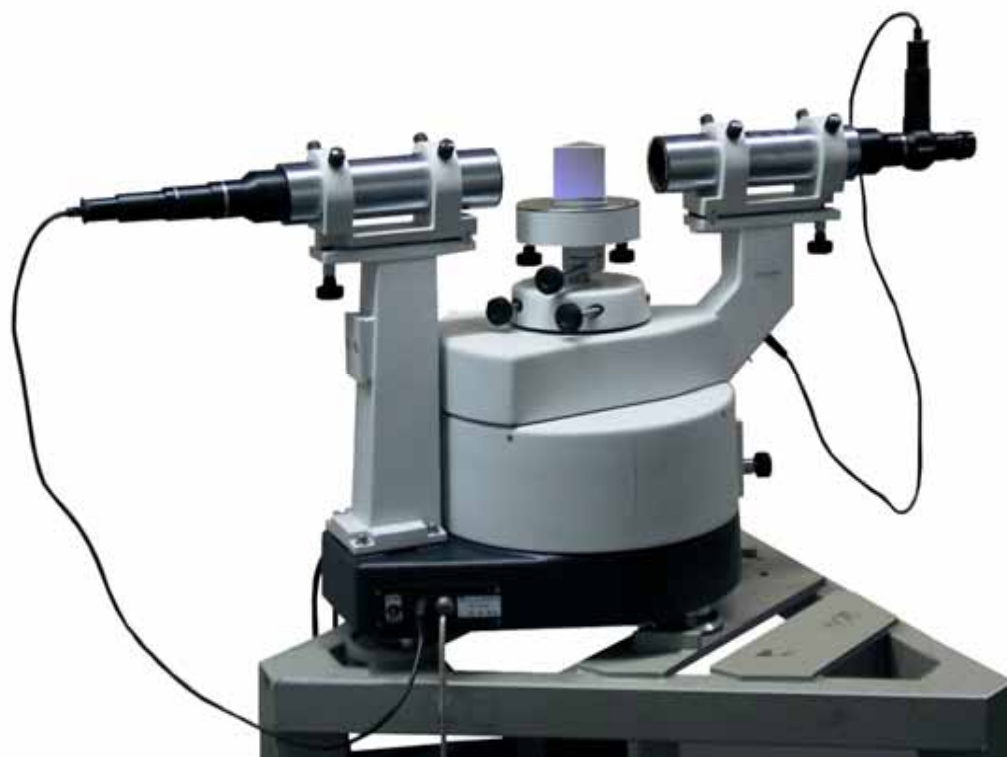


测角仪

用于棱镜角度及折射率测量的通用仪器

内容:

- 测角仪-分光计的一般应用
- 测角仪的基本结构
- 测角仪角度测量时的误差因素
- 棱镜角度测量
- 扩展至测角仪-分光计，进行折射率测量
- 折射率测量
- 折射率测量时的误差分析
- 测角仪-分光计 UV-VIS-IR (紫外-可见光-红外)
- 校准证书示例



测角仪-分光计的一般应用

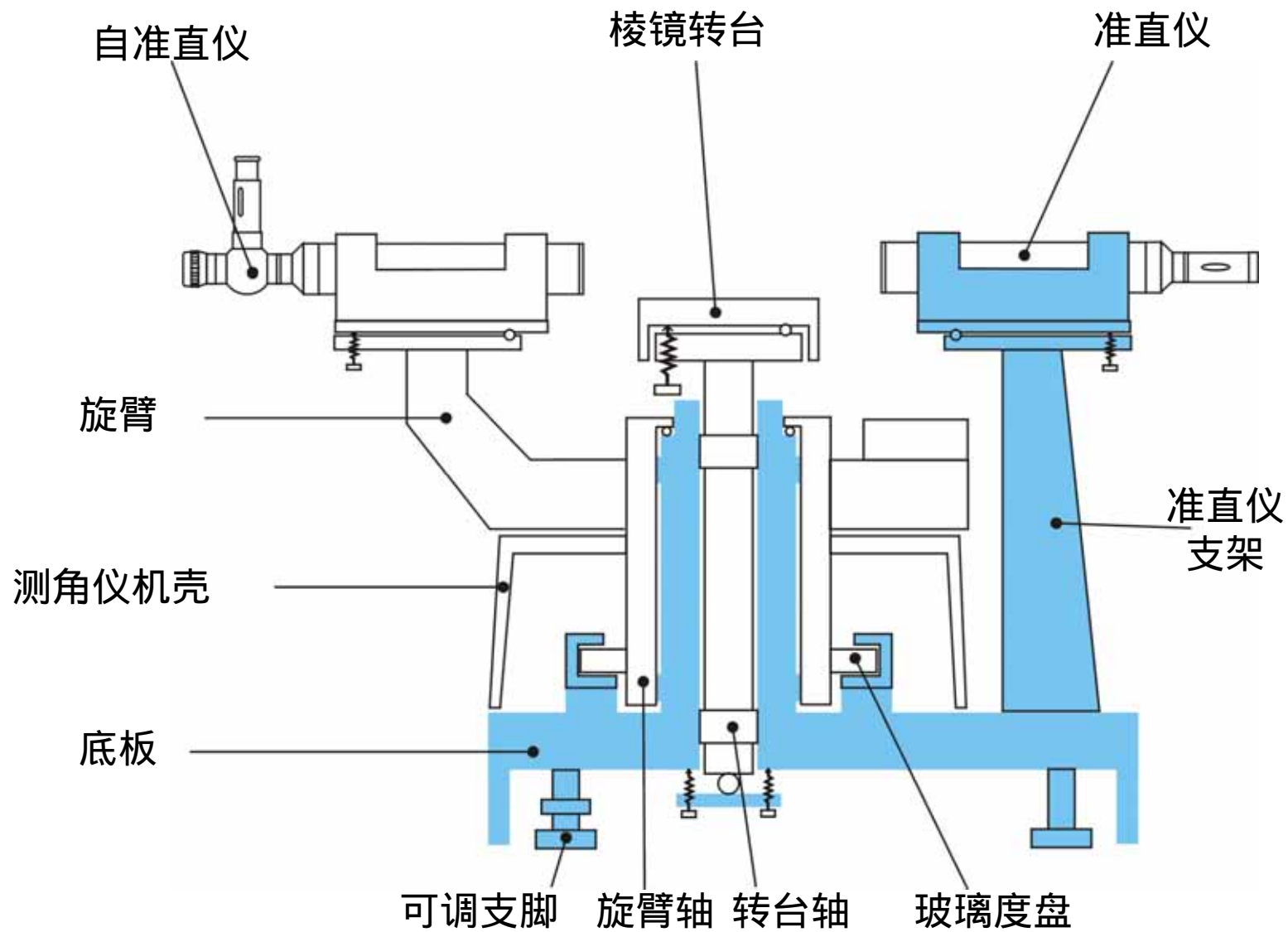
测量:

- 反射中的棱镜角度 (自准直)
- 透射中的棱镜测量 (准直仪 - 望远镜)
- 透镜的偏向角
- 玻璃、晶体及液体的折射率测量

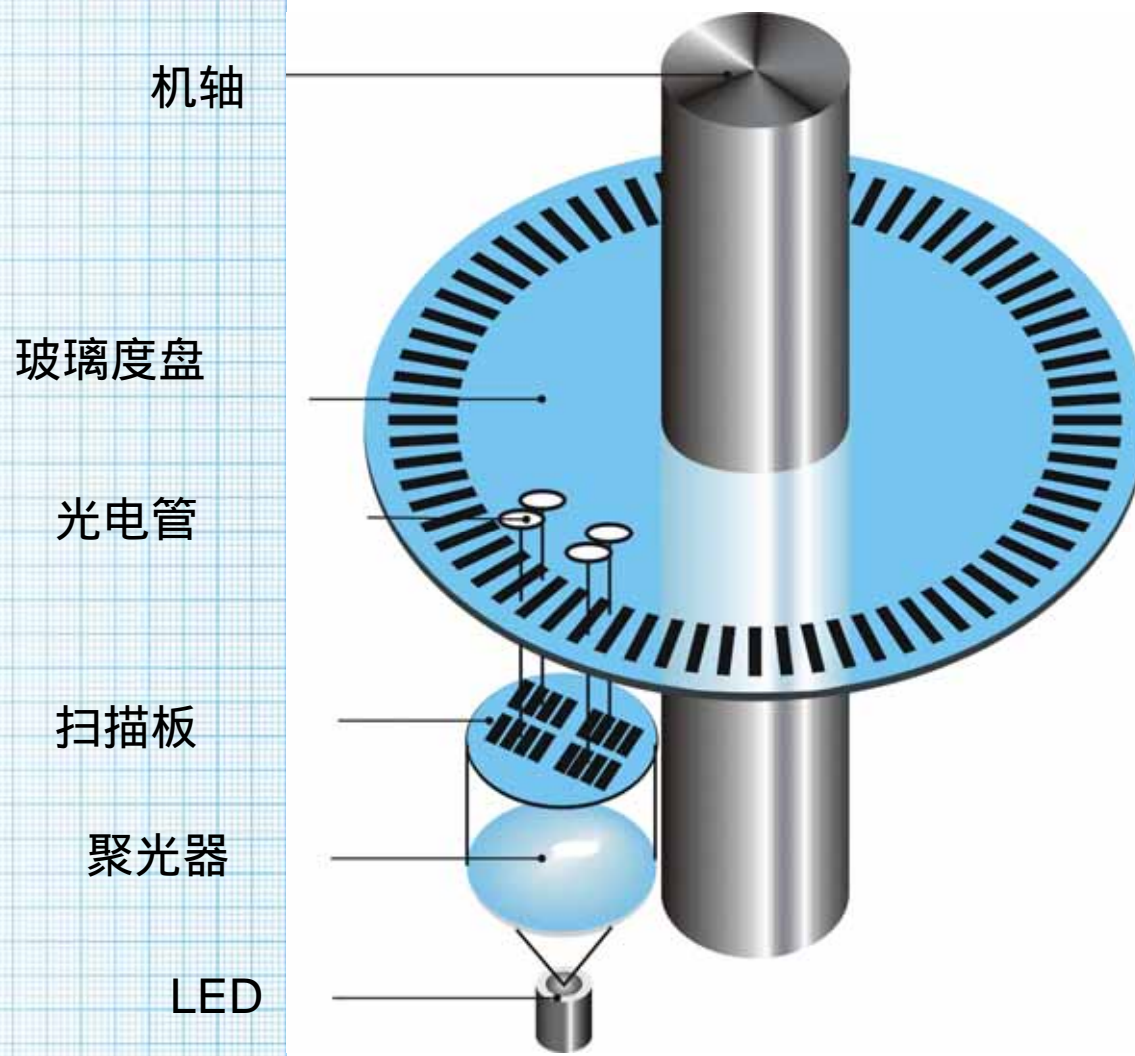
测角仪 - 分光计的 顶级精度

- | | |
|---------|---|
| • 棱镜角度 | 1 arcsec (0.2 arcsec) |
| • 偏向角 | 1 arcsec (0.2 arcsec) |
| • 折射率测量 | 1×10^{-5} (5×10^{-6}) |

