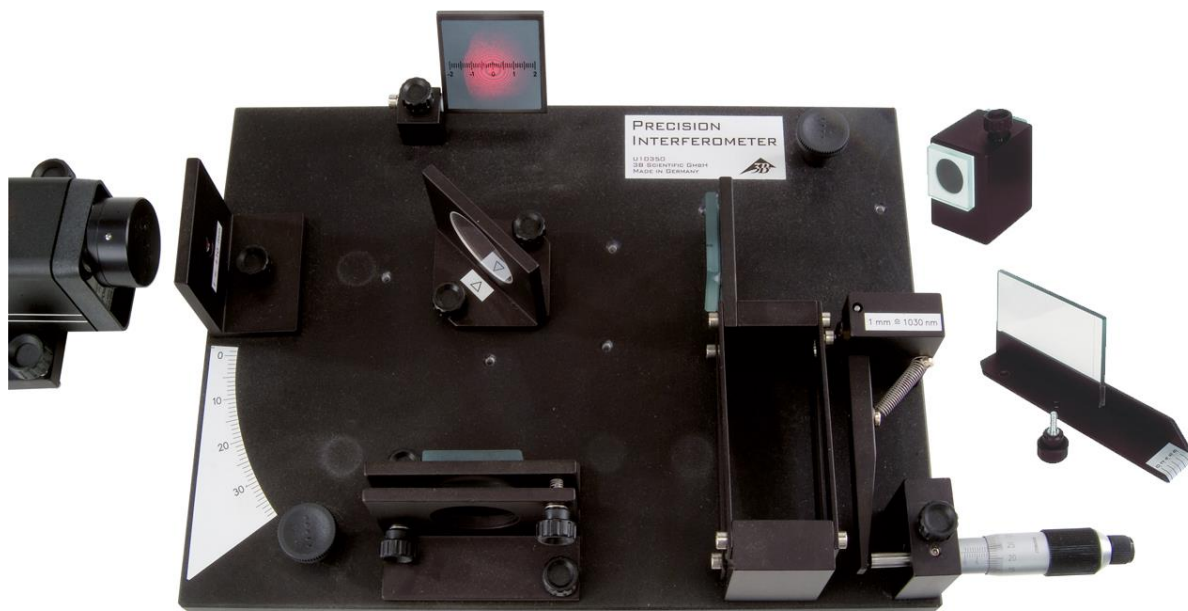


1002651 Interferômetro de precisão 1002652 Conjunto de aparelhos complementares para o interferômetro

Instruções para o uso

11/15 MH



1. Indicações de segurança

- O interferômetro deve ser utilizado com um laser He-Ne de classe 2. Olhar diretamente para o feixe do laser pode levar a queimaduras da retina e não deve acontecer. As regras de segurança que acompanham o laser devem ser estritamente respeitadas!
- O interferômetro deve ser montado sobre uma mesa estável ou um outro lugar apropriado de modo a que não possa cair e eventualmente ferir alguém com o seu peso.
- Os punhos de transporte (14) servem para levantar o interferômetro de forma a poder pegar a placa base com segurança.
- A pressão máxima admitida na célula de vácuo (6) é de 200 kPas (2 bar correspondendo a 100 kPas (1 bar) de sobrepressão. Em caso de danos no vidro da célula, como por exemplo, arranhões e fissuras, deve-se interromper o uso da célula e enviá-la ao conserto. Em experiências com a sobrepressão, deve-se assegurar-se de que nenhuma pessoa se encontra no raio de explosão da célula nesse momento. Caso necessário, utilize óculos de proteção.

