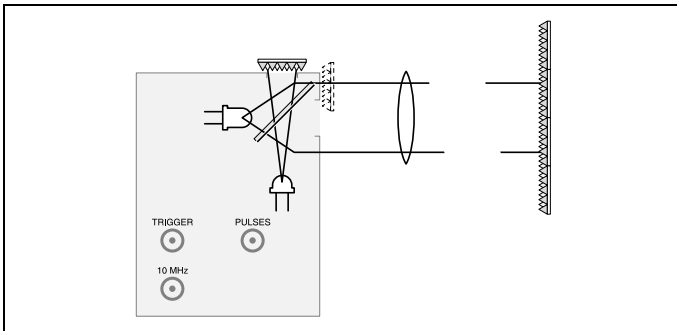


9/96-Gan/Sf-



Die Apparatur, die aus dem Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät und 2 Tripelspiegeln besteht, dient zur Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit aus dem Laufweg und der Laufzeit von sehr kurzen Lichtimpulsen. Sie passieren eine Meßstrecke mit Reflexion an einem großen Tripelspiegel 2 Mal und werden dann in Spannungsimpulse umgewandelt, die zur Bestimmung der Laufzeit auf einem Oszilloskop angezeigt werden.

Es wird mit Meßstrecken von 10 m bis 20 m gearbeitet. Um die Laufzeiten von etwa 65 ns bis 130 ns mit schulüblichen Oszilloskopen messen zu können, ist das Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät mit einem Triggerausgang und einem quartzstabilisierten 10-MHz-Ausgang ausgerüstet. Die Triggersignale zur externen Triggerung des Oszilloskops sind optimal an die Spannungsimpulse angepaßt, so daß diese stets vollständig dargestellt werden. Das Signal des 10-MHz-Ausgang kann erforderlichenfalls auf dem 2. Kanal des Oszilloskops als kalibrierte Zeitbasis eingesetzt werden; die Flanken des Signals (Periodendauer 100 ns) dienen dann als ein von den Eigenschaften des Oszilloskop unabhängiges Meßraster.

Die aus den Lichtimpulsen gewonnenen Spannungsimpulse können aufgrund ihrer geringen Peakbreite von 20 ns auch genutzt werden für Versuche zur Ausbreitung von Signalen auf Koaxialkabeln, z. B. Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $2/3$  der Lichtgeschwindigkeit); Reflexion am offenen und geschlossenen Ende; Einfluß des Abschlußwiderstandes; Bestimmung des Wellenwiderstandes.

#### Literatur:

Versuchsbeschreibungen in "Leybold Handblätter Physik", Teil 2 (597 521)

### 1 Sicherheitshinweise

- Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät vor mechanischer Erschütterung (z. B. durch Stoß, Fall) schützen, um eine Beeinträchtigung der optischen Justierung von Sender-LED, Strahlenteiler und Empfänger-Diode auszuschließen.
- Geräte vor Staub und Rauch schützen, um eine Beeinträchtigung der Lichtausbeute durch verschmutzte optische Elemente zu verhindern.
- Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät stehend (z. B. in einem Stativfuß, 300 02) aufbewahren; Öffnung (1.7) mit Deckel (1.8) verschließen.
- Tripelspiegel vor Kratzern o. ä. schützen
- Ausgänge (Ausgangswiderstand  $50 \Omega$ ) zur verzerrungsfreien Darstellung der Signale nur mit  $50\text{-}\Omega$ -Koaxialkabeln beschalten.

## Gebrauchsanweisung Instruction Sheet

476 50

### Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät Light Velocity Measuring Instrument

This apparatus, consisting of the light velocity measuring instrument and 2 triple mirrors, permits measurement of the velocity of light from the path and the transit time of extremely short light pulses. These are reflected in a large triple mirror so that they pass through the measurement arrangement twice and are then converted to voltage pulses, which are displayed on the oscilloscope for determination of the transit time.

This configuration uses measuring distances of 10 m to 20 m. To permit measurement of the transit times of approx. 65 ns to 130 ns using standard school oscilloscopes, the light velocity measuring instrument is equipped with a trigger output and a quartz-stabilized 10-MHz output. The signals for external triggering of the oscilloscope are optimally matched to the voltage pulses, so that complete pulses can be displayed at all times. Where necessary, the signal of the 10-MHz output can be used on the second oscilloscope channel as a calibrated time base; the edges of the signal (period 100 ns) then serve as a measuring standard which is independent of the properties of the individual oscilloscope.

Thanks to their narrow peak width of 20 ns, the voltage pulses obtained from the light pulses can also be used for experiments on the propagation of signals in coaxial cables, e.g. determining the propagation velocity ( $2/3$  of the velocity of light); reflection at an open and a terminated end; the effect of a terminating resistance; determining the wave resistance.

#### Literature:

Experiment descriptions in "Leybold Physics Leaflets", Part 2 (597 522)

### 1 Safety notes

- Protect the light velocity measuring instrument from mechanical shocks (e.g. knocks or falls) to prevent disturbing the optical adjustment of the transmitter LED, the beam divider and the receiver diode.
- Protect all apparatus from dust and smoke to prevent reduced light yield due to dirty optical elements.
- Store the light velocity measuring instrument upright (e.g. in a stand base, 300 02); protect opening (1.7) with cover (1.8).
- Protect the triple mirror against scratching or similar damage.
- Connect only  $50\text{-}\Omega$  coaxial cable to the outputs (output resistance  $50 \Omega$ ) to ensure distortion-free display of the signal.

## EMV-Informationen

Das Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät ist ein Betriebsmittel der Klasse A im Sinne der Norm EN 55011. Es kann im Wohnbereich Funkstörungen verursachen. In diesem Fall kann vom Betreiber verlangt werden, angemessene Maßnahmen durchzuführen und dafür aufzukommen.

Bei einem Betrieb im Fachraum einer allgemein- oder berufsbildenden Schule oder von anderen Ausbildungsstätten ist jedoch davon auszugehen, daß in der Regel keine Störungen im Wohnbereich auftreten, solange ein Schutzabstand von mindestens 30 m gegeben ist und das Betriebsmittel nur kurzzeitig eingesetzt wird.

