变，玻璃的光学常数也改变了，这就使物鏡的焦距由于这样的原因有了新的額外的改变。最后，溫度改变使玻璃中出現应力，随着玻璃的折射率和物鏡的焦距就改变了。

如果后一种效应很难計算，那么前面二种則是比較容易确定的：为此只要知道玻璃的膨脹系数和它們折射率的溫度系数。这里对于用溫度补偿原則和对于每一个透鏡和折射望远鏡鏡筒利用最有利的材料組合揭示了广泛的可能性[1]。

現在我們轉向另一种形式的变形，为区别于溫度变形，它可以称为机械变形。首先，光学工作物在自重作用下的变形；其次，由于加工工作物时外界負載作用而产生的变形；第三，工作物在鏡室中受到卡夹或压紧的变形。

由自重引起的变形很早并詳細地为天文学家及光学家們所研究过了，因为它們会极有害地反映在成象质量上，特别是在大型天文鏡面的情况下。在叙述这問題时，我将引用对这方面很內行的法国光学家 A. 庫德(Couder)的很多材料[2]。

假設重量为 P 的平行平面圓盘和水平面成 Z 角(图 18)；把力 P 分成两个分量：

$$\left.\begin{aligned} P_a &= P\cos Z \\ P_b &= P\sin Z \end{aligned}\right\} . \qquad (56)$$

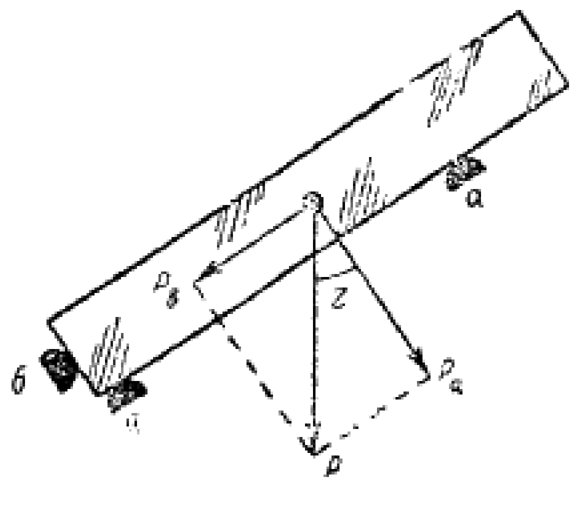


图 18

分量 P_a 传递圓盘的部分重量給“背面”支点 a；分量 P_b 传递圓盘的部分重量給“側面”的支点 b，显然，每一个分量可以随着傾角 Z 从 0 变成 P。在变形方面最有害的是分量 P_a，当 $Z=0$ 时，即当圓盘“观察”天頂时，它达到最大值 P；这一情况以后将是对我們最感兴趣的，因为对向天頂附近恒星的鏡面在自重的作用下变形最大，而靠近天頂的恒星則是由于大气扰动影响和大气中光吸收減少，对观察是最有利的。

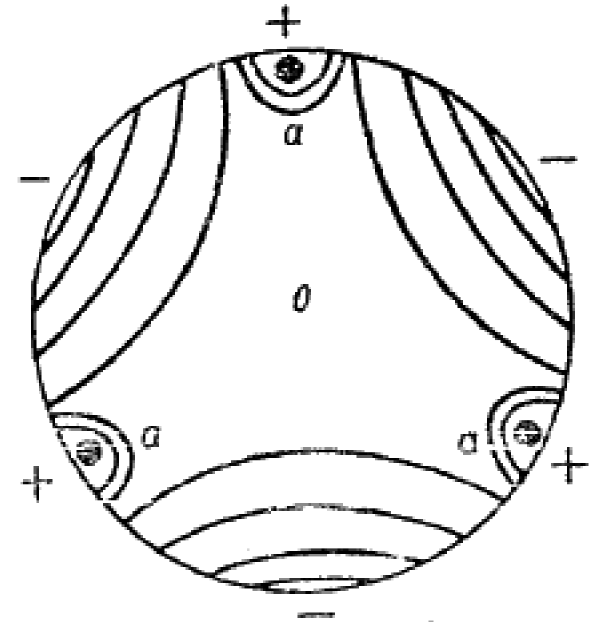
1) D. Maksutov, On the Temperature Coefficient of the Focal Distance of an Object Glass. Изв. ГАО в Пулкове. 1936.
2) A. Danjon, A. Couder, Lunettes et télescopes. 1935, p.567—577.