2. Fornecimento, descrição dos componentes

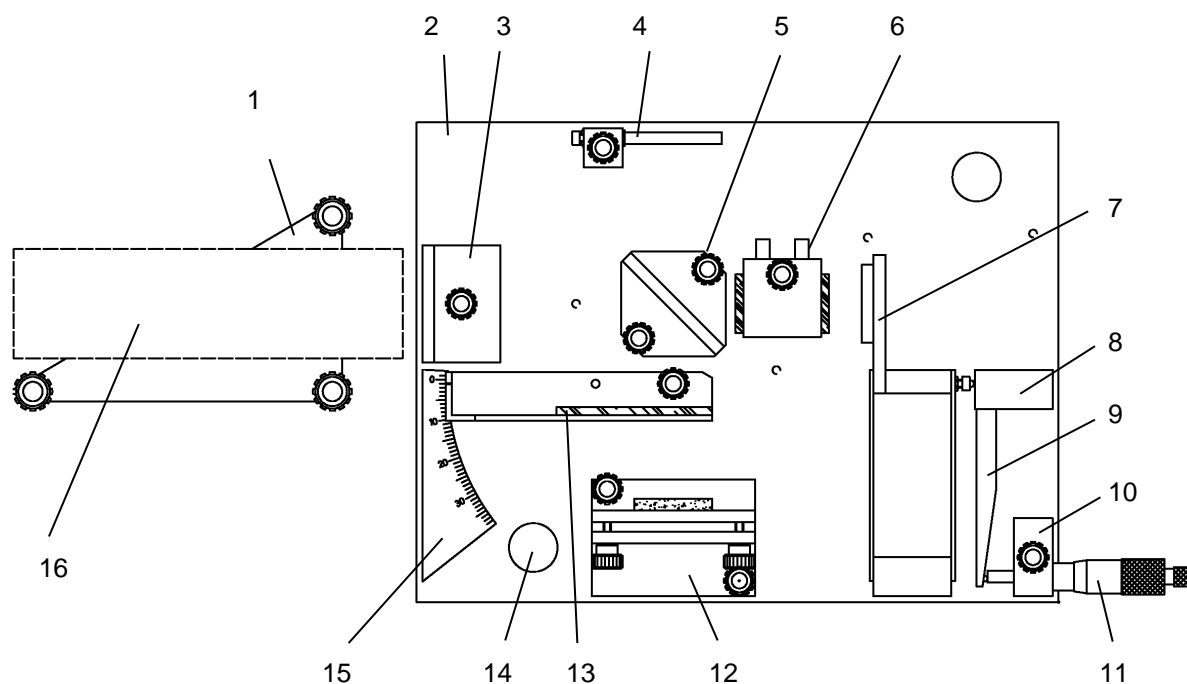


Fig. 1 Fornecimento

- | | |
|---|---|
| 1 Suporte para laser | 10 Suporte do micrômetro |
| 2 Placa base | 11 Micrômetro |
| 3 Lente de ampliação | 12 Espelho ajustável |
| 4 Tela (de observação) | 13 Placa de vidro sobre suporte (no kit complementar) |
| 5 Condutor de feixe | 14 Punho para transporte |
| 6 Célula de vácuo (no kit complementar) | 15 Escala angular |
| 7 Espelho de ajuste fino | 16 Laser (não incluído no fornecimento) |
| 8 Excêntrico com etiqueta de calibragem | Caixa de matéria plástica (não reproduzida) |
| 9 Braço do excêntrico | |

3. Descrição

No ano de 1881 A. Michelson realizou uma experiência na qual um feixe era dividido em dois feixes por meio de um condutor de feixe (veja também Fig. 2). Os dois feixes foram refletidos por espelhos e sobrepostos no condutor de feixe, sendo que no caso de diferenças de comprimentos de onda entre os feixes ocorre interferência (redução ou fortalecimento). Posto que diferentes velocidades da luz nos dois feixes levariam à interferência, pode-se demonstrar com a experiência que não existia o “éter”, ou “vento etéreo”, já que o feixe com vento a favor seria então mais rápido que o feixe com vento lateral. Além da comprovação de que o éter não existe, o interferômetro pode ser utilizado para medir comprimentos de onda da luz, ou quando o com-

primento de onda é conhecido, para a medição de distâncias extremamente curtas, o que é de suma importância, entre outros, no campo da verificação da qualidade de superfícies na construção de peças ótica. Estas experiências clássicas e mais outras podem também ser realizadas com o interferômetro de precisão. Em detalhe, estas são:

1. Interferômetro de Michelson
2. Interferômetro de Fabry-Perot
3. Determinação do índice de refração do vidro *
4. Determinação do índice de refração do ar **
5. Teste de Twyman-Green Test para componentes óticos (qualitativo, não quantitativo) *

* com kit complementar (célula de vácuo e placa de vidro sobre suporte giratório)

** com kit complementar e bomba de vácuo

Graças às posições pré-determinadas dos componentes, a alteração na montagem para as diferentes experiências, é fácil e rápida de ser realizada.