*Maßnahmen zur Einhaltung der Anforderungen der Klasse A im Sinne der Norm EN 55011:*

- Abgeschirmte, möglichst kurze Meßleitungen verwenden, z. B. HF-Kabel, 1 m (501 02).
- Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät ① erst dann durch Anschließen des Steckernetzgerätes einschalten, wenn alle Versuchsvorbereitungen, soweit sie ohne Strahlengang möglich sind, abgeschlossen sind.
- Gerät nicht länger betreiben als für die Durchführung des Versuchs erforderlich.

## EMC information

The light velocity measuring instrument is a class A device within the meaning of the standard EN 55011. It can cause radio interference in residential areas. In this case, the operator may be obligated to implement appropriate remedial measures at his or her own expense.

When operating the device in an experiment room in general or vocational schools or other educational institutions, however, it may be assumed that in general no interference will occur in residential areas, providing that a protective distance of 30 m is maintained and the device is operated for only brief periods.

*Measures for ensuring compliance with the requirements of class A according to standard EN 55011:*

- Use only screened measuring leads of the shortest possible length, e.g. BNC cable, 1 m (501 02).
- Do not switch on the light velocity measuring instrument ① by connecting the plug-in power supply until you have carried out all experiment preparations which do not require a light beam.
- Do not operate the device longer than required for carrying out the experiment.

## 2 Meßprinzip

### 2.1 Lichtgeschwindigkeit (siehe Fig. 1)

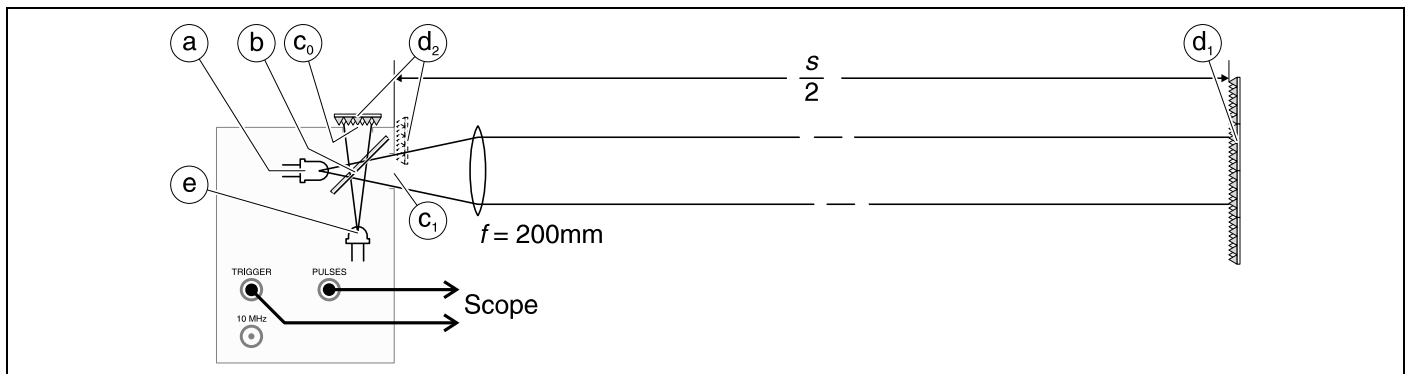


Fig. 1  
Strahlengang bei der Versuchsanordnung zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit  
Beam path in the experiment setup for determining the velocity of light

Eine über eine Oszillatorschaltung betriebene Hochleistungs-LED (a) sendet kurze rote Lichtimpulse mit einer Wiederholfrequenz von 40 kHz aus. Das Licht wird an einem halbdurchlässigen Spiegel als Strahlenteiler (b) zur Hälfte als "Referenzstrahl" (s.u.) in Richtung Gehäusefenster (c<sub>0</sub>) reflektiert; die andere Hälfte passiert als "Meßstrahl" das Fenster (c<sub>1</sub>). Eine Linse (f = 200 mm) bildet die LED über einen im Abstand s/2 angeordneten Tripelspiegel (d<sub>1</sub>), der den Strahlengang genau in sich selbst reflektiert, auf sich selbst und über den Strahlenteiler (b) auf eine Empfänger-Diode (e) ab. Diese setzt jeden Lichtimpuls nach dem Durchlaufen des Weges s in einen Spannungsimpuls um, der als "Zeitsignal" U<sub>1</sub> oszilloskopiert wird.

Verschiebt man den Tripelspiegel um  $\Delta s/2$ , sodaß sich der Lichtweg um  $\Delta s$  ändert, so verschiebt sich das Zeitsignal U<sub>1</sub> auf dem Oszilloskop um  $\Delta t$ . Die Lichtgeschwindigkeit kann dann durch die Aufnahme mehrerer Wertepaare aus der Steigung der Geraden  $\Delta s = f(\Delta t)$  ermittelt werden.

Zur Absolutmessung der Zeit t, die ein Lichtimpuls zum Durchlaufen des Weges s braucht, ist zusätzlich zum Zeitsignal U<sub>1</sub> ein Referenzsignal U<sub>0</sub> für den Nullpunkt erforderlich, das mit Hilfe eines zusätzlichen kleinen Tripelspiegel (d<sub>2</sub>) erzeugt wird. Er wird zur Reflexion eines Referenzstrahls auf die Empfänger-Diode (e) entweder auf das Fenster (c<sub>0</sub>) in das vom Strahlentei-

## 2 Measuring principle

### 2.1 velocity of light (see Fig. 1)

A high-performance LED (a) driven by an oscillator circuit emits short red light pulses with a repetition frequency of 40 kHz. The beam passes through a semitransparent mirror which acts as a beam divider (b); one half is reflected as a "reference beam" (see below) toward housing window (c<sub>0</sub>); the other half, the "measuring beam", passes through window (c<sub>1</sub>). A lens (f = 200 mm) images the LED on a triple mirror (d<sub>1</sub>), which is (by definition) at a distance s/2; this mirror reflects the beam precisely into itself and, via beam divider (b), into a receiver diode (e). This converts each light pulse that has travelled the path s into a voltage pulse, which is displayed on the oscilloscope as the "time signal" U<sub>1</sub>.

If the triple mirror is moved by  $\Delta s/2$ , so that the light path changes by  $\Delta s$ , the time signal U<sub>1</sub> on the oscilloscope is shifted by  $\Delta t$ . The velocity of light can be determined from the slope of the line  $\Delta s = f(\Delta t)$  by recording multiple value pairs.

