

A. 0969

هو الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون * في تطبيق
الهندسة على الفنون * أبرزه من الفرنسية الى العربية
راجي رجمة المعيد المبدى * الفقير لمولاه السيد
صالح افندي * غفر الله ذنوبه وستر
في الدارين عيوبه

امين

فهرسة الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون
في تطبيق الهندسة على الفنون

صفحة

٢	بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
٢	الدرس الاول في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية
٣	على العموم
٣	بيان الاقيسة الهندسية
٣	بيان اقيسة الطول
٧	بيان
٨	بيان
٨	بيان
٩	بيان
	الدر
٢١	وتطبيقها على الآلات
٢٤	بيان قوانين التحرك الاولية
٢٥	بيان التوازن
٣٦	بيان التناقل
٤٢	الدرس الثالث في بيان القوى المتوازية
	الدرس الرابع في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفي كمية
٥٨	القوى
٦٤	بيان مركز ثقل السطوح
٦٤	بيان مركز ثقل المثلث
٦٥	بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع
٦٧	بيان مقادير القوى المتوازية
٨٢	بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

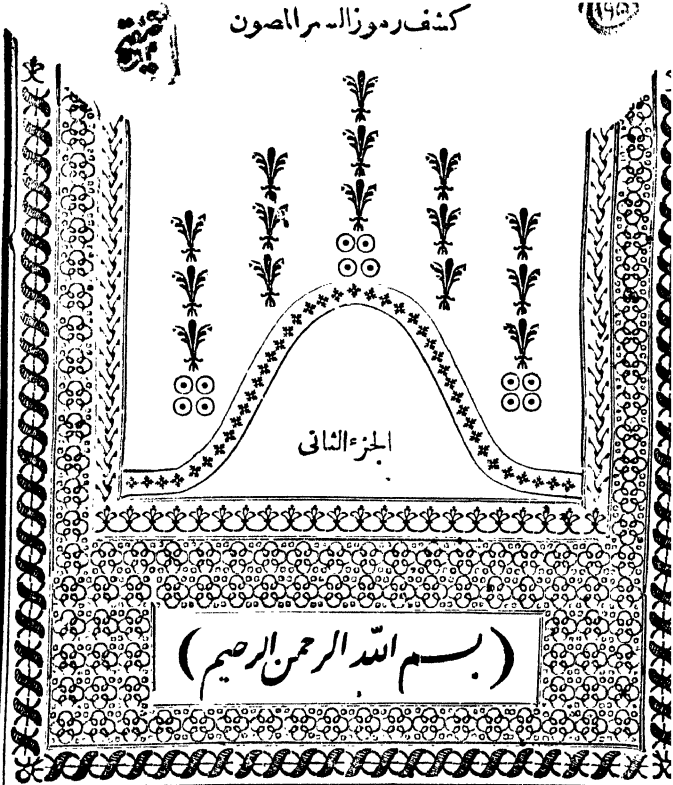
٨٤	الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين التحرك
	الدرس السادس في بيان الالات البسيطة وهي الحبال والقناطر
	المعلقة وعدد خيول العربات وأدوات السفن ولوازمها وما أشبه
١٠٣	ذلك
١٠٣	بيان الحبال
١٠٦	بيان الكبش (أى الشامردان) وهو الآلة المعدة لدق الخوابير
١١٩	بيان القناطر المعلقة
	الدرس السابع في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة
	للحبال والقضبان والمجالات والطيارات وفي مقادير الأينريج
١٢٦	وفي البندولات
١٤٧	بيان البندول
١٥٧	بيان معادل الآلات البخارية
١٥٨	الدرس الثامن في بيان الرافعة
١٦٦	بيان الرافعة التي من النوع الأول
١٧٢	بيان الرافعة التي من النوع الثاني
١٧٢	بيان الرافعة التي من النوع الثالث
١٧٥	الدرس التاسع في بيان البكرات والملفات
١٨٠	بيان البكر المتحرك
١٨٩	بيان التناقل في البكرات
١٩٨	الدرس العاشر في بيان المنجنون والطارات المضرسة
٢٠٣	بيان تأثيرات التناقل في المنجنون
	الدرس الحادى عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة
٢١٩	والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة
٢٣٨	بيان المستويات المائلة

٢٤٤	الدرس الثاني عشر في بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور وسائر الآلات التي من هذا القبيل
٢٥٢	بيان التواء الحبال
٢٥٤	بيان الخابور
٢٦٥	الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك
٢٨٦	الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم
٣٠٧	الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام

بيان ما وقع من الخطا والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز
السر المصون في تطبيق الهندسة على الفنون

خطا	صواب	صحيفه	سطر
اقيسة الاتساع	المكاييل	٨	١
او الاتساع	او المكاييل	٨	٢
اقيسة السعة	المكاييل	١٣	١٤
ومواد النجارة	وآلات النجارة	١٣	٢٣
عتتها	اعتتها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	ا	٣٣	١٨
ا	ا	٣٣	١٩
ا	ا	٣٣	٢٤
كدة القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلاظفة	صناع	٧٣	٧
٢	$\frac{1}{6}$	٧٥	٣
ع غ	غ غ	٧٥	٩
ع غ	غ غ	٧٥	١١
س ص	س ض	٨١	٦
ك ص	ك ض	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ض	٩٨	١٥
و ح ح	و ح ح	٩٨	١٧
اذا انزلنا	اذا انزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيقه	سطر
اي المنجنيق	اي المنجنون (وهكذا كلما جاء في هذا	١٠٣	١٢
	الجزء منجنيق فصوابه منجنون)		
بالنظرت	بالنظريات	١٠٣	١٨
ث ص ز صه	ث ص ز صه	١٠٨	٥
اسه	اصه	١٠٩	١٤
فص	فض	١٣٥	١٦
وغم	وغم	١٣٨	١٦
فتكون م التي هي كية	فتكون كية تحركم	١٤٢	٢
التحرك			
من نقطة ل	من نقطة د	١٦٤	٢١
على لسان	على جالة	١٦٦	٢٠ و ١٩
لقوة س	لقوة سه	١٧١	٢١
وهور	وهول	١٧٤	٩
ل	ل	١٧٤	١٨
س ل	س ل	١٧٤	١٩
خ	خ	١٧٨	٢
خ	خ	١٨٤	٤
ل	ل	١٨٥	٩
(ث)	(ث)	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من ثقل	من مركز ثقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠



(بيان ميكانيك الحرف والصنائع والفنون المستظرفة)

* (الدرس الاول) *

(في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية على العموم)

اعلم ان خواص الاجسام المادية قابلة للقياس وبقياسها يحدث في علم الحساب طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتنوعة من كل خاصية

ثم ان البحث عن طرق تحصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم الطبيعة الاصلية وكما ظهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب الجديدة التي تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن اكتسابها بدون العلم المذكور

لنقتصر الآن على معرفة الاقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا واما الاقيسة
لاصلية التي لا فائدة لها الا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فنون فسنبينها
مرتبة عند الكلام على المواد الاصلية المتعلقة بها

*(بيان الاقيسة الهندسية) *

طلق الاقيسة الهندسية على اقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح
والججوم وتستعمل تلك الاقيسة في علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات
لمشغولة والمقطوعة بالنقط والخطوط والسطوح والاجسام

*(بيان اقيسة الطول) *

تفقوا على انه يمكن اخذ جزء من خط مستقيم كثيرا لامتداد او قليلا وجعله
وحدة للطول وانه يمكن ايضا تغيير هذه الوحدة على حسب الازمعة والامكنة
والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى الفرنسية والبنسالية والايطالين
والانكليز واغلب الملل يستعملون لقياس اطوال وحدة مختلفة بل ترى
في الغالب الامة الواحدة تستعمل في آفاقها المتسعة اقيسة للطول غير متماثلة
بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به
مخاطرة الاهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الاحاد
المتضادة المعدة لقياس الاشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فاذا اردنا عمل
ما يلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم
تحويل الارقام لاجل معرفة المقدار الحقيقي للابعاده والاسعار .

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن وجهه في وسائط
التحويل المذكور ونقص بين يغش به من ليس معه زمن كاف او لا قدرة له
على فهم مثل تلك الحسابات المشككة التي لم تزل آخذة في الزيادة فاذا نجب
على كل مملكة أن لا تستعمل في جميع اراضيها الانوعا واحدا من الاقيسة

واذا امعنت النظر رأيت ايضا انه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الامة المتقدمة نظرا
لمخاطتهم الاهلية

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسترا

والرابعة تساوى ملمترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرانسا وسككها
وفي الاشغال الهينة الانوعا واحدا من ابتداء ملمتر بسيط الى الدورة الكاملة
من الارض كما سبق موضحا في الدرس الثالث من الهندسة الذى تكلمنا فيه
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار
في كثير من عمليات الملاحة و الطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا
الممزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجديدة هى سهولة جميع عمليات الحساب
على ممارسها اذ بها يمكن ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر او من
الاكثومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالاتحاد والعشرات والمئات
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء الماخوذة من اللغة اليونانية تشوش الذهن
ويعسر حفظها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة
الذهن منها وترك التلفظ بها والاتيان بدلها بعشرات المتر ومئاته وهلم جرا
لان ذلك لا يغير شيئا من الطريقة السابقة

ثم ان كسور المتر وهى الديسترا والستترا والملمتر الخ تكتب كالكسور
الاعشارية على عين الامتار وتجرى عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد

الصحيحة (الا انه يوضع بينها وبين الصحيحة شرطة تفصلها عنها مثلا $٤ \text{ ر } ٥$
يعنى خمسة امتار واربعة اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يراوا

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخالي عن الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الحيرة والسآمة وهو مع ذلك عرضة للوقوع في الخطا فان التواز الذي قدره ستة اقدام والقدم الذي قدره اثنا عشر قيراطا والقيراط الذي قدره اثنا عشر خطا والخط الذي قدره اثنا عشر نقطة يتكوّن منها تقسيمات ثانوية لا تطابق بالكلية ترتيب اعداد الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالجزء الضلعية تستدعي عمليات صعبة يفزع منها الاطفال لصعوبتها وكانت تستغرق في تعليمها عدة سنوات لتكاسل مدرسيها بخلافها الآن فانه يمكن تعليمها للاطفال من ابتداء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها على الاقيسة الجديدة

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سنذكرها وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب ان تنشر وتستعمل عند جميع الامم او عند الامة الفرنسية خاصة لما انهم اعتبرها كالاتار الملية الان الاوهام الفاسدة وما يعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدة مديدة ثم ان المتر اصل لما عدها من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والججوم والاتقال وغير ذلك

* (بيان اقيسة السطوح) *

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع والآن ر هو المربع الذي طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كتابة عن عشرة صفوف مربعة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع (كما هو مقرر في الدرس الرابع من الهندسة)
والآن كآر هو المربع الذي طوله عشرة ارات وعرضه كذلك فهو عبارة عن عشرة صفوف مربعة من عشرة ارات مربعة او مائة آر مربع ويستعمله الفرنسيون بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الارعوضا عن القصبية القديمة

* (بيان اقيسة الانساع) *

المتر المكعب المسمى بالاستير هو وحدة الجيوم والانساع
فالمكعب الذي يبلغ دستيرا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دستير مكعب
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والفنون الميكانيكية صنعوا اوانى يبلغ داخلها
دستيرا مكعبا وسموها لترا واستعملوها فى قياس المواعع والجوامد من
حبوب وتراب وغيرهما

واما الاكتولتر فهو وعاء اكبر من اللتر مائة مرة او يحتوى على
مائة لتر * والاكتومتر هو قياس مائة متر
وبالنظر الى الكميات الصغيرة يتقسم اللتر الى عشرة دسلترات او الى مائة
سنتلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دستترات او مائة
سنتتر او الف مللتر

ثم ان ما يوجد من المشابهة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة
واسماها مقبول وملائم لما يقتضيه العقل و به يسهل على كل انسان تذكر هذه
الاسماء بدلولاتها

ولما منع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بناها قريبا بالاقيسة الهندسية حيث
انها تكفى فى قياس جميع ما تبحث عنه الهندسة المحضة غيرانه يلزم ان يضم اليها
اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والفنون الميكانيكية

* (بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاتقال) *

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزه فلولا المانع لتقربت منه
بان تسقط عليه ثمان النقل هو القوة الكلية التى يعميل بها الجسم الساكن الى
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتهم التى يميلان بها الى السقوط
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن مماثلة ثقل الاجسام وتقويمه بواسطة الات التى سياقنا يانها وبواسطة
ثلاث الات يعرف هل الجسمين ثقل واحد ام لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي ينسب اليه ثقل جميع الاجسام
والديكغرام هو ١٠ غرامات
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ الممغرام
والمرباغرام هو ١٠٠٠٠ غرام

وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقيسة
العظيمة كالمترو واللترو وغيرهما فان كلا منهما مركب

ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها مماثل لثقل الاشياء
التي يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المترى هو ١٠٠ كيلوغرام
وما يعرف عند الملاحين بالتنو (اي البرميل) هو ١٥٠٠ كيلوغرام
واما الغرام وتسمياته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد
الصياغة والكيميا والاجزائه وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات
ومائة سنتغرام واللف ملغرام

ولاجل تطبيق صبح الاتصال على اقيسة الابعاد جعلوا مقدار الكيلوغرام
ثقل دسجتر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الآتية الى كثافتها العظمى
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق

فعلى ذلك اذا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع

الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة

والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو النقود

فوحدة النقود هي الفرنك وهو يتقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسجا والى
مائة جزء تسمى شنتيما والى الف جزء تسمى ملزيميا وكل خمسة فرنكات
تساوي ريبالا فرنساويا يسمى شنكو وكل ثقل اربعين من الشنكو يساوي
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة

* (بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود) *

كمان النقود تسد مسد المقادير كذلك تسد مسد قياس القوى المستعملة
في اشغال الفنون

وقد قال المهندس موتغولفيير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة
المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل
اي شئ كان

مثال ذلك رجل له درجته ما من القوة واستعملها في نقل اي ثقل الى مسافة
تباغ مترا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد و آخر اقوى منه واشتغل قبله
زمننا طويلا او كان اسرع منه سيرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة
بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنكان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه
القوة ضعف للمتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الا ان نالنا نقل بواسطة آلة ما كالنقل العربة الصغيرة
والجزارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي
استعملها الرجل الاقول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير نقل هذا الثقل مرة
واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة
ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول
الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي
أن يصرف احدهما قوة تكون اكبر من القوة التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس موتغولفيير يلزم أن تكون اجرة الرجلين
المتقدمين واحدة حيث انهما احدهما عين النتيجة المتقدمة وأتيا من القوة
مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع
الحركات والانتقالات واشغال الفنون بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة
لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يتحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدوية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصلى من ميكانيكا الفنون حلها
ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الاتقال
التي بها تقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها
وانما لم اتعرض الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفى اياهما لا يتضح به
ما يتصوره كل انسان

وتستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمنة متساوية قياسا
للمدة غير انه ربما استحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة وان كان
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من نقط الارض الى
مستور رأسى عند انتصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسى هو المستوى
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءاً
وسموا بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية
والامور المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلمى الفلك
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف
لكون ايام السنة ليست مساوية لبعضها

فيجعل الفلكى وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم
هذه الايام الفلكية تقسيماً ثانوياً الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن
الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعلقة بالاتقال والاقيسة اختاروا لتقسيم
السنة طريقة مصر وايضا التي هي نزلة من نزل المصريين وقسموا السنة
الى اثني عشر شهراً والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة
خمس ايام على ٣٦٠ يوماً الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا
كذلك في كل اربع سنين يوماً سادساً مكملاً لا ايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المسماة بالسنة الكبيسة فكانت هذه الطريقة ارجح مما تقرر في زيج غرغوار من التقويم المخالف الغريب الناشئ من الاثني عشر شهرا التي منها ما هو ٢٨ يوما ومنها ما هو ٢٩ ومنها ما هو ٣٠ ومنها ما هو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك مخالف لقانون العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للدعة والبطالة واشهر المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة وحينئذ فليس هنالك ما يمنع تلك الطريقة الا موانع قليلة ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثني عشر شهرا المتساوية وشم موانع كثيرة منعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخرى من مجموع الانتقال والاقيسة ولاجل جعل الموانع التي تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال الحسابات يلزم ان نبين خطاء المدبرين الذين يحملون الناس على اختيار الطريقة المذكورة بمحض القوة والا كراه فتقول انهم كانوا دائما يخشون ان تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لا ثبات لها فبادروا قبل كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع السهولة ومن العمليات الاولية تجديد سبك جميع النقود التي وحدتها الفرنك الطوري القديم واما النقود الجديدة فوحدتها الفرنك الجديد وقد مكثوا اكثر من خمس عشرة سنة في تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطوا عموم استعمالها قبل ان يجتدوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك صار التجار الذين الجأهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب المستترين فانهم يريدون ذراعا من الجوخ مثلا لامترا ورطلين من خبز لا كيلو غراما وزقامن خمر لا لترًا فهذا ما كانوا يفعلونه غالباً لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة اولاً لاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان

وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معلومة عند اغلب اهلها الى مملكة فرنسا ومعها ولاها

وصار اهلها الى مدينتي باريس ونيورنيس يستعملون الآن في قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة الثقالين والتجار

واما مقدار اللتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياساً للموائع

ومع ذلك فهناك بعض استثناءات مضرة من اقيسة السعة وهي المكييل يرجى زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والاهام الفاسدة ناسب أن نبين بعض صعوبات اخرى لاتعلق لها بآراء الناس وانما هي ناشئة من طبيعة الاشياء فيستنبط من ذلك البيان بعض معارف في الطرق التي يتم بها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها فتقول

مما يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادئ الاختراع اكثر من نفعها واهي الصعوبات المذكورة

وهي ان جميع الاشياء المستعملة في الفنون وعند الناس كالات الكبيرة والصغيرة ومواد النجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التي عدتها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاتقال والحجوم حتى ان الحافظة وعت شيئاً فشيئاً الاعداد الدالة على الحجوم والاتقال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا تقتبس معارفه من انوار العلوم كان علمه مقصوراً على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة له صارت معرفته العددية مفقودة بالكلية واذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياح زمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة المحامي الفصيح مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة المستعملة عندنا بل اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن نتبع ما يبدو لنا فيها من التصورات المتعاقبة ولا تخيلها وتقابل بينها زماناً طويلاً بدون أن نراجع لغتنا الاصلية مع الادراك والتعقل ولا شك ان هذه المحوطة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس وبالجملة فانه يوجد من ذلك عمليات تتعلق بقولنا وذلك اننا اذا استعملنا وحدة القياس مراراً فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهاننا بمعنى اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقي ونعرف كيفية تطبيقه على الاشياء التي تصور صورتها فاكساب هذه المعرفة حينئذ من اعظم التقدّمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسياً ويتعود على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

وما هو واقع الآن انك اذا الزمت من يعرف اى نوع من الاقيسة بتغيير آحاد قياسه فان كان من الناس المعتادين اى كبقية الرجال الذين لم يخرجوا عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم ظن انه يساوى طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطاً واعتقد صحة هذا الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحدة ولا يعرف كيفية تطبيقه على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتسمياته الثانوية الا اذا عرف من اقدام مثلاً ما يبلغه البعد الذى يظن انه مناسب لشيء من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه اقدام من الامتار ولا يخفى ما في ذلك من المشقة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من له قريحة جيدة على هذا العمل مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا
وقد اسلفنا آنفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل
جميع الاشياء على نسبة أولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك
ان الانسان الذي لم يحسب مدته حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢
قيراطا و $\frac{1}{4}$ او ١٢ قيراطا و $\frac{1}{2}$ او ١٣ قيراطا فكيف يمكنه
أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعد باقل من $\frac{1}{4}$ تقريبا وحيث ان هذا
التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قديما محكما لانه اصح
جميع الاقيسة لكونه ابسطها وينتقل هذا القياس غالباً من المعلم الى المتعلم
وبتداول الايام نصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعواید
الجارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد
قديما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض
لقياسها قديما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياساً آخر غير متر واحد منقسم
الى ثلاثة آحاد زائد احدى عشر من مائة واربعة واربعين من القديم وما تبين
وسنة وتسعين من الف من مائة واربعة واربعين مئة اى من القديم المذكور
وبناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب
قياسها مثلاً لاصح أن يكون القياس المقروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا
محولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لي من العمليات المكتسبة من النظريات
يكون ثلاثة دستمرات او ثلاثة دستمرات ونصفاً او نحو ذلك يظن ان قواعد قديمه
تغيرت بالكلية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة من بين مقادير الاشياء

بهذه الأقيسة وأضاف إليها نفس تلك المقادير بالأقيسة القديمة وحيث ان هذه الأقيسة القديمة مستعملة كثيراً عند معظم القراء نتج من ذلك ان المتولعين بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل التعب لا يميلون الا الى الأقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لنا سبب آخر جدير بالذكر هنا وحاصله انه حيث لم يكن ادراك الحافظة الا مجرد تخيل لزم ضبط المقادير المذكورة في اللغة المستعملة عندنا بكثرة وجاهل هذا السبب رأينا كثيراً من الناس من يعتقدان ضبط الأقيسة الجديدة أصعب من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل اتفقت كلمتهم على تأييد هذا التخيل وكما كانت المقادير مبينة بأعداد بسيطة او صحيحة من الأقيسة القديمة نشأ من الأقيسة الجديدة التي تكاد تكون صماء مع الأقيسة الأخرى القديمة أعداد صعبة وربما كانت المقابلة التي يلجأ إليها القارئ بين هذه المقادير المتقاربة من بعضها معضدة لانفع الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الأقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم لم يرالوا في الغالب يقتدون بسلفهم من المؤلفين في كونهم يعملون جميع العمليات الاصلية على مقتضى الأقيسة القديمة فنشأ عن ذلك انهم عوضاً عن أن يحصل معهم من الأقيسة الجديدة أعداد صحيحة لم يحصل معهم الا كسور وصلوها الى درجات تقريبية لاجدوى لها لكونهم تجاوزوا حد الصحة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الأقيسة الجديدة عمل جداول جديدة تكون صحيحة الأعداد على مقتضى الأقيسة المذكورة لانه يحدث عنها المعلومات والحوصل الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة فاذن تكون منافع اختيار الطريقة الجديدة كثيرة ومضارها قليلة يمكن ازالها في قليل من الزمن

وينبغي أن نتمرح هذه التصورات شرحاً موضحاً فنقول

اذ كان هنالك متبصرة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تركب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كليا وقل من هذه الفنون ما لا يستمد من غيره آلات ومواد أولية بل منها الغرض الاصلى منه كفاية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل سائر المقادير وسائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها وتعملها ثانيا على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائع لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقيسة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ دسمترات من العرض وبالجملة فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس اد في تفاصيل تلك الفنون ويعانيها مع التؤدة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا مزيد عليه ومنفعته تفوق روثقه لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وتحصيل الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثلة صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مخنارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقيا في اشغال المصالح العامة لان المنوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر لصناعتهم لهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة كانوا بالضرورة هم الذين يخترعون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولنبحث فيما نحن بصدده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جملة عظيمة من الحسابات وتحقيقتها استحسنوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليبادروا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فجددوا

جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدما بطياً بالكيفية فانه ظهر مع المشقة بعد اربع سنونات جدول ابعاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تصحى كتنطويل العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك بخلاف التكعيبات المترية لظهور سهولتها فالأخشاب الواردة لاتقاس الا بالاقيسة الجديدة في مينات الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على فن عمارة السفن بذل الهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوائم تتضمن مصاريف السفن والفرايط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم في جميع الفنون البحرية وهي التي تكون محصولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصواري والحبال والبكر والشراعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في المينات الفرنسية زمنا طويلا ثم قسموه تقسيما ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك الاقدام وهذه الاقيسة ذات الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقيسة مثني على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة

ولكن بلاصارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كبير مونت لوثير وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندس سخانة الفرنسية حصل في ذلك تغيير عظيم وذلك انه صدر عنه امر بانه من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل الاقيسة القديمة في مينات فرانس ولا ترستانتاها ولا في القبائل وحكم بابطال الاقيسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذه المنافع البطيئة المحققة الناشئة عن المدارس العظيمة التي يكسب منها الشبان معارف متسعة متينة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على ممر السنين حتى يكون فيهم استعداد للحكم بعد تقيم
 دروسهم بهذه المثابة ويحصل بهم نفع لم يكن يعرف قبل ذلك
 ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية اقوى من تأثيرها
 في غيره وذلك ان الاصل الذي يعلق به ماعداه من الاصول في فن الطوبجية
 هو ثقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجنساناتها وذخيرتها وعرباتها
 فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان اتقال الكل المبنية باعداد
 صحيحة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة
 الجديدة وعليه فما تسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص
 فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلوغراما لان ذلك
 من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلوغراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا
 أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلوغراما لان ذلك من قبيل الخطأ
 ايضا فان ١١ كيلوغراما اصغر من ٢٤ رطلا فافا سميت بمدافع
 عيارها ١١ او ١٢ كيلوغراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه
 فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب اتقال الكلة
 فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لا خفاء فيها زمن المعلوم ان صناعة
 المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تمنع من زيادة ثقل الكلل فر بما تجاوز
 هذا الثقل عدد الارطال المبين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المبين
 لعيار ابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات

ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال
 ما يحصل فيه قابلية لأن يحدث فيه تغيير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية
 الفرجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة
 في الاقيسة القديمة التي صككت آلتها اذ ذلك غير معروفة في المصالح
 لاتساع الاتقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لا تصنع معامل
 جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلوغرامات او ٦ او ٨ الخ
 عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه في امر ع وقت كثيرة عدد المدافع الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعناء بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف ولا يبدل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقية التي هي نتيجة هذا الابتداء فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي ضرورة نقل بعض المدافع غيرانه عند نقل المدافع القديمة من الحصون المأمونة الى الحصون المحفوفة او الايات العساكر المتقلة وكذلك عند نقل مدافع المعامل الجديدة الى الخواصل والبخانات والحصون التي تكون قليلة الخطر ونقل المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحافظة بالجديدة على السواحل ثم على ججئانات الميناء العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي للحرب تغير لا يعدد غريبا الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير ممكن الآن قلنا نعم لاما نك من هذه الوسائط بعينها توصل على ممر الازمان الى نتائج واحدة ويكفي في ذلك تغيير قطر آلة ثقب المدافع تغييرا لا ثقا وما بقي يتغير بنفسه

وبالجمله فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء حصل تغييرا ولم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنخ الانتقال وليست معايير المدافع التي قدرها ٤ مارطال او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة من القرار بط كما انها لم تبن بالسنتيمتر وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت هذه العملية عظيمة اذا كان احد ضباط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة القديمة النابسة بالممارسة كالميكانيكي والمهندس ويحولها الى الاقيسة الجديدة باعداد بسيطة فان ذلك لا يخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدّمات هي نتيجة هذا المشروع التفتيس وتداول الازمان والفوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيما بعد

يترتب على صحة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبىجية
 فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها
 بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطاً
 ضرورياً وهي مجموع الفنون الرياضية تقريباً وقد كانت مستعملة قبل ذلك
 في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون
 المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئاً فشيئاً ويتداول الايام
 نزول الموانع الاخرى
 ولما فرغنا من الكلام على ما يترتب على التغيير الحاصل في مقدار الاقيسة
 من الصعوبات وجب الآن أن نشرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان
 ولنذكرها في مبادئ هذا الدرس فنقول

* (الدرس الثاني) *

في بيان ما بقى من الاقيسة وفي قوانين التحريك الاولية وتطبيقها

على الآلات

قد تقدم ما يقضى بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات
 القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والعموض بحيث لم يدركها جم غفير
 من الناس حتى قالوا فيما بينهم لم اختاروا هذه الاسماء التي لا يعلم تأويلها
 الا الجهابذة الراسخون في العلم الميكانيكي فمما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار
 الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة
 من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لكافة الناس بل لا مانع انهم كلما سلك
 الانسان في التعبير عن المكرر وقاسمه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع
 الوحدة واختصارها طريق الدقة والعموض كانت هذه الالفاظ الغير الخلية
 اسرع الى النسيان وعدم الرفوخ في الذهن فيختلط عليه دائماً هذه الالفاظ
 الكثيرة المنتهية بكلمة واحدة نحو مليتر وسنتيمتر ودسمتر ولكن من ذا الذي
 يرى لن مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات
 التي ينبغي لها الباهة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

واذا لم يندل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة
عند جميع الملل فهل ما عدانا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا ينسب اليه
هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الادلة التي لا يرجحها الاقليل من ارباب
العقول هذه الادلة وهي انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التي تركتها فكيف تميز
المقادير الميئنة اولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك
الابواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائما ولكن الكسل بعث الناس
على الاقتصار على انصاف الاسماء الواجزة الدالة على الاقيسة فانك ترى
بعض تجار الفرنج اجتنابا لتحمل المشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام
مثلا يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلكوا هذا المسلك
في الكيلولتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه
بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلنا منا مفيد لالبس فيه بحيث
لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفي حينئذ باطلاق اسم
القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلفنا فيما اوقعنا فيه
اقيسة سلفنا غالباً من الحيرة وعدم الوقوف على الحقيقة * مثال ذلك استعمالهم
لفظة غلوة التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع
فانا لاندرى بايها قدرت المسافات التي نراها في كتبهم * فهذا هو الغرض
الذي نصدينا اليه وفاء بما يجب علينا خلفنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها
في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس
عشرة كلمة فصاعدا اوليس اتناؤد المبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى نتقخر باننا
من قبيل المعجز الذي لا يبارى ولا يغلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان
سببا في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية
وادخالها في العرف الخاص والعام فن ذا الذي لا يعرف البارومتر والترموما
وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلا

وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما وديورا،
وبانوراما وچيوراما وفتنساغوري ويعرفها بمدلولاتها حق المعرفة

فأوجه صعوبتها دون متر ودستتر ونحوهما إلا أنها لا تندل إلا على الصور والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف المتر وفروعه فانها تدل دائما على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساورها وسوحها بمجرد الوقوف عليها بحيث لا يعتبرها بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن أننا نقدر انهما كلا واعتناؤنا بما لا يجدي نفعا من أمور اللهو واللعب تتكاسل عن الالتفات إلى ما لا بد منه في حاجتنا الضرورية

ولاحاجة إلى البحث عن أسماء مهملة اجنبية من الفن فهي سهلة الحفظ حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع الفرق فأن بعض من لا يعول عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف لم يزلوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلواهمل الكيمائيون من الفرنسيين واللفاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على أرباب العقاقير ومن يدعى معرفة الجراحة من جراح الأرياف وكذلك لوسلك هذا المسلك أهل النيسا وإيطاليا والآنكليز واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم لتتنوع الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة ملتبسة ببعضها لكنهم شرعوا في مشروعات محمودة حيث اضلحوا وحرروا ما لا يحصى من الألفاظ الاصطلاحية في ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وما يجب التنبية عليه زيادة على ذلك أن هؤلاء العلماء المشهورين عن ساعد الجهد والاجتهاد أخذوا في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما ينبتهم عن ذلك وعليه فيلزم تجديد علم الأقيسة بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو الغرض من كلا منا سابقا ولاحقا

وكان الكيمائيين لما اعتنوا بنايا بجميع الحوادث ليبتدوا مع الضبط نسب القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى استكشافات كثيرة جدا كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوى على سائر أنواع المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون كان ذلك أيضا واسطة

في وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حساسية لم يكن جرى فيها ذلك من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ للتقدمات المستقبلية

*(بيان قوانين التحرك الأولية) *

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الاتي فنقول (اولا) اذالم يعرض للجسم الساكن شئ يحركه فانه يستتر على سكونه لانه في هذه الحالة لا مقتضى لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا اتصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب او جب تحركه الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصلى من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاوزاعها وصورها .

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هنالك ما يمنع تحركه استتر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ازمة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق او مخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجمادى العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بحال فعلى ذلك اذا كان الجسم الجمادى متحركا فانه يستتر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد * والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة واحدة للزمن والمتر وحدة للطول يقال ان الجسم الذى يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذى يقطع مترين في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذى يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين صر بوطين في قطار واحد لجر عربته مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متحصلة من قوتين اخرين يسميان بالركبتين اولانه يتحصل منها عين النتيجة المتحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لـكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كما لو كان مندفعاً بقوة واحدة محصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهدان العربجية عند الهبوط بالسرعة يحملون الفرس من أمام العربية ويربطونه خلفها ليجرّها القهقري وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة فرس آخر يجرّها الى الإمام ناقصة قوة الفرس الذي يجرّها الى الخلف عوضاً عن أن تكون هذه القوة اعنى الحركة قوة فرسين

* (بيان التوازن) *

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفراً ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعنى بالسكون القهري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقياً على حالة واحدة ما لم يؤثر في الجسم قوة تجبره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدة قوى يضادها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوغ ضم المسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضاً عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن

اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عدد ما من القوى وحينئذ يلزم لاجل
تحصيل المحصلة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع
الى جهة الامام ثانيهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا
او يجذوبا بقوة واحدة مساوية لفاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلا عربة على محورين ثمانية افراس في قطار واحد فتى كانت جميع
هذه الافراس مربوطة كلها اجهة الامام فان العربة تكون محرورة بقوة فرس
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العريبي ثلاثة من هذه
الافراس مثلا وربطها خلف العربة لتجربها القهقري فان التحرك الكلي
يكون اولاً عين ما اذا كان هناك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانياً يكون مساويا ايضا
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لفاضل الافراس الخمسة
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية)

ومما ينبغي حفظه والاهتمام به قاعدة ثالثة وهي اذا لزم قوة ما لتحرك جسم
بسرعة ما اعنى لنقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم فنصف هذه القوة
لا ينقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة
وثلاثها لا يتقله الا الى ثلثها وبعها لا يتقله الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب
واحد

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالفرض فان
ضعف القوة ينقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال
هذه القوة تنقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعه امثالها تنقله الى اربعة امثالها
وهلم جراً

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير مجسم الجسم نشأ عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة الى ثلاثة امثالها وربعه الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان المجسمات الكبيرة اصعب في التحرك من المجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبها مضبوطا بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في تحركه ل واحد مناسبة للجسم دائما
وحينئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانزسي (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانزسي المذكور في غاية الظهور عند مقابلة الجهود التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وجبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد ان يحركوا بقراط واحد حملاتقيلا او قطعة من الرخام مثلا
ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان يحصل من القوة نتيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة تبماها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما ينقل بسرعة مضعفة فاذن يكون الجزآن المذكوران منقولين في زمن واحد كلي فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث ينقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حينئذ ان هنالك عشرين حجلا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة متساوية فاذا وصلت هذه الاجمال
ببعضها مثني وتقلت بقوى متصلة ببعضها مثني ايضا فانه يحدث للنقل ١٠
طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة
واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجمال ببعضها
ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اربع اى اربعة اربعة وتقلت بالقوى المتصلة ببعضها
ثلاث اربع ايضا

فذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكي) نقل الثقل الكلى
المذكور في عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون
اجمالها تحمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى
منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو
سبب كون النقالين يدفعون اجرة معينة بالكيلوغرام في نظير النقل سواء كان
الجمالين قليلا او كثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التي يلزم استعمالها
في النقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب
في ان النقالين كانوا يدفعون للعربية اجرة واحدة على حسب تقويم
الكيلوغرام سواء كان العربية يستعملون في ذلك عربات بفرس واحد
او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربية مناسب
للقوة الكلية للخيول المربوبة في العربية

ولاجل تحصيل تصرف القوى التي يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة
معلومة يلزم تقويم هذا التصرف أولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا
بموجب السرعة المعتدة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم
دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذا كان كيلوغرام
واحد يقطع المسافة الماخوذة واحدة في ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١
واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة
المسافة في ساعة واحدة فانها تؤدي كمية التحرك المبنية مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ
 واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع
 المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدي كمية التحرك المبينة مرتين باعداد
 ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام
 وانما اكثر هنا من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضا اصلها التعريفات
 التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان
 ولتسكلم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق
 تعريفها قريبا ونذكرها على وجه اجمالي فنقول
 كل جسم ساكن يبقى على حاله ما لم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى
 متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة
 وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته
 متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانتظامه وهذا التحرك
 هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق
 والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام
 وزمن قطعها

فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المضعفة ثلثي وثلث وربع تكون
 كالمسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب
 تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطرداً
 واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكما كان زمن قطعها كبيرا كانت
 السرعة صغيرة وحينئذ تكون نسبتها من عكسة انعكاسا كليا بمعنى انه اذا كان
 الزمن مضعفا ثلثي وثلث وربع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث
 او الربع وهكذا

واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة للزمن تناسبا
 مطردا بمعنى انها تزيد وتقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم الجسم مضروبا في السرعة
 واذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فمن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم
 تكون باقول دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد
 ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات
 والمقاومات فتتبع دوام تحرك تلك الاجسام
 فاذا تحرك الجسم تحركا متساويا نجد ان هذا التحرك يتقص بالتدريج ويؤول
 امره الى الانعدام

مثلا اذا لعب اناس بالكرة فلولا احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكانت
 هذه الكرة بمجرد طرحها على مستواقي تتدحرج بدون أن تنقص سرعتها
 لكن لا يخفى أن هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت
 في الصقالة ما بلغت وتندم في اسرع وقت
 وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للفنون أن يضاف في كل وقت
 الى قوة الاجسام المتحركة قوى جليدية

مثلا اذا كان المطلوب نقل احمال في الطرق فلا يمكن في ذلك أن تحرك
 هذه الاجسام مطلقا بحرك بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات في كل وقت
 وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس والحيوانات المعدة لجزء تلك الاحمال
 وتكون كمية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بداهة للقوى

المعدومة في الوقت المذكور وينبغي أن نعتبر أن مجموع ازيد القوى المستعملة
 في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات
 فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة ز منا معلوما فمجموع القوى
 المستعملة في هذا الزمن يكون دالا على مجموع القوى المعدومة
 ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر
 فاذا كان التحرك منتظما من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيله
 في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسباً مطرداً
 ولنبيه حيثند على الفاضل الغائب الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

وجودها في الفراغ بدون نوع تام من الاحتكاك والحاصل من جهة اخرى
 بين التحركات الحادثة منا على الارض فنقول اذا اردنا معرفة مسافة سير
 الكواكب السيارة اودوات المذنب او اى جرم في السماء وكان هذا التحرك حاصل
 بنفسه فانه يكفي اخذ زنة هذه الكواكب السيارة اودوات المذنب او الجرم
 المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة
 واحدة في اى مسافة للنقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار
 النقل المذكور الا انه في الارض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الاول
 على الارض مجموع آخريد على القوى المددومة في كل وقت فاذا اخذ
 هذا المجموع الاخير في الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الاول حتى يمكن
 اهماله وحينئذ يقال كما يقول متههدو النقل ان اجرة النقل تكون مناسبة
 للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه الملاحظات خاصة
 بالنقل بل تعمه هو واغلب ما يعرض للالات من التحركات الناشئة عن القوى
 المتنوعة وسياتى لك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب
 عند الكلام على استعمال القوى المحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحرك دفعة
 واحدة لجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة يتجدد تأثيرها في خلال الازمنة
 المتساوية .

ولنرمز بحرف $هـ$ الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف $و$ الى سرعة
 هذا الجسم وبحرف $ط$ الى الزمن المعدل لقطع مسافة $هـ$ بسرطة $و$
 وفي مبدء وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها بسرعة الجسم
 منى فيقطع في مسافة زمن $ط$ الثاني مسافة تساوى $٢ هـ$
 وفي مبدء وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا
 سرعة الجسم ثلاث فيقطع في مسافة زمن $ط$ الثالث مسافة تساوى $٣ هـ$
 وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن ط الثاني زمن ط الثالث زمن ط الرابع زمن ط الميبي
 سرعة مكسبة ٢ ن سرعة مكسبة ٣ ن سرعة مكسبة ٤ ن سرعة مكسبة م ن
 مسافة مقطوعة ٢ هـ مسافة مقطوعة ٣ هـ مسافة مقطوعة ٤ هـ مسافة مقطوعة م هـ

فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط
 تساوي بالبداية

$$\overline{هـ} + \overline{٢ هـ} + \overline{٣ هـ} + \overline{٤ هـ} + \dots + \overline{م هـ}$$

ولامانع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الحواصل
 المنسوبة للقوى فنقول

ليكن (شكل ١) . مستقيم وس الرأسي مقسوما الى مسافات

متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وص
 الانفي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة

هـ المقطوعة مدة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيمتين
 اقية ورأسية حدث عن ذلك سلام طول كل واحدة منها مسافات هـ
 و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ المقطوعة في مدة الازمنة المتوالية
 المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

$$\overline{وا} \times \overline{هـ} \text{ و } \overline{اب} \times \overline{٢ هـ} \text{ و } \overline{بث} \times \overline{٣ هـ} \text{ و } \overline{ثد} \times \overline{٤ هـ} \text{ الخ}$$

لكن حيث كان $\overline{وا} = \overline{اب} = \overline{بث} = \overline{ثد}$ فاذا فرضنا
 عرض جميع الدرج مساويا للوحدة يكون سطح الدرج
 بالاختصار

$$\overline{هـ} \text{ و } \overline{٢ هـ} \text{ و } \overline{٣ هـ} \text{ و } \overline{٤ هـ} \text{ الخ}$$

وسطح السلام الكلي يدل على المسافة الكمية المقطوعة بالجسم
 ولنفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضعف عدد دفعاتها

في زمن معلوم

وبحفظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلام الجديدة (شكل ٢) التي تدل على هذا التحرك ابلديد الانصف العرض وتصير ضعف السلام المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف الزيادة الاصلية غيران هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اوربعه (شكل ٣) اوخسه الخ لكن بتجديد دفعاتها ثلاث مرات اواربعا اوخسا الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا تتجدد الدفعات المذكورة الامرة واحدة وحينئذ تكون التحركات مبنية بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اوربعه اوخسه الخ ولا يكون ازدياد طولها الاثلث الازدياد الاصلى اوربعه اوخسه الخ

فاذا مددنا مستقيم وز من رأس السلام الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١١ ٢ ب ٣ ج ٤ د الخ التي تحددا سفلى درجات السلام وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

$$\begin{array}{c} \overline{\text{ط}} \quad \text{و} \quad \overline{\text{٢ ط}} \quad \text{و} \quad \overline{\text{٣ ط}} \quad \text{و} \quad \overline{\text{٤ ط}} \quad \text{الخ} \\ \overline{\text{ا}} \quad \text{و} \quad \overline{\text{ب ب}} \quad \text{و} \quad \overline{\text{ث ج}} \quad \text{و} \quad \overline{\text{د د}} \quad \text{الخ} \end{array}$$

ثم ان نسبة اضلاع $\overline{\text{وا}}$ اذن لا تتغير متى اخذنا نصف ضلع $\overline{\text{وا}}$ = $\overline{\text{ط}}$ ونصف ضلع $\overline{\text{اه}}$ = $\overline{\text{ه}}$ وثالث $\overline{\text{وا}}$ وثالث $\overline{\text{اه}}$ وربع $\overline{\text{وا}}$ وربع $\overline{\text{اه}}$ لا اجل عمل سلام (شكل ٢) (وشكل ٣)

الدالين على التحركات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه $\overline{\text{وا}}$ و $\overline{\text{ب ب}}$ و $\overline{\text{ج ج}}$ و $\overline{\text{د د}}$ متى فرض ان تقاص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم

فاذا تكاثرت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة واقتضى الحال انقسام $\overline{\text{وا}}$ = $\overline{\text{ط}}$ و $\overline{\text{اه}}$ = $\overline{\text{ه}}$ الى اجزاء منساوية دقيقة جدا فان وجهة سلام ١١ و ٢ ب و ٣ ج و ٤ د الخ

(شكل ١) تكون مستقيما واحدا كاستقيم وز بحسب النظر (شكل ٤)
 وحيث كان سطح سلام و ا ا ب الخ زس دالا على المسافة
 الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المبين بخط وس يكون في هذه الحالة
 سطحا مثلث وسز (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجموع هنا وحدة)
 فان اطوال درجات ا ا و ب ب و ث ج تكون دالة
 على السرعة المتعددة المكتسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من ا ط
و ا ط و ا ط الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان
 القوة المحوولة الى $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{5}$ الخ
 تؤثر في الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوة الاصلية
 فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد الدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييزها
 بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم وز (شكل ٤)
 و (شكل ٥) يدل كما ذكر على السرعة المكتسبة متى دل وس على الازمنة
 الماضية و سطح السلام الذي يكون حينئذ سطح مثلث وسز يدل على
 المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكتسبة مبينة بطول
سز وكذلك المسافة المقطوعة تكون مبينة بـ سطح وسز وذلك
 عقب الزمن الرموز اليه بخط وس

فاذا رمزنا بحرف ط و ط الى الزمنين المبيين بخطي اوس
 و وس (شكل ٥) ورمزنا بحرفي ق و ق الى سرعتين
 المبينتين بخطي سز و سز ثم بحرفي ه و ه الى المسافتين
 المبينتين بـ سطح وسز و وسز فانه يحدث عن ذلك

$$\begin{array}{l} \text{وس} : \text{وس} :: \text{سز} : \text{سز} \\ \text{او ط} : \text{ط} :: \text{ق} : \text{ق} \end{array}$$

وحيث تكون في التحرك المعبر عندنا سرعتا $ق$ و $ق$ المكتسبتان

عقب زمني $ط$ و $ط$ مناسبتين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح $وسز$: سطح $وسز$:: $وسه$: $وسه$

او $ه$: $ه$:: $ط$: $ط$

فاذن تكون المسافات مناسبة لربعات الازمنة المعدة لقطعها

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة $١ط$ و $٢ط$ و $٣ط$ و $٤ط$ و $٥ط$ و $٦ط$ الخ

فان المسافات المقطوعة تكون $١ه$ و $٤ه$ و $٩ه$ و $١٦ه$ و $٢٥ه$ و $٣٦ه$ الخ

وحيث كان في مثلئ $وسز$ و $وسز$ المتشابهين

سطح $وسز$: سطح $وسز$:: $سز$: $سز$

او $ه$: $ه$:: $ق$: $ق$

فالمسافات المقطوعة في ازمئة معلومة تكون حيثئذ مناسبة لربعات السرعة

المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازمئة $١ط$ و $٢ط$ و $٣ط$ و $٤ط$ و $٥ط$ و $٦ط$ الخ

تكون السرعة المكتسبة $١ق$ و $٢ق$ و $٣ق$ و $٤ق$ و $٥ق$ و $٦ق$ الخ

والمسافات المقطوعة $١ه$ و $٤ه$ و $٩ه$ و $١٦ه$ و $٢٥ه$ و $٣٦ه$ الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن $ط$ المين بخط $وس$ (شكل ٥)

بطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة $ق$ الثابتة

المبينة بخط $سز$ وحيثئذ تكون الخطوط الاقضية المتساوية وهى $سز$

$= سز = سز$ دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث $وسز$ يدل على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن $ط$

بعدة قوى دافعة صغيرة جدا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل $سز زس$ الذى هو ضعف مثلث $وسز$ يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مندة زمن ثان مر موزله بحرف ط بسرعة
 ثابتة مكتسبة عقب زمن ط الأول
 وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة
 بين ازمئة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة
 زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط
 لولم تجدد القوة المذكورة دفعاتها

(* بيان التناقل *)

قد دات الطبيعة على مثال عظيم متعلق بالتكرار المستمر الحاصل من القوة
 الدافعة الثابتة وهي ان لجميع الاجسام انجذابا وميلا الى مركز الارض فتكون
 القوة المذكورة محسوسة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب نقله وتكون قوة
 التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وقتا بعد آخر
 بتأثير مستمر واحد

وعليه فجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التي تتجدد دفعاتها كل وقت
 توافق ايضا قوة التناقل

وحينئذ اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات
 (اولا) ان السرعة المتكررة المكتسبة تكون مناسبة للازمئة المعدة
 لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة
 لمربعات الازمئة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة
 المتكررة المكتسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التي
 اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها
 وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفي اى مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية 90.43975 ر 4 فلا مانع حينئذ من ان سرعته
المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الانتظام

بمعنى انها تكون مساوية 80.8795 ر 9 في الثانية الواحدة
وفي عقب 10 نوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون
معارض مساوية 100 مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة
اي انها تساوي 43975 ر 490 وتساوي ايضا في الدقيقة الواحدة

$17650, 831$

ولا بد للاجسام الساقطة من شئ عظيم نصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك
لمقاومة الهواء لها (كما سيأتى في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

* (تطبيق) *

اذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدًا واستعملت اجسام كبيرة جدًا
فانه يمكن بواسطة الآلة الحسائية الدالة على اخماس الثانية الواحدة قياس عمق
البئر وارتفاع الحائط والقبة ونحو ذلك قياسات تقريبيا مستعملا فاذا خلى
الجسم ونفسه للوقوع وعدت الثواني وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور

هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في 90.4 ر 4 الخ ويكون حاصل
ذلك هو المسافة المقطوعة

ولنذبه على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة
او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة
قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من البندولات مثال شهير في شأن
الارتباط الحاصل بين العلمين المذكورين اللذين جمعت قواعدهما وتماجهما
لتتضح بها سبل الصناعة وتسهل من اولتها

فاذا عرفت ما ذكره لك في شأن تأثير ايدى الاهوان وآلات الدق وضرب

النقود والمطارق ونحو ذلك اتضح لك انهم توصلوا بواسطة الفنون الى تطبيق قوانين سقوط الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا وان معرفة هذه القوانين مما لا بد منه

ولنفرض انه حين شروع التناقل في اندفاعاته المتكررة كل وقت يكسب الجسم سرعة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التناقل فحيث كانت ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التناقل المذكور وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها وتسير مع العجلة في كل وقت اسم القوة المعجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة التناقل فان هذا التناقل ينقص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة البطيئة

مثلا اذا اطلقنا طبنجة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المعجلة

واذا اطلقنا طبنجة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحترقها يعطل في كل وقت بما يحدث عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد فتمكث هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم تهبط بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة معجلة

وفي هذا التحرك الجديد تزيد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة
وتكون معصوبة دائما بسرعتها المكتسبة اذا وصلت الى ارتفاع واحد
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيكافائدة وسيأتى لك
مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المعدومة بالرصاص الصاعدة مناسبة للزمن الماضى منذ اطلاقها
وتقصان المسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة مناسبة لمربع هذا الزمن

والسرعة المكتسبة بالرصاص الهابطة مناسبة للزمن الماضى منذ شروعها
في الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة بواسطة التثاقل مناسبة
لمربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التى لا تؤثر في الجسم الامرة واحدة
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الناتجة المتعددة

وتطلق القوى النشاطية على القوى المجتلة اوالمعطلة التى يكون قياسها معلوما
من مربع السرعة المكتسبة المتعددة

واى وضع وجد فيه الجسم مدفوعا بى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط
اكتسب سرعة v المناسبة لزمن ط المذكور وعليه اذا كان م رمزا

لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى $m \times v^2$ وهذه
الكمية هى مقدار القوة النشاطية من م

فاذا اوقفنا جسما ليكتسب قوة يمكن استعمالها فيما بعد في اشغال الصناعة
فانه يستدل على كمية القوى التى يجمعها بضرب مجسمه في سرعته المكتسبة
وذلك في عقب

$$1, 2, 3, 4 \dots \text{ الخ من الثواني}$$

$$1, 4, 9, 16 \dots \text{ الخ م} \times 808795, 9$$

فاذا اخذت هذه المقادير من الشمال الى اليمين ادت للجسم الهابط القوة النشاطية

المتزايدة واذا اخذتها من اليمين الى الشمال اذت للجسم الصاعد القوة النشطة
المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى
المذكورة صاعدة اوهابطة

وحينئذ اذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكنسبة من ابتداء
نقطة A الى نقطة B او حذف هذا الجسم من اسفل الى اعلى بالقوة
المذكورة فانه يرتفع من B الى A قبل أن تبطل قوة التناقل المعطلة
جميع ما تحصل منها في مبداء الامر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم انه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكنسبة بالجسم الهابط
ليصعد بها اعلى من نقطة مبداء سيره ولا من القوة المعدومة بالجسم الصاعد
لتزداد قوته بواسطة سقوطه اذا اقتضى الحال رجوعه الى نقطة مبداء سيره

وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك اذا تفطن اليها العقل حاد بها عن الوقوع
في الاختلاطات والتراكيب الفاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة
بالتحرك الدائم

فاذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تأثير الهواء كان هذا التأثير قوة
دافعة له تتجدد دائما حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور
لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة اكبر من الاولى حصل له من الهواء
دفعة غير قوية وعليه ففي هذه الحالة لا تكون القوة المجملية ثابتة وكذلك
لا تكون القوانين المحكمة المنظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات
المقطوعة اسهل من القوانين التي ذكرناها وينا تطبيقها على التناقل

(وسياتى ان قوة التناقل لا تكون ثابتة على ابعاد متبوعة من مركز الارض)

واذا فرضنا ان جسما يتحرك في الهواء الساكن اوفى اتجاه مضاذ لاتجاه الهواء
فانه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون
الهواء مؤثرا كالقوة المعطلة الثابتة فقط بل يكون مؤثرا كالقوة المعطلة
المتزايدة

وسأتي لهذه الملاحظات التي ذكرناها هنا على وجه اجمالي مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة) هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولنذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المعجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيًا تكون خاصيته وانحناءه على حسب تأثير القوى المعجلة او المعطلة وشدة تلك القوى ولانذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التناقل اللتان يؤثران في تحرك الاجسام بسرعة او بطأ واما الصناعة فيستعمل فيها جملة عظيمة من القوى الاخر بل انما تبطل مقاومة ماشاها من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى ولترجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك سفينة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تنقلها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم ان تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم او المنتسق الا اذا كان ما ينعدم من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض تجدد تأثيرها في كل وقت تساويها مضبوطا

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الالات تكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تجدد في كل وقت لا يبطال هذه الكمية بعينها

ففي اخنت آلة في التحرك فليتم اظهارها بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما ينعدم فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اي السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون

تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولية المنغبرة مزية على غيرها فى تحرك الآلات وهى ان سرعتها فى مبدء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدرج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه الملحوظة لمجرد الرغبة فيها بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبدء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة ينعدم بها أولا انرسى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقتية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انرسى اجزائها وبذلك يخشى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تنكسر وتلف تضعف صلابتها وسنذكر فى الكلام على تحرك الطارات المضرسية مثلا شهيرا نعلم به اهمية ما ذكر

(الدرس الثالث)

(فى بيان القوى المتوازية)

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان علمنا يزيد وينقص على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فاذا كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمتين متوازيتين فانه يحصل عن ذلك تأثير كائنا القوي المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجتران عربة فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجانب بعضهما ويجتران ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجانب بعضها وجارة بالتوازي

وهلم جراً

فأذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتحددة للجهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجتر في اتجاه واحد وهي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فإذا كان هنالك قوى متوازية تجذب إلى امام واخرى مثلها تجذب إلى خلف وحوات الاول إلى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخرى إلى قوة واحدة مساوية لمجموعها ايضاً فان القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لتفاضل المجموعين ومتجهة جهة اكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية اولى من اقامة براهين غير جلية لا تقنع ارباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلاً كما يقول بعض مؤلفي الاصول الاولية انه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كالمقاطعتين في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود ايضاً واكرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الاشياء غامضة قليلة الوضوح وما يسهل مشاهدته ان لمحصلة القوى المتوازية اتجاهها واحدا مع القوى المترتبة منها وانها تساوي مجموع ما كان منها يجذب إلى امام ناقصاً بمجموع ما كان منها يجذب إلى خلف وانما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقي ومعرفة متوقفة على مراجعة الهندسة

وذلك ان الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة او المعدة للقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحصولات الصناعة اصولاً ميكانيكية بظن انه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الانتباه الى هذا الغرض المهم

وبالجملة فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط الا ان الزمن يتقسم إلى اجزاء متساوية كالساعات مثلاً وتنقسم الساعات ايضاً إلى اجزاء متساوية كالدقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم او المنحني يتقسم ايضاً إلى اجزاء متساوية مغرة بارقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تتعاقب في السير من وقت

معين وينقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر ما في الساعة من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء الخط الجديدة تقسيماً نانوياً بقدر ما في الدقيقة من النواني فان التقسيمات الحادثة من ذلك تدل على النواني وهلم جراً

فاذ وضعت النمرة بالارقام على هذه التقسيمات امكنت أن تستدل على الزمن أولاً بالاعداد وثانياً باطوال الخطوط فاذا جعلت اجزاء الخط او طرحتها او ضربتها او قسمتها كما تفعل ذلك في اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط الاخير وهو حاصل جميع هذه العمليات دالة على الزمن الاخير المطلوب تقديره وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثني عشر جزءاً متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق والساعات لزم للساعة عقربان ليتبعهما حركتهما ولزم ايضاً ان العقرب المعدل للدقائق يكون اسرع في السير من العقرب المعدل للساعات بانتي عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون مدة الزمن مبينة ايضاً باصول هندسية وهي الزوايا وذلك بان نمد من مركز المزاولة مستقيماً موازياً لمحور الارض ونفرض مستويًا يتربكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دوراناً متبظماً * والزوايا التي تقيدس بتحركة تكون ايضاً قياساً للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحينئذ تكون ارتفاعات وا و اب و بث المبينة في (شكل ١ من الدرس الثاني)

