

木曾画像検出システム

前原 英夫*

1. はじめに——天体写真の運命

天体観測に写真を応用することは、17世紀に写真術が確立するとすぐに試みられ、現在に至るまで盛んに行われている。写真が感光するのは、乳剤中のハロゲン化銀が光により還元され銀として析出するからである。最近では、天体写真用の装置やフィルムが容易に入手でき、超増感や現像などの処理も紹介され、一般の人でも手軽に天体写真が撮影できるようになった。ともあれ、光に感じ、現像処理を施すとそのまま長期間保存できるという点で、写真はもっとも優秀な検出器として天体観測に君臨してきた。

天体写真のすばらしさ、重要性を語るには「パロマー・スカイ・サーベイ」をとりあげればよい。これは、アメリカ・パロマー山の 122 cm シュミット望遠鏡により撮影されたもので、赤緯 -45 度までの全天を 935 対の写真に収めている。1枚が 14 インチ (約 36 cm) 角という大きさで、世界中の天文台にその印画紙コピーが配布されている。新星・超新星などの新天体確認に用いられるが、このサーベイ写真をもとにして星雲・銀河・銀河団に関する多数の研究がなされてきた。また、世界の主な天文台には、スペクトルも含めた種々の写真のコレク

ションがあって、これらを測定・処理することによって多くの研究成果が発表されている。

天体観測に用いられる写真は通常のもとは異なり、特に淡い光 (低照度) で感度が落ちないように工夫がされている。第 1 図は星野写真とその空の部分の拡大して見たものである。肉眼では一様に見えても、拡大するとこのように黒い粒々からなっていることがわかる。例えば、IIa タイプの乳剤は 2, 3 ミクロンの大きさの粒子 (グレイン) からできている。ここで、ミクロンとは長さの単位であり、1 ミクロン = 1/1000 ミリメートルである。光があたるにつれてこのような粒子が数多くでき、これらの集合が肉眼で天体の像として見えるようになるのである。

写真を作る技術の進歩により、今では IN, IZ のように近赤外の光にも感光する乳剤が使え、また IIIaJ, IIIaF のように、より微粒子のものも使えるようになってきた。しかしながら、検出器として見ると感度が低いなどの短所も目につく。検出量子効率でいうと写真は 2 パーセントかそれ以下であって、数 10 パーセントにまで達する光電素子には全く及ばない。われわれは露出前にフォーミングガスや硝酸銀溶液などによる超増感を施し、少しでも感度を上げた状態で使うように努力をしている。し

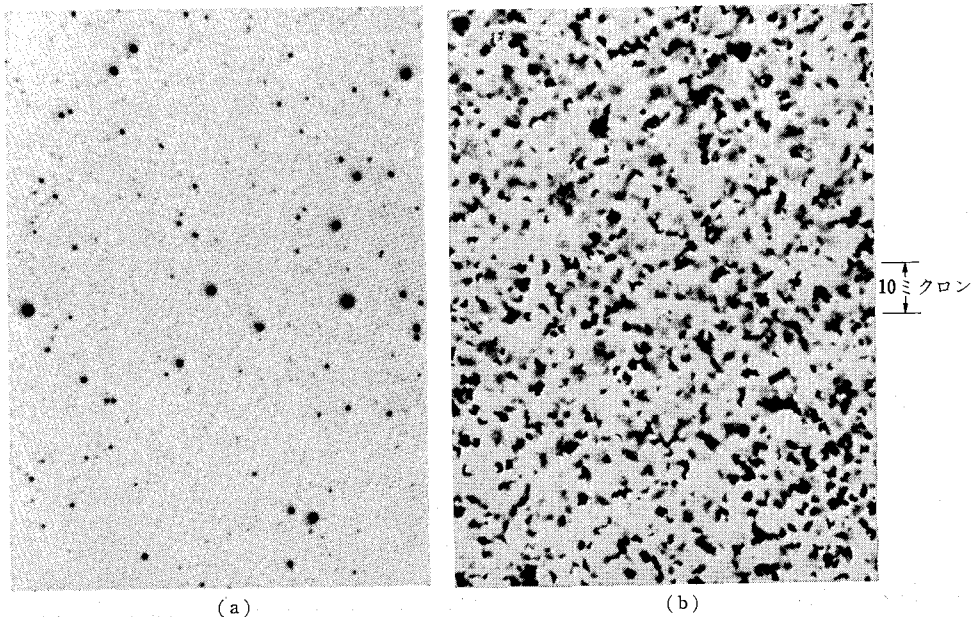


図 1 星野写真 (a) と空の部分の拡大図 (b)

