

G. Vettolani

PROPRIETA' INTEGRALI DELLE  
GALASSIE SPIRALI E LORO  
MOMENTO ANGOLARE

LRA 6175

20 MAR. 1975

Per parametri integrali si intendono quelle grandezze fisiche, sia direttamente misurabili che ricavabili da altre grandezze misurabili, il cui valore è determinato dalla struttura complessiva della galassia; come ad esempio il colore, la luminosità assoluta, la massa ecc. Gli attuali schemi di classificazione delle galassie non fanno in genere riferimento a parametri integrali, ma si basano sull'aspetto morfologico dell'intera galassia o di sue parti. Lo schema di classificazione di Hubble, il primo ad essere proposto, benchè sembrasse privo di qualsiasi significato fisico, è invece strettamente connesso alle proprietà fisiche delle galassie, che sono simili per galassie dello stesso tipo morfologico e variano con continuità da tipo a tipo. E' perciò importante studiare quali parametri integrali siano i più atti a caratterizzare la classificazione morfologica di Hubble ed a far passare da essa ad una classificazione fisica. Tutti gli sforzi in quest'ultima direzione sono però stati infruttuosi: esistono parametri integrali ben correlati con il tipo morfologico, ma non tali da poter essere usati in sua vece. E' ormai accertato inoltre che la classificazione di Hubble necessita, se la si vuol ridefinire in termini di grandezze fisiche, dell'uso di almeno due parametri (Brosche 1973).

Uno dei primi parametri integrali di cui si è trovata una stretta correlazione col tipo morfologico è il colore (B-V). La figura I riporta i risultati del recente studio

di de Vaucouleurs e altri (1972) su di un campione di oltre 1200 galassie. I punti di figura I si riferiscono ai colori  $(B-V)_{oc}$  medi, ma esiste un certo intervallo di variazione del colore all'interno di ogni tipo; è interessante notare che questo non riflette le diverse famiglie (A, AB, B) e varietà (r, rs, s) in cui è stato suddiviso (de Vaucouleurs 1959, 1962) ogni tipo morfologico. Ciò sta a significare che le ulteriori suddivisioni riflettono dettagli minori della dinamica e non differenze basilari nelle proprietà fisiche o nella composizione. Le variazioni del colore all'interno di ogni tipo morfologico sono state spiegate in termini di variazione del tasso di formazione stellare (Searle e altri 1973), supponendo che esso decresca col tempo secondo una legge del tipo  $\exp(-t)$ ; all'interno dello stesso tipo morfologico galassie con diverso colore corrisponderebbero a diversi valori di  $t$ . I parametri integrali correlati col tipo morfologico sono numerosi (a) e tutte queste correlazioni sono estremamente interessanti per comprendere le differenze tra i vari tipi, nel seguito vorrei mostrare però come per le galassie a spirale ci siano indicazioni di una dipendenza dei vari tipi morfologici dal momento angolare. Questo è quanto fisicamente ci si aspetta se sia la massa che il momento angolare si conservano durante il collasso e la successiva frammentazione in stelle della protogalassia (v. Mestel

(a) Una recente discussione del problema in de Vaucouleurs (1973)

1963, Crampin ed altri 1964), e se la maggior parte delle galassie si possono considerare isolate durante la loro "vita" così da conservare il momento angolare iniziale.

La prima indicazione dell'importanza del momento angolare ci viene dallo schiacciamento delle galassie e dalla sua distribuzione tra i vari tipi morfologici.

Una nube rotante di gas di massa  $M$ , dimensione  $R$ , e temperatura  $T$  può collassare soltanto se il suo momento angolare  $L$  è <sup>per unità di massa</sup> minore di un certo valore critico  $A_0$  pari a (Larson 1972):

$$A_0 = R (2 \cdot I (GM/R) - 5 R T)^{1/2}$$

dove  $R$  è la costante dei gas perfetti.

Il collasso avviene preferenzialmente lungo l'asse di rotazione, essendone impedito in direzione trasversa dalla forza centrifuga; a parità di massa, a maggior densità di momento angolare corrisponde un maggior rapporto assiale  $q_0 = c/a$ , dove  $a$  e  $c$  sono i semiassi maggiore e minore rispettivamente, ovvero ad una maggiore ellitticità  $e = (1 - q_0^2)^{1/2}$ .

Se la densità di momento angolare è maggiore di  $A_0$  la nube non collassa ma si pone in uno stato stazionario con un moderato flattening.

