المحاضرة الخامسة

قياس الزوايا

التيودوليت (Theodolite)

1. مقدمة Introduction.

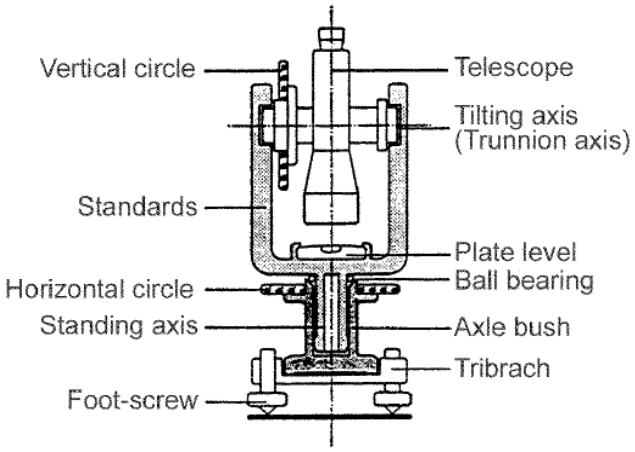
لقياس الزوايا الأفقية في الشبكات الجيوديزية نستخدم جهاز التيودوليت بأنواعه ونماذجه المختلفة، حيث تؤمن هذه الأجهزة إمكانية القياس بأخطاءٍ متوسطةٍ تتراوح قيمها بين أجزاءٍ من الثانية وعددٍ من الثواني. في التيودوليتات التقليدية يقوم الراصد بقراءة قيمة الزاوية ثم تسجيلها في نموذج سجلٍ خاص أو حفظها في ملفٍ ملحق ضمن برمجيات مكملةٍ لعمل جهاز القياس، ولاستخدام هذا القياس كمعلومةٍ قياسيةٍ يمكن إدخالها يدوياً إلى جهاز المعالجة، أو استيرادها مباشرةً من ملف تخزين القياسات ضمن جهاز التيودوليت. حيث سمحت التيودوليتات الحديثة الإليكترونية بالاستفادة من إمكانية تخزين المعلومات ونقلها أوتوماتيكياً إلى جهاز الحاسوب بهدف المعالجة العددية.

يمكن تصنيف أجهزة التيودوليت بحسب طريقة قراءة قيمة القياس، وعموماً يتم استخدام طريقتين في القياس هما:

- القياس البصري والميكرومتر *(Optical Scale and Micrometer)*،
- القياس العددي أو الإليكتروني *(Digital or Electronic)*.

يتكون التيودوليت عموماً من الأجزاء الأساسية التالية [الشكل (1)]:

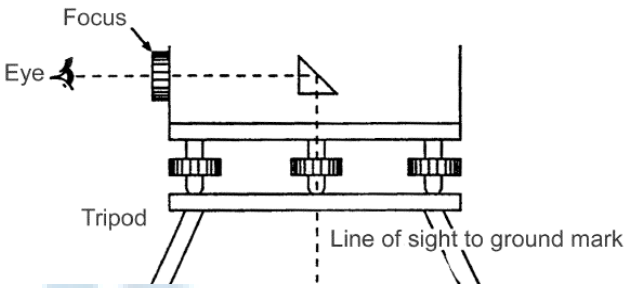
1. القاعدة الثابتة مع رأس التوازن *(tribrach)*.
2. الجزء العلوي المتحرك والنظارة المساحية *Upper part & the Telescope*.



الشكل (1): بنية جهاز التيودوليت.

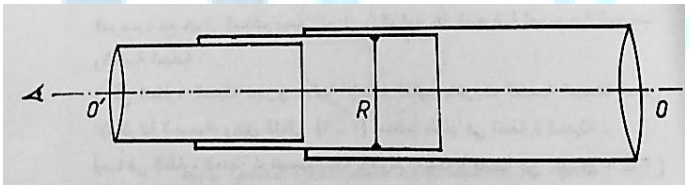
Essential features of a theodolite

وهو مزود بشاقول ضوئي *(Optical Plummet)* لتأمين مرور المحور الشاقولي للجهاز من النقطة المساحية على سطح الأرض [انظر الشكل (2)].



الشكل (2): الشاقول الضوئي (Optical Plummet).

من أهم أجزاء التيودوليت النظارة المساحية بنوعيها القديم والحديث، تتألف النظارة القديمة من ثلاث اسطوانات متداخلة ومتراكبة مع بعضها، بحيث يمكن زلق الواحدة منها ضمن الأخرى. ويبين الشكل (3) مقطعاً طولياً في النظارة المساحية القديمة.



الشكل (3) مقطع طولي في النظارة المساحية القديمة.

