

## Pressure-density curves for *Fe*, *Cu* and some minerals

E. BOSCHI - M. CAPUTO \*

Received on September 26th, 1972

**SUMMARY.** - This paper is concerned with theoretical pressure-density curves for Iron Copper and some minerals obtained using an approximant of the Fermi-Thomas function.

**RIASSUNTO.** - In questo lavoro vengono date curve teoriche pressione-densità per il Ferro, il Rame ed alcuni minerali, facendo uso di un approssimante della funzione di Fermi-Thomas.

### 1. - INTRODUCTION

Since the Earth's interior is not directly accessible to us, we must in many instances rely on indirect evidence about its physical state. This is not nearly as much of an ultimate handicap as one might be inclined to think at first sight. Many inferences can be drawn from the seismic data; but on going beyond the results so obtained the conclusions will no longer be formally determined in the same sense in which the seismic velocities are solutions of a differential equation into which the empirical data enter under the form of initial conditions. The methods to be applied are more in the nature of inductive inferences where narrower and narrower limits are imposed upon the possible models of the Earth's interior; variants of model that do not agree with the whole of the observed facts are progressively eliminated.

---

\* Istituto di Geofisica, Università di Bologna (Italia).

This method leaves us with a considerable body of quantitative information. From the viewpoint of such a method, it is necessary to have a good insight into the chemical composition of the Earth. Strictly correlated to the problem of the chemical composition, the determination of the equations of state at high pressure of the substances of geophysical interest give a further restriction upon the possible models of the Earth's interior.

For a number of reasons, we expect the mantle to consist of silicates and the core of Iron with some slight mixture of other elements. A corroboration of this view is achieved from the data obtained with the aid of shock wave experiments in the appropriate high pressure range. Nevertheless for well-known reasons such data cannot be considered a definite answer to the problem and could be subjected to revision <sup>(29)</sup>.

Theoretical calculations about the behaviour of metals under extreme compression have been carried out by Slater and Krutter <sup>(21)</sup>, Jensen <sup>(15)</sup>, and Feynman, Metropolis and Teller <sup>(13)</sup>. These are based on the Fermi-Thomas atom model which becomes applicable when the compression begins to obliterate the specific structural effects of the valence electrons. Takeuchi and Kanamori <sup>(20)</sup> have reduced the data for pressure versus density of Altschuler and al. <sup>(1)</sup> and of McQueen and Marsh <sup>(21)</sup> to zero absolute temperature and have compared them with the predictions of the Fermi-Thomas theory. They find that the Fermi-Thomas model yields densities that are too low at 10 Mb, but extrapolation of the experimental results indicates that the actual equation of state is well represented by the model at pressures slightly higher than 1000 Mb, independently from the atomic number. Boschi and Caputo, in a number of papers <sup>(2-7)</sup>, have extended such a pressure region of validity by means of a different derivation of the equation of state from the atomic model.

In this paper we give theoretical pressure-density curves for Copper, Iron and some mineral using an approximant of the Fermi-Thomas function.

## 2. - BASIC EQUATIONS

From classical theory of elasticity, we can write the following simple equation:

$$p = A\lambda \quad [2.1]$$

where  $p$  is a pressure applied to the physical system under consideration and  $\lambda$  is the reaction to this external perturbation. In other words  $\lambda$  is the internal pressure.  $\Delta$  is the dilatation of the system:

$$\Delta = \frac{1}{r^2} \frac{d(r^2 s)}{dr} \quad [2.2]$$

where  $s$  is the surface displacement.

Let us now assume that the system we are considering is an atom in the framework of the Fermi-Thomas model. In the Fermi-Thomas theory, each atom occupies an independent spherical cell and the electron distribution is determined to a first approximation about a nucleus fixed in the centre of the cell. The electrons are assumed to be free Fermi-Dirac particles, all other details of the quantum mechanics of atoms are ignored and the distribution of the electron cloud is related to the electrostatic potential by Poisson's equation. Then, by classical kinetic theory, neglecting the small contribution of the nuclear motion to the thermodynamics of the system, it is possible to derive that

$$\lambda(r) = \frac{2}{3} \cdot e_0 \cdot \rho^{5/3}(r) \quad [2.3]$$

where

$$e_0 = \frac{3}{10} \frac{\hbar^2}{m} \left( \frac{3}{8\pi} \right)^{2/3}$$

$r$  is the distance from the nucleus,  $\rho$  is the electron density,  $m$  is the electron mass and  $\hbar$  the Planck constant.