L'andamento dell'ellitticità con il tipo morfologico è stato trattato da Sandage e altri (1970) soprattutto in rapporto alle galassie ellittiche ed SO e più recentemente da Heidmann e altri (1971) e de Vaucouleurs (1973).

I risultati di fig. 2 mostrano che  $q_0$  medio decresce lungo la sequenza di Hubble dalle ellittiche sino alle Sd ( $t=7$ ), dove raggiunge il minimo; al di là di esse  $q_0$  riprende a crescere. Tutto ciò, benchè basato su rapporti di diametri fotometrici che sono indicatori di dimensioni poco soddisfacenti in quanto dipendono dalla densità di luminosità e dalla orientazione spaziale, sta ad indicare che la sequenza di Hubble dalle Sa alle Sd è, a parità di massa una sequenza di momento angolare crescente verso i tipi più tardi.

Brosche (1971) e Vorontsov Veliaminov (1970 a) hanno trovato una relazione ben definita tra la velocità massima di rotazione delle galassie spirale ed il tipo morfologico (fig. 3) nel senso che i sistemi più tardi hanno velocità di rotazione minori. Per un sistema autogravitante di massa  $M$  e momento angolare  $L$ , in equilibrio rotazionale si ha che

$$L = \gamma G (M^2 / V_m)$$

dove  $V_m$  è la velocità massima di rotazione e  $\gamma$  un coefficiente numerico che dipende dalla geometria del sistema. Anche la correlazione della velocità massima di rotazione con il tipo indica quindi che la sequenza di Hubble si può interpretare come una sequenza di momento angolare a massa costante. Ora se ciò è vero dal momento che all'interno di ogni tipo morfologico c'è una discreta variazione della massa delle galassie (Vorontsov Veliaminov 1970 b, Roberts 1969, Burbidge 1970) occorre chiedersi come si distribuisca il momento angolare rispetto alla massa. Il che equivale a chiedersi se esista una relazione massa

densità di momento angolare, che potrebbe essere identica per tutti i tipi morfologici o diversa da tipo a tipo.

E' noto che la distribuzione di luminosità nelle galassie spirali è costituita da una componente sferoidale centrale che segue la legge  $r^{1/4}$ , dove  $r$  è la distanza dal centro opportunamente normalizzata, e da una componente di disco ad andamento esponenziale (de Vaucouleurs 1959).

Se il rapporto massa luminosità è costante nel disco la luminosità è proporzionale alla densità superficiale; da ciò Freeman (1970) ha ricavato per un disco esponenziale in equilibrio centrifugo una relazione massa densità di momento angolare del tipo:

$$A \quad M^{3/4}$$

Una relazione di questo tipo dovrebbe essere sempre meglio approssimata man mano che ci si avvicina ai tipi più tardi nella sequenza di Hubble. Infatti le curve di distribuzione radiale della luminosità indicano un graduale passaggio da tipi che seguono la distribuzione esponenziale (irregolarimagellaniche) a tipi che sono una combinazione lineare di essa e della distribuzione  $r^{1/4}$ , con una preponderanza di quest'ultima componente man mano che ci si avvicina ai primi stadi della sequenza di Hubble (de Vaucouleurs 1973).

Una relazione tra la massa e la densità di momento angolare è stata considerata numerose volte (Brosche 1963, 1970, Takase ed altri 1967, Heidmann 1969) ma le relazioni trovate sono dipendenti dal modello scelto per collocare la massa

ed il momento angolare. Essi infatti vengono ricavati dalla curva di rotazione ottica o dall' allargamento della riga a  $21\text{I cm}$ , assumendo un particolare modello. Come mostrato da Nordsieck (1973) paragonando massa e momento angolare così ottenuti non si fa altro che riprodurre la relazione già contenuta all' interno del modello.

Queste difficoltà potrebbero essere evitate soltanto se fosse possibile stimare massa e densità di momento angolare in maniera indipendente. A questo scopo Bergamini ed altri (1974) hanno usato come parametri indipendenti rispettivamente proporzionale alla massa ed alla densità di momento angolare la luminosità assoluta e il prodotto della velocità massima di rotazione per la distanza dal centro della galassia a cui essa si trova, ( $\Omega$ ).