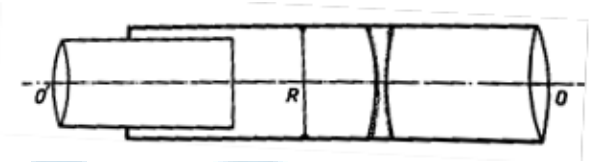
longitudinal section in old surveyor telescope

نميز على الشكل الإسطوانات الآتية:

- الإسطوانة حاملة العدسة العينية ***O'*** *(Eyepiece)*،
- الإسطوانة حاملة المحكم ***R*** *(Reticle)*،
- الإسطوانة حاملة العدسة الجسمية ***O*** *(Object Lens)*.

لإجراء عمليات الإحكام *(Focusing Process)* في هذه النظارة نضبط أولاً موقع العينية بالنسبة للمحكم، فنوجه النظارة نحو نقطةٍ مضيئة ونزلق اسطوانة العينية ضمن اسطوانة المحكم حتى نرى خطوط المحكم بشكلٍ واضحٍ، تجري هذه العملية لمرةٍ واحدة قبل القياسات. وفي الخطوة التالية نضبط موقع اسطوانة المحكم والعينية بالنسبة إلى لعدسة الجسمية، فنزلق مجموعة العينية والمحكم ضمن اسطوانة الجسمية حتى نرى خيال الجسم المرصود بشكلٍ دقيقٍ وواضح. ويجب التنويه هنا إلى ضرورة المطابقة بين خيال الجسم المرصود وخيال خطوط المحكم، بحيث لايتحرك خيال المحكم بالنسبة إلى لجسم عند تحريك عين الراصد أمام العينية سواءً من اليمين إلى اليسار أو من الأعلى إلى الأسفل وبالعكس أيضاً.

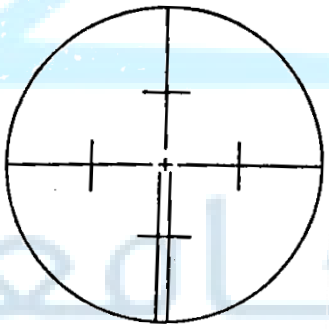
يؤدي زلق مجموعة العينية والمحكم ضمن الجسمية في بعض الأحيان إلى انحراف المحور الضوئي للنظارة، وبالتالي إلى حدوث أغلاطٍ في القياس. للحيلولة دون ذلك تم تثبيت المحكم ضمن الأسطوانة الجسمية في النظارة الحديثة، ووضعت عدسةٌ مبعدة بين الجسمية والمحكم. يؤمن زلق العدسة المبعدة مطابقة خيال الجسم المرصود مع خيال المحكم، حيث نعدل بذلك المسافة المحرقية لمجموعة الجسمية والعدسة المبعدة [الشكل (4)].



الشكل (4): مقطع طولي في النظارة المساحية الحديثة.

longitudinal section in the new surveyor telescope

إذاً في النظارة الحديثة نجري عملية الإحكام الثانية بتحريك العدسة المبعدة ضمن الإسطوانة الجسمية. أيضاً تم تصميم شبكة خطوط المحكم في النظارة الحديثة بشكلٍ يتناسب مع طرق التسديد الدقيقة، ويبين الشكل (5) شبكة الخطوط المذكورة.



الشكل (5): شبكة خطوط المحكم لنظارة التيودوليت *Wild T2*

Reticle Lines in Wild T2 Telescope

يؤمن التصميم المبين في الشكل أعلاه إمكانية الرصد باستخدام إحدى طرق التسديد الآتية:

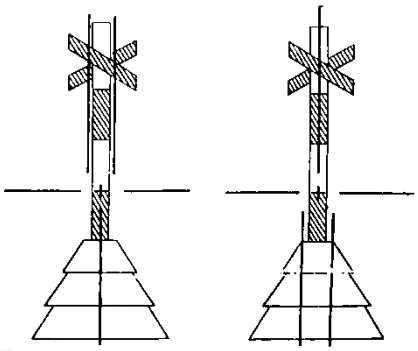
أ . **طريقة التنصيف (Split Method):** يتم في هذه الطريقة تقسيم الهدف شكلياً إلى نصفين متقابلين باستخدام

الخط الشاقولي العُلْوي من شبكة المحكم.

ب . **طريقة المطابقة (Matching Method):** يتطابق في هذه الطريقة الخط الشاقولي العُلْويُّ لشبكة خطوط الرصد مع الهدف المرصود.