* 東京天文台 Hideo Maehara: Kiso Image Detection System

かし、写真のこの短所は、最近の大望遠鏡の検出器がほとんど光電素子にとって代られてしまうほど決定的なものであるといえよう。

では、近い将来写真は天体観測の分野から完全に葬り去られてしまう運命であろうか。識者の一致した見解は「ノー」である。なぜなら、写真が光電素子と比較して有利な点があるからである。まず情報量が多い。木曾のシュミット望遠鏡では、パロマーと同じサイズ (36cm × 36cm × 厚さ 1mm) の写真乾板を使用しているが、これ 1 枚は 10⁹ 個すなわち 10 億個に近い画素からなっている。ここで画素とは画を構成する情報の単位であり、写真の場合の一つぶの粒子ではなくそれらの集合として定義され、乳剤により数ミクロンから 20 ミクロンくらいのサイズを持つものと考えられる。これに対し現存の光電素子の画素数は数百万を超えていず、近い将来にわたってこの 100 倍以上の情報量の差は容易には縮まらないと思われる。

また、これだけ大量の情報を 1 枚の写真乾板として長期間保存できるというメリットも見逃せない。仮に 14 インチ角乾板の全面の情報を計算機用磁気テープに保存しようとする、もっとも高密度の書き込みをしても 10 巻近くになる。重さで比較すると、写真乾板の 300 グラムに対し 10 倍以上になってしまう。以上のことから、広視野で明るいシュミット望遠鏡と大型写真乾板とは最良の相性をしているというわけである。この組み合わせは、予測される光電素子の急速な開発の中にあっても、光学天文学の一つの重要な武器として色褪せることはないであろう。

2. 天体写真の測定・処理

少し序が長くなってしまったが、写真からどうやって有効なデータを取り出し研究に結びつけていくかということに話を移そう。「星の数ほど」とは莫大な数を表現する言葉だが、実際に星や銀河は数えきれないほど多い。そこで、天文学における観測的研究の進め方は以下の二通りに大別される。明るい代表的な天体を詳しく観測するか、暗い天体をたくさん観測するか、である。こ

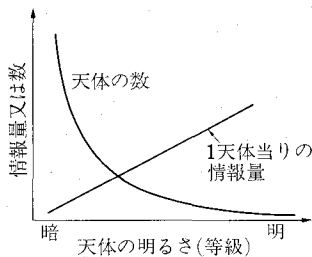


図 2 天体からの情報量 (Kibblewhite ダイアグラム)

の二つの方法を模式的に示したのが第 2 図である。天体からえられる情報はその天体の明るさ (等級) に比例するとする。いっぽう、ある等級に属する天体の数は明るさが暗くなるにつれて等級に対し指数関数的に増加する。総合的な情報量は両者の積であるから、2 番目の方法すなわち暗い天体を数多く観測するほうがより多くの情報がえられる、ということになる。各種の天体の分布は必ずしもこの通りではないが、シュミット望遠鏡と大型写真乾板を用いた観測の有効性を簡潔に表現しているといえるであろう。

大型写真乾板を一番手っ取り早く扱う方法は、肉眼であるいはルーペや顕微鏡で拡大して眺めることである。人間の目と頭脳を組み合わせると、複雑なパターンを瞬時に認識する優秀なシステムとして働くから、眺めることによって種々の処理ができる。例えば、ある特徴をもった特異天体を探すということがある。木曾では紫外超過天体、輝線天体、低温度星などを探す場合、写真乾板を載物台に置き顕微鏡で一部分づつ見て行く。また、暗黒星雲の構造を調べるのに、各部に細く区切って星の数を数えて行くことなどは現在でも行われている方法である。