4. Dados técnicos

- Placa base pesada, rígida, para medições precisas e reprodutíveis: 245x330x25 mm³, 5,5 kg.
- Componentes óticos grandes para imagens de interferência claras e definidas: (40 mm Ø, ou seja 40 x 40 mm).
- Espelho de superfície: transparência 15%, reflexão 85% com o feixe incidindo perpendicularmente.
- Divisor de feixe extremamente plano: lado frontal $1/10 \lambda$, lado posterior $1/4 \lambda$. Transparência 50%, reflexão 50% com um ângulo de incidência de 45°, parte de trás não espelhada.
- Ajuste de fácil manuseio dos espelhos graças à transmissão do excêntrico de aprox. 1:1000 (uma marca no micrômetro corresponde a um movimento de aprox. 10 nm do espelho) com uma precisão determinada pelo modo de fabricação de $\pm 30\%$. A relação entre a posição no micrômetro e o ajuste do espelho que foi medida após a fabricação está indicada na placa de calibragem, por exemplo, como $1 \text{ mm} \hat{=} 830 \text{ nm}$ Utilizando esta indicação a medição de onda deve-se chegar a uma precisão de no mínimo $\pm 5\%$ (desvio linear e outros fatores de erro).
- Graças à tela refletora de inclinação ajustável as experiências podem também ser executadas à luz do dia (sem incidência direta da luz solar).

5. Operação e manutenção

- Montagem do laser: primeiro deve-se montar o laser no seu suporte. Como o suporte para laser é feito para diferentes tipos de laser, ele tem três perfurações para parafusos de inserção (M5 ou M6), das quais geralmente só uma será útil. A perfuração certa para cada laser é identificada pelo ponto de equilíbrio do laser e suas possibilidades de fixação. Após a montagem, o ponto de equilíbrio do laser deveria estar aprox. sobre a perfuração mediana. A altura necessária do feixe sobre a placa de trabalho é de 60 a 62 mm. Quando a área de ajuste do parafuso de ajuste não for su-

ficiente, deverá montar-se um anel distanciador apropriado, ou semelhante, por baixo do laser. O comprimento do parafuso de fixação deve ser escolhida de modo que a armação do laser ou componentes internos não sejam danificados. Para tal, deve-se primeiro verificar qual é a profundidade máxima de inserção do parafuso no orifício de recepção do laser, e logo escolha-se o parafuso correspondente, cuja rosca deve sobressair uns 2 mm do suporte de laser (um parafuso e uma porca de quatro lados adaptada aos entalhes normais acompanham o conjunto).

- Divisor de feixe: O vidro do divisor de feixe é não espelhado de um lado e do outro lado está coberto com uma camada com uma transparência de 50%, a qual está indicada com um triângulo que também de encontra nas ilustrações das montagens.
- Transporte, armazenamento: como no estado em que é fornecido, o braço do excêntrico (9) deve sempre ser colocado na base do espelho de ajuste fino (7), para evitar de amassar excêntrico de alta precisão.
- Limpeza e manutenção do excêntrico: o excêntrico, que é feito de latão, empurra uma esfera de aço polido no suporte do espelho de ajuste fino. Por causa de poeira e outras sujeiras pode acontecer que o ajuste do espelho não ocorra mais de modo contínuo, mas com "saltinhos". Neste caso, deve-se desaparafusar o suporte do excêntrico (8) (as cabeças dos parafusos encontram-se na parte de baixo da placa base (2)) e limpar o excêntrico de latão assim como a esfera de aço. Para tal, deve-se utilizar um pano suave, eventualmente umedecido com um pouco de gasolina de limpeza, acetona ou semelhante. Ao montar o excêntrico, deve-se garantir que uma leve pressão seja exercida sobre a esfera. Após a montagem, deve-se pôr uma gota de óleo lubrificante (para máquina de costura ou para armas) entre a esfera de aço e o excêntrico.
- Limpeza dos componentes óticos de vidro: o espelho de superfície, o condutor de feixe, a lente de ampliação e os discos da célula de vácuo podem ser limpos cuidadosamente com um pano suave, eventualmente umedecido com etanol (álcool caseiro). Ao efetuar a limpeza, nunca esfregar com força! É melhor trabalhar com muito etanol e pouca força. A placa de vidro sobre o suporte (13) deve ser limpa só a seco (ou muito pouco úmido), já que senão as listras de filme adesivo (experiência de Twyman-Green) podem ser descolados.