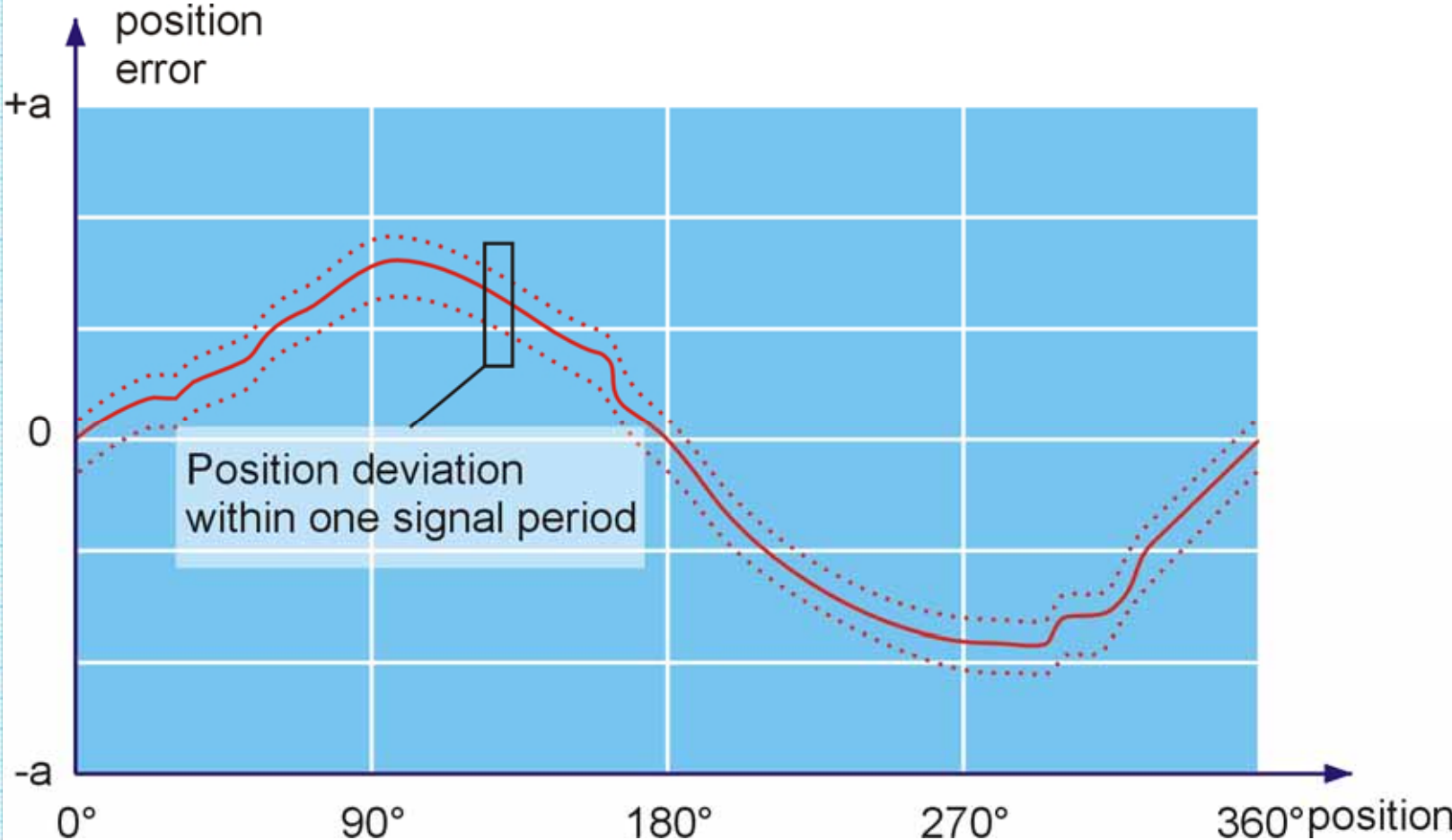
测角仪的基本结构



测角仪的基本结构



360°范围的位置偏差

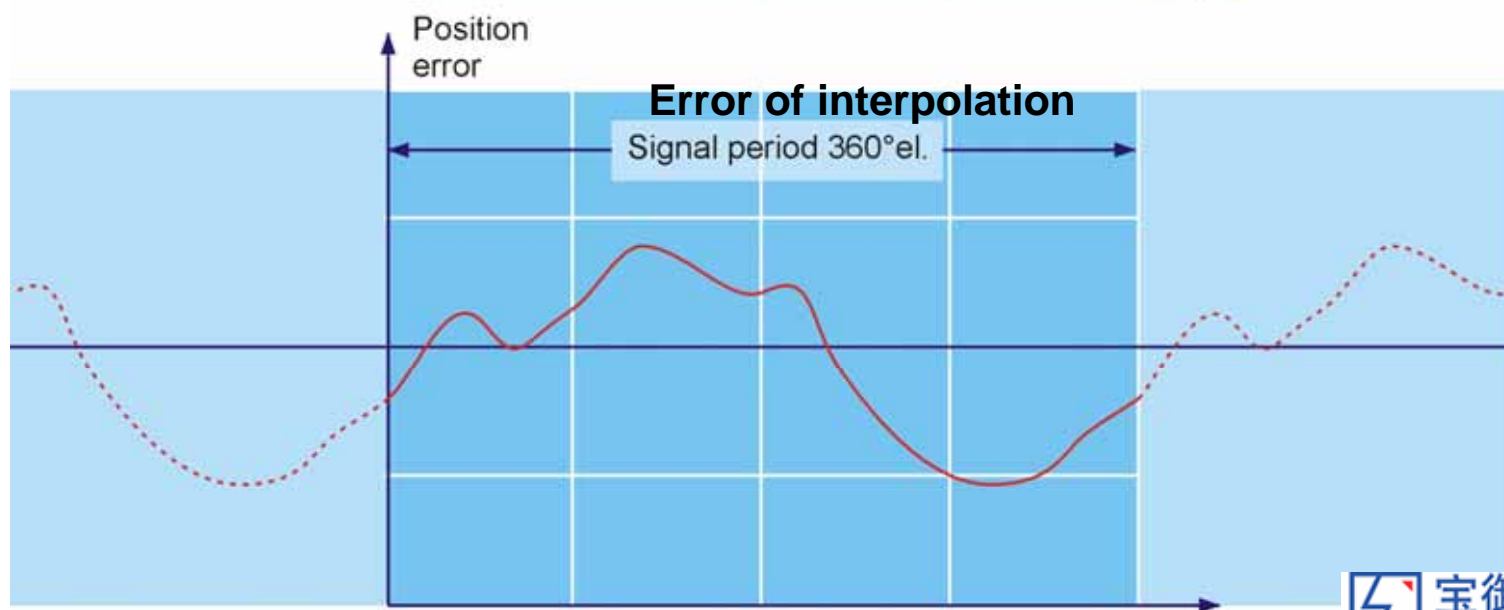
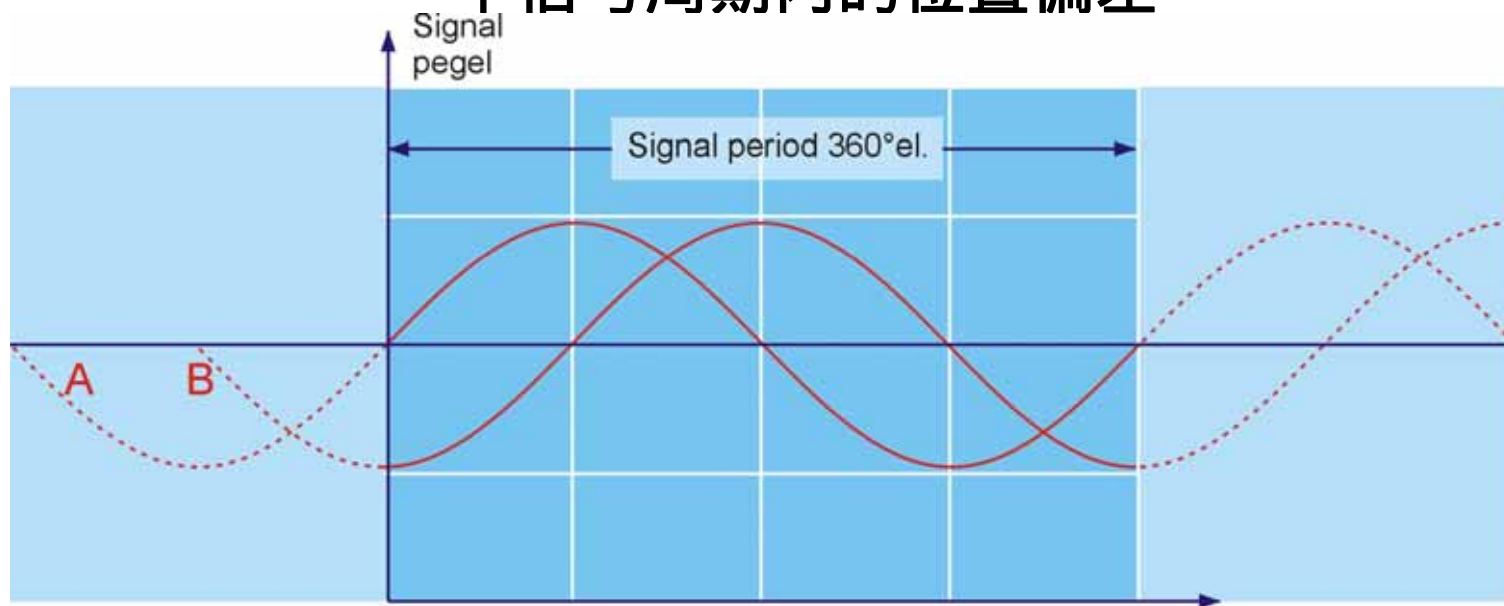


一个信号周期内的位置偏差

当前信号的正弦曲率，带有 90° 的相移（电子方式）

I(A)及 I(B)显示了一个周期内的位置

对误差进行插值计算得出系统误差



度盘距转轴的偏心

M - 度盘的中心
M' - 转轴的中心
A - 扫描装置的位置
R - 度盘的半径
e - 偏心率
 ϕ - 实际角度
 ϕ' - 读出的角度
 $\Delta\phi$ - 角度误差