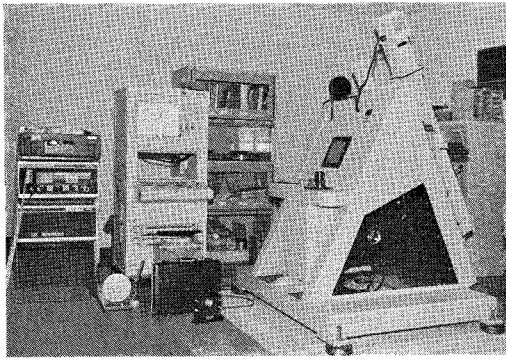
しかしながら、人間が行う測定や処理には明白な限界が存在する。人間は測定量を精度よく定量化することが苦手であり、高速測定には不向きだし、疲れるから安定性に欠ける。大量のデータとなると、その記録と処理の方法にも問題が生じる。こういった場面では、デジタル出力をもった測定機と、そのデータを高速で処理する計算機が活躍することになる。

木曾観測所では、デジタル出力をもった 4 台の測定機が稼動している。列举してみると、

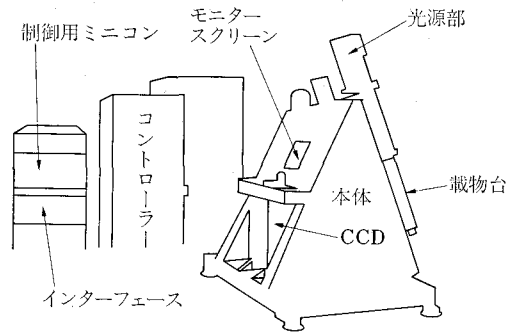
- (1) マイクロフォトメーター
- (2) プリンクコンパレーター
- (3) アイリスフォトメーター
- (4) アイソフォトメーター

である。個々の測定機にはそれぞれの用途があり、したがって機能も別々である。(個々の測定機の詳細は天文月報第 71 巻第 7 号を参照されたい)

ここでは 4 番目の測定機「アイソフォトメーター」に話を限らせていただく。第 3 図にその構造を示すが、機械部は他の測定機とも類似している。この装置は原理的には写真乾板の各画素の黒みを読み取るものであり、その意味では汎用的なものである。ただし、その受光器が CCD (電荷結合素子) という一種の固体テレビカメラであり、高速測定が可能となっているところが従来のものと大きく異なる点である。CCD の能力からいうと 1 秒間に 100 万回近いデータ読み取りが可能であるが、アイソフォトメーターの場合は制御ミニコンの速度によ



(a) 外観



(b) 測定の様式図

図3 アイソフォトメーター

り制限され、現在は1秒間に1万回までの速度で用いられている。写真乾板の画像情報は載物台の送りと同期して CCD によって読み出され、そのデータは制御用ミニコンを介して磁気テープに記録される。天体を一つ一つ高精度で測る通常の測定機に対し、アイソフォトメーターは高速で大量のデータをえることを目的として作られたのである。

3. KIDS

木曾の 105cm シュミット望遠鏡の限界等級は青のバンドで 21 等級である。星の分布の密度は銀緯によって大きく変化するが、平均して1枚のシュミット乾板に約 100 万個写っている(ハズである)。これまでの話をつき合せてみると、1枚のシュミット乾板全面をアイソフォトメーターで測定すると、1日あまりかかって100万個の天体を含む 10 億個の画素を測定することになる。しかしながら、単に測定をただけで何の処理もしなければ、データの山が残されていくだけである。そこで、この測定に見合った処理を行う必要性が生じ、われわれは KIDS というシステムを手掛けた。

KIDS とは木曾画像検出システム Kiso Image Detection System の頭文字を連ねた略称であり、ハードウェアとしてのアイソフォトメーターおよび計算機と、その測定・処理を可能にするソフトウェアとから成り立っている。ハードウェアについてはすでにお話したので、ここではソフトウェアについて少し紹介してみよう。KIDS の機能を一言でいうと、「写真乾板の画素データから天体の情報を引き出す」ものである。すなわち、10 億個ある画素のかかなりの部分は背景の空であって、この部分を捨てて 100 万個の天体の情報だけに圧縮するわけである。