6. Experiências

6.1 Interferômetro de Michelson

6.1.1 Montagem da experiência

Os seguintes aparelhos são necessários:

1 Interferômetro	1002651
1 Laser de He-Ne	1003165

A montagem dos componentes sobre a placa base está representada na Fig. 2. Na descrição da montagem a seguir, parte-se do princípio que os ajustes de base devem ser realizados.

- Aparafusar o laser He-Ne no suporte para laser (veja também as instruções para o uso, montagem do laser) e colocar aproximadamente reto frente à lente de ampliação.
- Retirar o espelho ajustável e fixar a lente de ampliação de pé na placa base.
- Ajustar o laser de modo que o feixe refletido pelo espelho de ajuste fino incida de volta no centro da lente de ampliação.
- Soltar o parafuso de ajuste da lente de ampliação e girar a lente em aprox. 90° em relação ao feixe do laser.
- Montar o espelho ajustável e ajustar com o parafuso de ajuste para que a distância entre a placa espelhada e o próprio suporte seja por toda parte igual (5 - 6 mm).
- Aparafusar, primeiro frouxamente, o condutor de feixe com a parte espelhada para o lado da divisão angular e girá-lo dentro das limitadas possibilidades até que os dois pontos mais claros sobre a tela de observação estejam formados numa linha vertical. Logo, apertar para fixar o divisor de feixe.
- Regular o espelho de ajuste fino com o parafuso de ajuste até que os dois pontos claros na tela se sobreponham exatamente. Sendo que já deve observar-se uma interferência, a qual se manifesta numa cintilação.
- Voltar a fixar a lente de ampliação no feixe e apertar o parafuso na posição que produza uma imagem centrada na tela de observação (em relação à parte mais clara, não dos anéis de interferência). Incliná-la em direção ao observador até que resulte uma imagem clara e definida ideal para o observador.
- Ajustar ligeiramente novamente o espelho ajustável, para manter os anéis de interferência bem no meio da tela.

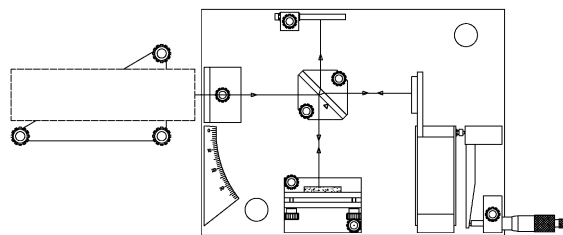


Fig. 2 Montagem do interferômetro de Michelson

- As durações da luz nesta experiência são quase idênticas, o que produz distâncias grandes, claras entre os anéis de interferência. Assim porém, ocorre também uma distorção elíptica dos anéis (mesmo com durações de luz idênticas dos feixes centrais ainda surgem imagens de interferência em forma de hipérbole na tela). Para se obter anéis quase perfeitamente esféricos, o condutor de feixe pode ser girado em 180°.

6.1.2 Execução da experiência

- Girar o parafuso micrométrico no sentido antihorário até uns 25 mm para fora e logo voltar a aparafusar cuidadosamente até uns 20 mm, isto para evitar imprecisões que podem ocorrer ao mudar a direção da rotação.
- Girar novamente o parafuso micrométrico no sentido horário e ao fazê-lo, contar o número de anéis que se formam. Para julgar se um anel completo formou-se, pode-se utilizar a escala apoiando-a na tela de observação. Durante a medição deve evitar-se que o ar da respiração atravesse o feixe, já que a variação na densidade do ar se traduziria imediatamente por anéis de interferência “em movimento”.
- Após de ter contado no mínimo 20 anéis (quantos mais houver, mais precisa será a medição), lê-se o valor no parafuso micrométrico e anota-se o resultado l_M .
- Para poder julgar de possíveis erros ao contar os anéis, deve-se repetir os passos 1 - 3 pelo menos 3 vezes.

