

<b>Zeitschrift:</b>	Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Astronomische Gesellschaft
<b>Band:</b>	33 (1975)
<b>Heft:</b>	148
<b>Artikel:</b>	Indirekte Astrofarbenfotografie nach dem modifizierten Dreifarbenverfahren
<b>Autor:</b>	Alt, Eckhard / Rusche, Jürgen
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-899442">https://doi.org/10.5169/seals-899442</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# ORION

Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

33. Jahrgang, Seiten 65-96, Nr. 148, Juni 1975

33e année, pages 65-96, No. 148, Juin 1975

## Indirekte Astrofarbenfotografie nach dem modifizierten Dreifarbenverfahren

von ECKHARD ALT, Limburgerhof und JÜRGEN RUSCHE, Neustadt

Die Astrofarbenfotografie nach dem Dreifarbenverfahren muss als das z. Zt. beste Verfahren zur farbigen Wiedergabe selbst lichtschwächster stellarer Objekte gelten. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass eine absolute Farbwiedergabe bei keinem fotografischen Farbverfahren möglich ist. Dies gelingt recht gut bei den Körperfarben. Die Abbildung monochromatischer Spektralfarben, wie sie bei Emissionsnebeln vorkommen, ist nur unvollkommen möglich. Monochromatisches Violett kann nicht dargestellt werden und wird auf jedem Farbfilm als reines Blau wiedergegeben<sup>1)</sup>.

Das Prinzip des Dreifarbenverfahrens soll in dieser Mitteilung als bekannt vorausgesetzt werden<sup>2), 3)</sup>.

Als Aufnahmematerial zur Herstellung der Farbauszugsnegative werden die *Kodak-Spectroscopic-Filme 103aO* (Blauauszug), 103aG (Grünauszug) und 103aE (Rotauszug) in Verbindung mit den *Schott-Filtern KV 389* (UV-Sperrfilter), KV 470 (Blausperrfilter) und OG 590 (Orangefilter) benutzt. Während die spektrale Empfindlichkeit der nichtsensibilisierten und der rotempfindlichen Emulsion den Sensibilisierungen normaler Farbfilme weitgehend entspricht, überdeckt der grünempfindliche Film 103aG einen grösseren Spektralbereich im Grünen als die grünempfindliche Schicht von Farbfilm. Damit wird es möglich, die bei *planetarischen- und Cirrus-Nebeln* auftretenden intensiven Emissionslinien des zweifach ionisierten Sauerstoffs (O III) bei 4959 Å und 5006 Å aufzunehmen. Normale Farbfilme haben in diesem Spektralbereich eine erhebliche Empfindlichkeitslücke, so dass es nicht möglich ist, auf Farbfilm, auch auf tiefgekühlten, diese Nebel farbrichtig wiederzugeben<sup>4), 5)</sup>.

Basierend auf der Arbeit von Dr. E. BRODKORB<sup>6)</sup> haben die Verfasser untersucht, ob die komplizierte chromogene Verarbeitung der Farbauszüge durch ein anderes Verfahren ersetzt werden kann. Es wurde ein Verfahren entwickelt, das die dreimalige chromogene Verarbeitung der Farbauszüge vermeidet. Das Prinzip des neuen Verfahrens besteht darin, die Farbauszugsnegative auf *direktem Weg* durch drei Farbfilter in den Farben Blau, Grün und Rot nacheinander im Kompositverfahren auf ein Farbpositivmaterial übereinander zu kopieren. Das durch das UV-Sperrfilter gewonnene Blauauszugs-Negativ wird

durch das Blaufilter, das durch das Blausperrfilter gewonnene Grünauszugs-Negativ durch das Grünenfilter und das durch das Orangefilter gewonnene Rotauszugs-Negativ durch das Rotfilter kopiert. Das Farbpositivmaterial enthält die drei farbempfindlichen Schichten. Bei der Farbentwicklung entsteht in der blauempfindlichen Schicht das komplementärfarbige Gelbbild, in der grünempfindlichen Schicht das komplementärfarbige Purpurbild und in der rotempfindlichen Schicht das komplementärfarbige Blaugrünbild. Durch subtraktive Farbmischung wird aus den drei komplementärfarbigem Teilbildern das fertige Farbbild.