ج . **طريقة التناظر *(Parralel Method)*:** نضع في هذه الطريقة الهدف المرصود بين الخطين المتوازيين من شبكة المحكم، وتقول الأبحاث المختصة بالتركيب الفيزيولوجي لعين الإنسان إنها تستطيع رصد الهدف بدقة كبيرة عند وضعه بين خطين متوازيين.

ويبين الشكل (6) طرق التسديد المذكورة.



الشكل (6): منظر لرأس برج مثلثاتي في خلفية شبكة خطوط المحكم ضمن النظارة المساحية.

يبين الشكل كيفية التسديد الصحيح في وضعيتي النظارة.

2. التيودوليت التقليدي *(Optical Micrometer Theodolite)*.

تم تزويد هذا الصنف من الأجهزة بميكرومتر خاص يساعد في القراءة الصحيحة للقياس، فنلاحظ إلى جانب النظارة المساحية نظارة الميكرومتر.

ضمن أجهزة التيودوليت التقليدية ذات المنشأ الأوروبي نميز بحسب الدقة التصميمية بين المجموعات الآتية:

المجموعة الأولى: دقتها التصميمية حتى $6''$ أو 6^{cc} ، ونذكر منها الأجهزة:

$$Wild\,T1\ ,\ Zeiss\,Theo\,020\ ,\ Kern\,DKM-1$$

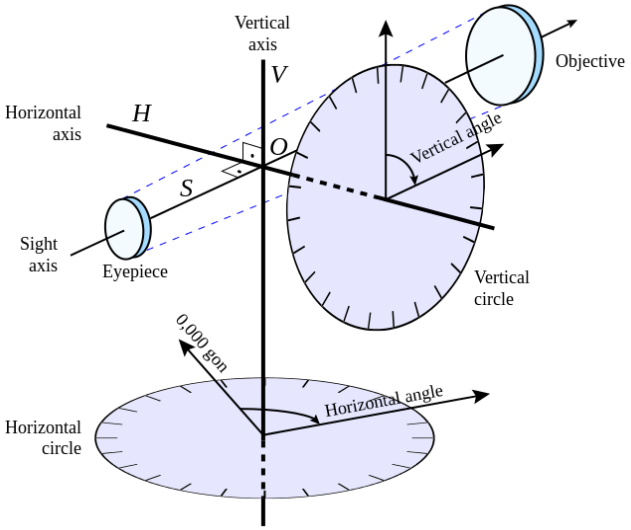
المجموعة الثانية: دقتها التصميمية حتى $1''$ أو 1^{cc}، ونذكر منها الأجهزة:

$$Wild\,T2\ ,\ Zeiss\,Theo\,010\ ,\ Kern\,DKM-2$$

المجموعة الثالثة: دقتها التصميمية حتى $0.5''$ أو 0.5^{cc} ، ونذكر منها الأجهزة:

$$Wild\,T3\ ,\ Kern\,DKM-3$$

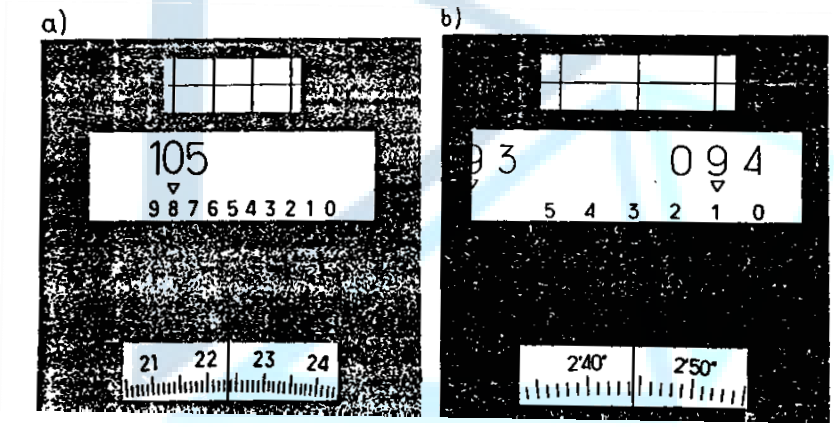
ويبين الرسم التالي آلية تصميم مجاهر القراءة داخل هذه الأجهزة.



ونبين فيما يأتي شكل وطريقة قراءة قيمة القياس ضمن نظارة الميكرومتر لبعض الأجهزة من المجموعة الثانية.

1.2. التيودوليت $Wild\ T2$ الجديد.