角度误差

单测量：

$$\Delta\phi = 2e / R$$

举例：

$$e = 1 \mu\text{m}$$

$$R = 82.5 \text{ mm}$$

$$\Delta\phi = 2.42 \cdot 10^{-5} \text{ rad} = 5 \text{ arcsec}$$

双测量：

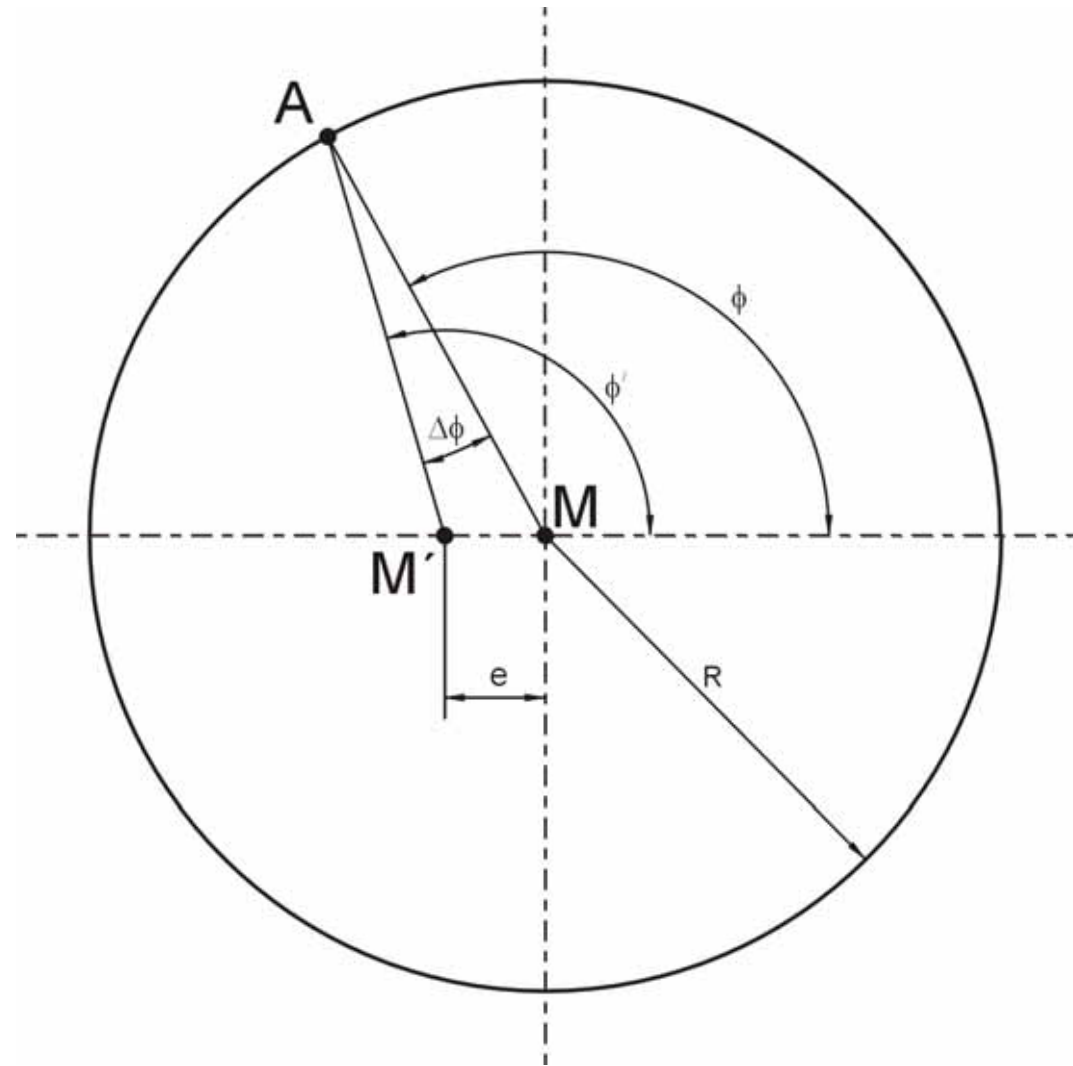
$$\Delta\phi = (e / R)^2$$

举例：

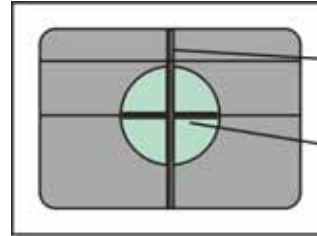
$$e = 1 \mu\text{m}$$

$$R = 82.5 \text{ mm}$$

$$\Delta\phi = 1.47 \cdot 10^{-10} \text{ rad} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ arcsec}$$



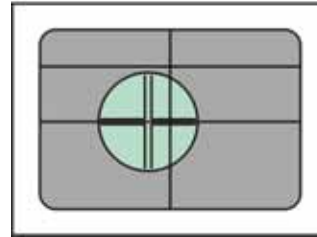
调整自准直仪



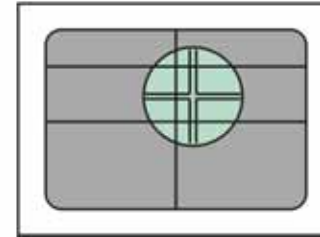
分光计狭缝的图像

自准直图像

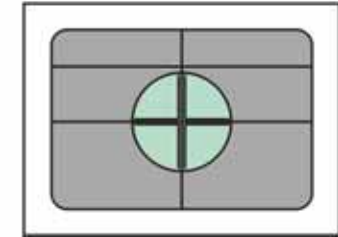
- A: 在X方向上的偏差
- B: 在X及Y方向上的偏差
- C: 正确的调整



A

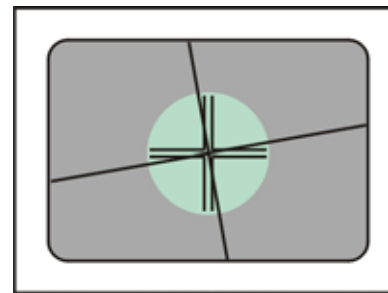


B

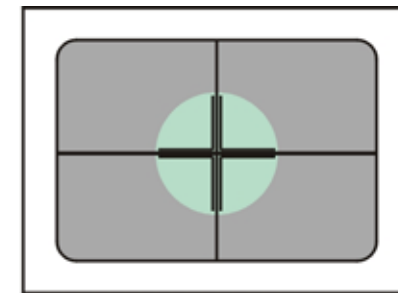


C

图像树立



A

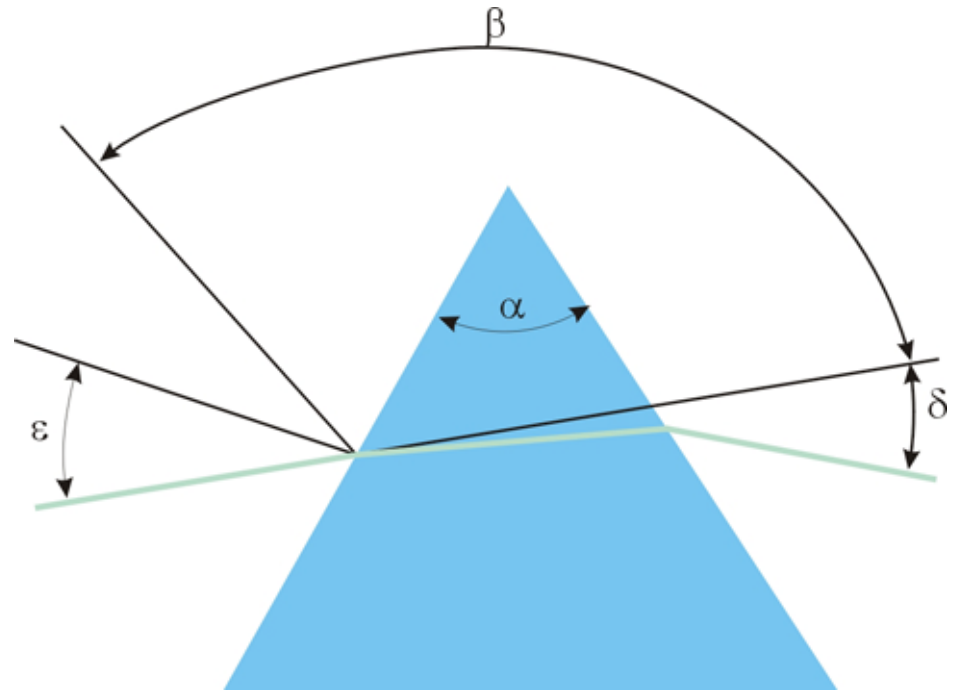


B

- A: 不正确的图像树立
- B: 正确的图像树立

角度定义

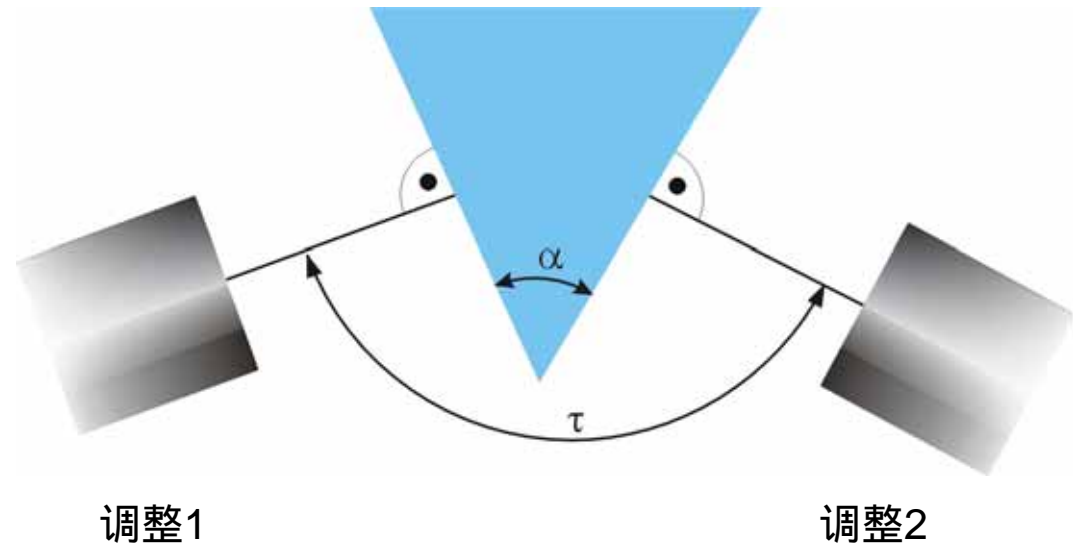
- α - 棱镜角度
- β - $180^\circ - 2\varepsilon$
- ε - 入射角
- δ - 偏向角



