

COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-62/25

B. Borgia e A. Rambaldi: CINEMATICHE RELATIVISTICHE
DELLE REAZIONI A DUE CORPI. PROGRAMMI DI CALCOLO PER
ELABORATORE ELETTRONICO.

Nota interna: n° 128
14 Aprile 1962

LNF-62/25

Nota interna n° 128
14 Aprile 1962.

B. Borgia^(x) e A. Rambaldi^(x): CINEMATICHE RELATIVISTICHE DELLE REAZIONI A DUE CORPI. PROGRAMMI DI CALCOLO PER ELEBORATORE ELETTRONICO.

I programmi che qui riportiamo per il calcolo delle cinematiche delle reazioni a due corpi, sono basati sulle ben note relazioni che per esempio si trovano nell'articolo di J. Blaton⁽¹⁾, oppure sul libro di A.M. Baldin⁽²⁾.

Sono stati compilati in linguaggio Fortran per essere più facilmente adoperati anche da coloro che hanno soltanto nozioni elementari di programmazione.

In particolare questi programmi sono stati scritti per la calcolatrice IBM 1620, ma possono assai facilmente essere resi compatibili per le IBM 704, 709, 7090.

Programma cinematiche a due corpi

Il primo programma (v. Tab. I e lista del programma cinematiche a due corpi) è di uso piuttosto generale in quanto le uniche condizioni che si impongono sono che una delle particelle sia inizialmente ferma nel laboratorio, e che nello stato finale vi siano due particelle, o che l'energia totale nel baricentro delle n-1 restanti particelle sia espressa come massa della seconda particella. Evidentemente l'energia totale nello

(x) Scuola di Perfezionamento in Fisica dell'Università, Roma
Istituto di Fisica dell'Università, Roma

stato iniziale deve essere sufficiente a produrre le masse nel lo stato finale. Naturalmente il programma si può impiegare per il decadimento in due corpi di una particella se si pone uguale a zero la massa della particella bersaglio. I dati di ingresso del programma sono quindi:

- le masse iniziali e finali;
- l'energia minima e massima della particella incidente;
- il passo con cui si vuol far variare l'energia della particella incidente;
- il passo con cui si varia l'angolo di emissione nel baricentro, nonché l'angolo minimo e massimo nel sistema del baricentro.

Il programma tabula e perfora su nastro:

- gli angoli;
- le quantità di moto e le energie delle particelle nel laboratorio, dopo la reazione, in funzione dell'energia totale della particella incidente e dell'angolo nel baricentro della particella "leggera" uscente rispetto alla direzione della particella incidente.

Inoltre il programma fornisce:

- le derivate parziali $(\partial P_i / \partial P_u)_{\theta_{lab}}$;
- le quantità proporzionali agli Jacobiani della trasformazione di coordinate dal baricentro al laboratorio $\frac{P_u}{F_i} \frac{\partial (P_i, \theta_{cm})}{\partial (P_u, \theta_{lab})}$ per ambedue le particelle uscenti, dove P_i e P_u sono gli impulsi della particella incidente e della particella uscente considerata, nonché la trasformazione dell'angolo solido $(\frac{d\Omega}{d\Omega})_u$ per le particelle uscenti.

Le notazioni impiegate si riferiscono in particolare alla reazione



solo per comodità mnemonica. Anche i nomi "leggera" "pesante" sono da pensarsi solo come un aiuto mnemonico. Le unità di energia (e di massa) sono completamente arbitrarie, mentre gli an-

goli sono espressi in gradi e decimi di grado.

Nel programma si fa uso di tutti i quattro switches disponibili nel pannello di controllo del 1620, per ottenere la stampa o la perforazione di tutti o parte dei risultati.

Con tutti gli switches in ON si ha la stampa di tutti i risultati, con gli switches in OFF si ha la perforazione di tutti i risultati.

Per le altre possibilità si veda lo schema a blocchi degli switches. La tabulazione dei risultati nel caso degli switches in ON è la seguente (per gli altri casi si veda ancora il diagramma a blocchi):

E_k				
E^*	β^*	δ^*		
P_{π}^*	E_{π}^*	E_n^*		
θ^*	θ_{π}	θ_n		
T_{π}	P_{π}	$D_{\pi}KDPL$	AJL	TASL
T_n	P_n	DKDPH	AJH	TASH

Programma C2Q2

Il secondo programma (v. Tab. II e lista programma C2 Q2) si riferisce alla diffusione elastica fra due particelle di massa m e M di cui la seconda è ferma nel laboratorio, e i parametri a disposizione sono in questo caso il quadrimpulso trasferito q^2 e l'angolo ψ di emissione nel laboratorio della particella di rinculo.