تأخذ خلفية لوحة الميكرومتر اللون الأبيض عند قياس الزوايا الشاقولية، واللون الأصفر عند قياس الزوايا الأفقية. ونلاحظ في حقل رؤية الميكرومتر ثلاث نوافذ، في النافذة الأولى من الأعلى تظهر خطوط تقسيم اسطوانتين متقابلتين كلياً، وقبل القراءة يجب المطابقة بين خطوط تقسيم الإسطوانتين بتحريك لولب الميكرومتر، وفي النافذة الثانية يمكن قراءة الدرجات أو الغرادات وعشرات الدقائق أو عشرات السنتيغرادات، ونقرأ في النافذة السفلية آحاد الدقائق أو السنتيغرادات وعشرات وآحاد الثواني الستينية أو المئوية. ويبين الشكل (7) كيفية القراءة.



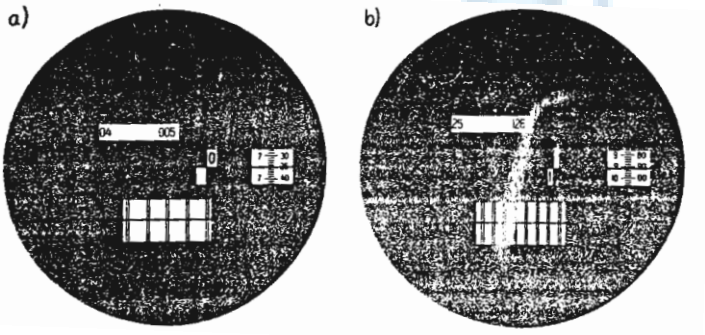
التقسيم الستيني، القراءة $94^{o}12'44''$ التقسيم المئوي ، القراءة $105^{Gr}82^{c}24^{cc}$

الشكل (7): قراءة قيمة القياس ضمن النظارة الميكرومترية للتيودوليت $Wild\ T2$

في الحياة العملية نقرب القراءة إلى الثانية الواحدة، وإلى النصف ثانية عند الضرورة.

2.2. التيودوليت $Zeiss\ Theo\ 010-A$.

تكون خلفية لوحة الميكرومتر صفراء عند قياس الزوايا الشاقولية، وزرقاء عند قياس الزوايا الأفقية [انظر الشكل (8)].



التقسيم المئوي، القراءة $126^{Gr}19^{c}91^{cc}$ التقسيم الستيني، القراءة $005^{o}07'35''$

الشكل (8): قراءة قيمة القياس ضمن النظارة الميكرومترية للتيودوليت $ZeissTheo010-A$

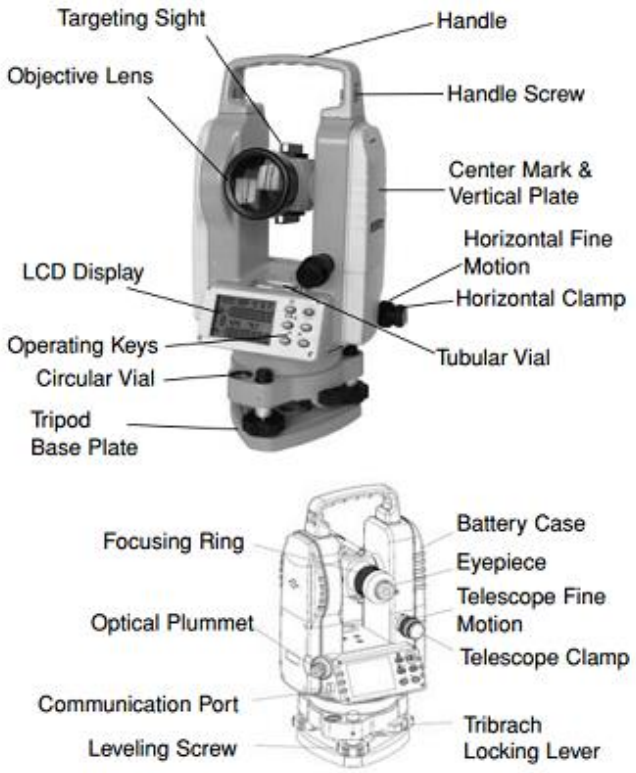
ويظهر في حقل رؤية الميكرومتر خمس نوافذ، فنلحظ في النافذة الكبيرة السفلية خطوط تقسيم اسطوانتين متقابلتين كلياً، ويجب المطابقة بين هذه الخطوط قبل القراءة. في النافـذة العلوية اليسارية نقرأ الغرادات أو الدرجات الكاملة، ونعتبر دوماً الرقم الكامل الذي يظهر في هذه النافذة. وتخدم النافذتان الصغيرتان في المركز في قراءة عدد عشرات الدقائق أو السنتيغرادات بحيث يظهر في النافذة العلوية اليمينية الأعداد الزوجية ويظهر في الأخرى الأعداد الفردية. وفي النافذة الخامسة اليمينية نقرأ آحاد الدقائق أو السنتيغرادات وعشرات وآحاد الثواني الستينية

أو المئوية. عملياً نقرب القراءة حتى الثانية الواحدة، ويمكن تقديرها حتى نصف ثانية أحياناً.