棱镜的角度测量

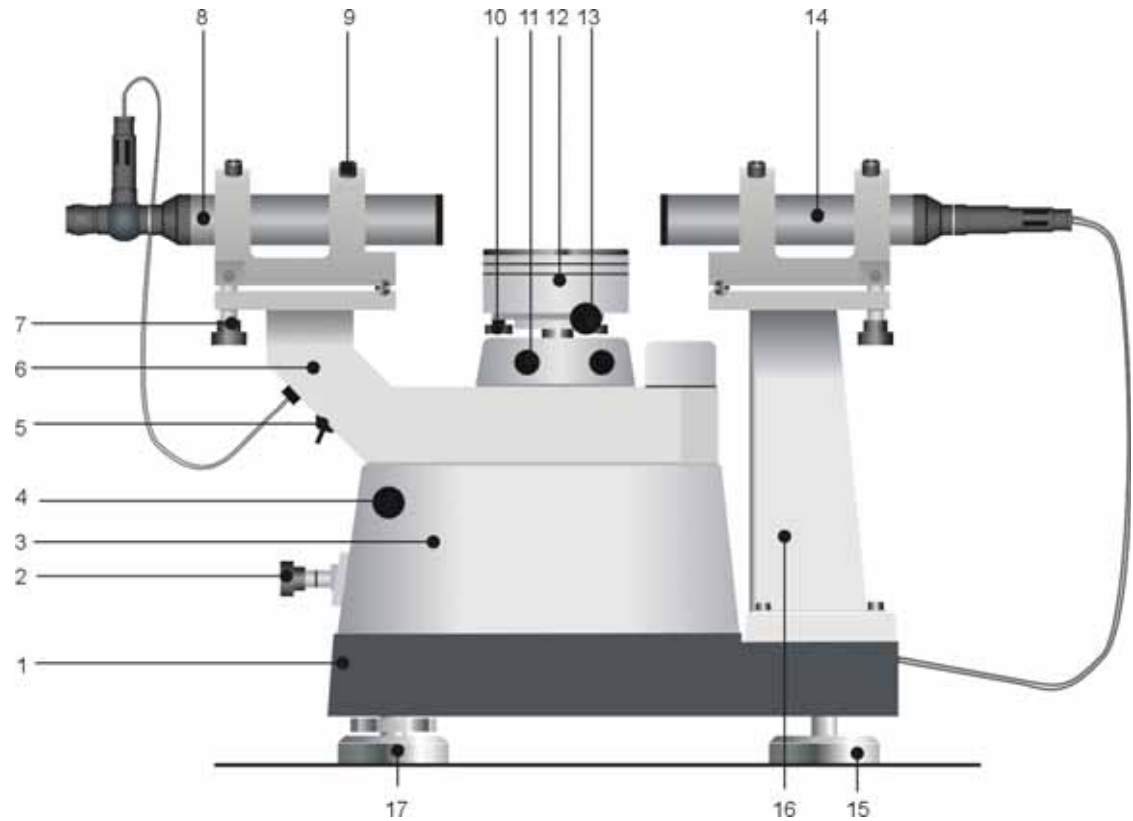
棱镜角度：

$$\alpha = 180^\circ - \tau$$

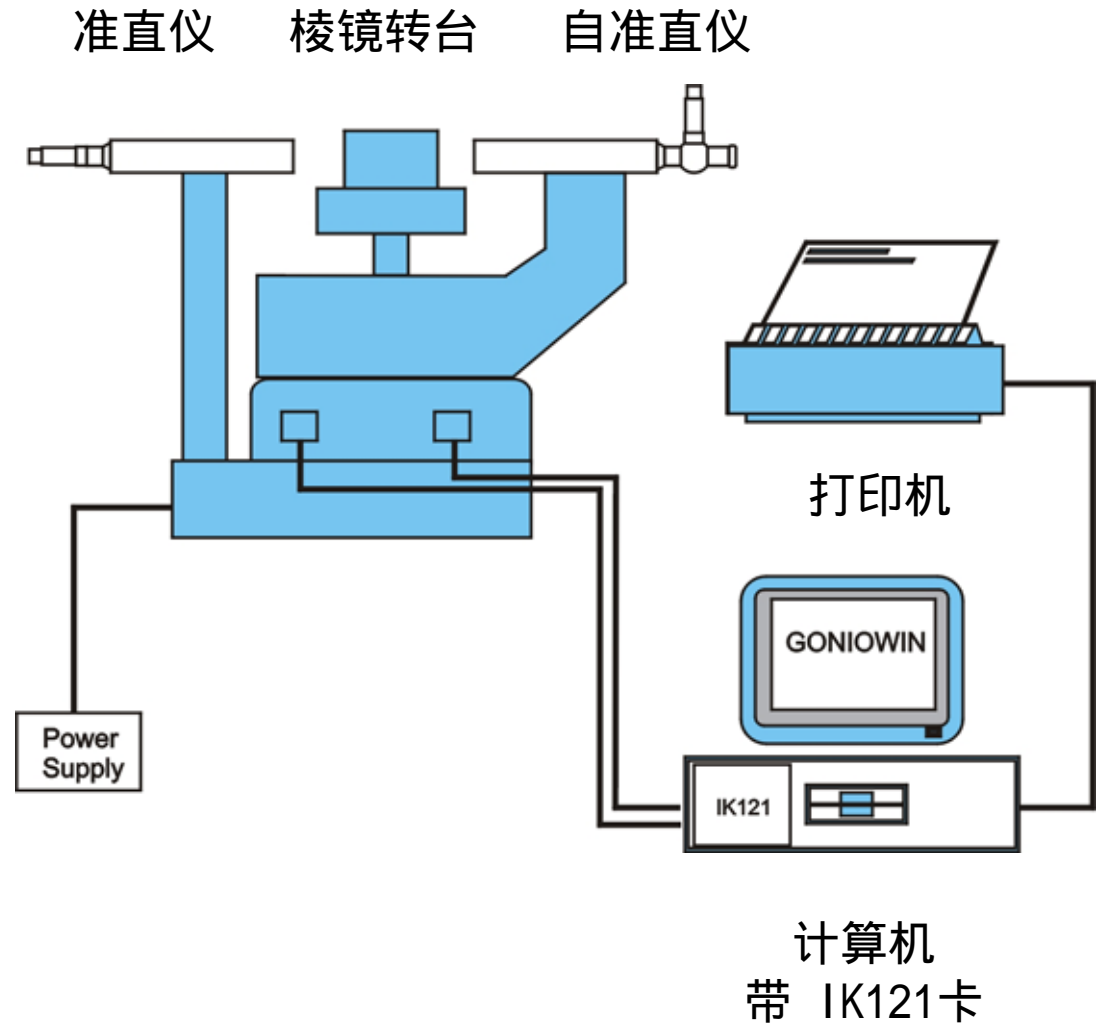


测角仪II型的组件

- 1 - 底板
- 2 - 旋臂的坚固螺丝
- 3 - 测角仪机壳
- 4 - 旋转旋臂的精调螺丝
- 5 - 自准直仪光源的插座及开关
- 6 - 旋臂
- 7 - 自准直仪水平调整的精调螺丝
- 8 - 自准直仪
- 9 - 夹具的紧固螺丝
- 10 - 台面倾斜调整的精调螺丝
- 11 - 转台紧固螺丝
- 12 - 转台
- 13 - 转台旋转的精调螺丝
- 14 - 准直仪
- 15 - 固定支脚
- 16 - 准直仪支架
- 17 - 可调支脚



测角仪II型的接线示意图



用测角仪II型测量小棱镜



折射率测量

折射率的测量方式
是通过测量最小偏向角的
Fraunhofer原理

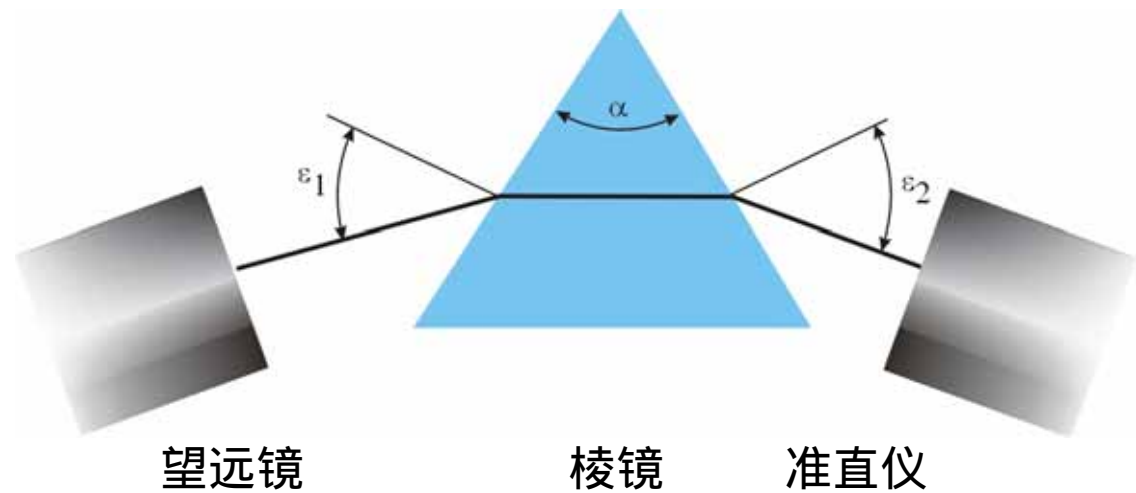
计算折射率

为了计算折射率，您必须知道棱镜角度 α 。您可以根据以下公式计算特定波长下的折射率：

$$n = \sin(0.5(\delta_{\min} + \alpha)) / \sin(0.5 \alpha)$$

δ_{\min} : 最小偏向角

α : 棱镜角度



$$\epsilon_1 = \epsilon_2$$

折射率	1.3	1.5	1.7	1.9
理想棱镜角度	75°	67°	61°	56°
横向位移 0.2 mm 时 棱镜表面的曲率半径	170 m	350 m	570m	1100 m
棱镜角度	±0.57"	±0.33"	±0.22"	±0.16"
双偏向角	±0.82"			
棱镜最小调整	±3.6′	±3.1′	±2.7′	±2.4′

上图表明在折射率计算误差可能为 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 时角度测量的公差。

测量精度要求折射率测量精度达到 1×10^{-6}

棱镜相对于望远镜的光轴横向位移 0.2 mm、折射率 $n=1.3$ 至 1.9、曲率半径在 70 至 1100 m 时，计算出的折射率误差可能达到 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。

一般来说，对双偏向角的测量不需要以棱镜角度测量时同样的精度。

尽管公差相对较大，我们仍必须小心地调整棱镜至最小偏差，因为误差总是独立存在的。

只有在特定测量时才需要对最小调整进行修正。

折射率的修正

我们可以根据参考条件将相对折射率标准化。

标准条件约定为：

- 玻璃及空气的温度 $t_0 = 20^\circ\text{C}$
- 气压 $p_0 = 1023 \text{ mbar}$
- 空气湿度 $e_0 = 13.3 \text{ mbar (50\% 相对湿度)}$

修正后的相对折射率 n_K 计算方法为：

$$n_K = n + \Delta n$$

此处 Δn 为总体差异：

$$\Delta n = \Delta t x \frac{\partial n}{\partial t} + \Delta p x \frac{\partial n}{\partial p} + \Delta e x \frac{\partial n}{\partial e}$$

with $\Delta t = t - t_0$, $\Delta p = p - p_0$, $\Delta e = e - e_0$.

敏感度分析

相对折射率的修正 n 可以通过下述公式分离出棱镜及空气数值：

$$\Delta n = n_k - n = \underbrace{-t \left(\frac{\Delta n}{\Delta t} \right)_{abs}}_{\text{棱镜}} - \underbrace{nx\Delta t \frac{\partial n_L}{\partial t} - \Delta p \frac{\partial n_L}{\partial p} - \Delta e \frac{\partial n_L}{\partial e}}_{\text{空气}}$$

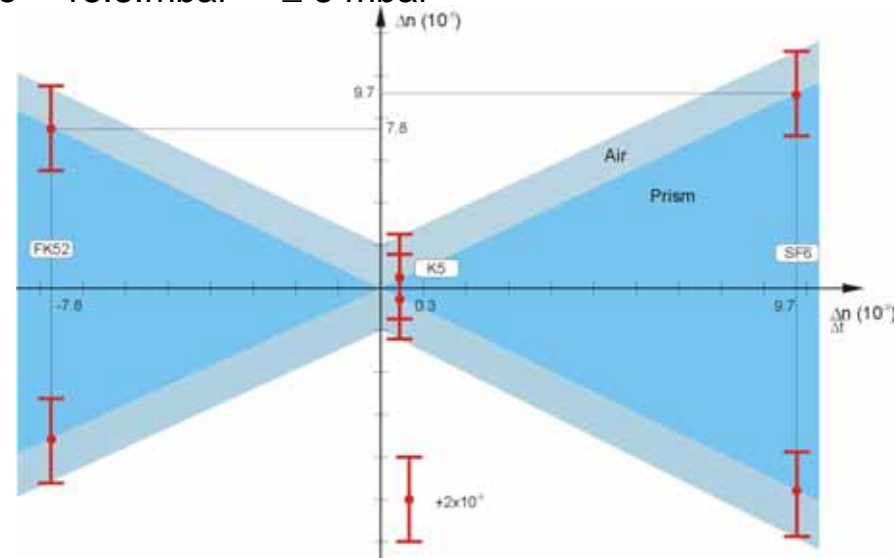
图示：通过玻璃温度系数函数修正相对折射率

$\lambda = 546 \text{ nm}$

$t = 20^\circ\text{C} \quad \pm 1^\circ\text{C}$

$p = 1013.25 \text{ mbar} \quad \pm 1 \text{ mbar}$

$e = 13.3 \text{ mbar} \quad \pm 3 \text{ mbar}$



相对折射率的修正

$$n_k = n_m \left\{ 1 - \Delta t \frac{1}{n_m} \left[\frac{\Delta n_{abs}}{\Delta t_{abs}} - \frac{\partial n_L}{\partial t} \right] - \Delta p \frac{\partial n_L}{\partial p} - \Delta e \frac{\partial n_L}{\partial e} \right\}$$

