

Polarisation des Sternlichtes

Autor(en): **Meyer, Hans-Otto**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **12 (1967)**

Heft 101

PDF erstellt am: **31.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900157>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Polarisation des Sternlichtes

VON HANS-OTTO MEYER, dipl. phys., Basel

Einleitung

Unser ganzes Wissen, das wir von den Sternen besitzen, gründet sich einzig und allein auf die Untersuchung der elektromagnetischen Strahlung, die wir aus dem Weltall empfangen. Es sollte daher unser Bestreben sein, den Teil dieser Strahlung, der durch die hindernde Atmosphäre bis zur Erdoberfläche dringt, nach möglichst allen Gesichtspunkten zu untersuchen, um so in den Besitz der ganzen Information zu gelangen, die auf elektromagnetischen Wellen mitgeführt werden kann.

Im Sinne der geschichtlichen Evolution wurde zuerst nur die Richtung und die scheinbare, visuelle Helligkeit der Sternstrahlung untersucht (Positionsastronomie). Später begann man, das sichtbare Licht in seine Wellenlängen (Farben) zu zerlegen und betrachtete die Intensitäten als Funktionen der Wellenlänge (Spektren). In unserm Jahrhundert wurde allmählich auch die Strahlung im Radiowellengebiet gemessen, was aus apparativen Gründen dann erst ermöglicht wurde.

Erstaunlich ist jedoch, dass die *Polarisation des Sternlichtes* erst 1948 in Arbeiten von J. S. HALL und W. A. HILTNER zum ersten Mal beschrieben wurde. In der Folge wollen wir uns die Bedeutung von Polarisationsmessungen in der modernen Astronomie vergegenwärtigen.

Polarisation und Polarisationsgrad

Die Schwingungsrichtung einer elektromagnetischen Welle steht senkrecht auf ihrer Fortpflanzungsrichtung. Die Ebene, die durch diese beiden Richtungen aufgespannt wird, nennen wir die Schwingungsebene (*Abb. 1*). Gewöhnliches, unpolarisiertes Licht besitzt keine ausgezeichnete Schwingungsebene, das heisst, alle Stellungen von Ebenen um die Fortpflanzungsrichtung können gleichermassen vorkommen (*Abb. 2*).

Unter einem *Analysator* verstehen wir eine Vorrichtung, die in den Lichtweg gebracht von allen Schwingungsebenen nur die Anteile in einer bestimmten Richtung durchlässt. Betrachten wir zum Bei-