3. التيودوليت الإليكتروني *(Electronic Theodolite)*.

ينتشر هذا النوع من التيودوليتات بشكلٍ واسع في ساحة العمل المساحي في الوقت الراهن، حيث طورت الشركات الكبرى أجهزةً تعتمد على الأنظمة الإليكترونية. في هذه الأجهزة يتحكم المعالج الرياضي الموجود ضمن الجهاز بمجمل عمليات قياس الاتجاهات، حيث يعتمد القياس نفسه على استخدام أنظمةٍ إليكترونية. ومن بينها نذكر النظام المرَمَّز (مزود بشيفرات خاصة)، والنظام التزايدي التفاضلي، والنظام الستاتيكي ، والنظام الديناميكي، وغالباً مايكون النظام الديناميكي تزايدياً. في الأجهزة الإليكترونية يتم عرض نتائج القياسات رقمياً على شاشة خاصة، ويمكن نقل النتائج أوتوماتيكياً إلى جهاز تسجيلٍ خاصٍ (GRE) يسمح باستعادتها مباشرةً عند ربطه مع الحاسب الإليكتروني المستخدم في المعالجة الرياضية. أدى ظهور التيودوليتات الإليكترونية وقائسي المسافات الإليكترونية وأجهزة تسجيل المعطيات القياسية والحواسيب الإليكترونية إلى نشوء الأنظمة الكاملة والتقنيات القياسية المتطورة، وتستخدم هذه الأنظمة في تجميع ومعالجة القياسات وإعطاء النتائج بشكل يسمح بظهور عملٍ جيوديزيٍ متكامل.

المنارة
MANARA UNIVERSITY



الشكل (9): التيودوليت الاليكتروني *(Electronic Theodolite)*

من أكثر الأجهزة الإليكترونية انتشاراً في الفترة الحالية ضمن الساحة الهندسية نذكر أجهزة الشركات ($Wild, Topcon, Zeiss, Leica, Sokkia$). ولتوضيح البنية وطريقة العمل نورد شرحاً مفصلاً للتيودوليت الإليكتروني $TheomatWild-LeitzT-2000$.

1.3. التيودوليت $TheomatWild-LeitzT-2000$

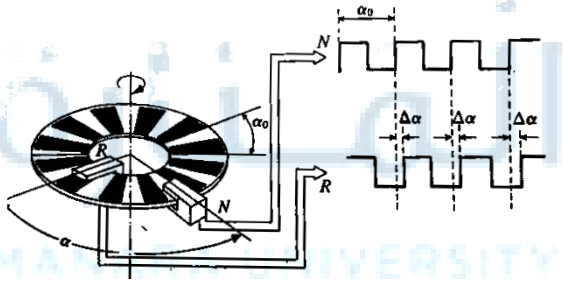
في تصميم هذا التيودوليت تم استخدام أحدث الأنظمة الإليكترونية والبرمجية، وينظم المعالج الرياضي الموجود عمل نظام القياس ويساهم في ضبطه ومراقبته أيضاً. وبزلك نجد أن الجهاز المذكور هو أوتوماتيكي بدرجة كبيرةٍ ، وتعتمد طريقة القياس هنا على قاعدة نظام القراءة الديناميكي الإليكتروني.

2.3.2
Electronic theodolite with mounting for infrared EDM Distomat.

$TheomatWild-Leitz\ T-2000$

من الناحية الميكانيكية، يؤمن التصميم الدقيق لمحاور الدوران والجسم المكون من قطعة واحدةٍ توازناً عالي المستوى ومقاومةً جيدة للظروف الخارجية. وتتميز النظارة المساحية للتيودوليت $T2000$ (المصنعة بنماذج مختلفة مناسبةٍ لمتطلبات الدقة أساساً) بحقل الرؤية الواضح والدقيق وبدرجة تكبير مقدارها (32*) وبمسافة أصغرية للقياس قدرها $1.7m$، أيضاً على هذه النظارة يمكن تثبيت جهاز قائس المسافات الإليكتروني من نوع $Wild$.