其中 $\Delta t = t - t_0$, $\Delta p = p - p_0$, $\Delta e = e - e_0$

数量：	测量：	标准：
• 相对折射率	n_m	n_k
• 空气、棱镜的温度 °C	t	t_0
• 气压 mbar	p	p_0
• 空气湿度 mbar	e	e_0

标准条件： $t_0 = 20\text{ °C}$, $p_0 = 1013.25\text{ mbar}$, $e_0 = 13.3\text{ mbar}$

根据Edlen公式计算偏微分

$$\frac{n_L}{t} = -(n_L - 1) \times 3.82 \times 10^{-6} x \frac{p}{(1 + 3.67 \times 10^{-3} xt)^2}$$

$$\frac{n_L}{p} = (n_L - 1) \times 1.04 \times 10^{-3} x \frac{1}{1 + 3.67 \times 10^{-3} xt}$$

$$\frac{n_L}{e} = -\left(4.292 - \frac{0.0343}{\lambda^2}\right) \times 10^{-8}$$

$$n_L - 1 = 8.3421 \times 10^{-5} + \frac{2.40603 \times 10^{-2}}{130 + \lambda^2} + \frac{1.5997 \times 10^{-4}}{38.9 + \lambda^2}$$

$(n/t)_{\text{abs}}$: 媒介的绝对温度系数

λ : 波长 μm

测试条件对误差的影响

测角仪 - 分光计 II 型可以测量空气中透明媒介的相对折射率 n 。除波长外，主要影响测试条件的因素来自：

棱镜温度

气温

气压

空气湿度

棱镜的相对折射率可以通过下述公式分离出棱镜的绝对折射率 n_{abs} 和空气的绝对折射率：

$$n_{abs} = n \times n_L$$

玻璃的绝对折射率的空气系数的数值范围：

$$-10 \times 10^{-6} < (\Delta n / \Delta t)_{abs} < 20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

它取决于棱镜温度及波长。

- 温度对玻璃的有很大的影响。
- 波长减小时温度系数将增大。

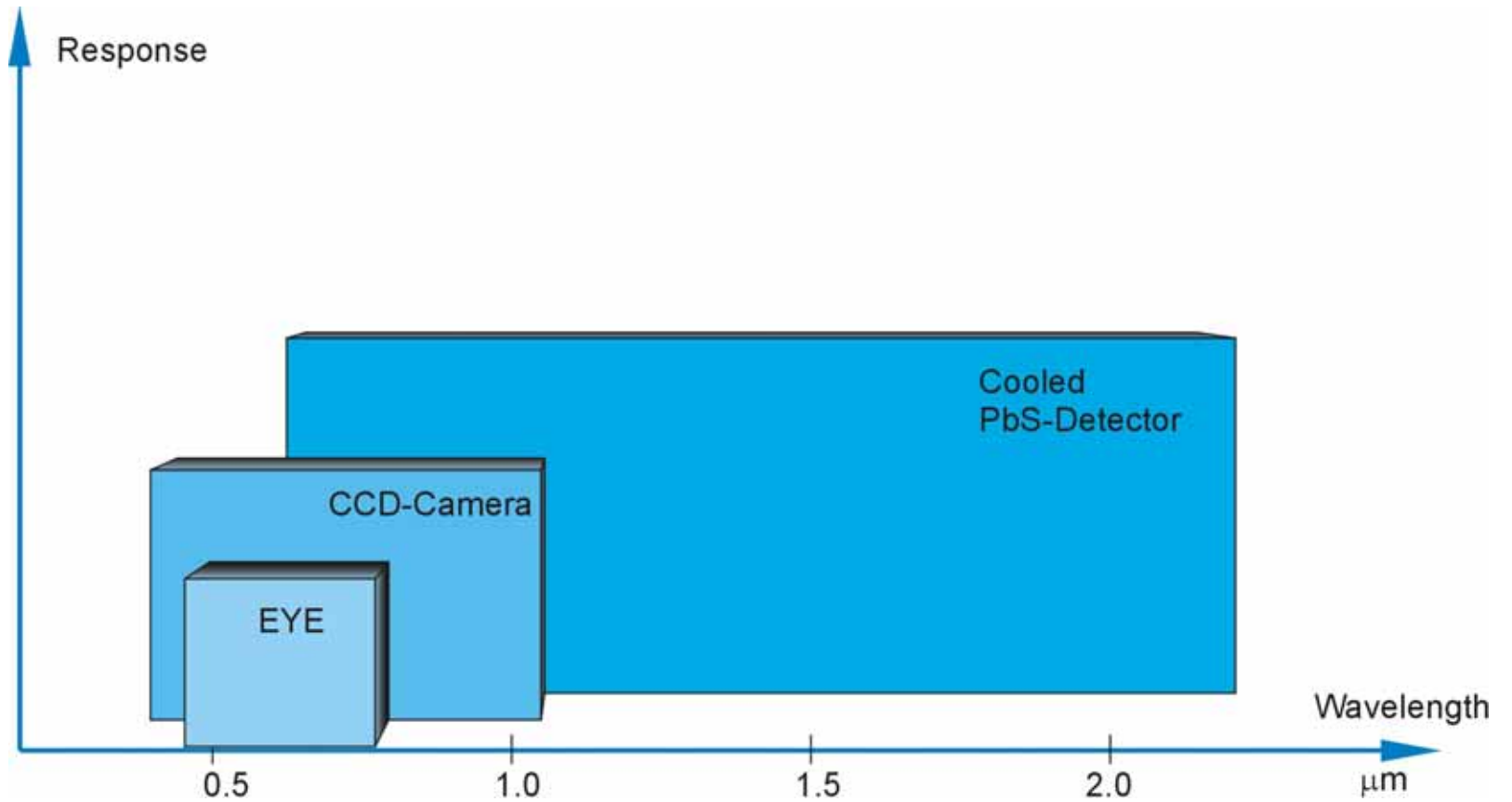
测试条件对环境的影响

举例： 温度20°C ， 温度增加1°C 时，
绝对折射率在 10^{-6} 单位上的变化

	644 nm (C´)	436 nm (g)
Synthetic fused silica	9.7	10.5
Schott 玻璃 FK52	-8.0	-7.5
Schott 玻璃 K5	0	0.9
Schott 玻璃 SF6	7.3	14.0