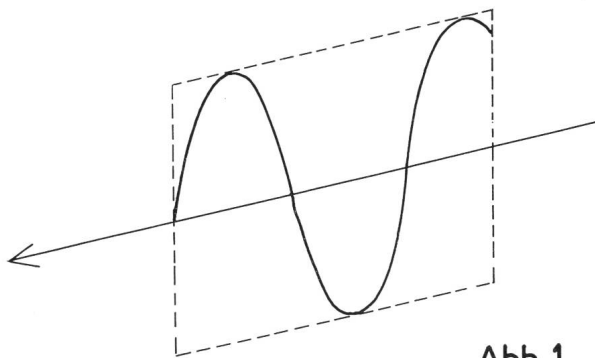


Abb. 1

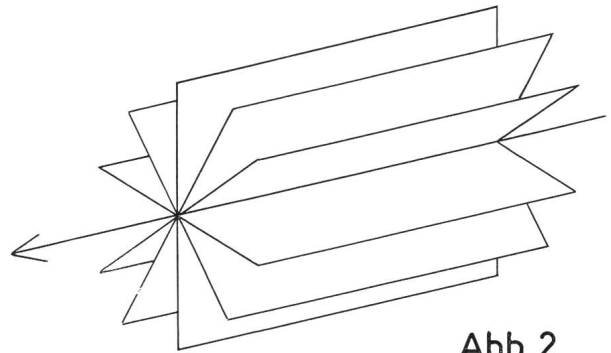
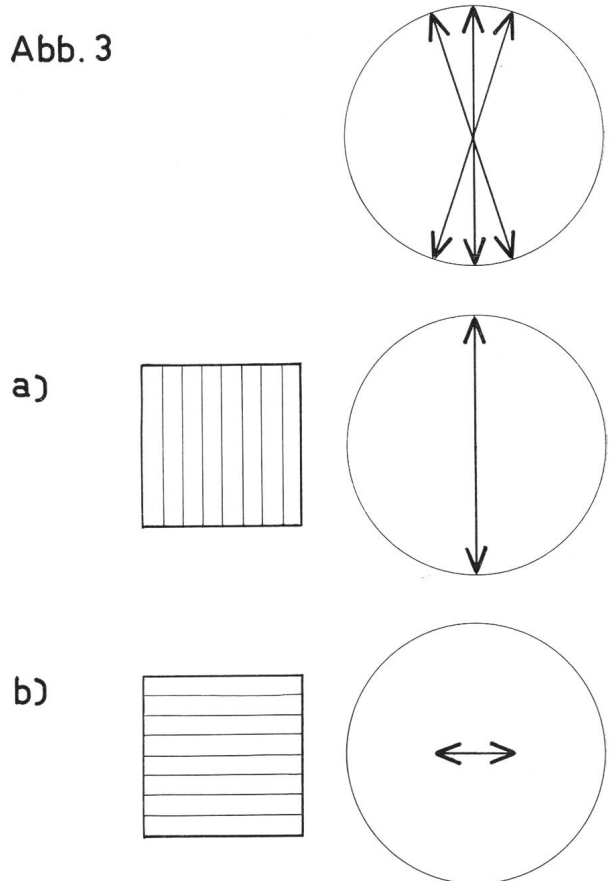


Abb. 2

spiel den Fall von nur drei Schwingungsebenen (*Abb. 3*). Solches Licht würden wir teilweise polarisiert nennen. Befindet sich der Analysator in der Stellung (a), so wird die Intensität des Lichts kaum geschwächt. Drehen wir denselben jedoch um 90° (b), so tritt eine merkbare Intensitätsänderung auf.

Abb. 3



Zur Berechnung des *Polarisationsgrades* eines Lichtstrahls müssen zwei Intensitäten gemessen werden. Zunächst verändert man die Stellung des Analysators solange, bis die durchfallende Intensität ein Maximum erreicht (I_1); sodann misst man die Intensität, nach-

dem der Analysator nun um 90° gedreht worden ist (I_2). Der Polarisationsgrad P berechnet sich dann einfach zu

$$P = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$$

Praxis der Polarisationsmessung

Es würde sicher im Rahmen dieses Artikels zu weit führen, die Technik der Polarisationsmessung im einzelnen zu behandeln. Die Forderung nach möglichst hoher Genauigkeit hat auch hier zu einer komplizierten Vielfalt von Messtechniken geführt. Unser Anliegen ist es viel eher, die prinzipiellen Methoden aufzuzählen, die die Physik kennt, partiell linear polarisiertes Licht zu untersuchen. Wir beschreiben also Instrumente, die fähig sind, von einem unpolarisierten Strahl Licht nur einer Schwingungsebene durchzulassen, während sie die Strahlung anderer Schwingungsrichtungen vernichten. Diese Aufgabe erfüllen zwei prinzipiell verschiedene Anordnungen.

Lässt man einen Lichtstrahl auf eine ebene, polierte Fläche eines durchsichtigen Materials fallen (Abb. 4), so wird ein Teil des Strahls reflektiert (a), während der Rest gebrochen wird (b) und innerhalb des Körpers weiter verläuft. Je nach Einfallswinkel und Brechungsindex des Materials kann man es einrichten, dass der gebrochene und der reflektierte Strahl einen rechten Winkel bilden. In diesem speziellen Fall trifft das Licht unter dem sog. Brewster'schen Winkel auf, und das reflektierte Bündel ist senkrecht zur Einfallsebene linear polarisiert. Man kann nun die ganze Anordnung um die Richtung des einfallenden Strahls rotieren lassen und auf diese Weise spezielle Schwingungsrichtungen herausgreifen. Wenn der Lichtstrahl schon partiell polarisiert war, wird man bei einer solchen Drehung Helligkeitsschwankungen beobachten.