Che la luminosità assoluta sia proporzionale alla massa è comunemente accettato e la tendenza attuale è di considerare il rapporto massa luminosità costante, ed eguale ad 8 per le galassie spirale, in unità solari, indipendentemente dal tipo morfologico (Roberts 1969, Vorontsov Veliaminov 1970 a).  $\Omega$  è poi rigidamente proporzionale alla densità di momento angolare entro il punto di inversione della curva di rotazione (Savchenko 1974), indipendentemente dal tipo morfologico; e poichè per un dato tipo morfologico le curve di rotazione hanno andamento simile (Roberts e Rots 1973) si può considerare  $\Omega$  come significativamente rappresentativo della densità media di momento angolare, entro uno stesso tipo o per tipi molto vicini.

Un' altra maniera per stimare la densità media di momento angolare è quella usata da N. Heidmann (1969):

$$=0.05 a W$$

dove  $W$  è la larghezza totale del profilo della riga a 21 cm, corretta per l' effetto di inclinazione, ed  $a$  è il diametro di Holmberg.  $\Omega$  e  $\Omega_v$  sono, per uno stesso tipo morfologico, proporzionali, in quanto  $W$  è eguale a 2 volte la velocità massima ed il raggio di Holmberg è correlato ad  $r_{\max}$ , ed il loro rapporto è correlato al tipo morfologico (Brosche 1973). L' errore stimato su  $\Omega_v$  è del 30%; simile si può considerare l'errore su  $\Omega$  (Balkowsky 1974).

Data la scarsità dei dati disponibili Bergamini e altri (1974) non hanno suddiviso le galassie su tutti i tipi morfologici, ma hanno considerato due distinti campioni: il primo contenente galassie dei tipi Sb, Sbc ed il secondo tutti i tipi più tardi.

Poichè la correlazione è meglio espressa utilizzando una forma logaritmica:

$$\log \Omega = \alpha \log L$$

si fa uso al posto del logaritmo della luminosità della magnitudine assoluta. Per il primo gruppo è presente una forte correlazione, sia che si stimi la densità di momento angolare attraverso  $\Omega$  (fig. 4), che  $\Omega_v$  (fig5). I coefficienti di correlazione ( $r$ ), e le pendenze delle rette di regressione sono date nella tavola I; la pendenza si riferisce alla retta dei minimi quadrati.

Per il secondo campione non è presente alcuna correlazio

ne tra la magnitudine assoluta ed  $\mathcal{R}$  (fig. 6) ed una molto insicura (v. tav. I) con  $\mathcal{R}_v$ .

Ciò è da attribuirsi alla differenza di densità di momento angolare che ci si aspetta tra i vari tipi morfologici inclusi in quest'ultimo campione, come indicato dalle diverse ec centricità medie, (fig. 2).

Il panorama qui delineato indica che la sequenza di Hub ble può essere considerata una sequenza di momento angolare a massa costante, ma l'incertezza e la frammentarietà dei dati disponibili non permette di affermarlo con sicurezza. D'altra parte <sup>per uno</sup> dei due parametri, che Brosche (1973) indica come necessari per descrivere la sequenza di Hub ble, la densità di momento angolare è il miglior candidato.

FIGURA 1 colore B-V, corretto per inclinazione ed assorbimento interno, contro il tipo morfologico.

(da de Vaucouleurs e altri 1972)

FIGURA 2 ellitticità contro tipo morfologico.

(da Heidmann e altri 1971)

FIGURA 3 velocità massima in km/sec contro il tipo morfologico.

(da Brosche 1971)

FIGURA 4 momento angolare medio per unità di massa  $\Omega$  in unità di  $10^{27}$   $\text{cm}^2/\text{sec}$  contro la magnitudine assoluta, per galassie del tipo Sb Sbc.

(da Bergamini e altri 1974)

FIGURA 5 momento angolare medio per unità di massa  $\Omega_r$  in unità di  $10^{27}$   $\text{cm}^2/\text{sec}$  contro la magnitudine assoluta per galassie Sb, Sbc.

(da Bergamini e altri 1974)

FIGURA 6 momento angolare medio per unità di massa  $\Omega$  in  $10^{27}$   $\text{cm}^2/\text{sec}$  contro la magnitudine assoluta per galassie Sc e di tipi più tardi.

(da Bergamini e altri 1974)

Figura 7 momento angolare medio per unità di massa  $\Omega_r$  in  $10^{27}$   $\text{cm}^2/\text{sec}$  per galassie di tipo Sc e tipi più tardi, contro magnitudine assoluta.

