

7/1987

Gebrauchsanweisung Instruction Sheet

472 60

Viertel-Wellenlängen-Platten Pair of quarter-wave plates

Mit den Viertel-Wellenlängen-Platten kann linear polarisiertes Licht in elliptisch und zirkular polarisiertes Licht umgewandelt werden und dieses wieder zurück in linear polarisiertes Licht. Die Platten werden meistens paarweise benötigt, und daher auch paarweise geliefert, denn in vielen Versuchen wird zunächst mit der einen Platte das elliptisch polarisierte Licht erzeugt und mit der anderen wieder analysiert.

1 Beschreibung

Eine Viertel-Wellenlängen-Platte, auch Verzögerungsfolie genannt, hat als wesentlichen Bestandteil eine Kunststoff-Folie geeigneter Dicke, die doppelbrechend ist. Zum Schutz vor Beschädigungen ist sie in eine weitere Kunststoff-Folie von 40 mm Ø eingegossen, die in einer drehbaren Kunststoff-Fassung befestigt ist. Die Fassung ist mit einer Gradeinteilung ($-90^\circ \dots 0^\circ \dots 90^\circ$) versehen. Sie wird über einen Hebel in einer festen äußeren Fassung (Ø 13 cm) mit Strichmarke bewegt.

Die äußere Fassung trägt einen 10 mm dicken Stiel zum Aufbau an einer Optischen Bank (z.B. 460 43). Das Gerät ist durch die Aufschrift " $\lambda/4$ " gekennzeichnet.

*) $\lambda/4$ = eine viertel Wellenlänge

2 Prinzip

Fällt ein paralleles Lichtbündel senkrecht auf die Folie auf, so wird es in dieser wegen ihrer doppelbrechenden Eigenschaften in zwei Komponenten zerlegt, die senkrecht aufeinander stehende Schwingungsebenen und etwas unterschiedliche Phasengeschwindigkeiten besitzen. Die Dicke der Folie ist so gewählt, daß die Lichtkomponente, deren elektrischer Vektor parallel zum Drehhebel schwingt, gegenüber der dazu senkrecht schwingenden Lichtkomponente um $(140) \pm 20$ nm verzögert ist. Der so entstehende Phasenunterschied der beiden Komponenten beträgt eine viertel Wellenlänge, für praktische Zwecke ausreichend, im gelben und langwelligen grünen Licht. Wegen der mäßigen Dispersion im sichtbaren Licht sind jedoch die Abweichungen in den Randgebieten des Spektrums nur gering.

3 Handhabung

Zur Erzeugung von elliptisch oder zirkular polarisiertem Licht verwendet man im Anschluß an die Lichtquelle zunächst ein Polarisationsfilter als Polarisator, dann eine im allgemeinen direkt dahinter aufgestellte Viertel-Wellenlängen-Platte und schließlich ein weiteres Polarisationsfilter zur Analyse des Lichtes. Wird das erste Polarisationsfilter auf seine 0° -, das zweite auf seine 90° -Marke gedreht, dann herrscht ohne $\lambda/4$ -Platte Dunkelheit. Mit $\lambda/4$ -Platte tritt im allgemeinen eine Aufhellung des Gesichtsfeldes ein, jedoch findet man durch Drehen der Platte in ihrer Fassung zwei scharf ausgeprägte, senkrecht zueinander befindliche Stellungen, in denen Dunkelheit bleibt. Dann stimmen die Schwingungsebenen der Platte mit denen der Polarisationsfilter überein und das auffallende linear polarisierte Licht kann die Platte unbeeinflusst passieren.

The quarter-wave plates can be used to change plane-polarized light into elliptically or circularly polarized light and can also change these back into plane-polarized light. The plates are usually required in pairs and are therefore catalogued in pairs, because in many experiments the elliptically polarized light is produced by means of one plate and analyzed by means of the other.

1 Description

The essential component of a quarter-wave plate (also called a retarder) is a double refracting plastic foil of suitable thickness. To protect it from damage it is sealed into an additional foil of 40 mm dia., which is fixed in a rotatable frame. The frame is provided with a graduation ($-90^\circ \dots 0^\circ \dots 90^\circ$). It is moved via a lever in the fixed outer frame (diam. 13 cm) with index mark.

