau} = \sum_i (B^* f_i - y_i) \left(\frac{dB^*}{d\tau} f_i + B^* \frac{df_i}{d\tau} \right)$$

$$\frac{dB^*}{d\tau} = \frac{1}{\left(\sum_i f_i^2\right)^2} \left[\sum_i y_i \frac{df_i}{d\tau} \sum_k f_k^2 - 2 \sum_i f_i \frac{df_i}{d\tau} \sum_k y_k f_k \right]$$

על-ידי הצבה וחינוס מקבלים

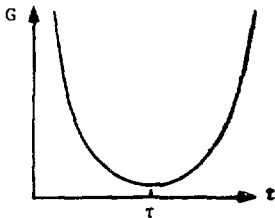
$$G = \frac{\sum_i y_i f_i}{\left(\sum_i f_i^2\right)^2} \left[\sum_i y_i f_i \sum_k f_k \frac{df_k}{d\tau} - \sum_i \frac{df_i}{d\tau} \sum_k f_k^2 \right]$$

הצורה בה מופיעה G בתוכנית EFES (נספח 1.3) היא:

$$G = SFY*(SFY*SFFT/SF2 - SYFT)/SF2$$

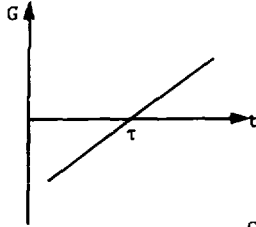
הפונקציה בה משתמשים להתאמת התוצאות היא $R = \sum_i (B\theta - t_i \tau - y_i)^2$

ל-R יש הצורה הכללית הבאה:



צורה כללית של הפונקציה R.

נגדיר $G = \frac{1}{2} \frac{dR}{d\tau}$ ל-G יש הצורה הכללית המופיעה בצורה 6.

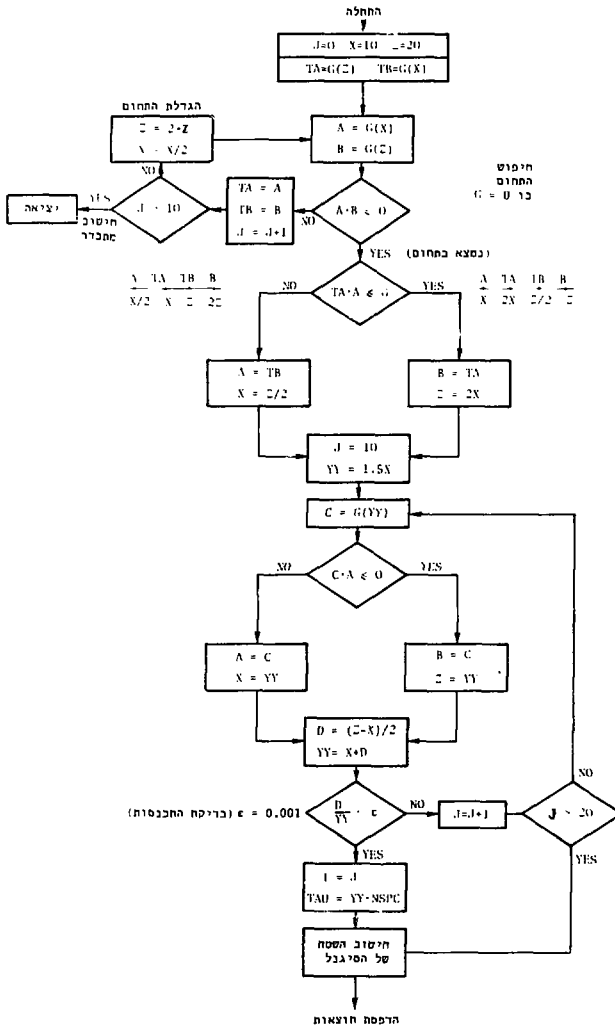


צירור 6 צורה כללית של הפונקציה G.

כדי לקבל את התוצאה בננו-שניות מוכנס למחשב הגודל NSPC - רוחב ערוץ

ה-transient recorder בננו-שניות.

החישוב מבוצע ב-SUBROUTINE EFES (בספח 1.3). תזרים הסברוטינה הזאת נמצא בצירור 7.



נספח 1 תוכניות מחשב

מובאות להלן ארבע תכניות מחשב:

(א) תכנית פיקוד ראשית PROGRAM ELI

(ב) תכנית העברת אינפורמציה מה- interface למחשב SUBROUTINE BIO

(ג) תכנית חישוב זמן החיים SUBROUTINE EFES

(ד) חישוב הנגזרת לפי ריבועים מינימליים FUNCTION G

PROGRAM ELI 1.1 נספח

```

C      PROGRAM ELI
0001      COMMON NUMP,X(100),A
0002      LOGICAL*1 A,AA
0003      1      WRITE(8,106)
0004      CALL RED(NUM)
0005      NUMP=NUM
0006      I=10
0007      CALL BIO
0008      CALL GRAPH
0009      3      WRITE(8,112)
0010      READ(8,101)AA
0011      IF(AA.EQ."131")CALL GRAPH
0012      WRITE(8,114)
0013      READ(8,101)AA
0014      IF(AA.EQ."131")CALL LIST
0015      WRITE(8,111)
0016      READ(8,101)AA
0017      IF(AA.EQ."131")CALL CPU
0018      WRITE(8,113)
0019      READ(8,101)AA
0020      IF(AA.EQ."131")GOTO 1
0021      GOTO 3
0022      101     FORMAT(A1)
0023      103     FORMAT(X,'PULSES=',X,I4)
0024      106     FORMAT(X,'PULSES?=',I)
0025      111     FORMAT(X,'COMPUTE?(Y/N):',I)
0026      112     FORMAT(X,'GRAPH?(Y/N):',I)
0027      113     FORMAT(X,'NEW DATA?(Y/N):',I)
0028      114     FORMAT(X,'LIST?(Y/N):',I)
0029      END

```

SUBROUTINE BIO 1.2 hdbj

```

0001      SUBROUTINE BIO
0002      DIMENSION L(100),LB(100)
0003      COMMON /ICOM/ ICSM(4)
0004      COMMON NUMP,X(100),A
0005      LOGICAL*1 A
0006      ID0='000000
0007      ID4='040000
0008      ID10='100000
0009      ICSM(4)=ID4
0010      ICSM(4)=ID0
0011      DO 1 I=1,100
0012  1      LB(I)=0
0013      DO 2 II=1,NUMP
0014  3      ICS=ICSM(2)
0015      IF(ICS.GE.0)GOTO 3      !CHECK IF R/W F.F. IN WRITE POSITION
0016      DO 4 I=1,100
0017      ICSM(4)=ID10
0018      ICSM(4)=ID0
0019      DO 123 IGR=1,1
0020  123      IKM=IGR*1
0021      L(I)=ICSM(2)
0022  4      CONTINUE
0023      DO 6 I=1,100
0024      L(I)=LL(L(I))
0025      LB(I)=LB(I)+L(I)
0026      CONTINUE
0027      ICSM(4)=ID4
0028      ICSM(4)=ID0
0029      DO 10 I=1,100
0030      X(I)=FLOAT(LB(I))
0031  10      CONTINUE
0032      CONTINUE
0033      RETURN
0034      END

```

```

0001      FUNCTION LL(M)
0002      L=ISHFT(IAND(M,'7760),-4)
0003      IF(L.LT.'200)GOTO 1
0004      L=IOR(L,'177600)
0005  1      LL=L
0006      RETURN
0007      END

```

SUBROUTINE EFES 1.3 MODJ

```

0001      SUBROUTINE EFES(COD,Y,NSPC,N,NUMJ)
0002      DIMENSION COD(2),Y(100),DRDT(5)
0003      LOGICAL*1 COD
      D    DO 21 M=1,20
      D    DO 20 L=1,5
      D    AA=FLOAT(L)
      D    BB=FLOAT(M)
      D    V=AA+5.*(BB-1.)
      D    DRDT(L)=G(V,N,Y)
      D20   CONTINUE
      D    MA=5*(M-1)+1
      D    WRITE(8,105) (MA,(DRDT(K),K=1,5))
      D    IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,105) (MA,(DRDT(K),K=1,5))
      D21   CONTINUE
      D100  FORMAT (//,X,I4,2X,5(E12.5,2X))
0004      EPS=0.001
0005      J=0
0006      X=10.
0007      Z=20.
0008      MP=0
0009      TB=G(X,N,Y,MP)
0010      TA=G(Z,N,Y,MP)
      C    WRITE(8,102)J,N,TB,TA,X,Z
      C    IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,102)J,N,TB,TA,X,Z
0011      A=G(X,N,Y,MP)
0012      B=G(Z,N,Y,MP)
      C    WRITE(8,102)J,N,A,B,X,Z
      C    IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,102)J,N,A,B,X,Z
0013      IF(A*B.LE.0)GO TO 7
      C102  FORMAT (//,I3,I3,SE14.5)
0015      TA=A
0016      TB=B
0017      J=J+1
0018      IF(J.GT.10)GO TO 8
0020      Z=2*X
0021      X=X/2
0022      GO TO 6
      C    INTERFACE
0023      7    IF(TA*A.LE.0)GO TO 9
0025      7    IF(TA*B.GT.0.) GO TO 8
0027      A=TB
0028      X=Z/2
0029      GO TO 10
0030      9    B=TA
0031      Z=2*X
      C    ZERO SEARCH
0032      10   J=0
0033      YY=1.5*X