(da Bergamini e altri 1974)

## BIBLIOGRAFIA

- Balkowsky G. 1974 A. A. 29, 48
- Brosche P. 1963 Z. Astroph. 57, 148
- 1970 A. A. 6, 240
- 1971 A. A. 13, 293
- 1973 A. A. 23, 259
- Burbidge G. 1971 preprint per il IX volume di "Stars & Stellar systems".
- Bergamini R., Marano B., Vettolani G., 1974 preprint
- Crampin C., Hoyle F. 1964 Ap. J. 140, 99
- de Vaucouleurs G. 1959 Hb. der Phys. 53, 275
- 1962 IAU Symp. 15, 3
- 1973 IAU Symp. 58, I
- de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A; Mem. R. A. Soc. 77, I
- Freeman K. C. 1970 Ap. J. 160, 811
- Heidmann H., Heidmann N., De Vaucouleurs G. 1971 Mem. R. A. Soc. 75, parti 5, 6.
- Heidmann N. 1969 Astroph. Lett. 3, 153
- Larson B. 1972 M. N.R.A.S. 156, 437
- Mestel L. 1963 M.N.R.A.S. 126, 553
- Nordsiek K. H. 1973 Ap. J. 184, 719
- Roberts M. S. 1969 A.J. 74, 859
- Roberts M. S., Rots D. H. 1973 A.A. 26, 483
- Sandage A., Freeman K. H., Stokes N. R. 1970 Ap. J. 160, 831
- Savchenko U. P. 1974 Sov. Astr. 17, 743
- Searle L., Sargent W., Bagnuolo W. G. 1973 Ap. J. 179, 427

Takase B., Kinoshita H. 1967 Publ. Astron. Soc. JapL  
19, 409

Vorontsov Veliaminov B. A. 1970a Sov. Astron. 14, 222  
1970b Sov/ Astron. 14,11

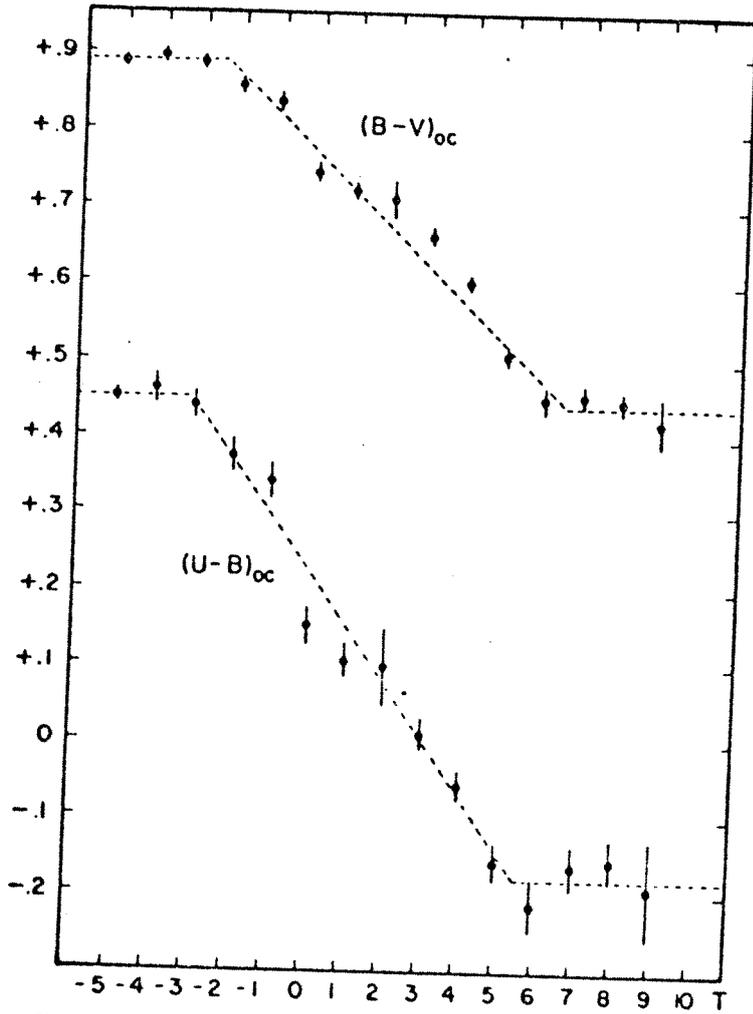


FIG. 6. Mean reduced  $(U-B)_{oc}^*$ ,  $(B-V)_{oc}^*$  colour-type relations.