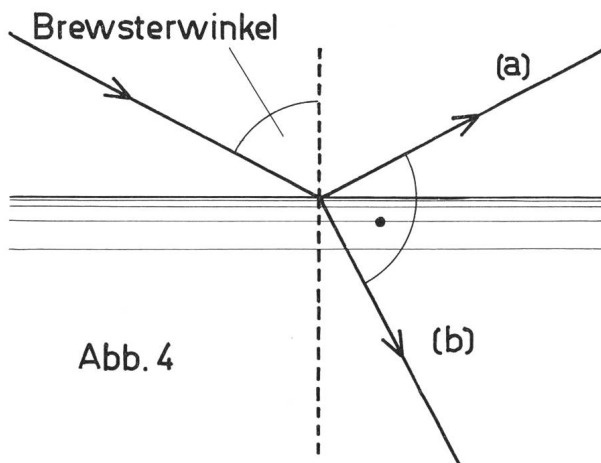


Abb. 4

Die zweite Methode beruht auf der Anwendung einachsiger doppelbrechender Kristalle (zum Beispiel Kalkspat, CaCO_3). Ein Lichtstrahl, der auf einen solchen Kristall auftrifft, wird in zwei getrennte Strahlen aufgespalten. Der eine (ordentliche Bündel) ver-

hält sich streng gemäss dem Brechungsgesetz wie in einem isotropen Körper, während der andere (ausserordentliches Bündel) das übliche Gesetz der Lichtbrechung nicht befolgt. Ist das einfallende Licht unpolarisiert, so sind die Bündel nach Verlassen des Kristalls beide linear polarisiert, ihre Polarisations Ebenen stehen aber senkrecht aufeinander.

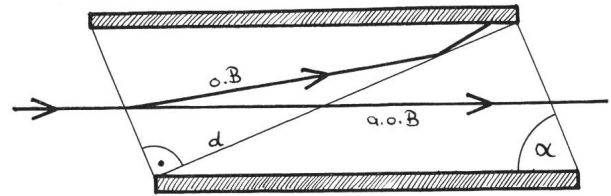


Abb. 5

Das Nicol'sche Prisma (nach dem englischen Physiker W. NICOL) besteht aus zwei aufeinandergekeilten Kalkspatprismen (Abb. 5). Der Winkel α ist so gewählt, dass das ausserordentliche Bündel, nachdem es vom einfallenden Strahl abgespalten worden ist, die Kristallprismen in einer Geraden durchsetzt, während das ordentliche Bündel nach Totalreflexion an der Trennwand d in der Seitenwand des Prismas vernichtet wird. Wird das Nicolprisma um die Richtung des einfallenden Strahls (bzw. des ausserordentlichen Bündels) drehbar angeordnet, so hat man auch hier eine Analysatorvorrichtung vor sich.

Es bleibt noch zu sagen, dass in der Praxis die gesuchten Intensitäten jetzt meist photoelektrisch bestimmt werden, da dies die genaueste Methode der Intensitätsmessung ist.

Polarisationsbeobachtungen in der Stellarastronomie

Schon längere Zeit, bevor Polarisations Effekte in der Stellarastronomie an Bedeutung gewannen, hatte man Messungen mit Analysatoren an den verschiedensten astronomischen Objekten vorgenommen. So wurde von B. LYOT im Zusammenhang mit der Messung der Albedo des Mondes und der Planeten der Polarisationsgrad des reflektierten Lichtes als Messgrösse eingeführt. Ferner war bekannt, dass von Reflexionsnebeln ausgesandtes Licht häufig polarisiert ist (so beträgt zum Beispiel bei NGC 6729 der Polarisationsgrad $P = 0.35$, was bedeutet, dass I_1 etwa doppelt so gross ist wie I_2). Ebenfalls wurde die Strukturierung des Crab-Nebels von W. BAARDE mit einem Analysator im Fokus des 200inch-Teleskops auf Mount Palomar erforscht.