Die Technik des Verfahrens soll im folgenden beschrieben werden. Für den Anwender ist es wichtig, dass die Sensitometrie der Schwarzweiss- und Farbfotografie bekannt sind, da nur dann die fotografischen Zusammenhänge zu verstehen sind<sup>7)</sup>.

### Das Kompositverfahren

Das Kompositverfahren (Übereinanderkopieren mehrerer Negative) ist in der Planetenfotografie eine bekannte Technik<sup>8)</sup>. Das Kompositverfahren lässt sich genausogut auch auf die Stellarfotografie anwenden. In der professionellen Astronomie wird es angewendet, um schwächste Lichteindrücke, die sich nicht mehr kopieren lassen, sichtbar zu machen, zur Steigerung des Informationsgehaltes und zur Kornverminderung beim Vergrösserungsprozess<sup>9)</sup>. Fehler auf einzelnen Negativen treten nicht mehr in Erscheinung und die Körnigkeit kann bei entsprechender Negativanzahl praktisch völlig ausgeschaltet werden. Die Vergrösserungsfähigkeit eines Einzelnegativs auf Spectroscopic-Filme des Typs 103a, die wegen der Grobkörnigkeit dieses Materials höchstens 3-5 fach beträgt, lässt sich durch das Kompositverfahren erheblich steigern. (Fig. 1).

Die Beherrschung des Kompositverfahrens ist Voraussetzung für die Anwendung des modifizierten Dreifarbenverfahrens.

### Das Farbpositivmaterial

Das Farbpositivmaterial besteht aus den drei farbempfindlichen Schichten für die Farben Blau, Grün und Rot, die auf dem Trägermaterial aufgegossen sind. Für Aufsichtsbilder verwendet man vorteilhaft



Fig. 1a: M 27. 18-fache Vergrösserung eines Einzelnegativs. Völlig unbrauchbare Aufnahme, da die starke Körnigkeit die Struktur zerreisst.



Fig. 1b: 12 Negative wie in Fig. 1a übereinanderkopiert. Kopie praktisch kornlos, es werden Strukturen und Sterne sichtbar, die in Fig. 1a fehlen. Man beachte die selbst bei dieser starken Vergrösserung noch feinen Sternpunkte, die nur durch exakte Fokussierung zu erreichen sind.

die neuen kunststoffbeschichteten Farbpapiere (z. B. *Kodak RC-Papier*). Für Dias jeden Formates gibt es die Printfilme (z. B. *Agfacolor Positive Film M*).

Die Verarbeitung von Farbmaterien kann *behelfsmässig* in Schalen oder Entwicklungsboxen erfolgen. Exakt reproduzierbare und *typengerechte* Ergebnisse von Farbmaterien jeder Art (Filme und Papiere) sind jedoch nur durch Maschinenentwicklung zu erreichen. Auch hier müssen die genauen Verarbeitungszeiten für jede Entwicklungsanlage anhand sensitometrischer Tests ermittelt werden.

Die Selbstverarbeitung von Farbmaterien mit unzulänglichen Mitteln führt in der Regel zu Enttäuschungen. Das Ergebnis ist zwar immer ein farbiges Bild, das jedoch mit Mängeln behaftet ist, da wichtige Filmeigenschaften wie Farbbebalance, Kontrast, Schleier, Gleichmässigkeit, Empfindlichkeit und Maximaldichte nicht mehr den vom Hersteller vorgeschriebenen Werten entsprechen. Ein solches Bild mag geringen Ansprüchen genügen, für präzise Arbeiten, wie es z. B. das Dreifarbenverfahren erlaubt, sind solche Mängel jedoch nicht akzeptabel.

Die Verarbeitung der Farbauszugsnegative muss genau so präzise erfolgen wie die Verarbeitung der Farbbilder. Temperatur des Entwicklers, Entwicklungszeit und Bewegung müssen genau eingehalten werden. Die Temperaturdifferenz darf höchstens  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  betragen. Wird diese Bedingung nicht eingehalten, resultiert daraus ein unterschiedlicher Kontrast der einzelnen Negative. Das Kopieren von Auszugsnegativen mit unterschiedlichem Kontrast führt zu einem Farbgang (Kippen) des Farbpositivs, vergl. Fig. 2.