دالة على الازمنة الماضية * وما يكتسبه الجسم من السرعة المتكررة

يستدل عليه بمسئقيات اا و باب و بج الخ المتوازية

وحينئذ فيستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم

ومتي اريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى الازمنة بخطوط ايضاً كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليهما من الاَن فصاعدا الا بالاعداد
واما القوى فانها ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها عوارض
تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة
معلومة

فيكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة انجهاها
كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ بهم ا يظهر لك من اول وهلة اعظم فوائد علم
الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهل به معرفة الميكانيكا ولاجل
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الظاهر بحيث يمكن
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المزالة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء
تكون مشاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن

وكذلك لا يمكن رؤية ثقل الجو ولا سماعه ولا مسه وانما يمكن رؤية تقاسيم المستقيم
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذي تعرف به تغيرات ثقل
الجو ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من الة
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذي هو كناية
عن بارومتر بخاري أن يستدل على هذا الضغط بخط منقسم الى اجزاء متساوية
وساقي لك ذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حينئذ في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة * واتجاه هذه
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة الميمنة
بما تقدم * ويطول الخط يدل على مقدار القوة وتراجع الى ما نحن بصدده وهو
القوى المتوازية فنقول

معي كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمي اس و بص (شكل ١)
جاذبتين لمستقيم اب العمودي عليهما كان قضيب شار مربوط

بمنتصف **أب** والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا بالبداهة على اتجاه محصلتهما وبالجملة فحيث كانت قوة اليمين ليست اكبر من قوة الشمال فلا داعي لان تكون المحصلة اقرب الى اليمين من الشمال اولى الشمال من اليمين

فاذا كان هنالك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات **أس** و **سب** و **شز** (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة تقع في **سب** وهلم جرا وهاتان الصورتان يجريان في كثير من عمليات النقل بالعربيات

مثلا اذا جرت فرس واحد عبرية بواسطة مجرتين موضوعين وضعا منتظما على يمين منتصف العربية وشماله فانه يسحب بالسوية مجرى اليمين والشمال وعليه فينبغي أن تسير العربية الى الامام في اتجاه مواز للمجرتين المذكورين كما اذا كان الفرس لا يجتاز للا بواسطة جبل او جزائر ثابت في منتصف العربية

واذا كان هنالك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهى **ع** (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجرتان **ط**

و **ط** و **ط** و **ط** الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف وشماله ويبيان ذلك أولا ان محصلة مجرى **ط** و **ط** مساوية **ط + ط**

وواقعة على **ه** في منتصف كتف العربية وهو **ا** وثانيا ان محصلة مجرى **ط** و **ط** مساوية **ط + ط** وواقعة على **ف** في منتصف

الكتف الثاني للعربية وهو **ش** وثالثا ان لقوتى **ه** و **ف** محصلة وهى **غ** مساوية لمجموعهما وهو **ط + ط + ط + ط**

وموضوعة على بعد واحد من **ه** و **ف** فعلى ذلك يكون مستقيم **غ** المارة بمنتصف العربية دالا في الاتجاه على

المحصلة الناتجة

ولنفرض أن هنالك قوتين متوازيتين وهما **أس** و **ص** غير متساويتين وجاذبتين لتضيب **ا** (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن $\overline{سـاـث}$ $\overline{صـرـث}$ (شكل ٥) منشوران
 اواسطواتان متجانستان ومتحدتان في السمك والطول بحيث اذا انطبق احد
 طرفيهما على الآخر كانا شاذين بطول $\overline{اـس}$ مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما
 فاذا تقرّر هذا النصح لك أن ثقل $\overline{ثـاـسـه}$ = $\overline{س}$ و $\overline{ثـصـه}$
 = $\overline{ص}$ لا يتغيران اذا علق $\overline{ثـاـسـه}$ و $\overline{ثـصـه}$ من منتصفهما
 تعليقا اقويا فحينئذ يوجد بين $\overline{ا}$ و $\overline{و}$ أولا نصف طول الثقل الصغير
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين
 مساويا لبعده $\overline{اـو}$ فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين
 على وجه بحيث لا يتكون منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر
 متلاصقان فذلك لا يغير لوزنهما لكن ثقل $\overline{سـصـه}$ المتكون منهما المتحد
 السمك في كل من طرفيه يكون بالبداهة متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة
 واحدة وليكن $\overline{ث}$ رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$

وهي $\overline{ر}$ مارة بنقطة $\overline{ث}$ المذكورة

فاذا فرض عكس طرفي $\overline{اـث}$ بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت تقطع
 $\overline{ث}$ موضوعة على $\overline{ث}$ حدث بالبداهة هذا التساوى وهو

$$\overline{رـث} = \overline{اـث} = \overline{رـص}$$

$$\overline{اـث} = \overline{رـث} = \overline{اـس}$$

وعلى ذلك تكون نقطة $\overline{ث}$ واقعة على نقطة $\overline{ث}$ في منتصف $\overline{اـو}$

فاذن ينبغى الوضع في $\overline{ث}$ على ابعاد متساوية من $\overline{اـس}$ و $\overline{اـو}$
 المناسبين لقوتى $\overline{رـص}$ و $\overline{اـس}$ لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة

وانذكر هنا مثالا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بجزء العربات بالخيل فنقول

يستعمل في ذلك غالباً هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس

وهي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان

الفرسين المرموز اليهما بحرفي $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ يكونان مربوطين بكتف العربة

وهو $\overline{اـو}$ وتكون محصلتهما وهي $\overline{ثـر}$ مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة في منتصف \overline{AR} وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة الفرس
 الثالث وعليه فتوضع نقطة H مرتين قريبا من \overline{SR} و \overline{RS} وهي
 نقطة وقوع قوتي \overline{SR} و \overline{RS} وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة لوقوع
 المحصلة الناتجة منهما وهي X وقد يكون H متجهاء على محور العربة
 الطولي

ولي فرض كافي (شكل ٤) أن قوة $\overline{R} = \overline{S} + \overline{ص}$ تفوق
 على قوة $\overline{ص}$ قليلا قليلا حيث ان $\overline{س}$ تنقص كثيرا كثيرا فاذا فرض
 في مساواة $\overline{R} \times \overline{رث} = \overline{س} \times \overline{ا-ر}$ أن $\overline{ر}$ و $\overline{رث}$
 لا يتغيران فلا خفا أنه كلما نقص $\overline{س}$ ازداد $\overline{ا-ر}$ واذا كانت قوة $\overline{س}$
 محولة بالتوالي الى نصف طولها الاصلى او ثلثه او رבעه او غير ذلك لزم أن يكون
 بعد $\overline{ا-ر}$ مضعفا مشي وثلاث ورباع وهكذا لاجل حفظ حاصل $\overline{س} \times \overline{ا-ر}$
 واذا بلغ $\overline{ا-ر}$ في الكبر ما بلغ فانه يوجد دائما مقدار صغير لقوة $\overline{س}$ التي لا مانع
 من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق $\overline{R} = \overline{س} + \overline{ص}$
 على $\overline{ص}$ بكمية يسيرة وهي $\overline{س}$

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي انه لا يمكن توازن قوتين كقوتي $\overline{ص}$
 و $\overline{ر}$ مع قوة ثالثة كقوة $\overline{س}$ متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين
 الى جهتين متضادتين واذا بلغت قوة $\overline{س}$ في الصغر والتباعد ما بلغت فانها
 لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث ان القوة الكافية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين
 ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابله لان نسير الجسم
 الى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين
 المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر بدلا عن التأثير
 الذي يسيره على مستقيم واحد وسميأتى الكلام على ما يكون للجسم من قوانين
 التحرك الجديد في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحرك كان الحادثة على
 مستقيم واحد

لنرجع الى تأثير القوى المتوازية التي يمكن أن يكون لها محصلة وتذكر في شأنها قاعدة شهيرة فنقول

تتى كان هنالك قوتان كقوتى س و ص واقعتان عموديا على قضيب ب (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرط انه لا يتغير توازيهما في س و ص كانت محصلتهما وهي ر المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة ث وحينئذ لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا مقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين نقطتي وقوعهما ثم ان هذه الخاصية هي خاصية التحرك التي هي بحسب الظاهر في غاية السهولة لها نتائج عظيمة وثمرات جسيمة في علم الميكانيكا والصناعة ولندكر الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هنالك ثلاث قوى متوازية كقوى س و ص و ز واقعة على ثلاث نقطيات على مستقيم واحد (شكل ٨) وان اس و بص و تذ دالة على اتجاهات تلك القوى كان قوتى س و ص في مبداء الامر محصلة ر الواقعة على نقطة د والمساوية س + ص والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$\underline{دا} : \underline{دب} :: \underline{ص} : \underline{س}$$

ثم يكون قوتى ر و ز محصلة ض = ر + ز = س + ص + ز فتكون نقطة الوقوع وهي ه لمحصلة ض موضوعة بحسب هذا التناسب

$$\underline{ده} : \underline{هث} :: \underline{ز} : \underline{ر}$$

فاذا تقرر هذا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع نقطتي د و ه غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك فتغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على ا و ب و ث على اى وجه كان بحيث لا يندعم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة ه

فاذا كانت القوى اربعا او خسا اوستا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاه جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على نوازيها هذا ويمكن أن نعتبر الجسم كجموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعة جهة الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازية تقريبا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء كلقوى في التوازي بدون خطأ بين

فاذا كان الجسم في وضع وادير الى آخر واقضى الحال البحث في كل وضع عن نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فانا نجد دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

وبواسطة التجربة يتحقق من خاصية الاجسام عند ثقليةها بخيط في اتجاهات مختلفة وتوازنها به فيكون هذا الخيط بالبداية تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مار بنقطة منفردة وهي مركز الثقل

ولخاصية مركز الثقل بالنظر الى الثقبون فوائد عظيمة في تحرك الاجسام ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل من اجزائه الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية المادة التي يحتوي عليها هذا العنصر وفي التحرك المستقيم الذي كلامنا فيه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولا لجسمه وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلا جسما طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة لمثلث رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزءا من ستة من مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التناقل زاوية مساوية لجزء من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة

ولجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاتجاهها المشترك ومساوية

بمجموعها ومارة بمركزها وهي هنا مركز ثقل الجسم
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يتبع مستقيما واحدا بدون دوران
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي

(أولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة للجسم
هذا العنصر ومتجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم
ومارة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بعدة قوى متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز
ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد عن
التحرك بالسكينة بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارة بمركز

ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم أن تكون محصلة
هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي

واحد ومتى اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن تنوهم مستقيما رأسيا مارة
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأسى المذكور وسيأتى لك

في الدرس الذى نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويز التى تعلق في البيوت وتكون

على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا القبيل النجفات المعلقة في قباب

الكائنات وسقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاعتراف الماء والتزول
في المعادن

وبالجملة فعرفة وضع مركز الثقل مما لا بد منه للصنائع سواء وضعوا اجساما

سأكتة في وضع معلوم أو يبروها على مستقيم واحد بدون دوران أو منعوا
تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز
يتغير وضعه متى حرك الانسان اعضاءه او جعل شيئاً ما وذلك لان
الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد متمركز به محصلة ثقله و ثقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة الثامة (شكل ٩)
(وشكل ١٠) امكن أن نعتبر اخصيه كمنطقة وقوع القوى المتوازية
المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها
هذا الانسان ولجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة
معلومة كنقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة ب التي هي مركز
ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة
التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز
الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسية بأن يميل ببعض اعضائه الى الجهة المقابلة
لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يُعتبر كما أنه يتغير في كل وقت تقريبا
بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان او حظه

ومن المهم في الفنون المستترفة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع
المتنوعة التي يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فينبغي للمصوّرين والنقاشين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية
حتى لا يضعوا اشكالها في وضع فاسد اى في وضع لا يمكن للانسان
أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولا شد أن هذا العيب كاف
في الاخلال بجودة الصفاة وضياع انتظام الفنون المستترفة

فاذا فرض ان بعض المصوّرين رسم صورة انسان حامل على ظهره
(شكل ١١) حلا كبيرا وجعله في وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالف للقوانين الميكانيكية والحقيقة الرصد (وقدر من نافي جميع ما يأتي من العبارات
والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى
مركز ثقل الحامل والمحمول معاً)
وبالجملة فالتوازن يقتضى ان نقطة غ التي هي مركز الحامل والمحمول
المعتبرين بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن اخص الانسان
لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معتمداً وكان مركز الثقل يميل الى جهة
الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حينئذ يقع
هو ومحموله الى جهة الخلف

وللعتال معرفة تامة بهذه الفائدة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الحمل على ظهره
يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه في (شكل ١٢)

ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والحمل على مستقيم رأسى لائق
فاذا كان الحمل باقياً على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيداً عن مركز ثقل جسم
الحامل كان المركز المشترك بينهما مائلاً الى الخلف وكان العتال مجبوراً
على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب
وربما تعذر اذا كان الحمل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطحاً من جهة وغريضاً من اخرى فان العتال يستند الجهة
المسطحة على ظهره وينقل حينئذ مركز ثقل الحمل الى الامام مهما امكن
وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلاً بقدر الامكان ليكون متوازناً
مع الحمل

ومن الاتقال التي لاتعد خفيفة جرنيدية العسكرية التي يحملها على ظهره
وقد كانت الجرنيديات القديمة المهدبة بالكلمية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناشئ
عن الحمل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلاً الى الخلف
بالكلية فبذلك كان الراجل مجبوراً على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلاً
الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة
عن اوامر غوطية فلما تفكروا في خواص مراكز الثقل ادركوا فائدتها

وصنعوا للعساكر جربنديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز
 ظهرها عييل الى الخلف قليلا اذا حملها العساكرى على ظهره من جهتها
 العريضة وهذا التخفيف الضرورى معدود من العمليات السهلة المتعلقة
 بقضية مركز الثقل النظرية وكان العساكر قبل عمل هذه الجربنديات
 بقرنين يحملون على ظهورهم مع المشقة جربنديات ردة الشكل

وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضاى يجبر الحامل على الميل
 الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعه لاتمكن
 الاقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد جمالها
 المربوطة بالأربطة معلقة أمامها تعليقا افقيا و تراها عند الوقوف على غاية
 من الاعتدال الأنا اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف
 ولما كانت في الضال تستند يديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى
 تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارية في الناس لقصد حيازة الهيبة والوقار
 الا ان هذه المرأة لم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا
 الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبلبي (شكل ١٨) فانها اذا عظم حملها وثقل تكون مجبورة
 كبائعة السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو حرت العادة بانها حال المشى
 تستند يديها على فخذيها حتى يكون ذراعاها مائلين الى خلف لكانت
 في الغالب تمشى مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد في الغلظ (شكل ١٧) فانهم مجبورون
 على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذى عليه السماكة والحبلبي
 واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لزم تقديم الأرجل كثيرا نحو تلك
 الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل
 مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كس رسو أن النساء لا يعرفن كيفية الجرى وانهن يمددن

في تلك الحالة أذرعهن إلى خلف لانهن عند الجرى يملن بأعلى جسمهن إلى الامام
بالسكاية وذلك يستلزم استعمال الأذرع المتقدمة لاجل التوازن
فاذا كان السقاء (الافرنجي) يحمل بأحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠)
فان مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا إلى جهة الخلف ولا إلى جهة
الامام كما في الصور المتقدمة وانما يكون مائلا إلى جهة غيرهما وحينئذ يلزمه
أن يميل إلى الجهة المقابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا
القبيل ايضا الموضع التي تحمل الطفل على احدى ذراعيها (شكل ١٩)
ومثل هذه المشاق الخالية عن الجدوى ينبغي اجتنابها واستبدالها بكيفية اخرى
بأن يجعل الانسان ما يحمله على جزئين متقابلين من جسمه بالسوية فيحمل
السقاء مثلا دلوين (شكل ٢٢) والموضع طلعين متساويين في الثقل
(شكل ٢١)

وتم نساء ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة اثقالا جسمية (شكل ٢٣)
بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسى مع مركز ثقل الجسم فيكون
مركز ثقل الحامل والمحمول مرتفعا لكنه يكون دائما على رأسى واحد فاذا
لا تحتاج المرأة الجمالة إلى الميل من اى جهة كانت لاجل حفظ توازن وضعها
الطبيعى

وأول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد ان كانت اشغالهم
لا طائل تحتها هو الخرج الذى له جهة واحدة او جهتان متساويتان وهو
مشقوب من وسطه ليدخل به الجابى رأسه (شكل ٢٤٠) فاذا جى الخراج
وضعه في جهتي الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلا بالسوية بحيث لا يغير
مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحينئذ فيمكن
في استعمال الخرج المذكور أن يوضع في جهتيه بدون مشقة حمل عظيم
فاذا فرضنا ان انسانا وقف على رجله مع الاعتدال ثم رفع احدهما على حين
غضله وصار واقفا على رجل واحدة فان بقى جسمه على اعتداله فلا شك انه يقع
من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لاجل منع هذا الوقوع ان يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على
المستقيم الرأسى المارّ بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض
فمن ثم كان الناس في حال المشى يميلون قليلا بدوننا شعارا الى جهتي اليمين والشمال
بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليميني او اليسرى (شكل ٢٥)

وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك
من العساكر سائر على صف واحد بالتساوي وذلك لانه يرى ان هذا البلوك
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند نقل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذي ينشأ عنه
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما
قايض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط والخفة ما لم يسيرا على مهل معا
فان مركز ثقل احدهما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد
مركز ثقل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداخلتان
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان
واما في صورة العكس وهي ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتفصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب
الترتيب الجارى الآن أن يسيروا مع تماس اذرعهم بعضها البعض منفعة عظيمة
وهي جبر جميع الناس المتماسين على أن يسيروا معا قدم لا نه بدون ذلك
لا يمكن استمرار اذرعهم على المماسية حيث انه اذا مال انسان منهم بجسمه
الى الجهة اليميني مال الاخر بجسمه الى اليسرى فيختل صفهم وتفرق جمعيتهم
ولاجل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير
يجب على العساكر جميعا أن يبدؤا بتمرير رجل واحدة وهي اليسرى حسبها هو
متفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على نقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعملياتها ما هو أكثر تنوعاً من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلى الرقص الرموزى او غيره من انواع الرقص حتى نتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث اتنا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتتمرن على النط والوثوب حتى أن نتكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

اذا فرض ان الراقص او الپهلوان رفع رجليه اليه من الجهة اليمنى مثلاً ووجب عليه في الحال أن يميل جزءاً من جسمه الى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظاً للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تتحركت الجسم تكون صغيرة مهما امكن ليكون ما يبذل في ذلك من الجهد قليلاً غير ظاهر مع السهولة والخفة لزم أن يمد الراقص او الپهلوان ذراعه الايسر الى الجهة اليسرى فاذا كدت الرجل اليمنى متأخرة الى خلف لزم أن يكون الذراع الايسر متقدماً الى أمامه فيكون على صورة مرکور (اي عطارد) الطيليد اللطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رنوميه ايضاً (اي الشهرة)

واما مقابلة تحركات الاذرع بتحركات الارجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحداً فذلك مما لا بد منه لنطاطى الجبال الذين ينطون بلاميزان معهم فيكون التحرك حينئذ محسوساً مشاهداً والغرض الاصلى من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معا على رأسى ماراً بالجبل

وكثيراً ما عانت اناسا يمشون مع العجلة ويوزون اذرعهم بكثرة ويطرحونها الى اى جهة من الجهات عوضاً عن كونهم يطرحونها الى الخلف او الى الامام كما هي عادة معظم الناس * و بموجب الملحوظات المقررة في شأن الطريقة التى يكون فيها مركز الثقل مائلاً في كل خطوة الى جهة الرجل الثابتة على الارض يرى أن الاذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعى الى جهة الرجل المرتفعة لاجل تحويل مركز الثقل الى اتجاه السير فهؤلاء الناس الذين يراعون هذه الملحوظات يكونون في مشيهم اكثر استقامة واعتدالاً من الاول

ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخرة الى خلف لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مارداً بما بالرجل المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيراً باعلا جسمه الى خلف ويديه اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع اليمين والساق اليمين المتقدمين الى أمام وبالجملة فادنى ضربة من الشيش المعد للتعليم تقلب الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جداً الى خلف وفي صورة العكس وهي ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر ببطى هذا التحرك وسيأتى في الدرس الذى تكلمنا فيه على تحرك الدوران من مراكز الثقل لها تأثير مهم في التحرك للمذكور كما ان لها تأثيراً مهماً في التحرك المستقيم

(الدرس الرابع)

(في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفي كمية القوى)

اعلم ان ما سلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكفي دليلاً على ان من اهم الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل كثير من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة والاجزاء المتحركة من سائر الآلات

فاذا وسقت عربة ذات عجلين فلا بد أن لا يكون ثقل الحمل موضوعاً أمام المحور ولا خلفه لانه في الصورة الاولى ان تلف العروس من الحمل يلحقها مشقة عظيمة بدون أن يتقص شئ من الجهد والتعب اللازم لجر العربة وفي الصورة الثانية يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتزلزل ارتفع العروس وصار بعيداً عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل منحدر انحداراً يينا

ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصيرها ولوازمها وادواتها من حساب وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شئ احتوت عليه لاجل معرفة

مرکز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والثبات كما سيأتى (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المحركة)
 فاذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مر بوطيين بطرفي قضيب غير لين وفرضنا انه لا تماثل له فان مرکز ثقل مجموعهما يكون في منتصف المستقيم

ونقطة غ التي هي مرکز ثقل مستقيم ثقيل كـ مستقيم اب (شكل ١)
 المبين بسلك معدني متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول هذا المستقيم لانه اذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون احدى جهتيه ارجح من الاخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت باصلا حولها هي مرکز ثقل المستقيم المذكور

فلاخفا انه اذا وضع منتصف قضيب افقي متحد السمك في جميع طوله على طرف اصبع او على طرف شئ ما فانه يكون متوازنا وكذلك اذا علق من منتصفه وسيأتى عند الكلام على الرافعة ان توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه القاعدة

وانفرض الآن ان المطلوب مرکز ثقل مجموع مستقيمي اب و شد (شكل ٢) المنتظمي التماثل في جميع طولهما بحيث تكون اطولهما دالة على تقليهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم اب محصور في منتصفه وهو نقطة هـ و ثقل شد محصور أيضا في منتصفه وهو نقطة ف

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان احدهما واقعة على هـ والاخرى على ف وكاتاهما يدل عليه اب و شد فتكون محصلتهما مدلولاً عليهما بمجموع اب + شد وتكون نقطة وقومها وهي ش على مستقيم هـ ف مبينة بهذا التناسب وهو

$$\text{اب} : \text{شد} :: \text{ش ف} : \text{ش هـ}$$

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

اب + شد : اب :: ش ف + ش ه او ه ف : ش ف
ويفتح من ذلك ان

$$اب \times فه = \frac{ش ف}{اب + شد}$$

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها انما معرفة مركز ثقل المستقيمت الثقيلة وذلك بأخذها منى فاذا كان المطلوب مثلا تحصيل مركز ثقل مستقيمت متساوفا منها كثير اضلاع مستقيم مثل اب شد (شكل ٣) فانك تأخذ نقط تصيف اضلاع اب و بث و شد الخ وهي ا و ر و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم ا ر نقطة سه وهي مركز ثقل مستقيمي اب و بث واذا مددت مستقيم سه واعتبرت ان ثقل مستقيمي اب و بث محصور في نقطة سه التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة صه مركز ثقل اب + بث و شد فجد ايضا ان نقطة ز مركز ثقل اب + بث + شد و دا فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمت الاربعة وهي اب و بث و شد و دا

ومما ينفع التلامذة تمرينهم على عمل كثير الاضلاع مثل اب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطا من حرير كخيوط ا ر و سه الخ فيجدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من الضبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة ا ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون ان الشاقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائما بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيمتصرون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصورا وانحما سهلا وهذا التمرين يعرفون عملية مفيدة جدا

ويجبرون

ويجبرون على ممارسة القواعد الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة
(كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام في الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة
والسطوح المتماثلة والججوم المتماثلة وخواصها * ولاهتمام بتماثل الاشكال من
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصانع لا يهتمون
بهذا الغرض

وليكن كما في (شكل ٤) شكل ا ب ث د ه ذ با مثلا متماثلا
بالنسبة لمحور ا ه واتم كن نقطة غ مركز ثقل محيط ا ب ث د ه
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تينا جزء الشمال على جزء اليمين فانهما ينطبقان على بعضهما انطباقا تاما
وحيث انهما لا يختلفان لافي المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون
مركز ثقلهما موجودا في نقطة واحدة فاذن تكون نقطة غ التي هي مركز
ثقل ا ب ث د ه في وضع متماثل بالنسبة لنقطة غ بمعنى ان غ و غ
يكونان على بعد واحد من المحور و موضوعين على مستقيم غ غ العمودي
على هذا المحور وحيث ان محيطي ا ب ث د ه و ا ب ث د ه
المتماثلين متساويان في الثقل كانا مدلولوا عليهما بقوتين متساويتين احدهما
واقعة على غ والاخرى على غ وكانت محصلتهما المساوية لجموعهما
واقعة على منتصف مستقيم غ غ اعنى في نقطة ح على محور التماثل
فاذن يثبت المطلوب

ومركز ثقل اى خط متماثل يكون بالضرورة موضوعا على محور التماثل
ولننبه على ان المسطح المستوي المنتهى بمحيط متماثل يكون متماثلا بالنسبة
للمحور المتقدم كالمحيط المذكور
ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهى به السطح المستوي الثقيل في جميع
جهاته كفرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت تقطعتا غ و غ
دالتين على مركزى ثقل المسطحين الموضوعين على يمين محور التماثل وشماله

فان مستقيم $\overline{غ غ}$ يكون عمودا دائما في نقطة $\overline{غ}$ على المحور ويكون
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$ فاذن يكون مركز ثقل كل مسطح مستو تماثل
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور براوير ذات شكل مال كها
 تماثلة فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فنقل
 المشكل المذكور يكون مؤثرا كالمو كان محصورا كله في مركز الثقل وزيادة
 على ذلك يكون اتجاه هذه القوة الرأسي مارتا فرضا بنقطة التعليق والارتباط
 الثابتة فاذن تعدد القوة بالمانع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون
 البرواز متوازنا

والمنازل الأفرنجية منخرقة بكثير من البراوير المتماثلة ايا ما كان شكلها
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة
 كانت قبيحة المنظر

ولندكر هنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح المخرنجات العامة التي اسلفناها
 ونرمز بحرف $\overline{غ}$ في جميع الاشكال الاتية الى مركز الثقل فنقول

ان $\overline{غ}$ الذي هو مركز ثقل المحيط او مسطح البرواز المثلثي التماثل مثل
 $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسي مارتا بنقطة $\overline{آ}$ التي هي
 رأس مثلث $\overline{ا ب ث}$ وبمنتصف قاعدته وهي $\overline{ب ث}$ فاذا علق هذا
 البرواز من نقطة $\overline{آ}$ التي هي رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة
 $\overline{د}$ التي هي منتصف قاعدته وهي $\overline{ب ث}$ (شكل ٦) وكانت هاتان
 النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور

يكون عين الوضع الذي يصرفه محور $\overline{آ د}$ رأسيا واذا علق برواز على شكل
 شبه المنحرف التماثل وهو $\overline{ا ب ث د}$ وكان تعليقه أولا من نقطة $\overline{ه}$
 التي هي منتصف قاعدته الصغرى وهي $\overline{ا ب}$ كافي (شكل ٧) وثانيا
 من نقطة $\overline{ف}$ التي هي منتصف قاعدته الكبرى وهي $\overline{ب ث د}$
 كافي (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو $\overline{ه ف}$
 المحتمى على $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المنحرف

يكون

يكون موجودا في وضع رأسي

وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي التماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يجرى أيضا في الأشكال المنتهية بخطوط مستقيمة أو منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى الاتية وهي

كل قوس كقوس دائرة $\overline{أبث}$ (شكل ٩) يكون تماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو $\overline{وب}$ المار بمتصف هذا القوس فاذن تكون نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل المحيط أو سطح قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر $\overline{وب}$ وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة $\overline{أبث}$ من منتصفه وهو $\overline{ب}$ كان طرفاه وهما $\overline{آ}$ و $\overline{ث}$ على أفق واحد ومتوازيين (وينبغي التنبيه على أنه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنحرف وضع كوضع مركز مسطحهما)

ويجري ذلك في مسطح قطع $\overline{أبث}$ وفي مسطح قطاع $\overline{وأبث}$ واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر $\overline{وب}$ فانه يكون في هذه الصورة كالتى قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافئ والقطع الزائد تماثلان بالنسبة للمحور المار برأسيهما فاذا اخذ بالابتداء من رأس $\overline{ب}$ التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ $\overline{بأ}$ و $\overline{بث}$ المتساويان من هذا المنحنى فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حينئذ هذا المنحنى من رأسه وهو $\overline{ب}$ فانه يكون متوازنا متى كان محور $\overline{بد}$ تابعا لاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محورا تماثلي مثل $\overline{أب}$ و $\overline{شد}$ كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه الاشكال يكون مركز الثقل وهو $\overline{غ}$ الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة $\overline{غ}$ المشتركة بينهما اعني في مركز التماثل

فاذن يكون مركز ثقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعلق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل
فاذن يكون مركز ثقل المحيط ومركز ثقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز ثقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة
والقطع الناقص متماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما \overline{AB} و \overline{CD} فاذن تكون نقطة \overline{EG} التي هي مركز ثقل محيط انقطع الناقص المذكور ومسطحة موجوده في مركز تماثل هذا المنحني
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما \overline{AB} و \overline{CD} وعليه فيكون مركز ثقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة
وفي اي نقطة من محيط بروز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط مستدير متعلق به هذا البرواز \overline{BC} يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي مع نقطة التعلق

* (بيان مركز ثقل السطوح) *

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح من المعدن رقيقة جدا ومتحدة السمك في جميع جهاتها وثقيلة المسطح

* (بيان مركز ثقل المثلث) *

اذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل سطح مثلث \overline{ABC} (شكل ١٩) فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث يمكن اعتبارها مستقيمت ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم \overline{AH} الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المتناسبة فاذن يكون مركز مجموعها وهو \overline{G} اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم \overline{AH} الواصل من \overline{A} الى منتصف \overline{BC} وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا على \overline{BF} وعلى \overline{CK} الواصلين من \overline{B} ومن \overline{C} الى

متصفي $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\beta}$ فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة $\overline{غ}$ المشتركة بين خطوط $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ا\gamma}$ الثلاثة ولكن حيث ان تقطعي $\overline{ك}$ و $\overline{ه}$ موجودتان في منتصف $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ب\gamma}$ فان مستقيم $\overline{ك\ه}$ يكون موازيا لمستقيم $\overline{ا\theta}$ فيحدث حينئذ عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب
 $١ : ٢ :: \overline{ب\gamma} : \overline{ا\beta} :: \overline{ك\ه} : \overline{ا\theta} :: \overline{ه\gamma} : \overline{ا\gamma}$
 فاذن يكون $\overline{ه\gamma} = \frac{١}{٢} \overline{ا\gamma}$ و $\overline{ا\theta} = \frac{١}{٣} \overline{ا\theta}$
 وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا اولاً على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانياً في ثلث هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة

* (بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع وهو $\overline{ا\beta\gamma\delta}$) *

اذا اريد تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبدء الامر مركزا مثلثا $\overline{ا\beta\theta}$ و $\overline{ا\delta\theta}$ وذلك بايصال $\overline{ه\beta}$ و $\overline{ه\delta}$ الى منتصف $\overline{ا\theta}$ واخذ $\overline{ه\omega} = \frac{١}{٢} \overline{ه\beta}$ و $\overline{ه\omega} = \frac{١}{٢} \overline{ه\delta}$ ثم اذا وصل كل من تقطعي $\overline{و}$ و $\overline{و}$ بمستقيم $\overline{و\omega}$ تحدث محصلة $\overline{و\omega}$ فان $\overline{ا\beta\theta}$ و $\overline{ا\delta\theta}$ الواقعتين على تقطعي $\overline{و}$ و $\overline{و}$ فاذن تكون نقطة $\overline{غ}$ التي هي تقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذى اربعة الاضلاع المذكور ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام

وفي شبه المنحرف وهو $\overline{ا\beta\gamma\delta}$ مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو $\overline{غ}$ موجودا على مستقيم $\overline{ه\omega}$ الذي يقسم جميع المستقيمتين الموازيات للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في تقطة تقاطع اقطارها كما تقدم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها

وذلك لان كل قطر يقسم هذه الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني
 القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون
 مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك
 يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل
 من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا فى نقطة تقاطعهما
 فاذا قسم اى سطح متماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بقضبان
 متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل قضيب يكون موجودا
 على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز ثقل السعة التماثلة موجودا
 على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا او مستويا تماثلا فان مركز ثقلها يكون فى نقطة تقاطع
 المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل

وبناء على ذلك يكون مركز الثقل فى السعات المستوية التى لها محورا تماثل
 موجودا فى مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك فى الكلام على المحيطات التماثلة
 ولتشرع الان فى ذكر السعات والسطوح المنحنية فنقول

ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون تماثلا بالنسبة لمحور
 متى كان لكل قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع
 على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح التماثل تماثلا بالنسبة
 لهذا المحور

فاذا فعل فى السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها
 قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها
 موضوع على المحور المذكور وحينئذ فتكون بحصلة ثقلها موضوعة عليه
 وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المفروض رأسيا فاذن تكون
 المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجملة فتكون مراكز ثقل الاجسام
 والسطوح المنحنية التماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور
 ومتى كان لجسم محورا تماثلا كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الحجم ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التي لها محور تماثل كسائر سطوح الدوران فانها متى علقت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الحجم عين الوضع الذي يكون به المحور رأسيًا

والنجفات المتعلقة بجبل او سلسلة في البيوت والسرايات والهياكل متماثلة دائما بالنسبة للمعور وذلك ان النجفة تكون مربوطة في نقطة مامن تقطع هذا المحور ويكون للمعور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول أ ب (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو ب جسم متماثل بالنسبة للمعور مربوط به خيطه

وليس كون المحور رأسيًا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النجفة ساكنة بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النجفة هابطة او ساعدة وحركت نقطة ارتباطها بمحور رأسيا والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون حينئذ باقية على وضعها الرأسي مالم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى جهاتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وتلك الخاصة يتحقق العمل وسيأتي ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عظيمة من خاصية محاور التماثل وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا كقبل التوغل في ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازية وبمراكز الثقل فنقول

* (بيان مقادير القوى المتوازية) *

متى كان لثقتي س و ص (شكل ٢٤) المتوازيتين الواقعتين على نقطتي أ و ب من مستقيم أ ب محصلة كمحصلة ز واقعة على أ ب في نقطة و حدث

$$\overline{س} \times \overline{و أ} = \overline{ص} \times \overline{و ب} \text{ اي } \overline{س} : \overline{ص} :: \overline{و ب} : \overline{و أ}$$

فاذا مددنا مستقيم م و عمودا على اتجاها القوتين المتوازيتين

حدث هذا التناسب وهو وب : وا :: و ه : وم كما تقدم (في الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المتناسبة)

وبناء عليه يستبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$\underline{س : ص :: و ه : وم}$$

الذي يحدث منه س × وم = ص × و ه

وحيث أن س و وم ثابتان فإذا فرضنا أن و ه يكون على النصف يلزم أن قوة ص تكون مضعفة مثني ليكون الحاصل

ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن نفرض أن و ه يكون على الثلث فيلزم أن قوة ص تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك

من أن نفرض أن و ه يكون على الربع فيلزم أن قوة ص تكون متضاعفة رباع وهكذا فبأخذ حيث نؤخذ في الازدياد تأثير قوة ص

في مقاومة ز المساوية لمقاومة ز والمضادة لها لاجل توازن القوة المذكورة مع قوة أخرى كقوة س موازية لها وازدياد هذا التأثير

يكون أولا بالمناسبة لقوة ص المذكورة وثانياً بالمناسبة لو ه وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة * والحاصل

الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة و هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة لنقطة و المذكورة

فأذن يكون س × وم هو مقدار قوة س وكذلك يكون ص × و ه مقدار قوة ص ولذا شرط التوازن المبين

$$\text{بمعادلة } \underline{س × وم = ص × و ه} \text{ فنقول}$$

يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتي س و ص متوازيتين حول نقطة و الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة

المذكورة واحدا في كل منهما

ويشترط أيضا أن تكون قوتا س و ص يديران المستقيم الى جهتين متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة آ (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى ص و ز المؤثرتين في جهتين متضادتين فاذا مددنا مستقيم

ا ح عودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا التناسب

$$\frac{\text{ص}}{\text{ز}} :: \frac{\text{او}}{\text{اب}} :: \frac{\text{اع}}{\text{اخ}}$$

$$\text{فاذن يكون } \frac{\text{ص}}{\text{ز}} = \frac{\text{اع}}{\text{اخ}}$$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتي قبلها واحدا في قوتى

ص و ز المتوازيتين مع قوتى س و ص كما انه واحد ايضا

في قوة ص وقوة ز التي هي محصلة س و ص

ولئلا ان مستقيهما حينما اتفق كستقيم ا م د (شكل ٢٥) من نقطة آ

ونجعل مستقيي م و ب و مودين على هذا المستقيم فيحدث

من خواص الخطوط المناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)

هذا التناسب

$$\frac{\text{ص}}{\text{ز}} :: \frac{\text{او}}{\text{اب}} :: \frac{\text{وم}}{\text{وب}}$$

$$\text{وينتج من ذلك ان } \frac{\text{ص}}{\text{ز}} = \frac{\text{وب}}{\text{وم}}$$

فيكون حاصل ضرب قوة ص في بعد نقطة وقوعها وهي ب على

مستقيم ا م د وحاصل ضرب قوة ز في بعد نقطة وقوعها وهي و

على هذا المستقيم هما مقدارا ص و ز المأخوذان بالنسبة للمستقيم

المدكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير

وعليه في كان محور المقادير مارا بنقطة وقوع قوة س المتوازنة مع قوتى

ص و ز المتوازيتين كان مقدار ص مساويا لمقدار ز وكان

هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فاذا مددنا مستقيم ا ل م من موازيا للمستقيم ا م د ثم جعلنا ا ل

و م م و ب و ن اعلمة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\frac{\text{ال}}{\text{ن}} = \frac{\text{م}}{\text{م}}$$

$$\text{لكن } \frac{\text{ال}}{\text{ز}} = \frac{\text{س}}{\text{ص}}$$

فاذن يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$ وتقدم أن

$\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{و}$ فعليه يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$

فاذا جعلنا حينئذ مستقيما كاستقيم $\overline{ل من}$ محور المقادير كان مجموع مقدرى قوة $\overline{س}$ وقوة $\overline{ص}$ المتوازيين مكافئا لمقدار قوة $\overline{ز}$ الموارنة لهما فيكون سكاثنا ايضا لمقدار قوة $\overline{ز}$ التي هي محصلة قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ حيث ان $\overline{ز} = \overline{ز}$

وانفرض الا ان هنالك ثلاث قوى مركبة مثل $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ع}$ (شكل ٦) ذبعتها الى اى محور من مقادير $\overline{م}$ يحدث

اولا $\overline{س} \times \overline{اس} + \overline{ص} \times \overline{بص} = \overline{ز} \times \overline{دز}$ وثانيا $\overline{ز} \times \overline{دز} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$

فاذن يكون $\overline{س} \times \overline{اس} + \overline{ص} \times \overline{بص} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$ وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن في المستوى ايضا على ان مجموع مقادير اربع قوى او خمس او ست او غير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع محور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك اذا مددنا من كل نقطة من نقاط وقوع القوى عمودا على محور المقادير كان حاصل ضرب المحصلة في البعد الموافق لنقطة وقوعها مساويا لمجموع الجواصل الموافقة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات تحرك الاجسام والالات فلا بد للتلاميذة من حفظها وتعليلها على وجه الصحة والاضبط وفائدة الخاصية المذكورة هي انها تبين بدون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة ما يراد من القوى المتوازية من غير ان يكون هنالك ما يجبرنا على اخذها منى وثلاث الخ

ولذلك نمد مستقيمين عمودين على بعضهما كاستقيمي $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$

(شكل ٢٧) ثم تنزل من نقط وقوع قوى $ح$ و $خ$ و $ر$ و $ض$ الخ وهي $أ$ و $ب$ و $ث$ و $د$ الخ باعده $ا$ و $ب$ و $ث$ الخ و $ا$ و $ب$ و $ث$ الخ على $وس$ و $وص$ فاذا كانت $غ$ نقطة وقوع محصلة $ز$ فانه يحدث

$$\begin{aligned} غ \times ز &= ح \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots \\ و غ \times ز &= ح \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots \end{aligned}$$

ويستخرج من ذلك

$$(١) \frac{\dots + ح \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots}{ز} = غ$$

$$(-) \frac{\dots + ح \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots}{ز} = غ$$

ولا تغفل ان محصلة $ز$ تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فاذا تساوت قوى $ح$ و $خ$ و $ر$ و $ض$ الخ وكان عددها $د$ (اي غير متناهية) فان محصلتها $د \times ح$ فاذا نحدث من مساواة المقادير

$$غ \times ز = ح \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots$$

$$غ \times د \times ح = ح \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots$$

$$\dots \times د = غ \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots$$

$$\dots \times د = غ \times ا + ب \times خ + ث \times ر + \dots$$

فاذا يكون

وعليه فتي كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد نقطة

وقوعها عن محور المقادير وقسم مجموع هذه الابعاد على عدد القوى فانه يحصل

بعد المحور عن نقطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثير في الفنون

واذا لم يكن هنالك الاثلاث قوى مساوية لقوة $ح$ وواقعة على نقط $ا$

و $ب$ و $ث$ الثلاثة التي هي رؤس مثلث $ا ب ث$ (شكل ٢٨)

وجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا للمقادير فان بعد
 هذا المحور عن نقطتي وقوع القوتين الواقعتين على رأسى أ و ب يكون
 حيثنذ معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما
 ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوى بجعل ر فيه رمزا للمحصلة
 وهو $R \times \text{غ غ} = \text{ح} \times \text{ث ث}$ لكن $R = 3 \text{ ح}$
 فيكون حيثنذ $\text{غ غ} = \frac{1}{3} \text{ث ث}$ على وجه التعديل
 وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث
 موجودا في ثلث بعد كل رأس عن القاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز
 عين مركز ثقل سبعة هذا المثلث (ويمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز ثقل
 اربع قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمى مثلثى هو عين
 مركز ثقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا
 في حسابات الميكانيكا

و بمجرد تحصيل بعدى نقطة غ وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)
 عن مستقي وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة
 التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز الثقل مركز ثقل قوى
ح و خ و ر و ض الواقعة على نقاط أ و ب و ث و د الخ
 (فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستوا واحد لزم استبدال محاور المقادير
 بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محاور
أ و ب الخ بالاعمدة على المستويات وفي كلتا الصورتين يكون
 مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك
 بنحو الخوط المناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آنفا هي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة
 في تحصيل وضع مركز ثقل ما يراد من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح
 او الحجوم سواء كان تفرقها مستترا او لا

وإذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو أ ب (شكل ٢٩) فإنه يقسم إلى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كستقيم و س ثم عن مستقيم ثان كستقيم و ص ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيمت الأولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولًا غ غ وثانيًا غ غ ولا يلزم إيضاح الطرق الآتية التي تستعمل لأجل تحصيل مركز ثقل السطوح والأجسام الأبالنسبة للمينات فنقول

ان جلا فظة السفن يحتاجون إلى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم أولًا وضع مركز ثقل كل شراع و نانيا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لأنه كلما كان هذا المركز الأخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعًا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدة بها تميل السفينة وتقلب حيث لا مانع ولم الانزاع فيه ان جميع الشراعات الدائرة حول نقط تعليقها تكون كلها نازلة في مستوى تماثل السفينة وتنقسم إلى دثلثات يكون كل من مسطحها ومركز ثقلها معينًا

فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى ح و خ و ر الخ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط أ و ب و ث الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فإنه يحدث بدون واسطة من معادلتى (١) و (-) المتقدمتين بعد انقطة غ التي هي مركز ثقل الشراعات وهما غ غ و غ غ عن محوري و س و و ص اللذين احدهما افقى والاخر رأسى وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى تماثل السفينة

ولتكن سعة أم المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمحنى أم وثلاث مستقيمت عمودية على بعضها وهي أ أ و أم و م م والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم أم فلذلك نقسم مستقيم أم المذكور إلى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوى ل ونمد من نقط المستقيم مستقيمت ب و ث و د الخ الموازية للمستقيمتى أ أ و م م

فاذا اعتبرنا اجزاء منحنى $\overline{ا ب ث د}$ الخ وهي $\overline{ا ب}$ و $\overline{ب ث}$ و $\overline{ث د}$ الخ الصغيرة جدًا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح $\overline{ا م م} = \overline{ا} \times \overline{ل} + \overline{ا ا} \times \overline{ل} + \overline{ب ب} \times \overline{ل} + \overline{ب ث} \times \overline{ل} + \overline{ث د} \times \overline{ل} + \dots + \overline{م م} \times \overline{ل}$

واذا فرض اننا استبدلنا من مبدء الامر شكل $\overline{ا ب ث د}$ الخ المتصل بشكل $\overline{ا ا ب ب ث ث د د}$ الخ المدرج فان مراكز ثقل هذين الشكلين وهي $\overline{خ}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{خ}$ الخ تكون متباعدة عن $\overline{ا م}$ بكميات تساوي $\overline{ا ا}$ و $\overline{ب ب}$ و $\overline{ث ث}$ كل لنظيره فاذن تكون مقادير المستطيلات التي يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة لمحور $\overline{ا م}$ هكذا

$$\overline{ا ا} \times \overline{ل} = \overline{ا ا} \times \overline{ل}$$

$$\overline{ب ب} \times \overline{ل} = \overline{ب ب} \times \overline{ل}$$

$$\overline{ث ث} \times \overline{ل} = \overline{ث ث} \times \overline{ل}$$

فيكون المقدار الكلي $\overline{ا ا} \times \overline{ل} + \overline{ب ب} \times \overline{ل} + \overline{ث ث} \times \overline{ل} + \dots + \overline{م م} \times \overline{ل}$ ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلي يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمت $\overline{ا ا}$ و $\overline{ب ب}$ و $\overline{ث ث}$ مضروبا في نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا بشكل $\overline{ا ا ب ب ث ث د د}$ الخ المدرج كان المقدار الكلي

$$\overline{ا ا} \times \overline{ل} + \overline{ب ب} \times \overline{ل} + \overline{ث ث} \times \overline{ل} + \overline{د د} \times \overline{ل} + \dots + \overline{م م} \times \overline{ل}$$

وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح $\overline{ا م م}$ المتصل احدهما مقدار صغير جدًا وهو

$$\overline{ا ا} \times \overline{ل} + \overline{ب ب} \times \overline{ل} + \overline{ث ث} \times \overline{ل} + \dots + \overline{م م} \times \overline{ل}$$

ثانيهما مقدار كبير جدًا وهو

$\frac{1}{4} ل (ب ر + ث ش + \dots م م + م م)$
 فاذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

$\frac{1}{4} ل (\frac{1}{4} ا ا + ب ر + ث ش + \dots م م + م م)$
 فاذن يكون مقدار السعة او المسطح وهو م م مساويا لنصف عرض ل
 من جميع الطبقات مضروبا في مجموع مربعات اطوال ب ر و ث ش الخ
 المتوسطة وفي نصف مربع طول ا ا و م م المتطرفين

فيكون المقدار المتحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة
 كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فاذا قسمنا هذا المقدار على سعة م ا م
 حدث ع غ الذي هو بعد محور ام عن مركز ثقل هذه السعة
 وهو غ

وعليه فيكون ع غ = $\frac{\frac{1}{4} ا ا + ب ر + ث ش + \dots م م}{م م + م م}$

ثم ان حساب مقدار هذا الكسر هو اسهل شئ الا انه ينبغي فيه التاني
 وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا
 التي خاصيتها ان مربع الوتر يكون مساويا لمجموع مربعي الضلعين الاخرين
 وقد استبان من ذلك ان خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل
 الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها نفاعا عامة فنستعمل في سطوح اي شكل
 وليكن المطلوب تحصيل بعد محور س ص عن نقطة غ التي هي
 مركز ثقل سعة ا ب ث ... م ش ا (شكل ٣١) فمذ
 متوازيات ا ا و ب ر و ث ش و د د الخ التي على بعد
 واحد من بعضها وليكن غ و غ مركزى ثقل شكلي

$$\begin{aligned} \overline{م ا ب ش ا د م} \text{ و } \overline{م ا ا ش د} \dots \overline{م} \text{ فيحدث عنهما} \\ \overline{\frac{1}{4} م ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \overline{\frac{1}{4} م} \dots + \overline{\frac{1}{4} م} \\ \overline{م} = \overline{م ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \dots + \overline{م} \\ \overline{\frac{1}{4} م ا} + \overline{ر} + \overline{ش} + \dots + \overline{\frac{1}{4} م} \\ \overline{م} = \overline{م ا} + \overline{ر} + \overline{ش} + \dots + \overline{م} \end{aligned}$$

فيكون اوله مقدار

$$\overline{م ا ب ش ا د م} \dots = \overline{\frac{1}{4} م ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \dots + \overline{\frac{1}{4} م} \text{ وثانيا مقدار}$$

$\overline{ا ش م م} \dots = \overline{\frac{1}{4} م ا} + \overline{ر} + \overline{ش} + \dots + \overline{\frac{1}{4} م}$
 فيكون خارج قسمة فاضل هذين المقدارين على فاضل السطوح اي السطح
 المفروض وهو $\overline{م ا ب ش ا د م} \overline{ش ا}$ هو بعد مر كز ثقل هذا السطح وهو
 $\overline{غ غ}$ عن محور المقادير وهو $\overline{س ص}$

ويسهل بواسطة (شكل ٣٠) ايجاد $\overline{غ غ}$ الذي هو بعد مر كز ثقل
 $\overline{غ}$ بالنسبة الى محور $\overline{ا ا}$ العمودي على $\overline{ا م}$
 فاذا حسبنا مقدار الطبقات المتوازية المدرجة الصغيرة جدا وكان ذلك
 بالنسبة الى $\overline{ا ا}$ حدثت هذه المقادير

$$\begin{aligned} \overline{ا ا} \text{ مقدار} &= \overline{\frac{1}{4} ل} \times \overline{ل} \times \overline{ا ا} \\ \text{ثانيا مقدار} &= \overline{\frac{3}{4} ل} \times \overline{ل} \times \overline{ب} \\ \text{ثالثا مقدار} &= \overline{\frac{5}{4} ل} \times \overline{ل} \times \overline{ش} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلي $= \overline{\frac{1}{4} ل} (\dots + \overline{د} + \overline{ه} + \overline{ش} + \overline{ب} + \overline{ا})$ (١)
 فاذا جعلنا الطبقات المدرجة اكبر من سعة $\overline{م ا ب ش ا د م}$ الخ

المتصل حدث

$$\overline{ا ب} = \overline{ا} \times \overline{ب} = \overline{ا} \times \overline{ب} \times \frac{1}{4}$$

$$\overline{ر ش} = \overline{ر} \times \overline{ش} = \overline{ر} \times \overline{ش} \times \frac{3}{4}$$

$$\overline{د ه} = \overline{د} \times \overline{ه} = \overline{د} \times \overline{ه} \times \frac{5}{4}$$

فاذن يكون المقدار الكلي مساويا

$$\frac{1}{4} (\overline{ا ب} + \overline{ر ش} + \overline{د ه} + \dots) \text{ (ج) } \text{ و بأخذ نصف مجموع مقادري (ا) و (ب) يحدث}$$

$$\frac{1}{4} (\overline{ا ب} + \overline{ر ش} + \overline{د ه} + \dots) \text{ (ج) } \text{ ونستتر كذلك الى م م الذي لا يضرب في ضعف عدد الطبقات الموافقة له بل يضرب في عددها البسيط فقط فيكون مقدار (ج) مقسوما على سطح}$$

أبثد الخ يساوي غغ

ثم ان صناع السفن يحتاجون الى تعيين مسطح ومركز ثقل ومقدار القطاعات الاقمية المتنوعة المصنوعة في القارين (اي الجزء الاسفل من السفينة) والمنتهية بمحيطات يسمونها خطوط الماء او خطوط التوج واسهل الطرق في ذلك الطريقة التي ذكرناها فيلزم ان تكون هذه الطريقة المستعملة عند المهندسين البحريين مستعملة ايضا عند صناع سفن التجارة ومن هذا القبيل ايضا الطريقة التي ذكرناها لتعيين وضع مركز ثقل الاجسام الصلبة ومقدارها فلننقل وضع مركز ثقل الجسم الصلب الى مستوي المسقط المتقاطعين وهما المستعملان في الهندسة الوصفية (كما تقدم في الدرس الثالث عشر من الهندسة)

و لنقطع الجسم الى طبقات رأسية متحدة السمان مرموز اليها بحروف ا و ب و ج الخ والى طبقات اقمية مبيئة باعداد ١ و ٢ و ٣ الخ ومتحدة السمان ايضا ويكون ترتيب الارقام دال على ترتيب الطبقات فاذا فرضنا (شكل ٣١) ان سعة أبثد الخ قاعدة اسطوانة

قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطاً سقوطاً اقلياً على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعارف المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما

ولتوهم انقسام اى حجم كسفيئة مثلاً الى عدة طبقات افقية على بعد واحد من بعضها ومرسومة على الصورة التى فى شكل ٣٢ وتوهم ايضا ان سطح السفينة عوضاً عن أن يكون متصلًا يكون مدرجًا بحيث يكون كدرج السلم المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسمى فى اصطلاحهم بالمدرجات كان الجسم المدرج قريباً من الجسم الذى يكون سطحه متصلًا وبالجملة اذا فرضنا ان θ هو الارتفاع الرأى لسائر الطبقات او المدرجات حدث

(اولاً) ان حجم كل درجة من السلم يكون مساوياً θ مضروباً فى سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج

(وثانياً) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطاً سقوطاً اقلياً على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثاً) ان ارتفاع θ مضروباً فى مقدار الطبقة يكون مساوياً بمقدار المدرج الذى تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعاً) ان مجموع حجومات المدرجات يكون دالاً على حجم Q الكلى للجسم المفروض

(وخامساً) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالاً على المقدار الكلى للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير مأخوذة بالنسبة لمحور OS وكان مجموعها M

$$\text{حدث } EG = \frac{M}{Q} \text{ فإذا كانت مأخوذة بالنسبة لمحور } OS \text{ وكان}$$

$$\text{مجموعها م فانه يحدث و غ} = \frac{\text{م}}{\text{ق}}$$

ولا ينبغي ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلها كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصناعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أي جسم على وجه العجلة والضببط هذا ولا ينال من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة لا يبدئ منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع ان البحارة اذا عرفوها حق المعرفة وأجروا ما نالها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفنتهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وابقينا للتلامذة الذين يريدون التجرد في المعارف الاطلاع على الكتب الجليله الموافقة في هذا المعنى واثبات ما نذكره من الحواصل فنقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى وبقطع المنشور او الاسطوانة الى جزئين متساويين بمستوى موار لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة .

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذي يقسمه الى قسمين متساويين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى عمال فان يكون محتويا على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقريبا عين مراكز ثقل سطوحها وموجودة

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون حينئذ مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتزحلق على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج قريبا من المنشور للمائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتطرفة فاذا كان مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة او اخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي نجدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم المثلثي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

نقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقابلة لها
 وليكن $\overline{غ}$ (شكل ٢٣) مركز نقل قاعدة $\overline{ابث}$ لهرم
 $\overline{ض ابث}$ فيكون $\overline{كغ} = \frac{1}{4} \overline{كب}$ وليكن أيضا $\overline{غ}$
 مركز نقل $\overline{ض اث}$ فيكون $\overline{كغ} = \frac{1}{4} \overline{كض}$ فاذن
 اذا مددنا $\overline{غغ}$ و $\overline{غغ}$ فان خطي $\overline{كض}$ و $\overline{كب}$
 يكونان مقطوعين قطعا مناسباً وعليه فيكون $\overline{غغ}$ ثلث $\overline{بص}$
 وكذلك $\overline{كغ}$ يكون ثلث $\overline{كب}$ و $\overline{كغ}$ ثلث $\overline{كض}$
 فبسبب تشابه مثلثي $\overline{غغغ}$ و $\overline{غبض}$ يكون $\overline{مغغ} = \frac{1}{4}$
 $\overline{غض}$ وبناء عليه يكون $\overline{غغ} = \frac{1}{4} \overline{ضغ}$ فاذن يكون مركز
 نقل الهرم موجوداً في ربع بعد الرأس عند مركز نقل القاعدة
 ومركز نقل سطح الكرة وحجمها موجود في مركز تماثلها
 ومركز نقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل اوعلى سهم الطيلسان
 ويكون في منتصف هذا السهم
 ومركز نقل وحجم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها
 فاذا مددنا مستوياً قاطعاً من محور مخروط قائم مستديراً اواناقص فان مركز
 نقل المثلث اوشبه منحرف القطاع يكون مركز نقل سطح المخروط التام
 اوالمخروط الناقص
 ومركز نقل حجم نصف الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء
 من المركز
 ومركز نقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء
 من الرأس
 ومركز نقل قطعة الحجم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره

يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

* (بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام) *

يفتحي أن نفسر ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الحجم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المشابهة العظيمة فنقول

لنفرض أن مركز ثقل $\overline{غ}$ (شكل ٣٣) لسطح دائر حول محور $\overline{و}$ ويكون معيناً في رسم محيط $\overline{وم}$ في حال التحرك سطح دوران ويكون الحجم المحصور في سطح الدوران المذكور مساوياً لسطح $\overline{وم}$ ومضروباً في الدائرة التي قطعها مركز $\overline{غ}$

ولا ثبات ذلك ثمّ من محور $\overline{و}$ مستويين كستوي $\overline{وح}$ و $\overline{وخ}$ متقاربين من بعضهما قرباً كإيّا بينهما زاوية صغيرة جداً فيمكن أن يعتبر أن الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة الناقصة قاعدة كقاعدة $\overline{وم}$ و $\overline{وح}$ على مستوى $\overline{وح}$ فإذا قسمنا هذه القاعدة إلى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة منشور صغير قائم منته بمستوى $\overline{وخ}$

ولیکن $\overline{وس}$ $\overline{صز}$ احدهذه المربعات الصغيرة فاذا مددنا من نقطة $\overline{س}$ التي هي مركز المربع المذكور خط $\overline{سز}$ موازياً لمحور $\overline{وو}$ فانه يحدث معنا حجم منشور منشور $\overline{سز}$ تكون قاعدته $\overline{وس}$ $\overline{صز}$ و $\overline{سز}$ ارتفاعه ويكون مساوياً $\overline{وس}$ $\overline{صز}$ \times $\overline{سز}$ وعليه فهذا الحاصل هو مقدار $\overline{وس}$ $\overline{صز}$ المنقول على مستوى $\overline{وخ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{وح}$ فاذاً يكون مجموع حجوم المنشورات اعني حجم قطع $\overline{وح}$ و $\overline{وخ}$ مساوياً لمجموع مقادير $\overline{وس}$ $\overline{صز}$ و $\overline{سز}$ في مستوى $\overline{وخ}$ بالنسبة لمستوى $\overline{وح}$

فاذا

فاذا سقطنا في $\overline{غغ}$ نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل $\overline{ومدو}$ حدث

سطح $\overline{ومدو}$ \times $\overline{غغ}$ = مجموع مقادير $\overline{ومدو}$ الموضوع في مستوى $\overline{وغ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{وح}$ فاذن يكون الحاصل هكذا

سطح $\overline{ومدو}$ \times $\overline{غغ}$ يساوي حجم جزء من جسم الدوران محصور بين $\overline{وح}$ و $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون $\overline{غغ}$ مساويا للمسافة التي يقطعها مركز $\overline{غ}$ لينتقل من مستوى $\overline{وح}$ الى مستوى $\overline{وغ}$ متى فرضنا ان المستويين متقاربان من بعضهما تقاربا كبيرا .

فاذن يحدث من سطح $\overline{ومدو}$ مضروباً في مسافة $\overline{غغ}$ التي يقطعها مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو $\overline{وو}$ حاصل مساو لحجم جزء من جسم الدوران محصور بين مستويي $\overline{وح}$ و $\overline{وغ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات مبينا بحاصل ضرب سعة $\overline{ومدو}$ في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة .

وعلى ذلك متى كان الجسم حاداً من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم هذا الجسم مساوياً لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا التحرك مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبقى على حالة واحدة متى كانت سعة $\overline{ومدو}$ الدائرة حول $\overline{وو}$ لاجل الانتقال من $\overline{وح}$ الى $\overline{وغ}$ دائرة حول محور ثان مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير او صغير من سطح الدوران

الجديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهى بسطح جديد مساويا لسطح السعة
الراسمة مضروبا في المسافة التي يقطعها مركز نقل هذه السعة

* (تطبيق) *

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند المعمارجية الماهرين في حساب حجوم
او كيات الاحجار والحديد والاشخاب التي تحتوى عليها السلالم الخزونية
والعقودات المستديرة ومستعمله ايضا عند مهندسى القناطر والجسور
في حساب حفر وردم الخلجان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجزاء
المستديرة من المخارج النارية وهلم جرا ويكسر استعمالها ايضا عند
صناع السفن في تكعيب الاخشاب

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة
والميكانيكا من الروابط الاكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعمال
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استحالت بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط
والسهولة ولتشمير الآن عن ساعد الجهد والاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها
لهذين العليين الظرفين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

* (الدرس الخامس) *

* (في بيان ما بقى من قوانين التحرك) *

قد تقدم الكلام على قوانين التحرك الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعتين على نقطة مادية في اتجاه واحد
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على حالة
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبداء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة
الثانية

فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الانتظام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الوساير من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح ينقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

ولست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبنى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبنى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سوية كان تحركهما حاصل في زمن واحدا وفي ازمنة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوة التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدته

ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المقدم الى المؤخر فالحاصل حينئذ يكون ككلو كان الملاح مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو يتأخر فبناء على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها لو كان متحركا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى فاذا اردت أن تعرف لذلك مثلا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سارا الى

الامام في جهة الطول فانك لا تستر على هذا التحرك الانتقال بالسرعة
المنتظمة ولو استعملت كمية واحدة من القوة لتحرك بها
فاذا اطلقت بندقة او طبخية من نقطة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل
الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير
هذا التحرك مدة المسافة التي تقطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقة
او الطبخية الى الهدف المعين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة
المذكورة فنقول

لنفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام بجسم \bar{A} (شكل ١) تكون
مدفوعة بقوتين من موزايلهما يسمى \bar{AS} و \bar{AV} فان اثرت القوة
الاولى وحدها فانها تسير بجسم \bar{A} في ازمنة متساوية مسافات \bar{A}
و \bar{S} و \bar{S} الخ المتساوية على مستقيم \bar{AS} الذي هو امتداد
 \bar{AS} وان اثرت القوة الثانية وحدها فانها تسير بجسم \bar{A} المذكور في تلك
الازمنة المتساوية مسافات \bar{A} و \bar{S} و \bar{S} الخ المتساوية على مستقيم
 \bar{AV} الذي هو امتداد \bar{AV}

فاذا اثرت قوة \bar{AS} وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم \bar{A} الى \bar{S}
ثم اذا اثرت قوة \bar{AV} وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور في اتجاهها
الاصلي فانها تسير بجسم \bar{A} على مستقيم \bar{B} المساوي لمستقيم \bar{A}
والموازي له

واذا اثرت قوة \bar{AS} وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل جسم \bar{A} الى \bar{S}
ثم اذا اثرت قوة \bar{AV} وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين
فانها تسير بجسم \bar{A} على مستقيم \bar{B} المساوي لمستقيم \bar{A}
والموازي له وهكذا

وبالجملة فنقط \bar{B} و \bar{S} و \bar{D} الخ التي ينقل فيها الجسم حين تكون
قوتها \bar{AS} و \bar{AV} مؤثرتين على التعاقب هي عين النقط التي يصل اليها
هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معاملة زمن واحد وايضا

خاصية الخطوط المناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التي يحدث منها

ا ر : ر ب :: ا ث : ث ش :: ا د : د د ...

تستلزم ان نقط ا و ب و ه ث و د الخ تكون على مستقيم واحد

وان اشكال ا ر ب و ا ث ش و ا د د الخ تكون متوازية

الاضلاع ويكون لها وتر موضوع على مستقيم ا ب ث د الخ فاذن

مق وقع على الجسم تأثير قوتين فانه يهتزك على مستقيم واحد ويتبع وتر

متوازي الاضلاع الذي يكون كل ضلع منه دال على المسافة التي يقطعها الجسم

المذكور اذا كان مدفوعا مدة زمن واحد باحدى القوتين المركبتين

وعليه فمق كان القوتان المركبتان ميبنتين مقدارا واتجاها بمستقيبي ا ر

و ا ر فان محصلتهما تكون ميبنة ايضا مقدارا واتجاها بوتر متوازي

الاضلاع وهو ا ر ب الذي ضلعه ا ر و ا ر وهذا هو المسبي

بمتوازي الاضلاع للقوى

(ولامانع من ان نبرهن على خاصية متوازي الاضلاع للقوى برهنة صحيحة

فنعول

لنفرض قوتين حيثما اتفق كقوتى م س و ص الميبنتين (شكل ٢)

بمستقيبي ا م و ا ن ونتم بهذين المستقيمين متوازي الاضلاع وهو

ا م ن ولنوقع على نقطة ن من مستقيم م ن وعلى

امتداده قوتين متضادتين كقوتى م م و م مساويتين لقوة ص

فيعدم ان بعضهما ولا يغيران محصلة م س و ص

ونركب الا ن س مع م م و م مع م م

فاذا كانت ص المتجهة على م س محصلة قوتى م م و م

المتوازيتين حدث

م م : م س :: ا ن : ا م :: م ن : م م

لكن حيث ان خط $\overline{ش ك}$ مواز ل $\overline{ن ع}$ يحدث من خاصية الخطوط
المتناسبة (كما في الدرس الخامس من الهندسة)

$\overline{ان} : \overline{ن ع} :: \overline{اش} : \overline{ش ك}$

فاذن يكون $\overline{ش ك} = \overline{ش ن}$ وبما مستقيم $\overline{ك ن ر}$ تكون

زاويتا مثلث $\overline{ك ش ن}$ وهما $\overline{ش ك ن}$ و $\overline{ش ن ك}$

متساويتين وكذلك زاوية $\overline{ك ن ع}$ تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم $\overline{ك ن ر}$ زاويتي $\overline{ان ع}$ و $\overline{ص ن ع}$

الى جزئين متساويين وحيث ان قوتي $\overline{ص ص}$ و $\overline{ص ع}$ متساويتان

فان محصلتهما وهى $\overline{ر}$ تكون موضوعة على $\overline{ك ن ر}$ اذ لا مقتضى

لكونها اقرب من احدى قوتي $\overline{ص ص}$ و $\overline{ص ع}$ المذكورتين اكثر من

ال اخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي $\overline{س و ص}$ عين محصلة قوتي $\overline{ض و ر}$

لكن تكون محصلة القوتين الاوليين مارة بنقطة $\overline{ا}$ المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخرين مارة بنقطة $\overline{ك}$ المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة $\overline{س و ص}$ مارة بنقطتي $\overline{ا و ك}$ اعنى انها تكون مارة

بمستقيم $\overline{ا ك ع}$ الذى هو وازم موازى الاضلاع وهو $\overline{ام ن}$

الذى ضلعا وهما $\overline{ام و ان}$ دالان على قوتي $\overline{س و ص}$

الركبتين

ولاجل تحصيل مقدار محصلة $\overline{ز}$ المتجهة على $\overline{اع}$ (شكل ٣) نجعل $\overline{ز}$

مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوتي $\overline{س و ص}$ و $\overline{ز}$

متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخرين

ولترسم متوازي اضلاع يكون وتره متجهها على \overline{AM} وضاعاه متجهين على
 \overline{AN} و $\overline{AE} = \overline{AB}$ حتى اريد أن \overline{AN} يكون دالاعلى
 المركبة الاولى وكان \overline{AM} اتجاه محصلة \overline{MS} وكانت المركبة الثانية
 وهى \overline{Z} متجهة على \overline{AE} لزم أن يكون \overline{AE} ضلعاً من متوازي
 الاضلاع وهو \overline{ANM} فاذن يكون $\overline{AE} = \overline{NM} = \overline{AE}$
 فتكون محصلة $\overline{Z} = \overline{Z}$ مبينة المقدار والاتجاه بمستقيم \overline{AE} وهو
 وتر متوازي الاضلاع وهو \overline{AM} اذا كان \overline{AM} و \overline{AN} اللذان
 هما ضلعاً متوازي الاضلاع المذكور دالين على المركبتين

وكما كان متوازي الاضلاع للقوى مطبقاً على ما ينشأ عن الاعضاء من
 الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة التى
 نجبر على عملها لزم أن نعتبر فى سائر الاحوال ان ما نستعمله من القوى المركبة
 يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهة بنفسها الى الجهة التى
 يظهر لنا انها موافقة وان كمية القوى المدومة تكون قليلة مهم ما يمكن هذا
 وقد تجاسرنا على أن نحقق ان الممارسة المصنوعة بالاتباع والمواظبة
 فى الفوريات والورش يحدث منها فى القوة والزمن وفرة فوائد عظيمة ويتيسر به
 التباعد عن الاخطار المهولة ولنوضح ذلك بمثال يكثر وقوعه مع ما فيه غالباً
 من الضرر فتقول

اذا كانت حركة العربية سريعة فازعجت راكبها فوثب من بابها ونظ الى الارض
 فان جسمه يكون مدفوعاً أولاً بتحرك هذه العربية الاذنى وثانياً بقوة
 التماثل الرأسية فتكون محصلة القوتين الماثلة سبباً فى وقوع هذا الشخص
 حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثراً مع
 الانحراف فان هذا القطر الذى يمر بمركز ثقل هذا الشخص لا يمر برجليه
 اذا كان منتصباً فينبغى له حتى لا يقع أن يميل كثيراً عند النط بالجزء الاعلا

من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربية وكثيرا ما تمزقت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند النط من عربة بحجرورة باقراس ازبحجتهم سرعتها وماذالك الابلهلمهم بهذه الكيفية ودهشتهم عند حصول الخطر

ومتى كان ضلعان كضلعي **اب** و **اث** من شكل متوازي الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه فتى **ك** كان قوتان متساويتين فان محصاتها تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعي لان تكون المحصلة قريبة من مركبة اكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى **اد** الرأسي (شكل ٥) الممتد من رؤسها الى اذنانها متى كانت منتصبية مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنحتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذي يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى **اد** فاذا ن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعة في هذا المستوى ودافعة لكل طائر على اتجاه معين بهذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وسا قاه مستعملة على وجه متماثل كان جانباه متماثلين ولاجل تحصيل تأثير ميكانيكي ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانساني

ومثال هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يتبع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة يديه ورجليه كما في (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخص الرجلين **ب** **ب** **ف** **ف** **و** **و** **ر** **ر** والمحصلتان برمزي **ر** **و**

والسلك المتماثل الصورة له بالنسبة للمستوى الرأسي الممتد من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امشاه موضوعة بالتماثل على جانبيه يحركها مع السوية كما ان العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون في هذا المستوى وتحدث

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستوراى متماثل وموجه من المؤخر الى المقدم فتي اريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية موضوعة بوجه متماثل في كل من جهتي المستوى المذكور وهذه القوى (شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة عجلات ذات كفات وتارة اثقالا (راجع القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة تلك القوى موضوعة دائما في مستوى التماثل اذا كان الغرض تسيير السفينة

سيرا مستقيما

وقديوخذ من العموم الناشئ عن قوة الهواء الجانبى تطبيق ثابت دائما يتعلق بتحليل القوى وليكن اب (شكل ٩) محور السفينة التى يكون فيها مستقيم من دالا على مسقط الشراع المستند في نقطة و على الصارى فاذا كان وح دالا مقدارا واتجاها على قوة س التى يدفع بها الهواء الشراع نرسم متوازى الاضلاع القائم وهو وش د الذى وتره وح فاذا حللنا قوة وح الى قوتين فان احدهما وهى و ث الموجودة في جهة شراع من لا تحدث تأثيرا ما تسيير السفينة وثانية ما وهى ود العمودية على الشراع هى التى دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصارى والسفينة واذا حللنا قوة ود الى قوتين اخريين فان احدهما وهى وه

تكاد تسيير السفينة في جهة محور التماثل وثانية ما وهى وف تدفعها بالجذب وتحدث التحرك المسمى بالتحريف ويجب على صانع السفن والملاح أن يبرز تركيب سفنهما وتحركها بحيث يحدث من قوة وه اعظم سير ممكن

ومن قوة وف اقل التحريف ممكن

وفي متوازى الاضلاع وهو ابثد (شكل ١٠) اذا كانت زاوية باث منفرجة جدا يكون وتره وهو اد قصيرا جدا وكلما كانت زاوية باث صغيرة كان الوتر المذكور يمتد الى النقطة التى تكون فيها

زاوية $\overline{بأث}$ المذكورة معدومة وحينئذ يكون $\overline{أث}$ موضوعا على $\overline{أب}$ وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فإذا لم تكن زاوية $\overline{بأث}$ معدومة لانه يكون محصلة قوتى $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ مساوية بالكيفية لمجموع هاتين المركبتين .

ويكثر استعمال خاصية محصلة $\overline{أد}$ وهى اتقاصها كلما زادت زاوية $\overline{بأث}$ ولذا كذلك مثلا سه لاقول

إذا فرض ان المطلوب ربط صندوق $\overline{م م}$ بجبل من دبابرة (شكل ١١) فانه يبدأ بجعل $\overline{شأ}$ الذى هو طرف الجبل المذكور مارا من حلقة $\overline{أ}$ المصنوعة فى نقطة $\overline{آ}$ التى هى طرف $\overline{أب}$ ثم يشد الطرف الخالص شدا قويا فى اتجاه قريب جدا من $\overline{أث}$ فإذا كان لا يمكن تحصيل تأثير فى هذه الجهة فان هذا الطرف يوجه بالعرض الى $\overline{أد}$ ومتى شد بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية $\overline{بشأ}$ اعنى ان نقطة $\overline{آ}$ تحير على أن تكون

فى $\overline{ه}$ بحيث ان الوتر الصغير وهو $\overline{هف}$ من متوازى الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التى توازن شدى الجبل العظيم وهما $\overline{به}$ و $\overline{هث}$ ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت الصندوق ثم بين $\overline{ه ب}$ و $\overline{هث}$ و $\overline{ه د}$ الخ وتوصل نقطة $\overline{ه}$ الى نقطة $\overline{آ}$ بواسطة شد الجبل شدا تدريجيا

وكانوا سابقا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب او السهم فكانوا يرمونه بقوس $\overline{ش ه د}$ المرن (شكل ١٢) المشدود بوتر $\overline{ش د}$ وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم فى الدرس الثالث من الهندسة ان كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقنص والحرب واستعملت فى الفاظ العلم ولذا ذكر تأثير القوس فنقول

ان الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه فى نقطة $\overline{ه}$ ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب ويتكى على هذا الطرف فى نقطة $\overline{ف}$ التى

هي منتصف الوتر وما يذله من الجهد في ابعاد نقطة ه عن نقطة ف يكون
 مينا بمقدار ٢ ف غ وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوترين يكون مينا
 بمقدار غ د و غ ث

فاذا افلقت اليد الموضوعه في نقطة غ طرف السهم فان نصفي وترى
 غ ث و غ د يأخذان طولهما الاصلى وذلك لانهم ما يؤثران في السهم
 بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو غ ه

وعند الرمي تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وترالى القوة التي بها يرمى
 سهم اب كنسبة طول غ ث او غ د الى ضعف غ ف
 لان غ ف هذا هو نصف وتر متواوى الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي

غ ث و غ د

ولكن حيث كان قوس ش ه د في العادة جسما مرنا فانه يكاد أن يكون

فأما مع الشدة بقدر انطباق زاوية ش غ د وبذلك تزداد القوة التي
 يرمى بها السهم ايضا وبهذه الطريقة يمكن لاي انسان ان يستطيع يده رمي السهم
 بعيدا عنه الا ببعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان او غيره من الحيوانات الكبيرة
 وهالك مثلا لا آخريين لك الشدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التي
 يثنى بها وتر القوس فنقول

اذا كان الغرض ان الهر به (لئى العود الافرنجى) يكون له درجة من الشد
 يصل بها الى صوت لأثق له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح نضاعف به قوة ملاوى
 الاوتار اربع مرات او خمسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك مشقة
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الآلة كاتصال الجزء بلكه
وقد حسب المهندس بروفي شداوتار اليبانوي (اي القانون الافرنجي) فوجد
بمجموع شدته يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالفتى الصغير الذي اذا مدت
ذراعيه على طول اوتار العود لا يسندهما الا بالمشقة يجدي اصابه اللطيفة
قوة كافية للقبض على هذا الاوتار والضرب عليهما من منتصفها بانامله بحيث
يحدث من ذلك نصف اوترين منزويان وهما ضلعا كثيرا الاضلاع (شكل ١٣)
الذي يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع الفتى المذكور ومتى فسخ يده
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحريك الاهتزاز الذي تسمع رتبه
مدة طويلة ما لم يتقطع بالدواسة او ينعدم بين انغام الاهوية والمقامات
المتوالية

ولم نذكر الينا هنا ما يتعلق بمتوازي الاضلاع البسيط للقوى اى الذى لم يتكون
الامن مركبتين ومحصلتهما

ولنعرض الان ان هناك ثلاث مركبات مؤثرة فى نقطة مادية كنقطة A
(شكل ١٤) وليكن AB و AC و AD اجزاء من مستقيم واحد
دالة طولها واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازي الاضلاع
وهو $ABCE$ باعتبار مستقيمي AB و AC كضلعين له كان وتره
وهو AE دالة على مقدار محصلة القوتين الاوليين واتجاههما بمعنى ان
الجسم الواقع عليه تأثير قوتى AB و AC معا وقوة AE وحدها
يقطع مسافة واحدة فى اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة AE الجزئية مع القوة الثالثة وهى AD فيحدث من

المستقيمين الدالين عليهما متوازي الاضلاع وهو $ADEF$ ويكون AF
الذى هو وتر هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة AD و AE
الا ان التأثير الحادث من AE يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتى AB

و اث فاذن يكون التأثير الحادث من قوة اف مكافئاً للتأثير الكلي الحادث من قوى اب و اث و اد الثلاثة ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهى انه متى كانت قوتان كقوتى اب و اث (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم كجسم ا فان اثرت فيه القوة الاولى وهى اب وحدها في زمن معلوم فانها تنقله من ا الى ب وان اثرت بعدها القوة الثانية وهى اث وحدها فانها تنقله ايضا من ب الى هـ بالتوازي لقوة اث بحيث يكون ب هـ = اث ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة اد وحدها فانها تنقله من هـ الى ف بالتوازي لقوة اد بحيث يكون هـ ف = اد

وبالجملة فالجسم المذكور والواصل الى ف بالتأثير المتوالى الحادث من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التي كان يصل اليها لو كانت هذه القوى الثلاثة كلها مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله وهذه الكيفية لا تغاير الكيفية السابقة الا بكونها دون المتقدمة في الصعوبة وذلك لانه ينقص فيها الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤

فاذا كان هنالك عددا من القوى كقوى وا و وب و وث الخ (شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم الى مسافة ابعد من المسافة التي نقل اليها الجسم في صورة ما اذا اثرت فيه القوى كل واحدة على حدها مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى في الزمن المذكور وحينئذ نمد بالتوالى مستقيمت ا و رث و رث الخ موازية ومساوية في الطول لمستقيمت وب و وث و ود الخ ثم نصل نقطة و الاولى بنقطة هـ الاخيرة من هذه الاضلاع المتسلسلة فيكون مستقيم وهـ دلا على محصلة جميع المربعات الميمنة بمستقيمت وا و وب و وث و ود الخ

فاذا غلقنا حينئذ بمستقيم وهـ كثير الاضلاع وهو وا رث د هـ ... هـ و

كان هذا المستقيم $\overline{دا}$ على المحصلة الكلية متى كان كل من الاضلاع $\overline{دا}$ الاعلى قوة مركبة

فاذا عكست محصلة $\overline{وه}$ الى $\overline{وه}$ فان هذه القوة المحصلة المضادة للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية اللطيفة المنسوبة الى المهندس لينتزر وهي اذا كان هناك قوى بقدر ما يراد واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مبينة مقداراً واتجاهها في سمت متتابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظماً كان او غير منتظم غير أنه يكون تاماً ومغلوفاً فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو $\overline{من ح خ ر ض}$ (شكل ١٧) زاوية داخلية $\overline{كزاوية ر خ}$ وهذه الزاوية لا بد منها في عمل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم $\overline{خ ر}$ يدل على الجهة التي ينبغي أن يرسم فيها ضلع $\overline{خ ر}$ لتكون القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالجملة فكل ضلع من كثير الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وفائدة الكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انها تستعمل ايضا في القوى المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جداً في كثير من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى $\overline{وا}$ و $\overline{وب}$ و $\overline{و ه}$ و $\overline{و د}$ الخ (شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع $\overline{ككثير}$ الاضلاع وهو $\overline{وا ر ش}$ الخ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل لنظيره في مستو واحد غير أنه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي $\overline{وه}$ مبينة مقداراً واتجاهها بمستقيم $\overline{وه}$ الممتد من نقطة $\overline{و}$ التي هي مبداء كثير الاضلاع وهو $\overline{وا ر ش}$ الخ الى نقطة $\overline{ه}$ التي ينتهي فيها آخر الاضلاع الدالة على القوى المركبة

وكما سهل عمل كثير الاضلاع وهو W W W الخ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا مما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاه المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم M N (شكل ١٨)

الموضوع على مستو بالنسبة الى محوري W S و W V يكفي أن ننزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري المسقط المذكور فيكون جزأ M W و M N المحصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان

فاذا مددنا M الى A و M الى B فانه يحدث متوازي الاضلاع وهو M N B A الذي يمكن اعتبار M N فيه كقوة محصلة

مركبتها مابينتان بمستقيمي M B = M و M A = M N حيث ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وماذ كرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مبينة بمسقطها على محورين متقاطعين

فاذا كان هناك عددا من القوى مثل M N و N C الخ (شكل ١٨)

فانه يكفي أن نأخذ مساقطها على محوري W S و W V المتقاطعين ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على W S بقوى M W و W C و C X الخ ومن جهة اخرى على W V بقوى M W و W C الخ فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حينئذ يكون مستقيما

مخ الغالق لكثير الاضلاع وهو من ح ح خ دالا على محصلة قوى

من و ن ح و ح خ ويكون مسطاهما م م م و م م م
 هما مجموع المساط الجزئية او فاضلها فاذا كانت قوى م م م و م م م و م م م الخ
 و م م م و م م م و م م م الخ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها
 تكون أولا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع
 سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها
 ولاشئ اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (هشكل ١٧) جملة من القوى مينة بمستقيبات من

و ن ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيبات على محور و س
 في م م م و م م م و م م م الخ فان قوى م م م و م م م يكون
 دفعهما الى جهة مضادة لجهة م م م و م م م و م م م الخ وعلى ذلك
 تكون المحصلة مساوية م م م + م م م + م م م - م م م + م م م
 ومن البديهي ان م م م + م م م - م م م هو م م م وان م م م
 - م م م هو م م م فاذا ن تكون المحصلة الكلية مساوية م م م + م م م

اعنى م م م وهذا الجزء المحورى هو مسقط م م م الذى يغلق كثير
 الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الثمال على محصلة من

و ن ح و ح خ الخ

فاذا كانت جميع قوى من و ن ح و ح خ الخ (شكل ١٨)
 فى مستوى محورى و س و م م م فلن التحركات الحادثة من نقطة
 م على محورى المسقط تكون دالة دلالة تامة على التحركات الحادثة
 من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت قوى من و ن ح

و ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بأن نأخذ مثلاً مستوياً رأسياً ومستويين آخرين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا انزلنا على المحاور باعمدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يؤول الامر الى ان النقطة المادية المتحركة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية

وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في الدرس السابع من الهندسة الذي تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحيث اذا ما مدنا وتر $أغ$ (شكل ١٩) من زاوية $أ$ الى زاوية $غ$ المقابلة لها فمن البديهي انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع $أب$ و $أث$

$= ب ه$ و $أد = و غ$ الثلاثة تحصل من ذلك كثير اضلاع $أب ه غ$ مغلوقة من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان $أغ$ الذي هو

ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالاً مقداراً واتجاهاً على قوة $أغ$ المتوازنة مع القوى الثلاثة الميمنة على وجه التناظر مقداراً واتجاهاً بمستقيمت $أب$ و $أث$ و $أد$

فعلى ذلك اذا كانت قوة $أغ$ مثلاً تكفي في نقل نقطة $أ$ الى نقطة $غ$ في زمن معلوم فان قوة $أث$ تنقل في زمن مساوٍ لهذا الزمن النقطة المذكورة من $أ$ الى $ب$ ثم تنقل كذلك قوة $أث$ في زمن مساوٍ له نقطة $أ$ من $ب$ الى $د$ وكذلك قوة $أد$ تنقل في زمن مساوٍه ايضاً

تقطعة $\bar{ا}$ من $\bar{ه}$ الى $\bar{غ}$
 فاذن اذا كانت القوى الثلاثة الميئنة بمستقييات $\bar{اب}$ و $\bar{اث}$ و $\bar{اد}$
 مؤثرة معا فانها تنقل $\bar{ا}$ الى $\bar{غ}$ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من
 هذه القوى مؤثرة على حدها بالتوالي او الذي تكون فيه محصلة $\bar{ا}$ $\bar{غ}$
 مؤثرة دون غيرها

ولننبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مستقييات $\bar{اب}$ و $\bar{اث}$
 و $\bar{اد}$ فان اجزاء $\bar{اب}$ و $\bar{اث}$ و $\bar{اد}$ تكون بالضبط على هذه
 المحاور مساقط لوتر $\bar{ا}$ $\bar{غ}$ الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة
 ثم ان هذه الطريقة التي سلكتها وان كانت مطوّلة الا انه لا بد منها
 حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى ويهاها انما هي من قبيل
 المبادئ

واذا حللنا كلا من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين
 موازيتين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه
 يتحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى
 المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يوول تأثير
 القوى التي لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية
 بلا واسطة

فاذا كان لسائر القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز
 ثقل الجسم فانها تكاد تسير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون
 دوران كما لو كانت محمولة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها
 المشترك بينها

واذا كان لسائر القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه
 المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا التحرك فله فرض أن قوة AS لا تكون مارة بمركز الثقل وهو G

(شكل ٢٠) فمن حيث أن G عمود عمود من نقطة G الى AS الذي هو اتجاه تلك القوة فان تحرك الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة

كقوة GS موازية ومساوية لقوة AS وقوتان كقوتى AS

و AS الموازيان لقوة GS المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة

منهما لنصف GS والموضوعتان على وجه بحيث تكون $GA = GS$

لان قوة GS متوازنة مع AS و AS غيرا قوة AS

لما كانت نصف قوة AS وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت

نصف AS وبناء على ذلك يكون الجسم متحركا بثلاث قوى احدها قوة

GS المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة AS والثانية نصف AS

المؤثرة في جهة AS والثالثة AS المساوية لنصف AS والمتجهة

الى جهة مضادة لها

وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى AS و AS بعيدتين

بالسوية عن مركز الثقل وهو G كانتا مؤثرتين تأثيرا يبدو مركز الثقل

المذكور بدون أن يسيراه الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون

احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي الى جهتين

متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى

فعلى ذلك أولا لاية تقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى

AS و AS وثانيا يكون هذا المركز منقولا بتأثير قوة GS

على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة AS وموازية لها

وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة ما وحللتنا أولا

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عيننا ثانيا المحصلة الكليّة للقوى المذكورة لاجل نقلها بالتوازي الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كالمكانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحركات الداخلية الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئا من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي تحتة كبيرة يلعب عليها بأكر صغيرة من العاج اوسن الفيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواص التحرك الحادث للجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العاج اوسن الفيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلا فانه يسير اولا الى الامام بالسرعة التي كان يسيرها لو دفع على اتجاه مركزه وثانيا يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحتها فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطيء كالمكانت ذيله مؤثرا بالتوازي للبليارد وحينئذ يمكن ان سرعة الدوران تنقله الى الغاية التي لا تنعدم فيها السرعة المذكورة بتمامها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتواليه وزوالها بالكليّة وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائما كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصة لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كالمكانت منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخيره
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار توجد في تحرك كل المدافع
والقنابر ويحصل منها فوائد عظيمة جدًا معرفتها من أهم الأشياء في فن الحرب
وهي الغرض الأصلي من فن الطوبجية

(الدرس السادس)

في بيان الآلات البسيطة وهي الحبال والقناطر المعلقة وعدد دخول العربات
وادوات السفن ولوازمها وما أشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الأجزاء المادية الممتعة المستعملة لنقل أي قوة من
القوى بأن يغير اتجاهها أو سرعتها أو المسافة الأفقية التي يقطعها الجسم
في زمن معلوم

والآلات البسيطة سبع ومنها تتألف جميع الآلات المركبة وهذه الآلات
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والملفاف (أي المنجنيق) والمستوى المائل
والبريمة والحجابور وسندين كلاهما تفصيل على حسب ما تقتضيه أهمية
موضوعه ولنشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

(بيان الحبال)

قد فرض المهندسون أولاً لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة
لنقل القوى أنها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم نظر والمالزم
اعتباره فيما من شدها كثيراً أو قليلاً ومدتها وتناقلها فبحثوا (بالنظر
والتجربة) عن التغيرات التي يمكن عروضاها للعوامل الأصلية بخواص
المادة التي تتركب منها الحبال المذكورة

ثم إن تحويل المسائل الصعبة إلى أصولها السهلة ليس إلا كيفية عقلية بها
يتوى الفهم السقيم وتسهل وسائط العمل فلذا آثرنا في البحث عن خواص
الحبال وسائر الآلات البسيطة

فلنرض أذن حبالاً على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجردة عن التناقل
ثم نبدء بإيقاع قوة واحدة على كل من طرفي هذا الحبل ونفرض أن هاتين

القوتين الشادتين للجبـل في جهتين متقابلتين متساويتان فبتأثيرهما يكون
الجبـل مشدودا شدا مستقيما وطرفاه على اعظم بعد ممكن فعلى ذلك تكون القوتان
المذكورتان متوازتين اذ لداعي لكون الجبـل المشدود من طرفيه يتقدم
الى جهة اكثر من اخرى

فاذا \equiv ان هناك قوة ثالثة شادة للجبـل في جهة احدى القوتين الاوليين
فان هاتين القوتين بعد ما يكون تحرك الجبـل من جهة القوة الثالثة
فقط كما لو كانت القوتان الاوليان لم يوجد اصلا وهذا التحرك الحادث على اتجـاه
الجبـل لا يمنع من أن يكون على خط مستقيم فاذن لا يكون الجبـل مشدودا
البالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازتان فلا يتحصل منهما الا هذا
التوازن الناشئ عن شد كل منهما للجبـل

وتنتيجة ذلك تكون واحدة مهما كان طول الجبـل ويؤخذ من ذلك ان الشد
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من نقط الجبـل التي هي ث و ا الخ
وبالجملة فلاجل معرفة شد الجبـل من نقطة منه كنقطة ث (شكل ١)
نفرض ايقاع قوتي اس و بص على تلك النقطة وكذلك لاجل
معرفة شده من نقطة ا نفرض ايقاع قوتي اس و اص عليهما
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وينتج من ذلك ان شد الجبـل من نقطة ث مثلا يكون (كما تقدم قريبا)
واحدا كما في طرف ا فاذن يكون الشد واحدا في جميع اجزاء الجبـل
ولنفرض الان انه يكون للجبـل في جميع طوله قوة ثابتة ماعدا نقطة واحدة
تكون اضعف من غيرها فبازيادة القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة
يتوصل الى حد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد فيما عدا النقطة المذكورة)
قليلا لاجل نقص الجبـل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط
الاخرى فاذن يحصل نقص الجبـل في هذه النقطة ويكون التوازن معدوما
وهذه الكيفية هي التي تستعمل في القنون مع الضبط لقياس قوة الجبال فاذا اريد
استعمال الجبال في تثبيت الاشياء التي ينبغي المحافظة على امساكها وفي تعليقها

فلا بد من تحقق أن هذه الحبال تفعل ما يعرض لها من الجهود العظيمة بدون تقص ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبلها تلك الحبال والقض المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة الفرنسية لانه اذا نظرت في كل كلبة من السلسلة الى رداءة الحديد المتخذة منه اورداء صناعته يكنى ادنى قوة في جعل القنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكلبات كلها على هذا النسق

واذا كان الحبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض تقطه اضعف منه في البعض الآخر واذا اخذنا طرفي حبل غير متساويين في الطول وشددناهما شداً متساوياً فان الطرف القصير منهما يكون قابلاً لتحمل جهد عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل ولنفرض ان كلامنا من الطرفين يقع عليه قوى متعددة بدلا عن القوة الواحدة

فلتكن A و B و C و D هي القوى المؤثرة في الحبل

من احد طرفيه و B و C و D هي القوى

المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى A و B و C و D

الحق بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك نبدل قوى B و C و D

و B و C و D بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب

القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فنقسم كثيرا اضلاع تكون مضلاعه

مساوية وموازية للمستقيبات الدالة على جملة القوى الاولى وكثيرا اضلاع

اخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيبات الدالة على جملة القوى

الثانية ويكون مستقيبا A و B الغالغان لكثيرى الاضلاع

المذكورين دالين على المحصلين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان

متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه حبل A و B وأن يكونا

متساويتين

فاذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون
السرعة على نسبة منعكسة لجسم الجبل المعداد للتحرك وهكذا (كما تقدم
في الدرس الثاني)

* (تطبيق ما تقدم على ضرب النوايس) *

النوايس التي تضرب في الكأس مشدودة بجبل أب الراسي
(شكل ٣) فاذا كان الناقوس ضحما بحيث لا يمكن لشخصين او ثلاثة
ضربه مع السهولة بشدهم جميعا للجبل المذكور فانه يربط في الطرف الاسفل

من جبل أب الاصلى جبال صغيرة كجبال أسه و أسه و أسه الخ
ويقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك
الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أسه س س الخ الذي تدل اضلاعه وهي أسه و سه س و س س الخ
مقدارا واتجاهها على قوى أسه و أسه و أسه الخ

وبتمستقيم أس بين نقطة أ ونهاية الضلع الاخير يعلق كثير الاضلاع
للقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم دال على المحصلة وبالجملة فيلزم في الصورة
التي نحن بصدد هأن تكون هذه المحصلة في اتجاه جبل أب الراسي

ويقف عادة ضاربو الناقوس المتقاربون في القوة على شكل دائرة ويكونون
على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الراسي
لجبل أب وبهذا الوجه تتر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم أب

* (بيان الكبش (اي الشامردان) وهو الآلة المعتادة لدق الخواير) *

ما ذكرناه في صورة ضرب النوايس يجري ايضا فيما اذا اريد أن يشد بجبال
صغيرة الجبل الاصلى الذي يحرك الكبش المستعمل لدق الخواير وقد غلب
على هذه الآلة اسم آلة الضرب لانها تضرب كناقوس الكنيسة الضخم ولاجل
الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تتكلم الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها فقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن اس و بص (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان

على ا و ب اللذين هما طرفا جبل ا ب و ث هي القوة الواقعة على نقطة ث المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة

عند نقل بص الى ث و اس الى ث فيكون

ث الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي ث

و ث مساويا ومقابلا لقوة ث على وجه الصحة والضبط

ولنفرض ان قوة اس (شكل ٥) الميينة بمستقيم ث

وقوة بص الميينة ايضا بمستقيم ث يكونان متساويتين

فاذن يكون متوازي الاضلاع وهو ث شكلا معيننا وتكون

زاويتا ث و ث متساويتين بمعنى ان مستقيمي

ث و ث يحدن عنهما مع اتجاه محصلة ث

زاوية واحدة

ولكن تكون قوة ث قريبة او بعيدة عن ث اكثر من

ث على حسب كبر ث او صغره عن ث وذلك متعلق

بصورة مثلثي ث و ث المتساويين

فاذا كان هنالغا ربع قوي كهوى اس و بص و اس

و بص (شكل ٦) واقعة على تقطعي ث و ث يلزم

ان يكون التوازن حاصلًا حول كل من النقطتين المذكورتين وهلم جرا

فاذا كان حول نقطة ث متلاقوتا اس و بص اللتان يلزم

أن تكون محصلتهما متجهة على امتداد $\overline{\text{ثث}}$ ودالة على الشد الكلى
 الحادث من هاتين المركبتين على حبل $\overline{\text{ثث}}$ الصغير فبرسم متوازي
 الاضلاع وهو $\overline{\text{ثص}}$ زسه الذي فيه $\overline{\text{ثس}} = \overline{\text{أس}}$ و $\overline{\text{ثص}}$
 $= \overline{\text{بص}}$ يحدث أن $\overline{\text{بش}}$ يساوي شد حبل $\overline{\text{بث}}$
 وكذلك نقطة $\overline{\text{ث}}$ فانه اذا رسم متوازي اضلاع $\overline{\text{ثص}}$ زسه
 الذي فيه ضلع $\overline{\text{ثس}} = \overline{\text{أس}}$ و $\overline{\text{ثص}} = \overline{\text{بص}}$
 يحدث أن $\overline{\text{بش}}$ يساوي شد الحبل ولاجل توازن $\overline{\text{ثث}}$ يلزم
 أن يكون شدا $\overline{\text{بش}}$ و $\overline{\text{بث}}$ المتضادا منساويين

ولننبه هنا على ان تعيين شدود $\overline{\text{اث}}$ و $\overline{\text{ثث}}$ و $\overline{\text{ثأ}}$ الخ المتنوعة
 لاعلاقة له بطول اجزاء $\overline{\text{اب}}$ و $\overline{\text{بث}}$ و $\overline{\text{ثد}}$ الخ وانه عند
 زيادة هذا الطول او نقصه تتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن
 أن يفرض انعدام واحد منها او اكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء
 على ذلك اذا كان هناك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد
 فبايقا عها كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها
 مع نقلها بالتوازي لنفسها وتخليصها من الحبل المذكور تكون متوازنة
 فاذا كان هناك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل
 كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الحبالى ويلزم أن تكون القوى
 المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع
 الذى تكون هذه النقطة رأسه

وتم امثلة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الحبالى وذلك اذا علمنا انتقالا
 فى حبل لا يكون طرفاه على رأسى واحد وسيظهر لك من القناطر المعلقة التى
 سنتكلم عليها فى آخر هذا الدرس مثال آخر فى شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الجبالية وفي شأن فائدة تقويماتها

ولتكن $اصه$ و $بز$ و $بش$ و $دون$ (شكل ٧) قوى
 رأسية فتكون محصلتها وهي $رر$ رأسية ايضا مساوية لمجموعها
 ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الجبالي يلزم

أن قوة $رر$ الدالة على مجموع قوى $اصه$ و $بز$ و $بش$ و $دون$
 توازن شد طرفي الجبل اللذين هما $آ$ و $د$ وذلك يقتضى أولا أن

انجاهى قوتى $اسه$ و $دع$ المتطرفين يتقاطعان في نقطة و على $رر$
 التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا $وسه = اسه$

و $وع = دع$ على مستقيمي $واسه$ و $ودع$ فان وتر متوازي
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا $رر$ مساواة صحيحة
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء جبل $ابشد$ المتنوعة فانه يسهل
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موالية مثل $اسه$ و $بز$ الخ كوتر
 متوازي الاضلاع الذي ضلعا ممتدان وهما $اسه$ و $اب$ او $اب$
 و $بش$ او $بث$ و $شد$ الخ فتمكون اضلاع هذا الشكل

دالة على شدود الجبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شدة طرفي كل جبل صغير
 كجبال $اب$ و $بث$ و $شد$ فاذا كان التوازن باقيا على حاله
 لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفي كل جبل صغير لان الجبل
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الفتد الاكبر كما لو اترفه مباشرة قوتان

غير متساويتين

ولتتكلم هنا على تناقل الجبال مبتدين بالجبل المثبت من طرفيه والمخلى ونفسه
 معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الجبل مركب من عدد غير محدود من المستقيبات الصغيرة

المتساوية المائلة قليلا على بعضها بحيث يحدث عنها المنحنى الذى يتبعه الحبل
 المذكور ليكون بذلك متوازنا وساكا فاذا اعتبرنا حبلين اى ضلعين من هذه
 الاضلاع الصغيرة المتوالية كضلعى اب و بث (شكل ٨) كانت
 محصلة نقل كل منهما قوة مارة بمنتصفهما وهما م و ن فيحدث
 حيثئذ عدة قوى ك قوى م و ن و و متوازية
 ومتساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون نقط وقوعها وهى م و ن
 و و على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاها رأسيا
 ولتكن ر رمزا الى هذه المحصلة فيلزم بحسب ما تقدم ان ف
 و غ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الحبالى يتقاطعان
 بواسطة امتدادهما على محصلة ر المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع مماسا منحنى ف اب... غ فى تقطى ف
 و غ دائما على اى اتجاه محصلة نقل الحبل المنحلى ونفسه معلقا وهى محصلة
 مارة بمركز نقل الحبل المذكور

(وقستعمل هذه الخواصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تفاضلية
 تتعلق بالمنحنى الحادث من الحبل المنحلى ونفسه لتناقله الا انه ليس فى القواعد
 المستعملة ما يمكن فى تحصيل الكميات المجهولة الموجودة فى المعادلة التى يتعين
 بها صورة ذلك المنحنى بكيفية صحيحة واما الارباب الفنون فيمكنهم ان يحسبوا
 هذا المنحنى ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل
 على وجه سهل الى تحصيل الخواصل التى لا يمكن ان يتوصل اليها
 بعلم التحليلات)

وقد يكون المنحنى الحادث من الحبل المنثنى بواسطة تناقله باقيا على حالة

واحدة سواء كان هذا المنحنى جبلا لينا متواصلا او كان سلسلة كبيرة كانت
او صغيرة هي كبة من كلبات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير
الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدا وذلك هو
شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المنحنى الذي تتبعه تلك السلسلة
او جبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومخلى وقسمه لتأثير التناقل
ويكثر استعمال هذه السلسلة في فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون
المستظرفة

وتكون القنن او السلاسل المشار اليها برمز \overline{AB} (شكل ١٤)
التي بها توازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة
الانحناء او قليته على حسب شدتها ومن هذا القبيل حبال السحب اى
اللبانات التي يشدها الرجال او الخيول بواسطة حبال صغيرة مربوطة
في نقط مختلفة من الحبال الاصلية ثم ان شد الحبال الكبيرة والصغيرة
والنقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد
المذكورة في هذا الدرس ولنزد استعمال تلك السلاسل نوع اوضح فيما يتعاقب
بادوات السفن فيقول

يلزم أن ننسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الجبالى توازن الحواشات
وهي الحبال الممدودة من احد شاطئى الانهر الى الشاطئ الآخر وهي
مربوطة في نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من تحتها السفينة
ذات الصارى ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف
الاعلى من الحبل الذي يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهذا الحبل
اياما كان وضعه يقع عليه شد ناشئ عن التأثير الحادث في السفينة من التيار
وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جزئى الحواش
الموضوعين على عيني الحبل المسلك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التي تكون لذلك الحبل او الخواش يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الجبالي المتقدمين

واهم تطبيقات السلسلة والجبالي على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير أنه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لانها كثيرة القوائد فنقول

اذا كان A و B اللذان هما طرفا سلسلة AB (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التي هي على صورة المنحنى متماثلة بالنسبة الى رأسي D الممتد من نقطة D التي هي منتصف AB وحينئذ فلا داعي لكون جزء الشمال وهو AD يخالف في الصورة والمقدار جزء اليمين وهو

فث

وقد يحدث من الاكليل وخيوط الذهب والحرير والقياطين والاهذاب والازهار المعلقة في نقط ليست على رأسي واحد سلاسل يتنوع تماثلها بتنوع الانحناءات والاضلاع وظرافة هذا التنوع من استمرار الفن الذي الغرض الاصلى منه زخرفة المنازل والعمارات العامة ولا بد للنقاشين والمصورين من معرفة الانحناء الذي يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة E تكون ثابتة (شكل ٩) وحذفنا AD فان الجزء الباقي وهو ED لا يكون خارجا عن التوازن فاذا مددنا حينئذ مستقيم EF الافقي واخذنا نقطة F عوضا عن نقطة B وجعلناها نقطة ثانية ثابتة فان جزء ED يكون متماثلا

مع فث

فاذا لم يكن طرفا السلسلة (التي هي على صورة المنحنى) وهما $\overline{ه}$ و $\overline{ب}$ موضوعين في ارتفاع واحد فإنا اذا مددنا من طرف $\overline{ه}$ الذي هو دون الطرف الآخر في ارتفاع خط $\overline{هف}$ الافقى كان جزء السلسلة وهو $\overline{هث}$ الموضوع تحت الافقى المذكور متماثلا بالنسبة لعمود $\overline{شغ}$ النازل من نقطة $\overline{غ}$ التي هي منتصف $\overline{هف}$ وكانت نقطة $\overline{ث}$ منخفضة عن جميع نقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى $\overline{هث}$ متماثل بالنسبة لرأس $\overline{شغ}$ فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأس المذكور ولتد مستقيمي $\overline{هو}$ و $\overline{فو}$ ماسين للمنحنى المذكور في نقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ف}$ ثم أخذ جزء $\overline{ور}$ الرأسية ونجمعه دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع

وهو $\overline{ورر}$ دالة على الشدود الحاصلة للعبل في نقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ف}$ وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$ التي هي اخفض نقط المنحنى فاذا مددنا $\overline{شو}$ و $\overline{وب}$ (شكل ١٠) ماسين للمنحنى في نقطتي $\overline{ث}$ و $\overline{ب}$ فان مركز ثقل منحنى $\overline{ثب}$ يكون على رأسي $\overline{ورغ}$ المار بنقطة $\overline{و}$ واذا رسمنا على $\overline{ورغ}$ و $\overline{وث}$ و $\overline{وب}$ الممتدة متوازي الاضلاع وهو $\overline{ورخض}$ فتدل $\overline{ورح}$ على ثقل

قوس $\overline{ثب}$ كلن $\overline{وض}$ دالا على الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$ وخط $\overline{ورخ}$ دالا على الشد الحاصل من المنحنى في نقطة $\overline{ب}$ لكن يرى في متوازي الاضلاع المذكور أن $\overline{ورخ} = \overline{وض}$ وحيث ان $\overline{ورخض}$ مثلث قائم الزاوية فان $\overline{ورخ}$ يكون دائما اطول من $\overline{وض}$

بمعنى أن الشدة الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائماً أقوى من الشدة الحاصل للمنحنى في نقطة ث

وكذا صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب و مع انعطاف الرأسية زاوية حادة جداً وبقى طول و على حاله وازداد طول و كثقل

المنحنى واخذ ضلع و في الازدياد فعلى ذلك يكون شدة المنحنى عظيماً جداً في نقطه الكثيره الارتفاع

فاذا فرضنا حينئذ أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فان أول ما يحصل الانقطاع يكون في النقطه الأكثر ارتفاعاً من غيرها فلوفرضنا أن المنحنى يقاوم في هذه النقطه لكافة مقاومته في النقطه المتوسطة بالطريق الاولى

فاذا امتد في مثلث ح و ض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع و الذي هو ضلع زاوية و والقائمة وبقى الضلع الآخر هو و على حاله

فان الضلع الاكبر هو ح ض يقرب شيئاً فشيئاً من مساواة ح و ولنفرض الان أن الشكل الذي يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد من داره او ينقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع اجزائه فنقول ان التوازن يكون ثابتاً لا يتغير اصلاً وان صورة المنحنى بهذا السبب لا تتغير ايضاً

وذلك لأنه في المنحنى الجديد اذا كانت نقطة م مثلثاً في وضع يشبه وضع نقطة م في المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأسية د ث و الزاوية التي تحدث من مماس م و مع رأسية د ث و حيث ان طول المنحنيين مناسب لبعدي ب د و س د فان نسبة ثقل منحنى و الى ثقل منحنى و تكون مساوية لنسبة شدة و الى شدة و الحاصلين للمنحنيين في تقطعي م و

فعلى ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع ثقل
 الجبل ويكون وضعهما في هذه الحالة متشابهاً لوضعهما في الحالة الاولى فيكونان
 متوازيين عند تأثيرهما في منحني صورته واحدة

ولندكر قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للمنحنين المتشابهين في نقطتين
 متشابهتي الوضع تكون نسبتها كنسبة البعدين المتشابهين او المتقابلين
 في هذين المنحنين

فبناء على ذلك اذا قابلنا بين منحنين متشابهي الشكل وكان احدهما اصغر من
 الاخر مرتين واثقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واثقل منه ثلاث
 مرات او اصغر منه اربع مرات واثقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل
 لهذين المنحنين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحداً

ولتقابل الان بين الشدين الحاصلين لمنحنين غير متشابهين فلانقرض
 الامنحنيات قياسية الانحناء جذا الاجل الاختصار في البحث والاقصا
 في الاشغال على هذه الصورة العامة النفع في الفنون ونعتبر ان هذه المنحنيات
 لها ثقل واحد في طول واحد ونفرض ان النقط الثابتة تكون دائماً على بعد واحد
 من بعضها

ومتى كان المنحنى $\overline{أب}$ مثلاً (شكل ١٣) انحناء قليل جداً امكن
 بدون خطأ كبيراً نعتبر ان مركز ثقل كل جزء كجزء $\overline{أب}$ من هذا المنحنى
 يكون موجوداً على رأسي $\overline{هـ ف}$ الموضوع على بعد واحد من طرفي $\overline{أ ب}$

و $\overline{ب}$ فاذا اتينا من نقطة $\overline{غ}$ التي هي المركز المذكور رأسي $\overline{هـ ف}$
 الى مستقيم $\overline{أ ب}$ حدث معنا ان $\overline{د ف} = \overline{ف ب}$ واذا انزلنا
 من نقطة $\overline{ب}$ عمود $\overline{ب هـ}$ على $\overline{ش هـ}$ الممتد حدث معنا ان
 $\overline{ش هـ} = \overline{هـ ف}$

ولنجعل الان نقطتين في المنحنى كنقطتي $\overline{أ ب}$ و $\overline{ب}$ ثابتتين ونعدهما سي
 $\overline{ش هـ}$ و $\overline{هـ ب}$ المنطرتين فيكونان ضلعين لمتوازي الاضلاع وهو

ش ه ف الذي وتره ه ف ويكون هذا الوتر دالا على ثقل قوس
ش ب وضلعاه وهما ه ب و ه ث دالين على الشدين الحاصلين
للجبل في تقطعي ب و ث

فاذا كان سهم شد صغيرا جدا بالنسبة لطول ا ب فلا فرق بين

ش ب و ه ب وبين ف ب و ش ه فاذا يكون شد الجبل
او السلسلة الحادث عنها المنحنى واحدا تقريبا في سائر امتداده غير انه لاجل ابقاء
الشد على حالة واحدة في جميع نقطه يلزم أن يكون سهم شد معدوما

فاذا اعتبرنا الا ن أن ثقل المنحنى ثابت ومدلول عليه بخط و ر فان الشد

الحاصل للجبل في نقطة ب يكون مدلولاً عليه بخط و خ فمد لاجل

ذلك خ ر اقصيا الى و خ الممتد الذي هو امتداد ماس به

ولكن يوجد معنا مثلثا به ه و و خ ر المتشابهان اللذان يوجد

فيهما به : ب ه :: و خ : و ر فاذا يكون

$$\text{و خ} = \text{و ر} \times \frac{\text{ب ه}}{\text{ب}}$$

وحيث ان ب ه يساوي شد و به يختلف قليلا

عن ا ب فانه اذا كان ب ه = شد صغيرا جدا

حدث على وجه تقريبي

$$\text{و خ} = \text{و ر} \times \frac{\text{ب د}}{\text{شد}}$$

فاذا لم يتغير حينئذ بعد طرفي ا و ب وثقل الجبل الذي يدل عليه و ر

فان شد و خ يصير على نسبة منعكسة من سهم شد فاذا يلزم أن يكون

شد و خ الحاصل في نقطة ب او في نقطة ا عظيما جدا ليكون شد

صغيرا

صغيرا جدا او معدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هناك جبل مشدود شدا
اقتيا من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون
مدودا بالضبط متماستقيا

وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذه الحالة نظرا من يقول بصعوبتها فنقول
اذا كان هناك جبل خفيف جدا وليس هناك ما يعارضه واريد شده شدا قويا
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شده من النقطة التي
يكون فيها مستقيا بالكلية

* (بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن) *

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المنحنى لا يخلو عن فائدة عظيمة
وبه تظهر الجهود التي تحملها الحبال في كثير من الصور للهمة والمراد
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقرياتها
وفي تحريكها

فصواري شد و هف و غش الراسية (شكل ١٥)
ممسكة من جزءها الاسفل بعدة من الشواحي وجزءها الاعلى عقدة جارية
مصنوعة من جبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاغوص وهو الذي يستند
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من
السفينة ومتى ارتفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتحرك فان الميدة
تكون مقاومة وتمنع الصاري عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف
وتستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من
المجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال ممتنية من منتصفها
ومربوطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصاري فينتكون
من طرفي كل جبل حليتان او طرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلذا تراهم
يضعون بالتعاقب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن وآخرين
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة مع الرأس الصارى عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشد الحاصل لها فانه يحدث عنها منحنيات والمنحنيات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الحبال تقرب من الاتجاه الراسى قريبا كافيًا بخلاف المنحنيات الحادثة عن الميدات والجوانغيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الراسى المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحلمية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة تعرض له من الريح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام تقص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف، لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الريح من جهة تقص انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التي تقابلها

وقد يكون اعتبار الاطوال التي تقبلها المنحنيات الحادثة عن الاطراف والميدات اما بمقتضى المادة التي تتركب منها هذه الحبال او بمقتضى جنس المنحنيات الحادثة عنها مهما جدا في ادوات السفن وفرن الملاحه ويمكن ان نستعمل عرضا عن الحبال المتجددة السمك في جميع طولها الحبال التي يتقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لها في نقطتها المنخفضة الاتقوة اللازمة لمقاومة الشد الاصطناعى الذى يحدث في هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

ويعسر في هذه الصوره الاخيرة صناعة الحبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدا وهناك ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ما ذكرناه يكفي في بيان الكيفية التي بها يتيسر في كل وقت حساب شد الحبال واتجاهها الانفع

* (بيان القناطر المعلقة) *

ولنوضح الآن كيفية عمل هذه القناطر وتوازنها فنقول
 لنفرض أن جبلا أو سلسلة يمتد بين نقطتي أ و ب وأن جبلا أو سلاسل
 أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل م و د و و و ح الخ
 تربط في هذا الجبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع
 جبلان متساويان مثل جبل أم و وح ب بجانب بعضهما
 ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض أفقية أطراف تلك الجبال
 الحفاظية الموضوعة بجذء بعضها ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف
 فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل جبل
 مثل أم و وح ب يحمل جزءاً من القنطرة ثقله واحد في خلال
 الجبال الحفاظية بخلاف ثقل تلك الجبال فإنه يزداد كلما قربنا من طرفي
 الجبل

وحيث أن ثقل الجبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلانزاع
 أن الجبل الثقيل يحمل أثقالاً متساوية في مسافات أفقية متساوية وحينئذ
 يكون المنحنى الحادث من الجبل المذكور قطعاً مكافئاً وقد برهن على ذلك
 في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في أسرع وقت وضع مركز ثقل جبل أم و ب
 ونقطة ط التي يتقاطع فيها عماسا ذلك الجبل لأنه في القطع المكافئ الذي
 سهمه سم يكون سم = م ط

فإذا رسمنا متوازي أضلاع مثل ط أم على اط و ب ط اللذين هما
 عماسا سلسلة التعليق المعتبرة ك قطع مكافئ حدث عن ذلك أن نسبة
 ثقل السلسلة إلى الشد الحاصل لها في نقطة ط تكون كنسبة م ط

الى $\overline{اط}$ فاذا مددنا $\overline{ا}$ موازيا الى $\overline{اب}$ حدث هذا التناسب وهو
 $\overline{مط} : \overline{اط} :: \overline{ط} : \overline{اط} :: \overline{ء} : \overline{م} :: \overline{م} : \overline{اط} :: \overline{ا} : \overline{م}$
 وبالجمله متى كان سهم $\overline{م}$ صغيرا بالنسبة لطول $\overline{ا}$ امكن
 أن نعتبر أن $\overline{ط}$ و $\overline{اب}$ متساويان فاذن تكون في هذه الحالة نسبة
 ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها في نقطة $\overline{ا}$ كنسبة سهم السلسلة
 ثمانى مرات الى بعد $\overline{اب}$ الحاصل بين $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ اللتين هما تقطعا
 الارتكاز

وينبغى لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبا ومتى تعذر اختلاط
 طولى $\overline{اط}$ و $\overline{ا}$ ببعضهما بدون خطا بين لزم اخذ النسبة $\overline{اط}$
 : $\overline{ء} : \overline{م}$ عوضا عن $\overline{اب} : \overline{ا}$

ويسهل علينا حساب قوة الحبال الحفاظية الرأسية بتقسيم ثقل سطح القنطرة
 على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سمك الحبال المذكورة مناسبة لعدد
 انكيلوغرامات الذى يوجد في خارج هذه القسمة
 ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسا
 القناطر والجسور او كبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفزية (اى القليلة
 المصاريف) المعتدة لعبور الامطار والسيول والمجارى الصغيرة ومشى الناس
 وسير الثقلات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا واصله بين عمارتى معمل كبير
 واحد فانها تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة

ويستعمل في هذه القناطر غالبا سلوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون
 هذه السلوك مجموعة على صورة حزمة يحيط بها سلك على هيئة بريمة حلزونية
 كالواتار المعدنية التى فى آلات المويستى (واقل قوة تفرض للسلك هو أن يحمل
 ٤٠ كيلوغراما فى كل مليتر مربع من القطاع بدون أن يتقطع فلا يحمل
 فى كل مليتر الا ٢٠ كيلوغراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة
 كالحبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طولية

كافية في تمام القنطرة وفي هذه العمارات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس سغوين دنوناي وهو اول من شيد القناطر المعلقة في مملكة فرانساً بساوك من حديد قد ابدى في هذا المعنى مثالا كثير الجدوى وهو انه صنع في معمله قنطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقريبا وعرضها ستة دسجترات ولم تبلغ مهابار فيها الا خمسين فرنكا والالف كتابا في المبادئ كثير الفائدة لمن اطلع عليه ممن يرغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاي دوفور التي تحليلاتها مما اشتملت عليه رحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب المهندس ناوييه احد اعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذي تكلمنا فيه على القوة التجارية وينافيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة في انكلترة والقبائل الفرنسية واذكرنا فيه مستويايتها .