Furthermore the Fermi-Thomas theory gives for  $\lambda(r)$  the following explicit expression:

$$\lambda(r) = A(Z) \left( \frac{\hbar^2 \rho(r)}{m} \right)^{5/2} \quad [2.4]$$

with

$$A(Z) = \frac{e^2 Z^2}{10 \mu^4 \pi}$$

where  $Z$  is the atomic number,  $e$  is the electron charge and  $\mu$  is given by:

$$\mu = 0.88 a_0 Z^{-1/3} \text{ cm}$$

where  $a_0$  is the Bohr radius of the first orbit of hydrogen,  $x$  is an  $n$ -dimensional quantity defined as:

$$x = r/\mu \quad [2.5]$$

and  $\phi(x)$  is the well-known Fermi-Thomas function.

From the equations [2.1] and [2.2], we get:

$$p = \frac{A(Z)}{r^2} \lambda(r) \frac{d(r^2 s)}{dr} \quad [2.6]$$

and, separating the variables:

$$\tilde{s} = \left\{ \frac{1}{r_0^2} \int_0^r \frac{r^2}{\lambda(r)} dr \right\} p \quad [2.7]$$

where the tilde means a surface displacement. Using for  $\lambda$  the expression given by equation [2.4], we have:

$$\tilde{s} = \left[ A(Z)^{-1} (\mu x_0)^{-2} \int_0^x t^{9/2} \phi(t)^{-5/2} dt \right] p \quad [2.8]$$

where the dimensionless variable [2.5] has been introduced.

Let us now expand  $p$  in powers of the surface displacement  $\tilde{s}$

$$p(\tilde{s}) = p(0) + (dp/d\tilde{s})_{\tilde{s}=0} \tilde{s} + \frac{1}{2} (d^2p/d\tilde{s}^2)_{\tilde{s}=0} \tilde{s}^2 + \dots \quad [2.9]$$

From equation [2.8], we find:

$$\begin{aligned} p(0) &= 0 \\ (dp/d\tilde{s})_{\tilde{s}=0} &= A(Z) (\mu x_0)^2 \left[ \int_0^{x_0} t^{9/2} \phi(t)^{-5/2} dt \right]^{-1} \\ (d^2p/d\tilde{s}^2)_{\tilde{s}=0} &= 2\mu^{-2} A(Z) x_0^{-2} \left[ \int_0^{x_0} t^{9/2} \phi(t)^{-5/2} dt \right]^{-1} \\ &\cdot \left\{ \mu^2 x_0^{9/2} \phi(x_0)^{-5/2} \left[ \int_0^{x_0} t^{9/2} \phi(t)^{-5/2} dt \right]^{-1} + 2 (\mu x_0)^{-1} \right\}. \end{aligned}$$

Therefore equation [2.9] becomes:

$$p(\bar{s}) = \mu^2 A(Z) x_0^2 \left[ \int_0^{x_0} t^{3/2} \phi(t)^{-5/2} dt \right]^{-1} \bar{s} \cdot \\ \cdot \left\{ 1 + \bar{s} \left[ \mu^2 x_0^{9/2} \phi(x_0)^{-5/2} \left( \int_0^{x_0} t^{3/2} \phi(t)^{-5/2} dt \right)^{-1} \right] + 2 (\mu x_0)^{-1} \right\}. \quad [2.10]$$

The problem, now, is to solve the integral which appears two times in the right-hand member of equation [2.10]. The Fermi-Thomas function has no analytical expression, therefore we have two possibilities: either to integrate numerically or to use an approximant of the Fermi-Thomas function. We will follow the latter way by means of a function which differs from the Fermi-Thomas function by less than 1% and whose derivative differs by no more than 5%.

### 3. - APPROXIMANT OF THE FERMI-THOMAS FUNCTION.

A large number of articles (<sup>15-21</sup>) have appeared concerning approximations to the solution of the Fermi-Thomas equation. As a measure of the accuracy, Umeda (<sup>20</sup>) has suggested to use the numerical solution of an integral:

$$I(\phi) = \int_0^{\infty} \left[ \phi'^2 + \left( \frac{4}{3} \right) \phi'^{3/2} x^{-1/2} \right] dx \quad [3.1]$$

whose variation gives the Fermi-Thomas equation:

$$\phi'' = \phi^{3/2}/x^{1/2} \quad [3.2]$$

The functional [3.1] has a minimum value of 1.3612 when  $\phi$  is an exact solution of [3.2]. The derivation of  $I$  from the minimum value can serve as an estimate of the degree of accuracy of the approximate solution. Thus for Sommerfeld's approximation (<sup>25</sup>):

$$\phi = [1 + (x/12^{2/3})\gamma's]^{-3\gamma's}, I = 1.3670;$$

for Kerner (<sup>17</sup>) form:

$$\phi = [1 + \gamma_K x]^{-1}, I = 1.3679;$$

for Tietz solution:

$$\phi = [1 + \gamma_T x]^{-2} \cdot I = 1.3662;$$

for Rosenthal solution (22):

$$\phi = 0.7345 e^{-0.562x} + 0.2655 e^{-3.392x}, I = 1.3636.$$

where  $\gamma_s, \gamma_K, \gamma_T$  are appropriate parameters.