Fig 1

Fig 2

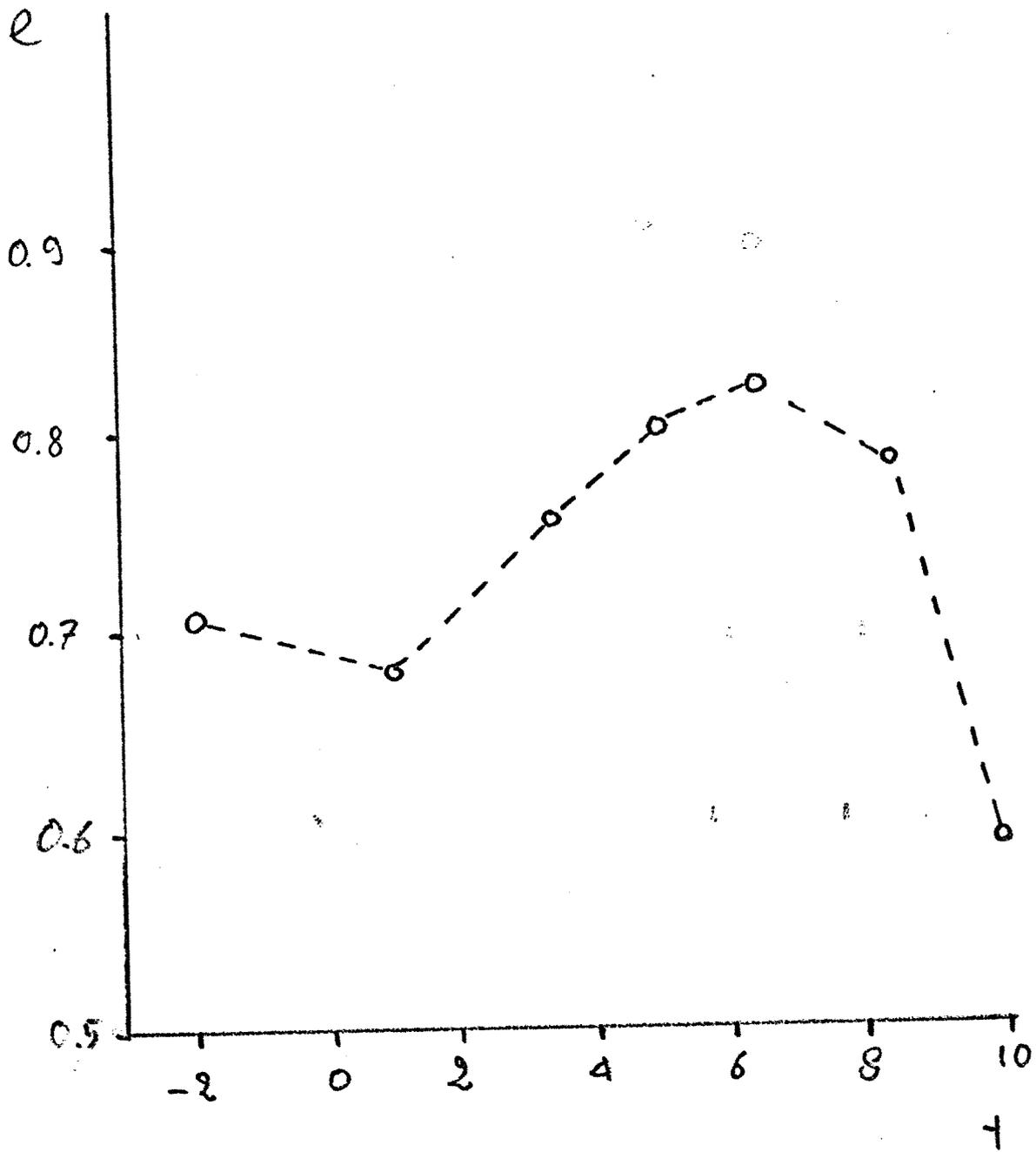


Fig 3

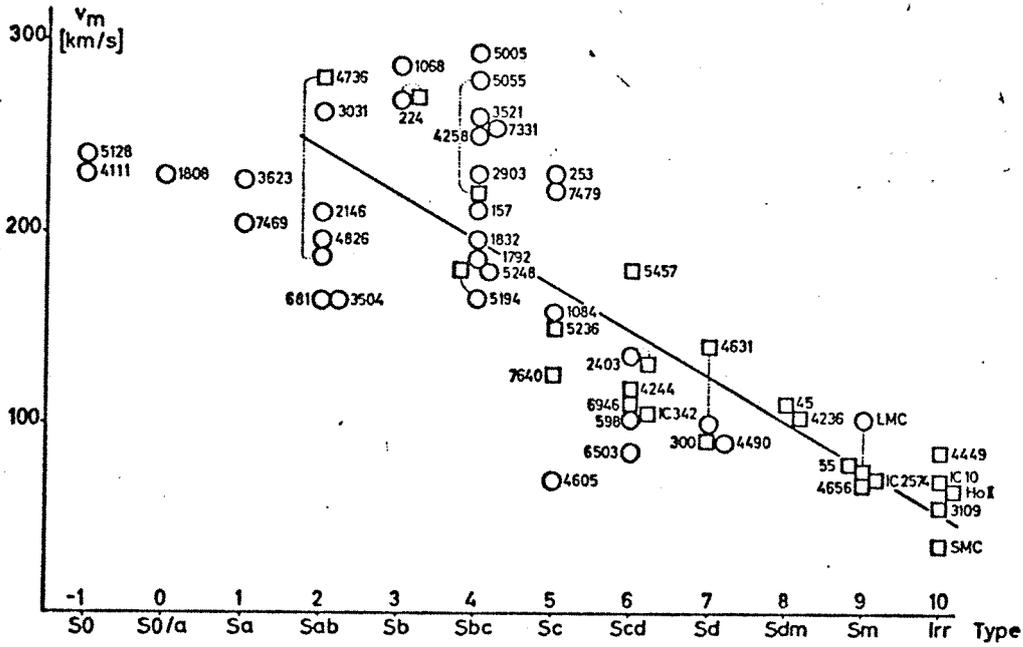


Fig. 1. Maximum rotational velocity and type (de Vaucouleurs) of galaxies (○ optical observations; □ 21 cm observations)