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى حينما اتفق وكذلك تأثير التناقل تتكلم الآن على الجبال التي تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ما تحركه كل قوة الى جهة اتجاهاه الحقيقي وبقدر ما يأخذ ذلك الجبل من الوضع الذي يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول التوازن في ذلك الا في الوضع الحقيقي الذي يشغل فيه الجبل المذكور على السطح وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين حينما اتفق من تقاطع السطح بالسطح فيكون حينئذ الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على السطح ارتباطا ضروري بوضع توازن الجبال المطبقة على السطح والمنشودة من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه المنحنيات وهي الجبال المذكورة هي انه اذا رسمنا

من كل نقطة من نقطها مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور مرسوما عليه وبناء على ذلك اذا دقت عدة اوتاد في نقط مختلفة من المنحنى عموديا على سطح ر مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الاشعة البصرية مستوي يمر بكل من تماس المنحنى والوتر العمودي على النقطة المعتبرة كان المستوى الحادث من الاشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذي يظهر انه لا انحناء له اصلا في تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي في اقصر منح يمكن رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة في اتجاه معلوم

وإذا كان الحبل منتبيا على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فان لم يكونا كذلك فان الحبل يتحرك في جهة كبراهما كأنه لم يكن هنالك الا قوة واحدة مؤثرة في تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الاصليتين

ويكثر في الغيجون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فاذا اراد صنع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة و سطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا في جهة طول الحوا في المذكورة ثم يرفعون بالتوالي الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التي يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه اقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتواليه

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضمان الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة وغيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعا بالضبط لاتجاه اقصر خط يمكن مده من النقطة التي يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد في ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالكوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة او مستورا بالملابس فاذا كان وضع الحزام مرتفعاً فانه يكاد أن ينخفض وانما كان وضعه منخفضاً فانه يكاد أن يرتفع وهناك عدة اشياء من زينة النساء وأرجال متخذة من خيوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيميا والقياطين المرسله من الاكاف الى الاوردك وسيور النعال ونحو ذلك وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعه على سطوح متنوعه او بخطوط التركيب التي تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء وسيأتي لك عند الكلام على تحرك البكرات أن الحبال تكون موضوعه في حلق دوالب البكرات المذكورة حسبما يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جزر العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعه جداً تتعلق باختلاط الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المراتق والقشاطات والالجه وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعده المقررة في شأن تولد الحبال المطبقة على السطوح وهاهنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشده من طرفيه فقط ولن فرض الا أن يكون مشدوداً زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين نشدان الحبل من طرفيه تكونان منقولتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومتناسبة معا بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كما لو كان الحبل لا ينسب لسطح ما من السطوح

ثم ان القواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثیرة الاضلاع الحبالية من حيث تساوى الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الجبلية التي تكون فيها اجزاء الجبال منثنية على سطحها ويلزم دائماً أن تكون الشدود الحاصلة في جزء من الجبل اعنى على عيني القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون الشدود الحاصلة في كل جزء من الجبل بين قوتين متوسطتين متساوية ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال الكثيرة الاضلاع الجبلية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها في تلك الاشكال مجرد الرغبة اذ من البديهي ان صلابة كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة لما يبذل من الجهود التي يلزم أن الجزء المذكور يتحملها وان الاجزاء المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون متوازنة مع وجود تأثير التناقل وقوى الجر والاعتراض تلك العدد بالضرورة وصار الجر دينا

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها لاسيما في الفنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى وجعل صورتها موائمة لتطبيق قوة الخيول * والانكيز والنسوية هم اول من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمنفعة العظيمة وقد بقي علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لاسيما في عدد خيول العربات المعدة لتقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصنائعية وتخير بعضهم على الاعتناء به والاتفات اليه

فاذا استعملنا عوضا عن الجبال المعتبرة كالخطوط الهندسية حبالا حجمها معلوم ولها صورة خاصة كالقوايس والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون على السطوح التي تستند هي عليها والاعتراض عن اصلها وحينئذ تعتبر السيور والقوايس كالسطوح المنفردة المماسية لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه وهذا ايضا يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جديرة بالاعتناء بها
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قائشين
في ظهر جربندية العساكر اودلوى سقائى الافرنج وجعلهما مارتين من
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاه اقصر خط
يمكن مده من تقطى الارتباط ويكون مارتا من تحت الابط وفوق الكتف
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجبرون في الغالب على امساكهما بجبل
افقى مارتا بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشد
الحاصل للمجبل المذكور وزاوية الحادثة منه ومن القائشين في نقطة وقوعه
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القائش
على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذي ينتهى فيه القائش
من كل من طرفيه بحمالة تمسك بأذن الدولو ولاجل منع الدولوين عن القرب
من ساقى السقاء بواسطة ثقلهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حينئذ تحصيل
الشد الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا أولا مع ثقل كل دلو وثانيا
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التي ينعدم بها الجهد الحاصل من الدولوين
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفى ربط انواع الرزم بجيوط الدبارة مبنى على خواص توازن الحبال الممدودة
على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كعرفة تطبيق الحبال وربما سرت التلامذة
من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور
النظريات

ومن الفنون المستخرجة التي تطبقها متنوعة وعملياتها بدبعة فن رسم
منحنيات على سطح الجسم الانسانى وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط
يمكن رسمها على هذين السطحين وتحقق هذا الوصف فيها يكون لها ارتباط
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة

وقد سبق انه يكون للحزون خاصية هندسية وهي انه يكون اقصر خط
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى تقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن
أن نثني حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تمام اتجاهاتها بدون أن يتغير شئ من الانحناء الحاصل منها حول
الاسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي
يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما في عملية انثناء الحبل على الآلة
المعروفة بالمنجنيق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل اوتار
الكمنجة والعود والقانون فهي حادثة من وتر مركزي ينون حوله على صورة
حازون سلكا معدنيا فيكون شد هذا السلك واحدا في جميع نقط طولته متى كان
بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرك
الآلة واحدا في جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني
والشبهات متكونة من الخيوط المرتبطة مشى بنقط على نسق واحد وهناك
شبهات الفرطس من صناعتها أن تنطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة
التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تثقلها تلك القباب
وبمقتضى القواعد المذكورة في هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل
لكل خيط من الشبكة

وفي زينة النساء غالبا شبكات معدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن
وملابسهن كالنسيج الذي يكون في العصابة وهو المعروف بغطاء الالماس
والشبهات واصطناع ذلك على صورة الشبهات يجعله ملائما لانثناء الاجسام
البشرية وانحنائها اتم الملايمة

(الدرس السابع)

في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة للحبال والقضبان
والعجلات والطيارات وفي مقادير الإنيرسي وفي البندولات

لنفرض ان قوة S تكون واقعة عموديا على نقطة A التي هي احد
طرفي حبل AB غير القابل للتمد والمجرد عن التناقل فيكون طرفه الآخر
وهو B مربوطا في نقطة ثابتة
واذا كانت قوة S المذكورة مؤثرة زمنا بدون معارض فانها تسير

نقطة A المادية الى الامام تسييرا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة B الثابتة غير أن الحبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة B اكثر من البعد الاقل وهو AB فاذن يجذب هذا الحبل النقطة المادية ليجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة * وبواسطة هذه المقاومة تجذب قوة AS الحبل الذي هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة A التي هي طرف هذا الحبل دائرة فيرى في ذلك ثلاث قوى متباينة احدها قوة AS العمودية على نصف

قطر AB والمتجهة على AS الذي هو مماس الدائرة المقطوعة بنقطة A المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للحبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة A عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولذا ذكر النسبة الحاصلة بين القوتين الاخيرتين والقوة الاولى فنقول

لنرسم شكلا متوازي الاضلاع مثل AMN على ضلعي AN و AM المتساويين فيكون قطره وهو AN دالا على ما يلزم بذله من الجهد لاستبدال اتجاه AN باتجاه AM وانتقال الجسم من A الى N وهذا الجهد المبين بخط AM هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر AN كان مثلثا AMN و ANM متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهي A فاذن يحدث هذا التناسب وهو :

$$AN : AN :: AN : AM = \frac{AN^2}{AN}$$

بمعنى ان AM الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم اتنا اذا اخذنا $ان = ن = ن = ن$ الخ
 واقعنا على $شن$ و $شان$ و $شنان$ الخ قوة مركزية جديدة
 مساوية دائما $ام$ قطع الجسم في اذمنة متساوية مسافات $ان$
 و $ن$ و $ن$ الخ فاذن يكون للجسم المذكور سرعة مماسة
 ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع
 دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالتحرك المستدير المنتظم
 وفي هذا التحرك تكون السرعة المماسية مساوية للقوس المقطوع مقسوما
 على الزمن المعدل لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحينئذ تكون
 الزاوية المقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة المماسية مقسومة على
 نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعدل لقطعه ويحدث من هذه الزاوية
 المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المنزوية للجسم الدائر
 حول المركز فاذن تكون $اولا$ السرعة المنزوية مع السرعة المماسية
 على نسبة منعكسة من نصف القطر $وثانيا$ تكون كلتا السرعتين المماسية
 والمنزوية مناسبتين لنصف القطر

ففي تغيرات انصاف الاقطار كان الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها على نسبة
 منعكسة من السرعة المنزوية فيكون الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها مناسبا
 لنصف القطر مقسوما على السرعة المماسية

وهذه النتائج موضحة في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة
 ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز يوطأ بخط او حبل او قضيب
 كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة
 المركز وكانت القوة المبعدة عن المركز هي الشد المقابل للمتقدم والواقع
 على الخيط لبعده عن المركز

وراكب الفرس الذي يدور بها في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

فأبضا ييده على طرف عنان القوس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة القوس الذي يميل دائما الى الانقلابات من المماس غير أن الراكب المذکور يشدّ العنان بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشدّ بها القوس عنانه بمعنى انها تكون مساوية للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للقوس ومتى كانت سرعة القوس مضاعفة مثنى كانت القوة المركزية مضاعفة رباع واذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى مع ما يتعلق به من النسب يلايم تجرّك المقلع الذي سنذكره قريبا

ثم ان القوس الذي يدور في دائرة بدون مانع يمنع من الدوران لا يمكنه الاستقامة والاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما لجزء جسمه تدفعه دفعا اقويا الى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة تأثيرها يميل القوس باعلى جسمه الى جهة مركز الدائرة التي يقطعها ويلزم أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى اسرع في العدو والجرى * ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله الى جهة مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة الى الطريق المستدير الذي يلزم قطعه (شكل ٢)

واذا كان الفارس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل باعلى جسمه الى جهة مركز الميدان لثلا يسقط بتأثير القوة المبعدة عن المركز ويدل شكل ٢ على ما بين قوة التناقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب ليحصل التوازن بين القوس وراكبه

واذا سارت العربية ورسمت في سيرها قوس دائرة او سارت سيرا مستديرا لحقتها تأثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها فاذا دارت في طريق المنحدر الى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة المبعدة عن المركز وقوة التناقل ما يحدث عن القوس (شكل ٢) عند دورانه في طريق اب و د حول محور وو

ومتى كان طريق **م** اقصيا فلا شيء يتقصر ميل القوة المبعدة عن المركز حتى تتقلب العربية

فاذا كان طريق **ن** منحذوا بعيدا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر عظيم في الانقلاب

وفي طرق **فرانسا** ضرر عظيم وذلك انها محذبة من منتصفها بحيث يظهر منها الانحداران عظيمان جدا في جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان في بعض الانعطافات فان العربية المتوجهة الى الانحدار الذي يكون نحو مركز الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب

وبما ينبغي نظمه في سلك القواعد المطردة التي يجب العمل بها هو انه في جميع الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون متزايدة متى كان القطر منقاصا واذا كان في الانعطافات القصيرة جدا ما ليس لقوسه الا قطر صغير جدا كانت القوة المبعدة عن المركز كبيرة وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر ان هنا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات وهذا هو الحامل لمهارة العربية والخيلة على كونهم لا يسوقون خيولهم سواق حثيثا في الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران ولنبه هنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات التحرك المستدير في الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان في النقل والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التي تصنع بموجب قوانين التحرك

فاذا كانت العجلة (شكل ٣) سريعة الحركة في الرمل او الطين فانها ترفع معها شيا من ذلك تكون سرعته المماسية عين سرعتها وحيث ان ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب العجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تاثير هذه القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التي اكتسبها ويوضع امام عجلات العربات المزينة لوح معدني عريض مستدير مثل س يعرف بالمانع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتاثير القوة المماسية

واذا لم تكن تصاليب العجلات متلاصقة بمسامير غائصة الى انصافها في اطراف تلك التصاليب المتماسية وبقضبان من الحديد سارة لهيئة التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتخدفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخله قليلا في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتخدفها في اتجاه المسامير الرفيعة الممتدة وبالجملة فتحجم مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب له قواعد تعلم من نسب القوة المماسية والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة في الآلات كإسياني

واذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضربا قويا فان حركة الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما اذا كان الضرب ضعيفا فانها تمحيد عن مماس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدوران مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضا المقلع

وذلك ان المقلع كان قبل اختراع اسلحة النار من آلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يوثق بجبل خفيف كجبل ا ب (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة ث يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه وهما أ و ب الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

يد واحدة ثم يحركه فتحرك دوران فاذا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فان
المقلاع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد
جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لاسالك الحجر **ث** دائما على بعد
واحد من مركز **آ** ومتى ارخى احد طرفي الحبل فان هذه القوة المركزية
لاتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الحجر لا يتحرك فتحرك كما مستديرا
بل تدفعه القوة المماسية بدون مانع فيقطع في سيره خطا مستقيما اذا حذف
رأسيا

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التناقل على جسم كجسم **آ**
لانه اذا لم تقطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا
واذا اقتضى الحال ان الجسم يدور في دائرة مجوفة فانه يتحرك على محيط
هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي تصير بهذا التحرك قوة مماسة وبها تعين
سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة للجسم حتى يخرج عن المماس
تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المجوفة وهذه المقاومة العمودية
على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية المساوية والمضادة
مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على
الرصاص المراد صقله فيلزم أن تكون صلابة هذه البراميل مناسبة أولا
لجسم الرصاص المطروف فيها وثانيا بالالرصاص من القوة المبعدة عن
المركز المناسبة لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل
وينبغي أن يضاف الى ذلك كثير من الطنابير الدوارة المحتوية على الرصاص
المصقول او الاكر الصغيرة المتخذة من الخحاس الموضوع في البارود المراد
تحييده وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم الجبور على أن يتحرك فتحركا
منحنيا لان الحبل او القضيبي او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط
بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك
وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة محزكا منحنيا بدون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة فمن ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبداء الامر قوة ط المماسية التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكاتسا على نسبة مولفة للتحرك المستدير فان القمر يرسم في سيره دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرها دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حينئذ متباعد عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعد عن المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتتقصها بحيث يزول امر القوة الاخيرة وهي المبعدة عن المركز الى كونها تفوق قليلا القوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حينئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس منحنيًا ممتدا وهو قطع ناقص وتكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسمى بقوة التناقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهبط بها الكوكب المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحني **ابث** (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التناقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الجرا والكلية او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من أول دفعة تحصل له من القوة الاصلية قطعاً مكافئاً
مثل أ ب ث

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المحاطة بالمعنى وتسطح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها معنى أ هـ ف

والغرض المهم من تجاريب فن الطوبجية هو انه بحسب مجسمات ومجوم
الكلل والجب والرصاص ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترمى بها
تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقط التي يمكن وصول المرمى
اليها على ارتفاعات متنوعة وابعاد مختلفة ولان ذلك كرهنا من علم
الميكانيكا الألتطبيقات العظيمة التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص
فن الطوبجية

وقد ثبت الآن عند الاقترنج ان الارض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة
ثابتة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها
في ظرف اربع وعشر ين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فبدوران هذه
الكرة ينتقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق
مع سرعة اكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً اربعمائة مرة

فاذن تكون كل نقطة من نقط الارض مدفوعة بقوة مماسة تكاد تنقلها
بعيداً عن الكرة المذكورة وبقوة مركزية تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة
المركزية هي المسماة جذب الارض وحيث ان تأثير القوة المماسية واحد تقريباً
في سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتحركة بتأثير
تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد ان تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موازياً لخط الاستواء بحيث يكون
خط الاستواء والموازيات كلها دوائر ونقابل بين ت ح ر ك نقطتي هـ و ا
الموضوعتين احدهما على خط الاستواء وهو هـ هـ هـ والاخرى على مواز
ايا كان كوازي ا ا ا وتمد نصف قطر و ص ص قريباً جداً من قطر هـ هـ

فأنازلنا بعمودي $م$ $ص$ و $س$ $ص$ على $ه$ $و$ كان نصف قطر
 وهما $و$ $و$ مناسبين بدهاة لخطي $ه$ $س$ و $س$ $ه$ الدالين على
 القوتين المبعدين عن المركز المنسويتين لنقطتي $ه$ و $آ$ الماديتين
 فاذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها المحور
 عن هذه النقطة وهذا في حالة تحرك الأرض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما أمكن في تقطعي $ه$ و $ه$
 الموضوعتين على خط الاستواء وبهذه القوة نعدم جزء من تناقل الأجسام
 ثم إن تناقل الأجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما إذا كان
 في نقطة ما من نقط الأرض وسيأتى قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة

ولنفرض أن برج $ه$ $ف$ يكون مبنيا في نقطة $ه$ فإذ ارتفعنا من نقطة $و$

التي هي المركز قوس $ف$ $ص$ ومددنا $ص$ $س$ عمودا على $وف$

حدث هذا التناسب وهو $وه$: $وف$:: $هص$: $فص$
 وهذه هي نسبة القوى المماسية

فإذا وقعنا من $ف$ التي هي رأس البرج جسمًا ما فإن هذا الجسم يصل

إلى أسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة $ص$ ويكون مدفوعا بالقوة

المماسية التي تجبره على قطع $فص$ فاذن يلزم أن هذا الجسم حين يكون

أسفل البرج في نقطة $ص$ لا يقع في هذه النقطة فقط بل يقع أيضا في نقطة $ز$

على بعد $هز = فص$ ولنوضح ذلك بالأرقام فنقول

إن نصف قطر الأرض في خط الاستواء يساوي ٦٣٧٦٤٦٦ مترا

ولنفرض أنه في إحدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر

والمطلوب معرفة فاضل سرعة النقطتين الماديتين الموضوعتين أحدهما

في اسفل البرج والاخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع باحدى
النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالاخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا
والنسبة المنعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل
مشاهدته ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك
٦٢٨ مترا وكسور فاذا كان هناك جسم ثقيل وخلي لثقله الاصلى في محل خال
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس ثوان بالابتداء من احدى نقط محيط
خط الاستواء وذلك يساوى $\frac{17280}{1}$ جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ مترا
على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة
المشرق اكثر من قرب اسفله اليها مدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم
الثقيل لا يقع في اسفل البرج على مستقيم رأسى بل يتحول الى شرفيه بعد قدره

$$\frac{628}{17280} = 36 \text{ مليترا تقريبا}$$

وحيث ان مقاومة الهواء تبطل سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر
اكثر من خمس ثوان فعلى ذلك يتحول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج
الى جهة شرفى اسفله بعدا اكثر من ٣٦ مليترا وقدلت التجربة على ذلك
ومنى دار جسم صلب حول محور احدثت جميع نقطه في زمن واحد ودورة
كاملة وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذه النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز التحرك ويكونان حاملتين
مع الانتظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر
فاذن يكون فيهما كمية التحرك (اعنى حاصل ضرب الجسم في السرعة)
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعنى لمربع نصف القطر
وينتج من ذلك في الآلات التي يستعملون فيها العجلات المحوثة المحتوية على
قضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضيبى **ابث** و **ارث**

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي بها يدفع القضبان المذكوران عندما يتعان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر العجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات العجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان $\overline{ا ب ث}$ اكبر من $\overline{ا ر ث}$ ثلاث مرات واثقل منه ايضا ثلاث مرات فحتى اريد تدوير $\overline{ا ب ث}$ دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير $\overline{ا ر ث}$ لزم لذلك ضرب ثلاث مرات في نفسها اي تسع مرات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا $\overline{ا ر ث}$ اثقل من الاول بثلاث مرات بدون أن يكون كبيرا فانه يكفي أن نضعف هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع $\overline{ا ب ث}$ لان هذه القوة اكبر منها تسع مرات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصر كمية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الآلات حصر كمية عظيمة مهمما يمكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على نقط الارتكاز كثيرا فهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوي التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فان العجلة المدفوعة بتحرك دوران ثابت $\overline{ت ك ك ت س ب}$ او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تتغير سرعتها كثيرا والذي اقوله ان العجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ المنتظم الذي يؤثر غالبا تأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٨) فنحصر غالبا المعادة المطلوب توزيعها على قضيب $\overline{ا ب ث}$ في ثلاث نقط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط $\overline{ا و ب و ث}$ (شكل ٩) او $\overline{ا و ب و ث و د}$ (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة

ولنبرهن على ان نقطة $و$ التي هي مركز دوران الطيارات تكون مركز ثقلها ايضا فنقول ان العجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة اكثر من الاخرى فلا يكون محورها كها منتظما ولا منتسقا فلا بد لحصول النفع من تحقق هذا الشرط وهو ان نأخذ مركز الطيارة ونجعل مركز تماثل الاثقال التي تتخذ منها تلك الطيارة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن والساعاتية وصناع الآلات غير أنه في كثير من المدن يعجز العملة عن اتباعها فيجوز للمعلم أن يضرب عنها صفحا وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة لبعده المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور المبين

بنقطة $غ$ ولتكن النقط المادية المتساوية في الجسم وهي $م$ و $م$ الخ و $م$

و $م$ الخ هي التي يتركب منها جسم $ا ب ث د$ فتكون ابعاد $غ م$

و $غ م$ الخ و $غ م$ و $غ م$ الخ مناسبة للقوى المبعدة عن المركز وربما كانت دالة عليها

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور $غ$ وتمتد اعمدة $م د$

و $م د$ الخ و $م ن$ و $م ن$ الخ على مستقيم كستقيم $س غ ص$

المجوعول محورا لمقادير افعال $م$ و $م$ الخ و $م$ و $م$ الخ فيتحصل

اولا $م \times غ د + م \times غ د + \dots = م \times غ ن + م \times غ ن$ الخ

وثانيا $م \times م د + م \times م د + \dots = م \times م ن + م \times م ن$ الخ

اعنى انه يكون لقوى $غ م$ و $غ م$ و $غ م$ و $غ م$ الخ

المبعدة عن المركز المقسومة قسمًا عموديا على مستقيم $س غ ص$
 وقسمًا موازيًا له محصلة معدومة على أي اتجاه تقسم عليه هذه القوى
 بالتوازي لمستوى الشكل وحينئذ لا تكون محصلة القوى المذكورة الموازية
 لهذا المستوى جاذبة للمحور المار بمركز ثقل الجسم إلى جهة أكثر
 من الأخرى

ولنفرض الآن أن مركز الدوران وهو $غ$ يكون في بعد $غ غ$ من مركز
 ثقل $غ$ على محور $س غ ص$ الموازي لمحور $س غ ص$ فتكون
 محصلة قوى $م غ م$ و $م غ م$ الخ و $م غ م$ الخ الجديدة المبعدة عن المركز
 المقسومة بالتوازي إلى $غ غ$ هي

$$\begin{aligned}
 & م \times م + م \times م + \dots - م \times م - م \times م - \dots \\
 & \text{ولا تتغير هذه المحصلة إذا طرحتا منها مقدار } م \times م + م \times م + \dots \\
 & \text{وكذلك لا تتغير إذا زدنا عليها مقدار } م \times م + م \times م + \dots \\
 & \text{المساوي له غير أنه ينبغي التنبيه على أن } م - م = م - م \\
 & \dots = م - م = م - م \dots
 \end{aligned}$$

فإن يكون ما تحصل من الجمع والطرح المقروضين هو مجموع مجسمات
 $م + م + \dots + م + م + \dots$ مضروب في $غ غ$
 فعلى ذلك إذا دار جسم حول محور $س غ ص$ الذي لا يمر أصلاً بمركز ثقله
 وهو $غ$ فإن محصلة القوى المبعدة عن المركز تتزايد بالنسبة لبعدها عن المحور
 عن المركز وتكون باقية على حالها واحدة إذا فرضنا أن سائر أجزاء الجسم تكون
 كثيفة في مركز $غ$
 ثم تأثر القوة المبعدة عن المركز يكاد يتقل المحور عن موضعه ويجذبه دائماً

الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغي اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاسيما في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهي انه يلزم أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران ولنعتبر ان تأثير القوى المبعدة عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض (شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

وزمنا الى هذا المحور بخط س غ ص مع جعل نقطة غ مركز ثقل الجسم ثم تقطع الجسم بمستويات عديدة مثل م د و م د و م د الخ عودية على المحور وليكن على مستوى الشكل نقط م و م و م الخ دالة على مساقط مراكز ثقل النقاط المادية المحصورة في كل مستوي فتكون محصلة سائر القوى المبعدة عن المركز مينة بمحصلة قوى م د و م د و م د

و م د الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل ح التي هي محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتحصيل خ التي هي محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتنا

ح و خ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مازتا بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبناء على ذلك لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة ما بتأثير القوى المبعدة عن المركز لكن

كافي شكل ١٢ اذا كان عمودا ح و خ الممتدان على محور س غ ص لا يتسبان لمستقيم واحد فان المحور يكون مجبوراً على الدوران بتأثير قوتي ح و خ المضروبين على اتبناظر في بعدي غ ح و غ خ و يتحصل مقدارا ح و خ بالنسبة لمركز ثقل غ بضر بقوة م د في غ د وقوة م د في م د وقوة م د في غ د وقوة م د في م د في غ د وهم جراثم ينظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مسواول مجموع مقادير القوى المؤثرة في الجهة المقابلة لها ام لا
وقد يبرهن بطرق حسابية لاحاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير
الاعتيادية شرط لا بد منه في جعل مقدار انترسي الجسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد أن محورا الطيارات وسائر المحاور المستعملة في آلات الدوران لا يقع
عليها من تأثير القوى المبعدة عن المركز ضغط في اى جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتها ح و خ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عمود على
المحور في الزمن الذي يكون فيه هذا المحور ماراً بمركز الثقل
وما يكون للمحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع في فتح آلات
يؤيد تسميتها بالمحاور الاصلية

وبعد تعيين الاتجاه الكثير الفائد الملائم لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة
التي تكون للطيارات عندما يستعمل في تجر كما قوة معينة ويكون حجمها
وحجمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة تقرر أن محورا الدوران عمود على مستوى شكل ١١
وليكن مينا بقطعة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذي هو بعد المحور المذكور ولنقرض ف ف
في مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المحور مينا بكمية
ف ف × و ف

وتكون السرعة المنزوية وهي م التي يأخذها الجسم هي القوس المقطوع
مدة وحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذاً وحدة لها
فتقطع م التي هي النقطة المادية من الجسم في مدة وحدة الزمن قوس م م

$$\overline{A} \times \overline{W} =$$

فتكون \overline{M} التي هي كمية التحرك حيث $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{W}$ وتكون
الكمية الكلية للتحرك تقط الجسم وهي $\overline{M} \times \overline{W} \times \overline{A}$

$$\overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط \overline{M} و \overline{W} الخ الى مستقيم

\overline{W} من احدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك

فسائر القوى المماسية التي تدفع \overline{M} و \overline{W} الخ وهي القوى

المدلول عليها بكميات التحرك المتحصلة معنا سابقا تكون متوازية

ومتجهة الى جهة واحدة وتكون محصلتها وهي \overline{R} بموجب قاعدة مقادير

القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{R} \times \overline{W} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{W} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

وتكون قوة \overline{R} باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع $\overline{M} \times \overline{W}$

$\overline{M} \times \overline{W} + \dots$ تناقصت سرعة \overline{A} المنزوية وبالعكس

اي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة \overline{A} المنزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدوراني

بواسطة الاينرسي متى اثرن في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا

المجموع مقدار الاينرسي فاذن يكون مقدار الاينرسي لنقطة مادية هو

مجسها وهو \overline{M} مضروبا في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينرسى لجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينرسى كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة المنزوية التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوى المقدار البسيط لهذه القوة مقسوما على مقدار اينرسى الجسم وهذه هي السرعة التي قومناها

ولمقادير الاينرسى خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعي معارف عالية ولنفرض فقط نقطتين ماديتين كنقطتي

م و م' (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة غ و نديرهما

حول محور غ ص العمودى على م غ م' فيكون مجموع

مقادير اينرسى م و م' هو

$$م \times غ م' + م' \times غ م \text{ وليمكن الآن محور س غ ص}$$

موازيا لمحور س غ ص فيكون مقدار الاينرسى بالنسبة لهذا المحور الجديد هو

$$م \times غ م' + م' \times غ م \text{ فيكون فاضل هذين المقدارين هو}$$

$$م \times غ غ + م' \times غ غ \text{ اعنى مربع غ غ الذى هو بعد المحور}$$

عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمى م و م'

وليست هذه الخاصية مقصورة على نقطتين ماديتين بل تجرى ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذى يمكن أن يكون له صورة ومجسم

حيثما اتفق وعلى ذلك مقدار الاينرسى في اتجاه س غ ص المفروض

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما امكن متى كان هذا المحور مازا بنقطة غ التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مازا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الايترسى يزداد بكمية مساوية لجسم الجسم مضروباً في مربع بعد المحور
 عن مركز ثقل الجسم ولنجعل m مقدار ايترسى الجسم الذى
 جسمه m عندما يكون المحور مازاً بمركز الثقل فيكون k دالاً على
 طول معلوم فاذا رمز بحرف d الى بعد مركز الثقل عن اى محور دوران
 كان مقدار الايترسى بالنسبة لهذا المحور $m \times (d + k)$
 وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الايترسى المعين بالنسبة
 لمستقيم مواز للمحور وامتد من مركز الثقل
 ويكون بالبداية مقدار ايترسى سائر المحاور الموازية لاتبجاه معلوم
 والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد k هو

$$m(d + k)$$

ويمكن أن نقابل بين مقادير ايترسى الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة
 مارة بمركز الثقل فنقول يوجد في هذه المحاور محور مقدار ايترسيه اصغر
 من مقادير ايترسى ما عداه من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الايترسى
 الصغير وهناك محور ثان عمودى على هذا المحور مارة بمركز الثقل مقدار ايترسيه
 كبير مهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الايترسى الكبير وثم ايضا
 محور ثالث عمودى على الاثنى السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط
 تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار ايترسيه يكون في جهة k كبيراً
 مهما امكن وفي الاخرى صغيراً مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين
 الممتدين أولاً فى المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الايترسى
 الصغير وثانياً فى المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الايترسى
 الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للاجسام
 وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور
 الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأثيراً يتغير به
 وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما للتحرك حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ما حتى يخرف وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاورها لا ينسى الاصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كثافته واحدة في سائر اجزائه منتهيا بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحينئذ يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسياتى عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمنجنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة له من تأثير القوى المبعدة عن المركز ثم ان تقط جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثنى في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل نقطتين موضوعتين بهذه المثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدتين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدمة لبعضها مثنى ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم يمتد على تحركه حول هذا المحور اذا خلى ونفسه.

وهذا هو تأثير تحرك الدقامة وما شاكلها مما يدور حول محور تماثله الموضوع وضعا رأسيا وتستمر الدقامة على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة جبل او نحوها او بادارة اسفلها بالايهام والسبابة ثم تخلى ونفسها

وقد نبهنا سابقا على أن النجفات تكون متماثلة بالنسبة للمحور الرأسي المار بنقط تعليقه او بهذا يمكن دورانها بلا معارض حول هذا المحور بدون

أن تميل الى جهة اكثر من اخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في النجفات
 لاسيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي الخيول او الكراسى المصنوعة من الخشب تكون تلك
 الخيول او الكراسى المعدة لركوب الأشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم
 موضوعة بالتماثل حول محور الدوران الرأسي وبناء على ذلك اذا حركت
 هذه الآلات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من ايرسيها جهد
 من كلتا جهتي المحور

وقد تنقل قوة $م$ مع سرعة $ق$ جسم $م$ المفروض انه لامعارض له
 تقلامستقيما فاذا وقعنا قوة $م$ المذكورة على جسم $م$ المفروض
 انه ثابت بالمحور وكانت $ل$ هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن $م ق ل$
 وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا $م (د + ك)$ = $ا$
 مضروبا في مقدار ايرسي الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون
 أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالكوكب لامعارض له
 ويكون لمركز ثقله سرعة تساوي $ق$ وهي مبينة بخط $دا$ فاذن يكون
 $ق = دا$ و $م ق ل = م د ا ل = ا م (د + ك)$
 وينتج من ذلك أن

$$د ل = د + ك + ل = د + ك$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من نقط امتداد اقصر بعدد من المحور
 عن مركز الثقل في $د$ تكون على بعد $د + ك$

من مركز الثقل عن المحور ومتى اثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عموديا على
 هذا المستقيم اى المحور فانها تدير الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

بإذن تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوة الدوران الحادثة
 عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها أدنى ضغط على المحور وهذه هي خاصية
 مركز الدوران وليكن $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$ ثم فينتج أن $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$ و $\frac{K}{D} + \frac{K}{D} = \frac{K}{D}$
 ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يمر بمركز الدوران
 وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من D على المحور القديم
 وفي هذا النقل المنعكس فائدة جليلة

*(بيان البندول) *

إذا ربطنا في طرف خيط رقيق خفيف جداً جسماً ثقيلاً لكنه صغير الحجم
 ككلمة من حديد أو رصاص أو بلاتين (وهو الذهب الأبيض) وربطنا
 طرفه الآخر في نقطة ثابتة كان للكلمة في حالة السكون وضع يكون فيه الخيط
 رأسياً ويكون مركز ثقلها في الاتجاه الرأسى للخيط المذكور وهذا هو
 البندول المعروف أيضاً بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء
 شكل ١٨ مكرر) ثم إن أهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن
 واحدة في الاستعمال فإذا ابعدنا الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتاً
 في نقطة θ وامتدأ و مما ينبغي التنبيه عليه أنه إذا خلى الجسم ونفسه
 وقطع النظر عن المقامات المتنوعة ياخذ ثقل A (شكل ١٣)
 في الهبوط بسرعة غير محسوسة تزايد شيئاً فشيئاً عندما يقرب هذا النقل
 لماز بقط A و A و A الخ من خط θ و الرأسى فإذا وصل الى
 هذا الخط استمر على سيره وارتفع من A و A و A الى A اعنى يكون
 في ارتفاع نقطة A ومتى وصل الى هذا الحد اخذ في الهبوط ثانية من A الخ
 كما هبط من A ثم يرتفع ثانية الى A كما ارتفع الى A ثم يقف
 في نقطة A ليهبط كلمرة الاولى وهكذا بالتوالي الى ما لانهاية
 ويمكن بقواعد الميكانيكا اثبات قوانين التحرك المتردد المعروف بتحريك الارتجاج

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بدلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسى

وفى كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من \bar{A} الى \bar{O} يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وباتحاد هذا الجذب مع القوة المماسية $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ تسببه تحدث بحركة شديدة لاحداثها بدون تأثير خيط $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ الذى يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولترمز بخط $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ (شكل ١٤) الى تأثير التناقل وبمستقيم $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ الى القوة المماسية المكسبة من الشاقول عند وصوله الى \bar{A} وليكن $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ رمز الى القوة المركزية فيتحصل معنا قولان $\bar{A} \rightarrow \bar{O} = \bar{A} \rightarrow \bar{O}$ وثانيا ان

قوى $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ و $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ يتحدان مع قوة $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ المماسية بأن نسقط $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ على $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ من مماس الدائرة فى نقطة \bar{A} ثم نضيف هذا المسقط وهو $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ الى $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$ اذا كان البندول هابطا او نطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحينئذ تحدث معنا القوة المماسية عقب الزمن الذى يكون فيه البندول معدا لقطع قوس يساوى $\bar{A} \rightarrow \bar{O}$

وهذا يؤدى الى انشاء صعود البندول فى ازمته واحدة نظرح الكميات التى اضفناها الى القوة المبعده عن المركز وحينئذ تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة فى النقط التى على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبى على ذلك ان هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى فى ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات تثبت مادامت عليه التجربة من تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهنا الخاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهى ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة تقريبا وان كان القوس المقطوع فى احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني او ثلاث اورباع
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية نفرض بندولين كبندولي θ و θ'
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفي البعد من المستقيم

الرأسي في مبداء الرجة وليكن تأثير التناقل الميين في هذين الشكلين برمز α

$\alpha =$ حاصل واحد في المدة الاولى فاذا اسقطنا α في α على

قوس α و α في α على قوس α ان كان α و α
هما القوتان المماسستان

ولتد خطي α و α الاقبيين الى خطي θ و θ'

الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث α صغير جدًا وامكن جعل قوس

α عمودا على α وكذلك على θ فان مثلثي α و α

و α القائمى الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين
عمودان على بعضهما

وقد يبرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي α و α
القائمى الزاوية يكونان متشابهين فاذا ن يحدث هذان التناسبان وهما .

$\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$

$\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$

لكن حيث ان α و α متساويان وكذلك α و α فانه يحدث

ايضا هذا التناسب وهو $\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$

فاذا فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدا فان الفاضل بين

اص وقوس اق يكاد يكون معدوماً وكذلك فاضل اصه وقوس

ان وعلى ذلك تكون المسافة المتطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا

لامتداد قوسى اق و ان

ويبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة المماسية تزداد عقب الوقت الثانى

والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التى يقطعها البندول

الاول والثانى فى كل من هذه الاوقات مناسبة لتقسى المعتدة لسير البندول

وعلى ذلك حتى كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الاول معدومة

كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الثانى معدومة ايضا وحينئذ

يصل البندولان فى زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة

اذا قطع النظر عن التفاضلات الصغيرة جدا

ويكون لهذه الخاصية الاخيرة منمنعة عظيمة فى الفنون وعلوم الرصد فى حالة

ما اذا تحركت الالبندول وخلقى ونفسه وما رضى مقاومة الهواء جميع حركاته

وابطأتها بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة

فاذا كان البندول ثقيلًا جدًا كالرصاص او البلاطين كانت المقاومة التى

تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغييرا قليلا فيكون معظم

هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير ان تكرر الرجات المستتر المعترض

لمقاومات الهواء الصغيرة يتقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله

تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك يتقص الفاضل الصغير

الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفات هذه الرجات للرجة الاصلية

ثم ان الاجسام تكون سريرة الوقوع اذا كان مبدء وقوعها من نقط قريبة

من مركز الارض وقد علم مسبقا ان المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان

الخليمان وانفسهما للتماثل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من

مربعى بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال البندولين على نسبة منعكسة من مرير بعد
البندول عن مركز الارض فان رجات هذين البندولين تكون حاصلة في زمن
واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة
الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب
قربوا ايضا من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان في جهة
القطب فانه يرى البندولين اللذين تحدث رجاتهما في زمن واحد اطول
مما اذا رأهما وهو في خط الاستواء فحينئذ اذا كان مبدء السير من خط
الاستواء لزم ان البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب
لتكون مدة الرجات واحدة وزيادة على ذلك يمتد طول البندول ميديا
في كل مكان ابعد مركز الارض عن النقطة التي يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الارض ينعدم من تماثل الاجسام جزء صغير لتعادل قواها
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبملاحظة سببي التغيير معاتعلم مطابقتة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فانه
لمهارته اخترع بندولا منتظما بواسطته يحصل مع غاية الضبط قياس
ابعاد مركز الارض عن نقط سطحها التي يتألف منها الخط الجغرافي
الذي ينبنى على قياسه الطريقة المترية ثم ان ما وقع بين النتائج الخادثة
في موضوعنا هذا من علمي الهندسة والميكانيكا كان غريب التوافق والاتحاد
هو من اعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها
على فهم غوامض البعض الآخر ومن حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنيات
التي لا يخلو عنها كل علم ونظمها في سلك الطرق المتحددة المأل التي لا يوجد فيها
الخطأ الا نادرا بحيث تكون مثلها في القطع بصحتها

وعوضا عن أن نفرض أن التثاقل يتغير فنرض أن طول خيط التعليق هو الذي
يتغير ونفرض بندولين غير متساويين \llcorner بندولي \llcorner و \llcorner و \llcorner

(شكل ١٧ و ١٨) فيحدث هذا التناسب وهو

ا ث : ا ث :: م : ا

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس ا ق : قوس ا ن :: م : ا

كان شكلا ا ث ق و ا ث و متشابهين

ولكن ا غ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ا بواسطة

التناقل نقطة ا المادية المفروض انه لا معارض لها وليكن ا غ = م

× ا غ فيكون ا غ حينئذ لا على المسافة التي يجبر تأثير التناقل جسم ا
المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد م (وحرف م يدل
على عدد غير محدود)

ولنسقط ا ع في ا غ و ا غ في ا غ فيحدث من مثلثي ا غ غ

و ا غ غ المتشابهين هذا التناسب وهو

ا ث : ا غ :: ا غ : ا ق :: ا ق : ا ن

وعلى ذلك نفسا ا غ و ا غ اللتان قطعهما البندولان بواسطة تأثير

التناقل المكرر في زمن م بالنسبة للبندول الاقل وزمن ا بالنسبة

للتالي تكونان مناسبتين لقوسى ا ق و ا ن فيتحرك حينئذ البندولان

بالتناسب على قوسى ا ق و ا ن بحيث تكون ا زمنة البندول الاقل م

حين تكون ا زمنة الثاني ا فاذن تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين

استغرقهما البندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسي الى بعضهما

كنسبة م : ا متى كانت نسبة طولى البندول الى بعضهما :: م : ا

بمعنى انه في المحل الواحد من الارض تكون اطوال البندولين غير المتساويين

مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقهما هذان البندولان في احداث رجائهما

وأول من عرف قانون تحزّل البندولات هو المهندس الشهير غاليلية صاحب الاستكشافات الطيفية في ميكانيكا المتأخرين وقد أجرى في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بأنه يعلق في الهياكل والسرايات بأعلى نقطة من القباب والقبوات نجفات ذات ثقل عظيم بالنسبة للعبل أو السلسلة المعلقة هي بها ويكفي في أحداث ارتجاج هذه البندولات العظيمة ادنى شيء من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليلية مدة هذه الارتجاجات فرأى أن المدة التي يرتجح فيها بندول النجفة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتجح فيها غيره إلا مرة واحدة وحيث أن ربع العشرة أي عشرة مضروبة في مثلها يساوي مائة يكون البندول الأول أطول من الثاني مائة مرة فإذا كان طول البندول الصغير معلوماً فإنه يحدث بأخذ مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذي يكون لمنتاح القبة أو القبوة فوق النجفة التي لقرها من الأرض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوي مدة رجائه الصغيرة ويمكن استعماله أيضاً في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة أو نقصانها

وقد عرف طول البندول الذي يذب الثواني الستينية برصدخانه مدينة باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الامتار ٩٩٣٨٢٦٤ و
 فعلى ذلك لو انعدمت اصول الاقيسة الفرنسية بمجادته من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لا يمكن معرفة طول المتر بمجرد النظر الى البندول الذي يذب الثواني بمدينة باريس

ولو عرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع اقيستهم عندنا الى الآن ولما بقي من المسائل التي لا بد منها في العلوم والفنون والحرف مسألة بلا حل وبيان

ولنطلب في الكلام على هذا الامر المهم الخاص بالعلوم التي بها يتوصل

الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تناط الارصاد والاشغال الوقتية بمحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تتحقق ثمرات مشروعات الانسان ويتخذ ذكره على عمر الازمان فتقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابداعيا يتعلق بالبندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالبندولات

ولنفرض دائرة معدنية محدبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة ونعلقها في قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الاخر من القضيب المذكور حدث عن ذلك بندول كالذي يستعمله الساعاتية

وكل رجة من رجات هذا البندول الحاصلة في ازمته متساوية الواقعة للسير الثابت للبندول والساعة الدافقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذه الآلة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد المادّة التي تتركب هي منها حيث ان القضيب المعدل لتعليق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة وينكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة رجات البندول تتغير دائما وقد صنعوا بندولات تعديل وهي بندولات تتعادل فيما تغيرات اطوال الاجزاء المتنوعة المركبة لها

وقد نيزانه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما نقصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا للتعليق عوضا عن قضيب واحد عدّة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضيبا من الحديد كقضيب أب (شكل ١٩) نجعل في نهايته السفلى عارضة اقصية كعارضة ش د عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي ش ه و د ف وعارضة اخرى اقصية بمنتصفها طوق يمر منه قضيب أ ب يجمع بين قضبي النحاس المذكورين ويكون

في تقطى $\overline{ك}$ و $\overline{ل}$ اللتين هما نهايتا العارضة المذكورة قضبان
من حديد قضبي $\overline{ك م}$ و $\overline{ل ن}$ مجتمعان معا بواسطة عارضة
 $\overline{م ن}$ ومثبتان في عدسة و $\overline{ل ن}$ فيئتذ بعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة
على قضبي الحديد هما $\overline{أ ب}$ و $\overline{ك م}$ اللذين على ارتفاع $\overline{أ ب}$
الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي $\overline{أ}$ عن مركز العدسة زيادة مناسبة
لا ارتفاع $\overline{أ ب}$ المذكور وأن قضبي النحاس هما $\overline{ث ه}$ و $\overline{د ف}$
عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة $\overline{ك ل}$ ويرفعان
ايضا في زمن واحد قضبي الحديد هما $\overline{ك م}$ و $\overline{ل ن}$ وكذلك
عدسة و المعلقة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة
تأثير قضبي النحاس مناسبة لطول $\overline{ه ث}$ او $\overline{د ف}$ وينتج من ذلك
انه اذا كان طول $\overline{أ ب}$ و $\overline{ه ث}$ مناسبين لامتداد النحاس في الاول
والحديد في الثاني يكون مركز العدسة منخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي
يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن
فرضه ايضا في نقصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بانكماش
قضبي الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير
انكماش قضبي النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الاخيطا مجردا عن الثقال
معلقة بانهاية نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه
المثابة فاذا استعمل في ذلك سلك لين او قضيب غير لين كان لكل من اجزائه
ثقل معلوم و حجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمنع
التباسة بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكون
بمقتضاها رجات هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق في نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما وهو θ وبسيط (شكل ١٤) والاخر وهو θ' وهو مركب فبقى استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسياً وماراً بمرکز نقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة افقية مؤثرة على بعد k بعد r عن المحور فيكون تأثير التناقل معدوماً بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة واحدة منزوية وينبغي أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعداً عن المحور بكمية r' المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$r = r' + \frac{r}{2}$$

ولنبعث عن التأثير الذي يحدثه التناقل على البندولين عند تباعدهما عن المستقيم الرأسى فنقول

لنفرض أن التناقل يؤثر من مبداء الامر على θ (شكل ١٢) الذي هو ساق البندول البسيط المار دائماً بنقطة θ التي هي مركز نقل

البندول المركب وليكن ω هو الارتفاع الرأسى الذي نقيس به تأثير التناقل في البندولين في زمن يسير t ونحلل

ω و ω' الى ω و ω'' تحليلاً عمودياً على θ و θ'

فيكون تأثير التناقل الحاصل على مركز نقل البندول المركب ميبناً بحظ

ω' وتأثير التناقل الحاصل على البندول البسيط ميبناً بحظ ω

$\omega'' = \omega'$ لكن حيث كانت نقطة ω موجودة في مركز دوران البندول

المركب فان قوة ω'' المنقولة الى ω تدير البندول كما اذا كان

في نقطة ω اي كالمواضع البندول البسيط بالبندول المركب

فأذن تكون السرعة المنزوية الحادثة من التناقل واحدة في كل من البندولين
 البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستقرين
 بواسطة تأثيرات التناقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانيا
 يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف
 حينئذ بمركز الارتجاج فأذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور
 الدوران فإن مركز الدوران يتزوج بمركز التعليق ويصيران شيئا واحدا
 وقد تقدم انه متى ثقل بالتوازي محور الدوران من ث الى و انقل
 مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ث غ و فأذن اذا نقل
 محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز ارجحة منقولاً
 من و الى ث وموجوداً على محور التعليق الاوّل وقد استعملوا هذه
 الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي يحصل رجانه
 في زمن حصول رجات البندول المركب
 ثم ان البندولات المركبة واوضاع مراكز ثقلها ومحاور تعليقها ومراكز
 ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدقاقة وغيرها من
 الآلات ذات التحرك المتعدد لاسيما تحرك السفن عند ميلها من جانب الى الآخر
 او من المقدم الى اللؤخر وسيأتي في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على
 قوة الماء توضيح ذلك باتم وجه

* (بيان معادل الآلات البخارية) *

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيها شدة القوة كالبخار على حسب
 تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفخ بالتدرج بمسلكها
 البخار عند ما يحدث منه ضغط يبلغ حد النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطراً
 ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيين من حديد ايضا يرتجان
 على محور افقي يمر باسطوانة رأسية فاذا دارت هذه الاسطوانة حدث من
 دورانها قوة مبعدة عن المركز لسلكي من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرتفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة
بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان
مجمعهما واحد الموضوعتان على وجه تماثل بالنسبة للحوار يرتفعان
وينخفضان في كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذي يدور بدون مانع
حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقى الهندواين فاذا ن يكون
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين
وبعدهما عن المحور وقد يحرك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يعلق
كثيرا او قليلا المنفذ الذي يخرج منه البخار المتراكم (كما ستقف على ذلك
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة)

* (الدرس الثامن) *

* (في بيان الرافعة) *

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتحويل التحركة الحادثة بواسطة الحبال اللينة جدا التي
لا فائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للانثناء فان لها
فائدتين وهما الدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا ان تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة
التجهتين على مستقيم واحد كيد المسحاة (شكل ٢) وكباشة المدفع
(شكل ٣) في فن الطوبجية وكخفاف البحارة وسيقان المكابس ونحوها

ولا يشترط في القضيب الغير القابل للانثناء كقضيب **أ ب** (شكل ١)
ان يكون مستقيما بل يكفي ان تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا اوقعنا
على نقطة **ب** قوة نشد او تدفع في جهة **ب أ** او **أ ب** فان تأثير هذه
القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للانثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثانية تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصله
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول (شكل ٥) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي **آ** موجودة

بين قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة $\overline{ر}$ موجودة بين قوة

$\overline{ح}$ ونقطة الارتكاز وهي $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة $\overline{ح}$ موجودة بين مقاومة $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التناقل تكون قضييا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$ (شكل ٥) او $\overline{بثأ}$ (شكل ٦) او $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودي على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ الا بنقطة الارتكاز

وهي $\overline{أ}$ الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

مارة بنقطة $\overline{أ}$ واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعنى أن القوة مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز أيضا

فاذا استبدلنا رافعة $\overline{بأث}$ العمودية على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

برافعة اخرى مائلة منخنية او مستقيمة كرافعة $\overline{بأث}$ لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة $\overline{أ}$ ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ الامستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

ولا جل اختصار العمليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٨) عموديتين

على $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يديران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوى حاصل في كلتا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فان هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية ب ا ث

ولتكن الآن قوة ر مساوية ومقابلة لقوة ر فتكونان متوازيتين
 وحينئذ تؤثر قوة ر على مقاومة ر كتأثير قوة ح عليها فاذن تكون
ح و ر المتساويتان الواقعتان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويين
 وهما ا ب و ا ث لهما شدة واحدة وهما تدور نقطة ا الثابتة

مثلا اذا اشربنا بمستقيم ا ب بخارز مربوط به فرس يسجبه على ح
 فان تأثير الفرس الواقع على نقطة ا يكون واحدا في سائر نقط الدائرة التي
 يقطعها ا ب مادام بعد ا عن ب ثابتا على حالة واحدة

ولنفرض الآن أن قوتين حينما اتفق كقوتي ح و ر (شكل ٩)
 يكونان واقعتين على رافعة حينما اتفق كرافعة ب ا ث فحيث ان ا هي

نقطة الارتكاز ندير ا ب الى ا ر بحيث يؤول ب ح الى ر ح
 الموازي لخط ب ا ويلزم أن تكون محصلة قوتي ر و ح مارة دائما

بنقطة ا الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{ا ث} = \overline{ا ر} \times \overline{ح} = \overline{ا ب} \times \overline{ر}$$

وعلى ذلك فهما كان اتجاها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة
 مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها
 عن نقطة الارتكاز ايضا

* (تطبيق ما تقدم على تحويل التحركات) *

اذا اريد بواسطة الحبال تحويل تحريك الى اتجاها ب ح و ب ا ث
 المتغيرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة ب ا ث
 (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها جيلان او سلسلتان او جنزيران
 او سلكان معدنيان مثل ب ح و ب ا ث وتكون نقطة ا التي هي
 رأس زاوية ب ا ث ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذا النقطة
 هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فاذا اقتضى الحال تحويل تحركات صغيرة فانه بواسطة شد سلك ح
(شكل ١٠) تنتقل ب الى - ويكون قوس ب - مغايرًا قليلاً
لجزء من مستقيم ب ح و بناء على ذلك لا يتغير اتجاه سلك ب ح
ولا اتجاه سلك ث ر المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول
منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس
الموضوع بقرب الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه
المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الآلات الكبيرة لاجل
تحويل التحركات المترددة