It is possible to write  $\phi$  in a new form, for which  $I = 1.3626$ :

$$\phi(x) = e^{-(\gamma x)^{1/2}} \left[ 1 + \frac{1}{2} (\gamma x)^{1/2} \right]^2 \quad [3.3]$$

where  $\gamma$  is a parameter which can be determined from the condition  $\partial I / \partial \gamma = 0$ . This leads to  $\gamma = 6.119$ .

The function [3.3] can be derived by deducing  $\phi$  from the Lenz-Jensen (16,19) approximate expression for the electron density  $\varrho(r)$ . For this purpose let us consider the following relations between  $\varrho(r)$  and  $\phi(x)$ :

$$\varrho_a(r) = A(Z) \phi''/x, \quad [3.4]$$

$$\varrho_b(r) = A(Z) (\phi/x)^{3/2}. \quad [3.5]$$

When  $\phi$  is an exact solution of [3.2],  $\varrho_a$  and  $\varrho_b$  are equal. When  $\phi$  is approximate, [3.5] must be used because the function itself is a better approximation than its second derivative. But [3.5] does not generally satisfy the normalization condition:

$$\int_0^{\infty} \varrho 4\pi r^2 dr = Z, \quad [3.6]$$

for approximate  $\phi$  and arbitrary  $\gamma$ . Therefore instead of  $\varrho_a$ , we must take:

$$\varrho = \varrho_a (\gamma/\bar{\gamma})^{3/2}, \quad [3.7]$$

where  $\bar{\gamma}$  is determined by the mean value method:

$$\int_0^{\infty} (\phi'' - \phi^{3/2}/x^{1/2}) x dx = 0, \quad [3.8]$$

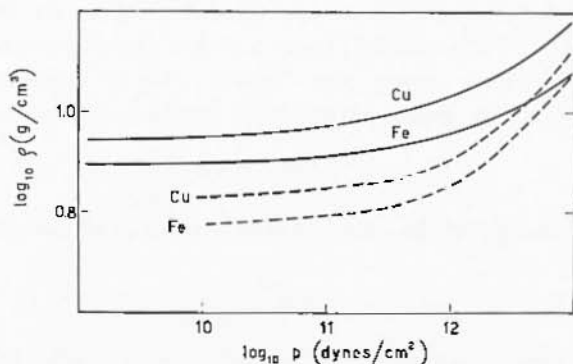


Fig. 1 - Pressure-density curves for Iron and Copper. Continuous lines: shock wave experimental data (<sup>5,6</sup>). Dashed lines: theoretical results.

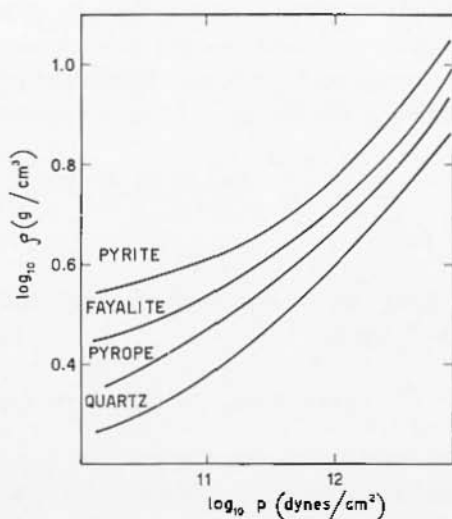


Fig. 2. - Theoretical pressure-density curves for Pyrite ( $\text{FeS}_3$ ), Fayalite ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), Pyrope ( $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{SiO}_{11}$ ) and Quartz ( $\text{SiO}_2$ ).