6.1.3 Cálculo da experiência

Se por exemplo, forem contados na primeira medição $m = 30$ anéis e medidos 20 mm – $l_M = 11,76$ mm então resulta, levando-se em conta uma redução de por exemplo 1:830, uma distância de espelho de $l_S = 9761$ nm e assim o comprimento de onda correspondente:

$$\lambda = \frac{2 \cdot l_S}{m} = 651 \text{ nm}$$

O resultado de todas as medições, se as experiências forem levadas com cuidado, não deve desviar mais do que 2 % do valor médio. Caso forem observados desvios maiores, pode ser necessária a limpeza do excêntrico (veja parágrafo 5, limpeza e manutenção do excêntrico). A medição do comprimento de onda deve ter uma precisão de no mínimo ± 5 . Uma comprovação é possível caso for utilizado um laser com comprimento de onda conhecido (laser He-Ne: $\lambda = 632,8$ nm).

6.2 Índice de refração do vidro

6.2.1 Montagem da experiência

Os seguintes aparelhos são necessários:

1 Interferômetro	1002651
1 Laser de He-Ne	1003165
1 Conjunto de aparelhos complementares para o interferômetro	1002652

A montagem da experiência corresponde num princípio à experiência padrão (veja parágrafo 6.1.1). Depois, coloca-se uma placa de vidro com suporte giratório no feixe parcial anterior como indicado na Fig. 3, e logo ajusta-se levemente o espelho ajustável para manter os anéis de interferência bem no meio da tela.

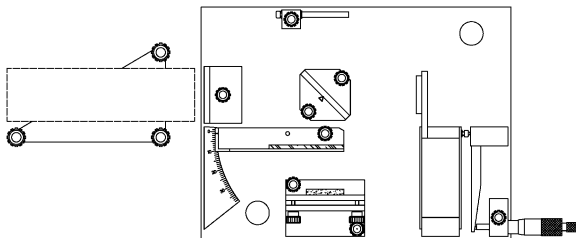


Fig. 3 Montagem da experiência de medição do índice de refração do vidro.

- Se o placade vidro for movido de um lado para o outro na faixa arredor dos 0° , o ponto de aparecimento e desaparecimento dos anéis de interferência deveria encontrar-se exatamente em 0° . Se este não for o caso, então o condutor de feixe não se encontra exatamente num ângulo de 45° em relação ao espelho de ajuste fino. Sendo que um ajuste perfeito é impossível na prática, anota-se o ângulo ϕ_0 no qual ocorre a passagem de aparecimento a desaparecimento. No cálculo, deduz-se este ângulo do valor medido ϕ_M para se obter o verdadeiro ângulo de rotação ϕ .

6.2.2 Execução da experiência

- Partindo do ângulo ϕ_0 , gira-se lentamente a placa de vidro. Ao fazê-lo, conta-se o número de anéis que desaparecem. Quanto maior for o ângulo de rotação, menor será a variação de ângulo necessária para que desapareça um anel. Por isso, para se chegar à contagem de mais de aprox. 20 anéis, será indispensável ter um pulso muito firme.

6.2.3 Cálculo da experiência

- Com o ângulo ϕ (por ex. $5,4^\circ$), o número de anéis contados m (por ex. 20), o comprimento de onda λ (no ar) do laser utilizado (por ex. 633 nm) e a espessura t (neste caso 4 mm), o índice de refração n_G do vidro:

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos \Phi) + \left(\frac{m^2 \lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos \Phi) - m\lambda} = 1,55$$

- Ao comparar vários resultados com os valores padrão, deve-se sempre levar em conta que o índice de refração é dependente do comprimento de onda e portanto só valores obtidos a partir do mesmo comprimento de onda podem ser comparados.

6.3 Índice de refração do ar

6.3.1 Montagem da experiência

Os seguintes aparelhos são necessários:

1 Interferômetro	1002651
1 Laser de He-Ne	1003165
1 Conjunto de aparelhos complementares para o interferômetro	1002652
1 Bomba manual de vácuo	1012856
1 Mangueira de silicone	1002622

A montagem da experiência corresponde num princípio à experiência padrão (veja parágrafo 6.1.1), com a diferença que para os fins desta experiência a parte parcialmente refletora do condutor de feixe está virada para trás. Logo coloca-se a célula de vácuo no feixe parcial direito conforme a Fig. 4 e o espelho de ajuste é novamente levemente ajustado para manter os anéis de interferência exatamente no meio da tela.