ولنفرض ان المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس م م (شكل ١٢)
وخفضه بواسطة قوة افقية تشده في اتجاه ب ح فن البدئي انه اذا شد
سلك ب ح في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي باث
يرتفع ذراع رافعة اث ويرفع مكبس م واذا اريد ان ث ط الذي
هو ساق المكبس يكون دائماً على رأسي واحد لزم ان يكون دائماً مماساً لقوس
ث الصلب المرسوم من نقطة آ^١ المأخوذة من مركزا

فاذا افلتناسلك ب ح فان ثقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى
ثم يأخذ هذا السلوك في التأثير ثانياً لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحركات
الترددة على التحركات التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من درجات
الهندول شاهد عظيم على مثل هذه التحركات

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقاً مفيداً بواسطة علم الميكانيكا

فيلصق منشار دض (شكل ١٣ مكرر) من نقطة ل بساق
دث ومن نقطة ث بذراع ثا من رافعة ثاب مع تاثير
قوة ح على ساق ب ح غير القابل للاثناء فاذا شد ب ح رسم
ذراع الرافعة وهو اث قوساً وكان المنشار مشدوداً من جهة الرافعة

ومتى دفع **ب ح** حصل تأثير مضاد وكان المنشار مدفوعاً بالرافعة
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل بين تحرك النشارين (شكل ١٣)
الذين تكون اعضاؤهما وهى **ش ا ب ح ر ض و ش ا ح ر ض**
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة * مثلاً إذا كانت
المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة فقطعت بذلك مسافة
لا تبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة
أكبر من القوة مائة مرة (فاذا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها اقل
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحرك حاصلًا في جهة القوة
وكانت الآلة سائرة الى جهة الامام الا أن سيرها يكون بواسطة جزء من
القوة لم ينعدم بالكلمة لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء
متى اريد تحصيل جزء القوة الذى لا بد منه في حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لا معرفته بقواعد علم الميكانيكا مستغراً بالهذه النتيجة
انه يمكن احداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاه انه يمكن بواسطة قوة صغيرة
ابطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبني من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات
العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

ويكنى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحرك الرافعة فاذا فرضنا
ان قوتى **ح و ر** (شكل - ١٠) متوازتان بواسطة رافعة **ب ا ث**
ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلاً فان التوازن ينعدم ويكون التحرك حاصلًا
حيث ان ذراع الرافعة وهو **ا ب** ياخذ في الدوران في جهة **ب ح**
الذى هو اتجاه القوة الكبيرة والذراع الآخر وهو **ا ث** يدور في جهة
ث ر المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين
كزاويتي **ب ا - و ث ا ث** فاذن يكون قوسا **ب - و ث**
الذان قطعتهما نقطتا **ب و ث** مناسبين لطول ذراعى الرافعة
وهما **ا ب و ا ث** (ولنفرض أن هذين الذراعين يكونان عمودين

على اتجاه القوتين المقابلتين لهما

لكن حيث ان $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$

يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس ث} : \overline{قوس ب}$

فعلى ذلك تكون قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مناسبتين تناسبامتعا كسلا للقوسين اللذين تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وبهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حينئذ أن القوة في المسافة التي قطعها تفقد ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية التحرك المقيسة بمحاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلا ازدياد كمية التحرك فاذن يثبت استحالة احداث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادتين من تقطعي $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ وجعلناها

وحدة (شكل ١٠) فان مساقتهما هما $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ يدلان على

سرعتيهما ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$

اللتان هما نقطتا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلا جدا على

حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوي وهو $\overline{ح} \times \overline{ب} = \overline{ر}$

$\times \overline{ث}$ بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة

تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو $\overline{اب}$ (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه

عمودا على $\overline{بح}$ الذي هو اتجاه القوة وادرننا الرافعة قليلا بقدر زاوية

$\overline{بام} = \overline{رام}$ وكان $\overline{ا}$ عمودا على $\overline{بح}$ الممتد فيث ان

نصفي القطرين مناسبان للقوسين يحدث هذا التناسب وهو

$\overline{اب} : \overline{ا} :: \overline{بم} : \overline{رم}$

فاذا مددنا من نقطة م مستقيم من عمودا على سح الممتد
حدث من ذلك مثلثا ب م ن و ا ب ر وهما متشابهان حيث ان
اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\text{ا ب} : \text{ا ر} :: \text{ب م} : \text{ب ن}$$

وذلك يقتضى أن $\text{ب ن} = \text{ر م}$ وحينئذ فهما كانت ب التي هي
نقطة وقوع قوة ح على ذراع ا ب فانه عند اختلال التوازن قليلا
وقياس المسافة التي قطعها نقطة الوقوع على ب م الذى هو اتجاه القوة
تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فيثبت يكون التوازن
حاصلا متى حدث عن القوة المضروبة في سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم
او عن المقاومة المضروبة ايضا في سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور
حاصل واحد على اى حالة كانت نقطتا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين
القوتين يديران الرافعة في جهتين متضادتين

وهذه هي القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة
بالرافعة بل تجرى ايضا في سائر الآلات وجميع ما للقوى من التراكيب
الوهمية وقد بنى المهندس لاغرنج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا
التحليلية التي جمعها في كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم
ثم ان محصلة القوتين المتوازنتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز
تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن يفتح أولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازنتين ومتجهتين في جهة
واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع
القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل
من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومتجهها
الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط $\bar{ز}$ الحاصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا للقوة ومتجها الى جهة المقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا للمقاومة ومتجها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتنا $\bar{ب}$ و $\bar{ش}$ متوازيتين لزم أن نمتد اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة $\bar{د}$ (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيمي $\bar{ب}$ و $\bar{د}$ متوازي الاضلاع لقوتي $\bar{ح}$ و $\bar{ر}$ وهو $\bar{أردث}$ فيكون $\bar{أولا}$ وتر هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي $\bar{آ}$ ونانياً يكون هذا الوزن $\bar{الامقدار}$ واتجاهها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(ولیکن $\bar{أردث}$ هو متوازي الاضلاع الحادث من $\bar{مد آ}$ و $\bar{أث}$ الموازيين لخطي $\bar{ش}$ و $\bar{ب}$ بحيث ان مستقيمي $\bar{أب}$ و $\bar{أث}$ عمودان على مستقيمي $\bar{بش}$ و $\bar{ش}$ فان مثلثي $\bar{أب}$ و $\bar{أث}$ يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية $\bar{ر}$ من المثلث الاول وزاوية $\bar{بث}$ من المثلث الثاني مساويا لزاوية $\bar{بدث}$ فتكونان هما ايضا متساويتين فاذن يكون مثلثا $\bar{أب}$ و $\bar{أث}$ متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\bar{أث} : \bar{أب} :: \bar{أث} : \bar{أ}$$

لكن $\bar{أث} = \bar{دب}$ و $\bar{أب} = \bar{دث}$ فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$\bar{ح} : \bar{ر} :: \bar{دب} : \bar{دث}$$

فاذن يكون

$$\bar{ح} : \bar{ر} :: \bar{أث} : \bar{أ}$$

و

$$\bar{ح} \times \bar{أب} = \bar{ر} \times \bar{أث}$$

وحينئذ تكون نقطة $\bar{آ}$ المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع للقوى مع رافعة **ب ا ث** هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وفائدة ذلك اظهار الاتحاد بين امرين متباينين

فاذا كان هناك عددا من القوى مثل **ح و خ و ر و ض و ط** (شكل ١٥) الواقعة على رافعة **ث ب ا د ه ف** ونزلنا عمدة

ا ح و ا خ و ا ر الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا أولا لمقادير القوى التي تدير الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة في ذراع رافعتها وثانيا مجموع الحواصل المقابلة لمقادير سائر القوى التي تكاد تدير الرافعة في جهة مضادة للمتقدمة **ك** كان التوازن حاصلًا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحينئذ يعلم شرط التوازن من هذا التساوي وهو

$$ح \times ا ح + خ \times ا خ = ر \times ا ر + ض \times ض ضه الخ$$
 وحيث انهننا الكلام تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حق أن نتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاصلية وعلاقتها فنقول

* (بيان الرافعة التي من النوع الاول) *

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعاها متساويين والتوازن فيها مستلزما لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعاها **ا ب و ا ث** متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي **ا** محمولة على لسان **ل م ن** وعلى هذا اللسان محور **ل ا ن** الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفي كلتا نهائيتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون نقل الكفتين واحدا وأن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحور ثقلهما مازا بمرکز ثقلهما وأن يكون الوضع الاصلى لتوازنهما هو الوضع

الذي

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز تماثل الكفتين شيء
يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلى ولا يكون الشيء
الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى
فيوضع في احدى الكفتين ثقل $\overline{ح}$ الذي هو كناية عن قوة $\overline{ح}$ وفي الثانية
الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة $\overline{ر}$ حتى كانت هاتان
القوتان متساويتين وكان قب الميزان اقصيا فان شرط التوازن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{اب} = \overline{ر} \times \overline{اث}$$

فاذا لم يكن $\overline{اب}$ مساويا $\overline{اث}$ بل كان اصغر منه لزم أن تكون $\overline{ح}$
اكبر من $\overline{ر}$ ليكون الحاصلان باقين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان
ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها
من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الغش المخسرون
في موازينهم الفاسدة فاذا اردت انظها رغشهم فضع الصنجة موضع البضاعة
الموزونة وهي موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغيرة في نهاية الذراع الصغير
من الرافعة ينعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من الفنون والتجارب التي عملها الكيميائيون
والطبيعيون والمهندسون كيفية لا تتعلق بضبط الميزان في شيء حيث يضعون
في احدى الكفتين جسم $\overline{ر}$ الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج $\overline{ح}$ التي توازنه
ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله انتقالا جديدة تجمع حتى توازن الصنج
المذكورة بجسم $\overline{ر}$ فهذه الانتقال الجديدة تدل ضرورة بمجموعها على ثقل
جسم $\overline{ر}$ مع الضبط

ولاجل اختبار ما يتعلق بالميزان اختبارا تاما يلزم اعتبار ثقل الكفتين وقب
الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اي ثقل في الكفتين
ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متحدتين في الثقل والطول وأن يكون مركزا
ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسى الممتد من نقطة الارتكاز او من

محور قب الميزان

فإذا كان اب و اث ذراعى الميزان و غ و ش مركزى ثقلهما
يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع اب المحصور فى غ متوازنا
مع ص الذى هو ثقل ذراع اث المحصور فى ش فاذن يكون
$$س \times ا غ = ص \times اش$$

وإذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهى ا على مستقيم واحد
كان التوازن حاصلًا دائمًا على اى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة
لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا الا اذا وضع فيه ائقال اجنبية وبالجملة فادنى
زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك
غير محدود

وينبغى مزيدًا الاهتمام بجعل مركزى غ و ش اخفض قليلا من نقطة
الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد اذا كان
ذراع اب و اث اقصين فاذا اختلف التوازن حينئذ قليلا بهبوط
اب مثلا (شكل ١٩) ورفع اث فان مستقيم اش يقرب

من الافقى بخلاف اغ فانه يبعد عنه اكثر من بعده وهو فى وضعه الاول
فاذن اذا مددنا مستقيمى س غ غ و ص ش ش الرأسيين من

مركزى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ اش الافقى كان اش
بالضرورة اكبر من اغ لكن يكون فى هذا الوضع $س \times ا غ$ هو مقدار
س و $ص \times اش$ هو مقدار ص = س فاذن يكبر مقدار

اليمين وبذلك يأخذ ذراع اث فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة
ب اث اقصيا وحيث ان هذا الذراع هبط بدرجة معلومة بسبب ما اكتسبه
من التحرك عند وصوله الى الوضع الافقى فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون
اث نازلا تحت الافقى بخلاف اب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك
ارتجاج يصير مستمرا حتى كان لا يحدث عن الاحتكاك او مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستقرار الا أن تأثيرهاتين المقاومتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة درجات طويلة المسافة وقصيرتها لكنها تكون محدودة دائما وليكن \overline{O} (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فاذا كان التوازن مختلفا قليلا فان ثقل $\overline{S} + \overline{ص}$ يأخذ في توصيل \overline{O} الى المستقيم الرأسى بواسطة قوة $(\overline{S} + \overline{ص})$ مضروبة في قوس \overline{O} الذى يقطعه مركز \overline{O} من ابتداء مستقيم \overline{O} الراسى وهو قوس مناسب لبعده \overline{O} بالنسبة الى زاوية واحدة

وإذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهي \overline{A} لزم أن تعد في زمن معلوم درجات هذا القب فان كانت بطيئة جدا وصعبة الحصول كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم تقريب المركز من نقطة الارتكاز بأن نرفع او نخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزئه الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بندول مركب تعلم سرعة رجائه ومدتها بالحسابات المذكورة في الدرس السابق متى تعين مقدار ان يرسى الميزان ووضع مركزه وهو \overline{O}

وتم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهي أن تأخذ لسان \overline{A} المثبت في القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة \overline{B} فتكون جملة \overline{A} المسكة من نقطة \overline{O} عند رفع الميزان في وضع رأسى ومتى كان \overline{B} اقريبا كان اللسان العمودى عليه رأسيا وحينئذ يكفي لجهة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال عند خلوكفتى الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ في الصناعة درجة كمال ما لم تعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها المتنوعة لكي تكون تامة الضبط

والقبان كالميزان فهو رافعة من النوع الأول تستعمل لايقاع التوازن بين
ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فنفرض رافعة مستقيمة كرافعة **ب آ ث** يكون ذراعها الصغير وهو
آ ث مأخوذاً ووحدة قياس وذراعها الكبير مقسوماً الى عدد ما من الوحدة
فبحسب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف **ح** في نقط التقسيم وهي
١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف
ر فيكون مساوياً لثقلها مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فاذا قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو **آ ب** المقسوم سابقاً
الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو **آ ث** تقسيماً ثانوياً بأن نقسم كل جزء
من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء متساوية مثلاً فان كلاً من هذه الاجزاء الثانوية
يدل في حاصل **آ ب** × **ح** على عشر حاصل **آ ث** × **ح** وذلك
يستلزم لاجل حصول التوازن أن يزيد ثقل **ر** زيادة تساوي عشر **ح**
وكل تقسيم ثانوي مساوٍ لجزء من مائة من **آ ث** يدل ايضاً في حاصل **ح**
× **آ ب** = **آ ث** × **ر** على جزء من مائة من **ح** × **آ ث**
فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع **آ ب** الى آحاد وعشرات ومآت ونحو ذلك
قسمة مضبوطة يمكن تعيين مرات احتواء ثقل **ر** مثلاً على ثقل كثقل **ح**
وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد
من مائة منه وهلم جزءاً

وما ذكرناه في درجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولاً أن تكون
نقطتا الوقوع وهما **ب** و **ث** موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة
الارتكاز وهي **آ** وثانياً أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلاً من
نقطة **آ** ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط **آ ث** اقرباً
فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على
تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة
التي حصل فيها التوازن نضع محله صنجا بقدر الارطال المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والافلا وبالجملة فهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين تتوازن مع الرماتة والفرق الحاصل بين ارطال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خلل تلك الآلة ولا ينبغي أن استعمل هذه الطريقة يسهل به في كثير من الصور ماصعب من العمليات الثابتة بالتجارب والبراهين ونحو ذلك من اليقينيات

ثم ان القبان من الروافع التي من النوع الاول حيث تتوازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل تستعمل ايضا في تحصيل التحركات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فلنفرض

رافعة كرافعة **ث اب** (شكل ٢١) الثابتة من نقطة **ا** على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها وهو **اب** منغمس في الماء والثاني وهو **اث**

ممسك من نقطة **ث** بيد الرئيس او غيره او بالآلة ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة سائرة وكانت دفة **ث اب** موجودة في اتجاه السير

فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

اث الى النقطة **ث** مثلا فانه يعرض لجزء الدفة وهو **ار** مقاومة **س**

التي تزداد بازدياد زاوية **ب ار** وتصل قوة **س** المائلة الى قوتين

احدها قوة **ص** التي في جهة **ار** ولا تأثر لها الاشد الدفة من جهة

طولها لتخلعها من رزاتها والثانية قوة **س** العمودية على **اب** التي

تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير ويجب ما سبق في الدرس الخامس يكون

لقوة **س** تأثيره تدور السفينة ويكون مقداره مساويا **س ه** × **ع غ**

بفرض أن **ع غ** هو بعدهم كز ثقل السفينة وهو **ع غ** عن اتجاه **س ه**

ولنجعل **ح** رمز الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة **ث** ولنجعل **د**

رمز الى مركز وقوع **س ه** فيحدث لاجل توازن الدفة **ح** × **اث**

$$= \text{س ه} \times \text{اد}$$

* (بيان الرافعة التي من النوع الثاني) *

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المدارى والمجاذيف المستعملة لسير السفن الى الامام فتكون القوة واقعة على نقطة N (شكل ٢١) التي هي مقبض المدرة الرموز اليها برمز N وم وشاذة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة الى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهي M موجودة في الطرف الاخر من المدرة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في O التي هي نقطة من نقط حافة السفينة اما بواسطة ثقب في هذه الحافة او مسما رأسي يعرف بالآخر يطم ومن البديهي انه اذا عين مركز مقاومة جزء المدرة المنغمس في الماء كانت القوة مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المدرة مساوية للمقاومة مضروبة في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المدرة مستندة على حافة السفينة لان هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

ويلزم تصبير الذراع الصغير بثقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة O التي ثقلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لتلايزداد الشغل على الملاح بالاتكاء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

* (بيان الرافعة التي من النوع الثالث) *

حيث ان القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فانها بالضرورة تكون اكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال

التي تكون فيها القوة اكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملايم لامسال هذه الآلات

فتكون \bar{A} التي هي نقطة ارتكاز ريشة \bar{AB} (شكل ٢٢) موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المقاومة حينئذ في نقطة \bar{B} من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مقسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى \bar{M} و \bar{K} و \bar{O} فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتنظر سن الريشة ابصرت \bar{M} و \bar{K} و \bar{O} التي هي نقط وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على \bar{M} و \bar{K} او \bar{O} لتنقص في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات متنوعة تلائم رسم سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهد بين على التركيب الحقيقي للات البسيطة في الظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم تمامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنتي عشرة رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التاكييف الذين لا يرتضونها استعمال الات المركبة في الفنون ويحترضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متحصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الحلقة وهذه الروافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب مائة وثمانون طائفة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ماهو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ماهو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والروافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب العجيب يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والروافع بالنظر لتركيبتها

وفي القنون ما هو نظير هذه الامور الطبيعية كالروافع والاوراق فان اذرعة
الاشارات روافع متحركة بواسطة حبال كما أن اذرعة الانسان تتحرك
بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تحصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم
بواسطة استعمال رافعة واحدة وضع نقطة الارتكاز قريبة جدا من نقطة
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع
من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح واقعة على طرف الذراع
الاكبر من رافعة ب ا ث فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من
رافعة ثانية كرافعة ش د ه يكون موضوعا على نقطة ث التي هي
طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة
كرافعة ه غ ش وهكذا

ولتكن س و س و س الخ هي المقاومات الحاصلة على
ث و ه و ش التي هي تقاطع الروافع المتواليه ولتكن
ل و ل و ل الخ هي الاذرعة الكبرى من تلك الروافع و ل و ل
و ل الخ هي اذرعتها الصغرى فيتحصل معنا شرط التوازن وهو في الرافعة

$$\text{الاولى} \quad \frac{\text{ح}}{\text{ل}} \times \text{س} = \frac{\text{ل}}{\text{ل}} \times \text{س}$$

$$\text{وفي الثانية} \quad \frac{\text{س}}{\text{ل}} \times \text{س} = \frac{\text{ل}}{\text{ل}} \times \text{س}$$

$$\text{وفي الثالثة} \quad \frac{\text{س}}{\text{ل}} \times \text{س} = \frac{\text{ل}}{\text{ل}} \times \text{س}$$

فاذا ضربنا اولا الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي س و س
و س الخ فبقيت ان ر هي القوة الاخيرة اي المقاومة يكون شرط

محيطه نلم ميزابى عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الحبل وثانيها محور يدور عليه القرص وثالثها حالة فحالة أب ش د مثلهى جسم يوجد به ثقب م ن الذى يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر وهو ط مستدير عمودى على م ن المذكور معد لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الحالة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلابد من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة في احد طرفى ح أم ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر منه فاذا اثرث القوة في المقاومة فانها تشد الحبل حتى يظهر منه جزآن

مستقيمان ب خ و أ ح و ب خ احدهما وهو أ ح واصل من البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحنى أم ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتى أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضا حواص هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتنا ح و خ في مستورأسى كان هذا المستوى ايضا مستويا لمنحنى أم ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة في مستوى القوة والمقاومة الرأسى

وكمان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعه كلها في مستورأسى واحد يتجه عليه طرف الحبل المرموز اليه

برمز ب خ مربوط به المقاومة التى هى كناية عن ثقل معلق بحبل ب خ يراى دفعه

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن $\overline{أ ح}$ وهو اتجاه جزء الحبل المربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الحبل على صورة منحني يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوفاً على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الحبل المثني على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك

يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع نقطه وهي $\overline{أ}$ و $\overline{م}$ و $\overline{ب}$ التي على محيط البكرة باقياً على حالة واحدة فاذا كانت القوة حينئذ واقعة على نقطة $\overline{أ}$ مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة $\overline{ب}$ مباشرة ايضاً لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرتين على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن ثقل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضاً بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصلًا حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاجمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الحبل الذي تشده ولاكتسبت من ثقله جزءاً مساوياً بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركاً الى اعلى يعظم شيئاً فشيئاً حتى يكون خطراً

ولاجل تحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعدل

كسلسلة $\overline{خ ن و}$ المربوط بها حمل $\overline{خ}$ المطلوب رفعه رأسياً ولنفرض أن هذه السلسلة والحبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعفه في الثقل فاذا شدت قوة $\overline{ح}$ الحبل

حتى نقلته الى ح فان جزء اب يزاد بقدر ح وجزء ب خ
 ينقص بقدر خ وذلك ناشئ عن عدم نقصان شئ من مقاومة خ

وعن اكتساب قوة ح ضعف ثقل جزء جبل ح وحيث ان مقاومة

خ المذكورة ارتفعت بقدر خ = ح فان جزء سلسلة التعديل

وهو ن الموضوع على مسطح افقى يرتفع ويصير رأسيا ويثقل من

جهة المقاومة لكن حيث كان ن مساويا في الطول لكل من

ح و خ كان ضعف كل منهما في الثقل فاذا نكسب قوة ح

من جهة ضعف ثقل ح وتكسب مقاومة خ من جهة اخرى

ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد

وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فاذا كان ج ا ح و ب خ (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة

قوتي ح و خ المتساويين موازية لاتجاهي ا خ و ب خ

ومارته بمحور القرص واذا لم تكن قوتا ح و خ المذكورتان

(شكل ٤) متوازيين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائما بمحور القرص

وهو ث وبنقطة التعليق وهي س ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين

على التساوي واذا مددنا اتجاهي ا ح و ب خ حتى تقاطعا في نقطة

د لزم أن تكون نقطت ث و س و د الثلاثة على مستقيم واحد

ويحدث من هذا المستقيم مع ا ح و ب خ اللذين هما اتجاهها القوة

والمقاومة زاوية واحدة

وإذا اردت معرفة الضغط الحاصل من قوتى ح و خ على ث الذى هو محور القرص فاننا نعين محصلة دش من متوازي الاضلاع وهو دهش ف الذى يدل ضلعاها المتساويان وهما ده و دو على القوة والمقاومة وذلك أن وتر دش هو محصلة القوتين المتجهتين على دس ث اعنى الضغط الحاصل على محور القرص

وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلى الواقع على نقطة الارتكاز وهى س

وحيث كانت القوة فى البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا فى تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة فى ذلك تسمى باسم بلايها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الارد القوة من اتجاه الى آخر

فاذا لم تكن قوتنا ح و خ متساويتين فان صغرها تعدم من كبرها جزأ بقدرها ويتحرك حينئذ قرص البكرة فى جهة كبرها بما ضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الجمالة يكون مساويا لمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحرك البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيما جدا ويكفى لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدا ~~ال~~ يمكن يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هى قاعدة الآلة التى اخترعها المهندس اويود ليثبت بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التى تقدم ذكرها فى الدرس الثانى من هذا الجزء

ولتخذ نصف قطر ثا و ثب (شكل ٤) عمودين على اتجاهي

ا ح و ب خ فيكون مستقيم اب عمودا على ثش د

الذي يقسم زاوية ا ث ب الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع
مثلثي د ه ش و ا ث ب متقابلة وعمودية على بعضها ومن ذلك
يحدث هذا التناسب وهو

ح = خ : ر :: ده = دف : دش :: ا ث = ب ث : ا ب
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى
ضغط ر الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر
ا ب الحاصر لقوس ا ب المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص

* (بيان البكر المتحرك) *

اذا بدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة ر
المساوية للجهد الحادث على هذه النقطة من تأثير ح و خ كان التوازن
باقيا على حاله بين القوى الثلاثة وهي ح و خ و ر وانما يتغير البكر
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك
من قوتي ح و خ الواقعتين على طرفي الحبل المار بالقرص ومن قوة
ر الواقعة على الجملة هذان التناسبان وهما

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ده}} = \underline{\underline{دف}} : \underline{\underline{دش}}$$

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ثا}} = \underline{\underline{ثب}} : \underline{\underline{ا ب}}$$

وتبدل في العادة احدى قوتي ح = خ بنقطة ثابتة كنقطة خ فتكفي
حينئذ قوة ح في موازنة مقاومة ر وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوتر الحاصر لقوس \overline{AB} المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص
ولهذه النسبة فائدة وهي أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازي
الاضلاع للقوى لأنها تتعلق باصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومة
الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيبية

ومتى كانت قوتنا \overline{C} و \overline{X} متجهتين بالتوازي (شكل ٣) لزم
أن تكون مقاومة \overline{R} متجهة مثلها وازيادة على ذلك تكون مساوية

لمجموعهما وهو $\overline{C} + \overline{X}$ وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين
القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجمالة

وكلما كانت الزاوية الحادة من اتجاهي \overline{AC} و \overline{BC} (شكل ٥)

منفرجة تقص وتر \overline{CS} ولزم أن تكون مقاومة \overline{R} صغيرة اذا كانت

قوة $\overline{C} = \overline{X}$ محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة \overline{C} كبيرة اذا كانت
 \overline{R} محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي \overline{C} و \overline{X} للتوازن

مع قوة نالثة كقوة \overline{R} (شكل ٣ و ٥) أن نربط غالبا احد حبلي

\overline{AC} او \overline{BC} في نقطة ثابتة تكون متحملة للجهد الذي تحمله قوة \overline{X}
التي يمكن توفيرها

مثلا في صورة ما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتنا

\overline{C} و \overline{X} متساويتين فيكون في حصول التوازن بين قوة $\overline{R} = \overline{C}$

$+ \overline{X} = 2\overline{C}$ أن نستعمل قوة \overline{C} وحدها فيتوفر حينئذ

النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن وهذا كما رأيت في تحصيل

بكرة $\overline{ابث}$ المتحركة التي يعلق بها ثقل $\overline{ر}$ ثم يربط في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة

وليكن $\overline{ح}$ هو الشد والجهد الحاصل للجبيل المشدود بقوة $\overline{ح}$ فلاجل

أن يكون توازن البكر الثابت بأقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون $\overline{ح}$

$\overline{ح} =$ ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مدوتر

$\overline{اب}$ في القرص من نقطتي $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ اللتين يتقطع فيهما مس الجبل لهذا القرص تحصيل هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} = \overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$$

وهو شرط بسيط

فاذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عدّة بكرات متحركة مختلطة ببعضها

كان أولا جبل البكرة الاولى وهو $\overline{خ ابث}$ مربوطا في نقطة $\overline{خ}$

الثابتة وفي نقطة $\overline{ث}$ التي هي مركز البكرة الثانية وثانيا يكون جبل البكرة

الثانية وهو $\overline{خ ابث}$ مربوطا في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة وفي نقطة

$\overline{ث}$ التي هي مركز البكرة الثالثة وهلم جرا

فاذا كانت $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ الخ هي الشدود الحاصلة بين جبال

$\overline{بح}$ و $\overline{ببح}$ و $\overline{بيح}$ الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\overline{اب}}{\overline{اث}} = \frac{\overline{ر}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\overline{اب}}{\overline{اث}} = \frac{\overline{ح}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{خ}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{ح} \times \text{ح} \times \text{ح} \times \text{ح} \times \text{ح}}{\text{خ} \times \text{خ} \times \text{خ} \times \text{خ} \times \text{خ}}$$

ولننبه على أنه إذا قسمنا $\overline{\text{ر}}$ على $\overline{\text{ح}}$ ثم ضربنا خارج القسمة في $\overline{\text{ح}}$ تحصل معنا عدد $\overline{\text{ر}}$ وإذا قسمنا هذا العدد على $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ح}}$ ثم ضربناه في $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ح}}$ تحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبقى معنا الاكون مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المقسومة على القوة الأخيرة وهي $\overline{\text{ح}}$ تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدا فإذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة أيضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومعنى كانت سائر القوى متوازنة (شكل ٨) كانت جنال $\overline{\text{أب}}$

$$\text{و } \overline{\text{أب}} \text{ و } \overline{\text{أب}} \text{ الخ اقطارا لاقراص } \overline{\text{أبث}} \text{ و } \overline{\text{أبث}}$$

و أَبْت الخ فعلى ذلك تكون هذه الجبال ضعف انصاف اقطار

اث و اث و اث الخ فاذا ن تكون $\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢$ الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة

فاذا بحسبنا في حالة التحرك عن نسبة المسافات التي قطعها القوة والمقاومة

وجدنا المسافة التي قطعها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعها

قوة ح وهي على النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهي ايضا على

النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهكذا وحينئذ تكون نسبة مسافتي

هـ و هـ اللتين قطعتهما قوة ح ومقاومة ر هي

$$\frac{هـ}{هـ} = \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times ٢$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هي

$$\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots$$

وهذه هي النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين

في بعضهما حدث

$$\frac{٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots \times ٢}{٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots \times ٢} = \frac{٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots \times ٢}{٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots \times ٢}$$

المتحركة

$$١ = \frac{٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots \times ٢}{٢ \times ٢ \times ٢ \times \dots \times ٢} = ١$$

وذلك يقتضى أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما

تساوى قوة ح م مضروبة فى مسافة هـ التى يلزم أن تقطعها فى الزمن المذكور عند عروض الاختلال للتوازن على جين غفلة لاجل تحرك الآلة (وهذا من شواهد قاعدة السرعة المنبهة) ويستعمل غالباً فى القنون البكرات التى لها حبال متوازية تقريباً وهى عدة اقراص ثابتة مثل ١ و ٢ و ٣ الخ (شكل ٩) و (شكل ١٠) موضوعة على جمالة ثابتة وعدة اقراص متحركة مثل ١ و ٢ و ٣ موضوعة على جمالة متحركة ومثل هذه الجمالات يعرف بالعيار او بالانك

وحيث ان الحبل يمر بالتوالى على ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٥

فاذا كانت حبال ر ب و ا ا و ر ب و ا ا و ر ب الخ متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساوياً للمقاومة مقسومة على عدد الحبال المذكورة وينبغى أن لانعدا اخر اثناات حبل ا ح لانه لما كان تأثيره مقصوراً على البكر الثابت كان لا يغير التوازن فى شى مفادن يمكن ابدال ح بمساويتها وهى ح المتجهة على امتداد ب و حينئذ يحتقى حبل ا ح

وبناء على ذلك ينبغى أن لانعد من الحبال الا ما كان مبدؤه البكرات المتحركة مباشرة بمعنى اننا نعد لكل بكره متحركة حبلين اذا كان مبدئه الحبل الجمالة الثابتة (شكل ٩) وحبل واحد اذا كان مبدؤه الجمالة المتحركة (شكل ١٠) وهذه الحبال على العموم متوازية تقريباً و ربما اعتبرت فى العمل متوازية بدون خطأ بين فاذا كان هناك عدد غير محدود من البكرات المتحركة كعدد م فانه يتحصل من الحبال ٢٢ فى الصورة الاولى و ٢٢ + ١ فى الصورة الثانية وهذه الحبال تكون بالسوية حاملة

للجهد الحادث من محصلة \overline{R} وكل منها يتحمل $\frac{R}{2}$ وهو جزء من الجهد

او $\frac{R}{1+2r}$ وهو جزء منه ايضا لكن $\overline{C} = \overline{A}$ هو شد \overline{B}

فاذن تكون قوة \overline{C} مساوية لمقاومة \overline{R} مقسومة على ضعف عدد البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد زائدا واحدا (شكل ١٠)

وفي هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الآلة قليلا كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة في زمن واحد كعكس نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط \overline{A} بكمية ما لزم أن تكون ابعاد \overline{B} و \overline{B} و \overline{A} الخ و \overline{A} و \overline{A} الخ متزايدة على حسب اطوال الهبوط

فاذن يكون الطول الكلى للعبال من ١ الى \overline{A} الخ متزايدا بقدر عدد الجبال ويلزم حينئذ أن يكون جبل \overline{A} المعلوم هو الذى احدث هذا الطول فتقطع \overline{C} مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان $2r$ (شكل ٩) هو عدد الجبال فان نسبة مسافة \overline{R} التى قطعها \overline{R} الى مسافة \overline{C} التى قطعها \overline{C} :: ١ : $2r$.

لكن $\overline{R} : \overline{C} :: 1 : 2r$ فاذن تكون قوة \overline{R} مضروبة في المسافة التى قطعها \overline{R} تساوى قوة \overline{C} مضروبة في المسافة التى قطعها

\overline{C} الخ ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بشكل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعبارات احدهما (شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور منفردة مارة بجمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مان بجمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة كالجزم من الجمالة
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الاول تكون
اقراص كل عيار في مستوا واحد مع الجبل الذي يمر بالتوالي من عيار
الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الجبل لاجل مروره من عيار الى آخر
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل
الناشئ عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك
يؤدي الى تغير عينها وربما تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك
ولا يكون هذا الضرر بينا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما
بالنسبة لتباعدا الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من
بعضهما فان الخلل الناشئ عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقارومات غير
لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوععة على محور واحد دون
منفعة الاقراص الموضوععة في جملة واحدة على محاور مختلفة
ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المجال اكثر مما تشغله في الصورة
الاولى فاذا كان المطلوب مثلا رفع اجمال لزم لذلك آلة تكون فيها نقطة تعليق
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الجبل وهذا الار تفاع يكون
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر
لا سيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجرار اليها * وعلى
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال
فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على
قوة صغيرة وغلبتها لها لزم أن يكون لها حبال كبيرة فذلك تقطع القوة
مسافة كبيرة حتى تقطع المقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي
هو كناية عن قاعدة نستنبط من تحزلسائر الآلات

* (بيان التثاقل في البكرات) *

إذا اعتبرنا البكرات اجساما ثقيلة وارىد تحصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة

خ الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ

بلامعارض فانه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة ح ومقاومة ر

وتقل جبل ح ا ب خ والبكرة بتمامها فاذا كانت م هي ثقل البكرة

بتمامها و د ثقل الجبل حدث اربع قوى وهي م و ك و ح و خ

تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة ر لاجل حصول التوازن

ثم اذا لاحظنا ما يتحول ث الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور

يتحمل أولا جهد ح و خ وثانيا ثقل قرص البكرة وثالثا ثقل

جبل ح ا و ب خ في صورة ما اذا كانت القوة تؤثر من اعلى الى اسفل

كما في شكل ٤ وحيثما اذا كان م هو ثقل القرص الذي يكون مركزه

في ث لزم أن يكون لقوى م و و ك و ح و خ محصلة كلية

مارة بمحور ث ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

ومما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئا من نسب ح و خ

بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيما كان متعبا للمحور ونشأ عنه

احتكاكات فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيرا مهما امكن متى كان الغرض

أن البكرة تؤثر تأثيرا عظيما ما يمكن

واما الجبل (شكل ٤) فانه في صورة ما اذا كان ثقله محمولا على المحور يكون

جبل هذا المحور قليلا بقدر ما يكون ذلك الجبل خفيفا

وما ذكرناه في هذا الشأن له اهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات

في جوانب السفن واذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفرة العظيم في كمية

ما يستعمل من المواد في اقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لغبلة

المقاومة والظهور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الجبال والاقراص خفيفة جدا

وإذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام في تجويفها من بين الخلق والمحور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عجلات العربات او فواصل رقيقة تجمع بين الخلق ومركز الدولاب كما في شكل ١٣

فاذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو ح موازنا للساير المقاومات والجزء الثاني منها وهو ح محرر كاللعيل والقرص ومقاومة ر بكمية يدل تأثيرها على جميع ما لم تعدمه مقاومات الآلة

ولكن هذه الكمية تقاس أولا بالمسافة التي قطعها ح وثانيا بمجموع حواصل ضرب ثقل الجبل في المسافة التي قطعها هذا الجبل في جهة طوله وثالثا بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي قطعها هذا الجزء فينبغي ان يلزم تعيين هذا الجزء الثالث

واذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسباً بالضبط لانصاف اقطارها فاذا قطعنا قرصين متحدى السمك ومختلفي القطر كان حجم كل منهما مناسباً لمربع قطرهما واذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعني القرصين) الى اجزاء صغيرة حجمها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة في القرصين مناسباً لمربع نصفي قطرهما فاذا ن يصير حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسباً لمربع القطر مضروباً في القطر نفسه اعني انه يكون مناسباً لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة في كل من القرصين مناسبة لمكعب قطره وهذا بالنظر الى سرعتها المنزوية فاذا زادت تلك النسبة كثيراً مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما يمكن وهذه الفائدة يمكن تحصيلها من استعمال الجبال التي ليس لها بالنظر الى قوة مفروضة الاقطر صغير قليلاً لمزيد جودتها وبالجملة فيمكن أن يكون عرض

القرص اقل من قطر الجبال لثلاثي تلك الجبال من احتكاكها بجوانب
الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فاذا استعملنا من الجبال مالا مقاومة له اصلا عند الانتهاء على حلق البكرة
فكلما كان قطر القرص صغيرا قل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور
على اينرسي هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شدة الجبال مقاومة
عظيمة يلزم الاهتمام بتقويهما ومعرفة مقدارها

وسياتي أن ك الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي
تعرض لتحرك البكرات من شدة الجبال

ثم ان شوحية أ (شكل ١٤) تحمل اولا س سطح ح الكبير
بواسطة جبل الاختبار وهو ث الذي يدور مرّة من جهتي اليمين
والشمال على ملف ب المتحرك وتعمل ثانيا س سطح خ الصغير
بواسطة جبل ث الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف ب
في جهة مقابلة لجهة ث وينبغي الاهتمام بمنع الجبال عن مماسة
بعضها ليحصل التأثير على وجه سهل ،

وقد يميل ملف ب الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ اولا عن ثقله
الاصلي مع ذراع رافعة يساوي نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح
خ مع ذراع رافعة يساوي قطر الملف المذكور فيكون حينئذ اضافة نصف
ثقل الملف الى ثقل حمل خ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع
رافعة يساوي قطر الملف فاذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تأثيره بثقل ح
المربوط في طرف جبل ث المارة ببكرة الردوهي ر وكل وحدة من
ثقل ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل ث المراد قياس شدته يرتجى حتى يكون تقريبا
كالجبال المستعملة عادة في الآلات ونتمر بجبل ث من فوق حلق
البكرة ونربط في احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الاخر فيرفعون

هذا الثقل او يخفضونه فبذلك يزول ما يوجد من الخلل في شدّ الحبال الحديدية التي تمنع من حصول التسايج المطلوبة

فاذا احتسنا بهذه الاحتراسات في منع الخلل عرفنا ثقل $\overline{خ}$ الذي لا بد منه لهبوط ملف $\overline{ب}$ ولظفر بمقاومة حبل $\overline{ث}$ ورأينا أنه بواسطة شدود عظيمة تكون تقريبا القوة اللازمة لثني الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر $\overline{أولا}$ على نسبة مطردة بالنظر لشدود الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملفات $\overline{وثانيا}$ تكون على نسبة مطردة بالنظر لمربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلظ الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شدّ الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر آخذ في الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الى الارتفاعات المختلفة التي تكون لشدّ الحبال والتوائها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدته ومحافظا على درجة شدّه عند التواء هذا الحبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلايم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثني الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الحبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل مربوط بالحبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشدّ والالتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الحديدية المقنولة بثلاث مرّات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الضبط الكافي لنسبة مربعات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدّه الاصل)

واذا قابلنا مقاومات القنن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الانثناء وحينئذ فيمكن في القنن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوي كالحبال الرفيعة لان الحبال

المشدودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بخلاف غيرها من الحبال فانها تلين بمجرد ليها من غير جهد

ويلزم تعيين التأثير الذي يعرض لشد الحبال حين رطوبتها وشم اشغال كثيرة لاسيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر وغير ذلك تبطل فيها الحبال وتتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين بالسلكية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر ان شد الحبال لاسيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة متى كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن

هذه الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحمل الذي تحمله الحبال

وقد عملت تجارب كلب الاولية في الحبال البيضاء وعمل غير الاولية منها في الحبال المقطرنة (اى المدهونة بالقطران) فوجد أنه يلزم في هذين النوعين مهما كان الشد اضافة كمية ثابتة الى المجهودات التي لا بد منها في شئ الحبل المفروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شد الحبال المقطرنة لا يفوق على شد الحبال البيضاء الا بمقدار $\frac{1}{4}$

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الحبال البيضاء اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناير ولو كانت بذلك عرضة لشدة الهواء فيخثثد تجد ما ينشأ عنها في القوى المحركة من توفير اجرة الشغالين بعادل ما يصرف فيها حين تبلى سريرا

وقد دلت التجربة على أن الحبل القديم المقطرن يكون شدة كشد الحبل الجديد المقطرن تقريبا نعم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا الا أن نعرضها للهواء والمطر يجمد القطران فيعادل تأثيرها تأثير الحديد

وقد ذكر كلب قواعد حسابية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج على تقويم المقاومة وتقديرها عند اثناء الحبال المتنوعة على الاسطوانات او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدودها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير

وقد عملت تجاريب الجبال المقطرنة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر ريو مود
مرتفاعا عن الانجماد بخمس درجات اوستة فظهر أن الجليد يزيد في شدة هذه
الجبال لاسيما اذا كانت عظيمة القطر وقد عملت ايضا تجربة الجبل المقطرن
المؤلف من ١٥ فرعا حين كان الترمومتر منخفضا عن الانجماد باربع
درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسدس تقريبا) مما اذا كان الترمومتر
مرتفعا عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة لنسبة
الاجمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة
بينه

وهاهنا تنبيه يتعلق بسائر التجاريب السابقة وهو انه متى كانت الجبال مثقلة
بالتقال ورفع منف باب (شكل ١٤) بأن ادير بقوة الذراع ثم خلى
ونفسه فسقط في الحال قل شدة الجبل بحيث يكون على الثلث مما في تلك
التجاريب وهذا عام في سائر الجبال سواء كانت يضاء او مقطرنة قديمة او جديدة
غير أنه في الغليظة والجديدة يكون اظهر مما في البالية والرفيعة وكذلك يكون
اظهر في الملفات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركنا تلك الجبال ساكنة مدة من
الزمن ورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شدة الجبل يزيد زيادة بينه لكن
لا يصل الى الحد الذي حدده كلب في تجاريبه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق
او ٦ وعليه ففي التحرك المتردد الذي تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل
ونخفضه كما في تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكباش او الشامردان المستعمل
لدق الخوايز في الارض يكون شدة الجبل اقل مما في التجاريب المتقدمة
ومن هذا القبيل الجبل الذي يمزج بكتين متجاورتين * ولكيلا يكون التحرك
سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في الظفر بشدة الجبل عنده التوائه على
البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثديه على البكرة الاولى وان كانت درجتهمما
واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجزاء المنثنية تأخذ في الاستقامة مع البطيء
وأن الشد كبيرا كان او صغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات البحارة
البطيئة المتحركة ببطأ كافيا والتي بكراتها دائما على مسافات كافية من بعضها
ليكون كل جزء من اجزاء الحبل عند مروره من بكر الى آخر مستوفيا للزمن
الذي يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالباً من حساب
المقاومات بالنظر للحالة التي تضر بالقوى المتحركة

ثم ان الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ تثبت الحواصل
المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا صالتي $\overline{ط ط}$ و $\overline{ط ط}$ الحاملتين للوحى $\overline{د د}$ و $\overline{د د}$
ووضعنا ايضا لوحى $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$ الغليظين في موضع ضيق وجعلنا اعلاهما
اقتيا واضلحناه اصلاحا تاما فكان بينهما فرجة طويلة

ولم نزل نضع بالتوالي ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور
هذه الملفات (شكل ١٥) عموديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما
مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا في طرفي الملف اثقالا قدرها
٢٥ كيلوغراما بخيوط من الدبارة اللينة التي تبلغ دورتها ٤ ميليمترات
ونصفا ولا يبلغ شدها جزءاً من واحد من ثلاثين من شدة الحبل المركب من ٦
فروع وقد يتحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة
الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقل يبلغ ٢٥ كيلوغراما في طرف
كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالعقاب في جهتي الملف
نختبر القوة التي تحرك هذا الملف تحريكاً مستمراً غير محسوس او تظفر اولاً

بشد حبل **ث ث** وثانياً باحتكاك الاسطوانة

وشدة الحبل دائماً على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك اسطوانة **ب ب** الحاصل على مستواقي فهو على نسبة
مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للتظفر فعلى ذلك كلما كان قطر
الاسطوانات التي لها ثقل واحد كبيراً كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالباً ويكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التي يداس بها على الاراضي المزروعة لتكسير ما فيها من المدر وتفتيته ودرس الحشائش التي عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تقصيص مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجتهد بدون مشقة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار في انكلترة قبرى الانكليز يستعملون اسطوانات مجوفة من الحديد الصب جامعة بين الصلابة والخفة وكبر القطر وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الحجم يكون مقدار انيرسى المخوف منها اكبر من مقدار انيرسى المصمتة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير في ادنى النسب واصغرهما بالموانع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها ويجرى مثل ذلك في استعمال العجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بتوازن البكرات المستعمل كل منها على حدته اومع بعضها بطرق مختلفة ناسب أن تقتصر على طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة لاسيما عند البحارة وله كيفية مخصوصة ويطلق اسم البكراتية على صناع هذه الآلات

ولم تتعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجزاؤها الاصلية بقوالب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التي يصنعها النجارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد والنحاس ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة البكرات المتخذة من الخشب ولنذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالمنشار والمخرطة وصمدوقها بالآلات القطع الشبيهة بالآلات النجار وصانع القباقب وقد يصنع بالآلات اخرى صناعة مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويي التماثل اللذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والاخر عمود عليها وقد اخترع بروينل الميكانيكي وهو من علماء فرنساوية لاجل عمل الوجوه

المذكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة بديعة في صناعة ذلك وهي أن
تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعة من الخشب مجوفة تجويفها مربعاً وملازمة
للبيكرات المطلوبة في الطول والعرض والسماك وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط
المذكور تثبيتاً جيداً ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون تحركه منتظماً
ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على
شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير
من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث تصير وجوهها
الخارجة داخلية بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم نحرك العجلة الكبيرة ونصنع
وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة
جديدة لها قطر موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا
وتكون صناعتها على شكل قوس اسطوانة مستديرة نصف قطرها مباين
لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق

فتكون القوة المحركة على طريقة بروينل حادثة من آلة بخارية وقد تكون
حادثة من دوران الخيل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو
تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهناك صناعة اخرى لا بد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي
يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة
بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمثقاب تثقب به
في طرف من اطراف الاقراص ثقباً اسطوانياً في جهة محل القرص يكون
قطره مساوياً بالعرض هذا المحل ثم نشرب بمشار رفيع جداً داخل في هذا الثقب
من جهتي اليمين والشمال جزءاً من الخشب المراد ازالته لاجل عمل محل القرص
فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولما منع من أن نستعمل في ذلك مقراضاً يكون له بواسطة قوة مستمرة
تحرك متردد وهذه الطريقة هي التي اختارها العالم هويرت احد مهندسي

البخارة

فلنفرض اذن عوضا عن قوة ح أولا قوة ح المساوية والموازية لها
 والمارة بنقطة و التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين $\frac{1}{2}$ ح
 ومتجهتين على وجه بحيث يدبران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي
 قطرها ولما كان تأثيرها بين القوتين انما هو لاجل دوران الطارة على مركزها
 بدون أن يدفع ذلك المركز الى اى جهة كانت لهدفعها ايضا مسندى م و ن
 الى اى جهة كانت

فحينئذ يكون ضغطا ح و ح الحاصلان على مسندى م و ن
 حادين من قوة ح المساوية والموازية لقوة ح والمؤثرة في نقطة و
 التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واجد مع هذين المسندين
 فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ح} = \overline{ح} + \overline{ح} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

$$\text{او } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{وم} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة ر تحدث على مسندى م و ن
 ضغطى ر و ر بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ر} = \overline{ر} + \overline{ر} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وحرف ر هنا يدل على النقطة التي يكون فيها اتجاه مقاومة ر ساقطا
 سقوطا عموديا على محور الاسطوانة
 ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{من} \text{ و } \overline{ر} = \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتنا ح و ر مارتين بنقطة م وقوتنا ح و ر

مارتين بنقطة $\overline{ن}$ سهل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ من القوة والمقاومة

ثم ان سهل الصور في هذا المعنى واعمها هو ما كانت فيه قوة $\overline{ح}$ موازية لمقاومة $\overline{ر}$ فعلى ذلك تكون $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ متوازية ايضا وتكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ هي $\overline{ح} + \overline{ر}$ ومحصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

هي $\overline{ح} + \overline{ر}$ وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط يمكن بالنظر لمقدارين مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون $\overline{م س}$ هي محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

و $\overline{ن س}$ هي محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ وذلك بواسطة متوازي الأضلاع للقوى

المبينة بمستقيمتين $\overline{م ح}$ و $\overline{م ر}$ و $\overline{ن ح}$ و $\overline{ن ر}$

وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها

للمسندين يبقى على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل الذي يلف او ينشر تدريجا بحيث يتكون منه حلزون على اسطوانة المنحنيق

فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسندين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد

الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا

بحسب النسب المتقدمة وحيث ان اذا كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد

المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوته الكلية بخلاف

الضغط الحاصل على المسند الاخر فانه يكاد يكون معدوما ومتى كانت

المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين

هذا ويلزم عمل المنحنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسندها

اعظم ضغط ممكن

ثم ان المنحنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها يقطع فيه النظر

عن نقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الحبل المقروض انه صغير جدا
 والاوجب أن تكون قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ واقعتين على اتجاها محور الحبل وبناء
 على ذلك يضاف الى قطري الاسطوانة والطارئة نصف قطر الحبل المستعمل
 وبالجملة فتى اثرت قوة $\overline{ح}$ (شكل ٢) على حبل $\overline{أ ب ح}$ الذي له
 سمك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستديرا وتكون
 محصلة سائر الجهودات الحاصلة في كل جزء على كل فرع من الحبل مارة بمركز
 هذا الحبل واذن يمكن أن نعتبر قوة $\overline{ح}$ المحلولة لاجل التأثير في جميع فروع
 الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذکور وحينئذ يكون مقدار هذه القوة
 مساويا $(\overline{ث} + \overline{أ}) \times \overline{ح}$ اعني أنه يكون مساويا لنصف قطر
 الطارة زائدا نصف قطر الحبل مضروبا في القوة
 فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل $\overline{س ر}$ المشدود من احد طرفيه بمقاومة $\overline{ر}$
 والملفوف من الطرف الاخر على اسطوانة $\overline{ث}$ ظهر لنا بهذين الامرين
 أن تأثير قوة $\overline{ر}$ الحاصل على الاسطوانة هو كتابة عن مقدار $(\overline{ث} + \overline{س})$
 مضروبا في المقاومة المؤثرة في هذا الحبل
 وعلى ذلك ففي المخنيق الذي نصف قطر طارته $\overline{ث أ}$ ونصف قطر اسطوانته
 $\overline{ب ح}$ ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ح}$ المؤثرة في الطارة $\overline{أ ب}$
 ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ر}$ المؤثرة في الاسطوانة $\overline{س ر}$
 يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة في مجموع نصفي قطري
 الطارة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة في مجموع نصفي
 قطري الاسطوانة والحبل الذي يشد هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف في ذلك
 وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطارة بل يلزم لذلك غالبا وضع صفين
 او ثلاثة ولا يخفى أن القوة في كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن
 المحور ببعده واحد وهو قطر الحبل في كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويلزم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب توازن منجنيق واحد او اكثر تقويم مضبوطا ثم ان غلظ الجبال لا يغير شياً من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغلظ الجبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المنجنيق فان غلظ الجبال يضم مقاومته لخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشدود البسيطة ومربع قطر الجبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق وطارته او نصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المنجنيق مزيد الاهتمام بعمل جبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولنلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة ج تجبر الاسطوانة او عمود المنجنيق على الدوران في نقطة و (شكل ١) نحو ح الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة ر يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في س نحو ر الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاجزاء نقطة القوة فاذا لم يكن العمود مربكاً من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا و يلتوى التواء مناسباً لمقدارى القوة والمقاومة

وسياتى في الدرس المعقود للبريمة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء ومضرة الحزون التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى عمدة تستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكثها

* (بيان تأثيرات التناقل في المنجنيق) *

وما سلفناه في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجرى ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضرسة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل في الظفر باينرسى الاسطوانة والطاراة ويلزم أن يضاف الى الانضغاط الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال
واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التضايق على الاسطوانة يتقطع ثقله
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الأصلية ويكون جزءاً من المقاومة
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق
بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالحبل يلتف دائماً
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة
والمقاومة واحدة دائماً حتى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات
والطارات التي تتركب منها الآلات المستعملة فيلزم اذن أن تكون اثقالها
صغيرة مهما امكن لكي تنقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات
وسياً في توضيح ذلك في الكلام على الاجتسكات

وتستبدل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً سمي قضيباً* والمناويله وهى الملولى هى في العادة
رافعة منكسرة بهامق مض تكون يد الانسان عليه كالقوة (شكل ٣)

وفي الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طناير فاما ذات المدرجات (شكل ٥)
فيصعد على مدرجاتها الغائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج
سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد
من مركز ثقل تلك المقاومة

وقائدة هذه الآلة هي ان الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما يمكن عن الخط
الرأسي الممتد من مركز الطارة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان
كلما فرضت الطارة كبيرة

وهناك طارات اخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يمر منه الشغالون
المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتى قبلها تقاس النسبة الحاصلة
بين القوة والمقاومة وسياتى في الدرس الحادى عشر المختص بالمستويات
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين بياناشافيا

ويكثر في بلاد الانكليزا استعمال الطناير التى تقع عليها قوة الانسان بطرق
متنوعة ولنفرض طنبورة او اسطوانة كبيرة انقطر على محيطها درجات
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث
يسهل على من تكون يدها متكئة على قضيب افقى أن يصعد عليها خطوة بخطوة
بدون احتياج الى مدرج عليه متدا كبيرا ثم ان الاشخاص المعدن لتحريك
الطنبورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بايديهم على القضيب الافقى المذكور
واما ارجلهم فانهم عند نقلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمسجونين
معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن
أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فاذا كانت المقاومة واقعة على محيط سهم
الطنبورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنبورة عن الخط
الرأسى الممتد من مركز الشغالين الى نصف قطر سهم الطنبورة المذكورة
والارعات الافقية هي آلة مركبة من اسطوانة افقية كاسطوانة المنجنيق
ومن قضبان او روافع غائرة من احد طرفيها فى ثقوب مصنوعة على محيط
الاسطوانة من جهة طرفيها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه
تأثير جهد ايدى الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر
السهم زائدا نصف قطر الحبل الذى تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة
التي يقع عليها تأثير ايدى الشغالين

ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جوانب السفن وتستعمل ايضا في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاسيون وفي هذه العربات يوضع سهم آلة الارغات امام العجلات ويكون الحبلان الملتفان على السهم مربوطان من طرفيهما في النهاية الخارجة من العربته موضوعين فوق البضائع فاذا كان تأثير الجهد حاصلًا بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين كثيرا فانهما يجبران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع لبعضهما وحرزهما بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الارتجاج

ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات في الصناعة قري بيلا انكلترة على واجهات المخازن الكبيرة المعدة لتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد الشبايك وترى ايضا فوق واجهة الشباك الزائد عن غيره في الارتفاع بكرة ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الخائط وتارة ملصوقة به وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم يرتبطونها في طرف حبل يمر ببكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق المتحرك تارة بالمانويله وتارة بالعجلات وما اشبه ذلك ومن المهم استعمال الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق في تجارات فرنسا

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هي من متعلقات المنجنيق والغرض منها امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يمكن على الخط الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسى ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المنجنيق او آلة الارغات المتحركة باحدى الطرق السابقة اعنى القضبان او الطنابير

فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فالتا ندير حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الذراع الاعلى من الحلقة موضوعا رأسيا على قنطرة السفينة (المعروفة عند الملاحين بالكويرته) التي يراد تفريغها وتربط البضاعة في طرف الحبل الذي يمر بالبكرة

الثابتة و يلتف على اسطوانة المنجنيق ثم توجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فاذا وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فيخندذ يقع على القوة تأثير المقاومة ويهبط الحمل بواسطة تأثير ثقله حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامطة لهذا الحمل ثم ان اغلب العيارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الآلات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد بريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا تلك الآلات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكن جميع اجزائها من الحديد

ولا بد في عمل العيارات مع الضبط أن يكون صانعها اليه اليد الطولى في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المنحركة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة ايتريسي الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظير ما ينعدم منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقه من القواعد وما سنذكره منها في هذا الجزء له شواهد واضحة

في صناعة العيار وغيره من سائر الآلات التي هي من قبيل المنجنيق ومن الآلات الشبيهة بالمنجنيق التي ترفع الاثقال المعروفة بالعيوق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الآلة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الآلة الثلاثة ويكون احد طرفي الحمل المار بالقرص الثابت ممسكا للحمل والطرف الاخر ملتفعا على سهم المنجنيق

المحرك بواسطة القضبان او الزواجع وكثيرا ما تستعمل الآلة المذكورة في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها (في شكل ٧ من الدرس الرابع من الجزء الاول)

والمعطاف (شكل ٨) هو منجنيق محوره رأسي والقضيب او القضبان المعدة لتحريكه افقيه

ويتحقق التوازن في العيوق والارغاط والمعطاف متى كان حاصل ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذي تكون هذه المقاومة مربوطة به

فاذا كان هناك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم يضرب كل قوة في طول ذراع رافعتها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون مساويا لمقدار المقاومة

وليس تأثير تناقل الآلة على تقطى الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالحرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة متجهتين اتجاها افقيا فيكون تأثيرهما على تقطى الارتكاز ضغطا افقيا وينشأ عن تناقل سهم المعطاف وقضبانها ضغطا رأسي لاعلى المحيط المستدير المعتمد لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعه تحت ذلك السهم في اتجاه المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجوفة كالطيلسان الكروي تعرف بالسكروجة

ولا يتأق في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الافق الواقع على تقطى الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان نقل الآلة لا يدخل له في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جراح الاجال جراحا افقيا فتزحلق هذه الاجال على الملفات الاسطوانية المتخذة من الخشب والحديد وقد تزحلق على عجلات صغيرة او اكر تجرى في افارير مجوفة وسبب اختراع

هذه الطريقة الاخيرة انهم ارادوا نقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر
في مدينة سنت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في القنوتون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء
اشغال هذه القوة العسكرية في الترهانات والمعسكرات والمحاصرات

وكذلك يستعمل مع الاهتمام في جوانب السفن لاجل اجراء لوازمها واشغالها
ومعطاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسى يثقب الكويرتين

ويستقر على سكرجة موضوعة في الكويرنة المستعارة ويحيط بهذا السهم
في احدى الكويرتات المتوسطة بحرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون

على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الحرس عدة ادوار من الحبل
المعدل لتشد المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحلزونية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط
يمكن رسمها بين نقطتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة

على طرفي الحبل المنثنى على صورة خط بريعى حول الاسطوانة في اتجاه هذا
الخط البريعى شادة بالضرورة للحبل المذمكور في اتجاه ذلك الخط البريعى

وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بماسة الخط البريعى مائلتين بالنسبة
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للمحور، غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون

كما سبق في تعريف المنجنيق والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم
وحيث لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحبل المنثنى انثناء

حلزونيا على سهم المنجنيق او المعطاف في اتجاه الخط الحلزوني فاذا ينشأ عن تأثير
هذه القوة اختلال الحبل واضطرابه بحيث لا يبقى على الاتجاه الحلزوني الذي

كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لجزء الحبل المنثنى كما سبق انثناء
حلزونيا على محيط السهم بحيث اذا انضم جزء هذا الحبل الى بعضه امتلا الخط

البريعى شياً فسياً حتى يصير المماس لهذا الخط البريعى في اتجاه المحصلة التي
يحصل فيها الخلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحرك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الآلة مسافة

كبيرة تساوى طول قننة مثلالها من الامتار عدة مات فاذا تصورنا ان القننة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تدارك هذا الخلل بواسطة حبل غير متناه يعرف بالحبل البرمى وذلك انه يوجد في هذا الحبل على ابعاده من عقد معتبرة كقطع منع ووقوف لاجل ربط القننة التي يراودها به فتدير هذا الحبل خمسة ادوار او ستة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكما دار المعطاف النصف طرف الحبل البرمى الاسفل وانفرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستمر على التحرك بهذه الكيفية حتى يصل الحبل البرمى في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حينئذ بين الجرس و سطح كويرتة السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضادة لجهته ليحصل صف آخر من الحبل الملقوف على الجهة الاولى ولكن لا تغفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومجوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ماسنذكره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الحبل البرمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الحبل لاجل رفع جزء الحبل البرمى المنثنى كما سبق انشاء حلزونيا ويكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار الحلزونية ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لايسهل به رفع الحبل في سائر الاوقات صار سطح دوران مجوقا من جزءه المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكما التف الحبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مجوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في بحث المستوى المائل يكسب شد الحبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار الحلزونية الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البدیعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الحبل البرمى عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتقا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الحبل المذكور مع

عجلتي \bar{r} و \bar{r} الصغيرتين البارزتين اللتين يكون محورهما موضوعا على
محيط قاعدة جرسين ويكون على هاتين العجلتين مستوى \bar{a} المائل
الذي يدفع الجبل البرمي بجبره على الصعود

فاذا فرضنا حيث أنه يوجد عجلة منخنيقات او معاطيف مثل \bar{a} بث

و \bar{a} بث و \bar{a} بث الخ (شكل ٩ و ١٠) موضوعة على وجه

بجيث تكون \bar{c} هي القوة المؤثرة على جبل المنخنيق الاول ويكون جبل

\bar{b} ملتفا من احد طرفيه على اسطوانة المنخنيق الاول ومن الطرف الآخر

على عجلة الثباني ويكون ايضا جبل \bar{b} ملتفا على اسطوانة المنخنيق الثاني

وعجلة الثالث وهكذا فرضنا ايضا ان \bar{r} و \bar{r} و \bar{r} الخ هي شدد

حاصلة لجبال متنوعة لزم أن تكون \bar{r} و \bar{r} و \bar{r} الخ معتبرة على التوالي

كقوة المنخنيق الثاني والثالث والرابع الخ

فادن تحصل هذه التناسبات الدالة على حالة التوازن وهي

$$\bar{c} : \bar{r} :: \bar{b} : \bar{a} \quad \text{و} \quad \bar{c} = \frac{\bar{b}}{\bar{a}} \times \bar{a}$$

$$\bar{r} : \bar{r} :: \bar{b} : \bar{a} \quad \text{و} \quad \bar{r} = \frac{\bar{b}}{\bar{a}} \times \bar{a}$$

$$\bar{r} : \bar{r} :: \bar{b} : \bar{a} \quad \text{و} \quad \bar{r} = \frac{\bar{b}}{\bar{a}} \times \bar{a}$$

فاذا ضربنا الحدود الاول من هذه المتساويات في بعضها والحدود الثانية

في بعضها ايضا تحصل معنا

$$\frac{\bar{c} \times \bar{r} \times \bar{r}}{\bar{r} \times \bar{r} \times \bar{a}} = \frac{\bar{b} \times \bar{b} \times \bar{b}}{\bar{a} \times \bar{a} \times \bar{a}}$$

وإذا قطعنا النظر عن الحدود التي يجوب بعضها بعضها تحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ث} \times \text{ث}}{\text{ر} \times \text{ش} \times \text{ث}} = \frac{\text{ح}}{\text{ر}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدّة منجنيقات او معاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار ساير الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصلًا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على العجلة المقابلة له مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على الاسطوانة المقابلة له

ثم ان الطريقة الالية تستعمل غالبًا في تحويل تحريك دوران من محور مفروض الى محور مواز له وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري ث و ش (شكل ١٠) قرصين ث و ش ونحيطهما بجبل ا ب غير المنتهى الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدًا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لتمنعه عن التزحلق فاذا كانت ح هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة ش د كان ش ح د هو مقدار القوة المذكورة واذا كان ط هو شد الجبال لزم أن عجلة ث ا ب تكون ح د = ش ط ا فاذا كان

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{ش}}{\text{ث}}$$

واذا كان ر هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع ش د تحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ش} = \text{ط} \times \text{ث} \text{ فاذا } \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{ش}}{\text{ث}}$$

غير أن شد $\overline{\text{ط}}$ الحاصل من القوة يكون عين شد $\overline{\text{ط}}$ الحاصل من المقاومة

$$\text{و بناء على ذلك تكون } \overline{\text{ح}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}} = \overline{\text{ر}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}}$$

فاذا فرضنا أن $\overline{\text{شد}} = \overline{\text{شد}}$ تحصل $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شأ}} = \overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شأ}}$

وهذا من شروط التوازن البسيطة جدًا

ولنفرض في حالة التحرك أن ذراع $\overline{\text{شد}}$ الذي تكون قوة $\overline{\text{ح}}$ واقعة عليه

بحدث دورة في زمن $\overline{\text{ط}}$ ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع $\overline{\text{شد}}$

الذي تكون مقاومة $\overline{\text{ر}}$ واقعة عليه

فيدور قرص $\overline{\text{أب}}$ دورة كاملة في مدة دورة $\overline{\text{شد}}$ وتقطع كل نقطة

كنقطة $\overline{\text{أ}}$ على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل

نقطة من نقط العجلة الصغيرة تكون سرية الحركة كالحبل غير المتناهي لان

المفروض أن الحبل دائماً لا يتحرك بطول العجلات فاذن تقطع نقطة $\overline{\text{أ}}$ في مدة

زمن $\overline{\text{ط}}$ على عجلة $\overline{\text{أه}}$ مسافة تساوي محيط $\overline{\text{أب}}$ وحيث ان

طول المحيطات مناسب لطول انصاف الأقطار يكون محيط $\overline{\text{أه}}$ الصغير

محصوراً في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحينئذ يلزم أن

نقطة $\overline{\text{أ}}$ تحدث دورات بقدر انحصار $\overline{\text{شأ}}$ في $\overline{\text{شأ}}$ حتى تقطع على

العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فاذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو $\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}}$ تحصل معنا

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}} \times \frac{\overline{\text{شأ}}}{\overline{\text{شأ}}} \times \text{محيط } \overline{\text{أه}}$$

وهي كمية مساوية بالضبط لقوة $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}}$ \times محيط $\overline{\text{أب}}$

$$\text{حيث ان } \overline{\text{ح}} \times \frac{\overline{\text{شد}}}{\overline{\text{شأ}}} = \overline{\text{ر}} \times \frac{\overline{\text{شد}}}{\overline{\text{شأ}}} \text{ يحدث منه}$$

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{ر}} \times \frac{\overline{\text{شأ}}}{\overline{\text{شأ}}} \times \overline{\text{شد}}$$

وبناء على ذلك يحدث

$$ح \times ش د \times محيط ه اب = ر \times ش \frac{ش ا}{ش ا} \times محيط ه اب$$

وتوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما لبقائية على حالة واحدة بين كميتي تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

ويكثر استعمال الالة التي ذكرناها انما في حرفة الخراطة ونستعمل ايضا في الحرف الهينة كسفن السكاكين وكذلك في فن الغزل كالقرص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك القرص تكون قوة ح هي رجل الغازل المؤثرة في طرف المانوية بواسطة دواسة تتحرك عليها تلك القوة مرة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الجبل غير المنتهى الذي يدير العجلتين وربما استعملت السلاسل عوضا عن الجبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضجة الى بعضها بمحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخله في ثقب مصنوعة في الطرفين المثنيين من القرص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسة (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الجبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارة الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا حيتئين طارقي $ا ه$ و $ا ه$ متى كانتا متحركتين بوتر $ا ا ب$ (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط $ا ه$ و $ا ه$ تتحرك بسرعة واحدة الا ان $ا ه$ (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و $ا ه$ بالعكس اي من اليمين الى الشمال واما الطارات المفردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا $ا$ و $ا$ (شكل ١٠) متحركتي السرعة فان نقطة $ا$ تحدث على $ا ب$ دورة كاملة حين تحدث $ا$ على $ا ه$

دورات بعدد مرات احتواء نصف قطر $\overline{ا\theta}$ على نصف قطر $\overline{ا\theta}$ فاذن تكون نسبة سرعة $\overline{ا\theta}$ المنزوية الى نسبة سرعة $\overline{ا\theta}$ كنسبة نصف قطر $\overline{ا\theta}$ الى نصف قطر $\overline{ا\theta}$

فاذا كان الحبل غير المتناهي في اتجاه $\overline{ا\theta}$ عوضا عن ان يكون في اتجاه $\overline{ا\theta}$ (شكل ١٠) كانت النسب التي بين القوة والمقاومة المعادلة لها واحدة عند حصول التوازن غير أنه يحصل اختلاف في حالة التحرك حيث انه بمقتضى الحالة الاولى تدور طارنا $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ في جهة واحدة وبمقتضى الحالة الثانية يدوران في جهتين متضادتين

وبوجب هذا التركيب يمكن تحصيل آلة مركبة تشبه آلة المنجنيق (شكل ١٣) بان نثبت على محور واحد طارات كبيرة مضرسة و طارات صغيرة مضرسة تعرف

بالتروس وهى $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ فلاجل تساوى مقدارى قوة $\overline{ا\theta}$ ومقاومة $\overline{ا\theta}$ يجعل $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ على الجهدين الواقعين على نقط مختلفة من نقط التعشيق تحصل هذه المعادلات وهى

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

فاذن يحدث بقطع النظر عن المضارب التي يجوب بعضها بعضا $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة الى المقاومة كنسبة حاصل انصاف اقطار سائر

الطارات الصغيرة الى نسبة حاصل انصاف اقطار سائر الطارات الكبيرة

فاذا اوقفنا على نقطة تعشيق الطارتين (شكل ١٤) قوة $\overline{ا\theta}$ المتجهة

الى جهة تحرك شاه وقوة ن المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة
على الطارة الثانية وهي شاه لزم لاجل حصول التوازن أن تكون
هاتان القوتان متساويتين بالبداية

ولتكن قوة ح مؤثرة على اه في طرف ذراع رافعة شد ومقاومة
ر مؤثرة على اه في طرف ذراع رافعة شء فيحدث

$$\overline{ح} \times \overline{شد} = \overline{م} \times \overline{شو}$$

$$\overline{ر} \times \overline{شء} = \overline{م} \times \overline{شو}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{ح} \times \overline{شد} = \overline{ر} \times \overline{شء}$$

فعلى ذلك يعلم أولا انه حيث كان شد و شء معلومين فكلما كان

شو صغيرا كبر $\frac{ح}{ر} = \frac{شو}{شد}$ وثانيا حيث كان شد

و شء ملازمين لحالة واحدة فان ح و ر يكونان على نسبة منعكسة
عن نسبة شا و شال الذين هما نصف قطرى الطارتين المضرستين
فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها
كانت مقاومة ر المعادلة لقوة ح ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها
او اربعة امثالها

وهناك آلة تشبه الطاربات المضرسة وهي عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتهية بسطوح مصقولة صقلا تاما وانما هي
منتهية بسطوح خشنة متضرسة بتضاريس بارزة كثيرا وقليل لانه اذا رصدت
الاجسام المصقولة صقلا تاما بالمكروسكوب (وهي النظارة المعظمة) وجدت

بها تضاريس بارزة وتأثير هذه التضاريس يتعين تحرك عجلات العربة
وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة صقلا جيدا وكانت الارض افقية فان
العجلة حين تجذبها القوة الافقية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادنى
مقاومة الا أنه بالتناقل تعشق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتقف العجلة

وتجبر على الدوران ثانيا حيث انه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة نعدم جزءاً من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالسكينة ما لم تتجدد القوة المعدومة وقد شوهد في عدّة اماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة تدحرج عليها عربات ذات عجلات مضرسة ايضا وكلاهما شاهد واضح على ما سلفناه من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة والعجلات الاعتيادية لا يتخلو عن الحرسنة

فاذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية او مخروطية وان محاورها بناء على ذلك متوازية او متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما عين نسبة الجعااد النقطية التي تماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادق الصناعات وذلك لانها تستلزم مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاقول وكذلك خواص المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فاذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون العجلات دائرة على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين المتماسين على بعضها كاتطبق عجلتي العربية على الارض بدون أن تتزحلق احدهما وتحتك على الاخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطيء

وهناك مؤلفات في علم الميكانيكا تشتمل على حل مثل هذه المسائل حللا تاما فن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهي رسالة جلييلة نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز والعرض طويلا عن المتقدمة ليكون لها صلابة كافية فيسهل حينئذ رسم صورة

الاضراس ويكفي في ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياها البارزة منفرجة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الوجهتين العموديتين على محيط العجلة وهذه الآلة عند تحركها في مبداء الامر تبرى الاجزاء البارزة جدا وان لم يذ كر ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة واغلب صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم المضرسة الاعتيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لاضراسها صور متنوعة ومتباينة بالكيفية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) و طارات الخبز او المنع (شكل ١٦) (وهي آلات تدير الى جهة وتتنع الدوران الى اخرى) اضراس مستنثة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير لزم المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالزمام الآتى ذكره في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتى وهو أن احدى الطارات المضرسة تستبدل باسطوانة مضرسة منيرة تعرف بالفانوس (شكل ١٥) وتتركب هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها وتكون على محيط مستدير ويكون في المسطحين المصنوعين على شكل دائرة ثقب مربع يعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة بالمعشوق وحيث ان الفانوس المذكور ليس الا طارة مضرسة فان نسبة القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المنجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها المضرسة وهو **اب** تابنا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو **هـ** فانه يكون متحركا بواسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة ما نويله كما نويله **ثب** تتحرك بها

طارة آ المضرس المتعشقة بقضيب هـ المضرس وفي هذه الآلة
تكون نسبة القوة الى المقاومة هي $\frac{ح}{ر} = \frac{ثب}{ثأ}$ وترى في هذا

التساوى أن $\frac{ثب}{ثأ}$ هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة

..

والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها مانوية تؤثر على الترس الصغير الاول
المتعشق بالعجلة التي على محورها ترس صغير ثان متعشق مباشرة بقضيب الكريك
ويجعل $\overline{د}$ و $\overline{ك}$ رمزين الى نصفي قطري المانوية والعجلة و $\overline{ز}$ و $\overline{س}$
رمزين الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجديدة
شرط التوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{ز} = \overline{ر} \times \overline{س} \times \overline{ك}$$

مثلا اذا كان $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{ز}$ و $\overline{ك}$ ثلاثة امثال $\overline{س}$ تحصل معنا
 $\overline{ح} \times 3 = \overline{ر} \times 3$ او $\overline{ح} = \overline{ر}$ فاذا تكون قوة $\overline{ح}$
موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات واما في الابعاد التي يقع فيها القضيب المضرس
مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة $\overline{ح}$ لا تكون موازنة للقوة اكبر منها
٣ مرات غير انه اذا اريدت تحصيل التحرك يلزم أن قوة $\overline{ح}$ تقطع ٩ مرات
مقدار من المسافة اكثر من المقاومة

* (الدرس الحادى عشر) *

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسكك الحديد
الى مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم نقطة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيما او محورا ثابتا في توازن
قرص البكرة والمنجنون وماشا كلهما ولنبحث الان عن توازن القوة المؤثرة
على مستوي ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا صقلا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة $\overline{ح}$ (شكل ١٠) الدافعة لنقطة $\overline{ث}$ المادية على مستوى $\overline{أب}$ الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث إن كل شيء بصير متماثلاً في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعتبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة $\overline{ح}$ المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي $\overline{شخ}$ متجهة على المستوى المتقدم والأخرى وهي $\overline{شح}$ عمودية على هذا المستوى وحيث إن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور ليقب الاقوة $\overline{شخ}$ وحدها فتؤثر في اتجاه $\overline{شأ}$ ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هناك عدة ما من القوى مثل $\overline{شح}$ و $\overline{شخ}$ و $\overline{شز}$ الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة $\overline{ث}$ المادية على مستوى $\overline{أب}$ فيلزم جعل كل قوة منها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلق مضلع القوى بمسـتـيم آخر يدل مقدارا واتجاهها على محصلة هذه القوى فينتد لا يحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها $\overline{شز}$ اعنى محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإذا لم يحصل التوازن فإن نقطة $\overline{ث}$ المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة $\overline{شز}$ المنفردة المساوية لمسقط محصلة $\overline{شز}$ على المستوى الثابت

ولنفرض بدلاً عن النقطة المادية جسم $\overline{ش هـ ف}$ (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة $\overline{ح}$ فيلزم أن يكون اتجاه $\overline{ح}$ ماراً بنقطة $\overline{ث}$ متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة $\overline{ح}$ تمر بنقطة أخرى من نقط المستوى الثابت كنقطة $\overline{ث}$

ياوقعنا هذه القوة في نقطة الجسم وهي $\overline{ك}$ القريبة بالكلية من المستوى
الثابت على $\overline{ح}$ لم يكن هناك مانع يمنع قوة $\overline{ح}$ من دفع نقطة $\overline{ك}$
حتى تماس المستوى فتجذب حينئذ جسم $\overline{ش}$ فكله فاذن لا يحصل
التوازن

ولا بد أن تكون قوة $\overline{ح}$ دائما عمودية على المستوى الثابت حتى
لا تنحل الى قوتين احدهما عمودية يعدهما المستوى والثانية متجهة الى
جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شيء
فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر بمحصولها بنقطة $\overline{ش}$ وأن تكون
دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما .

فاذا فرضنا الآن أن الجسم يمس المستوى في نقطتي $\overline{آ}$ و $\overline{ب}$ (شكل ٦)
لزم أن تكون المحصلة الكلية لسائر القوى المؤثرة في الجسم موجهة الى قوتين
تزان بالنقطتين المذكورتين .

وبالجملة فليكن $\overline{رر}$ هو المسقط الرأسى (شكل ٦) لمحصلة سائر القوى
وليكن $\overline{أوب}$ و $\overline{شش}$ المساطق الاقضية لاوضاع نقطتي $\overline{آ}$ و $\overline{ب}$ الثابتين
ونقطة $\overline{ر}$ التي تلاقى فيها المحصلة المستوى الثابت

فيمكن أن نعد أولا من $\overline{شش}$ و $\overline{شش}$ مستقيما $\overline{شش}$ ونحل
قوة $\overline{رر}$ الى قوتين موازيتين لقوة $\overline{رر}$ احدهما وهي $\overline{ح}$ واقعة على
 $\overline{ب}$ والاخرى وهي $\overline{بخ}$ واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة $\overline{ش}$ من مستقيم
 $\overline{برث}$ وحيث ان قوة $\overline{ح}$ عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة $\overline{ب}$
التي يكون فيها الجسم مما ساءا للمستوى لا يمكن أن يتغير موازن المستوى فلم يبق
حينئذ الا قوة $\overline{خ}$ التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة $\overline{ش}$ مشتركة بين
هذا الجسم والمستوى الثابت ما لم تكن نقطة $\overline{ش}$ المذكورة موجودة

بين \bar{A} و \bar{B} لأنها إذا كانت موجودة خلف واحدة منهما ربما قلبت الجسم إلى تلك الجهة

ولنفرض جسماً مستنداً من نقطه الثلاثة وهي \bar{A} و \bar{B} و \bar{C}

(شكل ٧) على مستوئيات ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات

\bar{AB} و \bar{BC} و \bar{CA} فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير

قوة ما كقوة \bar{C} متوازناً يلزم أولاً أن تكون هذه القوة عمودية على

المستوى الثابت وثانياً أن لا تكون النقطة التي تلاقى فيها تلك القوة

المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث \bar{ABC} لأنه بدون ذلك لاشئ

يمنع القوة عن إيقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها

فإذا كان للجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلاً عن نقط الارتكاز

الثلاث لزم أن نصل بين كل نقطتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل

مضلع مغلق انغلاقاً تاماً خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط

توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولاً كون هذه القوة عمودية على

المستوى الثابت وثانياً أن لا يكون اتجاهها الممتد إلى المستوى الثابت

خارجاً عن المضلع المذكور

وإذا اعتبرنا تناقل الأجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب مواد الالات

كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الأجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الأجسام

الموضوعة على سطوح أي ما كان شكلها سواء كانت تلك الأجسام مركبة من

أجزاء مستقيمة أو منحنية ويلزم دائماً أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم

منحلة إلى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم

أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة

الحادث من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفي الفنون عمليات كثيرة تجارية على حسب تلك القواعد * مثلاً يلزم لاجل

توازن قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا
السطح حتى لا يتزحلق وأن يكون دفع القوة في اتجاه رأسه الى سنه والواقع
او تزحلق

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستوى ثابت وكان مستندا علىية باكثر من ثلاث
نقط لزم أن نراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم وما مثله
لنعلم القوانين التي يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من
نقط تلاقية مع المستوى الثابت

وذلك لان هناك صورة شهيرة تبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهى
التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم
وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث
تمر بمرکز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر
على التناظر بمجاور تماثل المضاع او الشكل المنتظم الحادث من نقط
التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون
الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم
على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعه على المستويات
الثابتة في نقط موضوعه وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل
المذكورة آنفا

وقد يسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على
ارجلهم المتماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون
الضغط الواقع على كل رجل واحدا * وفي الامور الصناعية يجعل لاغلب
الاشياء المستعملة ثلاث نقط اواربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم
التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية
لانها في الغالب تكون على صورة رجل الانسان او غيره من الحيوانات
وذوات الارجل الثلاث هى كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت

صورتها مستوفية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا لثالث القوة التي تدفع ذات الارجل الثلاث دفعا عموديا على المستوى المذكور والنخات والاسرة لهما ارجل اربع وهى مستوفية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الارجل الارباع ربع الضغط الواقع عموديا على المستوى الثابت باى قوة كانت وهناك اشياء تحملها مستويات ثابتة على خطوط متواصلة منتظمة فى صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل فى القنون غالباً سطوح الدوران فتوضع على مستوى م ن الثابت (شكل ٨) وتكون مماسة لهذا المستوى على شكل دائرة

ا ب ث الموازية له فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع نقط دائرة التماس واحدا هذا لم تنوعل في بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم ب ث ف (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين

كستوى ا و يكون مماسا لهما فى نقطتي ب و ث فلاجل أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تأثير قوة ا ح متوازنا يلزم بالضرورة اولاً أن

نحلل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقيمي ح م و ح ن المارين بنقطتي الارتكاز وهما ب و ث وثانياً أن يكون

ح م عمودا على مستوى ا و ح ن عمودا على مستوى ا

فاذا توفرت الشروط انعدمت قوة ح م بمستوى ا الثابت وقوة ح ن بمستوى ا الثابت وبذلك يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاومة الحاصلة من كل مستوي متجهة على العمود الواصل بين نقطتي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

اذن ان تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لاجل توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الامر متقابلة في نقطة واحدة وعلى ذلك فلا بد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المماسين له في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان القائمآن على كل من نقط التماس مارة كلهما بنقطة واحدة وحينئذ يعرف الضغط الواقع على كل مستوي من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا للثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة في المستويات وليس يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة واحدة

ويفرض جسم $\overline{م ب}$ (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتين $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ اللتين يتقابلان في نقطة $\overline{أ}$ ويكونان متوازيتين حول نقطة الارتكاز وهي $\overline{ث}$ على مستوى $\overline{س ص}$ الثابت ويفرض ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع $\overline{ث أ}$ مختلف قليلا بأن ندير $\overline{ث أ}$ حول نقطة $\overline{ث}$ فاذا مددنا عمودي $\overline{ث د}$ و $\overline{ث ه}$ على $\overline{أ ح}$ و $\overline{أ خ}$ امكن اعتبار $\overline{د ه}$ كرافعة منكسرة وبموجب ما تقرر في شأن الرافعة تكون مسافة $\overline{د ه}$ التي تقطعها نقطة $\overline{د}$ ومسافة $\overline{ه ه}$ التي تقطعها نقطة $\overline{ه}$ عند اختلال الجسم قليلا مناسبين لقوتين $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المقابلتين لهما بمعنى انه

$$\overline{ح} : \overline{خ} :: \overline{ه ه} : \overline{د د} \text{ ويحدث من ذلك } \overline{ح} \times \overline{د د} = \overline{خ} \times \overline{ه ه}$$

ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المنبهة

وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائماً بقوة التناقل لزم أن تكون الاجسام
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها
فاذا فرضنا أن اى قوة تحرك الجسم الموضوع على مستويات ولا تمسكه بحيث
يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عمودا على اتجاه التناقل اعنى على
الخط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت اقسيا ليكون الجسم الموضوع
عليه متوازنا من غير أن يكون هنالك قوة تحركه او تمسكه وهذا هو السبب فى كثرة
استعمال المستويات الثابتة الاقسية فى الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل
الفرنجية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل اقسية ليكون ما يوضع
عليها من الامتعة متوازنا وكذلك الانسان فانه لا يتحرك ولا يسقط من
جهة الى اخرى وبمثل هذا السبب جعلوا مستويات التختات والرفوف
اقسية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائماً بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع
شروط التوازن ليكون الجسم المثل لتناقله والموضوع على مستواقى باقسيا
على توازنه

وينتج من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمس
الا فى نقطة واحدة لزم أن يكون الخط الرأسى الممتد من هذه النقطة مارا بمركز
ثقل هذا الجسم

وثانياً انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى نقطتين يلزم أن يكون الخط
الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم مارا بالمستقيم الواصل بين نقطتى تماس
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثاً انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى اكثر من نقطتين يلزم أن
الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت
فى نقطة واحدة موضوعة خارج المضلع الخالى عن الزوايا الداخلة الحاد من
المستقيما التى يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقى الجسم مع المستوى

الثابت المذكور

ولنرجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على نقطة واحدة ومتوازنا فنقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل أ ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتحد بحيثند بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقي الذي يمر الكرة في نقطة ث فاذا ن يكون مستقيم غ ح ث العمودي على مستوى م ن الافقي رأسيا وحيثند تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوية لساير الشروط التي لابد منها في التوازن

ولناخذ جسمًا مثل أ ب ث (شكل ١٢) له صورة كالمسحقة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو أ ب افقيا كان التوازن حاصلًا لان غ الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز مارا بنقطة ث التي يكون فيها الجسم مما سالا لمستوى الافقي ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم أ ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو أ غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة أ

ولكن هنا لفرق ظاهر بين خالي التوازن وهو انه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) فثقله فورا حتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئا فشيئا حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحوّلها عن تلك الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما سلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن نفرض جسمين بجسمي آبث و ارث (شكل ١٦) بتوازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خطا أ غ و أ خ رأسيين والمطلوب تحصيل الشروط التي لا بد منها في توازن هذين الجسمين المنحرفين عن وضع توازنهما وان كانا مستنديين على بعضهما في نقطة ك فلاجل مزيد السهولة نفرض أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما واحد وليكن ح رمز الثقلهما

فيكون كل منهما ماسا للآخر على مستورا أ س ويحدث من كل منهما على الآخر

ضغط واحد كضغط س = سه وليكن الآن غ ه و غ ه

هما الرأسيان النازلان من نقطتي غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين الجسمين ولتكن ث و ث هما نقطتا تلاقيهما مع مستوى م ن

فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم بثد هو ح × شه

وبالنسبة الى جسم رثد هو ح × شه وهذان المقداران

متساويان لكن حيث ان س و سه هما كتابة عن الضغط الحاصل

من كل من الجسمين على الآخر فاذا اتينا من نقطتي الارتكاز وهما

ث و ث عمودي ث س و ث سه على هذين الجسمين حدث

س × ث س = سه × ث سه وهو المقدار المتحصل من هذا

الضغط

وحيث نذيلزم أن يتحصل في حالة التوازن

ح × شه = س × ث س = ح × شه = سه × ث سه

فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن

نجعل مقدار ح × شه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخر
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على ذلك انهم يضمون ثلاث بناقد
الى بعضهما فاذا توازن كل منها على θ التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السبع بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط
على الاخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل
بنقد على الاخرين ليكون التوازن حاصل في هذا الوضع هو على غاية من
(السهولة)

ولنختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن او تبعده
عنها بان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور AB الكبير يميل
قليلا كلفي (شكل ١٤) بحيث لا يكون مماسا للمستوي الافقي في نقطة
 θ وانما يكون مماسا في نقطة d فلا يكون حينئذ MG
لتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو GH

فاذا اثرت الآن قوة $MG = CH$ في جسم AB وادارته حول
نقطة الارتكاز وهي d بواسطة ذراع رافعة يساوي dd فان المقدار
الذي به يتخفف ثقل الجسم جزء GH ويرفع جزء BS GH
يساوي $CH \times dd$ لكن حيث كان CH الذي هو ثقل الجسم باقيا على
حالة واحدة فكما تباعد الجسم المذكور عن الوضع الاصلى كبر dd وكما كبر
مقدار $CH \times dd$ فان الجسم حينئذ يعود مع الشدة الى وضعه الاصلى فاذا
خلى ونفسه وصل بطبعه الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا اتقنا مستقيم dG و الرأسى حتى يصل الى المستقيم θGH
الذي هو رأسى في وضع التوازن ثم مدنا خط GH للافتى حدث dd
 $= GH$ فعلى ذلك يكون $CH \times GH$ مساويا للمقدار الذي
ياخذه الجسم وضعه الاصلى واذا فرضنا أن زاوية GHG صغيرة

جدا يمكن أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ مساو للقوس المرسوم بنصف القطر و

$\overline{وغ}$ بين $\overline{وغث}$ و $\overline{وغد}$ من نقطة و $\overline{وغ}$ المعتبرة مركزا

ثم ان نقطة $\overline{وغ}$ هي التي نعرف عند المهندسين بنقطة مركز انصباب الجسم

بجسم $\overline{اثب}$ فعلى ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانصباب

فوق مركز الثقل دائما وفي ضرورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الحديد وهو

$\overline{ود}$ على الخط الرأسى الاصلى وهو $\overline{وث}$ درجة ثابتة يكون قوس

$\overline{غ غ}$ مناسباً لنصف القطر فاذا $\overline{غ غ}$ يكون مقدار $\overline{ح ح} \times \overline{غ غ}$

مناسبا ايضا لنصف قطر $\overline{غو}$ ومساويا لبعدها مركز الثقل ولر مركز الانصباب

وحيث يدونخذ من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

ولنتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم $\overline{اثب}$

على $\overline{ا}$ التي هي طرف محوره الاكبر انحراف عن وضع توازنه قليلا كما في

(شكل ١٥) الذي فيه نقطة $\overline{د}$ الجديدة هي نقطة تلاقى الجسم مع

المستوى الافقى فاذا مددنا خط $\overline{غ د}$ الرأسى فانه يقع خارج تقطى

$\overline{ا}$ و $\overline{د}$ ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل $\overline{ح ح}$ الجسم

حتى يسقط هذا المقدار وهو $\overline{ح د} \times \overline{ح ح} = \overline{غ غ} \times \overline{ح ح}$

وفي هذه الصورة كالتى قبلها اذا كانت زاوية $\overline{غ وغ}$ صغيرة جدا اسكن

أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ قوس مركزه نقطة $\overline{و}$ فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{وغ}$ مناسباً لبعده $\overline{غ غ} = \overline{د د}$ بالنظر لميل محور $\overline{اب}$

بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة $\overline{و}$ المعروفة بمركز الانصباب في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل

لا فوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة

كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

$\overline{اثب}$ الموضوع على مستوى $\overline{من}$

فاذا اتحد مركز الانتصاب وهو $و$ بمركز النقل وهو $غ$ لزم اتحاد خطي $ود$ و $غ$ الرأسيين ببعضهما الا انه في هذه الصورة يكون الخط الراسي المار بمركز النقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارتكاز وهي $د$ وينعدم بعد $د$ وعليه فيكون مقدار $ح$ \times $د$ $=$ ٠ فاذن لا يكون هناك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوازنا

وبالجملة ففي اتحاد مركز الانتصاب بمركز النقل كان التوازن باقيا على حاله بعد انحراف الجسم ويسمى التوازن في هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان مركز الانتصاب فوق مركز النقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى وضعه الاول فيكون التوازن حينئذ ثابتا واما اذا كان تحته فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حينئذ غير ثابت

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل ضرب ثقل الجسم في بعد مركز النقل عن مركز الانتصاب المعتبر هنا مركز الانحناء قوس $اد$ المرسوم على الجسم بين $ا$ و $د$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرر الخامس عشر من الجزء الاول) واذا كان الابداء من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواقي متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احد هذين الاتجاهين هو اتجاه الثبات الاكبر والاخر اتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين اقليين ويحدث بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهلم جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بثبات الاجسام المنحرفة قليلا عن وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بعميشة الاهالي وثروتهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها من ذلك السفن التي يمكن توازنها ثابتا على البحر فانها تسير
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة والذبح عن الوطن بخلاف ما اذا كان
توازنها غير ثابت فانها ربما اقلبت وصار عاليها سافلها وانما صحت في قاع البحر
من فيها من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد
التي ذكرناها آنفا غير ان كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل
(راجع مبحث القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انهينا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب ان نشرح
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى
الذي ليس افقيا ولا رأسيًا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب
الهندسة (كما في الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك
الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما
ممتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط مرن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)
ومستقيم اث كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما
زاوية مماثلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسما ايا كان بحجم س على ثفا فان لم يكن هنالك قوة اجنبية
تمسكه امكن حمل ثقله وهو غح الى قوتي غخ و غح اللتين
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وينعدم تأثير القوة
الثانية اذا لم يقع عمود غح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ ان يطبق على تلك القوة سائر
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة
على المستويات الافقية

واما قوة $\overline{غخ}$ فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى $\overline{ثا}$ لا يحصل لها مقاومة مامن هذا المستوى فان لم تكن هناك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل
ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على $\overline{غخ}$ كنسبة قوة $\overline{غخ}$ الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى $\overline{ثا}$ الى قوة $\overline{غخ}$ الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة $\overline{غخ}$ او كان ممسكا بقوة $\overline{غخ}$ المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود $\overline{تغ}$ واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى $\overline{ثا}$ المائل اذا لم يكن هناك الانقطة تماس واحدة فاذا كان هناك عدة نقط لازم أن يقع ذلك العمود في الموضع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة او المتحركة

وإذا كان جسم بجسم $\overline{غخ}$ (شكل ١٨) متوازنا على مستوى $\overline{ثا}$ المائل بواسطة قوة واحدة كقوة $\overline{غخ}$ الموازية لهذا المستوى لزم اولاً عند تحليل $\overline{غخ}$ الذي هو ثقل الجسم الى قوة $\overline{غح}$ و $\overline{غخ}$ أن قوة $\overline{غح}$ المؤثرة بالغرض في $\overline{ثا}$ تأثيراً عمودياً تجعل ذلك الجسم المجرد عن التماثل بالفرض متوازناً على $\overline{ثا}$ وثانياً أن قوة $\overline{غخ}$ تمر بمركز الثقل وهو فيحدث اذن هذا التناسب وهو

$$\text{قوة } \overline{خ} : \text{قوة } \overline{ح} :: \overline{غخ} : \overline{غح}$$

فاذا مددنا $\overline{نو}$ عموداً على مستوى $\overline{من}$ الاثني كان مثلثا $\overline{انو}$ و $\overline{حغخ}$ متساويين ويحدث من ذلك هذا التناسب وهو

أو : $\overline{ن و} :: \overline{غ ح} : \overline{غ غ} = \overline{غ غ}$

اعنى أن نسبة نقل الجسم الى قوة $\overline{غ غ}$ الموازنة له كنسبة أو الذى هو طول المستوى المائل الى $\overline{ن و}$ الذى هو ارتفاعه

وإذا كانت قوة $\overline{غ غ}$ (شكل ١٩) اقلية لزم أن تكون $\overline{غ ح}$ التى هى

محصلة قوى $\overline{غ غ}$ و $\overline{ع ح}$ مارة بنقطة $\overline{ح}$ التى يماس الجسم

فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا التناسب وهو $\overline{غ ح} : \overline{غ غ}$

$= \overline{ح ح} :: \overline{م ن} : \overline{ن و}$ اعنى أن نسبة نقل الجسم الى القوة

الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا

السهلة يكثر استعمالها في علم الميكانيكا

ولنختم هذا الدرس بنبذة مختصرة ملخصة من رحلتنا الى ابريطانيا الكبرى

تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بما لا بد منه في سكك الحديد

ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة في ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع

من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الحدوى في المعامل

المعدة للصناعة بمملكة فرنسا فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة في صورتين متباينتين تباينا

كليا احدهما أن يكون النقل حاصل على اتجاه واحد والثانية أن يكون

على اتجاهين متقابلين

واسهل في الصورة الاولى أن ترفع الاجال المعدة للنقل رفعا رأسيا بواسطة

الآلات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا يتجاوز العربات بل

تأخذ في الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل اجالها الى النهيرات او الخلبان

او السكك الكبيرة سواها كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك

الطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة والكيفية الناجمة

في ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة وللعمارات الداخلية التى تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدا عن التهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى
الخلجان وعمومها فيها وهذا من الاغراض المهمة جدا في القوة والتجارة
البحريتين وفي كثير من فروع الصنعة الفرنجية

ثم ان اتفق الانحدارات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع
العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثيراتها الا غير فاذا سار
الفرس في هذا الانحدار وكان يجتر قطارا من العربات لم يجتج في ذلك الا الى
القوة اللازمة للظفر بايرسي الجسمات التي يتقلها وبالوانع الصغيرة التي تحدث
عما يكون في مسكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجترها الفرس مساويا لعدد
العربات الكثيرة الفارغة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكما كبر
ميل السكة قل هبوط الفرس بالعربات في كل مرة من سيره ويؤخذ من ذلك
أن هنالك انحدارا اتفق مما عداه من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه
قوة الفرس كلها صعودا و هبوطا بدون تلف لشيء وكلما ثقلت العربة الموسوقة
لم أن يكون الميل الذي يتبدئ فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد
العربات الفارغة التي يصعد بها الفرس الى هذا الميل كثيرا وحينئذ فاستعمال
العربات الكبيرة في هذه الصورة أكثر نفعاً و تتم فائدة كعربات ضواحي مدينة
نو كاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢٠٥٠٠ كيلوغرام ويزن ثقلها ١٥٠٠

كيلوغرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلاسغوف التي لا تحمل كل
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلوغرام ولا يزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلوغرام

وصندوق هذه العربات (اي عربات نو كاستل) على شكل هرم ناقص مربع

مخروط ومكشوف من اعلاه و عرض قاعدته السفلى ٦ ر ١ وطولها ٢

وطول قاعدته العليا من ٨ ر ٢ الى ٣ و عرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الافق بقدر ٥° تقريباً يبلغ ٦ ر ١^م ويوجد في عمق العربية طاقة معدة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربية المقابل للسفن التي يراد وسقها وعليها قدمان من الحديد لاجل سدها يدوران بواسطة لواب وينزلان على الواجهة المائلة التي تكون في مقدم العربية فيشتبكان هنالك برزتين او مسبارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوحية صغيرة في حلقتي الرزتين فاذا اخر جناها وخلصنا قدمي الحديد انفتحت بسبب تأثير وسقها واهبط ذلك الوسق بين عجلاتها الاربع

وهناك طاقات في مقدم العربية وموخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيترات وعرضها الافقي ١٥ او ١٦ سنتيمترا وبها انشاء داخل دائم في سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسيترا

ولنذكر الآن جملة من خواص السكة ذات الاخاديد الشهيرة التي توصل الى

شواطئ نهر الوار بقرب سوندرلند فنقول

ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلومتر تقريباً ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض التي تقطعها العربية انحدارات عظيمة وانما كان هنالك تلال تعارض العربات قليلاً فاحد ثوابها مسلك الاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل منحدر يكسفها نهر الوار بواسطة جسرافتي متجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبني في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريباً ٥٠^م وعرضه من ٢٥^م

الى ٣٠^م ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين متراً فاكثر وهو مركب من ثلاثة اجزاء طولية متفرقة عن بعضها بصفين من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها ممتد من اول المخزن الى آخره وابواب المخزن على بعد واحد من بعضها مقنوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فاذا اتت العربات موسوقة بالمعدن
 دخات في الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المنعطفة التي
 كل مركز من مراكزها على سكة من سلك الحديد الثلاثة شمال ميلا خفيفا نحو
 الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجزها العرب بج على السلك الطولية من
 هذه الطبقة حتى تصير مسامتة لاحد الابواب لاجل تفرغ الفحم المطلوب
 في اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض
 محتوية على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن
 هذه السلك الثلاثة سكان يجتمعان عند انفصالهما عن المخزن ويصيران سكة
 واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تقسم هذه
 السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل اتهاهما وبعد ان فصل العربات
 الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ انقراجها مائة متر وهى
 مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز ضخرة يبلغ امتدادها اربعمائة متر تقريبا
 وسكة الحديد في ذلك كله مركبة من قضبان مسهرة فى عدة اخشاب كالشبايك
 طولها عشرون مترا

القنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة
 بين الصلابة والخفة وهى كناية عن صوارمغروسة فى الارض غرسا راسيا ومن
 عوارض ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها مركب من قطع طولية
 مغطاة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فاذا كانت احدى العربات صاعدة والاخرى هابطة تلاقيا فى منتصف السكة
 وهذا اذا لم يكن هناك الاسكة واحدة واما اذا كان هناك سكان فان احدهما
 تسلك سكة غير التي تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما
 السكة التي تركتها الاخرى

ويتخلل المسافة التي بين السككين ملفات محورها الافقى نحو على اتجاه السكة
 وبهذه الملفات حبل معدن لفظ العربات عند الهبوط واشدها عند الصعود
 وفى اسفل الطريق تصل العربات الى سطح فوق المكان الذى تكون به السفن

المطلوب وسقتها فحما وبمنتصف سكة الحديد ثلاث فرجات وهي افواه اقماع
من حديد مائلة بقدر ٥٠° تقريباً

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقى يضمه الى الجزء الاعلى منه
واما اثنا آت الجزء المتحرك فهى متعسقة باثنا آت الجزء الثابت وبذلك
لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا جل غلق الجزء الثابت من
القمع يستعمل خابز رأسى فيرفع او يخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك
انه يوجد فى كل من طرفى القمع عيارات تؤثر من اعلى در بزين من الخشب
قريب من سمت الحاجز واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة
منجنون موضوع على الدر بزين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او ينخفض
وبهذه الكيفية يوضع دائماً الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملايم
للدرجة التى يوسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمدا وانخفضت بالجزر

* (بيان المستويات المائلة) *

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الانحدار العظيم المحتاج الى اعانة
الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة
لصناعة الاجزاء الاخرى من سكة الحديد ذات الانحدار

ولنذكرك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات
المائلة الموجودة بشواحي مدينة نو كاستل ببلاد انكلترة فنقول

يوجد فى اعلى المستوى المائل مكان صغير من حطب من حاطين احدهما عن يمين
السكة والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفى داخلهما تحت هذا السقف طارة
كبيرة من الخشب افقية موضوعة على شواحي متعرضة وبها حلق ملتف عليه
حبل ليس مفرطاً فى الطول بل بقدر المسافة التى تقطعها العربة الموسوقة عند
هبوطها ويوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزمام وهو
اقرب شها بزمام طواحين الفلند الذى يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة
رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لائق بسلاسل رأسية معلقة بشواحي
المكان المذكور ومتى وصلت العربة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العربة

هناك عربا اخرى فارغة قريبة منه جدا فينك حيثند طرف جبل الشد الذي كان اعده لصعود هذه العرب الفارغة ثم يقوت الجمالة التي بهذا الطرف من يد الحديد الثابتة خلف العرب الموسوقة المطلوب هبوطها

وقبل تميم هذه الاعمال تأتي عربا فارغة من المحل الذي هو مبدأ السير الى اسفل الانحدار فيجبد العربي هناك عربا موسوقة فيفكها ويربطها فرسه ثم يربط جبل الشد في العرب الفارغة ويسير

فاذا انتضى هذا العمل دفع العربي بيده عربته الموسوقة فتأخذ في الهبوط على الانحدار فعند ذلك يصعد فورامع النشاط على احدى جهات هذه العرب قايضا على المرافعة المجمولة زماما لاحدى العجلات ويوجد في اصغر اطراف هذه المرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التي يمتك عليها هذا القوس عند ارادة بطي سير العرب ومنع مرعتها فاذا وصل العربي الى اسفل الانحدار نادى باعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يترك المنوط بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجرى ذلك في كل عربتين احدهما فارغة والاخرى موسوقة

على ما ذكرناه من القواعد يلزم أن القوس المعدلج العربات على سكة الحديد يبدل جميع قوته عند صعود عدة عربات فان كانت صورة الارض تقتضى تغير الانحدارات وتوقعها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائما لهذه العدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكة الحديد ذات الاخداب مربعة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضلع مستو او من خطوط منحنية متحدة الانحدار في جميع طولها وحينئذ يمكن بواسطة التجاريب الصحيحة أن تعين درجات الميل المتنوعة التي يلزم أن يكون السير بحسبها

ولا جل عدم ضياع الزمن بلا فائدة في ربط الخليل وحملها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكفي في تغير الخليل ولا بد أن يكون عدد الخليل المعدة للنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التي تصعد هي بها ومن الزمن التي تستغرقه مدة التغير المذكور في حالتي الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج الخيل ولا العريجة الى التآني السابق او اللاحق ويلزم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند الصعود عليها هبوط الا اذا كان المحي يقتضى ذلك وطريق اجتناب هذا الهبوط الحاصل عند الصعود أن تقيم في الوديان الضيقة العميقة تخشيبات صلبة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافقي سكة الحديد ذات الاحاديد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بسلاسل من حديد (وقد ذكر المهندس استوانسون ان المجارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما صنعها من سكك الحديد يمكن اجتنابها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى المجرى الى الآخر) واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك اقليمية او احداث اما كن لتغيير الخيل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر في عمل السكة لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاحاديد المعدة للنقل في اتجاه واحد اما وهى انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاحمال فوراً الى الارتفاع المطلوب الذى يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار فاذا كانت كمية النقل السككية واحدة في الذهاب والاياب لزم عمل الانحدارات على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين ويشترط في ذلك شرط لا بد من تحققه هنا وهو أن تخفض النقط العليا ونلطف المستويات المائلة من غير أن يكون ذلك سببا في طول سكة الحديد طولاً مفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخاديد احدهما للذهاب
والاخرى للاياب

ولنشرع الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد فنقول انها
تتقسم باعتبار اخاديدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلاوى وهو
ما تكون فيه الاخاديد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصب اى الزهر
وفوقها اثنا بارز على طولها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة
كافية لحمل ثقل عجل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات
الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثانى الادج وى وهو ما تكون
فيه الاخاديد مجوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من
اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يشد به القضيب
من طرفه المستدير فاما الاخاديد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهى ازدياد
الاحتكاك وزيادة مفرطة عند ملاقة الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب
والرمل والحصى يتساقط ويقف في الاخدود المسطح واما الاخاديد المجوفة
فلا توجد فيها هذه المضرة فهى لعدم الممانع قابله لحمل الاثقال الكبيرة ومقدمة
على غيرها في الاشغال الجسيمة وعليها جرى العمل في بلاد غالة واما في ضواحي
مدينة نو كاستل فيستعمل فيها المسطحة كالمجوفة وقضبان الاخاديد المجوفة
تتخذ من الحديد المطرق وعرض كل قضيب ٤ سنتيمتر وسمكه الرأسى الذى هو
اكبر من العرض دائماً يكون مناسباً لوضع عليه من الاجال وليست فائدة
الاخاديد المجوفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها
للاجال العظيمة وليس ذلك موجوداً في المسطحة نظر صورتها اولكون موادها
اقرب للثقل من الاولى

وقد ذكر المهندس استوانسون ان السكة ذات الاخاديد المجوفة التى تحمل
عربة بـ ١٠٠٠ ميلين تكون زنة حديد سكتين كيلوغراماً عن كل متر من
الاخدود المزدوج بعد اقتضاء عمله ويكفى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة
السلطانية يلزم أن تكون صلابه اخاديدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترميم

يوذى الى زيادة جرة العملة عن مقدارها الاول
ويكفى على ما ذكره المهندس غلواس . أن يكون طول كل قضيب من قضبان
الاخايد المسطحة ٢٠ ر^م وأن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من
٤٠ كيلوغراما الى ٥٠ . ويكفى ايضا فى السكك ذات الاخايد المجوّدة
المعدّة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠
كيلوغراما الى ٥٠ . واما فى المسطحة المعدّة للنقل فى عربات صغيرة تجرّها
الخيول فيكفى أن تكون زنتهما مع المسندين ٢٥ كيلوغراما ويكفى ١٨
فيما اذا كانت تلك العربات يجرّها العريجية

(وما ذكره هذا المهندس فى تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن
وانواع النقل وقد ذكر ايضا فى رسالته المشحونة بالفوائد التى الفها فى سكك
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المجوّدة ٨٩
سنتمترا وعرضه ٣٣ ملمترا وأن تلك القضبان تمرّ بعوارض من الخشب
او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من
قضبان السكك المسطحة ٢ ر^م وعرضه ٨ ر^م فى الجزء الذى يجرى
عليه العجلة وسمك هذا الجزء يساوى ٠.١٥ ر^م وارتفاع الانثناء ٠.٥٤ ر^م
وسمكه المتوسط ٠.١ ر^م)

ثم ان احكام وضع هذه الاخايد ومثانتها مما لا بد منه فى السكك ذات الاخايد
اذبدون احكام وضعها وورداة محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من عجلات
العربات الموسوقة أن بعض المسانديغوص فيها بمقدار ٢ سنتمترة فقط فيكون
المقدار احد قضبان الاخدود فى هذه الحالة بمقدار واحد من ستين فيلزم حينئذ
لاجل جرّ العربات حيث تكون السكة اقسية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخايد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع أنها
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من الفوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها عماله تأثير عظيم في صلابة هذه السكك) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لتنوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصب اى الزهر وتسمى اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح

والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد

المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من

الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند ثوب العربة وملاقاتها

لحصاة او حجر صغير يكون على الاخدود وقد شوهد منذ اكثر من ثمان سنوات

سككة من الحديد المطرق معدة لاشغال تد القيل باقليم كبرلند

وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال

من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا

مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة

وهانحن نبين عرض السككة المزروجة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسبه

المهندس استوانسون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخدودين من ٣ ر ١ الى ٦ ر ٢

المسافة التي بين السكتين ٦ ر ٢

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١٥ ر ١ الى ٣ ر ٢

فيكون مجموع ذلك ١ ر ٧

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة

بين كل اخدودين واما السككة الضيقة المعدة للعر بجمية فانه يمكن تثبيتها بالحصى

او رغوطة المعادن او بالنعم المعدني او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكك الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون انثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها العربات على اختلاف انواعها وعظمتها في اتجاهات مختلفة وقد استعملت هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف في المستوى الاعظم ميلا الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكايد على ميناء دونداس وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه الفرس الجيدة بنحو ثلاثة براميل وأن تنجز عليه في مدة النهار نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكك الكبيرة لاسيما في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول الى تلك المستويات او تغيير شيء من العربات لاجل عبور الجسور حتى يسهل النقل عليها كالسكة الافقيّة الاعتيادية

وترى في شكل ٢٠ الرموز اليه بهذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث) حازر اموضوعا بهذا اثنائات اخدود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة مزدوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

(الدرس الثاني عشر)

في بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور وسائر الآلات

التي من هذا القبيل

ينبغي لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حق المعرفة أن يراجع الدرس الثاني عشر من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلقه بالخطوط والسطوح الخلزونية

ولابد أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص الهندسية تذكرها المسبق فنقول ان الخط البريمي او الخلزون الاسطواني

هو كتابة عن خط منحن مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البريمي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة لرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل

فاذا فرضنا أن هناك خطا مستقيما له ميل ثابت ويتحول على طول الخط البريمي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني ما لا بالنسبة للرأس في سائر نقاط الخط البريمي

وإذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البريمي فانه يارتكاز هذا الجسم على السطح الحلزوني يتحرك كتحرك في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البريمي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماسية للسطح الحلزوني

وليكن \overline{AM} ور (شكل ١) كتابة عن افراد الاسطوانة التي تصنع عليها بريمة مثلثية (شكل ٢) او مربعية (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخيوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو $\overline{RB} = \overline{ST}$
 $\overline{DD} = \overline{HH}$ الخ ثابت

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود والهبوط على احد هذه الخطوط كخط \overline{MM} مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة افقية كقوة \overline{CH} حدث هذا التناسب وهو نسبة قوة \overline{CH} الى ثقل الجسم كنسبة \overline{MO} الذي هو ارتفاع خطوة البريمة الى نسبة \overline{OM} الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البريمة

وحيث تقررت هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البريمة فنقول ان البريمة توضع في بيتها البريمي الذي يوجد في داخله ما يوجد فيها من الاسطوانة والخيوط فتارة ثبت في البيت المذكور طارة ذات مماسك

لتدويره كما تدور طارة المنجنون وتارة يثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شسبه
بقضبان المنجنون والمعطاف