Fig. 4

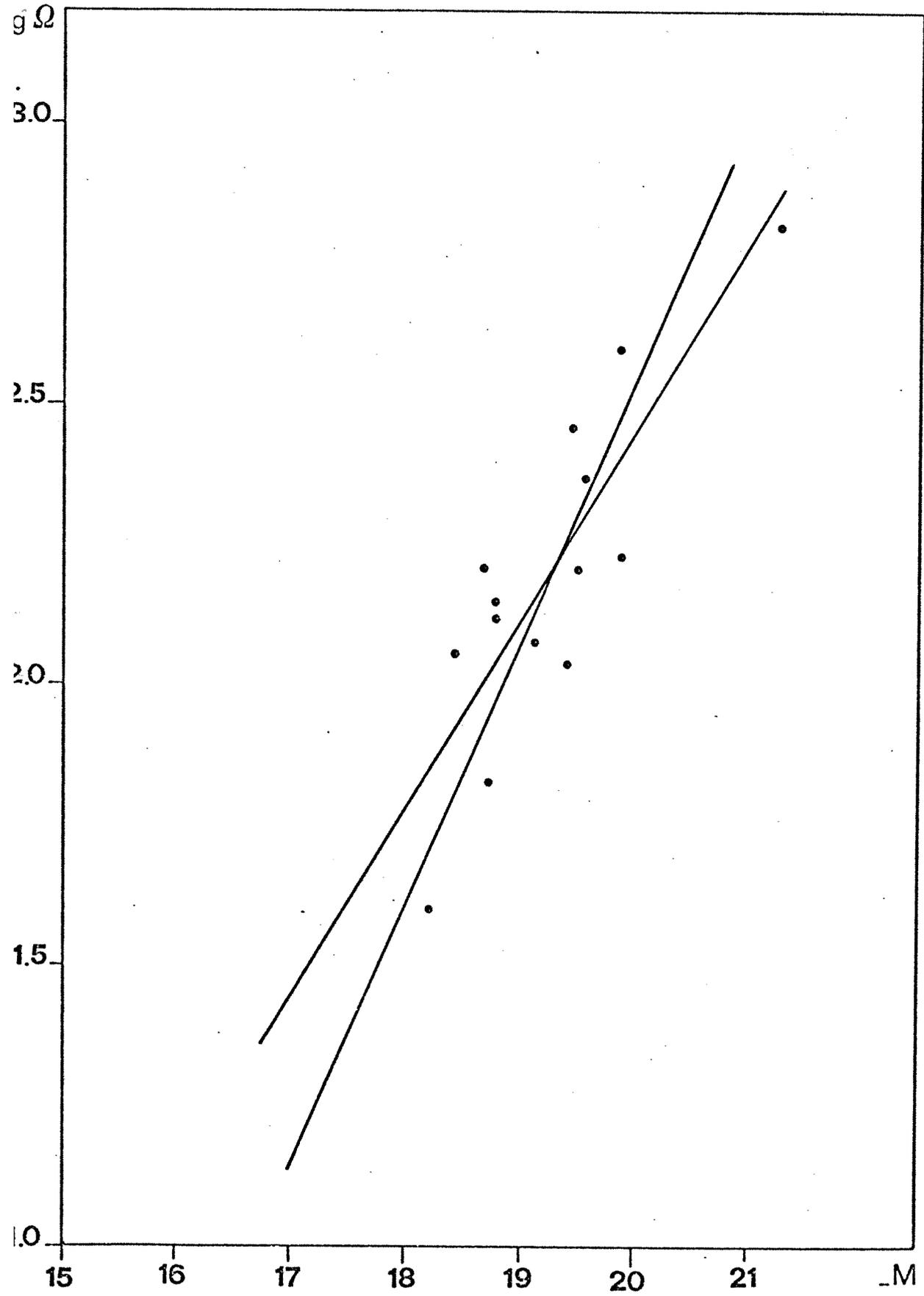


Fig 5