KIDS の処理プログラムについて少し具体的に見てみよう。

(1) 前処理

各画素データに対し、CCD の感度ムラの補正を施

す。

(2) 写真の特性の補正

各画素について、測定データから入射光の強度のスケールへ変換する。

(3) 背景の空のレベル決定

天体の写っていない空の部分(バックグラウンド)の強度レベルを決める。

(4) イメージの検出

バックグラウンドより光の強い画素の集合を天体のイメージとして検出する。

(5) イメージのパラメーターの導出

検出したイメージについて、その位置・明るさなどのパラメーターを計算する。

処理としてはここで一段落し、天体同定用のイメージマップを作成する。表紙写真にその例を示したのでご覧いただきたい。個々のイメージの位置・明るさ・面積・楕円の軸比と向き(銀河の場合は重要)などのパラメーターを直感的にわかるように表現すると、写真と容易につき合わせるができる。イメージの中にはゴミやキズなども含まれていることがあるから、厳密な計数を行う場合は不可欠な手続きとなる。なお、パラメーターの導き方としては2次までのモーメントを取る方法が通常行われる。上記の処理に加えて、さらに進んだ処理は以下のようなものである。

(6) 天体種別の分類

各天体のパラメーターから星と銀河を識別する。

(7) 光度等級の決定

えられた明るさのパラメーターを光電測光値により校正し、光度等級を決定する。

(8) 重なりあった天体の識別・分離

二つ以上の星や銀河が重なっている場合は、これを識別し分離する。

(9) イメージ・ペアリング

同一天域を撮影した2枚の乾板の結果から、対応す

るイメージを探し出す。

以上の (8) までの処理を施すと、一枚の乾板上に撮影されている個々の天体の像が、適正なパラメーターとして記録できることになる。通常、写真測光を行う場合は各カラーバンドごとに複数枚を撮影し測定する。そして、 $U-B$, $B-V$ のようなカラーを求める、という手順になる。この場合は (9) のペアリングという処理が不可欠となるわけである。以上の一連の処理プログラムは最初木曾のミニコン用にかかれたが、メモリや処理速度の制約が厳しく、広い天域にあたって十分な仕事をするには難があった。現在では、これらのプログラムは主に東京大学または東京天文台の大型計算機で使われることが多い。

ところで略称として使っている KIDS とはたまたま英語の「子供たち」を意味する。このシステムが将来十分に発展した暁には、名前も ADULTS (大人) に改めよう、という冗談もささやかれている。

4. COSMOS

以上で述べてきたデータ処理は、一般的にいうと「画像処理」という範ちゅうに入る。こういった処理のシステムは、光電検出器と高速計算機の組み合わせにより、近年急速に整備されつつある。世界の主な天文台では、独自にあるいは共同で、こういうシステムの開発にしのぎを削っている。代表例をあげると、イギリスの 7 天文台をネットワークで結んだ STARLINK、キットピーク国立天文台 (アメリカ) で開発された IPPS、ジェット推進研究所 (アメリカ) などで整備されている衛星からのデータを扱う画像処理、等々。機能的な画像処理システムを開発し使いこなすことは、天文学の最先端の観測的研究にとって、大口径望遠鏡と高感度検出器とともに重要なものとなっている。

いっぽう、写真乾板に撮影された画像の処理については事情が少し異なっている。一般的には検出器としての写真乾板の需要が減少してきているので、その測定機の使用はそれほど盛んではない。しかし、後述するように、シュミット望遠鏡によって撮影される大型写真乾板の測定機は現在でも盛んに開発・整備されている。2 節で紹介した木曾の測定機もその一部であるが、特に高速自動を狙ったものが最近の流行である。マイクロフォトメーターとして高速度を実現した PDS という装置は現在世界中で 30 をこえる天文台で使用され、日本でも 2 台稼動している。(天文月報第 74 巻第 2 号参照)

しかしながら、この PDS をもってしても、前述のシュミット乾板全面を測定するとなると何日もかかり現実的ではない。そこで、木曾のアイソフォトメーターも含めて、光源や受光器に工夫をこらした高速測定機が種々