#### *Das Vergrössern der Auszugsnegative*

Die Farbauszugsnegative der stellaren Objekte werden durch die drei Farbfilter nacheinander auf das Farbpositivmaterial vergrössert. Die Reihenfolge der Farben ist beliebig. Das Übereinanderkopieren der Negative muss mit grosser Sorgfalt geschehen, damit die Farbauszüge exakt zur Deckung kommen. Als Filter werden Gelatinefilter verwendet, die von den Herstellern der Farbmaterien für diese Zwecke geliefert werden (z. B. *Agfa-Filter U 449 blau, U 531 grün und L 622 rot*).

Die Belichtungszeit durch die einzelnen Filter muss erprobt werden, bis der Himmelshintergrund neutralgrau kopiert. Dies lässt sich durch einen mitkopierten Stufengraukeil kontrollieren. Farbstiche werden durch falsche Belichtungszeiten erzeugt und können durch Verlängern oder Verkürzen der Belichtungszeiten durch die entsprechenden Filter beseitigt werden. Die Kontrolle der Farbstichfreiheit muss unter tageslichtähnlichen Bedingungen erfolgen.

*Exakte Messungen der Farbdichten der entwickelten Farbpositive ist mit Densitometern möglich. Die Verarbeitung von Farbmaterien ist mit diesen Geräten exakt messbar zu kontrollieren.*

Für die einwandfreie Farbwiedergabe stellarer Objekte muss der Himmelshintergrund in der Kopie neutralgrau erscheinen. Normalerweise sind langbelichtete Blaubaufnahmen durch atmosphärisches Streulicht verschleiert. Dieser Schleier wirkt sich in der Farbkopie als Blauschleier aus und überlagert auch das Objekt, was zu Farbverfälschungen führt. Durch Verlängern der Kopierzeit durch das Blaufilter wird die Gelbdichte der blauempfindlichen Schicht des

Die Forderung nach einem neutralgrauen Himmelshintergrund ist streng. Käufliche Farbdias stellarer Objekte haben oftmals einen so erheblichen Farbstich des Himmelshintergrundes, dass die Farben der Objekte total verfälscht sind und keinerlei Beurteilung der wirklichen Farben mehr zulassen. Farbstichige Dias können nachträglich nicht mehr korrigiert werden. Die Aufgabe der astronomischen Farbfotografie besteht nicht darin, irgend ein buntes Bild zu er-

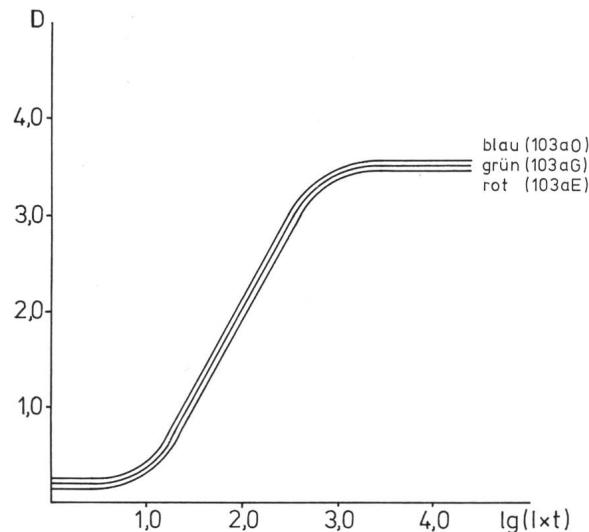


Fig. 2a: Gradationsverlauf richtig entwickelter Farbauszugsnegative (schematisch). Diese Negative kopieren in der Farbkopie sowohl in den Lichtern als auch in den Schatten neutralgrau.

Farbpositivmaterials soweit erhöht, dass die Grauäquivalenz der Farbdichten wiederhergestellt ist und der Himmelshintergrund neutralgrau kopiert. Damit entspricht die Farbe des Objekts dem Anblick aus dem luftleeren Weltraum, also seiner wirklichen Farbe.

In der Praxis werden von den Farbauszugsnegativen immer mehrere einer Farbe hergestellt und im Kompositverfahren übereinanderkopiert, um Negativfehler, die sich in der Kopie als farbige Fehler zeigen, zu eliminieren und die weiteren Vorteile dieses Verfahrens auszunutzen. Die Gesamtbelichtung pro Farbe muss dann entsprechend der Negativanzahl pro Farbauszug aufgeteilt werden.