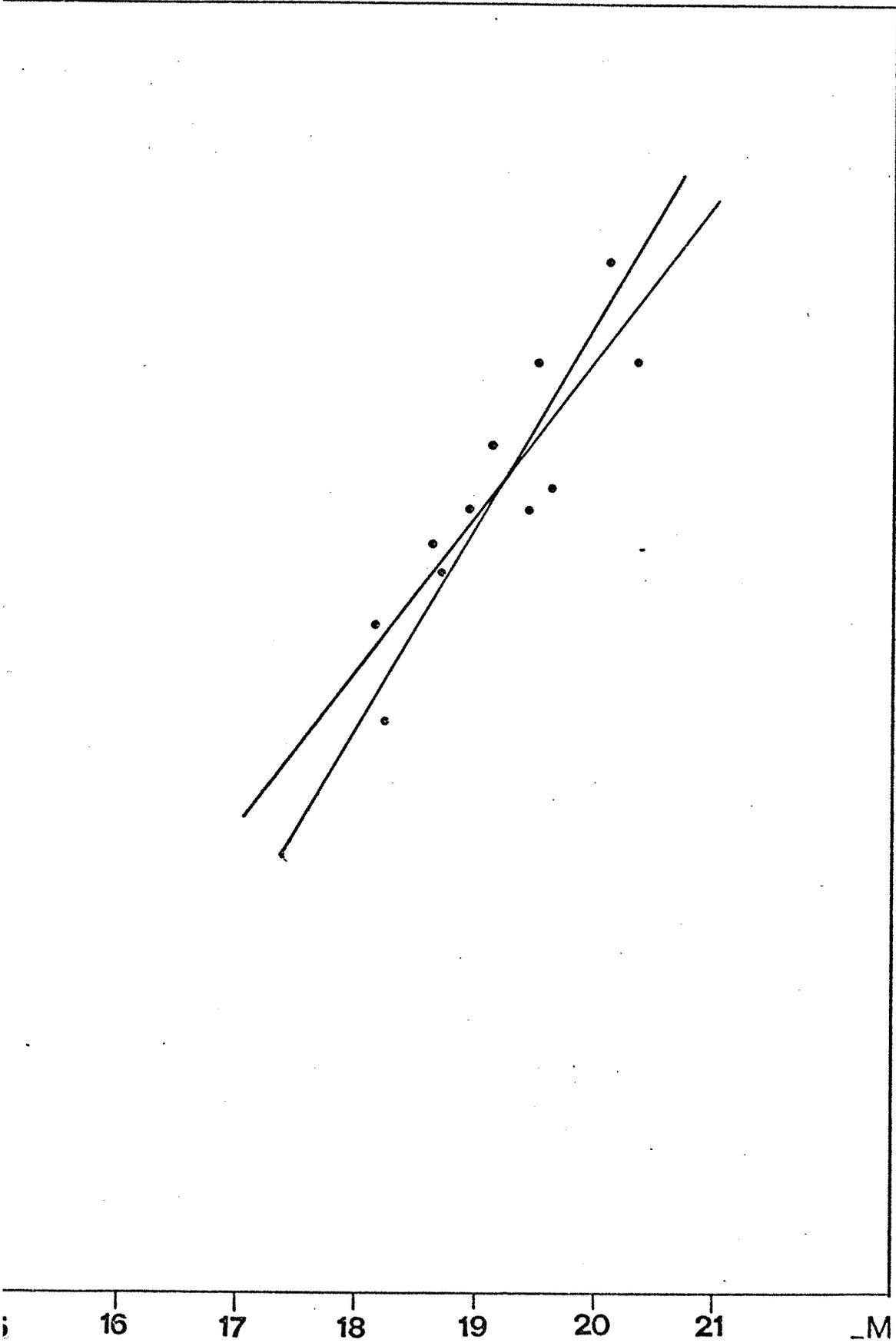
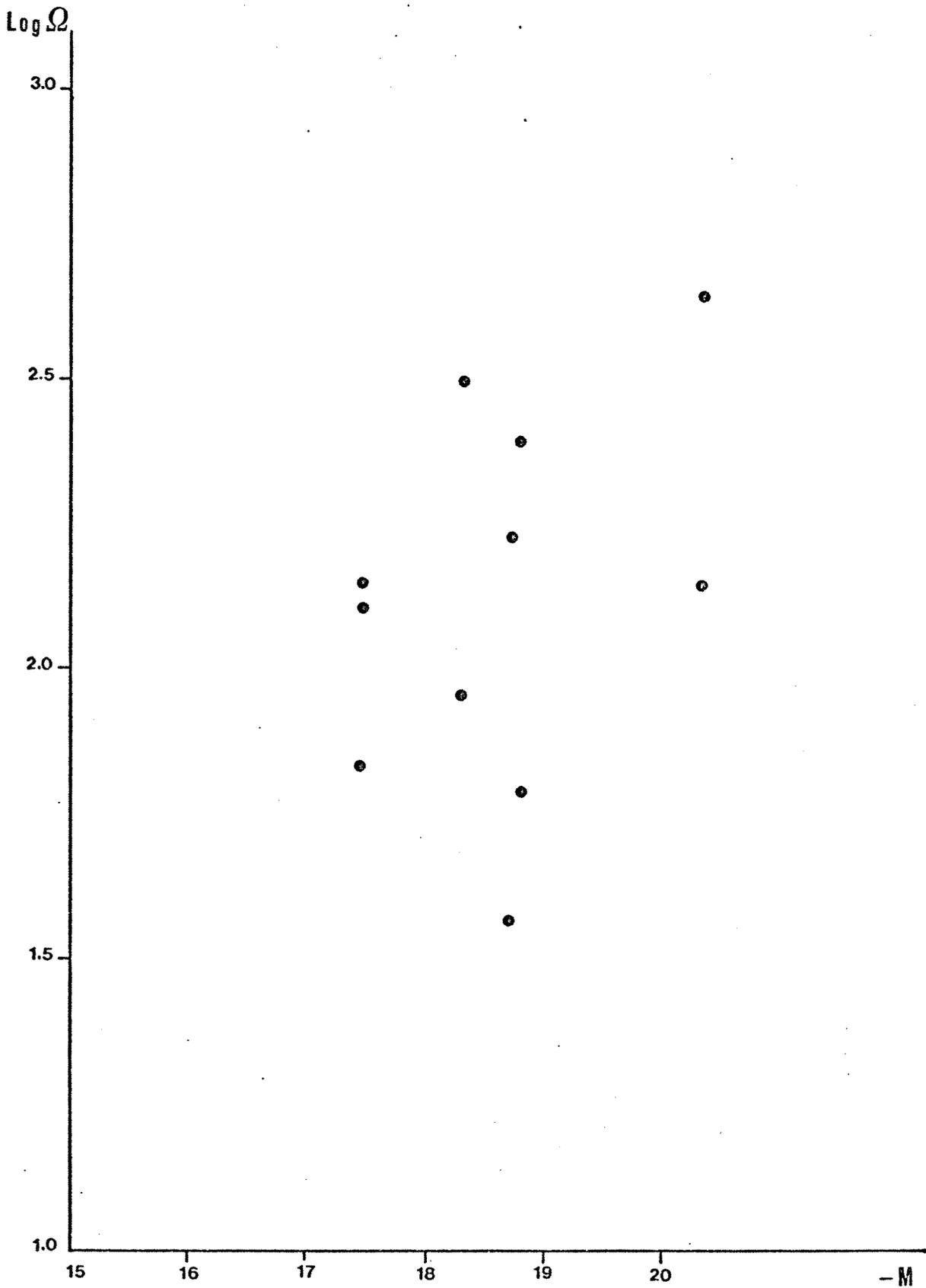


Fig 6



.....  
.....

Scattered

Fig 7