L'angolo ψ ha una limitazione poichè per una certa energia totale P_{20} della particella di rinculo deve essere verificata la relazione

$$\cos \psi > \frac{P_{20} - M}{P_{20} + M} .$$

Tutte le quantità che intervengono sono nel sistema del laboratorio, salvo contrario avviso. I dati di ingresso in que-

sto caso sono dunque:

- le masse delle particelle;
- il minimo ed il massimo quadrimpulso trasferito;
- il minimo e massimo angolo della particella bersaglio nello stato finale;
- i passi con cui si vogliono far variare il quadrimpulso e l'angolo;
- il fattore G di trasformazione delle unità per il momento trasferito (v. più avanti).

Il programma tabula o perfora, a seconda che lo switch l sia in ON oppure in OFF,:

- l'energia cinetica e l'impulso della particella bersaglio dopo l'urto;
- l'angolo limite della particella bersaglio nello stato finale;
- gli angoli delle due particelle nello stato finale rispetto alla direzione di incidenza della particella urtante;
- l'energia totale nel sistema del baricentro;
- la derivata dell'energia cinetica della particella bersaglio (nello stato finale) fatta rispetto al suo angolo di uscita;
- l'energia cinetica e l'impulso della particella incidente prima e dopo la diffusione;
- le derivate parziali $\left(\frac{\partial P_i}{\partial P_u}\right)_{\theta_{lab}}$, $\left(\frac{\partial P_{cm}}{\partial \theta_{lab}}\right)$ e le quantità $\frac{P_u}{P_i} \frac{\partial(P_i, \theta_{cm})}{\partial(P_u, \theta_{lab})}$ per ambedue le particelle nello stato finale, dove P_i e P_u sono gli impulsi della particella incidente e della particella uscente considerata.

Le notazioni si riferiscono alla equazione fra i quadrimpulsi

$$K_1 + P_1 = K_2 + P_2$$

dove $K_1^2 = K_2^2 = -m^2$; $P_1^2 = P_2^2 = -M^2$; $\underline{P_1} = 0$.

Le unità di energia (e di massa) sono completamente arbitrarie; è da tener presente una eventuale trasformazione di unità del momento trasferito che molte volte si preferisce esprimere in unità diverse dall'energia delle particelle. In

tal caso occorre introdurre un fattore di trasformazione di unità G, previsto nel programma, diverso da 1.

Gli angoli sono espressi in gradi e decimi di grado. Si fa uso del solo Switch 1 della cui funzione si è già detto.

La tabulazione dei risultati avviene secondo lo schema:

q^2	T_{P2}	P_{P2}		
α				
φ	θ	W	$\partial T_{P2} / \partial \varphi$	
T_{K1}	P_{K1}	$DP2$	$AJP2$	$TASP2$
T_{K2}	P_{K2}	$DK2$	$AJK2$	$TASK2$

Bibliografia:

- (1) J. Blaton: On a geometrical interpretation of energy and momentum conservation in atomic collision and disintegration processes, Det. Kgl. Danske Videnskab. Selskab 24, 20 (1950)
- (2) A.M. Baldin, V.I. Goldanskii and I.L. Rosenthal: Kinematics of nuclear reactions, London 1961.