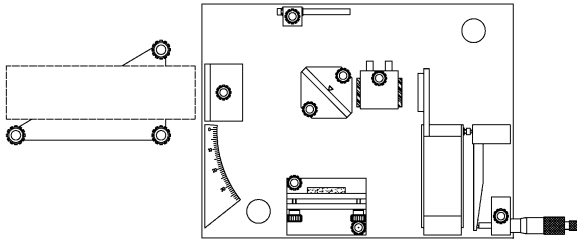


Fig. 4 Montagem da experiência de medição do índice de refração do ar.

6.3.2 Execução da experiência

- A bomba de vácuo é conectada à célula de vácuo e a pressão p indicada é anotada. Logo evacua-se a célula lentamente e conta-se o número m de anéis que desaparecem. A intervalos regulares anota-se a pressão e o número correspondente. Quando a pressão mínima for atingida (no caso de uma bomba manual simples aprox. 10 kPas), preenche-se a célula de novo com ar. Agora pode-se realizar ainda uma série de medições com sobrepressão (até no máximo 200 kPas correspondendo a uma sobrepressão de 1 bar).

6.3.3 Cálculo da experiência

- Com pressão $p = 0$ o índice de refração é $n = 1$. Com o aumento da pressão o índice aumenta conforme:

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

- Para se determinar o índice de refração sob pressão normal, então também deve-se primeiro determinar o aumento $\Delta n/\Delta p$. Numa primeira aproximação é válido:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

Sendo m o número de anéis desaparecendo ou aparecendo, λ é o comprimento de onda e l_z é o comprimento interno da célula de vácuo (aqui 41 mm). Caso, por exemplo, tenha sido determinado sob uma redução de pressão de aprox. $\Delta p = 90$ kPas o valor $\Delta m = 25$ correspondente, então obtém-se:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = 2,14 \times 10^{-9} \frac{1}{\text{Pas}}$$

- Em conseqüência, o índice de refração do ar sob uma pressão ambiente de (100 kPas) é $n = 1,00021$. Na literatura²⁾ encontra-se o valor $n = 1,00029$.

6.4 Interferômetro de Twyman-Green

Com esta experiência, pode-se determinar a qualidade da superfície de componentes óticos. Normalmente, entende-se por interferômetro de Twyman-Green um interferômetro no qual o feixe luminoso do laser é ampliado e paralelo. Para uma compreensão qualitativa da experiência, pode-se no entanto, utilizar um feixe ampliado mas não paralelo.

6.4.1 Montagem da experiência

Os seguintes aparelhos são necessários:

1 Interferômetro	1002651
1 Laser de He-Ne	1003165
1 Conjunto de aparelhos complementares para o interferômetro	1002652
1 Fita	

- Como exemplo de uma superfície ótica de má qualidade, utiliza-se um filme adesivo transparente que é colocado sobre uma placa de vidro e que a olho nu parece proporcionar uma transparência bem homogênea.
- A montagem da experiência corresponde num princípio à experiência padrão (veja parágrafo 6.1.1). Logo coloca-se a placa de vidro com o suporte rotativo no feixe parcial anterior conforme a Fig. 5 e o espelho de ajuste é novamente levemente ajustado para manter os anéis de interferência exatamente no meio da tela.

6.4.2 Execução da experiência

- Do lado direito da tela de observação vêem-se, como na experiência 6.1, anéis de interferência regulares. Mas do lado esquerdo os anéis estão rasgados e em parte encontram-se pontos claros em partes que deveriam ser escuras e vice-versa. Já que ficou sabido pela experiência 6.2 que mesmo as menores variações na espessura (na experiência 6.2 obtidas pela rotação da placa de vidro) provocam desvios dos anéis de interferência, parece lógico que as deformações nos anéis são provocadas pela superfície irregular, calosa, do filme adesivo.