計画され、開発されてきている。アメリカ・ミネソタ大学のルイテンが作ったものは、パロマー・シュミットの乾板から固有運動の大きい天体を拾い上げるものであるが、近年より汎用的な仕様に改造されている。UK (イギリス) シュミット乾板の測定・処理については、エジンバラ王立天文台の COSMOS、ケンブリッジの APM などが活躍している。また、ヨーロッパ南天天文台でも ESO シュミット用の高速測定機 FIRST が作られている。フランスでは MAMA という名の測定機を開発中である。ちなみに、これらの測定システムの名はそれぞれ頭文字を繋ぎ合せたものであるが、COSMOS, FIRST, MAMA に KIDS とくると一つの物語ができそうである。

これらのうちでは、COSMOS マシンがもっとも多くの実績を誇っている。そもそも COSMOS とは「宇宙」という意味だが、Coordinate, Size, Magnitude, Orientation & Shape (日本語では「座標」「サイズ」「等級」「向き」「形」という求めるべきイメージのパラメーターを並べて名づけられたものである。第 4 図にその写真を示すが、コンクリートピアの上に乗る空気調整された部屋に収められ、限られた人しか手が触れられない貴重品として扱われている。筆者は海外学術調査費の援助を受けて 1982 年、1983 年と 2 度にわたってエジンバラを訪れる機会に恵まれ、COSMOS を駆使しているストーリー博士らと情報交換を行った。現在、COSMOS マシン

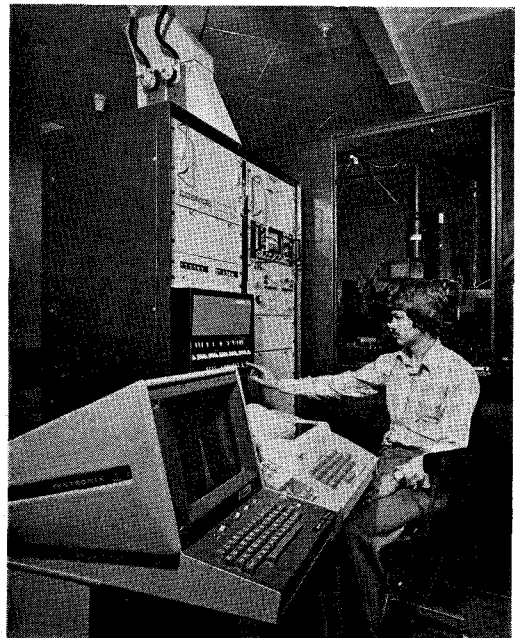


図 4 COSMOS マシン。後方が写真乾板がセットされる測定用機械部。前面左手は制御用のラックであるが、現在は一部改修されている。

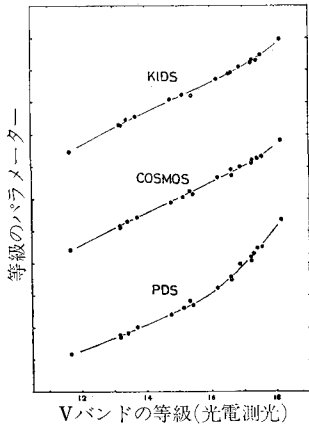


図 5 星の明るさのパラメーターの比較

は全世界から測定申し込みを受けており、専門のオペレーターにより昼夜の別なく測定が行われているところである。

COSMOS はフライング・スポット管を用いて高速スキャンを行っているが、散乱光防止など改良すべき箇所も見受けられた。われわれの装置も似たような問題点をかかえており、ハードウェアの改良を考えていた。そこで、それでは同一の写真乾板を測定・処理して、性能を比較してみようということになった。まず UK シュミット望遠鏡で撮影した写真乾板を COSMOS で測り処理をする。写真乾板と処理結果を木曾に送り、KIDS で処理しその結果を比較する、という段取りであった。

この日英の協同作業は予定通り行われた。第 5 図は星の明るさに対する結果であり、PDS の結果も併せて示した。光電測光値と比較すると、全ての装置で約 0.1 等級の精度で星の明るさが決定される。しかし、えられた等級パラメーターが原理的には光電測光値と比例する（第 5 図で傾き 45° の直線になる）ことが期待されるが、3 者とも相違している。この原因は二、三の理由で説明されるが、測定機の特性と写真乾板の相乗効果である。星の位置についての比較が行われたが、相対的な座標のずれは数ミクロン程度であり、系統的なものは認められなかった。また他のパラメーターも比較されたが、ここで取り上げるなどの大きな差異は認められず、KIDS と COSMOS はハードウェアの性能としてはほぼ互角であるという、いわば無難な結論がえられて幕となった。