背面支点(a)可以按任何形式分布，在个别情况下，可以如图 19 中黑点所表示的那样。在这情况下每一个支点上接受的部分負載为：

$$P'_a = \frac{P}{3}\cos Z, \qquad (57)$$

必需使这一数值不超过圓盘材料和以一定面积接触的支点的弹性变形限度。

自然，由于自重在图上所示方法分布的負載作用下，会使圓盘表面变形，靠近支点的区域(＋)相对于比較地沒有变化的圓盘中央区域(0)的水平面突起了，而区域(－)是下弯了。这样，在图 19 中的曲綫是表示变形了的圓盘表面的地势形象。为旋轉面(球面，平面，拋物面)所局限的圓盘在这三点的支承下使它的表面变成为三軸对称的表面，而有这种鏡面的望远鏡呈出的星象不是圓斑状的或有环的衍射圓斑，而是有三个尾巴的核心或是在环的三个方向上有凝集块的衍射图形(图 20)。



通过圓盘的頂視图

图 19

图 20

当鏡面变形(δ)为$\frac{1}{8}\lambda$数量級时，衍射象的变坏就开始对眼睛显示出来了。

这个問題也可以用所給的鏡面在不同的角度 Z[1]，即从0到$\delta_{最大}$大的范围內变化的变形之下，实驗地观察星点衍射象的质量来解决。如果鏡面足够薄和足够大，δ数値可以达到超过$\frac{1}{8}\lambda$很多倍；观察者眼前就会有很多变坏了的象的图样，并且可以决定在实际上还沒有观察到象质量降低时的角度 Z；然后知道了 Z 及 P，鏡面的大小和机械性能，并分析地計算出最大变形的数値，就可以得出对于变形相应的公差。但是，假定我們不熟悉弹性理論，若变动角度 Z 和不同支点数的支承系統、以及鏡面的大小和材料，用同样的实驗也可以得到必要的規律性。

不論怎样，是得到了被支承圆盘表面变形(在重力加速度 $g=$常数的地面水平面上)正比于下面的数値。

$$\delta=K\cdot\frac{d}{E}\cdot\left(\frac{D}{l}\right)^2\cdot D^2\cos Z,\tag{58}$$

这里 d 为圆盘材料的比重，E 为它的弹性模数，D 为直径，l 为圆盘厚度以及 Z 为与水平面的傾角。系数 K，首先，和我們所取的支承系統(支点的数目，和怎样分布)有关，而其次，和公式中其余数量的度量系統有关。

如果数値$\frac{d}{E}$是表征了圆盘的机械性能，那么数値$\left(\frac{D}{l}\right)^2\cdot D^2$就是表征了圆盘的几何剛度；整个(58)式决定了所給定尺寸大小，指定的材料，支承方式和与水平面傾斜成一定角度 Z 的圆盘剛度値的倒数。这一数値可以称为圆盘在自重作用下的"柔性"或"可弯曲性"[2]。

用字母 σ 表示圆盘的"剛度"，这时 $\sigma=k_1\cdot\frac{1}{\delta}$，根据(58)式我們給出下面的表示式：

$$\sigma=C\cdot\frac{E}{d\cdot D^2}\cdot\left(\frac{l}{D}\right)^2\sec Z,\tag{59}$$