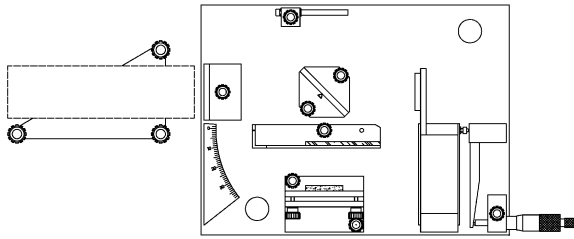


Fig. 5 montagem da experiência de medição da qualidade da superfície de componentes óticos.

6.5 Interferômetro de Fabry-Perot

6.5.1 Montagem da experiência

Os seguintes aparelhos são necessários:

1 Interferômetro	1002651
1 Laser de He-Ne	1003165

A montagem dos componentes sobre a placa base está representada na Fig. 6. Na descrição da montagem a seguir, parte-se do princípio que os ajustes de base devem ser realizados.

- Aparafusar o laser He-Ne no suporte para laser (veja também as instruções para o uso, montagem do laser) e colocar aproximadamente reto frente à lente de ampliação.
- Retirar o espelho ajustável e a lente de ampliação e colocar o laser girado levemente no eixo vertical na frente da placa base. Logo ajustar a inclinação do laser de modo que o feixe parcial refletido do laser esteja na mesma altura que o feixe emitido. Se o laser for colocado reto novamente frente à placa base devem aparecer dois pontos na tela de observação que podem ser levados a se sobrepor com um pequeno ajuste posterior.
- Colocar a lente de ampliação no percurso do feixe e se for necessário regular a altura dos feixes ajustando os 3 parafusos de modo regular. Depois, caso necessário, retornar a 2. (Eventualmente já aparecem agora uns anéis de interferência fracos sobre a tela, já que o fino vidro e em princípio transparente do próprio espelho de ajuste também produz reflexões mínimas.)
- Incliná-la lente de ampliação em 90° a partir do feixe laser.
- Montar muito cuidadosamente o espelho ajustável. A distância entre ambos espelhos deveria ser de aprox. 2 mm.

- Colocar o espelho ajustável de modo que todos os pontos ou imagens de interferência coincidam na tela de observação.
- Incliná-la lente de ampliação para o feixe e fixar na posição que produz uma imagem quase mediana (em relação à luminosidade, não aos anéis de interferência) na tela. Incliná-la tela frente às verticais até que seja gerada uma imagem luminosa e clara para o observador.
- Ajustar ligeiramente novamente o espelho ajustável, para manter os anéis de interferência bem no meio da tela.

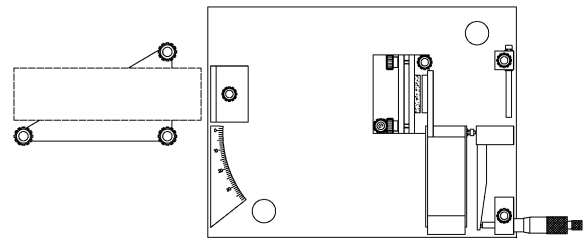


Fig. 6 Montagem da experiência do interferômetro de Fabry-Perot.

6.5.2 Execução da experiência

- Girar o parafuso micrométrico no sentido anti-horário até uns 25 mm para fora e logo voltar a aparafusar cuidadosamente até uns 20 mm, isto para evitar imprecisões que podem ocorrer ao mudar a direção da rotação.
- Girar novamente o parafuso micrométrico no sentido horário e ao fazê-lo, contar o número de anéis que se formam.
- Após de ter contado no mínimo 20 anéis (quantos mais houver, mais precisa será a medição), lê-se o valor no parafuso micrométrico e anota-se o resultado l_m .
- Para poder julgar de possíveis erros ao contar os anéis, deve-se repetir os passos 1 - 3 pelo menos 3 vezes.

6.5.3 Cálculo da experiência

- Se por exemplo, foram contados $m = 40$ anéis e Ringe medidos 20 mm – $l_m = 15,13$ mm, então resulta um percurso de espelho (excêntrico 1:830) de $l_s = 12560$ nm e assim o comprimento de onda para (veja também os esclarecimentos no parágrafo 6.1.3):

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 628 \text{ nm}$$