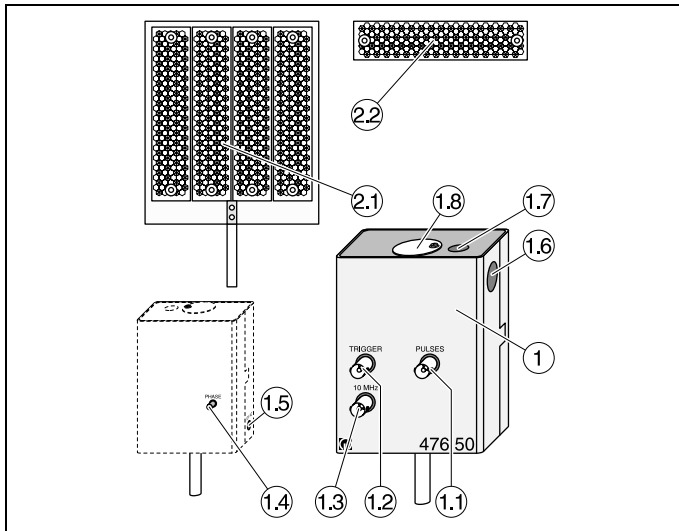
To measure the absolute time t which a light pulse requires to travel path s, a reference signal U<sub>0</sub> for the zero point is required in addition to the time signal U<sub>1</sub>; this reference signal is generated using a second, small triple mirror (d<sub>2</sub>). This is set up either on window (c<sub>0</sub>) in the light beam which is reflected upward by the beam divider (b) or directly in the measuring beam at win-

ler ⑤ nach oben reflektierte Licht gelegt oder unmittelbar am Fenster ( $c_1$ ) in den Meßstrahl eingebracht. Beide Lichtwege sind äquivalent; die Positionierung des Spiegels im Meßstrahl ist didaktisch empfehlenswert, die dabei unvermeidliche Beeinträchtigung des Meßstrahls entfällt bei der Nutzung des Lichtes am Fenster ( $c_0$ ). Das über die Empfänger-Diode in Spannung umgewandelte Referenzlicht wird auf dem Oszilloskop als Referenzsignal  $U_0$  angezeigt. Die Zeitdifferenz zwischen  $U_1$  und  $U_0$  ist die Zeit  $t$ , die das Licht für den Weg  $s$  benötigt.

## 2.2 Laufzeit von Signalen auf Koaxialkabeln:

Bei Laufzeituntersuchungen an Koaxialkabeln werden die Signale, die sich durch Reflexion der Lichtimpulse am kleinen Tripelspiegel ( $d_2$ ) auf Fenster ( $c_0$ ) ergeben, über ein T-Stück einerseits als Referenzsignale  $U_0$  in das Oszilloskop und andererseits als Meßsignale  $U_1$  in ein Koaxialkabel der Länge  $l$  ( $l \geq 10$  m) eingespeist. Die  $U_1$ -Signale durchlaufen das Kabel und werden am offenen Ende ohne Phasensprung oder – bei kurzgeschlossenem oder über einen Widerstand verbundenen Innen- und Außenleiter – am geschlossenen Ende mit Phasensprung reflektiert. Nach einem Laufweg  $2l$  erreichen sie das Oszilloskop um die Laufzeit  $t$  zeitversetzt gegenüber den  $U_0$ -Signalen.

## 3 Lieferumfang, Beschreibung, technische Daten (Fig. 2)



### ① Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät

Es enthält

- justiert angeordnet die optischen Elemente Sender-LED, Strahlenteiler und Empfänger-Diode (siehe auch Abschnitt 2) sowie
- die Elektronik zur Erzeugung der Impulse, die an den Ausgängen (1.1) bis (1.3) (Ausgangswiderstand  $50 \Omega$ ) zur Verfügung stehen (siehe Fig. 3/4).

#### (1.1) Pulses-Ausgang

Er liefert die aus den Lichtimpulsen der Sender-LED über die Empfänger-Diode gewonnenen Spannungsimpulse als Zeitsignale für die oszilloskopische Zeitmessung (siehe Fig. 3).

Impulse:

- Wiederholfrequenz: 40 kHz
  - Peakbreite: 20 ns
  - Halbwerts-Peakbreite: typisch 5 ns
- Wellenlänge des Lichtes: 615 nm

dow ( $c_1$ ), and reflects the reference beam to receiver diode ⑥. The two light paths are equivalent. Placing the mirror in the measuring beam is recommended for didactic reasons; the inevitable impairment of the measuring beam is obviated when window ( $c_0$ ) is used. The reference beam which is converted into a voltage by the receiver diode is displayed on the oscilloscope as reference signal  $U_0$ . The time difference between  $U_1$  and  $U_0$  is the time  $t$  which the light requires to travel path  $s$ .

## 2.2 Transit time of signals in coaxial cables

When studying transit times in coaxial cables, the signals generated in window ( $c_0$ ) by reflection of the light pulses at the small triple mirror ( $d_2$ ) are fed to the oscilloscope via a T-connector as the reference signals  $U_0$ , and are also fed into a coaxial cable with the length  $l$  ( $l \geq 10$  m) as the measuring signals  $U_1$ . The  $U_1$  signals pass through the cable and are reflected at the open end without phase shift or – when the inner and outer conductors are short-circuited or connected via a resistor – reflected at the terminated end with phase shift. After travelling path  $2l$ , these reach the oscilloscope shifted by transit time  $t$  with respect to the  $U_0$  signals.

## 3 Scope of supply, description, technical data (Fig. 2)

Fig. 2

Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät (476 50)  
Light velocity measuring instrument (476 50)

### ① Light velocity measuring instrument

This apparatus comprises

- the pre-adjusted optical elements transmitter LED, beam divider and receiver diode (see also section 2) plus
- the electronics for generating the pulses available at outputs (1.1) to (1.3) (output resistance  $50 \Omega$ ) (see Fig. 3/4).

#### (1.1) Pulse output

Supplies the voltage pulses obtained from the transmitter LED via the receiver diode as time signals for time measurement on the oscilloscope (see Fig. 3).