1948 begannen dann die Astronomen, das von Sternen emittierte Licht auf Polarisation hin zu untersuchen. Dabei stellte man fest, dass oft eine schwache Polarisation vorhanden ist, und dass die Polarisationsrichtung mehr oder weniger parallel zur galaktischen Ebene verläuft. Ebenfalls wurde bisweilen eine rohe Korrelation zwischen dem Polarisationsgrad P und der Entfernung des Sterns bemerkt.

Erklärung der Polarisationserscheinungen

Zunächst wollen wir uns einige Tatsachen vergegenwärtigen, die auf experimentellem Weg gefunden worden sind.

- Die Polarisation des Lichtes eines Sterns ist unabhängig von den Zustandsgrößen dieses Sterns.
- Es bestehen Korrelationen zwischen Polarisations-effekten und den Absorptions-Linien, bzw. -Banden interstellarer Materie.
- Es besteht eine Beziehung zwischen Polarisationsgrad und Entfernung eines Sterns.
- Das Verhältnis Polarisationsgrad/Extinktion überschreitet für beliebige Sterne einen gewissen (wellenlängenabhängigen) Maximalwert nie.

Aus diesen Tatsachen folgt eindeutig, dass die Polarisation von Sternlicht offenbar ein interstellarer Effekt ist.

Da die beobachtete Polarisation zeigt, dass eine gewisse Schwingungsrichtung des unpolarisierten Lichts bevorzugt wird, können wir ganz allgemein sagen, dass der interstellare Raum eine gewisse, richtungsabhängige Struktur aufweisen muss. Solche Strukturen sind zum Beispiel elektrische, magnetische oder gravitative Felder. Auch ein Geschwindigkeitsfeld bewegter Materie besitzt eine ausgezeichnete Richtung. Nun ist das Weltall zwar voll von derartigen Erscheinungen, jedoch ist der heutigen Physik keine direkte Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit solchen Feldern bekannt, die eine Polarisation durchtretenden Lichts zur Folge hätte, so dass diese nicht unmittelbar zur Erklärung von Polarisations-effekten herangezogen werden können.

Hier fängt nun leider die Spekulation an. Im folgenden geben wir die Gedanken von DAVIS und GREENSTEIN wieder, die eine einleuchtende und wahrscheinliche Erklärung der interstellaren Polarisation geliefert haben. Man glaubt heute ziemlich allgemein, dass diese Betrachtungsweise den Tatsachen entspricht.

DAVIS und GREENSTEIN setzen voraus, dass die interstellare Materie aus einzelnen festen Partikeln besteht, welche eine ausgezeichnete Achse besitzen. Diese sind somit länglich oder abgeflacht (*Abb. 6*). Um die Theorie einer exakten Rechnung zugänglich zu machen, werden die Partikel einschränkend als Rotationsellipsoide angenommen. Es lässt sich zeigen,

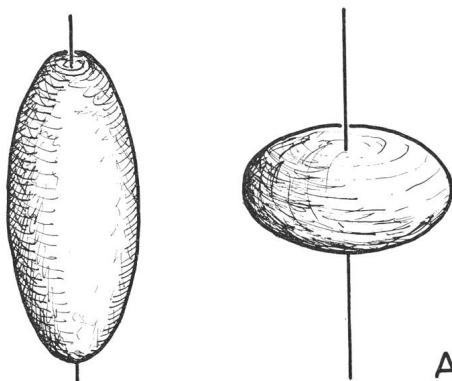


Abb. 6

dass unpolarisiertes Licht, das auf ein solches ruhendes Partikel fällt, in gewisser Weise partiell polarisiert wird. Nun sind aber viele solcher Teilchen in statistischer Unordnung vorhanden, und sie torkeln zudem wegen ihrer verschiedenen individuellen Bewegungen wild durcheinander. Durchsetzt Licht eine Wolke solcher Teilchen, so wird dieses zwar geschwächt, nicht aber polarisiert, weil die einzelnen kleinen Effekte sich im Mittel gegenseitig aufheben. Daher hat man nach einem Mechanismus gesucht, der die einzelnen Teilchen bis zu einem gewissen Grade ausrichtet. Einen solchen findet man in Form eines äusseren Magnetfeldes, das der ganzen Wolke aufgeprägt wird.