木曾とエジンバラのシステムの差はむしろ別の点にある。すなわち、計算機の能力とマンパワーとである。計算機についていえば、木曾にはミニコンしかないが、近いうちに科学研究費の補助を受けてスーパーミニコンが入る運びである。処理能力としては追いつくことになり、今後が楽しみである。マンパワーの差はさらに大きい。エジンバラでは COSMOS マシンによる測定と処理

の専従者が総勢 10 人程いて、プログラムの開発やデータ処理を能率よくこなしている。いっぽう、木曾では専従者の人はおらず、エジンバラと比ぶべくもない。さらに、シュミット望遠鏡関係のすべてのスタッフの合計でも日英の比はほぼ 1 対 3 である。ともかく、COSMOS のマンパワーは、世界で圧倒的な業績をあげている最大の要因であるといつてよいだろう。

5. おわりに——研究の動向

最後になってしまったが、KIDS を用いて今後どのような仕事が行われていくか考えてみよう。まず現在進行している研究テーマとしては、銀河団の光度関数を求めることが行われている。遠くにある銀河の集団は、ちょうど星団のように群がって見える。そこでその領域をシュミットで撮影し、メンバーを決め光度関数を求める。そしてこれらの銀河団の構造や進化を調べていくわけである。別のテーマとしては、銀河系内の星の計数が手がけられている。個々の星の明るさや色を求めることにより、星の生成・進化あるいは母体である星雲の構造を明らかにしようというものである。

この他にも、種々の研究が KIDS を用いて行われると思われる。実績のある COSMOS での仕事を列挙してみる。数え上げれば相当な数になってしまうが、テクニックとして類似したものを整理してみると、

(1) 星団の測光

星団に属する星の明るさ・色を求め、星の進化について議論する。

(2) 星の計数

一般星野の星の計数から、銀河円盤およびハローの構造を調べる。

(3) 変光星の探査

複数枚の同一星野の写真処理し、変光星を探す。

(4) 輝線天体・紫外超過天体の探査

対物プリズムスペクトルから、特異な天体を探す。

(5) 銀河団の測光

銀河団の銀河の光度関数を求め、銀河団の構造や進化を調べる。

(6) 銀河の計数

銀河の計数を行い、超銀河団・宇宙の構造を調べる。

ここに挙げたテーマは、いずれもシュミット乾板上のある程度の広さを測定し、その膨大なデータを処理することからなされるものである。個々の研究は限られた天域、限られた対象を扱っているから、上述の範囲ゅうに入る研究論文の数はここ 1、2 年で数十にのぼっているのではなからうか。ともあれ、このように多くの研究が COSMOS を駆使して行われているわけで、われわれと

しても大いに刺激されているところである。

木曾では、105cm シュミット望遠鏡が本観測を開始してから6年経過したが、望遠鏡や測定機の整備を含めて多くの仕事がなされてきている。今後は新しい計算機の導入を一つの契機として、銀河の表面測光の処理を初め、KIDSなどの処理プログラムの一層の充実を計っていききたい。これからの観測天文学においては、このようなデータ処理システムのウエイトが増々大きくなっていくであろう。

木曾観測所の状況について

1984年9月14日、8時49分の長野県西部地震(M6.9)は震源が北10kmで、震度5(体感推定値)という木曾観測所としてはまれに見る大きなものでした。被害の詳細は調査中ですが、暖房用ボイラーの給水本管切断、灯油タンクの注入口切断、汲出口切断、本館の壁・床などに多数のき裂、夜天光室の屋根の崩壊、道路の路面にき裂、ガード・レールのかんぼつ等に気がきました。シュミット望遠鏡の作動は現在テスト中で、設置の高度と方位角は、いずれにしても調整を要します。現像装置等の暗室関係、各種の測定機(マイクロ、アイリス、プリンク、アイソ)、夜天光観測機器等の一部も修理・調整を要します。なんといても不幸中の幸いは、この数年間に撮影された4000枚以上の写真原板が無事だったことです。保管庫の棚の耐震処置の効果があったわけですから。