في التيودوليت $T2000$ نستخدم طريقة قياس الاتجاه الديناميكية، حيث يتحرك القرص المقسم فيه بحركةٍ دورانية في لحظة قياس الاتجاه باستخدام محركٍ خاص، على العكس من حالة القرص المقسم الأفقي في التيودوليت التقليدي الذي يبقى ثابتاً. ولقد تم تقسيم القرص داخل التيودوليت الإليكتروني إلى 1024 مجال، من بينها 512 مجالاً قاتماً عاكساً للضوء و512 مجالاً نفوذاً للضوء. ويعين الزوج الواحد المكون من مجالٍ عاكسٍ وآخر مجاورٍ نفوذٍ للضوء زاويةً واحديةً مقدارها α_0 [انظر الشكل (9)].



الشكل (10): مخطط نظام القراءة في التيودوليت $TheomatWild-LeitzT-2000$

للإختصار تم على الشكل تمثيل زوجين من الصمامات فقط: زوج ثابت N وآخر متحرك R.

يوجد في التيودوليت أربعة أزواج من الصمامات: زوجان ثابتان وآخران متحركان.

عند كل قياس يقوم محرك خاص بتدوير القرص المقسم وفي نفس الوقت ترسل الصمامات المرسلة حزمة الأشعة تحت الحمراء. خلال دوران القرص المقسم تخترق الأشعة الحقول النفوذة وتنعكس من الحقول القاتمة، وهذا يؤدي إلى تعديل حزمة الأشعة. وتسقط الأشعة المعدلة على الصمامات المستقبلة التي تحول

بدورها الإشارات المضيئة إلى نبضات كهربائية. تعين النبضات الكهربائية الناتجة عن الصمامات الثابتة موقع الصفر أو اتجاه الإسناد الإبتدائي،

وتعين النبضات الكهربائية الناتجة عن الصمامات المتحركة اتجاه الرصد المحدد بمحور النظارة المساحية للتيودوليت. إذاً يحدد النظامان R و N الزاوية α الواقعة بين اتجاه الصفر واتجاه الرصد كما يظهر في الشكل (6-8)، ويجب أن نذكر بأنه لغايةٍ توضيحيةٍ تم رسم زوجين من الصمامات فقط على الشكل هما R و N . ثم تتحولا إلى نبضات الكهربائية من الصمامات المستقبلة هما R و N إلى عداد خاص، بحيث يعطي ذلك معلومات كافية لتحديد الزاوية α ، ومن أجل القرص الشاقولي يكون النظام الثابت N متطابقاً مع اتجاه الشاقول دوماً.

لإيجاد قيمة الزاوية α يتحدد أوتوماتيكياً عدد المجالات الكاملة α_0 (زوج مكون من حقل نفوذ وحقل عاكس للأشعة) المحتواة بين النظام الثابت N والنظام المتحرك R ، وكذلك تتعين القيمة المتبقية من الزاوية (أي الجزء من المجال α_0 الذي يساوي $\Delta\alpha$) والذي يقابل زاوية انحراف الطور. وتحسب الزاوية α من العلاقة:

$$\alpha = n \cdot \alpha_0 + \Delta\alpha$$

حيث تمثل n عدد المجالات الكاملة α_0.

عند تشغيل نظام القراءة يبدأ المعالج الرياضي بتنظيم عملية القياس ثم الحساب. فيتم تحديد عدد المجالات الكاملة أوتوماتيكياً مرتين، وإذا العدد في المرة الأولى n لايساوي العدد في المرة الثانية n' يعيد المعالج القياس ثانيةً. وفي نفس الوقت مع تحديد عدد المجالات α_0 يتم تحديد مقدار زاوية انحراف الطور $\Delta\alpha$. فيتم تحديد $\Delta\alpha$ لكل زوج حقول محدد للمجال α_0 ، أي 512 مرة، وباعتبار أنه يوجد أربعة أزواج من الصمامات يتم تحديد $\Delta\alpha$ بعدد قدره 1024 مرة. تتميز كل عملية إيجاد لـ $\Delta\alpha$ بخطأ قدره $2.2''$ ، وعليه فإن الخطأ المتوسط لتحديد قيمة $\Delta\alpha$ كمتوسط لـ 1024 قياس هو $0.2''$.

بالإعتماد على التجارب المنفذة في قاعدة قياس نظامية يعتبر المصمم أن الخطأ المتوسط للزاوية المقاسة مرتين بوضعيتين للنظارة هو $0.5''$ للزاوية الأفقية أو الشاقولية، هذا يعني أنه في حال إجراء القياس بشكلٍ دقيقٍ ضمن الظروف الجيدة يمكن الحصول على خطأ متوسط للقياس من مرتبة $\pm 1''$.