which has been proposed by March (<sup>12,20</sup>). Equation [3.7] insures normalization of  $\rho$  for arbitrary  $\gamma$  as well as fulfillment of the virial theorem

$$2 E_K + E_p = 0,$$

where  $E_K$  and  $E_p$  are the kinetic and the potential energy, respectively. The advantage of [3.5] and [3.7] over [3.4] now also follows from energy considerations. Thus using the Tietz's simple approximation of  $\phi^{(27,28)}$  [3.4] gives, by means of the Ritz method,

$$E = - 0.660 (e^2/a_0) Z^{7/3}$$

for the total energy of the atom, whereas from [3.4] and [3.5], we obtain:

$$E = - 0.768 (e^2/a_0) Z^{7/3}$$

which is much closer to the exact value:

$$E = - 0.769 (e^2/a_0) Z^{7/3}$$

The value of  $\varrho$  obtained from [3.4] and [3.5] with  $\gamma = \gamma_R$ , determined by the Ritz method from  $\partial E/\partial \gamma = 0$ , can be regarded as the approximation that corresponds to a given approximate  $\phi$ . For instance, from Tietz's form [ $\bar{\gamma} = (\pi/8)^{2/3} = 0.536$ ], we get an expression of the electron density which insures normalization and fulfillment of the virial theorem, and a good value of the energy. Such an expression is:

$$\gamma_T = \frac{Z}{4\pi \mu^3} \frac{8 \gamma^3}{\pi} (\gamma x)^{-3/2} [1 + (\gamma x)]^{-3} \quad [3.9]$$

where  $\gamma = \gamma_R = 0.527$ .

On the other hand, let us start with the well-known Lenz-Jensen approximation <sup>(16,19)</sup> for  $\varrho$ :

$$\varrho_{LJ} = \frac{Z}{4\pi \mu^3} \frac{\gamma^3}{\gamma^{-3/2}} (\gamma x)^{-3/2} \exp [- (\gamma x)^{1/2}] [1 + c(\gamma x)^{1/2}]^3 \quad [3.10]$$

and derive  $\phi$  using [3.4] and [3.5]. Letting  $c = 1/3$ , we then obtain [3.3], where  $\gamma$  differs from  $\gamma$  of [3.10] by the factor 4/9. The choice  $c = 1/3$ , which differs somewhat from Jensen's value,  $c = 0.65$ , is required to improve the value of  $\phi$  at zero. When  $c = 1/3$ ,  $\gamma_R = 11.41$  and  $E = - 0.76$ . The expression [3.3] which has been obtained is quite simple and convenient. In the principal range of variation,  $0 < x < 1$ , the values of  $\phi$  obtained from [3.3] differ on the average from the exact solution by less than 0.5% and never by more than 1%. In the same region,  $\phi'$  differs by less than 2.5% on the average and by not more than 5% from the exact value of  $\phi'$ .



4. - NUMERICAL RESULTS.

From equation [3.3], we have:

$$\phi(x_0) = e^{-(\gamma x_0)^{1/2}} \left[ 1 + \frac{1}{2} (\gamma x_0)^{1/2} \right]^2 \quad [4.1]$$

and

$$F(x_0) = \int_0^{x_0} t^{3/2} \phi(t)^{-5/2} dt = \frac{2^{12} \gamma^{-11/2}}{5} \left\{ e^{-5\gamma x_0} \cdot \right. \\ \left. [(\gamma x_0)^5 - 6(\gamma x_0)^4 + 20(\gamma x_0)^3 - 47(\gamma x_0)^2 + 89\gamma x_0 - 23 \right. \\ \left. \div 197(\gamma x_0 + 1)^{-1} + 31(\gamma x_0 + 1)^{-2} + 14(\gamma x_0 + 1)^{-3} - \right. \\ \left. - 907 e^{-5} [\log 5 (\gamma x_0 + 1) \div \sum_1^{\infty} \frac{[5(\gamma x_0 + 1)]^n}{n!n} - \right. \\ \left. - \sum_1^{\infty} \frac{5^n}{n!n} + \log 5] - 44 \right\}. \quad [4.2]$$

Therefore equation [2.10] becomes:

$$p(\bar{s}) = \frac{\mu^2 A(Z)x_0^2}{F(x_0)} \bar{s} \left\{ 1 + \bar{s} \left[ \frac{\mu^2 x_0^{3/2} e^{5/2(\gamma x_0)}}{\left[ 1 + \frac{1}{2} (\gamma x_0) \right]^5 F(x_0)} + \frac{2}{\mu x_0} \right] \right\} \quad [4.3]$$

Equation [4.3] has been used to obtain pressure-density curve for two metals, Iron and Copper, and for some minerals, Pyrite, Fayalite, Pyrope, Quartz.