皆様にはいろいろお見舞いの声をかけていただき、大変心強くありがとうございました。今後復旧のために努力致しますので御指導、御協力おねがい致します。

1984-09-18 木曾観測所 石田蕙一

☆ ☆

☆ ☆ ☆



D. Reidel Publishing Company

新刊

SOLAR MAGNETOHYDRODYNAMICS

revised reprint

by

E. R. PRIEST
St. Andrews University, Scotland

GEOPHYSICS AND ASTROPHYSICS MONOGRAPHS 21

496 pp.

Cloth ¥25,850 ISBN 90-277-1374-x

Paper ¥9,900 ISBN 90-277-1833-4

1984, D. Reidel Publishing Company

'The book should be eminently suitable for a course in solar physics. Also it provides a comprehensive review of present magnetohydrodynamical models in solar physics, which will be quite useful for workers in the field. Finally, the book is strongly recommended to the rapidly growing number of astrophysicists studying magnetically active stars.' *Science*.

'...belongs on the desk of every astrophysicist interested in active objects, whether stars or galaxies. It should go without saying that the book is also an excellent text for a graduate on magnetohydrodynamics.' *Nature*.

'Prof. Priest has succeeded in writing a lucid and thorough introductory in the fascinating field of Solar Magnetohydrodynamics that is of great value to students and researchers in the field. It is easily accessible to researchers in peripheral astrophysical disciplines such as stellar atmospheres and extragalactic physics. This monograph can be recommended as the textbook in this field.' *Space Science Reviews*.

GENERAL RELATIVITY AND GRAVITATION

Invited Papers and Discussion Reports of the 10th International Conference on General Relativity and Gravitation, Padua, July 3-8, 1983

edited by

B. BERTOTTI
Department of Nuclear and Theoretical Physics, University of Pavia, Italy

F. DE FELICE and A. PASCOLINI
Department of Physics, University of Padua, Italy

FUNDAMENTAL THEORIES OF PHYSICS 9

536 pp.

Cloth ¥19,800 ISBN 90-277-1818-9

1984, D. Reidel Publishing Company

This volume contains the Proceedings of the 10th conference of a series organised under the sponsorship of the International Society for Relativity and Gravitation. They are held every three years and constitute the major event in these disciplines. Their scope and connections with other fields of physics have widened during recent years and cover large programmes for gravitational wave detection, new outlook in early cosmology - when quantum effects were important - and the investigation of new physical laws for quantum phenomena, in particular quantum gravity and supergravity. Progress in these and other topics, including classical relativity, is documented in these Proceedings.

THE BIG BANG AND GEORGES LEMAITRE

Proceedings of a Symposium in honour of G. Lemaitre fifty years after his initiation of Big-Bang Cosmology, 10-13 October 1983, Louvain-la-Neuve, Belgium

edited by

A. BERGER
Institut d'Astronomie et de Géophysique Georges Lemaitre
Université Catholique de Louvain, Belgium

440 pp. Cloth ¥16,500 ISBN 90-277-1848-2

1984, D. Reidel Publishing Company

This volume contains the edited Proceedings of a Symposium held in Belgium in 1983 to honour G. Lemaitre 50 years after initiation of Big-Bang Cosmology. Georges Lemaitre was born in Charleroi in July 1894 and, between 1927 and 1933 published three works which conditioned later study on the expansion of the Universe and the prieval atom. Lemaitre's work in celestial mechanics was mainly concerned with the Three Body problem and he managed to regularise equations in the case of binary encounters by a transformation of coordinates keeping the Hamiltonian formalism.

Moreover, he applied improved celestial mechanics methods to mechanical problems, in particular for the motion of charged particles in the field of a magnetic dipole in connection with the geophysical study of cosmic radiation. About 100 scientists from 14 countries have contributed to this book which recalls all the importance of Lemaitre's work in the development of actual astronomy and geophysics.

D. Reidel Pub

日本総代理店



株式会社 ニュートリノ

東京都港区浜坂8-4-7 カールビル 1107 TEL (03)405-8137