وكانوا سابقا يكتبون بجعل رأس بيت البريمة مربعاً ويعشقونه ببعضه بواسطة
مفتاح تجويفه مربع كجوف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين
(اي جهتي اليمين والشمال)

وهناك بريعات وبيوت تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣)
(كما سبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهى اكثر استعمالاً من غيرها
ويوجد ايضا بريعات وبيوت تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق
بريمة دائرية الى جهة بيت بريمة دائرية اخرى تقابلها

وتم نوعان من البريمات وبيوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو
ما تقدم فيه البريمة تارة وتأتا اخرى بدورانها في ذلك البيت الذى لا يتقدم
ولا يتأخر لثباته وتكون القوة حينئذ ثابتة في احد طرفى البريمة وهذا الطرف
الذى جرت العادة بجعله مربعاً يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة محبورة على الدوران
بدون تقدم ولا تاخر وانما بيتها هو الذى يتحرك بطولها
وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من
المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كما في توازن المستوى
المائل الذى ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا دارت القوة دوراً كاملاً حول المحور فانها تقطع محيطاً نصف قطره هو
بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بانتوازي للمحور فانها
تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذاً تكون القوة مضروبة في المحيط الذى
تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة
وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذى تؤثر القوة
في نهايته طويلاً يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة
فاذا لم تكن البريمات وبيوتها محكمة الصناعة لزم أن يكون في بعض اجزائها

فراغ بين البريمة وبينها وأن تطوى او تفرد الخيوط المجققة في البعض الآخر لاجل حصول التخلل فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لتصناعة البريمات من حيث صورها وتحرّكها على غاية من الضبط والاحكام
 واذا وقع على البريمة جهد قوّة لاجل ابطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى بينها نوعان

فالنوع الاول منهما يتلف خيوط البريمة بواسطة قوّة الضغط الحاصل بالتوازي للمعور وهي قوّة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع او في حالة الجذب وهذه القوّة تحمل الى عدّة اجزاء يمكن اعتبارها كنقط تماس بين البريمة وبينها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقدارها في صورتهما اذا كان عموديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها الا أن هذا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر بادنى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائق عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر ممكنه بمعنى انه يكون مربعاً ثم ان نوعي البريمات السابقين يمتازان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الاول مثلثية (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣)

وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من المجهودات الواقعة عليها والمقاومات التي تظهر بها تلك المجهودات متوسطا بين الشدّة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالبنس والزان وخشب الكمثرى مما تكون اجزأه متحدة التماسا كافيا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل اشلام اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن وللبريمات المعدنية منفعة عظيمة وهي قابليتها لأن تحمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كأفي البريمة التي يستعملها مجلد الكتب لضغط أوراقها وكذلك البريمات الرافعة فان الغرض الاصلى منها ايضاً هو احداث الضغط المذكور ويوت هذه البريمات ثابتة وممتدة على شكل الهرم الناقص المربع الذي تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهي متحركة بذراع او ذراعين من الرافعة (راجع شكل ٤)

وإذا كان المطلوب ضم جسمين صليين الى بعضهما والصاقهما الصاقاً تاماً لم تنبهما بمسمار او فئحة (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامسالة وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المسمار المعروف بالقولوز فاذا ادخلنا المسمار في الثقب نفذ من الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة التي في داخل بيتها ثم يعلق هذا البيت بمفتاح مربع شبيه بالمفتاح الذي تقدم ذكره في هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية

وتم بريمات خيوطها مرنة منفصلة عن بعضها كبعض يابات العربات المعروفة بيابات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر) ولا مانع من أن نعتبر البريمة كاسطوانة مخرسة معدة لا يصلح الحركة الى الطارات المخرسة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية وتستعمل هذه البريمة في كثير من الآلات كالآلة المعدة لتحريك السفود وربما التبست بالمنجنون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة الى الطارة المخرسة واصقها بها بواسطة التعميق كما في شكل ٦ وبهذه الوساطة تنتقل الحركة من محور س الموازى لمستوى المسقط الى محور آخر عمودى على هذا المستوى تدل عليه نقطة و

ولتكن ف هي القوة الواقعة على ما نؤيلة ش ح في طرف ذراع رافعة ش و ف هي القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من م الى الطارة المخرسة التي نصف قطرها يساوى م و ر هي المقاومة المؤثرة في طرف ذراع رافعة و د يحدث

$$\text{أولا } F = \frac{\text{محيط مقطوعا بالمناوية} \times F \text{ وثانيا } \frac{W}{D} \times F$$

$$\text{فاذن يكون } W = \frac{W}{D} \times \frac{\text{محيط مقطوع بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times F$$

ومن هذا التساوي تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثاني من نوعي التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولاجل الوقوف على حقيقة نفرض

عدة منشورات متساوية كالالياف النباتية التي يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فنوقع على نهايتها

قوتى **ف** و **و** (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الالياف والمدائرتين

في جهتين متقابلتين فاذا لم تكن الاسطوانة صلبة جدا وكان لا يوجد

في الالياف صلابة تامة فانه يقع عليها تأثيرها تين القوتين فتدور احدى قاعدتها

من اليمين الى الشمال والاخرى بالعكس ونفرض ايضا أن مقاومة الاسطوانة

المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادتها على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة

بماصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها

فيكون دوران القطاع الاول بالنسبة للثاني في زاوية يكون فيها دوران الثاني

بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالنقط التي

يتكون منها في مبدأ الامر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها ايضا خط حلزوني

بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على

نقط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء

فاذا لم تكن الالياف متلاصقة بل ترحلت عن بعضها او كان لا يمكنها

الا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الالياف كالتواء

الذي يحدث في صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التي تعرض للالتواء من الاسطوانات المختلفة

التطر المتجانسة المادّة فالجواب اتنا نفرض لحل هذه المسئلة اسطوانتين

رفيعتين جدًا متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السمك الصغير جدًا ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول ونوقع عليهما في مستوى قواعدهما قوى مماسة لهما تديرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك التواءهما ويلزم اتحاد القوة في زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسباً لمحيط القواعد فيلزم اذن استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المحوّقتين الرفيعتين جدًا بحيث لا يحدث عن اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوّف وتوهمنا انه مقسوم الى اسطوانات مجوّفة متحدة السمك والمركز فرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من نقطتها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعزف أن الزاوية الحادثة من الالياف مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعدها هذه الالياف عن المحور وبهذا الالتواء يحدث عن كل ليف لاجل حل التوائه جهد مناسب لنصف قطر الاسطوانة المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التي يلزم استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للاسطوانات بهادرجة من الالتواء مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير اينرسي قواعدها بالنسبة للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا في مربع نصف القطر فاذن اذا كانت انصاف الاقطار هي

الخ	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
									كانت	اعداد
الخ	١٠٠٠٠	٦٥٦٣	٤٠٩٦	٢٤٠١	١٢٩٦	٦٢٥	٣٥٦	٨١	١٦	١

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن محصيل درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات

لاستوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوى التي تؤثر فيها لاجل التوائها
 وإذا فرضنا استوانتين مختلفتين في نصف قطرهما الرموز اليمما برمزي
 $\overline{ر و ر}$ (شكل ٨ و ٩) وواقعا على احدهما قوتا $\overline{ف و ف}$
 المتساويتان وعلى الاخرى قوتا $\overline{ف و ف}$ المتساويتان ايضا لاجل
 حصول الالتواء فيهما بحيث ان بعدى هاتين القوتين وهما $\overline{م خ}$ و $\overline{م خ}$
 متساويان حين يكون

$\overline{ف} : \overline{ف} :: \overline{م} : \overline{م}$:: $\overline{م} : \overline{م}$:: $\overline{ر} : \overline{ر}$
 مسطح $\overline{م} : \overline{م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$: مسطح $\overline{م} : \overline{م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$
 تكون زاوية الالتواء وهما $\overline{م و م}$ و $\overline{م و م}$ متساويتين لان $\overline{و و و}$
 هما مركزا القاعدة تين فاذن يحدث هذا التناسب وهو
 $\overline{م} : \overline{م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$

فاذا جعلنا $\overline{م} = \overline{م}$ ولوينا الاستوانة الغليظة حتى نوصل ليف
 $\overline{م}$ الى $\overline{خ ن}$ حدث من هذا الليف مع اتجاهه الاصلى وهو $\overline{م خ}$
 الزاوية التي تحدث من ليف $\overline{م خ}$ مع اتجاهه الاصلى وهو $\overline{م خ}$ ولتكن
 $\overline{ف}$ هي القوة التي لا بد منها في التواء الاستوانة الكبيرة على اتجاه $\overline{خ ن}$
 فيحصل هذا التناسب وهو

$\overline{ف} : \overline{ف} :: \overline{م} : \overline{م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$ ويؤخذ من ذلك ان
 $\overline{ف} = \overline{ف} \times \frac{\overline{ر}}{\overline{ر}}$

ولكن $\overline{ف} = \overline{ف} \times \frac{\overline{م} : \overline{م}}{\overline{م} : \overline{م}} \times \frac{\overline{ر}}{\overline{ر}}$

فاذن يكون $\overline{ف} = \overline{ف} \times \frac{\overline{م} : \overline{م}}{\overline{م} : \overline{م}} \times \frac{\overline{ر}}{\overline{ر}}$

فاذا كان ميل $\overline{م خ}$ يكتفي في التحلل او انفصال الياف الاستوانة
 الصغيرة من بعضها تحصل على الاستوانة تأثير واحد من ميل $\overline{خ ن}$ الحادث

من قوّة ف فاذا ن تكون قوّة ن ف و ف الحادث عنهما انفصال
الاسطوانتين المختلفتي القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدةتين مضروبا
في نصف قطرهما وهذا الحاصل في غاية الاختصار
ومتى عرفت المقاومة التي تقبلها الشجرة الاسطوانية في بعد معين سهل عليك
دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التي يقبلها ما مائلها من
الاسطوانات الاخرى في ابعاد اخرى ولا يخفى ما لثل هذا الحاصل من الاهمية
في تعيين ما يلزم من الابعاد لاعدة الآلات كاعدة المنجّمون والمعطاف والسهم
الذي يستعمل في نقل قوّة الآلات الادروليكية والبخارية وغيرها وليس لقوّة
التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الجوّ وطبيعة كل نوع
من الاعدة الاسطوانية ففي زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة
عظيمة بخلاف وقت القميط واليبوسة فان القوى بتأثيرها تجبرها على الالتواء
ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجاريب عديدة علمت
في شأن التواء الاخشاب تركناها هنا خوف الاطالة

(* بيان التواء الحبال *)

لابأس أن نورد في هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة
من خواص الحلزونات فنقول

قد سبق لك في الدرس الثاني عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التي
يتركب منها الحبل يكون بواسطة الالتواء منثنيا انثناء حلزونيا وأن محور
هذه الحلزونات هو عين محور الحبل اعني الخط الذي يكون في جميع طوله
على بعد واحد من محيط الحبل المقروض مستقيما وجميع الخيوط التي على بعد
واحد من هذا المحور لها طول واحد بين القطاعين العموديين على المحور
بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد
البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن ا ب ش د
و ا ب ش د و ا ب ش د الخ (شكل ١٠) مستطيلات
تكون فيها اطوال ا د و ا د و ا د بالنسبة الى ارتفاع ا ب

المساوي لارتفاع الخطوة المشتركة بين الخيوط الحلزونية كناية عن طول محيطات
 الطبقات المختلفة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة **ب**
 خطوط **ب د** و **ب د** و **ب د** الخ المائلة كانت هذه الخطوط
 كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور كامل حلزوني على المحيطات
 الموجودة في الالتصاقات وهي **د و د** و **د و د** الخ وهذه الخطوط
 المائلة كلها غير متساوية وتزيد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط
اب العمودي على **اد** واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية
 ولويتها كلها دفعة واحدة جاريا في ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن
 التزلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزي وهو **اب** وامتداد خيط
 المحيط الخارج وهو **ب د** بحيث يصير جزا الخيط المتحدان في الطول بين
 قطاعي **اد** و **ب د** كناية عن **اب** و **ب د** هلا جل حصول
 التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة
 وابقاء ذلك الحبل على صورته يلزم أولا انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة
 وثانيا امتداد جميع الخيوط الخارجة وما جاورها وثالثا موازنة مقاومة المتد
 المتأومة الانطواء

ولنفرض حبلًا مصنوعًا بهذه المثابة يكون مشدودًا بقوتين واقعيتين على طرفيه
 فيكون قوتيهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية
 فاستعمله من القوى حينئذ تعود به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه
 القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى
 حينئذ ما يقاوم تد الحبل الا الالياف الخارجة وما جاورها

فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المتد
 والانتطاع الاجزاء واحدا من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط
 في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المتد الا درجة معينة فان الخيوط الموجودة
 خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتقطع قبل ان
 تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المتأومة واذا انقطعت الخيوط الاولى الخارجة

انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الجبل

وبمعرفة المقاومات المتوالية تعرف الفائدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الجبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الجبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمتدفعه واحده ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يشتهد بقدر غلظ الجبل حيث ان هنالك فرقا كبيرا بين مد الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليزي في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الجبال ونحن اقول من اشهر هذه الآلات بمملكة فرنسا ثم سلك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها اهمية في فن البحارة الفرنسيين

فن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون اير و هوibert في مينتى بريست ورشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الجبال المصنوعة اقوى وامتن من الجبال القديمة فبذلك صارت ادوات السفن خفيفة ويجعل القوة في تلك الجبال واحدة يمكن تنقيص اقطارها فتتقص ابعاد البكرات المعدة لتحريكها واستعمالها وبذلك تصير صواري السفن خفيفة جدا هذا وما نؤمله أن مينات البحارة الفرنسيين توثق في صناعة الجبال الطرق الحديدية المذكورة وترجمها لانها جامعة بين فائدتى الوفرة والمتانة

*(بيان الخابور) *

الخابور منشور مثلثي يؤثر بصلعه القاطع وهو هـ ف (شكل ١١)
ليفصل بين جسمين او جزئين من جسم واحد ويعرف هذا الصلح بمحذ الخابور
القاطع واما واجهة ا ب ث د المقابلة للعد المذكور فتعرف برأس الخابور
ويطلق اسم الجهتين على واجهتي ا د هـ و ب ث هـ اللتين
على عيني الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من الفنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين
الفرنجية والمقاريض والسيوف والبلطخواير مستعملة دائما في زمن
السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات او الكوازم والمعازق والمجارف
والفاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور ابث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح
نقطة ه المسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف المسكة بقوة

واحدة كقوة ك والمطلوب الا ان معرفة شروط التوازن في ذلك فيقال
على اي وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين
بالتناظر على ضلعي الخابور وهما اث و بث فان تقطعت ه و ف
يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يختل التوازن فاذاً تكون اولا

قوة غ عمودية على اث وقوة ك عمودية على بث وثانياً

يلزم لاجل حصول التوازن بين قوى ح و غ و ك الثلاثة
المؤثرة في خابور ابث ان تكون مجتمعة في نقطة واحدة كنقطة و

وان تعتبر احدها محصلة للآخرين فاذا رسمنا على و و ك
و ح الممتدة شكل و ح غ المتوازي الاضلاع تحصل معنا
هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و ح : و غ : و ح = و ح
وهذا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث و ح غ الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث
ابث الثلاثة يحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : بث
فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و بث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومة غ و ك المناسبة لهذين الضلعين متساويتين
 أيضا كما هو الواقع في أغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط
 والسيوف من حيث هي متماثلة وحينئذ تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة
 لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع
 وكلما كانت الخواير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور
 على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة
 فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون
 الخابور حادًا وكان ايضا يكتفي في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة
 بقدر ما يكون الخابور حادًا

وإذا وقع على تقطعة ه او ف قوتان بدلا عن قوة ه غ او ف ك
 لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي ا ب
 و ب ث المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة

وذلك بأن نصل بين ه و ف (شكل ١٣) اللتين هما نقطتا وقوع
 مقاومتي ه غ و ف ك بمستقيم غ ه ف ك ثم نسقط ه غ
 و ف ك على هذا المستقيم بعمودي غ غ و ك ك فيكون
 ه غ و ف ك هما القوتان المبعدتان لنقطتي ه و ف عن
 بعضهما

ومتى كان ضلعا ا ب و ب ث متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومة ه غ
 و ف ك متساويتين ايضا ويحدث من خط ه ف واتجاهي ه غ
 و ف ك زاوية واحدة فاذن تكون مقاومة ه غ و ف ك
 الجانبين متساويتين

وإذا فرضنا زيادة على كون قوة ح (شكل ١١) عمودية على الحد
 القاطع وهو ه ف أن الخابور تدفعه قوة خ الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة ح عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة خ عليه يتحرك في جهة الحد القاطع

وبهذا تعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة
تواصلاتاً وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لجنسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر
تضاريسها الصغيرة جداً التي لا تدرك غالباً بمجرد النظر كخوابير الصغيرة البارزة
الغائصة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغط الخابور على جسم يقبل الضغط كثيراً او قليلاً فان هذا الجسم
يقع عليه تأثير الضغط وتزداد المقاومة كثيراً حيث بها تكثر نقطة تماس الخابور
بالجسم المذكور

واذا جعل الخابور الغير المصقول على الجسم صار كما ذكرنا بكل تضريس من
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقل يغوص في ذلك الجسم مع حصول
القائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس
حادة كثيراً او قليلاً فاذا ن تكون القوة المستعملة في ذلك مع الفائدة كناية عن
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية
هذه الفائدة العظيمة في كثير من اشغال الفنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاماً تاماً بواسطة الصناعة

وهي المنشاوبان نفرض لوحاً معدنياً كلوح أ ب ث د (شكل ١٦)

يكون ضلعه وهو ث د مصنوعاً على وجه بحيث تكون زواياه

وهي أ و ا الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتى ح و ر

المتساويتين لاجل شد المنشار ودفعه على جسم م ن واما القوة الثالثة

وهي قوة ح التي هي في الغالب كناية عن ثقل المنشار فان تأثيرها يكون

على اتجاه عمودي وهذا المنشار كناية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر

الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بمنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل

عظيم جدًا كمشار **اب شد** (شكل ١٦) استحال تقسيها وتعذر
 مالم يتوصل الى ذلك ببذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركاً متردداً
 يضاهي تحرك المنشار

ولست صورة الزوايا البارزة المسماة باسنان المنشار الرموز اليها بحروف
ا و ا و ا متحدة بل تتنوع في كل منشار بحسب طبيعة الاجسام
 وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جدًا اوجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة
 ومقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لأن ترفع في كل حركة من
 حركات المنشار جزءاً صغيراً من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام
 دون ذلك في الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على
 شكل منحني كما في شكل ١٧ عوضاً عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث
 مستو وليس للمنشار المعد لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان
 اصطناعية بل هو كناية عن صفيحة من فولاد تشد وتدفع على الكتلة التي يلزم
 نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معدني احرفه الحادة تعمل عمل الخواير *
 ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون
 صفيحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن
 ادخال الرمل او السنفرة الى حد المنشار القاطع بوجه مستحسن

ولا يقتصر في الخواير المخرسة على جعل حدها القاطع مستقيماً بل قد يكون
 مستديراً وقد يكون على شكل منحنيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) ملوئ بالاسنان فهي بذلك شبيهة
 بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جدًا (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة
 لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صناعتها من
 مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محل وفي
 العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفيحة من الفولاذ مركبة على
 محور من الحديد

وأما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التي تنحرف عنها
متردد وذلك أنها في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خاليا عن الفائدة
بخلاف المناشير المستديرة المستقيمة التأثير في جهة واحدة فان زمن الحركة فيها
لا يخلو عن الفائدة

ويشترط في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى تعظم
فائدة تأثيرها وإيلا حظ حينئذ انه يكفي ضغط الجسم المراد نشره قليلا على
المنشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم ان محاور المناشير
المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الأفقي من التازجة ومعشقة بها
بحيث يكون مستوى المنشار عمودا على مستويها فاذا المراد عمل منشورات
تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فان قطع الخشب المطلوب نشرها
توضع على وجه بحيث تكون إحدى واجهتيها وهي المجهزة للنشر متحركة
على مستوى التازجة والاخرى متحركة مع مماسها الدليل ثابت مواز لمستوى
الطارة على بعد لا تقرب بتقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداهة أن
مستوى المنشار يرسم فيها قطاعا موازيا للواجهة المستوية المستندة على
الدليل فاذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل
واجهة اخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة الى عمل
منشورات مربعة او مستطيلة معلومة السمك ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة
التامة اذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولامانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البحرية والطوبجية وسائر
ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا
وكنت اول من نقلها اليها من مملكة الانكليز

ولابأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة
لنشر اخشاب الطبق كخشب الكابلي فنقول المنشل الكبير المستدير عبارة
عن طارة قطرها ستة امتار تقريبا متركبة من تصاليب رفيعة جدا في الجهة
العمودية على مستوى المحور وعريضة جدا في جهة هذا المحور مبتدأة منه

واحدة في تناقص عرضها شيئاً فشيئاً كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط
محاط بعدة قسي من صفائح الفولاذ مخرسة يتكوّن من توصلها المنشار
المذكور ثم ان تلك الطارة تتحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي
مثلاً المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة
الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءاً من سمكها
يلغ ٢ ملليمتر تقريباً وينثنى هذا الجزء قليلاً بمجرد انفصاله بحيث يكون
على شكل محدب حادث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية او الواح
خفيفة مثبتة على تصاليب الطارة وبهذه الطريقة تنشر اجزاء الطبقات التي
عرضها ١٠ لباتر ونصف تقريباً واعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس
برونيل الذي صنعه في معاملته التي في باترسى قريبا من مدينة لندن
وكثير من الآلات ما هو في الحقيقة مناسير وذلك كالمناجل والمقاصل والمبارد
وكيفية عمل المناجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها
وهو **ا ب ث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هي كناية عن
خوابير متقاربة من بعضها بالكيفية ويحدث من حدها القاطع مع المحيط
زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحصود والحشيش
اليابس قابلت الآلة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان
التحرك سريعاً أخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية
وهي **ب** بدون تكسر والواجب أن يبذل في قطعها قوة عظيمة بتحريك
الآلة عمودياً على محورها ولا يحنى ما في هذه الحالة من المشابهة البينة بين تأثير
المخجل والمقصل والمنشار المستدير

وقد صنفها من هذا القبيل سيوفا حدها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهي
اسلحة فظيعة عظيمة التأثير لا تلايم الا اهل التبربر والحشونة
وما يسمى عند اهل المشرق بالشاكرية له تأثير كئيب المنشار المستدير قترى
الرجل من اهل آسيا بدلا عن كونه يطعن بها عمودياً على حدها القاطع يقبض
عليها ويجعلها على اتجاها يده حتى تصل الى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

نعرض في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان الغائصة كما تأثير اسنان المنشار فلذا كانت جروح الشاكرات بهذه الطريقة أعمق وأعرض مما اذا كانت خالصة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على السطح المراد قطعه

واما المبارد والمحكات (شكل ٢١ و ٢٢) فهي كناية عن سطوح مضرسة لها اسنان كالخوابير الصغيرة المتساوية التي تكون عمادة مستوية الوضع اى مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحل زاوية تبلغ ٤٥ درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك السطح من الخوابير حوز متساوية يعقبها ملوسة السطح وصقلته في رأى العين وذلك لبسطة تواصلها وتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المباد ما كان له اسنان كثيرة وصغيرة جدا اذ به يتقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التي تحدث على سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثروا يقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك التجوييفه بحاسة البصر فعند ذلك يظهر للناظر ان السطح المبرود على غاية من الصقالة وما ينبغي التنبيه عليه ان المبرد لا يتصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله في اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع الحزوز وتزول خشوتها

واما اذا كانت اسنان المبارد والمحكات ليست على بعد واحد من بعضها فلا يمكن أن تصقل سائر اجزاء سطح الجسم المقروض صقلا مستويا فلا بد في جودة الصقل من أن تكون المبارد والمحكات محكمة الصناعة وهنظمة انتظاما هندسيا

وما ينتظم في سلك المبارد والمحكات الكردات وهى عبارة عن خوابير متفرقة عن بعضها وطويلة جدا ومتوازية ولها شبه باسنان المبراد التي على وضع مستو ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة وانما تستعمل لنظم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخله في النسج غير المنتظم الحادث من هذه الخيوط فنقسمه الى خيوط رفيعة جدا ثم تنظم تلك الخيوط

بواسطة تأثير ضغط خفيف

ولنشئة المعدة لتسريح الصوف المسماة عند العامة بالشيخة تأثير كتناثير الخوابير
ومن هذا القبيل ايضا الحدايد التي تطمر بها الخليل وهي مركبة من عدة صفائح
مسننة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والفرش
والمقشات فتأثيرها كثة تأثير المنشار وذلك كالحرق المعد لحك الامتعة وتكميل
صقل السطوح

وكذلك المسلفة والمجرفة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض * هذا
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في صقل محصولات الصناعة اجسام متركة بالطبع من اجزاء
صغيرة هي في الحقيقة خوابير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر
السن فانهم معدان لصقل السطوح ويزيد الثاني اي حجر السن باختصاصه
بسن الآلات الناطعة وما يوجد بسطحه المتبلور من الخوابير العديدة يستعمل
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك اجار
سطحها الاصطناعي مستوي واخرى سطحها الاصطناعي مستدير

وليست اجار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفتيتها بل تفلحها وتطحنها
بتأثيرها الشبيه بتأثير الخابور ويعين على ذلك الافاريز المصنوعة في السطح
المستوي من هذه الاجار

ولما نينا الكلام على الخوابير المنشورية اي التي على شكل المنشور فاسب
أن تتكلم على الخوابير المخروطية او الهرمية كـ المنقاش والمسامير وبعض
الاسلحة والآلات المستعملة في القنون الحربية والملكية فنقول اذا اريد
ادخال منقاش او مسمار مخروطي او هرمي (شكل ٢٤ و ٢٥)
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للانفراج الحاصل بين اجزاء هذا
الجسم وكدمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها يمكن أن نبرهن على أن الجهد
اللازم لادخال المسمار او المنقاش يكون مناسباً بالمقدار ينرسى الجزء المفروض

غوصه من ذلك المتقاش او المسمار لان هذا المقدار ما خوذ بالنسبة لمحور المسمار
او المتقاش المعتبر كهرم او خابور

ومن الخوابير الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة
في الصناعة كالسفود والخنجر والسنجة والابرة والدبوس وآلات الحفر والنقش
وما اشبه ذلك و يشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خوابير متنوعة الشكل
لاجل الاقتراس او الذب بها وذلك كالاسنان والقمرون والاطافر والمخالب
ونحوها ومثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنایع تركيبا بديعا لاتحاد انواع البريمة والخابور حيث
ان كلا منهما على انفراده يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة
الصغيرة و باجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المقدمة بالنسبة
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كالمنقب
والمسمار ومنها ما هو معد لقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا مخروطيا ممتدا
جدا وتثبت هذا الخابور على صورة الخنزور حدث من ذلك الالة المعروفة
بالبريمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصلى منها الدخول في السدادة او في ممسحة
الاسلحة النارية

ولاجل تجصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الالة يلزم أن نلاحظ
انه اذا كانت هذه الالة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة
كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البريمة
او كاشة المدفع منقبا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول
هذا الخابور المقروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزأ عظيما من القوة
وهي مع ذلك اكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البريمة والخابور وهو اجتماعهما معاه اهمية عظيمة

وهو اكثر استعمالا من الاول ويدخل فيه المناقيب الكبيرة والمخاريز ونحوهما
 (شكل ٢٦ و ٢٧) فاذا فرضنا خابورا مثبتا على طول ضلع الاسطوانة
 وفرضنا أن هذه الاسطوانة تتحرك تحت كاستمد يرافقي كل وقت يمكن أن نعتبر
 أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع ويعظم تأثير هذه القوة
 كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب خرطه
 واذا فرضنا الآن ضلعا من ثانيا أثناء حلزونيها لا عن الضلع المستقيم فان الحد
 القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك
 الحاصل له يقطعه قطعا مائلا ويكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذي
 يوجه اتجاهها مائلا كالشواكروفي هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة
 حتى ينشأ عن حلزون الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المنثنى عليها هذا الحلزون
 زاوية كبيرة فاذا اريد عمل مناقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل
 حدها القاطع حاد جدا واحدا عن مع ضلع الاسطوانة المجمعولة محور هذه
 الآلة زاوية كبيرة

وتجدي المناقيب والمخاريز فرانغا عظيما في خلال كل خطوة من خطوات
 البريمة الحادثة عن خيوطها الحادة متى تقبت تلك الآلة بالجسم المطلوب تقبه
 انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الحلزون وتتصرف في الفراغ
 الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجزاء
 لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة الكلية التي يتقها المثقاب او الخراز وعلى انها
 تكون ممتدة او منكسرة بمجرد انفصالها وهذا الانكماش بضرب تأثير الآلة
 ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فيجذب الخراز او المثقاب كي تخرج
 الاجزاء المنفصلة ثم تأخذ في الثقب ثانيا ويكون العمل بعد ذلك سهلا

وقد عمل المهندس استفان بريس في الآلة المعروفة بالمقرض لكونها تزيل
 وبر الجوخ عملية بدعية تتعلق بالبريمة والخابور واول من جلب هذه الآلة
 الى مملكة فرنسا هما المهندسان المسحي كل منهما بوبارد وقد حسنها
 المهندس يوهن كولبير تحسينا بينا ولاجل تصورها فنرض آلة قاطعة

كالوسى معوجة على صورة الحلزون ممتدة وملتفة على محيط اسطوانة مجوفة ونضع بمماسة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفائح الحلزونية صفيحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفيحة بالقرب منها جذا بحيث يكون للقمائش المراد ازالة وبره محل يوجد مسند مواز ايضا للصفيحة الثابتة ومحور الاسطوانة فيجد احد طرفي الجوخ عند مده جذا مشدودا ومانقا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون منحلا من فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرد مرور الجوخ بين المسند والصفيحة الثابتة يلاقى صفيحة حلزونية تنقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفيحة وتزبل جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر حتى جاوزت الآلة الحلزونية عرض الجوخ شرعت في ازالة الوبر آلة اخرى حلزونية ابداً بحركة من الصفائح الحلزونية

* (الدرس الثالث عشر) *

* (في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك) *

اذا كانت الاجسام مصقولة صقلا تاما امكن أن تتزحلق على بعضها بدون أن يعرض لها ادنى مقاومة من تماسها ببعضها فاذن يجري هنا جميع النسب البسيطة السهلة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلما مانع حينئذ من تحرك الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادنى مقاومة تبطل هذا التحرك ويمثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حينئذ معرفة المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم معرفة قيمة مقدار الاحتكاك وضم هذه المقاومة بالحديدة الى المقاومات المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكاً

في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموتونس وموشبورويك
وكاموس وبوسوت فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الا انهم
لم يوفوا بما حثها على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهر كلب بتجارب بديعة
وتوضيحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فينبغي الزام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالنسج على منوال
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجارب التي بشرعون
فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد
النظريات بل لا بد في ذلك من ضميمه تلك التجارب اليها

فلنفرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطحين يتزحلقان على بعضهما جسمما
موضوعا على مستو مائل ميلا كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة
في شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التناقل مع سرعة مجمله تكون
نسبتها للسرعة المجدلة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسي
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا
فمن ذلك الورق والريش والدواة التي توضع غالبا على لوح التختم المائل بدون أن
تنزلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداية مقاومة الاحتكاك اكبر من
قوة التناقل فاذا ملنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقر عليه تلك
الاجسام شيئا فشيئا فاننا نصل الى الوضع الذي يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام
وهو وضع يكون فيه تناقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك
فعلى ذلك لا مانع من سلوك هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويمتنبط من ذلك عدة فوائد
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانها لا تاخذ
في التحرك عليه الا اذا املنا اكرما اذا وضعت على مستوي مبداه معلوم وحصلت
امالته باثر الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستوي

مادى فانها تكتسب بذلك نوع التصاق به تزداد الموانع التي يلزم الظهور عليها
والظفر بها

ولنوثر على هذه الطريقة الطريقة التي جرى عليها كلب مع بيان آتته
فنعول

ان تلك الآلة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها لوحان كلوحى
مم م و مم م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافيهما يزيد
فى الطول على التازجة وبين التهايين البارزتين من احد طرفى اللوح قرص
بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى التهايين البارزتين
من الطرف الاخر منجنون افقى كمنجنون ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تخشبية من اللواح كخشبية ح
جيدة الصقل يزيدان عنها فى الطول نحو متر ونصف وهى التي تتزحلق
عليها الاجسام التي يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن
الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على
اطرافها حالتا ث و ث المعدة احدها الامساك طرف الحبل الذي
يلتف على عمود المنجنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة
والثانية لامساك طرف الحبل الذي يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا
الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اثنان بقدر
ما يراد لاجل تنويع القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر
فى هذا الحبل بواسطة نقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح
الاختبار نقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تتزحلق على هذا
اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البلوط
وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدة ثمانية او ثمانية وثلاث

نوان الى عشر ثوان فلا بد في تحريكها من قوة كبيرة غير أن القوة التي تستعمل
عقب دققة في بدء تحرك النقالة وهي قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة
الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ١٠٠ : ٢٢١ الى ١٠٠ : ٢٤٦
وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠
كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناتج عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا اوقمنا يسم
باسفل النقالة منشوران من البلوط كمنشوري ط و ط (شكل ٤)
وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل
اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حينئذ
اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحرك النقالة ولا فرق هنا بين
مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقالة بمجرد وضعها على لوح الاختبار
او بعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر
مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك الا من
١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن
اعتبارها ثابتة تقريبا وحيث يلاحظ انها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من
نسبة الانضغاطات الى الاحتكاكات متى احتكت النقالة بجميع مسطح
قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة
التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاحمال كبيرة لم يظهر
الخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريبا مهما بلغ
امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك
الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المتخذين من خشب البلوط الموضوعين
اسفل النقالة بمنشورين من خشب الراتنج

وإذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فإن مقاومة الاحتكاك تصغر ما يمكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضي ساعة

فإذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الأصلية بواسطة تأثير حمل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠

وإذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تتزحلق عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فإنه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائماً ادى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة باثر وضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بمقدار ما لومضى عليها ساعة وفي هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاوامات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدردار على الدردار بالكيفية المتقدمة وهي أن يسمر منشوران باسفل النقالة موقد ذكر كلب أن خشب الدردار الذي يجرد منه الانسان عند اللمس لطافة ونعومة كالقطيفة هو في التصاقه ببعضه اشد بظنا من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوى ٢٢ كيلوغراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعي من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلوغراما الى ٨٣٥ كيلوغراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين في سائر نتائج العمليات المحضة

ولنذكر لك هنا ما بين فقل النقالة وحملها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا النقل من النسب المتوسطة المستنبطة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث

٢٢٤ : ١٠٠	عند احتكاك البلوط على البلوط
١٥٠ : ١٠٠	وعند احتكاك البلوط على الراتنج
١٧٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الراتنج على الراتنج
٢١٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الدرदार على الدرदार

وفي سائر التجارب التي اسلفنا الكلام على نتائجها يكون ترحلق الاخشاب على بعضها في اتجاه عروق الخشب فقد وجهت في تلك التجارب المتواليه عروق منشوري ط ط المسمرين باسفل النقالتين اتجاهها عموديا على عروق خشب لوح الاختبار (شكل ٥) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدّة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الاخشاب المتماصة تكون

٣٨٥ : ١٠٠	في الانضغاطات الصغيرة
٣٦٧ : ١٠٠	في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة في احتكاك الاخشاب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتماصة متجهة على بعضها لتجاها عموديا عن كونها تترحلق على عروق قطعيتين متماستين

ثم ان احتكاك المعادن على الاخشاب (شكل ٦) لا بد فيه من مكث الجسمين وتماستين زمننا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الاخشاب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تاخذ في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدّة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالكلية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

اذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ١٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ باثره مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهي

$$١٠٠ : ٥٠٠$$

وبعد ترزلق المعادن على الخشب يسمر على لوح الاختبار (شكل ٧) قاعدتان من الحديد في غاية من الاحكام والصقل ترزلق عليهما قاعدتان اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة

وفي هذه الصورة تظهر من اول وهلة اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة

على هذا المنوال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

$$\left. \begin{array}{l} ٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٣٤٠ : ١٠٠ \\ ٢٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٣٦٣ : ١٠٠ \end{array} \right\} \text{احتكاك الحديد على الحديد}$$

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

$$\left. \begin{array}{l} ٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٣٦٠ : ١٠٠ \\ ٢٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٤٠٠ : ١٠٠ \end{array} \right\} \text{احتكاك حديد على نحاس اصفر}$$

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة ما يمكن بأن جعل مثلا على قاعدتي النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهي

الضغط مقاومة الاحتكاك

$$\text{اذا كان قدر الضغط } ٤٣ \text{ كيلوغراما كانت النسبة } ٥٩٠ : ١٠٠$$

$$\text{واذا كان } ٤٢٥ \text{ كيلوغراما كانت النسبة } ٦٩٠ : ١٠٠$$

وهذه التجربة مترتبة على تبييه مهم وهو انه بمجرد ما تتحول على قاعدتي الحديد النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدّة مرات يصقل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحينئذ فالاجاز والرمل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لاتزيل خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعة تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تقيص مقاومة احتكاك سطحين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تقيص المقاومات وقد استعمل كلب في مبداء الامر الشحم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدّة طويلة جدّا فاذا مضت خمسة ايام او ستة كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه اولاً بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح التماس كبيراً بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيراً فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريعاً

وقد وضع الدهن في التجارب المنقّمة مدّة يسيرة ووضع ايضا فيما بعده من التجارب مدّة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الا ان سامتة قلت عما كانت عليه اولاً وكانت ايضا مدّة استقرارها لها تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولو حظ أنه اذا استقر بقدر هذه المدّة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدّة يسيرة

ثم ان كلب اوقع الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل النقالة واخرين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدّهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ مليمتراً تقريباً فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبداء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدّة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين التماسين الذي هو كناية عن كمية ثابتة

حدث عن تحريك النقال بدون واسطة أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهما بالنسبة للأحمال العظيمة كان للدهن فائدة عظيمة أذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلوغرام ١٠٠ كيلوغرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما إذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الا بضغط قدره ١١١٠ كيلوغرام وبالجملة فتى كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات الى مقاومات الاحتكاك اصلا مهما كان امتداد السطوح التماسية وهذا اذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وايضا قد يكون هذا الضغط صغيرا بقدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فاذا لم تتحرك النقاله الا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

في الانضغاطات الصغيرة ٩١٠ : ١٠٠

في الانضغاطات الكبيرة ٩٩٠ : ١٠٠

واذا حصل الدهن بزيت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبداء الامر تقريبا وكانت مساوية $\frac{1}{4}$ الضغط وربما تغيرت من $\frac{1}{4}$ الى $\frac{1}{7}$ اذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجديد اعظم نفعا في صورة ما اذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكفي في الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحرك جسم حين استقراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لابد ايضا من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم ان الآلة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي الغرض منها أن يكون للجسم في التحرك اقصى درجة تستبدل بالحبل والكفة (شكل ١) الحاملة انقالا بواسطتها يكون للجسم سرعة مجهولة فيحصل الاحتكاك مع الخفاف بدون دهن وتحرك النقاله على لوح الاختبار بما تحمله تدريجا من

الاتقال التي يحدث منها هذه النقاله سرعه تكبر شيأ فشيأ
 واذا كانت النقاله موضوعة على لوح الاختبار وحامله لنقل بطلب معرفة
 تأثيره فإنا نحمل على الكفة بالتوالي ائقالا متنوعه ثم نحرك النقاله تارة بدق
 المطرقة دقات خفيفة وتارة بدفع النقاله من خلفها بواسطة رافعة ويوجد
 في احد اطراف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية
 النقاله عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر
 مدة التحرك بكمية ترجح على غيرها في التجارب القليلة الضبط المراد
 علمها وهي كيفية البندول الذي تمكث كل رجة من رجانه نصف ثانية
 ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في مبدء تحرك النقاله ثم تستعمل في اثناء ذلك
 قوة متوسطة وفي الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم ايضا ملاحظة الزمن الذي
 لا بد منه في قطع النقاله مسافتين قدرهما ٦٦ ستمتر

والزمن الذي تستغرقه النقاله في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف
 الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقر بيا غير أن الجسم المتحرك بقوة
 محجلة ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحركه ازمنا
 تكون نسبتها الى بعضها :: 100000γ : 200000γ فتستغرق
 النقاله حينئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة
 و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد
 زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرك النقاله الناشئ عن القوة المعجلة الثابتة وهي قوة تناقل
 الاتقال منتظم المعجلة وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تعدم في كل وقت
 الا كمية مناسبة من القوة التي يزيد بها التناقل فاذن تكون مقاومة الاحتكاك
 كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتحاسة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتحاسة كبيرة فإن الاحتكاك يزيد بازدياد
 السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتحاسة صغيرة فإن الاحتكاك
 يتقص قليلا بانتقاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئاً في جودة النتيجة التي ذكرناها في اغلب العمليات وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب في التجارب الستة الآتية التي تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهالك بيان ذلك

احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٥٥ سنتيمترا مربعا يحمل بهذه المثابة الآتية

تجربة	ضغط	نسبة
تجربة اولي	٢٥ كيلوغراما	٥٧
تجربة ثانية	١٨٨	٩٤
تجربة ثالثة	٢٩١	٩٥
تجربة رابعة	٨٢٥	٩٤
تجربة خامسة	١٧٨٨	٩٢
تجربة سادسة	٦٥٨٨	١٠٤

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقاله هو عين اتجاه عروق خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقاله اتجاهها عموديا على عروق خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك الا تغير قليل جدا سواء كانت السطوح المتماسمة متسعة او كانت قضايا ضيقة كدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التغير عيارا بدبعة لا بأس بإيرادها هنا فنقول

اذا كانت القواعد المصنوعة على صورة حاوور والمثبتة بأسفل النقاله تهزلق على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هناك مضغوطة حتى تقطع النقاله بمسافة بقدر طواها وحيف ان طول النقاله ٤ دسجترات فاذا كان التحرك مثلا ٤ دسجترات في كل ثانية فان كل قطعة من نقط اللوح تضغط مدة ٤ نوان وحينئذ يحدث عن عدم تساوي السطوح

الناتج عن التصاقها ببعضها مقاومة بها تتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدّة المذكورة التي هي ٤ نوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح ونحن جزء من أفعلي ذلك إذا كانت النقالة المستندة إلى زوايا مستديرة تترحل على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالنسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما إذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف النقالة فان كل نقطة من نقط لوح الاختبار عند تحرك النقالة لا تكون مدّة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدّة ليست طويلة بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي تغيرا ينافي لزم اذن أن يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما إذا كان امتداد السطوح متناهيًا وحيث انه في كذا الصورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فان عدم التساوي المذكور يكون متداخلاً في بعضه بدون مانع وجميع ما أسلفناه من النتائج انما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط واما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدر دار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

در دار على در دار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فيثبت من مبدء الامر بأسفل النقالة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط واما ما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهينة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريباً وتكون نسبة ضغط النقالة الى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة المماسية التي تضغطها اقبال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يبطل تأثير السرعة في الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفي جميع التجارب التي ذكرها تكون الاجسام المتماسية مغمورة بالدهن
والذي يلائم تقيص احتكاك الاخشاب من الادهان هو الشحم ودهن الخنزير
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام
اللينه الرخوة كان تلطيفها لاحتكاكات السطوح انما هو بملء تجاويف
تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسيطها بينها وجعلها على بعد واحد
من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخاوة تكون دائما رديئة
جدا بالنسبة للانضغاطات العظيمة فاذا كانت السطوح المتماسية زوايا
مستديرة نقصت الادهان احتكاك النقالة قليلا واذا مرت النقالة التي لها
سطح تماس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشق الاجزاء ببعضها الامقاومة
واهمية وقد ازداد الاحتكاك ازديادا عظيما في عدة تجارب تكرر استعمالها
بدون تجديد دهن ولندكر لك هنا قبل أن نتكلم على التجارب الحاصلة
في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالباً عدم ضبط
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والنقالة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما
وصقلها بالفارة الكبيرة اوراق السمك او بزحلقتهما على بعضهما عدة مرات
وهما جافان فانتاع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط
وبه يزداد الاحتكاك ازديادا ظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا براهين نظرية تحققه غير أن النقالة
اذا ترحلت بمعاونة الدهن بالشحم او دهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية
وكان عليها انتقال جسيمة كان الاحتكاك دائما مناسبا للضغط تقريبا وبذلك
لا تزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب
الاتية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل النقالة التي استعملت

منذ ثمانية ايام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن بالشحم المتجدد في اغلب المرات اكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا مربع ضغط عدة فناطير

فظهر في الحسين الاولي من تلك التجارب اختلال عظيم وكان ما بعد هادونها في الضبط وكان كل من النقالة ولوح الاختبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصقل الذي يقبله خشب الببوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي عملت في شأن سطح تماس يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

$$٢٧,٦ = \frac{٣٢٥٠}{١١٥} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} \quad \text{تجربة اولى}$$

$$٢٥,٨ = \frac{١٦٥٠}{٦٤} = \quad \text{تجربة ثانية}$$

$$٢٣,٦ = \frac{٨٥٠}{٣٦} = \quad \text{تجربة ثالثة}$$

$$٢١,٥ = \frac{٤٥٠}{٢١} = \quad \text{تجربة رابعة}$$

$$١٨,٥ = \frac{٢٥٠}{١٣,٥} = \quad \text{تجربة خامسة}$$

$$٧,٧ = \frac{٥٠}{٦,٥} = \quad \text{تجربة سادسة}$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين احدهما المقاومة الثابتة الناشئة عن التصاق اجزاء الشحم ببعضها وامتداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة عن مجزء الاحتكاك فاذا طر حنا هذه الكمية الثابتة حدث

تجربة اولى $28,7 = \frac{3200}{113} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}}$

تجربة ثانية $27,9 = \frac{1600}{59} =$

تجربة ثالثة $27,4 = \frac{800}{31} =$

تجربة رابعة $28,1 = \frac{400}{16} =$

تجربة خامسة $29,4 = \frac{200}{8,5} =$

تجربة سادسة $28,6 = \frac{50}{1,75} =$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمه تجارب كلب المتواليه التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك معادن على معادن مدهونه وذلك لا يخرج عن الصور الآتية وهي

اولا أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المترحلة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة بينة الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حدها ونهايتها

الكبرى وثانيا اذا كانت الاخشاب تترحل على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسبا للانضغاطات الا أن شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثلا لنسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وترحلتها على بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكتساب السطوح درجة ما من السرعة

كنسبة ٩٥ : ٢٢,٢ او ١٠٠ : ٢٣

وثالثا أن يكون احتكاك المعادن المترحلة على المعادن بدون دهن مناسب
ايضا للانضغاطات الا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح
عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار او كان المطلوب بقاء اى سرعة
منتظمة

ورابعا أن تكون نتائج احتكاك السطوح المختلفة كالاخشاب والمعادن
المترحلة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لان شدة
احتكاك تلك السطوح بالنظر لى زمن الاستقرار ترداد مع البطى ولا تصل
الى حدتها الا بعد مضي اربعة ايام او خمسة وربما زادت على ذلك لكنها فى المعادن
تصل اليه بعد ممتدة من الزمن وفى الاخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا
الازدياد يكون ايضا بطيا بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك فى السرعة غير
البيئة مساوية تقريبا لمقاومة التى يمكن مجاورتها عند ارتجاج السطوح
او انقصالها عن بعضها بعد مضي ثلاث ثوان او اربعة من الاستقرار وليس ذلك
عاما فى جميع الصور فان السرعة فى الاخشاب المترحلة على بعضها بدون دهن
وكذلك فى المعادن المترحلة على بعضها لا تؤثر فى الاحتكاك الا تأثيرا هينا
ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة بينة بالزيادة السرعة وبالجملة فالاحتكاك
يزداد على وجه التقريب الحسابى بالزيادة السرعة على وجه التقريب
الهندسى ولنذكر لك قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأنى الاحتكاك الا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر
فيها الالتصاق الا تأثيرا هينا لان الاحتكاك فى سائر الاحوال مناسب
تقريبا للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحينئذ يكون
الالتصاق بالضرورة مؤثرا على حسب عدد نقط التماس او على حسب امتداد
السطوح ومع ذلك فلما كان هذا الالتصاق ليس معدوما بالكلية
بدلنا الجهد فى تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوى نحو
٨ كيلوغرامات فى كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اجمال المقاومة الحاصلة من هذا الاتصاق كلما كثر
الكيلوغرامات على المتر المربع

وليست السطوح فيلذا كرم من العمليات منغيرة عن اصلها بالدهن فعلى ذلك
لا يمكن أن تتغير الحوادث الا تغيره لا بد منه في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها
الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياق ممتدة واجزاء لينة
مرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء منزوية كروية صلبة غير قابلة
للانثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة
الاجزاء المتركب منها سطح تلك المعادن واما الياق المتنوعة التي تتركب منها
الخشب فيسهل انثاؤها في سائر الجهات

ولاجل تقريبات ما ذكر نقول ان الياق التي تستر سطح الاخشاب تتداخل
في بعضها كشعور الفرشتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا بد منه في زحلقة احدى الفرشتين
على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل
الفرشتين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار
ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من الفرشتين عند
ترحلقتها على بعضهما تحركا ايا ما كان

فلو وضعت حينئذ خشبية جيدة الصقل على اخرى تداخلت الياق التي
على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الان زحلقة الخشبية العليا على السفلى فان الياق هذين السطحين
تنشئ على بعضها حتى تتماس بدون تعشق ومتى وصلت الياق المتماساة الى هذا
الوضع لم يأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسلك الياق
واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بد في جميع درجات الضغط من
قوة تناسبه حتى لا تعشق الياق التي تتزحلق على بعضها بحسب زاوية
هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على التزحلق انعدم تعشق الياق

وبانعدامه يتخلل الالياف المتجاوية من سطح واحد فراغ فقيل تلك الالياف على بعضها حتى تتماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الا ان هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتحركة أن يكون الاحتكاك مناسباً للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح المتماسية الى اصغر ابعادها لانه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة اممكن ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند تزحلقها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذما المحفوظة وهي انه متى تزحلق قواعد البلوط الحاملة للنقالة في جهة طولها وانضغطت نقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافيا في ارتقاء السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسكة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للنقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان نقط تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا تجد زحلقا حتى فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات كبيرة كانت او صغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينه ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متحركة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تعلقا بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى التماس في نقط التماس

فاذا تزحلق الاخشاب على المعادن دخلت الياف الخشب المرنة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينه مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل تزحلق السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن النقالة ممتزكة فان صورة الالياف التي تستر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها خشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضروري لا بد منه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حينئذ الاحتكاك في السرعة الغير اللينة مناسباً ايضاً للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تمزكت النقالة بسرعة ما حيث ان تجويفات سطح المعدن منسعة بالنسبة لسلك الياق الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلة من الياقات فيلزم اذن انشاؤها اثناء جديد حتى تجتاز ما بقي من الخشونات ويكثر انشاؤها كلما عظمت السرعة فاذن يزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون انشاء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجذز منا تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند تزلزل القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشحم يلصق الياق الخشب ببعضها ويزيل جزءاً من مرونتها ولذا ذكر هنا ملحوظة مهمة لا بد منها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الانبياء على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في ظرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة في تمزك النقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالانظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تمزك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الانبياء الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالشحم واحدا دائما لو يكون لها درجة ما من السرعة
 واذا قابلنا بين مقاومة احتكاك جسم له ثقل مفروض يسير الى جهة الامام
 وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين للمقاومة الحادثة من الجسم
 الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير *
 مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر
 الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف
 كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن ندحرج
 الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠
 او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا
 دحرجنا جسمنا مستديرا على جسم مستوي لا عن سحبه بدون دوران زاد
 مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال النقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن
 فاذا فرضنا أن عربة ثقلها ١٠٠٠ كيلوغرام يحملها مجلثان فان كانتا
 مثبتتين في المحور واحتكاكهما على ارض ذات احاديث من الخشب ولم يكن فيهما
 قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلوغرام واذا كانت
 العجلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦
 كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حينئذ أن المحور له قطر يساوي واحدا
 من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة
 من نقط بيت المحور المماس له تقطع سطحها اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى
 ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية
 لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى النقطة المماسية للارض وحيث
 لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوي واحدا من خمسين من
 احتكاكها لو استعملنا بذل العربة نقالة وزحلقناها على الحديد ومن هنا يعلم
 ما ينقصه النقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من
 النحاس لاجل تلطيف احتكاكها على حديد المحور فليبق علينا حينئذ في الظفر

بالمقاومات الظاهرة المقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه
 المقاومة تنقص نقصا يدينا باستعمال سلك الحديد
 فاذا كان المطلوب نقل احوال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يرحلقونها
 على ملفات او اكر (شكل ٨)
 وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا أنهم يرفعون السفن من البحر على مستومائل
 فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجري على سكة من الحديد
 وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس
 بل يكفي القليل منهم وقد سبق لذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى
 تنقيص المقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تزداد بها
 تلك المقاومات بقدر الامكان * مثلا اذا انتقلت العربات من سكة اقلية الى سكة
 منحذرة جدا ازم منعها عن أن تأخذ في سرعة معجلة تكون عاقبتها خطرة وذلك
 يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخلى على
 احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه
 الصورة تبرى قضبانها في اسرع وقت وتجعلها غيرصالحة للاستعمال ويمكن
 تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معدني كزمام ص (شكل ٩) يتعشق بمحيط
 العجلة ويتوسط بينها وبين الارض ويكون ممسكاً بسلسلة مثبتة في مقدم العربة
 وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية
 استواء تاما بأن كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلا مانع من أن العجلة
 تنفلت من الزمام فيؤدي ذلك الى اشتداد الخطر
 والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه
 خلف احدي العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقريبه
 من هذه العجلة بواسطة بريمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة
 احتكاك تناسبه ثم ينعدم فتترك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع
 من تحسينها وتلطيفها وتقويتها لوزيادتها عند الاقتران تريح على غيرها في عدة
 امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء صنعها عن سرعة السير
او تليط ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة
زام كرامام است (شكل ١١) والمراد بالزام هنا قوس دائرة كبير
من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد واحد طرفه ثابت والاخر
ملصوق بذراع رافعة صغير فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تاثير قوة
فان هذا الزمام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة
في التحرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر
احوالها عرفت في لحي ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التي يراد
استعمالها

ومن الآلات التي يربح فيها الزمام على غيره الجرو اي العيار اذ بدون ذلك
لا يمكن للشغالة التفرقة تلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا يذل مجهودات
تكفي في ذلك والاتحركت تحركا تفهقر به بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض
عظيمة واخطار جسيمة ويربح استعمال الزمام ايضا في الطارات الكبيرة
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من
وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدوك بها مخبونات فيها مثل
هذا الزمام وهي معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد
تنزيل هذه البضائع من المخبونات اقلت منو بلا تهادفة واحدة فيهبط الحمل
بالسرعة الناشئة له عن تناقله ويكون احد مهرة الشغلين قابضا بيده على
الذراع الكبير من الرافعة الواقع تاثيرها على الزمام المذكور وينتظر الحمل الهابط
حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك
يشكي على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حينئذ وقوفاً وقتياً

(الدرس الرابع عشر)

(في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)

قد اختبرنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها وتمددها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها تقص بعدها في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود لنا هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من المبيانات الكلية فنقول هناك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهناك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد اقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هناك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اول مرة خلى ونفسه بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً ضغطاً اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عاد في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كل مرة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تتناقص مرونة الاجسام شيئاً فشيئاً بتكرار تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا يندعم من مرونته في كل مرة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمناً طويلاً مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعاً بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الاعلى اتجاه مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق او على قطعة

من القماش قشما موجودا على لوح معدني فالتا نضع على الفرخ او القماش
 جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق
 الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وينقل
 هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرنين
 على التوالي ويجرد ضغطها للاجزاء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط
 معظمها بحيث يقع على جميع نقط السطح الذي تلاقى مع اللوح المعدني من جهة
 ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكتفي
 في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلان للانضغاط في تجويفات
 اللوح فيحدث من ذلك نقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من الفنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التي
 تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والواقعت كلها على نقطة واحدة
 فتفتت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خرطها وكان سطح تلك الاجسام يلزم
 الاعتناء به بالكلية فالتا نضع بين هذا السطح وفكي الكاشة جسما رخوا
 كالخشب والرصاص والنحاس وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة
 من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفي حزم البضائع ونحوها مما يجشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام
 مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الي بعضها بالجمال لان ضغط تلك
 الجمال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون
 ما يصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة

وسياتى في الدرر المعقود لاصطدام الاجسام اختبار مثل هذه التأثيرات
 في الاجسام المرنة المعدة لتحويل التحركات السريعة او تلطيفها

واذا فرض ان قوتين يؤثران في جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم
 عن بعضها فانهما يمدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم في جهة
 المستقيم الذي يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الي جهتين متقابلتين

وهناك اجسام يقع عليها تاثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام المرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئاً فشيئاً حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تاثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرنة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هذه الخاصية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت منكشمة او ممدودة وبالجملة فالاجسام منها ما يعود الى ابعاده الاصلية عوداً تاماً ما اذا نكمش ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتد ولم ينكمش

ومن المهم جداً في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الأولية التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرنة أن ينتخب دائماً لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من نظم ذلك في سلك التجاريب المضبوطة التي لم تعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيراً

وليس في الاوتار المتخذة من التيل والحريز والقطن ونحو ذلك ولا في السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرها بالنسبة لطولها وانما فيها قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلاً اذا كان المطلوب تحويل تحرك دووان من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فانتاقت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين حبل او سيراً يكون له في الشد درجة معلومة وتوزع الشد توزعاً منتظماً على جميع نقط ذلك الحبل او السير فيقع تاثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلية ولا يتأثر في ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل لو السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقبومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني

احتكاكاً يحول التحرك الى هذا القرص الثاني او الطنبور الثاني وبلاستعمال
تناقص المرونة المضادة للشدود تناقصاً تدريجياً فلذا كانت الحبال والسيور
المستعملة وان كانت مقاومة دائماً واسطة مر وتمهالاً تقاوم الاشياء شياً ولا تعتمد
الابالتدرج صج ومثل ذلك يحمل الانسان علي البحث عن الطرق التي بسلوكها
يجتنب هذا المذ (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار ممدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متطرقاً من
تقطعها ثم خليت ونفسها فانها تتحرك تحركاً متدرجاً كثيراً او قليلاً يعرف بتحرك
الاهتزاز فتشير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا
ازداد بالتدرج صج شد الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزازه
وانتقلت بالتدرج صج من الرخو الى الحاد ويكون في هذه الاصوات المتكوية بهذه
المنابة ما يطرب الاسماع ويصلح لان يعد من ألحان الموسيقى وقد تعينت بالتجربة
النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعني الانتقال المستعملة في تحصيل الشد الذي
تحدث عنه الحان الموسيقى فعلى ذلك يكون تعيين الالحان في الموسيقى نتيجة
تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وتراً واحداً وفرضنا له طولاً فان الاصوات في هذه الحالة
تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والآلات ذات الاوتار
عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متعدة الابعاد
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان الموسيقى وهي
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول
اذا نقص طول الوتر الباقى على شده الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه
تكون حادة مر تفعه بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طولها فانها تكون
رخوة

ودراسات الآلات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع الغرض منها ضغط نقطة
ثابتة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تنقيص طولها فعلى هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد اصوات مر تفعه قليلا او كثيرا وبذلك ترداد الآلات حسنا وجودة

ولما انهينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع في الكلام على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون مرنة كثيرا او قليلا وهذه المرونة تسهل صنعها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط النسيج ممدودة بالسوية في وقت واحد ولم يمكن تغيير بعدها بدون انقطاع فان عدم تساويها الناشئ عن الابعاد او عن الحركات التي تقتضيها صناعة نسيج الاقشة يوجب انقطاعها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا طرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرنة لا يتكون منها الا سطوح منفردة يفرضها غير قابلة للمتد أو سطوح لا تعود الى صورتها الاولى اصلا يفرضها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء تلك الاقشة انحناء أن يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر التحركات المختلفة الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريعا لاسيما في المفاصل لزم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه التحركات وأن تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وحميها الى بعضها الى قوة معلومة لا تتجاوز حدها فاذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا غير قابل للمتد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذي تكاد تزيد به ابعاد هذا اللباس المحيط به فلهذا كانت حارمة النساء الافرنجية والقفازات والجوارب وسائر اجزاء الملابس المباشرة بجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التي ليست مرونتها كافية ما ينشأ

عن هذه الخاصية من المنفعة للنوع الانساني
وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية في تكوين السطوح المرنة
التي ليس لها الخاصية قبول كل خيط منها للثابتة نصنع نسيجا تكون فيه الخيوط
على اتجاه منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها
فان النسيج الذي بهذه المثابة يقبل المداكر من النسيج الاعتيادي مع أن القوة
فيهما واحدة فاذا انقطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع
قطه المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا المنوال يصنع النسيج الجدول الذي يصير
بواسطة الامتداد والانضغاط صالحا لاجل احياء تامة لستر الاعضاء الانسانية التي
تتغير صورها وابعادها عند التحرك وهناك تأثير يضاهي تأثير الجدل وهو
الحادث من لف المسالك المعدنية لخالزونيالان هذه الخلزونييات ينشأ عنها انفراد
عظيم جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا يتفرد فيلزم
اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معدة للضغط او المديحدث عنها ممدودة وقبض
اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط ممدود ومن هنا استعمال السلوك المعدنية
المنثنية اثناء خالزونيالاشنطة الافرنجية المرنة وبيات العربات وما اشبه ذلك
في كثير من الآلات

ولما كانت الجبال عبارة عن خيوط منثنية اثناء خالزونيالان كان لها بذلك درجة
في المرونة تباين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدام مستقيما وهذه المرونة
تستحسن في الآلات لا سيما في ادوات السفن وموادها

وفي كائنات القري والارياض اسطوانات طويلة من صفيح مدهون بلون
البياض على صورة شموع كبيرة فتوضع فيها شموع اعتيادية ويوضع تحت تلك
الشموع خالزون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا
الخالزون انضغاطا قليلا اذا كانت الشمعة بجبالها لم يقص منها شيء فاذا حرق منها
جزء دفعها الخالزون ورفعها الى اعلى بحيث تكون قيلتها دائما في قطعة واحدة
على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشمعة
الكبيرة

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو في البحث عن تعيين المقاومة التي تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاتصال المؤثرة في جهة هذه الالياف .