Die Teilbelichtungszeiten müssen exakt eingehalten werden. Dies ist mit mechanischen Belichtungsschaltuhren kaum zu erreichen. Elektronische Schaltuhren schalten nicht nur genau, sondern haben eine hohe Reproduzierbarkeit der eingestellten Zeiten.

Das Vergrößerungsgerät muss an einen Spannungskonstanthalter angeschlossen werden.

#### Instrumentelle Voraussetzungen

Die Herstellung der Farbauszugsnegative erfordert die gleiche Sorgfalt wie die Ausarbeitung im Laboratorium. Die Sternabbildungen müssen punktförmig und optimal fokussiert sein, da nur dann Grossvergrößerungen möglich sind. Die Fokussierung mit Zahinstangentrieben und Kontrolle an der Kamera-

halten, sondern darin, die Objekte so exakt wie möglich den wirklichen Verhältnissen entsprechend darzustellen. Gerade in der farbstichfreien Wiedergabe des Himmelshintergrundes zeigt sich die Überlegenheit des Dreifarbenverfahrens. Ist der Himmelshintergrund neutralgrau, sind die Farben der Objekte automatisch richtig, vorausgesetzt, dass das Verhältnis der Belichtungszeiten für die drei Farbauszugsnegative richtig war.

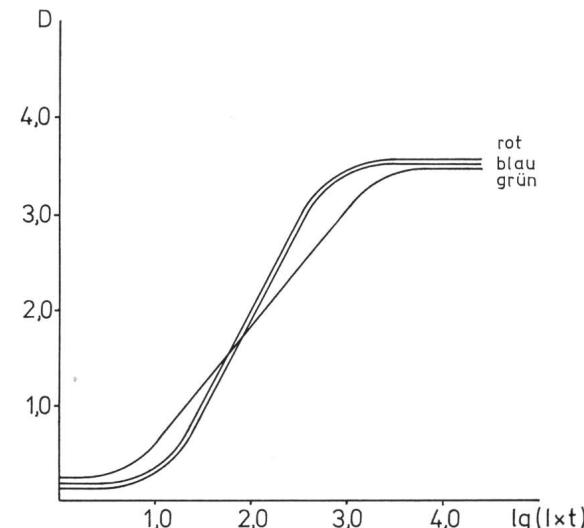


Fig. 2b: Durch fehlerhafte Entwicklung des Grünauszuges ist dessen Gradation zu flach. Ein aus diesen Negativen kopiertes Farbbild hat einen Farbgang von grünen Lichtern nach purpurnen Schatten. Nur eine mittlere Dichte kopiert neutral. Korrektur ist nicht möglich.

mattscheibe oder Filmauflage ist unzuverlässig und bei Filteraufnahmen fast unmöglich. Kameramattscheiben liegen oftmals nicht genau in der Bildebene, so dass exaktes Fokussieren illusorisch wird. Die Fokussierung wird problemlos, wenn die Kamera an eine Schneckengangverstellung mit Skalenring geschlossen wird, wie dies bei Fotoobjektiven zur Entfernungseinstellung üblich ist. Durch Probeaufnahmen lässt sich der exakte Fokus ermitteln und die visuelle Kontrolle entfällt, vergl. Fig. 3.

Für die Blauaufnahme ist ein UV-Sperrfilter unbedingt notwendig. Emissionsnebel sind starke UV-Strahler, wobei die Emissionslinie des einfach ionisierten Sauerstoffs (O II) bei 3727 Å zu den stärksten Emissionslinien gehört. Diese Spektrallinie liegt im UV-Bereich und ist für das menschliche Auge nicht sichtbar. Dies gilt natürlich auch für die Direktfotografie auf Farbfilm, da alle Filme UV-empfindlich sind. Wird kein UV-Sperrfilter verwendet, wird die Aufnahme sehr stark blauverfälscht, vergl. Fig. 4. Die Aufnahmefilter müssen vergütet sein, um Reflexe zu vermeiden.