```



```
      C      WRITE(8,102)J,N,C,YY,X,Z,D
0034  11     C=G(YY,N,Y,MP)
      C      IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,102)J,N,C,YY,X,Z,D
0035       IF(C*A.LE.0)GO TO 12
0037       IF(C*B.GT.0.) GO TO 8
0039       A=C
0040       X=YY
0041       GO TO 13
0042  12     B=C
0043       Z=YY
0044  13     D=(Z-X)/2
0045       YY=X+D
0046       IF(D/YY.LT.EPS)GO TO 14
0048       J=J+1
0049       IF(J.GT.20)GO TO 14
0051       GO TO 11
      C      EXIT
0052  14     I=J
0053       T=YY*NSPC
0054       WRITE(8,100)T
0055       IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,100)T
      C      EPA=D/YY
      C      IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,102)J,N,EPA
      C      WRITE(8,102)J,N,EPA
0057       MP=1
0058       AMP=G(YY,N,Y,MP)
0059       FJ=NUMJ
0060       FN=NSPC
0061       START=AMP*EXP((FJ-1.)/T)
0062       AREA=START*T
0063       WRITE(8,103)AREA
0064       IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,103)AREA
0066  103    FORMAT(5X,'AREA =',E9.2)
0067       RETURN
0068  8      I=-J
0069       WRITE(8,101)
0070       IF(COD(2).EQ.'131')WRITE(7,101)
0072       RETURN
0073  100    FORMAT(///3X,'DECAY TIME =',F7.2,2X,'NANOSECONDS',/)
0074  101    FORMAT(//3X,'CALCULATION DIVERGED',/)
0075       END
```

FUNCTION G 1.4 hdbj

```

0001      FUNCTION G(T,N,Y,MP)
0002      DIMENSION Y(100)
0003      IF(MP,EQ,1) GO TO 30
0004      SF=0.
0005      SFT=0.
0006      SF2=0.
0007      SFFT=0.
0008      SY=0.
0009      SFY=0.
0010      SYFT=0.
0011      SY2=0.
0012      ZN=FLOAT(N)
0013      K=0
0014      DO 1 J=1,N
0015      K=K+1
0016      I=J-1
0017      ZI=FLOAT(I)
0018      FI=EXP(-ZI/T)
0019      FTI=ZI/T**2.*EXP(-ZI/T)
0020      SF=SF+FI
0021      SFT=SFT+FTI
0022      FSQ=FI**2.
0023      SF2=SF2+FSQ
0024      SFFT=SFFT+FI*FTI
0025      SY=SY+Y(J)
0026      SFY=SFY+FI*Y(J)
0027      SY2=SY2+Y(J)**2.
0028      SYFT=SYFT+Y(J)*FTI
0029      IF(K,GT,5) GO TO 1
0030      WRITE(7,110)FI,FTI,SFT,FSQ,SF2,SFFT,SY,SFY,SY2,SYFT
0031      FORMAT(/,5E12.5,/,5E12.5)
0032      CONTINUE
0033      AR=SY*SF2-SF*SFY
0034      BR=ZN*SFY-SF*SY
0035      D=ZN*SF2-SF**2.
0036      A=AR/D
0037      B=BR/D
0038      R=ZN*A*A+2.*A*B*SF-2.*A*SY+B*B*SF2-2.*B*SFY+SY2
0039      DT=2.*(ZN*SFFT-SF*SFT)
0040      AT=(2.*SY*SFFT-SFT*SFY-SF*SYFT)/D-AR*DT/D**2.
0041      RT=(7N*SYFT-SY*SFT)/Q-BR*DT-D**2
0042      G=A*(ZN*AT+BT*SF+B*SFT)+B*(AT*SF+BT*SF2+B*SFFT-SYFT)
0043      1-AT*SY-BT*SFY
0044      WRITE(7,111)AR,BR,D,A,B,DT,AT,BT
0045      FORMAT(/,5E12.5)
0046      G=Y(1)*SFFT-SYFT
0047      G=SFY*(SFY*SFFT/SF2-SYFT)/SF2
0048      AMP=SFY/SF2
0049      GO TO 31
0050      G=AMP
0051      CONTINUE
0052      RETURN
0053      END

```

Referencesסימוכין

1. B. B. Snavely, R. W. Solarz, and S. A. Tuccio, "Separation of uranium isotopes by selective photoionization", in *Lecture Notes in Physics. 43. Laser Spectroscopy (Proc. 2nd Int. Conf. Megève 1975)*, S. Harcche, J. C. Pebay-Peyroula, T. W. Hänsch, and S. E. Harris, Eds., Springer-Verlag, Heidelberg, 1975, pp. 268-74.
2. G. Erez, A. Kerman, D. Kimhi, L. A. Levin and E. Miron, "An induction heated oven for laser spectroscopy of atomic uranium", *Rev. Sci. Instrum.* (in press).
3. D. W. Steinhaus, L. J. Radziemski, Jr., R. D. Cowen, J. Blaise, G. Guelachvili, Z. Ben Osman, and J. Vergés, *Present Status of the Analyses of the First and Second Spectra of Uranium (UI and UII) as Derived from Measurements of Optical Spectra*, Los Alamos report LA-4501, October 1971.
4. E. Miron, L. A. Levin, G. Erez and S. Lavi, "Continuous scanning of atomic uranium levels", *Optics Commun.* 18, 536-8 (1976).



בזמנא מהל - פרסומים