Setzen wir ein einzelnes Teilchen aus paramagnetischem Material, das auf Grund der Temperaturbewegung eine Rotation um beliebige Achsen durch seinen Schwerpunkt ausführt, in ein Magnetfeld, so beginnt dieses, ähnlich einem Spielkreisel, um die Richtung des Feldes zu präzessieren (*Abb. 7*). Damit wäre

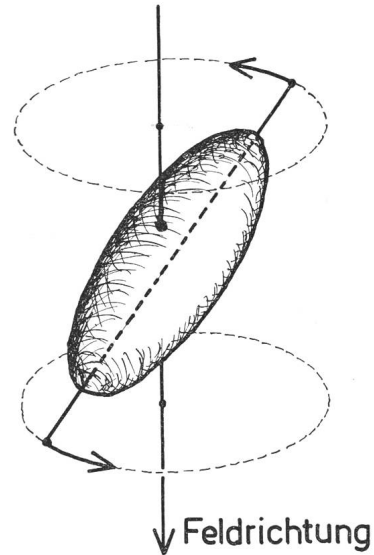


Abb. 7

eine teilweise Ausrichtung aller Teilchen also möglich. Natürlich handelt es sich dabei um einen statistisch aufzufassenden Begriff. Betrachtet man die Wahrscheinlichkeit, dass die Achse eines zum Beispiel länglichen Teilchens in einer gewissen Richtung des Raumes steht, und mittelt nun über alle Partikel der Wolke, so findet man, dass diese Wahrscheinlichkeit grösser ist, je grösser der Winkel ist, den die Partikel-Achse mit der Feldrichtung einschliesst.

Prüfung der Theorie

Die Grösse der interstellaren Staubeilchen lässt sich aus dem Verfärbungsgesetz der Extinktion abschätzen. Je nachdem, welche Annahmen über Form und Material der Partikel gemacht werden, kann man dann auf Grund der Theorie von DAVIS und GREENSTEIN die magnetische Kraftflussdichte B am Ort der interstellaren Materie berechnen. Es gilt:

$$B > \begin{cases} 5 \cdot 10^{-5} \text{ Gauss für Graphitflocken} \\ 3 \cdot 10^{-5} \text{ Gauss für paramagnetische Teilchen} \\ 1 \cdot 10^{-6} \text{ Gauss für Ferrite} \\ 1 \cdot 10^{-8} \text{ Gauss für Eisenteilchen} \end{cases}$$

Andererseits hat man auf Grund anderer Effekte (ZEEMANN-Effekt) die ungefähre Grösse von B bestimmt:

$$10^{-6} < B < 10^{-4}$$

Da offenbar die DAVIS-GREENSTEIN'sche Theorie solche magnetischen Felder zu erklären vermag, wird die obige Betrachtungsweise als eine ihrer Bestätigungen gewertet.

Zum Schluss wollen wir darauf hinweisen, dass eine Prüfung der Theorie ellipsoidischer Partikel even-

tuell mit Polarisationsmessungen im Radiowellengebiet vorgenommen werden kann. Als eine hauptsächlichliche Quelle interstellarer Radiostrahlung betrachtet man die sogenannte Synchrotron-Strahlung. Dabei handelt es sich um Radiowellen, die als Bremsstrahlung von schnellen, geladenen Teilchen abgegeben werden, welche in ein Magnetfeld geraten und dort spiralförmig um die Feldlinien kreisen. Solche Synchrotronstrahlung ist immer linear polarisiert. Je nachdem, wie die Polarisationsrichtungen im sichtbaren und im Radiowellengebiet zueinander stehen, könnte vielleicht daraus der Beweis erbracht werden, dass die Polarisationserscheinungen im sichtbaren Bereich tatsächlich auf die Ausrichtung von Teilchen durch ein Magnetfeld zurückzuführen sind.