TAB. I - I° PROGRAMMA

Quantità	Nome Fortran	Formula o definizione
M_P	AMP	massa della particella bersaglio
M_K	AMK	" " " incidente
M	AMPI	" " " uscente leggera
M_n	AMN	massa della part. usc. pesante
E_K	EK	energia totale della particella incidente nel sistema del lab.
K	AK	$K = \sqrt{E_K^2 - M_K^2}$
E^*	EST	energia totale nel sistema del baricentro $E = \sqrt{M_P^2 + E_K M_P + M_K^2}$
E_π^*	EPIST	energia totale nel baricentro della part. leggera uscente $E_\pi^* = \frac{E^{*2} - M_n^2 + M_\pi^2}{2E^*}$
P_π^*	PPIST	$P_\pi^* = \sqrt{E_\pi^{*2} - M_\pi^2}$
β^*, γ^*	BEST, GST	$\beta^* =$ velocità del baricentro nel sistema del laboratorio $\beta^* = \frac{K}{(E_K + M_P)} \quad \gamma^* = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^{*2}}}$
θ^*	ALPA, THETA	angolo della particella leggera nel sistema del baricentro espresso in gradi, in rad.
E, P, T	EPI, PPI, TPI	energia totale, impulso energia cinetica, nel sistema del lab. della particella leggera $E_\pi = \gamma^*(E_\pi^* + \beta^* P_\pi^* \cos \theta^*)$ $P_\pi = \sqrt{E_\pi^2 - M_\pi^2} \quad T_\pi = E_\pi - M_\pi$
θ	AMP	massa della particella bersaglio
θ_π	THEPI	angolo della particella leggera uscente nel sistema del lab. espresso in $\cos \theta_\pi = [E_\pi (E_K + M_P) - E_\pi^* E^*] / K P_\pi$
$(\frac{\partial K}{\partial P_\pi})_{\theta_\pi}$	DKDPL	$(\frac{\partial K}{\partial P_\pi})_{\theta_\pi} = \frac{P_\pi (E_K + M_P) - K \cos \theta_\pi}{E_\pi} - K \cos \theta_\pi / [P_\pi \cos \theta_\pi + (K/E_K)(M_P - E_\pi)]$

TAB. I° (segue)

Quantità Nome Fortran Formula o definizione

$$\frac{P_{\pi}}{K} \left/ \frac{\partial(K, \theta^*)}{\partial(P_{\pi}, \theta_{\pi})} \right/ \quad \text{AJL} \quad \frac{P_{\pi}}{K} \left/ \frac{\partial(K, \theta^*)}{\partial(P_{\pi}, \theta_{\pi})} \right/ = \frac{P_{\pi}^2 E^*}{P_{\pi}^* E_{\pi} K} \frac{P_{\pi}}{P_{\pi} \cos \theta_{\pi} + (K/E_{\pi})(m_p - E_{\pi})}$$

(*)

Formule analoghe sono impiegate per ottenere le corrispondenti quantità relative alla particella pesante uscente: PN, TN, THEN, DKDPH, AJH, TASH.

Inoltre definiamo i limiti e il passo dei parametri di ingresso:

$\Delta(E_K)$	DEK	passo con cui varia l'energia cinetica E_K
$E_{K_{\min}}$	EKMIN	energia minima E_K da cui inizia il calcolo
$E_{K_{\max}}$	EKMAX	energia massima E_K a cui termina il calcolo
$\Delta \theta^*$	DALFA	passo con cui varia l'angolo θ^*
θ^*_{\min}	ALMIN	angolo minimo θ^* da cui inizia il calcolo
θ^*_{\max}	ALMAX	angolo massimo θ^* a cui termina il calcolo

$$(*) \quad \left(\frac{\partial \Omega^*}{\partial \Omega_{\pi}} \right)_K \quad \text{TASL} \quad \left(\frac{\partial \Omega^*}{\partial \Omega_{\pi}} \right)_K = \frac{\partial(K, \theta^*)}{\partial(P_{\pi}, \theta_{\pi})} \left/ \left(\frac{\partial K}{\partial P_{\pi}} \right)_{\theta_{\pi}} \right/$$

TAB. II - II° PROGRAMMA

Quantità	Nome Fortran	Formula o definizione
m	PM	massa della particella incidente e diffusa
M	GM	massa della particella bersaglio e di rinculo
q ²	Q2	quadrimpulso trasferito al quadrato (in modulo)
φ	PHI	angolo della particella di rinculo rispetto alla direzione di incidenza
P ₂₀ , T _{P2} , P _{P2}	P20 TP2 PP2	energia totale, energia cinetica ed impulso della particella di rinculo
		$P_{20} = \frac{1}{2m} (q^2 + 2M^2)$ $T_{P2} = \frac{q^2}{2M} \quad P_{P2} = \sqrt{P_{20}^2 - M^2}$
φ_{\min}	ALFA	$\cos \varphi_{\min} = T_{P2} / P_{P2}$
K ₁₀	AK10	energia totale della particella incidente
		$K_{10} = \frac{T_{P2}^2 M + P_{P2}^2 \cos^2 \varphi / (P_{P2}^2 \cos^2 \varphi - T_{P2}^2) m^2 + T_{P2}^2 M^2}{P_{P2}^2 \cos^2 \varphi - T_{P2}^2}$
K ₂₀ , T _{K2} , P _{K2}	AK20 TK2 PK2	energia totale, cinetica ed impulso della particella diffusa
		$K_{20} = K_{10} + M - P_{20} ;$ $T_{K2} = K_{20} - m ; \quad P_{K2} = \sqrt{K_{20}^2 - m^2}$
T _{K1} , P _{K1}	TK1, PK1	energia cinetica e impulso della particella incidente
		$T_{K1} = K_{10} - m$ $P_{K1} = \sqrt{K_{10}^2 - m^2}$
θ	TETA	angolo della particella diffusa rispetto alla direzione di incidenza
		$\cos \theta = \frac{(P_{K1} - P_{P2} \cos \varphi)}{P_{K2}}$