这里 C 为某一新的系数，它是和所采取的支承系統及度量单位有关的。可以看到，同一个鏡面剛度能从某一最小値 ($Z=0$) 变到无限大($Z=90^\circ$)；对我們感兴趣的应当是最小的剛度：

$$\sigma_{最小}=C\cdot\frac{E}{d\cdot D^2}\left(\frac{l}{D}\right)^2,\tag{60}$$

这里 l 和 D 将以毫米来表示。

庫得的研究可以肯定，在鋼或石英鏡，把它支承在三个点上(图 19)的情况下，为了不损害象的质量，若当：

$$\left(\frac{l}{D}\right)^2\cdot\frac{1}{D^2}\geqslant 6.25\times10^{-7}$$

时，則鏡面的最小剛度就显得足够了；根据这点得：

$$\sigma_{最小}=C_3\cdot\frac{E}{d}\cdot6.25\cdot10^{-7},$$

这里 C_3 为相应于沿鏡面边緣三点等距离支承情况下的系数。

从表 2 我們取得石英和鋼的 E 和 d 数値，对这两个情况有：

$$\sigma_{最小}=C_3\cdot1.76\cdot10^{-3}$$

及

$$\sigma_{最小}=C_3\cdot1.70\cdot10^{-3}.$$

因此我們就取

$$\sigma_{最小}=C_3\cdot1.73\cdot10^{-3}.\tag{61}$$

当鏡面的剛度恰好使鏡面的变形不引起星象衍射图样有害地变坏时，我們取 $\sigma_{最小}=1$；例如，当 $\sigma_{最小}=n$ 单位时，我們的鏡面就有了 n 倍的剛度安全系数。取了 $\sigma_{最小}=1$ 之后，我們定出 C_3 系数的数値为：

$$C_3\cong580.\tag{62}$$

知道了 C_3 和材料的机械常数，很容易利用(60)式列出对不同 l 和 D 値的 $\sigma_{最小}$ 的表来。我們对于用派勒克斯制造的，支承于三点的鏡面列出表 10，对派勒克斯取 $E=6200$，$d=2.25$。

1) 这实驗在实驗室条件下进行比較方便，利用傾斜的准直鏡装置。

2) 术語"柔性"或"可弯曲性"和庫得的所謂"la flexibilté"最相当。

表 10 ［支承于三点的 $\delta_{最小}$］

D \ l	100	200	500	1000
200	640	40	1.0	0.061
100	160	10	0.26	0.016
50	40	2.5	0.061	0.004
20	6.4	0.4	0.010	
10	1.6	0.1	0.003	

表中不满足足够刚度的区域用粗綫划了出来(在右边)。我們可以看到 $D=1000$ 的鏡面，即使厚度为 200 (即 $l:D=1:5$)时，刚度仍然差 16 倍；$D=500$ 的鏡面只有当 $l=200$ (即 $l:D=1:2.5$)时，刚度才刚好足够；而小的鏡面，即使厚度較小时，已具有多余的刚度了；例如 $D=100$ 的鏡面，当 $l=10$ 时，刚度的安全系数已比一倍半还多了。如果給它相对厚度为 1:2，那么刚度的安全系数就有 40 倍了。

相似于前面的表，还可以对用派勒克斯制造的，支承在三点上不同直径 D 的鏡面的最小厚度 $l_{最小}$ 和相对厚度 $(l:D)_{最小}$ 列出下面的表 11，为此只要把(60)式中取 $C=C_3\cong580$，使它等于一：

$$l_{最小}\cong\frac{D^2}{1250}. \tag{63}$$

表 11 ［三点支承］

D	1	10	100	140	200	250	350	500	700	1000
$l_{最小}$	0.0008	0.08	8	16	32	50	98	200	390	800
$\left(\frac{l}{D}\right)_{最小}$	1:1250	1:125	1:12.5	1:8.8	1:6.3	1:5	1:3.6	1:2.5	1:1.8	1:1.25