لقياس الإتجاه يقوم الراصد بضغط زر تشغيل الجهاز ضمن لوحة التحكم، ثم يوجه النظارة مسدداً نحو النقطة المرصودة، ويضغط بعد التسديد الدقيق على زرٍ خاص لتشغيل المعالج الذي ينظم القياس. بنتيجة ذلك يقوم الجهاز أوتوماتيكياً بإجراء القياس n مرة، ثم يحسب

المتوسطة ويعطيها كمقدارٍ رقمي على الشاشة المخصصة لذلك، فنحصل على القيمة المتوسطة للإتجاه المقاس.

يؤمن الجهاز $T2000$ إمكانية الحساب والحذف الأوتوماتيكي للأخطاء الآتية:

- خطأ تعيين شاقولية الجهاز،
- خطأ تحديد صفر القرص المقسم الشاقولي،

كما نستطيع الحصول على القيم المقاسة بالواحدات المختلفة (الغراد وأجزاؤه، الدرجات وأجزاؤها، المليم ويعادل $\frac{1}{6000}$ من الزاوية التامة).

ومن أجل القياسات الدقيقة يمكن التحكم بدقة تبيان النتائج، فمثلاً نستطيع الحصول على القيمة المتوسطة للقياس بدقة تصل حتى 0.5^{cc}. ومن أجل القياسات غير الدقيقة نستطيع تدوير قيمة القياس حتى مرتبة 10^{cc}. ويمكن قياس الزوايا باستخدام الجهاز $T2000$ بالطريقة التقليدية أو بالطريقة المستمرة، كما يجب مراعاة كافة الشروط المتعلقة بالتحضير للقياس والتسديد الدقيق المتبعة عند القياس باستخدام التيودوليتات التقليدية.

4.قواعد تنفيذ قياسات الزوايا.

قبل القيام بالقياس يجب تثبيت التيودوليت فوق المرصد لمدة 15 دقيقة على الأقل من أجل التوازن الحراري بين التيودوليت والجو المحيط، ونستغل هذا الوقت للقيام بالأعمال الآتية:

. تأمين التيودوليت والعلامات الجيوديزية المرصودة ضد الهواء والمطر والشمس باستخدام المظلات والمعدات الخاصة الأخرى.

. تنظيم إضاءة وإحكام القرص المقسم والميكرومتر (في التيودوليتات التقليدية).

. تنظيم توزع الشحوم حول محاور دوران الأليداد والنظارة المساحية من خلال تدوير الأليداد حول المحور الشاقولي، والنظارة حول المحور الأفقي للتيودوليت عدة مرات.

. تأمين وضوح رؤية شبكة التسديد (عملية الإحكام الأولى).

نسبياً تتميز أخطاء تمركز التيودوليت والإشارات بأكبر تأثيرٍ على الخطأ المتوسط للزاوية الأفقية المقاسة، وللتقليل من هذا الأثر نتحقق من صحةعمل الشاقول البصري فوق كل مرصد. وهذا التحقق يكون مهماً بشكلٍ خاصٍ عند المراصد التي يزيد ارتفاع رأس التوازن فوق النقاط الأرضية فيها عن $2m$. فنقول إن الشاقول البصري الدائر حول المحور الهندسي يعمل بشكلٍ مضبوطٍ إذا انزاح خيال النقطة بالنسبة إلى مركز خطوط التسديد بمقدار لايزيد عن $1mm$.

ونراعي خلال تنفيذ القياسات الزاويَّة الأسس الآتية:

. يتم الضغط على لوالب الحركة السريعة بقوةٍ خفيفةٍ تكفي كي تعمل لوالب الحركة البطيئة بطريقةٍ سلسةٍ وصحيحة.

. عند التسديد الدقيق يتم سحب شبكة التسديد باتجاه الهدف باستخدام لوالب الحركة البطيئة بشكلٍ بطيءٍ وبحركة دائرية.

. نُدوِّر الجهاز بدفع حاملي النظارة وليس النظارة ذاتها، أو بوساطة اللوالب.

. بعد سحب القرص المقسَّم في التيودوليت إلى قراءةٍ معينة، باستخدام بزال الحركة القسرية، يجب تحرير النظارة وتدوير الأليداد حول محوره حتى نتخلص من أي إجهادٍ جانبي على مفاصل دوران الجهاز.

. يتم التسديد باستخدام طريقة التناظر بوضع الهدف بين الخطين المتوازيين عند مركز شبكة خطوط التسديد.

. نحافظ قدر الإمكان على نفس وضعيات مرآة إنارة الأقراص المقسمة والعدسات الداخلة في بنية مجهر القراءة داخل الجهاز.