Un observatoire idéalement situé et ouvert aux amateurs: L'observatoire de St-Martin-de-Peille*)

par E. ANTONINI

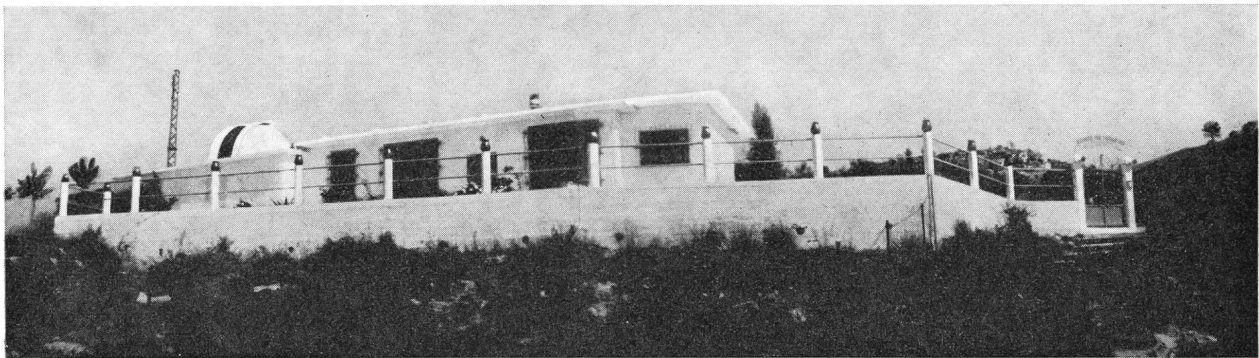


Fig. 1: Observatoire de St-Martin-de-Peille, vue générale.

C'est par un heureux hasard qu'étant en séjour à Cannes, je vis un matin dans un journal local une grande photographie du cirque lunaire Clavius, dont la légende portait: «Cette photo de la Lune a été prise d'un observatoire privé de St-Martin-de-Peille, lieu de rendez-vous des astronomes amateurs». L'article qui accompagnait cette très belle photographie nous apprenait que M. GEORGES VISCARDY, Commissaire spécial au Casino de Monte-Carlo, émule de Flammarion et astronome-amateur enthousiaste, avait créé un observatoire au-dessus de Monte-Carlo, sur les flancs du Mont Agel, dans un emplacement idéal. Le coin choisi a en effet été appelé par les anciens «la Scoperta» (la découverte), car les montagnes forment un écran, et lorsque les alentours disparaissent dans la brume, il est gratifié d'un ciel absolument pur. C'est paraît-il l'endroit le plus ensoleillé de France.

A côté d'autres instruments, disait encore l'article,

*) Nos lecteurs auront certainement lu avec intérêt la feuille volante encartée dans le No 100 d'ORION, et qui donnait des détails sur cet observatoire nouvellement créé. En principe, l'article ci-dessus aurait dû passer dans le même numéro, mais la place manquait, les textes français y étant déjà fort nombreux. Peu importe, l'essentiel est de faire connaître à nos amateurs cette nouvelle possibilité qui s'offre à eux.

l'observatoire dispose d'un télescope dont le miroir, de 31 cm d'ouverture, a été taillé par ANDRÉ COUDER à $\lambda/23$.

Très intéressé par cette réalisation, j'écrivis à M. VISCARDY, qui me répondit aussitôt pour m'inviter à visiter son observatoire. Je ne me fis pas prier, et me rendis à St-Martin-de-Peille, situé à 700 m d'altitude et à 10 km de Monte-Carlo environ, un endroit vraiment idéal éloigné de tout bruit et de toute lumière parasite, offrant en outre une fort belle vue sur les montagnes environnantes et deux échappées sur la mer. L'observatoire, très bien installé, possède une coupole de 3,35 m de diamètre qui abrite l'instrument principal, un laboratoire photographique, et diverses pièces de séjour (Fig. 1). Un peu plus haut, un autre bâtiment abrite encore divers instruments, notamment un télescope newtonien équatorial de 21 cm, une lunette équatoriale de Manent de 135 mm, une lunette équatoriale de Secrétan de 110 mm, une lunette Zeiss de 120 mm, et plusieurs petites lunettes.

Tout en devisant, M. VISCARDY me montra quelques photographies de Jupiter obtenues au moyen de son 31 cm, photographies qui m'enthousiasmèrent: je n'avais encore jamais vu de clichés aussi détaillés