我們可以看到，当 $D=1$ 毫米而厚度不到一微米和相对厚度小于 $\frac{1}{1000}$ 时，已保証了足够的刚度；当 $D=100$ 毫米，就必需要厚度为 8 毫米和相对厚度为 1:12.5；而对于 $D=200$ 毫米的鏡面，很多略为懂得一些的人所建議的相对厚度 1:8 对把鏡面支承在三点上已显得不够了；最后，对于一米的鏡面，若我們要把它支承在三点上，就要有惊人的厚度 0.8 米。

根据庫得，把鏡面支承在分布于鏡面外带等距离的六点上就要有利 8 倍。换句話說，系数 C_6(注脚"6"表示我們所安置的支承点数目)要比 C_3 大 8 倍，即根据(62)为：

$$C_6\cong5200. \tag{64}$$

使(60)式等于一，可以相似于表 11，列出表 12，不过这时是对于支承于外围等距分布六点($C=C_6$)的情况。計算的公式如下：

$$l_{最小}=\frac{D^2}{3780}.$$

表 12 ［六点支承］

D	100	140	200	250	350	500	700	1000
$l_{最小}$	2.64	5.2	10.6	16.5	32.5	66	130	264
$\left(\frac{l}{D}\right)_{最小}$	1:38	1:27	1:19	1:15	1:10.7	1:7.6	1:5.4	1:3.8

我們可以看到，即使直径 $D=500$ 毫米的鏡面支承在六点的时候，可以具有接近于略懂得一些的人不知为何而提出的相对厚度。而較小直径的鏡面在这情况下只要求非常小的相对厚度。

当支承支点的数目增加时，就变得更为有利，給定鏡面的地区性变形减少了，所以可以减少厚度或增加鏡面的直径而不超过允許的变形限度。当然，这是假定了每一个支点都承受了相应的鏡面重量的一部分，而这一点如何实現将在下面再說。