TAB. II (segue)

Quantità	Nome Fortran	Formula o definizione
W	W	energia totale nel baricentro $W = \sqrt{2MK_{10} + m^2 + M^2}$
E	E	energia totale nel baricentro della particella diffusa $E = \frac{W^2 - M^2 + m^2}{2W}$
P*	PIST	impulso nel baricentro $P^* = \sqrt{E^2 - m^2}$
$\left(\frac{\partial P_{K1}}{\partial P_{K2}}\right)_\theta$	DK2	$\left(\frac{\partial P_{K1}}{\partial P_{K2}}\right)_\theta = \frac{P_{K2}(K_{10} + m) - P_{K1} \cos \theta}{P_{K2} \cos \theta + (P_{K1}/K_{10})(M - K_{20})}$
$\frac{P_{K2}}{P_{K1}} \left \frac{\partial (P_{K1}, \theta^*)}{\partial (P_{K2}, \theta)} \right $	AJK2	$\frac{P_{K2}}{P_{K1}} \left \frac{\partial (P_{K1}, \theta^*)}{\partial (P_{K2}, \theta)} \right = \frac{P_{K2}^2 W}{P^* K_{20} P_{K1} [P_{K2} \cos \theta + (P_{K1}/K_{10})(M - K_{20})]}$
$\left(\frac{\partial \Omega^*}{\partial \Omega_{K2}}\right)$	TASK2	$\left(\frac{\partial \Omega^*}{\partial \Omega_{K2}}\right) = \frac{\partial (P_{K1}, \theta^*)}{\partial (P_{K2}, \theta)} \bigg/ \left(\frac{\partial P_{K1}}{\partial P_{K2}}\right)_\theta$

Formule completamente analoghe si hanno per DP2 e AJP2.

Definiamo i limiti e il passo delle variabili di ingresso:

φ_{\min}	PHIMN	angolo minimo φ da cui inizia il calcolo
φ_{\max}	PHIMX	angolo massimo φ a cui termina il calcolo
$\Delta \varphi$	DPHI	passo con cui varia l'angolo φ
q_{\min}^2	Q2MIN	quadrimpulso minimo q^2 da cui inizia il calcolo
q_{\max}^2	Q2MAX	quadrimpulso massimo q^2 a cui termina il calcolo
$\Delta(q^2)$	DQ2	passo con cui varia il quadrimpulso q^2

USO DEI PROGRAMMI

PROGRAMMA I

CINEMATICHE DUE CORPI C2

- Azzerare la macchina
- Tabulare la macchina da scrivere per scrivere su 5 colonne
- Caricare il nastro OBJECT TAPE CINEMATICHE DUE CORPI
- Posizionare gli switches

PARITY }
1/0 } STOP

OVERFLOW PROGRAM

1 }
2 } per ottenere le uscite desiderate
3 } (vedere diagramma blocchi)
4 }

- Reset
- Insert

Scrivere 360000000300

Release
Start

La macchina legge il nastro poi scrive

LOAD DATA

- Mettere switch 4 in OFF (se era in ON)
- Premere START

- Scrivere alla macchina i valori di

$\Delta(E_K)$ $E_{K_{min}}$ $E_{K_{max}}$ $\Delta\theta^*$ e_{min}^* e_{max}^* (in gradi)

Release
Start

- Scrivere i valori di

M_P M_K $M_{\bar{n}}$ M_n

Release

Lo switch 4 deve essere in ON

STOP-SIE 3 o 4 volte rimettere 4 in ON

Start

La macchina esegue il calcolo

Quando ha finito si ferma in ACCEPT; è pronta per ricevere i nuovi valori di

ΔE_K , $E_{K_{min}}$... etc. e incominciare un nuovo calcolo.