Figures 1, 2 show the results of our theory compared with shock wave data <sup>(1,21)</sup>, when available. The discrepancies which appear in Fig. 1 are not to be considered critical since the interpretation of the shock experiment results, as it is well-known, possesses some ambiguities <sup>(16)</sup>.

In applying equation [4.3] to the minerals we have made the same assumption about the representative atomic number of the substance explained in one of our previous works <sup>(7)</sup>.

## REFERENCES

- (1) ALTSCHULER et al., 1960. - "IEPT", **11**, 766.
- (2) BOSCHI E., CAPUTO M., 1969. - "Nuovo Cimento", **1**, 441.
- (3) BOSCHI E., CAPUTO M., 1970. - "Lettere in Nuovo Cimento", **4**, 505.
- (4) BOSCHI E., CAPUTO M., 1970. - "Annali di Geofisica", **XXIII**, 2-3, 159.
- (5) BOSCHI E., CAPUTO M., 1971. - *Mantle and Core in Planetary Physics*, J. Coulomb and M. Caputo Editors, "Academic Press", p. 206.
- (6) BOSCHI E., CAPUTO M., 1971. - "Boll. Soc. It. Fis.", **87**, 20.
- (7) BOSCHI E., CAPUTO M., 1972. - "Pure and Applied Geophysics", **97**, 148.
- (8) BOSCHI E., 1971. - *Thesis*, "Scuola di Perfezionamento in Fisica", Università di Bologna.
- (9) BOSCHI E., 1972. - "Annali di Geofisica", **XXV**, 3,333.
- (10) BRINKMAN H. C., 1954. - "Physica", **20**, 44.
- (11) BUCHDAHL H. A., 1956. - "Ann. Physik", **17**, 258.
- (12) COULSON C. A., MARCH N. H., 1950. - "Proc. Phys. Soc." London, **A63**, 367.
- (13) FEYMAN R. P., METROPOLIS N., TELLER E., 1949. - "Phys. Rev.", **75**, 1561.
- (14) GOMBAS P., 1949. - *Die Statistische Theorie die Atom und ihre Anwendungen*, "Springer Verlag".
- (15) JENSEN H., 1938. - "Zeits f. Physik", **111**, 373.
- (16) JENSEN H., 1932. - "Zeits Physik", **77**, 722.
- (17) KERNER E. H., 1951. - "Phys. Rev.", **83**, 71.
- (18) KNOPOFF J. and SHAPIRO J. N., 1969. - "J. Geophys. Res.", **74**, 1439.
- (19) LENZ W., 1932. - "Zeits f. Physik", **77**, 713.
- (20) MARCH N. H., 1950. - "Proc. Cambridge Phil. Soc", **46**, 365.
- (21) McQUEEN R. G., MARSH S. P., 1960. - "J. Appl. Phys.", **31**, 1253.
- (22) ROSENTHAL S., 1935. - "Zeits. f. Physik", **98**, 742.
- (23) SANNIKOV F. G., 1958. - "JEPT", **34**, 1650.
- (24) SLATER J. C., KRUTTER H. M., 1935. - "Phys. Rev.", **47**, 559.
- (25) SOMMERFELD A., 1935. - "Zeits f. Physik", **98**, 283.
- (26) TAKEUCHI H., KANAMORI H., 1966. - "J. Geophys. Res.", **71**, 3985.
- (27) TIETZ T., 1955. - "Ann. Physik", **15**, 186.
- (28) TIETZ T., 1955. - "Nuovo Cimento", **1**, 955.
- (29) UMEDA K., 1954. - "J. Phys. Soc.", Japan, **9**, 290.

## RECENSIONI

CSANADY G. T., *Turbulent Diffusion in the Environment* (Volume 3° della serie « Geophysics and Astrophysics Monographs »). Un volume di x+248 pp. con 90 figg. nel testo ed una fuori testo. Editrice: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Olanda). 1973. Dfl 40.

Il problema dell'inquinamento dell'atmosfera è di grande attualità ed interessa i pubblici amministratori, l'ingegneria e la scienza in generale. Il libro prende in esame uno degli aspetti dell'inquinamento atmosferico: quello della diffusione turbolenta. Il cap. I tratta della diffusione molecolare, con particolare riguardo alla concentrazione, al flusso e alle sorgenti (istantanee, a forma di nube, continue, in vento uniforme). Nel cap. II sono esaminate la teoria statistica di diffusione e il moto browniano, le barriere riflettenti o assorbenti, i depositi su superficie verticali e su superficie orizzontali. I capp. III e IV entrano nel vivo dell'argomento, con l'esposizione di una teoria statistica sulla diffusione turbolenta e le sue applicazioni all'atmosfera, la definizione di diffusione « relativa » e la diffusione verticale in laghi ed Oceani. La dispersione in correnti tangenziali forma oggetto del cap. V. Il cap. VI è dedicato agli effetti di differenze di densità sulla diffusione ambientale, con particolare riferimento alla diffusione in un fluido continuo stratificato, alla teoria delle nubi di particelle in sospensione in un'atmosfera neutra, alla stima del livello sul suolo dell'inquinamento da nubi di particelle in sospensione, ecc. L'ultimo capitolo (il VII) affronta il problema della fluttuazione nella diffusione turbolenta.