Pulses:

- Repetition frequency: 40 kHz
  - Peak width: 20 ns
  - Half-value peak width: typically 5 ns
- Wavelength of light: 615 nm

### (1.2) Trigger-Ausgang

Die Impulse dienen zur externen Triggerung des Oszilloskops. Die positive Flanke der Trigger-Rechteckspannung (TTL-Signal) hat gegenüber der Emission der Lichtimpulse einen Vorlauf von etwa 60 ns (s. Fig. 3). Dadurch werden auch auf schulüblichen Oszilloskopen ohne eingebaute Verzögerungsleitung die Meßsignale selbst bei sehr kurzen Lichtwegen vollständig dargestellt (z. B. Tripelspiegel direkt vor den Fenstern (1.6) oder (1.7)),

### (1.3) 10-MHz-Ausgang

Die quarzstabilisierten Wechselspannungssignale mit einer Periodendauer von 100 ns können auf dem 2. Kanal des Oszilloskops als kalibrierte Zeitbasis eingesetzt werden. Die Flanken dienen als Meßraster, - wenn die Zeitmessung in den kalibrierten Bereichen des Oszilloskops nicht mit optimaler Ausnutzung des Bildschirms durchgeführt werden kann oder - wenn eine Kontrolle und erforderlichenfalls Korrektur der Zeitbasis des Oszilloskops durchgeführt werden soll. Die Signalform hängt von der Bandbreite des benutzten Oszilloskops ab. Sie entspricht bei einem 30-MHz-Oszilloskop etwa Fig. 4; bei einem 100-Hz-Gerät sind die Flanken steiler, die Signale ähneln einem Rechteck.

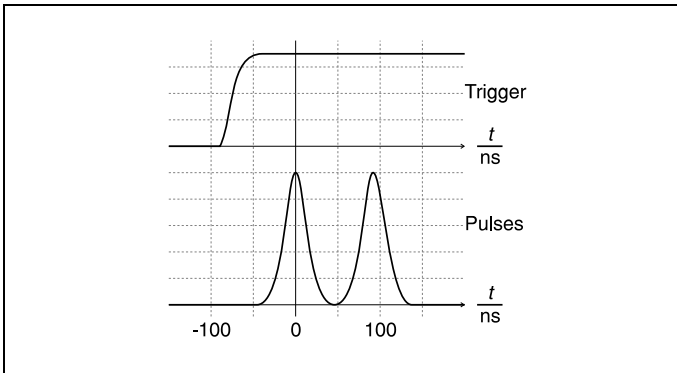


Fig. 3

Phasenlage der Signale am Pulses- und Trigger-Ausgang (schematische Darstellung)

Phase relation of signals at the pulse and trigger outputs (schematic representation)

### (1.4) Phasen-Steller

Er ermöglicht eine Phasenverschiebung des 10-MHz-Signals über 1 Periode zur Anpassung an die Phasenlage des Meß-Signals (Optimierung der Auswertungsbedingungen, siehe Abschnitt 4.3.3).

### (1.5) Schaltbuchse zum Anschluß des Steckernetzgerätes mit Hohlstecker 12 V, 20 W (562 791 für 230 V~ bzw. 562 792 für 115 V~)

### (1.6) Fenster für Meßstrahl

### (1.7) Fenster für Referenzstrahl

### (1.8) Deckel für Fenster (1.7)

Gehäuseabmessungen: 115 mm x 65 mm x 155 mm

Stativstab: 30 mm lang; 10 mm Ø

Masse: 1,4 kg

## ② Paar Tripelspiegel

Sie reflektieren das Licht in einem Winkelbereich von etwa 12° genau in sich selbst und gewährleisten dadurch eine sehr einfache Justierung der Anordnung.

### (2.1) großer Tripelspiegel in Halter; auf Stativstab (9 mm x 10 mm Ø)

Spiegelfläche; 160 mm x 180 mm (4 Elemente)

### (2.1) kleiner Tripelspiegel

Spiegelfläche; 20 mm x 35 mm (1 Element)

### (1.2) Trigger output

The pulses trigger the oscilloscope externally. The positive edge of the square-wave trigger voltage (TTL-signal) leads the emission of the light pulses by about 60 ns (see Fig. 3). As a result, the complete measuring signals can be displayed on standard school-quality oscilloscopes even for extremely short light paths (e.g. triple mirror directly in front of windows (1.6) or (1.7)).

### (1.3) 10-MHz output

The quartz-stabilized AC voltage signals with a period of 100 ns can be used on the second oscilloscope channel as a calibrated time base. The edges of the signal serve as a measurement standard:

- when the time measurement in the calibrated ranges of the oscilloscope cannot be carried out under optimum use of the oscilloscope screen or
- when the time base of the oscilloscope is to be checked and/or corrected.

The signal shape depends on the bandwidth of the oscilloscope used. For a 30 MHz oscilloscope, this approximately corresponds to Fig. 4; for a 100 Hz instrument the edges are steeper, the signals resemble a square-wave.

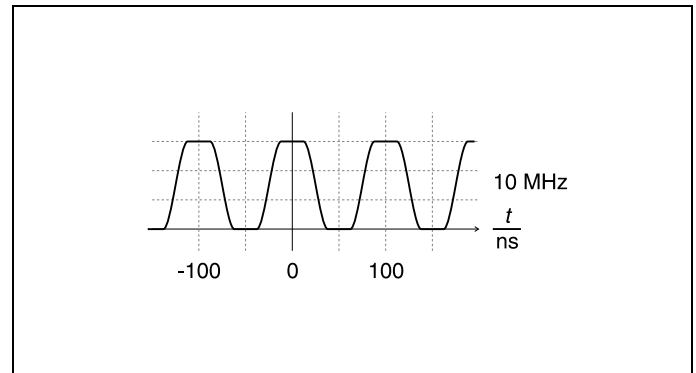


Fig. 4

Signale des 10-MHz-Ausgangs bei Verwendung eines 30-MHz-Oszilloskops (schematische Darstellung)

Signals of the 10-MHz output when using a 30-MHz oscilloscope (schematic representation)

### (1.4) Phase adjuster

Permits a phase-shift of the 10-MHz signal over 1 period for matching to the phase relation of the measuring signal (optimizing the evaluation conditions, see section 4.3.3).

### (1.5) Switched socket for connecting the plug-in power supply with cannon plug 12 V, 20 W (562 791 for 230 V AC or 562 792 for 115 V DC)

### (1.6) Window for measuring beam

### (1.7) Window for reference beam

### (1.8) Cover for window (1.7)

Housing dimensions: 115 mm x 65 mm x 155 mm

Stand rod: 30 mm long; 10 mm dia.