USO DEI PROGRAMMI

PROGRAMMA II

C2Q2

- Come per programma I fino a LOAD DATA

Switch 4 sempre OFF

- Premere start

- Scrivere alla macchina i valori di

φ_{\min} φ_{\max} $\Delta\varphi$ q_{\min}^2 q_{\max}^2 Δq^2
(in gradi)

Release

Start

- Scrivere

m M G

Release

Start

La macchina esegue il calcolo

Quando ha finito si ferma in ACCEPT; è pronta per scrivere i nuovi valori di

φ_{\min} φ_{\max} $\Delta\varphi$... etc. e incomincia un nuovo calcolo.

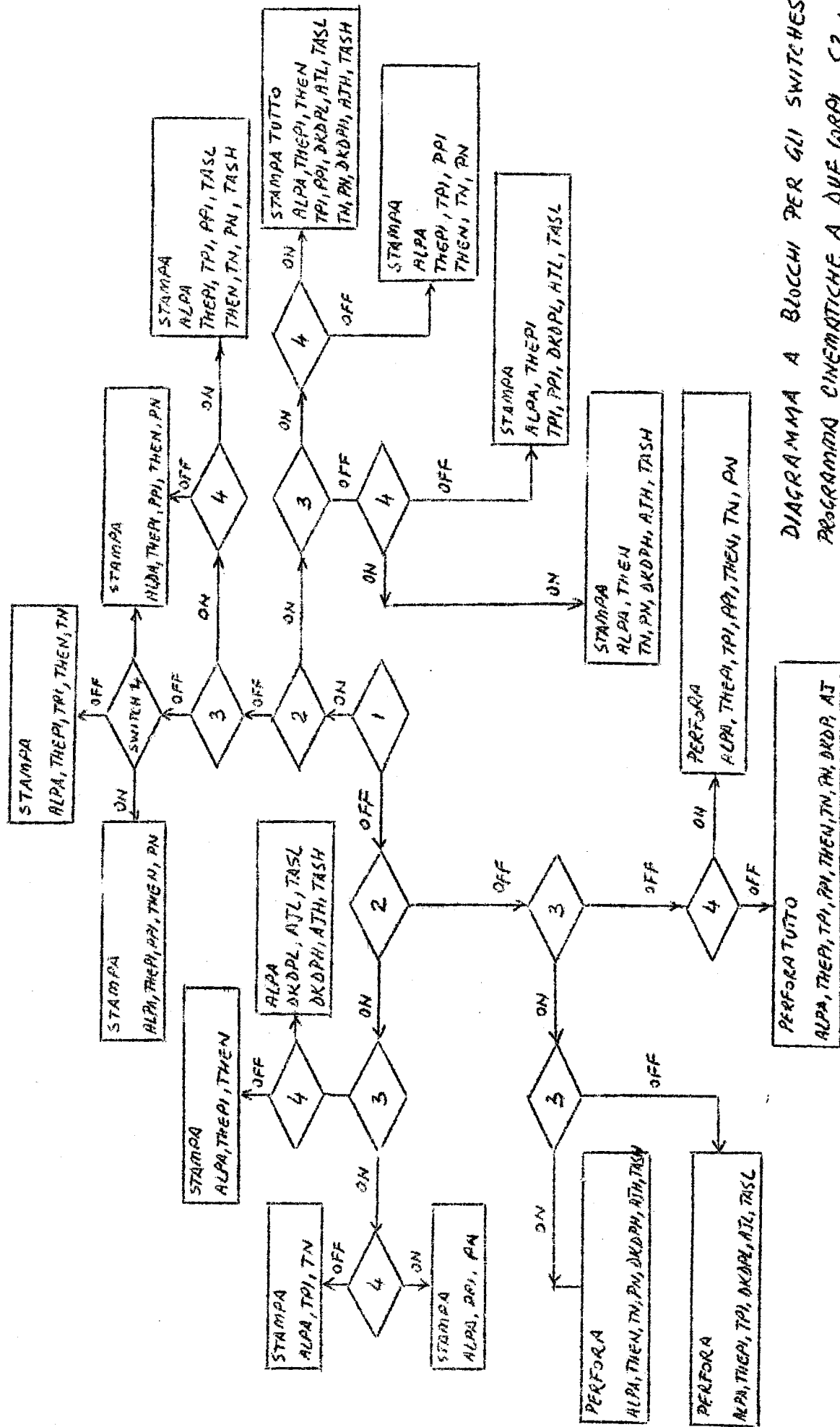


DIAGRAMMA A BLOCCHI PER GLI SWITCHES
PROGRAMMA CINEMATICO A DUE CARRE C2.