Durch Temperaturänderungen hervorgerufene Brennweitenänderungen der Aufnahmeoptik bedingen Veränderungen des Abbildungsmaßstabes. Solche Negative können nicht einwandfrei übereinanderkopiert werden. Durch Feinverstellung des Vergrö-



Fig. 3: Beispiel eines astrofotografischen NEWTON-Teleskopes 150 mm Diameter, bei dem u. a. die in dieser Mitteilung angegebenen Voraussetzungen erfüllt sind. (Bauart E. ALT).

serungsmaßstabes am Vergrösserer ist dieser Mangel zu beheben. Ungenau geschliffene Filter sind teilweise mit Astigmatismus behaftet und haben Linsenwirkung. Es ist vorteilhaft, aus einem grösseren Kollektiv von Filtern die besten auszusuchen. Als Aufnahmeeoptik ist eine Spiegeloptik jeder Linsenoptik vorzuziehen. Spiegeloptiken sind gänzlich frei von chromatischen Fehlern und der sehr lästigen chromatischen Vergrösserungsdifferenz. Die Abbildungsschärfe im fehlerfreien Feld einer Spiegeloptik ist jeder Linsenoptik überlegen. Neue Entwicklungen auf dem Gebiet lichtstarker Optik-Systeme für die Astrofotografie sind von Dr. E. WIEDEMANN bekannt geworden, die bei Realisierung die SCHMIDT-Kamera mit ihrer grossen Baulänge und Unzugänglichkeit der Bildebene ersetzen können<sup>10</sup>). In diesem Zusammenhang sollen auch die ZEISS-Mirotare erwähnt werden, die sich hervorragend für die Astrofotografie eignen. Für die Abbildung von Einzelobjekten ist nach wie vor der Parabolspiegel, evtl. mit Feldkorrektor nach WIEDEMANN das gegebene Instrument<sup>11</sup>).

#### Schlussbemerkung

Durch die direkte Kopie der Farbauszugsnegative auf ein Farbpositivmaterial werden alle Verluste und Fehler vermieden, die durch die Reproduktion von



Fig. 4a: Cirrus-Nebel NGC 6992. Blauaufnahme auf Kodak 103aO ohne Filter, Belichtungszeit 45 min. NEWTON-Teleskop 200 mm Diameter, 1:6.



Fig. 4b: Cirrus-Nebel NGC 6992. Blauaufnahme auf Kodak 103aO mit UV-Sperrfilter, gleiche Belichtungszeit und gleiches Instrument wie Fig. 4a. Die Emissionslinie des einfach ionisierten Sauerstoffs ist weggefiltert. Das dazwischenliegende Kontinuum ist nur schwach ausgeprägt. Die vom Mt. Palomar- und US-Naval-Observatorium veröffentlichten Farbaufnahmen, die ohne Filter gewonnen wurden, müssen nach dieser Darstellung als nicht farbrichtig angesehen werden.

chromogen entwickelten Teilbildern oder von durch ein anderes Verfahren gewonnenen Farbdias entstehen. Die Qualität der Farbwiedergabe ist hervorragend. Es können auf direktem Weg Dias und Aufsichtsbilder praktisch jeder Grösse hergestellt werden. Durch Verändern der Teilbelichtungszeiten kann die Kopierdichte der Farbbilder je nach Kontrastumfang der Objekte gesteuert werden.

Der Kontrast der Farbauszugsnegative kann durch verschiedene Entwickler von Gamma 0,3 bis Gamma 3 eingestellt werden, so dass sowohl Objekte mit hohem Kontrastumfang wie auch sehr lichtschwache

*Literatur:*

- 1) M. SCHÜRER, Sterne und Weltraum 2, 148 (1963).
- 2) ORION 31, 55 (1973), No. 135.
- 3) E. ALT, E. BRODKORB, K. RIHM, H. RUSCHE, Sky and Telescope, Vol. 48, No. 2, 120 (1974) und No. 5, 333 (1974).
- 4) THOMAS SCHMIDT, Sterne und Weltraum 5, 80 (1966).
- 5) J. S. MILLER, Scientific American 231, 34 (1974).

*Adressen der Verfasser:*

ECKHARD ALT, Brunckstrasse 40, D-6703 Limburgerhof, BRD.  
JÜRGEN RUSCHE, Maxburgsattel 19, D-673 Neustadt-19, BRD.

## De nouveaux horizons dans l'hémisphère austral

par R. S. STOBIE,  
Observatoire royal d'Edimbourg

Pour l'astronome, l'hémisphère austral est aussi important que l'hémisphère boréal. Il contient le centre de notre propre galaxie, le Grand Nuage de MAGELLAN, le Petit Nuage de MAGELLAN et les plus proches amas d'étoiles globulaires. Mais il y a peu de temps encore, c'était l'hémisphère boréal qui possédait les plus grands télescopes optiques. Cette situation est en train de changer. Un certain nombre de gouvernements de l'hémisphère boréal ont investi des capitaux dans de grands télescopes qui fonctionnent dans l'hémisphère austral.