Weight: 1.4 kg

## ② Pair of triple mirrors

Reflect the light into itself over an angular range of about 12°, enabling extremely simple adjustment of the setup.

### (2.1) Large triple mirror in holder; on stand rod (9 mm x 10 mm dia.)

Mirror area: 160 mm x 180 mm (4 elements)

### (2.1) Small triple mirror

Mirror area: 20 mm x 35 mm (1 element)

## 4 Bedienung

### 4.1 Aufbau

Zusätzlich erforderliche Geräte:

- 1 Steckernetzgerät mit Hohlstecker, 12 V, 20 W (562 791 für 230 V~ bzw. 562 792 für 115 V~)
- 1 Oszilloskop, Bandbreite  $\geq 20$  MHz, z. B. Zweikanal-Oszilloskop 303 (575 211)
- 2 (3) HF-Kabel, 1 m (501 02)

außerdem

für Versuche zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit:

- 1 Linse,  $f = 200$  mm,  $\varnothing 120$  mm (460 10)
- 1 Optische Bank mit Normalprofil, 0,5 m (aus 460 34)
- 2 Optikreiter, 60 mm hoch (460 351)
- 1 Metermaß, z. B. Holzmaßstab, 1 m (311 03) oder Rollbandmaß, 2 m (311 77)
- 1 Großer Stativfuß (300 01)
- 1 Stativstange, 100 cm (300 44)
- 1 Leybold-Muffe (301 01)

oder für Laufzeitmessungen an Koaxialkabeln (siehe Fig. 4.2)

- 1 Koaxialkabel mit BNC-Steckern, 50  $\Omega$ . 10 m lang
- 1 T-Stück, BNC (501 091)
- 1 Kleiner Stativfuß (300 02)

Zur Reflexion am geschlossenen Ende zusätzlich:

- 1 Geradstück, BNC (501 10)
- 1 Adapter BNC/4 mm, 2polig (575 35)
- 1 Brückenstecker (aus 501 48)
- 1 STE-Stellwiderstand, 1 k $\Omega$  (577 86)

## 4 Operation

### 4.1 Setup

Additionally required apparatus:

- 1 Plug-in power supply unit with cannon plug 12 V, 20 W (562 791 for 230 V AC or 562 792 for 115 V DC)
- 1 Oscilloscope, bandwidth  $\geq 20$  MHz, e.g. two-channel oscilloscope 303 (575 211)
- 2 (3) BNC-cables, 1 m (501 02)

for experiments on determining the velocity of light:

- 1 Lens,  $f = 200$  mm, dia. 120 mm (460 10)
- 1 Optical bench with standard profile, 0.5 m (from 460 34)
- 2 Optics riders, 60 mm high (460 351)
- 1 Ruler, e.g. Wooden ruler, 1 m (311 03) or Steel tape measure, 2 m (311 77)
- 1 Stand base, V-shape, large (300 01)
- 1 Stand rod, 100 cm (300 44)
- 1 Leybold-multiclamp (301 01)

or for measuring transit times on coaxial cables (see Fig. 4.2)

- 1 Coaxial cable with BNC-connectors, 50  $\Omega$ . 10 m long
- 1 T-connector, BNC (501 091)
- 1 Stand base, V-shape, small (300 02)

additionally required for reflection at a terminated end:

- 1 Straight, BNC (501 10)
- 1 Adapter BNC/4 mm, 2-pole (575 35)
- 1 Bridging plug (from 501 48)
- 1 STE-regulation resistor, 1 k $\Omega$  (577 86)

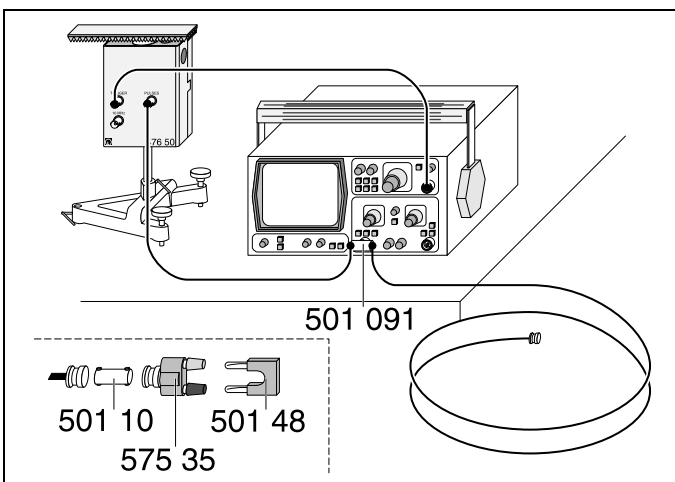
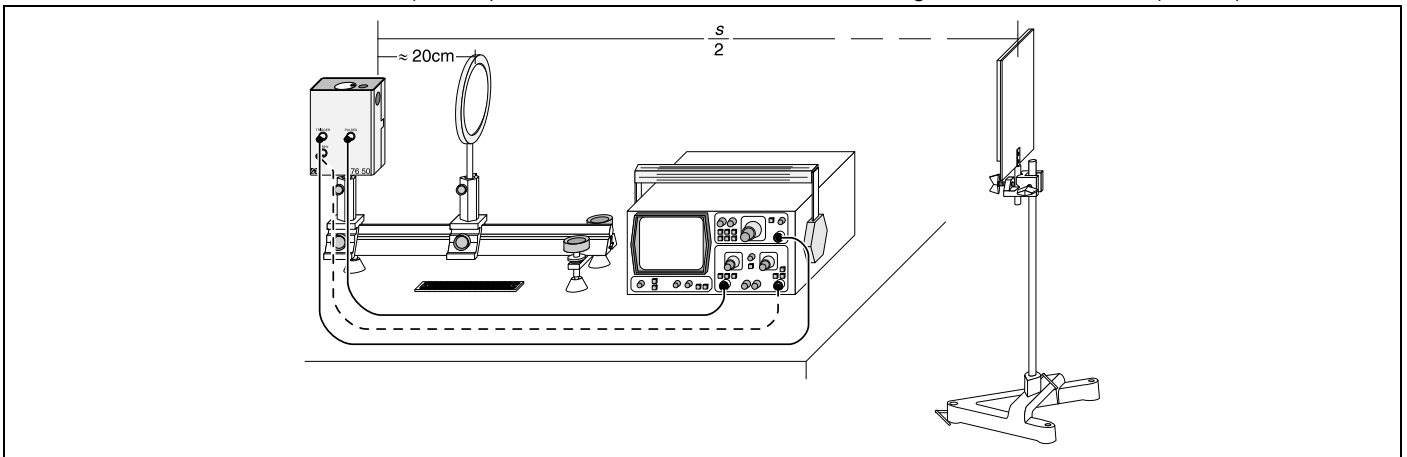