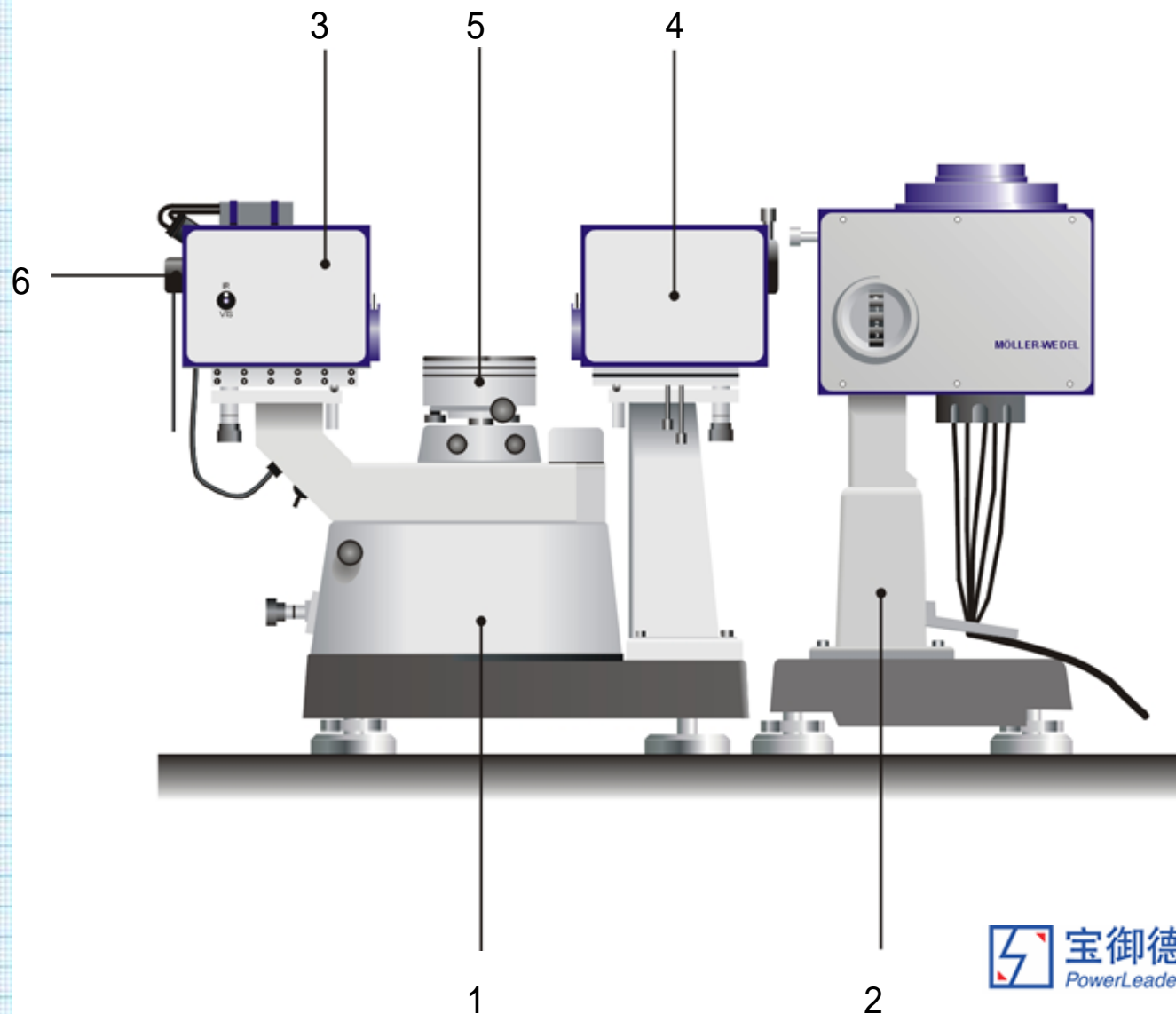
液体的温度系数特别高。

不同接收器各自的光谱响应区间



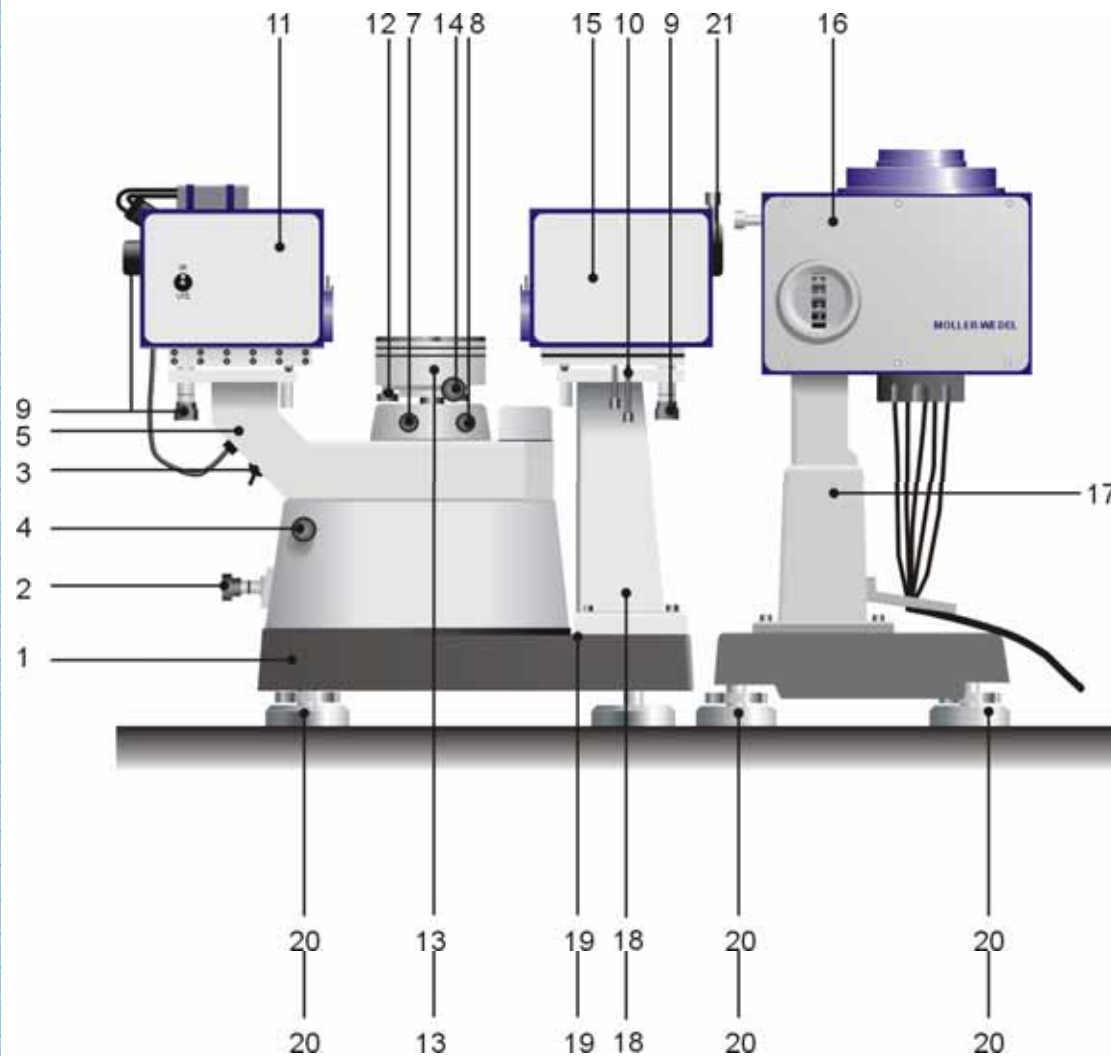
测角仪 - 分光计II型UV-VIS-IR (紫外 - 可见 - 红外) (组件)

- 1 主机
- 2 光源装置, 带光谱灯、滤光片及转头
- 3 望远镜, 带自准直转换器, 红外探测器及前置放大器
- 4 准直仪带可调狭缝
- 5 棱镜转台
- 6 CCD相机机头, 可与目镜互换



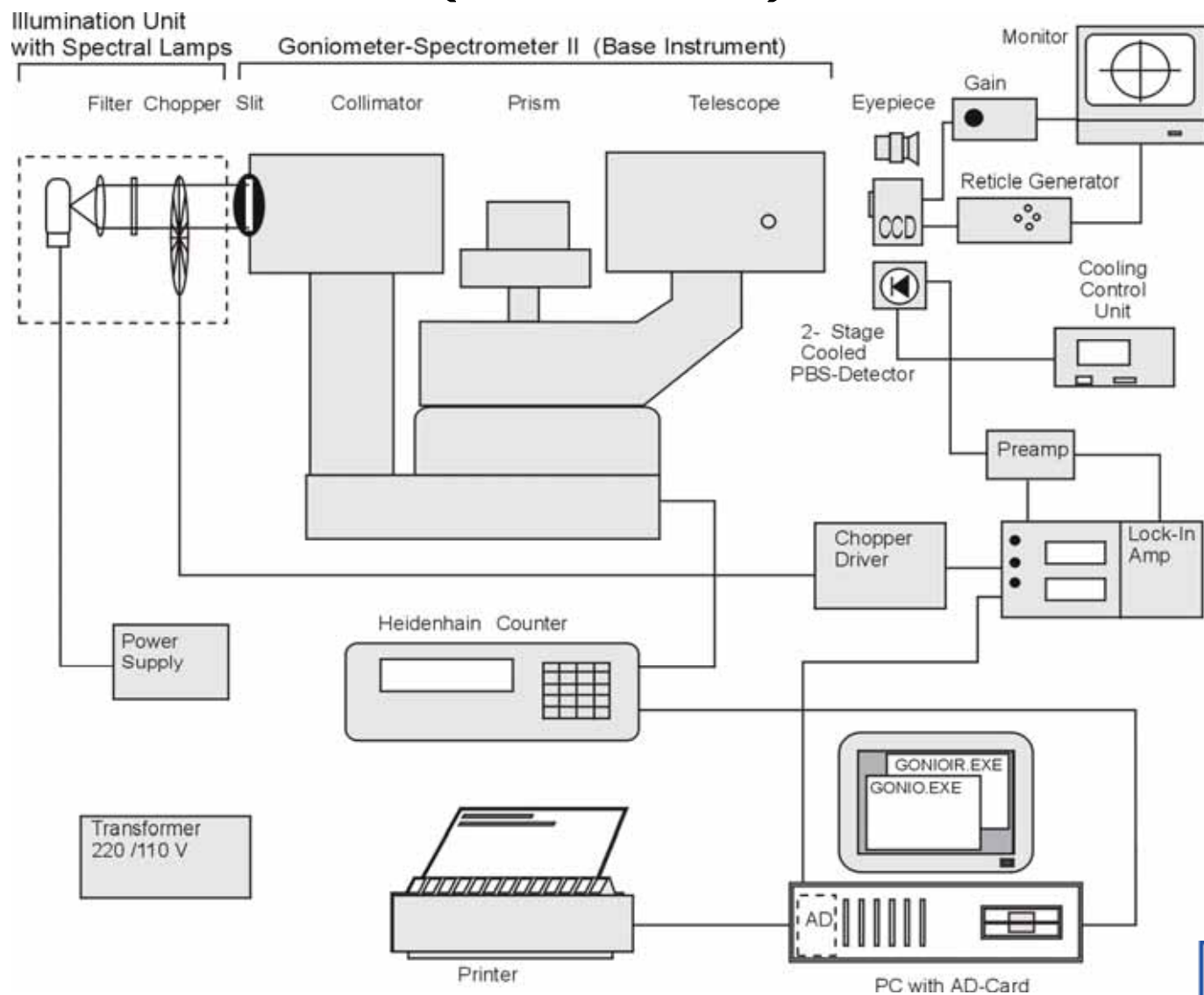
测角仪 - 分光计II型UV-VIS-IR (紫外 - 可见 - 红外) (组件)

- 1 底板
- 2 旋臂的紧固螺丝
- 3 旋转旋臂的精调螺丝
- 4 测角仪机壳
- 5 自准直望远镜光源的插座及开关
- 6 旋臂
- 7 旋转转台的精调螺丝
- 8 棱镜转台的紧固螺丝
- 9 倾斜自准直望远镜及准直仪的调整螺丝
- 10 倾斜自准直望远镜及准直仪的紧固螺丝
- 11 自准直望远镜带离轴抛物面反射镜 300/24 及双探测器
- 12 棱镜转台的调整螺丝
- 13 棱镜转台
- 14 调整棱镜转台高度的紧固螺丝
- 15 准直仪带离轴抛物面反射镜 300/24
- 16 光源装置, 带 6 个光谱灯, 配滤光片, 转轮及转头
- 17 光源支架
- 18 准直仪支架
- 19 水平仪

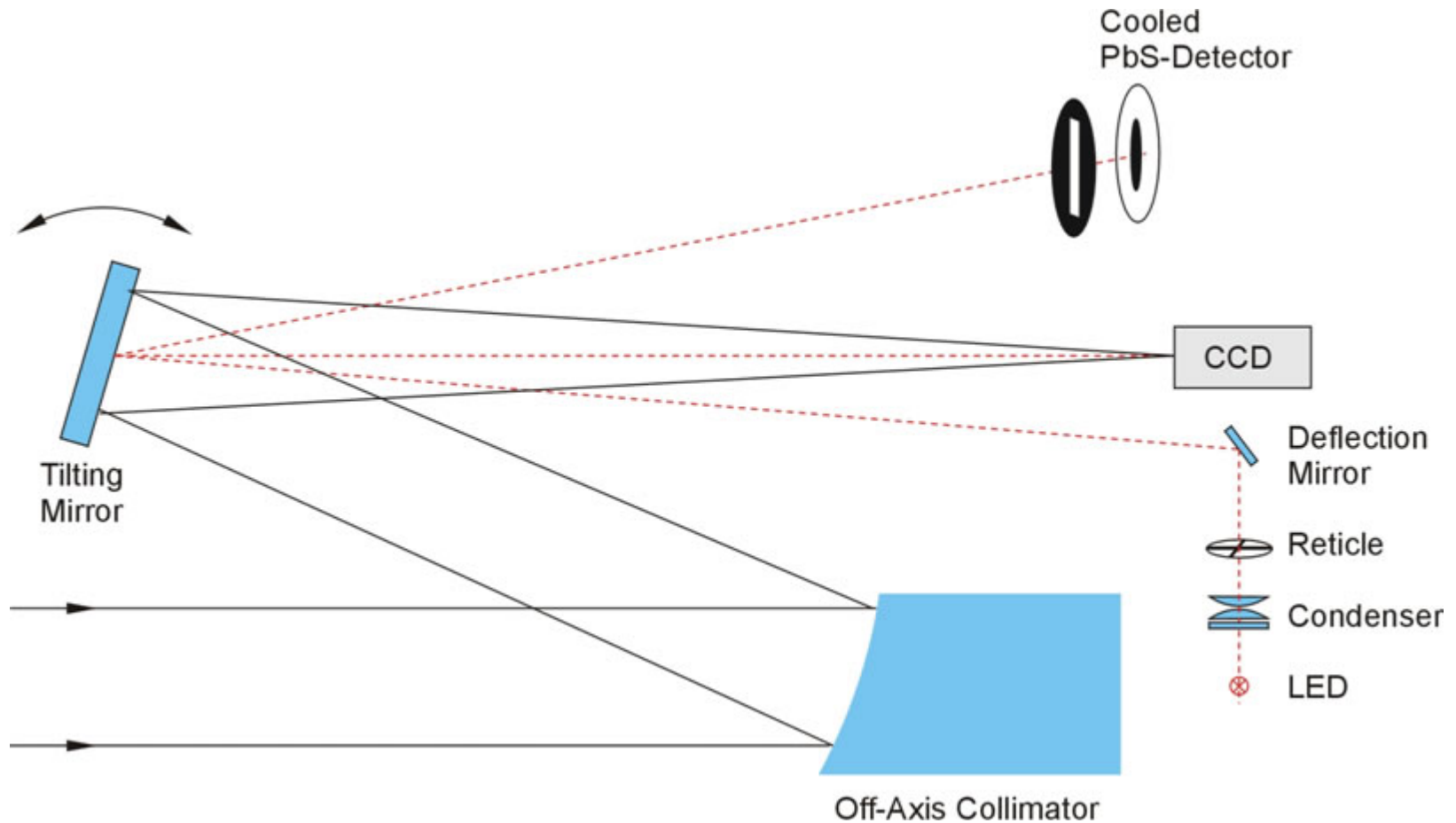


测角仪 - 分光计II型UV-VIS-IR (紫外 - 可见 - 红外)