Una sintesi efficace sugli aspetti di un fenomeno, strettamente legato alla sopravvivenza dell'umanità.

P. C.

\*\*\* *Physics and Chemistry of Upper Atmospheres*. A cura di B. M. McCormac. Rendiconti di un simposio, tenuto a Orléans nel 1972. Un volume di v+389 pp., con numerose figure nel testo. Editrice: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Olanda), Boston (U.S.A.). 1973. Dfl 115.

Contiene il testo di 37 comunicazioni, presentate al convegno di Fisica e Chimica dell'alta atmosfera, tenuto ad Orléans (Francia) dal 31 Lu-

glio all'11 Agosto 1972. La parte I è riservata alla struttura e composizione dell'atmosfera, mentre la parte II concerne i processi fisici e si articola in interventi sul trasporto elettromagnetico nella ionosfera, sulla radiazione solare e il suo assorbimento nell'alta atmosfera, sulla precipitazione di elettroni energetici nella bassa ionosfera, sulla ionosfera transaurorale, ecc. I processi chimici formano oggetto della parte III in cui figurano contributi sulla chimica degli ioni nelle regioni ionosferiche *D* e *E*, sull'atmosfera di ossigeno-idrogeno, sulla chimica dell'aerosol, ecc. Numerose le comunicazioni sui risultati sperimentali e loro interpretazioni (parte IV): misure con spettrometro di massa nella ionosfera, processi di emissione indiretta nelle aurore, emissioni di idrogeno e di elio, osservazioni nell'infrarosso dell'alta atmosfera, variazioni secondo il ciclo delle macchie solari nella densità atmosferica, ecc. Tre comunicazioni, formanti la parte V, si riferiscono rispettivamente alla atmosfera di Marte e alle atmosfere superiori di Venere e Giove.

Il volume si chiude con un sommario dei lavori presentati e delle conclusioni raggiunte.

P. C.

\*\*\* *Dynamic Meteorology*. A cura di P. Morel. Un volume di XII+622 pp., con numerose figure nel testo. Editrice: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Olanda). 1973.

Contiene le lezioni tenute alla Scuola estiva di Fisica Spaziale del « Centre National d'Études Spatiales » (Lannion, Francia: 7 Agosto-12 Settembre 1970). La 1ª serie di lezioni è stata svolta da N. A. Phillips sul tema: « Principi della predizione numerica del tempo su larga scala », e comprende teoria ed applicazioni numeriche. La 2ª serie tratta della dinamica di un fluido planetario ed è dovuta a J. G. Charney. In esse (13 lezioni) vengono svolte le teorie sulla circolazione simmetrica, sulle stabilità dei vortici circolari e l'instabilità dei vortici zonali, sulle oscillazioni libere e forzate, sulla circolazione generale dell'atmosfera, sulla ciclogenese tropicale, ecc. D. K. Lilly si è assunto il compito di trattare l'argomento del moto in scale sub-sinottiche e la turbolenza bi-dimensionale (10 lezioni), mentre A. S. Monin svolge in 10 lezioni il tema sugli strati limiti in atmosfere planetarie. P. Morel si sofferma (in 5 letture) sull'analisi dei dati meteorologici nello spazio e nel tempo e infine P. Queney dedica 8 letture al trasferimento e alla dissipazione di energia, legata alle onde associate ai corrugamenti montuosi.

P. C.

- \*\*\* *Wolf-Rayet and High-Temperature Stars*. (Simposio N. 49 dell'International Astronomical Union - IAU). A cura di M. K. Bappu e J. Sahade. Volume di XIV+263 pp., con numerose figure nel testo. Editrice: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Olanda), 1973. Dfl 60.

Nel 1867 Wolf e Rayet riscontrarono, per primi, nella costellazione del Cigno, usando uno spettroscopio visuale, stelle con un particolare tipo di spettro, caratterizzato da linee di emissione di He e N o di He, C e O. Da allora, circa 130 stelle WR furono scoperte nella nostra galassia, 58 nella Grande Nube di Magellano e 2 nella Piccola; altre furono riscontrate in ammassi stellari.