A 10 mm thick rod is attached to the outer frame by means of which the quarter-wave plate can be arranged on the optical bench (e.g. 460 43). The plate is marked $\lambda/4$.

*) $\lambda/4$ = quarter-wave length

2 Principle

If a beam of parallel light travels perpendicularly through the foil it is split into two components due to its double refracting properties. The two components have planes of oscillation perpendicular to one another and slightly different phase velocities. The thickness of the foil is so chosen, that the light component whose electrical vector oscillates in parallel to the rotation lever lags by 140 ± 20 nm behind the other perpendicularly oscillating light component. The phase difference thus created between the two components amounts to a quarter-wave length, which is satisfactory for practical use, in the yellow and in the longwave green range. Due to the moderate dispersion in the visible light the deviations in the outer ranges of the spectrum are slight.

3 Operation

For producing elliptically or circularly polarized light a polarizing filter is used as polarizer next to the source of light. This is normally followed by a quarter-wave plate arranged immediately behind it and by a further polarizing filter to analyze the light. If the first polarizing filter is turned to 0° and the second is turned to its 90° mark there will be total extinction without the quarter-wave plate. The latter generally produces an illumination of the field of view, but, by turning it in its frame, two very clearly defined positions which are perpendicular to one another are found for which the field of view remains dark. In these positions the planes in which the oscillations of the light transmitted through the quarter-wave plate occur, coincide with those of the polarizing filter, and the incident plane-polarized light is transmitted through the plate without being affected.

Wird der Polarisator von 0° auf seine 45°-Marke gestellt, dann liefert die $\lambda/4$ -Platte zirkular polarisiertes Licht. Beim Drehen des Analysators bleibt jetzt die Helligkeit des durchgehenden Lichtes unverändert.

Bei Verwendung von nicht monochromatischem, z.B. weißem Licht zeigt sich allerdings eine kleine Farbänderung. Sie ist eine Folge der oben erwähnten Abweichungen der Platten von der $\lambda/4$ -Bedingung in den Randgebieten des sichtbaren Spektrums.

Die Entstehung des zirkular polarisierten Lichtes wird dadurch erklärt, daß das auffallende linear polarisierte Licht jetzt in der $\lambda/4$ -Platte in zwei Komponenten zerlegt wird, die wegen der 45°-Stellung gleiche Amplitude besitzen.

Stellt man den Polarisator auf andere Werte zwischen 0°, 45° und 90°, dann haben die beiden Komponenten in der $\lambda/4$ -Platte verschieden große Amplituden und setzen sich hinter ihr zu elliptisch polarisiertem Licht zusammen. Dies läßt sich je nach der Größe des eingestellten Winkels durch Drehen des Analysators mehr oder weniger stark abschwächen, jedoch nicht vollständig auslöschen.

Die zweite Viertel-Wellenlängen-Platte findet Verwendung, wenn vor dem Analysieren das zirkular oder elliptisch polarisierte Licht wieder in linear polarisiertes zurückverwandelt werden soll. Dafür wird diese zweite Platte irgendwo im Strahlengang zwischen der ersten $\lambda/4$ -Platte und dem Analysator angebracht.

Die geeignetste Einstellung für Versuche in zirkular polarisiertem Licht ist folgende:

Polarisator auf 0°; Analysator auf 90°; erste $\lambda/4$ -Platte anbringen und auf Dunkelheit drehen; zweite $\lambda/4$ -Platte anbringen und ebenfalls auf Dunkelheit drehen; die Schwingungsebenen in beiden $\lambda/4$ -Platten stimmen jetzt überein. Wird nun der Polarisator auf 45°, der Analysator auf 135° gestellt, dann ist zwischen den $\lambda/4$ -Platten zirkular polarisiertes Licht vorhanden.

Jetzt können zwei verschiedene Fälle vorliegen: Entweder wird in der zweiten $\lambda/4$ -Platte die im zirkularen Licht voreilende Komponente um eine Viertel-Wellenlänge verzögert. Dann sind beide Komponenten wieder in Phase und addieren sich zu linear polarisiertem Licht mit der gleichen Schwingungsebene wie das einfallende Licht. Der gekreuzt stehende Analysator führt zur Auslöschung.