Fig. 5.2

Fig. 5.1

Versuchsaufbau

- zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit (Fig. 5.1); Verbindung zwischen 10-MHz-Ausgang und 2. Oszilloskop-Kanal nur für Messung gemäß Abschnitt 4.3.3 erforderlich)
- für Laufzeituntersuchungen an Koaxialkabeln (Fig. 5.2); zur Reflexion am geschlossenen Ende Innen- und Außenleiter gemäß Nebenskizze über einen Brückenstecker (aus 501 48) Kurzschließen oder über einen 1-k $\Omega$ -Stellwiderstand (577 86) miteinander verbinden.

Experiment setup

- Determining the velocity of light (Fig. 5.1); connection between 10-MHz output and second oscilloscope channel only required for measurements according to section 4.3.3
- Investigating transit times in coaxial cables (Fig. 5.2); for reflections at a terminated end, short the inner and outer conductors using a bridging plug (from 501 48) as shown in the detail drawing or connect them using a 1-k $\Omega$ -regulation resistor (577 86)

## Hinweise zu den empfohlenen Geräten

### - Oszilloskop

Die Informationen zur Bedienung beziehen sich auf das hier angegebene Zweikanal-Oszilloskop 303 (575 211). Bei Verwendung eines Oszilloskops mit anderer technischer Spezifikation sind die Einstellungen und die Meßanweisungen sinngemäß anzupassen. Die Form der 10-MHz-Signale ist von der Bandbreite des Oszilloskops abhängig (s. Abschnitt 3).

### - Anschlußkabel

Das 3. HF-Kabel ist erforderlich, wenn die Signale des 10-MHz-Ausgang auf dem 2. Kanal des Oszilloskops als Zeitbasis eingesetzt werden (siehe Abschnitt 4.3.3). Zur verzerrungsfreien Darstellung der Signale sind 50- $\Omega$ -Koaxialkabel erforderlich (nur die angegebenen Kabel oder solche mit gleichen Eigenschaften verwenden) Anordnung gemäß Fig. 4.1 oder Fig. 4.2 aufbauen.

### Grundeinstellung des Zweikanal-Oszilloskops (575 211)

#### Betriebsart:

- Einkanalbetrieb  
oder bei Nutzung des 10-MHz-Ausgangs als Zeitbasis (siehe Abschnitt 4.3.3)
- Zweikanalbetrieb, alternierend

Kanal I: DC, 5 mV/cm bis 100 mV/cm, Null-Linie auf unteren Rasterrand

Kanal II (nur bei Zweikanalbetrieb für Meßverfahren gemäß Abschnitt 4.3.3): DC, 0,1 V/cm, Null-Linie in Bildmitte

Triggerung: extern, HF, + (ansteigende Flanke),

Triggerlevel: automatisch

Zeitablenkung: 0,2 s/cm, cal, X-Dehnung x 1

Intensität maximal

## 4.2 Justierung für Lichtgeschwindigkeitsmessungen (Fig. 5.1)

### Grobjustierung

- Anordnung so aufbauen, daß sich das Fenster (1.6) in etwa 20 cm Abstand vor Linse befindet (Mittelpunkte von Fenster und Linse auf gleicher Höhe).
- Den großen Tripelspiegel in der für den Versuch vorgesehenen Entfernung  $s/2$  aufstellen
- $s/2$  für Meßverfahren 4.3.1: etwa 10 m bis 20 m  
4.3.2: etwa 5 m  
4.3.3: etwa 15 m
- Spiegel so anordnen, daß sich sein Mittelpunkt in Höhe der optischen Achse befindet und seine Oberfläche senkrecht dazu ausgerichtet ist.

### Feinjustierung; Aufsuchen des Signals

- Betriebsgerät (durch Anschließen des Steckernetzgerätes) und Oszilloskop einschalten.
- Zur Überprüfung des Strahlengangs: dicht an Gehäuse und Linse vorbei auf den Tripelspiegel blicken; leuchtet dieser nicht oder nur am Rand rot, durch geringfügiges seitliches Schwenken der Optischen Bank und / oder durch Änderung ihrer Neigung über die Stellschrauben Strahlungsrichtung so justieren, daß der Spiegel zentrisch beleuchtet wird.
- Das Signal, das dann auf dem Oszilloskop angezeigt wird, durch kleine Veränderungen der optischen Justierung, insbesondere durch feinfühliges Verschieben der Linse, auf die größte mögliche Amplitude einstellen.
- Jetzt die Dehnung der X-Achse auf x 10 schalten und mit dem X-Position-Steller das Meßsignal auf die gewünschte Position schieben (s. Abschnitte 4.3).

## Notes on the listed equipment

### - Oscilloscope

The operating information given in this Instruction Sheet refers to the two-channel oscilloscope 303 (575 211) listed above. When using an oscilloscope with different technical specifications, you will need to adapt the settings and measuring instructions accordingly. The shape of the 10-MHz signals depends on the bandwidth of the oscilloscope (see section 3).

### - Connecting cables

The third BNC-cable is required for using the signals of the 10-MHz output on the second channel of the oscilloscope as the time base (see section 4.3.3). For distortion-free signal display, 50- $\Omega$  coaxial cables are required (use only the specified cables or those with comparable properties) Set up the experiment as shown in Fig. 4.1 or Fig. 4.2.

### Basic settings on the two-channel oscilloscope (575 211)

#### Mode:

- single-channel operation  
or, when using the 10-MHz output as a time base (see section 4.3.3)
- two-channel mode, alternating

channel I: DC, 5 mV/cm to 100 mV/cm, zero line at bottom edge of grid

channel II (two-channel mode only, for measuring method according to section 4.3.3): DC, 0.1 V/cm, zero line in middle of screen

Triggering: external, RF, + (rising edge),

Trigger level: automatic

Time-base sweep: 0.2 s/cm, cal, X-expansion x 1

Maximum intensity

## 4.2 Adjustment for measuring the velocity of light (Fig. 5.1)

### Coarse adjustment

- Set up the configuration so that the window (1.6) is about 20 cm in front of the lens (make sure the midpoints of the window and the lens are at the same height).
- Set up the large triple mirror at the appropriate distance  $s/2$  for the experiment
- $s/2$  for measuring procedure 4.3.1: about 10 m to 20 m  
4.3.2: about 5 m  
4.3.3: about 15 m
- Set up the mirror so that its center is at the level of the optical axis and its surface is aligned perpendicular to this axis.