La construction de deux de ces télescopes vient d'être terminée. Il s'agit du télescope SCHMIDT du Royaume-Uni, de 1,2 m de diamètre, et du télescope anglo-australien, de 3,9 m de diamètre (Figure 1). Ils sont tous deux situés en Australie, près de Coonabarabran, sur la montagne Siding Spring (149° de longitude est, -31° de latitude). Le télescope anglo-australien est actuellement le plus grand télescope optique de l'hémisphère austral, mais un télescope d'ouverture similaire sera bientôt terminé à l'observatoire inter-américain de Cerro Tololo, au Chili. Le télescope SCHMIDT de 1,2 m de diamètre possède aussi sa contre-partie à La Silla, au Chili: le télescope SCHMIDT de 1 m de diamètre utilisé par the European Southern Observatory.

### *Etude Schmidt*

L'étude SCHMIDT de Siding Spring marquera un progrès par rapport à celle de Palomar non seulement en couvrant la zone située entre -30° et -90° de latitude, mais aussi en ce sens qu'à la suite de la mise au point de nouvelles émulsions photographiques et de

et contrastarme Objekte einwandfrei wiedergegeben werden können. Diese Vielfalt der Möglichkeiten macht das Dreifarbenverfahren allen anderen Verfahren der Astrofarbenfotografie einschliesslich der Tiefkühlung weit überlegen. Die Probleme der Astrofarbenfotografie lichtschwacher Objekte mittels des modifizierten Dreifarbenverfahrens können deshalb mit den zu Beginn dieser Mitteilung gemachten Einschränkungen als gelöst betrachtet werden. Der Aufwand ist jedoch nicht gering und ein einfacheres Verfahren, das zu gleichwertigen Ergebnissen führt, ist vorläufig leider nicht zu erwarten.

- 6) E. BRODKORB, Sterne und Weltraum 11, 347 (1972).
- 7) J. F. A. SCHMONSEES, Sensitometrie, *Agfa-Gevaert AG* (1972).
- 8) G. NEMEC, Sterne und Weltraum 5, 94 (1966).
- 9) G. BRÜCKNER, Sterne und Weltraum 4, 200 (1965).
- 10) E. WIEDEMANN, ORION 32, 116 (1974), No. 142.
- 11) E. WIEDEMANN, ORION 31, 96 (1973), No. 136.

nouvelles techniques de sensibilisation des émulsions, les clichés bleus pris par le télescope de Siding Spring enregistreront des étoiles de magnitude 23, soit deux magnitudes plus faibles que la limite atteinte au cours de l'étude de Palomar et cela veut dire pratiquement que nous voyons 2,5 fois plus loin dans l'espace.

### *Les galaxies et l'Univers*

L'un des principaux problèmes de l'astronomie moderne consiste à construire un modèle cosmologique satisfaisant de l'Univers. Les galaxies, qui consistent en un amas de  $10^8$ – $10^{12}$  étoiles reliées par la force de gravitation, sont les éléments constitutifs de l'Univers et c'est surtout en les étudiant que l'on a acquis des connaissances générales sur l'Univers.

On a constaté que beaucoup de galaxies semblent former de gros groupes désignés sous le nom d'amas de galaxies. Il est intéressant de connaître l'étendue de ces amas et de savoir s'il existe des amas (formant ainsi une hiérarchie d'amas) comme l'ont supposé certains astronomes. Nous ne pourrons répondre à de telles questions qu'une fois terminée l'étude SCHMIDT de l'hémisphère austral.

Les galaxies elles-mêmes affectent différentes formes et dimensions et on les classe en général en trois catégories selon leur apparence optique: elliptique, spirale ou irrégulière. Mais ces galaxies forment-elles une séquence évolutionnaire ou sont-elles fondamentalement différentes?

Parmi les galaxies les moins impressionnantes, tout au moins pour ce qui est de la masse totale, on peut ranger les galaxies naines sphéroïdales contenant environ  $10^8$  étoiles. On ne sait pas dans quelle mesure