C
C
C

62

CINEMATICHE A DUE CORPI

SWITCHES ON TYPE, OFF PUNCH
4 ACCEPT, DEK, EKMIN, EKMAX, DALFA, ALMIN, ALMAX
ACCEPT, AMP, AMK, AMPI, AMN
R=57.295779
DTHET=DALFA*0.01745329
TMIN=ALMIN*0.01745329
AMP2=AMP*AMP
AMK2=AMK*AMK
AMPI2=AMPI*AMPI
AMN2=AMN*AMN
EK=EKMIN
3ARGO=AMP2+(2.*AMP*EK)+AMK2
EST=SQR(ARGO)
EPIST=(EST*EST-AMN2+AMPI2)/(2.*EST)
ARGO=EPIST EPIST-AMPI2
PPIST=SQR(ARGO)
ARGO=EK*EK-AMK2
AK=SQR(ARGO)
BEST=AK/(EK+AMP)
ARGO=1.-BEST*BEST
GST=1./SQR(ARGO)
ENIST=EST-EPIST
D=0.0E-49
IF(SENSE SWITCH 1) 75,85
85IF(SENSE SWITCH 2) 75,86
86PUNCH, EK, EST, BEST, GST, PPIST, EPIST, ENIST
GO TO 19
75TYPE, EK
TYPE, EST, BEST, GST
IF(AMP) 45, 45, 46
45IF(EK) 46, 46, 19
46TYPE, PPIST, EPIST, ENIST
19 THETA=TMIN+D*DTHET
ALPA=ALMIN+D*DALFA
ALPA=D*DALFA
EPI=GST*(EPIST+BEST*PPIST*COS(THETA))
ARGO=EPI*EPI-AMPI2
PPI=SQR(ARGO)
IF(ALPA) 10, 11, 12
11THEPI=ALPA
GO TO 13
12 IF(ALPA-180.) 20, 11, 14
20 COSTL=(EPI*(EK+AMP)-EPIST*EST)/(AK*PPI)
ARGO=1.-COSTL*COSTL
TANGL=SQR(ARGO)/COSTL
ARGO=ATN(TANGL)
THEPI=R*ARGO
IF (THEPI) 30, 13, 13

```

TYPE, TPI, PPI, DKDPL, AJL, TASL
TYPE, TN, PN, DKDPH, AJH, TASH
GO TO 800
713TYPE, ALPA
TYPE, THEPI, TPI, PPI
TYPE, THEN, TN, PN
GO TO 800
711IF(SENSE SWITCH 4)714,715
714TYPE, ALPA, THEN
TYPE, TN, PN, DKDPH, AJH, TASH
GO TO 800
715 TYPE, ALPA, THEPI
TYPE, TPI, PPI, DKDPL, AJL, TASL
GO TO 800
701IF(SENSE SWITCH 2)716,717
716 IF (SENSE SWITCH 3)718,719
718IF(SENSE SWITCH 4)721,720
720TYPE, ALPA, TPI, TN
GO TO 800
721TYPE, ALPA, PPI, PN
GO TO 800
719IF(SENSE SWITCH 4)722,723
722TYPE, ALPA
TYPE, DKDPL, AJL, TASL
TYPE, DKDPH, AJH, TASH
GO TO 800
723TYPE, ALPA, THEPI, THEN
GO TO 800
717IF(SENSE SWITCH 3)724,725
724IF(SENSE SWITCH 4)726,727
726PUNCH, ALPA, THEN, TN, PN, DKDPH, AJH, TASH
GO TO 800
727PUNCH, ALPA, THEPI, TPI, PPI, DKDPL, AJL, TASL
GO TO 800
725IF(SENSE SWITCH 4)728,729
728PUNCH, ALPA, THEPI, TPI, PPI, THEN, TN, PN
GO TO 800
729PUNCH, ALPA, THEPI, TPI, PPI, THEN, TN, PN, DKDPL, AJL
PUNCH, TASL, DKDPH, AJH, TASH
800D=D+1.
IF(EK)14,14,19
14EK=EK+DEK
IF(EK-EKMAX)3,3,4
END