(接线示意图)

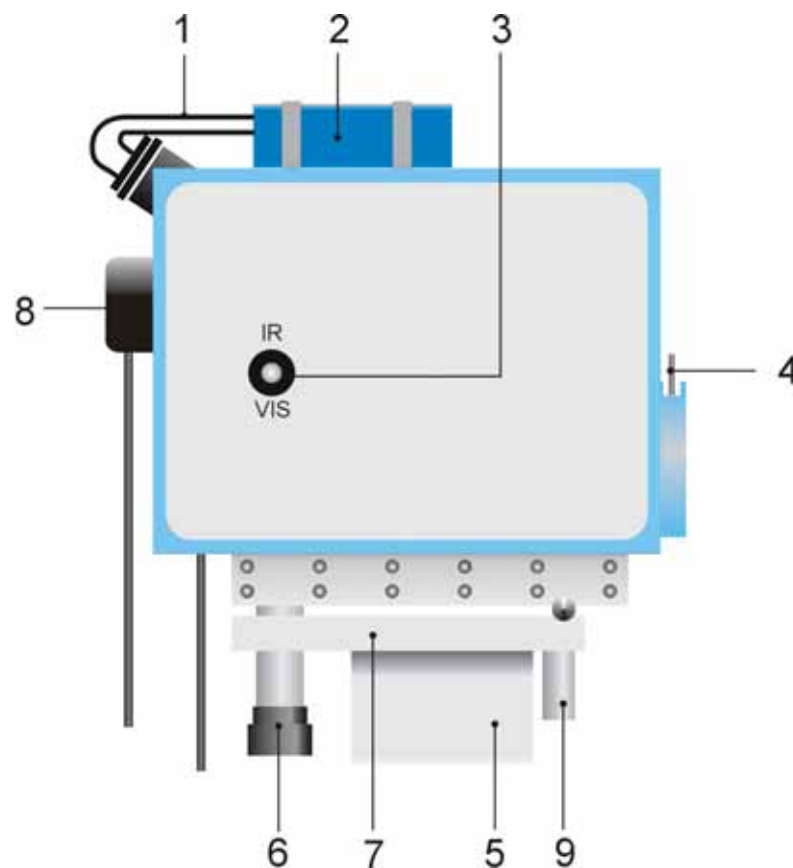


测角仪 - 分光计II型UV-VIS-IR (紫外 - 可见 - 红外) 所使用的离轴望远镜/自准直仪的原理



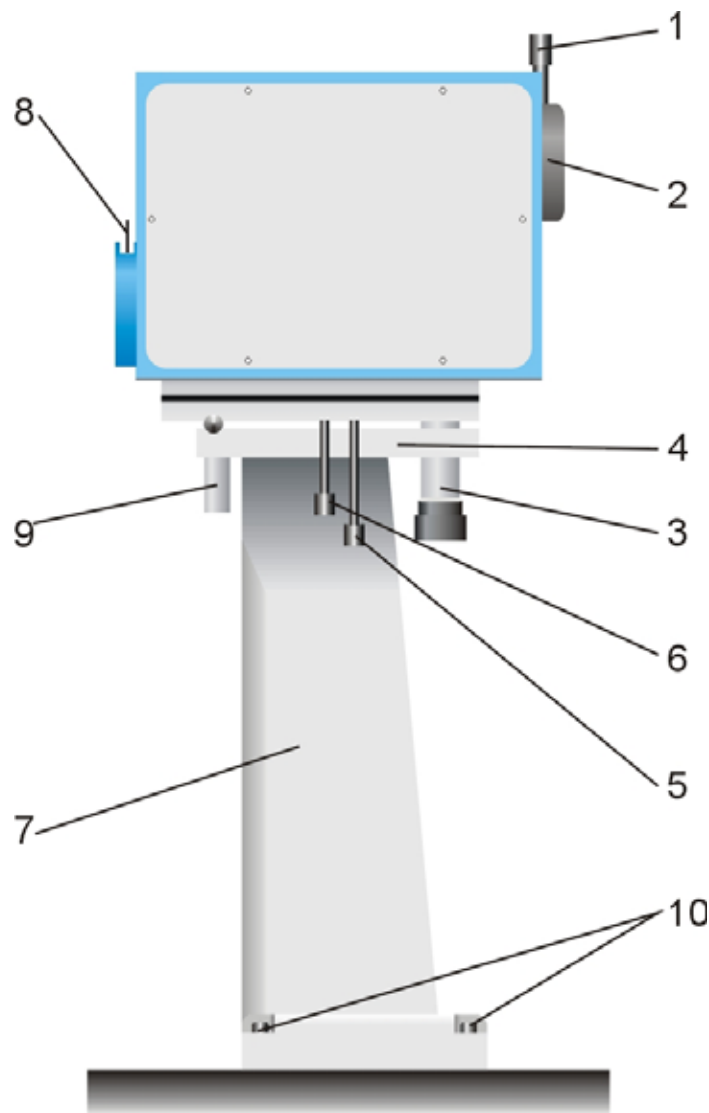
测角仪 - 分光计II型UV-VIS-IR (紫外 - 可见 - 红外) 所使用的望远镜

- 1 - 连接至热电冷却器及锁向放大器的控制器
- 2 - IR 控制器的前置放大器
- 3 - 变换控制器 (UV-VIS 至 IR) 的旋转钮
- 4 - 设置光圈的操纵杆
- 5 - 旋臂
- 6 - 望远镜高度调整的螺丝
- 7 - 高度调整的紧固螺丝
(内置, 六角型螺孔)
- 8 - CCD 相机机头
- 9 - 望远镜的连接螺丝



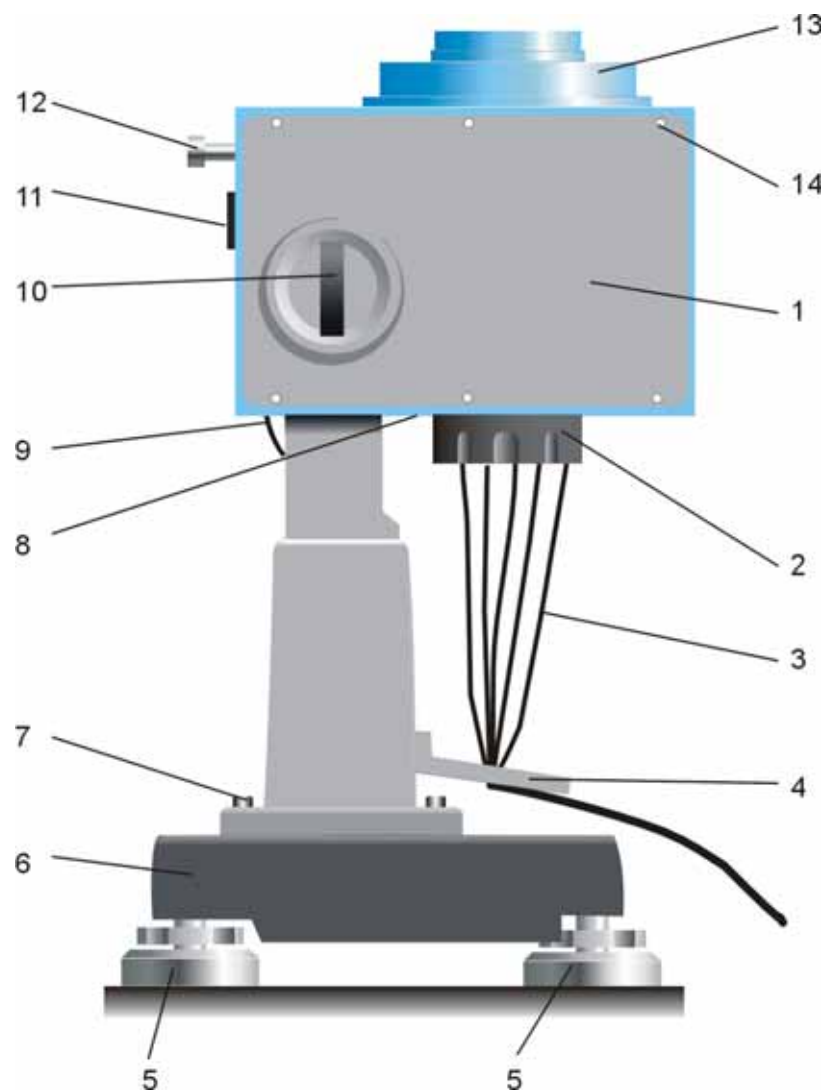
测角仪 - 分光计II型UV - VIS - IR (紫外 - 可见 - 红外) 所使用的带有分光计狭缝的准直仪

- 1 - 设置分光计狭缝宽度的调节螺丝
- 2 - 精密分光计狭缝
- 3 - 调整望远镜高度的螺丝
- 4 - 高度紧固螺丝
- 5 - 调节转轴的螺丝
- 6 - 调节转轴紧固的螺丝
- 7 - 准直仪支架
- 8 - 变换准直仪可变光圈的操纵杆
- 9 - 准直仪安装螺丝
- 10 - 固定准直仪的螺丝