Le caratteristiche distintive di questo particolare tipo di stelle ha formato argomento — unitamente alle stelle di elevata temperatura — del 49° Simposio dell'IAU, svoltosi a Buenos Aires (Argentina) fra il 9 e il 14 Agosto 1971. Furono presentate una quindicina di comunicazioni, concernenti la classificazione e la distribuzione delle stelle di tipo Wolf-Rayet, le loro radiofrequenze, la loro effettiva temperatura, il problema dell'estensione delle loro atmosfere, gli aspetti di tali stelle soggetti ad evoluzione; se le linee d'assorbimento, ai bordi di alcune linee d'emissione, siano da attribuire a compagni delle stelle WR; sulla presenza di spettri WR nei nuclei delle nebulose planetarie, ecc. Una parte degli interventi è stata riservata alla teoria degli spettri delle stelle Wolf-Rayet, alla stratificazione atmosferica delle WR binarie e alla struttura fisica di questo particolare tipo di stelle.

P. C.

- \*\*\* *Spectral Classification and Multicolour Photometry* (Simposio N. 50 dell'International Astronomical Union - IAU). A cura di C. Fehrenbach e B. E. Westerlund. Volume di XIV+314 pp., con numerose figure nel testo. Editrice: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Olanda), 1973. Dfl 96.

Riporta le comunicazioni presentate al Convegno sulla classificazione spettroscopica e la fotometria multicolore, tenuto in Villa Carlos Paz (Argentina) dal 18 al 24 Ottobre 1971.

Una parte degli interventi si riferisce alla classificazione degli spettri da fessura nello studio dei più diversi tipi di stelle, dalle supergiganti della « Grande Nube di Magellano » alle « Cefeidi », ecc. Alcune comunicazioni (13) si riferiscono alla classificazione di spettri con obiettivi a prismi, altre (18) alla classificazione fotometrica, mentre 8 letture concernono i cataloghi e la documentazione.

V. C.

\*\*\* *Extended Atmospheres and Circumstellar Matter in Spectroscopic Binary Systems.* (Symposium N. 51 dell'International Astronomical Union - IAU). A cura di A. H. Batten. Un volume di xiv+291 pp. con numerose figure nel testo. Editrice: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Olanda). 1973. Dfl 66.

Il Simposio N. 51 dell'International Astronomical Union, tenutosi a Parksville (B.C., Canada) fra il 6 e il 12 Settembre 1972, fu dedicato alla memoria di Otto Struve (1897-1963), che fu primo presidente dell'IAU, le cui ricerche gettarono le basi del campo di studi, a cui il Simposio fu riservato.

Il Convegno si è aperto con una discussione sulle osservazioni delle correnti di materia fra i sistemi binari. L'argomento sul moto dei gas attorno alle stelle fu introdotto da Su-Shu Huang e su di esso si svolse una lunga discussione. Sull'espansione degli involucri delle stelle fu compiuto un ampio esame critico, mentre le osservazioni di spettri stellari associati alle atmosfere formò oggetto di numerosi interventi, che divennero pressoché generali sulla teoria delle atmosfere complete ed in espansione. I problemi connessi alle caratteristiche in evoluzione della materia circumstellare nei sistemi binari furono introdotti da Miroslav Plavec e su essi si svolsero numerose, ampie discussioni.

Il volume si chiude con un riassunto degli argomenti toccati nel Convegno e sui risultati raggiunti.

P. C.

BAUER Siegfried J., *Physics of Planetary Ionospheres.* (Vol. 6 della collana «Physics and Chemistry in Space»). Volume di viii+230 pp., con 89 figg. Editrice: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 1973. DM 78.

Il libro si propone di sintetizzare i processi fisico-chimici fondamentali in una ionosfera planetaria idealizzata, come una generale astrazione, in cui le attuali ionosfere planetarie costituiscono casi speciali.

Premesso un capitolo sulla nomenclatura delle atmosfere (barosfera, termosfera, esosfera, proprietà fisiche delle atmosfere planetarie), l'A. passa ad esaminare le sorgenti di ionizzazione (estrema radiazione solare ultravioletta, radiazione per raggi X, radiazione corpuscolare e ionizzazione meteorica), la struttura termica delle ionosfere planetarie (scostamenti dall'equilibrio termico, temperature elettronica ed ionica, ecc.), i processi chimici, i processi di trasporto di plasma (diffusione, correnti di plasma e venti, fuga di plasma), i modelli di ionosfere planetarie (modelli realistici, estensione delle ionosfere planetarie, ecc.), l'ionosfera come plasma (sue proprietà generali, instabilità del plasma ionosferico, ecc.), le tecniche sperimentali e, infine, le proprietà osservate delle ionosfere della Terra, di Marte, di Venere e di Giove.