### Fine adjustment, locating the signal

- Switch on the operating unit (plug in the supply unit) and the oscilloscope.
- To check the beam path: observe the triple mirror from a vantage point just above the housing and lens. If the mirror is not illuminated or is only red at the edges, vary the position of the optical bench by turning it slightly or adjusting it vertically with the adjusting screws until the center of the mirror is illuminated.
- Set the signal which then appears on the oscilloscope to the maximum possible amplitude by means of slight changes in the optical adjustment, particularly by carefully varying the position of the lens.
- Now switch the expansion of the x-axis to x 10 and bring the measuring signal into the desired position using the X-position knob (see section 4.3).

### 4.3 Meßverfahren für die Lichtgeschwindigkeit

#### 4.3.1 Messung der Laufzeit $t$ zu einem vorgegebenen Laufweg $s$ ; (Absolutmessung mit Referenzsignal; $s$ ; Fig. 6))

Das gemäß Abschnitt 4.2 erzeugte Meßsignal  $U_1$  mit dem X-Position-Steller im rechten Bereich des Bildschirms positionieren.

Zur Erzeugung des Referenzsignals  $U_0$  den kleinen Tripelspiegel auf Fenster (1.7) legen und die wirksame reflektierende Fläche durch Verschieben auf der Öffnung so verändern, daß  $U_0$  genau die gleiche Amplitude hat wie  $U_1$ ;

mit dem X-Position-Steller die ansteigende Flanke des Referenzsignals  $U_0$  so verschieben, daß sie die Mittellinie im Kreuzungspunkt mit einer Rasterlinie schneidet; Laufzeit  $t$  am Schnittpunkt des Meßsignals  $U_1$  mit der Mittellinie ablesen.

*Hinweis:*

Der Zeitabstand zwischen Referenzimpuls und Meßimpuls stimmt nur dann mit dem Abstand der beiden ansteigenden Flanken auf dem Oszilloskopschirm überein, wenn beide Signale die gleiche Amplitude haben und der Abstand deutlich größer als die Impulsbreite ist.

#### 4.3.2 Messung der Laufzeitänderung $\Delta t$ als Funktion der Änderung $s$ des Laufweges (Relativmessung; $s$ ; Fig. 7)

Das gemäß Abschnitt 4.2 erzeugt Meßsignal  $U_1$  mit dem X-Position-Steller so verschieben, daß sich das Maximum auf einer vertikalen Rasterlinie im linken Bildschirmbereich befindet (s. Fig. 7.1).

Tripelspiegel nach Markierung seiner Position um  $\Delta s/2$  verschieben, so daß der Lichtweg um  $\Delta s$  vergrößert wird. Die zugehörige Zunahme der Laufzeit  $\Delta t$  aus der Zeitverschiebung des Zeitsignals ermitteln (Messung im Maximum, s. Fig. 7.2)

Zweckmäßigerweise mehrere  $\Delta s$ - $\Delta t$ -Wertepaare aufnehmen und die Lichtgeschwindigkeit aus der Steigung der Geraden  $\Delta t = f(\Delta s)$  ermitteln

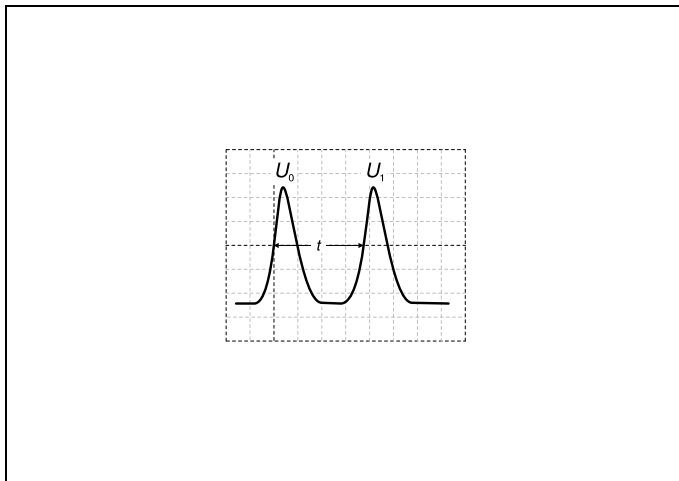


Fig. 6  
Absolutmessung der Laufzeit  $t$  des Lichtes für einen Weg  $s$  aus dem zeitlichen Abstand zwischen Meßsignal  $U_1$  und Referenzsignal  $U_0$

Absolute measurement of the transit time  $t$  of light for a path  $s$  from the time interval between measuring signal  $U_1$  and reference signal  $U_0$

### 4.3 Measuring the velocity of light

#### 4.3.1 Measuring the transit time $t$ for a given path $s$ (absolute measurement with reference signal; see Fig. 6))

Position the measuring signal  $U_1$  generated according to section 4.2 in the right-hand area of the screen using the X-position knob.

To generate the reference signal  $U_0$ , place the small triple mirror on window (1.7); by moving the mirror on the opening, vary the effective reflecting surface so that  $U_0$  has exactly the same amplitude as  $U_1$ .

Use the X-position knob to shift the rising edge of reference signal  $U_0$  so that it intercepts the center line at its intersection with a grid line.

Read off transit time  $t$  at the point at which the measuring signal  $U_1$  intersects the center line.

*Note:*

The time difference between the reference pulse and the measuring pulse will only correspond to the difference between the two rising edges on the oscilloscope screen when both signals have the same amplitude and their separation is significantly greater than the pulse width.

#### 4.3.2 Measuring the change in transit time $\Delta t$ as a function of the change in path $s$ (relative measurement; see Fig. 7)

Position the measuring signal  $U_1$  generated according to section 4.2 using the X-position knob so that the maximum lies on a vertical grid line in the left-hand area of the screen (see Fig. 7.1).