```

C
C
C

C2Q2

CINEMATICHE DUE CORPI MOMENTO TRASFERITO COSTANTE

SWITCH 1 ON TYPE , OFF PUNCH

97 ACCEPT, PHIMN, PHIMX, DPHI, Q2MIN, Q2MAX, DQ2

ACCEPT, PM, GM, G

R=57.295779

D=.01745329

G=G*G

GA=1./G

DQ2=G*DQ2

Q2MIN=G*Q2MIN

Q2MAX=G*Q2MAX

PM2=PM*PM

GM2=GM*GM

Q2=Q2MIN

96 P20=.5*(Q2+2.*GM2)/GM

TP2=Q2*.5/GM

PP22=P20*P20-GM2

PP2=SQR(PP22)

Q2A=Q2*GA

IF(SENSE SWITCH 1) 40, 41

41 PUNCH, Q2A, TP2, PP2

GO TO 42

40 TYPE, Q2A, TP2, PP2

42 CMIN=TP2/PP2

ARGO=SQR(1.-CMIN*CMIN)/CMIN

ALFA=ATN(ARGO)*R

TYPE, ALFA

IF(ALFA-PHIMX) 20, 11, 11

20 PHIMX=ALFA-1.

IF(ALFA-PHIMN) 10, 11, 11

10 TYPE, ALFA, 1, Q2A

GO TO 97

11 PHI=PHIMN

94 CPHI=COS(D*PHI)

GAM=CPHI*PP2

ARGO=GAM*GAM-TP2*TP2

DUCK=ARGO*PM2+TP2*TP2*GM2

AK10=(GM*TP2*TP2+GAM*SQR(DUCK))/ARGO

TK1=AK10-PM

PK1=SQR(AK10*AK10-PM2)

AK20=AK10+GM-P20

TK2=AK20-PM

PK2=SQR(AK20*AK20-PM2)

CTET=(PK1-GAM)/PK2

ARGO=SQR(1.-CTET*CTET)/CTET

TETA=R*ATN(ARGO)

IF(TETA) 50, 51, 51

50 TETA=TETA+180.

51 W=SQR(2.*AK10*GM+GM2+PM2)


```

E=.5*(W*W-GM2+PM2)/W
PIST=SQR(E*E-PM2)
CUB=PK2*CTET+(PK1/AK10)**(GM-AK20)
IF(CUB*CUB-1.0E-10)60,60,61
60 DK2=99999.
   AJK2=99999.
   GO TO 62
61 DK2=((PK2*(AK10+GM)/AK20)-PK1*CTET)/CUB
   AJK2=PK2*PK2*PK2*W/(PIST*AK20*PK1*CUB)
62 CUB=PP2*CPHI+(PK1/AK10)**(GM-AK20)
   IF(CUB*CUB-1.0E-10)63,63,64
63 DP2=99999.
   AJP2=99999.
   GO TO 65
64 DP2=((PP2*(AK10+GM)/P20)-PK1*CPHI)/CUB
   AJP2=PP2*PP2*W/(PIST*P20*PK1*CUB)
65 BETA=PK1/(GM+AK10)
   SPHI=SIN(PHI*D)
   CUB=1./(1.-BETA*BETA*CPHI*CPHI)
   DT2DF=-2.*PP2*BETA*SPHI*CUB*D
   TASK2=(AJK2*PK1)/(DK2*PK2)
   TASP2=(AJP2*PK1)/DP2*PP2)
   IF(SENSE SWITCH 1) 80,81
85 TYPE,PHI,TETA,W,DT2DF
   TYPE,TK1,PK1,DP2,AJP2,TASP2
   TYPE,TK2,PK2,DK2,AJK2,TASK2
   GO TO 82
81 PUNCH,PHI,TETA,DT2DF,W,TK1,PK1,TK2,PK2,DK2,AJK2,
   DP2,AJP2,ALFA
82 PHI=DPHI+PHI
   IF(PHI-PHIMX)94,94,95
95 Q2=DQ2+Q2
   IF(Q2-Q2MAX)96,96,97

```