Il volume si chiude con un'Appendice sui dati fisici dei pianeti e delle loro atmosfere.

P. C.

LIPPMANN F., *Sedimentary Carbonate Minerals* (Monografia 6<sup>a</sup> della serie « Minerals, Rocks and Inorganic Materials »). Volume di vi+228 pp., con 54 figg. Editrice: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1973. US\$21.50.

Precede un'introduzione sul ruolo della Mineralogia nella Petrologia dei carbonati sedimentari. Segue un capitolo sulla chimica dei cristalli dei minerali carbonati, con particolare attenzione alla calcite, all'aragonite e ad altri carbonati misti. Un altro capitolo è dedicato al poliformismo calcite-aragonite, con riferimento alle relazioni stabili e metastabili e alla formazione della calcite e dell'aragonite negli organismi. Quindi l'A. si sofferma a lungo sul sistema  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$ , con riferimento al problema della dolomite, ai sistemi implicanti soluzioni acquose, ai modelli di formazione di dolomite a bassa temperatura, ecc. Il volume si chiude con un capitolo sulle reazioni che conducono dai carbonati sedimentari alle rocce e sulla dolomitizzazione.

P. C.

\*\*\* *Solar Activity and Related Interplanetary and Terrestrial Phenomena*. Proceeding of the First European Astronomical Meeting, Volume 1. A cura di J. Xanthakis. Un volume di xv+195 pp. con 78 figure. Editrice: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1973. DM 94.

Contiene i Rendiconti del primo Convegno astronomico europeo, svoltosi ad Atene, fra il 4 e il 9 Settembre 1972.

Gli interventi — una trentina, complessivamente — hanno riguardato sopra tutto il Sole e la sua attività, anche nei riflessi terrestri: fenomeni solari interplanetari, i brillamenti solari negli ultimi 1000 anni — come sono stati rivelati dagli studi lunari —, l'attività solare e le precipitazioni, andamento dei cieli solari secolari e ultrasecolari (un ciclo di 180 anni), l'intensità della penombra nelle macchie solari, radiospettri solari, discussione dell'eclisse solare del 1973, ecc. Alcune comunicazioni si riferiscono all'interpretazione dello spettro ultravioletto osservato dai « Mariner » IV, V, VI e VII nelle atmosfere di Marte e di Venere. Anche il comportamento fotometrico degli anelli di Saturno ha formato oggetto di intervento.

Alcune letture hanno avuto per tema lo sviluppo della cooperazione europea occidentale nell'Astronomia spaziale; altre hanno riferito su nuove apparecchiature entrate in funzione (nuovo telescopio da m 1,8 dell'Osservatorio di Asiago) e su nuovi progetti.

P. C.

\*\*\* THE PERSIAN GULF. *Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a Shallow Epicontinental Sea*. A cura di B. H. Purser. Un volume di VII + 471 pp., con 250 figg., 7 tavole e 3 mappe. Editrice: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 1973. DM 66.

Il volume contiene 22 contributi specifici, un'ampia bibliografia e tre mappe inserite nella copertina. Si tratta di una serie di studi dettagliati sugli aspetti geologico-chimico-fisici del Golfo Persico e del suo ambiente. Vengono discussi i principali fattori ambientali che influenzano la sedimentazione ologenica e la diagenesi del Golfo Persico e di sue parti, nonché l'evoluzione strutturale e geomorfologica. Si classificano gli organismi come produttori dei sedimenti carbonati; si ricercano i componenti eolici nei sedimenti del lato settentrionale del Golfo; si studia la sedimentazione regionale lungo la costa Trucial, lato SE del Golfo e si esamina quindi — con riferimento a parti della barriera di isole della stessa costa ad est del Qatar — la oceanografia, l'ecologia, la sedimentologia e la geomorfologia. Vengono analizzate le incrostazioni aragonitiche in zone soggette a marea («inter-tidal zone») o di mare interno («infratidal zone») o non raggiunte dalla marea («supratidal zone»). Si ricerca lo stroncio distribuito nelle rocce di calcio solfato e si studia la geochimica degli isotopi di zolfo in un ambiente arido, non raggiunto da marea sulla costa Trucial.

Il volume è riccamente illustrato da nitide fotografie e da disegni esplicativi.

P. C.