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من الجهود التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نتجنب في الاستعمال النهاية المذكورة ما يمكن وكذلك في صورة عمل الاشغال التي يراد طول مكناها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تتناقص دائما بتداول الزمن عليها لاسيما وهناك عوارض كثيرة تطرأ على الاخشاب تقتلها وتغير اوصافها الاصلية

و ثم امر آخر ليس دون المتقدم في النفع بل ربما كان نفعه اعظم وان كان على ما يظهر دون الاول في العمل به وهو البحث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المتشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر في مقاومتها المنبهة .

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن يلزم ان يفرض أن القطع الخشبية القليلة الحجم تبقى على الصورة التي رسمت عليها رسما مضبوطا وهذا فاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدركها حواسنا لصغرها جدا ولكنها مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسيمة ولندكر لك شاهدا على ذلك فنقول

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هي السفينة والام تنظم في سلك الدونما القرنجية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلابلد أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل القرنجية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحتمل الف نقرم ما يلزم منهم من المؤونة مدة ستة اشهر ومن المدافع بقدر ما يلزم للعصن الخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة لما تحمله من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحائطين على جانبها المتخذين من الخشب لان

سبكهما ان لم يزد على سبك الحيطان الخارجة من المنازل القرنجية العادية فلا اقل من المساواة لها ولا بد أن تكون روابطها ومساندها على اختلاف انواعها محكمة الصناعة وكذلك ما فيها من النحاس والحديد المعدن لحفظ جميع اجزائها وامساكها فهل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير نعم هو في الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها في البحر ينشأ عن عدم تساوى التأثير الواقع من الاثقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجزاء تنحني في جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وترا طوله ٦٠ مترا كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكثر

ولاريب أن مثل هذا التغيير بعد تجسما اذبه لم يتبق السفينة على حالتها الاصلية بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم الذي يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الانحناء المذكور وجدته اقل من عشرين مليمترا وهو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوى اعظم قامة من قامات النوع الانساني .

وقد كنت اول من تصدى لتقدير هذا التغيير الغير البين الواقع في الاخشاب فقدرت اولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولا شك أنك ترى مع الفائدة أن ما ظهر بالتجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من القوانين وانواع الاختلال اعنى في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدو للناظر عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولندكر لك هنا على سبيل الاجال ما ألفناه من المباحث في شأن لين الاخشاب وقوتها ومرونتها بواسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسير سنة ١٨١٤ ميلادية وفي ترسانة تولون سنة ١٨١٣ ثم في ترسانة دونكرل في سنتي ١٨١٦ و١٨١٧ فنقول ان ما ألفناه في تجارب ترسانة قورسير مذكور في الجزء

العائر من كائنا المعروف بجرنال المهندسة واما الآلة التي استعمالناها في تجارب ترسانة تولون فصورتها مرسومة في (شكل ٩) وصوره الآلة التي استعمالناها في تجارب ترسانة قورسير مرسومة في (شكل ٢) قبرى في (شكل ٢) تازجة كبيرة مثبتا عليها مسندان اقيان في استواء واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وهما فيه من صور قطع اخشاب البلوط او السرو او الزان او الزانج او الصوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهي موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما وهي بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمشورات قصدا للاختصار اثقالا بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المشورات نوع انحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المشور مثل ضلع **أ ب ث** او **د ه ف** ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم في مستوي

رأسى والمتماثل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسى الممتد من نقطة المنتصف التي يكون الجمل واقعا فيها امتدادا عموديا على مستوي الانحناء وهذا المنحنى هو الذي كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من المشور المنثنى وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما عملته من التجارب انه متى لم تكن الاثقال كبيرة بالكلية كانت **غ ب** التي هي سهام قسى **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة

المنثنية مناسبة لهذه الاثقال ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوتر ثابت من عده قسى فان انحناء

تلك القسقى يكون مناسباً للسهام المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد استنبطنا من ذلك القضية الائمة التي توصلنا اليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهى أن انحناء الاخشاب الناشئ عن ائقال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الاثقال وذلك يكون بقياس هذا الانحناء بخط غ ب الذى هو سهم قوس أ ب اعنى بانخفاض النقطة المتوسطة من القاعدة

فان اذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندين اثقالاً مختلفة صغيرة فان هذه الاثقال تكون مناسبة لنصف قطر انحناء القاعدة فى النقطة المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسباً ايضاً لهذه الاثقال الصغيرة جداً

وبعد تعيين نسبة قوة الانحناء المنبهة والثقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغى النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله فى صورة ما اذا حمل الجسم اثقالاً كبيرة جداً اولاً وعليه ما يكون مقدار التغير الذى يعرض لهذا القانون

وقد ذكرنا انواع الخشب الاربعة التى يغلب استعمالها فى الفنون مع بيان اسمائها وربما استعمل من البلوط والراتنج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً كاخشاب السفينة الروسية المسماة مخيايل فانها تحترت سن ١٨١٦ من الميلاد بعد أن استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم يتبق هذه الاخشاب على قوتها الاصلية لكن حيث كان المطلوب تعيين القوانين التى تضبط بها قوة الاخشاب ومرورها بواسطه نسب عامة لاعلاقة لها بالشدّة الحقيقية للالياف التى على صورة انطوط ولا بانواع الاشجار واجناسها فان هذه الاخشاب تبقى بالمقصود من الاستعمال اكثر من الاخشاب المقطوعة جديداً وبالجملة فالسر والزنان اللذان مضى عليهما بعد القطع سنة واحدة يظهر من مرورتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب التى مضى عليهما بعد القطع خمس وعشرون سنة وبهذا يتضح ما ذكرناه وينظم فى سلك البديهيات

هذا وقد صنع اربعة مناشير او متوازيات سطوح طول كل منها متران وبعض

شيء ومقدار سمكها ثلاثة سنتيمترات ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حمل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد اثبتنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها اولا سهام القوس الذي تأخذه القواعد وثانيا الفروق الاولية التي تظهر بين هذه السهام وبالاطلاع على هذه الجداول يعلم اولاً أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه باربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا التناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالاطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرو والزان والراتنج يعلم أن الفروق الاولية الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الازدياد دائما

وهذه الفروق وان كانت لا تتخلو في الواقع عن خلل هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه بدون واسطة في الجهة المقابلة خلل يفوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا اخشابا محكمة الصناعة وعولنا في ذلك على الطرق الاخرى التي لم نذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة والفروق الاولية الحاصلة بين جلة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كأنها ثابتة اذا كانت الاثقال المحمولة على قطعة واحدة تزداد بفروق اولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكيفية للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلا قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلي المتحصل مساويا ٦ : ٤ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لا بد أن يترحلق كثيرا او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين

من الخشب على طولهما تتزحلق الالياف الخارجة من المنشور ترحلحا غير متواصل بل يكون بان دفاع تلك الالياف ووثوبها ووثوبها ظاهرا كثيرا كان او قليلا ولا تنس اننا كالمقيمين ببلدة ليس بهاشي مما يخص الفنون حتى الموازين المضبوطة ضبطا كافيا بحيث يتوصل بها في تحرير الشيء وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من الف وسيسأى في أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحد المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حمل كبير جدا يبلغ قدره ٨٠ كيلو غراما فابلنا النتائج المتحصلة معنا بالنتائج المتحصلة من حمل يبلغ قدره ٤ كيلو غرامات فقط فوجدنا بمناسبة ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيرا اذا كان الحمل كبيرا ومثله البلوط والرأينج والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهي ان هذا الخشب ينحني اكثر من غيره من انواع الخشب التي تكون مقاومتها المنبهة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المنبهة لاى نوع من انواع الخشب قوية جدا في صورة ما اذا كان الحمل كبيرا بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة في هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان في غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس مخرطه لانها به تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البحارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يحمل ما يعرض له من الجهودات العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة في الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الاثقال عليه لا يمنع من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه لقله لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريبا فهي على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التي تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة في التجاريب المتقدمة فكانت في الترتيب كالتقاومات التي تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة في شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متحدتان في حجم الخشب لاني نوعه فالمنوعة من الخشب الثقيل
يكون تقوسها او انحناءها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف
لان تقوس السفن يكون على حسب لين اخشابها
فاذن يلزم أن يكون تقوس سفن ببحر بلطق والفالنك اكثر من تقوس سفن
البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة
فعلى ما ذكرناه اذا كان هنالك سفينتان متحدتا الاخشاب ثقلا وقدر الانوعا
فما كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى
في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشهير دون جرجي جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى
حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الخفيفة كالاخشاب الصغية لامن
اخشاب البلوط

وبالجملة فالتجارب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق
حساب النتائج المتشابهة وتحصيلها بدون احتياج الى عمل التجارب ذات
المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الاخشاب وبهذه الطريقة تعرف
اوصاف الاخشاب التي تلائم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما فن
العمارات البحرية ايجاد المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل
سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج
المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم نفعاً واكثر فائدة
وبعد أن ذكرنا التجارب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتحددة
الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة
الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب السمك وقد بينا
بالتواعد العلمية حقيقة هذه التجربة

فاذا اتى متوازي سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تتقبض وأليافه
الخارجة تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان اتخاها متوازي السطوح

ولاجل اثبات تاثير مده الالياف واتقياها اخترع المهندس دو هاميل تجربة بدعيه وهى انه نشر من المنتصف نشر عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل في حزم المتشار خابورا رفيعا جدا من خشب شد صلابه من خشب البيلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفها وكانت لواجهه التي بها حزم المتشار في الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية فان كان حزم المتشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والافصغرة ومتى تعين بالتجربة الوضع المضبوط لليف الثابت الذي لا يتغير سهل بذلك استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المده والقبض المفروضين في االياف قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودون كرك من التجار يرب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعماقليل نشر ذلك ونشره

وبعد ان حصلت التجربة في تحميل قطع الاخشاب باثقال مجتمعة حصلت ايضا في تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد ان الاثقال سواء كانت مجتمعة في منتصف قطعة الخشب او متوزعة على طولها توزيعا منتظما تكون فيها نسبة الاسهم اى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الاخشاب المتنوعة الصنف او المختلفة الابعاد

فاذن اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب وحدة فبتضعيف خمسة اثمان السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفها اسنادا افقيا يحصل السهم الذي يكون لها عند تحميلها ثقلا مساويا لثقلها لكن بشرط اجتماعه في منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة في وزن الاخشاب الثقيلة الطويلة بدون موازين بشرط ان يكون سمكها ثابتا لا يتغير

وبموجب

وبموجب ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف
قطعة من خشب كثقل موزع على طولها توزيعاً منتظماً وعكسه وفوائد ذلك
كثيرة في الفنون

وقد عينا الخناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل
قطعتين من الخشب سمكهما واحد ينثيان كقوسين سهمهما مناسبان لمكعبات
ابعاد المساند ولا يخفى أن كل سهم بين المساند يكون كمكعب السمك المقابل له
وبانضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تكون
فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاجمال تتوصل الى هذه النتيجة الغربية
وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعدهما المتناظرين
متناسبين ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان
سهمي القوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصلى يكونان مناسبين بالضبط
لمربعي طولي هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين
المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء
ولا تختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة
او متوزعة الا أن هذه الاثقال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالباً في عمليات اشغال الفنون لان العبارات
والالات على اختلاف انواعها متناسبة الاجزاء عادة فاذا كان المطلوب
المقابلة بين سفينتين متحدتي المادة وكانت ابعاد موادهما مناسبة لابعاد هاتين
السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفينتين يكون له
في صورتهما انحناءهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي

ثم انه يلزم الا ان معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة
معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزداد كربع
الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما سلفناه في شأن السفينة
التي طولها استون متراً وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة
المشابهة لها التي طولها متر واحد عوضاً عن أن يكون جزء من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جزء من مائة من نصف متروهي نسبة بسيطة تتعلق بالاطوال
ولنشرع الآن في بيان تكسير الاخشاب فنقول ليست الاخشاب قابلة
الا لتقباض ومد معينين بحيث اذا تجاوزتهما اندقت وتبسطت او تكسرت
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الاخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل
بها الانحناء بل تختلف باختلاف انواع النباتات فقد يحدث عن بعض انواع
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب
في النباتات الصغيرة وكالزان والدردار والجوز والراينج ونحو ذلك في الاشجار
وقد يكون بعض الانواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكابلي ونحوهما وبذلك يتحصل درجة
ثانية من الاخشاب وهناك انواع اخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة الى
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة
الذي هو اعظم المغروسات بالولايات الفرنجية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها اهمية عظيمة في الفنون اذ بها يتعين ما تستعمل
فيه اقسام النباتات المتنوعة عند توغر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل
في العمارات الدائمة التي يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك اجزاء
الآلات المعدة لتحمل مجهودات عظيمة الاخشاب النباتات الشديدة الصلابة
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء اكثر كاخشاب الدرجة
الثانية الا أن الاولى قصر استعمالها على الاشغال الخفيفة التي الغرض الاصل
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

واما اخشاب الدرجة الاولى فينبغي قصرها على الاشغال التي يشترط فيها المرونة
وذلك كالعربات على اختلاف انواعها وآلات الزراعة وصواري السفن
ومجازيف المراكب الخفيفة وما اشبه ذلك

واذا اجريت عمليات التجربة والحساب على القوتين اللتين يكونان لاختساب
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الاخشاب حق
المعرفة فاذا ن يمكن في جميع الاحوال أن تختار من الانواع ما يكون اتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم اذا كان المؤيد له اعانات علمية هينة ليست على ما ينبغي ولنبحث عن قوة الخشب عند مقاومته للتكسير فنقول اذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة **أب ش د ف** (شكل ١) وثيناها على **أب ش د ه ف**

(شكل ٢) فان ليف **أب ش** الخارج يمتد وينسط وليف **د ه ف** الداخل يتقبض وينكمش واذا رسمنا عدة مستقيمتين كاستقيمتين **أ ١** و **ب ٢** و **ج ٣**

القائمة على واجهة **أ ش د ف** (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل لقطعة الخشب فان خطوط **١ ١** و **ب ٢** و **ج ٣** الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيطي **أ ب ش و د ه ف** (شكل ٢) فاذا نألف الخشب عند انثنائها على بعضها لا يتزحلق بعضها على طول البعض الآخر مثلا بعض ألياف الخشب المنحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر أيضا في مسافة ١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تقبض يفصل بينهما

م ن و الذي لا يمتد ولا يقبض فلذا سمي بالليف الثابت

ومد الالياف خارج ليف **م ن و** الثابت يكون مناسباً لبعدها عن هذا الليف

وكذلك انقباض الالياف داخله يكون مناسباً لبعدها عنه

وقد استنبطنا في النبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة

بمقاومة الاخشاب عند انحنائها او تكسيرها

وهناك اخشاب متحدة النوع والقوة متى ثبتت على اى منحنى كان تكسرت اذا

امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الالياف

ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتنية على محيط ما يزيد سمكها او يتقص بشرط

أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط فتي تكثر سمك القطعة المذكورة

مرتين او ثلاثا او اربعا الخ فان مد الليف الخارج يتكثر ايضا مرتين او ثلاثا

اواربعاً فاذن اذا نقص معنى محيط $\overline{ا\theta}$ بنسبة ازدياد سهمك قطعة
الخشب المتقدمة فان درجة مد اليك الخارج تكون واحدة دائماً

ومتى ثبتت قطعة خشب كقطعة $\overline{ا\theta}$ (شكل ٣) مستندة على مسندى
 $\overline{ا}$ و $\overline{\theta}$ وواقع عليها تأثير قوة $\overline{ف}$ التي هي على بعد واحد من نقطتي
 $\overline{ا}$ و $\overline{\theta}$ ظهر أن نصف قطر انحناء $\overline{ا\theta}$ في نقطة $\overline{ب}$ التي هي منتصف
هذا المحيط يكون مناسباً للكعب بعد $\overline{ا\theta}$ عن مسندى $\overline{ا}$ و $\overline{\theta}$

وفي الانحناءات الصغيرة جداً يكون $\overline{ر}$ الذي هو نصف قطر انحناء $\overline{ا\theta}$

مناسباً $\frac{\overline{ا\theta}^2}{\overline{ر}}$ يجعل $\overline{غ}$ عبارة عن سهم $\overline{ا\theta}$ فاذن يحدث
 $\overline{ر} = \frac{\overline{ا\theta}^2}{\overline{غ}}$ و $\overline{غ} = \frac{\overline{ا\theta}^2}{\overline{ر}}$

وحيث ان قوة $\overline{ف}$ مناسبة $\overline{غ}$ فان $\overline{ف}$ تكون مناسبة $\frac{\overline{ا\theta}^2}{\overline{ر}}$

ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم $\overline{غ}$
ومنعكسة من مكعب $\overline{ا\theta}$ الذي هو بعد المسندين فاذا جعلنا $\overline{د}$ رمزاً
الى عدد ثابت حدث

$$\overline{ف} = \overline{د} \frac{\overline{غ}^2}{\overline{ا\theta}^3} \quad \text{و} \quad \overline{ف} \times \overline{ا\theta} = \overline{د} \frac{\overline{غ}^2}{\overline{ا\theta}^2}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة $\overline{ا\theta}$ (شكل ٤) سمكها كسمك

قطعة $\overline{ا\theta}$ (شكل ٣) حدث ايضا

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا\theta}^2}{\overline{غ}} \quad \text{و} \quad \overline{ف} \times \overline{ا\theta} = \overline{د} \frac{\overline{غ}^2}{\overline{ا\theta}^2}$$

وحيث كان يلزم أن $r = r$ في حالة التكسير لازم أن يكون

$$\frac{a^2}{r} = \frac{a^2}{r} \quad \text{فبناء على ذلك يلزم أن يكون} \quad \frac{a^2}{r} = \frac{a^2}{r}$$

$$\frac{a^2}{r} = \frac{a^2}{r} \quad \text{فاذن يكون} \quad f = a \times r = a \times a$$

انه اذا ثبتت قطعة من الخشب بين مسندين بعدهما متغير حصل التكسير بواسطة تأثير قوة تزداد بقصان بعد المسندين وبالعكس

واذا التقينا الى كل من سمك b وبعد a معا وجعلنا m رمزها الى عدد ثابت كان مقدار قوة f التي ينشأ عنها الانحناء هو

$$f = m \times \frac{a^2}{r} \times \frac{b^3}{a^3} = m \times \frac{a^2}{r} \times \frac{b^3}{a^3}$$

فاذا بلغت الاخشاب المختلفة السمك الحالة التي يحدث فيها التكسير كان نصف قطر r على نسبة مطردة من سمك قطع الخشب فاذن اذا جعلنا c عبارة عن عدد ثابت حدث

$$r = c \times b \quad \text{فاذن يكون} \quad f = \frac{a^2}{c} \times \frac{b^3}{a^3}$$

فاذن اذا كان a الذي هو بعد المسندين باقية على حالة واحدة كانت قوة f التي يحدث عنها التكسير مناسبة لمربع السمك

وهذه الخواص عامة في متوازيات السطوح المرننة التي تتكسر بمجرد انحنائها انحناء صغيرا جدا والمتوازيات المذكورة اما من الخشب او الحديد او النحاس او الحجارة او نحو ذلك ومن هنا تحدث نتائج مهمة في الصناعة

وعوضا عن أن نستعمل الشواحي والعوارض والاشخواب المربعة على حسب الاصطلاح القديم نجعلها رقيقة جدا اذا كانت اقبية وعريضة جدا اذا كانت رأسية لما في ذلك من مزيد الفائدة

ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحدتي الطول وسمك
احدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الاخرى ٣ وسمكها ٣
(شكل ٦) فنقول

ان مقاومة العارضة الاخيرة تكون مناسبة لعرضها وهو ٣ مضروبا
في مربعه وهو ٩ فينثذ يكون $9 \times 3 = 27$ هو مقدار مقاومة
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة
المساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر $9 \times 9 \times 1 = 81$
فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة امثال العارضة المربعة في الشدة
والصلابة

واذا كان هنالك قطع خشب او حديد او نحوها متفرقة سواء كان المطلوب
استعمالها في عمارة أو آلة وكان الغرض منها مقاومة الثني ثم الكسر في جهة معينة
لزم أن يكون سمكها كبيرا في تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيبات فليبيرت دلورم المهندس الشهير وهو اول من صنع
تلك التخشيبات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الالواح المتقاطعة الاطراف
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات بريمة محجوفة فبانضمام هذه الالواح الى بعضها
يتكون منها تخشيبات خفيفة الا انها متينة صلبة تحمل القباب والسقوف
وما اشبه ذلك

فاذا اقتضى الحال مقاومة الثني والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد
من وجود المتانة والوفر معا وذلك باستعمال قطع اخشاب صورة جابها كصورة
الصليب اليوناني (شكل ٧) او كصورة (شكل ٨) التي بطرفيها
ثنيات بارزة جدا ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الالات المتخذة من
الخشب او المعادن

واذا فرضنا أن المستعمل قطع مستديرة فان مقاومتها عند الكسر حيث انها
مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السموك تكون ايضا مناسبة للقطر

مضروبا في مربعه اعني في مكعب قطر الاسطوانة غير المجوفة المستديرة التي يقع عليها تأثير الثني ثم الكسر

وفي الاسطوانة المجوفة فوائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك لانظامها و حسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ماهو من قبيل هذه الاسطوانة المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك ك ريش الطيور فانه على صورة اسطوانة مجوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذي يقاوم الاعصاب القوية المعدة لتحريك الاجنحة واذا قابلت خفة الريش بمتانته وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المجوفة المتخذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهي جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المجوفة ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك باتخاذ القوائم والعوارض من الخشب على صورة اسطوانة مجوفة وهناك كثير من هذا القبيل

* (الدرس الخامس عشر) *

* (في بيان اصطدام الاجسام) *

قد سبق ذكر المقاومات غير البينة التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام المتماسسة المحتكة على بعضها ولنذكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل عند تلاقى جسمين متحركين على حين غفلة كانا مفصولين عن بعضهما بمسافة حينما اتفق وهو المعروف بالاصطدام او بالالتظام فنقول

ان سائر الاجسام الطبيعية في حال انفرادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المحركة لها متساوية وكان مجسمها واحدا

ولكن اذا تلاقى جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها
وكل جسم ثبت له هذه الخاصية اعنى عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى
جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهي التي تتغير صورتها بالاصطدام او بمجرد
الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخوا بواسطة ضغط او اصطدام او قعنا عليه تأثير
مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مانع فلا يلزم
ابقاع تأثير مقاومة ما عليه

وهناك اجسام كالهواء الجوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط
دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تتباعد عن بعضها بكمية
لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبده بالنوع الاقل من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة
ما لا يلحقه ادنى تغير في صورته ولو وقيا وهذه هي الاجسام التي يصح أن تسمى
بالاجسام التامة الصلابة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام
وهي المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام
او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي \bar{A} و \bar{A} (شكل ١)
يتحركان على مستقيم \bar{G} المار بنقطتي \bar{G} و \bar{G} اللتين هما
مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي \bar{B} تكون عند
الاصطدام على مستقيم \bar{G} \bar{G}

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم
 \bar{G} \bar{G} المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما وفاضلها على
حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين
واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين
ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين
في الجهتين كان فاضلها صفرًا

واما اذا اختلف الجسمان في الجسم او السرعة فانه من حيث ان وحدة القوة تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة الزمن يكون العدد الكلي للدال على قوة احد الجسمين المتحركة هو عدد آحاد مجسم الجسم مضروبا في عدد آحاد المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة الزمن

مثلا اذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا الى مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة ظهر لنا فوراً أن القوة التي تنقل في مثل هذا الزمن عشرة كيلوغرامات الى مسافة متر واحد او كيلوغراما واحدا الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا ايضا أن القوة التي تنقل في الزمن المذكور عشرة كيلوغرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من القوة المذكورة بمائة مرة وهم جزاً

واذا قدرنا بهذه المثابة القوة المؤثرة في الاجسام المتحركة تحتر كما منتظما بواسطة افعالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة افعالها مضروبة في سرعتها تحصل معنا ما يعرف بجسمية تحرك الاجسام

فاذا جعلنا م و م رمزين يجسمي غ و غ و ق و ق و ن
رمزين للسرعتين الدافعتين لهما التحصل معنا كبتنا تحركهما وهما م ق و م ن
اعني القوتين الدافعتين لهما ولجعل خ كتابة عن م ق و غ كتابة
عن م ن

ومتى تحرك الجسمان في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المتحركتين وهو

م ق - م ن هو القوة المحصلة المتحركة للجسم م + م
وحيث ان هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوي
القوة مقسومة على الجسم فان تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{م ق - م ن}{م + م} = \frac{غ - خ}{م + م}$$

وفي الاصطدام الذي اختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي $مق + م$ ولا تكون بعده الا $مق - م$ فاذن تكون كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية $٢ م$

فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الموجهتين متقابلتين ولم يكونا مرين فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية لضعف اصغر الكيميتين المذكورتين

فاذا اريد حينئذ ان لاتعدم قوة ما في تحرك الآلات لزم ان لا يكون هناك اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الآلات المتحركة في جهات متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغي العمل بها في صناعة الآلات وتحركها فان كل وثبة او تحرك سريع ينشأ عنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك دائما وانيهما تغيير صلابة الآلة ومدتها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المحركة للجسم $م + م$ تكون في مدة الاصطدام $مق + م$ وتكون السرعة التي يتحرك بها هذان الجسمان هي

$$\frac{مق + م}{م + م} = \frac{م + م}{م + م}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية فنفرض ان جسم غ مجسم ا قدره ٣ كيلوغرامات ولجسم غ مجسم ب قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضا ان غ يقطع مسافة مترين في مدة ثانية واحدة وان غ لا يقطع في هذه الثانية الا مسافة متر واحد فتكون كمية تحرك جسم غ هي $مق = ٣ \times ٦ = ٦$ وكمية تحرك جسم

$$غ هي م = ١ \times ١ = ١$$

فاذا تقر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث $مق - م$
 $٤ = ١ - ٦ = ٥$ و $٣ + م = ١ + ٤ = ٥$

فاذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما $\frac{1}{2}$ اعنى أن كلام من الجسمين يقطع $\frac{1}{2}$ من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فاذا كان الجسم الصغيره سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتار في الثانية الواحدة فانه يحصل

$$م = ٦ \times ١ = ٦$$

فاذن تكون $م = ٦$ و $م = ٦$ وبناء على ذلك يحصل التوازن

فاذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاوّل أن يدفع عليه جسم مساوله في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرعته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائماً شواهد الدالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيلة قليلا او كثيرا على حسب مجسم الجماد او الحيوان الذي يدفع على النوع الانساني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجماد وتأخيرها او سقوطه كما هو الغالب فن ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجري يسقط باصطدامهم من هوا كبير واثقل منهم كثير كالجبال اذا كانوا يعيشون الهوى بنا ومن هذا القبيل ايضا العرب العريفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تغلب العرب التي تكون اقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكُتّاب ذات صف او صفين ثم ترتفع بسرعة تتزايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكُتّاب خيالة كانت او قرابة والغرض هنا معرفة ما يحصل حينئذ بما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعنى مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتظفر بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة
المصدومة مساويا لفاضل كيتي تحتر كهما مقسوما على مجموع الكيتين
ولنفرض أن الكتيبة المهجوم عليها ثبت محلها وتمشى الهوي ناحتي تصادمها
الكتيبة الهاجة فحين ان كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوي الكتيبة
مضروبة في سرعة تساوي صفرًا فان هذه الكمية تصير معدومة فلا تكون
موازنة لكمية تحرك الكتيبة الهاجة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المؤلفة من خيول ورجال شداد ثقال
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة اخرى اخف منها لكن اذا كانت
سرعتها متوسطة فانها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة او قلبت خيولها
ورجالها الخفاف لتندفعين عليها بسرعة عظيمة ثم ان الغرض الاصلى من هجوم
الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية
التي يتوصل بها الى ذلك نقول

ان حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق ابالكتيبة والسرعة في هذا
الوقت فيكفي أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا واذا كان المطلوب مثلا لتلطيف تحرك
جسم ثقيل وقع من ث الى ح (شكل ٢) بسرعة معجلة فلا يلتفت

عند وصوله الى ح الى ما كان له من السرعة في ح و ع و ح الخ
اذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة اعنى اذا كان متحركا على
الدوام بسرعهه الاصلية ولم يأخذ في مبدئه تحركه سرعة هينة تزداد بالتدرج
فان تكون مصادمة الشامر دان للخابور واحدة اذا كانت سرعته واحدة دائما
في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفر عظيم في القوى اذا كان التحرك في مبدئه الامر
بطيا بالتدرج وكانت السرعة تزداد بالتدرج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى
الا في وقت الاصطدام

ولندكر لك وفر القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول ان اعظم جزء

من المسافة المطلوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوى بنا خطوة خطوة
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالجنب والرابع وهو الاخير بالركض
والعدو بحيث لا تنقطع فيه حركة الخيل وتكون كلها في التحرك بحسب واحد
فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كالمو كان للخيول من مبداء الركض
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها ان تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه
السرعة لان ذلك يؤدي الى فتور همتها وانعدام قوتها من غير ان تتجدد فيها قوة
اخرى

ويظهر ان تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من
الوضوح والظاهر ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف
ويوقف على حقيقتها الا بعد مضي عدة قرون

وذلك ان الامة الرومانية مكثت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأثير سرعة
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديا الخفيفة
فانها علمت بهذه القواعد فظفرت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها
وايضا لما كانت قلبة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عما ابتداهم منه كان امراء
الرومان الشوالية ينتهزون الفرصة وينزلون على الارض ويقاثلون بجميع كية
التحرك التي تصدر من الابطال وغول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشى
ولا من الجري

وقدم مكثت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات
فريدريك التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المثلث آخرين
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر

وتجربى هذه القواعد ايضا في حروب القرابة وسائر الجيوش على اختلافها
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكائب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها

هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها نقط مادية ولنعتبر
الآن امتدادها وصورتها حتى نتضح لنا احوال توازنها وتحركاتها فنقول

اذا فرضنا أن جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة
 اوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم $\overline{غ}$ الواصل بين مركزي النقل ثم فرضنا
 أن سطحي هذين الجسمين عمودان في تقطعي $\overline{ث}$ و $\overline{ش}$ على مستقيم $\overline{غ}$ المذكور
 فان القوة التي تصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ تنعدم بواسطة سطح $\overline{م}$
 وكذلك القوة التي تصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ فانها تنعدم ايضا
 بواسطة $\overline{م}$ هذا اذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحي الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم
 $\overline{غ}$ الا انهما متوازيان في $\overline{ث}$ و $\overline{ش}$ الموضوعتين على مستقيم $\overline{غ}$
 الواصل بين مركزي ثقل جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) وليكن $\overline{اث}$
 و $\overline{اث}$ رمزين الى جزئي مستقيم $\overline{غ}$ الدال على كميتي التحرك
 الدافعتين لجسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ ولتد $\overline{بث}$ عمودا على الاتجاه المشترك
 بين جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ في $\overline{ث}$ ثم تد $\overline{اب}$ و $\overline{ا}$ عمودين على
 $\overline{بث}$

فاذا حصل الاصطدام تحرك اولا جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ تحركا مستقيما
 في جهة $\overline{غ}$ بسرعة مشتركة مقدارها $\frac{\overline{اث} + \overline{اث}}{\overline{م} + \overline{م}}$
 وثانيا يدور $\overline{م}$ و $\overline{م}$ حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر
 $\overline{شب}$ - $\overline{ش}$ و $\overline{ش}$ - $\overline{شب}$ ومقسومة على مقدار
 اينرسي $\overline{م}$ و $\overline{م}$

ويؤخذ من هنا أن الجسمين يتصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة
 ما زال يمكن سطحهما عمودا على المستقيم الممتد من مركزي ثقلهما
 وهناك صورة اصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لا تكون فيها نقطة

نماس الجسمين عند الاصطدام موجوده على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل

غ و غ

ولما انهمنا الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين

على مستقيم واحد مناسب أن تكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين

بينهما زاوية ما وتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ

هما القوتان اللتان على كيتي التحرك الدافعتين للجسمين فاذا رسمنا متوازي

الاضلاع وهو ا ب د ث الذي ضلعا وهما ا ب و ا ث مناسبان

لقوتي ح و خ كان وزره وهو ا د دالا على كمية التحرك الدافعة

للجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان

الجسمان بعد الاصطدام اذ لم يكونا مرين فاذا جعلنا م و م رمزين

لجسمي الجسمين فان سرعتهم بعد الاصطدام تعلم من

اد م م + م

هو عبارة عن كمية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منحني

متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان في الزمن القليل

الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير مما س للمنحني في النقطة

التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلا بندولين بسيطين كبندولي ح و ع

(شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان مجسما هذين البندولين فان قوانين

الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا

في الوضع الذي يكون فيه كل من خيطيهما رأسيا لان جسمي ح و ع

يصلان الى هذا الوضع بكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع ع ح

المماسين في ح و ع لمستقيم ط ط

فاذا رفعنا حينئذ الى ارتفاع واحد من خ و ع مجسمي ح و ع

المتساويين فانهم ما ينزلان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ع
فيتصادمان فيما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان
هنا من الجهتين فان التوازن حينئذ يكون حاصلًا ولا يتحرك الجسمان بعد
الاصطدام

فاذا كان احد الجسمين كبيرًا حصل التحرك في جهته على حسب القانون المعلوم

$$\text{من معادلة } \frac{م ق = م م}{م + م}$$

ولنختبر الآن اصطدام جسم يتحرك تحركًا مستقيمًا مع جسم يتحرك وهو دوائر
على نفسه فتقول

لنفرض أن جسمًا بجسم م (شكل ٩) مركز ثقله في غ يدور حول
محور ث ا بين نقطة ث وقد اثبتنا في الدرس السابع من هذا الجزء

انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن

أن نفرض دائماً أن مجسم جسم م يكون محصوراً بتمامه في نقطة ث

ويكون زيادة على ذلك مدفوعاً بسائر كمية التحرك التي تكون للجسم بدون تغير

سرعة هذا الجسم المتروكة ولنفرض أيضاً أن جسم م يعارضه عند تحركه

مانع مثل م وانه في نقطة آ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح

المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث أ العمودي على ث ث فينعدم

جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذن يبقى الجسم ساكناً

بواسطة تأثير الالتطام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتاً وتعرف

نقطة ث المذكورة بمركز الالتطام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث

يكون بعد ث د أكبر من ث ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)

فان محور الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوتى ف و و يكاد ينثنى او ينكسر بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ش (شكل ١١) فيحدث بموجب توازن القوى المتوازية

$$\text{ف} \times \text{ث} = \text{ش} \times \text{د}$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير ف الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام

مساويا ف - ف (شكل ١٠) و ف - ف (شكل ١١)

وحينئذ فكما كان الاصطدام حاصل على مستقيم اف ولم يكن على

بعد من ث = ث عرض لمحور ث الثابت مقاومة من الاصطدام

فاذا كان ثد (شكل ١٠) اكبر من شد دفعت مقاومة

الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م واذا كان

ثد اصغر من شد دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة

دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون

فنستعمل غالبا المطارق والمقارع التى تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل

الاصطدامات * ولكيلا يعرض لثغور المطرقة وهو ث (شكل ١٢)

مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة في شكل ٩

فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندان و ا هى النقطة التى

يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودى فى نقطة ا على سطح

المطرقة مارا بنقطة ث التى هى مركز الاتظام وكان مستقيم ثد

عمودا على اث

فاذا حرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة

مستوفاة عرض لليد مقاومة مؤلمة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مضادة

لجهتها او مغموطة فى جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التى يقع

فيها الاصطدام قريبا قليلا او كثيرا او بعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم لجسم يستعمل في تحريك بندول يرتج حول محور
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب الحاصلة في شأن البندولات الطولية
فلنفرض كتلة مجسمة من الخشب ككتلة م (شكل ١٤) محاطة بروابط
من حديد ومعلقة في محور ث بفضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كلة كتلة م في بندول م ولا بد ان نحذفها بحيث
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة ث التي هي مركز الانتظام فاذا وقينا
بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو ث وتكون سرعة
البندول المتزوية مساوية م \times ث ث ومقسومة على مقدار اينرسي
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار اينرسي البندول ومجسهي م و م وبعد ث ث علمت
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هي
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المحذوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس
اهمية عظيمة في فنون الطوبجية

وقد تقدمت ان القوى تنعدم كلما كان تأثيرها واقعا في جهات متقابلة فاذا كان
المطلوب ان القوى لا تنعدم كما هو الواقع في اغلب الآلات لزم ان تجتنب
في هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التمركات
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن ان تكون متواصلة
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما
بعض اصطدامات مضرة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرقعة
ويتعمل بها ما تلاقه علم من ذلك ان اجود الآلات هو ما يكون تحركه صادرا
مع الانتظام والल्प بدون قرقعة ولا اضطراب

ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات في اجتناب مثل هذه
الاصطدامات في الطارات المضرة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس D من طارة W ينقلت في وقت دفعه لضرس S من طارة E وقبل أن يصل ضرس D الى ضرس S من الترس الصغير فلا يجدها هذا الترس حينئذ ما يعارضه فاذا وقع عليه تأثير قوة تحرك تحركا تقهقريا حتى يتلاقي D مع S فاذن يحصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس D الى S قبل انفصال ضرس D و S عن بعضهما

ولندكر لك هنا الملحوظات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجرى في سائر انواع الآلات فنقول انه بموجب ما سبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض لجزءها الاسفل انكماش وانقباض وجزءها الاعلى انبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين اولاً امتداد الياف الخشب او انكماشها وثانياً تلف قطع الاخشاب المتلاصقة وانفصالها عن بعضها وثالثاً اثناء المسامير المسكة لها او تكسرها وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير انها فيما بعد لا تتناقص بنسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التي انفصلت عن بعضها لا تتصل ثانياً الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياف المنكمشة لا تعود الى طولها الاصل بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيراً شديداً

وانحلال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا او كثيراً على حسب الاجزاء التي كانت مجتمعة معه في الاصل قبل الانحلال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

واذا فرضنا أن القوى المغيرة مؤثرة في سفينة جميع اجزائها متحركة فان اول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذ من الاتجاهات بواسطة تحركها ولا يعارض تحويل تلك المواد الامقاومة انيرسيها والى هنالم ينقص شئ من كية القوى النشاطية الدافعة للسفينة بتمامها وانما يعرض لكلي جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء حدث عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكفي الضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد وتنكمش وبلا اصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويزداد تحرك قطع الخشب على الدوام وينشأ لئما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطيرة مضرّة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات هوناشئ بالضرورة عن السرعة الغير البينة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في وسق السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن تطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا ينضم فيها تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة تناقل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا اوقليلا اوفي حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا اوقليلا النابتة كثيرا اوقليلا او الدافعة كثيرا اوقليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند المقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والريح كثعبان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتوج ينحني وينثني في المستوى الراسي من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره تلك الشابة خط منعوج

ثم ان قوانين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي لقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجرام المتوقعة من هذه الاجسام لا يغير شيئا

من المتحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة
فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متحركين مجسما وسرعة ففوضا عن
كونهما يتوازنان ويلازمان السكون بعدم كل منهما قوة الاخر ويجول اليه
جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له
من السرعة قبل الاصطدام ولا تغيرية تحركه وهذه الخاصة للاجسام المرنة
المتحدة في الجسم والسرعة لا تتغير بتغير الجسمات والسرعة بحيث يبقى مجموع
كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولندكر لك هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم أ
الساكن (شكل ١٦) يصادمه جسم ب المتحد معه في الجسم وهو
م وفي السرعة وهي ق فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم أ
و م ق بالنسبة الى جسم ب فينتد تكون الكمية المذكورة بالنسبة
للجسمين هي م ق فاذا ن يوصل جسم ب الى جسم أ ساكنية
التحرك وهي م ق غير أن جسم أ لا يمكنه أن يوصل الى جسم ب
الأكية تحرك تساوى صفرا اعنى معدومة فاذا ن يعلم جسم ب كمية تحركه
بتمامها يبقى ساكنا واما جسم أ الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم ب
واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم ب
ولنفرض الآن أن هناك (شكل ١٧). ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم
كاجسام أ و ب و ث وليكن جسم ث هو المتحرك دون
غيره فبصادمة هذا الجسم لجسم ب يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى
ساكنا وكذلك بصادمة جسم ب لجسم أ يوصل اليه جميع كمية تحركه
ويبقى ساكنا فاذا ن يتحرك جسم أ دون غيره بكمية التحرك التي كان
يتحرك بها جسم ث

ويتصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ
متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد

الاصطدام ساكنة دائما كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير
الى الامام بجمع كمية التحرك التي كان يتحرك بها الجسم الاخير
وتتضح هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة ك من العاج مثل **ا** و **ب**
و **ث** (شكل ١٨) نعلق بخيوط علي صورة بندولات
فاذا ابدت اولاً كرتين احدهما عن يمين الخط الرأسى الممتد من نقطة
التعليق والاخرى عن شماله وخلياً ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانهما يصلان
الى الخط الرأسى في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتقهقران في طريقهما
بالسرعة المذكورة

فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به في الفراغ فان الاكرت تصعد بالضبط الى ارتفاع
مبدئيهما فاذا وقعت كاهما من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا
بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائمي غير أن العاج ليس من الأجسام
التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذن تصعد
الاكرت عقب كل اصطدام شيئاً الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجاء
كيات تحرك تلك الاكرت بالكلية

واذا علقت ثانياً ثلاث اكرت من العاج وكانت مماسة لبعضها البعض ورفعت الكرة
الاولى وهي **ا** الى **ح** (شكل ١٨) ثم خليت ونفسها للوقوع فان الكرة
المتوسطة وهي **ب** تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخرى وهي
ث الى **خ** في ارتفاع نقطة **ح** ثم تقع ثانياً وتوصل تحركها بواسطة
كرة **ب** الى كرة **ا** فتصعد الى **ح** ثم تهبط كالكرة الاولى وهم جزاً
ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربع اكرا وخمس اوست
او اى عدد كان من الاكرت

ولا تقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل تذكر ايضا قوانين
اصطدامها المنحرف متصيرين في ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت
ومستويا الاخر كروي وروما للاختصار حسب الامكان فنقول
انه في الوقت الذي يتلاقى فيه في نقطة **ث** كرة **ض** (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة أو المنحرفة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول نقطة θ بقوة تساوي $\theta \times \theta$ الذي هو خط عمودي على θ و θ وترسم مستطيل θ الذي ضلعاها θ و θ موازيان لمستوى θ من ضلعاها الآخران وهما θ و θ عمودان على هذا المستوى

فحيث ان قوة θ أو θ تتحلل الى θ و θ اذا كانت الكرة والمستوي جسمين مجزئين عن المرونة لم يبق معناذنا الا θ و θ واما قوة θ التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدمها هذا المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوي θ من ضغط θ تتحرك الكرة المدفوعة بقوة θ والموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة عن التزحلق على مستوى θ فانها تتدحرج على هذا المستوى كما تتدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى بتمامه مصقولاً بالسوية كانت مقاومة الاحتكاك واحدة بالنسبة لضغط

θ

فاذا لم يكن للجسم الذي يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتدحرج على هذا المستوى على وجه محييط بضعد مركز ثقله ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك مقاومات غير متساوية ومهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا فنقول ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهودات المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت بتمامه أن نستعمل دائما اجساما محيطياتها مستديرة كالاكر والاسطوانات والمخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فاذا كان معنابدا عن الجسم الصلب جسم رخو يصادم المستوى الثابت كانت المسئلة تمامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع الفائدة في الفنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فاذا كان جسم تام المرنة بجسم آ يصادم مستوى من (شكل ٢٠) فان قوة او الدافعة له تنحل الى قوتين اخريين احدهما وش التي تدفعه عموديا على مستوى

من والثانية وك التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذا يتحرك الجسم دائما مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى من الثابت

وحيث ان قوة وش مؤثرة عموديا على من كان يجرى عليها قوانين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذا يلزم أن تحول قوة وش بتماها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلى بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائما للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة وش غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرن بجسم و يتحرك منتظم مستقيم الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من وك موازيا للمستوى الثابت ومن ش و عموديا على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من وك = وك موازيا للمستوى

الثابت ومن وش عموديا على هذا المستوى وحينئذ يكون خط وا الذي هو عبارة عن اتجاه المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

الموازي الاضلاع القائم الزوايا وهو ش وك المساوي ش وك ا
فان تكون زاويتا اوش و اوش متساويتين

فعلى ذلك اذا صدم جسم تام المرونة مستويا ثانيا مصادمة على حسب زاوية تعرف بزواوية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته و ياخذ اتجاها جديدا يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرفه بزواوية الانعكاس وهي مساوية لزواوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدًا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صادمت الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها تزد مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية الانعكاس مساوية تقريبا لزواوية السقوط وبالجملة فلعب البليارد مبنى على معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلا أن خانة من خانات البليارد كخانة ث (شكل ٢١) موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتي ا و ب فاذا لمدنا قولا مستقيم ث ب ه حتى وصل الى خط م ن وثانيا مستقيم ا ه حدث معنا أن زاوية م ه ب = ن ه ا فاذا دفعنا كرة ا الى النقطة ه انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت واما ب فانها تنتقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة ا بتماها عند الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يوصل الى الخانة وليست كرة ب في الغالب على اتجاه ث ب ه القائم الموصل الى الخانة كما في شكل ٢٢ فيلزم اذن أن كرة ا بعد أن ترمي الى ه وتنعكس بحيث يكون ا ه ن = م ه ا تصل الى وضع ا لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث (وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم م ه ن المماس لكرتين في نقطة تماسيهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادتان منه مع مستقيمي ب ث و ا ه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليارد يستلزم أن يكون النظر متمركزاً على تصور
الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليديا أيضاً متمركزة على ما يرشدها النظر إليه
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبان طريقة في اطلاق المدافع لها
علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهي انه اذا اطلقنا كرة متوسطة النقل ككرة α
على اتجاه \overline{AB} (شكل ٢٣) المرتفع قليلاً عن الافق فان تلك الكرة
الواصله الى الارض بواسطة الثناقل تقع في نقطة α على حسب زاوية α كبر قليلاً
من زاوية β \overline{AB} وتنعكس حينئذ على حسب زاوية β \overline{AB} المساوية
زاوية α تقريباً تقع مرة أخرى لترتفع ثانية فاذا وجد حينئذ على خط
 \overline{AN} عدة موانع يلزم ازالتها فانطلق عليها الكتل عدة مرات حتى يحصل بذلك
الاصطدام والانعكاس او الوثوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية
او الوثبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكرة على اجسام صلبة كالجدران
المبنية بالحجارا والاشباب والحصون المتينة والسفن او ضربنا بها على ارض
مبلطة او برية متسعة او تلوج كما فعله العساكر الفرنسيون في واقعة اوسترلنس
بل تحصل ايضا في صورة ما اذا رمينا اجراما مرنة على سائل تضرب سطحه
على حسب زاوية سقوط صغيرة
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء اجارا
مسطحة فان هذه الاجار تب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية او عشرة على
حسب كبر قوة الرمي وصغرها وخفة يده عند الرمي
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائماً لزاوية
السقوط واعظم الالات الفرنجية ضبطها هو ما تحقق به مرونة تلك الاجسام
وقد تقدم في مجت الامطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة ينعدم
جزء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة
المرونة ونادر في الاجسام غير تامة المرونة

وهذه المزية المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جعلت استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض لعجلاتها دائما اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في ممرها وجدنا أن الاتقع في تلك العربات أن تحمل صناديقها او وسقها على يايات لان تأثير هذه اليايات يحفظ جزءا من القوة الاقية كان بعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجزء في تحرك العربة المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليايات التي تنقى على نفسها حين تأخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربة يرتفع به قليلا وكثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربة بعد الصعود فان اليايات المرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهرا جدا اذا قوبل بين رجات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيايات لاسيما اذا عظمت سرعة العربة المتزايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة على مجرد تقليل تعب السياحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي أنه يقي محصولات الصناعة المنقولة من التحركات السريعة والاصطدامات التي تضرب تلك المنقولات وتبخس بقيتها فاذا علقنا هذه محصولات على يايات لا يهل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احدهما حفظ تلك محصولات حفظا تاما والثانية أنه يكفي في ثقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل قري بمدينة باريس جملة كبيرة من العربات معلقة على يايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولا زال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما نقل الاثقال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض

وليس لليايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

وتقليل ما يعرض لاحمالها من الاصطدامات بل لها ايضا فائدة اخرى وهي

تقليل ما يعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة او منعها بالكلية

ثم ان مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجعلها

كاليابات كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري

ومن الطرف الاخر بجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت

في الشراعات بقوة جديدة فان الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجاً

بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة

من الحبال والمضايقة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها

بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان تقصت هذه القوة الدافعة فان

قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحبال بالتدريج الى طولها الاصلى واما الصواري

التي لمرونتها تمنحى بمجرد تمدد الحبال فانها تعادل بواسطة هذه المرونة فيكون كل

من الحبال والصواري قابلاً لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع

ومن المهم جداً أن تمدد الحبال مداً قوياً قبل استعمالها في أسناد الصواري

كالجوانغيص والاطراف وذلك لأن تلك الحبال في مبدئ استعمالها تكون

عرضة لتمدد كثيراً بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون أن تعود

الى امتدادها الاصلى عند انقطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبدئ الامر

أن تمتد حتى تبلغ الغاية في الحد قبل أن يتحصل من قوة مرونتها ما يقصد منها

بما يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكورينات الثلاثة المسماة بتجارة باريس حين

انكسرت صوارمها العليا بين جزيرة قرسقة وافرقة رداءة الهواء وقتئذ

وكان من شأن ذلك أن تلك السفينة كانت قريبة عهد بالتطبيق فكانت صوارمها

ممسكة بحبال لم تبلغ في المثل الحد اللازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كئيب

المقاومة الناقصة الكافية

واذا اريد وضع اهو ان تعيلة في جوانب السفينة ليرى منها كل ذات افعال

مضطه لازم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمى الكلة للدافع لها ون على

السفينة دفعا قويا أن يهتم بوضع طبقة كثيفة من الاجسام المرنة على الكورينة
ليقع عليها بالتدريج تأثير الضغط الحاصل من الهاون فتقي بذلك خشاب
السفينة على اختلاف انواعها من التمزق والتكسر

فاذا وضع سندال على بناء صلب خال عن المرونة فان تأثير الاصطدامات
التواليه الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاجسام الموضوع
عليها هذا السندال في اقرب وقت فان حصل الاهتياج بوضع جسم مرن
ككتله من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكتله
لا يلحقه التلف

واذا ضرب الصانع بمطرقة رأسها من
الحادث من رأس المطرقة يوصل
لاسيما في مثل اشغال الخحاس والسكوي لان ضربات المطرقة في مثل
متتالية على سطوح مرتجة فاذن يلزم الاهتمام بجعل قبضة الضاب المثلث
بخروج الموضوع في رأس المطرقة حتى يخرج الموضوع بسلامة بدون سها
في مبدء الامر قليلة ثم تمتد شيئا فشيئا وبذلك تأخذ شدتها في القلة والضعف

على التدرج حتى ينتهي امرها الى أن الصانع لا يحس بها الا احساسا هينا
والى هنا تم الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون * في تطبيق الهندسة
على الفنون * على يد مصححه المستنصر بمولاه القوي * الملتجئ اليه تعالى محمد
قطة العدوي * بعدمقابلته على اصله مع مقرجه * ومعرب كله * السيد صالح
افندي وكان تحرير الفاظه الاصطلاحية * ومعادلانه الجبرية *
بمعرفة حضرة محمد افندي بيومي وملاحظة حضرة ناظرهم الترجمة العلامة
رفاعة افندي * حيث كان التعويل في حل المشكلات عليه * والمراجع
في فك المعضلات اليه * تحت ادارة حضرة مدير المدارس * التي هي
في الديار المصرية من اينع المغارس * سعادة ميرالهاوء ادهم بيك لازالت
المدارس بانفاسه راقية في التجاح مراقى الفرق * رافعة كف
الدعاء لولى النعم وانجاله بدوام السعادة والسود