在图 21 中画出了各种不同的支承系統并給出相应的系数 C_n 值，这里 n 为在图上所示的支点数目。

前两种情况我們已經知道了。随着 n 增加，支承設备的結构愈来愈复杂，同时愈有可能很好地支承愈"柔軟"的鏡面，即直径增

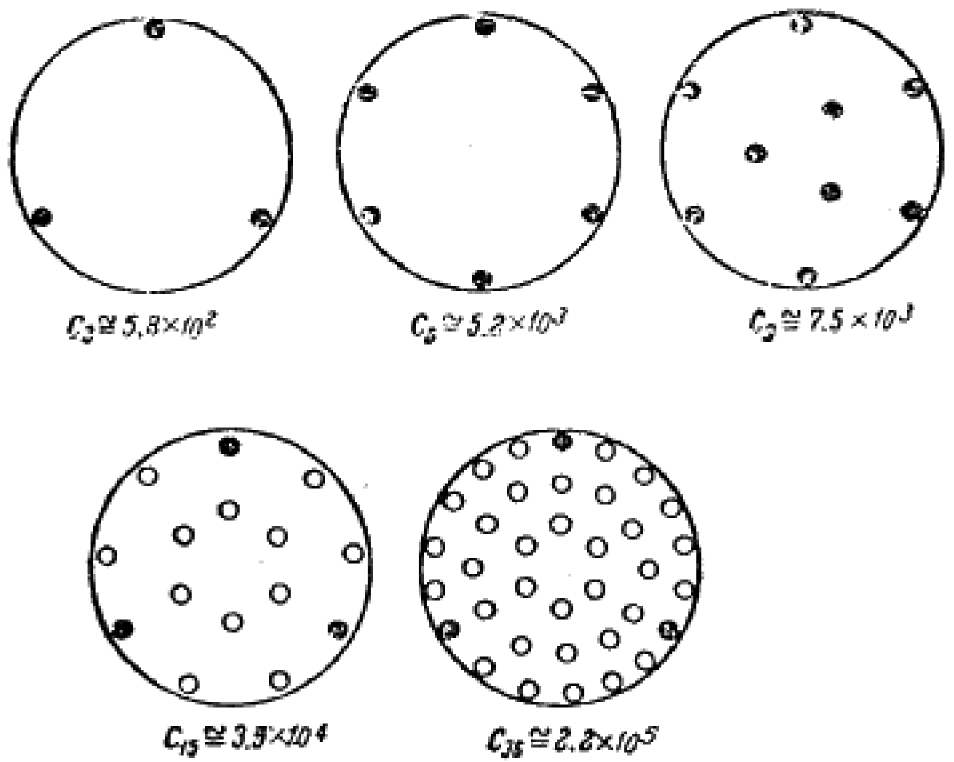


图 21

大或相对厚度减少的鏡面。不过第三种情况，支承在九点上也不是很难做到的，而且常常用来支承相当大的光学零件，所以我們也和前两个表一样对它列出表 13。

表 13 [九点支承]

D	250	350	500	700	1000
$l_{最小}$	14	27	55	108	220
$\left(\frac{l}{D}\right)_{最小}$	1:18	1:13	1:9.1	1:6.5	1:4.5

可以看到，这一支承方法在实践上对于直径大于 $\frac{1}{2}$ 米的鏡面很合适，而且甚至当 $D=1$ 米时，虽然鏡面的厚度很大(220 毫米)，不过还不是属于非常大和沒有实际意义一类的。

上述的关系不仅对于石英和派勒克斯鏡是正确的，同时对于銅鏡也是正确的。因为在(60)式中的比值 $E:d$ 对这些物质实际上

是一样的。只是要記住，銅鏡在这时要比玻璃鏡重 2—2.5 倍。

采用蜂窝形結构还可以把每一种支承方法使用的范围扩大。

放置在研磨或抛光机工作台上的光学工作物不仅受到自重弯曲变形的影响(这时总是 $Z=0$)，而且还受到加工工具（刀具、磨石、研磨盘、抛光盘）在量和分布上集中和变化的負載变形的影响。由于总和大于两个組成部分，所以在研磨机工作台上的支承設备必須滿足較上面所討論的更为严格的要求。換句話說，在这情况下，对于系数 C_n 应当取比图 21 上所指出的要小，例如減小一倍。

到現在为止，我們只是主要地談了关于鏡面的支承，知道了它們表面微小的变形对象质量有什么样的害处。从鏡面轉到透鏡方面时，我們发現透鏡可以在自重的作用下，在鏡框中有相当大的变形而不显著地降低象的质量。实际上，若图 19 表示弯曲了的透鏡，那么在前表面(一)的地方低下多少，則在后表面就也低下去那么多(近似地)；結果不論透鏡是否有变形，通过透鏡这一部分的光程差实际上是保持不变的。只有当变形很大的时候，透鏡才会在变形的部分出現不大的光程差，所以，虽然也应該有透鏡在自重的作用下，在鏡框中变形的公差，不过它和对于鏡面的公差比較起来完全是另一个数量級。

不必要說明，我們現在是假定透鏡是具有正确制造的精确几何表面，它們在透鏡沒有弯曲的条件下作过了检驗的(例如把透鏡浮在重的液体中)。

透鏡在机床上加工时，对透鏡的支承就应該有另外的要求。若由于支承(或胶粘)不好，透鏡变形了，那么我們将在有应力的状态下去加工它，給予它严格的表面几何形状，然后从机床上取下来(或脫胶下来)，暫时的应力解除了或是重新分布了，則透鏡就改变了形状。加工第二个表面不能挽救局面而只是使它加重。所以透鏡加工时，对于透鏡在外力和自重作用下的变形公差将要和对于鏡面的公差有相同的数量級。

現在我們討論一下解决支承的各种結构和支承設备裝置。

大家知道，任何形状的表面可以安置在三个点上。在三点上