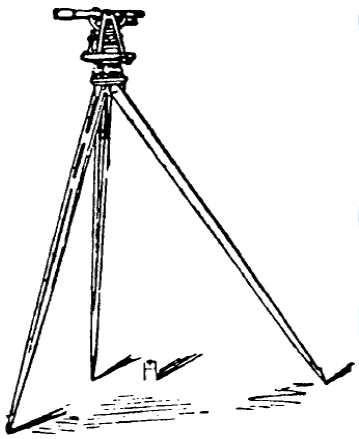
. يتم تدوير لوالب الحركة البطيئة ومقود الميكرومتر باستخدام إصبعين فقط (مزدوجة قوى)، وبحركةٍ بطيئةٍ ومستمرة.

ضمن الشبكات الجيوديزية التفصيلية نقيس الزوايا باستخدام طريقة الاتجاهات أو الطريقة الزاويَّة. عموماً نعتبر الطرق الزاوية أكثر إفادةً من طريقة الإتجاهات، وينتج ذلك عن إمكانية قياس كل زاوية بشكلٍ مستقل عن الزوايا الأخرى، وعن سرعة القياس وعدم اتباع تسلسلٍ معيَّنٍ في قياس الزوايا من المرصد الواحد عند عدم توفر ظروفٍ جويةٍ مساعدة. ومن وجهة نظر حجم العمل والكلفة المادية المرتبطة بذلك، نعتبر طريقة الإتجاهات أفضل من الطريقة الزاوية. ففي الطريقة الزاويّة يتم قياس كل اتجاه رصدٍ مرتين، بينما يقاس مرّةً واحدةً في طريقة الإتجاهات، وبذلك نوفر نصف عدد القياسات. ويتم تحديد طريقة قياس الزوايا ضمن الشبكة الزاوِيّة أو الزاويّة الخطية في مرحلة تصميم الشبكة، كما يدخل في ذلك التعليمات الخاصّة على مستوى الدولة.

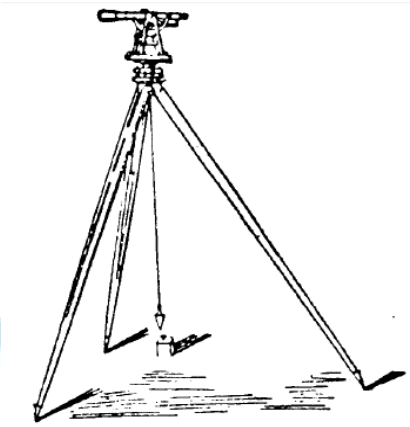
5. تركيز التيودوليت فوق النقطة المساحية.

لهذه الغاية نتبع الخطوات التالية:

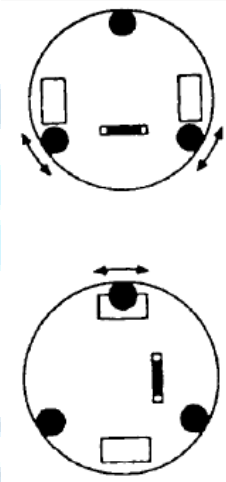
1.5. تثبيت الجهاز فوق رأس التوازن placing the theodolite on the tripod.



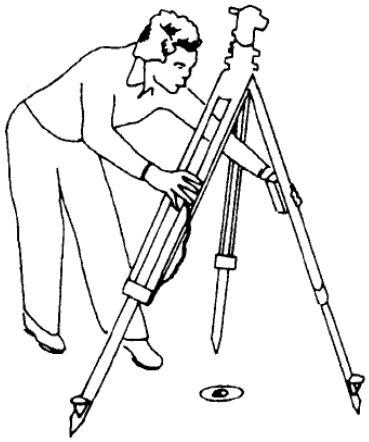
2.5.ربط خيط المطمار attaching the plumb-bob.

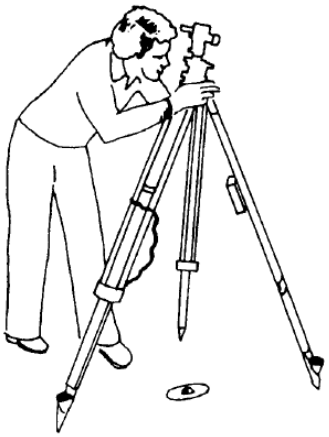


3.5.تأمين أفقية الجهاز levelling the instrument.



4.5.تمركز الجهاز centring the instrument.





5.5. التخلص من تأثير البارالاكس (عمليات الإحكام) eliminating parallax.

6.5. تصفير اللامب الأفقي zeroing the horizontal circle.

7.5. التسديد نحو الهدف وعمليات الإحكام pointing to the target and focussing.

جامعة المنارة MANARA UNIVERSITY