Im anderen Fall verzögert die zweite $\lambda/4$ -Platte die schon in der ersten Platte zurückgebliebene Komponente nochmals um eine Viertel-Wellenlänge. Dadurch bekommen die beiden Bestandteile einen Phasenunterschied von 180° und addieren sich zu linear polarisiertem Licht, das senkrecht zum einfallenden Licht schwingt. Die Anordnung zeigt maximale Helligkeit, die für die Versuche meist ungeeignet ist. Man drehe in diesem Fall eine $\lambda/4$ -Platten um 90° und erhält dadurch die Verhältnisse des vorigen Falles.

4 Zur Beachtung

Für die Viertel-Wellenlängen-Platten gelten die gleichen Vorschriften wie für Polarisationsfilter. Die Platten sollen nicht zu sehr erwärmt werden, weil dies zur Beschädigung der Folien führen kann. Man soll sie also insbesondere nicht zu nahe der heißen Lampe anbringen.

Die Platten arbeiten nur dann richtig, wenn sie von möglichst parallelem Licht senkrecht durchsetzt werden. Geringe Konvergenz oder Divergenz schadet allerdings nicht.

5 Versuche

Außer zu Versuchen über die Eigenschaften von zirkular und elliptisch polarisiertem Licht, dient das mit den Platten erzeugte zirkulare Licht zur Vorführung der Spannungsdoppelbrechung mit dem Satz spannungsoptischer Modelle (471 95) und zur Demonstration der inneren mechanischen Spannungen bei Sicherheitsglas (Securitglas, 471 92) oder bei schnell gekühltem Glas (471 61).

If the polarizer is turned from 0° to its 45° mark, the quarter-wave plate will provide circularly polarized light. In this position, turning the analyzer will not affect the brightness of the transmitted light.

But when using non-monochromatic light, for example white light, a small change of colour will be observed. This is due to the above-mentioned deviations of the plates from the quarter-wave condition in the outer ranges of the visible spectrum.

The production of circularly polarized light is explained by the incident plane-polarized light being split into two components in the quarter-wave plate, which have equal amplitudes due to the 45°-position.

When adjusting the polarizer at other values between 0°, 45° and 90°, then the two components have different amplitudes in the quarter-wave plate and recombine behind it to form elliptically polarized light. Depending on the angle of adjustment of the polarizer, this light can be weakened to a greater or lesser extent by turning the analyzer, but it cannot be completely extinguished.

The second quarter-wave plate is used if it is intended to change the circularly or elliptically polarized light back into plane-polarized light before analyzing. For this purpose the second plate is inserted into the path of rays anywhere between the first quarter-wave plate and the analyzer.

The most suitable arrangement for experiments with circularly polarized light is the following:

Set the polarizer at 0°; set the analyzer at 90°; put the first quarter-wave plate in position and turn it to give darkness; mount the second quarter-wave plate and likewise turn it to give darkness; now the planes of oscillation in the quarter-wave plates coincide. On turning the polarizer to 45° and the analyzer to 135°, there will be circularly polarized light between the two quarter-wave plates.

Now we have one of two possible cases:

First, the second quarter-wave plate retards the component leading in phase of the circularly polarized light by a quarter of a period. The two components are again in phase and add up to plane-polarized light the oscillations of which occur in the same plane as the incident light. Since the analyzer and polarizer are crossed there will be total extinction, that is, darkness.

In the second case, the second quarter-wave plate will again retard the component which was lagging behind in the first quarter-wave plate, so that the components are 180° out of phase after going through the second quarter-wave plate. They add up to plane-polarized light which oscillates in a plane normal to the incident light. This arrangement will produce maximum brightness, which is generally unsuitable for experiments. Therefore, one of the quarter-wave plates may be rotated through 90° to obtain the conditions of the previous case.

4 Please note:

The quarter-wave plates should be treated like the polarizing filters. They must not be heated too much, otherwise the foils might be damaged. In particular, they must not be fixed too near the hot lamp.

The plates will give the intended effect only when they are perpendicularly penetrated by light which is as a parallel as possible. But slight convergence of the light is not harmful.

5 Experiments

Apart from the experiments on the properties of circularly and elliptically polarized light, the circularly polarized light produced in the quarter-wave plates serves to demonstrate birefringence on using a set of photoelastic models (471 95), and to demonstrate the internal stresses in safety glass (Securit glass plate, 471 92) or in rapidly cooled glass (471 61).