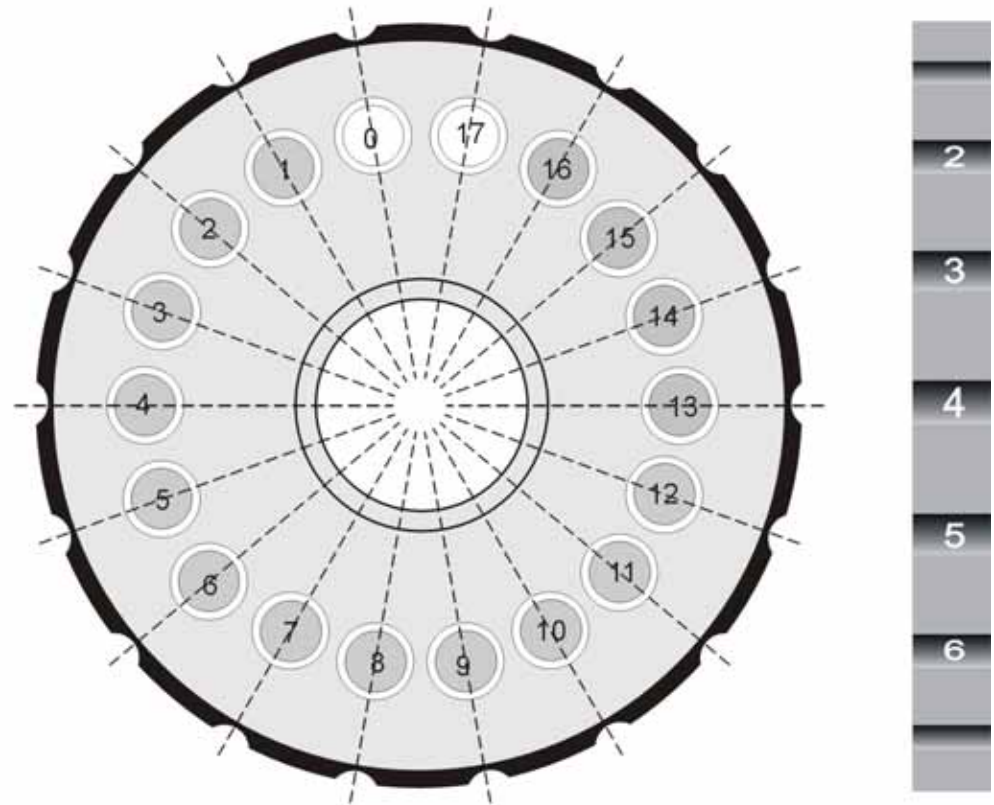
光源装置

- 1 光源箱的机壳
- 2 选择光谱灯的手轮
- 3 至承载装置的线缆
- 4 线缆的紧固装置
- 5 水平装置的底脚螺丝
- 6 光源装置的底板
- 7 灯仓底脚的安装螺丝
- 8 光谱灯单独调整的通道
- 9 转头线缆
- 10 滤光片转轮
- 11 通光光圈
- 12 光圈设置的旋钮
- 13 排散管道的连接接口

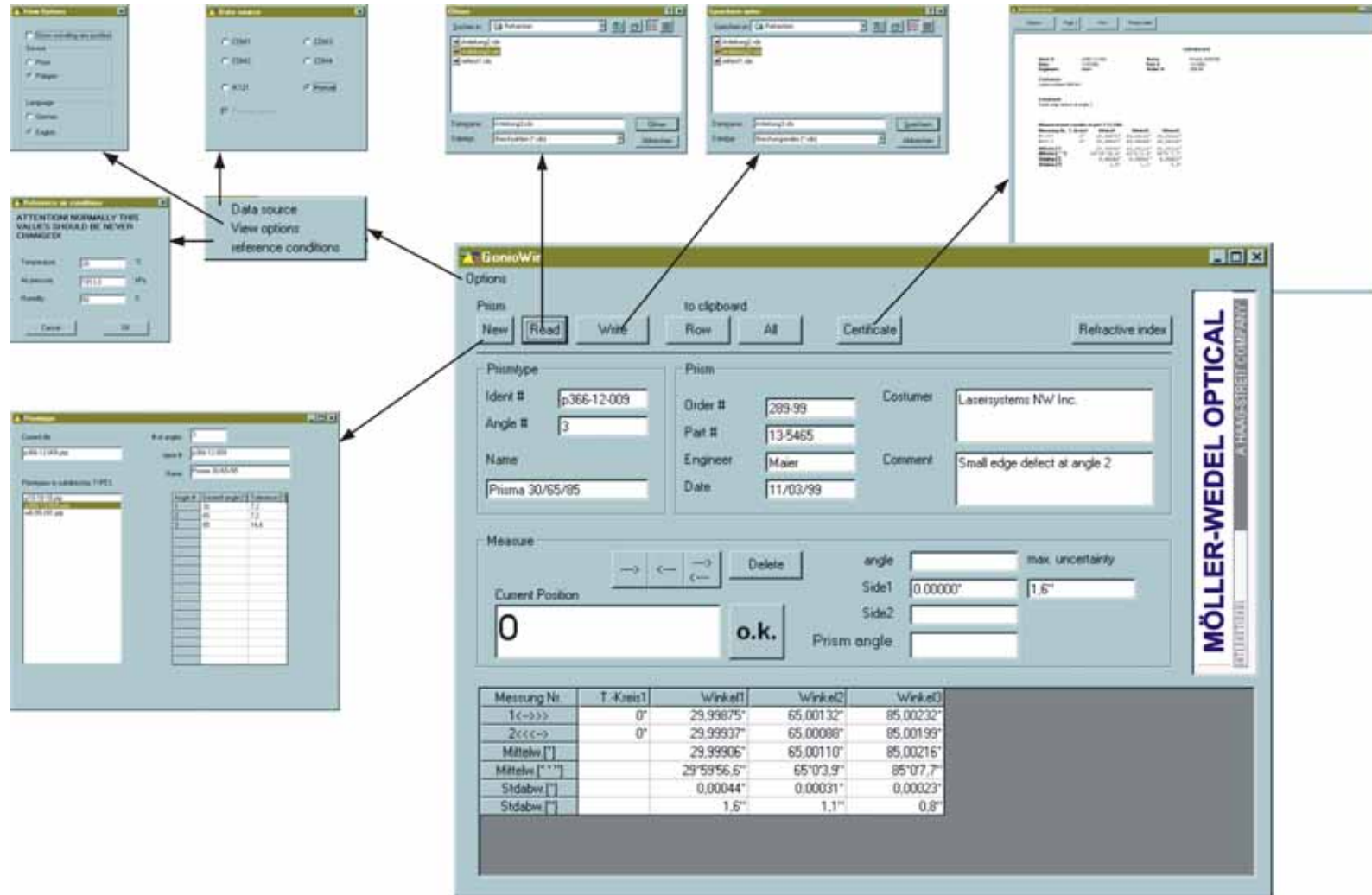


滤光片转轮

滤光片位置	波长 nm	HBW nm	透射率 %	使用的光谱灯
0	没有滤光片			
1	254	10	>20	Hg, HgCd
2	365	10	>35	HgCd, Hg
3	405	10	>60	Hg, HgCd
4	436	10	>60	Hg
5	480	10	>60	Cd
6	486	10	>60	H
7	546	10	>60	HgCd
8	588	10	>70	He
9	644	10	>50	Cd, HgCd
10	656	10	>70	H
11	707	10	>40	He
12	852	10	>60	Cs
13	1014	10	>40	Hg, HgCd
14	1530	30	>45	Hg, HgCd
15	1970	40	>50	Hg, HgCd
16	2325	100	>50	Hg, HgCd
17	没有滤光片			



GONIOWIN软件主要结构一览



GONIOWIN软件： 折射率测量的控制面板

Delete last measurement, open pre-setting

Load/save measured values

Pre-setting are done, start new measurement

Clipboard functions

Protocol print-out

Necessary setting for starting a measurement

Pre-select wavelength and number of measurement

Specify glass type and temperature coefficients

Take measured value

Current swivel angle

Measuring method

Environment

For single side measurement only: angle value of Zero-alignment

Wavelengths

Corrected refractive index (compensation of environment)

Temperature coefficients

Angle of minimum deflection

Mean values for each of the wavelengths

Calculated refractive index from angle of min. deflection

The screenshot shows the GONIOWIN software interface with various settings and a data table. The interface includes a menu bar with options like 'New', 'Load', 'Store', 'Start', 'Flow', 'All', and 'Protocol'. Below the menu bar, there are input fields for 'Prism Name', 'Ident #', 'Pat #', 'Wavelengths', 'Glass', 'Prism angle', 'Air pressure', 'Humidity', and 'Temperature'. A 'Measure' section displays the 'Current Position' as 12.5502 and 'o.k.'. A table at the bottom shows measurement data for different wavelengths, including columns for Wavelength, Temp. Coeff., #, Angle1, Angle2, Deviation, Ref. Index, and Normalized. The table data is as follows:

Wavelength	Temp. Coeff.	#	Angle1	Angle2	Deviation	Ref. Index	Normalized
334.1	0	1	13.02459	39.00982	12.99262°	1.209703	1.209701
	0	2	13.02453	39.00985	12.99266°	1.209704	1.209701
	0	3	13.02452	39.00989	12.99268°	1.209704	1.209702
	0	4	13.02460	39.00983	12.99262°	1.209703	1.209701
		Meanvalue				1.209703	1.209701
546.1	0	5	13.02483	39.00962	12.99240°	1.209699	1.209697
	0	6	13.02484	39.00957	12.99236°	1.209699	1.209697
	0	7	13.02481	39.00962	12.99240°	1.209700	1.209697
	0	8	13.02481	39.00961	12.99240°	1.209699	1.209697
		Meanvalue				1.209699	1.209697
656.3	0	9	13.02503	39.00922	12.99210°	1.209695	1.209693
	0	10	13.02499	39.00927	12.99214°	1.209695	1.209693
	0	11	13.02504	39.00923	12.99210°	1.209695	1.209693
	0	12	13.02501	39.00925	12.99212°	1.209695	1.209693
		Meanvalue				1.209695	1.209693

示例： 测角仪 - 分光计II型的 校准证书



MÖLLER-WEDEL OPTICAL

A HAAG-STREIF COMPANY

Kalibrierzertifikat

Certificate of Calibration Nr. 159-1025

Gegenstand / Equipment : **Goniometer-Spectrometer II**

Geräte - Nr. **159**

Ident-Nr./ P/N : **241 021/241 025**

Auftrags-Nr. / Order No.:

Auftraggeber/ Customer :

Erstkalibrierung /
Initial calibration

Wiederholte Kalibrierung /
Re-calibration

Meßvorgang / Measuring procedure

Genauigkeitsüberprüfung des Goniometer-Spectrometer II mit den Referenznormalen

Dispersionsprismen Typ SF10 und SF58

Accuracy check of Goniometer-Spectrometer II with the reference standards :

Dispersionprisms Typ SF10 and SF58.

Dispersionsprisma: Typ SF10 Typ SF58

Geräte-Nr. 103 101

Kalibrierzeichen : 2976 PTB 95 2975 PTB 95

Alle Meß- und Prüfmittel unterliegen der Prüfmittelüberwachung des QM-Systems der MÖLLER-WEDEL GmbH, zertifiziert nach DIN EN ISO 9001. Die Referenznormale sind auf nationale Normale rückführbar.

All measuring and test equipment are calibrated by the quality system from MÖLLER-WEDEL GmbH, certified according to DIN EN ISO 9001. Reference standards can be traced back to national standards.

Meßergebnis / Measuring result

Die Meßgenauigkeit des Gerätes (Brechzahlmessung) von 1×10^{-4} wurde erreicht.

The measure accuracy of the Instrument (refractive index measurement) of 1×10^{-4} was achieved.

Gemessener Winkel/ Measured angle	Wellenlänge/ Wavelength	PTB Wert/ PTB value	Gemessener Wert MWO/ Differenz/ Measured value MWO/difference
55°58'46.67"	480 nm	1.949856	1.949862 / 6×10^{-6}
(SF58)	546.1 nm	1.926667	1.926675 / 8×10^{-6}
	643.8 nm	1.906403	1.906406 / 3×10^{-6}
61°00'08.39"	480 nm	1.748067	1.748071 / 4×10^{-6}
(SF10)	546.1 nm	1.734329	1.734335 / 6×10^{-6}
	643.8 nm	1.722037	1.722043 / 6×10^{-6}

Wir empfehlen eine Wiederholung der Kalibrierung nach 2 Jahren.

We recommend re-calibration after 2 years.

MÖLLER - WEDEL OPTICAL GmbH

Rosengarten 10

D-22880 Wedel

Wedel, den 08.10.2003

Dr. C. Schewitz

Qualitätsingenieur