After marking its position, move the triple mirror by  $\Delta s/2$ , so that the light path is increased by  $\Delta s$ . Determine the corresponding increase in the transit time  $\Delta t$  from the shift of the time signal (measurement in maximum, see Fig. 7.2)

Record multiple  $\Delta s$ - $\Delta t$ -value pairs and determine the velocity of light from the slope of the straight line  $\Delta t = f(\Delta s)$ .

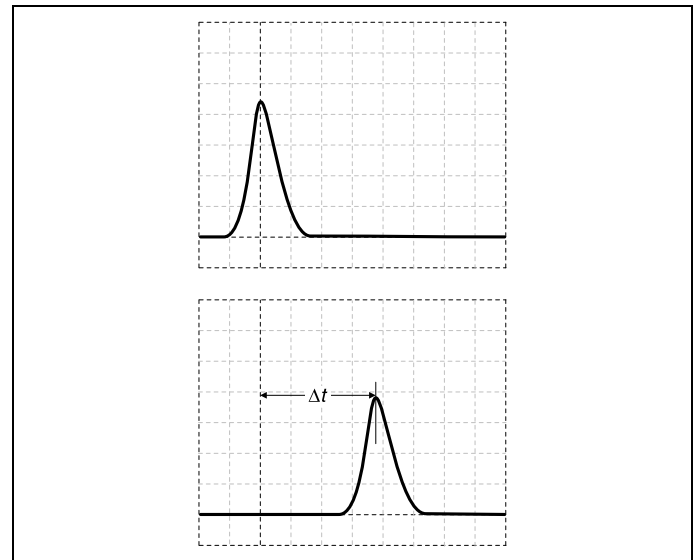


Fig. 7.1/7.2

Relativmessung der Laufzeitänderung  $\Delta t$  des Lichtes bei Änderung des Laufweges um  $\Delta s$  aus der Positionsänderung des Meßsignals  $U_1$

Fig. 7.1 Position von  $U_1$  bei Versuchsbeginn

Fig. 7.2 Position von  $U_1$  nach der Änderung des Laufweges um  $\Delta s$

Fig. 7.1/7.2

Relative measurement of the change in the transit time  $\Delta t$  of the light when changing the path by  $\Delta s$  from the change in the position of measuring signal  $U_1$

Fig. 7.1 Position of  $U_1$  at start of experiment

Fig. 7.2 Position of  $U_1$  after changing the path by  $\Delta s$

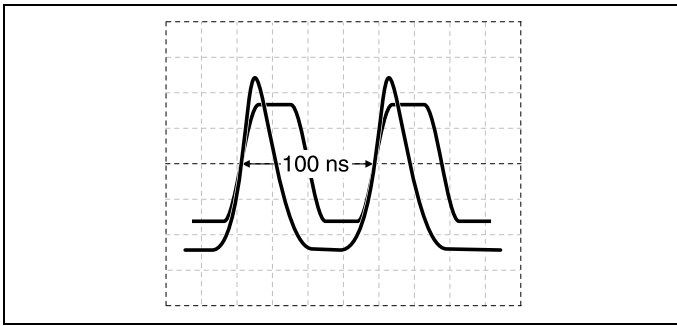


Fig. 8

Absolutbestimmung der Lichtgeschwindigkeit durch Vorgabe einer externen Zeitbasis  $t$  von 100 ns (Periodendauer des 10-MHz-Signals aus dem Lichtgeschwindigkeits-Meßgerät.

Absolute measurement of the velocity of light with the aid of an external time base  $t$  of 100 ns (period of the 10-MHz signal) from the light velocity measuring instrument.

#### 4.3.3 Vorgabe der Laufzeit $t$ durch das 10-MHz-Signal; Aufsuchen des zugehörigen Laufweges $s$

Meßsignal  $U_1$  und Referenzsignal  $U_0$  gemäß Abschnitt 4.3.1 zur Anzeige bringen und genau gleiche Höhe einstellen.

Zusätzlich Verbindung zwischen 10-MHz-Ausgang und 2. Kanal gemäß Abschnitt 4.1 vornehmen.

Mit dem Phasen-Steller (1.4) 10-MHz-Signal so verschieben, daß die steigende Flanke des 1. Impulses gemäß Fig. 8 über der steigenden Flanke des Referenzsignals  $U_0$  liegt.

Danach den Abstand  $s/2$  durch Verschieben des großen Tripelspiegels so wählen, daß die steigende Flanke des Meßsignals  $U_1$  wie in Fig. 8 genau auf der 2. steigenden Flanke des 10-MHz-Signals liegt.

#### 4.3.3 Specifying the transit time $t$ using the 10-MHz signal; Determining the corresponding path $s$

Display measuring signal  $U_1$  and reference signal  $U_0$  as described in section 4.3.1 and set them to exactly the same amplitude.

Additionally, connect the 10-MHz output and oscilloscope channel II according to section 4.1.

Using the phase adjuster (1.4), shift the 10-MHz signal so that the rising edge of the first pulse is on top of the rising edge of reference signal  $U_0$  as shown in Fig. 8.

Then, by moving the large triple mirror, vary the path  $s/2$  so that the rising edge of the measuring signal  $U_1$  precisely coincides with the second rising edge of the 10-MHz signal as shown in Fig. 8.

#### 4.4 Laufzeitmessung für Signale auf Koaxialkabeln (s. Fig. 5.2)

Anordnung gemäß Fig. 5.2 aufbauen; die mit dem kleinen Tripelspiegel erzeugten Signale über das T-Stück (501 091) als Referenzsignal  $U_0$  direkt in das Oszilloskop und als Meßimpuls in das Kabel einspeisen, der das Kabel der Länge  $l$  mit Reflexion am offenen oder geschlossenen Ende zweimal durchläuft und dann nach der Laufzeit  $t$  als Meßimpuls  $U_1$  auf dem Oszilloskop angezeigt wird.

Zeit  $t$  wie im Abschnitt 4.3.1 beschrieben bestimmen.

#### 4.4 Measuring the transit time for signals on coaxial cables (see Fig. 5.2)

Set up the experiment as shown in Fig. 5.2. Via the T-connector (501 091), feed the signals generated with the small triple mirror to the oscilloscope as reference signal  $U_0$  and to the cable as the measuring pulse; this measuring pulse passes through the cable with length  $l$  twice, with reflection at the open or terminated end, and is displayed on the oscilloscope as measuring pulse  $U_1$  after transit time  $t$  has elapsed.

Determine the time  $t$  as described in section 4.3.1.